

«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2015/16
ФИНАЛЬНЫЙ ТУР. Время на выполнение – 180 минут
11 класс

Задача 11-1

Термическое разложение бесцветного кристаллического вещества X при температуре 450°C привело к образованию смеси трех газообразных продуктов (смесь 1) с плотностью по водороду 40.6. При быстром охлаждении смеси 1 до 150°C выделилось жидкое вещество и осталась газовая смесь 2 с плотностью по водороду 20.7, объем которой в 2.279 раз меньше, чем объем смеси 1 при 450°C. Смесь 2 после охлаждения до 30°C была пропущена через избыток раствора NaOH, в результате чего в газовой фазе остался бесцветный негорючий (но поддерживающий горение) газ с плотностью по водороду 16 и объемом в 4.188 раза меньше, чем объем смеси 2 при 150°C.

1. Определите формулу вещества X.
2. Напишите уравнения реакций, описанных выше;
3. Напишите уравнение реакции, которая протекает при нагревании X до 360-400°C.

Решение

1. Бесцветный негорючий, но поддерживающий горение газ, образовавшийся в конце эксперимента, имеет молярную массу $16 \cdot 2 = 32$ г/моль. Это кислород O_2 .

Реакцию разложения вещества X при 450°C в общем виде можно представить следующим образом: $X \rightarrow A + B + O_2$.

Смесь 2 содержит газ B и O_2 , ее объем равен $V_2 = V(B) + V(O_2)$. При 150°C $V(O_2)$ превышает объем аналогичного количества O_2 при 30°C в $423 \text{ K} / 303 \text{ K} = 1.396$ раз. С учетом этого $[V(B) + V(O_2)] / V(O_2) = 4.188 / 1.396 = 3$, то есть соотношение газов в смеси 2 равно $V(B) : V(O_2) = 2 : 1$.

Средняя молярная масса смеси 2 равна $20.7 \cdot 2 = 41.4$ г/моль. Найдем молярную массу газа B:

$$1/3 \cdot 32 + 2/3 \cdot M(B) = 41.4, M(B) = 46 \text{ г/моль, газ B – это оксид азота (IV) } NO_2.$$

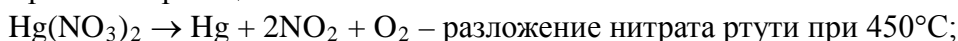
При 450°C $[V(B) + V(O_2)]$ превышает объем аналогичного количества смеси при 150°C в $723 \text{ K} / 423 \text{ K} = 1.709$ раза. С учетом этого $[V(A) + V(B) + V(O_2)] / [V(B) + V(O_2)] = 2.279 / 1.709 = 1.333$, то есть соотношение газов в смеси 1 равно: $V(A) : V(B) : V(O_2) = 1 : 2 : 1$, то есть мольные (объемные) доли газов в этой смеси составляют: $\varphi(A) = \varphi(O_2) = 0.25$, $\varphi(B) = 0.5$.

Средняя молярная масса смеси 1 равна $40.6 \cdot 2 = 81.2$ г/моль. Найдем молярную массу A: $0.25 \cdot 32 + 0.5 \cdot 46 + 0.25 \cdot M(A) = 81.2$, $M(A) = 200.8$ г/моль, вещество A – это ртуть Hg.

Вещество X – это нитрат ртути (II) $Hg(NO_3)_2$.

2.

Уравнения реакций:



3. Разложение нитрата ртути при 360-400°C:



Разбалловка:

За установление формулы вещества X	13 баллов (из них 8 баллов за решение и 5 баллов за формулу)
За уравнения реакций по 4 балла	12 баллов
Всего	25 баллов

Задача 11-2

До 19 века черный порошок (порох) был единственным известным человечеству взрывчатым веществом. В течение многих лет черный порошок широко использовался для военных целей. Сегодня он используется в основном для пиротехнических представлений (сигнальные ракеты, фейерверки), а также в производстве патронов для спортивных ружей. Состав черного пороха может меняться, но он всегда содержит следующие компоненты: селитра (нитрат калия), сера и древесный уголь. Химический анализ образца черного порошка показал следующий состав: 75% селитры, 13% углерода и 12% серы по массе.

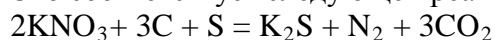
1. Напишите уравнение химической реакции горения черного порошка указанного состава. Объясните роль каждого ингредиента.
2. Какие продукты горения образуются, если порошок будет иметь другой количественный состав? Ответ подтвердите уравнениями соответствующих химических реакций.
3. При сжигании 1.00 г черного пороха указанного состава выделяется 2.15 кДж тепла. Напишите термохимическое уравнение реакции.
4. Рассчитайте скорость пули массой 5.0 г в момент вылета из ствола, выпущенной горизонтально из патрона, содержащего 2.0 г такого же черного пороха. КПД сгорания пороха 35%.
5. Оцените отклонение пули из-за действия силы тяжести, если предполагаемая цель находится в 300 м от стрелка на той же высоте. Соппротивлением воздуха пренебречь.

Решение

1. Молярное соотношение ингредиентов следующие:

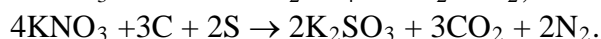
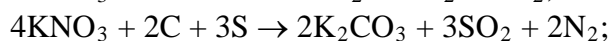
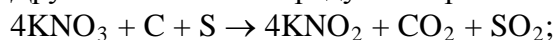
$$n(\text{KNO}_3) : n(\text{C}) : n(\text{S}) = 75/101 : 13/12 : 12/32 = 0.743 : 1.083 : 0.375 = 2 : 3 : 1.$$

Это соответствует следующей реакции:

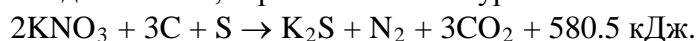


KNO_3 является окислителем, S, C – топливо (восстановитель).

2. Другие возможные продукты горения: KNO_2 , SO_2 , K_2CO_3 , K_2SO_3 , K_2SO_4 .



3. Стехиометрическая смесь указанного состава ($2\text{KNO}_3 + 3\text{C} + \text{S}$) весит 270 г. Следовательно, термохимическое уравнение можно записать следующим образом:



4. Учитывая, что КПД сгорания 2.0 г порошка составляет 35%, пуле передается энергия 1505 Дж. Найдем скорость пули из формулы $E = mv^2/2$: $v = 7.76 \cdot 10^2$ м/с. Время полета пули составляет $t = l/v = 300/776 = 0.39$ сек.

5. Падение пули, вызванное действием силы тяжести, составляет $h = gt^2/2 = 9.8 \cdot (0.39)^2/2 = 0.745$ м.

Разбалловка:

За уравнение реакции в п. 1	5 баллов
За указание функции компонента по 1 баллу	3 балла
За указание других продуктов реакции	3 балла
За уравнения реакции в п. 2	5 баллов
За расчет скорости пули	5 баллов
За оценку точности попадания пули	4 балла
Всего	25 баллов

Задача 11-3

Сколько 10-граммовых кусочков сахара потребовалось бы альпинисту для подъема на Эверест высотой 8848 м, если допустить следующее. Энергетическая ценность сахарозы составляет 16.5 кДж/г при аэробном усвоении ее организмом до $\text{CO}_{2(\text{г})}$ и $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$, и только 10% высвобожденной энергии тратится на преодоление силы тяжести при подъеме на гору. Другого питания альпинист не использовал. Масса альпиниста 80 кг сохранялась неизменной все время пути. Ускорение свободного падения постоянное и равное 9.8 м/с^2 . Запишите термохимическое уравнение реакции усвоения сахарозы. Определите мольную энтальпию образования сахарозы, если известны $\Delta H^\circ_{\text{обр. CO}_{2(\text{г})}} = -394 \text{ кДж/моль}$, а $\Delta H^\circ_{\text{обр. H}_2\text{O}_{(\text{ж})}} = -286 \text{ кДж/моль}$. Предложите уравнения и условия реакций для получения диэтилового эфира из сахарозы по схеме:



Рассчитайте максимально возможный выход эфира в молях на 1 моль сахарозы.

Решение

Найдем затраты потенциальной энергии на подъем человека в гору:

$$E_{\text{потенц.}} = mgh = 80 \cdot 9.8 \cdot 8848 = 6936.8 \text{ кДж.}$$

Найдем общие затраты энергии $E = 10E_{\text{потенц.}} = 69368 \text{ кДж}$.

Найдем массу сахара: $m = E/16.5 = 69368/16.5 = 4204 \text{ г}$. Это 420.4 кусочка.

Молярная масса сахарозы равна 342 г/моль. Найдем мольную

$$\Delta H^\circ_{\text{сгорания сахарозы}} = -342 \cdot 16.5 = -5643 \text{ кДж/моль.}$$

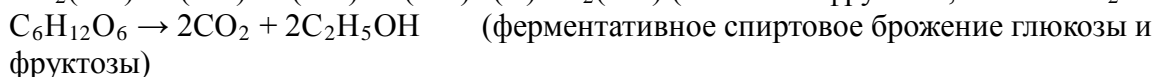
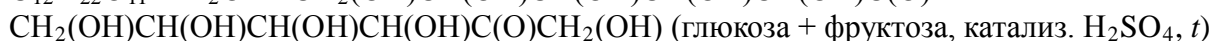
Составим термохимическое уравнение:



Пользуясь законом Гесса, определим энтальпию образования сахарозы.

$$\Delta H^\circ_{\text{реакции сгорания}} = 12\Delta H^\circ_{\text{обр. CO}_{2(\text{г})}} + 11\Delta H^\circ_{\text{обр. H}_2\text{O}_{(\text{ж})}} - \Delta H^\circ_{\text{обр. C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(\text{т})}}$$

$$-5643 = -12 \cdot 394 - 11 \cdot 286 - \Delta H^\circ_{\text{обр. C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(\text{т})}}. \Delta H^\circ_{\text{обр. C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(\text{т})}} = -4728 - 3166 = -2231 \text{ кДж/моль.}$$



Максимальный выход эфира равен 2 моль на 1 моль сахарозы.

Разбалловка:

За расчет потенциальной энергии	3 балла
За расчет числа кусочков сахара	3 балла
За термохимическое уравнение	3 балла
За расчет $\Delta H^\circ_{\text{обр. C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(\text{т})}}$	5 баллов
За 3 уравнения с условиями по 3 б.	9 баллов
За расчет выхода эфира	2 балла
Всего	25 баллов

Задача 11-4

В домашнем эмалированном чайнике от использования жесткой воды появилась толстая твердая корка накипи. Если бы был проведен химический анализ накипи, то было бы установлено, что она состоит из двух кальциевых солей **A**, **B** в мольном соотношении 4:1. Соль **A** способна полностью растворяться в соляной кислоте с выделением газа, объемом 224 мл (н.у.) на 1 г соли **A**. Соль **B** можно растворить в большом количестве воды, добавить избыток раствора BaCl_2 , при этом выпадет белый нерастворимый в HNO_3 осадок массой 1.713 г на 1 г соли **B**. Хозяин решил почистить чайник химической обработкой, залил в него немного 6%-го столового уксуса, поставил на огонь, а сам сел перед телевизором и заснул. Проснувшись, он обнаружил на огне пустой перегревшийся до 200°C чайник, в кухне пахло уксусом и ацетоном. После того, как чайник остыл, хозяин заглянул вовнутрь и увидел, что эмаль чайника не пострадала, на стенках накипи не было, но на дне лежал белый порошок.

Определите состав накипи и конечного порошка. Напишите уравнения реакций:

- анализа соли **A**;
- анализа соли **B**;
- реакции с участием уксуса;
- реакции с выделением ацетона;
- реакции, приводящей к осаждению соли **A** в чайнике при использовании жесткой воды.

Решение

Соль **A** — карбонат кальция.

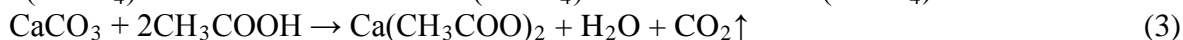


$$n(\text{CaCO}_3) = 1/100 = 0.01 \text{ моль. } n(\text{CO}_2) = 0.01 \text{ моль. } V(\text{CO}_2) = 0.01 \cdot 22.4 = 0.224 \text{ л (224 мл).}$$

Соль **B** — сульфат кальция.



$$n(\text{CaSO}_4) = 1/136 = 0.00735 \text{ моль. } n(\text{BaSO}_4) = 0.00735 \text{ моль. } m(\text{BaSO}_4) = 0.00735 \cdot 233 = 1.713 \text{ г.}$$



Состав накипи: CaCO_3 и CaSO_4 (4:1). Состав конечного порошка - такой же.

Разбалловка:

За определение формул A, B по 3 б.	6 баллов
За установление состава конечного порошка	2 балла
За уравнение реакции №4 с выделением ацетона	5 баллов
За 4 уравнения реакций №1,2,3,5 по 3 б.	12 баллов
Всего	25 баллов