**Задание 1. (авторы А.С. Романов, И.А. Трофимов)**

1. Тройка красного, зелёного и синего диодов называется «пиксель». Яркость каждого диода независима от другого, следовательно количество возможных цветов  $N_{total} = N_{красн} \cdot N_{зелен} \cdot N_{син} = 256^3 = 2^{24} = 16777216$ .

2. Судя по протеканию реакции с фосфором, Y – фосфид некоторого металла. Тогда массовая доля фосфора в этом веществе равна  $\frac{23,17}{52,33+23,17} = 30,69\%$ , что позволяет выйти на  $M(Y) = 31n/0,3069 = 101n$  г/моль. При  $n = 1$  получаем  $M = Ga$ ,  $Y = GaP$ . Запишем уравнения реакций: [1]  $Ga + P = GaP$ ; [2]  $GaP + 11HNO_{3(конц.)} \rightarrow Ga(NO_3)_3 + H_3PO_4 + 4H_2O + 8NO_2$ ; [3]  $GaP + NaOH + 3H_2O \rightarrow Na[Ga(OH)_4] + PH_3$ ;

3. Вычислим соотношение  $\frac{p^2(P_2)}{p(P_4)} = e^{12,895 - \frac{27890}{1773}} = 0,0587$ . Заметим, что  $p(P_2) + p(P_4) = 1$  бар, тогда решив систему уравнений можно найти давления этих газов:

$$\begin{cases} \frac{p^2(P_2)}{p(P_4)} = 0,0587 \\ p(P_2) + p(P_4) = 1 \end{cases} \Rightarrow p^2(P_2) = 0,0587(1 - p(P_2)) \Rightarrow p^2(P_2) + 0,0587p(P_2) - 0,0587 = 0$$

Решая квадратное уравнение получаем  $p(P_2) = 0,2147$  бар и тогда  $p(P_4) = 0,7853$  бар. Поскольку общее давление равно 1 бар, то мольные доли  $X(P_2) = 21,47\%$ ,  $X(P_4) = 78,53\%$ .

4. Можно воспользоваться массовым содержанием углерода в Q:  $M(Q) = 12x/0,3130 = 38,33x$ , где  $x$  – число атомов углерода в Q. При  $x = 3$  получаем  $M(Q) = 115$  г/моль, что за вычетом трех молярных масс  $CH_3$ -групп дает 70 г/моль, что соответствует Q –  $Ga(CH_3)_3$ , X – GaN.

Уравнения реакций [4–7]: [4]  $2Ga + 2NH_3 \xrightarrow{950^\circ C} 2GaN + 3H_2$ ; [5]  $2Ga + N_2 \xrightarrow{t^\circ} 2GaN$ ;

[6]  $Ga(CH_3)_3 + NH_3 \xrightarrow{1000^\circ C} GaN + 3CH_4$ ; [7]  $2Ga + 3Hg(CH_3)_2 \xrightarrow{100^\circ C} 2Ga(CH_3)_3 + 3Hg$ .

5. Рассчитаем молярную массу E при условии, что из его фосфата образуется сульфат состава  $E_2(SO_4)_3$ :  $M(E_2(SO_4)_3) = 5,000 \cdot 233 \cdot 3/7,500 = 466$  г/моль, что за вычетом трех молярных масс ионов  $SO_4^{2-}$  и делением на 2 дает  $M(E) = 89$  г/моль, а значит, E – иттрий Y. Уравнение реакции: [8]  $Y_2(SO_4)_3 + 3Ba(NO_3)_2 \rightarrow 2Y(NO_3)_3 + 3BaSO_4 \downarrow$ ;

**Система оценивания:**

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. Пиксель, расчёт количества цветов – по 0,5 б.                                      | 0,5+0,5 = 1 б.   |
| 2. Вещества Y, M – по 2 б., уравнения реакций [1–3] – по 1 б.                         | 2·2+3·1 = 7 б.   |
| 3. Соотношение $\frac{p^2(P_2)}{p(P_4)}$ – 2 б., мольные доли $P_2$ и $P_4$ – по 2 б. | 2·1+2·2 = 6 б.   |
| 4. Формулы веществ Q – X по 2 б., Уравнения реакций [4–7] по 1 б.                     | 2·1+4·1 = 6 б.   |
| 5. Символ элемента A – 2 б., расчёт – 2 б., уравнение реакции [8] – 1 б.              | 2+2+1 = 5 б.     |
| <b>Всего:</b>   | <b>25 баллов</b> |

## Задание 2. (авторы А.С. Романов, И.А. Трофимов)

1. Брожение используется в хлебопечении, виноделии, производстве кисломолочных продуктов и многих других областях пищевой промышленности. Жидкость, выделенная Бюхнером из дрожжей, представляет собой раствор ферментов. Уравнение сбраживания глюкозы:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 \uparrow$ .

2. В ходе брожения глюкоза прореагировала частично, найдем количество выделившегося углекислого газа:  $n_{\text{прак}}(CO_2) = n(BaCO_3) = \frac{41,98}{197} = 0,2131$  моль. Далее найдем массу этанола и массу раствора для нахождения его массовой доли:  $m(C_2H_5OH) = 0,2131 \cdot 46 = 9,803$  г,  $m(CO_2) = 0,2131 \cdot 44 = 9,376$  г,  $m(p - pa) = 25,00 + 150 - 9,376 = 165,6$  г  $\Rightarrow \omega(C_2H_5OH) = \frac{9,803}{165,6} = 5,92\%$ . Рассчитаем объём, который занимает 9,803 г чистого

этанол и отыщем его объёмную долю в растворе:  $V(C_2H_5OH) = \frac{9,803}{0,789} = 12,42$  мл  $\Rightarrow \varphi(C_2H_5OH) = \frac{V_{C_2H_5OH}}{V_{C_2H_5OH} + V_{H_2O}} = \frac{12,42}{12,42 + 150} = 7,65\%$ . Участник олимпиады может рассчитать объёмную долю этанола иначе:

$\varphi(C_2H_5OH) = \frac{12,42 \cdot 0,988}{165,6} = 7,41\%$ , такой способ расчёта также принимается за правильный. Отметим, что на

самом деле последняя величина называется «объёмная концентрация» и выражает объём чистого вещества, который можно выделить из 100 мл раствора. По ГОСТ крепость спиртовых растворов выражают именно при помощи объёмной концентрации. Объёмная доля в свою очередь выражает объём чистого вещества  $V_1$ , которое смешивали с объёмом  $V_2$  других чистых веществ, причем  $V_1 + V_2 = 100$  [V], для жидких растворов  $V_1 + V_2 \neq V_{p-ра}$ , поскольку разные молекулы в жидкости взаимодействуют друг с другом с различной энергией. Равенство  $V_1 + V_2 = V_{p-ра}$  выполняется лишь для идеальных газов ( $T \gg T_{кр}$ ,  $P \ll P_{кр}$ ) и идеальных растворов, которых строго говоря не существует, но смеси многих веществ схожей химической природы (напр. метанол и изопропанол) могут быть очень близки к идеальным растворам и для них с хорошей точностью  $V_1 + V_2 \approx V_{p-ра}$ .

Более концентрированный раствор этанола можно получить при помощи перегонки (дистилляции) забродившей фракции.

3. Уксусная кислота является одноосновной, поэтому со щелочью реагирует в соотношении 1 к 1, рассчитаем массовую концентрацию кислоты:  $C_m(CH_3COOH) = \frac{7,33 \cdot 0,0500 \cdot 60}{200} = 0,110$  г/100 мл.

4. Ферменты – белковые молекулы, молекулы РНК или их комплексы, ускоряющие химические реакции в живых системах. От промышленных катализаторов они отличаются высокой специфичностью (подходят как правило только для одного субстрата) и эффективностью (быстрая конверсия), а также способностью работы только в очень ограниченном диапазоне внешних условий (температур, давлений и кислотности среды).

5. Оборудование может быть загрязнено различными микроорганизмами из окружающей среды, которые могут продуцировать в ходе брожения соединения, ухудшающие качество и безопасность итогового продукта. Брутто-формулы компонентов Антиформина: хлорная известь –  $CaOCl_2$  или  $CaCl_2 \cdot Ca(OCl)_2$ , кальцинированная сода –  $Na_2CO_3$ , каустическая сода –  $NaOH$ . С соляной кислотой гидроксид и карбонат натрия реагируют как основания:  $NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$ ,  $Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O$  (или  $+NaHCO_3$ ), а хлорная известь вступает в окислительно-восстановительное превращение:  $CaOCl_2 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + Cl_2 + H_2O$ . Карбонат и гидроксид натрия осаждают соответственно карбонат и гидроксид железа(II) из раствора:  $Na_2CO_3 + FeCl_2 = NaCl + FeCO_3$ ,  $2NaOH + FeCl_2 \rightarrow Fe(OH)_2 + NaCl$ , а хлорная известь окисляет железо(II) до железа(III):  $3CaOCl_2 + 6FeCl_2 + 3H_2O \rightarrow 4FeCl_3 + 3CaCl_2 + 2Fe(OH)_3$ . Определим формулу консерванта при помощи информации о массовых содержаниях калия, серы и кислорода. Для этого определим соотношение этих элементов в данной соли:  $n(K):n(S):n(O) = \frac{35,14}{39} : \frac{28,82}{32} : \frac{36,04}{16} = 0,9010 : 0,9006 : 2,2525 = 2 : 2 : 5$ , что соответствует  $K_2S_2O_5 \Rightarrow$  **формула консерванта –  $K_2S_2O_5$** .

6. Поскольку плотность этанол-содержащего остатка равняется плотности раствора из п.2, то объёмная концентрация этанола в этом остатке равняется тем же **7,41%**. Если принять, что объёмная доля примерно равна объёмной концентрации этанола в концентрированном растворе, то исходная забродившая фракция содержит  $230 \cdot 0,4516 + 3221 \cdot 0,0741 = 342,5$  мл этанола, тогда искомая объёмная доля спирта равна  $\frac{342,5}{342,5 + 3128} = 9,87\%$ . или  $\frac{342,5}{3450} = 9,93\%$ . Массовая доля этанола рассчитывается по уравнению:  $\omega(C_2H_5OH) = \frac{342,5 \cdot 0,789}{3450 \cdot 0,985} = 7,95\%$ .

Если не использовать такое приближение, то из данной объёмной доли спирта нужно вычислить объём чистого вещества:  $\varphi(C_2H_5OH) = \frac{V_{C_2H_5OH}}{V_{C_2H_5OH} + V_{H_2O}} = 0,4516 \Rightarrow V_{C_2H_5OH} = 0,8235 V_{H_2O} = \frac{m_{C_2H_5OH}}{\rho_{C_2H_5OH}} \Rightarrow m_{C_2H_5OH} = 0,6497 m_{H_2O}$ , при этом  $m_{H_2O} + m_{C_2H_5OH} = 230 \cdot 0,94 = 216,2$  г Решая эту систему уравнений, получаем  $m_{C_2H_5OH} = 85,15$  г,  $m_{H_2O} = 131,05$  г,  $V_{C_2H_5OH} = \frac{85,15}{0,789} = 107,9$  мл. Тогда в исходной забродившей фракции находится  $107,9 + 3221 \cdot 0,0741 = 346,6$  мл этанола и тогда объёмная доля спирта в исходной забродившей

$$\text{фракции равна } \frac{346,6}{346,6+(3450 \cdot 0,985 - 346,6 \cdot 0,789)} = \frac{346,6}{346,6+3125} = 9,98\%.$$

7. Рассчитаем время, за которое автомобиль преодолет указанное расстояние:  $t = \frac{3300}{205} = 16,1$  часов = 57960 с. Мощность двигателя составляет  $136 \cdot 0,736 = 100,1$  кДж/с, теперь можно рассчитать энергию необходимую для преодоления расстояния:  $Q = 100,1 \cdot 57960 = 5801,8$  МДж. Уравнение реакции сгорания этанола:  $C_2H_5OH_{(p-p)} + 3O_{2(r)} = 2CO_{2(r)} + 3H_2O_{(r)}$ . Теперь по закону Гесса найдем теплоту сгорания этанола:  $Q_{сгор} = 3Q_f(H_2O_{(r)}) + 2Q_f(CO_2) - Q_f(C_2H_5OH_{(p-p)}) = 1277,6$  кДж/моль. Необходимо учесть, что часть выделяемой теплоты будет тратиться на испарение воды, которая содержится в исходном топливе. Для дальнейшего расчёта удобно перевести полученную мольную теплоту сгорания в удельную теплоту сгорания:  $Q_{сгор,уд} = \frac{1277,6 \cdot 1000}{46} = 27774$  кДж/кг этанола. Один килограмм топлива содержит 0,955 кг этанола и 45 г воды, которую необходимо будет испарить. При испарении 45 г воды будет затрачиваться  $45 \cdot 44/18 = 110$  кДж энергии, а при сгорании 0,955 кг этанола выделится  $27774 \cdot 0,955 = 26524$  кДж. Тогда при сгорании 1 кг топлива выделится  $26524 - 110 = 26414$  кДж энергии. Рассчитаем объём топлива, необходимый для преодоления такого расстояния:  $V(\text{топлива}) = \frac{5801,8 \cdot 10^3}{26414 \cdot 0,809} = 271,5$  л или 8,2 л/100 км.

В качестве предостережения отметим, что в России на законодательном уровне закреплено, что максимальная скорость легкового автомобиля в черте города не должна превышать 60 км/ч, а на автомагистралях – 110 км/ч. Скорость автомобиля 205 км/ч в условии задачи указана, чтобы можно было соотнести максимальную мощность двигателя и максимальную скорость автомобиля.

### Система оценивания:

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. Каждый продукт питания – по 1 б., указание на раствор ферментов – 1 б., уравнение сбраживания – 2 б.  | 2·1+1+2 = 5 б.                |
| 2. Массовая и объёмная доли этанола, указание на дистилляцию – по 2 б.   | 2·2+2 = 6 б.                  |
| 3. Массовая концентрация уксусной кислоты – 2 б.   | 2 б.                          |
| 4. Определение фермента – 1 б., три отличия по 0,5 б.  | 1+3·0,5 = 2,5 б.              |
| 5. Микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности – по 0,5 б., брутто-формулы веществ – по 1 б., уравнения реакций – по 2 б., Брутто-формула консерванта – 1 б., расчёт – 0,5 б. | 2·0,5+3·1+6·2+1+0,5 = 17,5 б. |
| 6. Объёмная доля этанола – 4 б., массовая доля этанола – 2 б.  | 4+2 = 6 б.                    |
| 7. Уравнение реакции сгорания этанола – 2 б., расчёт объёма топлива – 6 б.   | 2+6 = 8 б.                    |
| <b>Всего:</b>  | <b>47 баллов</b>              |

### Задание 3. (автор А.С. Романов)

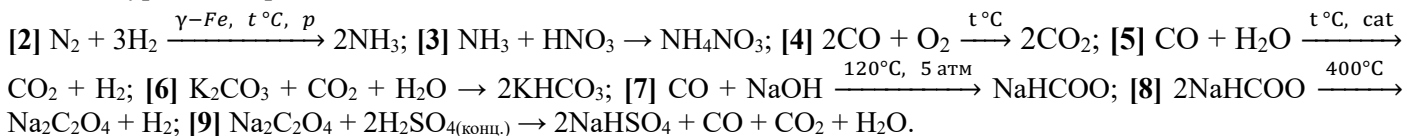
1. Вещество **C** можно вычислить сразу, поскольку  $m(\text{C}) = 2,24 - 1,12 = 1,12$  г, тогда  $M(\text{C}) = 1,12/0,04 = 28$  г/моль, что соответствует **C = Si**. Ясно, что формулу вещества **A** можно представить в виде  $\text{BSi}_n$ , где **B** – элемент, которые образует простое вещества **B**, а  $n$  – дробное или целое число. Тогда индексы  $1 : n$  соотносятся как  $1,12/M(\text{B}) : 0,04 = 28n/M(\text{B}) : n \Rightarrow M(\text{B}) = 28n$ . Подставляя  $n = 2$ , получаем **B = Fe** и **A = FeSi<sub>2</sub>**, дисилицид железа. Уравнение реакции: **[1]**  $\text{Fe} + 2\text{Si} \rightarrow \text{FeSi}_2$ .

2. Из массового содержания кислорода получим формулы для расчёта молярных масс веществ:

Шифр	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
M, г/моль	22n	28n	18n

Поскольку **F** содержит всего 2 атома в одной формульной единице, то  $n = 1$  и тогда на второй атом приходится 12 г/моль, что соответствует углероду, и тогда **F = CO**. Аналогично можно расшифровать и **E = CO<sub>2</sub>**, который образуется при сжигании угарного газа в кислороде. Ясно, что у участников Олимпиады с собой может быть только бутылочка с водой, поэтому **G = H<sub>2</sub>O**. Поскольку **D** синтезируют из простых веществ, то оно является бинарным (двухэлементным), к тому же оно газообразное и содержит 4 атома на одну формульную единицу. Эта информация и наличие в схемах **[X]** и **[Y]** соли аммония наводит на мысль, что **D = NH<sub>3</sub>**.

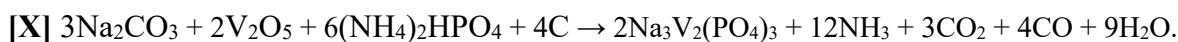
Запишем уравнения реакций:



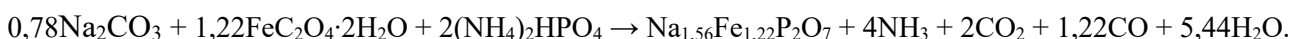
Нитрат аммония, который образуется в ходе реакции **[3]**, широко применяется в качестве **удобрения** или **взрывчатого вещества** при горных работах. Структурная формула и геометрическая форма молекулы воды приведена на рисунке справа. В твёрдой воде присутствуют **ковалентные полярные** и **водородные связи**. Можно отметить и присутствие связей Ван дер Ваальса, но указывать их наличие не требуется.



3. Запишем схему реакции **[X]**:  $3\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{V}_2\text{O}_5 + 6(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 4\text{C} \rightarrow 2\text{X} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ , ясно, что весь натрий, фосфор и ванадий содержатся в **X**. Предполагая, что весь фосфор перешёл в **X** в виде фосфата, получаем (учитывая, что **X** – четырехэлементное вещество) коэффициенты: 12 перед  $\text{NH}_3$ , 9 перед  $\text{H}_2\text{O}$ ; слева 43 кислорода, справа  $2x + z + 9 + 2\text{X} = 43$ , причем по углероду  $x + z = 7$ , тогда  $x + 2\text{X} = 27$ . Если весь фосфор перешел в **X** в виде фосфата, то он должен содержать  $6 \cdot 4/2 = 12$  атомов кислорода и тогда  $x = 3$ . Написав уравнение реакции, получаем **X = Na<sub>3</sub>V<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>**.



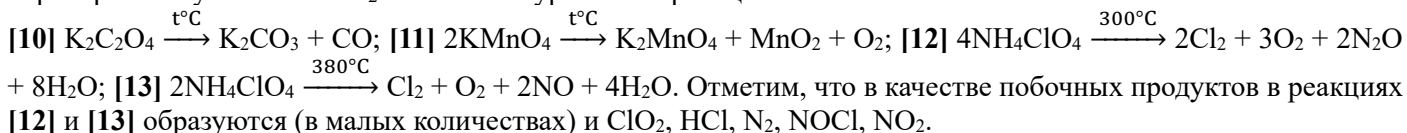
Проведем аналогичные рассуждения для реакции **[Y]**:  $0,78\text{Na}_2\text{CO}_3 + 1,22\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \rightarrow \text{Y} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ , слева азота 4, тогда коэффициент перед  $\text{NH}_3$  равен 4. Слева водорода  $18 + 1,22 \cdot 4$ , тогда коэффициент перед водой справа равен  $(18 + 1,22 \cdot 4 - 12)/2 = 5,44$ . Слева углерода 3,22, справа  $x + z = 3,22$ . Кислорода слева 17,66, справа  $2x + z + 5,44 + \text{Y} = 17,66 \Rightarrow x + \text{Y} = 9$ . По условию задачи  $x = 2$ , отсюда получаем **Y = 7** и записав уравнение реакции, получаем **Y = Na<sub>1,56</sub>Fe<sub>1,22</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**.



Для  $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$  степень окисления ванадия вычисляется по уравнению электронейтральности:  $3 + 2x - 9 = 0 \Rightarrow x = 3$ ; для  $\text{Na}_{1,56}\text{Fe}_{1,22}\text{P}_2\text{O}_7$  можно поступить аналогично:  $1,56 + 1,22x - 4 = 0 \Rightarrow x = 2$ .

4. По обсуждению проблемы локализации и автолокализации химических реакций в твердой фазе можно понять, что топохимия – раздел химии, изучающий реакции с твердыми веществами, протекающими на границе раздела (локально) твердой фазы с другой фазой. Можно подумать, что все реакции с твердыми телами – топохимические, однако, не стоит забывать, что реакция может протекать и внутри фазы твердого тела, а также по всей поверхности (не локально) твердого тела. Кстати, типичным примером топохимической реакции является коррозия железных изделий на воздухе, которая начинается на поверхности в области (локально), где повреждена защитная плёнка оксида или где присутствует дефект кристаллической решетки. Возникнув в каком-то месте, реакция продолжается в соседних областях кристалла (автолокализация процесса).

Запишем соотношение  $M(\text{NO}_x)/M(\text{NO}_y) = 1,47 = (14 + 16x)/(14 + 16y) \Rightarrow 6,58 = 16x - 23,52y$ , простым перебором получаем  $\text{NO}$  и  $\text{N}_2\text{O}$ . Запишем уравнения реакций:



*Дорогие участники Олимпиады! Вы можете ознакомиться с упомянутыми в задаче работами по ссылке:*

**Система оценивания:**

- |  |   |
|--|---|
| 1. Формулы веществ <b>A – C</b> , уравнение реакции [1] и название вещества <b>A</b> – по 1 б.   | $3 \cdot 1 + 1 + 1 = 5 \text{ б.}$                        |
| 2. Формулы веществ <b>D – G</b> , уравнения реакций [2] – [9], применение $\text{NH}_4\text{NO}_3$ – по 1 б. Структурная формула, геометрическая форма и типы связей – по 0,5 б. | $4 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 1 + 0,5 \cdot 4 = 15 \text{ б.}$ |
| 3. Формулы веществ <b>X, Y</b> и уравнения реакций [X], [Y] – по 2 б., степени окисления ванадия и железа – по 1 б.  | $2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 10 \text{ б.}$       |
| 4. Определение топохимии – 4 б., уравнения реакций [10] – [13] по 1 б.   | $4 + 4 \cdot 1 = 8 \text{ б.}$                            |
| <b>Всего:</b>  | <b>38 баллов</b>  |