

1																	18
<sup>1</sup> H 1.008	2											13	14	15	16	17	<sup>2</sup> He 4.003
<sup>3</sup> Li 6.94	<sup>4</sup> Be 9.01											<sup>5</sup> B 10.81	<sup>6</sup> C 12.01	<sup>7</sup> N 14.01	<sup>8</sup> O 16.00	<sup>9</sup> F 19.00	<sup>10</sup> Ne 20.18
<sup>11</sup> Na 22.99	<sup>12</sup> Mg 24.31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	<sup>13</sup> Al 26.98	<sup>14</sup> Si 28.09	<sup>15</sup> P 30.97	<sup>16</sup> S 32.06	<sup>17</sup> Cl 35.45	<sup>18</sup> Ar 39.95
<sup>19</sup> K 39.10	<sup>20</sup> Ca 40.08	<sup>21</sup> Sc 44.96	<sup>22</sup> Ti 47.87	<sup>23</sup> V 50.94	<sup>24</sup> Cr 52.00	<sup>25</sup> Mn 54.94	<sup>26</sup> Fe 55.85	<sup>27</sup> Co 58.93	<sup>28</sup> Ni 58.69	<sup>29</sup> Cu 63.55	<sup>30</sup> Zn 65.38	<sup>31</sup> Ga 69.72	<sup>32</sup> Ge 72.63	<sup>33</sup> As 74.92	<sup>34</sup> Se 78.97	<sup>35</sup> Br 79.90	<sup>36</sup> Kr 83.80
<sup>37</sup> Rb 85.47	<sup>38</sup> Sr 87.62	<sup>39</sup> Y 88.91	<sup>40</sup> Zr 91.22	<sup>41</sup> Nb 92.91	<sup>42</sup> Mo 95.95	<sup>43</sup> Tc -	<sup>44</sup> Ru 101.1	<sup>45</sup> Rh 102.9	<sup>46</sup> Pd 106.4	<sup>47</sup> Ag 107.9	<sup>48</sup> Cd 112.4	<sup>49</sup> In 114.8	<sup>50</sup> Sn 118.7	<sup>51</sup> Sb 121.8	<sup>52</sup> Te 127.6	<sup>53</sup> I 126.9	<sup>54</sup> Xe 131.3
<sup>55</sup> Cs 132.9	<sup>56</sup> Ba 137.3	57-71	<sup>72</sup> Hf 178.5	<sup>73</sup> Ta 180.9	<sup>74</sup> W 183.8	<sup>75</sup> Re 186.2	<sup>76</sup> Os 190.2	<sup>77</sup> Ir 192.2	<sup>78</sup> Pt 195.1	<sup>79</sup> Au 197.0	<sup>80</sup> Hg 200.6	<sup>81</sup> Tl 204.4	<sup>82</sup> Pb 207.2	<sup>83</sup> Bi 209.0	<sup>84</sup> Po -	<sup>85</sup> At -	<sup>86</sup> Rn -
<sup>87</sup> Fr -	<sup>88</sup> Ra -	89-103	104 Rf -	105 Db -	106 Sg -	107 Bh -	108 Hs -	109 Mt -	110 Ds -	111 Rg -	112 Cn -	113 Nh -	114 Fl -	115 Mc -	116 Lv -	117 Ts -	118 Og -

<sup>57</sup> La 138.9	<sup>58</sup> Ce 140.1	<sup>59</sup> Pr 140.9	<sup>60</sup> Nd 144.2	<sup>61</sup> Pm -	<sup>62</sup> Sm 150.4	<sup>63</sup> Eu 152.0	<sup>64</sup> Gd 157.3	<sup>65</sup> Tb 158.9	<sup>66</sup> Dy 162.5	<sup>67</sup> Ho 164.9	<sup>68</sup> Er 167.3	<sup>69</sup> Tm 168.9	<sup>70</sup> Yb 173.0	<sup>71</sup> Lu 175.0
<sup>89</sup> Ac -	<sup>90</sup> Th 232.0	<sup>91</sup> Pa 231.0	<sup>92</sup> U 238.0	<sup>93</sup> Np -	<sup>94</sup> Pu -	<sup>95</sup> Am -	<sup>96</sup> Cm -	<sup>97</sup> Bk -	<sup>98</sup> Cf -	<sup>99</sup> Es -	<sup>100</sup> Fm -	<sup>101</sup> Md -	<sup>102</sup> No -	<sup>103</sup> Lr -



**Республиканская олимпиада по химии**

Областной этап (2022-2023).

Официальный комплект решений 9-класса.

## Содержание

Предисловие	3
Задача №1. Химия ракушки (10%)	4
Задача №2. АБВГДейка (14%)	5
Задача №3. Муравьиный фреш (14%)	7
Задача №4. Галогенид фосфора (16%)	9
Задача №5. Процесс Габера-Боша (16%)	11

## Обращение к участникам:

Коллегия химиков хочет, чтобы районная олимпиада выполняла не только роль отбора на областную олимпиаду, но и являлась возможностью для участников получить удовольствие от решения задач, узнать что-то новое и подогреть свой интерес к химии. Чтобы лучше выполнять эту задачу нам нужно лучше понимать уровень подготовки участников. Для этого мы **просим вас дать обратную связь по олимпиаде заполнив анкету: [opros.qazcho.kz](https://opros.qazcho.kz)**. Чем больше мы получим ответов, тем лучше мы сможем корректировать сложность, качество и объем заданий как на областном этапе, так и на районном этапе в следующем году. Заранее спасибо!

## Обращение к членам жюри:

Перед вами находится официальный комплект решений районного этапа республиканской олимпиады по химии (2022-2023 учебный год). Мы расписали как должен оцениваться каждый пункт каждой задачи (включая максимальный балл за задачу и за отдельный пункт). Если у вас есть вопросы по решению той или иной задачи или по ее оцениванию, вы можете связаться с составителями через специальный чат для жюри. Ссылка на чат есть на странице [qazcho.kz/join/](https://qazcho.kz/join/).

В большинстве решений мы указываем разбалловку за финальные ответы. Если не указано иное, вы можете выдавать баллы за правильные рассуждения даже если финальный ответ неправильный или отсутствует вовсе (но иногда авторское решение ограничивает сколько баллов можно давать за рассуждения без конечного ответа). Во всех задачах, за правильный ответ без расчетов и рассуждений (если не указано иное) ученику должно присуждаться 0 баллов.

Теперь просьба. Мы (составители) не получаем никакой информации о результатах учеников на районном этапе. Из-за этого, мы лишены обратной связи: мы не можем понять было ли задание слишком легким или слишком сложным, мы не можем корректировать нашу работу на основании реальных данных. **Поэтому мы бы хотели попросить вас отправить результаты вашего района на нашу почту [results@qazcho.kz](mailto:results@qazcho.kz)**. Особенно полезными будут результаты с разбалловкой по задачам (в идеале -- по подпунктам). Если хотите, вы можете анонимизировать результаты (т.е. отправить без имен учеников). Но если вы отправите результаты с именами, у нас будет возможность сравнивать их с последующими результатами этих учеников на областном и заключительном этапах (в идеале, если мы хорошо будем справляться с составлением заданий, у этих результатов должна быть корреляция).

В любом случае мы гарантируем полную конфиденциальность как отправителя (т.е. вас), так и результатов, которые мы получим. Все данные будут использованы исключительно в целях статистического анализа направленного на улучшение нашей работы.

## Задача №1. Химия ракушки

Автор: Мадиева М.

### 1.1 (5 баллов)

Раковины морских моллюсков (ракушки) в основном состоят из арагонита  $\text{CaCO}_3$  и органической части. Ракушки бурно растворяются в кислотах с выделением углекислого газа:



Магний - активный металл, поэтому он сгорает в атмосфере  $\text{CO}_2$ :



Черный осадок - это образовавшийся уголь.

*По 2.5 балла за правильные уравнения.*

### 1.2 (5 баллов)

Определяем количество образовавшегося угля (1 балл):

$$\nu(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{1.76 \text{ г}}{12.01 \text{ г моль}^{-1}} = 0.15 \text{ моль}$$

Количество исходного карбоната кальция равно количеству угля (1 балл):

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{C}) = 0.15 \text{ моль}$$

Находим массу арагонита и его содержание в ракушке (по 1.5 балла, суммарно 3 балла):

$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 0.15 \cdot 100.09 = 15.01 \text{ г}$$

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{ракушки})} = \frac{15.01 \text{ г}}{15.57 \text{ г}} \cdot 100\% = 96.40\%$$

## Задача №2. АБВГДейка

Автор: Мужубаев А.

### 2.1 (14 баллов)

Стоит решать задачу с оксида **G**, ведь владея информацией о массовой доле кислорода можно понять об оксиде какого элемента идет речь. Переберем все возможные варианты. В общем виде, формула оксида выглядит так -  $E_2O_x$ . Исходя из этого, можно составить уравнение:

$$\frac{16x}{16x + 2E} = 0.6895 \quad (1)$$

$$16x = 0.6895(16x + 2E) \quad (2)$$

$$E = 3.5968x \quad (3)$$

При переборе значений получаем следующую картину:

x	E (г/моль)
1	3.59
2	7.19 ( $\approx$ Li)
3	10.79 (B)
4	14.38 ( $\approx$ N)
5	17.98
6	21.58
7	25.17

Как видим, при значении  $x = 3$ , молярная масса элемента в точности соответствует молярной массе бора. Тогда, оксид **G** -  $B_2O_3$ . Несложно догадаться, что кислота, получающаяся гидролизом этого оксида – борная кислота. Таким образом, **F** -  $H_3BO_3$ .

Напишем реакции в 1 и 2 в общем виде:  $A + B \longrightarrow D$  и  $A + C \longrightarrow E$ . Если вещество **D** бинарно, то либо **A**, либо **B**, либо оба из них содержат в себе бор. Однако, двухатомного газа с бором в составе нет, откуда можно сделать вывод о том, что **A** – бор. Тогда, **B** тоже является простым веществом.

Теперь, поработаем с условием о молярной массе. Составим уравнения из количественных данных:

$$M_D - M_E = 49.36 \quad (1)$$

$$\frac{M_D}{M_E} = 1.727 \quad (2)$$

$$0.727M_E = 49.36 \quad (3)$$

$$M_E = 67.9 \text{ г моль}^{-1} \quad (4)$$

Соединение **E** состоит из бора и еще одного элемента, при этом содержит в себе 4 атома. Обозначив неизвестный элемент как **X**, можно записать 3 формулы:  $BX_3$ ,  $B_2X_2$ ,  $B_3X$ . Проверим, какие молярные массы для **X** мы получим во всех трех случаях.

$BX_3$	19.03 г моль <sup>-1</sup> (F)
$B_2X_2$	23.14 г моль <sup>-1</sup> (Na)
$B_3X$	35.5 г моль <sup>-1</sup> (Cl)

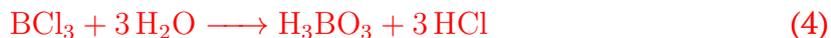
Из получившихся вариантов, только первое вещество валидно. Получаем, что **E** -  $BF_3$ . Тогда, очевидно, двухатомный газ **C** -  $F_2$ . Проведем аналогичные операции для вещества **D**.

$$M_D = 67.9 + 49.36 = 117.26 \text{ г моль}^{-1} \quad (1)$$

Обозначим неизвестный элемент в составе D как Y. Опять же, возможно три варианта:  $BY_3$ ,  $B_2Y_2$ ,  $B_3Y$ .

$BY_3$	35.45 г моль <sup>-1</sup> (Cl)
$B_2Y_2$	47.79 г моль <sup>-1</sup> (Ti)
$B_3Y$	84.77 г моль <sup>-1</sup>

В этом случае валиден первый вариант. Тогда, **D** -  $BCl_3$ . Соответственно, **B** -  $Cl_2$ . Уравнения реакций:



(6)

За уравнения (1)-(3) по 1 баллу, за уравнения (4)-(5) по 2 балла, всего 7 баллов. Формулы зашифрованных веществ: **A**: B, **B**:  $Cl_2$ , **C**:  $F_2$ , **D**:  $BCl_3$ , **E**:  $BF_3$ , **F**:  $H_3BO_3$ , **G**:  $B_2O_3$ . За каждое вещество по 1 баллу, всего 7 баллов. Итого 14 баллов за задачу.

### Задача №3. Муравьиный фреш

Автор: Касьянов А.

#### 3.1 (14 баллов)

При охлаждении насыщенных растворов солей до  $T_2$  в осадок выпадает избыточное для насыщенного при  $T_2$  раствора количество соли.

Для начала вычислим массовые доли формиата натрия в насыщенных при  $60^\circ\text{C}$  и  $20^\circ\text{C}$  растворах. Известно, что масса 1 л воды составляет 1000г.

Таким образом, при  $60^\circ\text{C}$  :

$$\omega_{\text{HCO}_2\text{Na}} = \frac{546}{1000 + 546} = \frac{546}{1546} = 0.3532 = 35.32\%$$

при  $20^\circ\text{C}$  :

$$\omega_{\text{HCO}_2\text{Na}} = \frac{465}{1000 + 465} = \frac{465}{1465} = 0.3174 = 31.74\%$$

Найдём массу  $\text{HCO}_2\text{Na}$  в первом растворе при  $60^\circ\text{C}$ :

$$m_{\text{HCO}_2\text{Na}} = \omega_{\text{HCO}_2\text{Na}} \times m_{\text{р-ра}} = 0.3532 \times 450 = 158.53 \text{ г} \quad \text{(2 балла)}$$

Примем массу осадка  $\text{HCO}_2\text{Na}$ , оставшегося в фильтре, за  $x$ . Массу соли, оставшейся в отфильтрованном растворе, можно выразить как  $158.53 - x$ . Т.к. осадок не является частью раствора, то его масса не входит в массу раствора, т.е. масса раствора так же уменьшается на  $x$  г. Таким образом получаем уравнение для насыщенного раствора при  $25^\circ\text{C}$  :

$$0.3174 = \frac{158.93 - x}{450 - x}, \quad \text{откуда} \quad x = 23.58 \text{ г} \quad \text{(3 балла)}$$

Таким образом, в отфильтрованном растворе осталось  $158.93 - 23.58 = 135.35$  г формиата натрия.

Вычислим концентрацию  $\text{HCO}_2\text{Na}$  :

$$c_{\text{HCO}_2\text{Na}} = \frac{n_{\text{HCO}_2\text{Na}}}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m_{\text{HCO}_2\text{Na}} \times \rho_{\text{р-ра}}}{M_{\text{HCO}_2\text{Na}} \times m_{\text{р-ра}}} = \frac{135.35 \times 1.15 \times 1000}{68.01 \times (450 - 23.58)} = 5.37 \text{ моль л}^{-1}$$

Т.к. формиат натрия хорошо растворим в воде и в его состав входит лишь один анион  $\text{HCO}_2^-$ , то  $c_{\text{HCO}_2^-}$  равна  $c_{\text{HCO}_2\text{Na}}$ . Этот анион, т.к. является анионом слабой (муравьиной) кислоты, в водном растворе вступает в следующее равновесие:



Константа равновесия этого процесса является  $K_b$  муравьиной кислоты.

$K_a$  и  $K_b$  связаны следующим выражением:  $pK_a + pK_b = 14$

отсюда найдём  $pK_b = 14 - pK_a = 14 - 3.75 = 10.25$

Примем, что при достижении равновесия  $c_{\text{HCO}_2^-}$  уменьшилась на  $x$ , тогда  $c_{\text{HCO}_2\text{H}}$  и  $c_{\text{OH}^-}$  увеличились на  $x$ .

Запишем выражение для  $K_b$  через  $x$ . Получим следующее уравнение:

$$K_b = \frac{[\text{HCO}_2\text{H}][\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_2^-]} = \frac{x \times x}{5.37 - x} = 10^{-10.25} \quad (2 \text{ балла})$$

из которого находим  $x = 1.73 \times 10^{-5}$  моль л<sup>-1</sup>. Найдём  $[\text{H}^+]$ :

$$[\text{H}^+] = \frac{10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{1.73 \times 10^{-5}} = 5.78 \times 10^{-10} \text{ моль л}^{-1} \quad (2 \text{ балла})$$

Отсюда

$$pH = -\log[\text{H}^+] = -\log(5.78e - 10) = 9.24 \quad (3 \text{ балла})$$

## Задача №4. Галогенид фосфора

Автор: Загрибельный Б.

### 4.1 (16 баллов)

Согласно условию задачи **Ф** – бинарное соединение, значит его можно обозначить как  $P_xNaCl_y$ . Поскольку при гидролизе такого рода соединений в газообразном виде выделяется галогеноводород  $HNaCl$ , то при улавливании его растворов гидроксида натрия в растворе будут наблюдаться галогенид-ионы. Стандартная проба на галогенид-ионы – реакция с подкисленным раствором нитратом серебра. Белый творожистый осадок **В** – это хлорид серебра, значит, исходный галогенид – это какой-то из хлоридов фосфора  $P_xCl_y$ . (1 балл за определение **В**, 1 балл за объявление **Ф** неким хлоридом фосфора)

Количество вещества хлорида серебра равно  $\frac{2.15 \text{ г}}{143.32 \text{ г моль}^{-1}} = 0.015 \text{ моль}$ . (1 балл за расчет количества вещества хлорида серебра)

При гидролизе 1 моль  $P_xCl_y$  весь хлор переходит в  $y$  моль хлорид-ионов. Таким образом количество вещества  $P_xCl_y$  –  $0.015/y$  моль. По определению молярная масса  $P_xCl_y$  вычисляется как:

$$31.0x + 35.5y = M(P_xCl_y)$$

А исходя из массы и количества вещества:

$$M(P_xCl_y) = \frac{0.625 \text{ г}}{0.015/y \text{ моль}} = 41.7y \text{ г моль}^{-1} \quad (7)$$

Сводим оба уравнения воедино и получаем:

$$31.0x + 35.5y = 41.7y \quad (1)$$

$$y = 5x \quad (2)$$

По условию **Ф** содержит не более 7 атомов, значит вариантов для  $y$  и  $x$  не так и много, да и вообще всего один:  $y = 5$ ,  $x = 1$ , значит **Ф** – это пентахлорид фосфора  $PCl_5$ . (3 балла за вывод формулы **Ф**)

При гидролизе  $PCl_5$  образуется хлороводород (газ **А**, 1 балл) и фосфорная кислота, причём при кипячении фосфорная кислота остается в растворе, а хлороводород отгоняется. Уравнения реакций (По 1 баллу за каждое правильное уравнение, итого 5 баллов):



Формальным расчётом, исходя из массы 465 мг, можно показать, что вещество **Б** – это  $Ca_3(PO_4)_2$  (1 балл). Однако, это можно и не делать, и исходить из химической логики и описаний процессов.

Если не подкислить раствор для проведения пробы на хлорид-ион, то есть вероятность выпадения осадка окиси серебра (I).



Азотная кислота лучше всего подходит, поскольку нитрат серебра хорошо растворим в воде. (**2 балла** за аргументированное объяснение с указанием возможности выпадения окиси серебра (I) в осадок)

Уравнение реакции Б с песком и углём при прокаливании (**1 балл** за уравнение реакции с коэффициентами, 0.3 балла если реакция не уравнена):



## Задача №5. Процесс Габера-Боша

Автор: Мельниченко Д.

### 5.1 (2 балла)

- Повышение давления смещает равновесия в сторону образования аммиака (вправо).
- Понижение температуры смещает равновесие в сторону продуктов (вправо), так как прямая реакция экзотермическая.
- Внесение катализатора не влияет на смещение равновесия, а лишь ускоряет процесс его наступления.
- Добавление избытка водорода смещает равновесие в сторону образования аммиака (вправо).

За каждый верный ответ по 0.5 балла

### 5.2 (3 балла)

Выразим массовую долю азота через его мольную долю:

$$\begin{aligned}\omega_{N_2} &= \frac{m_{N_2}}{m_{N_2} + m_{H_2}} = \frac{M_{N_2}n_{N_2}}{M_{N_2}n_{N_2} + M_{H_2}n_{H_2}} \\ &= \frac{M_{N_2}n_{tot}\chi_{N_2}}{M_{N_2}n_{tot}\chi_{N_2} + M_{H_2}n_{tot}(1 - \chi_{N_2})} = \frac{M_{N_2}\chi_{N_2}}{M_{N_2}\chi_{N_2} + M_{H_2}(1 - \chi_{N_2})} \\ \chi_{N_2} &= \frac{\omega_{N_2}M_{H_2}}{\omega_{N_2}M_{H_2} - \omega_{N_2}M_{N_2} + M_{N_2}}\end{aligned}$$

Вычислив по этому выражению, получаем, что мольная доля азота 50%.

Тогда, парциальные давления обоих газов равны 500 Торр.

За вывод выражения - 2 балла. За мольную долю и парциальные давления - по 0.5 балла.

### 5.3 (4 балла)

Для решения данной задачи опираемся на уравнения идеального газа:

$$P_1V = n_{tot,1}RT$$

$$P_2V = n_{tot,2}RT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$P_1 = 1000 \text{ торр} = 133\,321.99 \text{ Па}$$

$$P_2 = 800 \text{ торр} = 106\,657.59 \text{ Па}$$

$$T = 30^\circ\text{C} = 303.15$$

$$n_{tot,1} = \frac{133\,321.99 \text{ Па} \times 0.0002 \text{ м}^3}{8.314 \text{ м}^3\text{Па/К/моль} \times 303.15} = 0.0106 \text{ моль}$$

$$n_{tot,2} = 0.00846 \text{ моль}$$



	$\text{N}_2$	$\text{H}_2$	$\text{NH}_3$
до	0.0053	0.0053	0
изменение	$-x$	$-3x$	$+2x$
после	$0.0053 - x$	$0.0053 - 3x$	$2x$

Отсюда следует следующее выражение:

$$0.0053 - x + 0.0053 - 3x + 2x = 0.00846$$

$$0.0106 - 2x = 0.00846$$

$$x = 0.00107$$

Тогда, в конечной смеси мы имеем: 0.00214 моль  $\text{NH}_3$ , 0.00423 моль  $\text{N}_2$  и 0.00209 моль  $\text{H}_2$ . Парциальное давление аммиака в конечной смеси равно 202.36 торр.

2 балла за вычислительное обоснование.

1 балл за верный ответ в молях.

1 балл за верный расчет парциального давления (ответ принимается и в Паскалях, и в любой другой единице измерения давления)

#### 5.4 (5 баллов)

Парциальные давления газов при 303.15 К:

$$P_{\text{NH}_3} = 202 \text{ торр} = 0.2657 \text{ атм}$$

$$P_{\text{N}_2} = 400 \text{ торр} = 0.5263 \text{ атм}$$

$$P_{\text{H}_2} = 198 \text{ торр} = 0.2605 \text{ атм}$$

Тогда наблюдаемая константа равновесия при 303.15 К сразу после охлаждения равна:

$$K_{303} = \frac{0.2657^2}{0.5263 \times 0.2605^3} = 7.5879$$

Для расчета константа равновесия при 723.15 К необходимо конвертировать все давления при 303 К в давления при 723 К:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1}$$

$$P_{\text{NH}_3} = 0.6354 \text{ атм}$$

$$P_{\text{N}_2} = 1.2589 \text{ атм}$$

$$P_{\text{H}_2} = 0.6232 \text{ атм}$$

Тогда константа равновесия при 723.15 К:

$$K_{723} = \frac{0.6354^2}{1.2589 \times 0.6232^3} = 1.3231$$

По 2.5 балла за каждую константу равновесия. Если расчет производился в единице измерения отличной от атм, то за пункт выдается ноль баллов.

### 5.5 (2 балла)

В данном случае важную роль в определении самопроизвольности реакции играет энтропийный фактор. В ходе реакции число молекул убывает, значит  $\Delta_r S < 0$ .