

**«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ». Химия.
ОЧНЫЙ ФИНАЛЬНЫЙ ТУР 2020/21**

Время на выполнение заданий – 180 минут.

11 класс

Задача 11-1

Для того чтобы теннисный мяч хорошо отскакивал от корта необходимо, чтобы давление внутри мяча несколько превышало атмосферное. Для этого, перед тем как склеить две полусферы мяча, в них кладут таблетку двух солей. Склеенные резиновые половинки мяча помещают в форму и нагревают. В результате в нем протекает реакция с выделением газа, который и дает избыточное давление.

Для одного мяча используют таблетку, которая содержит эквимольярную смесь двух солей **А** и **Б**. В результате полного прохождения реакции образуется газ **В**, который увеличивает давление в мяче до 1.2 атм. При комнатной температуре плотность газовой смеси в мяче по водороду 14.335. Известно, что при нагревании соли **А** образуется лишь газообразная смесь, плотность которой по водороду равна 13.375. Вещество **Б** окрашивает пламя в желтый цвет и является солью слабой одноосновной кислоты, которая существует только в разбавленных водных растворах и при нагревании превращается в сильную кислоту с окислительными свойствами.

1. Определите компоненты таблетки, предполагая, что воздух содержит только два компонента и объемная доля кислорода составляет 20%. Ответ подтвердите необходимыми расчетами.

2. Напишите уравнения реакций, протекающих при нагревании таблетки, и других реакций, о которых идет речь в условии задачи.

3. Почему в профессиональных теннисных соревнованиях теннисные мячи заменяют каждые 20-30 минут на новые, несмотря на то, что они являются целыми?

Решение

1.

Для расчета молярной массы образующегося газа **В** воспользуемся соотношением:

$$M(\text{В}) \cdot \varphi(\text{В}) + M(\text{воздуха}) \cdot \varphi(\text{Воздуха}) = M(\text{газовой смеси}),$$

где $M(\text{В})$ – молярная масса **В**;

$\varphi(\text{В})$ – мольная доля **В** в газовой смеси;

$M(\text{воздуха})$ – молярная масса воздуха;

$\varphi(\text{воздуха})$ – мольная доля воздуха в газовой смеси;

$M(\text{газовой смеси})$ – молярная масса газовой смеси.

Установим молярную массу воздуха указанного состава:

$$M(\text{воздуха}) = 0.2 \cdot 32 + 0.8 \cdot 28 = 28.8 \text{ г/моль.}$$

Рассчитаем молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{газовой смеси}) = D(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 14.335 \cdot 2 = 28.67 \text{ г/моль.}$$

Мольные доли газов вычислим исходя из парциального давления газов в смеси:

$$\varphi(\text{В}) = 0.2/1.2 = 0.17 \quad \varphi(\text{воздуха}) = 1/1.2 = 0.83.$$

С учетом преобразований получаем следующее уравнение:

$$M(\text{В}) \cdot 0.2/1.2 + 28.8 \cdot 1/1.2 = 28.67,$$

отсюда получаем $M(\text{В}) = 28 \text{ г/моль.}$

Таким образом, газ **В** – это N_2 или CO , но CO не образуется при взаимодействии двух солей, поэтому газ **В** – это азот N_2 .

Учитывая, что при нагревании соли **А** образуется лишь газообразная смесь, а при нагревании таблетки выделяется N_2 , можно предположить, что **А** – это хлорид аммония NH_4Cl . Это предположение подтверждается расчетами.

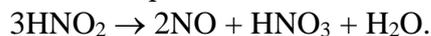


$$M(\text{смеси}) = M(\text{NH}_3) \cdot \varphi(\text{NH}_3) + M(\text{HCl}) \cdot \varphi(\text{HCl}) = 17 \cdot 0.5 + 36.5 \cdot 0.5 = 26.75 \text{ г/моль}.$$

$$\text{С другой стороны: } M(\text{смеси}) = D(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 13.375 \cdot 2 = 26.75 \text{ г/моль}.$$

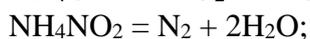
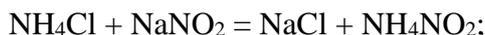
Таким образом, соль **A** – NH_4Cl .

По описанию вещество **B** соответствует нитриту натрия NaNO_2 , который окрашивает пламя в желтый цвет из-за присутствия ионов натрия, и является солью слабой азотистой кислоты, которая существует только в разбавленных водных растворах и при кипячении разрушается с образованием сильной азотной кислоты с окислительными свойствами:



Таким образом, таблетка представляет собой эквимольную смесь NH_4Cl и NaNO_2 .

2.



3.

Это связано с тем, что газ может понемногу диффундировать сквозь резину. Вследствие этого давление в мяче уменьшается, что ухудшает его игровые качества. На соревнованиях сила ударов теннисистов ракеткой по мячу очень большая, и диффузия ускоряется.

Разбалловка:

За установление состава таблетки (расчеты + правильный ответ)	5+5+5 =	15 б
За написание уравнения реакций	2·4 =	8 б
За ответ на вопрос 3		2 б

Итого 25 баллов

Задача 11-2

При сжигании 89.2 мг пигмента, выделенного из фотосинтезирующего организма, в избытке кислорода образуется 242 мг **A**, 64.8 мг **B**, 5.60 мг **B** и 4.00 мг **Г**.

1. О каких веществах идет речь, если известно, что **A** – это газ, который используют для газирования напитков, **B** – жидкость, которая является основой этих напитков, **B** – газ, содержащийся в воздухе, **Г** – белый порошок, который является оксидом легкого широко используемого металла, содержание которого в земной коре составляет около 2.35%.

2. Установите химическую формулу пигмента, учитывая, что его молекула содержит только один атом металла.

3. Напишите уравнение реакции горения пигмента.

Решение

1.

Напитки газуют углекислым газом, основой напитков является вода, самый распространенный газ в атмосфере – азот, а белый порошок – это оксид магния.

2.

Определим количества образованных веществ и массы элементов в молекуле пигмента:

$$n(\text{CO}_2) = 242 \text{ мг}/44 \text{ г/моль} = 5.5 \text{ ммоль}; n(\text{C}) = 5.5 \text{ ммоль}; m(\text{C}) = 5.5 \cdot 12 = 66 \text{ мг}.$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 64.8 \text{ мг}/18 \text{ г/моль} = 3.6 \text{ ммоль}; n(\text{H}) = 7.2 \text{ ммоль}; m(\text{H}) = 7.2 \cdot 1 = 7.2 \text{ мг}.$$

$$n(\text{N}_2) = 5.6 \text{ мг}/28 \text{ г/моль} = 0.2 \text{ ммоль}; n(\text{N}) = 0.4 \text{ ммоль}; m(\text{N}) = 0.4 \cdot 14 = 5.6 \text{ мг}.$$

$$n(\text{MgO}) = 4.0 \text{ мг}/40 \text{ г/моль} = 0.1 \text{ ммоль}; n(\text{Mg}) = 0.1 \text{ ммоль}; m(\text{Mg}) = 0.1 \cdot 24 = 2.4 \text{ мг}.$$

$$m(\text{O}) = 89.2 - 66 - 7.2 - 5.6 - 2.4 = 8 \text{ мг}; n(\text{O}) = 8/16 = 0.5 \text{ ммоль}.$$

Соотношение количеств элементов в молекуле пигмента:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{N}) : n(\text{O}) : n(\text{Mg}) = 5.5 : 7.2 : 0.4 : 0.5 : 0.1 = 55 : 72 : 4 : 5 : 1.$$

Таким образом, формула пигмента $\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{N}_4\text{O}_5\text{Mg}$.

3.



Разбалловка:

За указание веществ по 2 б

2·4 = 8 б

За установление формулы

12б

За уравнение реакции

5 б

Итого 25 баллов

Задача 11-3

Твердое вещество А и жидкое Б при сгорании образуют только CO_2 и воду. Оба вещества содержат в молекуле по 3 атома кислорода. Массовая доля водорода меньше массовой доли кислорода в 12 раз (А) и в 6 раз (Б). Массовая доля углерода больше, чем массовая доля водорода в 24 раза (А) и в 4.5 раза (Б). При длительном нагревании смеси А + Б + масляная кислота (1:1:1) при температуре выше $100^\circ C$ в присутствии серной кислоты (катализатор) получается полимерная алкидная смола В, раствор которой в углеводородном растворителе применяется как основа для глифталевой алкидной краски. Алкидную полимерную смолу можно растворить в горячем спиртовом растворе щелочи. Если проводить реакцию А + Б (1:1) в отсутствие масляной кислоты, то получится полимерная алкидная смола Г, которая отличается от смолы В пониженной растворимостью в углеводородных растворителях.

Составьте структурные формулы А, Б, В, Г, считая В и Г линейными неразветвленными полимерами.

Напишите уравнение реакции синтеза алкидных смол В и Г.

Напишите уравнение реакции, протекающей при растворении смолы В в щелочи.

Напишите уравнения промышленного получения А из нафталина $C_{10}H_8$ в 1 стадию; Б из пропена в три стадии через промежуточное последовательное образование C_3H_4O и C_3H_6O .

Предположите объяснение различия растворимости смол В и Г в неполярных углеводородных растворителях.

Решение

Пусть вещество А имеет формулу $C_xH_yO_3$.

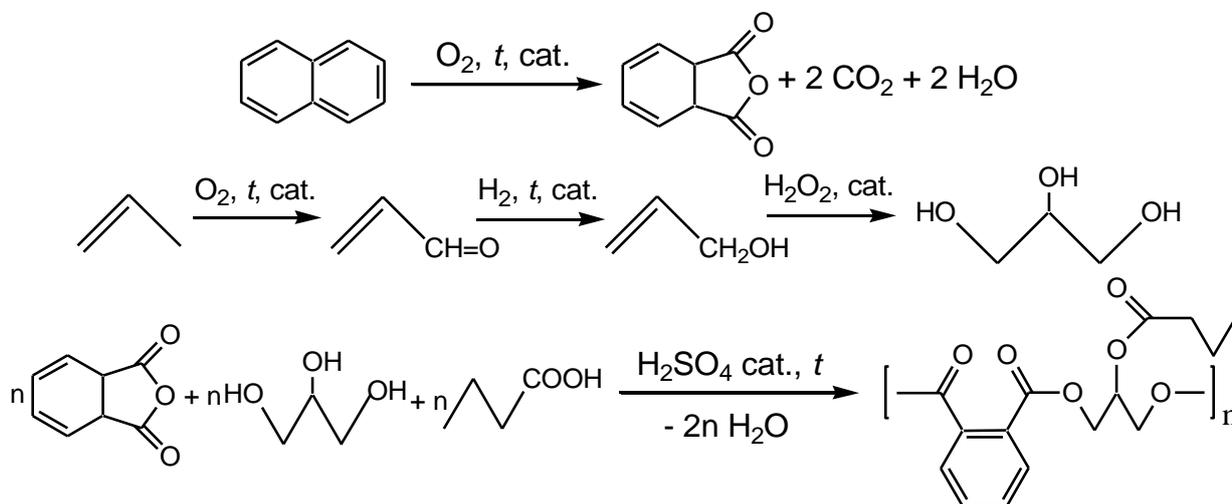
$\omega(O)/\omega(H) = 12 = 48/y$. Отсюда $y=4$. Формулу опростим: $C_xH_4O_3$.

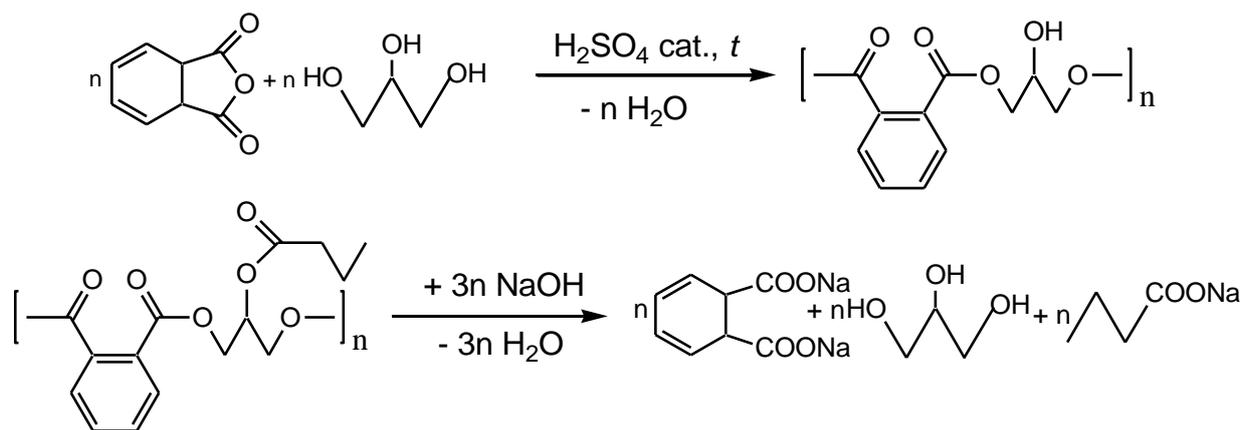
$\omega(C)/\omega(H) = 24 = 12x/4$. Отсюда $x=8$. Формула А: $C_8H_4O_3$. Это фталевый ангидрид.

Аналогично пусть вещество Б имеет формулу $C_xH_yO_3$.

$\omega(O)/\omega(H) = 6 = 48/y$. Отсюда $y=8$. Формулу опростим: $C_xH_8O_3$.

$\omega(C)/\omega(H) = 4.5 = 12x/8$. Отсюда $x=3$. Формула Б: $C_3H_8O_3$. Это глицерин.





Растворимость в неполярных растворителях выше у смолы В по сравнению с Г, так как вместо полярной гидроксигруппы имеется неполярная сложноэфирная группа с алкильным радикалом на конце.

Разбалловка

За структурные формулы А, Б по 3б	6 б
За структурные формулы В, Г по 2б	4 б
За 7 уравнений реакции по 2б	14б
За объяснение различия растворимости смол В и Г	1б

Итого 25 баллов

Задача 11-4

Твердый кристаллогидрат А ацетата натрия содержит 16.91% металла. При нагревании его выше 58°C он плавится. Будучи медленно охлажденным в покое до комнатной температуры, он остается жидким, но дальше при энергичном перемешивании стеклянной палочкой быстро сам разогревается.

1. Определите формулу кристаллогидрата А.
2. Что происходит с веществом в момент разогревания, откуда берется энергия?
3. Рассчитайте мольную энтальпию данного процесса, если в опыте с 27.2г кристаллогидрата А выделилась теплота, достаточная для нагревания 180г воды на 10°C (известно, что теплоемкость воды $C(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}})=4.183 \text{ Дж/г}\cdot\text{град}$).
4. Имеются 4 таблетки соды (по 1.060г безводного карбоната натрия в каждой), 4 таблетки безводного ацетата натрия (по 0.5000г), 4 ампулки с 43.497%-ным водным уксусом (по 5.5176г). Сколько каких таблеток и ампул нужно использовать, чтобы после перемешивания полученной смеси при нагревании с последующим охлаждением до комнатной температуры сразу получить чистый кристаллогидрат А нужного состава?



Решение

1. Запишем общую формулу кристаллогидрата как $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ или $\text{AcONa}\cdot n\text{H}_2\text{O}$. Найдем $\omega(\text{Na})=23/(82+18n)=0.1691$. $82+18n=136$. $n=3$. Формула А: **$\text{AcONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$** .
2. Во время **затвердевания пересыщенного раствора** ацетата натрия происходит **кристаллизация $\text{AcONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$** и выделяется энергия за счет **образования прочной кристаллической решетки**.
3. Найдем $n(\text{AcONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O})=27.2/136=0.2$ моль. Найдем выделившееся Q по теплоемкости воды. $Q=C(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}})\cdot m(\text{H}_2\text{O})\cdot \Delta T=4.183\cdot 180\cdot 10=7529.4 \text{ Дж}$. Найдем мольную энтальпию кристаллизации $\text{AcONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$. $\Delta H(\text{крист. AcONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O})=-Q/n(\text{AcONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O})=-7529.4/0.2$

= -37647 Дж/моль = **-37.647 кДж/моль.**

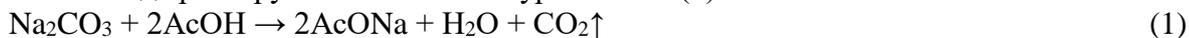
4. Определим количества веществ в каждой таблетке и ампуле:

- В 1 таблетке соды $n(\text{Na}_2\text{CO}_3)=1.06/106=0.01$ моль.

- В 1 таблетке ацетата $n(\text{AcONa})=0.5/82=0.0061$ моль.

- В 1 ампулке уксуса $n(\text{AcOH})=5.5176 \cdot 0.43497/60=0.04$ моль, а также $n(\text{H}_2\text{O})=5.5176 \cdot (1-0.43497)/18=0.1732$ моль.

Сода реагирует с кислотой по уравнению (1):



Соотношение соды и кислоты должно быть 2:1. Значит должны быть два варианта комбинаций:

а) **2 таблетки соды + 1 ампула уксуса,**

б) 4 таблетки соды + 2 ампулы уксуса.

Проверим вариант №1. В результате реакции по уравнению (1) получатся AcONa 0.04 моль и H₂O (0.02 моль).

Суммарное количество воды получится $n(\text{H}_2\text{O})=0.1732+0.02=0.1932$ моль

Для образования тригидрата AcONa·3H₂O из этого количества воды потребуется

$n(\text{AcONa})=0.1932/3=0.0644$ моль. По уравнению (1) уже выделилось 0.04 моль, значит пока не хватает 0.0244 моль AcONa. Такое количество содержится ровно в **4 таблетках ацетата.**

Вариант (б) не подходит, так как не хватит таблеток ацетата.

Разбалловка

За формулу кристаллогидрата AcONa·3H ₂ O	36
За объяснение причины выделения теплоты	36
За расчет $Q=7529.4$ Дж и $\Delta H_{\text{крист}}=-37.647$ кДж/моль по 3б	66
За уравнение реакции	36
За указание количества таблеток и ампул 2+4+1 по 2б	66
За $n(\text{H}_2\text{O})=0.1732+0.02=0.1932$ моль и $n(\text{AcONa})=0.04+0.0244=0.0644$ моль по 2б	46

Итого 25 баллов