

Задание 1. Неизвестный Минерал

Минерал **X** с плотностью $\rho = 4.193 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ содержит в своем составе 3 элемента. При окислительном обжиге этого минерала при температуре 1400°C образуется твердое соединение темно-серого цвета **A**, кристаллы черного цвета **B** и газ с резким запахом **C**. Известно, что газ **C** также выделяется при обжиге **A** и **B**. При обжиге **A** кроме газа **C** еще выделяется вещество **D** в котором валентность более тяжелого элемента I. Если к веществу **D** прибавить раствор с избытком соляной кислоты образуется кислота **E**.

Дополнительная информация:

Параметры решетки вещества **X**:

- $a = 5.289 \text{ \AA}$
- $c = 10.423 \text{ \AA}$
- $z = 4 \text{ \AA}$

(1) Найдите все вышеперечисленные соединения и напишите все реакции. (11 баллов)

У аквакомплексов более тяжелого элемента в соединении **D**, длина связи с лигандами которые находятся в экваториальном положении короче длины связи с лигандами которые находятся в аксиальном положении.

(2) С чем связано это явление? (1 балл)

Задание 2. Солнышко

Вы когда-нибудь смотрели на Солнце? Это больно. Но вся жизнь на Земле существует исключительно благодаря Солнцу. Наверняка вы знаете это еще из детского сада, однако в этой задаче мы рассмотрим процесс фотосинтеза с точки зрения квантовой и физической химии.

Энергия Солнца первым делом оказывается в тилакоидных мембранах хлоропластов. За это ответственны сразу несколько пигментов, которые поглощают почти весь видимый свет. Фотон света переводит один электрон в молекуле на более высокий уровень, а затем этот электрон переходит к другой молекуле в процессе фотоокисления. На самом деле, этот возбужденный электрон проходит довольно большой путь через несколько транспортных молекул

(1) Каким свойством должны обладать молекулы, поглощающие солнечный свет в процессе фотосинтеза? (1 балл)

(2) Рассчитайте энергию фотона с длиной волны в 570 нм (3 балл)

Что же стало с первоначальной молекулой, которую мы наглым образом лишили электрона? Законы химии подсказывают, что она станет окислителем. Действительно, $P680^+$ – сильнейший биологический окислитель с восстановительным потенциалом 1.3 В. Это позволяет ему окислять воду до кислорода.

- (3) Стандартный восстановительный потенциал пары O_2/H_2O составляет 1.23 В. Рассчитайте его значение при биологических условиях. (4 балл)

Вернемся к электронам. С ними происходит еще много чего интересного, но в конечном итоге они восстанавливают $NADP^+$ в $NADPH$, а в ходе всех процессов создается градиент протонов, необходимый для синтеза АТФ.

- (4) Предположим, что средняя длина волны фотонов, поглощаемых в процессе фотосинтеза, составляет 600 нм. На каждую молекулу кислорода, выделяемую в процессе, приходится 4 синтезированных молекулы АТФ, а также 2 молекулы $NADPH$, каждая из которых в теории может произвести еще 2.5 молекул АТФ. Для процесса фотосинтеза на каждый электрон требуется минимум два фотона. Рассчитайте эффективность процесса фотосинтеза, если на формирование 1 моль АТФ требуется 32 кДж энергии.
(4 балл)

Задача 3. Опять математика в химии

Фазовая диаграмма чистого вещества показывает области давления и температуры, при которых различные его фазы термодинамически стабильны. Линии, разделяющие области, которые называются фазовыми границами (или кривыми сосуществования), показывают значения p и T , при которых две фазы сосуществуют в равновесии и их химические потенциалы равны. Отдельная фаза представлена областью на фазовой диаграмме.

Точное расположение границ раздела фаз — давления и температуры, при которых две фазы могут сосуществовать, можно определить с помощью математики. Для этого вам нужно воспользоваться тем фактом, что когда две фазы находятся в равновесии, их химические потенциалы должны быть равны. Следовательно, когда фазы α и β находятся в равновесии, $\mu(\alpha; p, T) = \mu(\beta; p, T)$. Решение этого уравнения для p в терминах T дает уравнение для границы раздела фаз (кривая сосуществования).

Представьте, что при некотором определенном давлении и температуре две фазы находятся в равновесии: тогда их химические потенциалы равны. Теперь, p и T изменяются бесконечно маленькую величину, но таким образом, что фазы остаются в равновесии: после этих изменений химические потенциалы двух фаз изменяются также на одинаковую бесконечно маленькую величину, ведь остаются равными.

- (1) Используя это выведите выражение наклона фазовых границ. Подсказка: $d\mu = V_m dp - S_m dT$. (1 балл)
- (2) Определите знак наклона кривой жидкость-пар. (1 балл)
- (3) Выведите уравнение фазовой границы твердое-жидкость (зависимость p от T).
(2 балл)
- (4) Уравнение фазовой границы жидкость-газ выглядит совсем иным образом, учитывая, что объем газа значительно больше объема жидкости. Используя это, а также уравнение идеального газа, выведите уравнение границы жидкость-газ.
(2 балл)

- (5) Давление пара над твердым Cl_2 равно 2277 Па при -98°C и 57256 Па при -67°C , а давление пара над жидким Cl_2 равно 505.2 Па при -112°C и 5030 Па при -86°C . Определите энтальпию испарения и энтальпию возгонки. (2 балл)

Существует набор условий, при которых три различные фазы вещества (обычно твердая, жидкая и газообразная) одновременно сосуществуют в равновесии. Эти условия представлены тройной точкой – точкой, в которой сходятся границы трех фаз. Тройная точка однокомпонентного вещества не может быть изменена: она возникает при одном определенном давлении и температуре, характерных для данного вещества.

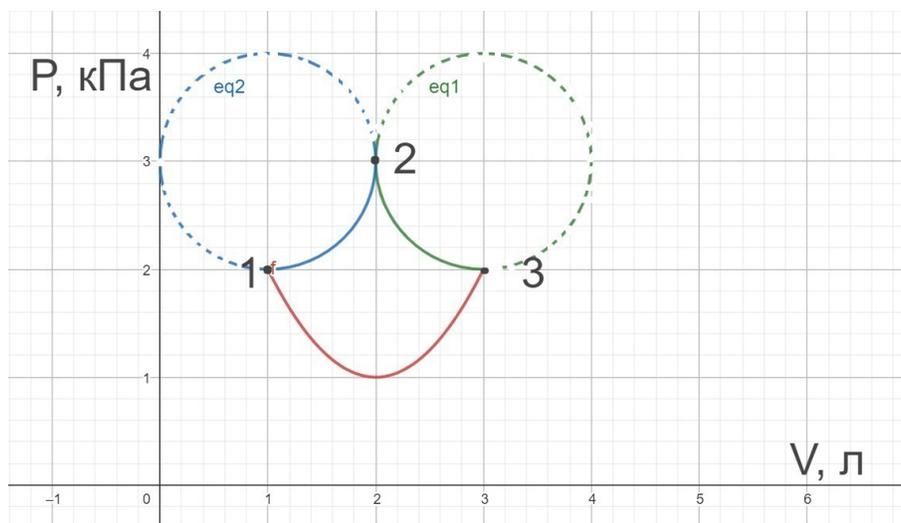
- (6) Используя выражение Клаузиуса–Клапейрона, выведенным вами в 4-ом пункте, определите координаты тройной точки. (4 балл)

Для тех, кто забыл:

Взятие производной, и взятие интеграла являются взаимоотменяющими операциями:

$$\int \left(\frac{df(x)}{dx} \right) dx = f(x)$$

Задание 4. Прикольная термодинамика



Термодинамический цикл описывается 3 функциями:

- 1-2 - уравнение окружности;
- 2-3 - уравнение окружности;
- 3-1 - квадратичная функция.

- (1) Определите все функции, если известно, что график 3-1 это перенесенная функция $P(V) = V^2$. А окружность задается уравнением: (4 балл)

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$$

- (2) Рассчитайте полезную работу цикла. Вам могут пригодиться: (8 балл)

$$\int f(x) + g(x) dx = \int f(x) dx + \int g(x) dx$$

$$\int ax^n dx = a \cdot \frac{x^{n+1}}{n+1} + C, C \in \mathbb{R}$$