



КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ

Факультет химии и химической технологии



ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лектор: к.х.н., старший преподаватель
Василина Гулзира
Кажмуратовна

Лекция 6. Гетерогенный процессы

- Система газ-твердое
- Жидкость-твердое
- Газ-жидкость
- Несмешивающаяся система жидкость-жидкость
- Твердое-твердое
- Многофазные системы газ-жидкость-твердое, несмешивающиеся жидкости-газ/твердое

Типы гетерогенных процессов

- Гетерогенные процессы, сопровождаемые химической реакцией, могут быть трех типов:
 1. **когда реакция протекает на поверхности раздела фаз**, этот тип характерен для процессов с участием твердой фазы: Т - Ж; Т - Г; Г - Ж - Т и др.;
 2. **когда реакции протекают в объеме одной из фаз** после переноса в нее вещества из другой; такие процессы наиболее распространены и могут идти с участием любых фаз в системах: Г - Ж, Ж - Ж (несмешивающиеся), Т - Ж, Г - Ж - Т и др.;
 3. **когда реакция происходит на поверхности вновь образующейся фазы**; этот тип возможен для процессов взаимодействия твердых фаз.

Примеры гетерогенных ХТП

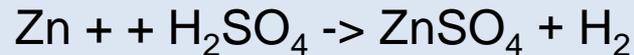
- Термическое разложение солей с образованием газообразных и твердых продуктов



- Восстановление оксидов металлов водородом или углеродом



- растворение металлов в кислотах



- В особый класс выделяют гетерогенно-каталитические реакции, протекающие на поверхности катализатора.
- Например, $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$, протекающей на поверхности железного катализатора (твёрдая фаза), реагенты и продукт реакции находятся в газовой фазе и образуют гомогенную систему.

Скорость гетерогенного ХТП

- *Под скоростью гетерогенного химического процесса понимают количество одного из реагентов или продуктов реакции, которое прореагирует или образуется в единицу времени на единице поверхности раздела фаз:*

$$v = \pm \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{F} \cdot \frac{dn_i}{d\tau}$$

где i – стехиометрический коэффициент i -го реагента или продукта;

F – реакционная поверхность.

- Уравнение скорости гетерогенного ХТП можно записать и следующим образом:

$$v = KF_{\text{уд}}\Delta C$$

где K – коэффициент массопередачи;

$F_{\text{уд}}$ – удельная поверхность контакта фаз, приходящаяся на единицу объёма или массы;

ΔC – движущая сила процесса (разность концентраций, давлений).

Стадии гетерогенных ХТП

- перенос реагирующих веществ к поверхности раздела фаз, т.е. в реакцию зону;
- собственно химическое взаимодействие;
- отвод продуктов реакции из реакционной зоны.

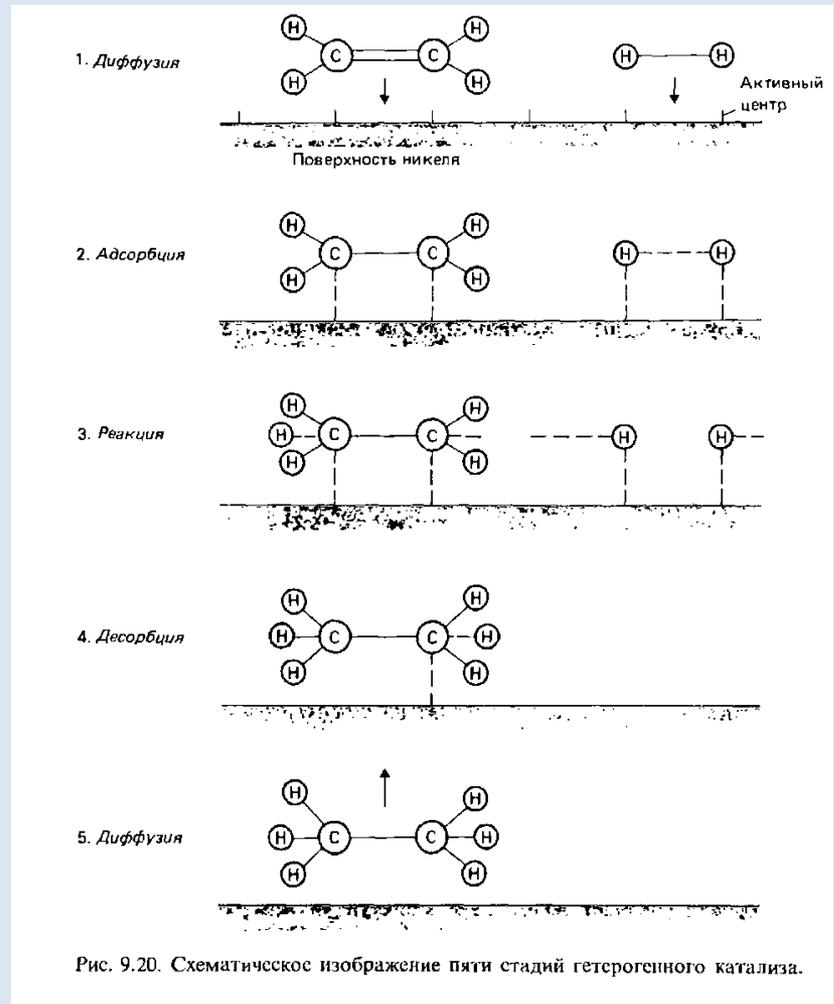
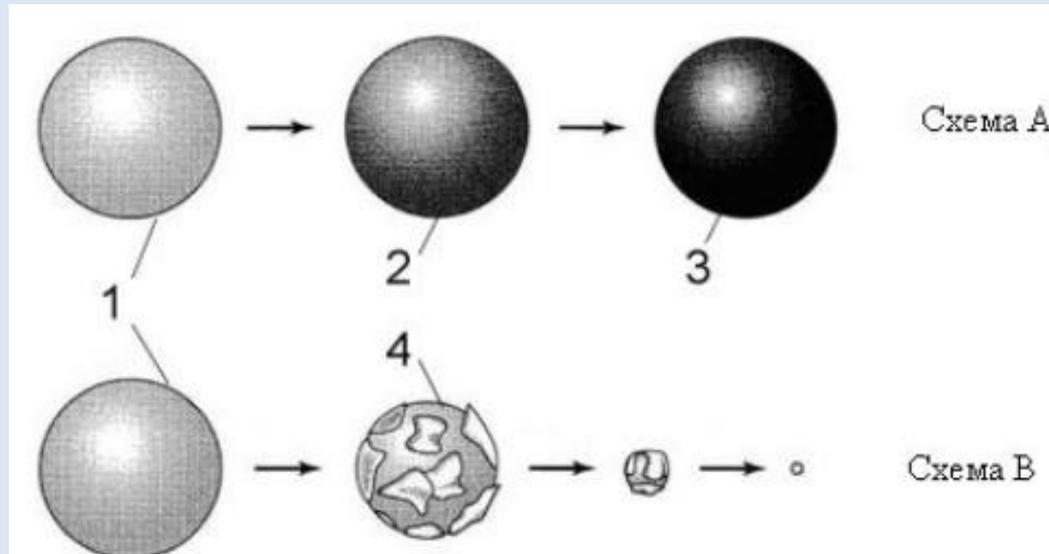
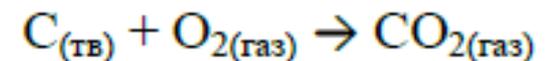
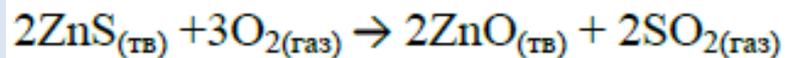


Рис. 9.20. Схематическое изображение пяти стадий гетерогенного катализа.

Гетерогенные процессы в системе г-т



Изменения частицы твёрдого вещества по мере её взаимодействия с газом или жидкостью. 1 – состояние частицы до реакции; 2 – не полностью прореагировавшая частица; 3 – полностью прореагировавшая частица, сохранившая размеры, прочность и твёрдость; 4 - образование в ходе реакции опадающей в виде хлопьев золы или газообразных продуктов приводит к уменьшению размеров частицы; частица уменьшается в объёме и исчезает после реакции.

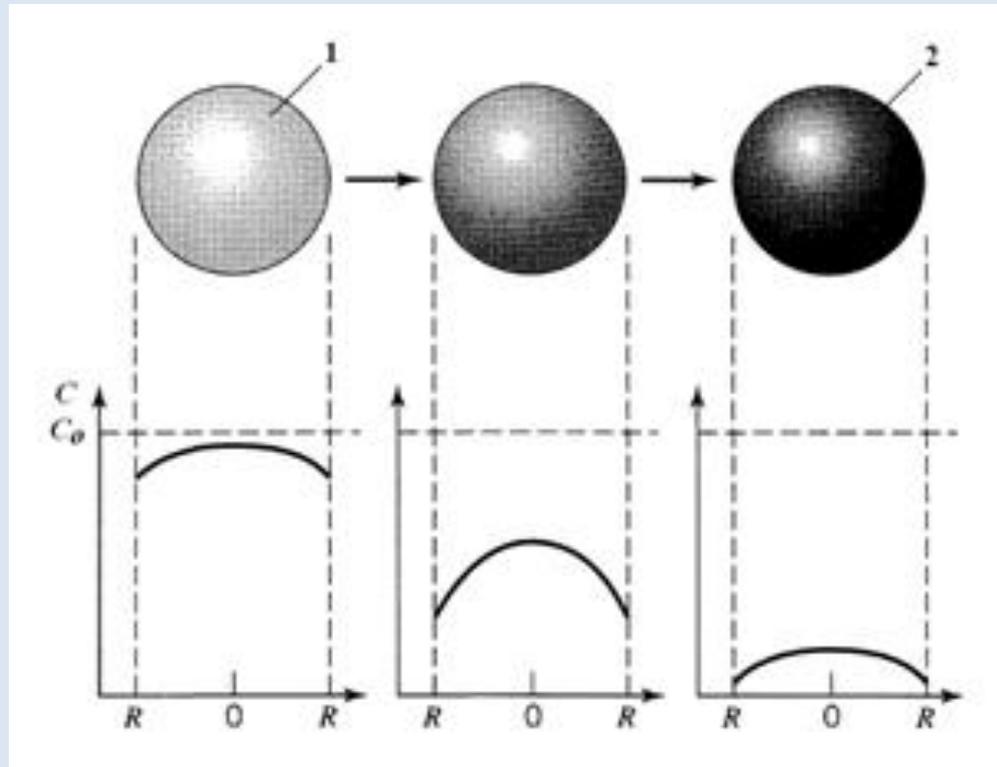


Гетерогенные процессы в системе г-т

- Для описания таких процессов используют кинетические модели:
 - квазигомогенная модель
 - модель с фронтальным перемещением зоны реакции (модель с непрореагировавшим ядром)
- Рассмотрим эти модели на примере гетерогенной реакции



Квазигомогенная модель



Схематическое изображение твердой частицы в ходе гетерогенного процесса, описываемого квазигомогенной моделью:

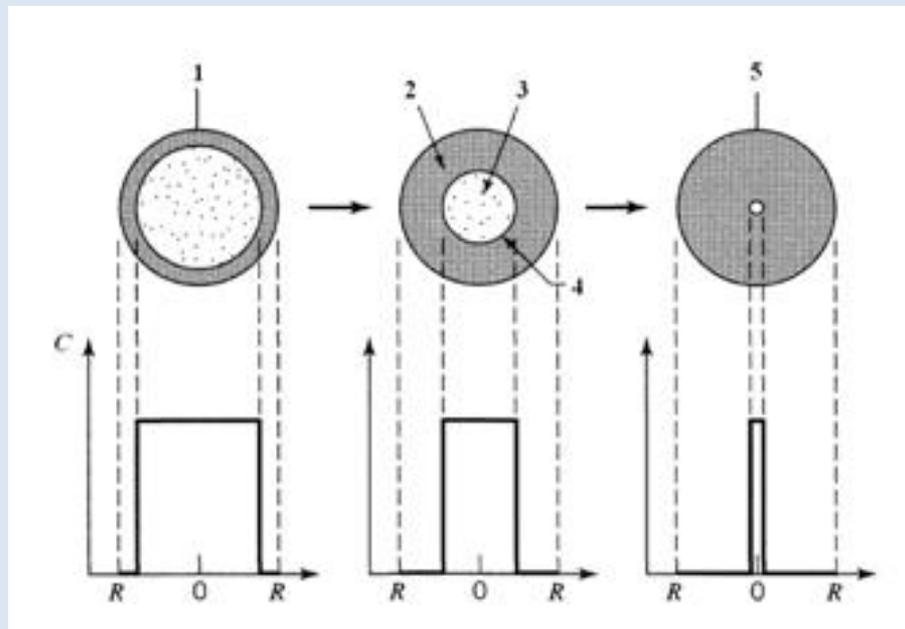
1 – до реакции;

2 – почти полностью превращенная частица;

C - концентрация твёрдого реагента в частице;

R – радиус частицы.

Модель с непрореагировавшим ядром



Профиль изменения концентрации твёрдого реагента B по мере протекания гетерогенного процесса, описываемого моделью с фронтальным перемещением зоны реакции:

а – до реакции;

б – промежуточный момент реакции;

в – почти полностью превращённая частица.

1- низкая степень превращения; 2- зола; 3- невзаимодействующее ядро частицы; 4- зона реакции; 5- высокая степень превращения; C – концентрация твердого реагента в частице; R – радиус частицы.

Стадии гетерогенного ХТП

- Гетерогенный процесс, описываемый моделью с фронтальным перемещением зоны реакции, можно разделить на пять элементарных стадий:
- **внешняя диффузия (внешняя массопередача)** – подвод газообразного реагента А из потока газа к поверхности твёрдой частицы;
- **внутренняя диффузия (внутренняя массопередача)** – проникновение газообразного реагента через поры твёрдого продукта реакции (золы) к ядру твёрдого реагента;
- **собственно химическая реакция** на поверхности непрореагировавшего ядра;
- **внутренняя диффузия (внутренняя массопередача)** газообразных продуктов реакции через слой твёрдых продуктов (золы) обратно к поверхности частицы;
- **внешняя диффузия (внешняя массопередача)** газообразных продуктов реакции через пограничный слой газа в основную массу газового потока.

Лимитирующие стадии гетерогенного ХТП

- Любая из этих стадий при определённых условиях может оказаться лимитирующей.
- Если лимитирующей является внешняя диффузия, то процесс протекает во **внешнедиффузионной области**.
- Если лимитирующей является внутренняя диффузия, то процесс протекает во **внутридиффузионной области**.
- Если лимитирующей является химическая реакция, то процесс протекает в **кинетической области**.
- Если скорости диффузии и химической реакции соизмеримы, то процесс протекает **в переходной области**.
- Главная задача при изучении кинетики гетерогенных процессов - выяснить лимитирующую стадию, т.е. определить область протекания ХТП.

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!!!**