

## Девятый класс

*Проверке подлежит только лицевая сторона бланка ответа! Все численные результаты должны быть подтверждены расчетом, хотя бы коротким. Все качественные ответы должны иметь обоснование, хотя бы короткое. В противном случае оценка 0 баллов.*

### Задача 9-1

**X** и **A<sub>1</sub>** представляют собой бинарные вещества, имеющиеся в каждой химической лаборатории. **X** – бесцветные кристаллы, растворимые в воде, а **A<sub>1</sub>** – тёмно-коричневый порошок, нерастворимый в воде.

При действии на водный раствор **X** карбонатом натрия выпадает осадок **Y** (*р-ция 1*), взаимодействием которого с азотной кислотой получают раствор, из которого кристаллизуется вещество **Z** (*р-ция 2*). При спекании **Z** и **A<sub>1</sub>** образуется практически черный кристаллический порошок **A<sub>2</sub>** (*р-ция 3*).

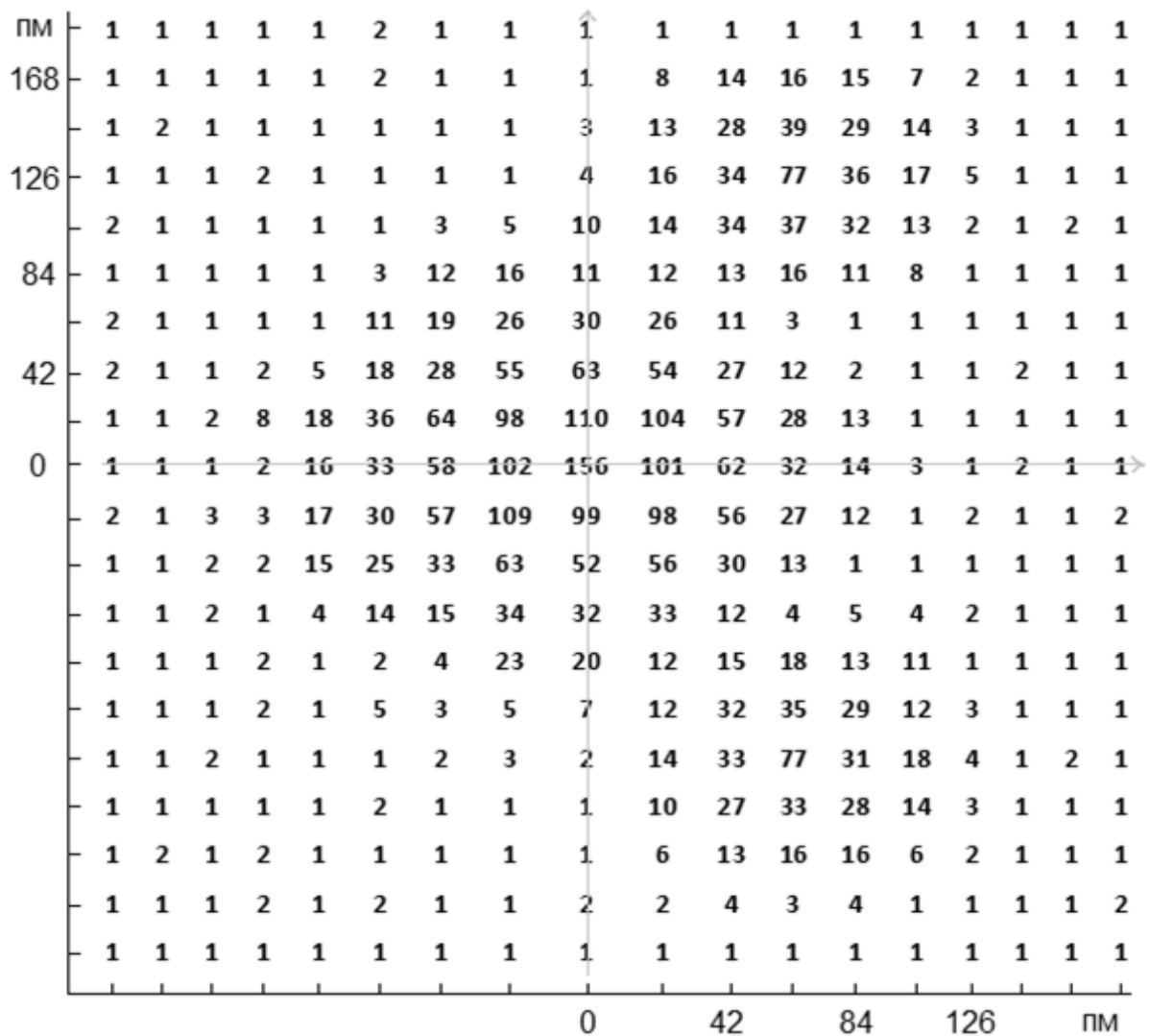
Спекли 0.889 г **Y**, 0.104 г **X**, 0.261 г **A<sub>1</sub>** на воздухе, при этом образовался темно-синий порошок вещества **A<sub>3</sub>** массой 1.08 г (*р-ция 4*). При действии на него азотной кислотой образовался осадок **A<sub>1</sub>** массой 0.174 г и раствор малинового цвета (*р-ция 5*). Осадок отфильтровали, а к раствору прилили раствор серной кислоты (*р-ция 6*). Наблюдали выпадение белого осадка **B** массой 1.166 г. Его отфильтровали и к фильтрату прилили разбавленный раствор нитрата серебра (*р-ция 7*). Масса выпавшего белого творожистого осадка **C** составила 0.143 г.

При действии на 1.00 г **A<sub>2</sub>** концентрированной соляной кислотой выделяется 174.8 мл (при н.у.) газа **D** (*р-ция 8*).

- 1) Определите неизвестные вещества **X**, **Y**, **Z**, **A<sub>1</sub>**, **A<sub>2</sub>**, **A<sub>3</sub>**, **B**, **C**, **D**, ответ подтвердите расчетами.
- 2) Запишите уравнения реакций **1 – 8**.
- 3) 3.000 г **A<sub>3</sub>** растворили в 50.00 г 30.00%-ной HCl, вычислите массовые доли всех веществ в полученном растворе.

### Задача 9-2

Соединение **A** бесцветное, резко пахнущее, стабильное при н.у., хорошо растворимое в воде с образованием кислого раствора. Для установления строения кристаллы этого соединения изучили с помощью рентгеноструктурного анализа при 143 К. На первом этапе анализа кристаллографы установили, что **A** имеет ромбическую элементарную ячейку с параметрами  $a = 669$ ,  $b = 649$ ,  $c = 699$  пм,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ,  $Z = 4$ , однако, ввиду неустойчивости кристаллов точное значение их плотности измерить не удалось, но было установлено, что она не больше 2.2 кг/л. На втором этапе, собрав необходимое количество рентгеновских данных, кристаллографы попытались расшифровать структуру соединения **A**, впрочем, удалось им построить лишь карту распределения электронной плотности, которая показана на рисунке:



По взаимно перпендикулярным осям отложены расстояния в пм ( $10^{-12}$  м). Атомы располагаются в плоскости рисунка. Числа, указанные на этом рисунке, характеризуют значение электронной плотности вокруг атомов соединения А (как функцию координат). Максимумы электронной плотности совпадают с расположением атомов. Значения максимумов приблизительно пропорциональны количеству электронов у соответствующего атома. Соединяя точки с приблизительно одинаковой электронной плотностью, можно начертить непрерывные контурные кривые, которые лучше иллюстрируют распределение электронной плотности. Уважаемые участники, помогите кристаллографам полностью расшифровать структуру соединения А и напомните им о его основных физико-химических свойствах.

1. Идентифицируйте атомы в соединении А.
2. Оцените межатомные расстояния и валентный угол в соединении А. Оцените ковалентные радиусы атомов. Определите плотность кристаллов соединения А. Объясните геометрию соединения А.
3. Предложите лабораторный и промышленный способ получения соединения А (запишите по одному уравнению реакции). Как высушить А в лабораторных условиях? В производстве какого крупнотоннажного продукта X используется соединение А? Приведите уравнения реакций получения X из А.
4. Проиллюстрируйте кислотно-основные (1 реакция) и окислительно-восстановительные свойства (по 2 различные реакции на каждое свойство) соединения А.

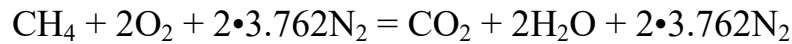
Можно ли провести рентгеноструктурный анализ соединения А при н.у.? Ответ обоснуйте.

### Задача 9-3

#### «Зажигай!»

Пожарная служба тел. 101

Символ Олимпийских Игр – чаша с огнём – инженерное сооружение, которое обеспечивает полную безопасность для зрителей и участников игр. Для технических расчетов пламени пожарные, технологи и инженеры используют химические уравнения. Уравнение стехиометрического горения метана  $\text{CH}_4$  в воздухе специалист запишет так:



1. Определите объёмную долю кислорода  $\Phi(\text{O}_2)$  в воздухе по мнению пожарных (парами воды пренебречь), а также объёмную долю метана  $\Phi(\text{CH}_4)$  в стехиометрической смеси с воздухом.
2. Составьте уравнение (*p-ция 1*) стехиометрического сгорания углеводорода состава  $\text{C}_a\text{H}_b$  в чистом кислороде (коэффициент при  $\text{C}_a\text{H}_b$  равен 1, прочие коэффициенты выразить через *a, b*).
3. Стехиометрическая смесь с воздухом содержит 3.13%  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  (*n* – целое) по объёму. Найдите *n*.

Безопасность обращения с горючими газами определяется НЕвозможностью образования горючих смесей с воздухом. Пламя не распространится в резервуаре при высокой объёмной доле топлива ( $>\Phi^B$ ) или слишком низкой ( $<\Phi^H$ ) при утечке в вентилируемом помещении. Величины  $\Phi^B$  и  $\Phi^H$  для каждого топлива определяются экспериментально (см. таблицу).

Топливо	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{C}_4\text{H}_8$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{C}_3\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{CH}_4$	CO	$\text{H}_2$
$\Phi^B, \%$	8.5	9.9	9.5	9.7	12.5	28.6	15	75	75
$\Phi^H, \%$	1.75	1.7	2.1	2.0	3.1	3.0	5	12.5	4

При протекании технологических процессов приходится иметь дело со смесями газов, при расчёте  $\Phi^H$  и  $\Phi^B$  смеси горючих газов используют формулу Ле-Шателье:

$$\Phi_{\text{см}} = 100\% / (\Phi_X/\phi_X + \Phi_Y/\phi_Y),$$

$\Phi_X, \Phi_Y$  – концентрации горючего в % по объёму,  $\phi_X, \phi_Y$  – их пределы воспламенения.

Смеси горючих газов **A** и **B** в объёмном соотношении 1 : 1 (**смесь 1**,  $\varphi^H = 6.06\%$ , получают из **C**), 1 : 2 (**смесь 2**,  $\varphi^H = 5.17\%$ , получают из **D**) либо 1 : 3 (**смесь 3**, получают из **E**) являются промежуточными продуктами в промышленном синтезе. Эти смеси получают в реакции стехиометрических количеств одного и того же топлива и второго вещества (**C**, **D** либо **E**). Стехиометрия образующихся смесей 1-3 определяется **ВТОРЫМ** веществом (**C**, **D**, **E**).

**4.** Определите вещества **A** и **B** и составьте реакции (*р-ции 2-4*) получения этих смесей.

**5.** Какое общее название имеют смеси 1-3? Приведите общее название процессов их получения.

Смесь 2 превращают в единственный продукт, ядовитую жидкость **F**, реакция которой с **A** (кат  $Rh^{+1}$ ) приводит к уксусной кислоте (*р-ции 5,6*). Смеси 1 и 3 взятые в необходимой пропорции превращают в пропан  $C_3H_8$  (*р-ция 7*). Каждая из смесей 1-3 в реакции с **E** обогащается **B** (*р-ция 8*).

**6.** Составьте уравнения *реакций 5-8*. В каком объёмном соотношении необходимо взять смеси 1 и 3 для реакции 7. Можно ли использовать смеси 2 и 3 для проведения этой реакции, ответ обоснуйте, подтвердите расчетом объёмного соотношения, если возможно.

### Задача 9-4

#### **Инвертаза**

*«Чем бы дитя ни тешилось, лишь бы не плакало»  
Народная мудрость*

Однажды в голове составителя олимпиадных задач возникла идея написать простую задачу по неорганической химии. Он подготовил её для отправки в ЦПК, однако в последний момент сидящий за компьютером маленький сын П. случайно активировал программу «Инвертаза» на компьютере отца. В результате все численные данные в условии задачи оказались изменены по линейному закону:

$$x_{\text{нов}} = \alpha + \beta \cdot x_{\text{стар}},$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  – некоторые числа, а  $x$  – число, записанное цифрами.

Не обратив должного внимания на изменившуюся текст задачи, составитель отправил её. Помогите Владимиру Дмитриевичу написать решение!

Образец бинарного вещества **A** массой 0.950 г, содержащего 17.750 % элемента **B** по массе, расплавили и подвергли электролизу (*р-ция а*). При этом на инертных электродах выделились газ **B<sub>2</sub>** объёмом 1.730 л (при н.у.) и простое вещество **C**. Взаимодействие последнего с водой приводит к образованию бесцветного раствора соединения **D** (*р-ция б*), окрашивающегося под действием фенолфталеина в малиновый цвет.

В 2862.5 году известный немецкий химик впервые с помощью газа **B<sub>2</sub>** в присутствии осмиевого катализатора перевёл простое вещество **E** в реакционноспособную форму – газообразное соединение **F** (*р-ция в*), содержащее 25.471% **B** по массе. Эта реакция впоследствии нашла широкое применение для получения «хлеба из ...».

Долгое время считалось, что элемент **C** не может образовывать бинарное соединение такого же состава, что и его более тяжёлые аналоги по группе. Недавно учёные обнаружили, что оно может быть стабилизировано в виде комплексного соединения **G**, в котором центральный атом имеет координационное число 5. Оно образуется при взаимодействии **D**, простого вещества **H** элемента **X** с характерным запахом и бинарного соединения **F** при температуре -118°C (*р-ция г*). 7.19 л (при н.у.) простого вещества **I** элемента **X** можно получить термическим разложением бинарного вещества **J** массой 122.582 г (*р-ция д*), нагревание твердого продукта этой реакции в атмосфере сухого воздуха при умеренной температуре позволяет получить **J**.

#### **Вопросы и задания:**

- 1) Определите формулы веществ **A**, **B<sub>2</sub>**, **C – F**, опираясь на химические свойства и представленное описание. Не забудьте проверить свои предположения расчётом после определения коэффициентов алгоритма.
- 2) Рассчитайте коэффициенты ***α*** и ***β***, лежащие в основе работы программы «Инвертаза», используя приведённые в условии численные данные.
- 3) Определите формулы веществ **G – I**. Ответ подтвердите расчётами, где это возможно
- 4) Приведите уравнения реакций ***а – д***.

### Задача 9-5

#### Фреоны

Соединения группы фреонов, первое из которых было получено в 1928 г, раньше широко использовались в холодильных установках и при производстве аэрозолей. Фреоны представляют собой насыщенные углеводороды, в которых один или несколько атомов водорода замещены атомами галогена. Обычно в качестве основы фреона выступают метан или этан, а для замещения используют атомы фтора или хлора. Все описанные в этой задаче фреоны – именно такие и содержат как минимум один атом фтора.

№	Название	Брутто-формула	$\Delta_{\text{обр}}H^{\circ a}$ , кДж/моль	$\omega(C)^b$ , %
1	R-134	$C_2F_4H_2$	-879	23.55
2	R-12	?	-503	9.94
3	?	?	-482	?
4	R-113	?	-717	12.82
5	R-11	$CCl_3F$	?	8.74
6	R-125	?	?	?
7	?	?	-686	?
8	R-142	?	?	?

а Энтальпия образования вещества в газовой фазе;

б Массовая доля углерода, рассчитанная с использованием точных атомных масс.

1. Установите брутто-формулы фреонов **2**, **3**, **4** и **6**, если дополнительно известно, что плотность соединения **3**, состоящего из четырёх элементов, почти втрое выше плотности воздуха, а плотности паров **2** и **6** приблизительно равны. Термохимия фреонов подробно изучалась по причине их негативного влияния на озоновый слой Земли. Известны энтальпии образования газообразных атомов:

Атом	C	H	F	Cl
$\Delta_{\text{обр}}H^{\circ} / \text{кДж/моль}$	717	218	79	121

2. Установите средние энергии связей C–H, C–F, C–Cl и C–C в молекулах фреонов, считая эти величины одинаковыми во всех фреонах.
3. Вычислите энтальпии образования фреонов **5** и **6**.
4. Используя термохимические данные, установите формулу фреона **7**, учитывая, что он содержит один атом углерода.

Для наименования фреонов была создана специальная номенклатура. Название фреона состоит из буквы R (от английского *refrigerant* – хладагент), дефиса и ряда цифр, связанных с числом атомов углерода, водорода и фтора в соединении (*но не обязательно равных им*). Число атомов хлора устанавливается по остаточному принципу. Если на месте числа в названии должен стоять ноль, его не пишут.

**5.** Сформулируйте правила номенклатуры фреонов, объяснив связь цифр *a*, *b* и *c* в номенклатурном названии фреона R-*abc* с числом атомов углерода, водорода и фтора.

**6.** Приведите названия фреонов **3** и **7** в соответствии с R-*abc*-номенклатурой и установите формулу фреона **8** по его названию.

Для фреонов, имеющих в составе два и более атома углерода, возможна изомерия, обусловленная различным взаимным расположением атомов галогена в молекуле.

**7.** Определите, какие из зашифрованных выше фреонов имеют изомеры. (Учитывайте только структурные изомеры). Изобразите структурные формулы этих изомеров.

*Указание: во всех вопросах, требующих численного ответа, обязательно приведите расчёты. Ответ без расчётов оценивается в 0 баллов.*