

## Химическая кинетика и катализ. Химическое равновесие.

*Тепловой эффект химической реакции.*

*Экзо- и эндотермические реакции.*

*Направление протекания химических реакций.*

*Реакции обратимые и необратимые.*

*Скорость химических реакций.*

*Химическое равновесие. Закон действующих масс.*

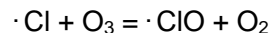
*Константа химического равновесия.*

*Сдвиг химического равновесия. Принцип Ле Шателье.*

### Примеры решения типовых задач

**Задача 1.** Атмосферные загрязнения постепенно уничтожают защитный озоновый слой Земли. Озоновому слою угрожают поступающие в атмосферу фторированные и хлорированные углеводороды - фреоны, например,  $\text{CCl}_3\text{F}$ ,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ,  $\text{CClF}_3$ . Они химически стабильны в нижних слоях атмосферы, но в стратосфере под действием ультрафиолетового излучения Солнца разрушаются, выделяя атомный хлор, после чего начинают протекать реакции взаимодействия атомного хлора с озоном. Рассчитайте скорость такой реакции с образованием кислорода и монооксида хлора, если через 15 с после начала реакции молярная концентрация озона была 0,3 моль/л, а через 35 с (от начала реакции) стала равна 0,15 моль/л.

**Решение.** Запишем уравнение реакции и условие задачи в формульном виде:



$$c_1(\text{O}_3) = 0,3 \text{ моль/л}; t_1 = 15 \text{ с}; c_2(\text{O}_3) = 0,15 \text{ моль/л}; t_2 = 35 \text{ с}$$

$$v = ?$$

Скорость реакции определяется как изменение концентрации участвующего в ней вещества, отнесенной к промежутку времени, за который произошло это изменение, а именно:

$$v = \{c_1(\text{O}_3) - c_2(\text{O}_3)\} / (t_2 - t_1) = (0,30 - 0,15) : (35 - 15) [(\text{моль/л}):\text{с}] = 0,0075 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{с})$$

Ответ. 0,0075 моль / (л · с).

**Задача 2.** Диоксид серы - самый распространенный загрязнитель воздуха. Он опасен для здоровья людей, особенно тех, кто страдает заболеваниями дыхательных путей. Диоксид серы снижает продуктивность сельскохозяйственных культур, замедляет рост леса, пагубно действует на строительные материалы, содержащие карбонат кальция. В атмосфере диоксид серы окисляется до триоксида серы; при этом роль катализатора играет находящаяся в воздухе пыль оксидов металлов. Капли влаги превращают  $\text{SO}_3$  в серную кислоту, которая вместе с атмосферными осадками выпадает в виде "кислотных дождей". Рассчитайте значение константы скорости реакции диоксида серы с атомным кислородом, если при концентрациях  $\text{SO}_2$  и  $[\text{O}]$ , равных соответственно 0,25 моль/л и 0,6 моль/л, скорость реакции равна 0,003 моль / (л · с).

**Решение.** Запишем уравнение реакции и условие задачи в формульном виде:



$$c(\text{SO}_2) = 0,25 \text{ моль/л}; c(\text{O}) = 0,6 \text{ моль/л}; v = 0,003 \text{ моль} / (\text{л} \cdot \text{с})$$

$$k = ?$$

Скорость реакции определяется как произведение константы скорости и концентраций реагентов в степенях, равных их стехиометрическим коэффициентам в уравнении реакции:

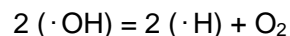
$$v = k \cdot c(\text{SO}_2) \cdot c(\text{O}). \text{ Отсюда: } k = v / \{c(\text{SO}_2) \cdot c(\text{O})\} =$$

$$= 0,003 / (0,25 \cdot 0,6) [\text{л} / (\text{моль} \cdot \text{с})] = 0,02 \text{ л} / (\text{моль} \cdot \text{с})$$

**Ответ.** Константа скорости реакции равна 0,02 л / (моль · с)

**Задача 3.** Важнейшие источники восполнения запаса кислорода в атмосфере - это диоксид углерода и вода. Часть кислорода образуется в стратосфере в результате диссоциации газообразной воды под действием солнечного излучения, когда сначала из воды получают атомный водород и гидроксильные радикалы ( $\cdot\text{OH}$ ), а затем при взаимодействии двух гидроксильных радикалов образуются атомный водород и молекулярный кислород. В сколько раз увеличится скорость второй реакции, если концентрация гидроксильных радикалов возрастет в 3 раза?

**Решение.** Запишем уравнение реакции и условие задачи в формульном виде:



$$c_2(\text{OH}) = 3 c_1(\text{OH});$$

$$v_2 : v_1 = ?$$

Скорость реакции определяется как произведение константы скорости и концентраций реагентов в квадрате (соответственно стехиометрическому коэффициенту при  $\cdot\text{OH}$ ). Отношение скоростей реакции в первом и втором случае:

$$v_2 : v_1 = \{k \cdot c_2^2(\text{OH})\} / \{k \cdot c_1^2(\text{OH})\} = 32 \cdot c_1^2(\text{OH}) : c_1^2(\text{OH}) = 9 : 1$$

**Ответ.** При увеличении концентрации реагента в 3 раза скорость реакции возросла в 9 раз.

*Терпение и труд все перетрут."  
(Народная мудрость)*

## Химическая кинетика и катализ. Химическое равновесие. Задачи для самостоятельного решения

4.1. В загрязненном воздухе содержится примесь CO, которая образуется при неполном сгорании твердого топлива и при работе двигателей внутреннего сгорания. Монооксид углерода медленно окисляется кислородом воздуха до диоксида углерода. При определенных условиях скорость такой реакции составляет 0,05 моль / (л · с), а концентрация CO<sub>2</sub> становится равной 0,2 моль/л. Рассчитайте концентрацию CO<sub>2</sub> через 10 с после указанного момента.

4.2. Один из важных видов сырья для органического синтеза - "водяной газ", смесь водорода и монооксида углерода, которая получается при пропускании водяного пара через башни, наполненные раскаленным углем. Водяной газ служит для получения метанола, формальдегида и других химических продуктов. Рассчитайте значение константы скорости реакции получения водяного газа, если при концентрации H<sub>2</sub>O, равной 0,03 моль/л, скорость реакции составляет  $6,1 \cdot 10^{-5}$  моль / (л · с).

4.3. Атмосферные загрязнения постепенно уничтожают защитный озоновый слой Земли. В реакциях разложения озона участвуют многие газы, но прежде всего оксиды азота. Взаимодействие монооксида азота с озоном приводит к образованию диоксида азота и кислорода. Рассчитайте скорость этой реакции, если через 25 с после начала реакции молярная концентрация озона была 0,8 моль/л, а через 55 с (от начала реакции) стала равна 0,02 моль/л.

4.4. На больших высотах солнечное излучение вызывает диссоциацию молекул кислорода на атомы. Столкновение атомов кислорода и молекул диоксида озона приводит к образованию озона, слой которого защищает Землю от коротковолнового излучения Солнца, смертельно опасного для живых организмов. Определите скорость этой реакции, если через 1 мин после ее начала концентрация озона была равна 0,024 моль/л, а через 2 мин после этого момента - 0,064 моль/л.

4.5. Причиной образования опасного для здоровья тумана - "смога" - считают большое количество выхлопных газов автомобилей при высокой влажности воздуха. Помимо озона, в смоге присутствует ядовитый диоксид азота, который получается по реакции монооксида азота с атомарным кислородом. Рассчитайте скорость этой реакции, если через 5 минут после ее начала концентрация диоксида азота стала равна 0,05 моль / л, а через 20 минут - 0,08 моль / л.

### Ответы

4.1. 0,7 моль / л

4.2.  $2,0 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>

4.3. 0,026 моль / (л · с)

4.4.  $6,7 \cdot 10^{-4}$  моль / (л · с)

4.5.  $3,3 \cdot 10^{-5}$  моль / (л · с)