

1. АВТОРАДИОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

Авторадиографический метод регистрации ядерных излучений основан на их способности действовать на фотографическую эмульсию подобно свету. В результате такого воздействия после проявления получается фотографическое изображение - авторадиограмма. По авторадиограмме определяют природу радиоактивных атомов, характер их распределения в исследуемом объекте, а также их количество.

Авторадиография - изучение распределения радиоактивных веществ в исследуемом объекте наложением на объект чувствительной к радиоактивным излучениям фотоэмульсии.

Авторадиографию можно определить как метод, используемый для определения положения радиоактивных веществ и измерения их количеств по фотографическому действию.

Замечание. В последнее время из понятия авторадиографии исключены фотоэмульсии, поскольку в авторадиографию вошли методы локализации радионуклидов (микрочанальные пластины, трековые полимерные детекторы, окрашиваемые полимерные плёнки и т.п.) не использующие серебро и эмульсии.

Методом авторадиографии широко пользуются в физике и технике, материаловедении в биологии и медицине — всюду, где применяются изотопные индикаторы.

В простейшем варианте авторадиографического исследования образец, содержащий радиоактивный изотоп, приводят в контакт с эмульсионным слоем на гибкой (плёнке) или жёсткой (пластинке) подложке, после проявления фотоматериал проявляют и фиксируют. На участках, контактировавших с обогащёнными изотопом областями образца, засвеченные эмульсионные кристаллы проявляются, т.е. замещаются кристаллами металлического серебра; остальные кристаллы растворяются при фиксации. В результате образуется авторадиограмма (АРГ) – фотография распределения изотопа в собственном излучении. Чем больше почернение участка авторадиограммы, тем больше содержание изотопа в соответствующей области приповерхностного слоя образца. Связь между ними при определённых условиях линейна, что позволяет оценивать распределение количественно с помощью микрофотометров или микроденситометров (по плотности почернения – логарифму отношения интенсивностей падающего и проходящего света).

При очевидной простоте этот вариант метода является эффективным инструментом благодаря ряду достоинств, присущих авторадиографии вообще и сохранённых и развитых в усовершенствованных её вариантах. В самом деле, основными характеристиками локального анализа являются избирательность (возможность получения сигнала от определяемого элемента при минимальном влиянии других элементов объекта исследования), чувствительность (отношение выходного сигнала к концентрации определяемого элемента), предел обнаружения (пороговая чувствительность), независимость сигнала от вида соединения или фазы, в которые входит определяемый элемент. В этом отношении авторадиография уникальна. Поскольку излучением заведомо обладает лишь специально введённый изотоп определяемого элемента, обнаруживается лишь его сигнал, что обуславливает идеальную избирательность. Эмульсионный кристалл приобретает способность к проявлению при попадании всего нескольких β -частиц, т.е. при распаде всего нескольких атомов изотопа, поэтому предел обнаружения обычно составляет $10^{-3} - 10^{-6}$, а иногда и $10^{-8}\%$ элемента.

Информация о распределении изотопа накапливается при экспонировании в виде скрытого изображения в кристаллах эмульсии, состоящего из нескольких атомов или десятков атомов серебра. Задача последующей стадии – фотообработки – состоит в том, чтобы сделать информацию доступной при минимальном искажении, превратить различие между кристаллами со скрытым изображением и без него в визуальное, усилить сигнал. В условиях проявления скрытое изображение вызывает появление кристалла металлического серебра, состоящего обычно из 10^5-10^{10} атомов. Отношение числа атомов на авторадиографическом изображении к числу распавшихся атомов изотопа очень высоко: оно определяется параметрами эмульсионного кристалла и фотографической обработкой. Последняя, помимо проявления и фиксации, может включать предварительное и окончательное усиление.

Особые возможности авторадиографии обусловлены удачным сочетанием принципов детектирования (кристалл ядерной эмульсии) и усиления (фотографическая обработка).

Авторадиографию делят на макроавторадиографию и микро (трековую) -авторадиографию.

Дело в том, что существует несколько способов прикладывания фотоэмульсии к объекту. Фотопластинку можно прямо наложить на отшлифованную поверхность образца или же можно наносить на образец тёплую жидкую эмульсию, которая при застывании образует плотно прилегающий к образцу слой и после экспозиции и фотообработки исследуется. Распределение радиоактивных веществ изучают, сравнивая плотность почернения фотоплёнки от исследуемого и эталонного образца (т.н. макроавторадиография). Второй метод состоит в подсчёте следов, образуемых ионизирующими частицами в фотоэмульсии, с помощью оптического или электронного микроскопа (микрорадиография). Этот метод значительно чувствительнее первого. Для получения макроавторграфов применяются диапозитивные и рентгеновские эмульсии, для микроавторграфов — специальные мелкозернистые эмульсии.

Авторадиографический метод обладает рядом достоинств. Во-первых, в процессе исследования получают авторадиограмму, которую в соответствующих условиях можно хранить долгое время и при необходимости повторно использовать в качестве объекта изучения. Во-вторых, ряд важных радиохимических вопросов, таких, как идентификация радиоактивного изотопа, определение степени его радиохимической чистоты и др., при применении метода микроавторадиографии можно решить с помощью единственного прибора - микроскопа. Макроавторадиографический метод позволяет получать сведения о характере распределения радиоактивных изотопов в изучаемом объекте как на больших его площадях, так и на микроучастках. Наконец, следует отметить еще одно достоинство метода: при исследовании образцов низкой радиоактивности (например, слабых α -излучателей) обычными методами необходима длительная стабильная работа сложных радиотехнических устройств, вследствие чего неизбежно вносятся дополнительные ошибки и требуется постоянное наблюдение за работой аппаратуры. Исследование таких образцов можно значительно упростить, если применить авторадиографический метод. В этом случае требуется лишь длительный контакт образца с фотографическим слоем, причем постоянства условий контакта можно достичь весьма просто.

Метод авторадиографии имеет и отрицательную сторону - сравнительно большие затраты времени, однако они вполне компенсируются простотой, наглядностью и убедительностью метода.