**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 $N_{total} = N_{красн} \cdot N_{зелён} \cdot N_{син} = 256^3 = 2^{24} = 16777216$.

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 молярные доли **X(P₂) = 21,47%**, **X(P₄) = 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(CH₃)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 **E₂(SO₄)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., молярные 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. |
| Всего: | 25 баллов |

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

этанола 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

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: $Q = 100,1 \cdot 57960 = \mathbf{5801,8}$ 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 $26524 - 110 = \mathbf{26414}$ кДж энергии. Рассчитаем объём топлива, необходимый для преодоления такого расстояния: $V(\text{топлива}) = \frac{5801,8 \cdot 10^3}{26414 - 0,809} = \mathbf{271,5}$ 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. | $2 \cdot 1 + 1 + 2 = \mathbf{5}$ б. |
| 2. Массовая и объёмная доли этанола, указание на дистилляцию – по 2 б. | $2 \cdot 2 + 2 = \mathbf{6}$ б. |
| 3. Массовая концентрация уксусной кислоты – 2 б. | $\mathbf{2}$ б. |
| 4. Определение фермента – 1 б., три отличия по 0,5 б. | $1 + 3 \cdot 0,5 = \mathbf{2,5}$ 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. | $2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 1 + 6 \cdot 2 + 1 + 0,5 = \mathbf{17,5}$ б. |
| 6. Объёмная доля этанола – 4 б., массовая доля этанола – 2 б. | $4 + 2 = \mathbf{6}$ б. |
| 7. Уравнение реакции сгорания этанола – 2 б., расчёт объёма топлива – 6 б. | $2 + 6 = \mathbf{8}$ б. |
| Всего: | 47 баллов |

Задание 3. (автор А.С. Романов)

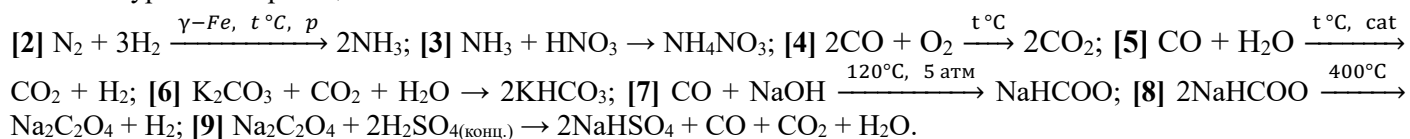
1. Вещество **C** можно вычислить сразу, поскольку $m(C) = 2,24 - 1,12 = 1,12$ г, тогда $M(C) = 1,12/0,04 = 28$ г/моль, что соответствует **C = Si**. Ясно, что формулу вещества **A** можно представить в виде $B\text{Si}_n$, где **B** – элемент, которые образует простое вещества **B**, а n – дробное или целое число. Тогда индексы $1 : n$ соотносятся как $1,12/M(B) : 0,04 = 28n/M(B) : n \Rightarrow M(B) = 28n$. Подставляя $n = 2$, получаем **B = Fe** и **A = FeSi₂**, 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	E	F	G
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 = CO₂**, который образуется при сжигании угарного газа в кислороде. Ясно, что у участников Олимпиады с собой может быть только бутылочка с водой, поэтому **G = H₂O**. 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 = NH₃**.

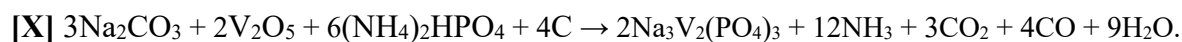
Запишем уравнения реакций:



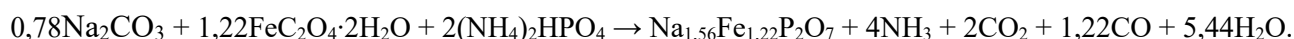
Нитрат аммония, который образуется в ходе реакции **[3]**, широко применяется в качестве **удобрения** или **взрывчатого вещества** при горных работах. Структурная формула и геометрическая форма молекулы воды приведена на рисунке справа. В твёрдой воде присутствуют **ковалентные полярные** и **водородные 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 NH_3 , 9 перед H_2O ; 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 = Na₃V₂(PO₄)₃**.



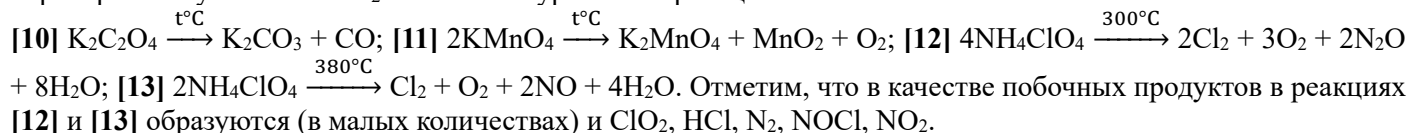
Проведем аналогичные рассуждения для реакции **[Y]**: $0,78\text{Na}_2\text{CO}_3 + 1,22\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \rightarrow \text{Y} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$, слева азота 4, тогда коэффициент перед NH_3 равен 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_{1,56}Fe_{1,22}P₂O₇**.



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 NO и N_2O . Запишем уравнения реакций:



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

Система оценивания:

- | | |
|--|---|
| 1. Формулы веществ A – C , уравнение реакции [1] и название вещества A – по 1 б. | $3 \cdot 1 + 1 + 1 = 5 \text{ б.}$ |
| 2. Формулы веществ D – G , уравнения реакций [2] – [9] , применение NH_4NO_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 X, Y 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. | $4 + 4 \cdot 1 = 8 \text{ б.}$ |
| Всего: | 38 баллов |