

10 класс

Все задачи по 20 баллов

Задача 1. «Старый реактив»

Вариант 1

Студент Никита нашел на полке 2 склянки с неизвестными растворами без крышки. Он спросил у лаборанта, что это за реактивы, а тот ответил, что в точности не помнит, помнит только, что в обеих банках находятся растворы одной и той же соли щелочного металла с массовой долей катиона 42.1% и одна из банок стоит здесь довольно давно, а другая недавно. В распоряжении Никиты оказались только раствор щелочи (NaOH), а также известковая вода и соляная кислота. При добавлении к неизвестным растворам щелочи видимых изменений не произошло. При добавлении кислоты к давно стоящему раствору выделился газ без цвета и запаха, а при добавлении к свежему раствору – газ не выделился. Никита очень удивился и провел еще один эксперимент. Он отобрал по 100 мл каждого из растворов и упарил их. Масса твердого остатка в первом случае оказалась 4.96 г, а во втором 3.28 г. Твердые остатки Никита снова растворил и обработал растворы известковой водой. В результате в первом случае выпало 5,10 г осадка, а во втором 3.10 г. Остатки после упаривания исходных растворов Никита прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 0.18 г, а второго не изменилась. Выпавшие после обработки известковой водой осадки Никита так же прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 0.88 г, а второго не изменилась. Предложите возможный состав соли. Определите молярные концентрации и массовые доли веществ в исходных растворах (плотность растворов примите равной 1 г/мл).

Решение

Ответ – фосфат натрия. (5 баллов)

Реакции

$\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaHCO}_3$ – то, что происходит с раствором при стоянии.

Новый раствор:

При упаривании остается чистый фосфат натрия, его масса 3,28 г

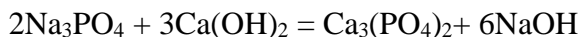
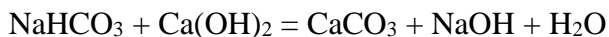
При обработке известковой водой выпадает фосфат кальция массой 3,10 г. Таким образом в 100 мл нового раствора 0.02 моль фосфата натрия.

$C = 0,2$ моль/л, $w = 3,28\%$ (5 баллов)

Старый раствор

Упаривание – смесь гидрофосфата, фосфата и гидрокарбоната натрия, общая масса 4,96 г

Обработка известковой водой:



5,1г – масс осадков фосфата и карбоната кальция

Прокаливание выпаренного раствора – идет реакция $2\text{Na}_2\text{HPO}_4 = \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$ (улетает вода, ее масса 0,18 г то есть 0,01 моль, значит гидрофосфата 0,02 моль, значит

гидрокарбоната – из самой первой реакции – тоже 0,02 моль. По разнице масс можно найти фосфат)

$C(\text{NaHCO}_3) = C(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,2 \text{ моль/л}$ (по 2,5 балла за каждую концентрацию)

$w(\text{NaHCO}_3) = 1,68\% \quad w(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 2,84\%$ (по 2,5 балла за каждую концентрацию)

При отсутствии правильных концентраций по 1 баллу за реакции

Вариант 2

Студент Никита нашел на полке 2 склянки с неизвестными растворами без крышки. Он спросил у лаборанта, что это за реактивы, а тот ответил, что в точности не помнит, помнит только, что в обеих банках находятся растворы одной и той же соли щелочного металла с массовой долей катиона 55.2% и одна из банок стоит здесь довольно давно, а другая недавно. В распоряжении Никиты оказались только раствор щелочи (NaOH), а также баритовая вода и соляная кислота. При добавлении к неизвестным растворам щелочи видимых изменений не произошло. При добавлении кислоты к давно стоящему раствору выделился газ без цвета и запаха, а при добавлении к свежему раствору – газ не выделился. Никита очень удивился и провел еще один эксперимент. Он отобрал по 100 мл каждого из растворов и упарил их. Масса твердого остатка в первом случае оказалась 21.84 г, а во втором 14.84 г. Твердые остатки Никита снова растворил и обработал растворы баритовой водой. В результате в первом случае выпало 35.00 г осадка, а во втором 21.14 г. Остатки после упаривания исходных растворов Никита прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 0.63 г, а второго не изменилась. Выпавшие после обработки известковой водой осадки Никита так же прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 1,54 г, а второго не изменилась. Предложите возможный состав соли. Определите молярные концентрации и массовые доли веществ в исходных растворах (плотность растворов примите равной 1 г/мл).

Ответ – фосфат калия. (5 баллов)

Вариант 3

Студент Никита нашел на полке 2 склянки с неизвестными растворами без крышки. Он спросил у лаборанта, что это за реактивы, а тот ответил, что в точности не помнит, помнит только, что в обеих банках находятся растворы одной и той же соли щелочного металла с массовой долей катиона 33.18% и одна из банок стоит здесь довольно давно, а другая недавно. В распоряжении Никиты оказались только раствор щелочи (NaOH), а также баритовая вода и соляная кислота. При добавлении к неизвестным растворам щелочи видимых изменений не произошло. При добавлении кислоты к давно стоящему раствору выделился газ без цвета и запаха, а при добавлении к свежему раствору – газ не выделился. Никита очень удивился и провел еще один эксперимент. Он отобрал по 100 мл каждого из растворов и упарил их. Масса твердого остатка в первом случае оказалась 11.68 г, а во втором 8.32 г. Твердые остатки Никита снова растворил и обработал растворы баритовой водой. В результате в первом случае выпало 35.52 г осадка, а во втором 27.60 г. Остатки после упаривания исходных растворов Никита прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 0.72 г, а второго не изменилась. Выпавшие после обработки известковой водой осадки Никита так же прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 1,76 г, а второго не изменилась. Предложите возможный состав соли. Определите молярные

концентрации и массовые доли веществ в исходных растворах (плотность растворов примите равной 1 г/мл).

Ответ – арсенат натрия.

Вариант 4

Студент Никита нашел на полке 2 склянки с неизвестными растворами без крышки. Он спросил у лаборанта, что это за реактивы, а тот ответил, что в точности не помнит, помнит только, что в обеих банках находятся растворы одной и той же соли щелочного металла с массовой долей катиона 45.78% и одна из банок стоит здесь довольно давно, а другая недавно. В распоряжении Никиты оказались только раствор щелочи (NaOH), а также известковая вода и соляная кислота. При добавлении к неизвестным растворам щелочи видимых изменений не произошло. При добавлении кислоты к давно стоящему раствору выделился газ без цвета и запаха, а при добавлении к свежему раствору – газ не выделился. Никита очень удивился и провел еще один эксперимент. Он отобрал по 100 мл каждого из растворов и упарил их. Масса твердого остатка в первом случае оказалась 10.68 г, а во втором 7.68 г. Твердые остатки Никита снова растворил и обработал растворы известковой водой. В результате в первом случае выпало 14.94 г осадка, а во втором 11.94 г. Остатки после упаривания исходных растворов Никита прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 0.54 г, а второго не изменилась. Выпавшие после обработки известковой водой осадки Никита так же прокалил, в результате масса одного уменьшилась на 1,32 г, а второго не изменилась. Предложите возможный состав соли. Определите молярные концентрации и массовые доли веществ в исходных растворах (плотность растворов примите равной 1 г/мл).

Ответ – арсенат калия.

Задача 2. «Химические источники тока»

Вариант 1.

На данный момент в различных электронных устройствах в качестве элементов питания используются химические источники тока (батареи и аккумуляторы), в которых энергия химических реакций превращается в электрическую энергию. Принцип работы таких источников тока основан на ОВР, протекающих внутри батареи (аккумулятора), при этом электроны от восстановителя к окислителю переносятся через внешнюю электрическую цепь.

Юный инженер Боря создал электронное устройство, которое гладит кот в отсутствие Бори. Для создания химического источника тока Боря использовал те реактивы, которые сумел найти.

В ход было пущено белое кристаллическое вещество, подписанное как АБ, при этом на этикетке дополнительно было указано « $\omega(A) = 52,35 \%$; $\omega(B) = 47,65 \%$ ».

Боря провел электролиз 82,41 г 20 %-го водного раствора вещества АБ (с плотностью 1,13 г/см³) в разделенной электролитической ячейке. Боря отметил, что на аноде и катоде наблюдалось выделение газов, а для анализа полученного раствора Боря обратился к другу химику. Тот смог сказать лишь, что полученный раствор является раствором сильного основания, с массовой долей вещества в растворе 16,67 %.

Газ, образовавшийся в ходе анодного процесса, Боря пропустил через полученный раствор, доведенный до кипения. После охлаждения раствора Боря собрал образовавшийся белый кристаллический осадок и в дальнейшем использовал его в работе батареи.

Для получения второго компонента батареи Боря использовал заваливавшиеся в кладовке гвозди, причем он заметил, что они хорошо притягиваются лежащим по соседству магнитом. Эти гвозди Боря поместил в раствор хлорного железа, которое позаимствовал у отца-радиолюбителя. Полученный раствор был отфильтрован от нерастворимых примесей и использован в работе батареи.

Определите состав вещества АБ. Ответ подтвердите расчетами.

Запишите уравнения всех описанных реакций.

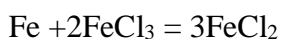
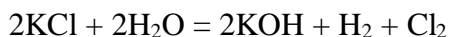
Запишите молекулярное уравнение реакции, лежащей в основе работы батареи. Запишите ионно-электронные уравнения процессов окисления и восстановления, лежащих в основе реакции, протекающей в батарее.

На какое время работы устройства хватит полученного из АБ вещества, если известно, что средняя сила тока в нем составляет 0,25А? (заряд электрона $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Считайте, что выходы всех представленных реакций равны 100%.

Ответ –

Исходное вещество KCl



Время работы 23,8 часа.

Вариант 2.

На данный момент в различных электронных устройствах в качестве элементов питания используются химические источники тока (батареи и аккумуляторы), в которых энергия химических реакций превращается в электрическую энергию. Принцип работы таких источников тока основан на ОВР, протекающих внутри батареи (аккумулятора), при этом электроны от восстановителя к окислителю переносятся через внешнюю электрическую цепь.

Юный инженер Леша создал электронное устройство, которое помогает хомяку крутить колесо. Для создания химического источника тока Леша использовал те реактивы, которые сумел найти.

В ход было пущено белое кристаллическое вещество, подписанное как АБ, при этом на этикетке дополнительно было указано « $\omega(\text{A}) = 15,33\%$; $\omega(\text{B}) = 84,67\%$ ».

Леша провел электролиз 15,89 г 20 %-го водного раствора вещества АБ (с плотностью 1,18 г/см³) в разделенной электролитической ячейке. Леша отметил, что на катоде наблюдалось выделение газа, а на аноде образование осадка. Масса вещества, образующегося на аноде, по окончании процесса, оказалась равной 3,175 г. После Леша объединил содержимое анодного и катодного пространства, полученный раствор был нагрет, при этом раствор потерял бурый окрас. После охлаждения раствора Леша собрал образовавшийся белый кристаллический осадок и в дальнейшем использовал его в работе батареи.

Для получения второго компонента батареи Леша взял у отца пиротехника банку, подписанную «BaO₂». Навеску вещества, взятого из этой банки он обработал избытком раствора серной кислоты, после чего отфильтровал осадок, а фильтрат использовал для работы батареи.

Определите состав вещества АБ. Ответ подтвердите расчетами.

Запишите уравнения всех описанных реакций.

Запишите молекулярное уравнение реакции, лежащей в основе работы батареи.

Запишите ионно-электронные уравнения процессов окисления и восстановления, лежащих в основе реакции, протекающей в батарее.

На какое время работы устройства хватит полученного из АБ вещества, если известно, что средняя сила тока в нем составляет 0,3А? (заряд электрона $q_{e^-} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Считайте, что выходы всех представленных реакций равны 100%.

Решение.

Исходя из описания процесса электролиза вещества АБ, данного в условии, делаем вывод, что данное вещество является йодидом. Известны массовые доли элементов в соединении, тогда: $M(B) = 12784,67 \cdot 100 - 127 = 23$ г/моль

Таким образом, вещество АБ – йодид натрия. (2 баллов)

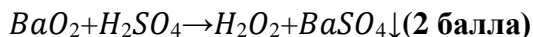
Электролиз йодида натрия в отдельной электрохимической ячейке можно описать с помощью уравнения:



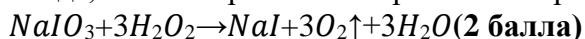
Следующий процесс представляет собой диспропорционирование йода в щелочном растворе:



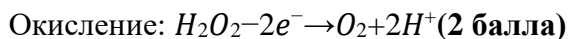
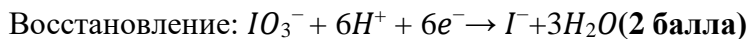
Взаимодействие пероксида бария с серной кислотой протекает в соответствии с уравнением:



Тогда, в основе работы батареи лежит процесс, описываемый уравнением:



Ионно-электронные уравнения процессов:



Рассчитаем время работы, для начала, найдем количество йода: $n(I_2) = 3,175127 \cdot 2 = 0,0125$ моль (2 балла)

Количество йодата натрия: $n(NaIO_3) = 0,0042$ моль

Число электронов, переносимых в ходе работы батареи: $N(e^-) = 0,0042 \cdot 6 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,5 \cdot 10^{20}$

Тогда переносимый заряд: $q = 1,5 \cdot 10^{20} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2407,8$ Кл (2 балла)

И, наконец, время работы: $t = 2,23$ ч (2 балла)

Задача 3.

Вариант 1.

При монохлорировании пропана на свету образуется смесь производных. Известно, что при стандартных условиях соотношение относительных скоростей замещения у первичного, вторичного и третичного атомов углерода составляет 1:3,3:5,5. Определите мольные доли компонентов в газовой и жидкой фазах при 25 и 700 °С, если известно, что исходные вещества прореагировали полностью, стандартные теплоты сгорания газообразных н-пропилхлорида и изопропилхлорида составляют 1896 и 1880 кДж/моль, энтальпии испарения – а стандартные энтропии этих веществ S° практически одинаковы.

Испарением органических жидкостей и растворимостью хлороводорода в них при стандартных условиях пренебречь.

Для справки: константа равновесия реакции связана с ее термодинамическими характеристиками по уравнению:

$$\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT + \Delta_r S^\circ / R.$$

Решение

При комнатной температуре изомерные хлорпропаны являются жидкостями. Следовательно, газовая фаза – 100% хлороводород

Соотношение 1-хлорпропана и 2-хлорпропана в жидкой фазе будет определяться относительными скоростями хлорирования. В молекуле пропана 6 атомов водорода при первичных атомах углерода и 2 – при вторичном. Тогда соотношение 1-хлорпропана и 2-хлорпропана будет $(6 \cdot 1) : (2 \cdot 3.3) = 6:6.6 = 1:1.1$

В жидкой фазе будет 47.6% 1-хлорпропана и 52.4% 2-хлорпропана

При 700 °С все вещества будут в газовой фазе. Доля хлороводорода в ней составит 50 мольн. %. Соотношение 1- и 2-хлорпропана будет определяться константой равновесия реакции изомеризации: 1-хлорпропан = 2-хлорпропан

Поскольку энтропии этих веществ практически равны, $\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT$

Изменение энтальпии в ходе реакции равно разности энтальпий сгорания исходных веществ и продуктов. Для указанной реакции $\Delta_r H^\circ = -16$ кДж/моль

$$K = 0.14$$

В газовой фазе 50 мольн. % хлороводорода, 6.15% 2-хлорпропана и 43.85% 1-хлорпропана

Вариант 2.

При монохлорировании изобутана на свету образуется смесь производных. Известно, что при стандартных условиях соотношение относительных скоростей замещения у первичного, вторичного и третичного атомов углерода составляет 1:3,3:5,5. Определите мольные доли компонентов в газовой и жидкой фазах при 25 и 500 °С, если известно, что исходные вещества прореагировали полностью, стандартные теплоты сгорания газообразных 1-хлор-2-метилпропана и 2-хлор-2-метилпропана составляют 2503 и 2479 кДж/моль, энтальпии испарения – а стандартные энтропии этих веществ S° практически одинаковы.

Испарением органических жидкостей и растворимостью хлороводорода в них при стандартных условиях пренебречь.

Для справки: константа равновесия реакции связана с ее термодинамическими характеристиками по уравнению:

$$\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT + \Delta_r S^\circ / R.$$

Решение

При комнатной температуре изомерные хлорбутаны являются жидкостями. Следовательно, газовая фаза – 100% хлороводород

Соотношение 1-хлор-2-метилпропана и 2-хлор-2-метилпропана в жидкой фазе будет определяться относительными скоростями хлорирования. В молекуле изобутана 9 атомов водорода при первичных атомах углерода и 1 – при третичном. Тогда соотношение 1-хлор-2-метилпропана и 2-хлор-2-метилпропана будет $(9 \cdot 1) : (1 \cdot 5.5) = 9:5,5$

В жидкой фазе будет 62% 1-хлор-2-метилпропана и 38% 2-хлор-2-метилпропана

При 500 °C все вещества будут в газовой фазе. Доля хлороводорода в ней составит 50 мольн. %. Соотношение 1-хлор-2-метилпропана и 2-хлор-2-метилпропана будет определяться константой равновесия реакции изомеризации:

1-хлор-2-метилпропан = 2-хлор-2-метилпропан

Поскольку энтропии этих веществ практически равны, $\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT$

Изменение энтальпии в ходе реакции равно разности энтальпий сгорания исходных веществ и продуктов. Для указанной реакции $\Delta_r H^\circ = -24$ кДж/моль

$$K = 0.024$$

В газовой фазе 50 мольн. % хлороводорода, 1,17% 2-хлор-2-метилпропана и 48.83% 1-хлор-2-метилпропана

Вариант 3.

При монобромировании пропана на свету образуется смесь производных. Известно, что при стандартных условиях соотношение относительных скоростей замещения у первичного, вторичного и третичного атомов углерода составляет 1:80,0:1000,0. Определите мольные доли компонентов в газовой и жидкой фазах при 25 и 250 °C, если известно, что исходные вещества прореагировали полностью, стандартные теплоты сгорания газообразных н-пропилхлорида и изопропилхлорида составляют 1939 и 1930 кДж/моль, энтальпии испарения – а стандартные энтропии этих веществ S° практически одинаковы.

Испарением органических жидкостей и растворимостью бромоводорода в них при стандартных условиях, а также термическим разложением бромоводорода пренебречь

Для справки: константа равновесия реакции связана с ее термодинамическими характеристиками по уравнению:

$$\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT + \Delta_r S^\circ / R.$$

Решение

При комнатной температуре изомерные бромпропаны являются жидкостями. Следовательно, газовая фаза – 100% бромоводород

Соотношение 1-бромпропана и 2-бромпропана в жидкой фазе будет определяться относительными скоростями хлорирования. В молекуле пропана 6 атомов водорода при первичных атомах углерода и 2 – при вторичном. Тогда соотношение 1-хлорпропана и 2-хлорпропана будет $(6 \cdot 1) : (2 \cdot 80) = 6:160 = 3:80$

В жидкой фазе будет 3.6% 1-бромпропана и 96.4% 2-бромпропана

При 250 °С все вещества будут в газовой фазе. Доля бромоводорода в ней составит 50 мольн. %. Соотношение 1- и 2-бромпропана будет определяться константой равновесия реакции изомеризации: 1-бромпропан = 2-бромпропан

Поскольку энтропии этих веществ практически равны, $\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT$

Изменение энтальпии в ходе реакции равно разности энтальпий сгорания исходных веществ и продуктов. Для указанной реакции $\Delta_r H^\circ = -9$ кДж/моль

$$K = 0.126$$

В газовой фазе 50 мольн. % бромоводорода, 5.6 % 2-хлорпропана и 44.4% 1-хлорпропана

Вариант 4.

При монобромировании изобутана на свету образуется смесь производных. Известно, что при стандартных условиях соотношение относительных скоростей замещения у первичного, вторичного и третичного атомов углерода составляет 1:80,0:1000,0. Определите мольные доли компонентов в газовой и жидкой фазах при 25 и 300 °С, если известно, что исходные вещества прореагировали полностью, стандартные теплоты сгорания газообразных 1-бром-2-метилпропана и 2-бром-2-метилпропана составляют 2560 и 2528 кДж/моль, энтальпии испарения – а стандартные энтропии этих веществ S° практически одинаковы.

Испарением органических жидкостей и растворимостью бромоводорода в них при стандартных условиях, а также термическим разложением бромоводорода пренебречь

Для справки: константа равновесия реакции связана с ее термодинамическими характеристиками по уравнению:

$$\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT + \Delta_r S^\circ / R.$$

Решение

При комнатной температуре изомерные бромбутаны являются жидкостями. Следовательно, газовая фаза – 100% бромоводород

Соотношение 1-бром-2-метилпропана и 2-бром-2-метилпропана в жидкой фазе будет определяться относительными скоростями хлорирования. В молекуле изобутана 9 атомов водорода при первичных атомах углерода и 1 – при третичном. Тогда соотношение 1-бром-2-метилпропана и 2-бром-2-метилпропана будет $(9 \cdot 1) : (1 \cdot 1000) = 9:1000$

В жидкой фазе будет 0.9% 1-бром-2-метилпропана и 99.1% 2-бром-2-метилпропана

При 300 °С все вещества будут в газовой фазе. Доля бромоводорода в ней составит 50 мольн. %. Соотношение 1- и 2-бром-2-метилпропана будет определяться константой равновесия реакции изомеризации: 1-бром-2-метилпропан = 2-бром-2-метилпропан

Поскольку энтропии этих веществ практически равны, $\ln K = -\Delta_r H^\circ / RT$

Изменение энтальпии в ходе реакции равно разности энтальпий сгорания исходных веществ и продуктов. Для указанной реакции $\Delta_r H^\circ = -32$ кДж/моль

$$K = 0.0012$$

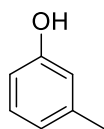
В газовой фазе 50 мольн. % бромоводорода, 0.06% 2-бром-2-метилпропана и 49.94% 1-бром-2-метилпропана

Задача 4.

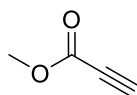
Для качественного анализа содержащей некоторое количество крезолы смеси сложных эфиров X и Y, образованных одним спиртом и двумя разными одноосновными карбоновыми кислотами, провели следующие эксперименты. Порцию такой смеси массой

33.2 г обработали 16% раствором гидроксида натрия, на количественное взаимодействие пошло 100 г раствора щелочи. Такую же порцию исходной смеси разделили на две равные части, первую обработали избытком бромной воды и получили 34,5 г осадка, а вторую обработали избытком реактива Толленса, выпавший осадок отфильтровали и высушили, его масса составила 20,35 г. Обработка этого осадка избытком соляной кислоты уменьшает его массу на 11,67%. Установите структуры эфиров **X** и **Y** и напишите уравнения описанных реакций.

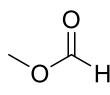
Решение



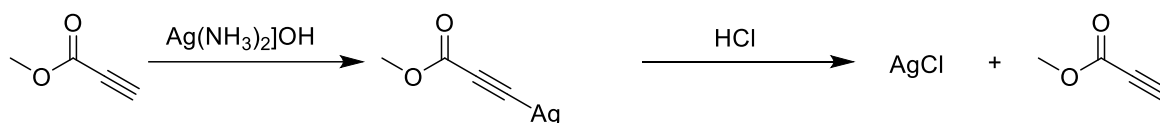
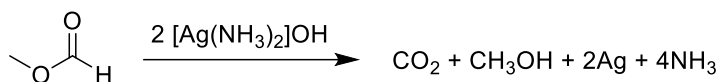
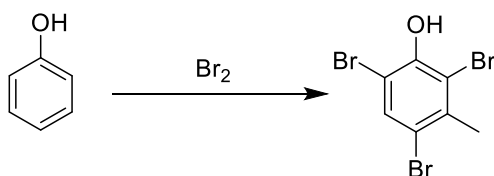
0.2



0.1



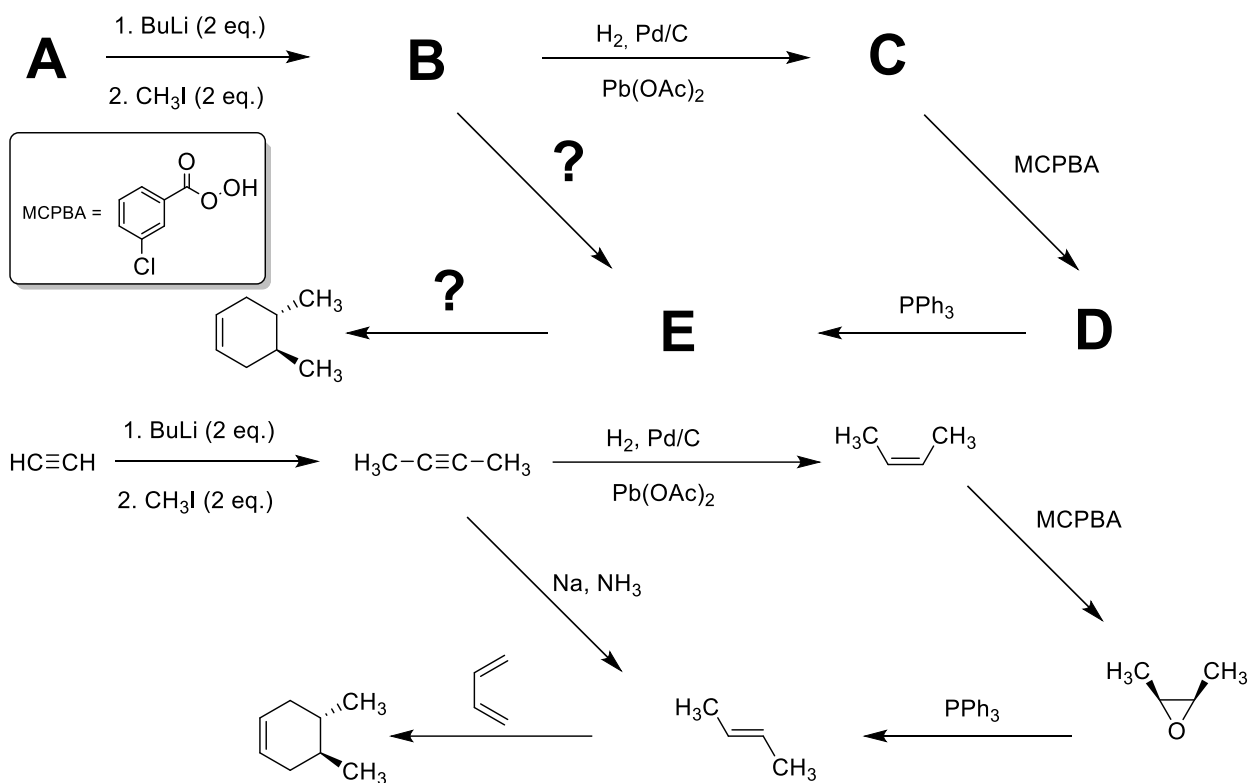
0.1



Задача 5.

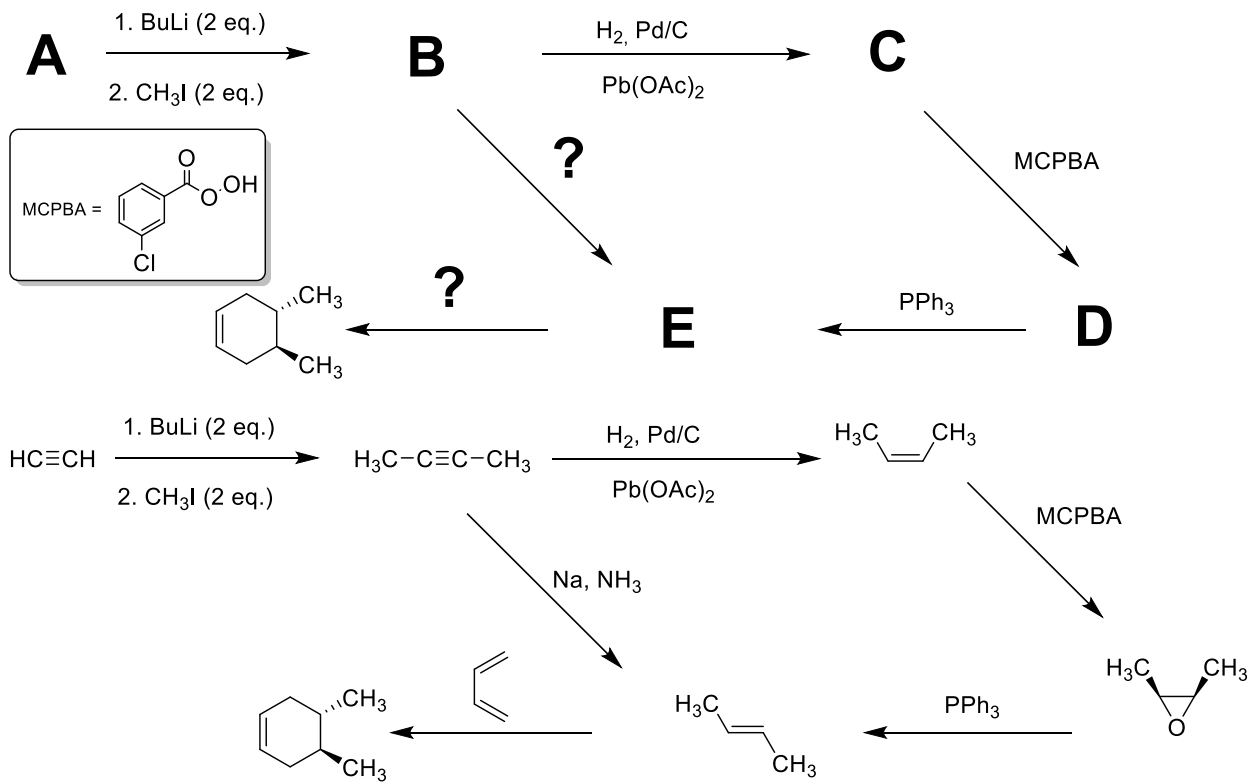
Вариант 1

Задача: Расшифруйте цепочку превращений, если известно, что 5,4 г соединения **B** способно прореагировать с 7,3 г хлороводорода с образованием дихлорида. Предложите механизм образования **E** из **D**.



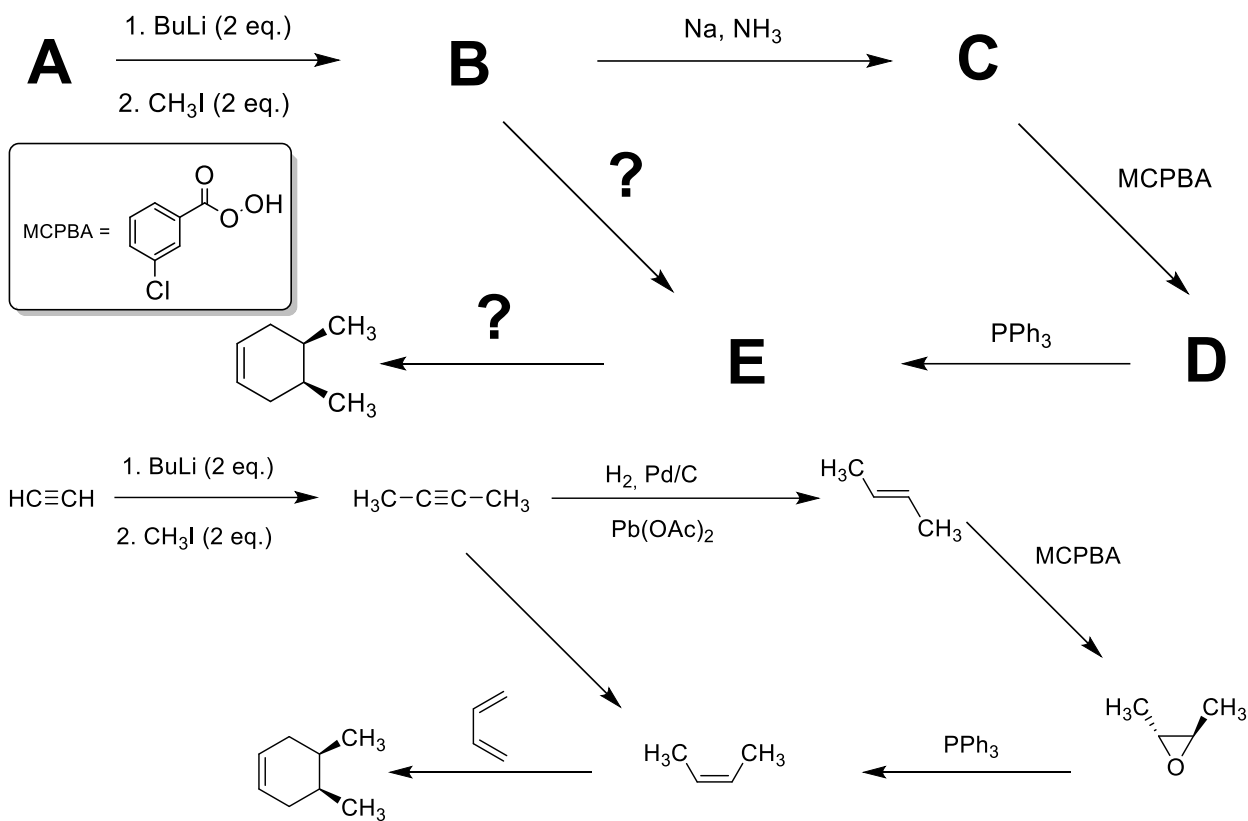
Вариант 2

Задача: Расшифруйте цепочку превращений, если известно, что 5,4 г. соединения **B** способно прореагировать с 16,2 г бромоводорода с образованием дибромида. Предложите механизм образования **E** из **D**.



Вариант 3

Задача: Расшифруйте цепочку превращений, если известно, что 5,4 г соединения **B** способно прореагировать с 7,3 г хлороводорода с образованием дихлорида. Предложите механизм образования **E** из **D**.



Вариант 4

Задача: Расшифруйте цепочку превращений, если известно, что 5,4 г соединения **B** способно прореагировать с 16,2 г бромоводорода с образованием дибромида. Предложите механизм образования **E** из **D**.

