



Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
ОТВЕТЫ

XVIII Российской дистанционной олимпиады школьников по химии-2018
(XVI Международной дистанционной олимпиады школьников
«Интер-Химик-Юниор-2018»)

При составлении ответов использовались работы участников олимпиады

1. Установите, какие два вещества прореагировали и напишите уравнения химических реакций, в результате которых образуются следующие продукты (указаны без коэффициентов):

- А) ? + ? → HPO₃ + N₂O₅.
 Б) ? + ? → CaCl₂ + HCl + S↓.
 В) ? + ? → NO↑ + Fe(NO₃)₃ + H₂O + S↓.
 Г) ? + ? → H₂S↑ + NaNO₃ + Ag₂S↓.
 Д) ? + ? → NO₂↑ + Cu₃(PO₄)₂.

Ответ:

- А) P₂O₅ + 4 HNO₃ = 2 HPO₃ + N₂O₅
 Б) Ca(HS)₂ + 2 Cl₂ → CaCl₂ + 2 HCl + 2 S↓.
 В) FeS + 4 HNO_{3(разб.)} → NO↑ + Fe(NO₃)₃ + 2 H₂O + S↓.
 Г) 2 AgNO₃ + 2 NaHS → H₂S↑ + NaNO₃ + Ag₂S↓.
 Д) Cu₃P₂ + 8 N₂O₅ → 16 NO₂↑ + Cu₃(PO₄)₂.

2. В 280 мл 20,0 мас.% раствора ортофосфорной кислоты (ρ=1,116 г/мл) растворили 32,5 л (н.у.) аммиака. Определите состав полученного после протекания всех химических реакций и массовые доли растворенных веществ в этом растворе.

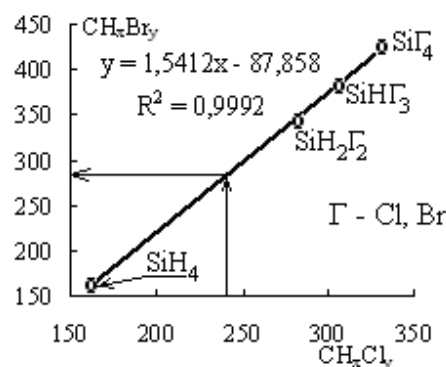
Решение. Масса исходного раствора равна 280·1,116=312,5 г. Масса кислоты m(H₃PO₄)=62,50 г; n(H₃PO₄)=0,638 моль. Масса растворенного аммиака равна 17·32,5/22,4=24,7 г. n(NH₃)=1,45 моль – в избытке. Протекающие реакции:

1. H₃PO₄ + NH₃ = NH₄H₂PO₄; 2. NH₄H₂PO₄ + NH₃ = (NH₄)₂HPO₄; 3. (NH₄)₂HPO₄ + NH₃ = (NH₄)₃PO₄;
 В результате реакции (1) израсходуется 0,638 моль аммиака. Останется 0,812 моль NH₃. Этого количества достаточно для протекания реакции (2), в результате которого останется 0,174 моль NH₃. Этот аммиак прореагирует с 0,174 моль (NH₄)₂HPO₄ с образованием (NH₄)₃PO₄.

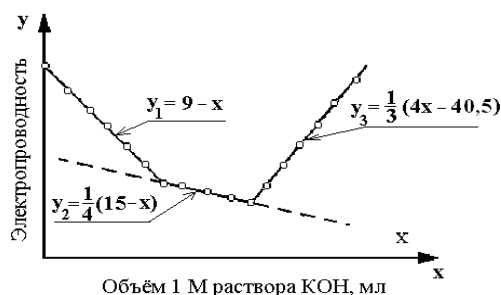
В результате получается **0,464 моль (NH₄)₂HPO₄** и **0,174 моль (NH₄)₃PO₄**. Масса конечного раствора равна 312,5+24,7=337,2 г. Массовая доля (NH₄)₂HPO₄ равна 0,464·132/337,2=0,182 или **18,2 %**. Массовая доля (NH₄)₃PO₄ равна 0,174·149/337,2=0,0769 или **7,69 %**.

3. Моносилан кипит при температуре 161 К. Его хлорпроизводные кипят при температурах 331, 305, 282 и 243 К. Температуры кипения трех бромпроизводных силана равны: 343, 381 и 426 К. Температура кипения SiH₃Br точно не определена. Оцените температуру кипения SiH₃Br.

Решение. Для определения неизвестной температуры кипения SiH₃Br лучше всего воспользоваться методом сравнительного расчета, предложенным в середине прошлого века профессором МХТИ им. Д.И. Менделеева **Михаилом Карапетьянцем**. Зависимость температуры кипения бромпроизводных от хлорпроизводных силана (см. рисунок) описывается уравнением y=1,5412x-87,858. Подставив в это уравнение t_{кип.} SiH₃Cl=243 К, получаем t_{кип.}(SiH₃Br)=286,6 К.



4. В сосуде для измерения электропроводности (ЭП) 1,0 молярным раствором KOH провели нейтрализацию 20 мл смеси уксусной и соляной кислот. По полученным экспериментальным значениям ЭП построили график y=f(x), где y – удельная ЭП, x – объем щелочи (мл). Полученные точки укладываются на три пересекающиеся прямые (см. рисунок). Определите молярные концентрации кислот в исходной смеси.



Решение. Соотношение между объемами (V) и молярностями (M) реагирующих в нашем случае веществ: $V_{\text{KOH}}M_{\text{KOH}}=V_{\text{кислоты}}M_{\text{кислоты}}$. Титруется сначала HCl, потом CH₃COOH (HAc).

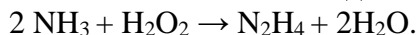
По точкам пересечения находим объем щелочи, пошедший на титрование HCl: $y_1=y_2$.

$9-x_1=1/4(15-x_1)$. $x_1=7$ мл. Концентрация HCl равна $M_{\text{HCl}}=V_{\text{KOH}}M_{\text{KOH}}/V_{\text{HCl}}=7 \cdot 1/20=0,35$ моль/л.

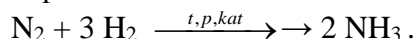
Вторая точка пересечения соответствует объему KOH, израсходованному на титрование двух кислот: $y_2=y_3$. $1/4(15-x_2)=1/3(4x_2-40,5)$. $x_2=9$ мл. На титрование HAc пошло $9-7=2$ мл 1 М KOH. Концентрация HAc равна: $M_{\text{HAc}}=V_{\text{KOH}}M_{\text{KOH}}/V_{\text{HAc}}=2 \cdot 1/20=0,1$ моль/л.

5. Используя только воздух и воду, предложите способ получения гидразина. Любая аппаратура и катализаторы в Вашем распоряжении.

Решение. Для получения аммиака можно использовать метод Байера:



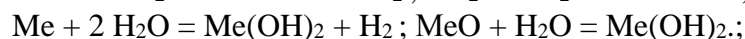
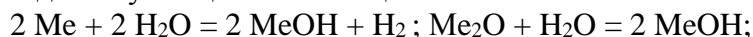
Для получения аммиака азот отделяется от кислорода фракционной перегонкой жидкого воздуха, а водород получается электролизом воды. Синтез аммиака проводится при повышенных давлении и температуре в присутствии катализатора:



H₂O₂ получается окислением водорода кислородом воздуха в растворе C₆H₆. В качестве катализатора используются алкилпроизводные антрахинона. Этот метод разработан компанией BASF в 30-х годах прошлого века и в середине XX века вытеснил персульфатный процесс синтеза пероксида водорода.

6. В результате взаимодействия 17,2 г смеси металла и его оксида с водой получилось 22,4 г гидроксида. Определите массовые доли металла и его оксида в исходной смеси.

Решение. С водой взаимодействуют щелочные и щелочноземельные металлы и их оксиды:



Для данного металла максимальное количество гидроксида получается при взаимодействии 17,2 г металла с водой, а минимальное – при взаимодействии 17,2 г оксида с водой.

При взаимодействии 17,2 г лития, например, получается 59,0 г гидроксида, а 17,2 г оксида лития – 27,52 г гидроксида. Литий не удовлетворяет условию задачи. Проверяя, таким образом, другие металлы, находим, что условию задачи отвечают натрий, калий и стронций.

Проведем расчет для калия. Обозначив за x содержание металла можно записать

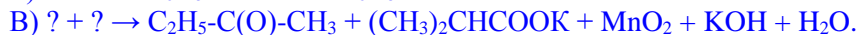
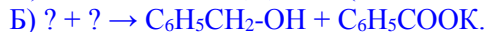
$$56/39 x + 112/94(17,2 - x) = 22,4.$$

Решая уравнение, получаем $x=7,8$ г (калий), $17,2 - x=9,4$ г (оксид калия).

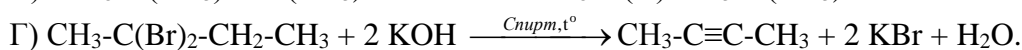
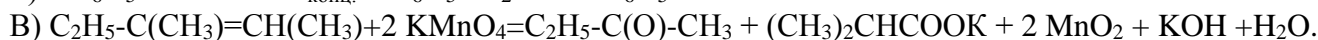
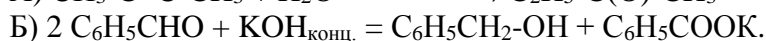
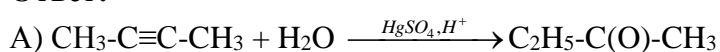
Решая аналогичным образом задачу для натрия и стронция получаем в результате:

Металл	Натрий	Калий	Стронций
Содержание металла	2,67 %	45,35 %	60,58 %
Содержание оксидов	97,33 %	54,65 %	39,42 %

7. Установите какие два вещества прореагировали и напишите уравнения химических реакций, в результате которых образуются следующие продукты (указаны без коэффициентов):

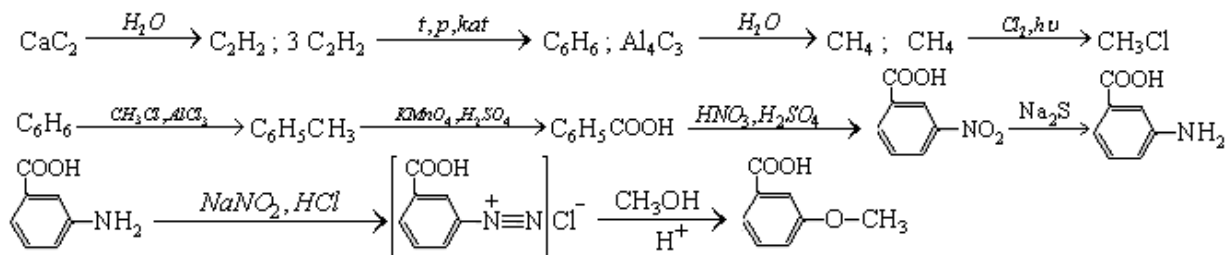


Ответ:



8. Используя только неорганические вещества и полученные из них органические промежуточные соединения, предложите два способа получения мета-метоксибензойной кислоты. Любая аппаратура и катализаторы в Вашем распоряжении.

Ответ. Ниже приведена схема получения мета-метоксибензойной кислоты.



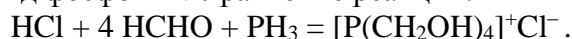
Возможны также и другие варианты получения требуемого соединения.

9. Соединение **X** используется в промышленности для дезинфекции воды. В реакционный сосуд емкостью 268,8 л поместили три газа (при н.у.) с резким запахом в мольном соотношении 1:1:4, которые прореагировали с образованием 381 г вещества **X**, которое не имеет запаха. Известно, что в результате взаимодействия вещества **X** с PCl_5 образуются три продукта реакции с массовой долей хлора **67,10**; **69,38** и **97,26** %. Установите формулу вещества **X** и напишите уравнения всех протекающих реакций.

Решение. 268,8 л (н.у.) – 12 моль газов. Значит 2 моль одного, 8 моль другого и 2 моль третьего взято газов. Предположим, что получилось 2 моль вещества **X**. Тогда его молярная масса составит 190,5 г/моль. Поскольку пять десятых – значит в состав **X** входит хлор ($M=35,5$ г/моль). Реакция с PCl_5 : $\text{X} + \text{PCl}_5 = \text{POCl}_3 + \text{HCl} + [\text{P}(\text{CH}_2\text{Cl})_4]\text{Cl}$.

По массовым долям хлора определяем вещества: POCl_3 (69,38%); HCl (97,26 %) и $[\text{P}(\text{CH}_2\text{Cl})_4]\text{Cl}$ с массовой долей хлора 67,10 % Cl . Если вещество **X** содержит один атом хлора, значит остаток атомной массы (без хлора) равен $190,5 - 35,5 = 155$ г/моль. Органический газ с резким запахом – формальдегид. При соединении 1 моль HCl , 4 моль HCHO и 1 моль неизвестного газа **Y** получается $\text{YC}_4\text{H}_9\text{O}_4\text{Cl}$. Молярная масса газа **Y** равна: $190,5 - 48 - 9 - 64 - 35,5 = 34$ г/моль. Газ **Y** – PH_3 .

Ответ: Три газа с резким запахом HCHO , PCl_3 , HCl . Соединение **X** – $[\text{P}(\text{CH}_2\text{OH})_4]^+\text{Cl}^-$ – тетракис(гидроксиэтил)хлорид фосфония. Уравнение реакции:



10. Реакция Дильса-Альдера широко используется в органической химии для получения новых соединений. Непредельный фторсодержащий углеводород **A** и другой органический газ **B**, плотность которого по **A** равна **0,52** в мольном соотношении 1:1 прореагировали на свету с образованием двух изомерных жидких веществ **B** и **Г**. Один из полученных изомеров **B** взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра и дает осадок с массовой долей углерода **27,8** % и массовой долей серебра **41,7** %. При мягком гидрировании двух изомеров **B** и **Г** получается одно и то же соединение **Д** с массовой долей углерода **46,15** %. Определите вещества **A**, **Б**, **В**, **Г**, **Д** и напишите уравнения всех протекающих химических реакций.

Ответ: Фторсодержащий углеводород $\text{CF}_2=\text{CF}_2$. Органический газ $\text{CH}_2=\text{CH}\equiv\text{CN}$. Плотность $D=52:100=0,52$. Продукт реакции с серебром $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_4-\text{C}\equiv\text{CAg}$. $M=259$. $\%(\text{Ag})=108/259=41,7$. Массовая доля углерода – $72:259=27,8$ %. При гидрировании получается $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_4-\text{CH}_2-\text{CH}_3$. Массовая доля углерода $72:156=46,15$ %.

Ответ:

A	Б	В	Г	Д
$\text{CF}_2=\text{CF}_2$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{CN}$			

Реакция Дильса-Альдера:

