Максимальное количество баллов за олимпиаду - 50

Задание 1.

В системах охлаждения двух холодильников - оранжевого и зелёного - используются два разных хладагента. Вдохнув хладагент из оранжевого холодильника, человек может быстро потерять сознание. Вернуть его может помочь хладагент из зелёного холодильника, который легче хладагента из оранжевого холодильника в 11.6 раза.



Запишите формулу хладагента из оранжевого холодильника.

Ответ: $CF_3CHClBr$

Запишите формулу хладагента из зелёного холодильника.

Ответ: NH_3

Критерий оценивания: за формулу каждого хладагента - 2 балла. Всего - 4 балла.
Максимальный балл за задание - 4.
Решение.

По структуре молекулы хладагент из зелёного холодильника - аммиак NH_3 с молярной массой 17 г/моль. Молярная масса второго вещества равна $17 \cdot 11.6 = 197.2$ г/моль. На рисунке у его молекулы два атома углерода, один водорода и пять атомов галогенов: три фтора, хлор и бром. Формула - $CF_3CHClBr$; её молярная масса $24+1+3\cdot19+35.5+80 = 197.5$ г/моль, что соответствует данному отношению с учётом округления.

Задание 2.

Галогенид элемента в степени окисления +5 нагревают в присутствии простого вещества, образованного входящим в его состав элементом. В результате реакции образуется единственный продукт, в котором один из элементов имеет степень окисления +3, а его масса в 4.68 раза больше массы взятого простого вещества. Определите формулу исходного галогенида.

Ответ: $SbCl_5$

Составьте уравнение реакции. В ответ запишите сумму наименьших целочисленных коэффициентов.

Ответ: 10

Критерий оценивания: за формулу исходного галогенида - 1 балл; за верную сумму коэффициентов - 4 балла. Всего - 5 баллов.
Максимальный балл за задание - 5.
Решение.

Элемент в степенях окисления +5 и 0 даёт единственный продукт со степенью окисления +3. Для пентагалогенида $E\mathrm{Hal}_5$ схема сопропорционирования такова:

$$3E\mathrm{Hal}_5 + 2E \longrightarrow 5E\mathrm{Hal}_3.$$

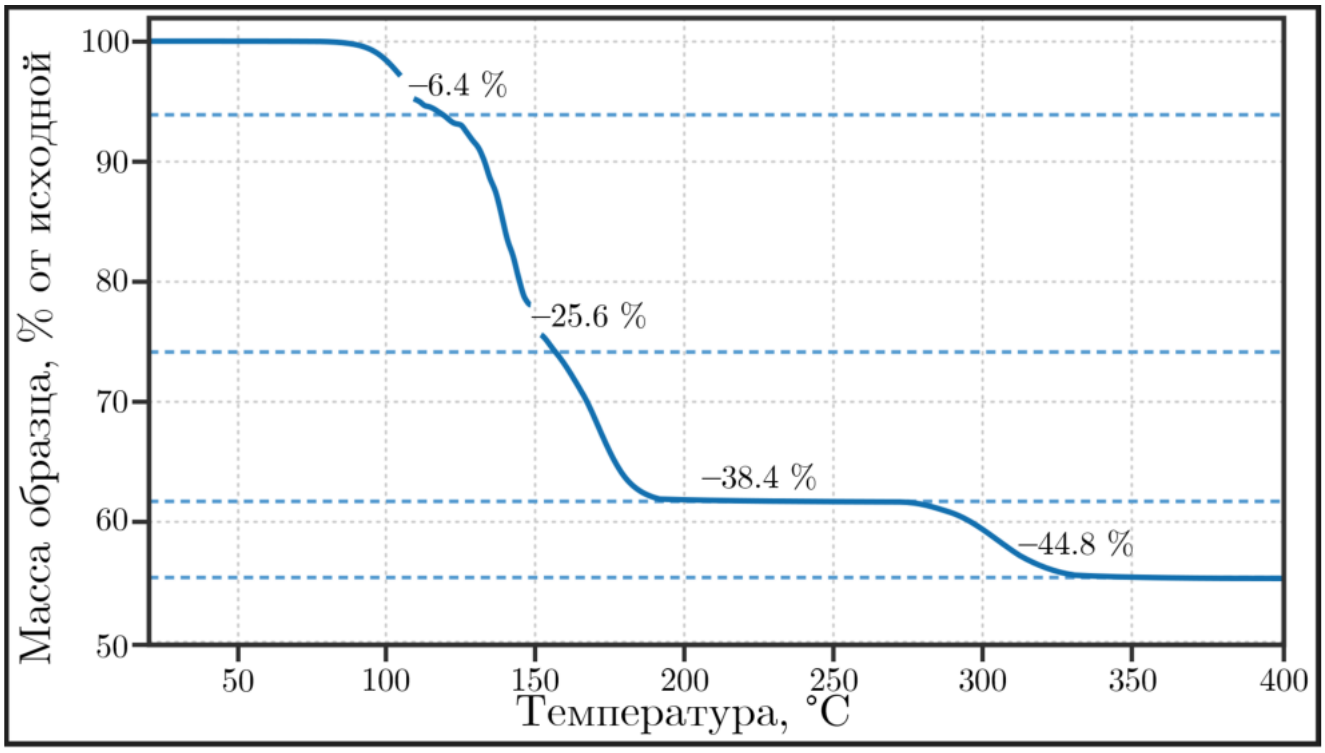
По условию $5[M(E) + 3M(\mathrm{Hal})]/[2M(E)] = 4.68$. Для хлора $M(\mathrm{Hal}) = 35.5$ г/моль, откуда $M(E) \approx 122$ г/моль: это сурьма. Исходное вещество - $SbCl_5$, уравнение $3SbCl_5 + 2Sb \longrightarrow 5SbCl_3$. Сумма коэффициентов $3 + 2 + 5 = 10$.

Задание 3.

Юный химик Василий вырастил в школьной лаборатории красивый розово-красный кристалл соли X. Ему стало интересно, соответствует ли состав полученного вещества формуле, указанной в методике выращивания. Учитель поддержал предложение и провёл элементный и термогравиметрический анализ образца в лабораторном комплексе Научно-технологического университета «Сириус».

Результаты элементного анализа представлены в таблице, а данные об изменении массы вещества по сравнению с начальной при нагревании - на графике.

Элемент	Co	H	O	S
Массовая доля, %	21.0	5.0	62.6	11.4



После достижения температуры 400 °C дальнейшее нагревание образца прекратили.

Определите молярную массу формульной единицы вещества X. Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

Ответ: 281 г/моль

На сколько уменьшилась молярная масса формульной единицы вещества на первой стадии разложения? Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

Ответ: 18 г/моль

Запишите формулу соединения, полученного после нагревания соли X до 400 °C.

Ответ: $CoSO_4$

Критерий оценивания: за молярную массу исходной соли - 1.5 балла; за уменьшение молярной массы на первой стадии - 1 балл; за формулу конечного продукта - 1.5 балла. Всего - 4 балла.

Максимальный балл за задание - 4.

Решение.

Примем массу соли за 100 г. Тогда количества атомов пропорциональны 21.0/59 : 5.0/1 : 62.6/16 : 11.4/32, или 1 : 14 : 11 : 1 после деления на наименьшее число. Это $CoSO_4 \cdot 7H_2O$, $M = 59 + 32 + 4 \cdot 16 + 7 \cdot 18 = 281$ г/моль. На первой ступени график показывает потерю массы около 6.4%, что составляет $281 \cdot 0.064 \approx 18$ г/моль, то есть одну молекулу воды. При дальнейшем нагревании общая потеря массы соответствует семи молекулам воды. К 400 °C остаётся безводный $CoSO_4$.

Задание 4.

Установите соответствие между классами органических соединений и качественными реакциями на них.

1. Альдегиды	А. При добавлении раствора $FeCl_3$ появляется фиолетовое окрашивание
2. Белки	Б. С раствором иода появляется синее окрашивание
3. Многоатомные спирты	В. При нагревании с $Cu(OH)_2$ появляется фиолетовое окрашивание
4. Фенолы	Г. Свежеосаждённый $Cu(OH)_2$ растворяется с образованием ярко-синего раствора
5. Карбоновые кислоты	Д. Из аммиачного раствора Ag_2O осаждается плёнка серебра
	Е. При действии $NaHCO_3$ выделяется CO_2

Ответ:

1	2	3	4	5
Д	В	Г	А	Е

Критерий оценивания: за каждое верное соответствие - 1 балл. Всего - 5 баллов.

Максимальный балл за задание - 5.

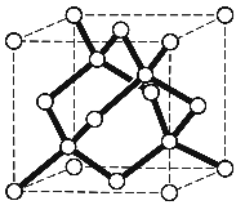
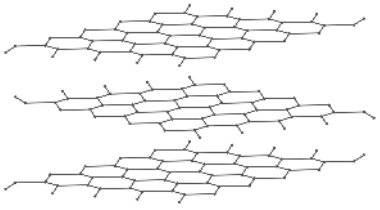
Решение.

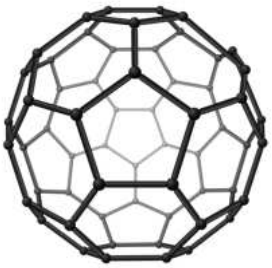
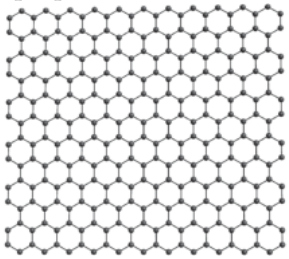
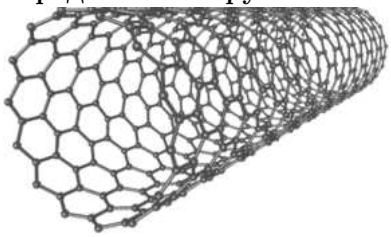
Альдегиды дают реакцию серебряного зеркала - Д. Белки дают фиолетовое окрашивание с гидроксидом меди(II) - В. Многоатомные спирты растворяют свежеосаждённый $Cu(OH)_2$ с образованием ярко-синего раствора - Г. Фенолы окрашиваются с $FeCl_3$ в фиолетовый цвет - А. Карбоновые кислоты при действии $NaHCO_3$ выделяют CO_2 - Е. Ответ: Д, В, Г, А, Е.

Задание 5.

Установите соответствие между аллотропными модификациями углерода и типами гибридизации, присущими углероду в их структурах.

Варианты ответа: sp^3; sp^2; sp.

Аллотропная модификация	**Тип гибридизации**
Алмаз 	sp^3
Карбин …=C=C=C=C=…	sp
Графит 	sp^2

Аллотропная модификация	**Тип гибридизации**
Фуллерен 	sp^2
Графен 	sp^2
Углеродные нанотрубки 	sp^2

Критерий оценивания: за каждый верный тип гибридизации - 0.5 балла. Всего - 3 балла.

Максимальный балл за задание - 3.

Решение.

В алмазе каждый атом углерода образует четыре σ-связи и имеет гибридизацию sp^3. В линейных цепях карбина характерна sp-гибридизация. Для графита, фуллерена, графена и углеродных нанотрубок характерна sp^2-гибридизация. Поэтому по строкам таблицы: sp^3, sp, sp^2, sp^2, sp^2, sp^2.

Задание 6.

Юному химику на химическом турнире команда поручила следующую задачу: предложить последовательность неорганических реакций, которая меняет цвет реакционной смеси в колбе в порядке цветов радуги. Для этого было решено использовать соединения хрома.

Установите соответствие между фотографиями растворов и формулами соединений хрома.

Варианты ответа: $CrSO_4$; K_2CrO_4; CrO_5; $K_2Cr_2O_7$; $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$.

Фотография	**Формула соединения хрома**
	$K_2Cr_2O_7$
	$[Cr(H_2O)_6]^{3+}$
	$CrSO_4$
	K_2CrO_4
	CrO_5

Для осуществления смены цветов в порядке их следования в радуге были последовательно осуществлены 4 реакции с получением указанных выше соединений. Определите порядок добавления реагентов.

1. $K_2Cr_2O_7, H_2O_2$ в кислой среде
2. Na_2SO_3 в кислой среде
3. Zn в кислой среде без доступа воздуха
4. Разбавленный раствор NaOH

Ответ:

1	2	3	4
4	2	3	1

Критерий оценивания: за каждую верную формулу под фотографией - 0.5 балла; за верный порядок реагентов - 1.5 балла. Всего - 4 балла.

Максимальный балл за задание - 4.

Решение.

На фотографиях сверху вниз: оранжевый дихромат $K_2Cr_2O_7$, зелёный аквакомплекс $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$, голубой $CrSO_4$, жёлтый хромат K_2CrO_4 и тёмно-синий пероксид CrO_5. Для последовательной смены цветов сначала переводят дихромат в хромат добавлением разбавленной щёлочи (4); затем сульфитом в кислой среде восстанавливают хром(VI) до хрома(III) (2); цинком восстанавливают хром(III) до хрома(II) (3); наконец, в кислой среде с дихроматом и пероксидом водорода получают CrO_5 (1). Порядок: $4, 2, 3, 1$.

Задание 7.

На краю далёкой звёздной системы находится планета Нашатырь. Качественный анализ показал, что её атмосфера состоит из N_2, O_2 и NH_3. После пропускания через раствор кислоты 10.0 л взятой из атмосферы пробы её объём уменьшился до 7.1 л. Оставшуюся газовую смесь пропустили над нагретой медью, после чего её объём уменьшился ещё на 1.2 л. Все объёмы газов измерены при одинаковых температуре и давлении. Какой газ удаляется из смеси при её пропускании через раствор кислоты?

Ответ:

- N_2
- O_2
- ✓ NH_3

Какой газ удаляется из оставшейся смеси при её пропускании над нагретой медью?

Ответ:

- N_2
- ✓ O_2
- NH_3

Определите объёмные доли газов в исходной смеси. Ответы выразите в процентах, округлите до целых.

$\varphi(N_2)$	59 %
$\varphi(O_2)$	12 %
$\varphi(NH_3)$	29 %

Определите среднюю молярную массу исходной газовой смеси. Ответ выразите в г/моль, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [25.2; 25.4] г/моль

Критерий оценивания: за каждый верный ответ при определении удаляемых газов и каждой из трёх объёмных долей - по 0.5 балла; за среднюю молярную массу смеси - 1 балл. Всего - 3.5 балла.

Максимальный балл за задание - 3.5.

Решение.

Раствор кислоты поглощает аммиак: $NH_3 + H^+ \longrightarrow NH_4^+$. Его объём в исходной пробе $10.0 - 7.1 = 2.9$ л. Нагретая медь связывает кислород: $2Cu + O_2 \longrightarrow 2CuO$, поэтому его объём 1.2 л. Оставшийся азот занимает $7.1 - 1.2 = 5.9$ л. При одинаковых температуре и давлении объёмные доли равны 59% для N_2, 12% для O_2 и 29% для NH_3. Средняя молярная масса смеси:

$$\overline{M} = 0.59 \cdot 28 + 0.12 \cdot 32 + 0.29 \cdot 17 = 25.29 \approx 25.3 \text{ г/моль}.$$

Задание 8.

Для качественного определения веществ с одинаковой брутто-формулой C_3H_6O использовали аммиачный раствор оксида серебра, бромную воду и оксид меди (II). Установите соответствие между веществами и результатами исследования.

1. CH_3CH_2CHO	А. Ни в одном из трёх опытов видимых изменений не наблюдается
2. $CH_3C(O)CH_3$	Б. При нагревании с аммиачным раствором оксида серебра образуется серебряное зеркало; при нагревании на поверхности оксида меди (II) появляется красноватый налёт; бромная вода обесцвечивается
3. $CH_2 = CHCH_2OH$	В. Визуальные изменения есть только в опыте с бромной водой - она обесцвечивается
4. $CH_2 = CHOCH_3$	Г. Бромная вода обесцвечивается; при нагревании на поверхности оксида меди (II) появляется красноватый налёт; реакция серебряного зеркала не протекает

Ответ:

1	2	3	4
Б	А	Г	В

Какое из этих веществ имеет геометрические изомеры?

Ответ:

- CH_3CH_2CHO
- $CH_3C(O)CH_3$
- CH_2=$CHCH_2OH$
- CH_2=$CHOCH_3$
- ✓ Никакое

Критерий оценивания: за каждое верное соответствие - 1 балл; за верный ответ на вопрос об изомерии - 0.5 балла. Всего - 4.5 балла.

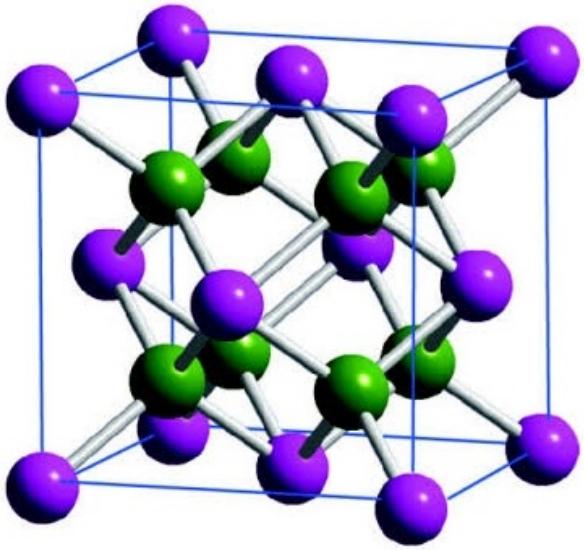
Максимальный балл за задание - 4.5.

Решение.

Пропаналь вступает в реакцию серебряного зеркала, восстанавливает CuO и окисляется бромной водой: Б. Ацетон в указанных опытах видимых изменений не даёт: А. Аллиловый спирт обесцвечивает бромную воду по двойной связи и восстанавливает CuO при нагревании по спиртовой группе: Г. Метилвиниловый эфир обесцвечивает только бромную воду: В. У обеих молекул с двойной связью один атом углерода CH_2 имеет два одинаковых заместителя, поэтому геометрических изомеров среди перечисленных веществ нет.

Задание 9.

Перед вами экспериментальная кристаллическая структура продукта окисления на воздухе радиоактивного элемента, являющегося по многим своим свойствам аналогом вольфрама. Показана элементарная ячейка; шарики разного цвета соответствуют атомам разных элементов.



Запишите символ этого элемента.

Ответ: U

Запишите формулу продукта окисления.

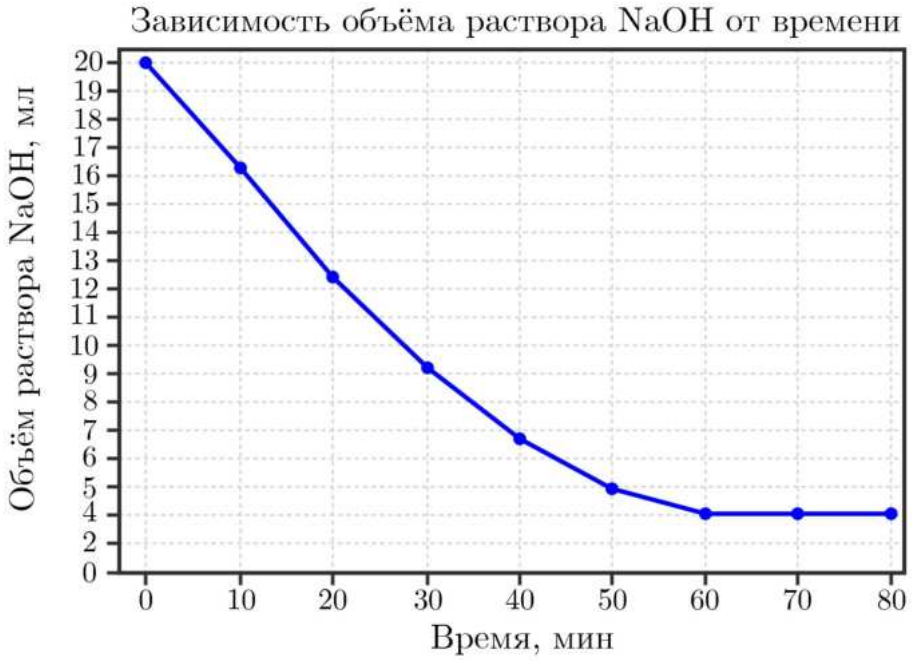
Ответ: UO_2

Критерий оценивания: за символ элемента - 2 балла; за формулу продукта окисления - 2 балла. Всего - 4 балла.
Максимальный балл за задание - 4.
Решение.

Радиоактивный элемент с указанными в условии свойствами - уран U. В показанной элементарной ячейке атомы металла занимают вершины и центры граней: $8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$ атома. Восемь атомов кислорода расположены внутри ячейки. Отношение $U : O = 4 : 8 = 1 : 2$, формула продукта - UO_2.

Задание 10.

Для получения полиэфира в реактор поместили 620 г этиленгликоля $HOCH_2CH_2OH$ и 1460 г адипиновой кислоты $HOOC(CH_2)_4COOH$. Реакционную смесь нагревали. Через определённые промежутки времени отбирали пробы одинакового объёма и титровали их раствором NaOH одной и той же концентрации. Результаты представлены на графике.



Какая доля карбоксильных групп адипиновой кислоты приняла участие в образовании сложноэфирных связей к моменту окончания реакции? Ответ выразите в процентах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [79; 81] %

Какая масса воды образовалась к моменту окончания реакции? Считайте, что потерей веществ вследствие отбора проб на титрование можно пренебречь. Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [280; 296] г

Критерий оценивания: за долю прореагировавших карбоксильных групп - 2 балла; за массу воды - 2 балла. Всего - 4 балла.

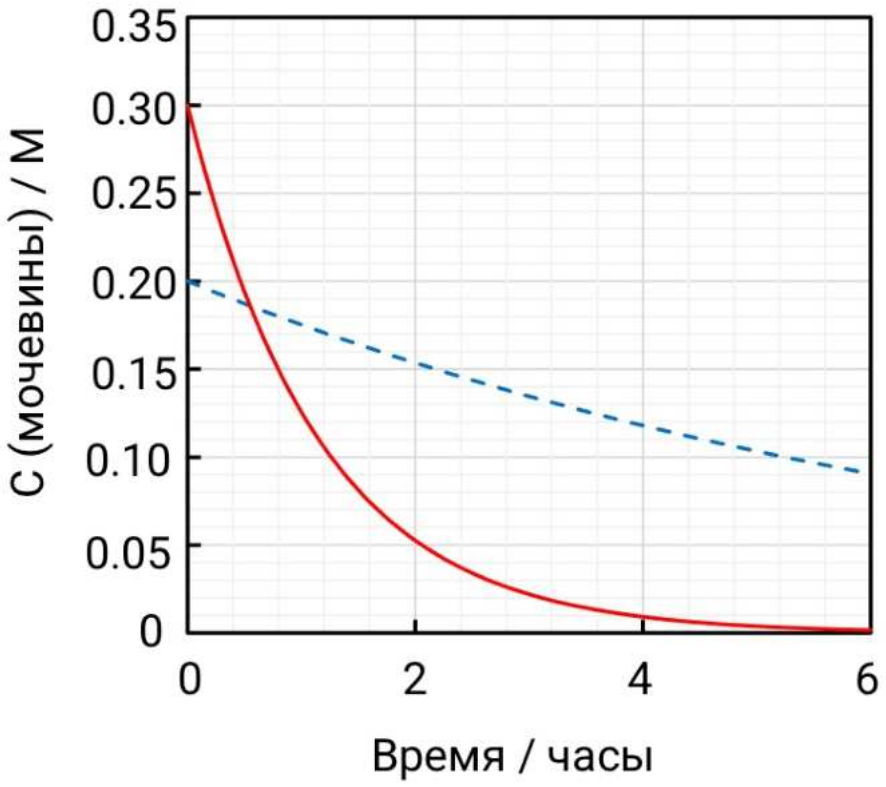
Максимальный балл за задание - 4.

Решение.

Исходное количество адипиновой кислоты равно $1460/146 = 10$ моль, значит, карбоксильных групп было 20 моль. При одинаковых объёмах проб и концентрации щёлочи объём титранта пропорционален числу оставшихся групп. По графику он уменьшился с 20 до 4 мл, поэтому прореагировало $(20 - 4)/20 \cdot 100\% = 80\%$ групп. Каждая сложноэфирная связь образуется с выделением одной молекулы воды: $n(H_2O) = 20 \cdot 0.8 = 16$ моль, $m(H_2O) = 16 \cdot 18 = 288$ г.

Задание 11.

Студент исследовал на практикуме модельную реакцию гидролиза мочевины, имеющую первый порядок. В результате опытов при двух температурах - 70 °C и 85 °C - он получил показанные на рисунке кинетические кривые.



Какая из кривых соответствует температуре 70 °C?

Ответ:

- ✓ Синяя пунктирная
- Красная сплошная
- Невозможно установить

Правило Вант-Гоффа описывает отношение констант скоростей реакции при двух температурах как $\frac{k(T_1)}{k(T_2)} = \gamma^{\frac{T_1-T_2}{10}}$, где γ - постоянная Вант-Гоффа. Определите постоянную Вант-Гоффа исследуемой реакции. Ответ округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [3.3; 3.7]

Согласно уравнению Аррениуса, зависимость скорости реакции от температуры имеет вид $k(T) = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$, где A - постоянная, E_a - энергия активации. Определите энергию активации исследуемой реакции. Ответ выразите в кДж/моль, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [120; 135] кДж/моль

Критерий оценивания: за верно выбранную кривую - 1 балл; за постоянную Вант-Гоффа - 1.5 балла; за энергию активации - 1.5 балла. Всего - 4 балла.

Максимальный балл за задание - 4.

Решение.

При более низкой температуре концентрация убывает медленнее, поэтому 70 °C соответствует синей пунктирной кривой. Для реакции первого порядка $k = t^{-1}\ln(C_0/C_t)$. По точкам при $t = 2$ ч получаем $k_{85} \approx \frac{1}{2}\ln(0.30/0.05) \approx 0.90$ ч$^{-1}$ и $k_{70} \approx \frac{1}{2}\ln(0.20/0.15) \approx 0.14$ ч$^{-1}$. Тогда

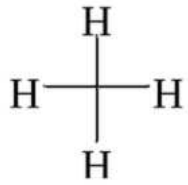
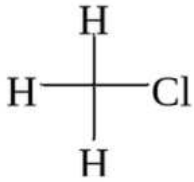
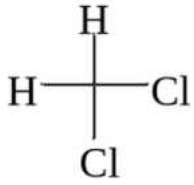
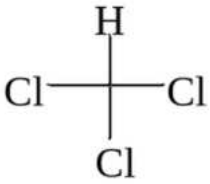
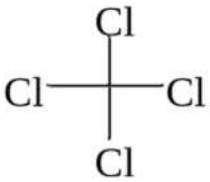
$$\gamma = (\frac{k_{85}}{k_{70}})^{10/15} \approx 3.5.$$

Из уравнения Аррениуса $\ln(k_{85}/k_{70}) = E_a R^{-1}(1/T_{70} - 1/T_{85})$ при $T_{70} = 343$ K и $T_{85} = 358$ K получаем $E_a \approx 127$ кДж/моль.

Задание 12.

Установите соответствие между соединениями и приблизительными значениями констант их кислотности.

Варианты ответа: 10^{-16}; 10^{-24}; 10^{-40}; 10^{-50}; Не способно проявлять кислотных свойств.

Соединение	**Константа кислотности**
	10^{-50}
	10^{-40}
	10^{-24}
	10^{-16}
	не способно проявлять кислотных свойств

Критерий оценивания: за каждое верное соответствие - 1 балл. Всего - 5 баллов.

Максимальный балл за задание - 5.

Решение.

При последовательном замещении атомов водорода в метане атомами хлора образующийся после отщепления протона карбанион всё лучше стабилизируется. Поэтому кислотность увеличивается в ряду $CH_4 < CH_3Cl < CH_2Cl_2 < CHCl_3$. На рисунках сверху вниз им соответствуют приблизительные константы 10^{-50}, 10^{-40}, 10^{-24} и 10^{-16}. У CCl_4 атомов водорода нет, он не способен отдавать протон.

Сириус.Курсы — для тех, кто хочет знать больше!