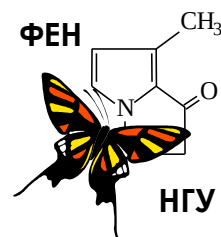




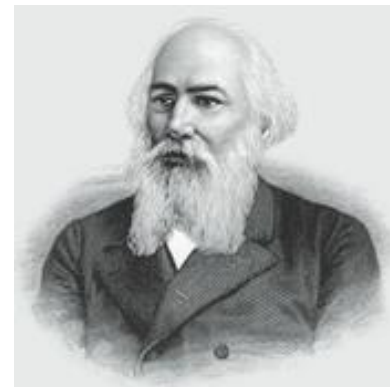
56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
11 класс



Задача 1. «Вытеснительный ряд».

«Рассматривая случаи вытеснения одного элемента другим, невольно, можно сказать, поражаешься одним почти постоянным условием реакции, именно тем, что менее плотное тело вытесняет более плотное».

Н.Н. Бекетов. «Исследования над явлениями вытеснения одних элементов другими», 1865 г.



В 2017 г. исполнилось 190 лет со дня рождения Николая Николаевича Бекетова – русского физико-химика, записавшего "вытеснительный ряд металлов", который известен Вам как электрохимический ряд напряжений. Для любознательного школьника не является секретом, что этот ряд позволяет предсказывать направление протекания некоторых окислительно-восстановительных процессов с участием металлов.

Для проверки закономерностей ряда Юный химик (ЮХ) в четырех пузырьках приготовил по 60 мл растворов солей с концентрацией 0,100 моль/л: нитрата серебра (раствор 1), сульфата меди (раствор 2), бромата марганца(II) (раствор 3) и – для сравнения – перхлората железа(III) (раствор 4). Затем в каждый раствор он опустил по тщательно очищенной железной пластинке массой около 10 г, плотно закрыл пузырьки и оставил. Через неделю ЮХ с ужасом обнаружил, что забыл подписать пузырьки. Помогите ему решить проблему, считая, что реакция металла с катионом соли за это время успевает пройти полностью, а анионы солей не подвергаются никаким изменениям.

1. Напишите химические формулы солей, из которых ЮХ готовил свои растворы. Какие цвета были у этих растворов перед началом эксперимента?
2. Напишите уравнения реакций, происходящих в пузырьках в течение недели (можно в сокращенном ионном виде).
3. Какие цвета имеют растворы и металлические пластинки в конце эксперимента? Как изменилась масса пластинок в каждом из пузырьков (качественно, т.е. стала >, < или = - не изменилась)?
4. Рассчитайте изменения масс пластинок в результате проведенного эксперимента.

Задача 2. «Железосерные минералы».

«Минерал – это химически и физически индивидуализированный продукт природной физико-химической реакции, находящийся в кристаллическом состоянии».

Годовиков А. А. «Минералогия». М.: «Недра», 1983.

Самым известным сульфидным минералом железа является *пирит*, имеющий состав FeS_2 . Долгое время пирит использовался человеком в промышленных процессах получения железа и серной кислоты. Достаточно известен и *халькопирит* (CuFeS_2), который, помимо железа и серы, содержит еще и медь – крайне важный для человека металл. Однако этими двумя известными минералами разнообразие сульфидных минералов железа не ограничивается.



Например, в 1725 г. в Рудных горах в Чехии впервые был обнаружен довольно тяжелый (плотность $5,09 \text{ г/см}^3$) минерал *борнит*. В 1843 г. на Кубе был открыт и описан *кубанит*, достаточно редкий минерал, встречающийся в высокотемпературных гидротермальных источниках в виде мелких кристаллов вместе с пиритом, халькопиритом, *аргентопиритом*, *троилитом* и другими сульфидами. В 1970 г на Кольском полуострове в горных породах, богатых солевыми минералами, содержащими натрий и калий, был впервые обнаружен чрезвычайно редкий минерал *расвумит*.

Содержание Fe и S в чистых образцах перечисленных минералов представлено в таблице:

Минерал	<i>Троилит</i>	<i>Аргентопирит</i>	<i>Кубанит</i>	<i>Расвумит</i>	<i>Борнит</i>
Массовая доля Fe, %	63,52	35,37	41,15	45,22	11,13
Массовая доля S, %	36,48	30,47	35,44	38,95	25,56

Помимо этого известно, что в состав каждого из минералов входит не более трех элементов, причем в кубаните, борните и халькопирите эти элементы одинаковые.

1. Рассчитайте массы образцов чистых халькопирита и борнита, каждый из которых содержит по одному килограмму меди. Какой из этих образцов будет меньше по объему, и во сколько раз? Плотность халькопирита $4,30 \text{ г/см}^3$.

2. Напишите уравнения реакций, описывающих схему получения серной кислоты из пирита (с указанием условий их проведения).

В железнодорожную цистерну залили 30 м^3 96 %-го раствора серной кислоты (плотность такого раствора $1,836 \text{ г/см}^3$).

3. Вычислите количество молей серной кислоты, содержащейся в этой цистерне. Какая масса чистого пирита в тоннах потребовалась бы для ее получения со 100 % выходом?

4. Сколько руды, содержащей 30 масс. % пирита, пришлось бы переработать для получения этого количества кислоты, если реальный выход кислоты в таком процессе составляет 90 %?

5. Установите общие формулы минералов, перечисленных в таблице.

6. Укажите степени окисления элементов в пирите. Представьте формулы аргентопирита и борнита в виде комбинации реально существующих сульфидов металлов, например $\text{Na}_2\text{S} \cdot 2\text{CuS} \cdot 3\text{FeS}_2$.

7. Напишите уравнения реакций растворения троилита, пирита, аргентопирита и борнита в концентрированной азотной кислоте.

Задача 3. «Термодинамика процесса употребления мороженого».

Давно закончилось лето, а у нас в Сибири, по сути, закончилась уже и осень, и на улицах лежит устойчивый снежный покров. Но есть один продукт, который всегда напоминает нам о лете – это мороженое. Зачем мы его едим? Это вкусно! Но, как думают многие, мороженое едят для того, чтобы в жаркий солнечный день немного охладиться. Давайте попробуем разобраться, действительно ли можно «унять» летнюю жару с помощью мороженого. Сразу оговоримся, что это будет лишь оценка, поскольку биохимические процессы в нашем организме значительно сложнее, чем предлагаемая модель. Кроме того, массо- и теплоперенос требует времени.

В процессе решения задачи нам предстоит ответить на главный вопрос: можно ли понизить температуру тела с помощью мороженого?

Для начала примем следующие допущения, которые позволят упростить вычисления, но в то же время дадут нам представление о термодинамике процесса «поглощения» мороженого:

- удельные теплоемкости тела человека, воды и мороженого равны и составляют $4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$;
- после поедания мороженого все тело человека охлаждается очень быстро и равномерно;
- масса человека, съевшего мороженое, была равна 50 кг, а температура его тела $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$;



- порция 100 г классического пломбира содержит 4 г белков (средний состав $C_{81}H_{125}O_{39}N_{22}$), 14 г жиров ($C_{55}H_{104}O_6$) и 30 г углеводов ($C_{12}H_{22}O_{11}$), остальное – вода;

- удельные теплоты полного сгорания ($Q_{\text{сгор.}}$) компонентов мороженого в теле человека и в избытке кислорода равны и составляют: белков 4 ккал/г, углеводов 4 ккал/г, жиров 9 ккал/г.

- 1 кал = 4,2 Дж.

Итак, будем считать, что человек съел 100 г пломбира, имевшего температуру «-20 °С».

1. Оцените, на сколько градусов (с точностью до десятых) понизится температура тела этого человека без учета калорийности составных частей продукта (без "переваривания" мороженого).
2. Рассчитайте суммарную калорийность порции 100 г классического пломбира в кДж.
3. Оцените, на сколько градусов может подняться температура тела человека только за счет калорийности продукта, считая, что все биохимические процессы и теплоперенос происходят мгновенно, а теплообмена с окружающей средой нет.
4. Оцените, какой в этом случае стала бы температура тела человека после поедания мороженого.
5. Оцените, на сколько градусов понизится температура тела этого человека, если он выпьет 250 мл воды с температурой +4 °С (температура в холодильных установках супермаркетов).
6. Напишите уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода белка, углевода и жира, формулы которых приведены в условии задачи.
7. Используя следствие из закона Гесса и удельную теплоту сгорания жира, рассчитайте теплоту образования жира в кДж/моль (теплота образования жидкой воды равна 286 кДж/моль, а углекислого газа 394 кДж/моль).

Жиры являются сложными эфирами глицерина (это спирт, в состав молекулы которого входят три гидроксильных группы, связанных с разными атомами углерода) и карбоновых кислот. Сложные эфиры – продукты взаимодействия спиртов с кислотами, сопровождающегося отщеплением воды. Также известно, что в состав молочного жира $C_{55}H_{104}O_6$ входят остатки стеариновой (октадекановой, C_{18}), пальмитиновой (гексадекановой, C_{16}) и олеиновой (цис-октадеценовой, C_{18}) кислот.

8. Изобразите структурные формулы карбоновых кислот, остатки которых входят в состав молочного жира. Приведите пример структурной формулы жира, содержащего в одной молекуле остатки стеариновой, пальмитиновой и олеиновой кислот.
9. Гидролиз жиров водным раствором гидроксида натрия - промышленный способ получения твердых сортов мыла. Напишите уравнение этой реакции для молочного жира.
10. На физико-химические свойства жира непосредственное влияние оказывает содержание в нем непредельных кислот: чем их больше, тем ниже температура плавления (например, говяжий жир твердый, а подсолнечное масло жидкое). Непредельность жиров можно показать качественно. Приведите уравнение реакции олеиновой кислоты с бромной водой (с использованием структурных формул).

Задача 4. «ДЭТА».

«Гнус – общее название летающих кровососущих двукрылых насекомых, в массе нападающих на человека и животных; в состав гнуса входят комары, мошки, мокрецы, москиты, слепни, некоторые виды мух».

Большой медицинский словарь

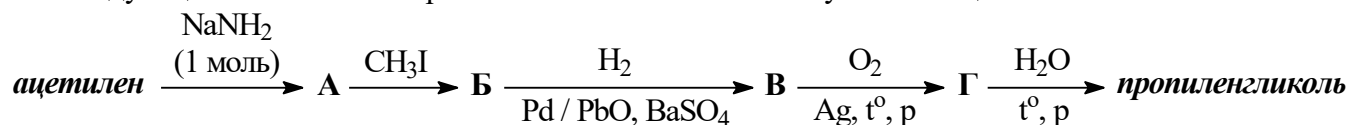
Что ни говори, а с летом расставаться грустно. И мороженое уже не радует, и на пляж попадешь не скоро, и на улице долго не погуляешь. Однако, у зимы есть одно весомое преимущество над остальными временами года – на улице вместе с теплом пропал и гнус. Вспомните, как на летнем отдыхе приходилось отмахиваться от назойливых насекомых, считать укусы и пшикать на себя репеллентом из баллончиков – и порадуйтесь зиме!



Это, конечно, шутка, но аэрозольный баллончик с репеллентом (веществом, отпугивающим насекомых), и в самом деле способен сделать наш летний отдых намного более комфортным. Содержимое таких баллончиков обычно включает следующие компоненты: *пропан*, *изобутан*, *этанол*, *пропиленгликоль* и вещество, обозначаемое четырьмя буквами «ДЭТА».

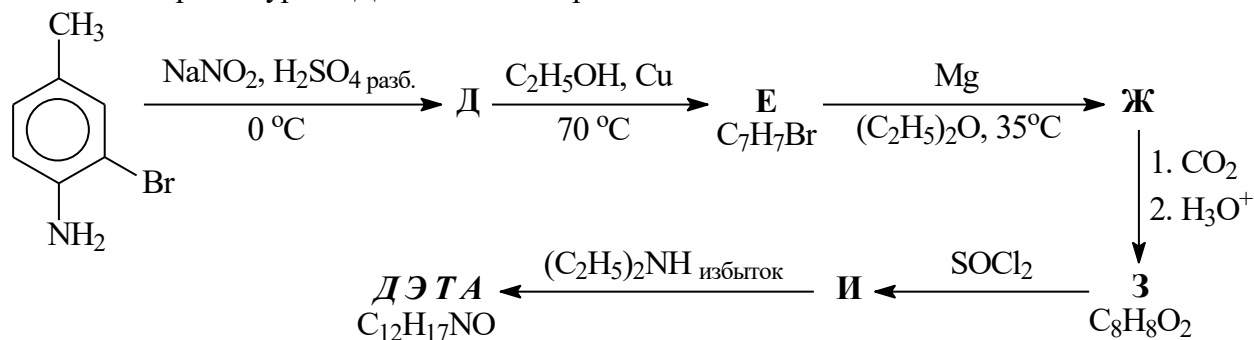
1. Приведите структурные формулы первых трех упомянутых составных частей аэрозольного баллончика (пропан, изобутан и этанол).

Следующий компонент – пропиленгликоль – можно получить из ацетилена по схеме:



2. Приведите структурные формулы ацетилена, соединений А–Г и пропиленгликоля.

И все же основным действующим веществом большинства репеллентов является именно соединение с аббревиатурой «ДЭТА». Ниже приведена возможная схема его синтеза.

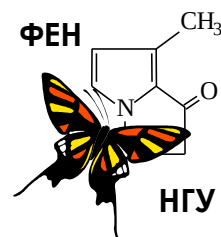


3. Приведите структурные формулы соединений Д–И, а также вещества «ДЭТА».

4. Попробуйте расшифровать аббревиатуру «ДЭТА».



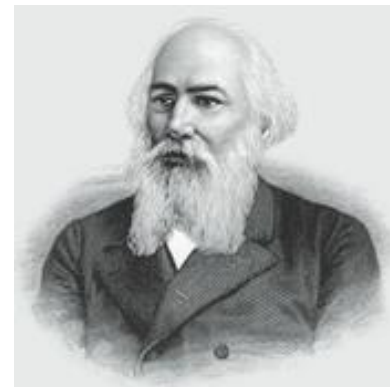
56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
10 класс



Задача 1. «Вытеснительный ряд».

«Рассматривая случаи вытеснения одного элемента другим, невольно, можно сказать, поражаешься одним почти постоянным условием реакции, именно тем, что менее плотное тело вытесняет более плотное».

Н.Н. Бекетов. «Исследования над явлениями вытеснения одних элементов другими», 1865 г.



В 2017 г. исполнилось 190 лет со дня рождения Николая Николаевича Бекетова – русского физико-химика, записавшего "вытеснительный ряд металлов", который известен Вам как электрохимический ряд напряжений. Для любознательного школьника не является секретом, что этот ряд позволяет предсказывать направление протекания некоторых окислительно-восстановительных процессов с участием металлов.

Для проверки закономерностей ряда Юный химик (ЮХ) в четырех пузырьках приготовил по 60 мл растворов солей с концентрацией 0,100 моль/л: нитрата серебра (раствор 1), сульфата меди (раствор 2), бромата марганца(II) (раствор 3) и – для сравнения – перхлората железа(III) (раствор 4). Затем в каждый раствор он опустил по тщательно очищенной железной пластинке массой около 10 г, плотно закрыл пузырьки и оставил. Через неделю ЮХ с ужасом обнаружил, что забыл подписать пузырьки. Помогите ему решить проблему, считая, что реакция металла с катионом соли за это время успевает пройти полностью, а анионы солей не подвергаются никаким изменениям.

1. Напишите химические формулы солей, из которых ЮХ готовил свои растворы. Какие цвета были у этих растворов перед началом эксперимента?
2. Напишите уравнения реакций, происходящих в пузырьках в течение недели (можно в сокращенном ионном виде).
3. Какие цвета имеют растворы и металлические пластинки в конце эксперимента? Как изменилась масса пластинок в каждом из пузырьков (качественно, т.е. стала >, < или = - не изменилась)?
4. Рассчитайте изменения масс пластинок в результате проведенного эксперимента.

Задача 2. «Железосерные минералы».

«Минерал – это химически и физически индивидуализированный продукт природной физико-химической реакции, находящийся в кристаллическом состоянии».

Годовиков А. А. «Минералогия». М.: «Недра», 1983.

Самым известным сульфидным минералом железа является *пирит*, имеющий состав FeS_2 . Долгое время пирит использовался человеком в промышленных процессах получения железа и серной кислоты. Достаточно известен и *халькопирит* (CuFeS_2), который, помимо железа и серы, содержит еще и медь – крайне важный для человека металл. Однако этими двумя известными минералами разнообразие сульфидных минералов железа не ограничивается.



Например, в 1725 г. в Рудных горах в Чехии впервые был обнаружен довольно тяжелый (плотность $5,09 \text{ г/см}^3$) минерал *борнит*. В 1843 г. на Кубе был открыт и описан *кубанит*, достаточно редкий минерал, встречающийся в высокотемпературных гидротермальных источниках в виде мелких кристаллов вместе с пиритом, халькопиритом, *аргентопиритом*, *троилитом* и другими сульфидами. В 1970 г на Кольском полуострове в горных породах, богатых солевыми минералами, содержащими натрий и калий, был впервые обнаружен чрезвычайно редкий минерал *расвумит*.

Содержание Fe и S в чистых образцах перечисленных минералов представлено в таблице:

Минерал	<i>Троилит</i>	<i>Аргентопирит</i>	<i>Кубанит</i>	<i>Расвумит</i>	<i>Борнит</i>
Массовая доля Fe, %	63,52	35,37	41,15	45,22	11,13
Массовая доля S, %	36,48	30,47	35,44	38,95	25,56

Помимо этого известно, что в состав каждого из минералов входит не более трех элементов, причем в кубаните, борните и халькопирите эти элементы одинаковые.

1. Рассчитайте массы образцов чистых халькопирита и борнита, каждый из которых содержит по одному килограмму меди. Какой из этих образцов будет меньше по объему, и во сколько раз? Плотность халькопирита $4,30 \text{ г/см}^3$.

2. Напишите уравнения реакций, описывающих схему получения серной кислоты из пирита (с указанием условий их проведения).

В железнодорожную цистерну залили 30 м^3 96 %-го раствора серной кислоты (плотность такого раствора $1,836 \text{ г/см}^3$).

3. Вычислите количество молей серной кислоты, содержащейся в этой цистерне. Какая масса чистого пирита в тоннах потребовалась бы для ее получения со 100 % выходом?

4. Сколько руды, содержащей 30 масс. % пирита, пришлось бы переработать для получения этого количества кислоты, если реальный выход кислоты в таком процессе составляет 90 %?

5. Установите общие формулы минералов, перечисленных в таблице.

6. Укажите степени окисления элементов в пирите. Представьте формулы аргентопирита и борнита в виде комбинации реально существующих сульфидов металлов, например $\text{Na}_2\text{S} \cdot 2\text{CuS} \cdot 3\text{FeS}_2$.

7. Напишите уравнения реакций растворения троилита и пирита в концентрированной азотной кислоте.

Задача 3. «Термодинамика процесса употребления мороженого».

Давно закончилось лето, а у нас в Сибири, по сути, закончилась уже и осень, и на улицах лежит устойчивый снежный покров. Но есть один продукт, который всегда напоминает нам о лете – это мороженое. Зачем мы его едим? Это вкусно! Но, как думают многие, мороженое едят для того, чтобы в жаркий солнечный день немного охладиться. Давайте попробуем разобраться, действительно ли можно «унять» летнюю жару с помощью мороженого. Сразу оговоримся, что это будет лишь оценка, поскольку биохимические процессы в нашем организме значительно сложнее, чем предлагаемая модель. Кроме того, массо- и теплоперенос требует времени.

В процессе решения задачи нам предстоит ответить на главный вопрос: можно ли понизить температуру тела с помощью мороженого?

Для начала примем следующие допущения, которые позволят упростить вычисления, но в то же время дадут нам представление о термодинамике процесса «поглощения» мороженого:

- удельные теплоемкости тела человека, воды и мороженого равны и составляют $4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$;
- после поедания мороженого все тело человека охлаждается очень быстро и равномерно;
- масса человека, съевшего мороженое, была равна 50 кг, а температура его тела $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$;



- порция 100 г классического пломбира содержит 4 г белков (средний состав $C_{81}H_{125}O_{39}N_{22}$), 14 г жиров ($C_{55}H_{104}O_6$) и 30 г углеводов ($C_{12}H_{22}O_{11}$), остальное – вода;

- удельные теплоты полного сгорания ($Q_{\text{сгор.}}$) компонентов мороженого в теле человека и в избытке кислорода равны и составляют: белков 4 ккал/г, углеводов 4 ккал/г, жиров 9 ккал/г.

- 1 кал = 4,2 Дж.

Итак, будем считать, что человек съел 100 г пломбира, имевшего температуру «-20 °С».

1. Оцените, на сколько градусов (с точностью до десятых) понизится температура тела этого человека без учета калорийности составных частей продукта (без "переваривания" мороженого).
2. Рассчитайте суммарную калорийность порции 100 г классического пломбира в кДж.
3. Оцените, на сколько градусов может подняться температура тела человека только за счет калорийности продукта, считая, что все биохимические процессы и теплоперенос происходят мгновенно, а теплообмена с окружающей средой нет.
4. Оцените, какой в этом случае стала бы температура тела человека после поедания мороженого.
5. Оцените, на сколько градусов понизится температура тела этого человека, если он выпьет 250 мл воды с температурой +4 °С (температура в холодильных установках супермаркетов).
6. Напишите уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода белка, углевода и жира, формулы которых приведены в условии задачи.
7. Используя следствие из закона Гесса и удельную теплоту сгорания жира, рассчитайте теплоту образования жира в кДж/моль (теплота образования жидкой воды равна 286 кДж/моль, а углекислого газа 394 кДж/моль).

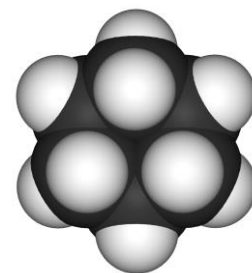
Жиры являются сложными эфирами глицерина (это спирт, в состав молекулы которого входят три гидроксильных группы, связанных с разными атомами углерода) и карбоновых кислот. Сложные эфиры – продукты взаимодействия спиртов с кислотами, сопровождающегося отщеплением воды. Также известно, что в состав молочного жира $C_{55}H_{104}O_6$ входят остатки стеариновой (октадекановой, C_{18}), пальмитиновой (гексадекановой, C_{16}) и олеиновой (цис-октадеценовой, C_{18}) кислот.

8. Приведите молекулярные и структурные формулы карбоновых кислот (например, пропановая кислота: $C_3H_6O_2$, $CH_3-CH_2-C(O)OH$), остатки которых входят в состав молочного жира.
9. Вычислите молекулярную формулу глицерина и приведите пример структурной формулы молочного жира, содержащего в своем составе остатки этих трех кислот.
10. Гидролиз жиров водным раствором гидроксида натрия - промышленный способ получения твердых сортов мыла (натриевых солей карбоновых кислот). Напишите уравнение этой реакции для молочного жира.
11. На физико-химические свойства жира непосредственное влияние оказывает содержание в нем непредельных кислот: чем их больше, тем ниже температура плавления (например, говяжий жир твердый, а подсолнечное масло жидкое). Непредельность жиров можно показать качественно. Приведите уравнение реакции олеиновой кислоты с бромной водой (с использованием структурных формул).

Задача 4. «Классы углеводородов».

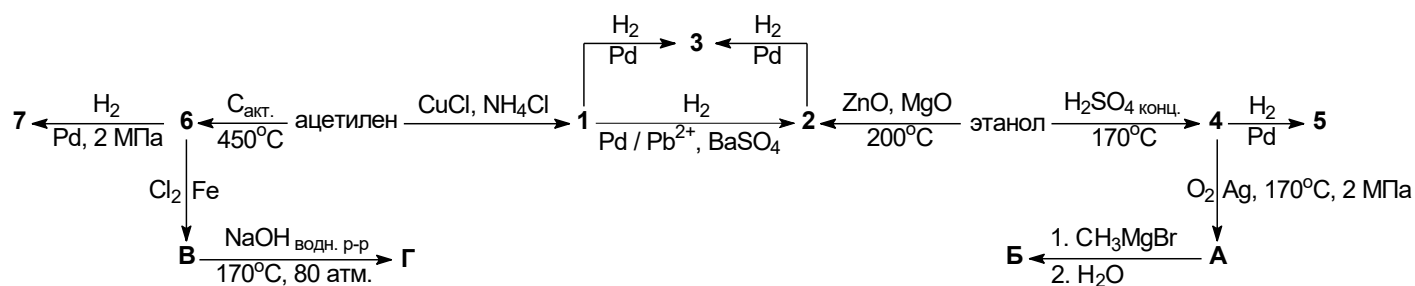
«Американцы подозрительно потянули носом: из Белого дома явственно пахло чем-то горючим... У одного несколько нефтяных акцишек завалялось на самом дне кармана. Другой еще совсем недавно получил взятку выше средних размеров, крепко и убедительно пахнущую керосином».

М. Е. Кольцов. «Все в порядке». Газета «Правда», 22.04.1924



Среди огромного разнообразия органических соединений немалую их часть представляют углеводороды – соединения, молекулы которых состоят только из атомов С и Н. Эти соединения являются важнейшими компонентами нефти и природного газа, они широко используются в качестве топлива и сырья для получения многих химических продуктов.

Ниже Вашему вниманию предложена схема превращений, в которой встречаются различные классы углеводородов (углеводороды **1–7**).

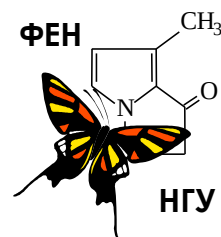


1. Приведите структурные формулы ацетилена, этанола, углеводородов **1–7** и органических веществ **А–Г**.

2. Укажите, к каким классам углеводородов относятся соединения **1–7**.



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
9 класс



Задача 1. «Вытеснительный ряд».

«Рассматривая случаи вытеснения одного элемента другим, невольно, можно сказать, поражаешься одним почти постоянным условием реакции, именно тем, что менее плотное тело вытесняет более плотное».

Н.Н. Бекетов. «Исследования над явлениями вытеснения одних элементов другими», 1865 г.

В 2017 г. исполнилось 190 лет со дня рождения Николая Николаевича Бекетова – русского физико-химика, записавшего "вытеснительный ряд металлов", который известен Вам как электрохимический ряд напряжений. Для любознательного школьника не является секретом, что этот ряд обычно располагается на обратной стороне выдаваемого Вам листа с Периодической системой и позволяет предсказывать направление протекания некоторых окислительно-восстановительных процессов с участием металлов. В частности, металл **А** вытесняет металл **Б** из растворов его солей, если металл **А** в этом ряду расположен левее металла **Б**.

Для проверки закономерностей ряда Юный химик (ЮХ) в четырех пузырьках приготовил по 60 мл растворов солей с концентрацией 0,100 моль/л: нитрата серебра (раствор 1), сульфата меди (раствор 2), бромиды цинка(II) (раствор 3) и – для сравнения – хлорида железа(III) (раствор 4). Затем в каждый раствор он опустил по тщательно очищенной железной пластинке массой около 10 г, плотно закрыл пузырьки и оставил. Через неделю ЮХ с ужасом обнаружил, что забыл подписать пузырьки. Помогите ему решить проблему, считая, что реакция металла с катионом соли за это время успевает пройти полностью, а анионы солей не подвергаются никаким изменениям.

1. Напишите химические формулы солей, из которых ЮХ готовил свои растворы. Какие цвета были у этих растворов перед началом эксперимента?
2. Напишите уравнения реакций, происходящих в пузырьках в течение недели.
3. Какие цвета имеют растворы и металлические пластинки в конце эксперимента? Как изменилась масса пластинок в каждом из пузырьков (качественно, т.е. стала >, < или = - не изменилась)?
4. Рассчитайте изменения масс пластинок в результате проведенного эксперимента.

Задача 2. «Железосерные минералы».

«Минерал – это химически и физически индивидуализированный продукт природной физико-химической реакции, находящийся в кристаллическом состоянии».

Годовиков А. А. «Минералогия». М.: «Недра», 1983.

Самым известным сульфидным минералом железа является *пирит*, имеющий состав FeS_2 . Долгое время пирит использовался человеком в промышленных процессах получения железа и серной кислоты. Достаточно известен и *халькопирит* (CuFeS_2), который, помимо железа и серы, содержит еще и медь – крайне важный для человека металл. Однако этими двумя известными минералами разнообразие сульфидных минералов железа не ограничивается.

Например, в 1725 г. в Рудных горах в Чехии впервые был обнаружен довольно тяжелый (плотность 5,09 г/см³) минерал *борнит*. В 1843 г. на Кубе был открыт и описан *кубанит*, достаточно редкий минерал, встречающийся в высокотемпературных гидротермальных источниках в виде



мелких кристаллов вместе с пиритом, халькопиритом, *аргентопиритом*, *троилитом* и другими сульфидами. В 1970 г на Кольском полуострове в горных породах, богатых солевыми минералами, содержащими калий, был впервые обнаружен чрезвычайно редкий минерал *расвумит*.

Содержание Fe и S в чистых образцах перечисленных минералов представлено в таблице:

Минерал	<i>Троилит</i>	<i>Аргентопирит</i>	<i>Кубанит</i>	<i>Расвумит</i>	<i>Борнит</i>
Массовая доля Fe, %	63,52	35,37	41,15	45,22	11,13
Массовая доля S, %	36,48	30,47	35,44	38,95	25,56

Помимо этого известно, что в состав каждого из минералов входит не более трех элементов, причем в кубаните, борните и халькопирите эти элементы одинаковые.

1. Вычислите массовые доли железа и серы в пирите и халькопирите.
2. Рассчитайте массы образцов чистых халькопирита и борнита, каждый из которых содержит по одному килограмму меди. Какой из этих образцов будет меньше по объему, и во сколько раз? Плотность халькопирита $4,30 \text{ г/см}^3$.

Схема получения серной кислоты из пирита включает в себя следующие процессы:

а) обжиг пирита на воздухе; б) окисление газа, образующегося в процессе «а», в присутствии катализатора; в) гидратацию продукта, образующегося в процессе «б».

3. Напишите уравнения реакций, описывающих процессы «а» – «в».

В железнодорожную цистерну залили 30 м^3 96 %-го раствора серной кислоты (плотность такого раствора $1,836 \text{ г/см}^3$).

4. Вычислите массу и количество молей чистой серной кислоты, содержащейся в этой цистерне. Какая масса чистого пирита в тоннах потребовалась бы для ее получения со 100 % выходом?

5. Сколько руды, содержащей 30 масс. % пирита, пришлось бы переработать для получения этого количества кислоты со 100 % выходом? А сколько руды потребуется, если известно, что реальный выход кислоты в таком процессе составляет 90 %?

6. Установите общие формулы минералов, перечисленных в таблице. Чтобы понять, какой из не указанных элементов может входить в состав минерала, внимательно посмотрите на название минерала или еще раз перечитайте условие задачи.

7. Напишите уравнения реакций растворения троилита и пирита в концентрированной азотной кислоте. Продуктами этих реакций являются диоксид азота, вода, соли железа(III) и сульфат-ионы (либо серная кислота).

Задача 3. «Термодинамика и кинетика процесса употребления мороженого».

Давно закончилось лето, а у нас в Сибири, по сути, закончилась уже и осень, и на улицах лежит устойчивый снежный покров. Но есть один продукт, который всегда напоминает нам о лете – это мороженое. Зачем мы его едим? Это вкусно! Но, как думают многие, мороженое едят для того, чтобы в жаркий солнечный день немного охладиться. Давайте попробуем разобраться, действительно ли можно «унять» летнюю жару с помощью мороженого. Сразу оговоримся, что это будет лишь оценка, поскольку биохимические процессы в нашем организме значительно сложнее, чем предлагаемая модель. Кроме того, массо- и теплоперенос требует времени.

В процессе решения задачи нам предстоит ответить на главный вопрос: можно ли понизить температуру тела с помощью мороженого?

Для начала примем следующие допущения, которые позволят упростить вычисления, но в то же время дадут нам представление о термодинамике процесса «поглощения» мороженого:

- удельные теплоемкости тела человека, воды и мороженого равны и составляют $4,2 \text{ кДж/(кг·К)}$;
- после поедания мороженого все тело человека охлаждается очень быстро и равномерно;
- масса человека, съевшего мороженое, была равна 50 кг, а температура его тела $36,6 \text{ °C}$;



- порция 100 г классического пломбира содержит 4 г белков (средний состав $C_{81}H_{125}O_{39}N_{22}$), 14 г жиров ($C_{55}H_{104}O_6$) и 30 г углеводов ($C_{12}H_{22}O_{11}$), остальное – вода;

- удельные теплоты полного сгорания ($Q_{\text{сгор.}}$) компонентов мороженого в теле человека и в избытке кислорода равны и составляют: белков 4 ккал/г, углеводов 4 ккал/г, жиров 9 ккал/г;

- 1 кал = 4,2 Дж;

- значение температуры тела в градусах Цельсия будет равно значению температуры того же тела в кельвинах, если к нему прибавить 273.

Итак, будем считать, что человек съел 100 г пломбира, имевшего температуру «-20 °С». Удельная теплоемкость (c) это физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо подвести к телу массой 1 кг, чтобы его температура возросла на один кельвин. Теплоемкость (c) воды равна 4,2 кДж/(кг·К), т. е. для нагрева 1 кг воды на 1 кельвин потребуется 4,2 кДж, и, наоборот, при охлаждении 1 кг воды на 1 кельвин выделится 4,2 кДж тепла.

1. Оцените количество тепла, которое потребуется для нагревания порции мороженого до температуры тела человека. На сколько кельвинов (с точностью до десятых) понизится температура тела этого человека за счет потери тепла, потраченного на «нагрев» мороженого?

2. Рассчитайте суммарную калорийность порции 100 г классического пломбира в ккал и кДж (суммарную теплоту полного сгорания компонентов порции).

3. Оцените, на сколько кельвинов может подняться температура тела человека только за счет калорийности продукта, считая, что все биохимические процессы и теплоперенос происходят мгновенно, а теплообмена с окружающей средой нет.

4. Оцените, какой в этом случае стала бы температура тела человека в градусах Цельсия после поедания порции мороженого.

5. Оцените, на сколько градусов Цельсия понизится температура тела этого человека, если он выпьет 250 мл воды с температурой +4 °С (температура в холодильных установках супермаркетов).

6. Напишите уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода белка, углевода и жира, формулы которых приведены в условии задачи. Продуктами полного сгорания органических веществ являются углекислый газ, жидкая вода и газообразный азот (если этот элемент присутствовал в составе).

Согласно следствию из закона известного русского химика Германа Ивановича Гесса, тепловой эффект химической реакции ($Q_{\text{реакции}}$, кДж/моль) равен разнице между суммой теплот образования ($Q_{\text{образования}}$, кДж/моль) продуктов и суммой теплот образования реагентов. В процессе расчета теплоты образования веществ должны быть умножены на стехиометрические коэффициенты, соответствующие этим веществам в уравнении реакции. Теплотой образования вещества называется тепловой эффект реакции образования одного моля вещества из простых веществ, взятых в их стандартных (обычных) состояниях. В соответствии с этим определением, теплоты образования простых веществ в их обычных состояниях равны нулю. В таблице находим, что теплота образования жидкой воды равна 286 кДж/моль, а углекислого газа 394 кДж/моль.

7. Используя удельную теплоту сгорания жира, вычислите тепловой эффект реакции его полного сгорания в кДж/моль.

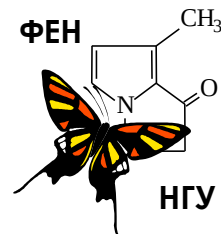
8. Следствие из закона Гесса позволяет рассчитать теплоты образования веществ, которые нельзя определить напрямую. Вычислите теплоту образования жира (кДж/моль), исходя из теплового эффекта реакции его полного сгорания и теплот образования продуктов.

Двум карапузам мамы купили по стандартной порции пломбира на палочке. Оба с нескрываемым удовольствием начали поглощать его, приступив к процессу одновременно. Однако механизм этого процесса у детишек заметно отличался. Первый откусывал небольшие кусочки мороженого массой 7,4 г каждые 30 секунд, которые требовались ему, чтобы тщательно прожевать и проглотить откушенную порцию. Второй облизывал мороженое с постоянной скоростью 0,25 г/с, мгновенно проглатывая бесконечно вкусный коктейль.

9. Вычислите время, которое потребуется каждому из карапузов, чтобы полностью доест мороженое и ответьте на «бонусный» вопрос задания: какой из них (первый или второй) сможет раньше выбросить ненужную палочку в стоящую неподалеку урну для мусора?



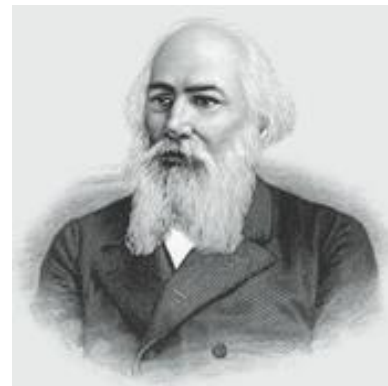
56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
8 класс



Задача 1. «Вытеснительный ряд».

«Рассматривая случаи вытеснения одного элемента другим, невольно, можно сказать, поражаешься одним почти постоянным условием реакции, именно тем, что менее плотное тело вытесняет более плотное».

Н.Н. Бекетов. «Исследования над явлениями вытеснения одних элементов другими», 1865 г.



В 2017 г. исполнилось 190 лет со дня рождения Николая Николаевича Бекетова – русского физико-химика, записавшего "вытеснительный ряд металлов", который известен химикам как электрохимический ряд напряжений металлов. Для любознательного школьника не является секретом, что этот ряд обычно располагается на обратной стороне выдаваемого Вам листа с Периодической системой и позволяет предсказывать направление протекания некоторых окислительно-восстановительных процессов с участием металлов. В частности, металл **А** вытесняет металл **Б** из растворов его солей, если металл **А** в этом ряду расположен левее металла **Б**.

Например, $\text{Fe} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = \text{Pb} \downarrow + \text{Fe}(\text{NO}_3)_2$.

Соответственно, металл **А** вытесняет водород из растворов сильных кислот, если он расположен в этом ряду левее водорода.

Для проверки закономерностей ряда Юный химик (ЮХ) в трех пузырьках приготовил по 60 мл растворов солей с концентрацией 0,100 моль/л: AgNO_3 (раствор 1), CuSO_4 (раствор 2), ZnBr_2 (раствор 3). Еще в один пузырек он налил 60 мл раствора HCl такой же концентрации (раствор 4). Затем в каждый раствор он опустил по тщательно очищенной железной пластинке массой около 10 г, закрыл пузырьки пробками с клапаном Бунзена и оставил. Клапан Бунзена – это своеобразный ниппель, который перекрывает доступ воздуха из внешней среды, но позволяет выходить наружу газообразным продуктам реакции. Через неделю ЮХ с ужасом обнаружил, что забыл подписать пузырьки. Помогите ему решить проблему, считая, что реакция металла с солью и с кислотой за это время успевает пройти полностью.

1. Напишите названия солей, содержащихся в растворах 1-3. А как называется кислота, содержащаяся в растворе 4?
2. Какие цвета имели растворы 1-4 перед началом эксперимента?
3. Напишите уравнения реакций, происходящих в пузырьках в течение недели. Если в каких-то пузырьках химической реакции не было, обязательно укажите это.
4. Какие цвета имеют растворы и металлические пластинки в конце эксперимента?
5. Как изменилась масса пластинок в каждом из пузырьков? В этом вопросе требуется качественный ответ (без цифр), т. е. масса стала больше (>), меньше (<) или не изменилась (=).
6. Попробуйте рассчитать изменения масс пластинок в результате проведенного эксперимента.

Задача 2. «Железосерные минералы».

«Минерал – это химически и физически индивидуализированный продукт природной физико-химической реакции, находящийся в кристаллическом состоянии».

Годовиков А. А. «Минералогия». М.: «Недра», 1983.

Самым известным сульфидным минералом железа является *пирит*, имеющий состав FeS_2 . Долгое время пирит использовался человеком в промышленных процессах получения железа и серной кислоты. Достаточно известен и *халькопирит* (CuFeS_2), который, помимо железа и серы, содержит еще и медь – крайне важный для человека металл. Однако этими двумя известными минералами разнообразие сульфидных минералов железа не ограничивается.



Например, в 1725 г. в Рудных горах в Чехии впервые был обнаружен довольно тяжелый (плотность $5,09 \text{ г/см}^3$) минерал *борнит*. В 1843 г. на Кубе был открыт и описан *кубанит*, достаточно редкий минерал, встречающийся в высокотемпературных гидротермальных источниках в виде мелких кристаллов вместе с пиритом, халькопиритом, *аргентопиритом*, *троилитом* и другими сульфидами. В 1970 г на Кольском полуострове в горных породах, богатых солевыми минералами, содержащими калий, был впервые обнаружен чрезвычайно редкий минерал *расвумит*.

Содержание Fe и S в чистых образцах перечисленных минералов представлено в таблице:

Минерал	<i>Троилит</i>	<i>Аргентопирит</i>	<i>Кубанит</i>	<i>Расвумит</i>	<i>Борнит</i>
Массовая доля Fe, %	63,52	35,37	41,15	45,22	11,13
Массовая доля S, %	36,48	30,47	35,44	38,95	25,56

Помимо этого известно, что в состав каждого из минералов входит не более трех элементов, причем в кубаните, борните и халькопирите эти элементы одинаковые.

1. Вычислите массовые доли железа и серы в пирите и халькопирите.
2. Рассчитайте массы образцов чистых халькопирита и борнита, каждый из которых содержит по одному килограмму меди. Какой из этих образцов будет меньше по объему, и во сколько раз? Плотность халькопирита $4,30 \text{ г/см}^3$.

Схема получения серной кислоты из пирита включает в себя следующие процессы:

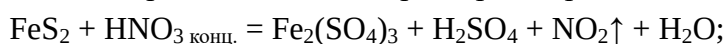
а) $\text{FeS}_2 \xrightarrow{\text{обжиг}} \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$; б) $\text{SO}_2 \xrightarrow{\text{доокисление}} \text{SO}_3$; в) $\text{SO}_3 \xrightarrow{\text{гидратация}} \text{серная кислота}$.

3. Напишите уравнения реакций, описывающих процессы «а» – «в».

В железнодорожную цистерну залили 30 м^3 96 %-го раствора серной кислоты (плотность такого раствора $1,836 \text{ г/см}^3$).

4. Вычислите массу чистой серной кислоты, содержащейся в этой цистерне. Какая масса чистого пирита в тоннах потребовалась бы для ее получения со 100 % выходом?
5. Установите общие формулы минералов, перечисленных в таблице. Чтобы понять, какой из не указанных элементов может входить в состав минерала, внимательно посмотрите на название минерала или еще раз перечитайте условие задачи.

Все перечисленные минералы растворяются в концентрированной HNO_3 похожим образом:



6. Расставьте стехиометрические коэффициенты в уравнениях реакций растворения пирита и халькопирита в концентрированной азотной кислоте.
7. Теперь попробуйте самостоятельно написать схемы реакций растворения в концентрированной азотной кислоте минералов кубанита и борнита с указанием всех продуктов. Если получится, попробуйте расставить коэффициенты и для этих уравнений реакций.

Задача 3. «Термодинамика и кинетика процесса употребления мороженого».

Давно закончилось лето, а у нас в Сибири, по сути, закончилась уже и осень, и на улицах лежит устойчивый снежный покров. Но есть один продукт, который всегда напоминает нам о лете – это мороженое. Зачем мы его едим? Это вкусно! Но, как думают многие, мороженое едят для того, чтобы в жаркий солнечный день немного охладиться. Давайте попробуем разобраться, действительно ли можно «унять» летнюю жару с помощью мороженого. Сразу оговоримся, что это будет лишь оценка, поскольку биохимические процессы в нашем организме значительно сложнее, чем предлагаемая модель. Кроме того, массо- и теплоперенос требует времени.



В процессе решения задачи нам предстоит ответить на главный вопрос: можно ли понизить температуру тела с помощью мороженого?

Для начала примем следующие допущения, которые позволят упростить вычисления, но в то же время дадут нам представление о термохимии процесса «поглощения» мороженого:

- удельные теплоемкости тела человека, воды и мороженого равны и составляют $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
- после поедания мороженого все тело человека охлаждается очень быстро и равномерно;
- масса человека, съевшего мороженое, была равна 50 кг , а температура его тела $36,6^\circ\text{C}$;
- порция 100 г классического пломбира содержит 4 г белков (средний состав $\text{C}_{81}\text{H}_{125}\text{O}_{39}\text{N}_{22}$), 14 г жиров ($\text{C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6$) и 30 г углеводов ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), остальное – вода;
- удельные теплоты полного сгорания ($Q_{\text{сгор.}}$) компонентов мороженого в теле человека и в избытке кислорода равны и составляют: белков 4 ккал/г , углеводов 4 ккал/г , жиров 9 ккал/г ;
- $1 \text{ кал} = 4,2 \text{ Дж}$;
- значение температуры тела в градусах Цельсия будет равно значению температуры того же тела в кельвинах, если к нему прибавить 273 .

Итак, будем считать, что человек съел 100 г пломбира, имевшего температуру « -20°C ». Удельная теплоемкость (c) это физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо подвести к телу массой 1 кг , чтобы его температура возросла на один кельвин. Теплоемкость (c) воды равна $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, т. е. для нагрева 1 кг воды на 1 кельвин потребуется $4,2 \text{ кДж}$, и, наоборот, при охлаждении 1 кг воды на 1 кельвин выделится $4,2 \text{ кДж}$ тепла.

1. Оцените количество тепла, которое потребуется для нагревания порции мороженого до температуры тела человека. На сколько кельвинов (с точностью до десятых) понизится температура тела этого человека за счет потери тепла, потраченного на «нагрев» мороженого?

2. Рассчитайте суммарную калорийность порции 100 г классического пломбира в ккал и кДж (суммарную теплоту полного сгорания компонентов порции).

3. Оцените, на сколько кельвинов может подняться температура тела человека только за счет калорийности продукта, считая, что все биохимические процессы и теплоперенос происходят мгновенно, а теплообмена с окружающей средой нет.

4. Оцените, какой в этом случае стала бы температура тела человека в градусах Цельсия после поедания порции мороженого.

5. Оцените, на сколько градусов Цельсия понизится температура тела этого человека, если он выпьет 250 мл воды с температурой $+4^\circ\text{C}$ (температура в холодильных установках супермаркетов).

6. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций полного сгорания в избытке кислорода белка, углевода и жира, формулы которых приведены в условии задачи:

- $\text{C}_{81}\text{H}_{125}\text{O}_{39}\text{N}_{22} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$;
- $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- $\text{C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6 + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Согласно следствию из закона известного русского химика Германа Ивановича Гесса, тепловой эффект химической реакции ($Q_{\text{реакции}}$, кДж/моль) равен разнице между суммой теплот образования ($Q_{\text{образования}}$, кДж/моль) продуктов и суммой теплот образования реагентов. В процессе расчета теплоты образования веществ должны быть умножены на стехиометрические коэффициенты, соответствующие этим веществам в уравнении реакции. Теплотой образования вещества называется тепловой эффект реакции образования одного моля вещества из простых веществ, взятых в их стандартных (обычных) состояниях. В соответствии с этим определением, теплоты образования простых веществ в их обычных состояниях равны нулю. В таблице находим, что теплота образования жидкой воды равна 286 кДж/моль, а углекислого газа 394 кДж/моль.

7. Используя удельную теплоту сгорания жира, вычислите тепловой эффект реакции его полного сгорания в кДж/моль.

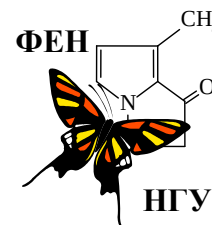
8. Следствие из закона Гесса позволяет рассчитать теплоты образования веществ, которые нельзя определить напрямую. Вычислите теплоту образования жира (кДж/моль), исходя из теплового эффекта реакции его полного сгорания и теплот образования продуктов.

Двум карапузам мамы купили по стандартной порции пломбира на палочке. Оба с нескрываемым удовольствием начали поглощать его, приступив к процессу одновременно. Однако механизм этого процесса у детишек заметно отличался. Первый откусывал небольшие кусочки мороженого массой 7,4 г каждые 30 секунд, которые требовались ему, чтобы тщательно прожевать и проглотить откушенную порцию. Второй облизывал мороженое с постоянной скоростью 0,25 г/с, мгновенно проглатывая бесконечно вкусный коктейль.

9. Вычислите время, которое потребуется каждому из карапузов, чтобы полностью доест мороженое и ответьте на «бонусный» вопрос задания: какой из них (первый или второй) сможет раньше выбросить ненужную палочку в стоящую неподалеку урну для мусора?



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Второй отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
11 класс



Дорогие ребята!

Вашему вниманию предлагается комплект заданий заочного тура Всесибирской олимпиады школьников по химии 2017-2018 года. В Вашем распоряжении целый месяц времени и все доступные методические ресурсы: библиотеки, книги, задачники, Интернет, школьная лаборатория и т.д. Единственное, о чем мы бы хотели Вас очень сильно попросить: постарайтесь выполнять задания максимально самостоятельно, не переписывая решения друг у друга.

Помните, что для того, чтобы попасть в число призеров, вовсе не обязательно правильно решить все задачи. Даже если Вам удастся найти частичное решение лишь к одному заданию, присылайте нам и его – для Вас это станет первым серьезным шагом на нелегком пути к познанию увлекательной и волшебной науки – химии. Мы, в свою очередь, будем знать о том, что где-то, может быть очень далеко от столицы Сибири, появился еще один любознательный школьник, интересы которого не ограничиваются дискотеками, развлекательными телепередачами, компьютерными играми и социальными сетями.

Для сокращения времени, затрачиваемого на проверку Ваших работ и процедуру подведения итогов, настоятельно просим Вас загружать Ваши решения на сайт и только в исключительных случаях посылать их нам по почте (но в этом случае Вы должны быть уверены, что мы получим их до 25.01.2018 г.). Если у Вас нет возможности сканировать листы с решениями, попробуйте их сфотографировать, но обязательно затем проверьте, как они читаются на экране компьютера.

Успехов Вам во всех Ваших делах и начинаниях и с наступающим Новым годом!

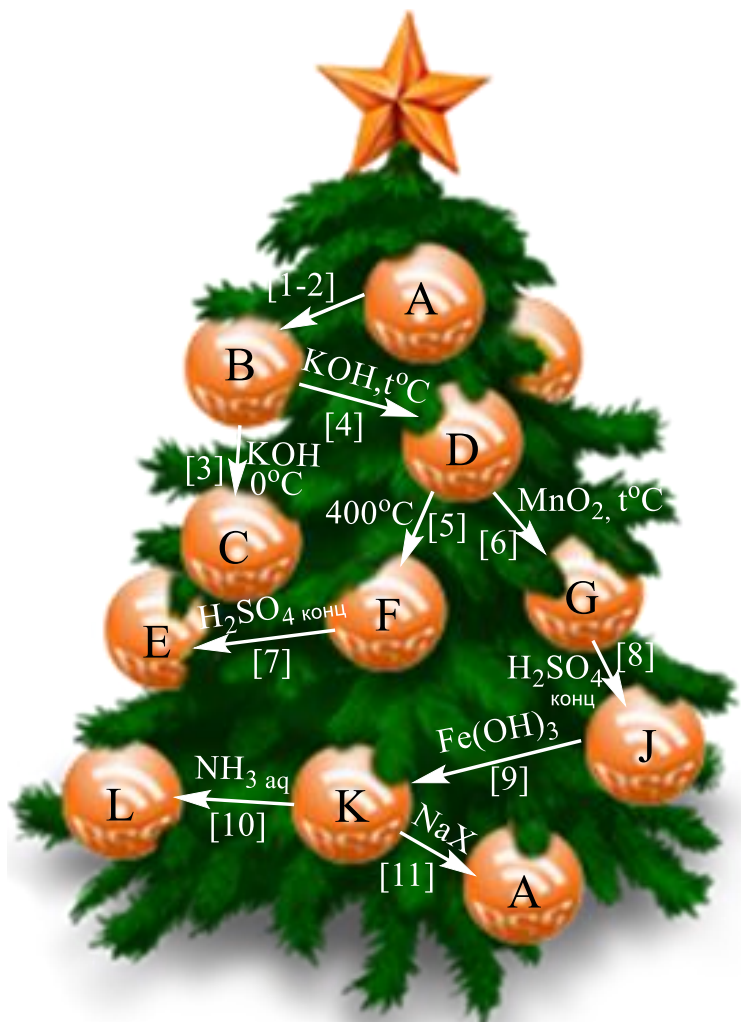
С искренним уважением к Вам и Вашим педагогам и наставникам,

Методическая комиссия и жюри Всесибирской открытой олимпиады школьников по химии.

Задание 1. «С наступающим Новым годом!»

Мы предлагаем Вашему вниманию выдержку из очень симпатичного стихотворения, имеющего самое непосредственное отношение к предмету нашей олимпиады.

*В ... (1) по счёту группе
Периодической таблицы,
Пять ... (2) охраняют
Свои священные границы.
В своей молекулярной форме,
Они ... (3) атома включают,
Но никогда в свободном виде
Нигде их люди не встречают.
Вот ... (4) и ... (5) – по сути газы,
От них есть спец – противогазы,
... (6) – красно бурная бурда,
... (7) – кристаллический всегда.
... (4) очень мощный окислитель,
В тефлоне лучший заменитель
Жиров при выпечке блинов,
... (4) очень важен для зубов.
... (5) в наше время применяют
Для дезинфекции воды,
А ... (8) люди
Употребляют для еды.*



1. Внимательно прочитайте стихотворение и вставьте пропущенные слова (1-8). Ответы перепишите в свою работу в формате "номер - слово". Как Вы думаете, как называется это стихотворение?

Все вещества **A-L** на нашей новогодней елке содержат один из элементов, описанных в стихотворении. Известно, что вещество **A** (оно же **8**) люди издавна используют в пищу для улучшения вкуса еды, простое вещество **B** (оно же **5**) – газ желто-зеленого цвета, а массовая доля кислорода в веществе **D** составляет 39,2 %. Помимо этого известно, что уравнения реакций [1-2] описывают промышленный и лабораторный способы получения вещества **B** из вещества **A** в одну стадию, а одним из продуктов реакции [11] является бурый осадок простого вещества.

2. Назовите вещества **A-L** по традиционной химической номенклатуре.

3. Напишите уравнения реакций [1-11].

Элементы (4) и (5) (простые вещества – газы) образуют три бинарных (двухэлементных) вещества, в состав которых входят оба этих элемента.

4. Изобразите пространственное строение этих молекул в газовой фазе, укажите приблизительные значения валентных углов и назовите образуемые молекулами геометрические фигуры (поясните свои ответы). Напишите уравнения реакций этих соединений с холодным ($<0^{\circ}\text{C}$) водным раствором гидроксида калия.

Для обнаружения в водном растворе большинства анионов, образованных элементами из этого стихотворения, используют нитрат серебра.

5. Какого цвета осадки получатся в каждом случае для анионов элементов (4-7)? Ответ приведите в формате "формула – цвет". Если осадок получаться не будет, то укажите это. Каким словом обычно характеризуют форму этих осадков? Напишите уравнений реакций растворения одного из этих осадков в концентрированной соляной кислоте, другого – в растворе аммиака, третьего – в растворе тиосульфата натрия.

6. Известно, что элемент (6) представлен в природе двумя стабильными изотопами. Массовые числа каждого из этих изотопов на единицу отличаются от его округленной атомной массы. Вычислите их природные доли в мольных и массовых %.

Один из элементов (4-7) встречается в природе в виде единственного изотопа (т. н. моноизотопный элемент). Тем не менее, известны несколько его радиоактивных изотопов, полученных искусственным путем. Например, при бомбардировке изотопночистого ^9Be ядрами азота-14 получается изотоп, который используется в медицине для исследований человека методом позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Для ПЭТ-исследований синтезируют глюкозу, в которой одна из ОН групп замещена на этот радиоактивный изотоп. Клетки опухоли интенсивнее остальных потребляют глюкозу, вследствие чего концентрация радиоизотопа в опухолевых клетках оказывается значительно выше, чем в здоровых. Стандартное время ожидания пациента от введения препарата до начала процедуры сканирования занимает 90 мин. За это время препарат успевает распределиться в тканях и органах.

7. Назовите этот моноизотопный элемент. Укажите причину, по которой атомная масса этого элемента оказалась меньше, чем массовое число его природного изотопа. Напишите уравнение описанной реакции искусственного получения его радиоактивного изотопа (второй продукт этой ядерной реакции - ядро ^5He) и уравнение радиоактивного распада этого изотопа. Если у Вас возникли трудности с типом этого распада, внимательно перечитайте абзац с описанием свойств изотопа.

Радиоактивный распад является реакцией первого порядка (скорость реакции прямо пропорциональна концентрации реагента). Это означает, что концентрация распадающегося изотопа экспоненциально убывает в соответствии с уравнением $C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$, где $C(t)$ – концентрация распадающегося изотопа в момент времени t , C_0 – начальная концентрация этого изотопа, k – константа скорости распада.

8. Вычислите константу скорости распада изотопа, если известно, что период его полураспада составляет 1,83 часа. Оцените соотношение между количеством изотопа в организме в момент начала сканирования и количеством введенного изотопа.

Реакции ... (2) ирования органических соединений играют важную роль в процессах получения растворителей, полимеров и реагентов для химической промышленности. Этот процесс может быть осуществлен разными методами, но часто используют реакции, протекающие по механизму радикального замещения. При этом разные атомы водорода замещаются с разной скоростью. На количественный состав продуктов влияет как количество одинаковых атомов, так и скорость замещения атомов водорода при первичных, вторичных и третичных атомах углерода. В результате в реакции образуются изомерные алкилпроизводные в разных соотношениях. Известно, что скорости ... (5) ирования по первичным, вторичным и третичным атомам углерода относятся при 200°C как 1 : 3,9 : 5,1, а при 600°C 1 : 1 : 1. Таким образом, для пропана при 200°C получается два продукта ... (5) ирования 1-...пропан и 2-...пропан в соотношении 6:7.8 или 43,5% и 56,5%.

9. Изобразите структурные формулы моно... (5) производных 2-метилбутана и назовите их по номенклатуре ИУРАС. Используя данные о скоростях, оцените количественный (в %) состав продуктов моно... (5) ирования 2-метилбутана при разной температуре (200°C и 600°C).

10. Объясните, с чем может быть связан именно такой порядок изменения скоростей реакций замещения при различных атомах углерода (по третичным наибольшая, по первичным наименьшая). Поясните, почему при 600°C скорость замещения разных атомов одинакова.

11. Водный раствор простого вещества (6) является качественной реакцией на ненасыщенные углеводороды. Напишите уравнение реакции этого раствора с циклогексеном. Что изменится, если использовать не водный раствор вещества (6), а его раствор в CCl_4 (ответ подтвердите написанием уравнения химической реакции)? Укажите, какие именно геометрические изомеры продуктов будут получаться в обоих случаях. А какой продукт будет получаться при реакции вещества (6) с циклогексеном при высокой температуре?

Задание 2. «Три соли».

Для проведения качественного анализа вам выданы три одинаковых не подписанных пробирки с индивидуальными веществами (солями) белого цвета. Известно, что каждое из этих веществ в своем составе содержит только один катион и один анион, а общий список ионов, входящих в состав всех трех солей, таков: K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , Cl^- . Как, имея в наличии только штатив с пустыми пробирками, универсальную индикаторную бумагу (в кислой среде – красная, в нейтральной – желтая, в щелочной – синяя) и подписанные склянки с дистиллированной водой и раствором $\text{Ba}(\text{OH})_2$, установить состав каждой соли? Приведите подробную схему определения и уравнения соответствующих реакций. Постарайтесь, чтобы Ваша схема была мак-



симально рациональной, но при этом позволяла однозначно идентифицировать каждую соль независимо от того, в каких сочетаниях оказались в пробирках эти катионы и анионы. Имейте в виду, что в этой системе отличить малорастворимую соль от нерастворимой соли «на глаз» не получится.

Задание 3. «Тяжелая жидкость» *«Химия дает в общем два пути для определения природы составных частей какого-нибудь тела – ... и ...».*

А.Л. Лавуазье.



Простое вещество **X** при н.у. представляет собой тяжёлую подвижную жидкость, известную человечеству с древнейших времен. С простым газообразным веществом **Y**, 39,9 г которого при н.у. занимают объём 12,6 л, **X** образует два бинарных соединения: **A** (73,88 масс. % элемента **X**) и **B** (84,98 масс. % **X**), которые в Средневековье использовались в качестве лекарственных средств.

1. Попробуйте закончить фразу Лавуазье, вынесенную в качестве цитаты. Отметим, что оба предложенных великим ученым пути весьма актуальны и для современных химиков. Установите жидкость **X** и газ **Y**, вещества **A** и **B**; ответы подтвердите расчетом. Укажите способы получения веществ **A** и **B** в чистом виде (с условиями) и приведите их исторические названия. Почему современная медицина отказалась от их использования в качестве лекарственных средств?

Великий французский ученый Антуан Лоран Лавуазье еще более 230 лет назад провел следующие эксперименты, позволившие ему «произвести анализ атмосферного воздуха». Поместив 4,00 унции **X** в большую запаянную реторту, Лавуазье нагревал ее в печи в течение 12 дней. После того, как процесс прекратился, он взял 45 гранов образовавшегося на поверхности **X** красного вещества **C** и поместил их в маленькую открытую реторту, соединенную со специальным прибором для приема жидких и воздухообразных продуктов. «Зажегши огонь в печке, - писал Лавуазье, - я заметил, что по мере того как красное вещество нагревалось, его цвет становился все более интенсивным. Когда затем реторта стала накаляться, красное вещество начало мало-помалу уменьшаться в объеме и через несколько минут оно совершенно исчезло».

2. Установите вещество **C** и напишите уравнения реакций, проведенных Лавуазье. Сколько унций этого вещества (с точностью до сотых) он мог бы получить в своем опыте при максимальном выходе? Почему вещество «совершенно исчезло» из его маленькой реторты?

Современные химики работают с жидкостью **X** в специально оборудованных лабораториях, используя особые меры предосторожности. Случайно пролитую жидкость **X** посыпают порошком серы, затем порошок собирают и тщательно протирают поверхность ватой или тряпкой, пропитанной раствором хлорного железа. Все отходы, содержащие элемент **X**, собирают в специальные склянки и передают на утилизацию.

3. Каким физическим свойством жидкости **X** обусловлены «особые меры предосторожности» при работе с ней? Какой человеческий орган при отравлении **X** поражается в первую очередь и каковы признаки этого отравления? Напишите уравнения реакций, позволяющих избавиться от случайно разлитой жидкости **X**.

Химические свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента в настоящее время хорошо известны. Нагревание **X** с концентрированной азотной кислотой приводит к образованию газа **D** и раствора соединения **E**. При взаимодействии полученного раствора с NaOH получается желтый осадок **F**, нагревание которого в «закрытой реторте» приводит к его покраснению без изменения массы. В реакции избытка **X** с разбавленной азотной кислотой образуется бесцветный газ **G** и раствор соединения **H**. Взаимодействие полученного раствора с NaOH приводит к образованию черно-коричневого осадка, являющегося смесью **F** и **X**.

4. Определите формулы веществ **D** – **H** и напишите уравнения реакций, характеризующих свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента.

Весьма примечателен и необычен спектр веществ, образуемый соединениями **A**, **B**, **C** в реакциях с аммиаком. При длительном выдерживании **C** в концентрированном водном растворе аммиака образуется ярко-желтый дигидрат основания Миллона, содержащий 85,7 % **X** и 2,99 % **N**. Моногидрат хлорида этого основания может быть получен при кипячении **A** в разбавленном аммиаке. А вот при комнатной температуре **A** с разбавленным аммиаком дает белый неплавкий преципитат (79,6 % **X** и

5,56 % N), а с жидким аммиаком при повышенной температуре – плавкий белый преципитат (65,6 % X и 9,17 % N). Резкое почернение белого осадка **В** под действием раствора аммиака используется в качественном анализе для открытия катионов, входящих в состав **В**.

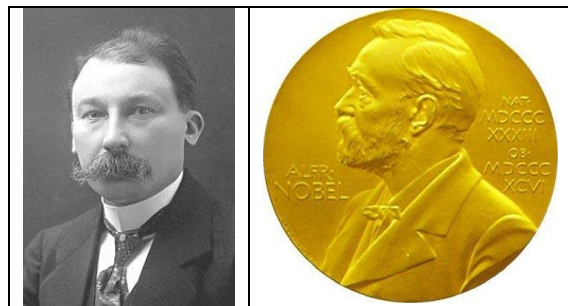
5. Установите формулы дигидрата основания Миллона, гидрата хлорида этого основания, плавкого и неплавкого белого преципитатов. Напишите уравнения описанных реакций **А**, **В**, **С** с аммиаком в разных условиях.

Задание 4. «Реактив Гриньяра».

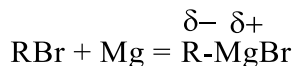
«За открытие так называемого реактива Гриньяра, в последние годы существенно способствовавшего развитию органической химии».

Нобелевская премия по химии 1912 г

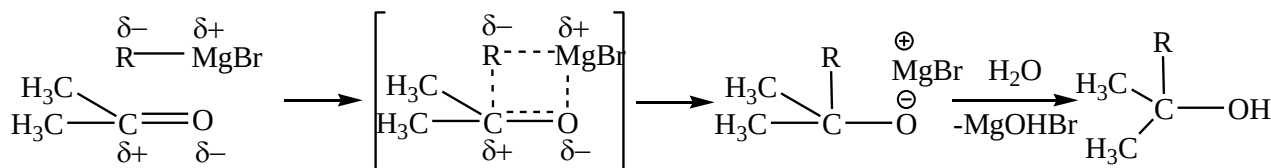
В 2017 году исполнилось 105 лет с момента вручения Нобелевской премии по химии двум выдающимся французским ученым Виктору Гриньяру и Полю Сабатье.



В 1900 г. Гриньяр и его учитель Барбье, используя аналогию с известной в то время реакцией йодистых алкилов с цинком, впервые получили магниорганические соединения. Гриньяр заменил цинк магнием и использовал в качестве растворителя тщательно обезвоженный диэтиловый эфир. В отличие от цинкорганических соединений, реактивы Гриньяра не самовоспламеняются на воздухе, поэтому более удобны в обращении. Для понимания того, как образуются, и как реагируют реактивы Гриньяра, достаточно следующего приближения:

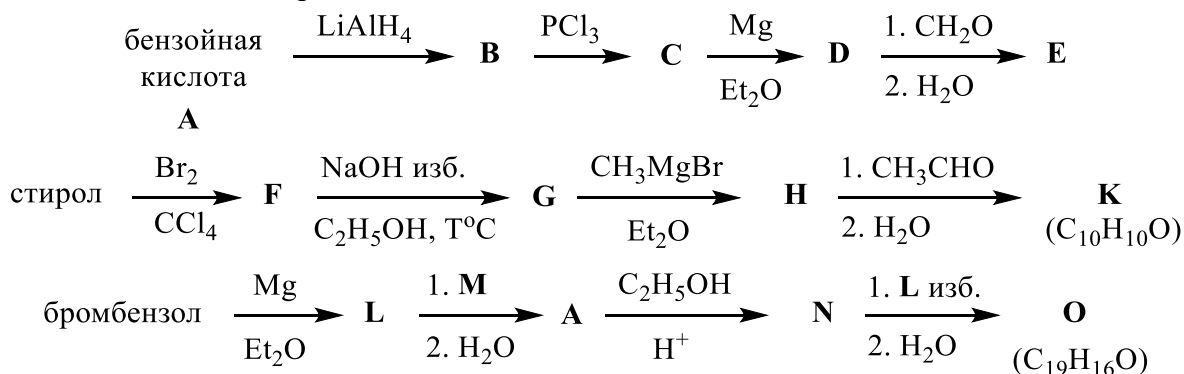


Поскольку на атоме углерода находится частичный отрицательный заряд, то алкильная группа легко присоединяется к электрон-дефицитным атомам в другой молекуле, т.е. проявляет нуклеофильные свойства:



Кроме нуклеофильных свойств, реактивы Гриньяра обладают и основными свойствами. Например, взаимодействие эфирного раствора метилмагнийбромида с водой приводит к образованию метана.

Вот уже более 100 лет реактивы Гриньяра активно применяются для получения различных классов органических соединений. На предлагаемых Вашему вниманию схемах приведены примеры такого применения. Если Вы внимательно прочитали условие задачи и немножко знаете органическую химию, то сможете ответить на наши вопросы и когда-нибудь (а вдруг?) использовать эти замечательные реактивы и в своих экспериментах.



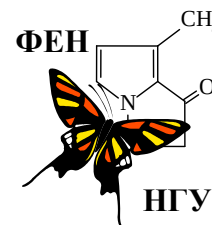
1. Приведите структурные формулы бензойной кислоты, стирола и бромбензола.

2. Приведите структурные формулы соединений **В-О**, представленных на схемах:

3. Напишите уравнение реакции гидролиза метилмагнийбромида. Определите молярную концентрацию метилмагнийбромида в имеющемся эфирном растворе, если при добавлении избытка воды к 10,0 мл этого раствора выделилось 11,2 мл (н.у.) газа.



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Второй отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
10 класс



Дорогие ребята!

Вашему вниманию предлагается комплект заданий заочного тура Всесибирской олимпиады школьников по химии 2017-2018 года. В Вашем распоряжении целый месяц времени и все доступные методические ресурсы: библиотеки, книги, задачники, Интернет, школьная лаборатория и т.д. Единственное, о чем мы бы хотели Вас очень сильно попросить: постарайтесь выполнять задания максимально самостоятельно, не переписывая решения друг у друга.

Помните, что для того, чтобы попасть в число призеров, вовсе не обязательно правильно решить все задачи. Даже если Вам удастся найти частичное решение лишь к одному заданию, присылайте нам и его – для Вас это станет первым серьезным шагом на нелегком пути к познанию увлекательной и волшебной науки – химии. Мы, в свою очередь, будем знать о том, что где-то, может быть очень далеко от столицы Сибири, появился еще один любознательный школьник, интересы которого не ограничиваются дискотеками, развлекательными телепередачами, компьютерными играми и социальными сетями.

Для сокращения времени, затрачиваемого на проверку Ваших работ и процедуру подведения итогов, настоятельно просим Вас загружать Ваши решения на сайт и только в исключительных случаях посылать их нам по почте (но в этом случае Вы должны быть уверены, что мы получим их до 25.01.2018 г.). Если у Вас нет возможности сканировать листы с решениями, попробуйте их сфотографировать, но обязательно затем проверьте, как они читаются на экране компьютера.

Успехов Вам во всех Ваших делах и начинаниях и с наступающим Новым годом!

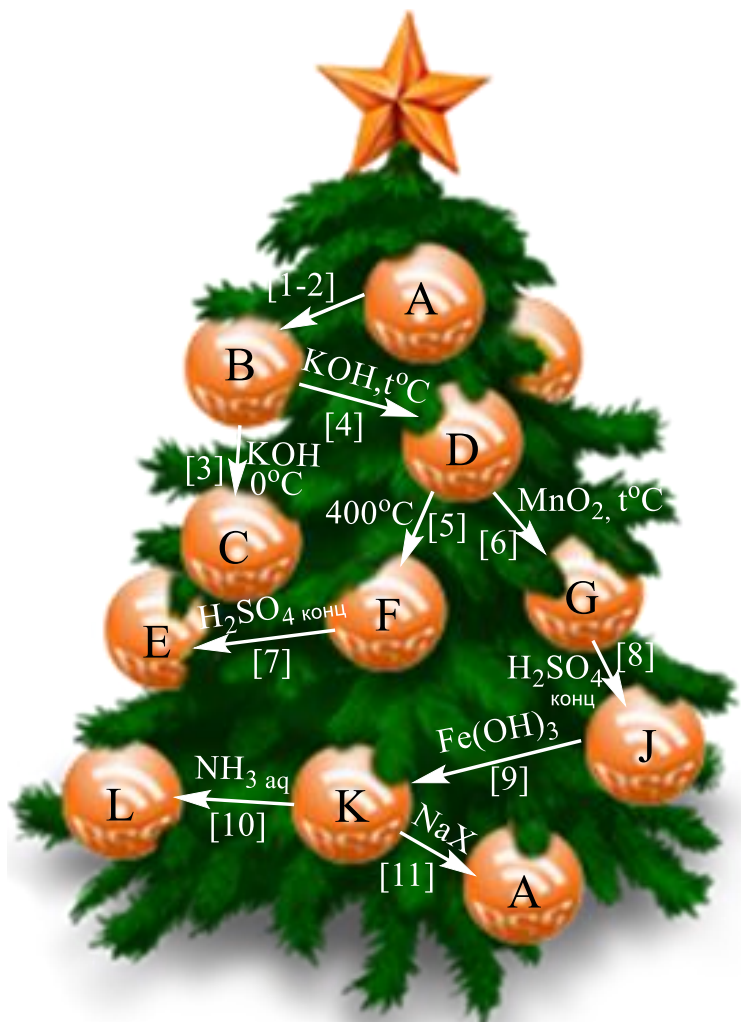
С искренним уважением к Вам и Вашим педагогам и наставникам,

Методическая комиссия и жюри Всесибирской открытой олимпиады школьников по химии.

Задание 1. «С наступающим Новым годом!»

Мы предлагаем Вашему вниманию выдержку из очень симпатичного стихотворения, имеющего самое непосредственное отношение к предмету нашей олимпиады.

*В ...**(1)** по счёту группе
Периодической таблицы,
Пять ...**(2)** охраняют
Свои священные границы.
В своей молекулярной форме,
Они ...**(3)** атома включают,
Но никогда в свободном виде
Нигде их люди не встречают.
Вот ...**(4)** и ...**(5)** – по сути газы,
От них есть спец – противогазы,
...**(6)** – красно буря бурда,
...**(7)** – кристаллический всегда.
...**(4)** очень мощный окислитель,
В тефлоне лучший заменитель
Жиров при выпечке блинов,
...**(4)** очень важен для зубов.
...**(5)** в наше время применяют
Для дезинфекции воды,
А ... **(8)** люди
Употребляют для еды.*



1. Внимательно прочитайте стихотворение и вставьте пропущенные слова (**1-8**). Ответы перепишите в свою работу в формате "номер - слово". Как Вы думаете, как называется это стихотворение?

Все вещества **A-L** на нашей новогодней елке содержат один из элементов, описанных в стихотворении. Известно, что вещество **A** (оно же **8**) люди издавна используют в пищу для улучшения вкуса еды, простое вещество **B** (оно же **5**) – газ желто-зеленого цвета, а массовая доля кислорода в веществе **D** составляет 39,2 %. Помимо этого известно, что уравнения реакций [1-2] описывают промышленный и лабораторный способы получения вещества **B** из вещества **A** в одну стадию, а одним из продуктов реакции [11] является бурый осадок простого вещества.

2. Назовите вещества **A-L** по традиционной химической номенклатуре.

3. Напишите уравнения реакций [1-11].

Элементы (**4**) и (**5**) (простые вещества – газы) образуют три бинарных (двухэлементных) вещества, в состав которых входят оба этих элемента.

4. Изобразите пространственное строение этих молекул в газовой фазе, укажите приблизительные значения валентных углов и назовите образуемые молекулами геометрические фигуры (поясните свои ответы). Напишите уравнения реакций этих соединений с холодным ($<0^{\circ}C$) водным раствором гидроксида калия.

Для обнаружения в водном растворе большинства анионов, образованных элементами из этого стихотворения, используют нитрат серебра.

5. Какого цвета осадки получатся в каждом случае для анионов элементов (**4-7**)? Ответ приведите в формате "формула – цвет". Если осадок получаться не будет, то укажите это. Каким словом обычно характеризуют форму этих осадков? Напишите уравнений реакций растворения одного из этих осадков в концентрированной соляной кислоте, другого – в растворе аммиака, третьего – в растворе тиосульфата натрия.

6. Известно, что элемент (**6**) представлен в природе двумя стабильными изотопами. Массовые числа каждого из этих изотопов на единицу отличаются от его округленной атомной массы. Вычислите их природные доли в мольных и массовых %.

Один из элементов (4-7) встречается в природе в виде единственного изотопа (т. н. моноизотопный элемент). Тем не менее, известны несколько его радиоактивных изотопов, полученных искусственным путем. Например, при бомбардировке изотопночистого ^9Be ядрами азота-14 получается изотоп, который используется в медицине для исследований человека методом позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Для ПЭТ-исследований синтезируют глюкозу, в которой одна из ОН групп замещена на этот радиоактивный изотоп. Клетки опухоли интенсивнее остальных потребляют глюкозу, вследствие чего концентрация радиоизотопа в опухолевых клетках оказывается значительно выше, чем в здоровых. Стандартное время ожидания пациента от введения препарата до начала процедуры сканирования занимает 90 мин. За это время препарат успевает распределиться в тканях и органах.

7. Назовите этот моноизотопный элемент. Укажите причину, по которой атомная масса этого элемента оказалась меньше, чем массовое число его природного изотопа. Напишите уравнение описанной реакции искусственного получения его радиоактивного изотопа (второй продукт этой ядерной реакции - ядро ^5He) и уравнение радиоактивного распада этого изотопа. Если у Вас возникли трудности с типом этого распада, внимательно перечитайте абзац с описанием свойств изотопа.

Радиоактивный распад является реакцией первого порядка (скорость реакции прямо пропорциональна концентрации реагента). Это означает, что концентрация распадающегося изотопа экспоненциально убывает в соответствии с уравнением $C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$, где $C(t)$ – концентрация распадающегося изотопа в момент времени t , C_0 – начальная концентрация этого изотопа, k – константа скорости распада.

8. Вычислите константу скорости распада изотопа, если известно, что период его полураспада составляет 1,83 часа. Оцените соотношение между количеством изотопа в организме в момент начала сканирования и количеством введенного изотопа.

Реакции ... (2) ирования органических соединений играют важную роль в процессах получения растворителей, полимеров и реагентов для химической промышленности. Этот процесс может быть осуществлен разными методами, но часто используют реакции, протекающие по механизму радикального замещения. При этом разные атомы водорода замещаются с разной скоростью. На количественный состав продуктов влияет как количество одинаковых атомов, так и скорость замещения атомов водорода при первичных, вторичных и третичных атомах углерода. В результате в реакции образуются изомерные алкилпроизводные в разных соотношениях. Известно, что скорости ... (5) ирования по первичным, вторичным и третичным атомам углерода относятся при 200°C как 1 : 3,9 : 5,1, а при 600°C 1 : 1 : 1. Таким образом, для пропана при 200°C получается два продукта ... (5) ирования 1-...пропан и 2-...пропан в соотношении 6:7.8 или 43,5% и 56,5%.

9. Изобразите структурные формулы моно... (5) производных 2-метилбутана и назовите их по номенклатуре ИУРАС. Используя данные о скоростях, оцените количественный (в %) состав продуктов моно... (5) ирования 2-метилбутана при разной температуре (200°C и 600°C).

10. Объясните, с чем может быть связан именно такой порядок изменения скоростей реакций замещения при различных атомах углерода (по третичным наибольшая, по первичным наименьшая). Поясните, почему при 600°C скорость замещения разных атомов одинакова.

11. Водный раствор простого вещества (6) является качественной реакцией на ненасыщенные углеводороды. Напишите уравнение реакции этого раствора с циклогексеном. Что изменится, если использовать не водный раствор вещества (6), а его раствор в CCl_4 (ответ подтвердите написанием уравнения химической реакции)? Укажите, какие именно геометрические изомеры продуктов будут получаться в обоих случаях. А какой продукт будет получаться при реакции вещества (6) с циклогексеном при высокой температуре?

Задание 2. «Три соли».

Для проведения качественного анализа вам выданы три одинаковых не подписанных пробирки с индивидуальными веществами (солями) белого цвета. Известно, что каждое из этих веществ в своем составе содержит только один катион и один анион, а общий список ионов, входящих в состав всех трех солей, таков: K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , Cl^- . Как, имея в наличии только штатив с пустыми пробирками, универсальную индикаторную бумагу (в кислой среде – красная, в нейтральной – желтая, в щелочной – синяя) и подписанные склянки с дистиллированной водой и раствором $\text{Ba}(\text{OH})_2$, установить состав каждой соли? Приведите подробную схему определения и уравнения соответствующих реакций. Постарайтесь, чтобы Ваша схема была мак-



симально рациональной, но при этом позволяла однозначно идентифицировать каждую соль независимо от того, в каких сочетаниях оказались в пробирках эти катионы и анионы. Имейте в виду, что в этой системе отличить малорастворимую соль от нерастворимой соли «на глаз» не получится.

Задание 3. «Тяжелая жидкость» *«Химия дает в общем два пути для определения природы составных частей какого-нибудь тела – ... и ...».*

А.Л. Лавуазье.



Простое вещество **X** при н.у. представляет собой тяжёлую подвижную жидкость, известную человечеству с древнейших времен. С простым газообразным веществом **Y**, 39,9 г которого при н.у. занимают объём 12,6 л, **X** образует два бинарных соединения: **A** (73,88 масс. % элемента **X**) и **B** (84,98 масс. % **X**), которые в Средневековье использовались в качестве лекарственных средств.

1. Попробуйте закончить фразу Лавуазье, вынесенную в качестве цитаты. Отметим, что оба предложенных великим ученым пути весьма актуальны и для современных химиков. Установите жидкость **X** и газ **Y**, вещества **A** и **B**; ответы подтвердите расчетом. Укажите способы получения веществ **A** и **B** в чистом виде (с условиями) и приведите их исторические названия. Почему современная медицина отказалась от их использования в качестве лекарственных средств?

Великий французский ученый Антуан Лоран Лавуазье еще более 230 лет назад провел следующие эксперименты, позволившие ему «произвести анализ атмосферного воздуха». Поместив 4,00 унции **X** в большую запаянную реторту, Лавуазье нагревал ее в печи в течение 12 дней. После того, как процесс прекратился, он взял 45 гранов образовавшегося на поверхности **X** красного вещества **C** и поместил их в маленькую открытую реторту, соединенную со специальным прибором для приема жидких и воздухообразных продуктов. «Зажегши огонь в печке, - писал Лавуазье, - я заметил, что по мере того как красное вещество нагревалось, его цвет становился все более интенсивным. Когда затем реторта стала накаляться, красное вещество начало мало-помалу уменьшаться в объеме и через несколько минут оно совершенно исчезло».

2. Установите вещество **C** и напишите уравнения реакций, проведенных Лавуазье. Сколько унций этого вещества (с точностью до сотых) он мог бы получить в своем опыте при максимальном выходе? Почему вещество «совершенно исчезло» из его маленькой реторты?

Современные химики работают с жидкостью **X** в специально оборудованных лабораториях, используя особые меры предосторожности. Случайно пролитую жидкость **X** посыпают порошком серы, затем порошок собирают и тщательно протирают поверхность ватой или тряпкой, пропитанной раствором хлорного железа. Все отходы, содержащие элемент **X**, собирают в специальные склянки и передают на утилизацию.

3. Каким физическим свойством жидкости **X** обусловлены «особые меры предосторожности» при работе с ней? Какой человеческий орган при отравлении **X** поражается в первую очередь и каковы признаки этого отравления? Напишите уравнения реакций, позволяющих избавиться от случайно разлитой жидкости **X**.

Химические свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента в настоящее время хорошо известны. Нагревание **X** с концентрированной азотной кислотой приводит к образованию газа **D** и раствора соединения **E**. При взаимодействии полученного раствора с NaOH получается желтый осадок **F**, нагревание которого в «закрытой реторте» приводит к его покраснению без изменения массы. В реакции избытка **X** с разбавленной азотной кислотой образуется бесцветный газ **G** и раствор соединения **H**. Взаимодействие полученного раствора с NaOH приводит к образованию черно-коричневого осадка, являющегося смесью **F** и **X**.

4. Определите формулы веществ **D** – **H** и напишите уравнения реакций, характеризующих свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента.

Весьма примечателен и необычен спектр веществ, образуемый соединениями **A**, **B**, **C** в реакциях с аммиаком. При длительном выдерживании **C** в концентрированном водном растворе аммиака образуется ярко-желтый дигидрат основания Миллона, содержащий 85,7 % **X** и 2,99 % N. Моногидрат хлорида этого основания может быть получен при кипячении **A** в разбавленном аммиаке. А вот при комнатной температуре **A** с разбавленным аммиаком дает белый неплавкий преципитат (79,6 % **X** и

5,56 % N), а с жидким аммиаком при повышенной температуре – плавкий белый преципитат (65,6 % X и 9,17 % N). Резкое почернение белого осадка **В** под действием раствора аммиака используется в качественном анализе для открытия катионов, входящих в состав **В**.

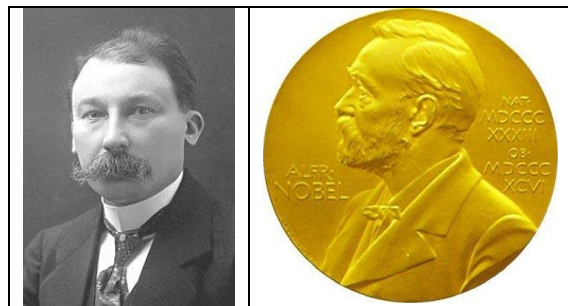
5. Установите формулы дигидрата основания Миллона, гидрата хлорида этого основания, плавкого и неплавкого белого преципитатов. Напишите уравнения описанных реакций **А**, **В**, **С** с аммиаком в разных условиях.

Задание 4. «Реактив Гриньяра».

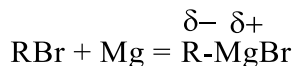
«За открытие так называемого реактива Гриньяра, в последние годы существенно способствовавшего развитию органической химии».

Нобелевская премия по химии 1912 г

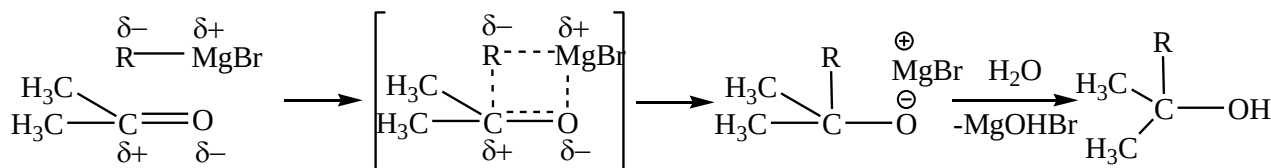
В 2017 году исполнилось 105 лет с момента вручения Нобелевской премии по химии двум выдающимся французским ученым Виктору Гриньяру и Полю Сабатье.



В 1900 г. Гриньяр и его учитель Барбье, используя аналогию с известной в то время реакцией йодистых алкилов с цинком, впервые получили магниорганические соединения. Гриньяр заменил цинк магнием и использовал в качестве растворителя тщательно обезвоженный диэтиловый эфир. В отличие от цинкорганических соединений, реактивы Гриньяра не самовоспламеняются на воздухе, поэтому более удобны в обращении. Для понимания того, как образуются, и как реагируют реактивы Гриньяра, достаточно следующего приближения:

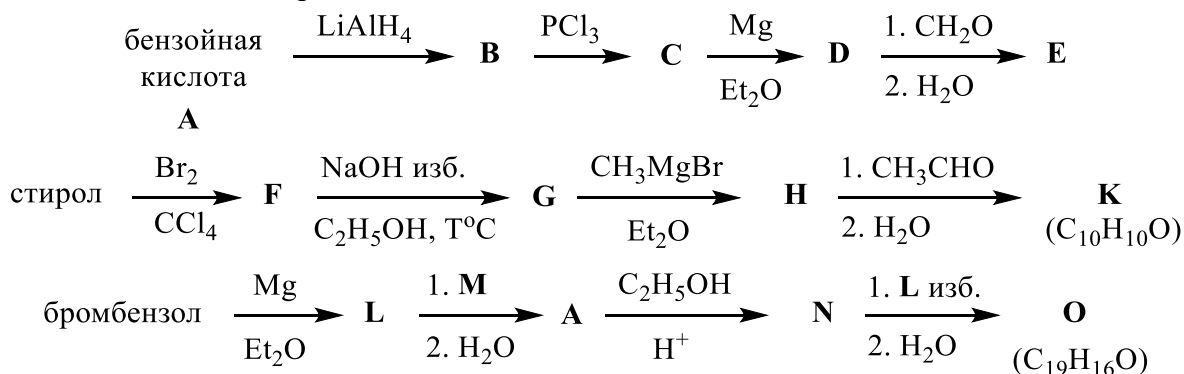


Поскольку на атоме углерода находится частичный отрицательный заряд, то алкильная группа легко присоединяется к электрон-дефицитным атомам в другой молекуле, т.е. проявляет нуклеофильные свойства:



Кроме нуклеофильных свойств, реактивы Гриньяра обладают и основными свойствами. Например, взаимодействие эфирного раствора метилмагнийбромид с водой приводит к образованию метана.

Вот уже более 100 лет реактивы Гриньяра активно применяются для получения различных классов органических соединений. На предлагаемых Вашему вниманию схемах приведены примеры такого применения. Если Вы внимательно прочитали условие задачи и немножко знаете органическую химию, то сможете ответить на наши вопросы и когда-нибудь (а вдруг?) использовать эти замечательные реактивы и в своих экспериментах.



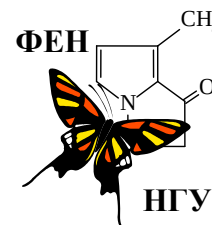
1. Приведите структурные формулы бензойной кислоты, стирола и бромбензола.

2. Приведите структурные формулы соединений **В-О**, представленных на схемах:

3. Напишите уравнение реакции гидролиза метилмагнийбромид. Определите молярную концентрацию метилмагнийбромид в имеющемся эфирном растворе, если при добавлении избытка воды к 10,0 мл этого раствора выделилось 11,2 мл (н.у.) газа.



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Второй отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
9 класс



Дорогие ребята!

Вашему вниманию предлагается комплект заданий заочного тура Всесибирской олимпиады школьников по химии 2017-2018 года. В Вашем распоряжении целый месяц времени и все доступные методические ресурсы: библиотеки, книги, задачники, Интернет, школьная лаборатория и т.д. Единственное, о чем мы бы хотели Вас очень сильно попросить: постарайтесь выполнять задания максимально самостоятельно, не переписывая решения друг у друга.

Помните, что для того, чтобы попасть в число призеров, вовсе не обязательно правильно решить все задачи. Даже если Вам удастся найти частичное решение лишь к одному заданию, присылайте нам и его – для Вас это станет первым серьезным шагом на нелегком пути к познанию увлекательной и волшебной науки – химии. Мы, в свою очередь, будем знать о том, что где-то, может быть очень далеко от столицы Сибири, появился еще один любознательный школьник, интересы которого не ограничиваются дискотеками, развлекательными телепередачами, компьютерными играми и социальными сетями.

Для сокращения времени, затрачиваемого на проверку Ваших работ и процедуру подведения итогов, настоятельно просим Вас загружать Ваши решения на сайт и только в исключительных случаях посылать их нам по почте (но в этом случае Вы должны быть уверены, что мы получим их до 25.01.2018 г.). Если у Вас нет возможности сканировать листы с решениями, попробуйте их сфотографировать, но обязательно затем проверьте, как они читаются на экране компьютера.

Успехов Вам во всех Ваших делах и начинаниях и с наступающим Новым годом!

С искренним уважением к Вам и Вашим педагогам и наставникам,

Методическая комиссия и жюри Всесибирской открытой олимпиады школьников по химии.

Задание 1. «С наступающим Новым годом!»

Мы предлагаем Вашему вниманию выдержку из очень симпатичного стихотворения, имеющего самое непосредственное отношение к предмету нашей олимпиады.

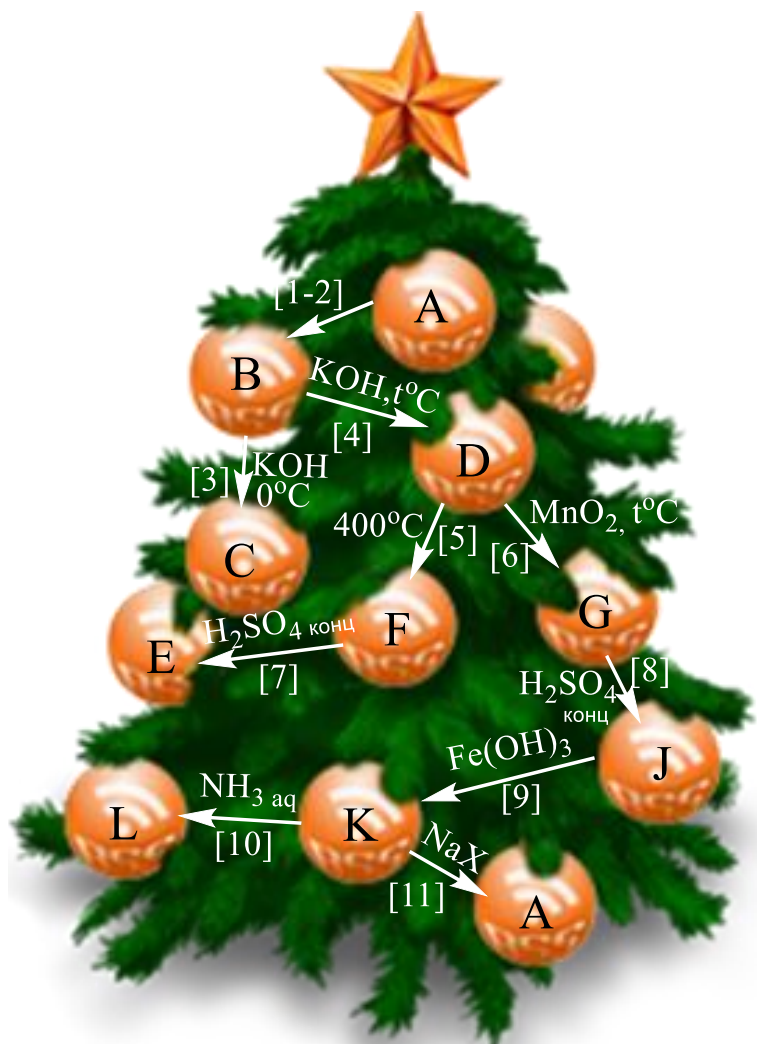
*В ...**(1)** по счёту группе
Периодической таблицы,
Пять ...**(2)** охраняют
Свои священные границы.*

*В своей молекулярной форме,
Они ...**(3)** атома включают,
Но никогда в свободном виде
Нигде их люди не встречают.*

*Вот ...**(4)** и ...**(5)** – по сути газы,
От них есть спец – противогазы,
...**(6)** – красно буря бурда,
...**(7)** – кристаллический всегда.*

*...**(4)** очень мощный окислитель,
В тефлоне лучший заменитель
Жиров при выпечке блинов,
...**(4)** очень важен для зубов.*

*...**(5)** в наше время применяют
Для дезинфекции воды,
А**(8)** люди
Употребляют для еды.*



1. Внимательно прочитайте стихотворение и вставьте пропущенные слова (**1-8**). Ответы перепишите в свою работу в формате "номер - слово". Как Вы думаете, как называется это стихотворение?

Все вещества **A-L** на нашей новогодней елке содержат один из элементов, описанных в стихотворении. Известно, что вещество **A** (оно же **8**) люди издавна используют в пищу для улучшения вкуса еды, простое вещество **B** (оно же **5**) – газ желто-зеленого цвета, а массовая доля кислорода в веществе **D** составляет 39,2 %. Помимо этого известно, что уравнения реакций [1-2] описывают промышленный и лабораторный способы получения вещества **B** из вещества **A** в одну стадию, а одним из продуктов реакции [11] является бурый осадок простого вещества (**7**).

2. Установите формулы веществ **A-L** и назовите их по традиционной химической номенклатуре.

3. Напишите уравнения реакций [1-11].

Элементы (**4**) и (**5**) (простые вещества – газы) образуют три бинарных (двухэлементных) вещества, в состав которых входят оба этих элемента.

4. Напишите формулы этих веществ и уравнения их реакций с холодным (<0°C) водным раствором гидроксида калия.

Для обнаружения в водном растворе большинства анионов, образованных элементами из этого стихотворения, используют нитрат серебра.

5. Какого цвета осадки получатся в каждом случае для анионов элементов (**4-7**)? Ответ приведите в формате "формула – цвет". Если осадок получаться не будет, то укажите это. Каким словом обычно характеризуют форму этих осадков?

6. Известно, что элемент (**6**) представлен в природе двумя стабильными изотопами. Массовые числа каждого из этих изотопов на единицу отличаются от его округленной атомной массы. Вычислите их природные доли в мольных и массовых %.

Один из элементов (4-7) встречается в природе в виде единственного изотопа (т. н. моноизотопный элемент). Тем не менее, известны несколько его радиоактивных изотопов, полученных искусственным путем. Например, при бомбардировке изотопночистого ^9Be ядрами азота-14 получается изотоп, который используется в медицине для исследований человека методом позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Период полураспада этого изотопа (время, за которое распадается половина от имеющихся атомов) составляет 1,83 часа. Для ПЭТ-исследований синтезируют глюкозу, в которой одна из ОН групп замещена на этот радиоактивный изотоп. Клетки опухоли интенсивнее остальных потребляют глюкозу, вследствие чего концентрация радиоизотопа в опухолевых клетках оказывается значительно выше, чем в здоровых. Стандартное время ожидания пациента от введения препарата до начала процедуры сканирования занимает 90 мин. За это время препарат успевает распределиться в тканях и органах.

7. Назовите этот моноизотопный элемент. Укажите причину, по которой атомная масса этого элемента в Периодической системе оказалась немного меньше, чем массовое число его природного изотопа. Напишите уравнение описанной реакции искусственного получения его радиоактивного изотопа (второй продукт этой ядерной реакции - ядро ^5He) и уравнение радиоактивного распада этого изотопа. Если у Вас возникли трудности с типом этого распада, внимательно перечитайте абзац с описанием свойств изотопа.

8. Процедура сканирования одного из пациентов продолжалась 20 мин. Оцените соотношение между количеством изотопа в организме в момент окончания сканирования и количеством введенного пациенту изотопа.

Задание 2. «Три соли».

Для проведения качественного анализа Вам выданы три одинаковых не подписанных пробирки с индивидуальными веществами (солями) белого цвета. Одно из этих веществ является калиевой солью, другое – кальциевой, а третье – аммонийной. Помимо этого, известно, что какая-то из этих солей является сульфатом, какая-то – карбонатом, а еще одна – хлоридом. В Вашем распоряжении только штатив с пустыми пробирками и подписанные склянки с дистиллированной водой, раствором гидроксида бария и раствором соляной кислоты.



1. Выпишите формулы всех солей, которые могут содержаться в выданных Вам пробирках, а также формулы веществ, содержащихся в подписанных склянках.

2. Вооружитесь таблицей растворимости и приведите подробную схему анализа состава солей и уравнения соответствующих реакций. Постарайтесь, чтобы Ваша схема была максимально рациональной, но при этом позволяла однозначно идентифицировать каждую соль независимо от того, в каких сочетаниях оказались в пробирках эти катионы и анионы. Имейте в виду, что в этой системе отличить малорастворимую соль от нерастворимой соли «на глаз» не получится.

Задание 3. «Тяжелая жидкость» *«Химия дает в общем два пути для определения природы составных частей какого-нибудь тела – ... и ...».*

А.Л. Лавуазье.

Простое вещество **X** при н.у. представляет собой тяжёлую подвижную жидкость, известную человечеству с древнейших времен. С простым газообразным веществом **Y**, 39,9 г которого при н.у. занимают объём 12,6 л, **X** образует два бинарных (двухэлементных) соединения: **A** (73,88 масс. % элемента **X**) и **B** (84,98 масс. % **X**), которые в Средневековье использовались в качестве лекарственных средств. Оба эти бинарных соединения довольно легко возгоняются с образованием тяжелых паров (так, плотность паров вещества **B** по воздуху составляет 16,28).



1. Попробуйте закончить фразу Лавуазье, вынесенную в качестве цитаты. Отметим, что оба предложенных великим ученым пути весьма актуальны и для современных химиков. Установите жидкость **X** и газ **Y**, вещества **A** и **B**; ответы подтвердите расчетом. Укажите способы получения веществ **A** и **B** в чистом виде (с условиями) и приведите их исторические названия. Почему современная медицина отказалась от их использования в качестве лекарственных средств?

Великий французский ученый Антуан Лоран Лавуазье еще более 230 лет назад провел следующие эксперименты, позволившие ему «произвести анализ атмосферного воздуха». Поместив 4,00 унции **X** в большую запаянную реторту, Лавуазье нагревал ее в печи в течение 12 дней. После того, как процесс прекратился, он взял 45 гранов образовавшегося на поверхности **X** красного вещества **C** и поместил их в маленькую открытую реторту, соединенную со специальным прибором для приема жидких и воздухообразных продуктов. «Зажегши огонь в печи, - писал Лавуазье, - я заметил, что по мере того как красное вещество нагревалось, его цвет становился все более интенсивным. Когда затем реторта стала накаляться, красное вещество начало мало-помалу уменьшаться в объеме и через несколько минут оно совершенно исчезло».

2. Установите вещество **C** и напишите уравнения реакций, проведенных Лавуазье. Сколько унций этого вещества (с точностью до сотых) он мог бы получить в своем опыте при полном превращении жидкости **X** в вещество **C**? Почему вещество «совершенно исчезло» из его маленькой реторты?

Современные химики работают с жидкостью **X** в специально оборудованных лабораториях, используя особые меры предосторожности. Случайно пролитую жидкость **X** посыпают порошком серы, затем порошок собирают и тщательно протирают поверхность ватой или тряпкой, пропитанной раствором хлорного железа. Все отходы, содержащие элемент **X**, собирают в специальные склянки и передают на утилизацию.

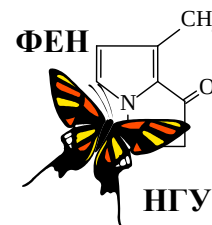
3. Каким физическим свойством жидкости **X** обусловлены «особые меры предосторожности» при работе с ней? Какой человеческий орган при отравлении **X** поражается в первую очередь и каковы признаки этого отравления? Напишите уравнения реакций, позволяющих избавиться от случайно разлитой жидкости **X**.

Химические свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента в настоящее время хорошо известны. Нагревание **X** с концентрированной азотной кислотой приводит к образованию бурого газа **D** и раствора соединения **E**. При взаимодействии полученного раствора с NaOH получается желтый осадок **F**, нагревание которого в «закрытой реторте» приводит к его превращению в красное вещество **C** без изменения массы. В реакции избытка **X** с разбавленной азотной кислотой образуется бесцветный газ **G** и раствор соединения **H**. Взаимодействие полученного раствора с соляной кислотой приводит к образованию белого осадка вещества **B**. А при взаимодействии того же раствора с NaOH образуется черно-коричневый осадок, являющийся смесью **F** и **X**.

4. Определите формулы веществ **D** – **H** и напишите уравнения реакций, характеризующих свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента.



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Второй отборочный этап 2017-2018 уч. года
Задания по химии
8 класс



Дорогие ребята!

Вашему вниманию предлагается комплект заданий заочного тура Всесибирской олимпиады школьников по химии 2017-2018 года. В Вашем распоряжении целый месяц времени и все доступные методические ресурсы: библиотеки, книги, задачкиники, Интернет, школьная лаборатория и т.д. Единственное, о чем мы бы хотели Вас очень сильно попросить: постарайтесь выполнять задания максимально самостоятельно, не переписывая решения друг у друга.

Помните, что для того, чтобы попасть в число призеров, вовсе не обязательно правильно решить все задачи. Даже если Вам удастся найти частичное решение лишь к одному заданию, присылайте нам и его – для Вас это станет первым серьезным шагом на нелегком пути к познанию увлекательной и волшебной науки – химии. Мы, в свою очередь, будем знать о том, что где-то, может быть очень далеко от столицы Сибири, появился еще один любознательный школьник, интересы которого не ограничиваются дискотеками, развлекательными телепередачами, компьютерными играми и социальными сетями.

Для сокращения времени, затрачиваемого на проверку Ваших работ и процедуру подведения итогов, настоятельно просим Вас загружать Ваши решения на сайт и только в исключительных случаях посылать их нам по почте (но в этом случае Вы должны быть уверены, что мы получим их до 25.01.2018 г). Если у Вас нет возможности сканировать листы с решениями, попробуйте их сфотографировать, но обязательно затем проверьте, как они читаются на экране компьютера.

Успехов Вам во всех Ваших делах и начинаниях и с наступающим Новым годом!

С искренним уважением к Вам и Вашим педагогам и наставникам,

Методическая комиссия и жюри Всесибирской открытой олимпиады школьников по химии.

Задание 1. «С наступающим Новым годом!»

Мы предлагаем Вашему вниманию выдержку из очень симпатичного стихотворения, имеющего самое непосредственное отношение к предмету нашей олимпиады.

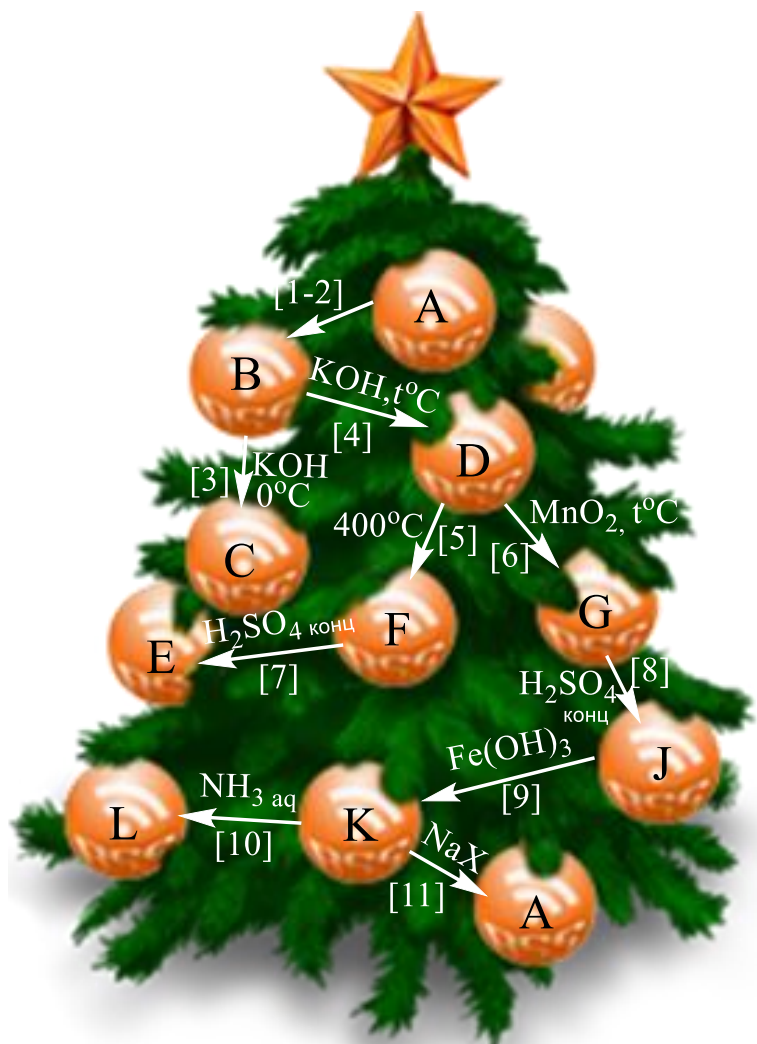
*В ...**(1)** по счёту группе
Периодической таблицы,
Пять ...**(2)** охраняют
Свои священные границы.*

*В своей молекулярной форме,
Они ...**(3)** атома включают,
Но никогда в свободном виде
Нигде их люди не встречают.*

*Вот ...**(4)** и ...**(5)** – по сути газы,
От них есть спец – противогазы,
...**(6)** – красно бурная бурда,
...**(7)** – кристаллический всегда.*

*...**(4)** очень мощный окислитель,
В тефлоне лучший заменитель
Жиров при выпечке блинов,
...**(4)** очень важен для зубов.*

*...**(5)** в наше время применяют
Для дезинфекции воды,
А ... **(8)** люди
Употребляют для еды.*



1. Внимательно прочитайте стихотворение и вставьте пропущенные слова (1-8). Ответы перепишите в свою работу в формате "номер - слово". Как Вы думаете, как называется это стихотворение?

Все вещества A-L на нашей новогодней елке содержат один из элементов, описанных в стихотворении. Известно, что вещество A (оно же 8) люди издавна используют в пищу для улучшения вкуса еды, простое вещество B (оно же 5) – газ желто-зеленого цвета, а массовая доля кислорода в веществе D составляет 39,2 %. Помимо этого известно, что уравнения реакций [1-2] описывают промышленный и лабораторный способы получения вещества B из вещества A в одну стадию, а одним из продуктов реакции [11] является бурый осадок простого вещества (7).

2. Установите формулы веществ A-L и назовите их по традиционной химической номенклатуре.

3. Напишите уравнения реакций [1-11].

Элементы (4) и (7) образуют четыре бинарных (двухэлементных) вещества, в состав которых входят оба этих элемента.

4. Напишите формулы этих веществ.

Все четыре элемента (4-7) образуют соединения с водородом, которые очень хорошо растворяются в воде. Чтобы различить четыре бесцветных раствора этих соединений, можно использовать раствор нитрата серебра.

5. Напишите уравнения реакций растворов этих соединений с раствором нитрата серебра. Какого цвета осадок получится в каждом случае? Если реакция не пойдет, то укажите это. Каким словом обычно характеризуют форму этих осадков?

6. Известно, что элемент (6) представлен в природе двумя стабильными изотопами. Массовые числа каждого из этих изотопов на единицу отличаются от его округленной атомной массы. Вычислите их природные доли в мольных и массовых %.

Один из элементов (4-7) встречается в природе в виде единственного изотопа (т. н. моноизотопный элемент). Тем не менее, известны несколько его радиоактивных изотопов, полученных искусственным путем. Один из таких изотопов используется в медицине для исследований человека методом позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Период полураспада этого изотопа (время, за которое распадается половина от имеющихся атомов) составляет 1,83 часа. Для ПЭТ-исследований синтезируют глюкозу, в которой одна из ОН групп замещена на этот радиоактивный изотоп. Клетки опухоли интенсивнее остальных потребляют глюкозу, вследствие чего концентрация радиоизотопа в опухолевых клетках оказывается значительно выше, чем в здоровых. Стандартное время ожидания пациента от введения препарата до начала процедуры сканирования занимает 90 мин. За это время препарат успевает распределиться в тканях и органах.

7. Назовите этот моноизотопный элемент. Укажите причину, по которой атомная масса этого элемента в Периодической системе оказалась немного меньше, чем массовое число его природного изотопа.

8. Процедура сканирования одного из пациентов продолжалась 20 мин. Оцените соотношение между количеством изотопа в организме в момент окончания сканирования и количеством введенного пациенту изотопа.

Задание 2. «Три соли».

Для проведения качественного анализа Вам выданы три одинаковых не подписанных пробирки с индивидуальными веществами (солями) белого цвета. Одно из этих веществ является калиевой солью, другое – кальциевой, а третье – аммонийной. Помимо этого, известно, что какая-то из этих солей является сульфатом, какая-то – карбонатом, а еще одна – хлоридом. В Вашем распоряжении только штатив с пустыми пробирками и подписанные склянки с дистиллированной водой, раствором гидроксида бария и раствором соляной кислоты.



1. Выпишите формулы всех солей, которые могут содержаться в выданных Вам пробирках, а также формулы веществ, содержащихся в подписанных склянках.

2. Вооружитесь таблицей растворимости и приведите подробную схему анализа состава солей и уравнения соответствующих реакций. Постарайтесь, чтобы Ваша схема была максимально рациональной, но при этом позволяла однозначно идентифицировать каждую соль независимо от того, в каких сочетаниях оказались в пробирках эти катионы и анионы. Имейте в виду, что в этой системе отличить малорастворимую соль от нерастворимой соли «на глаз» не получится.

Задание 3. «Тяжелая жидкость» *«Химия дает в общем два пути для определения природы составных частей какого-нибудь тела – ... и ...».*

А.Л. Лавуазье.

Простое вещество **X** при н.у. представляет собой тяжёлую подвижную жидкость, известную человечеству с древнейших времен. С простым газообразным веществом **Y**, 39,9 г которого при н.у. занимают объём 12,6 л, **X** образует два бинарных (двухэлементных) соединения: **A** (73,88 масс. % элемента **X**) и **B** (84,98 масс. % **X**), которые в Средневековье использовались в качестве лекарственных средств. Оба эти бинарных соединения довольно легко возгоняются с образованием тяжелых паров (так, плотность паров вещества **B** по воздуху составляет 16,28).



1. Попробуйте закончить фразу Лавуазье, вынесенную в качестве цитаты. Отметим, что оба предложенных великим ученым пути весьма актуальны и для современных химиков. Установите жидкость **X** и газ **Y**, вещества **A** и **B**; ответы подтвердите расчетом. Укажите способы получения веществ **A** и **B** в чистом виде (с условиями) и приведите их исторические названия. Почему современная медицина отказалась от их использования в качестве лекарственных средств?

Великий французский ученый Антуан Лоран Лавуазье еще более 230 лет назад провел следующие эксперименты, позволившие ему «произвести анализ атмосферного воздуха». Поместив 4,00 унции **X** в большую запаянную реторту, Лавуазье нагревал ее в печи в течение 12 дней. После того, как про-

цесс прекратился, он взял 45 гранов образовавшегося на поверхности **X** красного вещества **C** и поместил их в маленькую открытую реторту, соединенную со специальным прибором для приема жидких и воздухообразных продуктов. «Зажегши огонь в печи, - писал Лавуазье, - я заметил, что по мере того как красное вещество нагревалось, его цвет становился все более интенсивным. Когда затем реторта стала накаляться, красное вещество начало мало-помалу уменьшаться в объеме и через несколько минут оно совершенно исчезло».

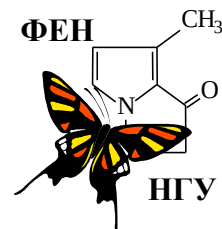
2. Установите вещество **C** и напишите уравнения реакций, проведенных Лавуазье. Сколько унций этого вещества (с точностью до сотых) он мог бы получить в своем опыте при полном превращении жидкости **X** в вещество **C**? Почему вещество «совершенно исчезло» из его маленькой реторты?

Современные химики работают с жидкостью **X** в специально оборудованных лабораториях, используя особые меры предосторожности. Случайно пролитую жидкость **X** посыпают порошком серы, затем порошок собирают и тщательно протирают поверхность ватой или тряпкой, пропитанной раствором хлорного железа. Все отходы, содержащие элемент **X**, собирают в специальные склянки и передают на утилизацию.

3. Каким физическим свойством жидкости **X** обусловлены «особые меры предосторожности» при работе с ней? Какой человеческий орган при отравлении **X** поражается в первую очередь и каковы признаки этого отравления? Напишите уравнения реакций, позволяющих избавиться от случайно разлитой жидкости **X**.

Химические свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента в настоящее время хорошо известны. Нагревание **X** с концентрированной азотной кислотой приводит к образованию бурого газа **D** и раствора соединения **E**. При взаимодействии полученного раствора с NaOH получается желтый осадок **F**, нагревание которого в «закрытой реторте» приводит к его превращению в красное вещество **C** без изменения массы. В реакции избытка **X** с разбавленной азотной кислотой образуется бесцветный газ **G** и раствор соединения **H**. Взаимодействие полученного раствора с соляной кислотой приводит к образованию белого осадка вещества **B**. А при взаимодействии того же раствора с NaOH образуется черно-коричневый осадок, являющийся смесью **F** и **X**.

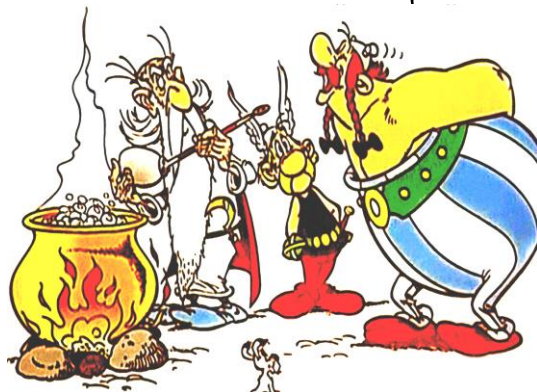
4. Определите формулы веществ **D** – **H** и напишите уравнения реакций, характеризующих свойства жидкости **X** и других соединений этого элемента.

**Задание 1. «Волшебный аромат».**

«Нет, Обеликс, я не дам тебе напитка, поскольку ты еще в детстве упал в котел с этим волшебным зельем».

Панорамикс

В хорошо знакомых многим произведениях о борьбе римлян с неуступчивыми галлами главными героями являются Астерикс и его лучший друг Обеликс. Неоднократно этим двум персонажам на помощь приходил друид Панорамикс, искусно варивший чудодейственное зелье с очень приятным ароматом, дающее исключительную силу тому, кто его выпил. Прошло много лет, рецепт приготовления этого зелья был безвозвратно утрачен...



Одним из веществ, придающим тот самый приятный аромат чудодейственному зелью, могло быть соединение **X**, имеющее запах груши. Сегодня волшебники-химики без особых сложностей могут синтезировать это вещество! В лаборатории **X** обычно получают нагреванием изоамилового спирта (3-метилбутанол-1) с безводной (ее называют "ледяной") предельной одноосновной органической кислотой **Y** в присутствии тяжелой маслянистой минеральной кислоты **Z**.

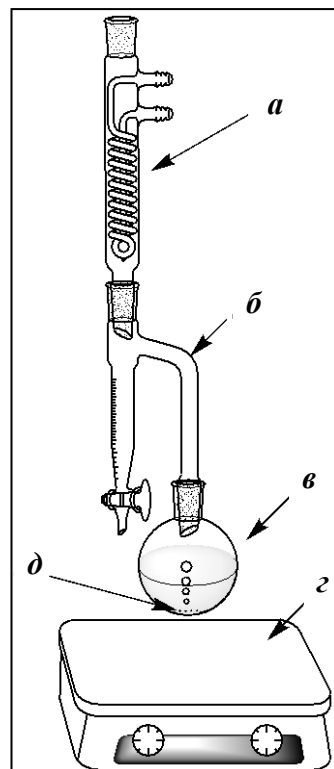
1. Приведите структурные формулы изоамилового спирта, соединения **X** и кислоты **Y**, если известно, что плотность паров **X** по воздуху составляет около 4,5. Ответ подтвердите соответствующими расчетами. Назовите вещества **X** и **Y**.
2. Предложите формулу минеральной кислоты **Z**, которую обычно используют для синтеза **X**. Какова роль этой кислоты в упомянутой реакции?
3. Как называется реакция, описанная выше в качестве способа получения **X**?
4. Почему безводная кислота **Y** называется "ледяной"?

Описанную реакцию получения **X** в лаборатории обычно проводят в установке, изображенной на рисунке справа.

5. Приведите названия отдельных частей изображенной установки (детали **a**, **б**, **в** и **г**), которые обычно используют профессиональные химики. Как называют в химии кусочки пористой керамики **д**, которые добавляют в сосуд **в**. Какую функцию они выполняют?

Для получения **X** в сосуд **в** поместили смесь, состоящую из 163,0 мл изоамилового спирта ($\rho = 0,81 \text{ г/см}^3$), 57,1 мл "ледяной" кислоты **Y** ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) и ~1 мл минеральной кислоты **Z**. Смесь тщательно перемешали и кипятили в течение ~8 ч. После окончания нагревания в мерной части сосуда **б** собралось 15 мл воды.

6. Рассчитайте выход (в %) и массу **X** (в г), образовавшегося в сосуде **в**.
7. Помимо описанного выше способа получения сложного эфира существует еще много различных методов синтеза соединений данного класса. В качестве исходных веществ могут использоваться соединения, относящиеся к разным классам. Приведите 3 одностадийные схемы синтеза бутилбутирата (бутиловый эфир бутановой кислоты) из 1) хлорангидрида бутановой кислоты, 2) бутаноата калия, 3) метилового эфира бутановой кислоты. В вашем распоряжении есть любые реагенты и катализаторы. Укажите условия протекания данных реакций, если это необходимо.



Задание 2. «Магнитка».

Магнитогорск – город трудовой доблести и славы, являющийся одним из крупнейших мировых центров черной металлургии. Город был основан в 1929 году у подножия горы Магнитной. Одновременно с основанием города началось и строительство Магнитогорского металлургического комбината (ММК), главным источником руды для которого более 50 лет являлась эта гора. Основным полезным минералом месторождения горы Магнитной был магнетит (магнитный железняк), содержащий 72,36 % железа (здесь и далее в задаче масс. %).



1. Установите химическую формулу магнетита (ответ подтвердите расчетом). Как называется структурный тип, к которому относится кристаллическая решётка магнетита?

Руда с месторождения поступала на обогатительную фабрику, где она дробилась и обогащалась методом магнитной сепарации. В этом методе в магнитном поле происходит отделение магнитных минералов (магнетита и пирротина) от основной части немагнитных (пустой породы). Известно, что пирротин состоит из двух элементов и содержит 63,57 % железа.

Магнитная фракция обогащения железных руд называется «концентрат», а немагнитная – «хвосты». По результатам химанализа некоторая партия концентрата содержала 60,5 % железа и 0,5 % «вредной примеси» (это тот самый второй элемент пирротина).

2. Считая, что в концентрате нет других веществ, содержащих железо и второй элемент пирротина, вычислите массовые доли пирротина и магнетита в партии концентрата, подвергнутой анализу.

3. Определите расчётом химическую формулу пирротина. К какому классу соединений он относится?

4. Напишите уравнения реакций, происходящих при обработке магнетита и пирротина: а) горячей соляной кислотой; б) горячей концентрированной азотной кислотой; в) хлором в расплаве натриевой щелочи.

На самом деле в концентрат из руды частично переходит и пустая порода, внося в его состав силикаты, алюмосиликаты и другие минералы, содержащие Al, Si, Ca, Mg. В металлургии содержание элементов принято представлять в виде массовых долей их оксидов.

5. Запишите формулы мета- и ортосиликатов кальция, диортосиликата алюминия, метаалюмината магния (этот минерал называется «шпинель»). Напишите уравнения реакций, происходящих при обработке диортосиликата алюминия и метаалюмината магния: а) горячей соляной кислотой; б) избытком горячего раствора натриевой щелочи.

Концентрат представляет собой мелкодисперсный порошок, который без окомкования нельзя загружать в доменную печь. Способ окомкования, который применяется на ММК, называется «агломерация». В процессе агломерации концентрат смешивается с карбонатом кальция и топливом – «коксом» (мелкораздробленный кокс). Полученная смесь (аглошихта) подаётся в агломерационную машину. В машине смесь поджигается с поверхности и за счёт просасывания воздуха сверху вниз спекается во всём объёме в агломерационный «пирог», так как в зоне горения развивается температура более 1100 °С. Пирог при выходе из машины дробится на крупные куски, которые называются «агломерат». В процессе агломерации решаются две задачи: во-первых, получить прочный крупный кусок, во-вторых, получить заданную основность. Основностью агломерата (**В**) называют отношение содержания CaO к содержанию SiO₂ в массовых процентах.

6. Напишите уравнение реакции термического разложения карбоната кальция. Вычислите массу известняка, содержащего 95 % карбоната кальция, которую нужно добавить к 100 кг концентрата, содержащего 0,3 % CaO и 5,0 % SiO₂, для получения агломерата с основностью **В** = 1,7. В расчёте примите, что во время процесса агломерации масса самого концентрата не меняется, а карбонат кальция разлагается полностью. Пустая порода известняка на 50 % состоит из SiO₂.

7. Рассчитайте массу коксика, которую нужно добавить к 100 кг смеси концентрата с известняком, чтобы получить аглошихту с содержанием коксика 4,2 %. Напишите уравнение реакции горения коксика, за счёт которого в агломерационной машине поддерживается нужная температура.

8. Рассчитайте массу агломерата с основностью 1,7, который получится после загрузки в машину 100 кг концентрата и необходимых по расчетам масс известняка и коксика. Известно, что после сгорания коксика остается 12 % золы (неорганические соединения, не участвующие в процессе горения и полностью переходящие в агломерат).

Задание 3. «Водородная бомба».

«Такое оружие может разрабатываться только страной, у которой развиты наука и образование. У России этот потенциал есть».

Из послания В.В. Путина Федеральному собранию 1.03.2018.

В своем послании Федеральному собранию президент России Владимир Путин уделил большое внимание вопросам национальной безопасности, укреплению боеспособности Вооруженных сил, оснащению их современным и перспективным вооружением. Верховный главнокомандующий рассказал об успешных испытаниях новейших типов оружия и подчеркнул, что ни у кого нет такого оружия, как у России. «Надеюсь, что сказанное сегодня отрезвит любого агрессора», — добавил он. И действительно, группа сенаторов США уже через несколько дней призвала Госдепартамент незамедлительно приступить к новому раунду переговоров с Москвой по стратегической стабильности, несмотря на имеющиеся разногласия.

Несмотря на то, что самой разрушительной силой вот уже более 70 лет является ядерное оружие, в истории человечества есть только два примера его использования в военных целях. В августе 1945 г США сбросили по одной атомной бомбе на японские города Хиросиму и Нагасаки с целью ускорить капитуляцию Японии во второй мировой войне. Принцип действия этих бомб основан на цепной реакции деления тяжелых атомных ядер на более легкие под действием быстрых нейтронов:



Спустя 7 лет в США было испытано еще более мощное, т. н. термоядерное взрывное устройство. Основным источником энергии в нем служила именно та реакция, которая постоянно происходит в недрах Солнца, причем это уже не распад, а синтез более тяжелого ядра из двух легких. Еще через год советские ученые, опередив американцев, нашли техническое решение, позволившее создать на основе этой реакции и в августе 1953 г испытать настоящую бомбу.

Самой крупной испытанной «водородной бомбой» (чаще всего ее называют именно так) до сих пор остается советская 50-Мт «царь-бомба», взорванная 30.10.1961 на полигоне архипелага Новая Земля. Ударная волна после ее взрыва трижды обогнула земной шар! Для сравнения: бомба, сброшенная на Хиросиму, имела мощность 15 кт.

Для создания водородной бомбы ядерщиками из СССР был использован не сам водород. Действующим компонентом термоядерных боеприпасов являлось изотопно-чистое вещество **X** с молярной массой 8,0 г/моль. Оно представляет собой бесцветные нерадиоактивные кристаллы, спокойно реагирует с водой [реакция 1], бурно — с соляной кислотой [2], в обоих случаях выделяется газ **Y** с плотностью по воздуху 0,103. На воздухе **Y** горит [3] с образованием паров **Z**, конденсирующихся в жидкость при температуре чуть выше 100 °С, замерзающую при температуре около 2 °С. Вещество **X** тоже горит [4], окрашивая пламя в красный цвет, при нагревании в вакууме до ~850 °С разлагается [5].

1. Вставьте символ ядра, пропущенного в цепной реакции деления ${}^{235}\text{U}$.

2. Установите состав веществ **X**, **Y** и **Z**, в т. ч. изотопный, ответ подтвердите расчетами. Назовите эти вещества.

3. Напишите уравнения реакций [1] – [5].

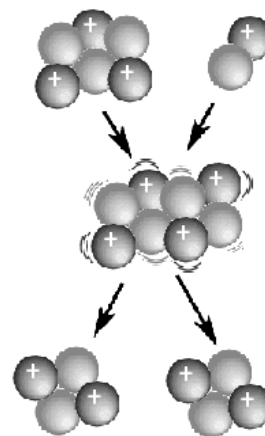
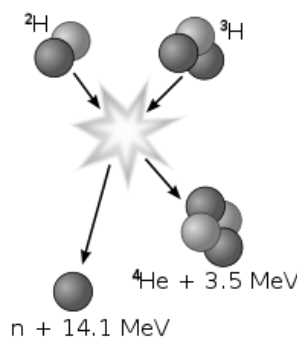
4. Известно, что при нагревании вещество **X** способно реагировать с такими газами, как хлор, аммиак, сернистый газ, диборан и даже азот. Напишите уравнения этих реакций.

5. Термоядерная реакция сама по себе не приводит к радиоактивному заражению местности. Однако для ее инициации требуются крайне высокая температура, огромное давление и источник быстрых нейтронов. Каким путем достигаются эти условия?

6. Напишите уравнение термоядерной реакции, являющейся основным источником энергии Солнца, а также суммарное уравнение реакции, происходящей с веществом **X** во время взрыва боеприпаса.

7. Как называются частицы ${}^4_2\text{He}$, выделяющиеся в ядерных реакциях? Какими, по Вашему мнению, химическими свойствами они обладают?

8. Назовите фамилию, имя и отчество советского ученого-физика, одного из создателей первой водородной бомбы, ставшего академиком в 32 года, трижды(!) Героя Социалистического Труда, впоследствии известного правозащитника и лауреата Нобелевской премии мира.



Задание 4. «Собака Баскервилей».

Одно из самых громких дел частного детектива, вымышленного сэром Артуром Конан Дойлем, называлось «собака Баскервилей». Злоумышленник смертельно напугал своего дядю «призраком собаки», измазав морду большого пса светящимся составом. По одной из самых распространенных версий состав являлся ничем иным, как простым веществом **A**, образованным элементом **X**. В природе элемент **X** встречается только в составе минералов. Один из них, фторапатит имеет состав $\text{Ca}_5(\text{XO}_4)_3\text{F}$, массовая доля элемента **X** в нем составляет 18,45 %.



1. Установите элемент **X** (ответ подтвердите расчетом). Почему **X** не встречается в природе в самородном виде?

Простое вещество **A** при взаимодействии с кислородом воздуха медленно окисляется, при этом часть энергии, выделяющейся в реакции, излучается в виде света. Такое явление называется хемилюминесценцией.

2. Напишите уравнение реакции окисления **A** на воздухе. Как бы Вы предложили хранить вещество **A**, чтобы избежать его окисления?

Вещество **A** является крайне ядовитым. Возвращаясь к повести Конан Дойля, смертельная доза **A** для собак составляет 0,05-0,15 г по различным источникам. Разумеется, данные приводятся для пероральной дозы, однако следует помнить, что собака умывается с помощью своего языка.

3. Оцените массу **A**, которая потребуется для покрытия морды собаки и сделайте вывод о возможности применения **A** в качестве светящегося состава без риска для жизни животного.

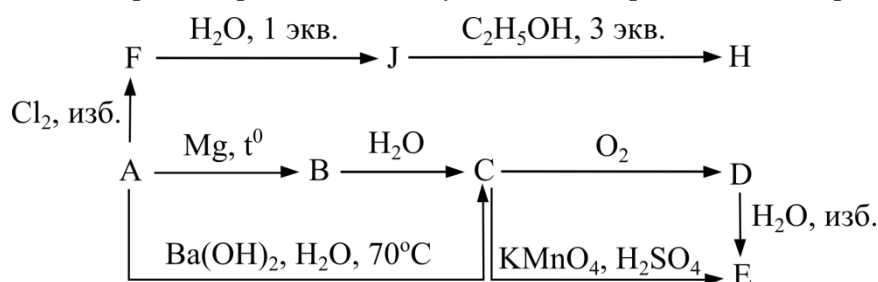
Данные для оценки: морду пса можно считать кругом с радиусом 10 см, минимальная толщина слоя **A** на морде – 0,1 см, плотность **A** составляет 1,82 г/см³. Так же можно считать, что пёс слижет за один час как минимум 10 % вещества **A**, находящегося у него на морде.

4. Считая скорость слизывания равномерной, определите время, за которое собака съест летальную дозу **A** (принять равной 0,15 г). Если, на Ваш взгляд, на морде собаки недостаточно **A**, можете считать, что злоумышленник наносил вещество **A** более толстым слоем (1 см).

Получить вещество **A** можно, прокалив смесь фторапатита, песка и угля.

5. Напишите уравнение реакции получения вещества **A** описанным выше способом.

Химия элемента **X** весьма разнообразна. Небольшую её часть отражает схема, приведённая ниже:

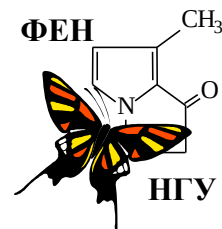


6. Напишите формулы веществ **B-H** и уравнения всех реакций (всего 9), приведенных на схеме.

Вещество **D** способно возгоняться при нагревании с сохранением структуры. Герой нашей задачи, помимо великолепной дедукции, обладал и талантами химика-экспериментатора. Среди его экспериментов мог иметь место и эксперимент по исследованию свойств вещества **D**. Для этого гениальный сыщик поместил 100 мг вещества **D** в вакуумированную ампулу на 20 мл и нагрел до 360 °С. После полного превращения вещества **D** в газ давление в ампуле составило 0,914 атмосферы.

7. К какому типу превращений относится возгонка? Основываясь на результатах эксперимента детектива, изобразите структурную формулу вещества **D** в газовой фазе.

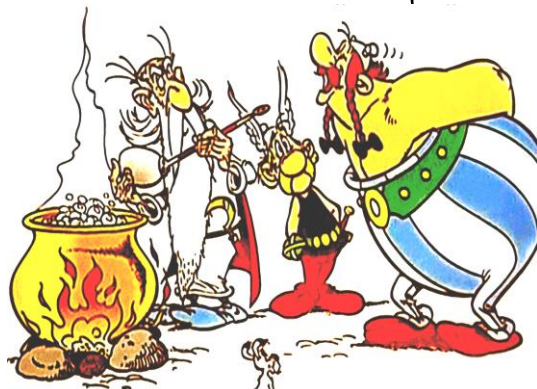
8. Как зовут детектива, который расследовал дело о «собаке Баскервилей»?

**Задание 1. «Волшебный аромат».**

«Нет, Обеликс, я не дам тебе напиток, поскольку ты еще в детстве упал в котел с этим волшебным зельем».

Панорамикс

В хорошо знакомых многим произведениях о борьбе римлян с неуступчивыми галлами главными героями являются Астерикс и его лучший друг Обеликс. Неоднократно этим двум персонажам на помощь приходил друид Панорамикс, искусно варивший чудодейственное зелье с очень приятным ароматом, дающее исключительную силу тому, кто его выпил. Прошло много лет, рецепт приготовления этого зелья был безвозвратно утрачен...



Одним из веществ, придающим тот самый приятный аромат чудодейственному зелью, могло быть соединение **X**, имеющее запах груши. Сегодня волшебники-химики без особых сложностей могут синтезировать это вещество! В лаборатории **X** обычно получают нагреванием изоамилового спирта (3-метилбутанол-1) с безводной (ее называют "ледяной") предельной одноосновной органической кислотой **Y** в присутствии тяжелой маслянистой минеральной кислоты **Z**.

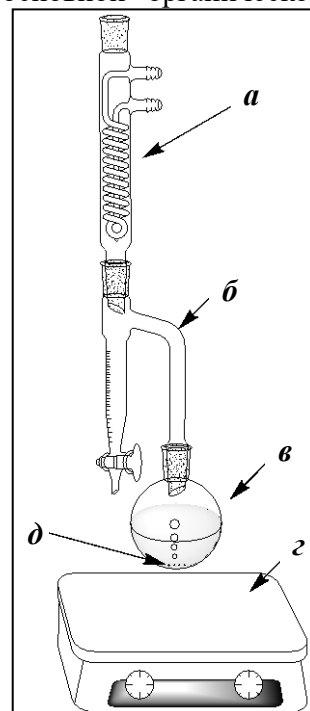
1. Приведите структурные формулы изоамилового спирта, соединения **X** и кислоты **Y**, если известно, что плотность паров **X** по воздуху составляет около 4,5. Ответ подтвердите соответствующими расчетами. Назовите вещества **X** и **Y**.
2. Предложите формулу минеральной кислоты **Z**, которую обычно используют для синтеза **X**. Какова роль этой кислоты в упомянутой реакции?
3. Как называется реакция, описанная выше в качестве способа получения **X**?
4. Почему безводная кислота **Y** называется "ледяной"?

Описанную реакцию получения **X** в лаборатории обычно проводят в установке, изображенной на рисунке справа.

5. Приведите названия отдельных частей изображенной установки (детали **a**, **б**, **в** и **г**), которые обычно используют профессиональные химики. Как называют в химии кусочки пористой керамики **д**, которые добавляют в сосуд **в**. Какую функцию они выполняют?

Для получения **X** в сосуд **в** поместили смесь, состоящую из 163,0 мл изоамилового спирта ($\rho = 0,81 \text{ г/см}^3$), 57,1 мл "ледяной" кислоты **Y** ($\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$) и ~1 мл минеральной кислоты **Z**. Смесь тщательно перемешали и кипятили в течение ~8 ч. После окончания нагревания в мерной части сосуда **б** собралось 15 мл воды.

6. Рассчитайте выход (в %) и массу **X** (в г), образовавшегося в сосуде **в**.

**Задание 2. «Магнитка».**

Магнитогорск – город трудовой доблести и славы, являющийся одним из крупнейших мировых центров черной металлургии. Город был основан в 1929 году у подножия горы Магнитной. Одновременно с основанием города началось и строительство Магнитогорского металлургического комбината (ММК), главным источником руды для которого более 50 лет являлась эта гора. Основным полезным минералом месторождения горы Магнитной был магнетит (магнитный железняк), содержащий 72,36 % железа (здесь и далее в задаче масс. %).



1. Установите химическую формулу магнетита (ответ подтвердите расчетом). Какой класс неорганических веществ он представляет?

Руда с месторождения поступала на обогащательную фабрику, где она дробилась и обогащалась методом магнитной сепарации. В этом методе в магнитном поле происходит отделение магнитных минералов (магнетита и пирротина) от основной части немагнитных (пустой породы). Известно, что пирротин состоит из двух элементов и содержит 63,57 % железа.

Магнитная фракция обогащения железных руд называется «концентрат», а немагнитная – «хвосты». По результатам химанализа некоторая партия концентрата содержала 60,5 % железа и 0,5 % «вредной примеси» (это тот самый второй элемент пирротина).

2. Считая, что в концентрате нет других веществ, содержащих железо и второй элемент пирротина, вычислите массовые доли пирротина и магнетита в партии концентрата, подвергнутой анализу.

3. Определите расчётом химическую формулу пирротина. К какому классу соединений он относится?

4. Напишите уравнения реакций, происходящих при обработке магнетита и пирротина: а) горячей соляной кислотой; б) горячей концентрированной азотной кислотой.

На самом деле в концентрат из руды частично переходит и пустая порода, внося в его состав силикаты, алюмосиликаты и другие минералы, содержащие Al, Si, Ca, Mg. В металлургии содержание элементов принято представлять в виде массовых долей их оксидов.

5. Запишите формулы мета- и ортосиликатов кальция, диортосиликата алюминия, метаалюмината магния (этот минерал называется «шпинель»). Напишите уравнения реакций, происходящих при обработке диортосиликата алюминия и метаалюмината магния: а) горячей соляной кислотой; б) избытком горячего раствора натриевой щелочи.

Концентрат представляет собой мелкодисперсный порошок, который без окомкования нельзя загружать в доменную печь. Способ окомкования, который применяется на ММК, называется «агломерация». В процессе агломерации концентрат смешивается с карбонатом кальция и топливом – «коксом» (мелкораздробленный кокс, в основном состоящий из углерода). Полученная смесь (аглошихта) подаётся в агломерационную машину. В машине смесь поджигается с поверхности и за счёт просасывания воздуха сверху вниз спекается во всём объёме в агломерационный «пирог», так как в зоне горения развивается температура более 1100 °С. Пирог при выходе из машины дробится на крупные куски, которые называются «агломерат». В процессе агломерации решаются две задачи: во-первых, получить прочный крупный кусок, во-вторых, получить заданную основность. Основностью агломерата (**В**) называют отношение содержания CaO к содержанию SiO₂ в массовых процентах.

6. Напишите уравнение реакции термического разложения карбоната кальция. Вычислите массу известняка, содержащего 100 % карбоната кальция, которую нужно добавить к 100 кг концентрата, содержащего 0,3 % CaO и 5,0 % SiO₂, для получения агломерата с основностью **В** = 1,7. В расчёте примите, что во время процесса агломерации масса самого концентрата не меняется, а карбонат кальция разлагается полностью.

7. Рассчитайте массу коксика, которую нужно добавить к 100 кг смеси концентрата с известняком, чтобы получить аглошихту с содержанием коксика 4,2 %. Напишите уравнение реакции горения коксика, за счёт которого в агломерационной машине поддерживается нужная температура.

8. Рассчитайте массу агломерата с основностью 1,7, который получится после загрузки в машину 100 кг концентрата и необходимых по расчетам масс известняка и коксика. Известно, что после сгорания коксика остается 12 % золы (неорганические соединения, не участвующие в процессе горения и полностью переходящие в агломерат).

Задание 3. «Водородная бомба».

«Такое оружие может разрабатываться только страной, у которой развиты наука и образование. У России этот потенциал есть».

Из послания В.В. Путина Федеральному собранию 1.03.2018.

В своем послании Федеральному собранию президент России Владимир Путин уделил большое внимание вопросам национальной безопасности, укреплению боеспособности Вооруженных сил, оснащению их современным и перспективным вооружением. Верховный главнокомандующий рассказал об успешных испытаниях новейших типов оружия и подчеркнул, что ни у кого нет такого оружия, как у России. «Надеюсь, что сказанное сегодня отрезвит любого агрессора», — добавил он. И действительно, группа сенаторов США



уже через несколько дней призвала Госдепартамент незамедлительно приступить к новому раунду переговоров с Москвой по стратегической стабильности, несмотря на имеющиеся разногласия.

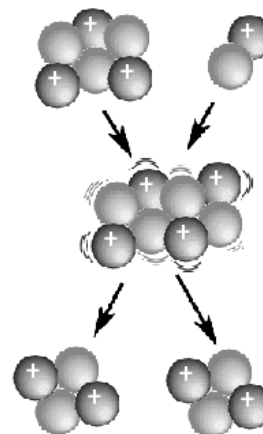
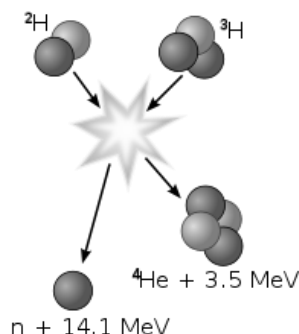
Несмотря на то, что самой разрушительной силой вот уже более 70 лет является ядерное оружие, в истории человечества есть только два примера его использования в военных целях. В августе 1945 г США сбросили по одной атомной бомбе на японские города Хиросиму и Нагасаки с целью ускорить капитуляцию Японии во второй мировой войне. Принцип действия этих бомб основан на цепной реакции деления тяжелых атомных ядер на более легкие под действием быстрых нейтронов:



Спустя 7 лет в США было испытано еще более мощное, т. н. термоядерное взрывное устройство. Основным источником энергии в нем служила именно та реакция, которая постоянно происходит в недрах Солнца, причем это уже не распад, а синтез более тяжелого ядра из двух легких. Еще через год советские ученые, опередив американцев, первыми нашли техническое решение, позволившее создать на основе этой реакции и в августе 1953 г испытать настоящую бомбу.

Самой крупной испытанной «водородной бомбой» (чаще всего ее называют именно так) до сих пор остается советская 50-Мт «царь-бомба», взорванная 30.10.1961 на полигоне архипелага Новая Земля. Ударная волна после ее взрыва трижды обогнула земной шар! Для сравнения: бомба, сброшенная на Хиросиму, имела мощность 15 кт.

Для создания водородной бомбы ядерщиками из СССР был использован не сам водород. Действующим компонентом термоядерных боеприпасов являлось *изотопно-чистое* вещество **X** (${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$). Оно представляет собой бесцветные нерадиоактивные кристаллы, спокойно реагирует с водой [реакция 1], бурно – с соляной кислотой [2], в обоих случаях выделяется газ **Y** с плотностью по воздуху 0,103. На воздухе **Y** горит [3] с образованием паров **Z**, конденсирующихся в жидкость при температуре чуть выше 100 °С, замерзающую при температуре около 2 °С. Вещество **X** тоже горит [4], окрашивая пламя в красный цвет, при нагревании в вакууме до ~850 °С разлагается [5]. Однако при облучении быстрыми нейтронами изотоп ${}^6_3\text{Li}$ превращается в изотоп ${}^3_1\text{H}$, который в условиях крайне высоких давлений и температур дает «солнечную» термоядерную реакцию с имеющимся «под рукой» ядром ${}^2_1\text{H}$. Необходимые для протекания этих двух последовательных реакций условия (свободные ${}^1_0\text{n}$, высокие t и p) создавались подрывом ядерного заряда в ограниченном объеме.



1. Вставьте символ ядра, пропущенного в цепной реакции деления ${}^{235}\text{U}$. Во сколько раз мощность «царь-бомбы» превысила мощность взрыва над Хиросимой?
2. Приведите собственные названия изотопов ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$ и ${}^3\text{H}$, а также символы изотопов ${}^2\text{H}$ и ${}^3\text{H}$.
3. Установите формулы газа **Y** и жидкости **Z**. Приведите названия веществ **X**, **Y** и **Z**.
4. Напишите уравнения реакций [1] – [5].
5. Известно, что при нагревании вещество **X** способно реагировать с такими газами, как хлор, аммиак, диборан и даже азот. Напишите уравнения этих реакций.
6. Напишите уравнение термоядерной реакции, являющейся основным источником энергии Солнца, а также суммарное уравнение реакции, происходящей с веществом ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$ во время взрыва боеприпаса. Если ничего не получается, еще раз внимательно перечитайте условие.
7. Как называются частицы ${}^4_2\text{He}$, выделяющиеся в ядерных реакциях? Какими, по Вашему мнению, химическими свойствами они обладают?
8. Назовите фамилию, имя и отчество советского ученого-физика, одного из создателей первой водородной бомбы, ставшего академиком в 32 года, трижды(!) Героя Социалистического Труда, впоследствии известного правозащитника и лауреата Нобелевской премии мира.

Задание 4. «Собака Баскервиль».

Одно из самых громких дел частного детектива, вымышленного сэром Артуром Конан Дойлем, называлось «собака Баскервиль». Злоумышленник смертельно напугал своего дядю «призраком собаки», измазав морду большого пса светящимся составом. По одной из самых распространенных версий состав являлся ничем иным, как простым веществом **A**, образованным элементом **X**. В природе элемент **X** встречается только в составе минералов. Один из них, фторапатит имеет состав $\text{Ca}_5(\text{XO}_4)_3\text{F}$, массовая доля элемента **X** в нем составляет 18,45 %.



1. Установите элемент **X** (ответ подтвердите расчетом). Почему **X** не встречается в природе в самородном виде?

Простое вещество **A** при взаимодействии с кислородом воздуха медленно окисляется, при этом часть энергии, выделяющейся в реакции, излучается в виде света. Такое явление называется хемилюминесценцией.

2. Напишите уравнение реакции окисления **A** на воздухе. Как бы Вы предложили хранить вещество **A**, чтобы избежать его окисления?

Вещество **A** является крайне ядовитым. Возвращаясь к повести Конан Дойля, смертельная доза **A** для собак составляет 0,05-0,15 г по различным источникам. Разумеется, данные приводятся для пероральной дозы, однако следует помнить, что собака умывается с помощью своего языка.

3. Оцените массу **A**, которая потребуется для покрытия морды собаки и сделайте вывод о возможности применения **A** в качестве светящегося состава без риска для жизни животного.

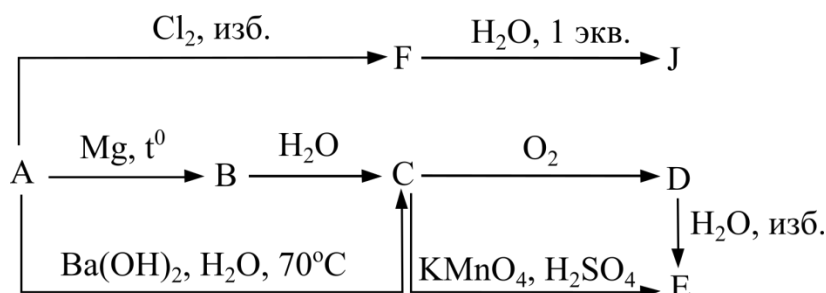
Данные для оценки: морду пса можно считать кругом с радиусом 10 см, минимальная толщина слоя **A** на морде – 0,1 см, плотность **A** составляет 1,82 г/см³. Так же можно считать, что пёс слижет за один час как минимум 10 % вещества **A**, находящегося у него на морде.

4. Считая скорость слизывания равномерной, определите время, за которое собака съест летальную дозу **A** (принять равной 0,15 г). Если, на Ваш взгляд, на морде собаки недостаточно **A**, можете считать, что злоумышленник наносил вещество **A** более толстым слоем (1 см).

Получить вещество **A** можно, прокалив смесь фторапатита, песка и угля.

5. Напишите уравнение реакции получения вещества **A** описанным выше способом.

Химия элемента **X** весьма разнообразна. Небольшую её часть отражает схема, приведённая ниже:

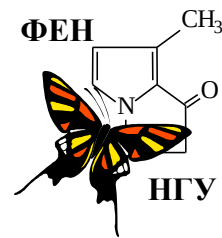


6. Напишите формулы веществ **B-J** и уравнения всех реакций, приведенных на схеме (всего 8).

Вещество **D** способно возгоняться при нагревании с сохранением структуры. Плотность газа, образующегося при возгонке, составляет 9,79 по воздуху.

7. К какому типу превращений относится возгонка? Изобразите структурную формулу вещества **D** в газовой фазе.

8. Как зовут детектива, который расследовал дело о «собаке Баскервиль»?

**Задание 1. «Буратино и углекислый газ».**

Отчаявшись пробудить в Буратино интерес к учебе простыми наставлениями, Мальвина, Артемон и Пьеро решили провести для деревянного мальчика демонстрационный урок естествознания, включив в него элементы математики, физики и химии. Пробравшись в лабораторию известного любителя естествознания Дуремара, друзья обнаружили там баллон с углекислым газом, ведро с известковой водой, весы, посуду, шланги и прочее оборудование.



Умелец Артемон присоединил к баллону с углекислым газом резиновый шланг со стеклянной трубкой, опустил трубку в воду и так отрегулировал подачу газа, что каждую секунду из трубки в воду выходило три пузырька газа. «Видишь, Буратино, скорость подачи газа через нашу трубку составляет ровно 3 пузырька в секунду», – довольно сказал пес. «Не путай меня, скорость измеряется в километрах в час, я это знаю точно», – гордо заявил Буратино, легко обгоняющий любую из кукол на своих деревянных ногах. «Скорость бывает самая разная, – вмешался в их диалог зануда Пьеро. – Например, скорость подачи газа можно измерять как в пузырьках, так и в объемах газа, в числе его молекул или атомов, в граммах, и даже в молях газа, прошедших через трубку в единицу времени».

1. Помогите Пьеро вразумить Буратино, вычислите скорость прохождения углекислого газа через трубку в других единицах: а) миллилитрах в секунду; б) молекулах в секунду; в) атомах в минуту; г) граммах в час; д) молях газа в сутки.

Примечание: один моль любого газа в условиях эксперимента ($p = 1$ атм, $t = 20^\circ\text{C}$) занимает объем 24,0 л, диаметр пузырька примите равным 0,5 см, объем шара равен $\frac{4}{3}\pi r^3$.

Пока друзья спорили, Мальвина взяла сухую коническую колбу с пробкой общим объемом 0,36 л и взвесила ее. Вынула стеклянную трубку из воды, тщательно высушила ее полотенцем и опустила на дно колбы, начав пропускать в нее газ из баллона. «А что, Буратино, – загадочно улыбнулась Мальвина, – сможешь посчитать, сколько времени я собралась пропускать газ в эту колбу»? Буратино обиженно засопел и засел за расчеты, потратив на них неоправданно много времени. Каково же было его удивление, когда он оторвал голову от записей и увидел, что газ по-прежнему пропускают в колбу, несмотря на то, что времени прошло даже больше, чем получилось в его расчетах. Мальвина проверила расчеты и похвалила Буратино, но нудный Пьеро отказался прекращать эксперимент. Он аккуратно вынул трубку, закрыл колбу пробкой и взвесил ее. Записав массу, он снова опустил трубку в колбу и продолжил пропускать газ, каждые 3-4 мин вынимая трубку, закрывая колбу пробкой и снова взвешивая ее. Буратино даже проснулся, когда Пьеро громко и радостно закричал: «Вот, теперь достаточно!»

2. Вычислите минимальное время, за которое колба может полностью заполниться углекислым газом. Почему на практике эксперимент проводят заметно дольше и сколько раз взвешивают колбу с газом? Почему не обходятся одним взвешиванием?

3. Рассчитайте массу колбы с пробкой, полностью заполненной углекислым газом, если известно, что пустая колба с воздухом, закрытая пробкой, весит 412,555 г.

После того, как Пьеро, наконец, оторвался от колбы, Мальвина зажгла свечу, поднесла к ней колбу, вынула пробку и перевернула колбу над свечой. «Ух, ты», – оживился Буратино.

4. Что наблюдали друзья в этом опыте и какова причина этого эффекта?

Затем Артемон опустил трубку от баллона с газом в небольшую стеклянную колбочку, содержащую 100 мл известковой воды. «Стало совсем интересно», – удивился Буратино и подошел поближе к колбе, чтобы внимательно наблюдать за происходящим внутри нее чудом. Решив совсем заинтриговать его, лукавый Пьеро отвлек Буратино, предложив закончить уравнение реакции гидроксида кальция с углекислым газом. Несчастный Буратино лишь недоуменно таращился на набор непонятных символов, обозначающих реагенты. «А, может, ты и не видел ничего»? – расхохотался Артемон, возвращая внимание Буратино к реакционной колбе, в которой происходило что-то уж совсем непонятное. Дождавшись окончания превращений, восторженный Буратино сказал, что он тоже хочет ощущать себя

волшебником, поэтому обязательно начнет изучать химию. В ответ его друзья добродушно улыбнулись и пообещали помочь ему с этим делом (а также с математикой, физикой и другими науками, без которых изучение химии определенно невозможно).

5. Какие эффекты Буратино наблюдал в колбе с известковой водой при длительном пропускании через нее углекислого газа? Напишите уравнения реакций.

6. В 1 л известковой воды содержится 1,6 г гашеной извести. Сколько времени Артемону надо было пропускать углекислый газ в колбочку для максимального проявления первого эффекта? Какое минимальное время потребуется, чтобы увидеть окончание второго эффекта?

Пора уже продемонстрировать Буратино и Ваш высокий класс. Попробуйте самостоятельно выполнить пункты 7 и 8 задания, не дожидаясь подсказок от наших героев.

7. Из перечисленного списка веществ: оксид бария, уголь (при нагревании), соляная кислота, оксид азота(II), хлор, аммиак (водный раствор), оксид натрия, оксид меди(II), хлорид кальция (водный раствор), металлический магний (при нагревании), гидроксид цезия, сера (при нагревании): а) Выберите и укажите вещества, с которыми углекислый газ не реагирует; б) Выберите и укажите вещества, с которыми углекислый газ реагирует, и напишите уравнения реакций.

8. Приведите один лабораторный способ получения углекислого газа (уравнение реакции) и два примера его использования для народнохозяйственных нужд.

Задание 2. «Магнитка».

Магнитогорск – город трудовой доблести и славы, являющийся одним из крупнейших мировых центров черной металлургии. Город был основан в 1929 году у подножия горы Магнитной. Одновременно с основанием города началось и строительство Магнитогорского металлургического комбината (ММК), главным источником руды для которого более 50 лет являлась эта гора. Основным полезным минералом месторождения горы Магнитной был магнетит (магнитный железняк), содержащий 72,36 % железа и кислород (здесь и далее в задаче масс. %).

1. Установите химическую формулу магнетита (ответ подтвердите расчетом). Какой класс неорганических веществ он представляет?

Руда с месторождения поступала на обогатительную фабрику, где она дробилась и обогащалась методом магнитной сепарации. В этом методе в магнитном поле происходит отделение магнитных минералов (магнетита и пирротина) от основной части немагнитных (пустой породы). Известно, что пирротин состоит из тех же двух элементов, что и минерал пирит, и содержит 63,57 % железа.

Магнитная фракция обогащения железных руд называется «концентрат», а немагнитная – «хвосты». По результатам химанализа некоторая партия концентрата содержала 60,5 % железа и 0,5 % «вредной примеси» (это тот самый второй элемент пирротина).

2. Считая, что в концентрате нет других веществ, содержащих железо и второй элемент пирротина, вычислите массовые доли пирротина и магнетита в партии концентрата, подвергнутой анализу.

3. Определите расчётом химическую формулу пирротина. К какому классу соединений он относится?

4. Напишите уравнения реакций, происходящих при обработке магнетита и пирротина: а) горячей соляной кислотой; б) горячей концентрированной азотной кислотой.

На самом деле в концентрат из руды частично переходит и пустая порода, внося в его состав силикаты, алюмосиликаты и другие минералы, содержащие Al, Si, Ca, Mg. В металлургии содержание элементов принято представлять в виде массовых долей их оксидов.

5. Запишите формулы мета- и ортосиликатов кальция, диортосиликата алюминия, метаалюмината магния (этот минерал называется «шпинель»). Рассчитайте содержание CaO в чистых мета- и ортосиликатах кальция. Напишите уравнения реакций, происходящих при обработке ортосиликата кальция и метаалюмината магния: а) горячей соляной кислотой; б) избытком горячего раствора натриевой щелочи.

Концентрат представляет собой мелкодисперсный порошок, который без окомкования нельзя загружать в доменную печь. Способ окомкования, который применяется на ММК, называется «агломерация». В процессе агломерации концентрат смешивается с карбонатом кальция и топливом – «коксом» (мелкоизмельченный кокс, в основном состоящий из углерода). Полученная смесь (аглошихта) подаётся в агломерационную машину. В машине смесь поджигается с поверхности и за счёт просасывания воздуха сверху вниз спекается во всём объёме в агломерационный «пирог», так как в зоне горения развивается температура более 1100 °С. Пирог при выходе из машины дробится на крупные куски, которые называются «агломерат». В процессе агломерации решаются две задачи: во-первых, получить прочный крупный кусок, во-вторых, получить заданную основность. Основностью агломерата (В) называют отношение содержания CaO к содержанию SiO₂ в массовых процентах.



6. Напишите уравнение реакции термического разложения карбоната кальция. Вычислите массу известняка, содержащего 100 % карбоната кальция, которую нужно добавить к 100 кг концентрата, содержащего 0,3 % CaO и 5,0 % SiO₂, для получения агломерата с основностью **В** = 1,7. В расчёте примите, что во время процесса агломерации масса самого концентрата не меняется, а карбонат кальция разлагается полностью.

7. Рассчитайте массу коксика, которую нужно добавить к 100 кг смеси концентрата с известняком, чтобы получить аглошихту с содержанием коксика 4,2 %. Напишите уравнение реакции горения коксика, за счет которого в агломерационной машине поддерживается нужная температура.

Задание 3. «Водородная бомба».

«Такое оружие может разрабатываться только страной, у которой развиты наука и образование. У России этот потенциал есть».

Из послания В.В. Путина Федеральному собранию 1.03.2018.

В своем послании Федеральному собранию президент России Владимир Путин уделил большое внимание вопросам национальной безопасности, укреплению боеспособности Вооруженных сил, оснащению их современным и перспективным вооружением. Верховный главнокомандующий рассказал об успешных испытаниях новейших типов оружия и подчеркнул, что ни у кого нет такого оружия, как у России. «Надеюсь, что сказанное сегодня отрезвит любого агрессора», — добавил он. И действительно, группа сенаторов США уже через несколько дней призвала Госдепартамент незамедлительно приступить к новому раунду переговоров с Москвой по стратегической стабильности, несмотря на имеющиеся разногласия.

Несмотря на то, что самой разрушительной силой вот уже более 70 лет является ядерное оружие, в истории человечества есть только два примера его использования в военных целях. В августе 1945 г США сбросили по одной атомной бомбе на японские города Хиросиму и Нагасаки с целью ускорить капитуляцию Японии во второй мировой войне. Принцип действия этих бомб основан на цепной реакции деления тяжелых атомных ядер на более легкие под действием быстрых нейтронов:



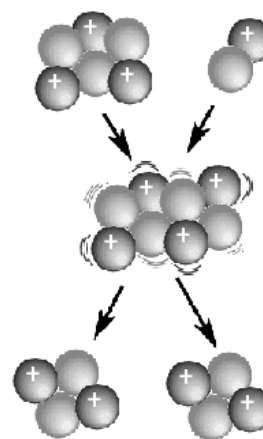
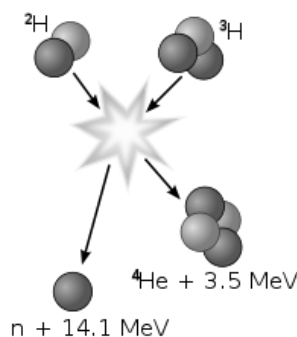
Спустя 7 лет в США было испытано еще более мощное, т. н. термоядерное взрывное устройство. Основным источником энергии в нем служила именно та реакция, которая постоянно происходит в недрах Солнца, причем это уже не распад, а синтез более тяжелого ядра из двух легких. Еще через год советские ученые, опередив американцев, первыми нашли техническое решение, позволившее создать на основе этой реакции и в августе 1953 г испытать настоящую бомбу.

Самой крупной испытанной «водородной бомбой» (чаще всего ее называют именно так) до сих пор остается советская 50-Мт «царь-бомба», взорванная 30.10.1961 на полигоне архипелага Новая Земля. Ударная волна после ее взрыва трижды обогнула земной шар! Для сравнения: бомба, сброшенная на Хиросиму, имела мощность 15 кт.

Для создания водородной бомбы ядерщиками из СССР был использован не сам водород. Действующим компонентом термоядерных боеприпасов являлось изотопно-чистое вещество **X** (${}_3^6\text{Li}^2\text{H}$). Оно представляет собой бесцветные нерадиоактивные кристаллы, спокойно реагирует с водой [реакция 1], бурно – с соляной кислотой [2], в обоих случаях выделяется газ **Y** с плотностью по воздуху 0,103. На воздухе **Y** горит [3] с образованием паров **Z**, конденсирующихся в жидкость при температуре чуть выше 100 °С, замерзающую при температуре около 2 °С. Вещество **X** тоже горит [4], окрашивая пламя в красный цвет, при нагревании в вакууме до ~850 °С разлагается [5]. Однако при облучении быстрыми нейтронами изотоп ${}_3^6\text{Li}$ превращается в изотоп ${}_1^3\text{H}$, который в условиях крайне высоких давлений и температур дает «солнечную» термоядерную реакцию с имеющимся «под рукой» ядром ${}_1^2\text{H}$. Необходимые для протекания этих двух последовательных реакций условия (свободные ${}_0^1\text{n}$, высокие t и p) создавались подрывом ядерного заряда в ограниченном объеме.

1. Вставьте символ ядра, пропущенного в цепной реакции деления ${}^{235}\text{U}$. Во сколько раз мощность «царь-бомбы» превысила мощность взрыва над Хиросимой?

2. Приведите собственные названия изотопов ${}_1^1\text{H}$, ${}_1^2\text{H}$ и ${}_1^3\text{H}$, а также символы изотопов ${}_1^2\text{H}$ и ${}_1^3\text{H}$.



3. Установите формулы газа **Y** и жидкости **Z**. Приведите названия веществ **X**, **Y** и **Z**.
4. Напишите уравнения реакций [1] – [5].
5. Напишите уравнение термоядерной реакции, являющейся основным источником энергии Солнца, а также суммарное уравнение реакции, происходящей с веществом ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$ во время взрыва боеприпаса. Если ничего не получается, еще раз перечитайте условие и внимательно посмотрите на иллюстрации к задаче.
6. Как называются частицы ${}^4_2\text{He}$, выделяющиеся в ядерных реакциях? Какими, по Вашему мнению, химическими свойствами они обладают?
7. Назовите фамилию, имя и отчество советского ученого-физика, одного из создателей первой водородной бомбы, ставшего академиком в 32 года, трижды(!) Героя Социалистического Труда, впоследствии известного правозащитника и лауреата Нобелевской премии мира.

Задание 4. «Собака Баскервиль».

Одно из самых громких дел частного детектива, вымышленного сэром Артуром Конан Дойлем, называлось «собака Баскервиль». Злоумышленник смертельно напугал своего дядю «призраком собаки», измазав морду большого пса светящимся составом. По одной из самых распространенных версий состав являлся ничем иным, как простым веществом **A**, образованным элементом **X**. В природе элемент **X** встречается только в составе минералов. Один из них, фторапатит имеет состав $\text{Ca}_5(\text{XO}_4)_3\text{F}$, массовая доля элемента **X** в нем составляет 18,45 %.



1. Установите элемент **X** (ответ подтвердите расчетом). Почему **X** не встречается в природе в самородном виде?

Известно, что элемент **X** может образовывать несколько аллотропных модификаций, одной из которых является вещество **A**.

2. Назовите три самые известные аллотропные модификации элемента **X**. Какая из них является наиболее химически активной?

Простое вещество **A** при взаимодействии с кислородом воздуха медленно окисляется, при этом часть энергии, выделяющейся в реакции, излучается в виде света. Такое явление называется хемилюминесценцией.

3. Напишите уравнение реакции окисления **A** на воздухе. Как бы Вы предложили хранить вещество **A**, чтобы избежать его окисления?

Вещество **A** является крайне ядовитым. Возвращаясь к повести Конан Дойля, смертельная доза **A** для собак составляет 0,05-0,15 г по различным источникам. Разумеется, данные приводятся для пероральной дозы, однако следует помнить, что собака умывается с помощью своего языка.

4. Оцените массу **A**, которая потребуется для покрытия морды собаки и сделайте вывод о возможности применения **A** в качестве светящегося состава без риска для жизни животного.

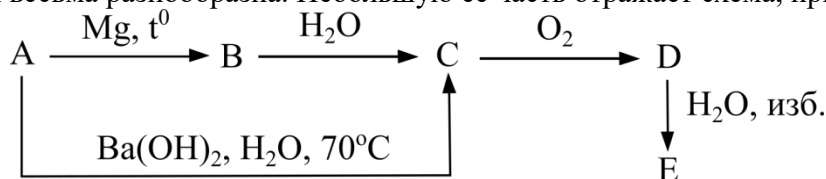
Данные для оценки: морду пса можно считать кругом с радиусом 10 см, минимальная толщина слоя **A** на морде – 0,1 см, плотность **A** составляет 1,82 г/см³. Так же можно считать, что пёс слизет за один час как минимум 10 % вещества **A**, находящегося у него на морде.

5. Считая скорость слизывания равномерной, определите время, за которое собака съест летальную дозу **A** (принять равной 0,15 г). Если, на Ваш взгляд, на морде собаки недостаточно **A**, можете считать, что злоумышленник наносил вещество **A** более толстым слоем (1 см).

Получить вещество **A** можно, прокалив смесь фторапатита, песка и угля.

6. Напишите уравнение реакции получения вещества **A** описанным выше способом.

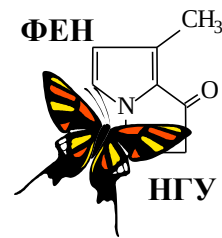
Химия элемента **X** весьма разнообразна. Небольшую её часть отражает схема, приведённая ниже:



7. Напишите формулы веществ **B-E** и уравнения всех реакций, приведенных на схеме. Дополнительно известно, что бинарное вещество **C** содержит элемент **X** в его низшей степени окисления, а вещества **D** и **E** — в высшей.

8. Изобразите структурные формулы веществ **D** и **E**.

9. Как зовут детектива, который расследовал дело о «собаке Баскервиль»?

**Задание 1. «Буратино и углекислый газ».**

Отчаявшись пробудить в Буратино интерес к учебе простыми наставлениями, Мальвина, Артемон и Пьеро решили провести для деревянного мальчика демонстрационный урок естествознания, включив в него элементы математики, физики и химии. Пробравшись в лабораторию известного любителя естествознания Дуремара, друзья обнаружили там баллон с углекислым газом, ведро с известковой водой, весы, посуду, шланги и прочее оборудование.



Умелец Артемон присоединил к баллону с углекислым газом резиновый шланг со стеклянной трубкой, опустил трубку в воду и так отрегулировал подачу газа, что каждую секунду из трубки в воду выходило три пузырька газа. «Видишь, Буратино, скорость подачи газа через нашу трубку составляет ровно 3 пузырька в секунду», – довольно сказал пес. «Не путай меня, скорость измеряется в километрах в час, я это знаю точно», – гордо заявил Буратино, легко обгоняющий любую из кукол на своих деревянных ногах. «Скорость бывает самая разная, – вмешался в их диалог зануда Пьеро. – Например, скорость подачи газа можно измерять как в пузырьках, так и в объемах газа, в числе его молекул или атомов, в граммах, и даже в молях газа, прошедших через трубку в единицу времени».

1. Помогите Пьеро вразумить Буратино, вычислите скорость прохождения углекислого газа через трубку в других единицах: а) миллилитрах в секунду; б) молекулах в секунду; в) атомах в минуту; г) граммах в час; д) молях газа в сутки.

Примечание: один моль любого газа в условиях эксперимента ($p = 1$ атм, $t = 20^\circ\text{C}$) занимает объем 24,0 л, диаметр пузырька примите равным 0,5 см, объем шара равен $\frac{4}{3}\pi r^3$.

Пока друзья спорили, Мальвина взяла сухую коническую колбу с пробкой общим объемом 0,36 л и взвесила ее. Вынула стеклянную трубку из воды, тщательно высушила ее полотенцем и опустила на дно колбы, начав пропускать в нее газ из баллона. «А что, Буратино, – загадочно улыбнулась Мальвина, – сможешь посчитать, сколько времени я собралась пропускать газ в эту колбу»? Буратино обиженно засопел и засел за расчеты, потратив на них неоправданно много времени. Каково же было его удивление, когда он оторвал голову от записей и увидел, что газ по-прежнему пропускают в колбу, несмотря на то, что времени прошло даже больше, чем получилось в его расчетах. Мальвина проверила расчеты и похвалила Буратино, но нудный Пьеро отказался прекращать эксперимент. Он аккуратно вынул трубку, закрыл колбу пробкой и взвесил ее. Записав массу, он снова опустил трубку в колбу и продолжил пропускать газ, каждые 3-4 мин вынимая трубку, закрывая колбу пробкой и снова взвешивая ее. Буратино даже проснулся, когда Пьеро громко и радостно закричал: «Вот, теперь достаточно!»

2. Вычислите минимальное время, за которое колба может полностью заполниться углекислым газом. Почему на практике эксперимент проводят заметно дольше и сколько раз взвешивают колбу с газом? Почему не обходятся одним взвешиванием?

3. Рассчитайте массу колбы с пробкой, полностью заполненной углекислым газом, если известно, что пустая колба с воздухом, закрытая пробкой, весит 412,555 г.

После того, как Пьеро, наконец, оторвался от колбы, Мальвина зажгла свечу, поднесла к ней колбу, вынула пробку и перевернула колбу над свечой. «Ух, ты», – оживился Буратино.

4. Что наблюдали друзья в этом опыте и какова причина этого эффекта?

Затем Артемон опустил трубку от баллона с газом в небольшую стеклянную колбочку, содержащую 100 мл известковой воды. «Стало совсем интересно», – удивился Буратино и подошел поближе к колбе, чтобы внимательно наблюдать за происходящим внутри нее чудом. Решив совсем заинтриговать его, лукавый Пьеро отвлек Буратино, предложив закончить уравнение реакции гидроксида кальция с углекислым газом. Несчастный Буратино лишь недоуменно таращился на набор непонятных символов, обозначающих реагенты. «А, может, ты и не видел ничего»? – расхохотался Артемон, возвращая внимание Буратино к реакционной колбе, в которой происходило что-то уж совсем непонятное.

Дождавшись окончания превращений, восторженный Буратино сказал, что он тоже хочет ощущать себя волшебником, поэтому обязательно начнет изучать химию. В ответ его друзья добродушно улыбнулись и пообещали помочь ему с этим делом (а также с математикой, физикой и другими науками, без которых изучение химии определенно невозможно).

5. Какие эффекты Буратино наблюдал в колбе с известковой водой при длительном пропускании через нее углекислого газа? Напишите уравнения реакций.

6. В 1 л известковой воды содержится 1,6 г гашеной извести. Сколько времени Артемону надо было пропускать углекислый газ в колбочку для максимального проявления первого эффекта? Какое минимальное время потребуется, чтобы увидеть окончание второго эффекта?

Пора уже продемонстрировать Буратино и Ваш высокий класс. Попробуйте самостоятельно выполнить пункты 7 и 8 задания, не дожидаясь подсказок от наших героев.

7. Из перечисленного списка веществ: оксид бария, уголь (при нагревании), соляная кислота, оксид азота(II), кислород (при нагревании), оксид натрия, оксид меди(II), металлический магний (при нагревании): а) Выберите и укажите вещества, с которыми углекислый газ не реагирует; б) Выберите и укажите вещества, с которыми углекислый газ реагирует, и напишите уравнения реакций.

8. Приведите один лабораторный способ получения углекислого газа (уравнение реакции) и два примера его использования для народнохозяйственных нужд.

Задание 2. «Магнитка».

Магнитогорск – город трудовой доблести и славы, являющийся одним из крупнейших мировых центров черной металлургии. Город был основан

в 1929 году у подножия горы Магнитной. Одновременно с основанием города началось и строительство Магнитогорского металлургического комбината (ММК), главным источником руды для которого более 50 лет являлась эта гора. Основным полезным минералом месторождения горы Магнитной был магнетит (магнитный железняк), содержащий 72,36 % железа и кислород (здесь и далее в задаче масс. %).

1. Установите химическую формулу магнетита (ответ подтвердите расчетом). Какой класс неорганических веществ он представляет?

Руда с месторождения поступала на обогатительную фабрику, где она дробилась и обогащалась методом магнитной сепарации. В этом методе в магнитном поле происходит отделение магнитных минералов (магнетита и пирротина) от основной части немагнитных (пустой породы). Известно, что пирротин состоит из тех же двух элементов, что и минерал пирит, и содержит 63,57 % железа.

Магнитная фракция обогащения железных руд называется «концентрат», а немагнитная – «хвосты». По результатам химанализа некоторая партия концентрата содержала 60,5 % железа и 0,5 % «вредной примеси» (это тот самый второй элемент пирротина).

2. Считая, что в концентрате нет других веществ, содержащих железо и второй элемент пирротина, вычислите массовые доли пирротина и магнетита в партии концентрата, подвергнутой анализу.

3. Определите расчётом химическую формулу пирротина. К какому классу неорганических соединений он относится?

4. Напишите уравнения реакций, происходящих при раздельной обработке магнетита и пирротина горячей соляной кислотой.

На самом деле в концентрат из руды частично переходит и пустая порода, внося в его состав силикаты, алюмосиликаты и другие минералы, содержащие Al, Si, Ca, Mg. В металлургии содержание элементов принято представлять в виде массовых долей их оксидов.

5. Запишите формулы мета- и ортосиликатов кальция, метаалюмината магния (этот минерал называется «шпинель»). Рассчитайте содержание CaO в чистых мета- и ортосиликатах кальция. Напишите уравнения реакций, происходящих при раздельной обработке ортосиликата кальция и метаалюмината магния горячей соляной кислотой.

Концентрат представляет собой мелкодисперсный порошок, который без окомкования нельзя загружать в доменную печь. Способ окомкования, который применяется на ММК, называется «агломерация». В процессе агломерации концентрат смешивается с карбонатом кальция и топливом – «коксом» (мелкоизмельченный кокс, в основном состоящий из углерода). Полученная смесь (аглошихта) подаётся в агломерационную машину. В машине смесь поджигается с поверхности и за счёт просасывания воздуха сверху вниз спекается во всём объёме в агломерационный «пирог», так как в зоне горения развивается температура более 1100 °С. Пирог при выходе из машины дробится на крупные куски, которые называются «агломерат». В процессе агломерации решаются две задачи: во-первых,



получить прочный крупный кусок, во-вторых, получить заданную основность. Основностью агломерата (**В**) называют отношение содержания CaO к содержанию SiO_2 в массовых процентах.

6. Напишите уравнение реакции термического разложения карбоната кальция. Вычислите массу известняка, содержащего 100 % карбоната кальция, которую нужно добавить к 100 кг концентрата, содержащего 0,3 % CaO и 5,0 % SiO_2 , для получения агломерата с основностью **В** = 1,7. В расчёте примите, что во время процесса агломерации масса самого концентрата не меняется, а карбонат кальция разлагается полностью.

7. Рассчитайте массу коксика, которую нужно добавить к 100 кг смеси концентрата с известняком, чтобы получить аглошихту с содержанием коксика 4,2 %. Напишите уравнение реакции горения коксика, за счет которого в агломерационной машине поддерживается нужная температура.

Задание 3. «Водородная бомба».

«Такое оружие может разрабатываться только страной, у которой развиты наука и образование. У России этот потенциал есть».

Из послания В.В. Путина Федеральному собранию 1.03.2018.

В своем послании Федеральному собранию президент России Владимир Путин уделил большое внимание вопросам национальной безопасности, укреплению боеспособности Вооруженных сил, оснащению их современным и перспективным вооружением. Верховный главнокомандующий рассказал об успешных испытаниях новейших типов оружия и подчеркнул, что ни у кого нет такого оружия, как у России. «Надеюсь, что сказанное сегодня отрезвит любого агрессора», — добавил он. И действительно, группа сенаторов США уже через несколько дней призвала Госдепартамент незамедлительно приступить к новому раунду переговоров с Москвой по стратегической стабильности, несмотря на имеющиеся разногласия.

Несмотря на то, что самой разрушительной силой вот уже более 70 лет является ядерное оружие, в истории человечества есть только два примера его использования в военных целях. В августе 1945 г США сбросили по одной атомной бомбе на японские города Хиросиму и Нагасаки с целью ускорить капитуляцию Японии во второй мировой войне. Принцип действия этих бомб основан на цепной реакции деления тяжелых атомных ядер на более легкие под действием быстрых нейтронов:

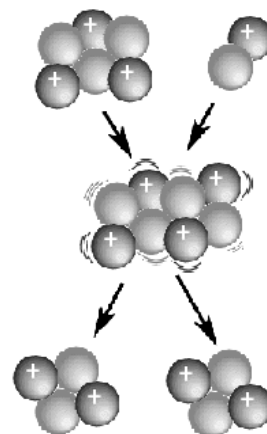
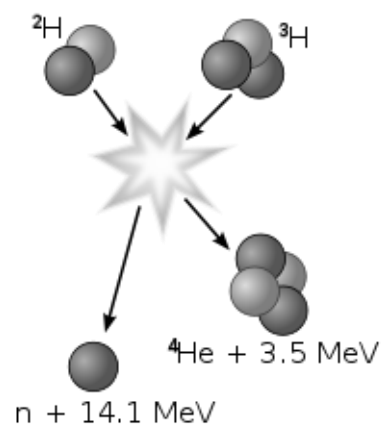


Спустя 7 лет в США было испытано еще более мощное, т. н. термоядерное взрывное устройство. Основным источником энергии в нем служила именно та реакция, которая постоянно происходит в недрах Солнца, причем это уже не распад, а синтез более тяжелого ядра из двух легких. Еще через год советские ученые, опередив американцев, первыми нашли техническое решение, позволившее создать на основе этой реакции и в августе 1953 г испытать настоящую бомбу.

Самой крупной испытанной «водородной бомбой» (чаще всего ее называют именно так) до сих пор остается советская 50-Мт «царь-бомба», взорванная 30.10.1961 на полигоне архипелага Новая Земля. Ударная волна после ее взрыва трижды обогнула земной шар! Для сравнения: бомба, сброшенная на Хиросиму, имела мощность 15 кт.

Для создания водородной бомбы ядерщиками из СССР был использован не сам водород. Действующим компонентом термоядерных боеприпасов являлось *изотопно-чистое* вещество **X** (${}_3^6\text{Li}^2\text{H}$).

Оно представляет собой бесцветные нерадиоактивные кристаллы, спокойно реагирует с водой [реакция 1], бурно – с соляной кислотой [2], в обоих случаях выделяется газ **Y** с плотностью по воздуху 0,103. На воздухе **Y** горит [3] с образованием паров **Z**, конденсирующихся в жидкость при температуре чуть выше 100 °С, замерзающую при температуре около 2 °С. Вещество **X** тоже горит [4], окрашивая пламя в красный цвет, при нагревании в вакууме до ~850 °С разлагается [5]. Однако при облучении быстрыми нейтронами изотоп ${}_3^6\text{Li}$ превращается в изотоп ${}_1^3\text{H}$, который в условиях крайне высоких давлений и температур дает «солнечную» термоядерную реакцию с имеющимся «под рукой» ядром ${}_1^2\text{H}$. Необходимые для протекания этих двух последовательных реакций условия (свободные ${}_0^1\text{n}$, высокие t и p) создавались подрывом ядерного заряда в ограниченном объеме.



1. Вставьте символ ядра, пропущенного в цепной реакции деления ^{235}U . Во сколько раз мощность «царь-бомбы» превысила мощность взрыва над Хиросимой?
2. Приведите собственные названия изотопов ^1H , ^2H и ^3H , а также символы, которыми обычно обозначают изотопы ^2H и ^3H .
3. Установите формулы газа **Y** и жидкости **Z**. Приведите названия веществ **X**, **Y** и **Z**.
4. Напишите уравнения реакций [1] – [5].
5. Напишите уравнение термоядерной реакции, являющейся основным источником энергии Солнца, а также суммарное уравнение реакции, происходящей с веществом $^6_3\text{Li}^2\text{H}$ во время взрыва боеприпаса. Если ничего не получается, еще раз перечитайте условие и внимательно посмотрите на иллюстрации к задаче.
6. Назовите фамилию, имя и отчество советского ученого-физика, одного из создателей первой водородной бомбы, ставшего академиком в 32 года, трижды(!) Героя Социалистического Труда, впоследствии известного правозащитника и лауреата Нобелевской премии мира.

Задание 4. «Собака Баскервиль».

Одно из самых громких дел частного детектива, вымышленного сэром Артуром Конан Дойлем, называлось «собака Баскервиль». Злоумышленник смертельно напугал своего дядю «призраком собаки», измазав морду большого пса светящимся составом. По одной из самых распространенных версий состав являлся ничем иным, как простым веществом **A**, образованным элементом **X**. В природе элемент **X** встречается только в составе минералов. Один из них, фторапатит имеет состав $\text{Ca}_5(\text{XO}_4)_3\text{F}$, массовая доля элемента **X** в нем составляет 18,45 %.



1. Установите элемент **X** (ответ подтвердите расчетом). Почему **X** не встречается в природе в самородном виде?

Известно, что элемент **X** может образовывать несколько аллотропных модификаций, одной из которых является вещество **A**.

2. Назовите три самые известные аллотропные модификации элемента **X**. Какая из них является наиболее химически активной?

Простое вещество **A** при взаимодействии с кислородом воздуха медленно окисляется, при этом часть энергии, выделяющейся в реакции, излучается в виде света. Такое явление называется хемилюминесценцией.

3. Напишите уравнение реакции окисления **A** на воздухе. Как бы Вы предложили хранить вещество **A**, чтобы избежать его окисления?

Вещество **A** является крайне ядовитым. Возвращаясь к повести Конан Дойля, смертельная доза **A** для собак составляет 0,05-0,15 г по различным источникам. Разумеется, данные приводятся для пероральной дозы, однако следует помнить, что собака умывается с помощью своего языка.

4. Оцените массу **A**, которая потребуется для покрытия морды собаки и сделайте вывод о возможности применения **A** в качестве светящегося состава без риска для жизни животного.

Данные для оценки: морду пса можно считать кругом с радиусом 10 см, минимальная толщина слоя **A** на морде – 0,1 см, плотность **A** составляет $1,82 \text{ г/см}^3$. Так же можно считать, что пёс слизет за один час как минимум 10 % вещества **A**, находящегося у него на морде.

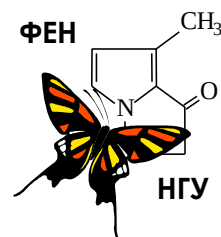
5. Считая скорость слизывания равномерной, определите время, за которое собака съест летальную дозу **A** (принять равной 0,15 г). Если, на Ваш взгляд, на морде собаки недостаточно **A**, можете считать, что злоумышленник наносил вещество **A** более толстым слоем (1 см).

Высший оксид элемента **X** (вещество **B**) при взаимодействии с водой образует кислоту **C**.

6. Напишите формулы веществ **B** и **C**, а так же уравнение реакции взаимодействия **B** с водой.
7. Изобразите структурные формулы веществ **B** и **C**.

Кислота **C** при взаимодействии с натриевой щелочью последовательно образует несколько разных солей (**D**, **E**, **F**).

8. Напишите уравнения реакций образования солей **D–F**. К какому классу относят вещества **D** и **E**?
9. Как зовут детектива, который расследовал дело о «собаке Баскервиль»?

**Задача 1.** (автор В. А. Емельянов).

1. Нитрат серебра – AgNO_3 – бесцветный раствор (1), сульфат меди – CuSO_4 – голубой раствор (2), бромат марганца – $\text{Mn}(\text{BrO}_3)_2$ – бледно-розовый раствор (3), перхлорат железа(III) – $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ – желто-коричневый раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1) $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$ или $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$;

(2) $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$ или $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$;

(3) – реакция не идет, так как марганец в ряду напряжений находится левее железа;

(4) $2\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3 + \text{Fe} = 3\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$ или $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$. Здесь ЮХ промахнулся – для сравнения надо было готовить раствор соли железа(II), тогда реакции бы не было. В нашем же случае идет классическая реакция о-в соотношения, поскольку $\text{Fe}(\text{III})$ довольно сильный окислитель.

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет Fe^{2+} , раствор (3) останется бледно-розовым. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$ г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$ г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль железа(III) растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$ г.

Система оценивания:

1. Формулы солей по 0,5 б., цвета исходных растворов по 0,5 б.	$0,5 \times 4 + 0,5 \times 4 = 4$ б.
2. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б. (если неверно записана только формула аниона, то за уравнение балл полный)	$1 \times 4 = 4$ б.
3. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б., кач. изменение массы по 0,5 б.	$0,5 \times 8 + 0,5 \times 4 = 6$ б.
4. Изменения масс пластинок по 2 б.	$2 \times 3 = 6$ б.
Всего	20 баллов

Задача 2. (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

1. Содержание меди в борните $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$ %, в халькопирите $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 64 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$ или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в $1 / 0,6331 = 1,580$ кг борнита и в $1 / 0,348 = 2,874$ кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше. Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему: $2,874 / 4,30 : 1,580 / 5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$. То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.

2. Уравнения реакций: а) $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$;

б) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{400-500^\circ\text{C}, \text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$; в) $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ разб.}} \text{H}_2\text{SO}_4$.

3. В 1 м^3 содержится $(10^2)^3 = 10^6 \text{ см}^3$. Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит $30 \cdot 1,836 \cdot 10^6 = 55,08 \cdot 10^6$ г или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне $0,96 \cdot 55,08 \cdot 10^6 \text{ г} = 52,88 \cdot 10^6$ г, ее количество $52,88 \cdot 10^6 / 98 = 5,40 \cdot 10^5$ моль.

Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е. $2,7 \cdot 10^5$ моль, а масса составит $120 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 32,4 \cdot 10^6$ г или 32,4 тонн.

4. При 100 % выходе руды потребуется $32,4 / 0,3 = 108$ тонн, при 90 % выходе $108 / 0,9 = 120$ тонн.

5. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой $100 - 41,15 - 35,44 = 23,41 \%$. Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: $\text{Fe} - 41,15/56 = 0,74$; $\text{S} - 35,44/32 = 1,11$; $\text{Cu} - 23,41/64 = 0,37$. Соотноситься между собой эти количества атомов будут, как $\text{Fe}:\text{S}:\text{Cu} = 0,74:1,11:0,37$. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах $2:3:1$. То есть, формула кубанита CuFe_2S_3 .

Борнит: $n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4$. Формула Cu_5FeS_4 .

Троилит: $w(\text{Fe}) + w(\text{S}) = 100 \%$. $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1$. Формула FeS .

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его $100 - 35,37 - 30,47 = 34,16 \%$. Проверим соотношение: $n(\text{Ag}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3$. Формула AgFe_2S_3 . Можно считать и по-другому, так, как далее для расвумита.

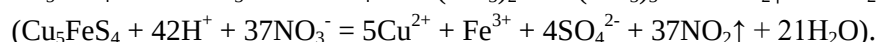
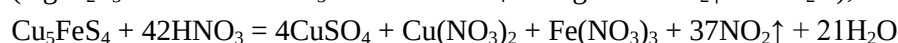
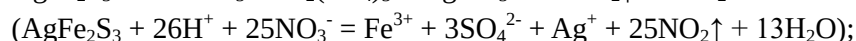
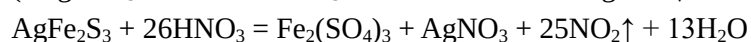
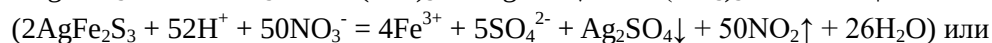
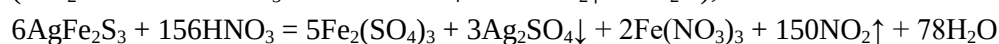
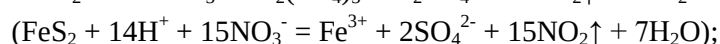
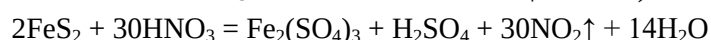
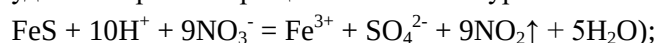
Расвумит: $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3$. $M_{\text{остатка}} = (2 \cdot 56/0,4522) - 2 \cdot 56 - 3 \cdot 32 = 39,7 \approx M_{\text{K}}$, тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты натрием и калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула KFe_2S_3 .

6. В пирите степень окисления железа +2, серы -1.

Аргентопирит: $\text{AgFe}_2\text{S}_3 = \text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{FeS} \cdot \text{FeS}_2$. Борнит: $\text{Cu}_5\text{FeS}_4 = \text{CuS} \cdot 2\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}$.

7. Уравнения реакций: $3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$ или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$ (Здесь и далее в продуктах засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям:



Система оценивания:

1. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	$1 \times 2 + 1 + 1 = 4 \text{ б.}$
2. Уравнения реакций по 1 б. (без условий по 0,5 б., точная t° не нужна)	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$
3. Количество серной кислоты 2 б., масса пирита 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
4. Масса руды 2 б.	2 б.
5. Общие формулы минералов по 2 б.	$2 \times 5 = 10 \text{ б.}$
6. Степени окисления в пирите по 1 б., формулы в виде комбинаций по 1 б.	$1 \times 2 + 1 \times 2 = 4 \text{ б.}$
7. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, но продукты в правильных степенях окисления, то 1 б., уравнение в сокращенной ионной форме засчитывается)	$2 \times 4 = 8 \text{ б.}$
Всего	35 баллов

Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от -20°C до $+36,6^\circ\text{C}$ необходимо: $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{K)} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 56,6 = 23,8 \text{ кДж}$ тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру $\Delta T = Q/(c_p \cdot m) = 23,8 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{K)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 0,1 \text{ K}$.

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека содержимого порции:

$$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж}; Q_{\text{сг., угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж}.$$

Таким образом, суммарно $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4 \text{ кДж}$ или 262 ккал.

3. Температура тела человека повысилась бы на $\Delta T = 1100,4 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{K)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 5,2 \text{ K}$.

4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и

мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на $5,2 - 0,1 = 5,1$ К и стала бы равна $36,6 + 5,1 = 41,7$ °С.

5. Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой +4 °С до +36,6 °С:

$Q = 4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{К)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot 32,6 \text{ К} = 34,2 \text{ кДж}$. При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на $\Delta T = 34,2 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{К)} \cdot 50,25 \text{ кг}) = 0,16 \text{ К}$.

6. Уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода:

- для белка: $4C_{81}H_{125}O_{39}N_{22} + 371O_2 = 324CO_2 + 250H_2O + 44N_2$;

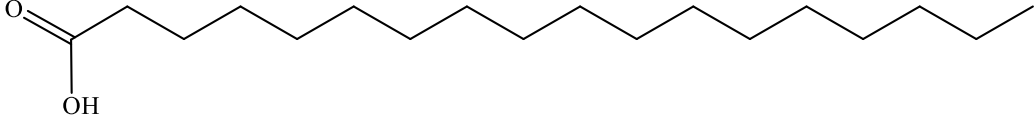
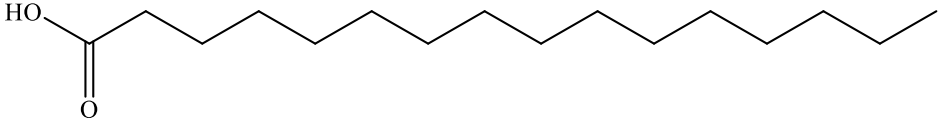
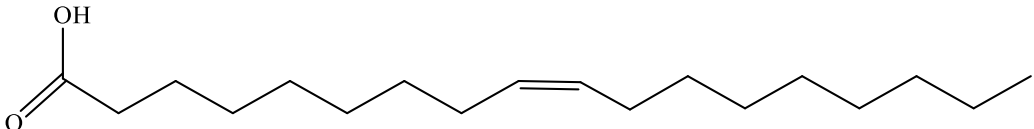
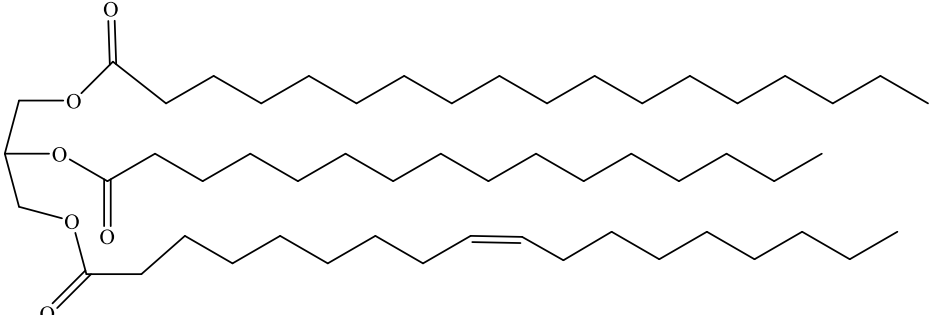
- для углеводов: $C_{12}H_{22}O_{11} + 12O_2 = 12CO_2 + 11H_2O$;

- для жиров: $C_{55}H_{104}O_6 + 78O_2 = 55CO_2 + 52H_2O$.

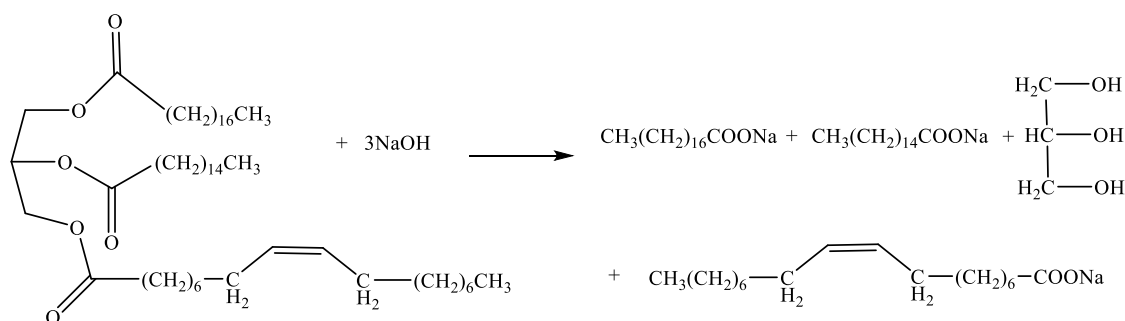
7. $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г}$ или $37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}$. Из следствия закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}}.$

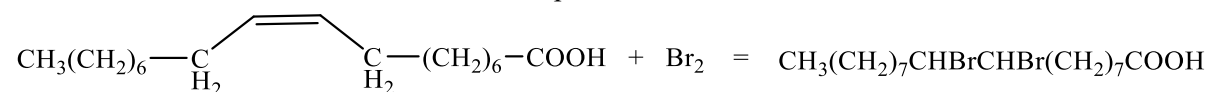
Следовательно, $Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} =$
 $= 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}.$

8. Стеариновая кислота:	
Пальмитиновая кислота:	
Олеиновая кислота:	
Жир:	

9. Уравнение гидролиза жира



10. Взаимодействие oleиновой кислоты с бромной водой:

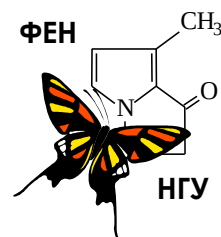


Система оценивания:

1. Снижение температуры тела без калорийности 3 б.	3 б.
2. Суммарная калорийность в кДж 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.)	4 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.
4. Температура тела после поедания мороженого 1 б.	1 б.



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года
Решения заданий по химии
10 класс



Задача 1. (автор В. А. Емельянов).

1. Нитрат серебра – AgNO_3 – бесцветный раствор (1), сульфат меди – CuSO_4 – голубой раствор (2), бромат марганца – $\text{Mn}(\text{BrO}_3)_2$ – бледно-розовый раствор (3), перхлорат железа(III) – $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ – желто-коричневый раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1) $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$ или $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$;

(2) $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$ или $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$;

(3) – реакция не идет, так как марганец в ряду напряжений находится левее железа;

(4) $2\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3 + \text{Fe} = 3\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2$ или $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$. Здесь ЮХ промахнулся – для сравнения надо было готовить раствор соли железа(II), тогда реакции бы не было. В нашем же случае идет классическая реакция о-в сопропорционирования, поскольку Fe(III) довольно сильный окислитель.

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет Fe^{2+} , раствор (3) останется бледно-розовым. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$ г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$ г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль железа(III) растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$ г.

Система оценивания:

1. Формулы солей по 0,5 б., цвета исходных растворов по 0,5 б.	$0,5 \times 4 + 0,5 \times 4 = 4$ б.
2. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б. (если неверно записана только формула аниона, то за уравнение балл полный)	$1 \times 4 = 4$ б.
3. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б., кач. изменение массы по 0,5 б.	$0,5 \times 8 + 0,5 \times 4 = 6$ б.
4. Изменения масс пластинок по 2 б.	$2 \times 3 = 6$ б.
Всего	20 баллов

Задача 2. (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

1. Содержание меди в борните $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$ %, в халькопирите $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 64 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$ или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в $1 / 0,6331 = 1,580$ кг борнита и в $1 / 0,348 = 2,874$ кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше. Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему: $2,874 / 4,30 : 1,580 / 5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$. То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.

2. Уравнения реакций: а) $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$;

б) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{400-500^\circ\text{C}, \text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$; в) $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ разб.}} \text{H}_2\text{SO}_4$.

3. В 1 м^3 содержится $(10^2)^3 = 10^6 \text{ см}^3$. Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит $30 \cdot 1,836 \cdot 10^6 = 55,08 \cdot 10^6$ г или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне $0,96 \cdot 55,08 \cdot 10^6 \text{ г} = 52,88 \cdot 10^6$ г, ее количество $52,88 \cdot 10^6 / 98 = 5,40 \cdot 10^5$ моль.

Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е. $2,7 \cdot 10^5$ моль, а масса составит $120 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 32,4 \cdot 10^6$ г или 32,4 тонн.

4. При 100 % выходе руды потребуется $32,4 / 0,3 = 108$ тонн, при 90 % выходе $108 / 0,9 = 120$ тонн.

5. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой $100 - 41,15 - 35,44 = 23,41 \%$. Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: Fe – $41,15/56 = 0,74$; S – $35,44/32 = 1,11$; Cu – $23,41/64 = 0,37$. Соотноситься между собой эти количества атомов будут, как Fe:S:Cu = 0,74:1,11:0,37. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах 2:3:1. То есть, формула кубанита CuFe_2S_3 .

Борнит: $n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4$. Формула Cu_5FeS_4 .

Троилит: $w(\text{Fe}) + w(\text{S}) = 100 \%$. $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1$. Формула FeS.

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его $100 - 35,37 - 30,47 = 34,16 \%$. Проверим соотношение: $n(\text{Ag}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3$. Формула AgFe_2S_3 . Можно считать и по-другому, так, как это далее проделано для расвумита.

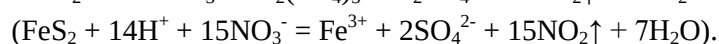
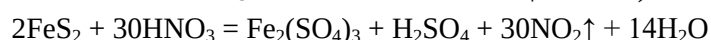
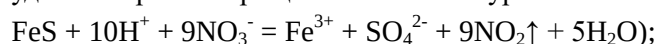
Расвумит: $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3$. $M_{\text{остатка}} = (2 \cdot 56/0,4522) - 2 \cdot 56 - 3 \cdot 32 = 39,7 \approx M_{\text{K}}$, тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты натрием и калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула KFe_2S_3 .

6. В пирите степень окисления железа +2, серы –1.

Аргентопирит: $\text{AgFe}_2\text{S}_3 = \text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{FeS} \cdot \text{FeS}_2$. Борнит: $\text{Cu}_5\text{FeS}_4 = \text{CuS} \cdot 2\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}$.

7. Уравнения реакций: $3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$ или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$ (Здесь и далее в продуктах засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям:



Система оценивания:

1. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	$1 \times 2 + 1 + 1 = 4 \text{ б.}$
2. Уравнения реакций по 1 б. (без условий по 0,5 б., точная t° не нужна)	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$
3. Количество серной кислоты 2 б., масса пирита 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
4. Масса руды 2 б.	2 б.
5. Общие формулы минералов по 2 б.	$2 \times 5 = 10 \text{ б.}$
6. Степени окисления в пирите по 1 б., формулы в виде комбинаций по 1 б.	$1 \times 2 + 1 \times 2 = 4 \text{ б.}$
7. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, но продукты в правильных степенях окисления, то 1 б., уравнение в сокращенной ионной форме засчитывается)	$2 \times 2 = 4 \text{ б.}$
Всего	31 балл

Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от -20°C до $+36,6^\circ\text{C}$ необходимо: $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{K)} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 56,6 = 23,8 \text{ кДж}$ тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру $\Delta T = Q/(c_p \cdot m) = 23,8 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{K)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 0,1 \text{ K}$.

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека содержимого порции:

$$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж}; Q_{\text{сгор. угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж}.$$

Таким образом, суммарно $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4 \text{ кДж}$ или 262 ккал.

3. Температура тела человека повысилась бы на $\Delta T = 1100,4 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{K)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 5,2 \text{ K}$.

4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на $5,2 - 0,1 = 5,1 \text{ K}$ и стала бы равна $36,6 + 5,1 = 41,7^\circ\text{C}$.

5. Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой $+4^\circ\text{C}$ до $+36,6^\circ\text{C}$:

$$Q = 4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{K)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot 32,6 \text{ K} = 34,2 \text{ кДж.}$$

При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на $\Delta T = 34,2 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{K)} \cdot 50,25 \text{ кг}) = 0,16 \text{ K}$.

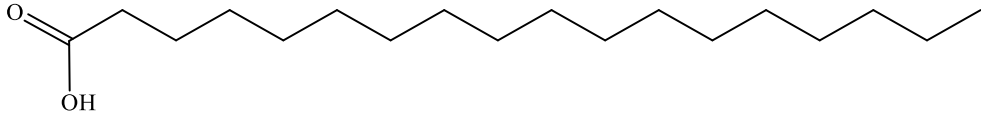
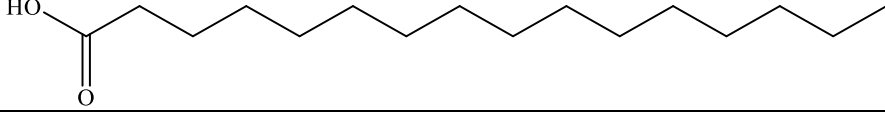
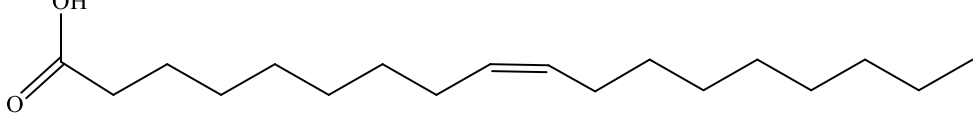
6. Уравнения реакций сгорания: $4C_{81}H_{125}O_{39}N_{22} + 371O_2 = 324CO_2 + 250H_2O + 44N_2$;

$C_{12}H_{22}O_{11} + 12O_2 = 12CO_2 + 11H_2O$; $C_{55}H_{104}O_6 + 78O_2 = 55CO_2 + 52H_2O$.

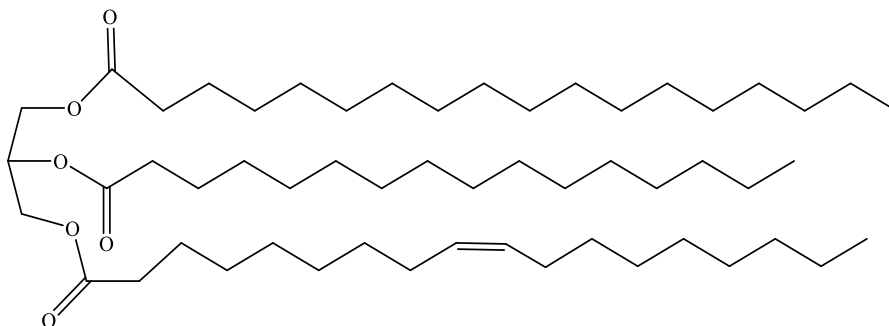
7. $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г}$ или $37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}$. Из следствия закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}}$. Следовательно, $Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} = 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}$.

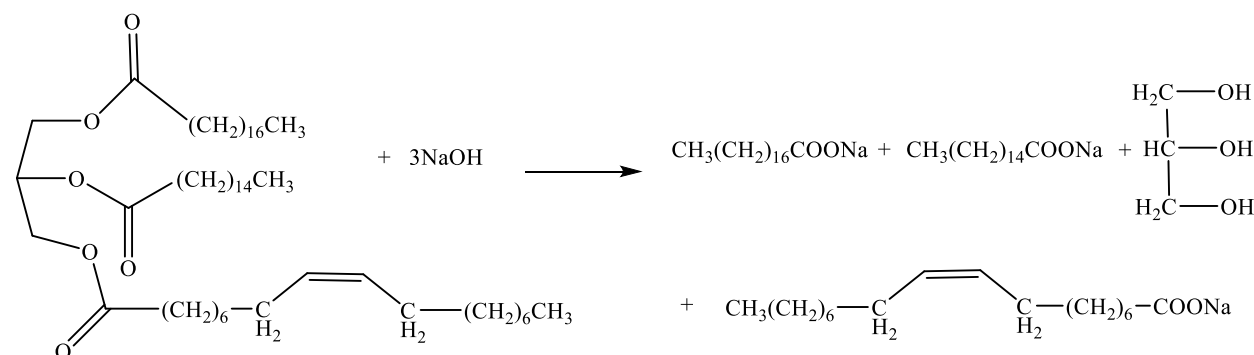
8. Поскольку пропан имеет молекулярную формулу C_3H_8 , а пропановая кислота – $C_3H_6O_2$, можно сделать вывод, что в молекулярных формулах соответствующих кислот два атома водорода замещены на два атома кислорода. Тогда молекулярная формула стеариновой (октадекановой) кислоты $C_{18}H_{36}O_2$, пальмитиновой (гексадекановой) $C_{16}H_{32}O_2$, олеиновой (цис-октадецен-9-овой) $C_{18}H_{34}O_2$. Соответствующий анализ структурных формул позволяет нам изобразить и структурные формулы необходимых кислот.

Стеариновая кислота:	
Пальмитиновая кислота:	
Олеиновая кислота:	

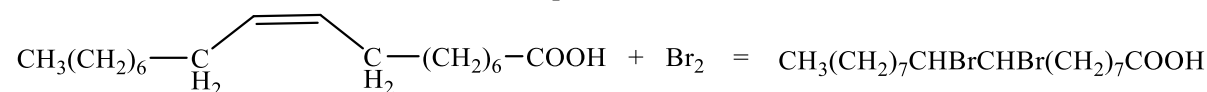
9. Если от состава молочного жира $C_{55}H_{104}O_6$ отнять составы входящих в него кислот ($C_{18}H_{36}O_2 + C_{16}H_{32}O_2 + C_{18}H_{34}O_2 = C_{52}H_{102}O_6$), остаток будет иметь состав C_3H_2 . Добавив к остатку три молекулы воды (по условию, образование сложного эфира сопровождается отщеплением воды), получим молекулярную формулу глицерина: $C_3H_8O_3$. Из условия известно, что в глицерине все гидроксильные группы связаны с разными атомами углерода, следовательно, структура продукта его взаимодействия с кислотами будет выглядеть так:



10. Уравнение гидролиза жира



11. Взаимодействие олеиновой кислоты с бромной водой:



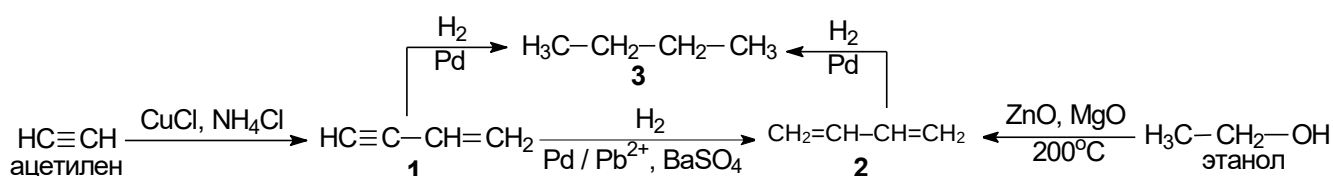
Система оценивания:

1. Снижение температуры тела без калорийности 3 б.	3 б.
2. Суммарная калорийность в кДж 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.)	4 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.

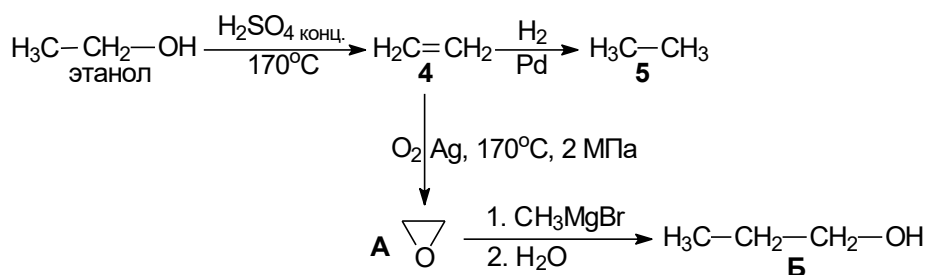
4. Температура тела после поедания мороженого 1 б.	1 б.
5. Изменение температуры тела после питья 2 б.	2 б.
6. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, то по 0,5 б.)	2×3 = 6 б.
7. Теплота образования жира 4 б.	4 б.
8. Молекулярные формулы кислот по 1 б., структурные по 1 б.	1×3+1×3 = 6 б.
9. Молекулярная формула глицерина 2 б., структурная формула жира 2 б.	2+2 = 4 б.
10-11. Уравнения реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
Всего	34 балла

Задача 4. (авторы В.Н. Конев, М.А. Ильин).

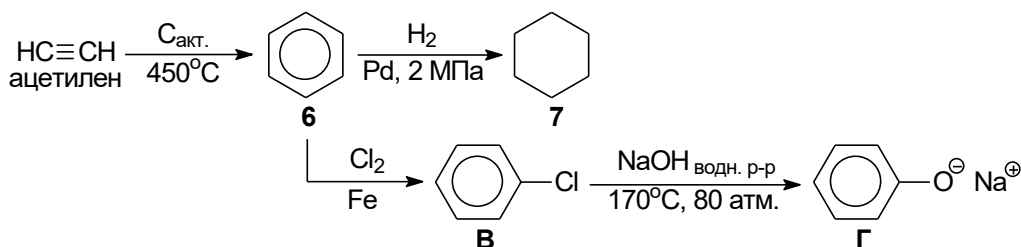
1-2. При пропускании ацетилена через раствор, содержащий хлорид меди(I) и хлорид аммония происходит реакция димеризации и образуется винилацетилен (углеводород **1**, относится к классу *алкенинов*). Гидрирование винилацетилена в зависимости от используемого катализатора может протекать с образованием различных продуктов: при использовании "отравленного" катализатора (Pd, нанесенный на сульфат бария в присутствии соединений свинца, т. н. катализатор Линдлара) происходит селективное восстановление связи C≡C до связи C=C и образуется бутадиен-1,3 (**2**, класс *алкадиенов*); использование металлического палладия приводит к полному восстановлению с образованием насыщенного соединения – *н*-бутана (**3**, класс *алканов*). Образование бутадиена-1,3 из этанола – реакция дегидрирования-дегидратации – реакция С.В. Лебедева.



При нагревании этанола в присутствии серной кислоты до ~170 °С образуется этилен (**4**, класс *алкенов*), гидрирование которого приводит к образованию этана (**5**, *алкан*). При каталитическом окислении этилена кислородом образуется этиленоксид (**А**). Взаимодействие этиленоксида с реактивом Гриньяра (в данном случае метилмагнийбромидом) после гидролиза образуется первичный спирт (*н*-пропанол, соединение **Б**).



При пропускании ацетилена через раскаленную трубку, содержащую активированный уголь можно получить бензол (**6**, *ароматический углеводород (арен)*). Его гидрирование приводит к образованию циклогексана (**7**, *циклоалкан*). Хлорирование бензола в присутствии кислоты Льюиса (в данном случае – FeCl₃, который образуется при взаимодействии металлического железа и хлора) приводит к образованию хлорбензола (**В**). Нагревание хлорбензола с водным раствором гидроксида натрия при повышенных давлении и температуре – один из старых способов получения фенола (в виде фенолята натрия, соединение **Г**).

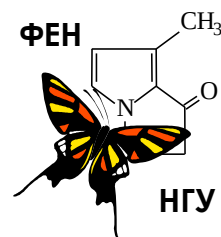


Система оценивания:

1. Структурные формулы ацетилена, этанола, 1–7 и А–Г по 1 б.	1×13 = 13 б.
2. Классы углеводородов 1–7 по 1 б.	1×7 = 7 б.
Всего	20 баллов



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года
Решения заданий по химии
9 класс



Задача 1. (автор В. А. Емельянов).

1. Нитрат серебра – AgNO_3 – бесцветный раствор (1), сульфат меди – CuSO_4 – голубой раствор (2), бромид цинка – ZnBr_2 – бесцветный раствор (3), хлорид железа(III) – FeCl_3 – желто-коричневый раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1) $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$ или $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$;

(2) $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$ или $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$;

(3) – реакция не идет, так как цинк в ряду напряжений находится левее железа;

(4) $2\text{FeCl}_3 + \text{Fe} = 3\text{FeCl}_2$ или $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$. Здесь ЮХ промахнулся – для сравнения надо было готовить раствор соли железа(II), тогда реакции бы не было. В нашем же случае идет классическая реакция о-в соотношении, поскольку железо(III) довольно сильный окислитель.

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет Fe^{2+} , раствор (3) останется бесцветным. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$ г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$ г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль железа(III) растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$ г.

Система оценивания:

1. Формулы солей по 0,5 б., цвета исходных растворов по 0,5 б.	$0,5 \times 4 + 0,5 \times 4 = 4$ б.
2. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б. (если неверно записана только формула аниона, то за уравнение балл полный)	$1 \times 4 = 4$ б.
3. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б., кач. изменение массы по 1 б.	$0,5 \times 8 + 1 \times 4 = 8$ б.
4. Изменения масс пластинок по 2 б.	$2 \times 3 = 6$ б.
Всего	22 балла

Задача 2. (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

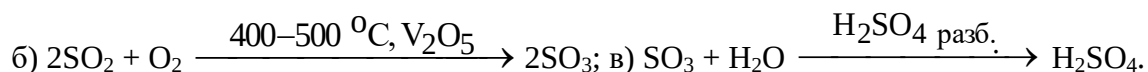
1. Массовые доли железа и серы в пирите $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}} / M_{\text{FeS}_2} = 56 / (56 + 2 \cdot 32) = 0,467$ или 46,7 %, $w_{\text{S}} = M_{\text{S}} / M_{\text{FeS}_2} = 2 \cdot 32 / (56 + 2 \cdot 32) = 0,533$ или 53,3 %; в халькопирите $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 56 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,304$ или 30,4 %, $w_{\text{S}} = M_{\text{S}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 2 \cdot 32 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$ или 34,8 %.

2. Содержание меди в борните $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$ %, в халькопирите $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} / M_{\text{CuFeS}_2} = 64 / (64 + 56 + 2 \cdot 32) = 0,348$ или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в $1 / 0,6331 = 1,580$ кг борнита и в $1 / 0,348 = 2,874$ кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше.

Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему: $2,874 / 4,30 : 1,580 / 5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$. То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.

3. Уравнения реакций: а) $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$;



4. В 1 м³ содержится $(10^2)^3 = 10^6$ см³. Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит $30 \cdot 1,836 \cdot 10^6 = 55,08 \cdot 10^6$ г или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне $0,96 \cdot 55,08 \cdot 10^6$ г = $52,88 \cdot 10^6$ г, ее количество $52,88 \cdot 10^6 / 98 = 5,40 \cdot 10^5$ моль.

Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е. $2,7 \cdot 10^5$ моль, а масса составит $120 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 32,4 \cdot 10^6$ г или 32,4 тонн.

5. При 100 % выходе руды потребуется $32,4 / 0,3 = 108$ тонн, при 90 % выходе $108 / 0,9 = 120$ тонн.

6. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой $100 - 41,15 - 35,44 = 23,41$ %. Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: Fe – $41,15 / 56 = 0,74$; S – $35,44 / 32 = 1,11$; Cu – $23,41 / 64 = 0,37$. Соотноситься между собой эти количества атомов будут, как Fe:S:Cu = 0,74:1,11:0,37. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах 2:3:1. То есть, формула кубанита CuFe_2S_3 .

Борнит: $n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4$. Формула Cu_5FeS_4 .

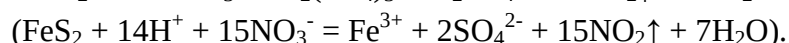
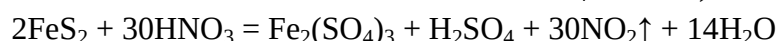
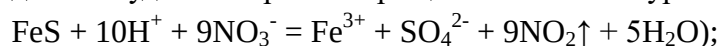
Троилит: $w(\text{Fe}) + w(\text{S}) = 100$ %. $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1$. Формула FeS.

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его $100 - 35,37 - 30,47 = 34,16$ %. Проверим соотношение: $n(\text{Ag}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3$. Формула AgFe_2S_3 . Можно считать и по-другому, так, как это далее проделано для расвумита.

Расвумит: $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3$. $M_{\text{остатка}} = (2 \cdot 56 / 0,4522) - 2 \cdot 56 - 3 \cdot 32 = 39,7 \approx M_{\text{K}}$, тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула KFe_2S_3 .

7. Уравнения реакций: $3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$ или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3 = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$ (Здесь и далее в продуктах засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям:



Система оценивания:

1. Массовые доли железа и серы в пирите и халькопирите по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
2. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	1×2+1+1 = 4 б.
3. Уравнения реакций по 1 б.	1×3 = 3 б.
4. Масса и количество серной кислоты по 1 б., масса пирита 2 б.	1×2+2 = 4 б.
5. Масса руды с разным выходом по 1 б.	1×2 = 2 б.
6. Общие формулы минералов по 2 б.	2×5 = 10 б.
7. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, но продукты в правильных степенях окисления, то 1 б., уравнение в сокращенной ионной форме засчитывается)	2×2 = 4 б.
Всего	29 баллов

Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от -20°C до $+36,6^\circ\text{C}$ необходимо: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,2$ (кДж/кг·К) · 0,1 кг · 56,6 = 23,8 кДж тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру $\Delta T = Q / (c \cdot m) = 23,8$ кДж / (4,2 (кДж/кг·К) · 50,1 кг) = 0,1 К.

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека содержимого порции:

$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж (16 ккал)}$; $Q_{\text{сг. угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж (120 ккал)}$; $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж (126 ккал)}$.

Таким образом, суммарно $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4 \text{ кДж}$ или 262 ккал.

3. Температура тела человека повысилась бы на $\Delta T = 1100,4 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 5,2 \text{ К}$.

4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на $5,2 - 0,1 = 5,1 \text{ К}$ и стала бы равна $36,6 + 5,1 = 41,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой $+4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+36,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$Q = 4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot 32,6 \text{ К} = 34,2 \text{ кДж}$. При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на $\Delta T = 34,2 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,25 \text{ кг}) = 0,162 \approx 0,2 \text{ К} = 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. Уравнения реакций полного сгорания в избытке кислорода:

- для белка: $4\text{C}_{81}\text{H}_{125}\text{O}_{39}\text{N}_{22} + 371\text{O}_2 = 324\text{CO}_2 + 250\text{H}_2\text{O} + 44\text{N}_2$;

- для углеводов: $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + 12\text{O}_2 = 12\text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O}$;

- для жиров: $\text{C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6 + 78\text{O}_2 = 55\text{CO}_2 + 52\text{H}_2\text{O}$.

7. $Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г}$ или $37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}$.

8. По следствию из закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)}$.

Следовательно, $Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6)} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2)} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2)} = 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}$.

9. Проще всего вычислить время, которое потребуется второму карапузу.

Для этого массу мороженого надо поделить на скорость его поедания, в результате чего получим $t_2 = 100 \text{ г} / 0,25 \text{ г/с} = 400 \text{ с}$.

Поскольку первый карапуз полностью прожевывает и проглатывает 7,4 г мороженого за 30 с, можно считать, что его скорость поглощения мороженого составляет $7,4 \text{ г} / 30 \text{ с} = 0,247 \text{ г/с}$, и он полностью доест мороженое за $t_1 = 100 \text{ г} / 0,247 \text{ г/с} = 405 \text{ с}$.

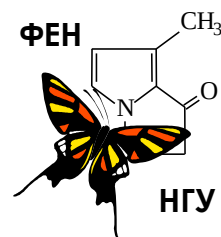
Очевидно, что второй карапуз свое мороженое съест быстрее, и этот вывод можно было сделать уже из сравнения скоростей его поедания. Однако, в задании не спрашивалось, кто из них быстрее съест мороженое. В ответе на «бонусный» вопрос этого задания Вам, по сути, требовалось оценить, у кого из них раньше освободится палочка. Как мы уже посчитали ранее, у второго карапуза она освободится через 400 с. А вот первому, чтобы освободить палочку, требуется $100/7,4 = 13,5$, т. е. 14 «укусов». Первый укус он делает в начальный момент времени (на «первой» секунде), и затем 30 с его жует и глотает. Это значит, что за $t = 13 \text{ укусов} \cdot 30 \text{ с/укус} = 390 \text{ с}$ он расправится с мороженым настолько, что на палочке останется меньше, чем на «один укус». В следующую секунду он спокойно отправит оставшийся кусочек мороженого в рот и пойдет выбрасывать ненужную палочку на 10 секунд раньше, чем второй карапуз. Автор задания потому и заключил слово «бонусный» в кавычки, потому что ответ на этот вопрос вовсе не так прост, как могло показаться на первый взгляд.

Система оценивания:

1. Количество тепла 2 б., снижение температуры тела 2 б.	4 б.
2. Суммарная калорийность в каких-то одних единицах 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.), пересчет в другие 1 б.	4+1 = 5 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.
4. Температура тела после поедания мороженого 2 б.	2 б.
5. Изменение температуры тела после питья 2 б.	2 б.
6. Уравнения реакций по 2 б. (если неверные коэффициенты, то по 0,5 б.)	2×3 = 6 б.
7. Тепловой эффект реакции сгорания жира 2 б.	2 б.
8. Теплота образования жира 4 б.	4 б.
9. Времена полного съедания мороженого по 2 б., ответ «первый» 1 б., пояснение 2 б. Ответ «второй» оценивается в 0 б.	2×2+1+2 = 7 б.
Всего	34 балла



56-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2017-2018 уч. года
Решения заданий по химии
8 класс



Задача 1. (автор В. А. Емельянов).

1-2. Нитрат серебра – AgNO_3 – бесцветный раствор (1), сульфат меди – CuSO_4 – голубой раствор (2), бромид цинка – ZnBr_2 – бесцветный раствор (3), соляная (хлороводородная) кислота – HCl – бесцветный раствор (4).

2. Уравнения реакций: (1) $2\text{AgNO}_3 + \text{Fe} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$ или $2\text{Ag}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}\downarrow$;

(2) $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} = \text{FeSO}_4 + \text{Cu}\downarrow$ или $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}\downarrow$;

(3) – реакция не идет, так как цинк в ряду напряжений находится левее железа;

(4) $2\text{HCl} + \text{Fe} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\uparrow$ или $2\text{H}^+ + \text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\uparrow$.

3. Растворы (1), (2) и (4) будут иметь светло-зеленый цвет за счет Fe^{2+} , раствор (3) останется бесцветным. Исходный цвет железной пластинки – серый (серебристо-белый, стальной и т.п.). Пластинка в растворе (1) слабо изменит свой цвет (разве что станет чуть светлее), в растворе (2) будет красного цвета, цвет пластинки в растворах (3) и (4) не изменится. Масса пластинок в пузырьках 1 и 2 увеличится (станет >), в пузырьке 3 – не изменится (=), в пузырьке 4 – уменьшится (<).

4. В растворе (1) на каждый моль осажденного серебра растворяется 0,5 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(108 - 0,5 \cdot 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,48$ г.

В растворе (2) на каждый моль осажденной меди растворяется 1 моль железа, поэтому пластинка прибавит в массе на $(63,5 - 56) \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,045$ г. Если взять округленную молярную массу меди 64 г/моль, то получится 0,048 г.

В растворе (4) на каждый моль соляной кислоты растворяется 0,5 моль металлического железа, поэтому пластинка потеряет в массе $0,5 \cdot 56 \cdot 0,100 \cdot 60 / 1000 = 0,168$ г.

Система оценивания:

1. Названия солей и кислоты по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
2. Цвета исходных растворов по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
3. Уравнения реакций и указание на ее отсутствие по 1 б.	1×4 = 4 б.
4. Цвета пластинок и растворов по 0,5 б.	0,5×8 = 4 б.
5. Качественное изменение массы по 1 б.	1×4 = 4 б.
6. Изменения масс пластинок по 2 б.	2×3 = 6 б.
Всего	22 балла

Задача 2. (авторы П.А. Демаков, В. А. Емельянов).

1. Массовые доли железа и серы в пирите $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}}/M_{\text{FeS}_2} = 56/(56+2 \cdot 32) = 0,467$ или 46,7 %, $w_{\text{S}} = M_{\text{S}}/M_{\text{FeS}_2} = 2 \cdot 32/(56+2 \cdot 32) = 0,533$ или 53,3 %; в халькопирите $w_{\text{Fe}} = M_{\text{Fe}}/M_{\text{CuFeS}_2} = 56/(64+56+2 \cdot 32) = 0,304$ или 30,4 %, $w_{\text{S}} = M_{\text{S}}/M_{\text{CuFeS}_2} = 2 \cdot 32/(64+56+2 \cdot 32) = 0,348$ или 34,8 %.

2. Содержание меди в борните $100 - 25,56 - 11,13 = 63,31$ %, в халькопирите $w_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}}/M_{\text{CuFeS}_2} = 64/(64+56+2 \cdot 32) = 0,348$ или 34,8 %. Один килограмм меди будет содержаться в $1/0,6331 = 1,580$ кг борнита и в $1/0,348 = 2,874$ кг халькопирита.

В борните меди почти в 2 раза больше, да еще и плотность его больше, поэтому и без точного расчета видно, что объем образца борнита будет меньше.

Для определения соотношения объемов образцов их массы надо поделить на плотности и взять отношение большего к меньшему: $2,874/4,30 : 1,580/5,09 = 0,6684 : 0,3104 = 2,15$. То есть объем образца борнита будет в 2,15 раза меньше.

3. Уравнения реакций: а) $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$;

б) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{400-500^\circ\text{C}, \text{V}_2\text{O}_5} 2\text{SO}_3$; в) $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ разб.}} \text{H}_2\text{SO}_4$.

4. В 1 м^3 содержится $(10^2)^3 = 10^6 \text{ см}^3$. Масса 96 % раствора серной кислоты в цистерне составит $30 \cdot 1,836 \cdot 10^6 = 55,08 \cdot 10^6 \text{ г}$ или 55,08 тонн. Масса вещества чистой серной кислоты в цистерне $0,96 \cdot 55,08 \cdot 10^6 \text{ г} = 52,88 \cdot 10^6 \text{ г}$.

Количество серной кислоты в цистерне $52,88 \cdot 10^6 / 98 = 5,40 \cdot 10^5$ моль. Поскольку пирит содержит два атома серы, его количество будет в два раза меньше, т.е. $2,7 \cdot 10^5$ моль, а масса составит $120 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 32,4 \cdot 10^6 \text{ г}$ или 32,4 тонн.

5. По условию задачи, в кубаните, борните и халькопирите элементы одинаковые, следовательно, кубанит тоже содержит медь, массовая доля которой $100 - 41,15 - 35,44 = 23,41 \%$. Алгоритм расчета формулы можно составить, представив навеску минерала массой 100 г. Эта навеска будет содержать 41,15 г железа, 35,44 г серы и 23,41 г меди. Количества молей атомов каждого элемента в этой навеске легко находятся, если поделить массу элемента на его атомную массу: Fe – $41,15/56 = 0,74$; S – $35,44/32 = 1,11$; Cu – $23,41/64 = 0,37$. Соотноситься между собой эти количества атомов будут, как Fe:S:Cu = 0,74:1,11:0,37. Поделив все эти числа на наименьшее из них, получим соотношение в целых числах 2:3:1. То есть, формула кубанита CuFe_2S_3 .

Борнит: $n(\text{Cu}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,31/64):(11,13/56):(25,56/32) = 0,99:0,20:0,80 = 5:1:4$. Формула Cu_5FeS_4 .

Троилит: $w(\text{Fe}) + w(\text{S}) = 100 \%$. $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (63,52/56):(36,48/32) = 1:1$. Формула FeS.

Аргентопирит: название подталкивает к мысли, что в этом минерале есть серебро. Если это так, то его $100 - 35,37 - 30,47 = 34,16 \%$. Проверим соотношение: $n(\text{Ag}):n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (34,16/108):(35,37/56):(30,47/32) = 0,32:0,63:0,95 = 1:2:3$. Формула AgFe_2S_3 . Можно считать и по-другому, так, как это далее сделано для расвумита.

Расвумит: $n(\text{Fe}):n(\text{S}) = (45,22/56):(38,95/32) = 2:3$. $M_{\text{остатка}} = (2 \cdot 56/0,4522) - 2 \cdot 56 - 3 \cdot 32 = 39,7 \approx M_{\text{K}}$, тем более, что в тексте задачи сказано, что породы богаты калием (отклонение за счет округления атомных масс). Формула KFe_2S_3 .

6. Уравнения реакций: $2\text{FeS}_2 + 30\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 30\text{NO}_2\uparrow + 14\text{H}_2\text{O}$;

$2\text{CuFeS}_2 + 36\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{CuSO}_4 + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 34\text{NO}_2\uparrow + 18\text{H}_2\text{O}$.

7. Уравнения реакций: $\text{CuFe}_2\text{S}_3 + 28\text{HNO}_3 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 26\text{NO}_2\uparrow + 14\text{H}_2\text{O}$

$(\text{CuFe}_2\text{S}_3 + 28\text{H}^+ + 26\text{NO}_3^- = \text{Cu}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-} + 26\text{NO}_2\uparrow + 14\text{H}_2\text{O})$;

$\text{Cu}_5\text{FeS}_4 + 42\text{HNO}_3 = 4\text{CuSO}_4 + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 37\text{NO}_2\uparrow + 21\text{H}_2\text{O}$

$(\text{Cu}_5\text{FeS}_4 + 42\text{H}^+ + 37\text{NO}_3^- = 5\text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + 4\text{SO}_4^{2-} + 37\text{NO}_2\uparrow + 21\text{H}_2\text{O})$. В схемах в качестве продуктов засчитываются и сульфаты, и нитраты металлов в правильных степенях окисления и серная кислота. Коэффициенты должны удовлетворять сокращенным ионным уравнениям.

Система оценивания:

1. Массовые доли железа и серы в пирите и халькопирите по 0,5 б.	$0,5 \times 4 = 2 \text{ б.}$
2. Массы образцов по 1 б., объем борнита меньше 1 б., в 2,15 раза 1 б.	$1 \times 2 + 1 + 1 = 4 \text{ б.}$
3. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$
4. Масса серной кислоты 2 б., масса пирита 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
5. Общие формулы минералов по 2 б.	$2 \times 5 = 10 \text{ б.}$
6. Верные коэффициенты по 2 б.	$2 \times 2 = 4 \text{ б.}$
7. Схемы реакций по 2 б., верные коэффициенты по 2 б.	$2 \times 2 + 2 \times 2 = 8 \text{ б.}$
Всего	35 баллов

Задача 3. (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Учитывая принятые допущения, получаем: для нагрева мороженого массой 100 г от -20°C до $+36,6^\circ\text{C}$ необходимо: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{K)} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 56,6 = 23,8 \text{ кДж}$ тепла. При этом температура тела человека массой 50 кг + 0,1 кг (плюс масса съеденного мороженого) понизится на температуру $\Delta T = Q/(c \cdot m) = 23,8 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг} \cdot \text{K)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 0,1 \text{ K}$.

2. Оценим, сколько тепла выделяется при сгорании в организме человека содержимого порции:

$$Q_{\text{сгор. белка}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 4 \text{ г} = 67,2 \text{ кДж (16 ккал)}; Q_{\text{сг. угл.}} = 4 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 30 \text{ г} = 504 \text{ кДж (120 ккал)}; Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} \cdot 14 \text{ г} = 529,2 \text{ кДж (126 ккал)}.$$

Таким образом, суммарно $Q_{\text{сгор. 100 г пломбира}} = 67,2 + 504 + 529,2 = 1100,4 \text{ кДж}$ или 262 ккал.

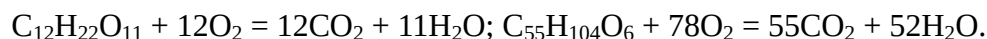
3. Температура тела человека повысилась бы на $\Delta T = 1100,4 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,1 \text{ кг}) = 5,2 \text{ К}$.

4. Если бы было возможно съесть мороженое очень быстро, а усвоение питательных веществ было полным и мгновенным, то температура тела после съедания 100 г классического пломбира повысилась бы на $5,2 - 0,1 = 5,1 \text{ К}$ и стала бы равна $36,6 + 5,1 = 41,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Оценим, сколько тепла нужно для нагрева 250 мл воды с температурой $+4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+36,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$Q = 4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot 32,6 \text{ К} = 34,2 \text{ кДж. При этом температура тела человека массой 50 кг понизится на } \Delta T = 34,2 \text{ кДж} / (4,2 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{К)} \cdot 50,25 \text{ кг}) = 0,162 \approx 0,2 \text{ К} = 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

6. Уравнения реакций: $4\text{C}_{81}\text{H}_{125}\text{O}_{39}\text{N}_{22} + 371\text{O}_2 = 324\text{CO}_2 + 250\text{H}_2\text{O} + 44\text{N}_2$;



$$7. Q_{\text{сгор. жиров}} = 9 \text{ ккал/г} \cdot 4,2 \text{ ккал/кДж} = 37,8 \text{ кДж/г или } 37,8 \text{ кДж/г} \cdot 861 \text{ г/моль} = 32500 \text{ кДж/моль}.$$

8. По следствию из закона Гесса получаем (см. уравнение сгорания):

$$Q_{\text{сгор. жиров}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} - Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}}.$$

$$\text{Следовательно, } Q_{\text{обр. (C}_{55}\text{H}_{104}\text{O}_6\text{)}} = 52Q_{\text{обр. (H}_2\text{O)}} + 55Q_{\text{обр. (CO}_2\text{)}} - Q_{\text{сгор. жиров}} - 78Q_{\text{обр. (O}_2\text{)}} = 52 \cdot 286 + 55 \cdot 394 - 32500 - 78 \cdot 0 = 4042 \text{ кДж/моль}.$$

9. Проще всего вычислить время, которое потребуется второму карапузу.

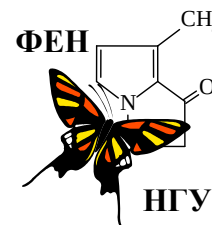
Для этого массу мороженого надо поделить на скорость его поедания, в результате чего получим $t_2 = 100 \text{ г} / 0,25 \text{ г/с} = 400 \text{ с}$.

Поскольку первый карапуз полностью прожевывает и проглатывает 7,4 г мороженого за 30 с, можно считать, что его скорость поглощения мороженого составляет $7,4 \text{ г} / 30 \text{ с} = 0,247 \text{ г/с}$, и он полностью доест мороженое за $t_1 = 100 \text{ г} / 0,247 \text{ г/с} = 405 \text{ с}$.

Очевидно, что второй карапуз свое мороженое съест быстрее, и этот вывод можно было сделать уже из сравнения скоростей его поедания. Однако, в задании не спрашивалось, кто из них быстрее съест мороженое. В ответе на «бонусный» вопрос этого задания Вам, по сути, требовалось оценить, у кого из них раньше освободится палочка. Как мы уже посчитали ранее, у второго карапуза она освободится через 400 с. А вот первому, чтобы освободить палочку, требуется $100/7,4 = 13,5$, т. е. 14 «укусов». Первый укус он делает в начальный момент времени (на «первой» секунде), и затем 30 с его жует и глотает. Это значит, что за $t = 13 \text{ укусов} \cdot 30 \text{ с/укус} = 390 \text{ с}$ он расправится с мороженым настолько, что на палочке останется меньше, чем на «один укус». В следующую секунду он спокойно отправит оставшийся кусочек мороженого в рот и пойдет выбрасывать ненужную палочку на 10 секунд раньше, чем второй карапуз. Автор задания потому и заключил слово «бонусный» в кавычки, потому что ответ на этот вопрос вовсе не так прост, как могло показаться на первый взгляд.

Система оценивания:

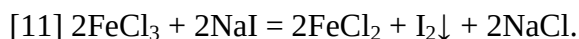
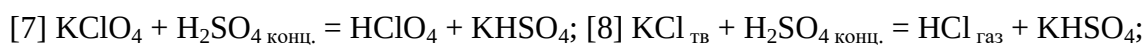
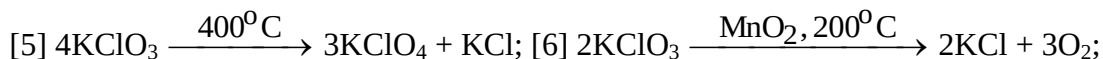
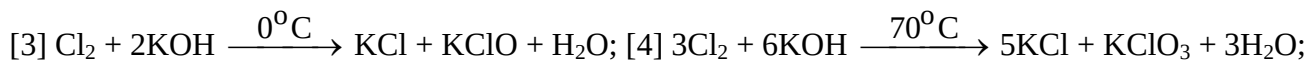
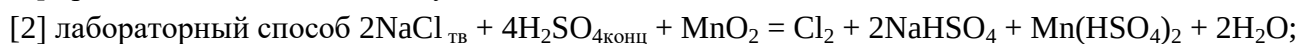
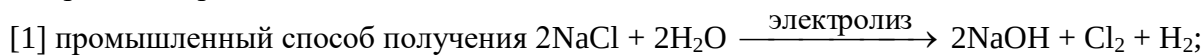
1. Количество тепла 2 б., снижение температуры тела 2 б.	4 б.
2. Суммарная калорийность в каких-то одних единицах 4 б. (за компоненты в кал или Дж по 1 б.), пересчет в другие 1 б.	4+1 = 5 б.
3. Увеличение температуры тела за счет калорийности 2 б.	2 б.
4. Температура тела после поедания мороженого 2 б.	2 б.
5. Изменение температуры тела после питья 2 б.	2 б.
6. Уравнения реакций по 2 б.	2×3 = 6 б.
7. Тепловой эффект реакции сгорания жира 2 б.	2 б.
8. Теплота образования жира 4 б.	4 б.
9. Времена полного съедания мороженого по 2 б., ответ «первый» 1 б., пояснение 2 б. Ответ «второй» оценивается в 0 б.	2×2+1+2 = 7 б.
Всего	34 балла

**Задание 1.** (автор А.С. Чубаров)

1. (1) – седьмой или семнадцатой (принимаются оба ответа), (2) – галогенов, (3) – два, (4) – фтор, (5) – хлор, (6) – бром, (7) – йод, (8) – соль поваренную (принимаются любые ответы, в явном виде указывающие на эту соль). Автор дал стихотворению название «Гроза металлов. Галогены». Засчитывается любое имеющее к группе галогенов название.

2. **A** – NaCl (хлорид натрия), **B** – Cl₂ (хлор), **C** – KClO (гипохлорит калия), **D** – KClO₃ (хлорат калия), **E** – HClO₄ (хлорная кислота), **F** – KClO₄ (перхлорат калия), **G** – KCl (хлорид калия), **J** – HCl (хлороводород или соляная кислота), **K** – FeCl₃ (хлорид железа (III)), **L** – NH₄Cl (хлорид аммония).

3. Уравнения реакций:

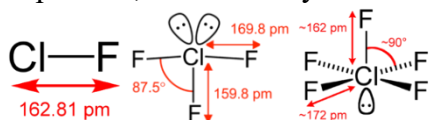


4. Элементы фтор и хлор образуют три бинарных соединения ClF, ClF₃, ClF₅.

ClF, геометрия молекулы линейная, валентного угла нет (ответ 180° принимается).

ClF₃, СЧ = 3+2 = 5 (распределение электронных пар – тригональная бипирамида), геометрия молекулы Т-образная, валентные углы около 90°.

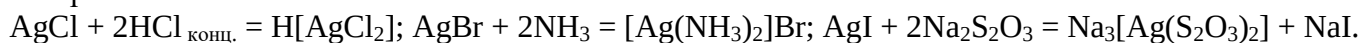
ClF₅, СЧ = 5+1 = 6 (распределение электронных пар – октаэдр), геометрия молекулы тетрагональная пирамида, валентные углы около 90°.



При взаимодействии межгалогидных соединений с водой происходит их полный гидролиз с образованием смеси кислот, как правило, содержащих элементы-галогены в той же степени окисления. При взаимодействии со щелочами образуются соответствующие соли:

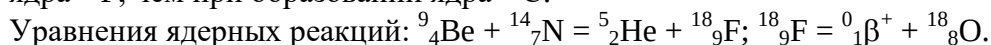


5. AgF – не осадок, AgCl – белый, AgBr – светло-желтый, AgI – желтый. Эти осадки обычно называют «творожистыми».



6. Пусть молярная доля изотопа ⁷⁹Br равна x, тогда получим выражение 79x + 81(1-x) = 79,9, откуда x = 0,55, тогда в природе содержится 55 мольн. % изотопа ⁷⁹Br и 45 % ⁸¹Br. (Если взять более точные массы изотопов, то значения составят: 51 % ⁷⁹Br и 49 % ⁸¹Br). Массовые доли $55 \cdot 79 / 79,9 = 54,4 \%$ и $45 \cdot 81 / 79,9 = 45,6 \%$.

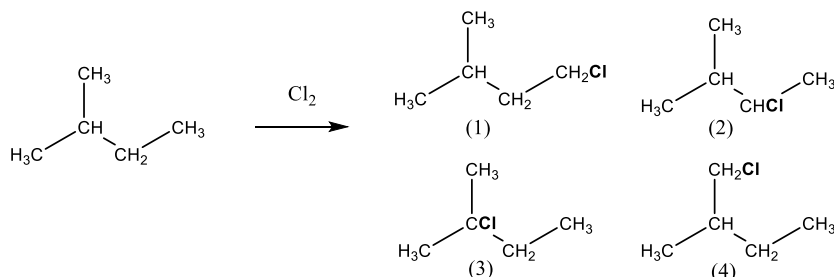
7. Проанализируем атомные массы фтора, хлора, брома и йода, приведенные в Периодической системе. Видим, что атомная масса фтора очень близка к целому числу, в то время как у остальных элементов эта величина от целого числа отличается заметно. Отсюда делаем вывод о том, что из перечисленных элементов в виде одного природного изотопа может существовать только фтор. Значит, его атомная масса совпадает с массой изотопа ¹⁹F в а.е.м. То, что эта величина оказалась меньше массового числа, объясняется несколько большим дефектом массы в расчете на один нуклон при образовании ядра ¹⁹F, чем при образовании ядра ¹²C.



8. Период полураспада – время, за которое распадается половина атомов вещества. В соответствии с уравнением $C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$ и $C = C_0/2$, получим $\tau_{1/2} = \ln 2/k$. $k = \ln 2/\tau_{1/2} = 0,379 \text{ ч}^{-1}$.

Процедуры подготовки к сканированию занимают ~1,5 ч. Подставим значения $t = 1,5 \text{ ч}$ и $k = 0,379 \text{ ч}^{-1}$. Получим, $C/C_0 = 0,57$ (то есть 43% препарата уже распалось).

9.* Расчет соотношения изомеров покажем на одном примере, ответы приведены в таблице. К изомеру (1) будут приводить три первичных атома водорода, всего первичных водородов 9, вторичных 2, третичных 1. Получим уравнение при 200°C **доля (1)** = $3\text{H} \times 1 / (9\text{H} \times 1 + 2\text{H} \times 3,9 + 1\text{H} \times 5,1) = 3/21,9 = 0,137$ (13,7 %).

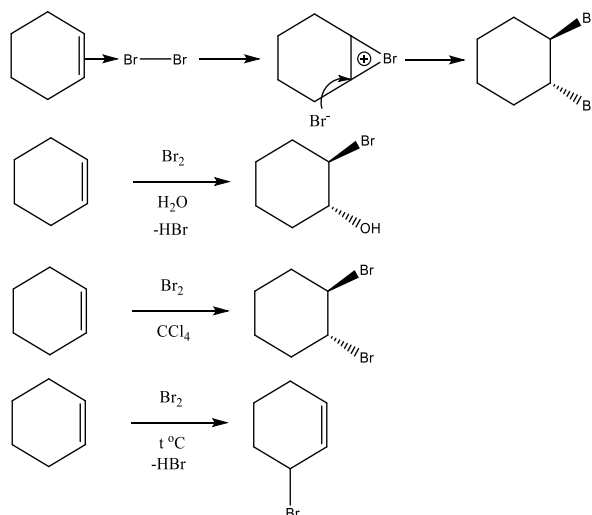


	(1) 1-хлор-3-метилбутан	(2) 2-хлор-3-метилбутан	(3) 2-хлор-2-метилбутан	(4) 1-хлор-2-метилбутан
Cl ₂ , 200°C	13,7	35,6	23,3	27,4
Cl ₂ , 600°C	25	16,7	8,3	50

10. Скорость замещения водорода у углеродного атома понижается в ряду третичный > вторичный > первичный, поскольку в этом ряду увеличивается энергия С-Н связи в алканах. Подобное различие в энергии связей связывают, прежде всего, со стабильностью образующихся свободных радикалов. Изменение стабильности алкильных радикалов обычно связывают с совместным действием двух эффектов - гиперконъюгации и стерического. Гиперконъюгация (реже сверхсопряжение) – это взаимодействие р-орбитали с σ-орбиталями СН-связей соседних алкильных групп, что приводит к делокализации неспаренного электрона. При увеличении числа СН связей на соседних с радикальным центром атомах углерода будет увеличиваться степень делокализации, и будет возрастать устойчивость свободного радикала. Большая скорость реакции по третичным атомам водорода связана с низкой энергией разрыва связи С-Н за счет стерического эффекта и устойчивостью образующегося третичного радикала (за счет эффекта гиперконъюгации). На стабильность радикалов также влияют пространственные факторы. Простые алкильные радикалы являются почти плоскими частицами, в которых неспаренный электрон занимает почти негибридную р-орбиталь. Например, в трет-бутильном радикале метильные группы отклоняются от плоскости всего на 20°. Следовательно пространственное отталкивание трех метильных групп в изобутане (тетраэдрическая геометрия, угол ~ 109°) будет ослабляться при диссоциации связи С-Н, что будет приводить к дополнительному выигрышу энергии к гиперконъюгации.

Уменьшение селективности протекания реакции при повышении температуры связано с возрастанием общей энергии системы, и, соответственно, увеличением доли «горячих» молекул, что приводит к тому, что энергии оказывается достаточно для разрыва любой связи С-Н.

11.* В реакции циклогексена с бромом электрофилом является молекула брома, которая образует π-комплекс с двойной связью. На следующей стадии образуется катион бромония (трехчленный цикл). Затем происходит атака нуклеофилом, концентрация которого в растворе максимальна (если концентрации нуклеофилов близки, то будет получаться смесь продуктов). Атака нуклеофила будет происходить по атому углерода «с тыла» от брома, вследствие чего будут получаться продукты транс-строения. Стоит обратить внимание, что в случае водного раствора брома будет получаться также 1,2-дибромциклогексан, однако его доля будет не более 20%.



При высокой температуре реакция будет протекать по радикальному механизму, вследствие чего замещение будет происходить в аллильном положении к двойной связи (образуется устойчивый аллильный радикал).

***При решении п. 9 и 11 не учитывалось образование различных стереоизомеров.**

Система оценивания:

1. Определение «чисел» и название стихотворения по 0,5 б.	0,5×9 = 4,5 б.
2. Названия веществ А-Л по 0,5 б.	0,5×10 = 5 б.
3. Уравнения реакций [1-11] по 0,5 б.	0,5×11 = 5,5 б.
4. Строение, валентные углы, геометрия по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×9+1×3 = 7,5 б.
5. Цвета осадков и его отсутствие по 0,5 б., форма 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×5+1×3 = 5,5 б.
6. Мольные и массовые доли каждого изотопа брома по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
7. Фтор 1 б., дефект массы 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1+1+1×2 = 4 б.
8. Константа распада 1 б., расчет соотношения 1 б.	1+1 = 2 б.
9. Структурные формулы и названия по 0,5 б., доли изомеров по 0,5 б.	0,5×8+0,5×8 = 8 б.
10. Пояснение разных скоростей при 200°C 1 б., одинаковых при 600°C 1 б.	1+1 = 2 б.
11. Уравнения реакций по 1 б., образование двух транс изомеров по 0,5 б.	1×3+0,5×2 = 4 б.
Всего	50 баллов

Задание 2. (автор В.А. Емельянов).

1. Вначале подпишем каждую из пробирок цифрами или буквами, чтобы не перепутать их в процессе анализа и однозначно привязать результаты проведенных исследований к каждой конкретной пробирке. Необходимость этой процедуры диктуется и правилами техники безопасности.

2. Затем попробуем растворить понемногу каждой соли в воде. Если все три соли растворяются хорошо, то одна из них CaCl_2 . Если одна из них не растворяется или растворяется плохо (увидеть разницу практически нереально), то это сульфат или карбонат кальция. Пробирку с плохо растворяющейся кальциевой солью отставляем в сторону, а состав аниона определим позже методом исключения.

3. Если все три соли хорошо растворяются, сделаем следующую процедуру. Смешав в отдельных пробирках часть растворов попарно, легко узнаем, где именно находится CaCl_2 , поскольку только этот раствор будет образовывать осадки с каждым из двух остальных:

$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3\downarrow$, $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{CaSO}_4\downarrow$ (ответ «помутнение» считается правильным, но на этом этапе отличить карбонат от сульфата опять же нереально).

Итак, если у нас был хлорид кальция, то мы его определили, и этот раствор и пробирку с солью больше не используем в своих экспериментах.

4. Возьмем по капле каждого из двух растворов, не содержащих кальций, и нанесем на полоски индикаторной бумаги. За счет гидролиза солей раствор, содержащий анион CO_3^{2-} окрасит бумагу в синий цвет, а раствор, содержащий катион NH_4^+ - в красный:

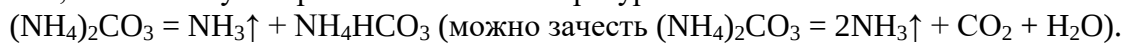
$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$, $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3_{\text{водн.}} + \text{H}^+$.

Если один из растворов окрашивает индикаторную бумагу в красный цвет, то мы уже выполнили задачу. В этом растворе сульфат или хлорид аммония. Если в воде растворялись все вещества, то в этом растворе сульфат аммония, а в оставшемся – карбонат калия. Если одно из веществ в воде не растворялось, то в растворе, окрасившем индикаторную бумагу в красный цвет, находится хлорид аммония. Если второй раствор окрасил индикаторную бумагу в синий цвет, то в нем карбонат калия, а плохо растворявшееся вещество сульфат кальция. Если второй раствор не окрасил бумагу, то в нем сульфат калия, а не растворявшееся вещество – карбонат кальция.

5а. Если красного окрашивания бумаги не будет, то одна из пробирок должна окрасить бумагу в синий цвет, поскольку содержит карбонат аммония (гидролиз по аниону в растворе этой соли протекает в большей степени, чем гидролиз по катиону). Если в воде у нас растворялись все вещества, то в оставшемся растворе сульфат калия. Если одно из веществ не растворялось, то во втором растворе хлорид калия, а плохо растворявшееся вещество сульфат кальция.

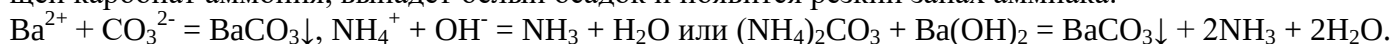
Школьники могут подумать, что в растворе карбоната аммония среда нейтральная, за счет одновременного гидролиза по катиону и аниону. Этот ответ нужно засчитать. В таком случае бумага не окрасилась бы ни в одном из двух растворов, что означает, что одна из двух солей – $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, а вторая – хлорид или сульфат калия, в зависимости от результата эксперимента 2 (третья, соответственно, сульфат или хлорид кальция). Тогда возможны еще два варианта полного решения задачи.

5б. В принципе, карбонат аммония и в твердом виде имеет сильный запах аммиака за счет разложения, заметного уже при комнатной температуре:

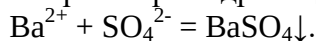


Это позволяет отличить карбонат аммония от оставшейся калиевой соли по запаху твердой соли или раствора. Если в воде у нас растворялись все вещества, то в оставшемся растворе сульфат калия. Если одно из веществ не растворялось, то во втором растворе хлорид калия, а плохо растворявшееся вещество сульфат кальция.

5в. Поскольку предыдущий ответ для школьника тоже не очевиден, карбонат аммония от калиевой соли (сульфата или хлорида) можно отличить следующим образом. Отольем понемногу каждого из двух растворов в разные пробирки и добавим к ним раствор гидроксида бария. В пробирке, содержащей карбонат аммония, выпадет белый осадок и появится резкий запах аммиака:



Если все вещества были растворимы, то во второй пробирке сульфат калия и при добавлении в нее раствора гидроксида бария выпадет белый осадок сульфата бария:



Если одно из исходных веществ было плохо растворимо, то это был сульфат кальция, а во второй пробирке находится раствор хлорида калия, при добавлении к которому раствора гидроксида бария ничего не произойдет.

Система оценивания:

1. За маркировку пробирок 2 б.	2 б.
2. За использование воды в определении 1 б., за верный вывод о солях кальция, основанный на растворимости 4 б.	1+4 = 5 б.
3. За использование процедуры попарного смешивания растворов 2 б., за уравнения реакций по 1 б. за однозначную идентификацию хлорида кальция 1 б.	2+1×2+1 = 5 б.
4. За использование индикаторной бумаги 2 б., за уравнения реакций гидролиза по 1 б., за вывод о решении задачи (установление всех солей) при наличии красной окраски индикаторной бумаги 2 б.	2+1×2+2 = 6 б.
5а. За вывод о решении задачи (установление всех солей) на этом этапе в случае, если одна бумага окрашена в синий цвет, а другая не окрашена 6 б.	6 б.
5б. За отличие карбоната аммония по запаху 1 б., уравнение реакции 2 б., решение задачи на этом этапе (установление всех солей) 3 б.	1+2+3 = 6 б.
5в. За использование гидроксида бария 1 б., уравнения реакций по 1 б. (суммарная реакция засчитывается за 2 б.), за решение задачи на этом этапе (установление всех солей) 2 б.	1+1×3+2 = 6 б.
Примечание: Баллы за выполнения 5-го шага разными путями (5а, 5б, 5в) не суммируются, засчитываются уравнения реакций в ионной и молекулярной форме, но за любое количество уравнений в молекулярной форме, описываемых одним уравнением в сокращенной ионной форме, выставляется 1 б. Если школьник предложил другой план, то он может получить 2 б. за маркировку пробирок, по 1 б. за уравнения реакций (не более 7), по 1 б. за каждое однозначно установленное вещество (их 9 вариантов) и далее в соответствии с разбалловкой до 6 б. за использование воды, процедуры смешивания растворов, индикаторной бумаги и раствора гидроксида бария. Если реактивы используются не совсем рационально (например, добавляются ко всем трем веществам вместо двух) или эта процедура сопровождается не строгим выводом, то за нее выставляется частичный балл.	
Всего	24 балла

Задание 3. (авторы В.А. Емельянов, Д.Г. Трофимов).

1. По Лавуазье, эти два пути - синтез и разложение. Современные химики говорят – синтез и анализ. Простых веществ – жидкостей всего 2: ртуть и бром. В принципе, из условия задачи понятно, что **X** – это именно ртуть (все-таки бром не реагирует с компонентами воздуха). Попробуем подтвердить нашу догадку расчетом. Определим молярную массу вещества **Y**: $39,9/M_Y = 12,6/22,4$, откуда $M_Y = 70,9$, что соответствует единственному простому газообразному веществу – хлору. Максимальное содержание брома в его хлоридах – 69,27 % (в BrCl), поэтому бром не подходит. Посмотрим, что получается для хлоридов ртути HgCl_n , массовое содержание которой в них вычисляется по формуле $100 \cdot 200,5 / (200,5 + 35,45n)$. Решив эти два уравнения, получим $n=2$ для **A** и $n=1$ для **B**. То есть **X**=Hg, **A**= HgCl_2 (сулема), **B**= HgCl (точнее, Hg_2Cl_2 – каломель). Получить **A** и **B** в чистом виде можно, например, следующим образом: $\text{Hg} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{70-120^\circ\text{C}} \text{HgCl}_2$; $\text{HgCl}_2 + \text{Hg} \xrightarrow{250-300^\circ\text{C}} \text{Hg}_2\text{Cl}_2$ (или реакцией обмена в водном растворе $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{KCl} = \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow + 2\text{KNO}_3$). Оба соединения – сильнейшие яды, поэтому современная медицина их не использует.

2. При длительном нагревании ртути в замкнутом объеме воздуха она окисляется в оксид ртути(II) красного цвета: $2\text{Hg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HgO}_{\text{красн.}}$ (вещество **C**). Из 40,00 унций ртути при 100 % выходе должно было получиться $(40,00/200,5) \cdot 216,5 = 43,19$ унций оксида. При накаливании в маленькой реторте оксид разложился на простые вещества $2\text{HgO}_{\text{красн.}} \xrightarrow{450-500^\circ\text{C}} 2\text{Hg}\uparrow + \text{O}_2\uparrow$, причем и ртуть при этой температуре (ее $t_{\text{кип}} = 357^\circ\text{C}$) сразу получается в газообразном виде, поэтому и она испарилась, а в реторте ничего не осталось.

3. Ртуть имеет довольно высокое давление паров при комнатной температуре, поэтому испаряется с заметной скоростью уже при обычных условиях. При длительном пребывании в помещении, в котором концентрация паров ртути превышает ее предельно допустимую концентрацию ($0,01 \text{ мг/м}^3$!), поражается центральная нервная система. Первыми признаками являются повышенная утомляемость, общая слабость, апатия, головные боли, головокружение. Затем может развиваться дрожание пальцев рук, век, губ – так называемый «ртутный тремор», наблюдается изменение вкусовых ощущений (металлический привкус), слезотечение, изменение цвета мочи и диарея. Довольно инертная по отношению к обычным окислителям, с такими веществами, как сера и хлорное железо, ртуть реагирует с заметной скоростью уже при комнатной температуре: $\text{Hg} + \text{S} \rightarrow \text{HgS}$; $2\text{Hg} + 2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{HgCl}_2 + \text{FeCl}_2$.

4. Уравнения реакций: $\text{Hg} + 4\text{HNO}_{3\text{ конц.}} \rightarrow 2\text{NO}_2\uparrow (\text{D}) + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 (\text{E}) + 2\text{H}_2\text{O}$;

$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{HgO}_{\text{жёлт.}}\downarrow (\text{F}) + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{HgO}_{\text{жёлт.}} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{HgO}_{\text{красн.}}$;

$6\text{Hg}_{\text{изб.}} + 8\text{HNO}_{3\text{ разб.}} \rightarrow 2\text{NO}\uparrow (\text{G}) + 3\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 (\text{H}) + 4\text{H}_2\text{O}$;

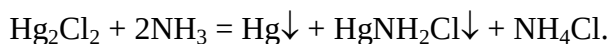
$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Hg}\downarrow + \text{HgO}_{\text{жёлт.}}\downarrow + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

5. Установим в основании Миллона соотношение $\text{Hg} : \text{N} = 85,7/200,5 : 2,99/14 = 0,427 : 0,214 = 2 : 1$. Действительно, весьма необычно. Посчитаем его молярную массу: $14/0,0299 = 2 \cdot 200,5/0,857 = 468$. За вычетом масс двух атомов ртути, азота и двух молекул воды остается $468 - 2 \cdot 200,5 - 14 - 36 = 17$ г/моль, что как раз совпадает с массой OH (нам ведь как раз нужно основание, да и два атома ртути дают заряд +4, а азот –3). Т.е. формула дигидрата основания Миллона $\text{Hg}_2\text{NOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Тогда формула гидрата его хлорида $\text{Hg}_2\text{NCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$. В белом неплавком преципитате соотношение $\text{Hg} : \text{N} = 79,6/200,5 : 5,56/14 = 0,397 : 0,397 = 1 : 1$, в белом плавком $\text{Hg} : \text{N} = 65,6/200,5 : 9,17/14 = 0,327 : 0,655 = 1 : 2$. Молярная масса неплавкого $200,5/0,796 = 14/0,0556 = 252$ г/моль, плавкого $200,5/0,656 = 2 \cdot 14/0,0917 = 305,5$. Если вычесть массы ртути и азота, в первом остается $252 - 200,5 - 14 = 37,5$ г/моль, что отвечает массе хлора и двух атомов водорода, во втором – $305,5 - 200,5 - 28 = 77$, т.е. масса 2 атомов хлора и 6 атомов водорода (по три на атом азота). Итак, формула неплавкого белого преципитата HgNH_2Cl , плавкого $\text{Hg}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$.

Уравнения реакций: $2\text{HgO} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Hg}_2\text{NOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}\downarrow$; $\text{HgCl}_2 + 2\text{NH}_3 = \text{HgNH}_2\text{Cl}\downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$;

$2\text{HgCl}_2 + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Hg}_2\text{NCl} \cdot \text{H}_2\text{O}\downarrow + 3\text{NH}_4\text{Cl}$; $\text{HgCl}_2 + 2\text{NH}_3_{\text{ж.}} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Hg}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2\downarrow$.

Почернение хлорида ртути(II) в аммиачной среде очень напоминает реакцию со щелочью и тоже связано с образованием металлической ртути в результате диспропорционирования. Второй продукт тот же, что и в реакции **A** с раствором аммиака при комнатной температуре:

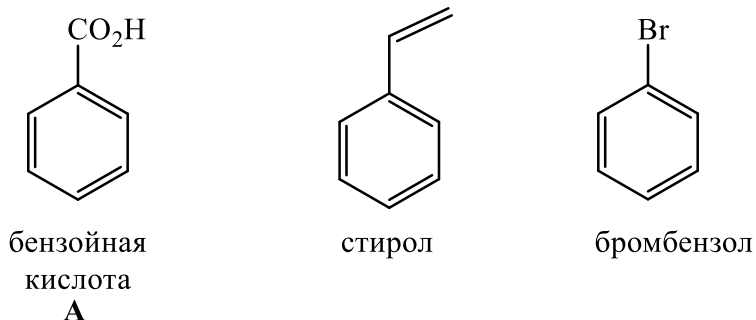


Система оценивания:

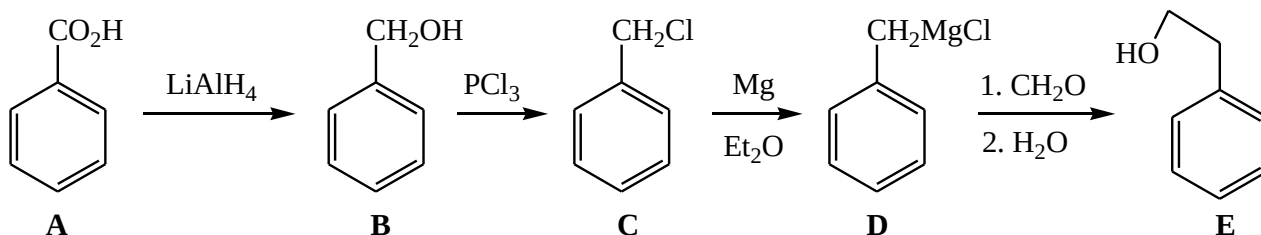
1. Два пути по 0,5 б., вещества X , Y , A и B по 1 б., способы получения A и B по 1 б. (без условий по 0,5 б.), исторические названия по 0,5 б., яды 1 б.	$0,5 \times 2 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0,5 \times 2 + 1 = 9 \text{ б.}$
2. Вещество C 1 б., его масса 2 б., уравнения реакций по 1 б., испарение ртути 1 б.	$1 + 2 + 1 \times 2 + 1 = 6 \text{ б.}$
3. Высокое давление паров 0,5 б, ЦНС 0,5 б, любые 3 верных признака по 0,5 б, уравнения реакций по 1 б.	$0,5 + 0,5 + 3 \times 0,5 + 1 \times 2 = 4,5 \text{ б.}$
4. Формулы веществ D-H по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 5 + 1 \times 5 = 7,5 \text{ б.}$
5. Формулы веществ по 1 б, уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 4 + 1 \times 5 = 9 \text{ б.}$
Примечание: Если формулы веществ, содержащих Hg^{+1} , не удвоены, то и за вещества, и за уравнения реакций выставляется половина баллов.	
Всего	36 баллов

Задание 4. (автор В.Н. Конев).

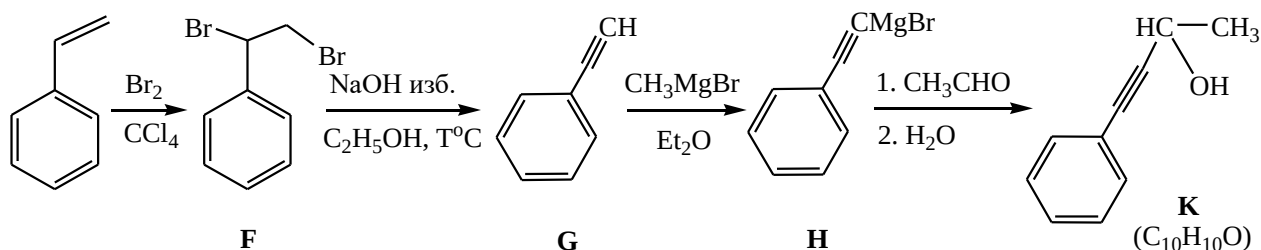
1. Структурные формулы бензойной кислоты, стирола и бромбензола:



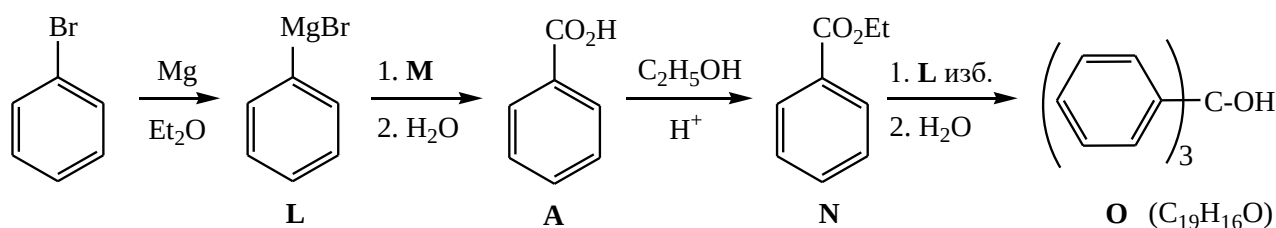
2. Алюмогидрид лития является очень сильным восстановителем, давая при действии на бензойную кислоту **A** бензиловый спирт **B**. При обработке спиртов трихлоридом фосфора происходит нуклеофильное замещение, при этом из бензинового спирта **B** образуется хлористый бензил **C**. Веществом **D** является бензилмагнийхлорид, который образуется из бензилхлорида **C** и магния в сухом диэтиловом эфире. Далее реактив Гриньяра **D** присоединяется к формальдегиду, давая 2-фенилэтанол **E** после разложения алкоголята магния водой.



При действии брома на стирол в таком неполярном растворителе, как тетрахлорметан, происходит электрофильное присоединение брома по кратной связи с образованием дибромпроизводного **F**. Следующая стадия является реакцией элиминирования. Гидроксид натрия в этаноле при нагревании является очень сильным основанием и способствует исчерпывающему отщеплению 2-х моль HBr от **F**, при этом получается фенилацетилен **G**. В следующей реакции проявляются основные свойства реактива Гриньяра, поскольку терминальные алкины являются C-H кислотами. Образовавшийся реактив Гриньяра **H** атакует электрон-дефицитный атом углерода альдегидной группы этанала, образуя спирт **K**.



Ароматические галогенпроизводные реагируют с магнием, так из фенилбромида получается фенилмагниибромид **L**. Далее из реактива Гриньяра необходимо получить бензойную кислоту **A**. Этого можно достичь, добавив к фенилмагниибромиду **L** углекислоту $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ - **M**. При кислотнокатализируемом взаимодействии бензойной кислоты **A** с этанолом образуется этилбензоат **N** (реакция этерификации). При действии на него 1 моля фенилмагниибромид **L** вначале образуется дифенилкетон, действие еще одного моля реактива Гриньяра приводит к образованию тритилкарбинола **O**.



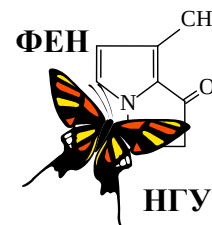
3. Уравнение гидролиза: $\text{CH}_3\text{MgBr} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_4 + \text{Mg}(\text{OH})\text{Br}$.

$n(\text{CH}_4) = 0.0112(\text{л})/22.4(\text{л/моль}) = 0,0005 \text{ моль} = n(\text{CH}_3\text{MgBr})$.

$C(\text{CH}_3\text{MgBr}) = 0,0005\text{моль}/0,010 \text{ л} = 0,05 \text{ моль/л}$.

Система оценивания:

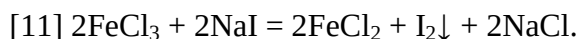
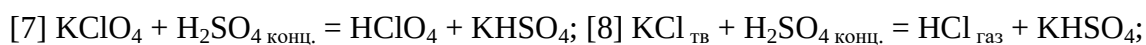
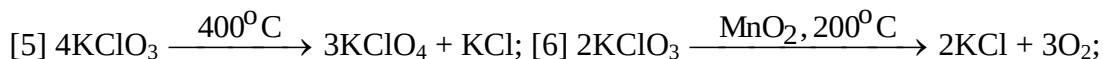
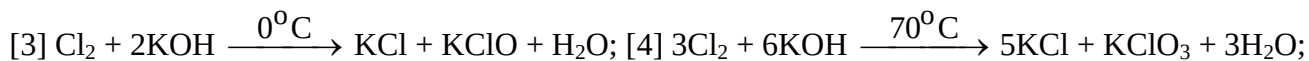
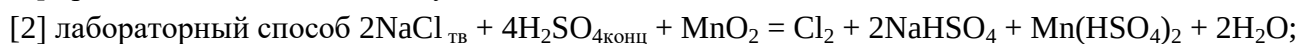
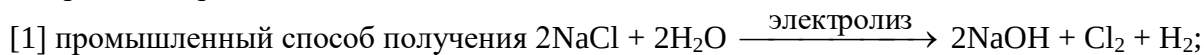
1. Структурные формулы бензойной кислоты, стирола и бромбензола по 1 б.	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$
2. Структурные формулы соединений В-О по 1,5 б.	$1,5 \times 12 = 18 \text{ б.}$
3. Уравнение гидролиза 1 б., расчет концентрации 2 б.	$1 + 2 = 3 \text{ б.}$
Всего	24 балла

**Задание 1.** (автор А.С. Чубаров)

1. (1) – седьмой или семнадцатой (принимаются оба ответа), (2) – галогенов, (3) – два, (4) – фтор, (5) – хлор, (6) – бром, (7) – йод, (8) – соль поваренную (принимаются любые ответы, в явном виде указывающие на эту соль). Автор дал стихотворению название «Гроза металлов. Галогены». Засчитывается любое имеющее к группе галогенов название.

2. **A** – NaCl (хлорид натрия), **B** – Cl₂ (хлор), **C** – KClO (гипохлорит калия), **D** – KClO₃ (хлорат калия), **E** – HClO₄ (хлорная кислота), **F** – KClO₄ (перхлорат калия), **G** – KCl (хлорид калия), **J** – HCl (хлороводород или соляная кислота), **K** – FeCl₃ (хлорид железа (III)), **L** – NH₄Cl (хлорид аммония).

3. Уравнения реакций:

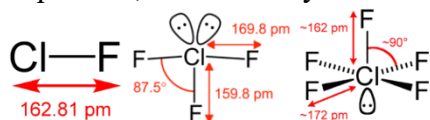


4. Элементы фтор и хлор образуют три бинарных соединения ClF, ClF₃, ClF₅.

ClF, геометрия молекулы линейная, валентного угла нет (ответ 180° принимается).

ClF₃, СЧ = 3+2 = 5 (распределение электронных пар – тригональная бипирамида), геометрия молекулы Т-образная, валентные углы около 90°.

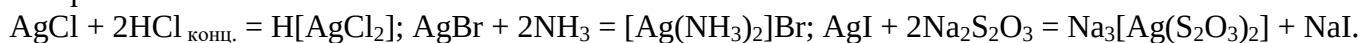
ClF₅, СЧ = 5+1 = 6 (распределение электронных пар – октаэдр), геометрия молекулы тетрагональная пирамида, валентные углы около 90°.



При взаимодействии межгалогидных соединений с водой происходит их полный гидролиз с образованием смеси кислот, как правило, содержащих элементы-галогены в той же степени окисления. При взаимодействии со щелочами образуются соответствующие соли:

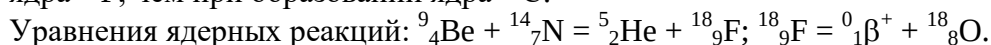


5. AgF – не осадок, AgCl – белый, AgBr – светло-желтый, AgI – желтый. Эти осадки обычно называют «творожистыми».



6. Пусть молярная доля изотопа ⁷⁹Br равна x, тогда получим выражение 79x + 81(1-x) = 79,9, откуда x = 0,55, тогда в природе содержится 55 мольн. % изотопа ⁷⁹Br и 45 % ⁸¹Br. (Если взять более точные массы изотопов, то значения составят: 51 % ⁷⁹Br и 49 % ⁸¹Br). Массовые доли $55 \cdot 79 / 79,9 = 54,4 \%$ и $45 \cdot 81 / 79,9 = 45,6 \%$.

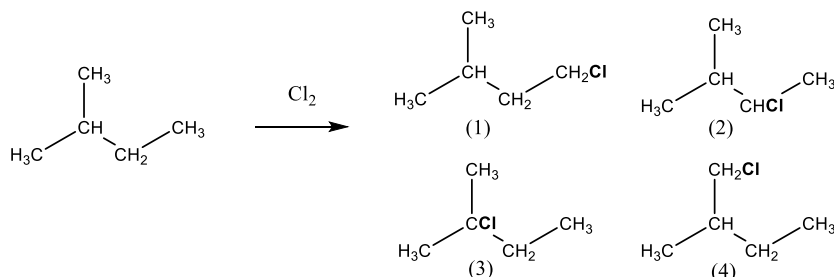
7. Проанализируем атомные массы фтора, хлора, брома и йода, приведенные в Периодической системе. Видим, что атомная масса фтора очень близка к целому числу, в то время как у остальных элементов эта величина от целого числа отличается заметно. Отсюда делаем вывод о том, что из перечисленных элементов в виде одного природного изотопа может существовать только фтор. Значит, его атомная масса совпадает с массой изотопа ¹⁹F в а.е.м. То, что эта величина оказалась меньше массового числа, объясняется несколько большим дефектом массы в расчете на один нуклон при образовании ядра ¹⁹F, чем при образовании ядра ¹²C.



8. Период полураспада – время, за которое распадается половина атомов вещества. В соответствии с уравнением $C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$ и $C = C_0/2$, получим $\tau_{1/2} = \ln 2/k$. $k = \ln 2/\tau_{1/2} = 0,379 \text{ ч}^{-1}$.

Процедуры подготовки к сканированию занимают ~1,5 ч. Подставим значения $t = 1,5 \text{ ч}$ и $k = 0,379 \text{ ч}^{-1}$. Получим, $C/C_0 = 0,57$ (то есть 43% препарата уже распалось).

9.* Расчет соотношения изомеров покажем на одном примере, ответы приведены в таблице. К изомеру (1) будут приводить три первичных атома водорода, всего первичных водородов 9, вторичных 2, третичных 1. Получим уравнение при 200°C **доля (1)** = $3N \times 1 / (9N \times 1 + 2N \times 3,9 + 1N \times 5,1) = 3/21,9 = 0,137$ (13,7 %).

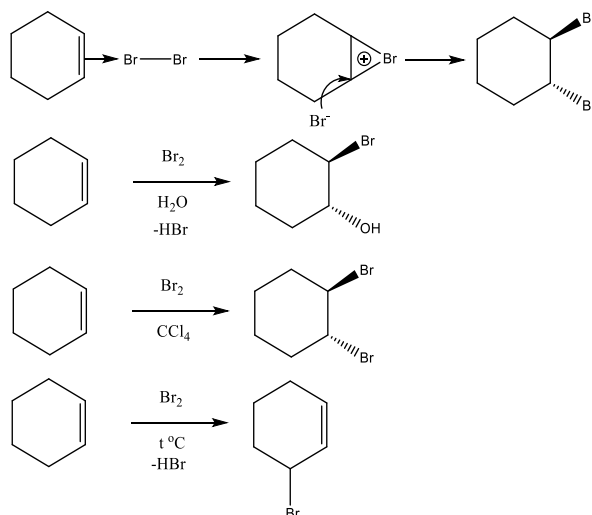


	(1) 1-хлор-3-метилбутан	(2) 2-хлор-3-метилбутан	(3) 2-хлор-2-метилбутан	(4) 1-хлор-2-метилбутан
Cl ₂ , 200°C	13,7	35,6	23,3	27,4
Cl ₂ , 600°C	25	16,7	8,3	50

10. Скорость замещения водорода у углеродного атома понижается в ряду третичный > вторичный > первичный, поскольку в этом ряду увеличивается энергия С-Н связи в алканах. Подобное различие в энергии связей связывают, прежде всего, со стабильностью образующихся свободных радикалов. Изменение стабильности алкильных радикалов обычно связывают с совместным действием двух эффектов - гиперконъюгации и стерического. Гиперконъюгация (реже сверхсопряжение) – это взаимодействие р-орбитали с σ-орбиталями СН-связей соседних алкильных групп, что приводит к делокализации неспаренного электрона. При увеличении числа СН связей на соседних с радикальным центром атомах углерода будет увеличиваться степень делокализации, и будет возрастать устойчивость свободного радикала. Большая скорость реакции по третичным атомам водорода связана с низкой энергией разрыва связи С-Н за счет стерического эффекта и устойчивостью образующегося третичного радикала (за счет эффекта гиперконъюгации). На стабильность радикалов также влияют пространственные факторы. Простые алкильные радикалы являются почти плоскими частицами, в которых неспаренный электрон занимает почти негибридную р-орбиталь. Например, в трет-бутильном радикале метильные группы отклоняются от плоскости всего на 20°. Следовательно пространственное отталкивание трех метильных групп в изобутане (тетраэдрическая геометрия, угол ~ 109°) будет ослабляться при диссоциации связи С-Н, что будет приводить к дополнительному выигрышу энергии к гиперконъюгации.

Уменьшение селективности протекания реакции при повышении температуры связано с возрастанием общей энергии системы, и, соответственно, увеличением доли «горячих» молекул, что приводит к тому, что энергии оказывается достаточно для разрыва любой связи С-Н.

11.* В реакции циклогексена с бромом электрофилом является молекула брома, которая образует π-комплекс с двойной связью. На следующей стадии образуется катион бромония (трехчленный цикл). Затем происходит атака нуклеофилом, концентрация которого в растворе максимальна (если концентрации нуклеофилов близки, то будет получаться смесь продуктов). Атака нуклеофила будет происходить по атому углерода «с тыла» от брома, вследствие чего будут получаться продукты транс-строения. Стоит обратить внимание, что в случае водного раствора брома будет получаться также 1,2-дибромциклогексан, однако его доля будет не более 20%.



При высокой температуре реакция будет протекать по радикальному механизму, вследствие чего замещение будет происходить в аллильном положении к двойной связи (образуется устойчивый аллильный радикал).

***При решении п. 9 и 11 не учитывалось образование различных стереоизомеров.**

Система оценивания:

1. Определение «чисел» и название стихотворения по 0,5 б.	0,5×9 = 4,5 б.
2. Названия веществ А-Л по 0,5 б.	0,5×10 = 5 б.
3. Уравнения реакций [1-11] по 0,5 б.	0,5×11 = 5,5 б.
4. Строение, валентные углы, геометрия по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×9+1×3 = 7,5 б.
5. Цвета осадков и его отсутствие по 0,5 б., форма 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×5+1×3 = 5,5 б.
6. Мольные и массовые доли каждого изотопа брома по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
7. Фтор 1 б., дефект массы 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1+1+1×2 = 4 б.
8. Константа распада 1 б., расчет соотношения 1 б.	1+1 = 2 б.
9. Структурные формулы и названия по 0,5 б., доли изомеров по 0,5 б.	0,5×8+0,5×8 = 8 б.
10. Пояснение разных скоростей при 200°C 1 б., одинаковых при 600°C 1 б.	1+1 = 2 б.
11. Уравнения реакций по 1 б., образование двух транс изомеров по 0,5 б.	1×3+0,5×2 = 4 б.
Всего	50 баллов

Задание 2. (автор В.А. Емельянов).

1. Вначале подпишем каждую из пробирок цифрами или буквами, чтобы не перепутать их в процессе анализа и однозначно привязать результаты проведенных исследований к каждой конкретной пробирке. Необходимость этой процедуры диктуется и правилами техники безопасности.

2. Затем попробуем растворить понемногу каждой соли в воде. Если все три соли растворяются хорошо, то одна из них CaCl_2 . Если одна из них не растворяется или растворяется плохо (увидеть разницу практически нереально), то это сульфат или карбонат кальция. Пробирку с плохо растворяющейся кальциевой солью отставляем в сторону, а состав аниона определим позже методом исключения.

3. Если все три соли хорошо растворяются, сделаем следующую процедуру. Смешав в отдельных пробирках часть растворов попарно, легко узнаем, где именно находится CaCl_2 , поскольку только этот раствор будет образовывать осадки с каждым из двух остальных:

$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3\downarrow$, $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{CaSO}_4\downarrow$ (ответ «помутнение» считается правильным, но на этом этапе отличить карбонат от сульфата опять же нереально).

Итак, если у нас был хлорид кальция, то мы его определили, и этот раствор и пробирку с солью больше не используем в своих экспериментах.

4. Возьмем по капле каждого из двух растворов, не содержащих кальций, и нанесем на полоски индикаторной бумаги. За счет гидролиза солей раствор, содержащий анион CO_3^{2-} окрасит бумагу в синий цвет, а раствор, содержащий катион NH_4^+ - в красный:

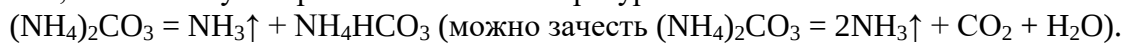
$\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$, $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3_{\text{водн.}} + \text{H}^+$.

Если один из растворов окрашивает индикаторную бумагу в красный цвет, то мы уже выполнили задачу. В этом растворе сульфат или хлорид аммония. Если в воде растворялись все вещества, то в этом растворе сульфат аммония, а в оставшемся – карбонат калия. Если одно из веществ в воде не растворялось, то в растворе, окрасившем индикаторную бумагу в красный цвет, находится хлорид аммония. Если второй раствор окрасил индикаторную бумагу в синий цвет, то в нем карбонат калия, а плохо растворявшееся вещество сульфат кальция. Если второй раствор не окрасил бумагу, то в нем сульфат калия, а не растворявшееся вещество – карбонат кальция.

5а. Если красного окрашивания бумаги не будет, то одна из пробирок должна окрасить бумагу в синий цвет, поскольку содержит карбонат аммония (гидролиз по аниону в растворе этой соли протекает в большей степени, чем гидролиз по катиону). Если в воде у нас растворялись все вещества, то в оставшемся растворе сульфат калия. Если одно из веществ не растворялось, то во втором растворе хлорид калия, а плохо растворявшееся вещество сульфат кальция.

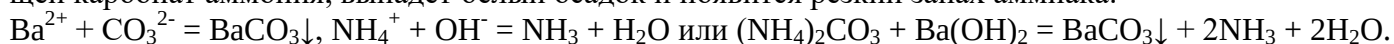
Школьники могут подумать, что в растворе карбоната аммония среда нейтральная, за счет одновременного гидролиза по катиону и аниону. Этот ответ нужно засчитать. В таком случае бумага не окрасилась бы ни в одном из двух растворов, что означает, что одна из двух солей – $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, а вторая – хлорид или сульфат калия, в зависимости от результата эксперимента 2 (третья, соответственно, сульфат или хлорид кальция). Тогда возможны еще два варианта полного решения задачи.

5б. В принципе, карбонат аммония и в твердом виде имеет сильный запах аммиака за счет разложения, заметного уже при комнатной температуре:

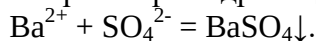


Это позволяет отличить карбонат аммония от оставшейся калиевой соли по запаху твердой соли или раствора. Если в воде у нас растворялись все вещества, то в оставшемся растворе сульфат калия. Если одно из веществ не растворялось, то во втором растворе хлорид калия, а плохо растворявшееся вещество сульфат кальция.

5в. Поскольку предыдущий ответ для школьника тоже не очевиден, карбонат аммония от калиевой соли (сульфата или хлорида) можно отличить следующим образом. Отольем понемногу каждого из двух растворов в разные пробирки и добавим к ним раствор гидроксида бария. В пробирке, содержащей карбонат аммония, выпадет белый осадок и появится резкий запах аммиака:



Если все вещества были растворимы, то во второй пробирке сульфат калия и при добавлении в нее раствора гидроксида бария выпадет белый осадок сульфата бария:



Если одно из исходных веществ было плохо растворимо, то это был сульфат кальция, а во второй пробирке находится раствор хлорида калия, при добавлении к которому раствора гидроксида бария ничего не произойдет.

Система оценивания:

1. За маркировку пробирок 2 б.	2 б.
2. За использование воды в определении 1 б., за верный вывод о солях кальция, основанный на растворимости 4 б.	1+4 = 5 б.
3. За использование процедуры попарного смешивания растворов 2 б., за уравнения реакций по 1 б. за однозначную идентификацию хлорида кальция 1 б.	2+1×2+1 = 5 б.
4. За использование индикаторной бумаги 2 б., за уравнения реакций гидролиза по 1 б., за вывод о решении задачи (установление всех солей) при наличии красной окраски индикаторной бумаги 2 б.	2+1×2+2 = 6 б.
5а. За вывод о решении задачи (установление всех солей) на этом этапе в случае, если одна бумага окрашена в синий цвет, а другая не окрашена 6 б.	6 б.
5б. За отличие карбоната аммония по запаху 1 б., уравнение реакции 2 б., решение задачи на этом этапе (установление всех солей) 3 б.	1+2+3 = 6 б.
5в. За использование гидроксида бария 1 б., уравнения реакций по 1 б. (суммарная реакция засчитывается за 2 б.), за решение задачи на этом этапе (установление всех солей) 2 б.	1+1×3+2 = 6 б.
Примечание: Баллы за выполнения 5-го шага разными путями (5а, 5б, 5в) не суммируются, засчитываются уравнения реакций в ионной и молекулярной форме, но за любое количество уравнений в молекулярной форме, описываемых одним уравнением в сокращенной ионной форме, выставляется 1 б. Если школьник предложил другой план, то он может получить 2 б. за маркировку пробирок, по 1 б. за уравнения реакций (не более 7), по 1 б. за каждое однозначно установленное вещество (их 9 вариантов) и далее в соответствии с разбалловкой до 6 б. за использование воды, процедуры смешивания растворов, индикаторной бумаги и раствора гидроксида бария. Если реактивы используются не совсем рационально (например, добавляются ко всем трем веществам вместо двух) или эта процедура сопровождается не строгим выводом, то за нее выставляется частичный балл.	
Всего	24 балла

Задание 3. (авторы В.А. Емельянов, Д.Г. Трофимов).

1. По Лавуазье, эти два пути - синтез и разложение. Современные химики говорят – синтез и анализ. Простых веществ – жидкостей всего 2: ртуть и бром. В принципе, из условия задачи понятно, что **X** – это именно ртуть (все-таки бром не реагирует с компонентами воздуха). Попробуем подтвердить нашу догадку расчетом. Определим молярную массу вещества **Y**: $39,9/M_Y = 12,6/22,4$, откуда $M_Y = 70,9$, что соответствует единственному простому газообразному веществу – хлору. Максимальное содержание брома в его хлоридах – 69,27 % (в BrCl), поэтому бром не подходит. Посмотрим, что получается для хлоридов ртути HgCl_n , массовое содержание которой в них вычисляется по формуле $100 \cdot 200,5 / (200,5 + 35,45n)$. Решив эти два уравнения, получим $n=2$ для **A** и $n=1$ для **B**. То есть **X**=Hg, **A**= HgCl_2 (сулема), **B**= HgCl (точнее, Hg_2Cl_2 – каломель). Получить **A** и **B** в чистом виде можно, например, следующим образом: $\text{Hg} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{70-120^\circ\text{C}} \text{HgCl}_2$; $\text{HgCl}_2 + \text{Hg} \xrightarrow{250-300^\circ\text{C}} \text{Hg}_2\text{Cl}_2$ (или реакцией обмена в водном растворе $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{KCl} = \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow + 2\text{KNO}_3$). Оба соединения – сильнейшие яды, поэтому современная медицина их не использует.

2. При длительном нагревании ртути в замкнутом объеме воздуха она окисляется в оксид ртути(II) красного цвета: $2\text{Hg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HgO}_{\text{красн.}}$ (вещество **C**). Из 40,00 унций ртути при 100 % выходе должно было получиться $(40,00/200,5) \cdot 216,5 = 43,19$ унций оксида. При накаливании в маленькой реторте оксид разложился на простые вещества $2\text{HgO}_{\text{красн.}} \xrightarrow{450-500^\circ\text{C}} 2\text{Hg}\uparrow + \text{O}_2\uparrow$, причем и ртуть при этой температуре (ее $t_{\text{кип}} = 357^\circ\text{C}$) сразу получается в газообразном виде, поэтому и она испарилась, а в реторте ничего не осталось.

3. Ртуть имеет довольно высокое давление паров при комнатной температуре, поэтому испаряется с заметной скоростью уже при обычных условиях. При длительном пребывании в помещении, в котором концентрация паров ртути превышает ее предельно допустимую концентрацию ($0,01 \text{ мг/м}^3$!), поражается центральная нервная система. Первыми признаками являются повышенная утомляемость, общая слабость, апатия, головные боли, головокружение. Затем может развиваться дрожание пальцев рук, век, губ – так называемый «ртутный тремор», наблюдается изменение вкусовых ощущений (металлический привкус), слезотечение, изменение цвета мочи и диарея. Довольно инертная по отношению к обычным окислителям, с такими веществами, как сера и хлорное железо, ртуть реагирует с заметной скоростью уже при комнатной температуре: $\text{Hg} + \text{S} \rightarrow \text{HgS}$; $2\text{Hg} + 2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{HgCl}_2 + \text{FeCl}_2$.

4. Уравнения реакций: $\text{Hg} + 4\text{HNO}_{3 \text{ конц.}} \rightarrow 2\text{NO}_2\uparrow (\text{D}) + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 (\text{E}) + 2\text{H}_2\text{O}$;

$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{HgO}_{\text{жёлт.}}\downarrow (\text{F}) + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{HgO}_{\text{жёлт.}} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{HgO}_{\text{красн.}}$;

$6\text{Hg}_{\text{изб.}} + 8\text{HNO}_{3 \text{ разб.}} \rightarrow 2\text{NO}\uparrow (\text{G}) + 3\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 (\text{H}) + 4\text{H}_2\text{O}$;

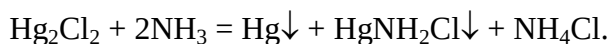
$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Hg}\downarrow + \text{HgO}_{\text{жёлт.}}\downarrow + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

5. Установим в основании Миллона соотношение $\text{Hg} : \text{N} = 85,7/200,5 : 2,99/14 = 0,427 : 0,214 = 2 : 1$. Действительно, весьма необычно. Посчитаем его молярную массу: $14/0,0299 = 2 \cdot 200,5/0,857 = 468$. За вычетом масс двух атомов ртути, азота и двух молекул воды остается $468 - 2 \cdot 200,5 - 14 - 36 = 17$ г/моль, что как раз совпадает с массой OH (нам ведь как раз нужно основание, да и два атома ртути дают заряд +4, а азот –3). Т.е. формула дигидрата основания Миллона $\text{Hg}_2\text{NOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Тогда формула гидрата его хлорида $\text{Hg}_2\text{NCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$. В белом неплавком преципитате соотношение $\text{Hg} : \text{N} = 79,6/200,5 : 5,56/14 = 0,397 : 0,397 = 1 : 1$, в белом плавком $\text{Hg} : \text{N} = 65,6/200,5 : 9,17/14 = 0,327 : 0,655 = 1 : 2$. Молярная масса неплавкого $200,5/0,796 = 14/0,0556 = 252$ г/моль, плавкого $200,5/0,656 = 2 \cdot 14/0,0917 = 305,5$. Если вычесть массы ртути и азота, в первом остается $252 - 200,5 - 14 = 37,5$ г/моль, что отвечает массе хлора и двух атомов водорода, во втором – $305,5 - 200,5 - 28 = 77$, т.е. масса 2 атомов хлора и 6 атомов водорода (по три на атом азота). Итак, формула неплавкого белого преципитата HgNH_2Cl , плавкого $\text{Hg}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$.

Уравнения реакций: $2\text{HgO} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Hg}_2\text{NOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}\downarrow$; $\text{HgCl}_2 + 2\text{NH}_3 = \text{HgNH}_2\text{Cl}\downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$;

$2\text{HgCl}_2 + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Hg}_2\text{NCl} \cdot \text{H}_2\text{O}\downarrow + 3\text{NH}_4\text{Cl}$; $\text{HgCl}_2 + 2\text{NH}_3_{\text{ж.}} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Hg}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2\downarrow$.

Почернение хлорида ртути(II) в аммиачной среде очень напоминает реакцию со щелочью и тоже связано с образованием металлической ртути в результате диспропорционирования. Второй продукт тот же, что и в реакции **A** с раствором аммиака при комнатной температуре:

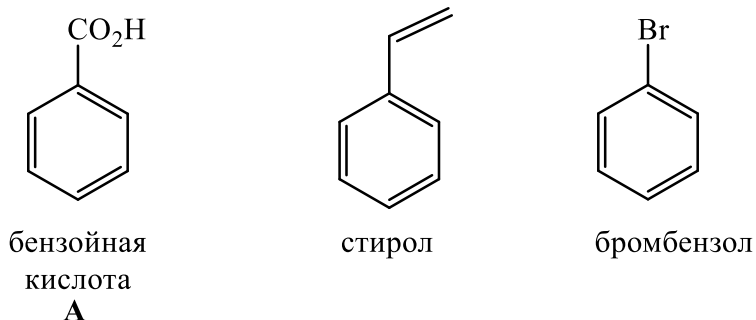


Система оценивания:

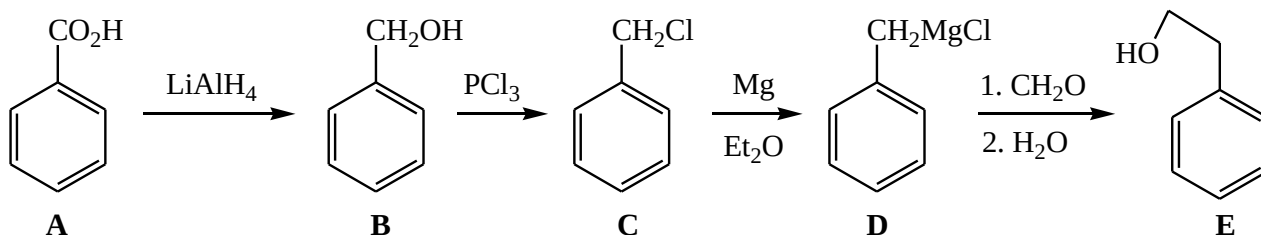
1. Два пути по 0,5 б., вещества X , Y , A и B по 1 б., способы получения A и B по 1 б. (без условий по 0,5 б.), исторические названия по 0,5 б., яды 1 б.	$0,5 \times 2 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0,5 \times 2 + 1 = 9 \text{ б.}$
2. Вещество C 1 б., его масса 2 б., уравнения реакций по 1 б., испарение ртути 1 б.	$1 + 2 + 1 \times 2 + 1 = 6 \text{ б.}$
3. Высокое давление паров 0,5 б, ЦНС 0,5 б, любые 3 верных признака по 0,5 б, уравнения реакций по 1 б.	$0,5 + 0,5 + 3 \times 0,5 + 1 \times 2 = 4,5 \text{ б.}$
4. Формулы веществ D-H по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 5 + 1 \times 5 = 7,5 \text{ б.}$
5. Формулы веществ по 1 б, уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 4 + 1 \times 5 = 9 \text{ б.}$
Примечание: Если формулы веществ, содержащих Hg^{+1} , не удвоены, то и за вещества, и за уравнения реакций выставляется половина баллов.	
Всего	36 баллов

Задание 4. (автор В.Н. Конев).

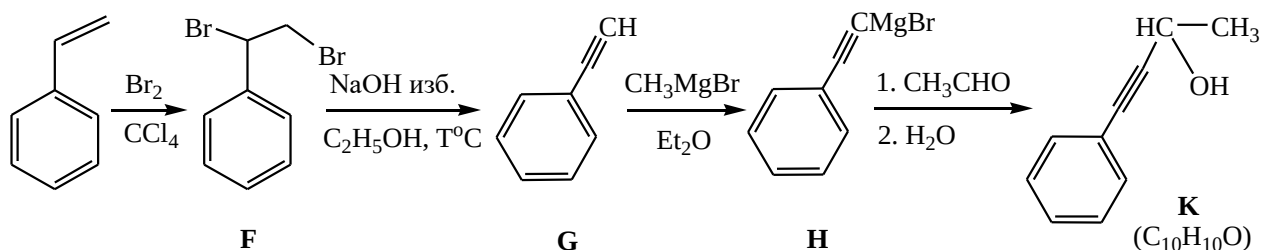
1. Структурные формулы бензойной кислоты, стирола и бромбензола:



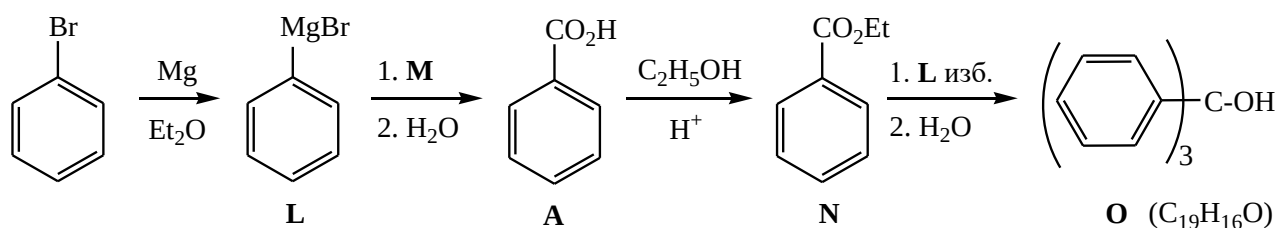
2. Алюмогидрид лития является очень сильным восстановителем, давая при действии на бензойную кислоту **A** бензиловый спирт **B**. При обработке спиртов трихлоридом фосфора происходит нуклеофильное замещение, при этом из бензинового спирта **B** образуется хлористый бензил **C**. Веществом **D** является бензилмагнийхлорид, который образуется из бензилхлорида **C** и магния в сухом диэтиловом эфире. Далее реактив Гриньяра **D** присоединяется к формальдегиду, давая 2-фенилэтанол **E** после разложения алкоголята магния водой.



При действии брома на стирол в таком неполярном растворителе, как тетрахлорметан, происходит электрофильное присоединение брома по кратной связи с образованием дибромпроизводного **F**. Следующая стадия является реакцией элиминирования. Гидроксид натрия в этаноле при нагревании является очень сильным основанием и способствует исчерпывающему отщеплению 2-х моль HBr от **F**, при этом получается фенилацетилен **G**. В следующей реакции проявляются основные свойства реактива Гриньяра, поскольку терминальные алкины являются C-H кислотами. Образовавшийся реактив Гриньяра **H** атакует электрон-дефицитный атом углерода альдегидной группы этанала, образуя спирт **K**.



Ароматические галогенпроизводные реагируют с магнием, так из фенилбромида получается фенилмагниибромид **L**. Далее из реактива Гриньяра необходимо получить бензойную кислоту **A**. Этого можно достичь, добавив к фенилмагниибромиду **L** углекислоту $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ - **M**. При кислотнокатализируемом взаимодействии бензойной кислоты **A** с этанолом образуется этилбензоат **N** (реакция этерификации). При действии на него 1 моля фенилмагниибромидом **L** вначале образуется дифенилкетон, действие еще одного моля реактива Гриньяра приводит к образованию тритилкарбинола **O**.



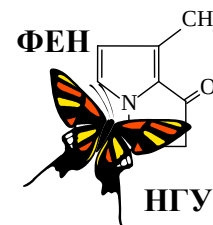
3. Уравнение гидролиза: $\text{CH}_3\text{MgBr} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_4 + \text{Mg}(\text{OH})\text{Br}$.

$n(\text{CH}_4) = 0.0112(\text{л})/22.4(\text{л/моль}) = 0,0005 \text{ моль} = n(\text{CH}_3\text{MgBr})$.

$\text{C}(\text{CH}_3\text{MgBr}) = 0,0005 \text{ моль} / 0,010 \text{ л} = 0,05 \text{ моль/л}$.

Система оценивания:

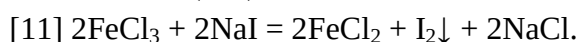
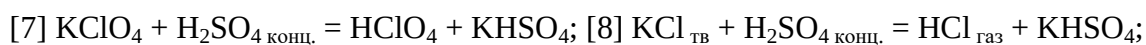
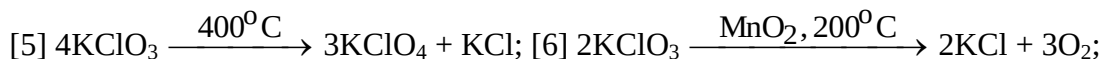
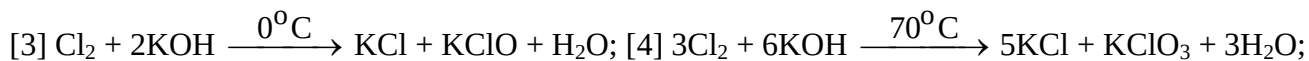
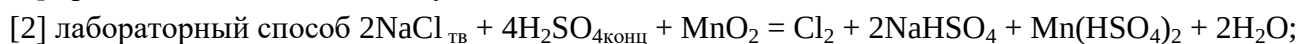
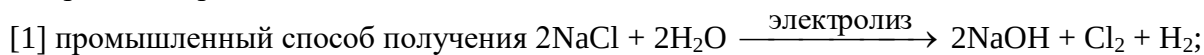
1. Структурные формулы бензойной кислоты, стирола и бромбензола по 1 б.	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$
2. Структурные формулы соединений В-О по 1,5 б.	$1,5 \times 12 = 18 \text{ б.}$
3. Уравнение гидролиза 1 б., расчет концентрации 2 б.	$1 + 2 = 3 \text{ б.}$
Всего	24 балла

**Задание 1.** (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов)

1. (1) – седьмой или семнадцатой (принимаются оба ответа), (2) – галогенов, (3) – два, (4) – фтор, (5) – хлор, (6) – бром, (7) – йод, (8) – соль поваренную (принимаются любые ответы, в явном виде указывающие на эту соль). Автор дал стихотворению название «Гроза металлов. Галогены». Засчитывается любое имеющее к группе галогенов название.

2. **A** – NaCl (хлорид натрия), **B** – Cl₂ (хлор), **C** – KClO (гипохлорит калия), **D** – KClO₃ (хлорат калия), **E** – HClO₄ (хлорная кислота), **F** – KClO₄ (перхлорат калия), **G** – KCl (хлорид калия), **J** – HCl (хлороводород или соляная кислота), **K** – FeCl₃ (хлорид железа (III)), **L** – NH₄Cl (хлорид аммония).

3. Уравнения реакций:



4. Элементы фтор и хлор образуют три бинарных соединения ClF, ClF₃, ClF₅.

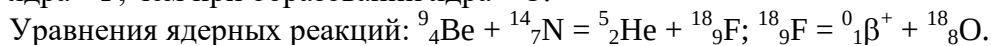
При взаимодействии межгалогидных соединений с водой происходит их полный гидролиз с образованием смеси кислот, как правило, содержащих элементы-галогены в той же степени окисления. При взаимодействии со щелочами образуются соответствующие соли:



5. AgF – не осадок, AgCl – белый, AgBr – светло-желтый, AgI – желтый. Эти осадки обычно называют «творожистыми».

6. Пусть мольная доля изотопа ⁷⁹Br равна x, тогда получим выражение $79x + 81(1-x) = 79,9$, откуда $x = 0,55$, тогда в природе содержится 55 мольн. % изотопа ⁷⁹Br и 45 % ⁸¹Br. (Если взять более точные массы изотопов, то значения составят: 51 % ⁷⁹Br и 49 % ⁸¹Br). Массовые доли $55 \cdot 79 / 79,9 = 54,4$ % и $45 \cdot 81 / 79,9 = 45,6$ %.

7. Проанализируем атомные массы фтора, хлора, брома и иода, приведенные в Периодической системе. Видим, что атомная масса фтора очень близка к целому числу, в то время как у остальных элементов эта величина от целого числа отличается заметно. Отсюда делаем вывод о том, что из перечисленных элементов в виде одного природного изотопа может существовать только фтор. Значит, его атомная масса совпадает с массой изотопа ¹⁹F в а.е.м. То, что эта величина оказалась меньше массового числа, объясняется несколько большим дефектом массы в расчете на один нуклон при образовании ядра ¹⁹F, чем при образовании ядра ¹²C.



8. Процедура подготовки и само сканирование пациента заняла $(90+20)/60 = 1,833$ ч, что практически совпадает со временем полураспада изотопа. Следовательно, после сканирования этого пациента в его организме осталось около половины от введенного ему изотопа (то есть 50 % препарата уже распалось).

Система оценивания:

1. Определение «чисел» и название стихотворения по 0,5 б.	$0,5 \times 9 = 4,5$ б.
2. Формулы веществ A-L по 0,5 б., названия по 0,5 б.	$(0,5 + 0,5) \times 10 = 10$ б.
3. Уравнения реакций [1-11] по 0,5 б.	$0,5 \times 11 = 5,5$ б.
4. Формулы веществ по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 3 + 1 \times 3 = 4,5$ б.

5. Цвета осадков и его отсутствие по 0,5 б., форма 0,5 б.	0,5×5 = 2,5 б.
6. Молярные и массовые доли каждого изотопа брома по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
7. Фтор 1 б., дефект массы 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1+1+1×2 = 4 б.
8. Осталось около половины изотопа 2 б.	2 б.
Всего	35 баллов

Задание 2. (автор В.А. Емельянов).

1. Формулы веществ: K_2SO_4 , K_2CO_3 , KCl , $CaSO_4$, $CaCO_3$, $CaCl_2$, $(NH_4)_2SO_4$, $(NH_4)_2CO_3$, NH_4Cl , H_2O . $Ba(OH)_2$, HCl .

2.1. Вначале подпишем каждую из пробирок цифрами или буквами, чтобы не перепутать их в процессе анализа и однозначно привязать результаты проведенных исследований к каждой конкретной пробирке. Необходимость этой процедуры диктуется и правилами техники безопасности.

2.2. Затем попробуем растворить понемногу каждой соли в воде. Если все три соли растворяются хорошо, то одна из них $CaCl_2$. Если одна из них не растворяется или растворяется плохо (увидеть разницу практически нереально), то это сульфат или карбонат кальция.

2.3. Возьмем в отдельную пробирку немного не растворявшейся полностью соли и добавим к ней раствор соляной кислоты. Растворение соли и выделение газа укажут нам на карбонат кальция:

$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$. Отсутствие этих признаков укажет на то, что эта соль – сульфат кальция. Эту пробирку и твердую соль больше не используем.

2.4. Если все три соли хорошо растворяются, сделаем следующую процедуру. Смешав в отдельных пробирках часть растворов попарно, легко узнаем, где именно находится $CaCl_2$, поскольку только этот раствор будет образовывать осадки с каждым из двух остальных:

$CaCl_2 + K_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2KCl$, $CaCl_2 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NH_4Cl$ ($Ca^{2+} + CO_3^{2-} = CaCO_3\downarrow$);

$CaCl_2 + K_2SO_4 = CaSO_4\downarrow + 2KCl$, $CaCl_2 + (NH_4)_2SO_4 = CaSO_4\downarrow + 2NH_4Cl$ ($Ca^{2+} + SO_4^{2-} = CaSO_4\downarrow$);

(ответ «помутнение» считается правильным, но на этом этапе отличить карбонат от сульфата опять же нереально).

Итак, если у нас был хлорид кальция, то мы его тоже определили, и этот раствор и пробирку с солью тоже больше не используем в своих экспериментах.

2.5. Отольем понемногу каждого из двух растворов, не содержащих кальций, в разные пробирки и добавим к ним раствор гидроксида бария.

2.5а. Если все вещества были хорошо растворимы в воде, то в обеих пробирках выпадут осадки карбоната и сульфата бария, но в одной пробирке (содержащей аммонийную соль), появится резкий запах аммиака:

$K_2CO_3 + Ba(OH)_2 = BaCO_3\downarrow + 2KOH$, $(NH_4)_2SO_4 + Ba(OH)_2 = BaSO_4\downarrow + 2NH_3\text{ водн.} + 2H_2O$;

$K_2SO_4 + Ba(OH)_2 = BaSO_4\downarrow + 2KOH$; $(NH_4)_2CO_3 + Ba(OH)_2 = BaCO_3\downarrow + 2NH_3\text{ водн.} + 2H_2O$.

Или в ионном виде: $Ba^{2+} + CO_3^{2-} = BaCO_3\downarrow$, $Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$, $NH_4^+ + OH^- = NH_3\text{ водн.} + H_2O$.

По запаху аммиака мы различаем калиевую и аммонийную соли, а карбонат от сульфата отличим по шипению и выделяющемуся газу при добавлении к небольшим количествам **одной** из двух исходных солей или ее раствору порции соляной кислоты:

$K_2CO_3 + 2HCl = 2KCl + CO_2\uparrow + H_2O$; $(NH_4)_2CO_3 + 2HCl = 2NH_4Cl + CO_2\uparrow + H_2O$

($CO_3^{2-} + 2H^+ = CO_2\uparrow + H_2O$). Если газ выделяется, то это карбонат, если нет, то сульфат, а карбонат оказался в другой пробирке.

Все вещества определены.

2.5б. Если одно из исходных веществ было плохо растворимо, то мы уже знаем, был ли там карбонат или сульфат кальция. В этом случае осадок выпадет только в одной из двух пробирок, в той, которая содержит второй из этих анионов. Сульфат это или карбонат, мы определяем методом исключения, соляная кислота нам уже не нужна. Если пробирка с осадком пахнет аммиаком, то в исходном растворе была соль аммония (карбонат или сульфат, в зависимости от результата эксперимента 2.3). Если аммиаком пахнет пробирка, в которой не выпал осадок, значит, в ней был раствор хлорида аммония, а во второй пробирке – соль калия (карбонат или сульфат, в зависимости от результата эксперимента 2.3): $2NH_4Cl + Ba(OH)_2 = BaCl_2 + 2NH_3\text{ водн.} + 2H_2O$ ($NH_4^+ + OH^- = NH_3\text{ водн.} + H_2O$).

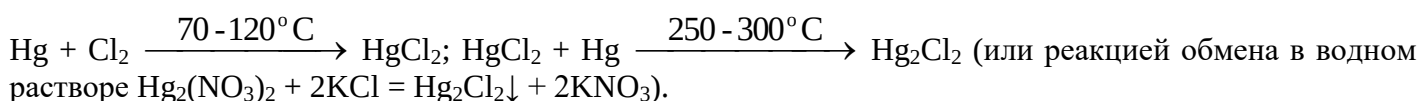
Все вещества определены.

Система оценивания:

1. Формулы веществ по 0,5 б.	0,5×12 = 6 б.
2.1. За маркировку пробирок 2 б.	2 б.
2.2. За использование воды в определении 2 б., за верный вывод о солях кальция, основанный на растворимости 3 б.	2+3 = 5 б.
2.3. За использование соляной кислоты в определении малорастворимой соли кальция 2 б., за идентификацию сульфата и карбоната кальция по 1 б., за уравнение реакции 1 балл	2+1×2+1 = 5 б.
2.4. За использование процедуры попарного смешивания растворов 2 б., за уравнения реакций по 0,5 б. (в ионном виде по 1 б.) за однозначную идентификацию хлорида кальция 1 б.	2+0,5×4+1 = 5 б.
2.5. За использование гидроксида бария 1 б., уравнения реакций по 0,5 б. (кроме уравнения реакции гидроксида бария с карбонатом аммония, которое засчитывается за 1 б.), за использование соляной кислоты, чтобы отличить растворимый карбонат от сульфата 2 б., за решение задачи в случае, если все соли растворимы 2 б., за решение задачи в случае, если одна соль была нерастворима 2 б.	1+0,5×6+1 = 5 б. 2+2+2 = 6 б.
Примечание: Засчитываются уравнения реакций в ионной и молекулярной форме, причем за уравнение реакции в сокращенной ионной форме, выставляется 1 балл (но учитывается оно 1 раз). Если школьник предложил другой план, то за пункты 2.2-2.5 он может получить следующие баллы: за уравнения реакций (не более 8), по 1 б. за каждое однозначно установленное вещество (их 9 вариантов) и далее в соответствии с разбалловкой до 9 б. за использование воды, соляной кислоты, процедуры смешивания растворов и раствора гидроксида бария. Если реактивы используются не совсем рационально (например, добавляются ко всем трем веществам вместо двух или одного) или эта процедура сопровождается не строгим выводом, то за нее выставляется частичный балл.	
Всего	34 балла

Задание 3. (авторы В.А. Емельянов, Д.Г. Трофимов).

1. По Лавуазье, эти два пути - синтез и разложение. Современные химики говорят – синтез и анализ. Простых веществ – жидкостей всего 2: ртуть и бром. В принципе, из условия задачи понятно, что **X** – это именно ртуть (все-таки бром не реагирует с компонентами воздуха). Попробуем подтвердить нашу догадку расчетом. Определим молярную массу вещества **Y**: $39,9/M_Y = 12,6/22,4$, откуда $M_Y = 70,9$, что соответствует единственному простому газообразному веществу – хлору. Максимальное содержание брома в его хлоридах – 69,27 % (в BrCl), поэтому бром не подходит. Посмотрим, что получается для хлоридов ртути HgCl_n , массовое содержание которой в них вычисляется по формуле $100 \cdot 200,5 / (200,5 + 35,45n)$. Решив эти два уравнения, получим $n=2$ для **A** и $n=1$ для **B**. То есть **X**=Hg, **A**= HgCl_2 (сулема), **B**= HgCl . Поскольку плотность паров вещества **B** по воздуху составляет 16,28, следовательно, его молекулярная масса составляет $16,28 \cdot 29 = 472,1$, что соответствует удвоенной молекулярной массе HgCl . Отсюда следует, что **B**= Hg_2Cl_2 – каломель. Получить **A** и **B** в чистом виде можно, например, следующим образом:



Оба соединения – сильнейшие яды, поэтому современная медицина их не использует.

2. При длительном нагревании ртути в замкнутом объеме воздуха она окисляется в оксид ртути(II) красного цвета: $2\text{Hg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HgO}_{\text{красн.}}$ (вещество **C**). Из 40,00 унций ртути при 100 % выходе должно было получиться $(40,00/200,5) \cdot 216,5 = 43,19$ унций оксида. При накаливании в маленькой реторте оксид разложился на простые вещества $2\text{HgO}_{\text{красн.}} \xrightarrow{450-500^\circ \text{C}} 2\text{Hg}\uparrow + \text{O}_2\uparrow$, причем и ртуть при

этой температуре (ее $t_{\text{кип}} = 357^{\circ}\text{C}$) сразу получается в газообразном виде, поэтому и она испарилась, а в реторте ничего не осталось.

3. Ртуть имеет довольно высокое давление паров при комнатной температуре, поэтому испаряется с заметной скоростью уже при обычных условиях. При длительном пребывании в помещении, в котором концентрация паров ртути превышает ее предельно допустимую концентрацию ($0,01 \text{ мг/м}^3$!), поражается центральная нервная система. Первыми признаками являются повышенная утомляемость, общая слабость, апатия, головные боли, головокружение. Затем может развиваться дрожание пальцев рук, век, губ – так называемый «ртутный тремор», наблюдается изменение вкусовых ощущений (металлический привкус), слезотечение, изменение цвета мочи и диарея. Довольно инертная по отношению к обычным окислителям, с такими веществами, как сера и хлорное железо, ртуть реагирует с заметной скоростью уже при комнатной температуре: $\text{Hg} + \text{S} \rightarrow \text{HgS}$; $2\text{Hg} + 2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{HgCl}_2 + \text{FeCl}_2$.

4. Уравнения реакций: $\text{Hg} + 4\text{HNO}_3_{\text{конц.}} \rightarrow 2\text{NO}_2\uparrow (\text{D}) + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 (\text{E}) + 2\text{H}_2\text{O}$;

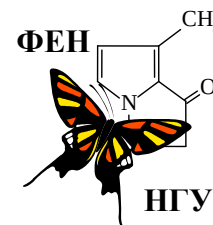
$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{HgO}_{\text{жёлт.}\downarrow} (\text{F}) + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{HgO}_{\text{жёлт.}} \xrightarrow{t, ^{\circ}\text{C}} \text{HgO}_{\text{красн.}}$;

$6\text{Hg}_{\text{изб.}} + 8\text{HNO}_3_{\text{разб.}} \rightarrow 2\text{NO}\uparrow (\text{G}) + 3\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 (\text{H}) + 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{HCl} = \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow + 2\text{HNO}_3$;

$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Hg}\downarrow + \text{HgO}_{\text{жёлт.}\downarrow} + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Система оценивания:

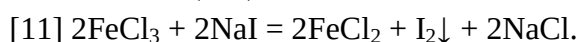
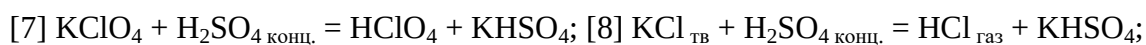
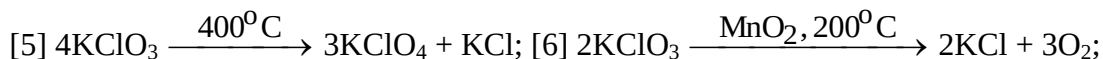
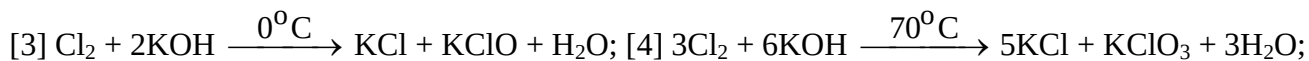
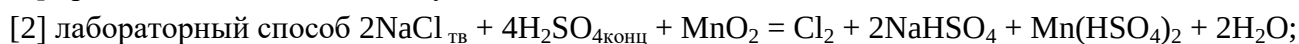
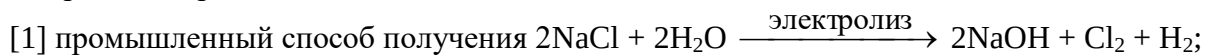
1. Два пути по 0,5 б., вещества X, Y, A и B по 1 б., способы получения A и B по 1 б. (без условий по 0,5 б.), исторические названия по 0,5 б., яды 1 б.	$0,5 \times 2 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0,5 \times 2 + 1 = 9 \text{ б.}$
2. Вещество C 1 б., его масса 2 б., уравнения реакций по 1 б., испарение ртути 1 б.	$1 + 2 + 1 \times 2 + 1 = 6 \text{ б.}$
3. Высокое давление паров 1 б., ЦНС 0,5 б., любые 3 верных признака по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$1 + 0,5 + 3 \times 0,5 + 1 \times 2 = 5 \text{ б.}$
4. Формулы веществ D-H по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 5 + 1 \times 6 = 11 \text{ б.}$
Примечание: Если формулы веществ, содержащих Hg^{+1} , не удвоены, то и вещества, и уравнения реакций засчитываются полностью.	
Всего	31 балл

**Задание 1.** (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов)

1. (1) – седьмой или семнадцатой (принимаются оба ответа), (2) – галогенов, (3) – два, (4) – фтор, (5) – хлор, (6) – бром, (7) – йод, (8) – соль поваренную (принимаются любые ответы, в явном виде указывающие на эту соль). Автор дал стихотворению название «Гроза металлов. Галогены». Засчитывается любое имеющее к группе галогенов название.

2. **A** – NaCl (хлорид натрия), **B** – Cl₂ (хлор), **C** – KClO (гипохлорит калия), **D** – KClO₃ (хлорат калия), **E** – HClO₄ (хлорная кислота), **F** – KClO₄ (перхлорат калия), **G** – KCl (хлорид калия), **J** – HCl (хлороводород или соляная кислота), **K** – FeCl₃ (хлорид железа (III)), **L** – NH₄Cl (хлорид аммония).

3. Уравнения реакций:



4. Элементы фтор и йод образуют четыре бинарных соединения IF, IF₃, IF₅ и IF₇.

5. HF + AgNO₃ – не идет; HCl + AgNO₃ = HNO₃ + AgCl↓ – белый; HBr + AgNO₃ = HNO₃ + AgBr↓ – светло-желтый; HI + AgNO₃ = HNO₃ + AgI↓ – желтый. Эти осадки обычно называют «творожистыми».

6. Пусть мольная доля изотопа ⁷⁹Br равна x, тогда получим выражение 79x + 81(1-x) = 79,9, откуда x = 0,55, тогда в природе содержится 55 мольн. % изотопа ⁷⁹Br и 45 % ⁸¹Br. (Если взять более точные массы изотопов, то значения составят: 51 % ⁷⁹Br и 49 % ⁸¹Br). Массовые доли $55 \cdot 79 / 79,9 = 54,4 \%$ и $45 \cdot 81 / 79,9 = 45,6 \%$.

7. Проанализируем атомные массы фтора, хлора, брома и иода, приведенные в Периодической системе. Видим, что атомная масса фтора очень близка к целому числу, в то время как у остальных элементов эта величина от целого числа отличается заметно. Отсюда делаем вывод о том, что из перечисленных элементов в виде одного природного изотопа может существовать только фтор. Значит, его атомная масса совпадает с массой изотопа ¹⁹F в а.е.м. То, что эта величина оказалась меньше массового числа, объясняется несколько большим дефектом массы в расчете на один нуклон при образовании ядра ¹⁹F, чем при образовании ядра ¹²C.

8. Процедура подготовки и само сканирование пациента заняли (90+20)/60 = 1,833 ч, что практически совпадает со временем полураспада изотопа. Следовательно, после сканирования этого пациента в его организме осталось около половины от введенного ему изотопа (то есть 50 % препарата уже распалось).

Система оценивания:

1. Определение «чисел» и название стихотворения по 0,5 б.	0,5×9 = 4,5 б.
2. Формулы веществ A-L по 0,5 б., названия по 0,5 б.	(0,5+0,5)×10 = 10 б.
3. Уравнения реакций [1-11] по 0,5 б.	0,5×11 = 5,5 б.
4. Формулы веществ по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
5. Уравнения реакций и ее отсутствие по 0,5 б., цвета по 0,5 б., форма 0,5 б.	0,5×4+0,5×3+0,5 = 4 б.
6. Мольные и массовые доли каждого изотопа брома по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
7. Фтор 1 б., дефект массы 1 б.	1+1 = 2 б.

8. Осталось около половины изотопа 2 б.	2 б.
Всего	32 балла

Задание 2. (автор В.А. Емельянов).

1. Формулы веществ: K_2SO_4 , K_2CO_3 , KCl , $CaSO_4$, $CaCO_3$, $CaCl_2$, $(NH_4)_2SO_4$, $(NH_4)_2CO_3$, NH_4Cl , H_2O , $Ba(OH)_2$, HCl .

2.1. Вначале подпишем каждую из пробирок цифрами или буквами, чтобы не перепутать их в процессе анализа и однозначно привязать результаты проведенных исследований к каждой конкретной пробирке. Необходимость этой процедуры диктуется и правилами техники безопасности.

2.2. Затем попробуем растворить понемногу каждой соли в воде. Если все три соли растворяются хорошо, то одна из них $CaCl_2$. Если одна из них не растворяется или растворяется плохо (увидеть разницу практически нереально), то это сульфат или карбонат кальция.

2.3. Возьмем в отдельную пробирку немного не растворявшейся полностью соли и добавим к ней раствор соляной кислоты. Растворение соли и выделение газа укажут нам на карбонат кальция:

$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$. Отсутствие этих признаков укажет на то, что эта соль – сульфат кальция. Эту пробирку и твердую соль больше не используем.

2.4. Если все три соли хорошо растворяются, сделаем следующую процедуру. Смешав в отдельных пробирках часть растворов попарно, легко узнаем, где именно находится $CaCl_2$, поскольку только этот раствор будет образовывать осадки с каждым из двух остальных:

$CaCl_2 + K_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2KCl$, $CaCl_2 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NH_4Cl$ ($Ca^{2+} + CO_3^{2-} = CaCO_3\downarrow$);

$CaCl_2 + K_2SO_4 = CaSO_4\downarrow + 2KCl$, $CaCl_2 + (NH_4)_2SO_4 = CaSO_4\downarrow + 2NH_4Cl$ ($Ca^{2+} + SO_4^{2-} = CaSO_4\downarrow$

(ответ «помутнение» считается правильным, но на этом этапе отличить карбонат от сульфата опять же нереально).

Итак, если у нас был хлорид кальция, то мы его тоже определили, и этот раствор и пробирку с солью тоже больше не используем в своих экспериментах.

2.5. Отольем понемногу каждого из двух растворов, не содержащих кальция, в разные пробирки и добавим к ним раствор гидроксида бария.

2.5а. Если все вещества были хорошо растворимы в воде, то в обеих пробирках выпадут осадки карбоната и сульфата бария, но в одной пробирке (содержащей аммонийную соль), появится резкий запах аммиака:

$K_2CO_3 + Ba(OH)_2 = BaCO_3\downarrow + 2KOH$, $(NH_4)_2SO_4 + Ba(OH)_2 = BaSO_4\downarrow + 2NH_3\text{ водн.} + 2H_2O$;

$K_2SO_4 + Ba(OH)_2 = BaSO_4\downarrow + 2KOH$; $(NH_4)_2CO_3 + Ba(OH)_2 = BaCO_3\downarrow + 2NH_3\text{ водн.} + 2H_2O$.

Или в ионном виде: $Ba^{2+} + CO_3^{2-} = BaCO_3\downarrow$, $Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$, $NH_4^+ + OH^- = NH_3\text{ водн.} + H_2O$.

По запаху аммиака мы различаем калиевую и аммонийную соли, а карбонат от сульфата отличим по шипению и выделяющемуся газу при добавлении к небольшим количествам **одной** из двух исходных солей или ее раствору порции соляной кислоты:

$K_2CO_3 + 2HCl = 2KCl + CO_2\uparrow + H_2O$; $(NH_4)_2CO_3 + 2HCl = 2NH_4Cl + CO_2\uparrow + H_2O$

($CO_3^{2-} + 2H^+ = CO_2\uparrow + H_2O$). Если газ выделяется, то это карбонат, если нет, то сульфат, а карбонат оказался в другой пробирке.

Все вещества определены.

2.5б. Если одно из исходных веществ было плохо растворимо, то мы уже знаем, был ли там карбонат или сульфат кальция. В этом случае осадок выпадет только в одной из двух пробирок, в той, которая содержит второй из этих анионов. Сульфат это или карбонат, мы определяем методом исключения, соляная кислота нам уже не нужна. Если пробирка с осадком пахнет аммиаком, то в исходном растворе была соль аммония (карбонат или сульфат, в зависимости от результата эксперимента 2.3). Если аммиаком пахнет пробирка, в которой не выпал осадок, значит, в ней был раствор хлорида аммония, а во второй пробирке – соль калия (карбонат или сульфат, в зависимости от результата эксперимента 2.3): $2NH_4Cl + Ba(OH)_2 = BaCl_2 + 2NH_3\text{ водн.} + 2H_2O$ ($NH_4^+ + OH^- = NH_3\text{ водн.} + H_2O$).

Все вещества определены.

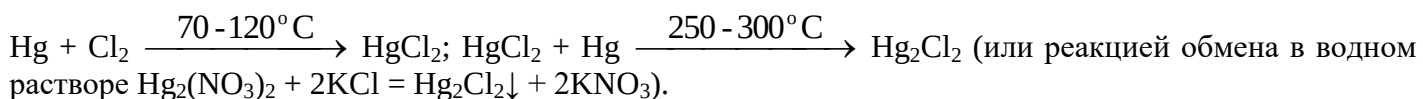
Система оценивания:

1. Формулы веществ по 0,5 б.	0,5×12 = 6 б.
------------------------------	---------------

2.1. За маркировку пробирок 2 б.	2 б.
2.2. За использование воды в определении 2 б., за верный вывод о солях кальция, основанный на растворимости 3 б.	2+3 = 5 б.
2.3. За использование соляной кислоты в определении малорастворимой соли кальция 2 б., за идентификацию сульфата и карбоната кальция по 1 б., за уравнение реакции 1 балл	2+1×2+1 = 5 б.
2.4. За использование процедуры попарного смешивания растворов 2 б., за уравнения реакций по 0,5 б. (в ионном виде по 1 б.) за однозначную идентификацию хлорида кальция 1 б.	2+0,5×4+1 = 5 б.
2.5. За использование гидроксида бария 1 б., уравнения реакций по 0,5 б. (кроме уравнения реакции гидроксида бария с карбонатом аммония, которое засчитывается за 1 б.), за использование соляной кислоты, чтобы отличить растворимый карбонат от сульфата 2 б., за решение задачи в случае, если все соли растворимы 2 б., за решение задачи в случае, если одна соль была нерастворима 2 б.	1+0,5×6+1 = 5 б. 2+2+2 = 6 б.
Примечание: Засчитываются уравнения реакций в ионной и молекулярной форме, причем за уравнение реакции в сокращенной ионной форме, выставляется 1 балл (но учитывается оно 1 раз). Если школьник предложил другой план, то за пункты 2.2-2.5 он может получить следующие баллы: за уравнения реакций (не более 8), по 1 б. за каждое однозначно установленное вещество (их 9 вариантов) и далее в соответствии с разбалловкой до 9 б. за использование воды, соляной кислоты, процедуры смешивания растворов и раствора гидроксида бария. Если реактивы используются не совсем рационально (например, добавляются ко всем трем веществам вместо двух или одного) или эта процедура сопровождается не строгим выводом, то за нее выставляется частичный балл.	
Всего	34 балла

Задание 3. (авторы В.А. Емельянов, Д.Г. Трофимов).

1. По Лавуазье, эти два пути - синтез и разложение. Современные химики говорят – синтез и анализ. Простых веществ – жидкостей всего 2: ртуть и бром. В принципе, из условия задачи понятно, что **X** – это именно ртуть (все-таки бром не реагирует с компонентами воздуха). Попробуем подтвердить нашу догадку расчетом. Определим молярную массу вещества **Y**: $39,9/M_Y = 12,6/22,4$, откуда $M_Y = 70,9$, что соответствует единственному простому газообразному веществу – хлору. Максимальное содержание брома в его хлоридах – 69,27 % (в BrCl), поэтому бром не подходит. Посмотрим, что получается для хлоридов ртути HgCl_n , массовое содержание которой в них вычисляется по формуле $100 \cdot 200,5 / (200,5 + 35,45n)$. Решив эти два уравнения, получим $n=2$ для **A** и $n=1$ для **B**. То есть **X**=Hg, **A**= HgCl_2 (сулема), **B**= HgCl . Поскольку плотность паров вещества **B** по воздуху составляет 16,28, следовательно, его молекулярная масса составляет $16,28 \cdot 29 = 472,1$, что соответствует удвоенной молекулярной массе HgCl . Отсюда следует, что **B**= Hg_2Cl_2 – каломель. Получить **A** и **B** в чистом виде можно, например, следующим образом:



Оба соединения – сильнейшие яды, поэтому современная медицина их не использует.

2. При длительном нагревании ртути в замкнутом объеме воздуха она окисляется в оксид ртути(II) красного цвета: $2\text{Hg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HgO}_{\text{красн.}}$ (вещество **C**). Из 40,00 унций ртути при 100 % выходе должно было получиться $(40,00/200,5) \cdot 216,5 = 43,19$ унции оксида. При накаливании в маленькой реторте оксид разложился на простые вещества $2\text{HgO}_{\text{красн.}} \xrightarrow{450-500^\circ \text{C}} 2\text{Hg}\uparrow + \text{O}_2\uparrow$, причем и ртуть при этой температуре (ее $t_{\text{кип}} = 357^\circ \text{C}$) сразу получается в газообразном виде, поэтому и она испарилась, а в реторте ничего не осталось.

3. Ртуть имеет довольно высокое давление паров при комнатной температуре, поэтому испаряется с заметной скоростью уже при обычных условиях. При длительном пребывании в помещении, в котором концентрация паров ртути превышает ее предельно допустимую концентрацию (0,01 мг/м³!), поражается центральная нервная система. Первыми признаками являются повышенная утомляемость, общая слабость, апатия, головные боли, головокружение. Затем может развиваться дрожание пальцев рук, век, губ – так называемый «ртутный тремор», наблюдается изменение вкусовых ощущений (металлический привкус), слезотечение, изменение цвета мочи и диарея. Довольно инертная по отношению к обычным окислителям, с такими веществами, как сера и хлорное железо, ртуть реагирует с заметной скоростью уже при комнатной температуре: $\text{Hg} + \text{S} \rightarrow \text{HgS}$; $2\text{Hg} + 2\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{HgCl}_2 + \text{FeCl}_2$.

4. Уравнения реакций: $\text{Hg} + 4\text{HNO}_3_{\text{конц.}} \rightarrow 2\text{NO}_2\uparrow (\text{D}) + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 (\text{E}) + 2\text{H}_2\text{O}$;

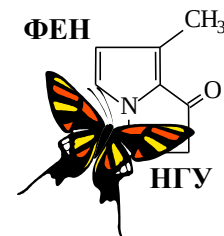
$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{HgO}_{\text{жёлт.}}\downarrow (\text{F}) + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{HgO}_{\text{жёлт.}} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{HgO}_{\text{красн.}}$;

$6\text{Hg}_{\text{изб.}} + 8\text{HNO}_3_{\text{разб.}} \rightarrow 2\text{NO}\uparrow (\text{G}) + 3\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 (\text{H}) + 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{HCl} = \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow + 2\text{HNO}_3$;

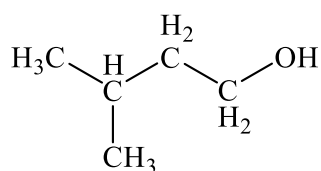
$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Hg}\downarrow + \text{HgO}_{\text{жёлт.}}\downarrow + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Система оценивания:

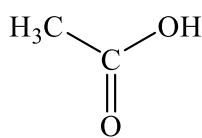
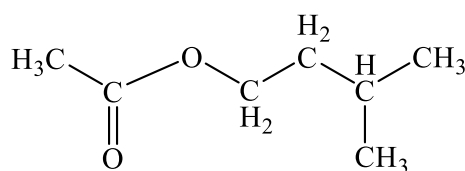
1. Два пути по 0,5 б., вещества X, Y, A и B по 1 б., способы получения A и B по 1 б. (без условий по 0,5 б.), исторические названия по 0,5 б., яды 1 б.	$0,5 \times 2 + 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0,5 \times 2 + 1 = 9 \text{ б.}$
2. Вещество C 1 б., его масса 2 б., уравнения реакций по 1 б., испарение ртути 1 б.	$1 + 2 + 1 \times 2 + 1 = 6 \text{ б.}$
3. Высокое давление паров 1 б., ЦНС 0,5 б., любые 3 верных признака по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$1 + 0,5 + 3 \times 0,5 + 1 \times 2 = 5 \text{ б.}$
4. Формулы веществ D-H по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 5 + 1 \times 6 = 11 \text{ б.}$
Примечание: Если формулы веществ, содержащих Hg^{+1} , не удвоены, то и вещества, и уравнения реакций засчитываются полностью.	
Всего	31 балл

**Задание 1.** (авторы Э.С. Сапарбаев, В.Н. Конев).

1-3. Взаимодействие одноосновной карбоновой кислоты (**Y**) со спиртом – реакция *этерификации*, приводящая к образованию сложного эфира (соединения **X**). Эту реакцию обычно проводят в присутствии *катализатора* и водоотнимающего средства – *концентрированной серной кислоты* H_2SO_4 (**Z**). Установим примерную молекулярную массу эфира **X**: $M_r(X) = 4,5 \cdot 29 \sim 131$ г/моль. Учитывая молекулярную формулу изоамилового спирта ($C_5H_{11}OH$), а также то, что при реакции этерификации отщепляется молекула воды, найдем примерную молекулярную массу карбоновой кислоты **Y**: $M_r(Y) \sim 131 + 18 - 88 \sim 61$ г/моль. Среди одноосновных предельных карбоновых кислот наиболее близким значением молекулярной массы обладает уксусная кислота CH_3COOH . Структурные формулы изоамилового спирта, соединений **X** (изоамилацетат) и **Y** (уксусная кислота):



изоамиловый спирт

**Y****X**

4. Температура плавления безводной уксусной кислоты $\sim 17^\circ C$. При меньшей температуре безводная уксусная кислота превращается в бесцветные кристаллы, по внешнему виду похожие на кристаллы обычного льда. Именно поэтому ее называют "ледяной".

5. **a** – обратный холодильник (холодильник Димрота); **б** – насадка Дина-Старка; **в** – круглодонная колба; **г** – нагревательная плитка; **д** – «кипелки».

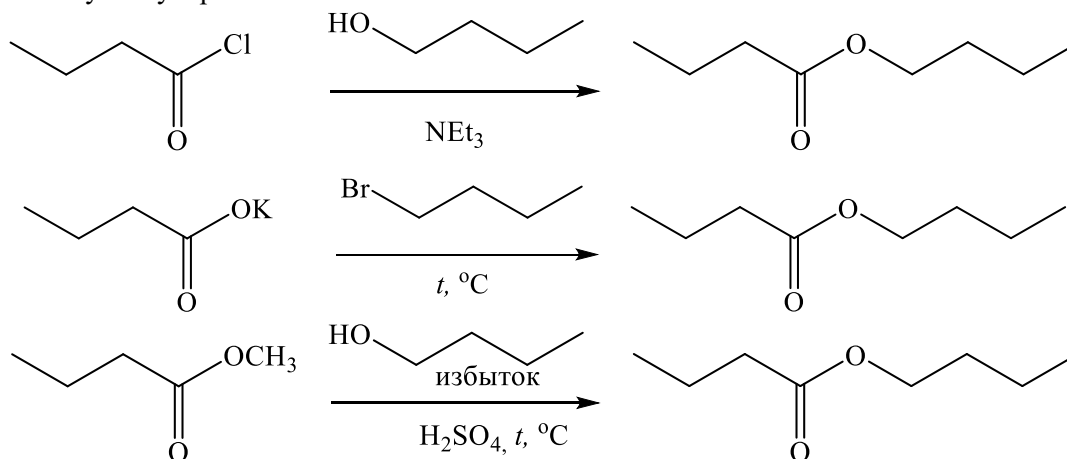
«Кипелки» добавляют в колбу для того, чтобы смесь равномерно кипела (они являются центрами кипения). Если их не добавить, то может образоваться перегретая жидкость, которая кипит «толчками», выплескиваясь из колбы в другие части прибора.

6. Рассчитаем количество исходных изоамилового спирта и уксусной кислоты:

$$\nu(C_2H_4O_2) = \frac{57,1 \cdot 1,05}{60,1} = 1 \text{ моль}; \quad \nu(C_5H_{12}O) = \frac{163,1 \cdot 0,81}{88,2} = 1,5 \text{ моль}.$$

Поскольку при образовании изоамилацетата в реакции этерификации участвуют эквимольные количества спирта и кислоты, расчет теоретического количества эфира необходимо проводить по количеству кислоты. Т. е., теоретически должно было быть получено 1 моль эфира или 1 моль $\cdot 130,2$ г/моль = 130,2 г. Воды должно было образоваться 1 моль $\cdot 18$ г/моль = 18 г, но выделилось всего 15 г, следовательно, выход в реакции составил $15 \text{ г} / 18 \text{ г} = 0,833$ или $\approx 83\%$. Таким образом, изоамилацетата образовалось $130,2 \text{ г} \cdot 0,833 \approx 110 \text{ г}$.

7. Схемы синтеза бутилбутирата:



Система оценивания:

1. Структурные формулы спирта, кислоты и эфира по 1 б., подтверждение расчетом 2 б., названия кислоты и эфира по 1 б.	1×3 = 3 б. 2+1×2 = 4 б.
2. Формула (название) кислоты Z 1 б., катализатор и водоотнимающее средство по 0,5 б.	1+0,5×2 = 2 б.
3. Название упомянутой реакции 1 б.	1 б.
4. Объяснение названия "ледяная" 1 б.	1 б.
5. Названия частей установки по 1 б., функция кипелок 1 б.	1×5+1 = 6 б.
6. Расчет выхода эфира и массы X по 2 б.	2×2 = 4 б.
7. Схемы синтеза с условиями по 2 б. (без условий по 1 б.)	2×3 = 6 б.
Всего	27 баллов

Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)

1. Минералы железных руд это в основном оксиды. Попробуем представить формулу магнетита как Fe_xO_y , тогда $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$. Отсюда $x = 0,75y$. Так как x и y могут быть только целыми числами, то наименьшие числа: $x = 3$, $y = 4$, следовательно, формула магнетита Fe_3O_4 . Такое вещество действительно существует, его структура соответствует $Fe(FeO_2)$, структурный тип – шпинель (см. п. 5 условия).

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате $\omega_{пир.} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372\%$.

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит $1,372 \cdot 0,6357 = 0,872$ г, следовательно, масса железа от магнетита $60,5 - 0,872 = 59,628$ г, а содержание магнетита в концентрате составит $\omega_{магн.} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$.

3. Представим формулу пирротина Fe_xA_y , где x и y могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл. Атомную массу А примем за Z, тогда $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$. $x = 0,03124yZ$. $Z = 32x/y$. Единственное разумное решение получается при $x = 1$, $y = 1$, $Z = 32$. Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина FeS. По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

4. Уравнения реакций: а) $Fe_3O_4 + 8HCl = FeCl_2 + 2FeCl_3 + 4H_2O$, $FeS + 2HCl = FeCl_2 + H_2S\uparrow$;

б) $Fe_3O_4 + 10HNO_{3\text{ конц.}} = 3Fe(NO_3)_3 + NO_2\uparrow + 5H_2O$,

$3FeS + 30HNO_{3\text{ конц.}} = Fe_2(SO_4)_3 + Fe(NO_3)_3 + 27NO_2\uparrow + 15H_2O$ или

$FeS + 12HNO_{3\text{ конц.}} = Fe(NO_3)_3 + H_2SO_4 + 9NO_2\uparrow + 5H_2O$.

в) $Fe_3O_4 + 5Cl_2 + 16NaOH = 3Na_2FeO_4 + 10NaCl + 8H_2O$,

$FeS + 6Cl_2 + 16NaOH = Na_2FeO_4 + Na_2SO_4 + 12NaCl + 8H_2O$.

5. Метасиликат кальция – $CaSiO_3$, ортосиликат кальция – Ca_2SiO_4 , диортосиликат алюминия – $Al_2Si_2O_7$, метаалюминат магния – $Mg(AlO_2)_2$.

Уравнения реакций: а) $Al_2Si_2O_7 + 6HCl + (2n-3)H_2O = 2AlCl_3 + 2SiO_2 \cdot nH_2O\downarrow (2H_2SiO_3\downarrow + H_2O)$,

$Mg(AlO_2)_2 + 8HCl = 2AlCl_3 + MgCl_2 + 4H_2O$; б) $Al_2Si_2O_7 + 6NaOH + H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 2Na_2SiO_3 (Na_4SiO_4)$,

$Mg(AlO_2)_2 + 2NaOH + 4H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + Mg(OH)_2\downarrow$.

6. Уравнение реакции: $CaCO_3 \xrightarrow{t, ^\circ C} CaO + CO_2\uparrow$.

В 100 кг концентрата содержится $m_{CaO} = 0,3$ кг и $m_{SiO_2} = 5$ кг.

Примем массу добавленного известняка за x кг. В нём содержится 0,95х кг $CaCO_3$. Масса CaO, вносимого с известняком, составит $m_{CaO}^{изв.} = 0,95x \cdot M_{CaO}/M_{CaCO_3} = 0,95x \cdot 56/100 = 0,532x$ кг, а масса SiO_2 $m_{SiO_2}^{изв.} = 0,05 \cdot 0,5 \cdot x = 0,025x$ кг.

Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна $m_{CaO}^{агл.} = m_{CaO} + m_{CaO}^{изв.} = 0,3 + 0,532x$ кг, а масса SiO_2 в агломерате $m_{SiO_2}^{агл.} = m_{SiO_2} + m_{SiO_2}^{изв.} = 5 + 0,025x$ кг.

По условию, $B = 1,7 = \omega_{CaO}^{агл.}/\omega_{SiO_2}^{агл.} = m_{CaO}^{агл.}/m_{SiO_2}^{агл.} = (0,3 + 0,532x)/(5 + 0,025x)$, откуда $x = 16,75$. К 100 кг концентрата нужно добавить 16,75 кг известняка.

7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то $m_{кокс.}/(100 + m_{кокс.}) = 0,042$. Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит $m_{кокс.} = 100 \cdot 0,042/(1 - 0,042) = 4,38$ кг.

Уравнение реакции: $C + O_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} CO_2 \text{ (или CO)}.$

8. Масса агломерата складывается из масс концентрата, остатка от известняка (надо вычесть улетевший углекислый газ или сложить массы, приходящиеся в известняке на оксид кальция и пустую породу) и золы коксика. Масса остатка от известняка составит $m_{\text{изв.}} - m_{\text{CO}_2}^{\text{изв.}} = 16,75 - 0,44 \cdot 0,95 \cdot 16,75 = 16,75 - 7,00 = 9,75$ кг или $m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} + m_{\text{пуст. породы}}^{\text{изв.}} = 0,532 \cdot 16,75 + 0,05 \cdot 16,75 = 9,75$ кг. Масса коксика, необходимая на 100 кг смеси 4,38 кг, тогда на 116,75 кг его потребуется $4,38 \cdot 1,1675 = 5,11$ кг. Золы от него останется $0,12 \cdot 5,11 = 0,61$ кг. $m_{\text{агл.}} = 100 + 9,75 + 0,61 = 110,36$ кг.

Система оценивания:

1. Определение формулы магнетита, подтверждённой расчётом 1 б. (без подтверждения 0,5 б.), структурный тип 0,5 б.	1+0,5 = 1,5 б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	2×2 = 4 б.
3. Формула пирротина с расчетом 1 б. (без расчета 0,5 б.), класс 0,5 б.	1+0,5 = 1,5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×6 = 6 б.
5. Формулы по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×4+1×4 = 6 б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчет массы известняка 3 б.	1+3 = 4 б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчет массы коксика 2 б.	1+2 = 3 б.
8. Расчет массы агломерата 3 б. (остаток от известняка 2 б., зола 1 б.)	3 б.
Всего	29 баллов

Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)

- Уравнение реакции деления $^{235}_{92}\text{U}$: $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} = ^{145}_{56}\text{Ba} + ^{89}_{36}\text{Kr} + 2^1_0\text{n}$.
- Столь малое значение молярной массы (8 г/моль) приводит набору из трех самых легких элементов: H, He и Li. Кроме того, X – сложное вещество, т. к. простых веществ с такой молярной массой нет, а оно еще и на что-то разлагается согласно [5]. Гелий соединений не образует, поэтому его можно смело отбросить. Отсюда можно заключить, что X – гидрид лития LiH (M = 8 г/моль), который реагирует с водой с образованием водорода. Действительно, по описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение $29 \cdot 0,103 = 3,0$ г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (против ^1H) – из воды, другой (дейтерия $\text{D} = ^2\text{H}$) – из вещества X. Тогда для сохранения молярной массы 8 г/моль мы должны использовать литий-6. То есть вещество X – $^6\text{Li}^2\text{H}$ – дейтерид лития-6, а Y – это HD – дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой.
- Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiOH} + \text{H}_2 \uparrow$ [1]; $\text{LiH} + \text{HCl} \rightarrow \text{LiCl} + \text{H}_2 \uparrow$ [2]; $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ [3]; $2\text{LiH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{LiOH}$ ($\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$) [4]; $2\text{LiH} \rightarrow 2\text{Li} + \text{H}_2 \uparrow$ [5].
- Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{LiCl} + \text{HCl}$; $\text{LiH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{LiNH}_2 + \text{H}_2$; $3\text{LiH} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} + \text{LiOH}$ или $6\text{LiH} + 3\text{SO}_2 \rightarrow 2\text{Li}_2\text{S} + \text{Li}_2\text{SO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$; $2\text{LiH} + \text{B}_2\text{H}_6 \rightarrow 2\text{LiBH}_4$; $3\text{LiH} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Li}_3\text{N} + \text{NH}_3$.
- Для создания требуемых условий сначала производится взрыв обычного ядерного заряда.
- Уравнения ядерных реакций: $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$, $^6_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow 2^4_2\text{He} + Q$ – в общем виде. Реакция идет в 2 стадии: $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He} + Q$, $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$.
- Частицы ^4_2He , выделяющиеся в ядерных реакциях, называются α -частицы. Поскольку в момент выделения они имеют заряд 2+, α -частицы обладают исключительно сильными окислительными свойствами.
- Сахаров Андрей Дмитриевич.

Система оценивания:

1. Символ 1 б.	1 б.
2. Формулы X, Y и Z по 1 б. (LiH, H ₂ и H ₂ O по 0 б.), расчеты (подтверждение) 2 б., дейтерид лития-6, дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода по 1 б. (гидрид лития, водород и вода по 0 б.)	1×3+2+1×3 = 8 б.
3. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
5. Подрыв обычного ядерного заряда 1 б.	1 б.
6. Уравнения ядерных реакций по 2 б.	2×2 = 4 б.
7. Название 0,5 б., свойства 1 б.	0,5+1 = 1,5 б.
8. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	0,5×3 = 1,5 б.
Всего	27 баллов

Задание 4. (автор Н.В. Рубан).

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента X за m . Массовая доля элемента X во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно, $3m/(5 \cdot 40 + 3(m + 64) + 19) = 0,1845$. Отсюда получаем $m = 31$, что соответствует атомной массе фосфора.

Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе: $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$ (правильным так же считать P_2O_5 , P_2O_3 , P_4O_6). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

3. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле $V = \pi r^2 \cdot h$, где πr^2 - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки), h - высота (толщина слоя фосфора). Тогда $V_p = 3,14 \cdot 100 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$. Массу фосфора вычисляем по формуле $m_p = V_p \cdot \rho = 31,4 \cdot 1,82 = 57,2 \text{ г}$.

За час собака съест $57,2 \cdot 0,1 = 5,72 \text{ г}$ фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

4. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$. Следовательно, собака съест летальную дозу за $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$.

5. Уравнение реакции: $4Ca_5(PO_4)_3F + 18SiO_2 + 30C \xrightarrow{t, ^\circ C} 3P_4 \uparrow + 18CaSiO_3 + 30CO \uparrow + 2CaF_2$.

6. Уравнения реакций: $P_4 + 6Mg \rightarrow 2Mg_3P_2$ (вещество **B**); $Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2PH_3$ (**C**);

$2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3$ (**C**); $4PH_3 + 8O_2 \rightarrow 6H_2O \uparrow + P_4O_{10}$ (P_2O_5) (**D**);

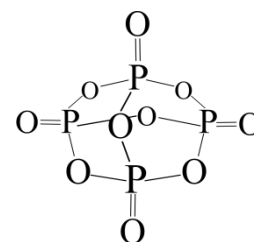
$P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$ (**E**); $5PH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow 5H_3PO_4$ (**E**) + $8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O$;

$P_4 + 10Cl_2 \rightarrow 4PCl_5$ (**F**); $PCl_5 + H_2O \rightarrow 2HCl + POCl_3$ (**J**), $POCl_3 + 3C_2H_5OH \rightarrow 3HCl + PO(OC_2H_5)_3$ (**H**).

7. Возгонка (сублимация) – переход вещества из твердого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое. Такие превращения, как возгонка, плавление, испарение и другие переходы из одной фазы в другую без изменения химического состава вещества, относятся к фазовым переходам.

Основываясь на результатах эксперимента детектива, вычислим молекулярную массу вещества **D** в газовой фазе. Из уравнения Менделеева-Клапейрона найдем количество вещества: $n = PV/RT = 0,914 \cdot 0,02 / (633 \cdot 0,082) = 0,000352 \text{ моль}$.

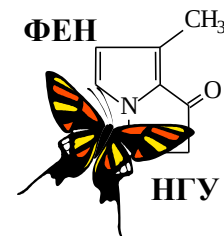
Отсюда $M(D_{\text{газ}}) = 0,1/0,000352 = 284 \text{ г/моль}$, что соответствует молекулярной формуле P_4O_{10} и следующей структурной формуле (структурная формула для P_2O_5 не засчитывается):



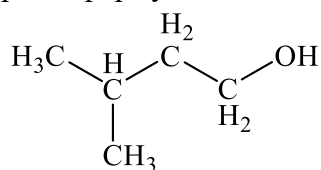
8. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

Система оценивания:

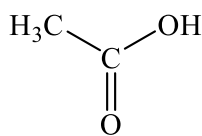
1. Определение элемента X с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
3. Расчет массы 2 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	2+1 = 3 б.
4. Расчет времени 1 б.	1 б.
5. Уравнение реакции 2 б., без коэффициентов (все продукты реакции правильные) 1 б.	2 б.
6. Формулы веществ B-H по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 7 + 1 \times 9 = 12,5 \text{ б.}$
7. Фазовый переход 0,5 б., расчет молекулярной массы 1 б., структурная формула вещества D 1 б.	$0,5 + 1 + 1 = 2,5 \text{ б.}$
8. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
Всего	27 баллов

**Задание 1.** (авторы Э.С. Сапарбаев, В.Н. Конев).

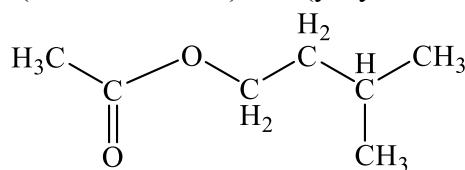
1-3. Взаимодействие одноосновной карбоновой кислоты (Y) со спиртом – реакция *этерификации*, приводящая к образованию сложного эфира (соединения X). Эту реакцию обычно проводят в присутствии *катализатора* и водоотнимающего средства – *концентрированной серной кислоты* H_2SO_4 (Z). Установим примерную молекулярную массу эфира X: $M_r(X) = 4,5 \cdot 29 \sim 131$ г/моль. Учитывая молекулярную формулу изоамилового спирта ($C_5H_{11}OH$), а также то, что при реакции этерификации отщепляется молекула воды, найдем примерную молекулярную массу карбоновой кислоты Y: $M_r(Y) \sim 131 + 18 - 88 \sim 61$ г/моль. Среди одноосновных предельных карбоновых кислот наиболее близким значением молекулярной массы обладает уксусная кислота CH_3COOH . Структурные формулы изоамилового спирта, соединений X (изоамилацетат) и Y (уксусная кислота):



изоамиловый спирт



Y



X

4. Температура плавления безводной уксусной кислоты $\sim 17^\circ C$. При меньшей температуре безводная уксусная кислота превращается в бесцветные кристаллы, по внешнему виду похожие на кристаллы обычного льда. Именно поэтому ее называют "ледяной".

5. *a* – обратный холодильник (холодильник Димрота); *b* – насадка Дина-Старка; *в* – круглодонная колба; *г* – нагревательная плитка; *д* – «кипелки».

«Кипелки» добавляют в колбу для того, чтобы смесь равномерно кипела (они являются центрами кипения). Если их не добавить, то может образоваться перегретая жидкость, которая кипит «толчками», выплескиваясь из колбы в другие части прибора.

6. Рассчитаем количество исходных изоамилового спирта и уксусной кислоты:

$$\nu(C_2H_4O_2) = \frac{57,1 \cdot 1,05}{60,1} = 1 \text{ моль}; \quad \nu(C_5H_{12}O) = \frac{163,1 \cdot 0,81}{88,2} = 1,5 \text{ моль}.$$

Поскольку при образовании изоамилацетата в реакции этерификации участвуют эквимольные количества спирта и кислоты, расчет теоретического количества эфира необходимо проводить по количеству кислоты. Т. е., теоретически должно было быть получено 1 моль эфира или $1 \text{ моль} \cdot 130,2 \text{ г/моль} = 130,2 \text{ г}$. Воды должно было образоваться $1 \text{ моль} \cdot 18 \text{ г/моль} = 18 \text{ г}$, но выделилось всего 15 г, следовательно, выход в реакции составил $15 \text{ г} / 18 \text{ г} = 0,833$ или $\approx 83\%$. Таким образом, изоамилацетата образовалось $130,2 \text{ г} \cdot 0,833 \approx 110 \text{ г}$.

Система оценивания:

1. Структурные формулы спирта, кислоты и эфира по 1 б., подтверждение расчетом 2 б, названия кислоты и эфира по 1 б.	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$ $2 + 1 \times 2 = 4 \text{ б.}$
2. Формула (название) кислоты Z 1 б., катализатор и водоотнимающее средство по 0,5 б.	$1 + 0,5 \times 2 = 2 \text{ б.}$
3. Название упомянутой реакции 1 б.	1 б.
4. Объяснение названия "ледяная" 1 б.	1 б.
5. Названия частей установки по 1 б., функция кипелок 1 б.	$1 \times 5 + 1 = 6 \text{ б.}$
6. Расчет выхода эфира и массы X по 2 б.	$2 \times 2 = 4 \text{ б.}$
Всего	21 балл

Задание 2. (авторы А.И. Ущеров, В.А. Емельянов)

1. Минералы железных руд это в основном оксиды. Попробуем представить формулу магнетита как Fe_xO_y , тогда $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$. Отсюда $x = 0,75y$. Так как x и y могут быть только целыми числами, то наименьшие числа: $x = 3$, $y = 4$, следовательно, формула магнетита Fe_3O_4 . Такое вещество действительно существует, по классификации относится к основным оксидам (можно просто оксид). Если формула представлена в виде $\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$ то допускается ответ – соль.

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате $\omega_{\text{пир.}} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372\%$.

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит $1,372 \cdot 0,6357 = 0,872$ г, следовательно, масса железа от магнетита $60,5 - 0,872 = 59,628$ г, а содержание магнетита в концентрате составит $\omega_{\text{магн.}} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$.

3. Представим формулу пирротина Fe_xA_y , где x и y могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл. Атомную массу А примем за Z, тогда $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$. $x = 0,03124yZ$. $Z = 32x/y$. Единственное разумное решение получается при $x = 1$, $y = 1$, $Z = 32$. Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина FeS . По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

4. Уравнения реакций: а) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$;

б) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 10\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = 3\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$,

$3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$ или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$.

5. Метасиликат кальция – CaSiO_3 , ортосиликат кальция – Ca_2SiO_4 , диортосиликат алюминия – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, метаалюминат магния – $\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$.

Уравнения реакций: а) $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 + 6\text{HCl} + (2n-3)\text{H}_2\text{O} = 2\text{AlCl}_3 + 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}\downarrow (2\text{H}_2\text{SiO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O})$,

$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2 + 8\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + \text{MgCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;

б) $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 + 6\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 2\text{Na}_2\text{SiO}_3 (\text{Na}_4\text{SiO}_4)$,

$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2 + 2\text{NaOH} + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$.

6. Уравнение реакции: $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$.

В 100 кг концентрата содержится $m_{\text{CaO}} = 0,3$ кг и $m_{\text{SiO}_2} = 5$ кг.

Примем массу добавленного известняка за x кг. Масса CaO , вносимого с известняком, составит $m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = x \cdot M_{\text{CaO}}/M_{\text{CaCO}_3} = x \cdot 56/100 = 0,56x$ кг.

Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна $m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}} + m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = 0,3 + 0,56x$ кг, а масса SiO_2 в агломерате $m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = 5$ кг.

По условию, $B = 1,7 = \omega_{\text{CaO}}^{\text{агл.}}/\omega_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}}/m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = (0,3 + 0,56x)/5$, откуда $x = 14,6$. К 100 кг концентрата нужно добавить 14,6 кг известняка.

7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то $m_{\text{кокск.}}/(100+m_{\text{кокск.}}) = 0,042$. Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит $m_{\text{кокск.}} = 100 \cdot 0,042/(1-0,042) = 4,38$ кг.

Уравнение реакции: $\text{C} + \text{O}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CO}_2$ (или CO).

8. Масса агломерата складывается из масс концентрата, остатка от известняка (надо вычесть улетевший углекислый газ или взять массу, приходящуюся в известняке на оксид кальция) и золы коксика. Масса остатка от известняка составит $m_{\text{изв.}} - m_{\text{CO}_2}^{\text{изв.}} = 14,6 - 0,44 \cdot 14,6 = 0,56 \cdot 14,6 = 8,2$ кг.

Масса коксика, необходимая на 100 кг смеси 4,38 кг, тогда на $100 + 14,6 = 114,6$ кг его потребуется $4,38 \cdot 1,146 = 5,02$ кг. Золы от него останется $0,12 \cdot 5,02 = 0,60$ кг.

$m_{\text{агл.}} = 100 + 8,2 + 0,60 = 108,8$ кг.

Система оценивания:

1. Определение формулы магнетита, подтверждённой расчётом 2 б. (без подтверждения 1 б.), класс соединения 0,5 б.	2+0,5 = 2,5 б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	2×2 = 4 б.
3. Формула пирротина с расчётом 2 б. (без расчёта 1 б.), класс 0,5 б.	2+0,5 = 2,5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×4 = 4 б.
5. Формулы по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×4+1×4 = 6 б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчет массы известняка 3 б.	1+3 = 4 б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчет массы коксика 2 б.	1+2 = 3 б.
8. Расчет массы агломерата 3 б. (остаток от известняка 2 б., зола 1 б.)	3 б.
Всего	29 баллов

Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)

1. Уравнение реакции деления $^{235}_{92}\text{U}$: $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} = ^{145}_{56}\text{Ba} + ^{89}_{36}\text{Kr} + 2^1_0\text{n}$.

Отношение мощностей взрывов $50 \cdot 10^6 / 15 \cdot 10^3 = 3,33 \cdot 10^3$.

2. Изотопы водорода: ^1H – протий, ^2H (символ D) – дейтерий, ^3H (символ T) – тритий.

3. По описанию газ **Y** очень похож на водород, но расчет молярной массы газа **Y** дает нам значение $29 \cdot 0,103 = 3,0$ г/моль. Такое возможно, если в составе газа **Y** один атом водорода (протия ^1H) – из воды, другой (дейтерия $\text{D} \equiv ^2\text{H}$) – из $^6_3\text{Li}^2\text{H}$. То есть **Y** – это HD - дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (**Z**), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой. Вещество $^6_3\text{Li}^2\text{H}$ (**X**) - дейтерид лития-6.

4. Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiOH} + \text{H}_2\uparrow$ [1]; $\text{LiH} + \text{HCl} \rightarrow \text{LiCl} + \text{H}_2\uparrow$ [2];

$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ [3]; $2\text{LiH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{LiOH}$ ($\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$) [4]; $2\text{LiH} \rightarrow 2\text{Li} + \text{H}_2\uparrow$ [5].

5. Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{LiCl} + \text{HCl}$; $\text{LiH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{LiNH}_2 + \text{H}_2$; $2\text{LiH} + \text{B}_2\text{H}_6 \rightarrow 2\text{LiBH}_4$; $3\text{LiH} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Li}_3\text{N} + \text{NH}_3$.

6. Уравнения ядерных реакций: $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$, $^6_3\text{Li}^2\text{H} \rightarrow 2^4_2\text{He} + Q$ – в общем виде.

Реакция идет в 2 стадии: $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He} + Q$, $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$.

7. Частицы ^4_2He , выделяющиеся в ядерных реакциях, называются α -частицы. Поскольку в момент выделения они имеют заряд $2+$, α -частицы обладают исключительно сильными окислительными свойствами.

8. Сахаров Андрей Дмитриевич.

Система оценивания:

1. Символ 1 б., отношение мощностей 1 б.	1+1 = 2 б.
2. Названия по 0,5 б., символы по 0,5 б.	0,5×3+0,5×2 = 2,5 б.
3. Формулы Y и Z по 1 б. (H_2 и H_2O по 0,5 б.), дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода, дейтерид лития по 1 б. (водород, вода и гидрид лития по 0,5 б.)	1×2+1×3 = 5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
5. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×4 = 4 б.
6. Уравнения ядерных реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
7. Название 1 б., свойства 1 б.	1+1 = 2 б.
8. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	0,5×3 = 1,5 б.
Всего	24 балла

Задание 4. (автор Н.В. Рубан).

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за m . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно, $3m/(5 \cdot 40 + 3(m + 64) + 19) = 0,1845$. Отсюда получаем $m = 31$, что соответствует атомной массе фосфора. Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе: $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$ (правильным так же считать P_2O_5 , P_2O_3 , P_4O_6). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

3. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле $V = \pi r^2 \cdot h$, где πr^2 - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки), h - высота (толщина слоя фосфора). Таким образом, $V_P = 3,14 \cdot 100 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$. Массу фосфора вычисляем по формуле $m_P = V_P \cdot \rho = 31,4 \cdot 1,82 = 57,2 \text{ г}$. Тогда, за час собака съест $57,2 \cdot 0,1 = 5,72 \text{ г}$ фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

4. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$. Следовательно, собака съест летальную дозу за $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$.

5. Уравнение реакции: $4Ca_5(PO_4)_3F + 18SiO_2 + 30C \xrightarrow{t, ^\circ C} 3P_4 \uparrow + 18CaSiO_3 + 30CO \uparrow + 2CaF_2$.

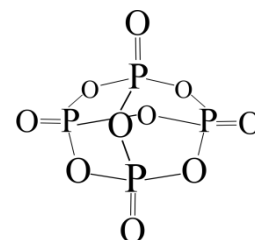
6. Уравнения реакций: $P_4 + 6Mg \rightarrow 2Mg_3P_2$ (вещество **B**); $Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2PH_3$ (**C**);

$2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3$ (**C**); $4PH_3 + 8O_2 \rightarrow 6H_2O \uparrow + P_4O_{10}$ (P_2O_5) (**D**);

$P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$ (**E**); $5PH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow 5H_3PO_4$ (**E**) + $8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O$;

$P_4 + 10Cl_2 \rightarrow 4PCl_5$ (**F**); $PCl_5 + H_2O \rightarrow 2HCl + POCl_3$ (**J**).

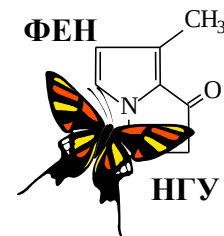
7. Возгонка (сублимация) – переход вещества из твердого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое. Такие превращения, как возгонка, плавление, испарение и другие переходы из одной фазы в другую без изменения химического состава вещества, относятся к фазовым переходам. Поскольку плотность вещества **D** в газовой фазе составляет 9,79 по воздуху, его молекулярная масса равна $9,79 \cdot 29 = 283,9 \approx 284$, что соответствует молекулярной формуле P_4O_{10} и следующей структурной формуле (структурная формула для P_2O_5 не засчитывается):



8. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

Система оценивания:

1. Определение элемента X с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
3. Расчет массы 3 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	3+1 = 4 б.
4. Расчет времени 1 б.	1 б.
5. Уравнение реакции 2 б., без коэффициентов (все продукты реакции правильные) 1 б.	2 б.
6. Формулы веществ B-J по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×6+1×8 = 11 б.
7. Фазовый переход 1 б., структурная формула вещества D 1 б.	1+1 = 2 б.
8. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
Всего	26 баллов

**Задание 1. (автор В.А. Емельянов).**

1. а) Объем трех пузырьков составляет $3 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (0,5/2)^3 = 0,19625 \approx 0,2 \text{ см}^3 = 0,2 \text{ мл}$. То есть, скорость подачи газа в этих единицах составляет 0,2 мл/с;
б) За секунду через трубку проходит $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 5,02 \cdot 10^{18}$ молекул;
в) В минуту через трубку пройдет $60 \cdot 3 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} = 9,04 \cdot 10^{20}$ атомов;
г) В час через трубку пройдет $44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} / 6,02 \cdot 10^{23} = 1,32 \text{ г}$ газа ($44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 1,32 \text{ г}$);
д) В сутки через трубку пройдет $24 \cdot 1,32 / 44 = 0,72$ моль газа.

2. Минимальное время $360 / 0,2 = 1800 \text{ с}$ или $1800 / 60 = 30 \text{ мин}$. Эксперимент проводят заметно дольше, поскольку часть углекислого газа уходит в окружающую среду и не получается количественно вытеснить воздух из колбы рассчитанным объемом углекислого газа. Взвешивания проводят до тех пор, пока не совпадут результаты двух-трех последних взвешиваний. Именно последнее значение массы берут в качестве истинного. Одним взвешиванием обойтись нельзя, поскольку в этом случае нет никакой уверенности в том, что в колбе уже нет воздуха, а есть только углекислый газ.

3. В колбе объемом 0,36 л в условиях эксперимента содержится $0,36 / 24 = 0,015$ моль любого газа. Это количество углекислого газа весит $44 \cdot 0,015 = 0,66 \text{ г}$. Однако, прежде чем сложить это значение с массой колбы, приведенной в задаче, из последней надо вычесть массу находящегося в ней воздуха. Среднее значение молярной массы воздуха 29 г/моль, масса воздуха в колбе $29 \cdot 0,015 = 0,435 \text{ г}$. Масса колбы с пробкой, полностью заполненной углекислым газом, составит $412,555 - 0,435 + 0,66 = 412,78 \text{ г}$.

4. При переворачивании колбы углекислый газ «выливается» из нее, поскольку он тяжелее воздуха. Горящая свеча гаснет, поскольку углекислый газ вытесняет воздух (и, соответственно, кислород) из зоны горения, а сам горение не поддерживает.

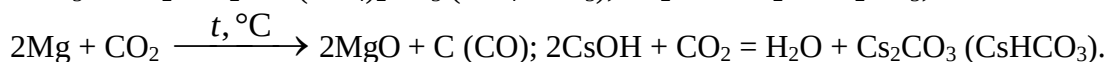
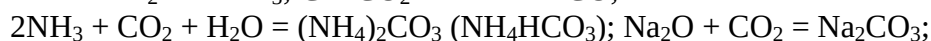
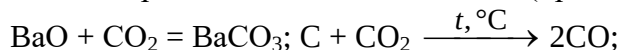
5. Буратино увидел, что при пропускании углекислого газа через прозрачную бесцветную известковую воду наблюдается ее помутнение (выпадает осадок, жидкость белеет и т. п.):

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$. После того, как Буратино отвлекся и снова посмотрел на колбу, он увидел, что количество мути стало уменьшаться (осадок растворяться, жидкость снова стала светлеть и т. п.), поскольку при избытке углекислого газа карбонат кальция растворяется, вновь давая прозрачный бесцветный раствор: $\text{CaCO}_3_{\text{тв.}} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca(HCO}_3)_2_{\text{р-р}}$.

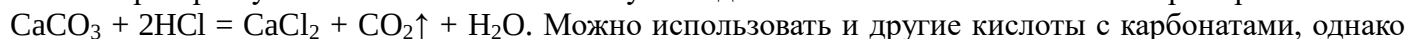
6. В 1 л известковой воды содержится 1,6 г гашеной извести, то есть $1,6 / 74 = 0,0216 = 2,16 \cdot 10^{-2}$ моль, в 0,1 л – $2,16 \cdot 10^{-3}$ моль. Для максимального проявления первого эффекта (максимальное количество мути) углекислого газа также потребуется $2,16 \cdot 10^{-3}$ моль. Такое количество газа проходит через трубку за $2,16 \cdot 10^{-3} / 0,72 = 3 \cdot 10^{-3}$ суток или $60 \cdot 24 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 4,32 \text{ мин}$ или 259,2 с. Чтобы увидеть окончание второго эффекта (растворился весь карбонат кальция), нужно как минимум еще столько же CO_2 , т. е. еще столько же времени. Всего потребуется $2 \cdot 4,32 = 8,64 \text{ мин}$ или 518,4 с.

7. а) С углекислым газом не реагируют: соляная кислота, оксид азота(II), хлор, оксид меди(II), хлорид кальция (водный раствор), сера.

б) С углекислым газом реагируют: оксид бария, уголь (при нагревании), аммиак (водный раствор), оксид натрия, металлический магний (при нагревании), гидроксид цезия. Уравнения реакций:



8. В лаборатории углекислый газ обычно получают действием соляной кислоты на мрамор:



важно, чтобы образующаяся в ходе реакции соль была хорошо растворима, а кислота была достаточно сильной, если исходный карбонат растворим плохо.

Углекислый газ используется в пищевой промышленности (консервант, разрыхлитель, производство газированных напитков), химической промышленности (производство соды) для заполнения огнетушителей, для заполнения баллончиков в пневматическом оружии, в качестве хладагента («сухой лед») в лабораторных исследованиях и розничной торговле и т. п.

Система оценивания:

1. Каждый расчет скорости в других единицах по 0,5 б.	$0,5 \times 5 = 2,5 \text{ б.}$
2. Расчет времени 1 б., потери газа (диффузия, конвекция, перемешивание и т.п.) 0,5 б., до совпадения взвешиваний 0,5 б., нет контроля 0,5 б.	$1 + 0,5 \times 3 = 2,5 \text{ б.}$
3. Расчет массы колбы с CO_2 3 б. (масса CO_2 1 б., мысль об учете массы воздуха 1 б, расчет массы воздуха 1 б.)	3 б.
4. Погасла 1 б., не поддерживает горение (изолирует от O_2) 1 б.	$1 \times 2 = 2 \text{ б.}$
5. Осадок (помутнение) и его растворение по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 2 + 1 \times 2 = 3 \text{ б.}$
6. Расчет времени первого эффекта 2 б., второго 1 б. (за ответ, что времени потребуется еще столько же, ставится 1 б.)	$2 + 1 = 3 \text{ б.}$
7. Верное указание «реагирует/не реагирует» по 0,5 б. (неверное – штраф минус 0,5 б, но в целом за пункт 7 не меньше 0 б), уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 12 + 1 \times 6 = 12 \text{ б.}$
8. Верное для способа получения уравнение реакции 1 б., два примера по 0,5 б.	$1 + 0,5 \times 2 = 2 \text{ б.}$
Всего	30 баллов

Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)

1. Попробуем представить формулу магнетита как Fe_xO_y , тогда $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$. Отсюда $x = 0,75y$. Так как x и y могут быть только целыми числами, то наименьшие числа: $x = 3$, $y = 4$, следовательно, формула магнетита Fe_3O_4 . Такое вещество действительно существует, по классификации относится к основным оксидам (можно просто оксид). Если формула представлена в виде $\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$ то допускается ответ – соль.

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате $\omega_{\text{пир.}} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372 \%$.

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит $1,372 \times 0,6357 = 0,872$ г, следовательно, масса железа от магнетита $60,5 - 0,872 = 59,628$ г, а содержание магнетита в концентрате составит $\omega_{\text{магн.}} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$.

3. Представим формулу пирротина Fe_xA_y , где x и y могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл (если знать элементы, входящие в состав пирита, то расчет сильно упростится).

Атомную массу А примем за Z , тогда $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$. $x = 0,03124yZ$. $Z = 32x/y$. Единственное разумное решение получается при $x = 1$, $y = 1$, $Z = 32$. Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина FeS . По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

4. Уравнения реакций: а) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$;

б) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 10\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = 3\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$,

$3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$ или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$.

5. Метасиликат кальция – CaSiO_3 , ортосиликат кальция – Ca_2SiO_4 , диортосиликат алюминия – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, метаалюминат магния – $\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$. В метасиликате кальция $\omega_{\text{CaO}} = M_{\text{CaO}}/M_{\text{CaSiO}_3} = 56/116 = 0,483$ или 48,3 %, в ортосиликате $\omega_{\text{CaO}} = 2M_{\text{CaO}}/M_{\text{Ca}_2\text{SiO}_4} = 112/172 = 0,651$ или 65,1 %.

Уравнения реакций:

а) $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4\text{HCl} + (n-2)\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaCl}_2 + \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}\downarrow$ (или $\text{H}_4\text{SiO}_4\downarrow$ или $\text{H}_2\text{SiO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$),

$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2 + 8\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + \text{MgCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;

б) $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4\text{NaOH} = 2\text{Ca}(\text{OH})_2\downarrow + \text{Na}_4\text{SiO}_4$ (Na_2SiO_3),

$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2 + 2\text{NaOH} + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$.

6. Уравнение реакции: $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$.

В 100 кг концентрата содержится $m_{\text{CaO}} = 0,3$ кг и $m_{\text{SiO}_2} = 5$ кг.

Примем массу добавленного известняка за x кг. Масса CaO, вносимого с известняком, составит $m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = x \cdot M_{\text{CaO}} / M_{\text{CaCO}_3} = x \cdot 56 / 100 = 0,56x$ кг. Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна $m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}} + m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = 0,3 + 0,56x$ кг, а масса SiO₂ в агломерате $m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = 5$ кг.

По условию, $B = 1,7 = \omega_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = (0,3 + 0,56x) / 5$, откуда $x = 14,6$. К 100 кг концентрата нужно добавить 14,6 кг известняка.

7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то $m_{\text{кокс.}} / (100 + m_{\text{кокс.}}) = 0,042$. Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит $m_{\text{кокс.}} = 100 \cdot 0,042 / (1 - 0,042) = 4,38$ кг.

Уравнение реакции: $\text{C} + \text{O}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CO}_2$ (или CO).

Система оценивания:

1. Определение формулы магнетита, подтвержденной расчётом 1 б. (без подтверждения 0,5 б.), класс соединения 0,5 б.	1+0,5 = 1,5 б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	2×2 = 4 б.
3. Формула пирротина с расчетом 1 б. (без расчета 0,5 б.), класс 0,5 б.	1+0,5 = 1,5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×4 = 4 б.
5. Формулы по 0,5 б., содержание CaO по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×4+1×2+1×4 = 8 б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчет массы известняка 3 б.	1+3 = 4 б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчет массы коксика 2 б.	1+2 = 3 б.
Всего	26 баллов

Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)

1. Уравнение реакции деления $^{235}_{92}\text{U}$: $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} = {}^{145}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 2^1_0\text{n}$.

Отношение мощностей взрывов $50 \cdot 10^6 / 15 \cdot 10^3 = 3,33 \cdot 10^3$.

2. Изотопы водорода: ^1H – протий, ^2H (символ D) – дейтерий, ^3H (символ T) – тритий.

3. По описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение $29 \cdot 0,103 = 3,0$ г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (протия ^1H) – из воды, другой (дейтерия $\text{D} \equiv {}^2\text{H}$) – из ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$. То есть Y – это HD – дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой. Вещество ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$ (X) – дейтерид лития-6.

4. Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiOH} + \text{H}_2\uparrow$ [1]; $\text{LiH} + \text{HCl} \rightarrow \text{LiCl} + \text{H}_2\uparrow$ [2]; $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ [3]; $2\text{LiH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{LiOH}$ ($\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$) [4]; $2\text{LiH} \rightarrow 2\text{Li} + \text{H}_2\uparrow$ [5].

5. Уравнения ядерных реакций: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + Q$, ${}^6_3\text{Li}^2\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He} + Q$ – в общем виде.

Реакция идет в 2 стадии: ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He} + Q$, ${}^3_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + Q$.

6. Частицы ${}^4_2\text{He}$, выделяющиеся в ядерных реакциях, называются α-частицы. Поскольку в момент выделения их заряд 2+, α-частицы обладают исключительно сильными окислительными свойствами.

7. Сахаров Андрей Дмитриевич.

Система оценивания:

1. Символ 1 б., отношение мощностей 1 б.	1+1 = 2 б.
2. Названия по 0,5 б., символы по 0,5 б.	0,5×3+0,5×2 = 2,5 б.
3. Формулы Y и Z по 1 б. (H_2 и H_2O по 0,5 б.), дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода, дейтерид лития по 1 б. (водород, вода и гидрид лития по 0,5 б.)	1×2+1×3 = 5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
5. Уравнения ядерных реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
6. Название 1 б., свойства 1 б.	1+1 = 2 б.
7. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	0,5×3 = 1,5 б.
Всего	20 баллов

Задание 4. (автор Н.В. Рубан).

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за m . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно, $3m/(5 \cdot 40 + 3(m + 64) + 19) = 0,1845$. Отсюда получаем $m = 31$, что соответствует атомной массе фосфора. Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Три общепринятые аллотропные модификации фосфора: белый (правильным ответом так же считать жёлтый), красный и чёрный (фиолетовый). Еще есть менее известный металлический фосфор. Наибольшую химическую активность проявляет белый фосфор.

3. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе: $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$ (правильным так же считать P_2O_5 , P_2O_3 , P_4O_6). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

4. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле $V = \pi r^2 \cdot h$, где πr^2 - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки), h - высота (толщина слоя фосфора). Таким образом, $V_p = 3,14 \cdot 100 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$. Массу фосфора вычисляем по формуле $m_p = V_p \cdot \rho = 31,4 \cdot 1,82 = 57,2 \text{ г}$. Тогда, за час собака съест $57,2 \cdot 0,1 = 5,72 \text{ г}$ фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

5. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$. Следовательно, собака съест летальную дозу за $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$.

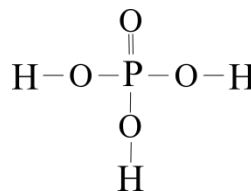
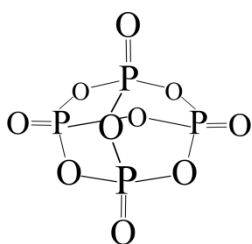
6. Уравнение реакции: $4Ca_5(PO_4)_3F + 18SiO_2 + 30C \xrightarrow{t, ^\circ C} 3P_4 \uparrow + 18CaSiO_3 + 30CO \uparrow + 2CaF_2$.

7. Уравнения реакций: $P_4 + 6Mg \rightarrow 2Mg_3P_2$ (вещество **B**); $Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2PH_3$ (**C**); $2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3$ (**C**); $4PH_3 + 8O_2 \rightarrow 6H_2O \uparrow + P_4O_{10}$ (P_2O_5) (**D**); $P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$ (**E**).

8. Вещество **D** (P_4O_{10}):

(можно P_2O_5):

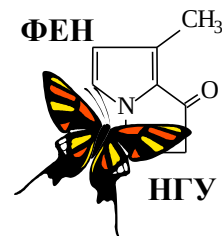
Вещество **E** (H_3PO_4):



9. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

Система оценивания:

1. Определение элемента X с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Три модификации по 0,5 б., самая активная 0,5 б.	0,5×3+0,5 = 2 б.
3. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Расчет массы 3 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	3+1 = 4 б.
5. Расчет времени 1 б.	1 б.
6. Уравнение реакции 2 б., без коэффициентов (все продукты реакции правильные) 1 б.	2 б.
7. Формулы веществ B-E по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×4+1×5 = 7 б.
8. Структурные формулы веществ D и E по 1 б.	1×2 = 2 б.
9. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
Всего	24 балла

**Задание 1. (автор В.А. Емельянов).**

1. а) Объем трех пузырьков составляет $3 \cdot 4/3 \cdot 3,14 \cdot (0,5/2)^3 = 0,19625 \approx 0,2 \text{ см}^3 = 0,2 \text{ мл}$. То есть, скорость подачи газа в этих единицах составляет 0,2 мл/с;

б) За секунду через трубку проходит $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 5,02 \cdot 10^{18}$ молекул;

в) В минуту через трубку пройдет $60 \cdot 3 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} = 9,04 \cdot 10^{20}$ атомов;

г) В час через трубку пройдет $44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} / 6,02 \cdot 10^{23} = 1,32 \text{ г}$ газа ($44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 1,32 \text{ г}$);

д) в сутки через трубку пройдет $24 \cdot 1,32 / 44 = 0,72$ моль газа.

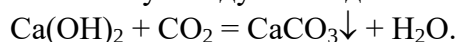
2. Минимальное время $360 / 0,2 = 1800 \text{ с}$ или $1800 / 60 = 30 \text{ мин}$. Эксперимент проводят заметно дольше, поскольку часть углекислого газа уходит в окружающую среду и не получается количественно вытеснить воздух из колбы рассчитанным объемом углекислого газа. Взвешивания проводят до тех пор, пока не совпадут результаты двух-трех последних взвешиваний. Именно последнее значение массы берут в качестве истинного.

Одним взвешиванием обойтись нельзя, поскольку в этом случае нет никакой уверенности в том, что в колбе уже нет воздуха, а есть только углекислый газ.

3. В колбе объемом 0,36 л в условиях эксперимента содержится $0,36 / 24 = 0,015$ моль любого газа. Это количество углекислого газа весит $44 \cdot 0,015 = 0,66 \text{ г}$. Однако, прежде чем сложить это значение с массой колбы, приведенной в задаче, из последней надо вычесть массу находящегося в ней воздуха. Среднее значение молярной массы воздуха 29 г/моль, масса воздуха в колбе $29 \cdot 0,015 = 0,435 \text{ г}$. Масса колбы с пробкой, полностью заполненной углекислым газом, составит $412,555 - 0,435 + 0,66 = 412,78 \text{ г}$.

4. При переворачивании колбы углекислый газ «выливается» из нее, поскольку он тяжелее воздуха. Горящая свеча гаснет, поскольку углекислый газ вытесняет воздух (и, соответственно, кислород) из зоны горения, а сам горение не поддерживает.

5. Буратино увидел, что при пропускании углекислого газа через прозрачную бесцветную известковую воду наблюдается ее помутнение (выпадает осадок, жидкость белеет и т. п.):

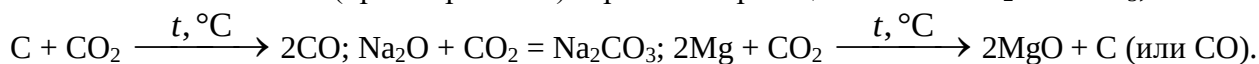


После того, как Буратино отвлекся и снова посмотрел на колбу, он увидел, что количество мути стало уменьшаться (осадок растворяться, жидкость снова стала светлеть и т. п.), поскольку при избытке углекислого газа карбонат кальция растворяется, вновь давая прозрачный бесцветный раствор: $\text{CaCO}_3 \text{ тв.} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca(HCO}_3)_2 \text{ р-р}$.

6. В 1 л известковой воды содержится 1,6 г гашеной извести, то есть $1,6 / 74 = 0,0216 = 2,16 \cdot 10^{-2}$ моль, в 0,1 л – $2,16 \cdot 10^{-3}$ моль. Для максимального проявления первого эффекта (максимальное количество мути) углекислого газа также потребуется $2,16 \cdot 10^{-3}$ моль. Такое количество газа проходит через трубку за $2,16 \cdot 10^{-3} / 0,72 = 3 \cdot 10^{-3}$ суток или $60 \cdot 24 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 4,32 \text{ мин}$ или 259,2 с. Чтобы увидеть окончание второго эффекта (растворился весь карбонат кальция), нужно как минимум еще столько же CO_2 , т. е. еще столько же времени. Всего потребуется $2 \cdot 4,32 = 8,64 \text{ мин}$ или 518,4 с.

7. а) С углекислым газом не реагируют: соляная кислота, оксид азота(II), кислород, оксид меди(II).

б) С углекислым газом реагируют: оксид бария, уголь (при нагревании), оксид натрия, металлический магний (при нагревании). Уравнения реакций: $\text{BaO} + \text{CO}_2 = \text{BaCO}_3$;



8. В лаборатории углекислый газ обычно получают действием соляной кислоты на мрамор:
 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$. Можно использовать и другие кислоты с карбонатами, однако важно, чтобы образующаяся в ходе реакции соль была хорошо растворима, а кислота была достаточно сильной, если исходный карбонат растворим плохо.

Углекислый газ используется в пищевой промышленности (консервант, разрыхлитель, производство газированных напитков), химической промышленности (производство соды) для заполнения огнетушителей, для заполнения баллончиков в пневматическом оружии, в качестве хладагента («сухой лед») в лабораторных исследованиях и розничной торговле и т. п.

Система оценивания:

1. Каждый расчет скорости в других единицах по 1 б.	1×5 = 5 б.
2. Расчет времени 1 б., потери газа (диффузия, конвекция, перемешивание и т.п.) 1 б., до совпадения взвешиваний 1 б., нет контроля 1 б.	1×4 = 4 б.
3. Расчет массы колбы с CO_2 4 б. (масса CO_2 2 б., мысль об учете массы воздуха 1 б, расчет массы воздуха 1 б.)	4 б.
4. Погасла 1 б., не поддерживает горение (изолирует от O_2) 1 б.	1×2 = 2 б.
5. Осадок (помутнение) и его растворение по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×2+1×2 = 3 б.
6. Расчет времени первого эффекта 2 б., второго 1 б. (за ответ, что времени потребуется еще столько же, ставится 1 б.)	2+1 = 3 б.
7. Верное указание «реагирует/не реагирует» по 0,5 б. (неверное – штраф минус 0,5 б, но в целом за пункт 7 не меньше 0 б), уравнения реакций по 1 б.	0,5×8+1×4 = 8 б.
8. Верное для способа получения уравнение реакции 1 б., два примера по 0,5 б.	1+0,5×2 = 2 б.
Всего	31 балл

Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)

1. Попробуем представить формулу магнетита как Fe_xO_y , тогда $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$. Отсюда $x = 0,75y$. Так как x и y могут быть только целыми числами, то наименьшие числа: $x = 3$, $y = 4$, следовательно, формула магнетита Fe_3O_4 . Такое вещество действительно существует, по классификации относится к основным оксидам (можно просто оксид). Если формула представлена в виде $\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$ то допускается ответ – соль.

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате $\omega_{\text{пир.}} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372\%$.

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит $1,372 \cdot 0,6357 = 0,872$ г, следовательно, масса железа от магнетита $60,5 - 0,872 = 59,628$ г, а содержание магнетита в концентрате составит $\omega_{\text{магн.}} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$.

3. Представим формулу пирротина Fe_xA_y , где x и y могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл (если знать элементы, входящие в состав пирита, то расчет сильно упростится).

Атомную массу А примем за Z , тогда $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$. $x = 0,03124yZ$. $Z = 32x/y$. Единственное разумное решение получается при $x = 1$, $y = 1$, $Z = 32$. Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина FeS . По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

4. Уравнения реакций: а) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$.

5. Метасиликат кальция – CaSiO_3 , ортосиликат кальция – Ca_2SiO_4 , метаалюминат магния – $\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$.

В метасиликате кальция $\omega_{\text{CaO}} = M_{\text{CaO}}/M_{\text{CaSiO}_3} = 56/116 = 0,483$ или 48,3 %,

в ортосиликате $\omega_{\text{CaO}} = 2M_{\text{CaO}}/M_{\text{Ca}_2\text{SiO}_4} = 112/172 = 0,651$ или 65,1 %.

Уравнения реакций:

$\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4\text{HCl} + (n-2)\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaCl}_2 + \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}\downarrow$ (или $\text{H}_4\text{SiO}_4\downarrow$ или $\text{H}_2\text{SiO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$),

$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2 + 8\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + \text{MgCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$.

6. Уравнение реакции: $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$.

В 100 кг концентрата содержится $m_{\text{CaO}} = 0,3$ кг и $m_{\text{SiO}_2} = 5$ кг.

Примем массу добавленного известняка за x кг. Масса CaO, вносимого с известняком, составит $m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = x \cdot M_{\text{CaO}} / M_{\text{CaCO}_3} = x \cdot 56 / 100 = 0,56x$ кг.

Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна $m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}} + m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = 0,3 + 0,56x$ кг, а масса SiO₂ в агломерате $m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = 5$ кг.

По условию, $B = 1,7 = \omega_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = (0,3 + 0,56x) / 5$, откуда $x = 14,6$. К 100 кг концентрата нужно добавить 14,6 кг известняка.

7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то $m_{\text{кокс.}} / (100 + m_{\text{кокс.}}) = 0,042$. Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит $m_{\text{кокс.}} = 100 \cdot 0,042 / (1 - 0,042) = 4,38$ кг.

Уравнение реакции: $\text{C} + \text{O}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CO}_2 \text{ (или CO)}$.

Система оценивания:

1. Определение формулы магнетита, подтверждённой расчётом 2 б. (без подтверждения 1 б.), класс соединения 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	2×2 = 4 б.
3. Формула пирротина с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), класс 1 б.	2+1 = 3 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
5. Формулы по 1 б., содержание CaO по 2 б., уравнения реакций по 1 б.	1×3+2×2+1×2 = 9 б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчет массы известняка 3 б.	1+3 = 4 б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчет массы коксика 2 б.	1+2 = 3 б.
Всего	28 баллов

Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)

1. Уравнение реакции деления $^{235}_{92}\text{U}$: $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} = ^{145}_{56}\text{Ba} + ^{89}_{36}\text{Kr} + 2^1_0\text{n}.$

Отношение мощностей взрывов $50 \cdot 10^6 / 15 \cdot 10^3 = 3,33 \cdot 10^3$.

2. Изотопы водорода: ^1H – протий, ^2H (символ D) – дейтерий, ^3H (символ T) – тритий.

3. По описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение $29 \cdot 0,103 = 3,0$ г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (протия ^1H) – из воды, другой (дейтерия $D \equiv ^2\text{H}$) – из ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$. То есть Y – это HD - дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой. Вещество ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$ (X) - дейтерид лития-6.

4. Уравнения реакций: $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiOH} + \text{H}_2\uparrow$ [1]; $\text{LiH} + \text{HCl} \rightarrow \text{LiCl} + \text{H}_2\uparrow$ [2]; $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ [3]; $2\text{LiH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{LiOH}$ ($\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$) [4]; $2\text{LiH} \rightarrow 2\text{Li} + \text{H}_2\uparrow$ [5].

5. Уравнения ядерных реакций: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + Q$, ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He} + Q$ – в общем виде.

Реакция идет в 2 стадии: ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He} + Q$, ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + Q$.

6. Сахаров Андрей Дмитриевич.

Система оценивания:

1. Символ 1 б., отношение мощностей 1 б.	1+1 = 2 б.
2. Названия по 0,5 б., символы по 0,5 б.	0,5×3+0,5×2 = 2,5 б.
3. Формулы Y и Z по 1 б. (H_2 и H_2O по 0,5 б.), дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода, дейтерид лития по 1 б. (водород, вода и гидрид лития по 0,5 б.)	1×2+1×3 = 5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
5. Уравнения ядерных реакций по 2 б.	2×2 = 4 б.
6. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	0,5×3 = 1,5 б.
Всего	20 баллов

Задание 4. (автор Н.В. Рубан).

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за m . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно, $3m/(5 \cdot 40 + 3 \cdot (m + 64) + 19) = 0,1845$. Отсюда получаем $m = 31$, что соответствует атомной массе фосфора. Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Три общепринятые аллотропные модификации фосфора: белый (правильным ответом так же считать жёлтый), красный и чёрный (фиолетовый). Еще есть менее известный металлический фосфор. Наибольшую химическую активность проявляет белый фосфор.

3. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе: $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$ (правильным так же считать P_2O_5 , P_2O_3 , P_4O_6). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

4. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле $V = \pi r^2 \cdot h$, где πr^2 - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки), h - высота (толщина слоя фосфора). Таким образом, $V_p = 3,14 \cdot 100 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$. Массу фосфора вычисляем по формуле $m_p = V_p \cdot \rho = 31,4 \cdot 1,82 = 57,2 \text{ г}$. Тогда, за час собака съест $57,2 \cdot 0,1 = 5,72 \text{ г}$ фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

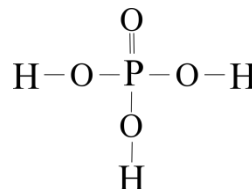
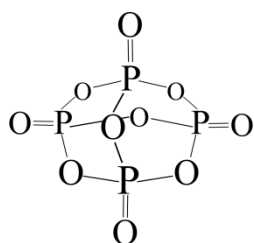
5. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$. Следовательно, собака съест летальную дозу за $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$.

6. Фосфор находится в V группе ПС, следовательно, его высший оксид **B** имеет формулу P_2O_5 (или, что более грамотно, P_4O_{10}). При взаимодействии **B** с водой образуется ортофосфорная кислота H_3PO_4 : $P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$.

7. Вещество **B** (P_4O_{10}):

(можно P_2O_5):

Вещество **C** (H_3PO_4):



8. Уравнения реакций: $H_3PO_4 + NaOH$ (1 экв.) $\rightarrow NaH_2PO_4$ (соль **D**) + H_2O ;

$NaH_2PO_4 + NaOH$ (1 экв.) $\rightarrow Na_2HPO_4$ (соль **E**) + H_2O ;

$Na_2HPO_4 + NaOH$ (1 экв.) $\rightarrow Na_3PO_4$ (соль **F**) + H_2O .

Вещества **D** и **E** относят к классу кислых солей.

9. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

Система оценивания:

1. Определение элемента X с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Три модификации по 0,5 б., самая активная 0,5 б.	0,5×3+0,5 = 2 б.
3. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Расчет массы 3 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	3+1 = 4 б.
5. Расчет времени 1 б.	1 б.
6. Формулы веществ B и C по 0,5 б., уравнение реакции 1 б.	0,5×2+1 = 2 б.
7. Структурные формулы веществ B и C по 1 б.	1×2 = 2 б.
8. Уравнения реакций по 1 б., класс кислых солей 1 б.	1×3+1 = 4 б.
9. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
Всего	21 балл