Межрегиональная химическая олимпиада школьников имени академика П.Д. Саркисова

Заключительный этап, 15 марта 2025

9 класс

Задача №1

При составлении формул химических веществ мы руководствуемся валентностью атомов, которые образуют данное вещество. Действительно, каждый атом способен образовать определенное количество химических связей, поэтому присоединяет строго определенное количество атомов другого элемента с определенной валентностью. Поэтому химическая формула молекулы воды H_2O, а оксида алюминия Al_2O_3.

Однако, часто бывает, что атомы химических элементов могут проявлять различные значения валентности, и тогда у одного и того же элемента возникает несколько оксидов, галогенидов и т.д. Например, SO_2 и SO_3 – оксид серы(IV) и оксид серы(VI) соответственно. В первом оксиде сера проявляет валентность IV, а во втором VI.

Но иногда кажется, что, образуя молекулу, атомы как будто обмениваются своими валентностями, поскольку символы при элементах в формулах как будто меняются местами. Так, например существуют два оксида элемента Э: $Э_2O$ и $ЭO_2$. Первый оксид – бесцветный негорючий газ с приятным сладковатым запахом, применяется в медицине как слабое средство для наркоза, второй – ядовитый газ бурого цвета с резким неприятным запахом.

Определите о каком элементе Э идет речь и напишите формулы указанных оксидов. Приведите еще не менее двух примеров пар веществ, в которых символы при элементах «меняются местами», назовите данные вещества и кратко опишите их свойства.

(14 баллов)

Задача №2

Неорганическое вещество A белого цвета при нагревании разлагается с выделением окрашенной смеси газов и образованием черного твердого остатка X. Если A растворить в воде, то образуется раствор голубого цвета. При действии на этот раствор сульфида натрия образуется черный осадок Y. Этот осадок не растворяется ни в соляной кислоте, ни в растворе серной кислоты, ни в растворах щелочей. Растворить вещество Y можно в концентрированной серной кислоте, переведя его в вещество Z. При сжигании Y в кислороде в качестве одного из продуктов образуется вещество X. Определите вещества A, X, Y и Z, напишите уравнения упомянутых реакций.

(16 баллов)

Задача №3

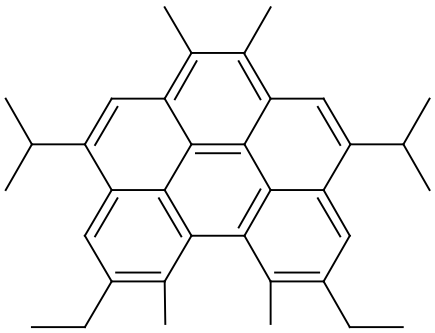
Дана смесь трех газообразных при обычных условиях оксидов A, B и C. Известно, что молекулы данных газов состоят их трех атомов. При этом газ A не имеет цвета и запаха, вещество B бесцветно, но обладает резким запахом, газ C бурого цвета и обладает резким запахом. Количество моль газов A, B и C в смеси одинаковы, а общее количество атомов в смеси равно числу Авогадро.

Данную смесь пропустили через избыток холодного раствора гидроксида натрия. Напишите уравнения реакций, которые протекают при этом, и определите, на сколько увеличится масса раствора гидроксида натрия. Изменится ли прирост массы раствора, если пропускать данную смесь через избыток горячего раствора гидроксида натрия? Ответ поясните уравнениями реакций и расчетами.

(20 баллов)

Задача №4

Качественный и количественный состав органических веществ выражают с помощью молекулярных формул. Однако, в большинстве случаев этого недостаточно, поскольку свойства органических веществ зависят не только от того, какие атомы входят в состав их молекул, но и от того, в каком порядке эти атомы связаны друг с другом. Информацию о строении органических веществ передают с помощью структурных формул различного вида. В развернутых структурных формулах с помощью валентной черты показывают связи между всеми атомами в молекуле. Когда используют скелетную структурную формулу, подразумевают, что в конце каждого отрезка находится атом углерода с соответствующим количеством атомов водорода. Определите молекулярную формулу вещества, скелетная структурная формула которого приведена ниже:



Составьте уравнение реакции горения данного вещества в избытке кислорода и определите массу продуктов сгорания 1 миллимоля этого вещества.

(10 баллов)

Задача №5

Определите элементы **A**, **D**, **E**, **G** входящие в состав соединений, и составьте уравнения реакций по приведенным ниже схемам:

1) $H_2\mathbf{A}O_4 + Cu \rightarrow Cu\mathbf{A}O_4 + AO_2 + H_2O$

$Na_2\mathbf{A}O_3 + \mathbf{A} \rightarrow Na_2\mathbf{A}_2O_3$

$Na_2\mathbf{A}_2O_3 + HCl \rightarrow ?$

2) $\mathbf{D}H_3 + O_2 \rightarrow \mathbf{D}_2O_5 + H_2O$

$Ba_3(\mathbf{D}O_4)_2 + H_3\mathbf{D}O_4 \rightarrow BaH\mathbf{D}O_4$

$\mathbf{D} + KClO_3 \rightarrow ?$

4) $Ca(NO_3)_2 + Na\mathbf{E} \rightarrow Ca\mathbf{E}_2 + NaNO_3$

$SiO_2 + H\mathbf{E} \rightarrow Si\mathbf{E}_4 + H_2O$

$H_2O + \mathbf{E}_2 \rightarrow ?$

4) $K\mathbf{G}O_4 \rightarrow K_2\mathbf{G}O_4 + \mathbf{G}O_2 + O_2$

$\mathbf{G}(NO_3)_2 + KOH \rightarrow \mathbf{G}(OH)_2 + KNO_3$

$\mathbf{G}O_2 + HI \rightarrow ?$

(20 баллов)

Задача №6

Зимой для уменьшения количества льда проезжую часть дорог и пешеходные тротуары часто посыпают специальным реагентом, содержащим соли. Лед начинает таять, едва соприкасаясь с реагентом. Задумывались ли вы когда-нибудь, почему это происходит? Дело в том, что растворы веществ замерзают при более низкой температуре, чем чистый растворитель. Условием кристаллизации является равенство давления насыщенного пара растворителя над раствором давлению пара над твёрдым растворителем. Поскольку давление пара растворителя над раствором всегда ниже, чем над чистым растворителем, это равенство всегда будет достигаться при температуре более низкой, чем температура замерзания растворителя. Понижение температуры замерзания растворов неэлектролитов описывается математическим выражением

$$\Delta T_{зам} = K_{кр} \cdot \mu,$$

где $K_{кр}$ – так называемая криоскопическая константа, μ - моляльная концентрация раствора.

$K_{кр}$ постоянна для данного растворителя и не зависит от природы растворенного вещества. Размерность криоскопической константы – (К · кг) / моль. Значения криоскопических констант и температуры плавления некоторых растворителей приведены в таблице:

Расторитель	$K_{кр}$, (К · кг) / моль	$T_{пл}$, °С
вода	1,86	0
бензол C_6H_6	2,57	5,5
ацетон C_3H_6O	1,48	-94,9
хлороформ $CHCl_3$	3,88	-63,5

Пользуясь приведенными данными, можно рассчитать температуру кристаллизации для растворов различного состава. Например, водный раствор глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) массой 145 г, содержащий 0,25 моль глюкозы, начинает кристаллизоваться при температуре -4,65 °С или 268,50 К.

Определите при какой температуре (°С и К) начнут кристаллизоваться растворы нафталина ($C_{10}H_8$) в бензоле и хлороформе. Оба раствора получены растворением 64 г нафталина в 250 г соответствующего растворителя.

(20 баллов)

Межрегиональная химическая олимпиада школьников имени академика П.Д. Саркисова

Заключительный этап, 15 марта 2025

10 класс

Задача №1

Определите, какие степени окисления имеют металлы в следующих комплексных частицах:

1) $[CoCl_4]^-$
2) $[Fe(CN)_6]^{3-}$
3) $[Co(H_2O)_6]^{2+}$
4) $[Ni(CN)_4]^{2-}$
5) $[Cr(CO)_6]$
6) $[Mn(CO)_5Br]$
7) $[Mn(CO)_6]^+$

(14 баллов)

Задача №2

Определите химические формулы газов А и Б по следующим данным.

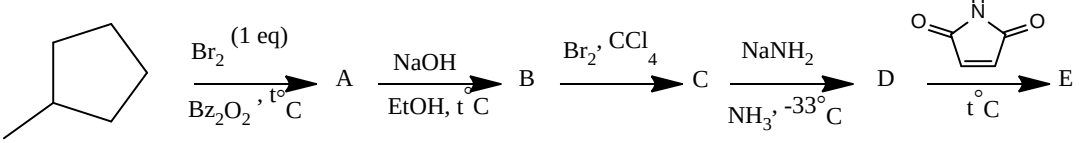
1. Молекула каждого из газов состоит из пяти атомов только двух химических элементов.
2. Газ А при массе 0,68 г (-12°С, давление 0,1 атм) имеет объем равный 8,56 л.
3. Относительная плотность газа Б по аммиаку равна 2.

Определите число нейтронов в нуклидах с наибольшим атомным номером, входящих в состав газов А и Б.

(10 баллов)

Задача №3

Установите строение неизвестных соединений **A**-**E** и составьте уравнения реакций, соответствующие следующей схеме превращений:



(10 баллов)

Задача №4

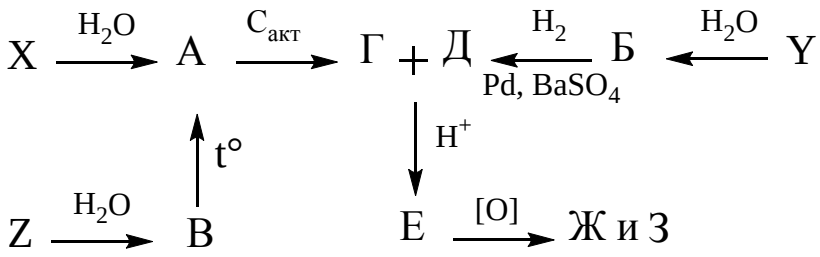
Юные химики прошлого знали один эффектный эксперимент: поместив белое вещество X в воду, они наблюдали выделение бесцветного горючего газа. При поджигании этот газ издает характерный хлопок. Известно, что данное вещество **X** представляет из себя карбид, а газ **A**, который выделяется при помещении его в воду, является продуктом крупнотоннажного производства.

В другом карбиде **Y** мольная доля металла равна 40%. Известно, что металлы, образующие карбиды, находятся в одной группе Периодической системы.

В состав третьего карбида **Z** входит металл тринадцатой группы. Массовая доля металла в нем равна 75%.

1. Определите карбиды **X**-**Z** и вещество **A.**

Перед вами представлена схема превращений, в результате которой получаются два продукта крупнотоннажного производства, вещества **Ж** и **З**.



Дополнительно известно, что:

При сгорании некоторого количества **В** выделяется углекислый газ объемом 1,0 л (в пересчете на н.у.). При охлаждении продуктов сгорания до комнатной температуры один из продуктов реакции конденсируется в виде бесцветной жидкости массой 1,602 г.

При сгорании газа **Б** выделяется углекислый газ 1,0 л (в пересчете на н.у.). Один из продуктов реакции конденсируется в виде бесцветной жидкости массой 0,5346 г.

В веществе **З** массовая доля кислорода равна 27,59%.

В веществе **Ж** массовая доля кислорода равна 17,02%.

2. Определите вещества **Б – З** и составьте уравнения реакций, соответствующие заданной схеме превращений.

(26 баллов)

Задача №5

Определите элементы **A**, **D**, **E**, **G** входящие в состав соединений, и составьте уравнения реакций по приведенным ниже схемам:

1) $H_2\mathbf{A}O_4 + Cu \rightarrow Cu\mathbf{A}O_4 + AO_2 + H_2O$

$Na_2\mathbf{A}O_3 + \mathbf{A} \rightarrow Na_2\mathbf{A}_2O_3$

$Na_2\mathbf{A}_2O_3 + HCl \rightarrow ?$

2) $\mathbf{D}H_3 + O_2 \rightarrow \mathbf{D}_2O_5 + H_2O$
$Ba_3(\mathbf{D}O_4)_2 + H_3\mathbf{D}O_4 \rightarrow BaH\mathbf{D}O_4$
$\mathbf{D} + KClO_3 \rightarrow ?$

3) $Ca(NO_3)_2 + Na\mathbf{E} \rightarrow Ca\mathbf{E}_2 + NaNO_3$
$SiO_2 + H\mathbf{E} \rightarrow Si\mathbf{E}_4 + H_2O$
$H_2O + \mathbf{E}_2 \rightarrow ?$
4) $K\mathbf{G}O_4 \rightarrow K_2\mathbf{G}O_4 + \mathbf{G}O_2 + O_2$
$\mathbf{G}(NO_3)_2 + KOH \rightarrow \mathbf{G}(OH)_2 + KNO_3$
$\mathbf{G}O_2 + HI \rightarrow ?$

(24 балла)

Задача №6

Зимой для уменьшения количества льда проезжую часть дорог и пешеходные тротуары часто посыпают специальным реагентом, содержащим соли. Лед начинает таять, едва соприкасаясь с реагентом. Задумывались ли вы когда-нибудь, почему это происходит? Дело в том, что растворы веществ замерзают при более низкой температуре, чем чистый растворитель. Условием кристаллизации является равенство давления насыщенного пара растворителя над раствором давлению пара над твёрдым растворителем. Поскольку давление пара растворителя над раствором всегда ниже, чем над чистым растворителем, это равенство всегда будет достигаться при температуре более низкой, чем температура замерзания растворителя. Понижение температуры замерзания растворов неэлектролитов описывается математическим выражением

$$\Delta T_{зам} = K_{кр} \cdot \mu,$$

где $K_{кр}$ – так называемая криоскопическая константа, μ - моляльная концентрация раствора.

$K_{кр}$ постоянна для данного растворителя и не зависит от природы растворенного вещества. Размерность криоскопической константы – (К · кг) / моль. Значения криоскопических констант и температуры плавления некоторых растворителей приведены в таблице:

Расторитель	$K_{кр}$, (К · кг) / моль	$T_{пл}$, °С
вода	1,86	0
бензол C_6H_6	2,57	5,5
ацетон C_3H_6O	1,48	-94,9
хлороформ $CHCl_3$	3,88	-63,5

Пользуясь приведенными данными, можно рассчитать температуру кристаллизации для растворов различного состава. Например, водный раствор глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) массой 145 г, содержащий 0,25 моль глюкозы, начинает кристаллизоваться при температуре -4,65 °С или 268,50 К.

Определите при какой температуре (^oC и К) начнут кристаллизоваться растворы нафталина ($C_{10}H_8$) в бензоле и хлороформе. Оба раствора получены растворением 64 г нафталина в 250 г соответствующего растворителя.

(16 баллов)

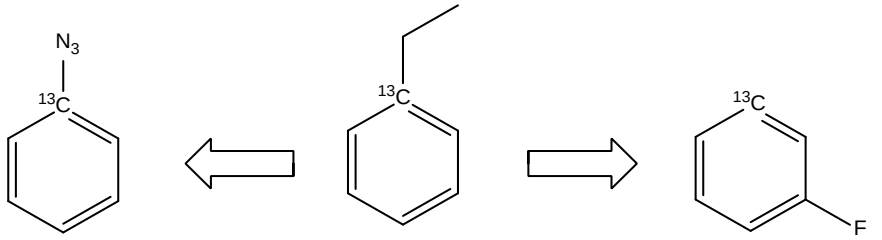
Межрегиональная химическая олимпиада школьников имени академика П.Д. Саркисова

Заключительный этап, 15 марта 2025

11 класс

Задача №1

История развития органической химии неразрывно связана с поиском методов исследования и определения структуры органических молекул. Одним из инструментов, позволяющих проследить механизм реакций, является использование изотопных меток. Внедрение атома, отличающегося по массе, но не по химическим свойствам, позволяет с высокой точностью отслеживать его положение в молекуле на каждом этапе синтеза, раскрывая детали механизмов реакций и подтверждая предложенные структуры. Попробуйте применить данный метод на практике и предложите схемы синтеза соединений **A** и **B** из этилбензола, меченного изотопом углерода ^{13}C. Составьте уравнения реакций, соответствующие предложенной схеме, и укажите условия проведения реакций.



Соединение **A** Соединение **B**

(12 баллов)

Задача №2

Определите химические формулы газов А и Б по следующим данным.

1. Молекула каждого из газов состоит из пяти атомов только двух химических элементов.
2. Газ А при массе 0,68 г (-12°С, давление 0,1 атм) имеет объем равный 8,56 л.
3. Относительная плотность газа Б по аммиаку равна 2.

Определите число нейтронов в нуклидах с наибольшим атомным номером, входящих в состав газов А и Б.

(12 баллов)

Задача №3

Вычислите плотность (г/см^3) кристалла оксида магния, если его элементарная ячейка представляет собой куб с длиной ребра 0,4211 нм, а

каждая ячейка содержит число частиц, эквивалентное 4 атомам магния и 4 атомам кислорода.

(10 баллов)

Задача №4

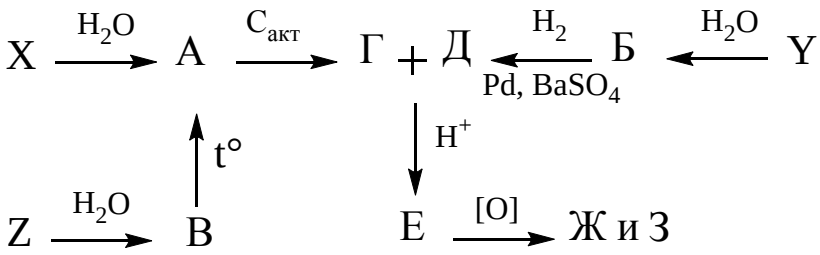
Юные химики прошлого знали один эффектный эксперимент: поместив белое вещество X в воду, они наблюдали выделение бесцветного горючего газа. При поджигании этот газ издает характерный хлопок. Известно, что данное вещество **X** представляет из себя карбид, а газ **A**, который выделяется при помещении его в воду, является продуктом крупнотоннажного производства.

В другом карбиде **Y** мольная доля металла равна 40%. Известно, что металлы, образующие карбиды, находятся в одной группе Периодической системы.

В состав третьего карбида **Z** входит металл тринадцатой группы. Массовая доля металла в нем равна 75%.

1. Определите карбиды **X**-**Z** и вещество **A**.

Перед вами представлена схема превращений, в результате которой получаются два продукта крупнотоннажного производства, вещества **Ж** и **З**.



Дополнительно известно, что:

При сгорании некоторого количества **В** выделяется углекислый газ объемом 1 л (н.у.). При охлаждении продуктов сгорания до комнатной температуры один из продуктов реакции конденсируется в виде бесцветной жидкости, объемом 1,602 мл.

При сгорании газа **Б** выделяется углекислый газ объемом 1 л (при н.у.). Один из продуктов реакции конденсируется в виде бесцветной жидкости, массой 0,5346 г.

В веществе **З** массовая доля кислорода равна 27,59%.

В веществе **Ж** массовая доля кислорода равна 17,02%.

2. Определите вещества **Б** – **З** и составьте уравнения реакций, соответствующие заданной схеме превращений.

(26 баллов)

Задача №5

Тот, кто хоть раз брал в руки ручку, едва ли задумывался о химии чернил – что же входит в состав смеси веществ, которая оставляет след наших мыслей на бумаге? Между тем, в состав этих кажущихся простыми растворов входит

целая палитра веществ. Давайте выясним, какие компоненты обеспечивают ручке её незаменимую роль.

Чернила для письма, как правило, изготавливаются из широкодоступных продуктов химического синтеза. Среди них можно выделить следующие соединения:

Растворители:

1. Вещество **1** – наиболее распространённое вещество на Земле.
2. Вещество **2** – спирт, который является одним из продуктов брожения глюкозы.
3. Вещество **3** – спирт, ранее использовавшийся в производстве динамита.

Красители (пигменты):

1. Вещество **4** – неорганическая соль *d*-металла голубовато-зелёного цвета, состоящая из трёх элементов и содержащая 42,1% кислорода по массе.
2. Вещество **5** – бинарное соединение, использующееся в производстве белой краски. Атом одного из элементов, входящих в состав этого вещества, содержит 26 нейтронов и входит в состав сплавов, широко используемых в медицине и авиапромышленности.
3. Вещество **6** – продукт пиролиза углеводородов, используемый для получения чёрного цвета.
4. Жёлтый и красный цвет обеспечивают два бинарных соединения – вещества **7** и **8** – содержащие один и тот же металл, а два других элемента являются соседями в Периодической таблице Менделеева. Известно, что один из этих элементов – простое вещество жёлтого цвета, а второй неметалл проявляет схожие химические свойства и считается его аналогом. Массовые доли металла в этих веществах отличаются на 19,11%.
5. Вещество **9** – синий пигмент сложного состава, содержащий Na, Al, Si, O и S с массовыми долями 22,82%, 16,07%, 16,66%, 38,1% и 6,35% соответственно.
6. Вещество **10** – оксогидроксид переходного металла, обеспечивающий жёлтый цвет. Примечательно, что этим веществом покрывается чистый металл с течением времени на воздухе, что приводит к его разрушению.

Задание:

Расшифруйте формулы веществ **1-10**, подтвердив выводы расчётами по имеющимся количественным данным в условии. Для веществ **5** и **10** укажите их тривиальные названия.

(24 балла)

Задача №6

«Метод Вант-Гоффа»

Будущий химик Васечкин, заинтересовавшись темой «Скорость химических реакций», в одном учебнике прочитал: «Скорость химической

реакции в каждый момент времени пропорциональна текущим концентрациям реагирующих веществ, возведенным в некоторые степени, согласно уравнению:

$$w(t) = k \cdot c(A)^x \cdot c(B)^y$$

где k – константа скорости реакции (справочная величина, не зависящая от концентрации), x и y – некоторые числа, которые называют порядком реакции по веществам A и B, соответственно. При этом порядок реакции может быть дробным, что свидетельствует о сложном механизме протекания данной реакции».

Кроме этого, Васечкин прочитал, что существует некий дифференциальный метод Вант-Гоффа, который позволяет достаточно точно определять скорость химической реакции. Он узнал, что скорость химической реакции также можно выразить через изменение концентрации одного вещества во времени:

$$w = -\frac{dc(A)}{dt} = k \cdot c(A)^m.$$

Прологарифмировав указанное уравнение, получаем:

$$\ln w = \ln k + m \cdot \ln c(A).$$

Если построить зависимость ln$w$ от ln$c$ (рис. 1), можно определить порядок реакции, равный в данном случае тангенсу угла наклона прямой (m = tgα).

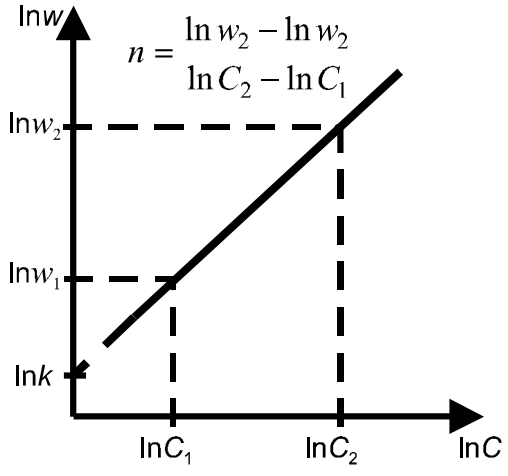


Рис. 1. Определение порядка реакции дифференциальным методом Вант-Гоффа

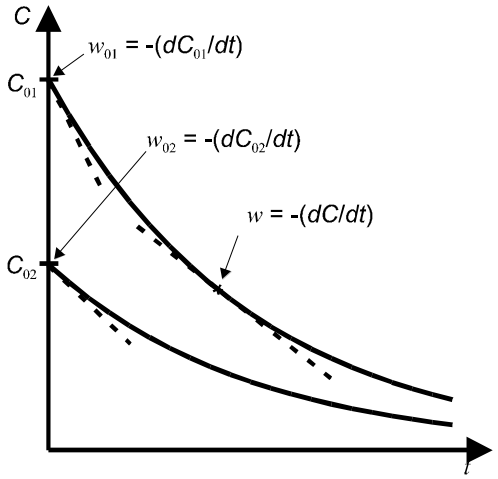


Рис. 2. Определение скорости реакции по кинетическим кривым методом касательных

Истинные скорости реакции $w = -dc/dt$ можно найти или графическим дифференцированием кинетических кривых (т.е. зависимостей концентраций

реагирующих веществ от времени) (рис. 2), или заменив их на средние скорости $w = \Delta c/\Delta t$.

На следующий день в школьной лаборатории он решил разобраться в том, как определяются порядки реакций на примере взаимодействия железа с серной кислотой. Для проведения эксперимента Васечкин взял серную кислоту с концентрацией 0,219 моль/л. Проделав эксперимент совместно с учителем, Васечкин определил изменение концентрации образующейся соли железа в процессе реакции и результаты занес в таблицу:

t, мин	5	10	25
$c(FeSO_4)$, моль/л	0,010	0,020	0,048

Определите порядок реакции железа с серной кислотой.

(16 баллов)