

## Условия, подробные решения и ответы на задания для 11го класса

### Задача №1. «И от химии бывает тепло» (20 баллов)

Для изучения взаимодействия йода и водорода проделали серию экспериментов по измерению теплового эффекта реакции:

- 1) В реактор поместили 250 г йода и 2 г водорода. Полученную смесь нагрели до 360<sup>0</sup>С. В результате реакции выделилось 3,72 кДж тепла.
- 2) В реактор поместили 1000 г йода и 2 г водорода. Полученную смесь нагрели до 360<sup>0</sup>С. В результате реакции выделилось 4,52 кДж тепла.

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции йода с водородом при 360<sup>0</sup>С.
2. Какое количество теплоты выделится в результате взаимодействия 100 г йода и 1 г водорода при 360<sup>0</sup>С?

### Решение

- 1) В задаче идет речь о реакции  $H_{2(g)} + I_{2(g)} = 2HI_{(g)}$  (1 балл)

Рассчитаем начальное количество вещества реагентов

Номер опыта	$\nu(H_2)$ , моль	$\nu(I_2)$ , моль
1	1	0.98
2	1	3.94

(1 балл)

Предположим, реакция необратимая, тогда количество образовавшегося HI получится в два раза больше реагента, взятого в недостатке.

Номер опыта	$\nu(H_2)$ , моль	$\nu(I_2)$ , моль	$\nu(HI)$ , моль
1	1	0.98	1.96
2	1	3.94	2

(1 балл)

Тепловой эффект реакции пропорционален количеству образовавшегося HI, поэтому тепловой эффект в опытах 1 и 2 должен быть близок. А это не так. Значит, данная реакция обратимая. (3 балла)

Так как количество молей в ходе реакции не меняется, то  $K_x = K_p = K_c$ . Также, константу равновесия можно записать через количества веществ.

$$k = \frac{\nu(HI)^2}{\nu(H_2) \cdot \nu(I_2)} \quad (1 \text{ балл})$$

В первом опыте, обозначим количество вступивших в реакцию  $H_2$  и  $I_2$  за  $x$  моль. Тогда в результате первой реакции образовалось  $2x$  моль HI.

В результате второго опыта образовалось в  $4,52 \text{ кДж} / 3,72 \text{ кДж}$  больше HI, чем первого, т.е.  $2,43x$  (3 балл)

Во втором опыте, количество вступивших в реакцию  $\text{H}_2$  и  $\text{I}_2$  составляет 1, 215х моль. Запишем уравнение для константы равновесия:

$$k = \frac{(2x)^2}{(1-x) * (0,98-x)} = \frac{(2,43x)^2}{(1-1,215x) * (3,94-1,215x)}$$

Решая квадратное уравнение, получаем, что  $x = 0,81$  моль, откуда в результате первой реакции образовалось 1,62 моль  $\text{HI}$  м, константа равновесия равна 81 (2 балл).

Тепловой эффект образования 1 моля  $\text{HI}$  равен

$$3,72 \text{ кДж}/1,62 \text{ моль} = 2,3 \text{ кДж/моль} \text{ (2 балл)}$$

Тепловой эффект реакции  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{I}_{2(\text{г})} = 2\text{HI}_{(\text{г})}$  в 2 раза больше и равен 4,6 кДж/моль (1 балл)

- 2) Для расчета количество теплоты, выделившегося в результате взаимодействия 100 г йода и 1 г водорода при 360 °С рассчитаем исходные концентрации  $\text{H}_2$  и  $\text{I}_2$

$v(\text{H}_2)$ , моль	$v(\text{I}_2)$ , моль
0,5	0.39

(1 балл)

Обозначим количество вступивших в реакцию  $\text{H}_2$  и  $\text{I}_2$  за  $y$  моль. Тогда в результате реакции образовалось  $2y$  моль  $\text{HI}$ .

$$k = \frac{(2y)^2}{(0,5-y) * (0,39-y)} = 81$$

Решая квадратное уравнение, получаем, что  $y = 0,35$  моль, количество образовавшейся  $\text{HI} = 0,7$  моль (2 балл)

В ходе эксперимента выделилось  $2,3 \text{ кДж/моль} * 0,7 \text{ моль}/2 = 1,61 \text{ кДж}$  (2 балл)

### Задача №2а. «Лодочка». (20 баллов)

С некоторой солью, встречающейся в природе в виде минерала, были проделаны следующие опыты. Навеску этого вещества мелко истирали в ступке, а затем в бадделитовой лодочке помещали в трубчатую печь, где прокаливали при 450°С в токе различных газов. По окончании опыта печь охлаждали до комнатной температуры, лодочку доставали и взвешивали. Ниже в таблице приведены изменения массы вещества в лодочке в зависимости от газа, в атмосфере которого велось прокаливание.

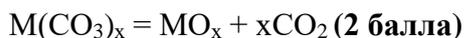
Газ	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{HCl}$	$\text{HCl}, \text{Cl}_2$
$\Delta m$	-37.9%	-51.7%	-33.3%	+9.5%	-100%

Определите исходную соль, приведите уравнения протекающих реакций.

### Решение

Из данных задачи следует, что исходное вещество термически неустойчиво, легко может быть восстановлено водородом, реагирует с хлороводородом. Высший хлорид летуч. Этому условию соответствуют карбонаты, сульфиты и некоторые другие соли металлов. Уменьшение массы при прокаливании в инертной атмосфере (углекислый газ) и уменьшение массы при прокаливании в атмосфере водяного пара позволяют предположить,

что исходное вещество – карбонат или сульфит. Прирост массы при взаимодействии с хлороводородом позволяет заключить, что исходное вещество – карбонат металла,  $M(\text{CO}_3)_x$ . (2 балла)

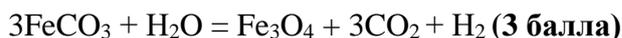
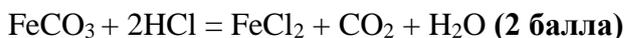
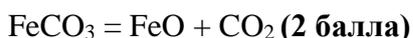


Для исходного вещества получаем:

$44n/(M_1 + 60n) = 0,379$ , где  $2n$  – валентность металла,  $M$  – его молярная масса

$n$	0,5	1	1,5	2
$M$	28,05	56,1	84,15	112,2

Отсюда исходное вещество –  $\text{FeCO}_3$  (4 балла)



### Задача №26. «Загадочный минерал» (20 баллов)

1. Для определения состава некоторого минерала был проведен следующий эксперимент. Навеску вещества массой 10,00 г сплавляли со смесью гидроксида и пероксида натрия. Плав обрабатывали горячей водой. При этом получился бесцветный раствор и черный осадок.

Полученный раствор нейтрализовали азотной кислотой и обработали избытком раствора ляписа. Образовалось 27,75 г осадка шоколадного цвета, обработка смеси которого с цинковыми стружками соляной кислотой привела к выделению газа с запахом чеснока. К оставшемуся раствору добавили избыток баритовой воды, при этом образовалось 14,00 г белого осадка, нерастворимого в минеральных кислотах.

Полученный после обработки водой черный осадок растворили в избытке соляной кислоты. При этом выделился газ и получился зеленый раствор, не меняющий цвета при разбавлении водой. При добавлении к раствору реактива Чугаева (диметилглиоксима) выпал красный объемистый осадок, масса которого после высушивания составила 17,33 г.

Определите состав минерала и напишите уравнения описанных превращений.

### Решение

Определим качественный состав минерала. Образование шоколадно-коричневого осадка с ионом серебра, возможность восстановления полученного осадка водородом в момент выделения с образованием газообразного продукта с запахом чеснока указывают на присутствие в минерале мышьяка. (2 балла)

Зеленый цвет раствора хлорида металла характерен, в первую очередь, для хлоридов меди и никеля. Отсутствие изменения окраски с разбавлением позволяет сделать вывод в пользу никеля. На это же указывает образование красного осадка с реактивом Чугаева. (2 балла)

Определим соотношение никеля и мышьяка в исходном минерале.

$$v(\text{As}) = v(\text{Ag}_3\text{AsO}_4) = 27,75:463 = 0,06 \text{ моль (1 балл)}$$

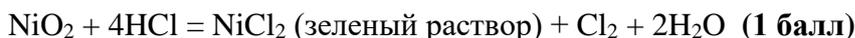
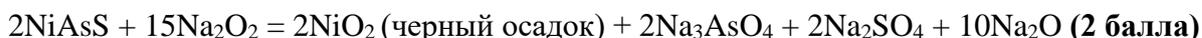
$$v(\text{Ni}) = v(\text{Ni}(\text{HONC}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{CH}_3)\text{NO})_2) = 17,33:289 = 0,06 \text{ моль (1 балл)}$$

На эти два элемента приходится 8,04 г от взятого образца минерала.

Образование нерастворимого в кислоте белого осадка соли бария указывает на присутствие в минерале серы, селена или фосфора. Проверка показывает, что наиболее вероятно образование сульфата бария. **(2 балла)** Тогда в исходном образце содержалось также 0,06 моль серы, что соответствует общей массе образца 9,96 г (ошибка в 0,4% лежит в пределах ошибок аналитических определений – каждое из гравиметрических определений дает погрешность 0,2%). **(1 балл)**

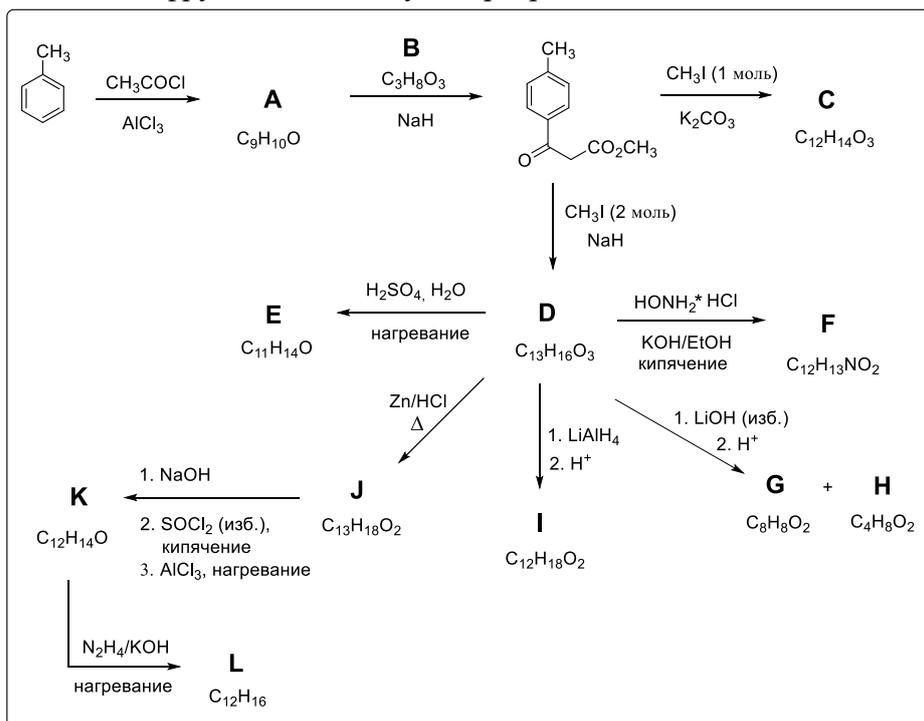
Таким образом, состав исходного минерала  $\text{NiAsS}$ . **(1 балл)**

Реакции:

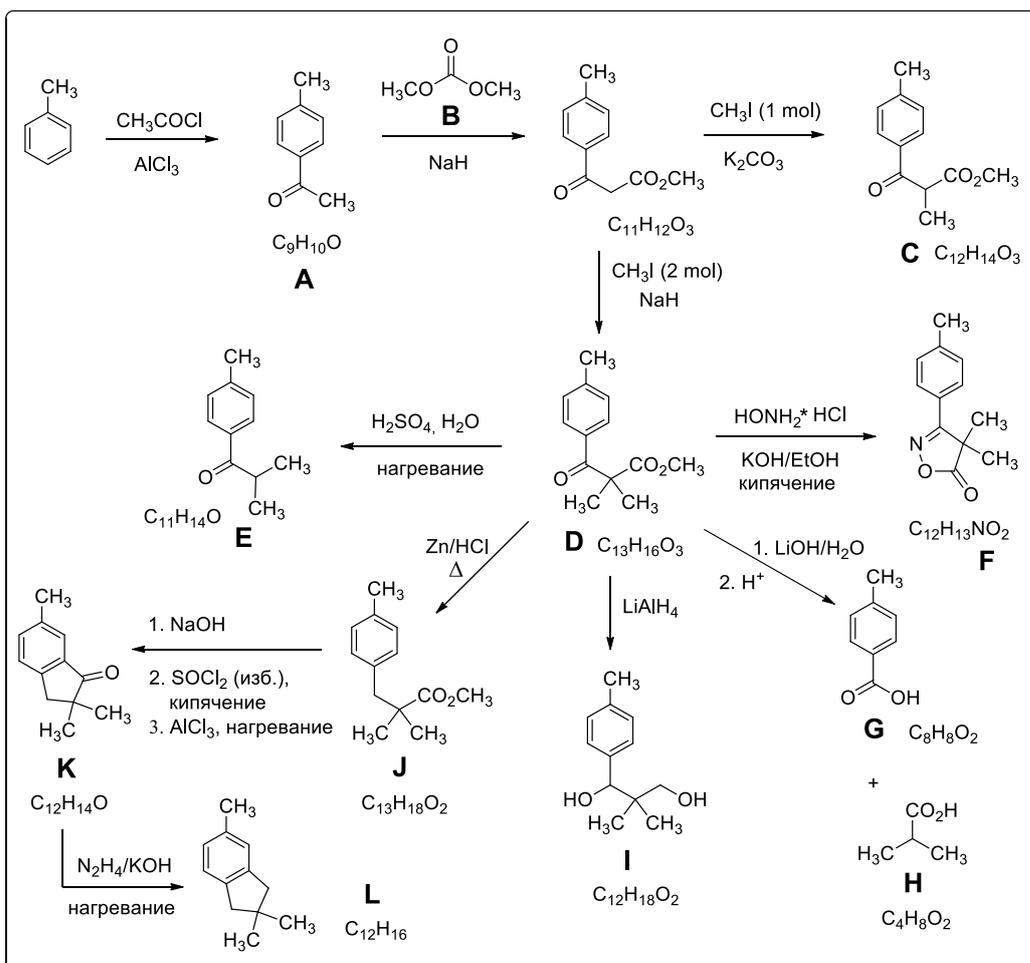


### Задача №3. «Молекулярные формулы» (20 баллов)

1. Расшифруйте цепочку превращений и напишите уравнения реакций:

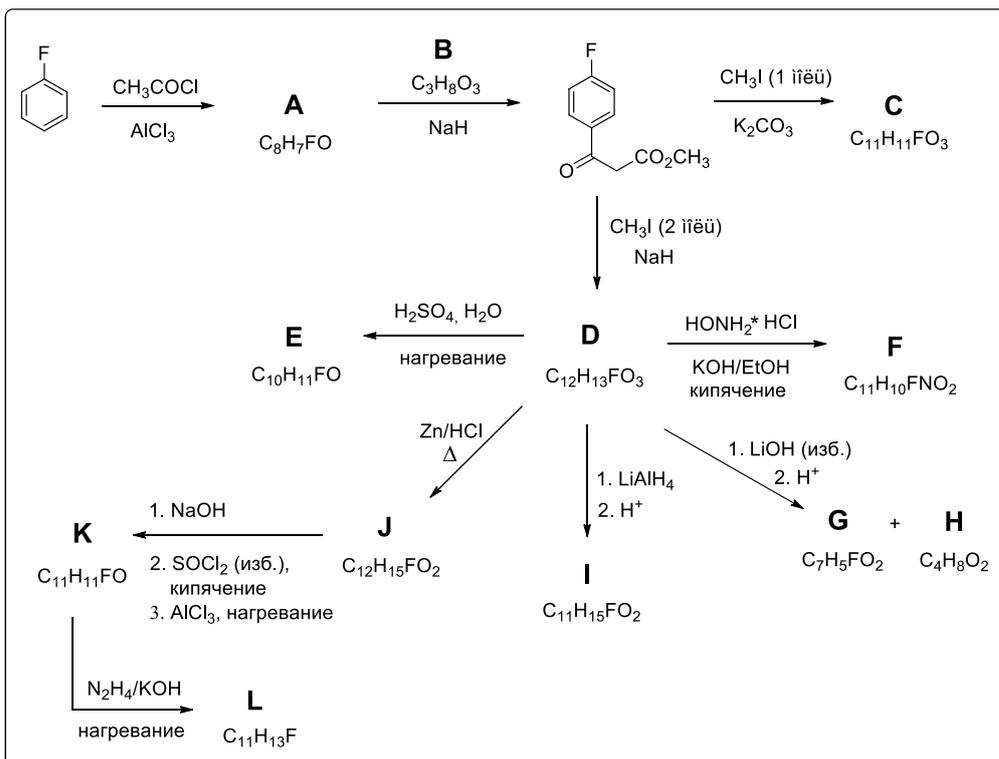


## Решение

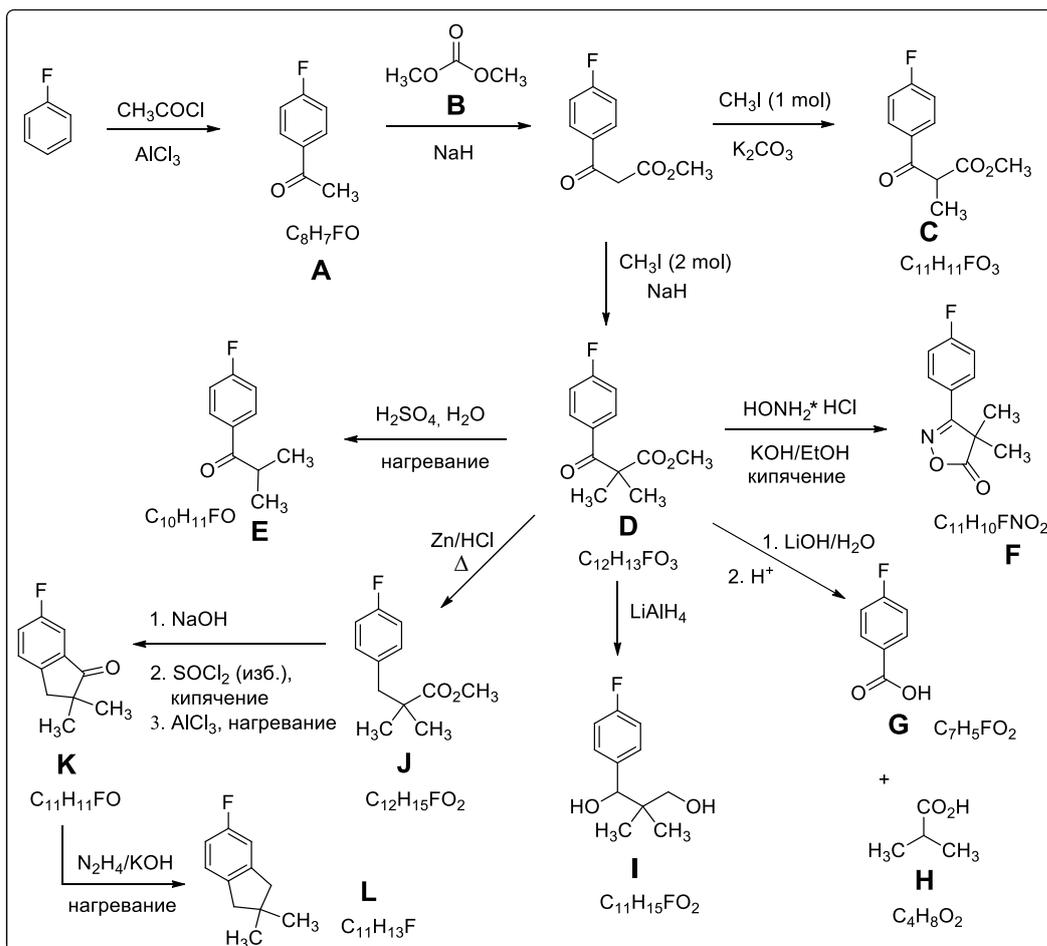


По 1 баллу за структуры А, С, G и H; по 2 балла за структуры В, D – F, J – L.

2. Расшифруйте цепочку превращений и напишите уравнения реакций:



## Решение



По 1 баллу за структуры А, С, G и H; по 2 балла за структуры В, D – F, J – L.

### Задача №4. «Катион-близнец» (20 баллов)

Неизвестное соединение, состоящее из трех элементов X, Y и Z с массовыми долями 7.9%, 6.1% и 86.0% соответственно, имеет солеобразное строение. В воде оно не растворяется, а реагирует с ней со взрывом. Общее число электронов в катионе равно числу электронов в анионе. Это соединение может быть получено по реакции синтеза из трех веществ, одно из которых является простым веществом элемента Z, второе, состоящее из элементов Y и Z, может быть получено при реакции оксида Y и водородного соединения Z, а третье, состоящее из элементов X и Z, образуется в результате реакции водородного соединения X с простым веществом элемента Z. Назовите неизвестное соединение. Аналогом какого катиона является катион в этом соединении? Запишите реакцию этого соединения с водой, если известно, что в результате этой реакции выделяется газ, который не содержит элементов X, Y и Z.

## Решение

Поскольку это вещество взаимодействует с водой со взрывом, можно предположить это какой-то весьма сильный окислитель и в его состав входят атомы фтора. Так как фтор – самый электроотрицательный элемент, в соединениях он проявляет только степень окисления -1, и весьма вероятно, что в веществе у него самая большая массовая доля. Это и послужит отправной точкой нашего решения. (2 балла)

Если Z – это фтор, то тогда формула вещества в общем виде может быть записана следующим образом:  $X_a Y_b F_z$ . Теперь можно попытаться определить остальные элементы этого соединения.

$$\frac{\omega(X)}{M(X)} : \frac{\omega(F)}{M(F)} = a : z \text{ и } \frac{\omega(Y)}{M(Y)} : \frac{\omega(F)}{M(F)} = b : z$$

$$\frac{7,9}{M(X)} : \frac{86}{19} = a : z \text{ и } \frac{6,1}{M(Y)} : \frac{86}{19} = b : z \text{ (2 балла)}$$

Попробуйте решить самостоятельно эти уравнения, перебирая разные варианты a, b и z (которые являются целыми числами).

Единственное решение при  $a = b = 1$ ,  $z = 8$ , X – бор (2 балла), Y – азот (2 балла), формула вещества  $BNF_8$ . (4 балла)

Поскольку это вещество ионного строения, а количество электронов в катионе равно количеству электронов в анионе, формулу этого вещества можно записать как  $[NF_4]^+[BF_4]^-$  (2 балла). Название этой комплексной соли – тетрафтороборат тетрафтороазота (V) (2 балла). Катион, естественно, является аналогом катиона аммония. (2 балла)

Реакция этого вещества с водой:



#### Задача №5. «Дружеская помощь» (20 баллов) (Автор: Хрипун В.Д.)

Юный химик-аналитик Валя разбирала старую лабораторию и обнаружила колбу с жидкостью. Научный руководитель Вали сказал, что когда-то эта колба использовалась под органический слив, и в ней содержится три изомерных вещества. Он предложил Вале определить количественный и качественный состав смеси.

Проведя серию экспериментов, Валя выяснила, что при упаривании этой жидкости не остается твердого остатка. Порция данной смеси массой 2,9 г может обесцветить бромную воду, содержащую 0,03 моль брома, а обработка полученного при этом раствора гидрокарбонатом натрия приводит к выделению газа. При обработке такого же количества смеси избытком реактива Толленса образуется 4,32 г осадка. Однако этих данных оказалось недостаточно, для решения задачи, и Валя обратилась за помощью к своему другу-органику Коле. Коля смог установить, что при полном гидрировании такой же порции этой смеси в соответствующих условиях, образуется жидкость массой 3,0 г, содержащая по данным хроматографического анализа только два вещества.

Помогите Вале установить качественный и количественный (в массовых долях) состав исходной смеси.

#### Решение

Поскольку эта смесь взаимодействует с реактивом Толленса, вероятно в ее состав входит альдегид:



$n(Ag) = 4,21 : 108 = 0,04$  моль. Тогда  $n(\text{альдегида}) = 0,02$  моль (1 балл)

Исходная смесь обесцвечивает бромную воду. Во-первых, с бромом реагирует альдегид:



$n(\text{Br}_2) = n(\text{альдегида}) = 0,02$  моль. Но смесь может обесцветить 0,03 моль брома, следовательно, еще одно вещество реагирует с бромной водой (в количестве 0,01 моль). Поскольку это вещество не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, в его состав входит кратная связь. Кроме того, это вещество – изомер альдегида. Можно предположить, что это непредельный спирт. Предположим, что он содержит двойную связь, тогда:



$n(\text{спирта}) = n(\text{Br}_2) = 0,01$  моль. (Вы самостоятельно можете рассмотреть случай с тройной связью и убедиться, что тогда решения не будет). **(1 балл)**

Последнее, что известно про исходную смесь, это результат реакции гидрирования. Очевидно, что в реакцию гидрирования вступает  $3,0 - 2,9 = 0,1$  г водорода (0,05 моль). **(1 балл)** С водородом реагируют и спирт, и альдегид:



В эти две реакции вступает суммарно 0,03 моль водорода. Оставшийся водород (0,02 моль) реагирует с третьим веществом в этой смеси. Поскольку третье вещество не вступает в реакцию серебряного зеркала и не обесцвечивает бромную воду, но при этом является изомером альдегида, вероятно, это кетон:



и его количество в смеси 0,02 моль. **(1 балл)**

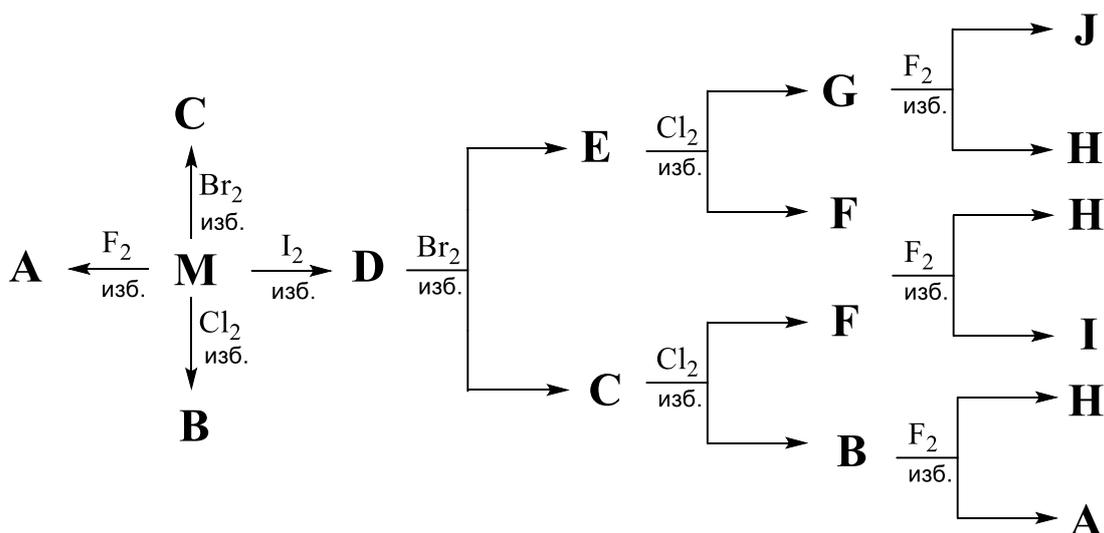
Нам осталось установить только формулы этих изомеров. Для того мы легко можем найти молярную массу любого из них:

$$M = \frac{m(\text{общ})}{n(\text{общ})} = \frac{2,9}{0,05} = 58 \text{ г/моль} \text{ (2 балла)}$$

(Мы совершенно спокойно можем использовать общую массу и общее количество смеси, поскольку все эти вещества - изомеры). Значит, в состав исходной смеси входил ацетон (0,02 моль, 40%) **(2 балла)**, пропаналь (0,02 моль, 40%) **(2 балла)** и пропенол  $\text{CH}_2=\text{CH-CH}_2\text{OH}$  (0,01 моль, 20%) **(2 балла)**.

### **Задача №6. «Галогены» (20 баллов)**

1. 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. Предложите пространственные структуры соединений **G**, **H**, **I**, и **J**. Как Вы думаете, кто мог быть автором данной рукописи, и когда она могла быть написана? Ответ аргументируйте.

### Решение

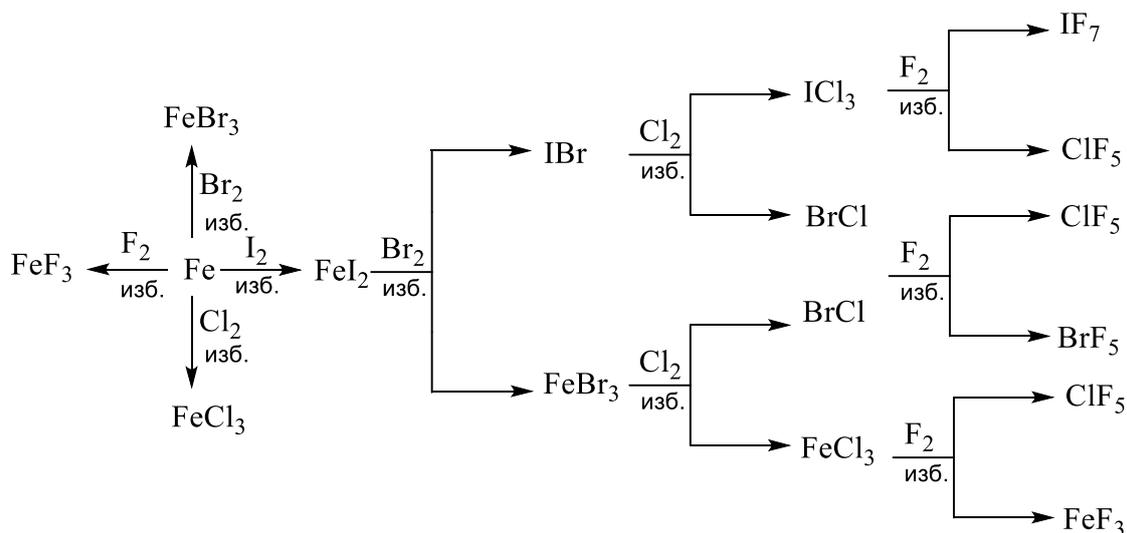
Из схемы видно, что в задании приведено содержание иода в соединениях **D**, **E**, **G** и **J**. Впрочем, Вы можете проверить остальные галогены и убедиться, что для этих случаев решения нет. Опираясь на массовую долю иода в **D** можем установить металл. В общем виде формулу иодида можно записать 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. (1 балла) Аналогично, можно установить и остальные формулы веществ, для которых дана массовая доля иода.



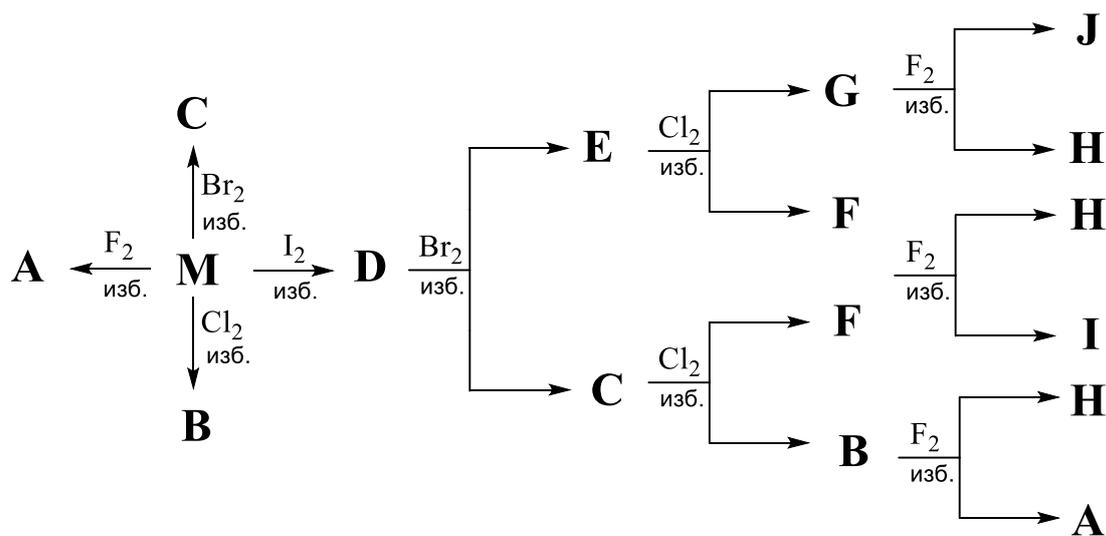
Пространственная структура: **G**  $\text{ICl}_3$  Т-образная (принимается также ответ  $\text{I}_2\text{Cl}_6$  – плоская структура с двумя мостиковыми атомами хлорами, два плоских квадрата  $\text{ICl}_4$  с общим ребром); **H**  $\text{ClF}_5$  и **I**  $\text{BrF}_5$  квадратная пирамида; **J**  $\text{IF}_7$  пентагональная бипирамида. (по 1 баллу за каждую правильное название/изображение структуры)

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 (Всего 5 баллов)

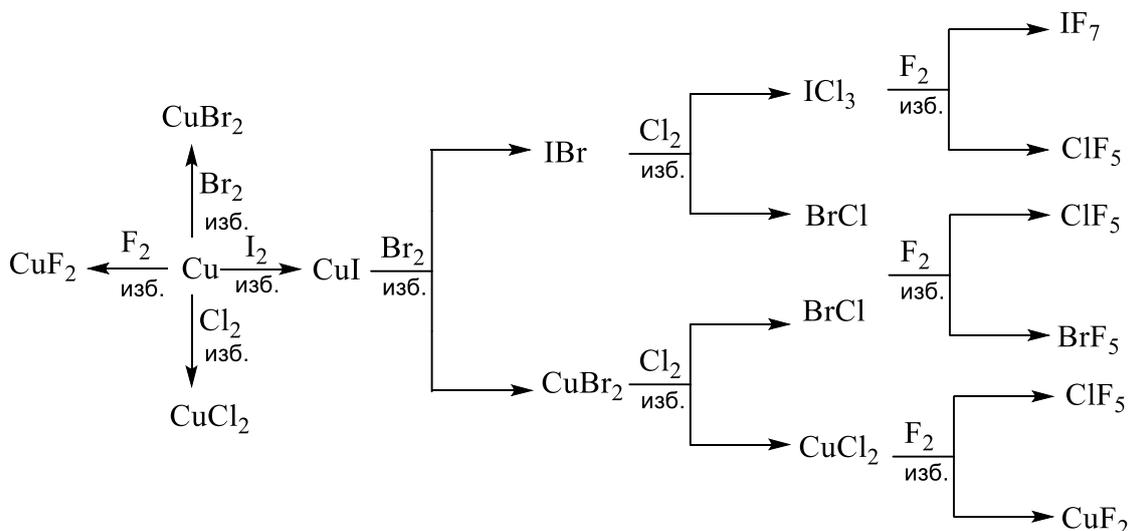
Данная работа могла быть написана только после выделения фтора Анри Муассаном в 1886 году. Поэтому, автором мог быть, например, сам Муассан, а дата написания – вторая половина (конец) 19 века. (2 балла)

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

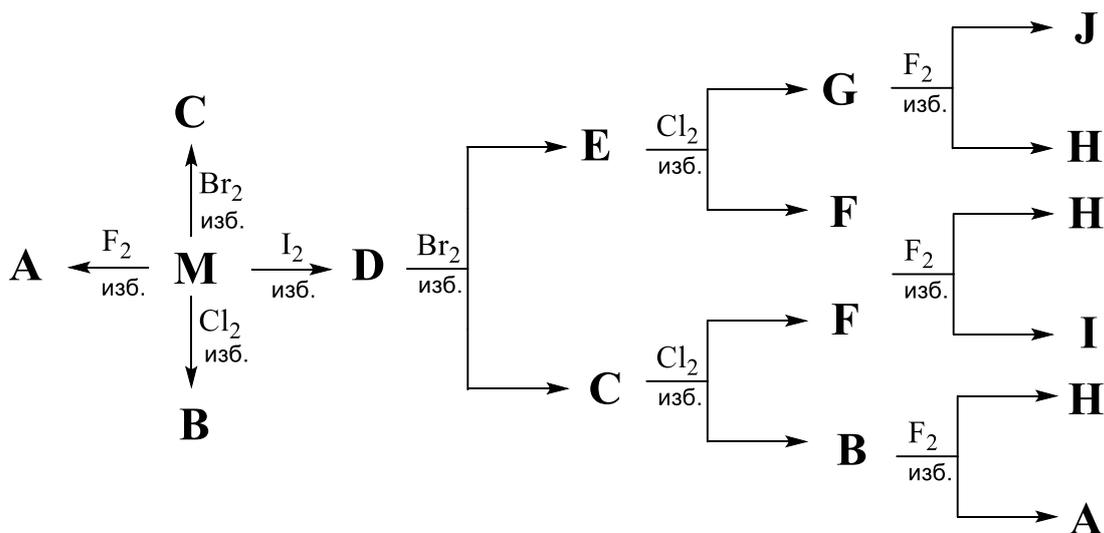


К сожалению, рукопись была сильно изъедена реактивами. Единственное, что можно было разобрать о характеристиках этих веществ, была массовая доля одного из элементов в соединениях **C**, **E**, **F** и **I**, которая составляла 28,6%, 38,6 %, 69,3 %, и 45,7 % соответственно.

Идентифицируйте соединения **A-J**. Напишите уравнения реакций. Предложите пространственные структуры соединений **G**, **H**, **I**, и **J**. 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. Предложите пространственные структуры соединений **G**, **H**, **I**, и **J**. Как Вы думаете, кто мог быть автором данной рукописи, и когда она могла быть написана? Ответ аргументируйте.



