

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

**КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ  
ВЫПОЛНЕННЫХ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ТУРА  
возрастной группы (10 класс)  
муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по химии  
2021-2022 учебный год**

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

По теоретическому туру максимальная оценка результатов участника возрастной группы (10 классы) определяется арифметической суммой всех баллов, полученных за выполнение заданий и не должна превышать 50 баллов.

**ЗАДАЧА 1.**

Фосфор по числу оксокислот превосходит все другие элементы Периодической системы. Фосфорные кислоты используются при производстве фосфорных удобрений, полифосфатов, синтетических моющих средств, в качестве катализаторов, а также при производстве многих лекарственных препаратов. Для получения большинства фосфорных кислот используют реакцию взаимодействия оксида фосфора(V) с водой.

При взаимодействии оксида фосфора(V) с недостатком воды образуется фосфорная кислота **A** (реакция 1), в простейшей формуле которой массовые доли водорода и фосфора равны 1,250 % и 38,750 % соответственно. В чистом виде кислота **A** представляет собой стекловидную массу, легко растворимую в воде. Истинная молекулярная формула кислоты **A** представляет собой циклический тетрамер простейшей формулы (кислота **B**).

При взаимодействии оксида фосфора(V) с избытком воды образуется фосфорная кислота **B** (реакция 2), в которой массовые доли водорода и фосфора соответственно равны 3,061 % и 31,633 %. При нагревании кислоты **B** происходит отщепление молекул воды и получают конденсированные кислоты (полифосфорные кислоты). При температуре 150 °С из кислоты **B** образуется полифосфорная кислота **Г** (реакция 3), в которой массовые доли водорода и фосфора равны 2,247 % и 34,831 % соответственно. Кислота **B** образуется также при взаимодействии кислоты **B** с водой (реакция 4). А при нагревании кислоты **Г** до 350 °С может быть получена кислота **A** (реакция 5).

1. Определите молекулярные формулы кислот **A**, **B**, **B** и **Г**.
2. Нарисуйте графические формулы кислот **A**, **B**, **B** и **Г**.

3. Составьте уравнения реакций описанных в задаче.

4. К 120 мл 20 %-ного раствора кислоты Г (плотность 1,113 г/мл) добавили 180 мл 10 %-ного раствора гидроксида калия (плотность 1,089 г/мл). Рассчитайте массовые доли веществ в растворе после реакции.

*Максимальный балл – 10*

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 1.

1. Молекулярные формулы кислот определяются по данным массовых долей элементов:

- Кислота А

$$n(\text{H}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = \frac{1,250}{1} : \frac{38,750}{31} : \frac{60}{16} = 1,25 : 1,25 : 3,75 = 1 : 1 : 3$$

Следовательно молекулярная формула кислоты А –  $\text{HPO}_3$  – метафосфорная кислота.

- Кислота В

$$n(\text{H}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = \frac{3,061}{1} : \frac{31,633}{31} : \frac{65,306}{16} = 3,061 : 1,020 : 4,082 = 3 : 1 : 4$$

Следовательно молекулярная формула кислоты В –  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – ортофосфорная кислота.

- Кислота Г

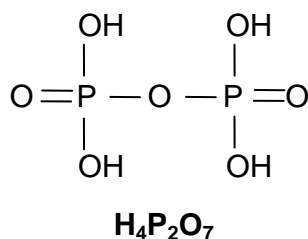
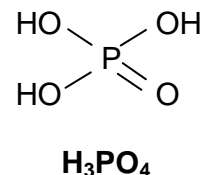
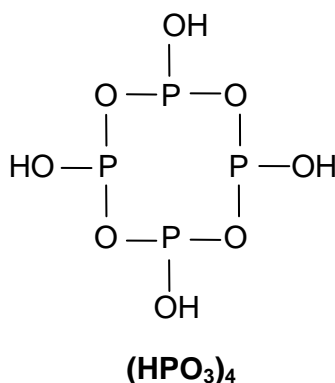
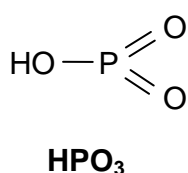
$$n(\text{H}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = \frac{2,247}{1} : \frac{34,831}{31} : \frac{62,922}{16} = 2,247 : 1,124 : 3,933 = 2 : 1 : 3,5 = 4 : 2 : 7$$

Следовательно молекулярная формула кислоты А –  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$  – пиррофосфорная кислота.

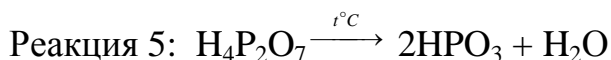
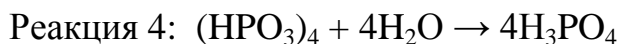
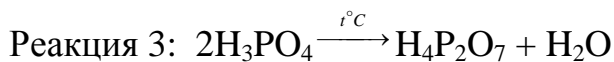
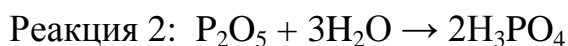
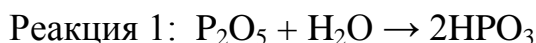
- Кислота Б – тетрамер кислоты А –  $(\text{HPO}_3)_4$  – тетраметафосфорная кислота.

2. Графические формулы кислот:

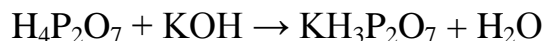
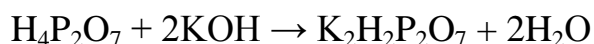
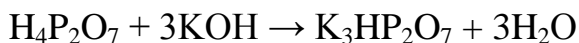
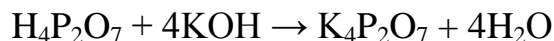
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ



3. Уравнения реакций:



4. Реакция пиррофосфорной кислоты с гидроксидом калия может приводить к образованию четырех солей в соответствии с уравнениями:



По условию задачи количества веществ пиррофосфорной кислоты и гидроксида калия равны:

$$n(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) = \frac{V_{\text{p-ра}} \cdot \rho_{\text{p-ра}} \cdot \omega}{M} = \frac{120 \cdot 1,113 \cdot 0,2}{178} = 0,15 \text{ моль}$$

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

$$n(\text{KOH}) = \frac{V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot \omega}{M} = \frac{180 \cdot 1,089 \cdot 0,1}{56} = 0,35 \text{ моль}$$

Мольное соотношение веществ  $n(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) : n(\text{KOH}) = 0,15 : 0,35 = 1 : 2,33$ ; следовательно, в растворе образуется смесь двух солей: гидропирофосфата калия  $\text{K}_3\text{HP}_2\text{O}_7$  и дигидропирофосфата калия  $\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ .

Обозначим количества веществ в реакции образования  $\text{K}_3\text{HP}_2\text{O}_7$  через переменную  $x$ :

$$n(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) = x \text{ моль}; \quad n(\text{KOH}) = 3x \text{ моль},$$

Тогда в реакции образования  $\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ :

$$n(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) = (0,15 - x) \text{ моль}; \quad n(\text{KOH}) = 2(0,15 - x) = (0,3 - 2x) \text{ моль},$$

а общее количество вещества гидроксида калия в реакции с пирофосфорной кислотой:

$$n(\text{KOH})_{\text{общ.}} = 3x + 0,3 - 2x = 0,3 + x = 0,35 \text{ моль},$$

$$x = 0,05 \text{ моль}.$$

Массовые доли солей в растворе равны:

$$\omega(\text{K}_3\text{HP}_2\text{O}_7) = \frac{n(\text{K}_3\text{HP}_2\text{O}_7) \cdot M(\text{K}_3\text{HP}_2\text{O}_7)}{m_{\text{р-ра}}(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) + m_{\text{р-ра}}(\text{KOH})} = \frac{0,05 \cdot 292}{196,02 + 133,56} \cdot 100\% = 4,43\%$$

$$\omega(\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7) = \frac{n(\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7) \cdot M(\text{K}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)}{m_{\text{р-ра}}(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) + m_{\text{р-ра}}(\text{KOH})} = \frac{0,1 \cdot 254}{196,02 + 133,56} \cdot 100\% = 7,71\% .$$

### СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:

1.	Определение молекулярных формул кислот по 0,5 балла за каждую (при отсутствии расчета по 0,25 балла)	<b>2 балла</b>
2.	Графические формулы кислот по 0,5 балла за каждую	<b>2 балла</b>
3.	Уравнения реакций по 0,5 балла за каждое	<b>2,5 балла</b>
4.	Определение состава смеси солей в растворе	<b>2 балла</b>
5.	Расчет массовых долей солей в растворе	<b>1,5 балла</b>

*Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.*

### ЗАДАЧА 2.

В две колбы с тёплой водой поместили по 13,5 г бесцветной кислородсодержащей жидкости, состоящей из трёх элементов. Через некоторое время, когда реакция закончилась, растворы подвергли анализу. Полученные растворы имели кислую реакцию. В первую колбу прилили избыток раствора хлорида бария, при этом выделилось 23,3 г белого кристаллического осадка. Во вторую колбу добавили избыток раствора нитрата серебра. Масса выпавшего творожистого осадка составила 28,7 г.

1. Определите формулу неизвестной жидкости.
2. Запишите уравнения протекающих химических реакций.

*Максимальный балл – 10*

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 2.

1. Из условия задачи можно предположить, что в результате взаимодействия неизвестной жидкости с водой образовались серная и соляная кислоты, так как белый кристаллический осадок – сульфат бария, а белый творожистый осадок – хлорид серебра:



Поэтому исходное вещество состояло из трёх элементов – серы, хлора и кислорода. Количество серы в составе сульфата бария составило:

$$n(\text{S}) = n(\text{BaSO}_4) = 23,3 \text{ г} / 233 \text{ г/моль} = 0,1 \text{ моль}$$

Количество хлора в составе хлорида серебра:

$$n(\text{Cl}) = n(\text{AgCl}) = 28,7 \text{ г} / 143,5 \text{ г/моль} = 0,2 \text{ моль}$$

2. Количество кислорода в составе неизвестной жидкости:

$$m(\text{O}) = 13,5 - (m(\text{S}) + m(\text{Cl})) = 13,5 - (0,1 \cdot 32 + 0,2 \cdot 35,5) = 3,2 \text{ г}$$

$$n(\text{O}) = 3,2 / 16 = 0,2 \text{ моль}$$

3. Отношение чисел атомов в соединении:

$$n(\text{S}) : n(\text{Cl}) : n(\text{O}) = 0,1 : 0,2 : 0,2 = 1 : 2 : 2$$

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

поэтому молекулярная формула соединения  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  – хлористый сульфурил.

4. Уравнение реакции взаимодействия вещества с водой:



**СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:**

1.	Определение количества серы и хлора по 1 баллу за каждое	<b>2 балла</b>
2.	Определение количества кислорода	<b>2 балла</b>
3.	Установление молекулярной формулы вещества	<b>2 балла</b>
4.	Уравнения реакций (1) и (2) по 1 баллу за каждое	<b>2 балла</b>
5.	Уравнение реакции (3) и (2)	<b>2 балла</b>

*Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.*

**ЗАДАЧА 3.**

Реакции органических соединений подчиняются тем же законам, что и реакции неорганических веществ, хотя и имеют некоторые особенности. В неорганических реакциях, как правило, участвуют ионы, поэтому они протекают очень быстро, иногда мгновенно, и при стандартной температуре. В реакциях органических соединений разрываются одни ковалентные связи и образуются другие, поэтому эти реакции протекают медленнее, а для их успешного осуществления часто необходимо применять повышенные давление и температуру. Кроме того, в реакционной смеси обычно протекает не одна, а несколько реакций, из которых одна при данных условиях преобладает. Поэтому выходы в органических реакциях редко достигают 100 %, и химик-органик обычно удовлетворен, если получает 70-80 %-ный выход нужного соединения.

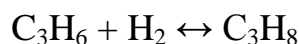
В замкнутый реактор с платиновым катализатором, нагретый до температуры 320 °С, поместили 1 моль смеси пропена с водородом, имеющей относительную плотность по водороду равную 15. После установления равновесия давление в реакторе уменьшилось на 25 %.

1. Напишите уравнение химической реакции, протекающей в реакторе.
2. Рассчитайте константу равновесия данной химической реакции.
3. Рассчитайте выход в реакции в % от теоретического.

*Максимальный балл – 10*

### **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 3.**

1. В реакторе протекает реакция гидрирования пропена:



Молярная масса смеси пропена с водородом равна:

$$M(\text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2) = D_{\text{H}_2} \cdot 2 = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль.}$$

Так как в реактор был внесен 1 моль смеси, то масса смеси пропена с водородом равна:

$$m(\text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2) = n \cdot M = 1 \cdot 30 = 30 \text{ г.}$$

Допустим, что  $n(\text{C}_3\text{H}_6) = x$  моль, тогда  $n(\text{H}_2) = (1 - x)$  моль. Тогда массу смеси можно найти, через количества компонентов:

$$42x + 2(1 - x) = 30$$

$$40x = 28$$

$$x = 0,7 \text{ моль,}$$

то есть  $n(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,7$  моль,  $n(\text{H}_2) = 0,3$  моль – это исходные количества пропена и водорода.

2. При фиксированной температуре и объеме реактора уменьшение давления на 25% связано с уменьшением на 25% числа молей веществ в результате протекания реакции. То есть суммарное количество молей после установление равновесия равно

$$n(\text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2 + \text{C}_3\text{H}_8) = 1 - 0,25 \cdot 1 = 0,75 \text{ моль.}$$

Допустим, что в реакцию вступило  $z$  моль водорода (соответственно прореагировало  $z$  моль пропена, образовалось  $z$  моль пропана), тогда после установления равновесия:

$$n(\text{C}_3\text{H}_6) = (0,7 - z) \text{ моль, } n(\text{H}_2) = (0,3 - z) \text{ моль, } n(\text{C}_3\text{H}_8) = z \text{ моль.}$$



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

$$(0,7 - z) + (0,3 - z) + z = 0,75$$

$$z = 0,25 \text{ моль.}$$

Следовательно, после реакции количества веществ равны:

$$n(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,45 \text{ моль, } n(\text{H}_2) = 0,05 \text{ моль, } n(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,25 \text{ моль.}$$

3. Вычислим константу равновесия реакции:

$$K_p = \frac{n(\text{C}_3\text{H}_8)}{n(\text{H}_2) \cdot n(\text{C}_3\text{H}_6)} = \frac{0,25}{0,05 \cdot 0,45} = 11,1$$

4. Так как водород находится в недостатке, то теоретически могло образоваться 0,3 моль пропана, тогда выход равен:

$$\eta = \frac{0,25}{0,3} \cdot 100\% = 83,3\%$$

### СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:

1.	Уравнение реакции	1 балл
2.	Расчет количества молей веществ в исходной смеси	3 балла
3.	Расчет количества молей веществ после реакции	3 балла
4.	Расчет константы равновесия	2 балла
5.	Определение выхода реакции	1 балл

Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.

### ЗАДАЧА 4.

В молекуле неизвестного монохлорпроизводного алкана число связей С-С на 5 меньше, чем связей С-Н.

1. Установите строение монохлоралкана, если известно, что атом хлора находится у первичного атома углерода.

2. Напишите схему синтеза этого монохлоралкана из метана с использованием в качестве реагентов только неорганические вещества и промежуточные продукты синтеза.

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 4.**

1. Общая формула монохлоралкана  $C_nH_{2n+1}Cl$ , в молекуле которого количество связей С-С равно:  $n(C-C) = n - 1$

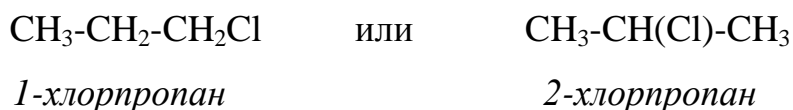
а количество связей С-Н:  $n(C-H) = 2n + 1$

С использованием условия задачи о соотношении связей определяется значение  $n$ :

$$(n - 1) + 5 = 2n + 1$$

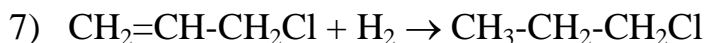
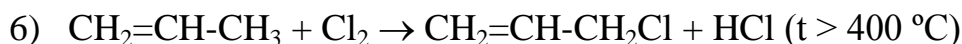
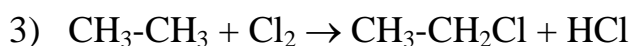
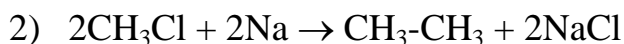
$$n = 3$$

Следовательно, формула монохлоралкана –  $C_3H_7Cl$ , которой соответствуют два изомера:



Условию задачи соответствует 1-хлорпропан.

2. Уравнения реакций синтеза 1-хлорпропана из метана:



**СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:**

1.	Определение формулы монохлорпропана	3 балла
2.	Уравнения реакций синтеза по 1 баллу за каждое	7 баллов

Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

**ЗАДАЧА 5.**

Известно, что в пяти пробирках находятся растворы: хлорида цинка, дихромата калия, хлорида железа(III), гидроксида калия, карбоната натрия. Как, не прибегая к помощи других реактивов и используя минимальное число операций, идентифицировать эти вещества?

1. Предложите способ определения веществ. В решении также приведите таблицу, в которой обозначьте возможные аналитические признаки реакций.

2. Приведите уравнения реакций, используемых для определения веществ.

*Максимальный балл – 10*

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 5.**

1. План экспериментального определения веществ:

	ZnCl <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	FeCl <sub>3</sub>	KOH	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
ZnCl <sub>2</sub>		-	-	белый осадок, растворяется в избытке щелочи	белый осадок
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	-		-	изменение окраски раствора из оранжевой на желтую	изменение окраски раствора из оранжевой на желтую
FeCl <sub>3</sub>	-	-		коричневый осадок	коричневый осадок
KOH	белый осадок, растворяется в избытке щелочи	изменение окраски раствора из оранжевой на желтую	коричневый осадок		-
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	белый осадок	изменение окраски раствора из оранжевой на желтую	коричневый осадок	-	

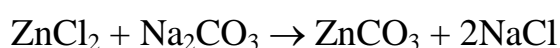
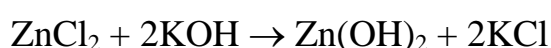
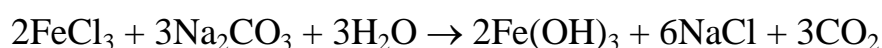
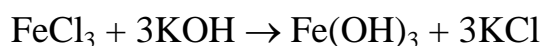
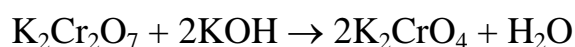
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ  
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

Раствор дихромата калия отличается от всех растворов своей оранжевой окраской, а раствор хлорида железа(III) – желто-коричневый. Приливая растворы  $K_2Cr_2O_7$  и  $FeCl_3$  к остальным бесцветным растворам определить растворы сами  $K_2Cr_2O_7$  и  $FeCl_3$ , так и выделить  $KOH$  и  $Na_2CO_3$ :

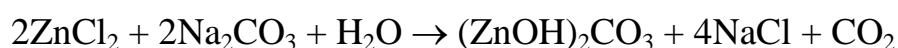
- в случае  $K_2Cr_2O_7$  в растворах  $KOH$  и  $Na_2CO_3$  произойдет изменение окраски на желтую в связи с переходом от кислой среды раствора в щелочную,
- в случае  $FeCl_3$  в растворах  $KOH$  и  $Na_2CO_3$  произойдет образование коричневого осадка.

Растворы  $KOH$  и  $Na_2CO_3$  можно различить, приливая их к оставшемуся раствору  $ZnCl_2$ : в случае  $Na_2CO_3$  будет происходить образование белого осадка, а в случае  $KOH$  - образование белого осадка и его последующее растворение в избытке щелочи.

2. Уравнения реакций:



или



**СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:**

1.	План эксперимента	<b>3 балла</b>
2.	Уравнения реакций по 1 баллу за каждое	<b>7 баллов</b>

*Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.*