ТЕМА

РАДИОАКТИВНОСТЬ И АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВ

Содержание

1. Радиохимический анализ

1.1 Анализ естественных радиоактивных веществ

1.2 Анализ искусственных радиоактивных веществ

2. Радиоиндикаторные методы анализа

3. Активационный анализ

4. Методы анализа, основанные на взаимодействии излучения с веществами

4.1 Метод анализа, основанный на упругом рассеянии заряженных частиц

4.2 Метод анализа, основанный на поглощении и рассеянии P-частиц

4.3 Метод анализа, основанный на поглощении и рассеянии γ-излучения

1. РАДИОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Открытие радиоактивности дало толчок к появлению и развитию новых направлений исследований. Само же явление нашло применение как в промышленности, так и в науке. В частности, в аналитической химии (науке, которая занимается определением качественного и количественного состава вещества) явление радиоактивности применяется для анализа состава и количества веществ. Оказалось, что характер испускаемого излучения является настолько индивидуальным для каждого атома, что его можно использовать для идентификации элементов. Разработано большое количество методов, позволяющих провести анализ любого элемента и многих соединений. Существуют методы, которые позволяют проводить определение не только в лаборатории, но и в полевых условиях, например активационный анализ, который применяется для разведывания месторождений полезных ископаемых. В основе радиохимического анализа лежит использование ядерных свойств радионуклидов. С его помощью можно проанализировать радионуклиды, встречающиеся в природе (анализ естественных радиоактивных веществ) и исследовать природные материалы (почву, воздух, руду и т. д.) на наличие в них радиоактивных изотопов. Кроме того, метод радиохимического анализа позволяет изучать системы искусственных радионуклидов: обнаруживать и идентифицировать радионуклиды, определять продукты распада и ядерного синтеза трансурановых элементов и т. д.

* 1. Анализ естественных радиоактивных веществ

Анализируя природные радиоактивные вещества, обычно в них определяют наличие уже известного радионуклида и его количество. Определение обычно проводят относительным методом, т. е. исследуемый образец сравнивается со стандартным, в котором количество определяемого радионуклида точно установлено. Естественные радионуклиды определяют путем измерения их активности. Особенно широко этот способ применяется для определения естественных радиоактивных элементов, содержащих радионуклиды с небольшим периодом полураспада, которые встречаются в ничтожно малых количествах. Никаким другим способом их определить нельзя. Для долгоживущих радионуклидов измерение их радиоактивности является не очень эффективным, поскольку не дает высокой точности результатов. Накопленная на сегодняшний день информация о характере радиоактивности природных веществ позволяет выбрать наиболее результативные методики их анализа. Такие природные материалы, как руды (за исключением урановых), горные породы и минералы, как правило, обладают слабой радиоактивностью. Измерение их активности позволяет определить следы радия или тория, которые находятся либо в состоянии, близком к равновесию с продуктами распада, либо после достижения такого равновесия. Количество радиоактивных компонентов обычно невелико, поэтому часто прибегают к их выделению и концентрированию. Предва- рительно образец переводят в раствор. Естественная радиоактивность воздуха обуславливается наличием в нем радона, торона или актинона и их активными осадками, которые образуют радиоактивные аэрозоли. Следует отметить, что над поверхностью океанов концентрация радионуклидов значительно меньше, чем в воздухе над континентами, например, концентрация радона над континентами имеет порядок 10-6 Бк/см3, а над океанами 10-8 Бк/см3. Радиоактивность почвенного воздуха значительно выше, чем радиоактивность воздуха свободной атмосферы (10-3 Бк/см3), а наиболее велика радиоактивность воздуха шахт, особенно если там добывают урановую руду.

Природная вода может содержать до 0,5 кБк/л радия идо 30 мкг урана. В области урановых месторождений концентрации радионуклидов значительно выше: до 0,8 кБк/л радия и до 90 мг урана.

* 1. Анализ искусственных радиоактивных веществ

Анализ искусственных радиоактивных веществ (т. е. тех, которые возникли в результате ядерных реакций, продуктов реакций деления и ядерного синтеза трансурановых элементов) гораздо сложнее, чем анализ естественных радиоактивных материалов. Дело в том, что, анализируя природные вещества, чаще всего приходится определять количество заранее известного радионуклида. В отличие от этого, образцы искусственных радиоактивных веществ обычно состоят из радионуклидов разных видов (как известных, так и неизвестных; и их необходимо дополнительно идентифицировать. Поэтому качественный анализ искусственных радиоактивных веществ включает два этапа:

1) обнаружение излучения и описание его свойств;

2) распознавание радионуклида, которому принадлежит обнаруженное излучение. Вид излучения радионуклида определяется в процессе изучения его прохождения через воздух и другие материалы.

Энергию излучения определяют, измеряя пробег или величину слоя поглощения в веществе, через которое проходит излучение. Кроме того, для идентификации радионуклида используется период полураспада. Если нужно распознать неизвестный радионуклид, то в первую очередь устанавливают характеристики наблюдаемого излучения (его вид, энергию, период полураспада). Целью распознавания является определение заряда Z и атомной массы А радионуклида Установив эти характеристики, возможно выяснить, какому именно химическому элементу соответствует наблюдаемая активность. Это делается следующим образом: из всех элементов отбирается тот, который хотя бы водной химической реакции проявляет аналогичную активность. Его называют носителем.

1. РАДИОИНДИКАТОРНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Радиоиндикаторные методы используются для того, чтобы исследовать качественный состав системы в ходе реакции. В анализируемую систему (т. е. ту, которая содержит определяемый элемент или соединение) вводится меченое соединение (радионуклид или неизотопный радиоактивный реагент), после чего измеряется удельная активность системы и устанавливается изменение удельной активности, а также изменение изотопного состава и др. характеристики системы.

Метод меченых атомов

В основе метода меченых атомов лежит тот факт, что химические свойства радиоактивных и нерадиоактивных изотопов одинаковы Эго означает, что в химических реакциях из исходных веществ в продукты будут переходить равные части обоих типов изотопов. Но это можно использовать на практике только в том случае, если радиоактивный и стабильный изотопы находятся в состоянии идеального однородного распределения в химической системе, причем на протяжениивсех исследуемых процессов однородность распределения (изотопный состав) не изменяется. Тогда можно проследить, во-первых, как меняется концентрация исследуемого соединения в ходе реакции, а во-вторых — на каких этапах протекания реакции с ним начинают происходить изменения. Качественное исследование меченого элемента или его соединения проводят, обнаруживая радиоактивность, а количественное замеряя величину радиоактивности.

Из огромного множества радионуклидов, известных на сегодняшний день, только некоторые из них можно использовать в качестве индикаторов. При этом во внимание принимаются как физические и химические свойства радионуклида, так и экономические характеристики (доступность, дешевизна).

Основные показатели, которые принимают во внимание при выборе индикатора:

— период полураспада;

— вид и энергия излучения;

— доступность радионуклида;

— химическая и радиоактивная чистота:

— химическая форма.

Период полураспада радионуклида, который собираются использовать в качестве индикатора, не должен быть слишком маленьким. Если продолжительность эксперимента превышает период полураспада в 10 и более раз, то такой радионуклид использовать в длительном эксперименте нельзя. Непригодны для радиоиндикаторного метода и долгоживущие радионуклиды, т. к. в большинстве случаев они испускают излучение с низкой энергией. Наиболее подходящими являются радионуклиды с периодом полураспада от нескольких часов до нескольких месяцев.

Вид излучения радионуклида имеет не меньшее значение, чем период полураспада, а-излучение имеет слишком малый пробег, а излучение — слишком большую проникающую способность, что делает работу с ним небезопасной. Поэтому наиболее широко применяют радионуклиды, испускающие Р-излучение. При работе с ними легко обеспечить безопасность человека. Кроме того, существует множество приборов, позволяющих измерить активность р-излучения. Наиболее эффективны радионуклиды, испускающие коротковолнокое Р-излучение с энергией Е > 0,3 МЭВ. Для длинноволнового р-излучения применяются специальные счетчики. Радионуклиды, используемые в качестве индикаторов, должны быть доступны в приготовлении. В первую очередь это радионуклиды, которые получают в ядерном реакторе.

Химическая форма и степень очистки вещества также влияют на то, насколько доступен будет радиоиндикатэр, в том числе и по стоимости.

Химическая и радиохимическая чистоте радиоиндикатора должна быть очень высокой, т. е. вещество должно иметь минимум посторонних химических элементов или соединений, испускающих излучение. Если нет возможности обеспечить отсутствие посторонних радиоактивных веществ и элементов, то нужно, чтобы эти загрязнения были известны и их влияние можно было бы оценить и учесть. Если же распознать радиоактивное загрязнение нельзя, то радиоиндикаторный метод даст ошибочный результат.

Химическая форма радиоактивного индикатора и определяемого вещества должна быть одинакова, т. е. индикатор и исследуемое вещество должны иметь одинаковый количественный и качественный состав молекулы (химическую формулу). Это особенно важно для элементов, которые могут находиться в нескольких степенях окисления и образовывать несколько разных соединений с одним и тем же элементом.

3. АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Активационный анализ является методом, который наиболее широко используется для обнаружения и идентификации химических элементов. Впервые он был применен в 1936 г, когда Хевеши и Леви с помощью активации нейтронами определили следы диспрозия (Dy) и иттрии (Y).

Сущность метода заключается в том, что исследуемый (нерадиоактивный) образец подвергается облучению, а затем, замеряя активность полученного радионуклида, устанавливают его количество, соответствующее количеству исследуемого вещества. Облучение проводится потоком бомбардирующих частиц, чаще всего — нейтронов, хотя иногда активация проводится заряженными частицами или γ-квантами. Если образец бомбардируется нейтронами, то метод носит название нейтронно актиоационного анализа. Другие способы активации не имеют отдельных названий и используются только в специальных случаях, когда исследуемый элемент но активируется нейтронами или активируется со слишком малым выходом.

Активность, а значит, и количество радионуклида, образующегося в результате ядерной реакции при активации образца, прямо пропорциональны массе определяемого элемента в образце. Следовательно, по измеренной интенсивности излучения данного радионуклида в образце можно установить колитгетво исследуемого вещества, подвергнутого активизации.

Обычно при облучении образца возникает смесь радиоактивных изотопов различных других элементов, кроме определяемого. Их нужно разделить таким образом, чтобы радиоизотоп исследуемого вещества не имел примесей. Для радиохимического разделения компонентов облученный образец переводят в раствор.

Кроме количественного анализа образца, активационный анализ позволяет проводить и качественные исследования, т. е. идентифицировать образовавшиеся радионуклиды. Это можно сделать, опираясь на три ядерно-физические характеристики: тип испускаемого излучения, период полураспада и энергия испускаемого излучения. Некоторые трудности появляются, когда нужно провести распознавание состава сложных смесей. В этом случае смесь сначала разделяют на компоненты, а затем идентифицируют каждый из них в отдельности.

радиоактивный вещество радиоиндикаторный анализ

4. МЕТОДЫ АНАЛИЗА, ОСНОВАННЫЕ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Провести анализ нерадиоактивного вещества можно без его активации. Часто используются реакции взаимодействия ядерного и рентгеновского излучений с веществом, которое их поглощает или рассеивает, но активация исследуемого вещества не происходит. В основе методов, базирующихся на этом явлении, лежат следующие принципы:

- упругое рассеяние α-частиц;

-поглощение и рассеяние β-частиц и γ-квантов;

-возникновение рентгеновского характеристического излучения;

-поглощение и замедление нейтронов и др.

4.1 Метод анализа, основанный на упругом рассеянии заряженных частиц

Тяжелые заряженные частицы (24Не (γ-частицы), 73Li) проходят через анализируемую среду, взаимодействуя с атомами вещества. При этом наиболее важными видами взаимодействия являются упругое рассеяние на ядрах определяемого элемента, ионизация (обрыв электрона,) и возбуждение атомов определяемого элемента, а также торможение заряженных частиц. Однако упругое рассеяние происходит чаще всего. Надо сказать, что возникает оно в результате кулоновского взаимодействия ядра и заряженной частицы.

Рассматриваемый метод анализа основан на том, что кинетическая энергия падающей частицы не равна кинетической энергии рассеянной частицы. Для идентификации вещества используют отношение кинетической энергии частицы Е после упругого соударения к ее исходной энергии Ео. В результате получают спектр, расположение пиков на котором является индивидуальной характеристикой вещества. По величине пиков судят о количестве исследуемого вещества (чем пик выше, тем больше концентрация). Полученные пики сравнивают со стандартными пиками известных веществ.

После идентификации вещества устанавливают его концентрацию, сравнивая высоту экспериментального пика с пиком того же вещества известной концентрации.

4.2 Метод анализа, основанный на поглощении и рассеянии β-частиц

Проходя через анализируемое вещество, β-частииы вступают в реакции взаимодействия как на атомных ядрах, так и в электронных оболочках атомов. При этом энергия β-частиц уменьшается, а направление их движения изменяется, т. е. происходит рассеяние.

Потеря энергии β-частиц происходит вследствие неупругих соударений с ядрами атомов и электронами. При этом β-частица будет всегда отклоняться от исходного направления движения на угол, который зависит от исходной энергиичастицы, и от энергии, потерянной ею при взаимодействии

При упругом рассеянии β-частица изменяет направление движения, но полная энергия системы не меняется. Угол, на который отклоняется частица, зависит от ее скорости и от массового числа элемента. Масса β-частицы и атомного ядра очень различаются, поэтому частица отклоняется сильно, особенно если β излучение имеет низкую энергию. Кроме того,отклонение на большой угол возникает и тогда, когда β частица пролетает вблизи ядра. Но чаще всего β частицы движутся на большом расстоянии от ядра и отклоняются на меньшие углы. Анализ по β-поглощению основан па том, что поглощение β-излучения зависит от отношения заряда к массовому числу исследуемого элемента (Z/A) Обычно это отношение колеблется в пределах от 0,4 до 0,5, но исключение составляет водород (Z/A=1),поэтому его поглощающая способность вдвое больше, чем у остальных элементов, т е если в анализируемом веществе вместе с водородом находится еще какой-нибудь один элемент, то, измеряя поглощение β-излучения в анализируемом образце, можно определить его с высокой точностью.

Другой способ использования анализа по поглощению (β-излучения основан на том, что с изменением химического состава вещества изменяется его плотность. В случае двухкомпонентной системы можно, измеряя поглощение, определять концентрации растворов и составы смесей (т. е. осуществлять количественный анализ). Однако это возможно только в случае абсолютного отсутствия примесей в исследуемой системе.

В методе β-рассеяния измеряют интенсивность β-излучения, рассеянного анализируемым образцом. Эта интенсивность является индивидуальной характеристикой элемента.

4.3 Метод анализа, основанный на поглощении и рассеянии γ излучения

При взаимодействии γ-квантов, энергия которых мала, с веществами большую роль играет фотоэлектрический эффект (фотоэффект). Это явление состоит в том, что практически вся энергия γ-кванта передается одному из электронов атома, который из-за избытка энергии отрывается от атома. Испускаемый электрон приобретает кинетическую энергию, равную разности энергии исходного γ-кванта и энергия электрона в атоме.

После высвобождения электрона происходит мгновенное заполнение электронного уровня, сопровождавшееся характеристическим рентгеновским излучением. Энергия этого излучения часто сразу же передается наиболее слабо связанному наружному электрону, который вылетает из этома. Такие электроны называются электронами Оже. Фотоэлектроны теряют свою энергию в тех же процессах, что и β-излучение.

Анализ по поглощению γ-квантов основан на изменении плотности потока γ- или рентгеновского излучения при прохождении через вещество. Степень поглощения фотонного излучения является основной характеристикой вещества в этом методе.

Методы анализа, основанные на рассеянии γ-излучения, используются в тех случаях, когда к исследуемому образцу нет доступа с двух сторон. В основе метода лежит тот факт, что интенсивность рассеянного γ-излучения зависит от энергии падающего излучения, атомного номера определяемого элемента, толщины образца и схемы исследования. При возрастании заряда определяемого элемента в анализируемом образце увеличивается плотность потока рассеянного γ-излучения.