

Условия, подробные решения и ответы на задания для 9го класса

Задача №1. «Ленивый студент» (20 баллов)

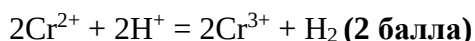
В качестве контрольной задачи по качественному анализу студенту был выдан раствор, содержащий 6 ионов (4 катиона и 2 аниона) из следующего списка: сульфат, хлорид, иодид, хлорат, гипохлорит; катионы алюминия, железа(II), железа(III), свинца, хрома(II), марганца, хрома(III) (не считая ионов водорода и гидроксид-ионов). Студент немного подумал и решил ограничиться определением реакции среды раствора: проба с индикаторной бумажкой показала сильно кислую среду. После этого студент сразу сдал правильный ответ преподавателю. Какие же ионы присутствовали в задаче? Ответ подтвердите уравнениями реакций.

Решение

Поскольку среда кислая, существование гипохлорит-иона представляется крайне маловероятным.

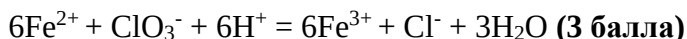
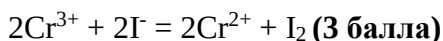
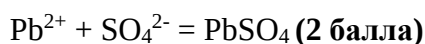


Точно также в кислом растворе не существует ион Cr^{2+} .



Рассмотрим остальные комбинации:

	SO_4^{2-}	Cl^-	ClO_3^-	I^-
Cr^{3+}				—
Fe^{2+}			—	
Pb^{2+}	↓	↓		↓
Al^{3+}				
Mn^{2+}			—	



Таким образом, выданный раствор содержал катионы хрома (III), железа(II), алюминия и марганца, анионы сульфат и хлорид. **(1 балл)**

Задача №2. «Кому все это нужно?!» (20 баллов) (в каждом задании было по 6 веществ)

Заполните предлагаемую таблицу, используя подсказки об агрегатных состояниях и областях применения веществ:

Вещество	Агрегатное состояние при н.у.	Применение
ClF ₅		
SF ₆		
UF ₆		
ICl		
SnCl ₄		
N ₂ H ₄		

При н.у. два вещества из представленных являются газообразными, одно жидким и три твердыми.

Применение: Добавка для закаливания стекла; Реактив в органическом синтезе; Изолятор и теплоноситель в высоковольтной технике; Практического значения не имеет; Для разделения изотопов; Ракетное топливо.

По 2 балла за каждое верно определённое агрегатное состояние (суммарно не более 10 баллов); по 2 балла за каждое верно определённое применение (суммарно не более 10 баллов).

Ответ на все варианты:

Вещество	Агрегатное состояние при н.у.	Применение
HCN	ж	Боевое отравляющее вещество
HN ₃	ж	Производные используются в качестве взрывчатых веществ
NF ₃	г	При травлении кремниевых пластин
SO ₃	тв	При производстве кислоты
OsO ₄	тв	Краситель в микроскопии
Ga	тв	Производство полупроводников
SO ₂	г	Консервант в виноделии
N ₂ H ₄	тв	Ракетное топливо
H ₂ O ₂	ж	Антисептик
BCl ₃	ж	Флюс для пайки
TiCl ₄	ж	Для постановки дымовых завес
SnCl ₄	ж	Добавка для закаливания стекла
SF ₆	газ	Изолятор и теплоноситель в высоковольтной технике
UF ₆	тв	Для разделения изотопов
XeF ₂	тв	Фторирующий агент
CF ₄	г	В системах автоматического пожаротушения
HF	ж	При производстве алюминия
COCl ₂	г	Боевое отравляющее вещество
ClF ₅	Газ	Практического значения не имеет
Cs	тв	При производстве фотоэлементов и фотоумножителей
ICl	тв	Реактив в органическом синтезе

Задача 3 «Старая банка». (20 баллов)

Юный химик нашел банку с белым кристаллическим веществом, этикетка которого была частично утрачена, от надписи остался лишь фрагмент «калият». Юный химик предположил, что в банке находится соль калия и решил провести серию экспериментов, чтобы выяснить, что это за соль. Прежде всего, Юный химик приготовил водный раствор неизвестной соли калия. Юный химик разлил раствор по нескольким пробиркам. К первой пробирке Юный химик добавил 20% раствор серной кислоты. При этом выделился бесцветный газ, медленно бурящийся на воздухе. Ко второй, третьей и четвертой пробирке Юный химик добавил растворы перманганата калия, иодида калия и избыток раствора сульфата железа(II). Видимого эффекта не наблюдалась. Затем Юный химик добавил к каждой пробирке немного раствора серной кислоты. В итоге, раствор с перманганатом калия обесцветился, а растворы с иодидом калия и сульфатом железа(II) приобрели бурый цвет. Продукт взаимодействия неизвестной соли с сульфатом железа(II) был прозрачный, хоть и имел бурую окраску. Юный химик смекнул, что образовано комплексное соединение железа. Юный химик пошел к своему другу, студенту-физику и попросил помочь с определением формулы. Студент-физик с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии выяснил, что неизвестная соль содержит 45,9% калия по массе. Помогите Юному химику определить, что это была за соль в банке.

- 1) Определите, какая соль была в банке, напишите ее формулу.
- 2) Напишите уравнения всех реакций, соответствующим успешным экспериментам Юного химика

Объясните, почему раствор неизвестной соли реагирует с растворами перманганата калия, иодида калия и сульфата железа(II) только при подкислении.

Решение

Бесцветный газ, медленно бурящийся на воздухе – NO (1 балл), который на воздухе образует бурый газ NO₂



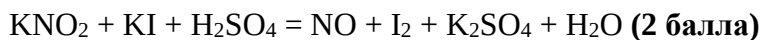
С выделением NO при добавлении кислоты разлагаются нитриты, следовательно, неизвестная соль – нитрит калия (KNO₂), доказательством служит и массовая доля калия равная 45,9 %. (2 балла)



Реакции с подкисленными растворами перманганата калия и иодида калия:



(без подкисления реакция не идет, т.к. KMnO₄ более сильный окислитель в кислой среде, в нейтральной среде KMnO₄ недостаточный сильный окислитель для окисления нитритов в нитраты) (2 балла)

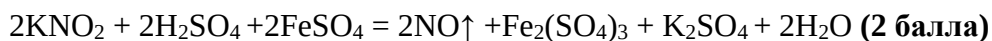


(без подкисления реакция не идет, т.к. в действительности идет реакция между HNO₂ и KI, HNO₂ более сильный окислитель чем нитрит-ион) (2 балла)

Реакция с подкисленным раствором сульфата железа(II):

Реакция идет в две стадии:

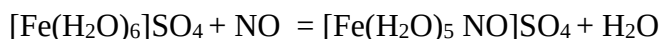
В результате добавления сульфата железа(II) и кислоты выделяется NO



который затем реагирует с избытком FeSO_4 с образованием бурого комплекса FeNOSO_4



Принимается также реакция:



(без подкисления реакция не идет, т.к. для образование комплекса FeNOSO_4 необходимо образование NO, а без подкисления реакция нитрита калия и сульфата железа(III) не идет, т.к. в действительности идет реакция между HNO_2 и KI, HNO_2 более сильный окислитель чем нитрит-ион) (2 балла)

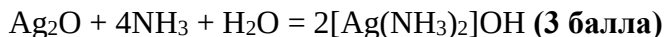
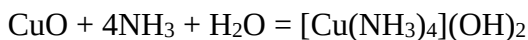
Задача №4. «1000 советов молодой хозяйке» (20 баллов) (в каждом задании было по 3 совета + «предложите свой»)

В литературе приводится много различных советов молодым хозяйкам. Хотя они и выведены эмпирически, опытным путем, большинство из них имеет под собой вполне логичное научное (в ряде случаев – химическое) обоснование. Объясните с точки зрения химика следующие советы:

- 1) Поверхность золотых и позолоченных изделий со временем темнеет. Вернуть ювелирным изделиям первоначальный нарядный вид помогает выдерживание в крепком (25%-м) водном растворе аммиака.
- 2) В хрустальном графине не следует хранить вино, а коньяк и водку хранить можно.
- 3) В хрустальном графине не следует хранить фруктовые соки, а минеральную воду наливать можно;
- 4) Если потемнели столовые приборы из мельхиора, положите их в оцинкованное ведро и залейте подсоленной водой. Через 3-4 часа они станут совсем светлыми и чистыми.
- 5) Старые пятна от иода на ткани практически не поддаются удалению. Однако можно попробовать намочить ткань с таким пятном раствором иодида калия (1 чайная ложка на стакан воды) и сразу же промыть водным раствором тиосульфата натрия (2 чайные ложки на стакан воды).
- 6) Чтобы удалить черноту и зелень с медного или латунного изделия, протрите его поверхность тампоном, смоченным в нашатырном спирте.
- 7) Чтобы отмыть столовые приборы от жира, воспользуйтесь содой; при этом следует брать не кальцинированную и не питьевую, а стиральную соду.
- 8) Предложите еще один совет молодой хозяйке, обосновав его с точки зрения химии.

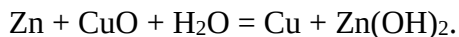
Решение

1) Темнеют ювелирные изделия из-за взаимодействия меди и серебра, входящих в состав сплава, с кислородом воздуха. **(2 балла)** Соответственно, при обработке аммиаком протекают следующие процессы:



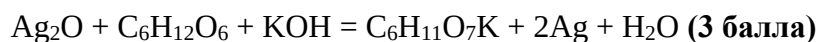
2) В кислой среде силикат свинца, входящий в состав хрусталя и придающий ему блеск, будет частично выщелачиваться и переходить в раствор. **(2 балла)** С одной стороны, портится хрусталь (и теряет свой блеск), с другой – в растворе появятся ядовитые соли свинца (карбоксилаты свинца). **(3 балла)**

3) В состав мельхиора входит медь, никель, иногда железо и марганец. Потемнение связано прежде всего с окислением меди. **(2 балла)** В указанных условиях пойдет электрохимический процесс:

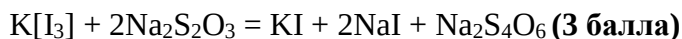
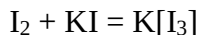


Хлорид натрия играет роль электролита и обеспечивает перенос электронов. **(3 балла)**

4) Сладкий вкус подмороженного картофеля связан с накоплением в нем глюкозы, являющейся хорошим восстановителем. Вместе с тем, в картофеле достаточно высоко содержание поташа, обуславливающего щелочную среду картофельного отвара. **(2 балла)** Тогда будет протекать реакция «серебряного зеркала»:

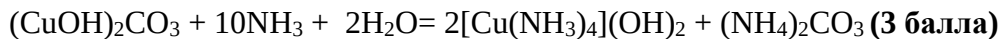
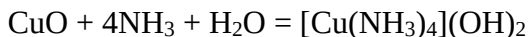


5) Иод переходит в раствор в виде диiodоiodата(І) калия, который затем восстанавливается тиосульфатом натрия **(2 балла)**:



6) Чернота и зелень на медных и латунных изделиях – это оксид меди и карбонат гидроксомеди, соответственно. **(2 балла)**

При обработке аммиаком протекают реакции:

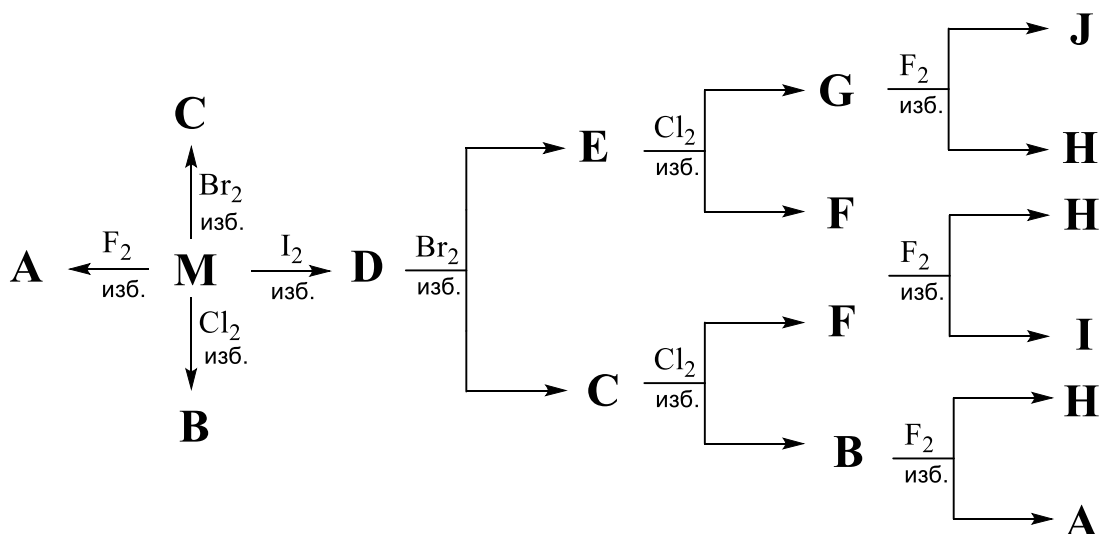


7) Стиральная сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ из-за гидролиза по аниону создает сильнощелочную среду **(2 балла)**. Жиры (сложные эфиры глицерина) эффективно гидролизуются в щелочном растворе. **(3 балла)**

8) За химически обоснованный совет - 5 баллов.

Задача №5. «Галогены» (20 баллов)

В одной старой неопубликованной рукописи неизвестного автора, юный химик обнаружил схему реакции металла **M** с избытком различных галогенов:



К сожалению, рукопись была сильно изъедена реактивами. Единственное, что можно было разобрать о характеристиках этих веществ, была массовая доля одного из элементов в соединениях **D**, **E**, **G** и **J**, которая составляла 81,9%, 61,4 %, 54,4 %, и 48,8 % соответственно. Идентифицируйте соединения **A-J**. Напишите уравнения реакций. Как Вы думаете, кто мог быть автором данной рукописи, и когда она могла быть написана? Ответ аргументируйте.

Решение

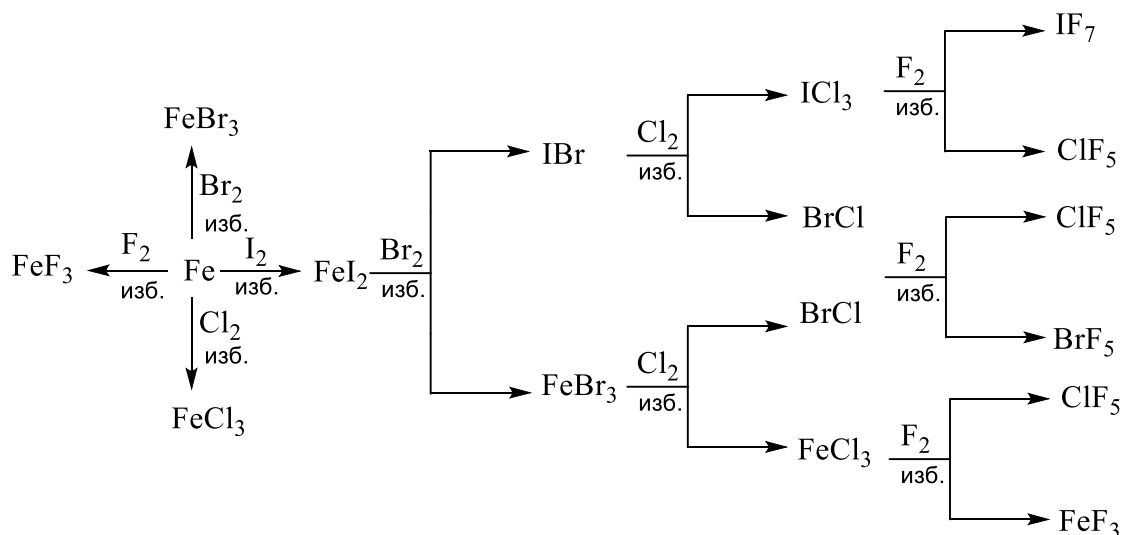
Из схемы видно, что в задании приведено содержание иода в соединениях **D**, **E**, **G** и **J**. Впрочем, Вы можете проверить остальные галогены и убедиться, что для этих случаев решения нет. Опираясь на массовую долю иода в **D** можем установить металл. В общем виде формулу иодида можно записать как MI_x , где x – степень окисления металла.

$$\omega(I) = \frac{M(I) \cdot x}{M(MI_x)}$$

$$0,819 = \frac{127x}{M + 127x}$$

$$M = 28x$$

Для $x = 2$ получаем железо. (2 балла) Аналогично, можно установить и остальные формулы веществ, для которых дана массовая доля иода.

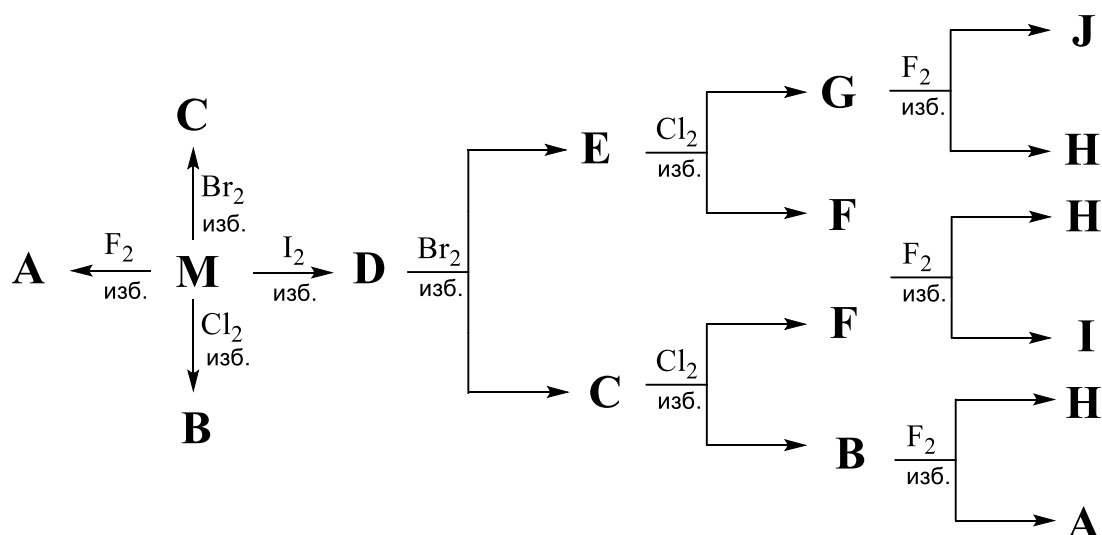


По **0,5 балла** за правильное определение формул веществ **A – D**, по **1 баллу** за правильное определение формул веществ **E – I**. (Всего **8 баллов**)

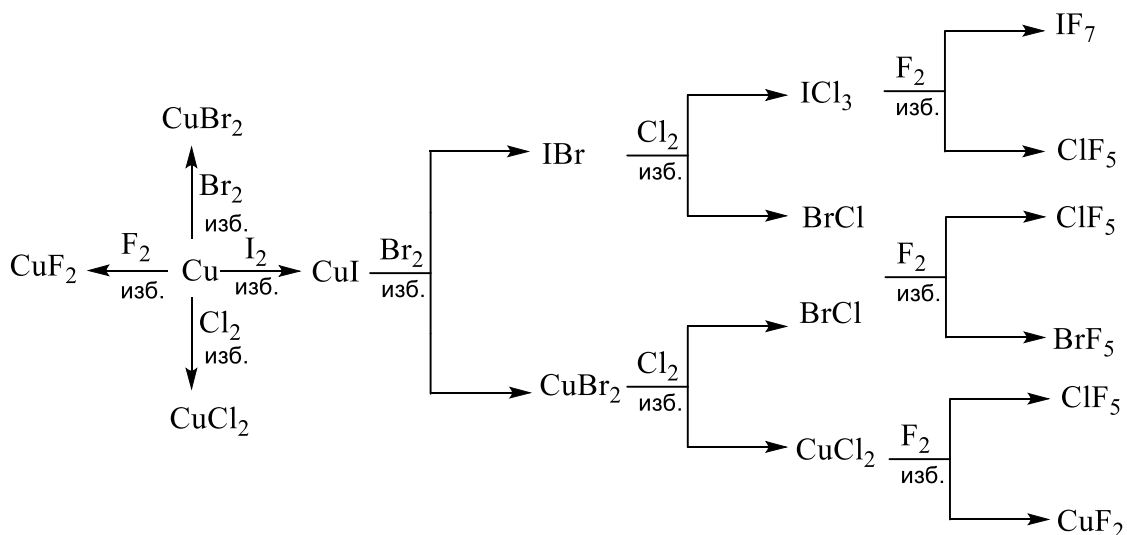
По **0,5 балла** за написанные уравнения реакций с участием железа, по **1 баллу** за остальные реакции. (Всего **8 баллов**)

Данная работа могла быть написана только после выделения фтора Анри Муассаном в 1886 году. Поэтому, автором мог быть, например, сам Муассан, а дата написания – вторая половина (конец) 19 века. (**2 балла**)

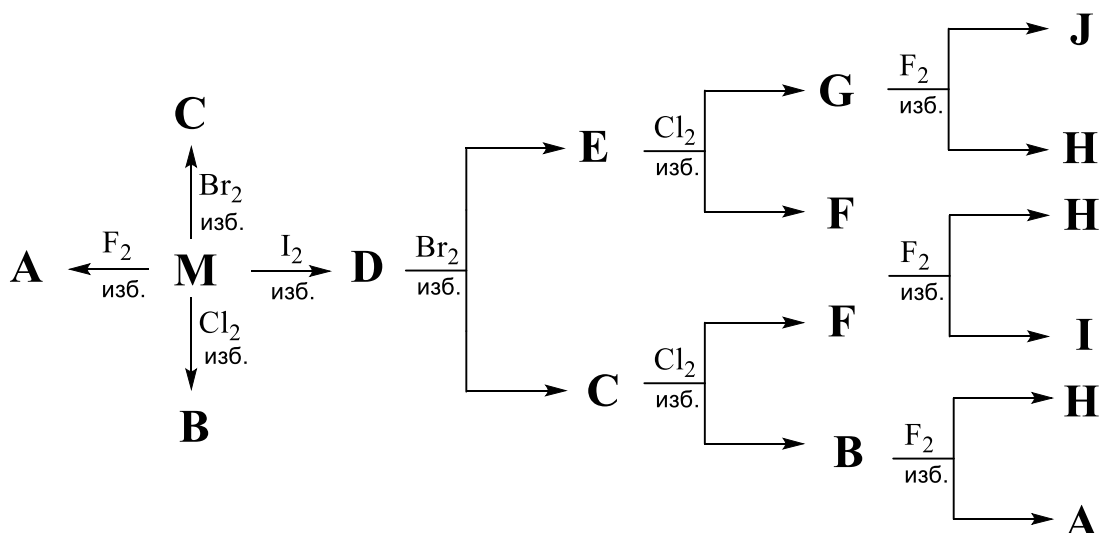
2. В одной старой неопубликованной рукописи неизвестного автора, юный химик обнаружил схему реакции металла **M** с избытком различных галогенов:



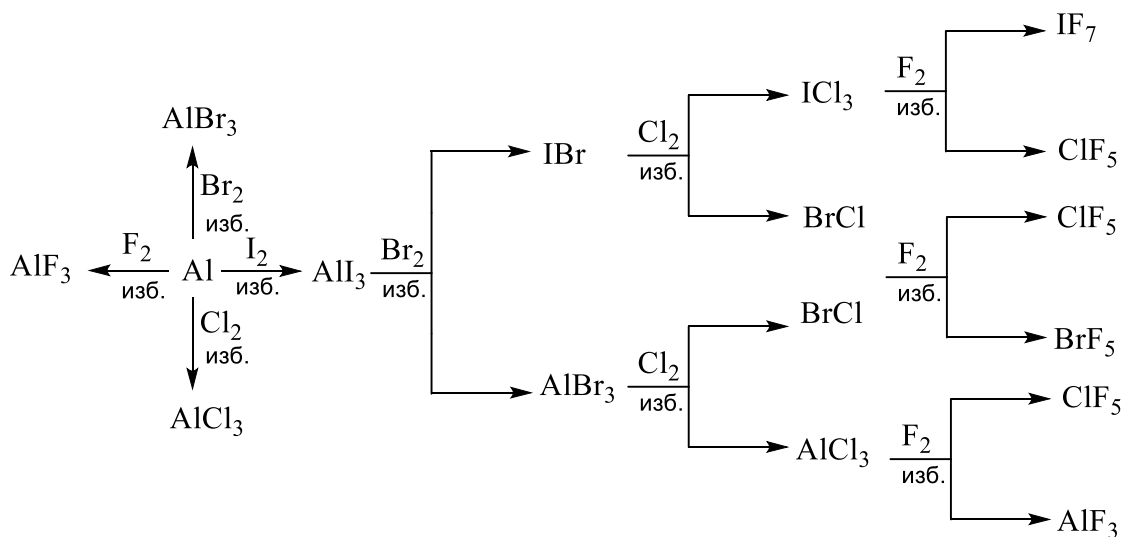
К сожалению, рукопись была сильно изъедена реактивами. Единственное, что можно было разобрать о характеристиках этих веществ, была массовая доля одного из элементов в соединениях **C**, **E**, **F** и **I**, которая составляла 28,6%, 38,6 %, 69,3 %, и 45,7 % соответственно. Идентифицируйте соединения **A-J**. Напишите уравнения реакций. Как Вы думаете, кто мог быть автором данной рукописи, и когда она могла быть написана? Ответ аргументируйте.



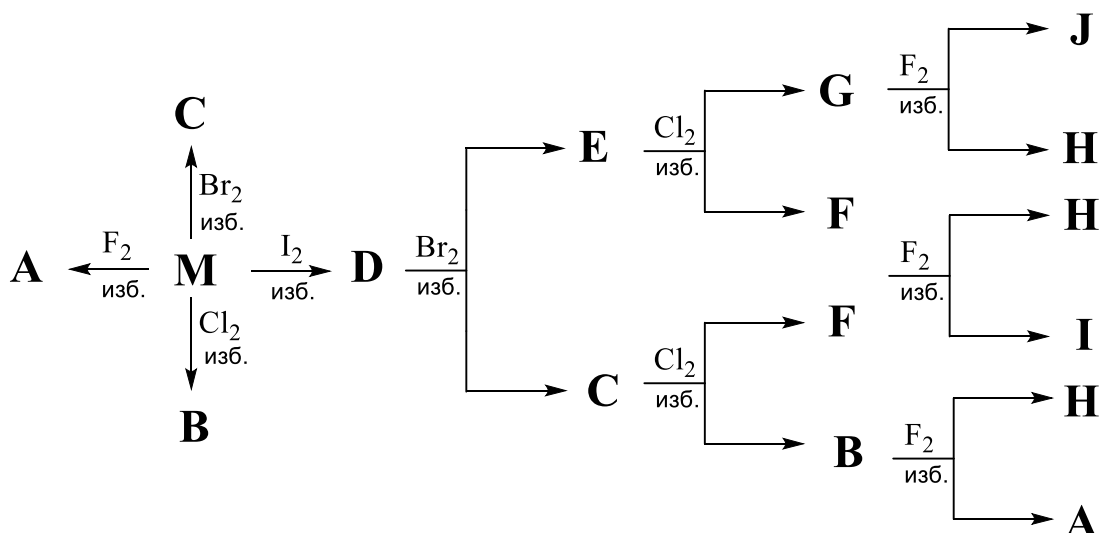
3. В одной старой неопубликованной рукописи неизвестного автора, юный химик обнаружил схему реакции металла **M** с избытком различных галогенов:



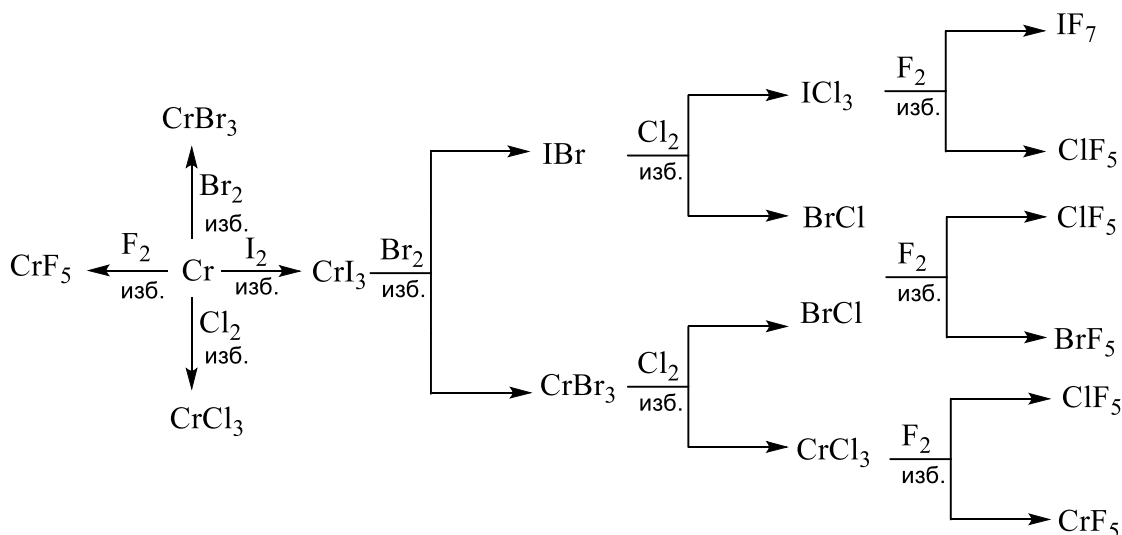
К сожалению, рукопись была сильно изъедена реактивами. Единственное, что можно было разобрать о характеристиках этих веществ, была массовая доля одного из элементов в соединениях **B**, **F**, **G** и **H**, которая составляла 79,8%, 30,7 %, 45,6 %, и 27,2 % соответственно. Идентифицируйте соединения **A-J**. Напишите уравнения реакций. Как Вы думаете, кто мог быть автором данной рукописи, и когда она могла быть написана? Ответ аргументируйте.



4. В одной старой неопубликованной рукописи неизвестного автора, юный химик обнаружил схему реакции металла **M** с избытком различных галогенов:



К сожалению, рукопись была сильно изъедена реактивами. Единственное, что можно было разобрать о характеристиках этих веществ, была массовая доля одного из элементов в соединениях **A**, **H**, **I** и **J**, которая составляла 64,6 %, 72,8 %, 54,3 %, и 51,2 % соответственно. Идентифицируйте соединения **A-J**. Напишите уравнения реакций. Как Вы думаете, кто мог быть автором данной рукописи, и когда она могла быть написана? Ответ аргументируйте.



Задача №6. «Четыре ампулы». (20 баллов)

В четыре ампулы одинакового объема 50 см³ поместили навески, вакуумировали и нагрели. Через некоторое время измерили давление, установившееся в ампулах. Данные о составе навесок, температуре и давлении приведены в таблице.

	Ампула №1	Ампула №2	Ампула №3	Ампула №4
Состав навески	10 мг CaCO ₃	10 мг CaCO ₃	10 мг CaCO ₃ + 10 мг графита	20 мг CaCO ₃ + 10 мг графита
Температура, °C	500	700	500	700
Давление, атм	2,14·10 ⁻⁴	6,33·10 ⁻²	1,11·10 ⁻³	0,303

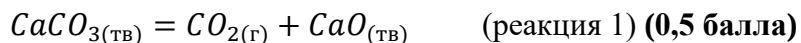
Твердую смесь извлекли из ампул, охладили и промыли теплой водой.

1. Определить массы твердых остатков, оставшихся после промывания.
2. Оцените, какую минимальную массу графита нужно поместить в ампулы объемом 100 см³, содержащим по 50 мг карбоната кальция, чтобы при нагревании до температур 500 и 700°C, давление оказалось таким же, как и в описанном эксперименте?
3. Почему с ростом температуры давление в ампулах растет?
4. К растворам, полученным после промывания 10 мл воды твердых остатков добавили по 10 мг сульфата натрия. Определите массы образовавшихся осадков. Произведение растворимости, являющееся константой равновесия процесса растворения ионного соединения, для сульфата кальция равно $K_s(\text{CaSO}_4) = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = 3,7 \cdot 10^{-5}$.

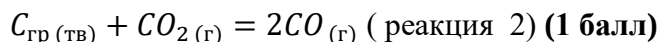
Решение

Запишем уравнения равновесных процессов, протекающих в ампулах:

В ампулах №№1 и 2 разлагается карбонат кальция:



В ампулах №№ 3 и 4 кроме предыдущего равновесия наступает еще одно:



Запишем выражения для констант этих равновесий через парциальные давления газов. Концентрации твердых веществ в записи констант равновесия отсутствуют:

$$K_1 = p_{(CO_2)}$$

$$K_2 = \frac{p_{(CO)}^2}{p_{(CO_2)}}$$

Найдем количества веществ, помещенных в ампулы:

$$n(CaCO_3) = \frac{m(CaCO_3)}{M(CaCO_3)} = \frac{0,01}{100} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль (ампулы №№1-3) (0,5 балла)}$$

$$n(CaCO_3) = 2 \cdot 10^{-4} \text{ моль (ампула №4) (0,5 балла)}$$

$$n(C) = \frac{0,01}{12} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ моль (0,5 балла)}$$

Зная объем ампул, давление и температуру, по уравнению Менделеева-Клапейрона можно найти суммарное количество газов, находящихся в ампулах (не забывайте следить за размерностями!):

$$PV = nRT$$

В ампуле №1:

$$n_1 = \frac{PV}{RT} = \frac{2,14 \cdot 10^{-4} \cdot 101,325 \cdot 0,05}{8,314 \cdot 773} = 1,69 \cdot 10^{-7} \text{ моль (0,5 балла)}$$

Аналогично можно найти давление и в остальных ампулах:

$$n_2 = 3,96 \cdot 10^{-5} \text{ моль (0,5 балла)}$$

$$n_3 = 6,81 \cdot 10^{-7} \text{ моль (0,5 балла)}$$

$$n_4 = 1,90 \cdot 10^{-4} \text{ моль (0,5 балла)}$$

Причем n_1 и n_2 – это количества углекислого газа, образовавшегося в результате разложения карбоната кальция (т.к. других газов в системе нет), а n_3 и n_4 – суммарное количество CO_2 и CO .

Теперь можно рассчитать состав равновесных твердых смесей, оставшихся в ампулах.

В ампуле №1:

Количество оксида кальция, образовавшееся в ампуле равно количеству углекислого газа (реакция 1), количество оставшегося карбоната кальция равно исходному количеству соли за вычетом разложившегося карбоната (равного количеству CO_2):

$$n(CaCO_3) = 10^{-4} - 1,96 \cdot 10^{-7} = 9,998 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

$$n(CaO) = 1,96 \cdot 10^{-7} \text{ моль (1 балл)}$$

В ампуле №3:

Расчет аналогичен случаю для ампулы №1.

$$n(CaCO_3) = 10^{-4} - 6,81 \cdot 10^{-7} = 9,993 \cdot 10^{-5} \text{ моль}$$

$$n(CaO) = 6,81 \cdot 10^{-7} \text{ моль (1 балл)}$$

Расчет количества твердых остатков в ампулах №№2 и 4 несколько сложнее. В ампуле №3 температура такая же, как и в ампуле №1, следовательно, константа равновесия разложения карбоната кальция (реакция 1) не изменилась (константа равновесия зависит только от температуры). Таким образом парциальное давление (и количество) углекислого газа будет таким же, как и в ампуле №1. Добавление в систему углерода приводит к появлению угарного газа (реакция 2), то есть часть углекислого газа должна прореагировать с графитом. Но его суммарное количество в ампуле осталось прежним, значит, в результате добавления графита некоторое количество карбоната кальция подверглось разложению, чтобы компенсировать образование угарного газа по реакции 2. По сути, добавление графита в ампулу привело к смещению равновесия 1 вправо, поддерживая постоянное парциальное давление CO_2 .

Другими словами

$$n(\text{C}) = c(C_{\text{нач}}) - 0,5n(\text{CO})$$

$$n(\text{CaO}) = n(\text{CO}_2) + 0,5n(\text{CO})$$

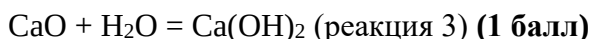
$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_{3\text{ нач}}) - n(\text{CaO})$$

Аналогично можно рассчитать состав твердого остатка **в ампуле №4. (6 баллов)**

Полученные количества веществ приведены в таблице:

	Ампула №1	Ампула №2	Ампула №3	Ампула №4
CO_2	$1,69 \cdot 10^{-7}$	$3,96 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-7}$	$3,96 \cdot 10^{-5}$
CO	-	-	$7,06 \cdot 10^{-7}$	$1,504 \cdot 10^{-4}$
CaCO_3	$9,98 \cdot 10^{-5}$	$6,04 \cdot 10^{-5}$	$9,95 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$
CaO	$1,69 \cdot 10^{-7}$	$3,96 \cdot 10^{-5}$	$5,22 \cdot 10^{-7}$	$1,69 \cdot 10^{-4}$
C	-	-	$8,326 \cdot 10^{-4}$	$7,58 \cdot 10^{-4}$

После промывания теплой водой из смеси уходит оксид кальция:

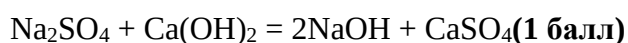


Таким образом, в состав твердых смесей входят только графит и карбонат кальция (см. таблицу)

2. Поскольку объем ампул равен 100 см^3 , то количества газов, которые будут находиться в ампулах при данных температурах в раза больше, чем в п.1. Таким образом, количество CO будет равно $1,4 \cdot 10^{-7}$ моль при 500°C и $3 \cdot 10^{-4}$ моль при 700°C . **(1 балл)** Для образования такого количества угарного газа нужно в два раза меньше графита (реакция 2). Следовательно, при 500°C минимальная масса графита составляет **$8,4 \cdot 10^{-3}$ мг, а при 700°C 1,8 мг. (1 балл)**

3. Давление в ампулах с ростом температуры растет по двум причинам. Во-первых, при повышении температуры при сохранении объема растет давление (уравнение Менделеева-Клапейрона). **(1 балл)** Во-вторых, при повышении температуры происходит рост констант равновесия, то есть равновесие смещается в сторону продуктов реакций, что приводит к увеличению числа газовых моль и, соответственно, росту давления. **(1 балл)**

4. При добавлении сульфата натрия к растворам может протекать реакция



Однако осадок будет образовываться когда произведение молярных концентраций катионов кальция и сульфатных анионов превысит $K_s(CaSO_4)$. Найдем концентрации этих ионов (первая ампула).

$$[Ca^{2+}] = C_M(Ca(OH)_2) = \frac{n(Ca(OH)_2)}{V_{p-pa}} = \frac{1,69 \cdot 10^{-7}}{0,01} = 1,69 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$[SO_4^{2-}] = C_M(Na_2SO_4) = \frac{n(Na_2SO_4)}{V_{p-pa}} = \frac{0,01}{142 \cdot 0,01} = 0,007 \text{ моль/л (1 балл)}$$

$$[Ca^{2+}][SO_4^{2-}] = 1,2 \cdot 10^{-7} < K_s(CaSO_4) = 3,7 \cdot 10^{-5}$$

Следовательно, осадок образовываться не будет. **(1 балл)**