

## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

### (МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

возрастная группа (10 классы)

Уважаемый участник олимпиады!

Вам предстоит выполнить теоретические (письменные) задания.

Время выполнения заданий теоретического тура 4 астрономических часа (240 минут).

Выполнение теоретических (письменных) заданий целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание, осознайте суть вопросов и определите, наиболее верный и полный ответ;
- отвечая на теоретический вопрос, обдумайте и сформулируйте конкретный ответ только на поставленный вопрос;
- если Вы отвечаете на задание, связанное с заполнением таблицы или схемы, не старайтесь детализировать информацию, вписывайте только те сведения или данные, которые указаны в вопросе;
- особое внимание обратите на задания, в выполнении которых требуется выразить Ваше мнение с учетом анализа ситуации или поставленной проблемы.

Внимательно и вдумчиво определите смысл вопроса и логику ответа (последовательность и точность изложения). Отвечая на вопрос, предлагайте свой вариант решения проблемы, при этом ответ должен быть кратким, но содержать всю необходимую информацию; после выполнения всех предложенных заданий еще раз удостоверьтесь в правильности выбранных Вами ответов и решений.

Выполнение заданий целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание;
- выделите вопросы задания;
- запишите решение;
- продолжайте, таким образом, работу до завершения выполнения заданий;
- после выполнения всех предложенных заданий еще раз удостоверьтесь в правильности ваших ответов;
- если потребуется корректировка предложенного Вами решения, то неправильный ответ зачеркните, и напишите новый.

Предупреждаем Вас, что при оценке заданий 0 баллов выставляется за неверное решение и в случае, если участником предложено несколько решений и, хотя бы, одно из них неверное.

Задание теоретического тура считается выполненным, если Вы вовремя сдаете его членам жюри.

Максимальная оценка – 100 баллов.

**Удачи в выполнении заданий!**

**Задача 10-1**

*Кашу маслом не испортишь,  
а задачу – солями  
от Автора*

Многие бинарные вещества кристаллизуются в структурном типе хлорида натрия – именно им и посвящена данная задача.

Вещество **A** представляет собой нерастворимое в воде соединение почти чёрного цвета, хорошо растворимое в кислотах, например, в соляной (*реакция 1*), при этом образуется розовый раствор соли **A<sub>1</sub>**. При добавлении к раствору КОН сначала выпадает осадок **A<sub>2</sub>** розового цвета (*реакция 2*), а затем при добавлении избытка щёлочи он растворяется (*реакция 3*) с образованием раствора синего цвета, содержащего вещество **A<sub>3</sub>**.

1. Определите вещества **A-A<sub>3</sub>**. Приведите уравнения реакций 1-3.

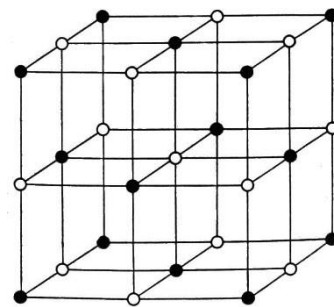
Вещество **B** – кристаллы белого цвета, легко растворяются в воде с выделением большого количества теплоты (*реакция 4*) – образуется продукт **B<sub>1</sub>**. Растворением 1,12 г вещества **B** в 400 мл воды получили раствор **B<sub>1</sub>** с pH=13.

2. Определите вещества **B, B<sub>1</sub>** – ответ подтвердите расчётом. Приведите уравнение реакции 4.

Вещество **C** – очень сильное основание, используется например в органическом синтезе. Растворяется в воде (*реакция 5*) с выделением большого количества теплоты и лёгкого взрывоопасного газа **H**. При растворении 0,084 г **C** в 350 мл воды получили раствор сильного основания **C<sub>1</sub>** с pH=12.

3. Определите вещества **C, C<sub>1</sub>, H** – ответ подтвердите расчётом. Приведите уравнение реакции 5.

Вещество **D** – один из типичных представителей веществ, кристаллизующихся в данном типе. Элементарная ячейка **D** представлена на рисунке справа. Известны следующие её характеристики:  $a = 7,348 \text{ \AA}$ ,  $\rho = 3,55 \text{ г/см}^3$ . Также необходимо определить  $Z$  – число формульных единиц, для этого необходимо посчитать число атомов одного сорта (выделены в структуре одним цветом), приходящееся на одну ячейку с учётом их расположения. Так, атомы в вершинах куба одновременно принадлежат сразу 8 ячейкам, т.е. вклад каждого такого атома в значение  $Z$  составит всего  $1/8$ . Аналогично вклад атомов в центрах граней в  $Z$  составит всего  $1/2$  т.к. атом в центре грани принадлежит двум ячейкам, а атомы на центрах ребер составят вклад  $1/4$  т.к. входят в состав сразу 4 ячеек.



4. Определите формулу вещества **D**, подтвердите расчётом.

Вещество **E** также является типичным представителем веществ со структурным типом NaCl. При внесении в пламя **E** окрашивает его в фиолетовый цвет и дает белый осадок при реакции с нитратом серебра.

5. Определите вещество **E**.

**Дополнительная информация:**

- $\text{pH} = -\lg(c(\text{H}^+))$ ;  $\text{pOH} = -\lg(c(\text{OH}^-))$ ;  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$
- $\lg$  – десятичный логарифм числа – число, в которое надо возвести 10, чтобы получить исходное.  $\lg(a) = b$ , если  $10^b = a$
- В элементарной ячейке  $a$  – параметр ячейки сторона куба, измеряется в Å – ангстремах,  $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ м}$ ,  $Z$  – число формульных единиц, описано в условии
- Для элементарной ячейки справедлива формула  $\rho = \frac{MZ}{V_{\text{яч.}}N_A}$ , где  $M$  – молярная

масса (в г/моль),  $\rho$  – плотность (в г/см<sup>3</sup>),  $V_{\text{яч.}}$  – объём элементарной ячейки (в см<sup>3</sup>)

Максимальный балл – 20

### Задача 10-2

*Химия – раздел математики  
«Народная» мудрость*

В наши дни как никогда остро стоит проблем лечения онкологических заболеваний, причём в зависимости от места локализации опухоли методы лечения могут отличаться. Так, например, при возникновении опухолей щитовидной железы применяют препараты радиоактивного изотопа иода  $^{131}\text{I}$ , который претерпевает  $\beta^-$  распад.

1. Приведите уравнение реакции распада данного радиоактивного изотопа иода. При уравнивании пользуйтесь принципами постоянства массы и суммарного заряда. Обязательно укажите массовые числа и заряды всех участников реакции.

Реакции распада практически всегда представляют собой элементарные реакции первого порядка. Так, например, реакция распада  $^{131}\text{I}$  является именно реакцией первого порядка и имеет константу скорости  $k = 1,003 \cdot 10^{-6}\text{ с}^{-1}$ . Зависимость концентрации реагента от времени протекания реакции для реакции первого порядка описывается следующим

уравнением:  $kt = \ln \frac{C_0}{C}$ , где  $k$  – константа скорости,  $t$  – время протекания реакции,  $C_0$  –

начальная концентрация реагента,  $C$  – текущая концентрация реагента в момент времени  $t$ .

2. Вычислите период полураспада  $t_{1/2}$  для  $^{131}\text{I}$ , используя данное в условии уравнение. Учтите, что период полураспада – время, за которое прореагирует ровно половина от исходной концентрации. Если Вы не можете высчитать значение логарифма на калькуляторе, примите  $\ln 2 = 0,693$ .

Для реакции второго порядка кинетическое уравнение имеет немного иной вид, а именно:  $kt = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0}$ , обозначения те же, что и ранее. При этом в данном случае значение периода

полураспада зависит от начальной концентрации.

3. Используя кинетическое уравнение второго порядка, выведите зависимость периода полураспада от начальной концентрации для реакции второго порядка. Конечное уравнение должно содержать только  $t_{1/2}$  в левой части и  $C_0$ ,  $k$  и числовые коэффициенты в правой части.

Константа скорости любой реакции зависит от температуры. Для описания температурной зависимости классически используют два уравнения – уравнение Вант-Гоффа (более простое) и уравнение Аррениуса (более точное). Правило Вант-Гоффа гласит, что

скорость реакции (а значит и константа скорости) при увеличении температуры на 10 градусов увеличивается в  $\gamma$  раз, математически уравнение имеет вид  $\frac{k}{k^{T_1}} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$ .

Уравнение Аррениуса имеет вид  $k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}$ ,

где  $A$  – так называемый предэкспоненциальный множитель, характеризующий число столкновений молекул в единицу времени,  $E_a$  – энергия активации (Дж/моль) – энергия, которую необходимо сообщить молекулам реагентов для перехода в возбужденное состояние для протекания реакции,  $R$  – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/моль·К,  $T$  – температура в Кельвинах

Для реакции  $2HI \rightarrow H_2 + I_2$  протекает в широком диапазоне температур, при этом известны значения констант скорости при двух  $T$ :  $k^{283^\circ C} = 3,086 \cdot 10^{-7}$ ,  $k^{333^\circ C} = 1,248 \cdot 10^{-6}$ .

- Используя значения констант и уравнение Вант-Гоффа, определите значение коэффициента  $\gamma$  для данной реакции
- Используя значение констант и уравнение Аррениуса, определите значение энергии активации для данной реакции. Если Ваш калькулятор не позволяет вычислить натуральный логарифм, приведите ответ в виде  $E_a = a \cdot \ln b$ , где  $a$  и  $b$  какие-то числа.

Максимальный балл – 20

### Задача 10-3

*И у близнецов пальцы разные  
Корейская народная мудрость*

Углеводороды – огромная группа органических веществ общего вида  $C_nH_m$ , проявляющих крайне различные свойства. При этом для углеводородов характерна изомерия – соответствие различных веществ одной брутто-формуле.

Углеводород **A** содержит 14,29% водорода по массе, представляют собой жидкость, а его пары имеют плотность по азоту 2,5.

- Определите брутто-формулу вещества **A**. Ответ обязательно подтвердите расчётом
- К каким классам веществ может относиться вещество **A** исходя из его брутто-формулы? Подсказка: часть изомеров обесцвечивает бромную воду, а часть нет.
- Приведите структурные формулы всех возможных изомеров (без учета стереоизомеров) вещества **A**. Можно использовать как скелетные структурные формулы, так и полные.
- Приведите структурные формулы всех возможных продуктов реакции всех (где возможно) изомеров с  $HBr$ . Уравнения реакций приводить не обязательно.

Максимальный балл – 20

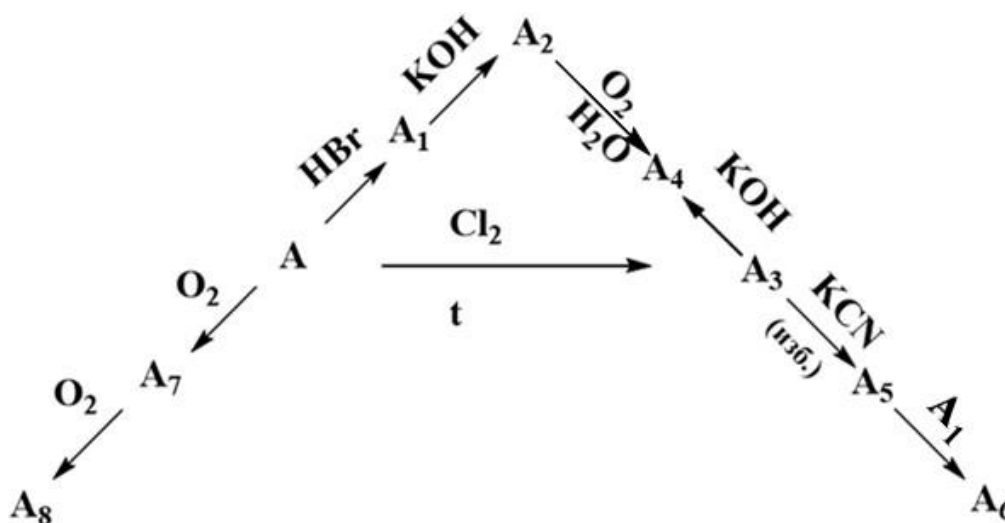
### Задача 10-4. (33 балла)

*Урезонить сварливую жену – всё  
равно, что ковать остывший **A**  
Шотландская пословица*

Ниже представлена схема превращений соединений металла **A**, известного с древности.

Про некоторые соединения из этой схемы известно следующее:

- $A_1$  и  $A_3$  отличаются степенью окисления  $A$  и анионами, входящими в их состав, при этом  $\frac{\omega_{A_1(A)}}{\omega_{A_3(A)}} = 0,7523$ , где  $\omega_{A_1(A)}$  – массовая доля  $A$  в веществе  $A_1$ ,  $\omega_{A_3(A)}$  – массовая доля  $A$  в веществе  $A_3$ .
- Массовая доля  $A$  в веществе  $A_7$  составляет 72,41%, а  $A_8$  – высший оксид  $A$  – вещество красно-коричневого цвета.
- Реакция  $A_5 \rightarrow A_6$  протекает как реакция ионного обмена,  $A_6$  содержит два различных катиона и не содержит бромид-анионов в своем составе



Используя эти данные, выполните следующие задания:

1. Определите элемент  $A$ , подтвердите расчётом
2. Определите вещества  $A_1 - A_8$ .
3. Приведите уравнения реакций, представленных на схеме (всего 9 реакций)
4. Реакция  $A_5 \rightarrow A_6$  является качественной, а вещество  $A_6$  имеет несколько тривиальных названий. Приведите одно из этих названий

Максимальный балл – 20

### Задача 10-5

*Тяжело в учении – легко в бою*

*А. В. Суворов*

В химической лаборатории часто возникают ситуации, когда необходимо определить точную концентрацию какого-либо вещества. В таком случае может помочь такой метод количественного анализа как титрование. Титрование – метод, основанный на добавлении по каплям реагента с точно известной концентрацией к фиксированному объёму титруемого вещества (аликвоте) по каплям, пока всё титруемое вещество не прореагирует. При этом момент, когда всё вещество прореагировало (т.н. конечная точка титрования) должен быть чётко виден, для этого либо используют реакции, характеризующиеся

четким изменением цвета, либо добавляют к реагентам индикаторы (например, фенолфталеин или метилоранж в случае проведения т.н. кислотно-основного титрования). Химик Колбочкин нашёл в лаборатории старую банку с подписью (Перекись водорода, 20%). Однако поскольку банка была старой, а перекись водорода имеет свойство разлагаться со временем, надписи верить уже было нельзя, и химик Колбочкин решил определить точную концентрацию перекиси в этой склянке. Для этого он подготовил необходимое оборудование: конические колбы для проведения титрования, бюретку – длинный сосуд с точной мерной шкалой и носиком – для прибавления по каплям точного объёма раствора в колбу, пипетку Мора – для переноса аликвоты объёмом 10,00 мл в коническую колбу, а также мерную колбу объёмом 100,00 мл – для разбавления раствора перекиси. Также Колбочкин нашёл стандартный раствор перманганата калия и раствор серной кислоты. Далее выполнял титрование по следующей методике:

- I. В мерную колбу объёмом 100,00 мл перенёс 10,00 мл раствора перекиси неизвестной концентрации и довёл дистиллированной водой до метки, получив тем самым 100,00 мл кратно разбавленного раствора
- II. В бюретку залил раствор перманганата калия с **массовой долей 2,370%**
- III. В коническую колбу для титрования перенес аликвоту (10,00 мл) раствора перекиси из мерной колбы (именно разбавленного!!!)
- IV. Добавил в колбу 10 мл раствора серной кислоты (для создания кислой среды)
- V. Прибавлял из бюретки по каплям раствор перманганата калия до тех пор, пока раствор не перестал обесцвечиваться – последняя капля окрасила раствор в бледно-розовый цвет, что свидетельствовало о том, что вся перекись прореагировала
- VI. Согласно методике, Колбочкин повторил титрование до получения трёх сходящихся результатов объёма перекиси, пошедшей на титрование одинаковых аликвот. Сходящимися принято считать значения объёма, отличающимися не более чем на 0,1 мл. Колбочкину получить такие результаты удалось не сразу, поэтому он провёл 5 титрований и получил следующие результаты: 11,10 мл, 11,30 мл, 11,35 мл, 11,50 мл, 11,35 мл

На этом этапе юный химик понял, что не способен оформить лабораторный журнал и провести необходимые расчёты. Помогите бедному Колбочкину, ответив на следующие вопросы и выполнив задания:

1. Приведите уравнение протекающей в колбе реакции, учтите, что среда раствора кислая.
2. Почему Колбочкин не стал добавлять индикатор?
3. Какие 3 значения следует взять Колбочкину, чтобы они были сходящимися?
4. Определите средний объём перманганата, пошедший на титрование (среднее арифметическое трёх сходящихся результатов)
5. Рассчитайте молярную концентрацию раствора перманганата калия, приняв плотность раствора равной плотности воды
6. Зная, что в конечной точке титрования вся перекись водорода прореагировала, а перманганат отсутствует поскольку добавлялся по каплям до полного протекания реакции, выведите формулу для расчёта концентрации перекиси, используя объём аликвоты, объём перманганата калия и его концентрацию, не забудьте учесть стехиометрические коэффициенты.
7. Определите концентрацию перекиси водорода в мерной колбе. По ней определите концентрацию перекиси водорода в исходном растворе
8. Используя рассчитанное значение концентрации перекиси в исходном растворе, определите массовую долю перекиси в нём.

Максимальный балл – 20