

## 11 класс

### Задача 1 (15 баллов)

#### Вариант 1

Навеску цинка массой 3,00 г сожгли при 150 °С и давлении 0,8 атм в закрытом сосуде объемом 5,0 л, заполненном газообразным веществом с плотностью паров по *веселящему* газу 5,77. По окончании реакции сосуд охладили до комнатной температуры и внесли в него 1 литр 50% водного раствора азотной кислоты (плотность 1,30 г/мл). Определите мольную долю атомов кислорода в полученном растворе. Приведите уравнения упомянутых реакций.

#### Решение.

1. Определим неизвестное вещество. Его молярная масса составляет:

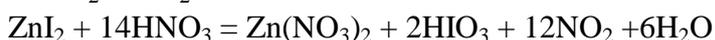
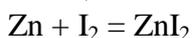
$$M = 5,77 \cdot 44 = 254 \text{ г/моль} - \text{очевидно, искомое вещество иод (I}_2\text{)}$$

Рассчитаем количество вещества иода в сосуде:

$$n = pV/RT = 0,8 \cdot 101325 \cdot 5 \cdot 10^{-3} / (8,31 \cdot 423,15) = 0,115 \text{ моль}$$

Количество вещества цинка составляет  $3/64,5 = 0,047$  моль. Таким образом, иод взят в избытке

Реакции:



По окончании реакций в растворе содержится:

0,047 моль нитрата цинка

0,230 моль иодноватой кислоты

8,980 моль азотной кислоты

36,665 моль воды

Количество вещества отдельных элементов составляет:

Цинка – 0,047 моль

Иода – 0,230 моль

Азота – 9,074 моль

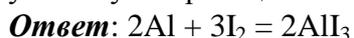
Водорода – 73,56 моль

Кислорода - 64,577 моль

Мольная доля атомов кислорода составляет **43,78%**.

#### Вариант 2

Навеску алюминия массой 2,00 г сожгли при 200 °С и давлении 0,5 атм в закрытом сосуде объемом 6,0 л, заполненном газообразным веществом с плотностью паров по *лисьему хвосту* 5,52. По окончании реакции сосуд охладили до комнатной температуры и внесли в него 1,5 литра 40% водного раствора азотной кислоты (плотность 1,25 г/мл). Определите мольную долю атомов кислорода в полученном растворе. Приведите уравнения упомянутых реакций.



$\text{Al} + \text{HNO}_3$  – пассивация

Мольная доля атомов кислорода 41,25%

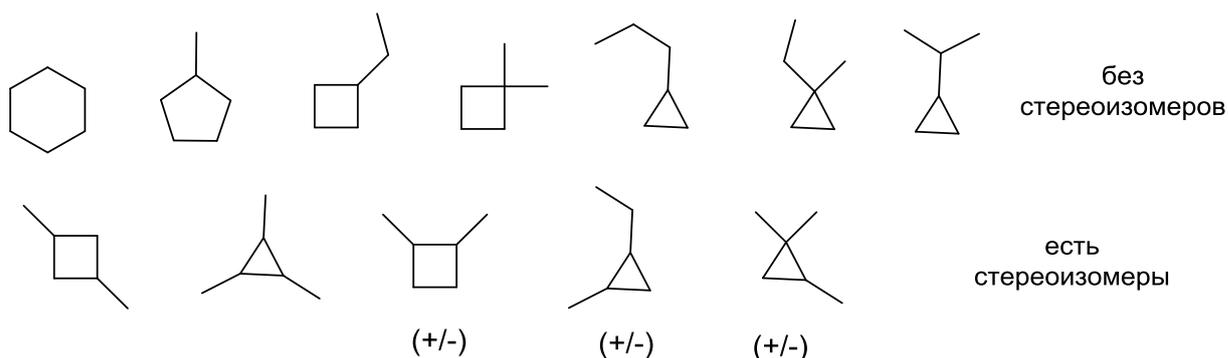
### Задача 2 (15 баллов)

### Вариант 1

Различие физических и химических свойств изомеров зависит прежде всего от порядка и типа связывания атомов и групп атомов в молекуле (структурные изомеры). При этом различное взаимное пространственное расположение структурных элементов молекулы при одинаковом порядке связывания определяет возможность существования стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров).

Сколько структурных изомеров без кратных связей соответствует брутто-формуле  $C_6H_{12}$ ? Сколько из них могут иметь стереоизомеры любого типа? Сколько из них являются хиральными (существуют в виде пары (пар) энантиомеров)?

Правильный ответ: всего – 12, со стереоизомерами – 5, хиральных – 3

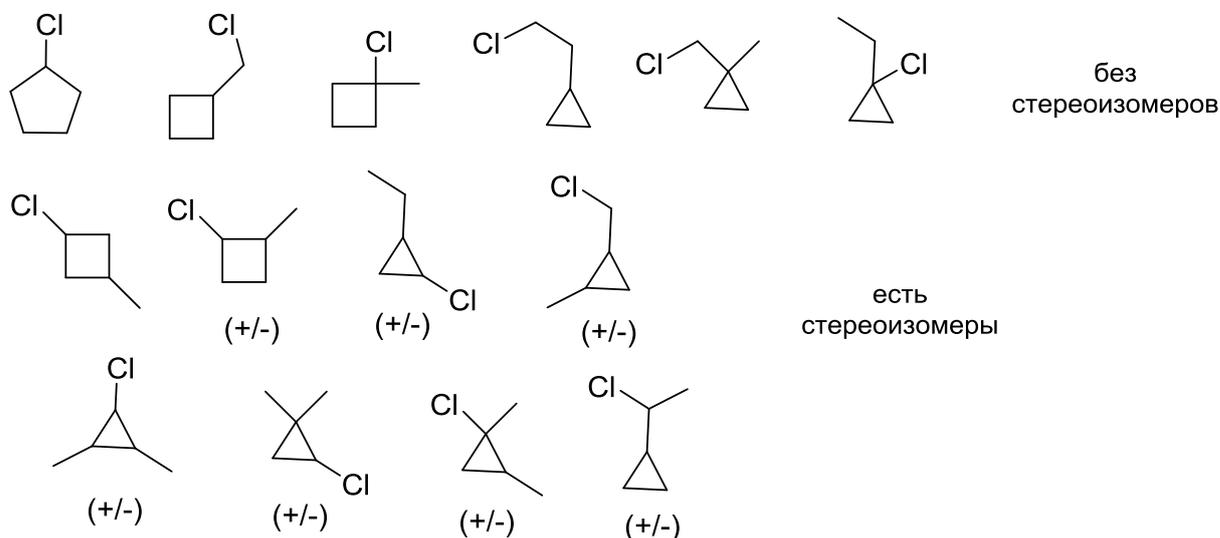


### Вариант 2

Различие физических и химических свойств изомеров зависит прежде всего от порядка и типа связывания атомов и групп атомов в молекуле (структурные изомеры). При этом различное взаимное пространственное расположение структурных элементов молекулы при одинаковом порядке связывания определяет возможность существования стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров).

Сколько структурных изомеров без кратных связей соответствует брутто-формуле  $C_5H_9Cl$ ? Сколько из них могут иметь стереоизомеры любого типа? Сколько из них являются хиральными (существуют в виде пары (пар) энантиомеров)?

Правильный ответ: всего – 14, со стереоизомерами – 8, хиральных – 7

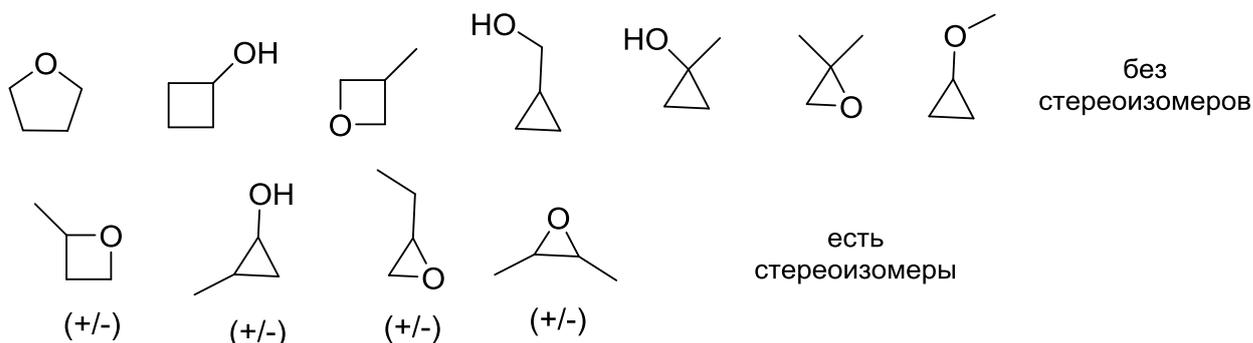


### Вариант 3

Различие физических и химических свойств изомеров зависит прежде всего от порядка и типа связывания атомов и групп атомов в молекуле (структурные изомеры). При этом различное взаимное пространственное расположение структурных элементов молекулы при одинаковом порядке связывания определяет возможность существования стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров).

Сколько структурных изомеров без кратных связей соответствует брутто-формуле  $C_4H_8O$ ? Сколько из них могут иметь стереоизомеры любого типа? Сколько из них являются хиральными (существуют в виде пары (пар) энантиомеров)?

Правильный ответ: всего – 11, со стереоизомерами – 4, хиральных – 4

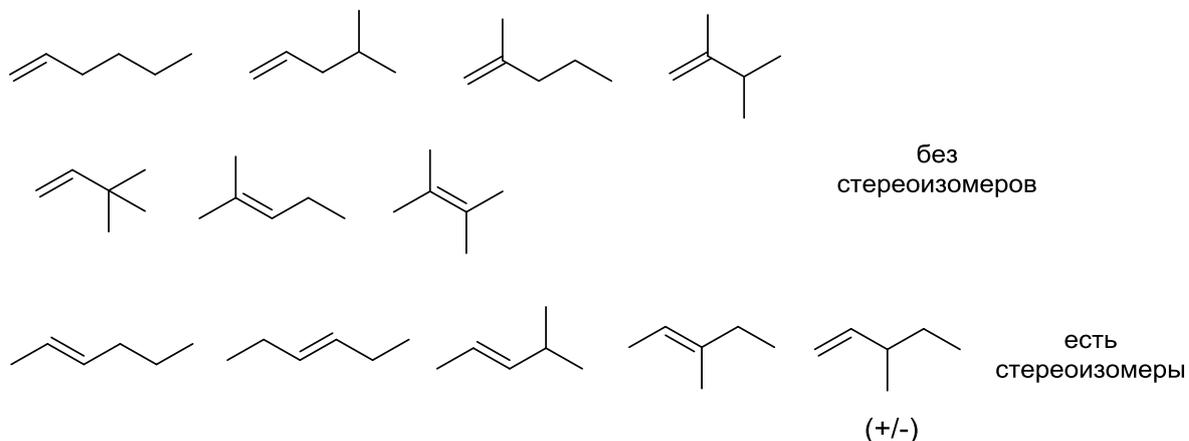


### Вариант 4

Различие физических и химических свойств изомеров зависит прежде всего от порядка и типа связывания атомов и групп атомов в молекуле (структурные изомеры). При этом различное взаимное пространственное расположение структурных элементов молекулы при одинаковом порядке связывания определяет возможность существования стереоизомеров (диастереомеров и энантиомеров).

Сколько структурных изомеров без цикла соответствует брутто-формуле  $C_6H_{12}$ ? Сколько из них могут иметь стереоизомеры любого типа? Сколько из них являются хиральными (существуют в виде пары (пар) энантиомеров)?

Правильный ответ: всего – 12, со стереоизомерами – 5, хиральных – 1



### Задача 3 (10 баллов)

#### Вариант 1

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 1.0. Приведите все возможные решения.

**Решение.** Относительные плотности указанных газов по воздуху составляют:

$$D_{\text{возд}}(\text{Ar}) = 40/29 = 1.38; D_{\text{возд}}(\text{NH}_3) = 17/29 = 0.59; D_{\text{возд}}(\text{H}_2) = 2/29 = 0.069; D_{\text{возд}}(\text{HCl}) = 36.5/29 = 1.26; D_{\text{возд}}(\text{Cl}_2) = 70/29 = 2.41.$$

Анализ показывает, что для удовлетворения условия задачи это должны быть смеси одного из двух лёгких газов (водород, аммиак) с одним из тяжёлых газов (аргон, хлороводород, хлор). Однако при этом следует исключить пары веществ, между которыми протекает химическая реакция: аммиак и хлороводород (образуется нелетучий хлорид аммония:  $\text{NH}_{3(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{тв})}$ ), аммиак и хлор (образуется азот и хлороводород:  $2\text{NH}_{3(\text{г})} + 3\text{Cl}_{2(\text{г})} = \text{N}_{2(\text{г})} + 6\text{HCl}_{(\text{г})}$ ), а также неустойчивая на свету смесь водорода с хлором (образуется хлороводород:  $\text{H}_{2(\text{г})} + \text{Cl}_{2(\text{г})} = 2\text{HCl}_{(\text{г})}$ ).

Таким образом, возможными вариантами остаются смеси: водород – аргон, водород – хлороводород, аммиак – аргон.

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона  $pV = nRT$ , соотношение объёмов газов равно мольному соотношению газов.

Средняя молекулярная масса смеси должна быть равна молекулярной массе воздуха. Пусть мольная доля легкого газа  $x$ , тогда мольная доля тяжелого газа  $(1-x)$ , тогда для смеси водород – аргон:  $29 = 2 \cdot x + (1-x) \cdot 40$ , откуда  $x = (40-29/40-2) = 0.29$ ;  $(1-x) = 0.71$ ; мольное отношение аргон – водород  $(1-x)/x = 2.45$ , тогда соотношение объёмов водорода и аргона 1:2.45.

для смеси водород – хлороводород:  $29 = 2 \cdot x + (1-x) \cdot 36.5$ , откуда получаем объёмное соотношение водород – хлороводород 1:3.6.

для смеси аммиак – аргон:  $29 = 2 \cdot x + (1-x) \cdot 36.5$ , откуда получаем объёмное соотношение аммиак – аргон. 1:1.09.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:2.45; водород – хлороводород 1:3.6; аммиак – аргон 1:1.09.

#### Вариант 2

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 0.8. Приведите все возможные решения.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:1.26; водород – хлороводород 1:1.59; аммиак – аргон 2.71:1.

#### Вариант 3

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 1.2. Приведите все возможные решения.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:6.31; водород – хлороводород 1:19.3; аммиак – аргон 1:3.42

#### *Вариант 4*

В лаборатории есть баллоны с аммиаком, аргоном, водородом, хлороводородом и хлором. Какие пары газов нужно взять и в каких объёмных соотношениях их нужно смешать, чтобы плотность полученной смеси по воздуху была равна: 0.9. Приведите все возможные решения.

**Ответ:** объёмное соотношение водород – аргон 1:1.73; водород – хлороводород 1:2.32; аммиак – аргон 1.53:1.

#### **Задача 4 (15 баллов)**

##### *Вариант 1*

Запишите формулу соединения, образованного не менее чем тремя различными элементами, символы которых начинаются на одну и ту же латинскую букву алфавита. Назовите это соединение.

**Один из вариантов ответа**  $\text{Cs}_2[\text{CuCl}_4]$

##### *Вариант 2*

Запишите формулу реально существующего неорганического соединения, в которую входят как минимум четыре элемента, символ которых состоит из одной латинской буквы. Назовите это соединение.

**Один из вариантов ответа** KCNS

#### **Задача 5 (15 баллов)**

##### *Вариант 1*

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 0,782 разделили на две части. Первую часть пропустили через горячий раствор кислоты, в результате объём смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 5,8 %. Вторую часть пропустили через холодный разбавленный раствор щелочи, в результате объём смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 82,36 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси (в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях.

**Решение:**

Поскольку смесь эквимольная, то количества и объёмы входящих в ее состав газов одинаковы. При пропускании через горячий раствор кислоты поглощается только один газ (объём уменьшается в 1,5 раза), при пропускании через раствор щелочи поглощаются два газа (объём уменьшается в 3 раза).

Молярная масса начальной газовой смеси

$$M(\text{смеси}) = D_{\text{возд}} \cdot M_{\text{возд}} = 0,782 \cdot 29 = 22,678 \text{ г/моль}$$

Таким образом, можно определить молярную массу газа, оставшегося после пропускания через раствор щелочи. Возможно два варианта – плотность газа увеличивается по сравнению с начальной или уменьшается. Если плотность увеличивается, то

$$M(\text{газа 3}) = 22,678 \cdot 1,8236 = 41,35 \text{ г/моль},$$

такого газа нет. Если плотность уменьшается, то

$$M(\text{газа 3}) = 22,678 \cdot 0,1764 = 4 \text{ г/моль}$$

Этот газ не растворяется ни в воде, ни в растворе щелочи. Таким газом может быть He или водород, содержащий тяжелые изотопы D<sub>2</sub>, HT (подходит любой вариант).

Газовая смесь, оставшаяся после пропускания через горячей раствор кислоты содержит третий газ (He) и еще один газ в эквимольных количествах. Ее молярная масса

$$M(\text{смеси 2х газов}) = 22,678 \cdot 1,058 = 24 \text{ г/моль}.$$

Обозначим молярную массу второго газа за M<sub>2</sub> и составим уравнение:

$$M(\text{смеси 2х газов}) = \frac{M_2 + M_{\text{He}}}{2}$$

$$24 = \frac{M_2 + 4}{2}, \quad M_2 = 44 \text{ г/моль}$$

Этот газ растворяется в щелочи, но не растворяется в горячем растворе кислоты, следовательно, это углекислый газ CO<sub>2</sub>.

Обозначив молярную массу первого газа за M<sub>1</sub> и зная молярную массу исходной смеси, можно найти молярную массу первого газа:

$$M(\text{исходной смеси}) = \frac{M_1 + M(\text{CO}_2) + M(\text{He})}{3}$$

$$22,678 = \frac{M_1 + 44 + 4}{3}, \quad M_1 = 20 \text{ г/моль}$$

Этот газ растворяются и в горячей кислоте, и в холодном растворе щелочи. Таким газом может быть дейтерированный аммиак ND<sub>3</sub>.

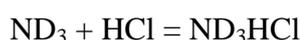
Определим массовые доли газов:

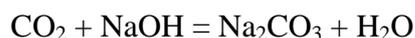
$$\omega(\text{He}) = \frac{m(\text{He})}{m(\text{смеси})} = \frac{M(\text{He})}{M(\text{He}) + M(\text{CO}_2) + M(\text{ND}_3)} = 0,0588 \text{ (5,88\%)}$$

$$\omega(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{m(\text{смеси})} = \frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{He}) + M(\text{CO}_2) + M(\text{ND}_3)} = 0,6471 \text{ (64,71\%)}$$

$$\omega(\text{ND}_3) = 0,2941 \text{ (29,41\%)}$$

Уравнения проведенных реакций (в молекулярной или в ионно-молекулярной форме):





### Вариант 2

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 0,931 разделили на две части. Первую часть пропустили через раствор кислоты, в результате объем смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 18,5 %. Вторую часть пропустили через холодный раствор щелочи, в результате объем смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 25,9 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси (в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях

**Ответ:**  $\text{NH}_3$  (20,99%),  $\text{CO}_2$  (54,32%),  $\text{CD}_4$  (24,69%).

### Вариант 3

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 2,471 разделили на две части. Первую часть пропустили через раствор кислоты, в результате объем смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 36,1 %. Вторую часть пропустили через холодный раствор щелочи, в результате объем смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 82,8 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси (в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях

**Ответ:**  $\text{ND}_3$  (9,3%),  $\text{SO}_2$  (29,77%),  $\text{Xe}$  (60,93%).

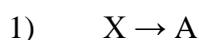
### Вариант 4

Эквимольную смесь трех газов с плотностью по воздуху 1,161 разделили на две части. Первую часть пропустили через раствор кислоты, в результате объем смеси уменьшился в 1,5 раза, а ее плотность увеличилась на 24,7 %. Вторую часть пропустили через холодный раствор щелочи, в результате объем смеси уменьшился в три раза, а ее плотность изменилась на 40,6 %. Установить качественный и количественный состав газовой смеси (в% по массе) и написать уравнения проведенных реакций. Все газы находились при одинаковых условиях

**Ответ:**  $\text{NH}_3$  (16,83%),  $\text{SO}_2$  (63,37%),  $\text{CD}_4$  (19,8%).

### Задача 6 (15 баллов)

Вещество X термически неустойчиво и может одновременно распадаться по двум независимым реакциям, которые в кинетическом отношении можно считать простыми:



В первом эксперименте вещество X разлагалось при температуре 50 °C и в результате продукта A образовалось в 3 раза больше, чем продукта B.

Во втором опыте разложение проводилось при температуре 100 °С и соотношение продуктов оказалось равным.

На какую величину отличаются энергии активации двух протекающих реакций?

При какой температуре нужно провести разложение X, чтобы выход продукта В составил 90% ?

Связь энергии активации с температурой процесса определяется уравнение Аррениуса:

$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$ , где  $k$  – константа скорости реакции,  $A$  – множитель, зависящий только от природы реагентов.

**Решение:**

По закону действия масс скорость образования А равна  $\omega_A = k_1x$ , а скорость образования В равна  $\omega_B = k_2x$ . Отношение скоростей будет равно

$$\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{k_2x}{k_1x} = \frac{k_2}{k_1},$$

то есть будет сохраняться постоянным на протяжении реакции. Следовательно, соотношение количеств образовавшихся продуктов В и А будет равно отношению констант скорости  $k_2$  и  $k_1$ .

По условию

$$\frac{k_2(50^\circ\text{C})}{k_1(50^\circ\text{C})} = \frac{1}{3}, \quad \frac{k_2(100^\circ\text{C})}{k_1(100^\circ\text{C})} = 1.$$

Разделим второе соотношение на первое

$$\frac{k_2(100^\circ\text{C}) / k_1(100^\circ\text{C})}{k_2(50^\circ\text{C}) / k_1(50^\circ\text{C})} = 3$$

и прологарифмируем

$$\ln \frac{k_2(100^\circ\text{C})}{k_2(50^\circ\text{C})} - \ln \frac{k_1(100^\circ\text{C})}{k_1(50^\circ\text{C})} = \ln 3.$$

По уравнению Аррениуса

$$\ln \frac{k(T_2)}{k(T_1)} = \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Подставляем:

$$\frac{E_{a,2}}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) - \frac{E_{a,1}}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \ln 3.$$

$$(E_{a,2} - E_{a,1}) \frac{1}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = \ln 3.$$

Учитывая, что  $T_1 = 323 \text{ K}$ ,  $T_2 = 373 \text{ K}$ , получаем

$$E_{a,2} - E_{a,1} = \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} R \ln 3 = 22 \text{ кДж/моль}$$

Чтобы найти искомую температуру  $T_3$ , запишем для неё аналогичное соотношение:

$$(E_{a,2} - E_{a,1}) \frac{1}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3} \right) = \ln 9.$$

При этом мы учли, что относительное ускорение второй реакции по сравнению с первой при переходе от  $T_2$  к  $T_3$  составило 9.

$$\frac{1}{T_3} = \frac{1}{T_2} - \frac{R \ln 9}{E_{a,2} - E_{a,1}}.$$

Отсюда  $T_3 = 540 \text{ K} = 267 \text{ }^\circ\text{C}$ .

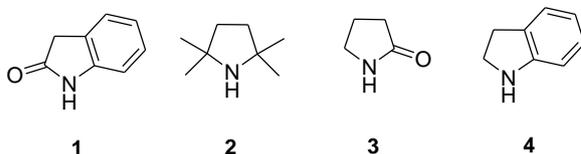
**Ответ:** Энергия активации второй реакции больше первой на 22 кДж/моль, температура необходима 267 °С.

### Задача 7 (15 баллов)

#### Вариант 1

Кислотность и основность органических молекул выступает в качестве важнейшего фактора, определяющего их реакционную способность. Для предсказания реакционной способности соединений важно уметь оценивать их кислотно-основные свойства.

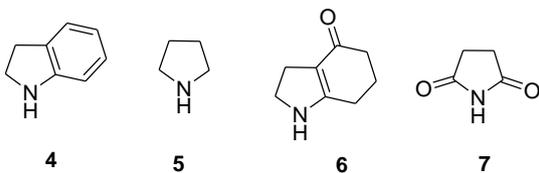
Расположите указанные соединения в порядке увеличения кислотности.



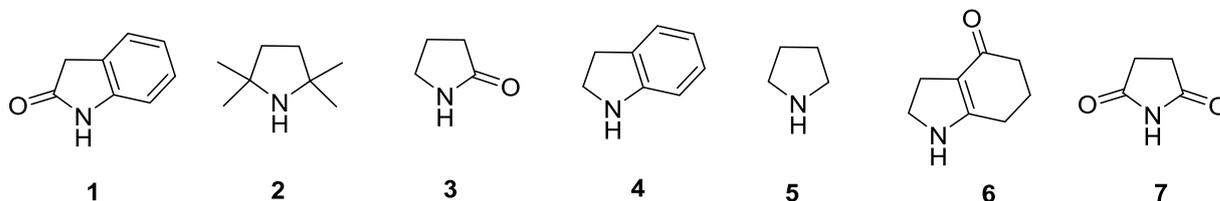
#### Вариант 2

Кислотность и основность органических молекул выступает в качестве важнейшего фактора, определяющего их реакционную способность. Для предсказания реакционной способности соединений важно уметь оценивать их кислотно-основные свойства.

Расположите указанные соединения в порядке увеличения кислотности.



**Решение вариантов 1 и 2.**

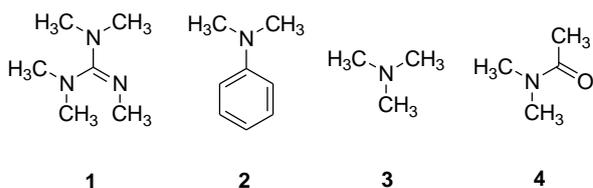


**Ответ: 2 < 5 < 4 < 3 < 6 < 1 < 7**

### Вариант 3

Кислотность и основность органических молекул выступает в качестве важнейшего фактора, определяющего их реакционную способность. Для предсказания реакционной способности соединений важно уметь оценивать их кислотно-основные свойства.

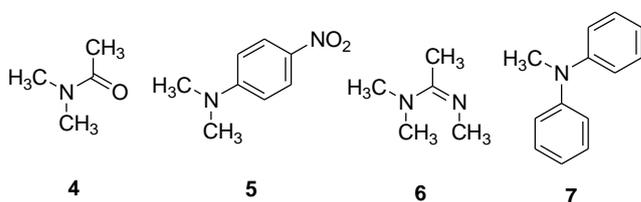
Расположите указанные соединения в порядке увеличения основности.



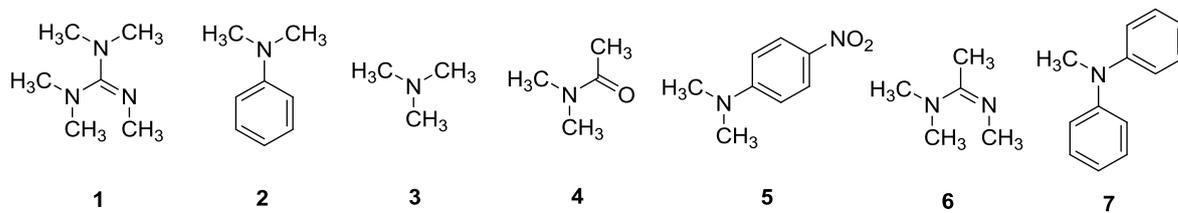
### Вариант 4

Кислотность и основность органических молекул выступает в качестве важнейшего фактора, определяющего их реакционную способность. Для предсказания реакционной способности соединений важно уметь оценивать их кислотно-основные свойства.

Расположите указанные соединения в порядке увеличения основности.



**Решение вариантов 3 и 4.**



**Ответ: 4 < 5 < 7 < 2 < 3 < 6 < 1**