**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа ядерных технологий

Направление – Ядерные физика и технологии

Отделение ядерно-топливного цикла

Отчет по лабораторной работе №8

по дисциплине

«Методы разделения стабильных изотопов»

**Расчет кинетики процессов экстрагирования**

Вариант 6

Исполнитель:

Студент, гр. 0А8Д \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Кузьменко А.С.

подпись дата

Проверил:

Профессор ОЯТЦ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Орлов А.А.

подпись дата

Томск – 2021

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ЦЕЛЬ РАБОТЫ 3](#_Toc89546222)

[1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ 3](#_Toc89546223)

[Введение 3](#_Toc89546224)

[1.1. Влияние температуры на равновесие 5](#_Toc89546225)

[1.2. Методика выполнения расчета 7](#_Toc89546226)

[2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ 11](#_Toc89546227)

[3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ 11](#_Toc89546228)

[ВЫВОДЫ 12](#_Toc89546229)

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомление с принципами жидкостной экстракции, расчет коэффициентов распределения и определение необходимых объемов водной и органической фаз, участвующих в процессе экстракции для достижения требуемого извлечения на одной ступени.

**1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

**Введение**

Экстракция – метод извлечения вещества из раствора, представляющий собой процесс распределения вещества между двумя несмешивающимися жидкими фазами. Массообменный процесс основан на неодинаковом равновесном распределении веществ между двумя взаимонерастворимыми фазами.

При жидкостной экстракции имеется возможность подбора растворителя, обеспечивающего наилучшее разделение. С помощью экстракции можно разделить компоненты смеси по их химической природе, а не по физическим свойствам (например, по величинам давлений их паров). Это часто обусловливает высокую эффективность жидкостной экстракции как метода разделения смесей.

Экстракция применяется в тех случаях, когда прямые методы разделения смесей непригодны или когда затраты на другие методы разделения, по сравнению с экстракцией, оказываются большими. Основные преимущества применения экстракции, по сравнению, например с ректификацией следующие: возможно разделение жидкостей с небольшой разницей температуры кипения; возможно разделение жидких смесей с малой относительной летучестью; возможно разделение соединений, температуры кипения, которых столь велики, что их обычно разделяют при помощи высоковакуумной или молекулярной дистилляции; возможно разделение веществ, чувствительных к воздействию повышенных температур; возможно разделение веществ, образующих азеотропные смеси.

Экстракция, как и другие массообменные процессы, находит широкое применение в лабораторных и промышленных масштабах, при этом к экстрагентам предъявляется ряд требований, главное из которых – хорошая способность извлекать определенное вещество из растворов. Чем лучше экстрагируется данное вещество, тем меньше при прочих равных условиях расходуется экстрагент. Желательно, чтобы растворитель избирательно экстрагировал из сложных систем только одно вещество или группу родственных соединений, чтобы он имел малое давление насыщенных паров при комнатной температуре, и его температура кипения была выше 50°C. Требуется, чтобы плотность экстрагента по возможности больше отличалась от плотности раствора, из которого извлекается искомое вещество, кроме того растворитель не должен подвергаться гидролизу и взаимодействовать с материалом аппаратуры для экстракции.

Причины, в результате которых происходит процесс экстракции, могут быть различными. Межфазное равновесие достигается в результате влияния ряда факторов, действующих между молекулами экстрагируемого вещества и экстрагента.

Одним из таких факторов является взаимодействие за счет ванн-дер-ваальсовских сил, наблюдаемый между незаряженными молекулами (физический механизм экстракции). Различают три слагаемых этого взаимодействия: *ориентационное* *взаимодействие* (диполь-дипольное), возникающее при наличии у несимметричных молекул постоянного диполя, в результате чего молекулы взаимно притягиваются и определенным образом ориентируются по отношению друг к другу; *индукционное взаимодействие*, проявляемое в тех случаях, когда постоянный диполь молекулы создает в соседней неполярной молекуле индуцированный диполь, после чего обе молекулы притягиваются друг к другу; *дисперсионное взаимодействие*, происходящее между неполярными молекулами.

Вторым видом взаимодействия является сольватация молекулы экстрагируемого вещества одной или несколькими молекулами экстрагента с образованием сольвата определенного состава. Сольватация происходит в результате донорно-акцепторного взаимодействия или под влиянием межмолекулярных водородных связей.

Третий вид – химическое взаимодействие растворенного вещества с экстрагентом или со специально введенными реактивами, приводящее к образованию экстрагируемых соединений.

Константа распределения часто равна отношению растворимостей определенного вещества в обеих фазах. Факторы, влияющие на растворимость вещества в той или иной фазе, отражаются и на его распределении. Есть ряд веществ, которые уменьшают или увеличивают растворимость органических соединений в водной или органической фазах. Это обстоятельство дает возможность влиять на распределение вещества между двумя фазами.

**1.1. Влияние температуры на равновесие**

Константа равновесия вещества между экстрагентом и экстрагируемым раствором в заметной мере зависит от температуры, при которой происходит экстракция. Эта зависимость может объясняться следующими причинами: изменение температуры изменяет растворимость вещества в каждой фазе; температура влияет на взаимную растворимость органической и водной фаз, что может быть дополнительной причиной изменения растворимости распределяемого вещества; температура также влияет на способность вещества димеризоваться, что отражается на растворимости. Этот фактор не играет существенной роли при работах с малыми концентрациями распределяемого вещества.

Можно выделить три основные типа влияния температуры на константу распределения вещества:

1. Изменение температуры не вызывает заметных изменений константы распределения. В этом случае теплота экстракции приближается к нулю. Такое явление наблюдается редко, когда растворимость вещества в экстрагенте и в воде одинаково изменяется с изменением температуры.

2. Растворимость вещества в каждой фазе с изменением температуры изменяется различно. В этом случае экстракция – экзотермический процесс.

3. Растворимость вещества в обеих фазах изменяются таким образом, что их отношение с повышением температуры возрастает, увеличиваются и константы распределения. При этом экстракция представляет собой эндотермический процесс.

Для экстракции зачастую используют смеси двух растворителей, что приводит к интересным явлениям, которые можно разделить на три группы:

1. Константы распределения вещества между смесью двух растворителей и водой могут представлять собой аддитивную величину.

2. Экстракция смесью растворителей оказывается более эффективной, чем раздельное применение компонентов смеси. Это явление называется синергизмом. Повышение константы распределения вещества между смесью растворителей и водой в ряде случаев весьма значительно, кроме того наблюдается положительное отклонение константы распределения от аддитивной величины.

3. Экстракция смешанным растворителем может быть и менее эффективна, чем действие каждого компонента смеси в отдельности (антагонистический эффект), т.е. наблюдается уменьшение константы распределения по сравнению с вычисленной аддитивной величиной.

Введение в водный раствор больших количеств хорошо растворимых солей снижает растворимость некоторых веществ (высаливание). Иногда добавление солей повышает растворимость вещества в воде (всаливание). Высаливание широко применяется в промышленности, например при производстве красителей и мыла. При экстракции с высаливанием из водного раствора коэффициент распределения вещества увеличивается, при всаливании уменьшается.

Высаливающее действие солей объясняется тем, что соли снижают диэлектрическую проницаемость водного раствора и влияют на структуру воды, что отражается на растворимости других веществ (вследствие гидратации соли уменьшается количество несвязанной воды).

**1.2. Методика выполнения расчета**

Наиболее широко в качестве характеристики экстракционного равновесия используется коэффициент распределения :

 (1)

где  и  – равновесные концентрации экстрагируемого элемента в органической и водной фазах, моль/л.

С коэффициентом распределения непосредственно связаны две важные технологические характеристики процесса. Первая из них – извлечение на одной ступени экстракции  (доля экстрагируемого элемента, перешедшего в органическую фазу, от общего его количества в обеих фазах):

 (2)

где  – объем водной фазы,  – объем органической фазы.

Вторая характеристика – коэффициент разделения , равный отношению коэффициентов распределения лучше и хуже экстрагируемого элемента:  (обычно больший индекс присваивается лучше экстрагируемому элементу). По величине  можно судить об эффективности применения экстракции для разделения данной пары элементов. При однократной экстракции степень обогащения органической фазы по отношению к равновесной водной лучше экстрагируемым элементом равна коэффициенту разделения. Практически применяют экстракционные системы с .

Скорость установления равновесного распределения вещества между двумя контактирующими жидкими фазами – водной и органической – определяется: скоростью массопередачи веществ внутри водной и органической фаз и через границу их раздела; скоростью химических реакций в каждой из фаз или на межфазной границе. В условиях интенсивного перемешивания фаз, осуществляемого в экстракторах, массопередача проходит с высокой скоростью.

Общее уравнение скорости экстракции, учитывающей диффузионные и химические сопротивления, можно вывести следующим образом: у поверхности раздела фаз имеются тонкие пограничные слои толщиной  и , в которых резко изменяется концентрация, и перенос вещества осуществляется преимущественно молекулярной диффузией.

Примем следующие обозначения:  – рафинат (несущий раствор);  – экстрагент;  – концентрация распределяющегося компонента;  и  – средние концентрации распределяющегося компонента в рафинате и экстрагенте;  и  – концентрации распределяющегося компонента на поверхности каждой из фаз;  и  – концентрации распределяющегося компонента на поверхности фаз, равновесные соответственно с  и ;  и  – концентрации распределяющегося компонента в объеме фаз, равновесные соответственно с  и .

Если коэффициент распределения  принять постоянным, то ; ; ; .

Опишем протекающую на поверхности обратимую реакцию простейшим уравнением , которому соответствует выражение константы равновесия . Обозначим скорости прямой и обратной реакции  и . Тогда при стационарном состоянии скорость химической стадии определяется уравнением

.

При равновесии отношение констант скоростей прямой и обратной реакций равно константе равновесия и соответствует коэффициенту распределения . Поэтому , а .

Поток диффузии из объема рафината к поверхности раздела фаз

,

где  – коэффициент массопередачи в водной среде.

Поток диффузии от поверхности раздела фаз в объем эекстракта

,

где  – коэффициент массопередачи в органической фазе.

При установившемся режиме , поэтому , , . Суммируя левые и правые части этих равенств, получаем



В зависимости от величины диффузионных сопротивлений ,  и химического сопротивления  процесс лимитируется массопередачей или химической реакцией.

При изучении кинетики экстракции протекание процесса во времени обычно характеризуют зависимостью , где  – степень приближения к равновесию:

,

где  и  – концентрация распределяющегося компонента в органической и водной фазах после установления равновесия;  – исходная концентрация водного раствора.

Выполняя несложные преобразования можно получить

,

где  – поверхность межфазного контакта, или, обозначив

,

.

При постоянных коэффициентах массопередачи и распределения, константе скорости и поверхности  из уравнения следует

.

Лимитирующую стадию процесса можно определить, изучив влияние условий экстракции на величину . Если основное значение имеют диффузионные сопротивления в водной и органической фазах, к увеличению  приводит более интенсивное перемешивание в соответствующей фазе. Отсутствие влияния перемешивания и сильная зависимость  от температуры свидетельствуют о протекании экстракции в кинетической области. Следует, однако, отметить, что в последнем случае обычно довольно трудно определить, какая именно реакция – в объеме одной из фаз или на поверхности их раздела – лимитирует процесс.

**2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

Таблица 1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | x1 | y1 | x2 | y2 | x3 | y3 | x4 | y4 | Vорг |
| 6 | 0,19 | 0,16 | 0,25 | 0,24 | 0,59 | 0,57 | 0,21 | 0,11 | 0,26 |

**3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Рассчитаны коэффициенты разделения *D* для четырех элементов по формуле (1):









Рассчитано извлечение на одной ступени экстракции  по формуле (2):









**ВЫВОДЫ**

Рассмотрены принципы жидкостной экстракции. Проведен расчет коэффициентов распределения и определения необходимых объемов водной и органической фаз, участвующих в процессе экстракции для достижения требуемого извлечения на одной ступени.