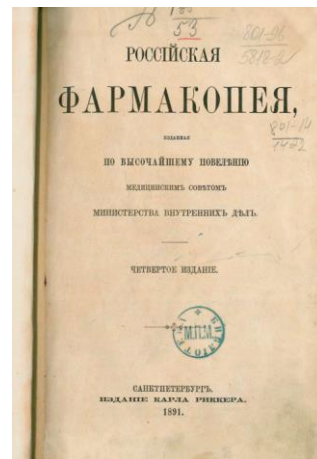


Задача 1. Железная сила фармакопеи XIX века

Фармакопея — это собрание нормативных документов, регламентирующих требования к качеству лекарственных средств. В России первая фармакопея была издана в 1778 году на латинском языке и затем переведена на русский язык в 1802 году, по ней изготавливали и проверяли лекарства в аптеках. В Российской фармакопее XIX века в качестве лекарств использовались травяные вытяжки, минералы, а некоторые синтезировались в аптеках, как, например, раствор хлорида железа (III). Вату, пропитанную этим раствором, использовали для остановки кровотечений.



Российская фармакопея 1891 года описывает процесс приготовления раствора хлорида железа (III) (*Ferrum sesquidilorum solutum*) следующим образом: сначала «железо (напр. тонкую проволоку) медленно нагревают, в объемистой колбе, с 45 частями соляной кислоты (*acidi hydrochlorati puri*), до прекращения выделения газа» (*реакция 1*). Затем к раствору хлористого железа прибавляют 4 части воды, жидкость фильтруют. Эту жидкость понемногу вливают, при постоянном помешивании, в объемистую чашку, содержащую 7 частей азотной кислоты (*acidi nitrici puri*) (*реакция 2*), и нагревание продолжают до тех пор, пока проба раствора, по разбавлении водою, от прибавления раствора красной кровяной соли, больше не будет синеть (*реакция 3*). В противном случае раствор хлорного железа насыщают промытым хлорным газом (*реакция 4*)».

1. Напишите уравнения *реакций 1-4*. Учтите, что роль азотной кислоты заключается в окислении ионов Fe^{2+} , реакция пробы раствора с красной кровяной солью подтверждает их отсутствие, а хлор используется для полного окисления ионов Fe^{2+} .

Для получения аптечного препарата «жидкость выпаривают в предварительно взвешанной чашке, в водяной бане, до тех пор, пока не получится 483 части раствора на каждые 100 частей содержащегося в нем железа. Наконец, к теплой жидкости прибавляют столько воды, чтобы весь получаемого раствора составлял в 10 раз больше, чем растворенное в нем железо».

2. Подсчитайте молярную концентрацию (моль/л) хлорида железа в растворе с массой 483 г., где содержится 100 г. железа, если известно, что плотность раствора составляет 1,67 г/мл. В ходе решения вычислите количество (моль) железа и объем раствора (мл).
3. Вычислите, какой объем воды (мл) необходимо добавить к 100 мл данного раствора для получения аптечного раствора с массовой долей железа 10 %. В ходе решения также вычислите массу конечного раствора и массу железа в нем.

После получения препарата важно было убедиться в его чистоте. Для того, чтобы проверить отсутствие в растворе соляной кислоты «капель 10

испытуемого раствора распределяют на стеклянной пластинке и к ней подносят палочку, смоченную аммиаком, при чем не должны выделяться белые пары» (реакция 5). А «кусочек бумаги, смоченной раствором крахмала с иодистым калием, не должен синеть» (реакция 6) – так подтверждали отсутствие хлора.

4. Напишите уравнения реакций 5-6.

Решение:

1. Уравнения реакций:

- 1) $\text{Fe} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$
- 2) $\text{FeCl}_2 + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + 2\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{FeCl}_2 + \text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow \text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 2\text{KCl}$
- 4) $2\text{FeCl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3$

В записи уравнения реакции 3 допускаются иные продукты реакции, например, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ или $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$

2. Если масса железа равна 100 грамм, тогда количество железа равно:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{100}{56} = 1,786 \text{ моль.}$$

Объём раствора равен:

$$V(p - pa) = \frac{m(p - pa)}{\rho(p - pa)} = \frac{483}{1,67} = 289 \text{ мл.}$$

Тогда молярная концентрация хлорида железа в растворе равна:

$$c(\text{FeCl}_3) = \frac{n(\text{FeCl}_3)}{V(p - pa)} = \frac{n(\text{Fe})}{V(p - pa)} = \frac{1,786 \cdot 1000}{289} = 6,18 \frac{\text{моль}}{\text{л}}.$$

3. Количество железа в 100 мл раствора равно:

$$n(\text{Fe}) = n(\text{FeCl}_3) = c(\text{FeCl}_3) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 6,18 \cdot 0,1 = 0,618 \text{ моль.}$$

Масса железа равна:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,618 \cdot 56 = 34,6 \text{ г.}$$

Следовательно, масса 10 % раствора железа должна быть равна:

$$m(\text{конеч. р} - \text{ра}) = \frac{m(\text{Fe})}{\omega(\text{Fe})} = \frac{34,6}{0,1} = 346 \text{ г.}$$

Масса 100 мл раствора равна:

$$m(p - pa) = V(p - pa) \cdot \rho(p - pa) = 100 \cdot 1,67 = 167 \text{ г.}$$

Тогда объём воды, который необходимо добавить, равен:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{конеч. р} - \text{ра}) - m(p - pa)}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{346 - 167}{1} = 179 \text{ мл.}$$

4. Уравнения реакций:

- 5) $\text{HCl} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$
- 6) $2\text{KI} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{KCl}$

Система оценивания:

1. Уравнения реакций <i>по 1,5 балла</i>	6 баллов
2. Концентрация FeCl_3	3 балла
Количество Fe	1 балл
Объём воды	1 балл
3. Необходимый объём воды	3 балла
Масса конечного раствора	1 балл
Масса железа в растворе	1 балл
4. Уравнения реакций <i>по 2 балла</i>	4 балла
ИТОГО	20 баллов

Задача 2. Красные пигменты

Пещера Шульган Таш, расположенная в Бурзянском районе Республики Башкортостан, насчитывает более 200 рисунков, первые из которых были написаны около 19,6 тысяч лет назад. Основным пигментом большинства рисунков является минерал гематит. Однако в окрестностях пещеры месторождения гематита пока не обнаружены и можно предположить, что для получения пигмента использовались более бедные тёмно-коричневые руды, которые прокаливались и приобретали красно-коричневый цвет. Это можно считать одним из древнейших получением пигмента для рисования.



В эпоху Возрождения из гематита получали «Венецианский красный», который считался самым дорогим и лучшим красным пигментом в Европе и состоял из природного оксида железа (Fe_2O_3 , частично гидратированного). В современности данный пигмент изготавливают разложением кристаллогидрата сульфата железа (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (реакция 1) в смеси с карбонатом кальция, который при данных условиях также разлагается (реакция 2). В производственной печи продукты разложения кристаллогидрата сульфата железа (II) и карбоната кальция реагируют между собой (реакция 3) с образованием соединения, не растворяющегося в кислотах.

1. Напишите уравнения реакций 1-3.

Красным пигментом для знаменитого «китайского красного», является киноварь – сульфид ртути (II), получаемый прямым взаимодействием ртути с серой (реакция 4). Позже для очистки кристаллов киновари от серы их стали обрабатывать концентрированной щелочью, например, NaOH

с диспропорционированием серы и образованием двух её солей (*реакция 5*). Интересно, что пигмент до сих пор производится практически тем же способом.

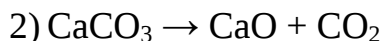
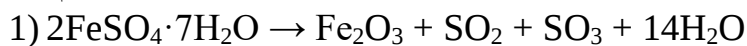
2. Напишите уравнения *реакций 4-5*.

Самым же популярным красным пигментом прошлого был свинцовый сурик Pb_3O_4 . Один из методов его синтеза состоял в отжиге на воздухе свинцовых белил (*реакция 6*), представляющих из себя основной карбонат свинца $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$. Для получения свинцовых белил свинец сначала прокаливали на воздухе (*реакция 7*). После к образовавшемуся соединению добавляли уксусную кислоту с получением раствора гидроксид-ацетата свинца (II) $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 2Pb(OH)_2$ (*реакция 8*). Через его раствор пропускали углекислый газ с формированием осадка свинцовых белил (*реакция 9*).

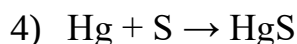
3. Напишите уравнения *реакций 6-9*.

Решение:

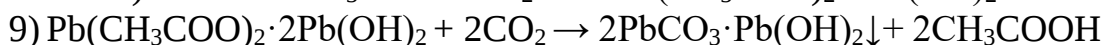
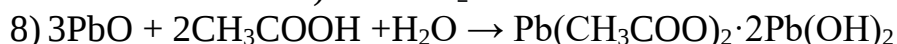
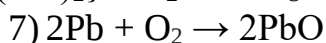
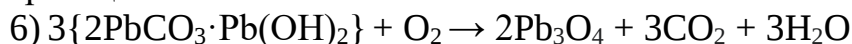
1. Уравнения реакций:



2. Уравнения реакций:



3. Уравнение реакции:



Система оценивания:

1. Уравнения реакций <i>по 2 балла</i>	6 баллов
2. Уравнения <i>реакции 4</i>	2 балла
Уравнения <i>реакции 5</i>	3 балла
3. Уравнения <i>реакции 6</i>	3 балла
Уравнения <i>реакций 7-9 по 2 балла</i>	6 баллов
ИТОГО	20 баллов

Задача 3. Запах старых книг

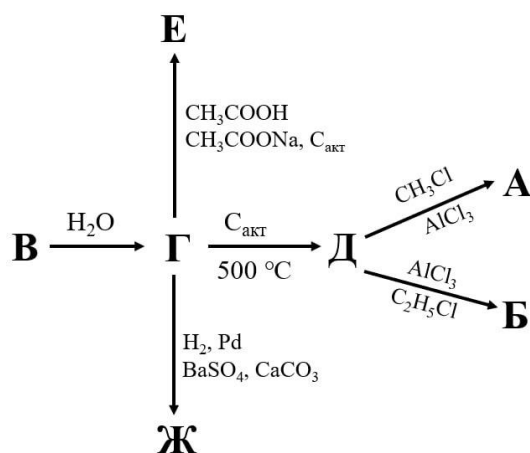
*Шоколадный запах старых книг —
Желтоватой, выцветшей бумаги,
Он мне в душу с мудростью проник,
С романтизмом рыцарской отваги,*

*С ароматом пряным дальних стран,
С воздухом солёных океанов...
Захожу в литературный храм
И вдыхаю книжный запах пьяный...*

Андрей Коробейников

Всем известно, что каждая книга пахнет по-разному. И у старых, и у новых книг есть характерные запахи, которые обусловлены наличием летучих органических соединений. При хранении книг происходит медленное разрушение целлюлозы, входящей в состав бумаги. Запах старой книги зависит от её возраста — чем старше книга, тем больше новых органических соединений образуется.

Сладкий запах старых книг обеспечивается двумя гомологами — углеводородами **А** и **Б**, причем **А** имеет меньшую молярную массу. Исходное вещество **В** — неорганическое, но при этом содержит углерод ($\omega(\text{C}) = 37,5\%$). Вещество **Г** переходит в **Д** под действием температуры и давления в присутствии активированного угля.



1. Определите вещества **А** — **Д**. Приведите структурные формулы **А**, **Б**, **Г** и **Д**. Напишите уравнения реакции (3 реакции).

Запах новых книг очень сильно отличается от запаха старых. На него оказывают влияние состав чернил и клеевых композиций, а также способ отбеливания бумаги. Наиболее распространённым типографским клеем сейчас является сополимер веществ **Ж** и **Е**. Вещество **Ж** можно получить из вещества **Г** гидрированием с использованием катализатора Линдлара. Вещество **Е** можно получать также из **Г** взаимодействием с уксусной кислотой.

2. Определите вещества **Ж** и **Е**. Напишите уравнения реакций образования **Ж** и **Е**. Какое название у сополимера **Ж** и **Е**?

Решение:

1. Вещество **Г**, которое переходит в **Д** под действием активированного угля, температуры и давления может быть ацетиленом. Тогда вещество **В** предположительно — CaC_2 . Проверим это расчётом массовой доли в веществе.

$$\omega(\text{C}) = \frac{24}{64} \cdot 100\% = 37,5\%$$

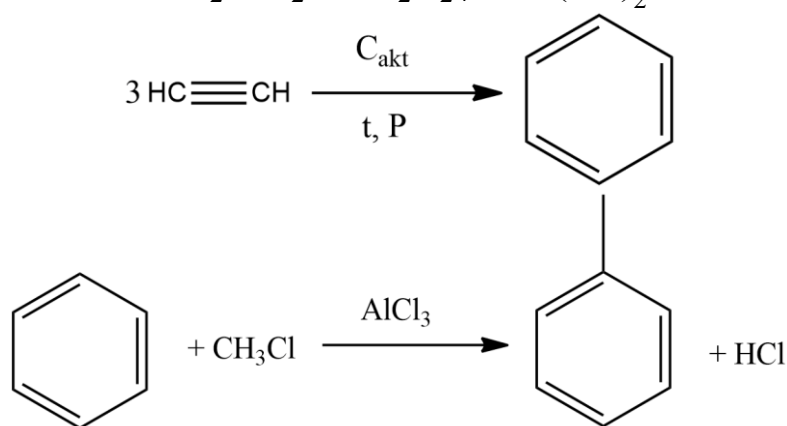
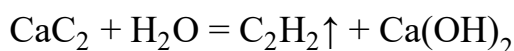
Вещество **В** — CaC_2

Вещество **Г** — C_2H_2 (ацетилен)

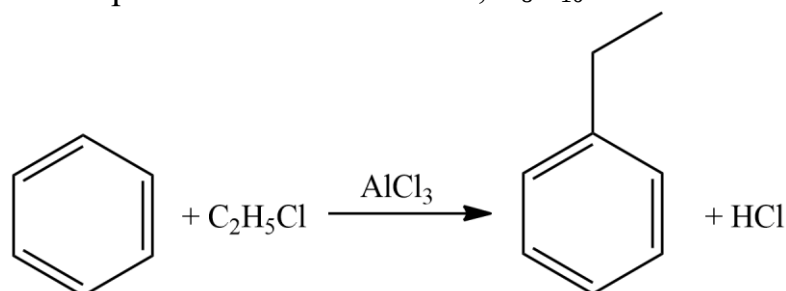
Вещество **Д** — C_6H_6 (бензол)

Вещество **А** — C_7H_8 (метилбензол)

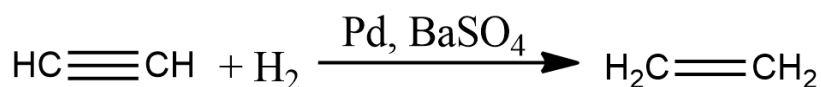
Уравнения реакций:



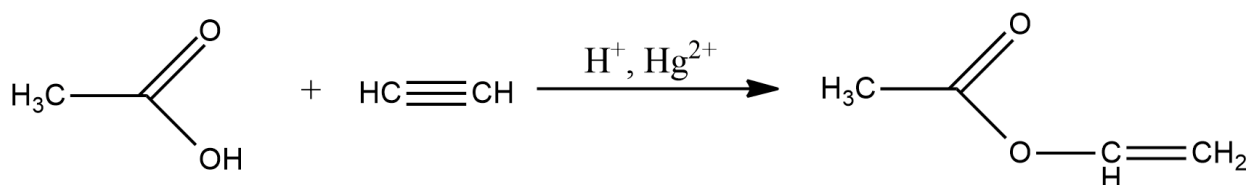
Вещество **Б** является гомологом и может быть получено, если заменить хлорметан на хлорэтан. **Б** — этилбензол, C_8H_{10} .



2. Так как вещества **Ж** и **Е** — углеводороды и способны к сополимеризации, значит в каждом есть двойная связь. Вещество **Ж** получается при гидрировании ацетилена. Так как вещество **Ж** должно содержать двойную связь, значит гидрирование идет не полностью. **В** — этилен.



При взаимодействии ацетилена и уксусной кислоты получается виниловый эфир уксусной кислоты — вещество **Е**.



Название сополимера — этиленвинилацетат.

Система оценивания:

За определение формул (для органических — структурных) веществ:

А, Б, В, Г, Д, Е, Ж по 1 баллу

7 баллов

Уравнения реакций по 2 балла

10 баллов

Название сополимера по 3 балла

3 балла

ИТОГО:

20 баллов

Задача 4. Вода Белой

Анализ воды является важной задачей современной химии, в частности для экологического мониторинга и контроля качества в пищевой промышленности. Свойства и состав воды, удовлетворяющие гигиеническим требованиям, обеспечивают безвредность и безопасность ее потребления для питьевых и бытовых нужд человека. Допустимость присутствия загрязнителя характеризуется предельно допустимой концентрацией (ПДК).

Высокая концентрация хлорид-ионов делает воду непригодной для орошения сельскохозяйственных полей. Употребление такой воды может привести к дисбалансу водно-солевого обмена, снижению работоспособности внутренних органов и повышению артериального давления.

Количественный анализ можно проводить с помощью титрования. Титрование (титриметрия) представляет собой процесс определения объема раствора реагента с известной концентрацией (титранта), который потребуется для реакции с точно отмеренным объемом (аликвотой) анализируемого раствора неизвестной концентрации. Этот метод часто используется благодаря простоте исполнения и малой стоимости оборудования.

1. На рисунке (см. рисунок 1) приведена посуда, необходимая осуществления титрования. Подпишите элементы 1-9, указав названия каждого элемента в формате «номер – слово».

Для определения содержания хлорид-ионов можно использовать метод Мора – титрование образца раствором нитрата серебра известной концентрации (его ещё называют аргентометрией). Для определения момента, когда все хлорид-ионы в растворе израсходованы, к аликвоте добавляют раствор хромата калия. Пока в растворе присутствуют хлорид-ионы, прибавляемый по каплям раствор нитрата серебра приводит к выпадению белого осадка (*реакция 1*). Образование же красного осадка, имеющего большую растворимость, начинается только после израсходования всех хлорид-ионов (*реакция 2*).

2. Рассчитайте массу нитрата серебра, которую необходимо перенести в мерную колбу для приготовления 250 мл раствора с концентрацией 0,01 моль/л.
3. Приведите уравнения реакций 1,2.

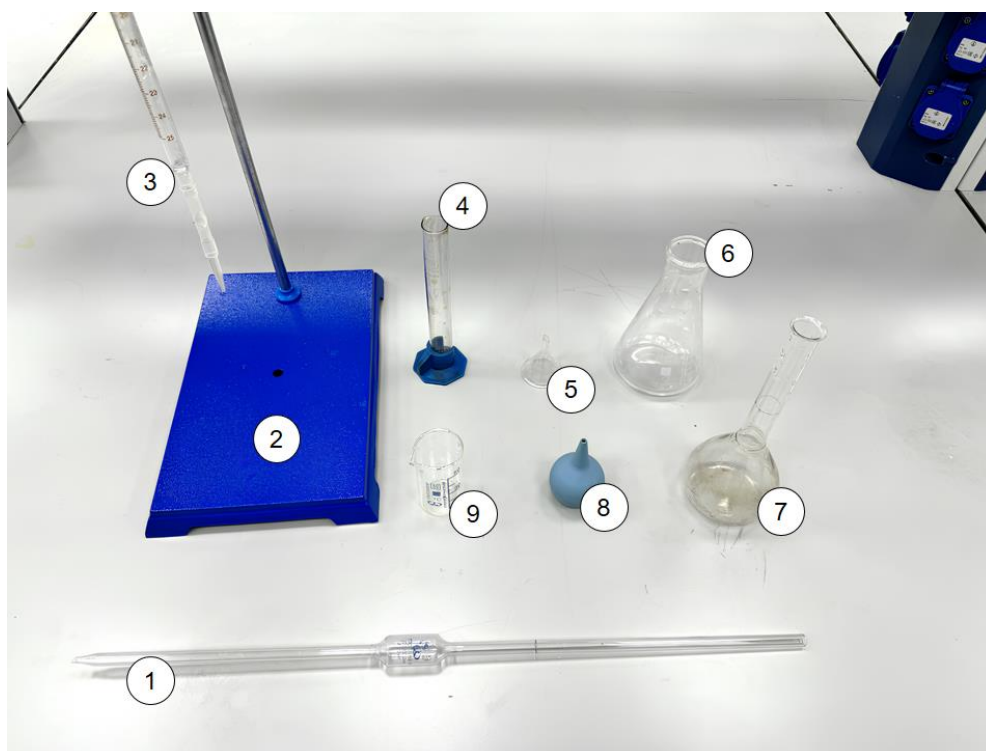
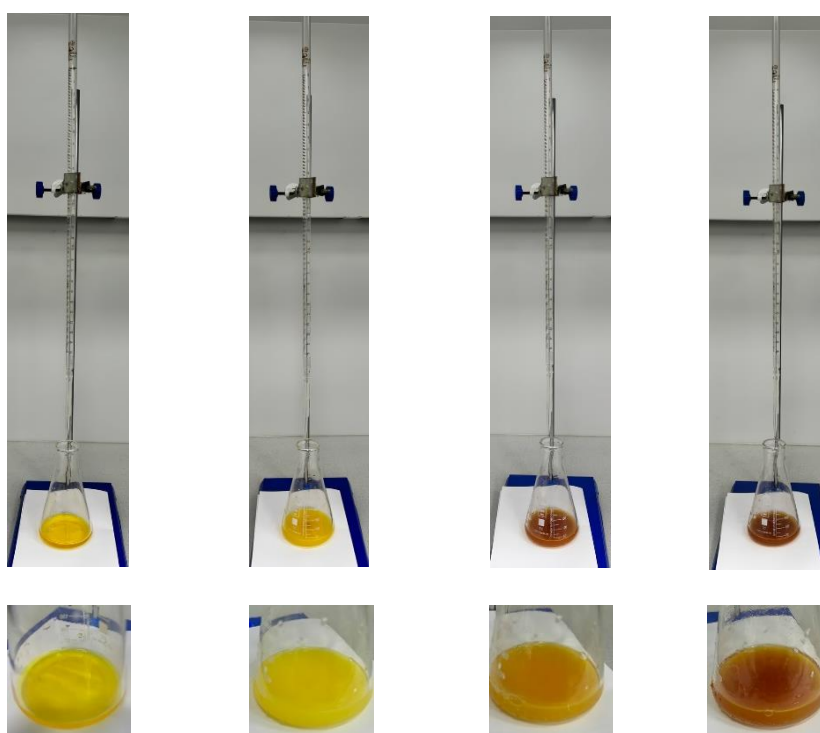


Рисунок 1



Добавление титранта

Рисунок 2

При хранении нитрат серебра может разлагаться, поэтому необходимо установить точную концентрацию приготовленного раствора (провести стандартизацию). Для этого в аргентометрии используют химически чистый хлорид натрия – поскольку он устойчив при хранении и его состав строго отвечает химической формуле. Навеску хлорида натрия растворяют в 20-25 мл дистиллированной воды, добавляют 1 мл 5 % раствора хромата калия и титруют раствором нитрата серебра, энергично перемешивая. Титрование прекращают, когда желтый цвет жидкости сменяется на грязноватый красно-бурый (см. рисунок 2).

4. Рассчитайте точную концентрацию раствора нитрата серебра, используя результаты анализа:

Опыт	№1	№2	№3
Масса навески хлорида натрия, г	0,0110	0,0092	0,0100
Затраченный объём раствора нитрата серебра, мл	20,1	16,8	18,3

На содержание хлорид-ионов влияют различные природные и антропогенные факторы: осадки, сброс сточных вод, природоохранные мероприятия. Для определения концентрации хлорид-ионов отобрали пробу из реки Белой (1 л). К аликвоте 50,0 мл речной воды прилили 50 мл дистиллированной воды, добавили 5 мл 5 % раствора хромата калия и при непрерывном перемешивании оттитровали раствором нитрата серебра, имеющим концентрацию 0,021 моль/л.

5. Рассчитайте концентрацию хлорид-ионов (моль/л) в речной воде, используя результаты анализа:

Опыт	№1	№2	№3
Затраченный объём раствора нитрата серебра, мл	17,0	17,1	17,0

6. Превышает ли содержание хлорид-ионов предельно допустимую концентрацию (для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового использования составляет 350 г/м³)? Подтвердите расчётом.

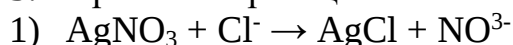
Решение:

1. Приведенные на рисунке элементы посуды, оборудования и расходных материалов:

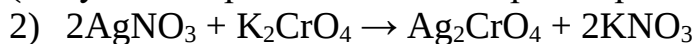
- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1 – мерная пипетка (пипетка Мора) | 6 – коническая колба (колба Эрленмейера) |
| 2 – штатив | 7 – мерная колба |
| 3 – бюретка | 8 – груша |
| 4 – мерный цилиндр | 9 – химический стакан (стакан) |
| 5 – воронка | |

2. Количество вещества нитрата серебра $n_{AgNO_3} = CV = 0,01 \cdot 0,250 = 0,0025$ моль. Масса нитрата серебра $m_{AgNO_3} = n_{AgNO_3} M_{AgNO_3} = 0,0025 \cdot (108 + 14 + 16 \cdot 3) = 0,425$ г.

3. Уравнения реакций:



(допускается реакция с любым растворимым хлоридом)



4. Количество вещества хлорида натрия $n_{NaCl} = \frac{m_{NaCl}}{M_{NaCl}} = \frac{m_{NaCl}}{(23+35,5)}$ моль,

$n_{AgNO_3} = n_{NaCl}$, тогда концентрация $C_{AgNO_3} = \frac{n_{AgNO_3}}{V_{AgNO_3}}$ моль/л. Результаты

расчетов представим в таблице:

Опыт	№1	№2	№3
m_{NaCl} , г	0,0110	0,0092	0,0100
n_{NaCl} , моль	0,000188	0,000157	0,000171
V_{AgNO_3} , л	0,0201	0,0168	0,0183
C_{AgNO_3} , моль/л	0,009355	0,00936	0,00934
Среднее значение C_{AgNO_3} , моль/л	0,00935		

5. Поскольку три результата определения объёма титранта близки, используем среднее значение: $V_{AgNO_3} = \frac{V_1+V_2+V_3}{3} = \frac{0,0170+0,0171+0,0170}{3} = 0,01703$ л. Количество вещества нитрата серебра $n_{AgNO_3} = C_{AgNO_3} V_{AgNO_3} = 0,021 \cdot 0,01703 = 0,36 \cdot 10^{-3}$ моль. Поскольку $n_{Cl^-} = n_{AgNO_3}$, концентрация $C_{Cl^-} = \frac{n_{Cl^-}}{V_{аликвоты}} = \frac{0,36 \cdot 10^{-3}}{0,050} = 7,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

6. Значение ПДК составляет $C_{Cl^-} = \frac{m_{Cl^-}}{M_{Cl^-}} = \frac{350}{35,5} = 9,9$ моль/м³ = $9,9 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Таким образом, содержание хлорид-ионов в воде не превышено.

Система оценивания:

1. Элементы посуды по 1 баллу	9 баллов
2. Расчет массы нитрата серебра	1 балл
3. Уравнения реакций по 1,5 балла	3 балла
4. Расчет концентрации нитрата серебра	3 балла
5. Расчет концентрации хлорид-ионов	3 балла
6. Сопоставление с ПДК, подтвержденное расчетом	1 балл

ИТОГО

20 баллов

Задача 5. Синтетическая нефть

Наша республика — один из старейших нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих регионов России, однако запасы этого ресурса ограничены. В 20-х годах XX века был разработан процесс, позволяющий получать синтетические масла и топлива из угля. Сейчас же он становится все более перспективным для использования в качестве сырья биомассы и природного газа.

Ниже приведены уравнения реакций (с коэффициентами), которые протекают в ходе этого процесса в присутствии кобальтовых катализаторов при температуре 200-250 °С и давлении 50-60 атм. Его продуктом является **G** — компонент моторного топлива, один из изомеров которого дал название важному показателю топлива для двигателей внутреннего сгорания.



Источником исходной смеси **C** и **D** также может выступать конверсия газов **E** и **F** (*реакция 5*), при этом относительная плотность образующейся смеси по неону составляет 0,75. Повышенное внимание к этому методу связано с тем, что он позволяет получать синтетические жидкие топлива из двух парниковых газов (**E** и **F**) в процессе переработки природного газа (технология GTL (*gas-to-liquid* — «газ в жидкость»)).

1. Рассчитайте плотность (г/л) упомянутой смеси **C** и **D**, получаемой из **E** и **F**, в условиях процесса (200 °С, 50 атм).

Указание: для решения воспользуйтесь уравнением Клапейрона-Менделеева: $PV = nRT$, где P — давление, кПа, V — объём, л, n — количество вещества, моль, R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/моль · К, T — температура, К. Помните, что 1 атм = 101,325 кПа.

2. Напишите уравнение *реакции 5* используя буквенные обозначения.
3. Определите формулы веществ **A-G**.
4. Укажите название упомянутого показателя топлива.

Последними стадиями процесса являются *реакции 2, 4* и подобные им. В целях получения высококачественного продукта необходимо контролировать количества синтезируемых в ходе этих реакций веществ. Для этого нужно регулировать соотношение количеств **C** и **D**, для чего осуществляют параллельные реакции. Самой важной из них является реакция, протекающая между **C** и **B** (*реакция 6*).

5. Напишите уравнение *реакции 6*.
6. Считая, что конечным продуктом является только вещество **G**, определите его максимальный выход (%) относительно **A**. Если для получения **C** и **D** используется *реакция 1*, а для регулирования соотношения — *реакция 6* (остальные реакции не протекают). Вещество **B** находится в избытке.

7. У рассматриваемого в этой задаче процесса есть собственное название. Укажите его.

Решение:

1. Осуществим перевод величин из условия задачи в необходимые:
 $50 \text{ атм} = 50 \cdot 101,325 = 5066,250 \text{ кПа}$; $200 \text{ }^\circ\text{C} = 200 + 273 = 473 \text{ К}$.

Таким образом, объём, занимаемый одним молем газа, равно:

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{1 \cdot 8,314 \cdot 473}{5066,250} = 0,776 \text{ л.}$$

Относительная плотность смеси по неону равна 0,75, то есть средняя молярная масса смеси $M_r(\text{смеси}) = 20 \cdot 0,75 = 15 \text{ г/моль}$.

Плотность смеси $\rho = \frac{15}{0,776} = 19,33 \text{ г/л}$.

2. Для получения **реакции 5** нужно сложить вместе **реакции 1-3**, после чего получится: $A + B + 3C + 3D \rightarrow C + D + E + B + F + A$. После сокращения и обращения: $E + F \rightarrow 2C + 2D$.

3. Средняя молярная масса смеси **C** и **D**:

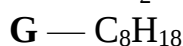
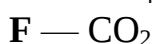
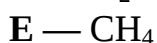
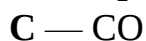
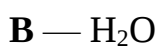
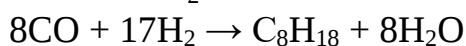
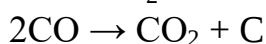
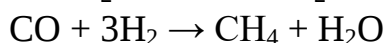
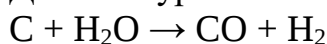
$$\begin{aligned} M_{\text{ср}} &= D_{Ne} \cdot M_{Ne} = 0,75 \cdot 20 = 15 \text{ г/моль} = \\ \chi_C \cdot M_C + \chi_D \cdot M_D &= 0,5 \cdot M_C + 0,5 \cdot M_D \\ M_C + M_D &= 30 \text{ г/моль} \end{aligned}$$

Из такого соотношения следует, что молярная масса одного из газов точно должна быть меньше 15. Из всех газов этому соответствуют только водород и гелий, второй очевидно не может быть решением задачи, тогда один из газов — H_2 . При этом из **реакции 3** очевидно, что **C** водородом быть не может, тогда **D** — H_2 . Можем найти молярную массу **D**:

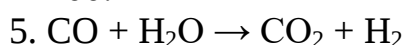
$$M_D = 30 - 2 = 28 \text{ г/моль}$$

Под это подходят CO , C_2H_4 , B_2H_6 и N_2 . Логике остальных реакций будет соответствовать только CO . **C** — CO .

Далее из уравнений легко восстановить оставшиеся вещества:



4. Октановое число. Октановое число характеризует детонационную стойкость топлива. Изооктан очень плохо воспламеняется даже при сильном сжатии, поэтому его октановое число принято за эталон и равно 100.



6. Возьмём для расчёта 1 моль С. Тогда в ходе реакции 1 получается смесь 1 моля СО и Н₂.

$$n_{\max}(C_8H_{18}) = \frac{1}{8} = 0,125 \text{ моль}$$

Для полученной смеси в реакции 4 водород будет в недостатке:

$$n(C_8H_{18}) = \frac{1}{17} \text{ моль}$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{17}}{0,125} \approx 47,06 \%$$

Однако дальше мы покажем, что это не является максимальным выходом. Для его увеличения нужно использовать реакцию 6. Регулируя количество вступающего СО в эту реакцию, найдем максимальный выход.

Пусть в реакцию 6 вступить x моль СО, из этого количество веществ:

$$n(CO) = 1 - x$$

$$n(H_2) = 1 + x$$

Выход таким образом будет:

$$\eta_1 = \frac{\frac{1+x}{17}}{0,125} = \frac{1+x}{2,125}$$

Но при постепенном увеличении x , после определённого значения, в недостатке уже будет СО и расчёт выхода нужно будет вести по нему.

$$\eta_2 = \frac{\frac{1-x}{8}}{0,125} = 1 - x$$

Можно заметить, что выход постоянно варьируется в зависимости от величины x , и в ходе перебора его значений, можно прийти к выводу, что максимальный выход будет соответствовать стехиометрическому соотношению СО:Н₂ (также можно отметить равенство выходов η_1 и η_2 в таком случае) и равен:

$$\frac{n(CO)}{n(H_2)} = \frac{1-x}{1+x} = \frac{8}{17} \Rightarrow x = 0,36$$

$$\eta = \frac{1+0,36}{2,125} = 1 - 0,36 = 0,64 = 64 \%$$

К выводу о стехиометрическом соотношении можно прийти и из чисто логических соображений.

7. Процесс Фишера — Тропша.

Система оценивания:

- | | |
|-------------------------------------|-----------|
| 1. Расчёт плотности 1,5 балла | 1,5 балла |
| 2. Верная реакция 1,5 балла | 1,5 балла |
| 3. Формулы веществ А — G по 1 баллу | 7 баллов |
| 4. Октановое число — 0,5 балла | 1,5 балла |
| Объяснение — 1 балл | |

5. Верная реакция — <i>1 балл</i>	1 балл
6. Использование реакции 6 в расчёте <i>1,5 балла</i> Догадка о максимуме выхода, при стехиометрической смеси — <i>1,5 балла</i> Верный выход — <i>3,5 балла</i>	6,5 балла
7. Правильное название <i>1 балл</i>	1 балл
ИТОГО	20 баллов