**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 азота с металлом, скорее всего **X** представляет собой нитрид неизвестного металла. С помощью рисунка фрагмента структуры **X** можно установить стехиометрию нитрида. Все малые атомы связаны только с большими, а все большие только с малыми и при этом КЧ у обоих атомов равно 4, поэтому отношение атомов равно 1:1. Также можно подсчитать число атомов в 1 элементарной ячейке. Четыре малых атома в верхней и нижней тупоугольной грани принадлежат элементарной ячейке на 1/6 своего объёма, в верхней и нижней остроугольной грани 6 малых атома принадлежат на 1/12 своего объёма и 1 малый атом полностью принадлежит элементарной ячейке. Тогда их число равно  $4 \cdot 1/6 + 4 \cdot 1/12 + 1 = 2$  шт. Большие атомы лежащие на рёбрах с тупым углом принадлежит элементарной ячейке на 1/3 объёма, атомы лежащие на рёбрах с острым углом принадлежат элементарной ячейке на 1/6 своего объёма, тогда с учётом одного внутреннего большего атома их число равно  $2 \cdot 1/3 + 2 \cdot 1/6 + 1 = 2$  шт. В итоге соотношение атомов в **X** равно  $2:2 = 1:1$ . Теперь воспользуемся 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 **M – Ga, Q – Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, X – GaN**.

Уравнения реакций [1–4]: [1]  $2Ga + 2NH_3 \xrightarrow{950^\circ C} 2GaN + 3H_2$ ; [2]  $2Ga + N_2 \xrightarrow{t^\circ} 2GaN$ ;

[3]  $Ga(CH_3)_3 + NH_3 \xrightarrow{1000^\circ C} GaN + 3CH_4$ ; [4]  $2Ga + 3Hg(CH_3)_2 \xrightarrow{100^\circ C} 2Ga(CH_3)_3 + 3Hg$ .

3. 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 иона  $SO_4^{2-}$  и делением на 2 дает  $M(E) = 89$  г/моль, а значит, **E – иттрий Y**. Определим вещество **G**:  $M(G) = 23x/0,2788 = 82,5x \rightarrow x = 2$ ,  $M(G) = 165$  г/моль. Зеленый цвет вещества **G** намекает на присутствие манганат-ионов в расплаве, что и подтверждается расчетом молярной массы, **G – Na<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>**. Значит **D** это не марганец, поскольку последний выпадает в осадок в виде гидроксида в реакции [11], а раствор содержит **D**. С помощью формулы вещества  $Y_3D_3O_{12}$  можно установить степень окисления **D**  $= (24-15)/3 = +3$ . Исходя из частой встречаемости **D** в минералах и тому, что этот металл – один из трёх самых распространённых элементов (а это O, Si, Al), можно сделать вывод о том, что **D – алюминий Al**.

Зашифрованные в схеме вещества и элементы:

Шифр	D	E	F	G	H	I
Формула	Al	Y	$Y_2(SO_4)_3$	$Na_2MnO_4$	$Al_2(SO_4)_3$	$NaAlO_2$ или $Na_{(1+2x)}AlO_{(2+x)}$
Шифр	K	L	N	O	T	W
Формула	$Y(NO_3)_3$	Mn	$Na[Al(OH)_4]$	$Al(OH)_3$	$MnSO_4$	$Al(NO_3)_3$

Уравнения реакций [5–15]:

[5]  $2YPO_4 + 3H_2SO_4 \xrightarrow{140^\circ C} Y_2(SO_4)_3 + 2H_3PO_4$ ; [6]  $Y_2(SO_4)_3 + 3Ba(NO_3)_2 \rightarrow 2Y(NO_3)_3 + 3BaSO_4 \downarrow$ ;

[7]  $MnAl_2O_4 + 4NaOH + O_2 \xrightarrow{t^\circ} Na_2MnO_4 + 2NaAlO_2$  (допустимо указывать  $Na_{(1+2x)}AlO_{(2+x)} + 2H_2O \uparrow$ );

[8]  $Na_2MnO_4 + 2Na_2SO_3 + 2H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + 3Na_2SO_4 + 2H_2O$ ;

[9]  $2NaAlO_2 + 4H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 4H_2O$ ;

[10]  $Al_2(SO_4)_3 + 8NaOH_{(изб)} \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3Na_2SO_4$ ;

[11]  $MnSO_4 + 2NaOH \rightarrow Mn(OH)_2 \downarrow + Na_2SO_4$ ;

[12]  $4Mn(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Mn(OH)_3 \downarrow$  (допустимо указывать в продуктах  $MnOOH$ ,  $MnO_2$  или  $Mn(OH)_4$ );

[13]  $Na[Al(OH)_4] + H_2S \rightarrow Al(OH)_3 \downarrow + H_2O + NaHS$  ( $Na_2S$  минус 0,5 б.,  $NaOH$  0 б.);

[14]  $Al(OH)_3 + 3HNO_3 \rightarrow Al(NO_3)_3 + 3H_2O$ ;

[15]  $9Y(NO_3)_3 + 15Al(NO_3)_3 + 20C_6H_8O_7 \xrightarrow{t^\circ} 3Y_3Al_5O_{12} + 120CO_2 \uparrow + 80H_2O \uparrow + 36N_2 \uparrow$ .

4. Искомая фраза – «Light of knowledge» (свет знаний).

**Система оценивания:**

- |  |   |
|--|---|
| 1. Пиксель, расчёт количества цветов – по 0,5 б.   | $0,5+0,5 = 1 \text{ б.}$                  |
| 2. Вещества <b>M, Q, X</b> – по 1 б., уравнения реакций [1–4] – по 1 б.  | $3 \cdot 1 + 4 \cdot 1 = 7 \text{ б.}$    |
| 3. Символы элементов <b>D, E, L</b> , формулы веществ <b>F – I, K, N, O, T, W</b> и уравнения реакций [5–15] – по 1 б. | $12 \cdot 1 + 11 \cdot 1 = 23 \text{ б.}$ |
| 4. Фраза со словами <i>Light</i> и <i>Knowledge</i> – 1 б.   | $1 \text{ б.}$                            |
| <b>Всего:</b>  | <b>32 балла</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. Рассчитаем сначала количество вещества глюкозы и найдем теоретическое количество углекислого газа, а затем и выход реакции:  $n(C_6H_{12}O_6) = \frac{25,00 \cdot 0,93}{180} = 0,1292$  моль  $\Rightarrow n_{теор}(CO_2) = 0,1292 \cdot 2 = 0,2584$  моль.

$n_{прак}(CO_2) = n(BaCO_3) = \frac{41,98}{197} = 0,2131$  моль  $\Rightarrow \eta = \frac{0,2131}{0,2584} = 82,5\%$ . 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,  $m(p - ра) = 25,00 + 150 - 9,376 = 165,6$  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. Бытовое название более концентрированного раствора этанола – самогон.

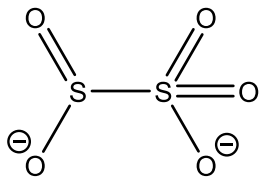
3. Эта деталь называется ректификационной колонной. С её помощью можно значительно повысить эффективность процесса дистилляции, за счёт непрерывного теплообмена между жидкой и паровой фазами внутри колонны. Собственное название получаемого продукта – спирт-ректификат. Однако, при помощи одной лишь дистилляции с ректификационной колонной при атмосферном давлении можно получить только азеотропный раствор (мольный состав раствора равен мольному составу паров) составом 95,57% спирта по массе. Практически безводный этанол можно получить при использовании химических осушителей, таких как безводный сульфат меди(II) или при помощи других химических реакций с водой, например путём добавления небольшого количества сложного эфира к спирту, а затем натрия, то можно добиться удаления воды, так как она будет затрачиваться на реакцию гидролиза сложного эфира. Наконец, можно использовать перегонку с ректификационной колонной при пониженном давлении, например ниже 70 мм. рт. ст. этанол не образует азеотропной смеси с водой. Безводный спирт называется абсолютным.

4. 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.

5. При нагревании виноградного сока с соляной кислотой происходит гидролиз олигосахаридов, в частности сахарозы:  $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = C_6H_{12}O_6$  ( $\alpha$ -глюкоза) +  $C_6H_{12}O_6$  ( $\beta$ -фруктоза). Сначала глюкозу окисляют иодом в щелочной среде:  $R-CHO$  (или  $C_6H_{12}O_6$ ) +  $I_2$  +  $3NaOH \rightarrow R-COONa$  (или  $C_6H_{11}O_7Na$ ) +  $2NaI$  +  $2H_2O$ . Одновременно с этим избыток иода диспропорционирует в щелочной среде: [1]  $6NaOH + 3I_2 \rightarrow 5NaI + NaIO_3 + 3H_2O$ . При добавлении серной кислоты происходит обратный предыдущему процесс – сопропорционирование в кислой среде: [2]  $5NaI + NaIO_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow 3Na_2SO_4 + 3I_2 + 3H_2O$ . Наконец, иод количественно вступает в реакцию с тиосульфатом натрия: [3]  $I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6$ . Рассчитаем количество вещества иода, ушедшего на окисление глюкозы:  $n(I_2) = 25,00 \cdot 0,08250 - \frac{24,84 \cdot 0,1000}{2} = 0,8205$  ммоль. Тогда  $C_m(C_6H_{12}O_6) = \frac{0,8205 \cdot 180}{10} = 14,77$  г/100 мл.

6. 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).

7. 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 –  $NaOH$ . Для получения  $NaOH$  необходимо приготовить раствор поваренной



пиросульфит-анион

соли в воде и провести электролиз с диафрагмой:  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл-лиз}} 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2$ . В этом процессе также образуется и хлор, который понадобится нам для синтеза

хлорной извести при охлаждении по уравнению:  $2\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{холод}} \text{CaCl}_2 + \text{Ca}(\text{OCl})_2$  (или  $\text{CaOCl}_2$ ) +  $2\text{H}_2\text{O}$ . Ещё нужно синтезировать углекислый газ и гидроксид кальция из известняка, это можно осуществить его прокаливанием при высоких

температурах:  $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{t^\circ} \text{CaO} + \text{CO}_2$ . Гидроксид кальция образуется при взаимодействии негашеной извести с водой:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ . Получить

кальцинированную соду можно двумя способами, взаимодействием  $\text{NaOH}_{\text{тв}}$  и  $\text{CO}_2$  с последующим

нагреванием смеси для удаления воды:  $2\text{NaOH} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} + (2-x)\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Na}_2\text{CO}_3 + x\text{H}_2\text{O}$ . Второй способ заключается в пропускании избытка углекислого газа через водный раствор  $\text{NaOH}$ , так как недостаток  $\text{CO}_2$  контролировать значительно труднее, нежели его избыток:  $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NaHCO}_3$ . Затем

осуществляют «кальцинирование», то есть прокалывание полученной пищевой соды:  $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{t^\circ} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Данный способ является значительно более рациональным, чем первый, однако первый всё равно оценивается полным баллом. Определим формулу консерванта при помощи информации о массовых

содержаниях серы и кислорода. Для этого определим соотношение этих элементов в данной соли:  $n(\text{S}):n(\text{O}) = \frac{28,82}{32} : \frac{36,04}{16} = 0,9006 : 2,2525 = 2 : 5$ . Предположим, что в состав консерванта входит два атома

серы, тогда его молярная масса вычисляется по формуле:  $M = \frac{32 \cdot 2}{0,2882} = 222$  г/моль. Вычитая из молярной

массы консерванта две молярные массы серы и пять молярных масс кислорода в остатке получаем 78 г/моль, что соответствует двум молярным массам калия => **формула консерванта –  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$** . Структурная формула

аниона приведена на рисунке выше.

**8.** Основной компонент пирита представляет собой дисульфид железа(II) –  $\text{Fe}^{+2}\text{S}_2^{-1}$ , его формулу можно отыскать при помощи известной массовой доли серы. Сначала пирит следует сжечь на воздухе для получения

сернистого газа:  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{Fe}_2\text{O}_3$  (или  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) +  $8\text{SO}_2$ . Далее следует пропустить избыток сернистого

газа через водный раствор едкого кали:  $\text{KOH} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{KHSO}_3$ . При выпаривании данного раствора гидросульфит не кристаллизуется, поскольку является неустойчивым, но вместо него в твердую фазу выделяется пиросульфит:  $2\text{KHSO}_3 \xrightarrow{\text{выпаривание}} \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}$ . Концентрированными серной и азотной

кислотой дисульфид железа(II) окисляется следующим образом:  $\text{FeS}_2 + 18\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 15\text{NO}_2\uparrow + 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $2\text{FeS}_2 + 14\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 15\text{SO}_2\uparrow + 14\text{H}_2\text{O}$ .

**9.** Рассчитаем время, за которое автомобиль преодолеет 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:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{р-р})} + 3\text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{CO}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ . Теперь по закону Гесса найдем теплоту сгорания этанола:  $Q_{\text{сгор}} = 3Q_f(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) +$

$2Q_f(\text{CO}_2) - Q_f(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{р-р})}) = 1277,6$  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:  $Q_{\text{сгор,уд}} = \frac{1277,6 \cdot 1000}{46} = 27774$

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:  $V(\text{топлива}) = \frac{5801,8 \cdot 10^3}{26414 \cdot 0,809} = \mathbf{271,5}$  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 – 1 б.  | $2 \cdot 1 + 1 + 1 = 4 \text{ б.}$  |
| 2. Выход реакции – 1 б., массовая и объёмная доли этанола по 1 б., указание на дистилляцию и самогон – по 1 б.   | $1 + 2 \cdot 1 + 1 + 1 = 5 \text{ б.}$                                    |
| 3. Название детали, спирт-ректификат, способ получения ~100% спирта и его название – по 1 б.   | $1 + 1 + 1 + 1 = 4 \text{ б.}$  |
| 4. Массовая концентрация уксусной кислоты – 2 б.   | $2 \text{ б.}$  |
| 5. 3 уравнения реакций – по 1 б., массовая концентрация глюкозы – 2 б.   | $3 \cdot 1 + 2 = 5 \text{ б.}$  |
| 6. Определение фермента – 1 б., три отличия по 0,5 б.  | $1 + 3 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ б.}$  |
| 7. Микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности – по 0,5 б., брутто-формулы веществ – по 1 б., рациональные способы получения – по 2 б., если способ нерациональный – 1 б., если не указаны условия проведения реакции – минус 0,5 б за способ получения. Брутто- и структурная формула консерванта – по 1 б., расчёт – 0,5 б. | $2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 0,5 = 12,5 \text{ б.}$ |
| 8. Рациональный способ получения пиросульфита – 3 б., степени окисления элементов – по 0,5 б., уравнения реакций с кислотами – по 2 б.   | $3 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 2 = 8 \text{ б.}$                              |
| 9. Уравнение реакции сгорания этанола – 1 б., расчёт объёма топлива – 6 б.   | $1 + 6 = 7 \text{ б.}$  |
| <b>Всего:</b>  | <b>50 баллов</b>  |

### Задание 3. (автор А.С. Романов)

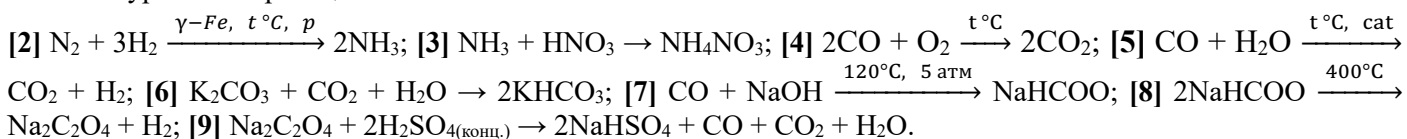
1. Вещество **C** можно вычислить сразу, поскольку  $m(C) = 2,24 - 1,12 = 1,12$  г, тогда  $M(C) = 1,12/0,04 = 28$  г/моль, что соответствует **C = Si**. Ясно, что формулу вещества **A** можно представить в виде  $B\text{Si}_n$ , где **B** – элемент, которые образует простое вещества **B**, а  $n$  – 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 = 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>**.

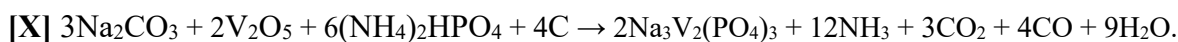
Запишем уравнения реакций:



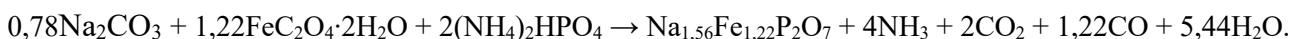
Нитрат аммония, который образуется в ходе реакции **[3]**, широко применяется в качестве **удобрения** или **взрывчатого вещества** при горных работах. Структурная формула и геометрическая форма молекулы воды приведена на рисунке справа. В твёрдой воде присутствуют **ковалентные полярные** и **водородные 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>**.



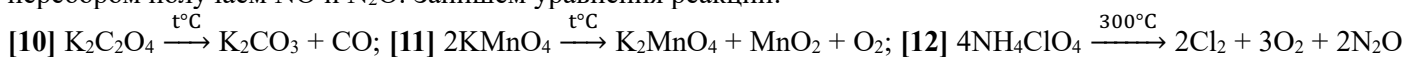
Проведем аналогичные рассуждения для реакции **[Y]**:  $0,78\text{Na}_2\text{CO}_3 + 1,22\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \rightarrow \text{Y} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ , слева азота 4, тогда коэффициент перед  $\text{NH}_3$  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  $2x + z + 5,44 + \text{Y} = 17,66 \Rightarrow x + \text{Y} = 9$ . Формульная единица вещества **Y** содержит 1,56 атом натрия, 1,22 атомов железа, 2 атома фосфора и неизвестное количество атомов кислорода. Если фосфор содержится в виде  $\text{PO}_4^{3-}$ , то степень окисления железа равна  $(6 - 1,56)/1,22 = 3,64$ , что не соответствует условию. Однако, если убрать 1 атом кислорода, что будет соответствовать содержанию пирофосфат-иона  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ , то степень окисления железа равна  $(4 - 1,56)/1,22 = 2$ . Отсюда получаем  $x = 2$  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:



+ 8H<sub>2</sub>O; [13] 2NH<sub>4</sub>ClO<sub>4</sub>  $\xrightarrow{380^{\circ}\text{C}}$  Cl<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> + 2NO + 4H<sub>2</sub>O. Отметим, что в качестве побочных продуктов в реакциях [12] и [13] образуются (в малых количествах) и ClO<sub>2</sub>, HCl, N<sub>2</sub>, NOCl, NO<sub>2</sub>.

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

Kosova, N. V. Perspective Cathode Materials for Sodium-Ion Batteries / N. V. Kosova, D. O. Semykina // Chemistry for Sustainable Development. – 2021. – Vol. 29, No. 3. – P. 333-345. – DOI 10.15372/CSD2021311. – EDN IGVHCl.

Boldyrev, V. V. (2006). Thermal decomposition of ammonium perchlorate. Thermochimica Acta, 443(1), 1–36. doi:10.1016/j.tca.2005.11.038

**Система оценивания:**

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