

КРИТЕРИИ
Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по химии 2023-2024
11 класс ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР
(максимально 50 баллов)

Задача 11–1. Основы химии (10 баллов)

*Эти «Основы» любимое дитя мое.
В них мой образ, мой опыт педагога
и мои задушевные научные мысли
Д. И. Менделеев*

В тексте Д. И. Менделеева, взятого из второго тома «Основ химии», формулы веществ были заменены на буквы.

Химические реакции едкого натра А служат типом для целого класса щелочей. Если раствор солей большинства металлов смешать с А, то образуется растворимая соль натрия и выделяется нерастворимый гидрат окиси металла. Например, азотномедная соль В выделяет водную окись меди В (реакция 1). Даже многие основные окислы способны с А соединяться и давать растворимые соединения, а потому А в солях таких металлов производит сперва осадок водной окиси, затем растворяющийся в избытке А. Такое явление происходит, при добавлении А к солям глинозема Г (реакция 2 и реакция 3). Это показывает способность такой щелочи как А соединяться не только с кислотными, но и со слабыми основными окислами. Поэтому А действует на большинство простых тел, способных образовывать кислоты или слабые основания. Так, например, металлический алюминий выделяет с А водород (реакция 4) Если А действует описанным способом на металлоид, способный соединяться с выделяющимся водородом, то образуется водородное соединение. Так, например, действует фосфор на А, выделяя Д (реакция 5).

Д. И. Менделеев «Основы химии» т.2

- 1) Установите формулы веществ А-Д
- 2) Составьте уравнения реакций 1-5

Критерии

- 1) А – NaOH, Б – Cu(NO₃)₂, В – Cu(OH)₂, Г – любая растворимая соль алюминия, например AlCl₃, Д – PH₃
- 2) Реакция 1 Cu(NO₃)₂+2NaOH=Cu(OH)₂↓+2NaNO₃
Реакция 2. реакция с участием любой растворимой соли алюминия, например:
AlCl₃+3NaOH=Al(OH)₃+3NaCl
Реакция 3. Al(OH)₃+NaOH=Na[Al(OH)₄]
или Al(OH)₃+3NaOH=Na₃[Al(OH)₆]
Реакция 4. Al+3NaOH=Na₃AlO₃+1,5H₂
или Al+ NaOH+3H₂O=Na[Al(OH)₄]+1,5H₂
или Al+ 3NaOH+3H₂O=Na₃[Al(OH)₆]+1,5H₂
Реакция 5. 4P+3NaOH+3H₂O=3NaH₂PO₂+PH₃↑
или P₄+3NaOH+3H₂O=3NaH₂PO₂+PH₃↑

Система оценивания:

| | | |
|----|---|-----------|
| 1. | Найдены формулы А-Д по 1 баллу | 5 баллов |
| 2. | Составлены уравнения реакций 1-5 по 1 баллу | 5 баллов |
| | Всего | 10 баллов |

Задача 11–2. Вещество с неприятным запахом (10 баллов)

Бесцветное кристаллическое вещество S с чрезвычайно неприятным запахом было описано в 1885 году берлинским врачом Людвигом Бригером в продуктах гнилостного распада белков. Почувствовав S, люди обычно испытывают страшную тревогу, повышается агрессия, уровень адреналина в крови. Молекула S состоит из двух атомов азота, а также углерода и водорода, причем число электронов, участвующих в образовании химических связей составляет 68% от общего числа электронов. S вступает в реакцию с органической

кислотой А ($w(O)=\frac{32}{73}$) с образованием полиамида В. Установите молекулярные и структурные формулы упомянутых веществ, если известно, что они имеют линейное строение, а функциональные группы в них максимально удалены друг от друга. Составьте уравнение реакции получения В.

Решение

1) Найдем формулу вещества S. С этой целью составим таблицу

| Элементы | Число атомов в молекуле | Общее число электронов | Число электронов, участвующих в образовании связей |
|----------|-------------------------|------------------------|--|
| N | 2 | 14 | 6 |
| C | x | 6x | 4x |
| H | y | y | y |

и уравнение $\frac{6+4x+y}{14+6x+y} = 0,68$

Выразим число атомов водорода через число атомов углерода

$$y = \frac{3,52 + 0,08x}{0,32}$$

При $x=4$ $y=12$

Следовательно молекулярная формула $C_4H_{12}N_2$

Учитывая линейное строение можно предположить структурную формулу

$H_2N-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-NH_2$ путресцин

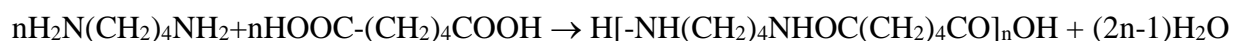
2) Установим формулу А. В органической кислоте содержится четное число атомов водорода. Следовательно молекулярная масса также должна быть четной. Следовательно А – двухосновная кислота с молекулярной массой 146 и молекулярной формулой $C_xH_yO_4$

Составив уравнение, установим число атомов $12x+y+64=146$. Упростив, получим $y=82-12x$

При $x=6$, $y=10$. Молекулярная формула $C_6H_{10}O_4$

$HOOC-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$ адипиновая кислота

3) Составим уравнение поликонденсации



Система оценивания:

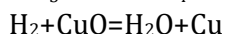
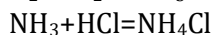
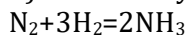
| | | |
|----|---|-----------|
| 1. | Найдена молекулярная формула путресцина | 2 балла |
| 2. | Записана структурная формула путресцина | 2 балла |
| 3. | Найдена молекулярная формула адипиновой кислоты | 2 балла |
| 4. | Записана структурная формула адипиновой кислоты | 2 балла |
| 5. | Составлено уравнение полимеризации | 2 балла |
| | Всего | 10 баллов |

Задача 11–3. Синтез аммиака (10 баллов)

В современных реакторах синтез аммиака проводят при давлении до 300 атмосфер и температуре около 500 °С. После прекращения изменения давления в реакторе отобрали некоторый объем газовой смеси. Её плотность по водороду составила 7,625. Эту газовую смесь охладили и пропустили через 84 мл 36,5%-ного раствора соляной кислоты ($\rho=1,19$ г/см³). Массовая доля кислоты в полученном растворе составила 3,17%. Непоглощенный газ пропустили через трубку с нагретым оксидом меди (II). Масса трубки уменьшилась на 9,6 г. Рассчитайте константу равновесия этой реакции, используя парциальные давления газов в равновесной смеси. Найдите выход аммиака.

Решение:

1) Составим уравнения реакций



2) Рассчитаем количества газов в смеси

Приняв количество аммиака за x , получим $\frac{36,5 - 36,5x}{100 + 17x} = 0,0317$

$$n(\text{NH}_3) = 0,9 \text{ моль}$$

$$n(\text{CuO}) = n(\text{H}_2) = \frac{9,6}{16} = 0,6 \text{ моль}$$

Примем количество азота за y выразим плотность по водороду газовой смеси.

$$\frac{0,9 * 17 + 0,6 * 2 + 28y}{0,9 + 0,6 + y} = 7,625 * 2$$

$$y = 0,5 \text{ моль}$$

3) Найдём парциальные давления и рассчитаем константу равновесия

| | N ₂ | H ₂ | NH ₃ | Σ |
|----------------|----------------|----------------|-----------------|---|
| n | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 2 |
| p _i | 0,25 | 0,3 | 0,45 | |

$$K = \frac{0,45^2}{0,25 * 0,3^3} = 30$$

4) Рассчитаем выход продукта реакции по веществу, взятому в недостатке

$$\eta(\text{NH}_3) = \frac{0,9}{1,3} = 0,69 \text{ или } 69\%$$

Система оценивания:

| | | |
|----|--|-----------|
| 1. | Составлены уравнения химических реакций (по 1 баллу) | 3 балла |
| 2. | Найдены количества веществ (по 1 баллу) | 3 балла |
| 3. | Определены парциальные давления | 1 балл |
| 4. | Найдена константа равновесия | 2 балла |
| 5. | Рассчитан выход аммиака | 1 балл |
| | Всего | 10 баллов |

Задача 11–4. Разложение неизвестного газа (10 баллов)

Масса электронов в 1,28 кг газа А составляет 0,43573 г. При полном разложении А, осуществлённом в интервале температур от 1000 до 1500 °С, образовалось твердое вещество Б, и газовая смесь В и Г, плотность которой при н. у. составляет 0,3036 г/л. Причем газ В, имеет меньшую молекулярную массу.

Установите формулы веществ А-Г. Составьте уравнение протекающих реакций. Рассчитайте объёмные доли газов В и Г в полученной газовой смеси.

Для справки: масса электрона равна 1/1836 а.е.м.

Решение:

1) Найдём количество электронов $n(e) = 0,43573 * 1836 = 800$ моль

2) Сделаем вывод о количестве протонов и найдём количество нейтронов $n(n) = 1280 - 800 = 480$ моль

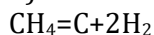
3) Протонов больше, значит это водородное соединение

4) Проверим газообразные водородные соединения второго периода

| | Протоны | Нейтроны | $\frac{n_p}{n_n}$ |
|-------------------------------|---------|----------|-------------------|
| Условие задачи | 800 | 480 | $\frac{5}{3}$ |
| B ₂ H ₆ | 16 | 12 | $\frac{4}{3}$ |
| CH ₄ | 10 | 6 | $\frac{5}{3}$ |
| NH ₃ | 10 | 7 | $\frac{10}{7}$ |
| HF | 10 | 10 | 1 |

Из летучих водородных соединений второго периода подходит метан CH₄, значит это А

5) Составим уравнения



Б – это углерод, В – водород, Г – ацетилен

6) Найдем среднюю молярную массу газовой смеси $0,3036 \cdot 22,4 = 6,8$ г/моль

7) Примем объем водорода за x, а объем ацетилена за у. Составим уравнение.

$$\frac{2x + 26y}{x + y} = 6,8$$

Упростив, получим $x = 4y$

При $y = 2$, $x = 8$

Следовательно $\varphi(C_2H_2) = 20\%$, $\varphi(H_2) = 80\%$

Система оценивания:

| | | |
|----|---|-----------|
| 1. | Найдено количество электронов | 1 балл |
| 2. | Найдено количество нейтронов | 1 балл |
| 3. | Сделан вывод о водородном соединении | 1 балл |
| 4. | Определены вещества А, Б, В, Г (по 0,5 балла) | 2 балла |
| 5. | Составлены уравнения реакций (по 1 баллу) | 2 балла |
| 6. | Найдена средняя молярная масса полученной газовой смеси | 1 балл |
| 7. | Рассчитаны объёмные доли газов в газовой смеси (по 1 баллу) | 2 балла |
| | Всего | 10 баллов |

Задача 11-5. Ароматизатор для кондитерской промышленности (10 баллов)

Ароматизатор А, широко применяемый в кондитерской промышленности, синтезируют из гваякола (монометилловый эфир пирокатехина (1,2-дигидроксibenзол) в несколько стадий:



Установите молекулярную формулу А, если известно, что массовая доля кислорода в соединении А равна $\frac{6}{19}$. Определите структурные формулы всех указанных в цепочке превращений веществ.

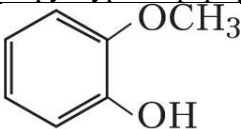
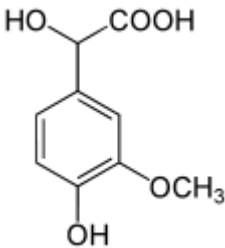
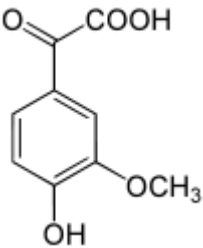
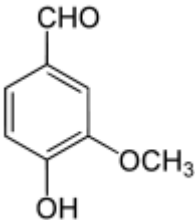
Известно, что присоединение гваякола к глиоксиловой кислоте (CHO-COOH) происходит четвертым атомом углерода по карбонильной группе. Дайте тривиальное название А.

Решение

1) Найдем молекулярную формулу А. Наименьшее общее кратное у 6 и 16 составляет 48. Значит А содержит 3 атома кислорода. Следовательно суммарная масса углерода и водорода составила 104, что соответствует формуле C₈H₈O₃

| | | |
|---------------|----|-----|
| Хим. Элементы | m | m |
| O | 6 | 48 |
| C+H | 13 | 104 |

2) Запишем структурные формулы веществ

| Молекулярная формула | Структурная формула |
|---------------------------|--|
| $C_7H_8O_2$ |  |
| $C_9H_{10}O_5$ |  |
| $C_9H_8O_5$ |  |
| $C_8H_8O_3$ (A) - ванилин |  |

Система оценивания:

| | | |
|----|---|-----------|
| 1. | Найдена молекулярная формула А | 2 балла |
| 2. | Записана структурная формула гваякола | 1 балл |
| 3. | Записана структурная формула $C_9H_{10}O_5$ | 2 балла |
| 4. | Записана структурная формула $C_9H_8O_5$ | 2 балла |
| 5. | Записана структурная формула А | 2 балла |
| 6. | Дано тривиальное название А | 1 балл |
| | Всего | 10 баллов |