



11 класс
Олимпиада школьников
Санкт-Петербургского университета



Общеобразовательный предмет «Химия»
Отборочный этап 2024-2025 уч. Года

Задание № 1. «СГОРИТ ВСЕ!»

Составитель: Тимошкин А.Ю.

Молекулярный фтор является чрезвычайно реакционноспособным соединением, в атмосфере которого горят многие вещества, даже те, которые обычно считают устойчивыми. Напишите реакции взаимодействия с молекулярным фтором следующих веществ (если температура не указана, то реакция протекает при комнатной температуре): 1) воды; 2) бертоллетовой соли; 3) урана; 4) платины (при 600 °С); 5) сернистого газа; 6) уксусной эссенции; 7) фосфора; 8) речного песка; 9) золота (при 350 °С).

Для каждого участника реакции укажите его агрегатное состояние.

Какие свойства проявляет фтор в этих реакциях?

Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Правильно записанная формула молекулярного фтора (F ₂)	1
2	Правильно записанная формула каждого реагента с указанием агрегатного состояния 0.5 балла (в сумме 4.5 балла).	4.5
3	Правильно записанная формула основного продукта реакции с указанием агрегатного состояния – 0.5 балла (в сумме 4.5 баллов).	4.5
4	Уравненные реакции – по 1 баллу за каждую реакцию (в сумме 9 баллов).	9
5	Указание, что фтор проявляет окислительные свойства.	1
	ВСЕГО:	20

Рекомендации по решению:

Ответ:

- 1) $2\text{H}_2\text{O} (\text{ж}) + 2\text{F}_2 (\text{г}) = 4\text{HF} (\text{г}) + \text{O}_2 (\text{г})$ (примесь $\text{O}_3 (\text{г})$)
- 2) $\text{KClO}_3 (\text{тв}) + \text{F}_2 = \text{KF} (\text{тв}) + \text{ClO}_3\text{F} (\text{г}) +$
- 3) $\text{U} (\text{тв}) + 2\text{F}_2 (\text{г}) = \text{UF}_4 (\text{тв})$
- 4) $\text{Pt} (\text{тв}) + 3\text{F}_2 (\text{г}) = \text{PtF}_6 (\text{г})$
- 5) $\text{SO}_2 (\text{г}) + \text{F}_2 (\text{г}) = \text{SO}_2\text{F}_2 (\text{г})$
- 6) $\text{CH}_3\text{COOH} (\text{ж}) + 6\text{F}_2 (\text{г}) = 2\text{CF}_4 (\text{г}) + \text{O}_2 (\text{г}) + 4\text{HF} (\text{г}) +$
- 7) $2\text{P} (\text{тв}) + 5\text{F}_2 (\text{г}) = 2\text{PF}_5 (\text{г})$
- 8) $\text{SiO}_2 (\text{тв}) + 2\text{F}_2 (\text{г}) = \text{SiF}_4 (\text{г}) + \text{O}_2 (\text{г})$
 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{тв}) + 6\text{F}_2 (\text{г}) = 4\text{FeF}_3 (\text{тв}) + 3\text{O}_2 (\text{г})$
- 9) $2\text{Au} (\text{тв}) + 3\text{F}_2 (\text{г}) = 2\text{AuF}_3 (\text{тв})$

Использован справочник Р.А.Лидин, В.А.Молочко, Л.Л.Андреева «Неорганическая химия в реакциях», М. Дрофа, 2007.

Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: Фамилия И.О.

Задание № 2.

Составитель: Скрипкин М.Ю.

При изучении кинетики взаимодействия диоксида хлора со фтором с образованием диоксофторида хлора получены следующие данные:

Температура, °C	C(ClO ₂), моль/л	C(F ₂), моль/л	Начальная скорость реакции
20	0.04	0.04	v
20	0.08	0.04	2.0v
20	0.12	0.12	9.0v
40	0.08	0.04	12.5v
40	0.08	0.12	37.5v

Запишите уравнение указанной реакции.

Определите порядок реакции и температурный коэффициент скорости. Механизм реакции в рассматриваемом интервале температур считать неизменным.

Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Правильно записано уравнение реакции	2
2	Правильно определен порядок реакции по диоксиду хлора	5
3	Правильно определен порядок реакции по фтору	5
4	Правильно определен общий порядок реакции	3
5	Правильно определен температурный коэффициент скорости	5
	ВСЕГО:	20

Ответ:

- Уравнение реакции:
$$2\text{ClO}_2 + \text{F}_2 = 2\text{ClO}_2\text{F}$$
- Кинетическое уравнение данного процесса имеет вид:
$$V = k \cdot C(\text{ClO}_2)^x \cdot C(\text{F}_2)^y$$

Из первых двух строк таблицы получаем:

$$0.08^x / 0.04^x = 2$$

Отсюда $x = 1$

Далее сравним первую и третью строки:

$$(0.12/0.04)^x \cdot (0.12/0.04)^y = 9$$

Отсюда $y = 1$

Общий порядок реакции составляет $1 + 1 = 2$
- Для определения температурного коэффициента скорости по правилу Вант-Гоффа определим константы скорости при двух температурах
$$k = v / (C(\text{ClO}_2) \cdot C(\text{F}_2))$$

При 20 °C $k = v / (16 \cdot 10^{-4})$

При 40 °C $k = 12.5v/(32 \cdot 10^{-4}) = 6.25v/(16 \cdot 10^{-4})$

Решая уравнение $\gamma^{(40-20)/10} = 6.25$, получаем $\gamma = 2.5$

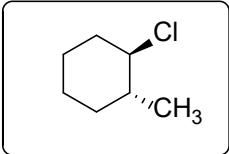
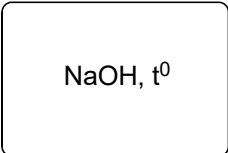
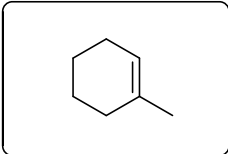
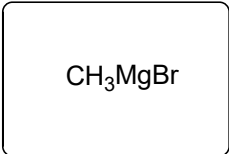
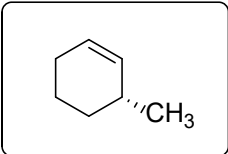
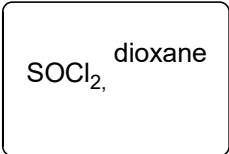
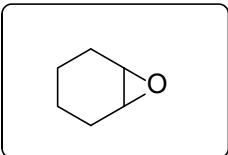
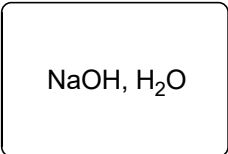
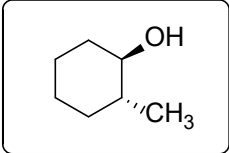
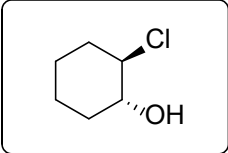
Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: Фамилия И.О.

Задание № 3. «КОНСТРУКТОР ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ»

Составитель: Сорокоумов В.Н.

Условие задачи / Вопросы задачи: Из предложенного перечня реагентов и катализаторов составьте синтетическую 4-х стадийную схему превращений, обратите внимание, что один из реагентов или катализаторов является лишним. Ответ представьте в виде буквенной последовательности.

1	→	2	→	3	→	4	→	5	→	6	→	7	→	8	→	9
A -						E -						I -				
B -						F -										
C -						G -						J -				
D -						H -										

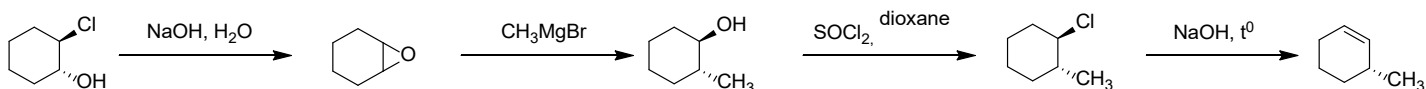
Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	HJGBDCAEF (Полный ответ)	20
2	HJG (частичный ответ)	5
3	GBD (частичный ответ)	5
4	DCA(частичный ответ)	5
5	AEF(частичный ответ)	5
	ВСЕГО:	20

Рекомендации по решению:

Стереохимия очень важна в реакциях элиминирования.

Ответ: HJGBDCAEF

РЕШЕНИЕ:

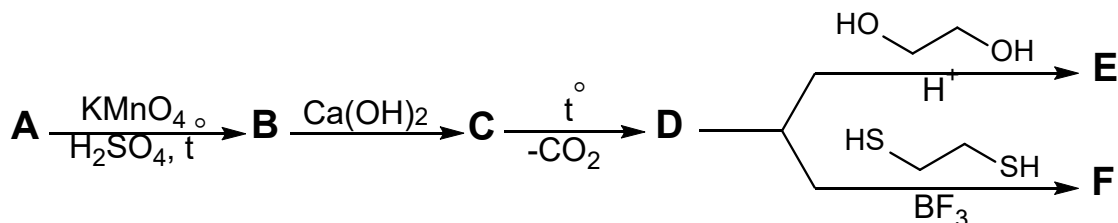
Возможность проверки средствами MOODLE: ДА

Проверил: Дарьин Д.В.

Задание № 4. «КАРБОНИЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ»

Составитель: Тойкка Ю.Н.

Условие задачи / Вопросы задачи: Карбонильная группа – очень важная функциональная группа в органической химии, встречающаяся во многих классах органических веществ: альдегиды, амиды, карбоновые кислоты и т.д. Ниже приведена схема, половина соединений в которой содержат карбонильную группу. Приведите структурную формулу каждого зашифрованного вещества. **A** имеет неразветвленное строение и содержит 87.73 % углерода по массе, а при реакции **A** с бромной водой его молярная масса увеличивается в 2.95 раза. Молекулярную формулу **A** подтвердите расчётом.

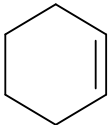
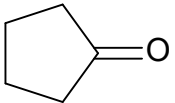
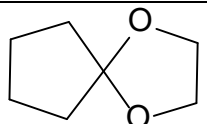
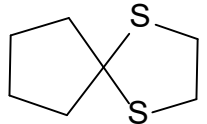


Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	Правильно проведены расчёты вещества Б и выведена формула C ₈ H ₁₆	5
2	Правильно расшифрованные структурные формулы веществ (А–F) – 2 баллов за каждое	12
3	Правильно расшифрованная структурная формула вещества G	3
	ВСЕГО:	20

Рекомендации по решению: сначала необходимо вывести простейшую формулу, а при нахождении истинной отталкиваться от свойств молекулы, указанных в задании.

Ответ:

A		D	
B	<chem>HO2C-CH2-CH2-CH2-CH2-CO2H</chem>	E	
C	$(\bar{O}_2C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-C\bar{O}_2)Ca^{2+}$	F	

РЕШЕНИЕ:

Запишем молекулярную формулу **A** как C_xH_y и составим уравнение, из которого затем выразим y через x:

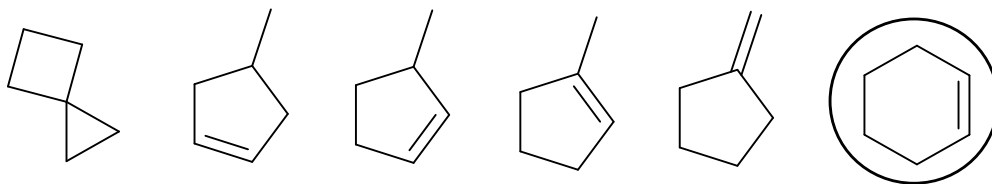
$$\frac{12x}{12x + y} = 0.8773 \Rightarrow 1.6783x = y$$

$$x = 1 \Rightarrow y = 1.6783; x = 2 \Rightarrow y = 3.3566; x = 3 \Rightarrow y = 5.0349$$

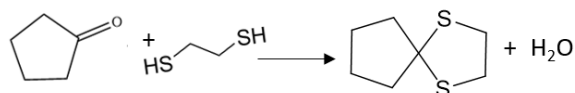
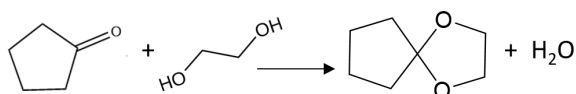
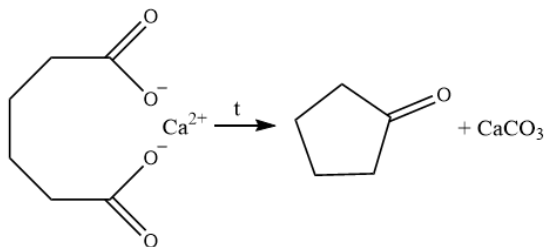
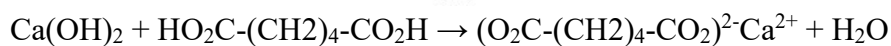
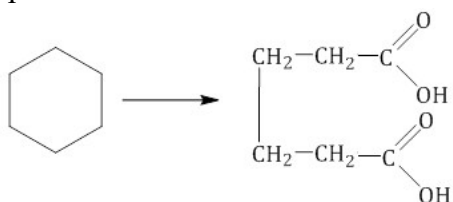
Простейшая молекулярная формула искомого углеводорода – это C₃H₅. Удвоим коэффициенты в этой формуле, так как углеводород не может содержать нечётное число атомов водорода, и получим C₆H₁₀. При реакции с бромной водой молярная масса **A** увеличилась в 2.95 раза. Рассчитаем количество присоединённых атомов брома:

$$\frac{M(A) \cdot 2.5 - M(A)}{M(Br)} \cong 2.$$

Значит, **A** реагирует с бромом в соотношении 1:1. Это значит, что **A** содержит в своём составе 3-членный цикл, 4-членный цикл или двойную связь. Так как молекулы **A** имеют неразветвлённое строение, можно заключить, что **A** – это циклогексен:



Далее находим структурные формулы, согласно схематичным уравнениям реакций, представленных в цепочке:



Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: Фамилия И.О.

Задание № 5. «ВЫГОРЕВШИЕ ЭТИКЕТКИ»

Составитель: Тойкка Ю.Н.

Условие задачи / Вопросы задачи: Заведующая лабораторией кафедры аналитической химии Юлия Игоревна вышла из отпуска и обнаружила на одной из полок стеклянные бутылки с выгоревшими на солнце этикетками. Она посмотрела в журнал и нашла там информацию, что на этой полке находились растворы следующих кислот с концентрацией 0,1 моль/л: щавелевая, муравьиная, уксусная кислота, глицин, цистеин. Чтобы Юлии Игоревне не пришлось готовить все растворы заново, помогите ей определить кислоту в каждой бутылке с помощью следующих реактивов: универсальный бумажный индикатор (шкала pH приведена ниже), сульфат меди(II), гидроксид натрия, ацетат свинца. Какие изменения будет наблюдать Юлия Игоревна в процессе определения каждой кислоты?



Система оценивания:

№	Критерий	Балл
1	За правильное определение каждой кислоты по 5 баллов	25
2	Если ученики использовали только индикаторы без дополнительных реактивов – можно поставить не более 5 баллов всего	
	ВСЕГО:	25

Рекомендации по решению:

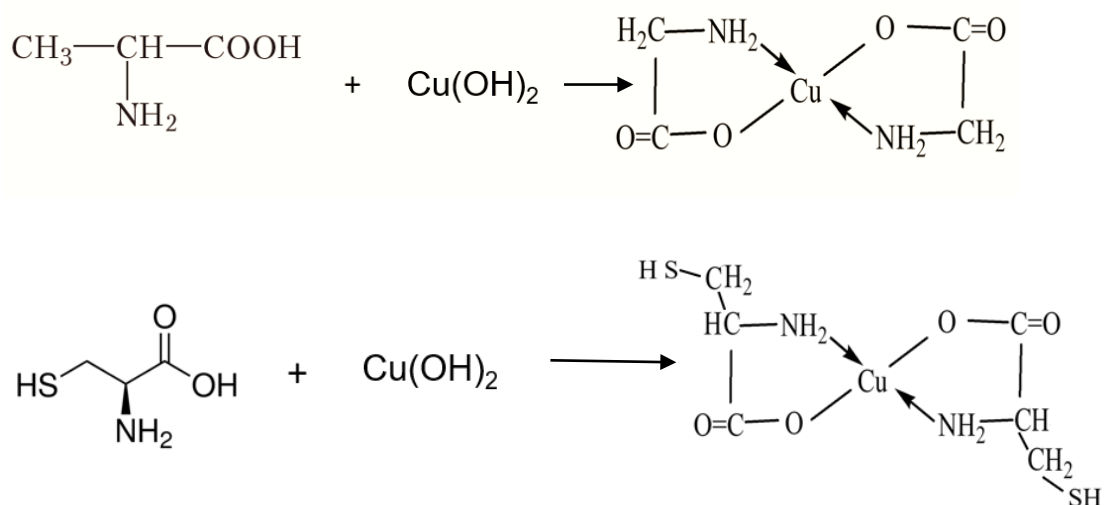
Часть искомых кислот существенно различаются по силе (способности к диссоциации на протон и кислотный остаток) и их можно определить с помощью универсального индикатора. Те, что имеют примерно одинаковое значение pH, можно определить с помощью других предложенных реактивов. Также стоит отметить, что у бумажного индикатора погрешность определения pH может составлять в зависимости от цветовосприятия.

Ответ:

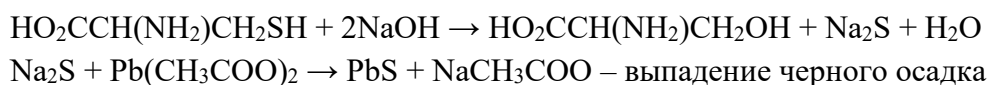
	Универсальный индикатор	Свежеприготовленный $\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{NaOH} + \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
Уксусная	Оранжево-красная окраска индикатора (pH = 3)	Сине-зеленый раствор $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	Нет видимых признаков
Щавелевая	Оранжево-красная окраска индикатора (pH = 2)	Ярко-голубой осадок CuC_2O_4 (при избытке кислоты растворение с образованием $\text{Cu}(\text{HC}_2\text{O}_4)_2$ – голубой раствор) – допустимы оба варианта	Нет видимых признаков
Муравьиная	Оранжево-красная окраска индикатора (pH = 2)	Образование красного осадка Cu_2O при нагревании	Нет видимых признаков
Глицин	Желто-зеленая окраска индикатора (pH = 6-7)	Образование ярко-синего комплекса $\text{Cu}[\text{CH}_2(\text{SH})\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COO}]_2$	Нет видимых признаков
Цистеин	Желто-зеленая окраска индикатора (pH = 7)	Образование ярко-синего комплекса $\text{Cu}[\text{CH}_2(\text{SH})\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COO}]_2$	Образование черного осадка PbS

РЕШЕНИЕ:

1. В каждый бесцветный раствор кислоты аккуратно окунем универсальный бумажный индикатор. Три из пяти кислот покажут сильноокислую pH в районе 2-3, это скорее всего уксусная, муравьиная и щавелевая. А остальные кислоты будут иметь среду близкую к нейтральной (в районе 6-7) ввиду того, что у глицина и цистеина есть донорные группы, ($-\text{NH}_2$ в глицине и $-\text{NH}_2$ и $-\text{SH}$ в цистеине), наличие которых ослабляет кислотные свойства за счет самопротонирования донорной группы вместо диссоциации протона в раствор.
2. Определим кислоты с низким значением pH. Для этого приготовим раствор гидроксида меди(II) в виде синего осадка:
 $\text{CuSO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$
 $\text{Cu(OH)}_2 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Cu(CH}_3\text{COO)}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ – наблюдается растворение осадка с образованием зелено-голубого раствора ацетата меди.
Со щавелевой кислотой реакция идет хуже, однако если можно добавить ее избыток
 $\text{Cu(OH)}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CuC}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ – осадок светлеет за счет выпадения светло-голубого оксалата меди(II)
 $\text{Cu(OH)}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{Cu(HC}_2\text{O}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ – при сильном избытке кислоты наблюдается ярко-голубой раствор
Муравьиная кислота вступает в реакцию медного зеркала:
 $\text{Cu(OH)}_2 + \text{HCOOH} = \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (нагревание) – выпадение красного осадка
3. И глицин и цистеин вступают в реакцию с Cu(OH)_2 образуя комплексные соединения ярко-синего цвета.



Однако глицин от цистина можно с помощью цистеиновой пробы ввиду наличия серосодержащей функциональной группы в отличие от глицина.



Возможность проверки средствами MOODLE: НЕТ

Проверил: Фамилия И.О.