

Заключительный этап межрегиональной межвузовской олимпиады школьников

Сибирского федерального округа «Будущее Сибири» 2019-2020 г.

Решения олимпиадных заданий по химии

10 класс

**Задание 1.** Элемент X относится к числу довольно распространенных элементов в земной коре. Соединения, содержащие элемент X в нулевой и положительных степенях окисления, являются сильными окислителями. Простое вещество, образованное элементом X, представляет собой ядовитый желто-зеленый газ, состоящий из двухатомных молекул.

Элемент Y – самый распространенный элемент во Вселенной и один из самых распространенных на Земле, во всех природных соединениях имеет степень окисления +1. Простое вещество, образованное элементом Y, также состоит из двухатомных молекул.

а) Назовите элементы X и Y, напишите уравнение реакции взаимодействия газов друг с другом, назовите продукт реакции. А как называется водный раствор этого продукта?

а) Из описания свойств элементов следует, что элемент X – хлор, Y – водород. Уравнение реакции:  
 $Cl_2 + H_2 = 2HCl$ , продукт реакции хлороводород. Его водный раствор называется «соляная кислота»

а) За названия элементов по 1 б., уравнение реакции 1 б., названия по 1 б. **5 баллов**

б) Укажите типы химической связи в молекулах  $X_2$ ,  $Y_2$  и XY и в кристаллах, которые они образуют при низких температурах.

б) Типы химической связи в молекулах:  $X_2$  и  $Y_2$  – ковалентная неполярная, XY – ковалентная полярная. Ответ «ковалентная» засчитывается как правильный. Типы химической связи в кристаллах:  $X_2$  и  $Y_2$  – вандерваальсова связь (дисперсионная), XY – вандерваальсова связь (ориентационная). Ответ «вандерваальсова» засчитывается как правильный.

б) Типы химической связи в молекулах и кристаллах по 0,5 балла **3 балла**

в) Напишите уравнений реакций взаимодействия железа, ртути, алюминия, гидроксида и иодида калия с водным раствором XY, а также с газом  $X_2$  при нагревании. Если реакция не идет, обязательно укажите это.

в) Уравнения реакций:  $Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2 \uparrow$ ;  $Hg + HCl \neq$  не идет;  $2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2 \uparrow$ ;  
 $KOH + HCl = KCl + H_2O$ ;  $KI + HCl \neq$  не идет;

$2Fe + 3Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} 2FeCl_3$ ;  $Hg + Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} HgCl_2$ ;  $2Al + 3Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} 2AlCl_3$ ;  $6KOH + 3Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} KClO_3 + 5KCl + 3H_2O$ ;  
 $2KI + Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} 2KCl + I_2$  или  $KI + Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} KCl + ICl$  ( $ICl_3$ ).

в) За уравнения реакций по 1 баллу, указание «не идет» по 1 баллу **10 баллов**

г) Напишите уравнение реакции электролиза водного раствора NaX с образованием  $X_2$ , укажите катодный и анодный процессы, на каком из электродов идет окисление, на каком восстановление.

г) Уравнение реакции:  $2NaCl + 2H_2O = H_2 \uparrow + Cl_2 \uparrow + 2NaOH$ .

Катод (восстановление):  $2H_2O + 2e = H_2 \uparrow + 2OH^-$ . Анод (окисление):  $2Cl^- - 2e = Cl_2 \uparrow$ .

г) За уравнение реакции, электродные процессы по 1 б., указание ок/ред по 0,5 б. **4 балла**

д) Для проведения электролиза взяли 1000 г 15 % (масс.) раствора NaX, процесс прекратили после выделения на катоде 24,44 л газа (25 °С, 1 атм.). Пренебрегая растворимостью газов, вычислите массовые доли присутствующих в растворе веществ.

д) Исходно в растворе было  $0,15 \cdot 1000 = 150$  г хлорида натрия. На катоде выделилось  $n = 1 \cdot 24,44 / (0,082 \cdot 298) = 1$  моль водорода массой 2 г, следовательно, на аноде выделилось 1 моль хлора массой 71 г. Электролизу подверглось 2 моль хлорида натрия ( $2 \cdot 58,5 = 117$  г), получилось 2 моль гидроксида натрия ( $2 \cdot 40 = 80$  г). Хлорида натрия в растворе осталось  $150 - 117 = 33$  г, масса раствора  $1000 - 71 - 2 = 927$  г. Массовые доли веществ в растворе:  $\omega(NaCl) = 33 / 927 = 0,0356$  или 3,56 %;  $\omega(NaOH) = 80 / 927 = 0,0863$  или 8,63 %.

д) За массовые доли веществ по 2 балла

**4 балла**

**ИТОГО**

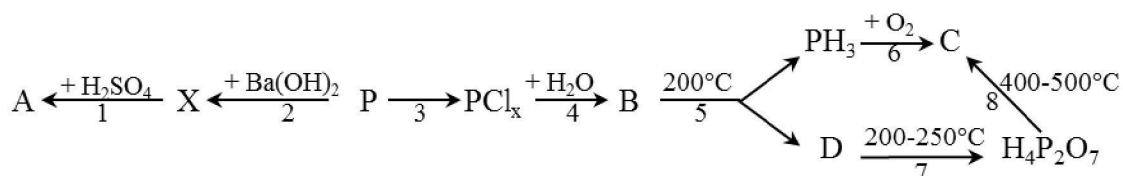
**26 баллов**

**Задание 2.** Вашему вниманию предлагается схема превращений фосфора и его соединений.

Известно, что А, В, С, D – кислородсодержащие кислоты фосфора, Р – белый фосфор, вещество  $PCl_x$  содержит 77,45 % (масс.) хлора, а реакцию 2 проводят при  $t = 70$  °С.

а) Расшифруйте схему. Вычислите состав соединения  $PCl_x$ , напишите формулы соединений А, В, С, D, Х.

б) Назовите кислоты А, В, С, D, изобразите структурные формулы А, В, D и укажите их основность.



а)-б)  $\text{PCl}_x$ :  $22,25/32 : 77,45/35,5 = 0,72:2,18 = 1:3$ ,  $\text{PCl}_3$ . А –  $\text{H}_3\text{PO}_2$  – фосфорноватистая кислота, одноосновная; В –  $\text{H}_3\text{PO}_3$  – фосфористая кислота, двухосновная, С –  $\text{HPO}_3$  – метафосфорная кислота, D –  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – ортофосфорная кислота, трехосновная, X –  $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ . Структурные формулы:

$\text{H}_3\text{PO}_2$	$\text{H}_3\text{PO}_3$	$\text{H}_3\text{PO}_4$
$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{H}-\text{P}=\text{O} \\    \\  \text{HO}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{HO}-\text{P}=\text{O} \\    \\  \text{HO}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{HO} \\    \\  \text{HO}-\text{P}=\text{O} \\    \\  \text{HO}  \end{array}  $

а) За формулы веществ  $\text{PCl}_x$ , А-D, X по 1 б.

6 баллов

б) За названия А-D по 0,5 б., за строение А, В, D по 1,5 б., за основность по 0,5 б.

8 баллов

в) Напишите уравнения реакций 1-8, приведенных на схеме.

г) Уравнения реакций: 1.  $8\text{P} + 3\text{Ba}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{PH}_3 + 3\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ .

2.  $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{BaSO}_4$ . 3.  $3\text{P} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{PCl}_3$ . 4.  $\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{HCl}$ .

5.  $4\text{H}_3\text{PO}_3 = \text{PH}_3 + 3\text{H}_3\text{PO}_4$ . 6.  $\text{PH}_3 + 2\text{O}_2 = \text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . 7.  $2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$ .

8.  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 = 2\text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

в) За уравнения реакций по 1 баллу

8 баллов

**ИТОГО**

22 балла

**Задание 3.** При окислении углеводорода X дихроматом калия в кислой среде при нагревании образуются два продукта (А и В), принадлежащие к разным классам органических соединений. Молярная масса углеводорода X 70 г/моль, массовая доля углерода в нем  $\omega(\text{C}) = 85,7\%$ . При взаимодействии 14,7 мл вещества А ( $\rho = 0,79$  г/мл) с раствором йода в щелочной среде, выпал осадок вещества Y желтого цвета.

а) Определите молекулярные и структурные формулы углеводорода X, а также продуктов его окисления А и В, назовите вещества X, А, В и Y.

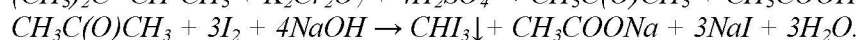
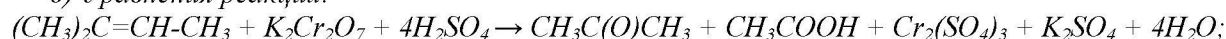
а) Молярная масса углеводорода X 70 г/моль, на углерод в ней приходится  $0,857 \cdot 70 = 60$  г/моль, на водород 10 г/моль, откуда следует, что молекулярная формула  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ . По условию задачи в реакции окисления образуются продукты, принадлежащие разным классам органических соединений, значит углеводород относится к классу алкенов, и содержит третичный атом углерода. Следовательно, углеводород X –  $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$  – 2-метилбутен-2. Продукты его окисления –  $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$  – ацетон (А) и  $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OH}$  – уксусная кислота (В). В реакции ацетона с раствором йода в щелочной среде образуется осадок  $\text{CHI}_3$  – иодоформ (Y).

а) За молекулярные формулы веществ X, А, В по 1 б., структурные по 2 б. (если есть структурная, но нет молекулярной формулы, ставится 3 б.), названия X, А, В и Y по 1 б.

13 баллов

б) Напишите уравнения описанных реакций, расставьте коэффициенты.

б) Уравнения реакций:



б) За уравнения реакций по 3 балла

6 баллов

в) Рассчитайте массу образовавшегося желтого осадка Y.

г)  $m(\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_3) = V \cdot \rho = 14,7 \cdot 0,79 = 11,613$  г.  $n(\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_3) = 11,613/58 = 0,2$  моль.

$m(\text{CHI}_3) = 0,2 \cdot 394 = 78,8$  г.

в) За массу осадка 3 балла

3 балла

**ИТОГО**

22 балла

**Задание 4.** Для изготовления недорогих ювелирных изделий, выглядящих как настоящие, используются различные сплавы, имитирующие золото. Конечно, передать физические свойства металла, прежде всего его химическую нейтральность к различным агрессивным средам, не удастся, зато визуально повторить желтый металл вполне возможно. Чтобы создать такую имитацию, существует довольно много способов, которые можно условно разделить на две группы. Первая, в которой золота нет вообще, и вторая, в которой присутствует золото, но в небольшой концентрации. Сплавы, не содержащие золота вообще, со временем темнеют. Чтобы снизить подобный эффект или растянуть его во времени, в состав сплава добавляют очень небольшое количество настоящего золота. Классическим примером является «Абиссинское золото», которое было получено в Абиссинии (современной Эфиопии). В его состав входит

всего 0,5 масс. % чистого золота и этого достаточно, чтобы эффективно бороться с возникновением пленки на поверхности. Два других компонента сплава – это медь (88 масс. %) и цинк.

а) Исходя из предположения, что объем сплава равен сумме объемов вошедших в него металлов, вычислите плотность «Абиссинского золота», зная плотности меди (8,92 г/см<sup>3</sup>), цинка (7,33 г/см<sup>3</sup>) и золота (19,32 г/см<sup>3</sup>).

а) Возьмем 100 г сплава. Его объем, по условию, сложится из объемов вошедших в сплав металлов. Их объемы равны массе металла, деленной на плотность:  $V(M) = m(M)/\rho(M)$ . Массы металлов равны произведению их массовых долей на массу сплава  $m(M) = \omega(M) \cdot m(\text{сплава})$ . В 100 г сплава содержится 88 г меди, 0,5 г золота и  $100 - 88 - 0,5 = 11,5$  г цинка. Получаем  $V(\text{сплава}) = 88/8,92 + 11,5/7,33 + 0,5/19,32 = 11,46$  см<sup>3</sup>. Плотность сплава  $100/11,46 = 8,73$  г/см<sup>3</sup>.

**а) За плотность сплава 4 балла**

**4 балла**

б) Напишите все возможные реакции, которые будут протекать при растворении измельченного в порошок сплава в разбавленных растворах азотной и соляной кислот и в царской водке.

б) Уравнения реакций:  $Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2 \uparrow$ ;  $3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO \uparrow + 4H_2O$ ;

$4Zn + 10HNO_3 = 4Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$  либо  $3Zn + 8HNO_3 = 3Zn(NO_3)_2 + 2NO \uparrow + 4H_2O$ ;

$3Zn + 2HNO_3 + 6HCl = 3ZnCl_2 (H_2[ZnCl_4]) + 2NO \uparrow + 4H_2O$ ;

$3Cu + 2HNO_3 + 6HCl = 3CuCl_2 (H_2[CuCl_4]) + 2NO \uparrow + 4H_2O$ ;  $Au + HNO_3 + 4HCl = H[AuCl_4] + NO \uparrow + 2H_2O$ ;

**б) За уравнения реакций по 1 баллу**

**6 баллов**

в) Вычислите объемы газообразных продуктов (н. у.), которые можно получить при растворении 1 г сплава в каждой из трех кислот.

в) В соляной кислоте растворяется только цинк. Его количество  $0,115/65,4 = 1,77 \cdot 10^{-3}$  моль, водорода получится столько же, его объем составит  $22,4 \cdot 1,77 \cdot 10^{-3} = 0,0394$  л. При растворении меди ( $0,88/63,5 = 1,39 \cdot 10^{-2}$  моль) в разбавленной азотной кислоте получится  $2/3 \cdot 1,39 \cdot 10^{-2} = 9,24 \cdot 10^{-3}$  моль NO, его объем составит  $22,4 \cdot 9,24 \cdot 10^{-3} = 0,207$  л. Если считать, что продуктом восстановления азотной кислоты цинком является нитрат аммония (а это верно для очень разбавленных растворов азотной кислоты), то газ в этой реакции не выделяется, и верный ответ 0,207 л. Если считать, что продуктом восстановления азотной кислоты цинком является оксид азота(II), то его получится  $22,4 \cdot 2/3 \cdot 1,77 \cdot 10^{-3} = 0,026$  л. Тогда общий объем газа в реакции с азотной кислотой составит  $0,207 + 0,026 = 0,233$  л. При растворении меди и цинка в царской водке выделяется NO, объем которого совпадает с тем, что мы уже вычислили. При растворении золота количество NO равно количеству растворившегося золота, т. е.  $0,05/197$  моль, а объем  $22,4 \cdot 0,05/197 = 0,006$  л. Общий объем газа в реакции с царской водкой  $0,233 + 0,006 = 0,239$  л.

**в) За объем газа в реакции с каждой из кислот по 2 балла**

**6 баллов**

г) Предложите последовательность, в которой следует обрабатывать сплав этими кислотами, чтобы отделить компоненты сплава друг от друга.

г) Сначала следует обработать сплав соляной кислотой, при этом растворится только цинк, образовав раствор хлорида цинка. При последующей обработке азотной кислотой растворится медь с образованием нитрата меди, а золото останется в остатке.

**г) За верную последовательность 4 балла**

**4 балла**

д) Рассчитайте массовые доли солей меди и цинка в индивидуальных растворах этих солей, полученных в результате последовательной обработки 10 г сплава порциями кислот массой по 200 г. каждая (кислоты в избытке).

д) Масса цинка в 10 г сплава  $0,115 \cdot 10 = 1,15$  г, его количество  $1,15/65,4 = 0,0177$  моль, масса хлорида цинка  $0,0177 \cdot 136,4 = 2,414$  г. Масса выделившегося водорода  $0,0177 \cdot 2 = 0,0354$  г, масса раствора  $200 + 1,15 - 0,04 = 201,11$  г, массовая доля хлорида цинка  $2,414/201,11 = 0,012$  или 1,2 %.

Масса меди в 10 г сплава  $0,88 \cdot 10 = 8,8$  г, ее количество  $8,8/63,5 = 0,139$  моль, масса нитрата меди  $0,139 \cdot 187,5 = 26,06$  г. Масса выделившегося оксида азота  $0,139 \cdot 30 \cdot 2/3 = 2,78$  г, масса раствора  $200 + 8,8 - 2,78 = 206,02 \approx 206$  г, массовая доля нитрата меди  $26,06/206 = 0,1265$  или 12,65 %.

**д) За массовые доли каждой из солей по 3 балла**

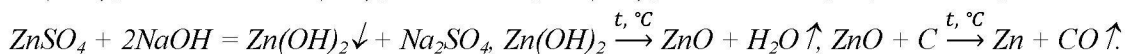
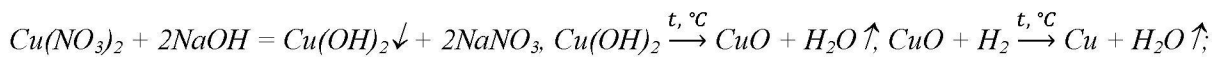
**6 баллов**

е) Как из полученных после растворения сплава растворов выделить чистые цинк и медь (приведите по 2 разных способа для каждого из металлов)?

е) Один из самых простых способов – взаимодействие с более активных металлов с растворами солей:

$Cu(NO_3)_2 + Fe = Cu \downarrow + Fe(NO_3)_2$ ;  $ZnSO_4 + Mn = Zn \downarrow + MnSO_4$ .

Второй вариант, позволяющий осадить металлы непосредственно из раствора – электролиз растворов (с диафрагмой):  $2Cu(NO_3)_2 + 4H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} 2Cu \downarrow + 4HNO_3 + O_2 \uparrow$ ;  $2ZnSO_4 + 4H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} 2Zn \downarrow + 2H_2SO_4 + O_2 \uparrow$ . Возможно осаждение гидроксидов с последующим прокаливанием до оксидов и восстановлением подходящими восстановителями:



е) По 2 способа для Cu и Zn с уравнениями реакций по 1 б. (без уравнений по 0,5 б.)

4 балла

**ИТОГО**

**30 баллов**

### Задание 5.

«Если прошлое и настоящее водорода связано с понятием «промышленный газ», то будущее – с понятием «новый энергоноситель»» (Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию / Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО // июнь 2019 г.)

Водород считается одним из наиболее перспективных видов топлива и зарекомендовал себя как эффективный и экологически чистый энергоноситель. Удельная теплота сгорания водорода до газообразных продуктов составляет примерно 120 кДж/г, что в несколько раз превышает аналогичную удельную теплоту полного сгорания углеводородных топлив (для метана – около 50 кДж/г).

Смеси водорода с кислородом или воздухом взрывоопасны и называются гремучим газом. При зажигании искрой или другим источником смесь водорода с воздухом небольшого объема сгорает чрезвычайно быстро, с громким хлопком, что субъективно воспринимается как взрыв.

а) Вычислите теплоты сгорания водорода и метана в кДж/моль. Напишите термохимические уравнения реакций сгорания этих газов.

а) Молярная масса водорода 2 г/моль, метана 16 г/моль.  $Q_{\text{сгор.}}(\text{H}_2) = 120 \cdot 2 = 240$  кДж/моль,  $Q_{\text{сгор.}}(\text{CH}_4) = 50 \cdot 16 = 800$  кДж/моль. Термохимические уравнения реакций:  $\text{H}_{2\text{газ}} + \frac{1}{2}\text{O}_{2\text{газ}} = \text{H}_2\text{O}_{\text{газ}} + 240$  кДж/моль или  $2\text{H}_{2\text{газ}} + \text{O}_{2\text{газ}} = 2\text{H}_2\text{O}_{\text{газ}} + 480$  кДж/моль;  $\text{CH}_{4\text{газ}} + 2\text{O}_{2\text{газ}} = \text{CO}_{2\text{газ}} + 2\text{H}_2\text{O}_{\text{газ}} + 800$  кДж/моль.

а) За теплоты сгорания по 1 баллу, за термохимические уравнения реакций по 2 балла (без агрегатного состояния по 1,5 б., без агр. сост. и теплоты по 1 б.)

6 баллов

б) Какой объем кислорода следует смешать с 10 л водорода для получения максимального теплового эффекта в расчете на 1 л смеси? А какой объем воздуха потребуется для этой же цели?

б) Для получения максимального теплового эффекта в расчете на 1 л смеси с 10 л водорода следует смешать 5 л кислорода. Содержание кислорода в воздухе 21 % по объему, следовательно, воздуха потребуется  $5/0,21 = 23,8$  л.

б) За объемы газов по 2 балла

4 балла

в) Рассчитайте массовые доли водорода в гремучих смесях из предыдущего пункта, относительные плотности каждой из этих гремучих смесей по воздуху и абсолютные значения плотности при н. у. (г/л).

в) В смеси с кислородом на каждые 2 г (1 моль) водорода приходится 16 г (0,5 моль) кислорода. Общая масса 1,5 моль такой смеси составляет 18 г. Массовая доля водорода в этой смеси составляет  $2/18 = 0,11$  или 11 %. Масса 1,5 моль воздуха составляет  $1,5 \cdot 29 = 43,5$  г, относительная плотность смеси по воздуху  $18/43,5 = 0,414$ . Абсолютное значение плотности  $18/(1,5 \cdot 22,4) = 0,536$  г/л.

В смеси с воздухом на каждые 10 л водорода приходится 23,8 л воздуха. Следовательно, в этой смеси воздуха в 2,38 раза больше, как по объему, так и по количеству. Значит, на 1 моль ( $2 \cdot 1 = 2$  г) водорода будет приходиться 2,38 моль ( $2,38 \cdot 29 = 69$  г) воздуха. Массовая доля водорода в этой смеси составит  $2/71 = 0,0282$  или 2,82 %. Относительная плотность этой смеси по воздуху составит  $(2+69)/(3,38 \cdot 29) = 0,724$ . Абсолютное значение плотности  $71/(3,38 \cdot 22,4) = 0,875$  г/л.

в) За массовые доли по 2 балла, за плотности по 2 балла

12 баллов

г) Вычислите количество тепла, которое выделится в результате полного сгорания 1 л каждой из этих смесей и объем воды, которая при этом получится. Все объемы измеряются при н. у.

г) При сжигании 1 моля (22,4 л) водорода и 0,5 моля (11,2 л) кислорода (в сумме 33,6 л такой смеси) выделяется 240 кДж тепла и образуется 1 моль воды. Следовательно, при сгорании 1 л смеси выделится  $240/33,6 = 6,67$  кДж тепла, а воды получится  $1 \cdot 18/33,6 = 0,536$  г. При н. у. вода может быть одновременно в двух агрегатных состояниях – жидком и твердом. Плотность жидкой воды при н. у. около 1 г/см<sup>3</sup>, льда – около 0,9 г/см<sup>3</sup>. Тогда объем жидкой воды составит 0,536 см<sup>3</sup>, льда  $0,536/0,9 = 0,596$  см<sup>3</sup>, объем их смеси может быть в интервале от 0,536 до 0,596 см<sup>3</sup>. Объективности ради следует сказать, что водой все-таки обычно называют жидкое агрегатное состояние этого вещества, в то время как твердое – льдом, а газообразное – водяным паром.

При сжигании 22,4 л водорода и  $2,38 \cdot 22,4 = 53,3$  л воздуха (в сумме 75,7 л такой смеси) выделяется 240 кДж тепла. Следовательно, при сгорании 1 л смеси выделится  $240/75,7 = 3,17$  кДж тепла, а воды получится  $1 \cdot 18/75,7 = 0,238$  г. Тогда объем жидкой воды составит 0,238 см<sup>3</sup>, льда  $0,238/0,9 = 0,264$  см<sup>3</sup>, объем их смеси может быть в интервале от 0,238 до 0,264 см<sup>3</sup>.

г) За количество тепла по 2 балла, за объемы воды по 2 балла

8 баллов

**ИТОГО**

**30 баллов**