

ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
(для участников)

1 тур

2022–2023

## ***Теоретический тур***

### **Десятый класс**

#### **Задача 10-1**

#### **Закон Рауля**

В конце 19-го века французский химик Рауль, изучая растворы нелетучих веществ в летучих растворителях, обнаружил, что давление пара растворителя над раствором пропорционально содержанию растворителя:

$$P = xP^* .$$

В этой формуле  $P$  – давление пара растворителя над раствором,  $x$  – мольная доля растворителя,  $P^*$  – давление пара чистого растворителя при данной температуре. Если оба компонента раствора летучи, то закон Рауля выполняется для каждого компонента:

$$P_1 = x_1 P_1^* ,$$

$$P_2 = x_2 P_2^* .$$

Растворы, для которых закон Рауля выполняется во всём интервале составов, называют идеальными.

1. Этанол и пропанол при смешении образуют практически идеальные растворы. При 50 °С общее давление пара над раствором, состоящим из 3 моль этанола и 2 моль пропанола, составляет 168 Торр. При добавлении к этому раствору 1 моль пропанола общее давление пара над раствором уменьшается на 13 Торр.

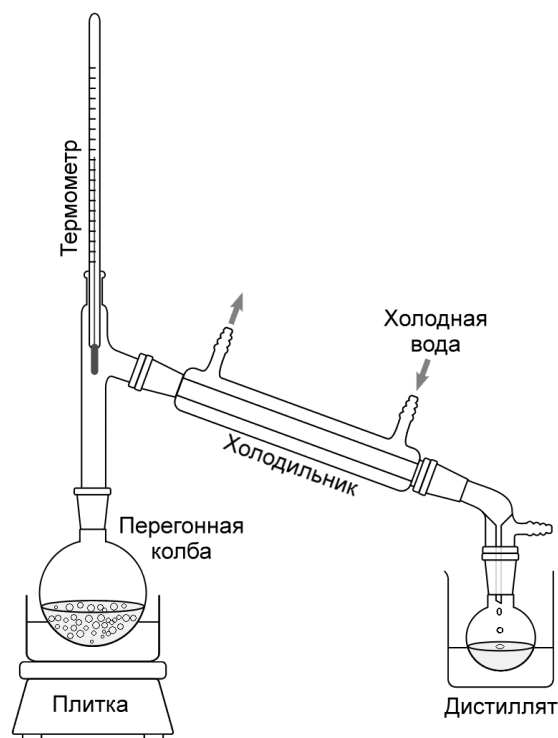
Рассчитайте давления пара чистых этанола и пропанола при этой температуре.

2. Из закона Рауля следует, что состав пара над раствором не совпадает с составом раствора.

Рассчитайте состав пара (в мольных долях) над исходным раствором из пункта 1. Пар над раствором считайте идеальным газом.

**3. Различие составов раствора и равновесного с ним пара позволяет разделять летучие компоненты раствора с помощью перегонки (дистилляции).** На рисунке представлена схема простого прибора для перегонки.

Раствор, состоящий из 1 моль этанола и 1 моль пропанола, подвергали перегонке при нормальном атмосферном давлении до тех пор, пока температура кипения раствора не возросла до  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом часть раствора отогналась из перегонной колбы и образовала дистиллят. Давление пара над дистиллятом при  $90^{\circ}\text{C}$  составляет 1060 Торр. Давления пара чистых этанола и пропанола при  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  равны 1180 Торр и 580 Торр соответственно.



- Рассчитайте состав (в мольных долях) оставшегося в перегонной колбе раствора, который кипит при  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Рассчитайте состав (в мольных долях) полученного дистиллята.
- Рассчитайте количества этанола и пропанола в дистилляте.

### Дополнительные сведения

$1\text{ атм} = 760\text{ мм рт. ст.} = 760\text{ Торр}$ .

Жидкость кипит, когда давление пара над ней равно атмосферному.

Закон Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме давлений компонентов.

Мольная доля вещества в смеси – отношение количества данного вещества к общему количеству веществ в смеси.

## Задача 10-2

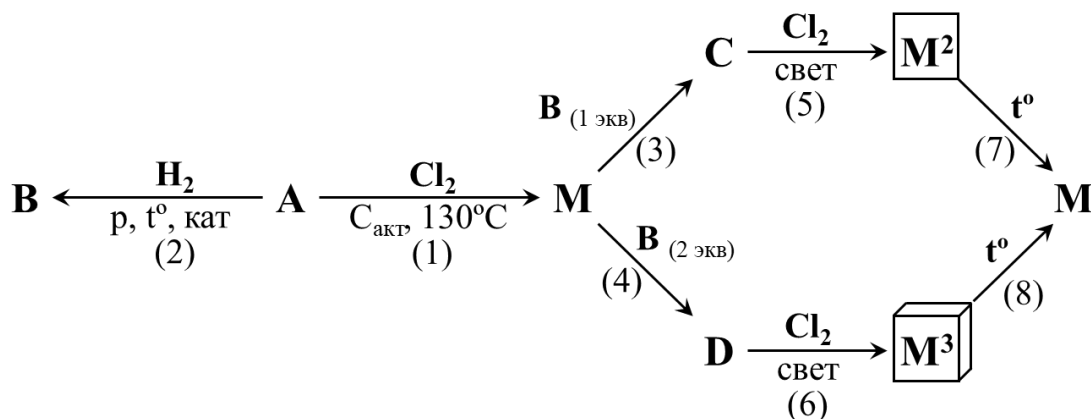
### Игра в прятки

«Видишь, я стою на плитке со стороны метр?  
Сегодня я не Ньютон, сегодня я – Паскаль»

Бесцветный газ **A**, представляющий особую угрозу для шахтёров и горняков, раньше обнаруживали способом, который изображён на рисунке справа. Его ввели во взаимодействие с хлором в присутствии активированного угля при незначительном нагревании. При этом образовался очень токсичный газ **M** с запахом прелого сена и плотностью  $4.416 \text{ кг/м}^3$  при н.у.



Из полученного газа **M** в лаборатории были синтезированы некоторые соединения. Схема превращений приведена ниже:



### Вопросы и задания:

- 1) Установите молекулярные формулы соединений веществ **A-D**, **M** и конечных продуктов синтеза, обозначенных пиктограммами  $\boxed{\text{M}^2}$  и  $\boxed{\text{M}^3}$ ;
- 2) Для конечных продуктов синтеза  $\boxed{\text{M}^2}$  и  $\boxed{\text{M}^3}$  приведите тривиальные названия и изобразите структурные формулы, однозначно отражающие порядок связи атомов в молекуле. Дополнительно известно, что ни одно из них не имеет в своём составе атомов водорода;
- 3) Напишите уравнения реакций 1 – 8.

### Задача 10-3

#### Две соли

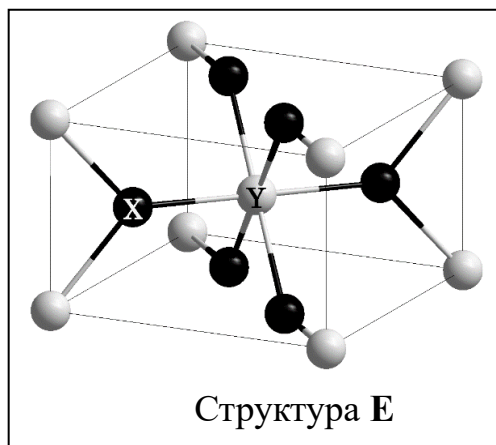
200 г 20% водного раствора индивидуальной соли **X**, имеющей щелочную реакцию среды и окрашивающей пламя горелки в жёлтый цвет, прокипятили в течение некоторого времени и охладили до 20 °С. В результате из раствора выпало 40.0 г кристаллов **Y**, при прокаливании до 120 °С уменьшающих свою массу на 25.2 г в результате полной потери кристаллизационной воды. При последующем охлаждении оставшегося раствора до 0 °С может быть получено ещё 21.3 г **Y**.

Известно, что растворимость **Y** (г/100 г воды) *в расчёте на безводную соль* при 20 °С втрое превышает растворимость при 0 °С.

1. Установите формулы солей **X** и **Y**. Ответ подтвердите расчётами.
2. Чему равна массовая доля соли в растворе после кипячения при 100 °С и после охлаждения раствора до 0 °С и выпадения осадка?
3. Какая масса **Y** могла бы выпасть в осадок, если сразу после кипячения раствор охладили бы до 10 °С? Считайте, что растворимость при 10 °С равна среднему арифметическому растворимостей при 20 и 0 °С.
4. Приведите тривиальные названия солей **X** и **Y**.

### Задача 10-4

Элементы **X** и **Y** образуют ряд бинарных соединений **A – E**. Для анализа веществ **A – C** на содержание **Y** навеску каждого из них сплавляли с избытком хлората и гидроксида натрия (*р-ции 1-3*). После завершения реакции плав охладили, растворили в воде<sup>1</sup>, полученный раствор



подкислили раствором серной кислоты (*р-ция 4*), перенесли в мерную колбу

---

<sup>1</sup> Полученный раствор не даёт нерастворимого в кислотах осадка при добавлении хлорида бария.

на 100 мл и довели до метки. Для анализа **D** навеску вещества растворили в разбавленном растворе серной кислоты, раствор перенесли в колбу на 100 мл и довели до метки. Далее во всех случаях к аликвоте 10 мл добавляли избыток иодида натрия (*р-ция 5*) и титровали коричневый раствор стандартным раствором тиосульфата натрия ( $C = 0.100$  моль/л) (*р-ция 6*). Вещество **E** чёрного цвета реагирует с соляной кислотой с выделением жёлто-зелёного газа (*р-ция 7*).

Массы исходных навесок и средний объём тиосульфата натрия, пошедший на титрование одной аликвоты, приведены в таблице:

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
$T_{пл}, K$	разлагается ( <i>р-ция 8</i> )	~2700	разлагается	470	разлагается
Масса навески, мг	187.0	228.5	232.6	305.0	
Средний объём раствора тиосульфата натрия, мл	8.25	9.02	8.58	9.15	

### ***Вопросы:***

1. Определите неизвестные элементы **X** и **Y**, вещества **A – E**. Ответ подтвердите расчётом.
2. Запишите уравнения реакций **1 – 8**, если известно, что в реакции **8** не образуется газообразных продуктов.

### **Задача 10-5**

Циклическое вещество **A**, содержащее два атома одного и того же галогена, при обработке магнием при 600 °С превращается без изменения размера цикла в смесь трёх углеводородов **B**, **C** и **D** с разным числом кратных связей. Соединение **B** легко присоединяет 1 экв.  $Br_2$ , а при его озонлизе с последующей обработкой озонида  $NaBH_4$  в качестве единственного органического продукта образуется двухатомный спирт **E**. Углеводород **C** может по-разному реагировать с бромом. Обработка **C** 1 экв.  $Br_2$  при низкой

температуре ( $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) приводит к смеси продуктов **F** и **G** с преобладанием продукта **F**. В то же время при проведении реакции при комнатной температуре ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в смеси **F** и **G** преобладает продукт **G**. **F** также может превращаться в **G** при длительном стоянии реакционной смеси при комнатной температуре. Углеводород **D** является продуктом многотоннажного промышленного производства. Он не взаимодействует с подкисленным раствором  $\text{KMnO}_4$  при нагревании, а с  $\text{Br}_2$  реагирует только в присутствии катализатора (например,  $\text{AlBr}_3$ ), в результате чего образуется соединение **H**. При нагревании с металлической медью **H** превращается в углеводород **I**, содержащий 93.5 масс % углерода. Восстановление **D** натрием в жидком аммиаке и этиловом спирте даёт углеводород **J**, изомерный **C**. **D** реагирует с бензилбромидом в присутствии  $\text{AlBr}_3$ , давая углеводород **K**, в котором по данным элементного анализа содержится 92.8 масс. % углерода. При нагревании до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  в присутствии платинового катализатора **K** превращается в трициклический углеводород **L**. С другой стороны, при обработке ди-*трет*-бутилпероксидом (инициатором радикальных реакций) **K** превращается в углеводород **M**, который при нагревании в схожих условиях ( $\text{Pt}$ ,  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) подвергается дегидрированию с образованием гексациклического соединения **N**. В **N** 95.1 масс. % углерода, а все 6 циклов имеют одинаковый размер.

1. Напишите структурные формулы соединений **A** – **N**, если известно, что плотность паров **B** в 2.95 раз меньше плотности паров **A**.

Альтернативный путь дегидрирования **M** может приводить к изомерному гексациклическому соединению **N'**. Однако такой путь превращения **M** не реализуется из-за существенных стерических затруднений в гипотетическом продукте **N'**.

2. Напишите структурную формулу **N'**.