

LXXII Московская олимпиада школьников по химии

Заключительный этап

Теоретический тур

21 февраля 2016 года

10 класс

Решения всех заданий считаются полными только в том случае, если записаны все необходимые уравнения реакций, расчеты и рассуждения.

10-1. В шести пронумерованных колбах без этикеток содержатся пропанол, циклогексан, пропионовый альдегид, этиленгликоль, муравьиная кислота и уксусная кислота. Предложите план определения содержимого каждой колбы на основе известных вам химических свойств этих веществ. В вашем распоряжении имеются любые реактивы и неограниченное количество пустых пробирок. Напишите уравнения реакций, которые вам потребуется провести.

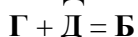
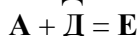
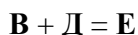
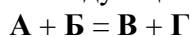
10-2. Образец металла массой 3,47 г полностью растворили в 20 %-ном растворе гидроксида натрия, при этом выделилось 5,6 л газа (н.у.). Такой же образец металла (той же массы) сожгли на воздухе, и продукты сгорания затем полностью растворили в 20 %-ном растворе гидроксида натрия, при этом было получено 1,12 л газа (н.у.).

а) Определите, какой металл был взят. Ответ подтвердите рассуждением и расчетом.

б) Объясните результаты эксперимента и напишите уравнения реакций.

в) Рассчитайте массу продуктов сгорания металла.

10-3. Вещества **A**, **B**, **B**, **Г**, **Д**, **Е** вступают в следующие реакции (приведены схемы превращений без коэффициентов):



Дополнительно известно, что **A** — металл, вещество **B** содержит 44,1 % этого металла, вещество **Г** — газ, а во всех указанных веществах суммарно содержится всего три элемента.

а) Определите вещества **A**, **B**, **B**, **Г**, **Д**, **Е**. Ответ подтвердите рассуждением и расчетом.

б) Напишите уравнения двух реакций, в которых вещество **E** превращается в вещество **B**, укажите условия их протекания.

10-4. Смесь этана, этилена и ацетилена содержит 32% этана по объему. Один литр (н.у.) данной смеси может присоединить 6,4 г брома. Определите состав смеси в % по объему и массу воды, которая получится при сжигании 1 л (н.у.) этой смеси.

10-5. К 100 мл раствора бихромата калия с концентрацией 0,1 моль/л прибавили раствор серной кислоты с концентрацией 1 моль/л и затем пропустили в раствор избыток газообразного оксида серы(IV). При осторожном упаривании раствора был получен единственный продукт, масса которого составила 9,98 г.

а) Опишите происходящие процессы, определите формулу продукта и напишите уравнение реакции.

б) Рассчитайте объем добавленного раствора серной кислоты, считая, что реакции протекают количественно.

10-6. При нагревании с активированным углем углеводород **M** превращается в углеводород **N**, который взаимодействует с углеводородом **O** в присутствии фосфорной кислоты, образуя углеводород **X**. При осторожном окислении **X** кислородом воздуха образуется неустойчивое соединение с брутто-формулой $C_9H_{12}O_2$, которое разлагается с образованием продуктов **Y** и **Z** (брутто-формула **Z** — C_3H_6O). Вещество **Y** — важный промышленный продукт, причем 90 % его мирового производства основано на описанном превращении углеводорода **X**.

а) Расшифруйте вещества **M**, **N**, **O**, **X**, **Y** и **Z**, напишите уравнения реакций.

б) Предложите другой способ получения вещества **Y**.

в) В чем вы видите преимущества указанного метода получения **Y** из **X** для промышленного использования?

РЕКОМЕНДАЦИИ К РЕШЕНИЮ

10-1.

Один из вариантов плана:

- 1) Провести реакцию с карбонатом натрия. В нее вступают только кислоты — муравьиная и уксусная. Чтобы различить эти кислоты, провести реакцию серебряного зеркала (муравьиная кислота вступает в эту реакцию, а уксусная нет).
- 3) Таким образом осталось четыре вещества. Среди оставшихся растворов по реакции с металлическим натрием определяются пропанол и этиленгликоль (пропаналь и циклогексан не реагируют).
- 4) По реакции со свежесозажденным гидроксидом меди — этиленгликоль отличается от пропанола (образование синего комплекса).
- 5) Остались пропаналь и циклогексан, первый вступает в реакцию серебряного зеркала, второй - нет.

Другой вариант

- 1) Взаимодействие всех веществ со свежесозажденным гидроксидом меди (получение $\text{CuSO}_4 + \text{NaOH}$)
В этиленгликоле осадок $\text{Cu}(\text{OH})_2$ растворится и образуется синий раствор комплекса.
В уксусной кислоте осадок $\text{Cu}(\text{OH})_2$ также растворится и образуется синий раствор ацетата меди.
В случае пропаноля при смешении видимой реакции не будет, но при нагревании пройдет окислительно-восстановительная реакция с образованием красного осадка Cu_2O
В муравьиной кислоте осадок $\text{Cu}(\text{OH})_2$ также растворится и образуется синий раствор формиата меди, но при нагревании пройдет окислительно-восстановительная реакция с образованием красного осадка Cu_2O .
Таким образом, пропаналь и муравьиная кислота определены.
Чтобы различить уксусную кислоту и этиленгликоль, можно воспользоваться индикатором.
- 2) В случае пропанола и циклогексана реакции с $\text{Cu}(\text{OH})_2$ не будет, их легко различить по реакции с металлическим натрием.

Критерии оценки

При проверке данной задачи оценивался последовательный план определения веществ, а не просто набор качественных реакций.

Последовательный план определения веществ - до 9 баллов

Уравнения реакций - до 5 баллов

Полный балл 14

10-2

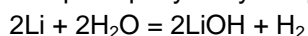
Решение:

- 1) Определение металла:

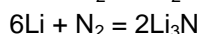
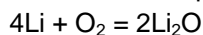
Молярная масса металла: $3,47 : 5,6 \times 11,2 = 6,94$ (если металл одновалентный), $13,88$ (если металл двухвалентный) и $20,82$ (если металл трехвалентный).

Подходит только литий.

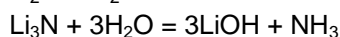
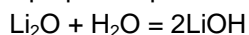
- 2) Литий не амфотерный металл и не взаимодействует со щелочью, однако он взаимодействует с водой, которая присутствует в растворе гидроксида натрия.



Литий легко взаимодействует с азотом, поэтому при окислении лития на воздухе образуется не только оксид, но и нитрид.



При растворении в воде выделяется аммиак:



- 3) Объем $1,12$ л соответствует $0,05$ моль аммиака, и такому же количеству нитрида лития. Масса данного количества нитрида лития составляет $1,75$ г.

Для образования $0,05$ моль нитрида лития требуется $0,15$ моль лития. Значит $0,15$ моль лития при сжигании перешло в нитрид.

Всего лития было $0,5$ моль, значит $0,35$ моль лития превратилось в оксид, что соответствует $0,175$ моль оксида лития или $5,25$ г.

Общая масса продуктов сгорания $1,75 + 5,25 = 7,0$ г.

Критерии оценки

Расчет мол. массы металла по объему газа при растворении 2 балла

Определение металла 2 балла

Объяснение результатов и уравнения реакций $2 + 5 = 7$ баллов

Расчет массы продуктов сгорания 5 баллов

Полный балл 16

10-3

Решение:

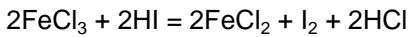
а) Так как А - металл, а Г - газ, очевидно, что Б - кислота. Кислота не может содержать кислород, так как по условию элементов всего три (вместе с металлом), а в кислородной кислоте их уже три. Возможно кислота HCl.

Предположение:

A = Fe, Б = HCl, В = FeCl₂, Г = H₂, Д = Cl₂, Е = FeCl₃

Предположение можно проверить расчетом содержания железа в FeCl₂.

б) FeCl₃ превращается в FeCl₂ при взаимодействии с восстановителями, например



Критерии оценки

а) Вещества А и Б (при наличии рассуждения) - по 2 балла (4)

Вещество Д 2 балла

Вещество В (при подтверждении расчетом) 2 балла

Вещества Г и Е по 1 баллу (2)

б) Окислительно-восстановительные реакции по 3 балла (6)

Полный балл 16

10-4

Решение:

1) Пусть доли этилена и ацетилен в смеси — x и y. Рассмотрим 1 моль смеси, который содержит: 0,32 моль этана, x моль этилена и y моль ацетилен.

Тогда

$$x + y + 0,32 = 1$$

$$x + 2y = 6,4 : 160 \times 22,4 = 0,896.$$

$$\text{отсюда } x = 0,464. y = 0,216.$$

Состав смеси: этан 32%, этилен 46,4%, ацетилен 21,6%

2) при сжигании C₂H₆ → 3H₂O, C₂H₄ → 2H₂O, C₂H₂ → H₂O

тогда на 1 моль смеси получится 0,32 × 3 + 0,464 × 2 + 0,216 × 1 = 2,104 моль воды, т.е. 37,872 г. На 1 л смеси получится 1,69 г воды.

Критерии оценки

Уравнения для вычисления состава смеси 6 баллов

Состав смеси 3 балла

Расчет количества воды при сгорании 4 балла

Ответ - масса воды на 1 л смеси 3 балла

Полный балл 16

10-5

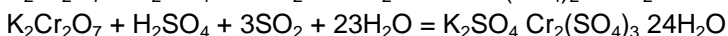
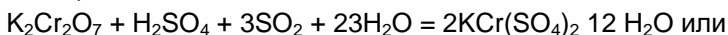
Решение:

а) В растворе содержится 0,01 моль бихромата калия, что составляет 2,94 г.

Реакция S(IV) и Cr(VI) может привести к сульфату хрома(III), а масса продукта подразумевает образование кристаллогидрата типа K₂SO₄ Cr₂(SO₄)₃ nH₂O (квасцы)

Так как получился единственный продукт, то его должно быть 0,01 моль. Молярная масса составляет 566 + 18n. Так как масса продукта 9,98 г, то n = 24.

Реакция



б) Согласно уравнению реакции требуется 0,01 моль серной кислоты, что соответствует 10 мл раствора. Так как получен единственный продукт, избытка серной кислоты не было, т.е. было добавлено 10 мл раствора.

Критерии оценки

Масса (количество) бихромата калия 1 балл

Определение состава продукта (с применением расчета) 7 баллов

Уравнение реакции 4 балла

Расчет объема серной кислоты 4 балла

Полный балл 16

10-6

Ответ:

а) М = ацетилен, N = бензол, O = пропен,

X = изопропилбензол (кумол), $C_9H_{12}O_2$ = гидропероксид кумола, Y = фенол, Z = ацетон.

б) Любой лабораторный или промышленный способ получения фенола, например

$C_6H_5SO_3Na + NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + C_6H_5ONa$ (сплавление)

$C_6H_5ONa + HCl \rightarrow C_6H_5OH + NaCl$

в) Преимуществами кумольного способа для промышленной реализации являются: недорогое сырье, отсутствие жестких условий, дополнительный полезный продукт (ацетон), (относительная) экологическая безопасность.

Критерии оценки

Определение веществ М, N - по 1 баллу (2)

Определение веществ O, X, Y Z по 2 балла (8)

Уравнения реакций:

ацетилен \rightarrow бензол 1 балл

бензол + пропен \rightarrow изопропилбензол 1 балл

кумол \rightarrow гидропероксид кумола \rightarrow фенол + ацетон 3 балла

Дополнительный способ получения Y 4 балла

Преимущества данного способа 3 балла

Полный балл 22

Всего 100 баллов