

Задача 1. Четыре соли

Бесцветные соли **А–Г** растворимы в воде и окрашивают пламя спиртовки в фиолетовый цвет. Для установления состава солей **А–Г** исследовали их термическую устойчивость и отношение к действию раствора соляной кислоты. Результаты экспериментов приведены в таблице:

Соль	Действие раствора HCl	Нагревание твердой соли
А	Выделился бесцветный газ Д (реакция 1), вызывающий помутнение известковой воды (реакция 2)	Устойчива к прокаливанию
Б	Видимых изменений не наблюдалось	При быстром нагревании до 400°C над щелочным катализатором превращается в соль В , выделяя легкий горючий газ Е (реакция 3)
В	Видимых изменений не наблюдалось	При нагревании до 450°C превращается в соль А , выделяя газ Ж (реакция 4)
Г	Выделился газ Д (реакция 5)	При нагревании до 80°C разлагается с выделением газа Д и образованием соли А (реакция 6)

Дополнительно известно, что:

- все соли содержат три общих элемента;
- газы **Д** и **Ж** имеют одинаковый качественный состав;
- при окислении бутадиена-1,3 перманганатом калия в сильнощелочном растворе образуются соли **А** и **В** (реакция 7).

1. На основании проведенных экспериментов определите формулы солей **А–Г**, приведите их названия. Установите формулы газов **Д–Ж**, ответ аргументируйте.

2. Напишите уравнения реакций 1–7, для реакции 5 запишите полное и сокращенное ионные уравнения.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Так как все соли окрашивают пламя спиртовки в фиолетовый цвет, то они являются солями калия. Газ Д, вызывающий помутнение известковой воды – это углекислый газ CO_2, он выделяется при действии соляной кислоты на соли угольной кислоты – карбонаты и гидрокарбонаты. Карбонат калия K_2CO_3 устойчив к прокаливанию, следовательно, он является солью А. Тогда соль Г – это гидрокарбонат калия KHCO_3, который термически неустойчив и превращается в карбонат калия с выделением CO_2. Соль В при нагревании также превращается в карбонат калия, но анион этой соли устойчив к действию разбавленных кислот. С другой стороны, соль В образуется при нагревании соли Б. Легкий горючий газ Е, выделяющийся при этом, – это водород H_2, тогда логично предположить, что солью Б является формиат калия HCOOK, а солью В –	

	оксалат калия $K_2C_2O_4$. Последний при разложении отщепляет угарный газ CO – газ Ж, имеющий такой же качественный состав, как и углекислый газ. При действии сильнощелочного раствора перманганата калия на бутадиен-1,3 происходит жесткое окисление с деструкцией молекулы по кратным связям, это приводит к образованию формиата калия, который быстро окисляется до карбоната калия, и оксалата калия, что служит дополнительным подтверждением состава солей А и В. Таким образом, А – K_2CO_3 – карбонат калия Б – $HCOOK$ – формиат калия В – $K_2C_2O_4$ – оксалат калия Г – $KHCO_3$ – гидрокарбонат калия Д – CO_2 Е – H_2 Ж – CO	$7 \times 1 = 7$ б (формулы) $4 \times 1 = 4$ б (названия)
2.	Реакция 1: $K_2CO_3 + 2HCl = 2KCl + CO_2 + H_2O$ Реакция 2: $CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + H_2O$ Реакция 3: $2HCOOK = K_2C_2O_4 + H_2$ Реакция 4: $K_2C_2O_4 = K_2CO_3 + CO$ Реакция 5: $KHCO_3 + HCl = KCl + CO_2 + H_2O$ $K^+ + HCO_3^- + H^+ + Cl^- = K^+ + Cl^- + CO_2 + H_2O$ $HCO_3^- + H^+ = CO_2 + H_2O$ Реакция 6: $2KHCO_3 = K_2CO_3 + CO_2 + H_2O$ Реакция 7: $CH_2=CH-CH=CH_2 + 20KMnO_4 + 26KOH =$ $= 2K_2CO_3 + K_2C_2O_4 + 20K_2MnO_4 + 16H_2O$	16 16 16 16 16 16 16 16 16
	Итого	20 баллов

Задача 2. Цветные окислители

Соли **A–B** имеют состав K_2EO_4 , проявляют выраженные окислительные свойства, хорошо растворимы в воде с образованием окрашенных растворов, но устойчивы только в щелочной среде. Известно, что:

– элементы **X–Z**, входящие в состав солей **A–B**, являются ближайшими соседями в Периодической системе химических элементов;

– желтый раствор соли **A** при добавлении серной кислоты становится оранжевым вследствие образования соли **A₁** (реакция 1);

– красно-фиолетовый раствор соли **B** при добавлении серной кислоты обесцвечивается, а из раствора выделяется бесцветный газ **Г₁** (реакция 2);

– изумрудно-зеленый раствор соли **B** при добавлении серной кислоты становится фиолетовым вследствие образования соли **B₁**, а на дне сосуда выпадает бурый осадок **B₂** (реакция 3);

– если в растворы солей **A–B** внести концентрированную соляную кислоту, то во всех случаях наблюдается выделение ядовитого желто-зеленого газа **Г₂** (реакции 4–6), при этом раствор соли **A** зеленеет, а растворы солей **B** и **B** обесцвечиваются;

– плотность газа **Г₂** по газу **Г₁** равна 2.219.

1. Определите элементы **X–Z**, запишите формулы солей **A–B**. Установите газы **Г₁** и **Г₂**, вещества **A₁**, **B₁**, **B₂**, ответ аргументируйте.

2. Запишите уравнения реакций 1–6, для реакции 2 запишите схему электронного баланса, укажите окислитель и восстановитель.

3. Образец соли **B** массой 50 г прореагировал с избытком концентрированной соляной кислоты. Рассчитайте объем выделившегося газа **Г₂** при н.у.

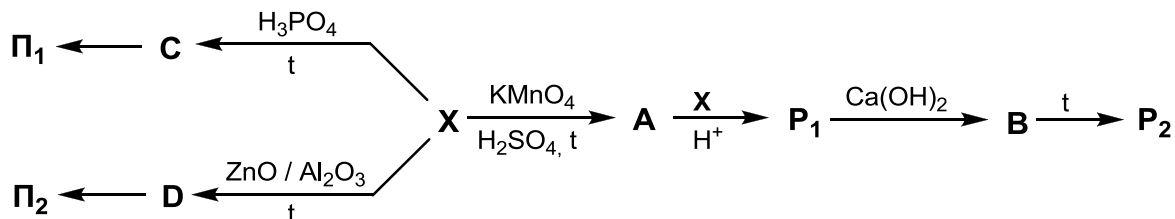
Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Так как по условию соли A–B имеют состав K_2EO_4, нетрудно заметить, что все они содержат элементы X–Z в степени окисления +6. На основании описанных превращений можно легко определить, что элемент X в составе соли A – это хром, поскольку для него известен желтый хромат калия K_2CrO_4, который при подкислении переходит в оранжевый дихромат калия $K_2Cr_2O_7$ (соль A₁), а при действии восстановителей – в зеленые соли хрома (III). Тогда ближайшими соседями хрома в Периодической системе, способными проявлять степень окисления +6, могут быть только марганец и железо. Изумрудно-зеленая окраска раствора характерна для манганата калия K_2MnO_4, который при подкислении диспропорционирует, образуя фиолетовый перманганат калия $KMnO_4$ (соль B₁) и бурый осадок диоксида марганца MnO_2 (вещество B₂), а при действии восстановителей переходит в практически бесцветные соли марганца (II). Следовательно, элемент Z – марганец, а образуемая им соль B – манганат калия, тогда элемент Y – железо, а соль B – феррат калия K_2FeO_4, имеющий красно-фиолетовую окраску. При подкислении раствора феррата он начинает окислять воду с выделением кислорода	

	O_2 (газа Γ_1), а в растворе образуется бесцветная соль железа (III). Газ Γ_2, получаемый при действии солей А–В на соляную кислоту – это хлор Cl_2. По условию $M(Cl_2) / M(O_2) = 71 / 32 = 2.219$ – верно Таким образом, X – Cr Y – Fe Z – Mn A – K_2CrO_4 Б – K_2FeO_4 В – K_2MnO_4 A₁ – $K_2Cr_2O_7$ B₁ – $KMnO_4$ B₂ – MnO_2 Γ_1 – O_2 Γ_2 – Cl_2	3×1 = 3 б 3×1 = 3 б 5×1 = 5 б						
2.	<i>Реакция 1:</i> $2K_2CrO_4 + H_2SO_4 = K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$ <i>Реакция 2:</i> $4K_2FeO_4 + 10H_2SO_4 = 2Fe_2(SO_4)_3 + 3O_2\uparrow + 4K_2SO_4 + 10H_2O$ <i>Схема электронного баланса:</i> <table border="1"> <tr> <td>$Fe^{+6} + 3e = Fe^{+3}$</td> <td>4</td> <td>$Fe^{+6} (K_2FeO_4)$ - окислитель</td> </tr> <tr> <td>$2O^{-2} - 4e = O_2$</td> <td>3</td> <td>$O^{-2} (H_2SO_4)$ - восстановитель</td> </tr> </table> <i>Реакция 3:</i> $3K_2MnO_4 + 2H_2SO_4 = 2KMnO_4 + MnO_2 + 2K_2SO_4 + 2H_2O$ <i>Реакция 4:</i> $2K_2CrO_4 + 16HCl = 2CrCl_3 + 4KCl + 3Cl_2\uparrow + 8H_2O$ <i>Реакция 5:</i> $2K_2FeO_4 + 16HCl = 2FeCl_3 + 4KCl + 3Cl_2\uparrow + 8H_2O$ <i>Реакция 6:</i> $K_2MnO_4 + 8HCl = MnCl_2 + 2KCl + 2Cl_2\uparrow + 4H_2O$	$Fe^{+6} + 3e = Fe^{+3}$	4	$Fe^{+6} (K_2FeO_4)$ - окислитель	$2O^{-2} - 4e = O_2$	3	$O^{-2} (H_2SO_4)$ - восстановитель	1 б 1 б 1 б 1 б 1 б 1 б
$Fe^{+6} + 3e = Fe^{+3}$	4	$Fe^{+6} (K_2FeO_4)$ - окислитель						
$2O^{-2} - 4e = O_2$	3	$O^{-2} (H_2SO_4)$ - восстановитель						
3	Рассчитаем количество вещества соли: $n(K_2MnO_4) = 50 / 197 = 0.2538$ моль По уравнению <i>реакции 6</i>: $n(Cl_2) = 2n(K_2MnO_4) = 0.508$ моль $V(Cl_2) = 0.508 \times 22.4 = 11.38$ л	2 б						
	Итого	20 баллов						

Задача 3. Растворители и полимеры

Органическое вещество **X** является удобным предшественником для синтеза распространенных растворителей **P₁** и **P₂** и полимеров **П₁** и **П₂**. При сгорании навески **X** массой 2.3 г образуются 2.24 л (н.у.) углекислого газа и 2.7 г воды. Превращения **X** в указанные растворители и полимеры приведены на схеме:



1. Выведите брутто-формулу вещества **X** по данным о продуктах сгорания. Приведите его структурную формулу и название.
2. Установите строение веществ **A–D**, растворителей **P₁** и **P₂**, полимеров **П₁** и **П₂**, приведите их структурные формулы и названия.
3. Приведите полные уравнения всех реакций, отраженных на схеме (кроме реакций образования полимеров).
4. Приведите по одной области применения описанных растворителей и полимеров.

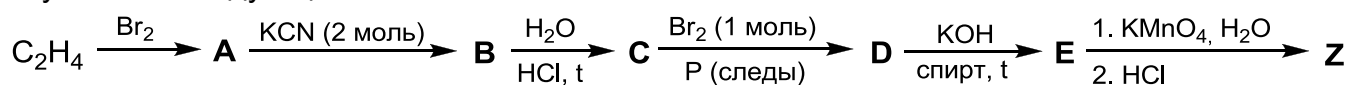
Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Выведем брутто-формулу X: $n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 2.24 / 22.4 = 0.1 \text{ моль}$ $n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times 2.7 / 18 = 0.3 \text{ моль}$ Проверим наличие кислорода: $m(\text{O}) = 2.3 - 12 \times 0.1 - 1 \times 0.3 = 0.8 \text{ г}$ $n(\text{O}) = 0.8 / 16 = 0.05 \text{ моль}$ Брутто-формула X – $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ $x : y : z = 0.1 : 0.3 : 0.05 = 2 : 6 : 1$ Следовательно, брутто-формула X – C₂H₆O Данной брутто-формуле удовлетворяют два изомерных вещества – этиловый спирт и диметиловый эфир, но исходя из превращений, приведенных на схеме, можно однозначно сделать вывод, что X – этанол CH₃–CH₂–OH	3 б 1 б
2.	При нагревании этанола с фосфорной кислотой происходит реакция дегидратации с образованием этилена (вещества C), полимеризацией которого получают полиэтилен (полимер П₁). Если же этанол нагревать в присутствии смешанного оксидного катализатора, то осуществляется реакция Лебедева, в результате чего образуется бутадиен-1,3 (вещество D), который полимеризуется с образованием бутадиенового каучука (полимера П₂). При окислении этанола подкисленным раствором перманганата калия образуется уксусная кислота (вещество A), этерификация которой этанолом приводит к сложному эфиру – этилацетату (растворителю P₁). Его последующий щелочной гидролиз (омыление) дает ацетат кальция (вещество B), который при прокаливании превращается в пропанон-2 (ацетон, растворитель P₂).	

	Таким образом, A $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ этановая (уксусная) кислота B $\left(\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}^- \right)_2 \text{Ca}^{2+}$ ацетат кальция C $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ этилен (этен) D $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ бутадиен-1,3 P₁ $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OC}_2\text{H}_5$ этилацетат (этилэтанойт) P₂ $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$ пропанон-2 (ацетон) П₁ $\left[\text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$ полиэтилен П₂ $\left[\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right]_n$ полибутадиен (бутадиеновый каучук)	8×1 = 8 б (без названия по 0.5 б)
3	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} = \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (нагревание с H_3PO_4) $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} = \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$ (нагревание с $\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) $5\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 4\text{KMnO}_4 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 =$ $\quad\quad\quad = 5\text{CH}_3\text{COOH} + 4\text{MnSO}_4 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 11\text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$ $2\text{CH}_3-\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} + 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} = \text{CaCO}_3 + (\text{CH}_3)_2\text{CO}$ (при нагревании)	6×1 = 6 б
4.	Ацетон и этилацетат находят применение в качестве растворителей при производстве лаков, лекарственных препаратов; как компоненты сложных смесей для очистки различных поверхностей. Полиэтилен широко используется для изготовления товаров бытового назначения из пластмассы, а бутадиеновый каучук преимущественно перерабатывается в резину.	4×0.5 = 2 б
	Итого	20 баллов

Задача 4. Винная кислота и камни

При получении и хранении вина на стенках сосуда иногда выпадает осадок, который называют «винный камень». Основным компонентом этого осадка являются соли винной кислоты **Z**, из которых ее выделяют в промышленном масштабе. Кислоту **Z** также можно получить по следующей схеме:



1. Расшифруйте схему превращений: изобразите структурные формулы веществ **A–E** и **Z**, запишите полные уравнения всех реакций (7 уравнений), используя структурные формулы органических веществ. Учтите, что вещество **E** является дикалиевой солью. На стадии превращения **E** → **Z** нужно написать два уравнения реакций.

2. Если в раствор кислой калиевой соли кислоты **Z** внести оксид **Y**, содержащий 83.56 мас.% элемента **X**, то образуется соединение $\text{K}_2\text{X}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_{12}$, которое ранее использовалось в медицине под названием «рвотный камень». Установите элемент **X** и формулу оксида **Y**, а также брутто-формулу кислой калиевой соли кислоты **Z**.

3. Рвотный камень выпадает из раствора в виде кристаллогидрата **Q**, который при нагревании до 100°C полностью обезвоживается, теряя 8.08% массы. Установите состав кристаллогидрата **Q**, ответ подтвердите расчетом.

4. Рассчитайте массу кристаллогидрата **Q**, которую можно получить из 14.6 г оксида **Y**.

Решение и Критерии оценивания

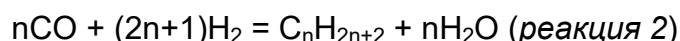
№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Проанализируем схему превращений. При бромировании этилена образуется 1,2-дибромэтан. На следующем этапе происходит замещение двух атомов брома на цианогруппы, которые далее гидролизуются в кислой среде, образуя бутандиовую кислоту. При ее бромировании в присутствии следов фосфора осуществляется замещение в альфа-положении. Образующаяся 2-бромбутандиовая кислота далее подвергается дегидрогалогенированию с образованием двойной связи. При мягком окислении данной связи образуется диол, следовательно, вещество Z – 2,3-дигидроксидбутандиовая (винная) кислота. Запишем уравнения реакций, приведенных на схеме: $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{Br}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Br}$ A $\text{Br}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Br} + 2 \text{KCN} \longrightarrow \text{NC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CN} + 2 \text{KBr}$ B $\text{NC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CN} + 4 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{HCl} \xrightarrow{t} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} + 2 \text{NH}_4\text{Cl}$ C $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} + \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{P (следы)}} \text{HOOC}-\text{CH}(\text{Br})-\text{CH}_2-\text{COOH} + \text{HBr}$ D $\text{HOOC}-\text{CH}(\text{Br})-\text{CH}_2-\text{COOH} + 3 \text{KOH} \xrightarrow{\text{спирт, t}} \text{KOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOK} + \text{KBr} + 3 \text{H}_2\text{O}$ E	6×1 = 6 б (вещества) 7×1 = 7 б (уравнения)

	$3 \text{ KOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOK} + 2 \text{ KMnO}_4 + 4 \text{ H}_2\text{O} \longrightarrow 3 \text{ KOOC}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOK} + 2 \text{ MnO}_2 + 2 \text{ KOH}$ $\text{KOOC}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOK} + 2 \text{ HCl} \longrightarrow \text{HOOC}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH} + 2 \text{ KCl}$ Z	
2.	Элемент X можно определить из данных о его содержании в оксиде Y. Общая формула оксида – X_2O_n, тогда $\omega(\text{X}) = 2A_r(\text{X}) / (2A_r(\text{X}) + 16n) = 0.8356$, откуда $A_r(\text{X}) = 40.66n$ При $n = 3$ получим $A_r(\text{X}) = 122$, что соответствует сурьме Sb Таким образом, X – Sb Y – Sb₂O₃ В синтезе рвотного камня используется ее кислая соль – гидротартрат калия – KHC₄H₄O₆.	3×1 = 3 б
3.	Формула кристаллогидрата Q – $\text{K}_2\text{Sb}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_{12} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ По условию $18n / (614 + 18n) = 0.0808$, откуда $n = 3$ Таким образом, Q – K₂Sb₂C₈H₄O₁₂·3H₂O	2 б
4.	$n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 14.6 / 292 = 0.05$ моль $n(\text{K}_2\text{Sb}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_{12}) = n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 0.05$ моль $m(\text{K}_2\text{Sb}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 0.05 \times 668 = 33.4$ г	2 б
	Итого	20 баллов

Задача 5. Процесс Фишера-Тропша

Около 100 лет назад в Германии, богатой углем, но не имеющей значительных запасов нефти, Ф. Фишером и Х. Тропшем был разработан метод получения жидкого топлива из синтез-газа – так называемая технология GTL (*gas-to-liquid*). Постепенно предложенная технология усовершенствовалась, и уже в 1935 году был запущен первый промышленный реактор, позволяющий получать синтетический бензин из угля.

На первой стадии процесса Фишера-Тропша перегретый водяной пар продувают над раскаленным углем (*реакция 1*), в результате чего получают синтез-газ, который затем пропускают над катализатором при температуре 190–240°C и давлении 20–30 атм. В качестве катализаторов чаще всего используют железо или кобальт. При этом протекает процесс, описываемый уравнением:



Более дешевой катализатор на основе железа имеет существенный недостаток – при его использовании протекает побочный процесс взаимодействия угарного газа с водяным паром (*реакция 3*), что приводит к установлению равновесия и снижению выхода углеводородов.

1. Запишите уравнение *реакции 1* и рассчитайте ее тепловой эффект, если теплоты образования угарного газа и газообразной воды составляют 110.5 и 241.8 кДж/моль соответственно.

2. Запишите уравнение *реакции 2* на примере образования гептана. Рассчитайте, какое количество теплоты (ГДж) выделится при сгорании гептана объемом 15 м³, если известно, что его теплота сгорания составляет 4817 кДж/моль, плотность гептана – 580 кг/м³. Какой объем воздуха (м³ при н.у.) потребуется для этого?

3. Запишите уравнение *реакции 3* и рассчитайте ее тепловой эффект (в кДж/моль), если теплота образования углекислого газа равна 393 кДж/моль. Запишите соответствующее термохимическое уравнение.

4. В реактор ввели синтез-газ с начальными концентрациями угарного газа и водорода 0.15 моль/л, выход гептана составил 70% (будем считать, что никакие другие углеводороды в реакторе не образовались), а непрореагировавший угарный газ вступил в побочную *реакцию 3*. После установления равновесия концентрация углекислого газа в реакторе составила 0.03 моль/л. Рассчитайте концентрации остальных веществ в реакторе и значение константы равновесия для *реакции 3*, выраженной через молярные концентрации.

5. Какие внешние факторы (температура, давление) будут способствовать минимизации протекания побочной *реакции 3*? Ответ обоснуйте на основе принципа Ле Шателье.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	<i>Реакция 1:</i> $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ Тепловой эффект <i>реакции 1</i> можно рассчитать, используя следствие из закона Гесса и приведенные в условии справочные данные о теплотах образования: $Q = Q_f(\text{CO}) - Q_f(\text{H}_2\text{O}) = 110.5 - 241.8 = -131.3 \text{ кДж/моль}$	1 6 2 6
2.	Процесс Фишера-Тропша для гептана C_7H_{16} можно записать на основе приведенной в условии схемы для $n = 7$. <i>Реакция 2:</i> $7\text{CO} + 15\text{H}_2 = \text{C}_7\text{H}_{16} + 7\text{H}_2\text{O}$	2 6

	При сгорании гептана протекает реакция: $C_7H_{16} + 11O_2 = 7CO_2 + 8H_2O$ $n(C_7H_{16}) = V_{\text{хр}} / M = 15 \times 580 / 100 = 87000 \text{ моль}$ При этом выделится $Q = 4817 \times 87000 = 4.191 \cdot 10^8 \text{ кДж} = \mathbf{419.1 \text{ ГДж}}$ По уравнению реакции $n(O_2) = 11n(C_7H_{16}) = 11 \times 87 = 957 \text{ кмоль}$ $V(O_2) = 957000 \times 22.4 = 2.144 \cdot 10^7 \text{ л} = 21440 \text{ м}^3$ $V(\text{возд.}) = 21440 / 0.21 = \mathbf{102095 \text{ м}^3}$	2 6 1 6
3	<i>Реакция 3:</i> $CO + H_2O = CO_2 + H_2$ По следствию из закона Гесса: $Q = Q_f(CO_2) - Q_f(CO) - Q_f(H_2O) = 393.5 - 110.5 - 241.8 = \mathbf{41.2 \text{ кДж/моль}}$ Термохимическое уравнение реакции: $CO + H_2O = CO_2 + H_2 + \mathbf{41.2 \text{ кДж}}$	1 6 2 6 1 6
4.	В синтез-газе, который поступает в реактор, угарный газ находится в избытке, что следует из стехиометрии <i>реакции 2</i>. При выходе гептана 70% в <i>реакцию 2</i> вступили: $0.15 \times 0.7 = 0.105 \text{ моль/л}$ водорода $0.105 \times 7 / 15 = 0.049 \text{ моль/л}$ угарного газа При этом образовались: $0.105 / 15 = 0.007 \text{ моль/л}$ гептана $0.105 \times 7 / 15 = 0.049 \text{ моль/л}$ водяного пара В избытке осталось: $0.15 - 0.049 = 0.101 \text{ моль/л}$ угарного газа $0.15 - 0.105 = 0.045 \text{ моль/л}$ водорода В результате протекания <i>реакции 3</i> образовался углекислый газ, концентрация которого составила 0.03 моль/л, следовательно, в <i>реакцию 3</i> вступили по 0.03 моль/л угарного газа и водяного пара, образовалось 0.03 моль/л водорода. Таким образом, после установления равновесия концентрации веществ в реакторе составляют: $[CO] = 0.101 - 0.03 = \mathbf{0.071 \text{ моль/л}}$ $[H_2] = 0.045 + 0.03 = \mathbf{0.075 \text{ моль/л}}$ $[H_2O] = 0.049 - 0.03 = \mathbf{0.019 \text{ моль/л}}$ $[C_7H_{16}] = \mathbf{0.007 \text{ моль/л}}$ Запишем выражение для константы равновесия <i>реакции 3</i> и рассчитаем ее значение: $K = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]} = \frac{0.03 \cdot 0.075}{0.071 \cdot 0.019} = \mathbf{1.668}$	1 6 1 6 1 6 1 6 2 6
5.	Чтобы минимизировать протекание побочной <i>реакции 3</i>, необходимо сместить равновесие в сторону исходных веществ. Так как прямая реакция является экзотермической, то обратная – эндотермическая, поэтому для смещения равновесия влево в соответствии с принципом Ле Шателье температуру следует повысить. Поскольку процесс протекает в газовой фазе, то в <i>реакции 3</i> количество моль газов не меняется, следовательно, изменение давления не приведет к смещению равновесия.	1 6 1 6
	Итого	20 баллов