

Заключительный этап межрегиональной межвузовской олимпиады школьников

Сибирского федерального округа «Будущее Сибири» 2017-2018 г.

Решения олимпиадных заданий по химии

10 класс

Часть 1. Разминка (общая оценка 20 баллов).

Вставьте пропущенный текст в следующие фразы.

- 1.1. При электролизе водного раствора NaF на катоде выделяется ... **водород**, а на аноде выделяется ... **кислород**.
- 1.2. В молекуле SO<sub>2</sub> центральный атом находится в ... **sp<sup>2</sup>** гибридизации, а в молекуле SF<sub>2</sub> в ... **sp<sup>3</sup>** гибридизации.
- 1.3. В результате внутримолекулярной дегидратации этилового спирта образуется ... **этилен (этен)**, а межмолекулярной – ... **диэтиловый эфир**
- 1.4. Скорость некоторой реакции увеличилась в 1,414 раза при увеличении температуры на 5 °С. Если увеличить температуру на 20 °С, то скорость этой реакции возрастет в ... **4 раза** а если на 30 °С, то скорость возрастет в ... **8 раз**.
- 1.5. В растворе Na<sub>2</sub>S окраска фенолфталеина ... **малиновая**, а в растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> - ... **тоже малиновая**.
- 1.6. В составе ортофосфорной кислоты ... **3** атома водорода, а в составе ортоиодной ... **5**.
- 1.7. В оксиде бария химическая связь ... **ионная**, а в оксиде углерода(II) ... **ковалентная**.
- 1.8. Среда водного раствора K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ... **щелочная**, а водного раствора KHCO<sub>3</sub> ... **тоже щелочная**.
- 1.9. Степени окисления серы в продуктах ее реакции с горячим раствором щелочи ... **-2** и ... **+4**.
- 1.10. Реакция взаимодействия галогеналканов с металлическим натрием носит имя ... **Вюрца**, а реакция сплавления солей карбоновых кислот со щелочами – ... **Дюма**.

**Система оценивания:**

Каждый правильный ответ по 1 б

всего 1\*2\*10 = 20 баллов.

**Итого 20 баллов**

Часть 2. Качественные задания (общая оценка 40 баллов).

2.1. Студенты алхимического факультета собрались провести несколько опытов в университетской лаборатории. Оказалось, что в этой лаборатории все склянки с химическими реактивами подписаны тривиальными названиями: сода каустическая, глицерин, сода питьевая, ляпис, нашатырь, сильвин, фенол, медный купорос, масляная кислота, винный спирт. Помогите студентам организовать эксперимент.

а) Напишите формулы неорганических и структурные формулы органических соединений, находящихся в склянках.

б) Напишите уравнения семи химических реакций, которые можно осуществить, смешивая попарно сами вещества или их водные растворы. Одно и то же вещество можно использовать при написании нескольких превращений; больше двух веществ в одной реакции использовать не разрешается.

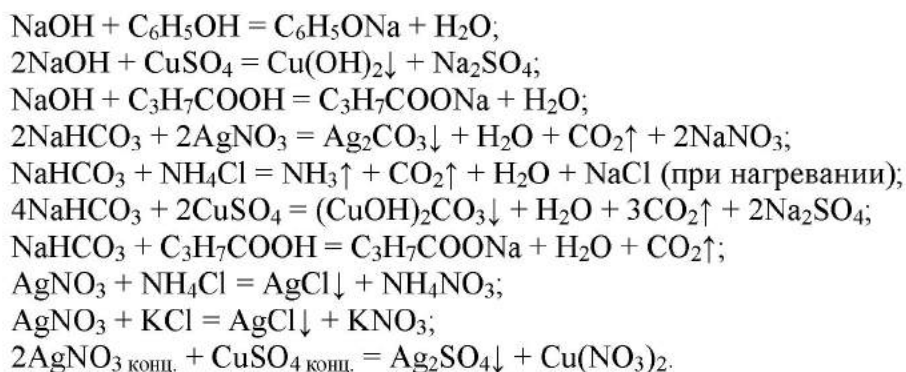
**Решение:**

а) Сода каустическая – NaOH, глицерин – CH<sub>2</sub>OH-CH(OH)-CH<sub>2</sub>OH, сода питьевая – NaHCO<sub>3</sub>, ляпис – AgNO<sub>3</sub>, нашатырь – NH<sub>4</sub>Cl, сильвин - KCl, фенол – C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH, медный купорос – CuSO<sub>4</sub>\*5H<sub>2</sub>O, масляная кислота – CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COOH, винный спирт – CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH.

б) Возможные уравнения реакций: NaOH + NaHCO<sub>3</sub> = Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O;

2NaOH + 2AgNO<sub>3</sub> = Ag<sub>2</sub>O↓ + H<sub>2</sub>O + 2NaNO<sub>3</sub>;

NaOH + NH<sub>4</sub>Cl = NH<sub>3</sub>↑ + H<sub>2</sub>O + NaCl;



### Система оценивания:

а) Формулы неорганических соединений по 0,5 б, структурные формулы органических соединений по 0,5 б всего  $0,5 \cdot 10 = 5$  баллов.

б) Уравнения реакций по 1 б всего  $1 \cdot 7 = 7$  баллов.

Если школьник предложил более 7 уравнений, то оценке подлежат первые 7 в порядке упоминания, остальные не рассматриваются.

**Итого 12 баллов**

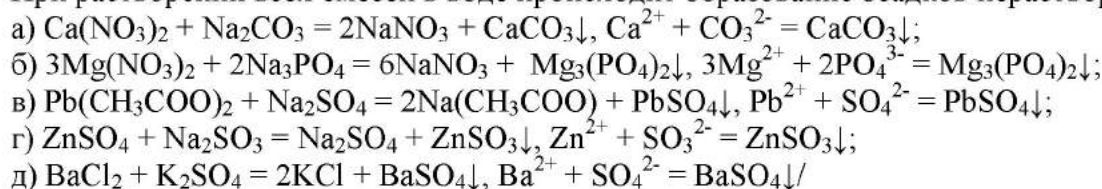
**2.2.** Школьнику выдали пять пронумерованных стаканчиков, содержащих смеси белых порошков солей: а)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ ; б)  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_3\text{PO}_4$ ; в)  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ; г)  $\text{ZnSO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3$ ; д)  $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4$ . Его задача состояла в том, чтобы установить, какая из смесей находится в стаканчике с определенным номером. Посмотрев в таблицу растворимости, он увидел, что все вещества растворимы, и налил в каждый стаканчик воды, чтобы затем использовать растворы. Однако, сколько он ни перемешивал эти смеси в воде, ни в одном из стаканчиков не получился прозрачный раствор. На дне каждого из стаканчиков оставалось большое количество белого осадка, наотрез отказывавшегося растворяться.

Подумав немного и осознав свою ошибку, школьник взболтал смеси стеклянными палочками, перелил понемногу растворов с осадками в отдельные пробирки и добавил к ним избыток соляной кислоты. Отметив наблюдаемые эффекты, он с чувством выполненного долга записал в тетради правильное соответствие составов смесей номерам стаканчиков.

Напишите уравнения реакций, прошедших в стаканчиках и пробирках в результате проведенных школьником экспериментов. Используйте как молекулярную, так и сокращенную ионную форму записи и обязательно укажите внешние признаки реакций в пробирках, позволившие школьнику решить поставленную задачу.

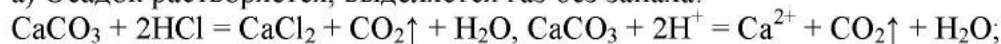
### Решение:

При растворении всех смесей в воде происходит образование осадков нерастворимых солей:

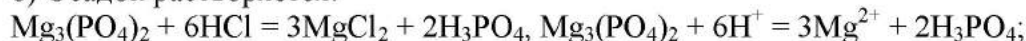


При добавлении соляной кислоты к смесям происходят следующие процессы:

а) Осадок растворяется, выделяется газ без запаха:



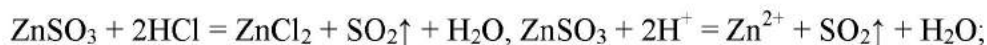
б) Осадок растворяется:



в) Осадок не растворяется, видимых изменений нет, но чувствуется запах уксуса:



г) Осадок растворяется, выделяется газ с резким кислым запахом горячей серы:



д) Осадок не растворяется, видимых изменений нет, запаха нет.

**Система оценивания:**

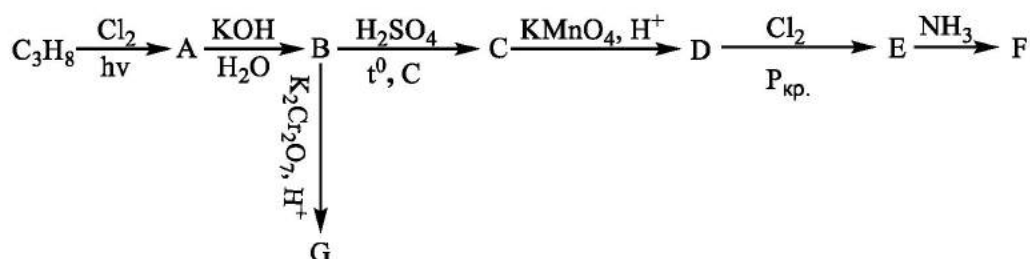
Уравнения реакций в молекулярной форме по 0,5 б, в ионной по 0,5 б всего  $1 \cdot 9 = 9$  баллов.

Эффекты в реакциях с HCl и их отсутствие в д) по 1 б

всего  $1 \cdot 5 = 5$  баллов.

**Итого 14 баллов**

**2.3.** Вашему вниманию представлена схема превращений органических соединений:



Вещество **F** – органическая кислота, название которой происходит от древнегреческого слова, в переводе означающего «сладкий» из-за ее сладковатого вкуса. В природе **F** содержится во всех живых организмах, а ее остаток входит в состав многих белков и биологически активных соединений.

а) Изобразите структурные формулы веществ **A-G**.

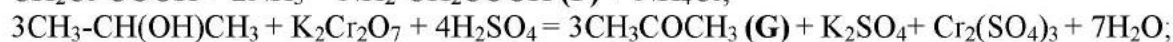
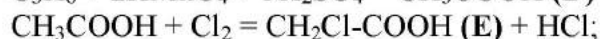
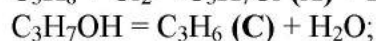
б) Напишите уравнения представленных на схеме реакций.

в) Расположите вещества **B, D, E, F, G** в порядке возрастания кислотных свойств.

**Решение:**

а) **A** –  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHClCH}_3$ , **B** –  $\text{CH}_3\text{-CH(OH)CH}_3$ , **C** –  $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_3$ , **D** –  $\text{CH}_3\text{C(O)OH}$ , **E** –  $\text{ClCH}_2\text{-COOH}$ , **F** –  $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ , **G** –  $\text{CH}_3\text{C(O)CH}_3$ .

б) Уравнения реакций:



в) Ряд по возрастанию кислотных свойств:

Вещество	$\text{CH}_3\text{C(O)CH}_3$	$\text{CH}_3\text{CH(OH)CH}_3$	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{CH}_2\text{ClCOOH}$	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$
	<b>(G)</b>	<b>(B)</b>	<b>(D)</b>	<b>(E)</b>	<b>(F)</b>
$\text{pK}_a$	19,1	16,5	4,76	2,87	2,34

**Система оценивания:**

а) Структурные формулы по 1 б

всего  $1 \cdot 7 = 7$  баллов.

б) Уравнения реакций окисления перманганатом и дихроматом калия (образование D и G) по 1 б, остальные по 0,5 б

всего  $1 \cdot 2 + 0,5 \cdot 5 = 4,5$  балла.

в) Верное положение в ряду по 0,5 б ( $\text{pK}_a$  не требуется)

всего  $0,5 \cdot 5 = 2,5$  балла.

(Для оценки этого пункта вычеркиваются вещества, занимающие неверное место в ряду, причем из разных вариантов выбирается правильный ряд максимально возможной длины).

**Итого 14 баллов**

**Часть 3. Расчетные задачи (общая оценка 40 баллов).**

**3.1.** В замкнутом сосуде смешали угарный и углекислый газы, нагрели до постоянной температуры и дождались установления равновесия. Константа равновесия гомогенной экзотермической реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  при этой температуре равна 17,78, равновесные концентрации CO и  $\text{CO}_2$  составили 0,3 и 0,4 моль/л соответственно.

- Вычислите равновесную концентрацию кислорода в этой системе.
- Установите начальные концентрации угарного и углекислого газов.
- Рассчитайте относительную плотность исходной смеси по водороду.
- Оцените общее равновесное давление в сосуде в атмосферах, если известно, что температура смеси составляла около 1000 К.
- В какую сторону сместится равновесие в реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$  (поясните свои ответы):
  - При увеличении давления;
  - При увеличении температуры;
  - При введении в систему катализатора;
  - При добавлении в реакционный сосуд кусочка негашеной извести?

**Решение:**

а)  $K_{\text{равн}} = \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2[\text{O}_2]}$ ;  $[\text{O}_2] = \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2 K_{\text{равн}}} = \frac{[0,4]^2}{[0,3]^2 \cdot 0,1778} = 0,1$  моль/л.

б) Уравнение реакции  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$

В равновесии	0,3	0,1	0,4
Образовалось	2*0,1	0,1	-
Прореагировало	-	-	2*0,1
Было	0,1	-	0,6

Начальная концентрация угарного газа 0,1 моль/л, углекислого 0,6 моль/л.

в)  $D_{\text{H}_2} = M_{\text{ср}}/M_{\text{H}_2}$ .  $M_{\text{ср}} = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2}{n_1 + n_2} = \frac{0,1 \cdot 28 + 0,6 \cdot 44}{0,1 + 0,6} = 41,71$  г/моль;  $D_{\text{H}_2} = 41,71/2 = 20,86$ .

г) Уравнение Менделеева-Клапейрона:  $PV = nRT$ . Отсюда  $P = RT \cdot n/V$ . Удобно воспользоваться значением  $R = 0,082$  л\*атм/(моль\*К), тогда  $n/V$  – суммарная концентрация газов в моль/л. Получаем  $P = 0,082 \cdot 1000 \cdot (0,3 + 0,1 + 0,4) = \text{л} \cdot \text{атм} \cdot \text{К} \cdot \text{моль} / (\text{моль} \cdot \text{К} \cdot \text{л}) = 65,6$  атм. Если использовать значение  $R = 8,31$  Дж/(моль\*К), то концентрации нужно перевести в единицы моль/м<sup>3</sup>, а полученное значение давления в Па поделить на 101325 Па/атм:

$P = 8,31 \cdot 1000 \cdot (300 + 100 + 400) / 101325 = 65,6$  атм.

д) В соответствии с принципом Ле Шателье:

- Равновесие сместится в сторону прямой реакции, так как в ходе реакции уменьшается число молекул в газовой фазе.
- Равновесие сместится в сторону обратной реакции, так как прямая реакция экзотермическая.
- Равновесие не сместится, так как катализатор не влияет на смещение равновесия, в равной степени ускоряя и прямую и обратную реакции.
- Равновесие сместится в сторону прямой реакции, так как негашеная известь реагирует с углекислым газом и уменьшает его концентрацию ( $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$ ).

**Система оценивания:**

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| а) Равновесная концентрация кислорода 2 б                      | всего 2 балла.        |
| б) Начальные концентрации угарного и углекислого газов по 3 б  | всего 3*2 = 6 баллов. |
| в) Относительная плотность исходной смеси 3 б                  | всего 3 балла.        |
| г) Верная оценка давления 3 б                                  | всего 3 балла.        |
| д) Верные ответы с пояснениями по 1 б (без пояснений по 0,5 б) | всего 1*4 = 4 балла.  |

**Итого 18 баллов**

**3.2.** Абиссинское золото – сплав, имитирующий золото по цвету, содержащий в своем составе три металла. Металл **А** в свободном виде имеет красный цвет, металл **Б** – желтый, причем его добавка способствует более продолжительному сохранению блеска сплава без потускнения. Металл **В**, имеющий серебристо-белый цвет с синеватым оттенком, известен тем, что он входит в состав латуни, а также широко используется для защиты от коррозии жестяных изделий (ведер, водосточных труб, водоотливов с наружной стороны подоконников и т.п.).



Навеску сплава массой 10,00 г обработали 20 мл соляной кислоты ( $C = 2,9$  моль/л, плотность 1,043 г/мл), в результате чего выделился газ объёмом 0,4032 л (н. у.), образовался бесцветный раствор и осталась нерастворённая часть сплава, состоящая из металлов красного и жёлтого цвета.

Остаток поместили в 500 мл азотной кислоты ( $\omega = 5\%$  (масс.), плотность 1,028 г/мл). В результате реакции выделился газ объёмом 2,061 л (н. у.), образовался голубой раствор и остался нерастворённый металл.

- Назовите металлы, входящие в состав сплава.
- Напишите уравнения описанных реакций.
- Рассчитайте точные массы металлов **A-B** в составе взятой навески и определите состав сплава в масс. %. При расчете используйте атомные массы металлов с четырьмя значащими цифрами.
- Вычислите точные массы бесцветного и голубого растворов и массовые доли солей в них.
- Предложите кислоту (смесь кислот), в которой можно растворить оставшийся металл, напишите уравнение реакции.

### Решение:

а) Металл **A** – медь; металл **B** – золото; металл **B** – цинк.

б) Уравнения реакций:  $Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2\uparrow$  (1);

$3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$  (2).

в) По уравнению (1):  $n(H_2) = 0,4032/22,4 = 0,018$  (моль),  $n(Zn) = 0,018$  (моль),  
 $m(Zn) = 0,018 \cdot 65,39 = 1,177$  (г) ( $0,018 \cdot 65 = 1,170$  г).

по уравнению (2):  $n(NO) = 2,061/22,4 = 0,092$  (моль),  $n(Cu) = 0,138$  (моль),  
 $m(Cu) = 0,138 \cdot 63,55 = 8,770$  (г) ( $0,138 \cdot 64 = 8,832$  г).

$m(Au) = 10,00 - 1,177 - 8,770 = 0,053$  (г) ( $10,00 - 1,170 - 8,832 = -0,002$  г, т. е., при округлении атомных масс до целых значений золото в составе сплава отсутствует, что не удовлетворяет условию задачи).

$\omega(Cu) = 87,70\%$ ;  $\omega(Zn) = 11,77\%$ ;  $\omega(Au) = 0,53\%$ .

г) По уравнению (1):  $n(ZnCl_2) = 0,018$  моль,  $m(ZnCl_2) = 0,018 \cdot 136,3 = 2,453$  (г).

$m(p-ра) = m(Zn) + m(p-ра HCl) - m(H_2) = 1,177 + 20 \cdot 1,043 - 0,018 \cdot 2 = 22,001$  (г).

$\omega(ZnCl_2) = 100 \cdot 2,453/22,001 = 11,15\%$ .

По уравнению (2):  $n(Cu(NO_3)_2) = 0,138$  моль,  $m(Cu(NO_3)_2) = 0,138 \cdot 187,55 = 25,881$  (г).

$m(p-ра) = m(Cu) + m(p-ра HNO_3) - m(NO) = 8,770 + 500 \cdot 1,028 - 0,092 \cdot 30 = 520,01$  (г).

$\omega(Cu(NO_3)_2) = 100 \cdot 25,881/520,01 = 4,98\%$ .

д) Царская водка (смесь концентрированных соляной и азотной кислот):

$Au + HNO_3 + 4HCl = H[AuCl_4] + NO + 2H_2O$ .

Селеновая кислота (при нагревании):  $2Au + 6H_2SeO_4 = Au_2(SeO_4)_3 + 3H_2SeO_3 + 3H_2O$ .

Смесь концентрированных соляной и азидоводородной кислот:

$2Au + 3HN_3 + 9HCl = 2NH_4[AuCl_4] + 3N_2 + NH_4Cl$ .

### Система оценивания:

а) Названия или символы металлов по 1 б

всего  $1 \cdot 3 = 3$  балла.

б) Уравнения реакций по 1 б

всего  $1 \cdot 2 = 2$  балла.

в) Точные массы металлов по 2 б (неточные для Cu и Zn по 1 б)

всего  $2 \cdot 3 = 6$  баллов.

Массовые доли металлов в сплаве по 1 б

всего  $1 \cdot 3 = 3$  балла.

г) Точные массы растворов по 2 б (без учета водорода 1 б, без учета NO 0 б), массовые доли солей по 1 б

всего  $2 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 6$  баллов.

д) Название или состав кислоты (смеси) 1 б, уравнение реакции 1 б

всего  $1 + 1 = 2$  балла.

**Итого 22 балла**