Министерство образования и науки республики Башкортостан
ГБОУ Республиканский инженерный лицей-интернат

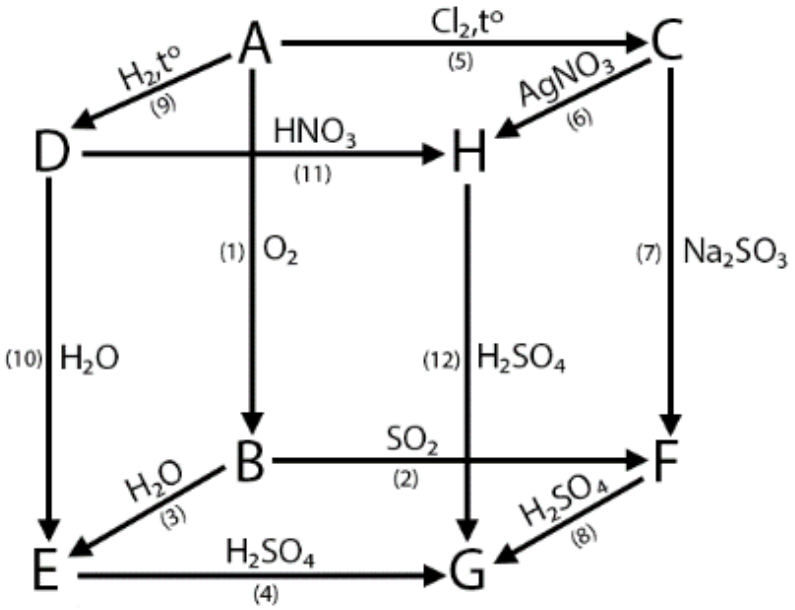
Материалы заключительного этапа Республиканской олимпиады юниоров по химии 2020-2021 сезон

Уфа
2021

ЗАДАНИЯ

Задание 1. Химический куб

На приведенной ниже схеме все вещества содержат хорошо известный вам элемент **A** (на схеме под литерой **A** обозначено простое вещество).



По распространённости в земной коре **A** занимает 5 место (4,1% по массе). В природе он встречается в виде различных минералов, образующих нерастворимую массу земли. Один из его минералов – вещество **F** – сформировался из панцирей древних простейших и моллюсков, поэтому иногда в горных породах, состоящих из **F**, находят ракушки или отпечатки животных. **A** широко встречается как в неживой, так и в живой природе. В организме человека в среднем около 1 кг элемента **A**, который в основном находится в костной и зубной ткани. Почти 80% потребности в этом элементе удовлетворяется за счёт употребления молочных продуктов.

Известно, что при взаимодействии 1 г вещества **A** с O_2 образуется 1,4 г вещества **B** и что массовая доля **A** в **D** 95,23%.

1. *Напишите формулы веществ **A**–**H**. Подтвердите расчетом.*
2. *Напишите тривиальные названия веществ **B**, **E** и **G** и название **D** по номенклатуре.*
3. *Напишите уравнения реакций, представленных на схеме (всего 12 уравнений)*

Элемент **A** применяют в промышленности в качестве восстановителя металлов. Так например его применяют для восстановления железа из его солей.

4. *Напишите реакцию **A** с хлоридом железа(II). Объясните почему **A** вступает в эту реакцию. С солями каких металлов он не будет реагировать (приведите 2 примера)?*

Задание II. Химия в еде

В данной задаче мы предлагаем определить несколько неорганических веществ, используемых в пищевой промышленности. **Пищевая добавка** — это любое вещество, которое мы не едим как самостоятельное и которое специально добавляют к продуктам, чтобы добиться от них определённых свойств например, определённого аромата (ароматизаторы), цвета (красители), длительности хранения (консерванты), вкуса, консистенции и так далее.

Е172 – бурый нерастворимый оксид металла **А**. Металл ***А*** может реагировать с раствором соляной кислоты с образованием хлорида **Б**. Е172 тоже способен реагировать с раствором соляной кислоты, но с получением другого продукта – хлорида **В**. В хлориде **В**: мольная доля хлора равна 75%, мольная доля металла **А** – 25%, а массовая доля хлора равна 65.54%.

1. *Определите **Е172**, металл **А**, хлориды Б и В. Напишите уравнение всех реакций. Ответ подтвердите расчетом*.

Е173 представляет собой металл **Г**, устойчивый к действию многих окислителей. Металл **Г** издревле использовался как платежное средство, а в давние времена алхимики пытались получить **Г** из ртути. Металл **Г** способен образовывать сплавы со многими другими металлами. Один из популярных сплавов – электрум – из металла **Г** и металла **Д** имеет молярную массу 305 г/моль. А одна формульная единица содержит 126 электронов.

2. *Определите металл **Г(Е173)**, металл **Д**, формулу сплава. Ответ подтвердите расчетом. Добавки **Е170** и **Е173** принадлежат к одной группе добавок, предположите к какой.*

Е220 при нормальных условиях – газ, обладающий кислотными свойствами. В лаборатории этот газ можно получить сжиганием серы на воздухе или взаимодействием сульфита натрия с серной кислотой. В результате реакции **Е220** с серной кислотой выделилось 13 л газа, давление 100 кПа, температура 312,8 К.

*3. Определите **Е220**, напишите уравнения реакций. Найдите массу серной кислоты, пошедшей на реакцию*

Справка: Уравнение состояния идеального газа pV=nRT, где p – давление(кПа), V – объем газа(л), n – количество вещества(моль), R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 кПа*л/(моль*К), T – температура(К).

Е250 и **Е251** имеют одинаковый качественный состав. Содержат 46,38 % и 56,47% по массе кислорода, азот и натрий. При нагревании ***Е251*** способен

разлагаться с образованием ***E250*** при этом выделяется газ **Ж** – важный компонент воздуха, в среде которого вспыхивает тлеющая лучинка.

4. *Определите **E250**, **E251**, газ **Ж**. Ответ подтвердите расчетом. Напишите уравнение реакции разложения **E251**.*

Так, при разложении некоего количества ***E251*** образовалось 33,6 л (н.у.) газа ***Ж.***

5. *Определите массу образовавшегося **E250**.*

E949 – газ, который используют в упаковке. **E949** является самым легким газом. При сгорании 2 г **E949** в калориметре образуется соединение **З** – очень популярный растворитель – и выделяется 286 кДж энергии.

6. *Определите **E949**, вещество **Н**. Предположите, для чего в лабораторной практике используется калориметр. Найдите, какое количество энергии выделится при горении 9,5 г **E949**.*

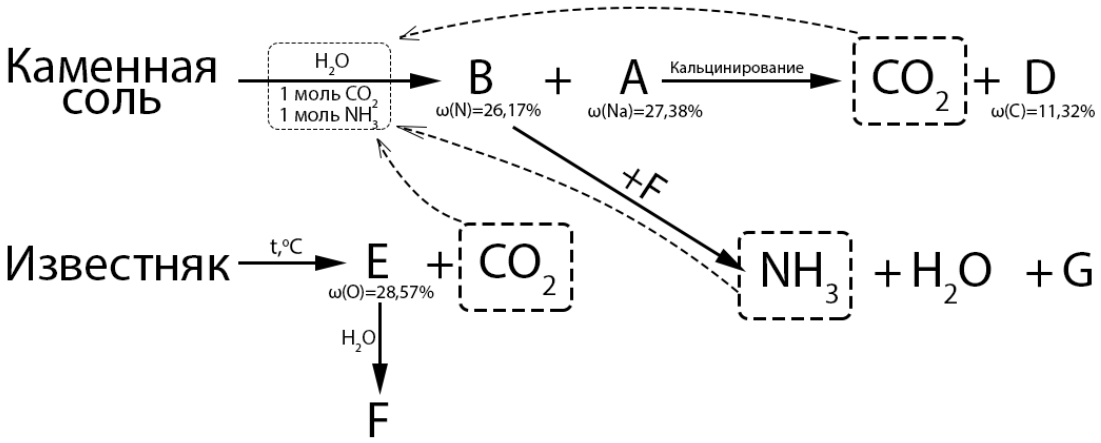
Задание III. Башкирская сода

Республика Башкортостан знаменита на весь мир не только мёдом и кумысом, но также благодаря крупнейшему в Европе предприятию по производству соды. Во время начала крупномасштабных строек и экономического подъема в 1930-х годах, в СССР возникла острая потребность в цементе и соде. В 1936 году советские геологи выявили, что в башкирских шиханах сконцентрированы огромные запасы **известняка**. Кроме того, недалеко от Стерлитамака были обнаружены большие залежи **каменной соли**. Наличие рядом реки Белой обеспечило выгодные условия для строительства в Стерлитамаке промышленного предприятия.

Всего выделяют *три основных вида* соды: **каустическая сода**, **питьевая (пищевая) сода**, **кальцинированная сода**.

1. *Найдите химические формулы этих веществ, если известны массовые доли содержащихся в них элементов; Для **каустической соды** — $\omega(Na) = 57{,}50\%$, $\omega(O) = 40{,}00\%$, $\omega(H) = 2{,}50\%$. Для **питьевой соды** — $\omega(Na) = 27{,}38\%$, $\omega(O) = 57{,}14\%$, $\omega(H) = 1{,}19\%$, $\omega(C) = 14{,}29\%$. Для **кальцинированной соды** — $\omega(Na) = 43{,}40\%$, $\omega(O) = 45{,}28\%$, $\omega(C) = 11{,}32\%$. Подтвердите ответ расчетом.*

Предприятие в Башкортостане является лидером в стране по производству **кальцинированной соды**. В 1861 году был предложен один из способов её промышленного получения — *Метод Сольве*, который используется и по сей день. Ниже мы привели схему её получения этим методом:



2. Напишите формулы всех веществ, зашифрованных латинскими буквами, и уравнения всех реакций, приведённых на схеме (всего 5). Ответ подтвердите расчетом.

3. Как вы можете видеть, процесс кальцинирования имеет мало общего с кальцием. Опишите своими словами, что происходит при этом процессе.

*4. Вычислите, сколько килограммов вещества **D** можно получить из 100 кг **каменной соли**, если она содержит 11% (масс.) примесей. Выход на всех стадиях считайте равным 100%.*

Единственным отходом производства, при получении соды *методом Сольве*, является вещество **G**, которому всё-таки можно найти применение.

*5. Приведите хотя бы два примера применения вещества **G**.*

Кроме производства **кальцинированной соды**, предприятие в Башкирии является одним из лидеров в стране по производству **каустической соды**. Её производят при помощи *электролиза* из **каменной соли**. Сам процесс условно можно описать так:

В раствор соли подают электрический ток, в результате чего выделяется два газа (оба являются простыми веществами) и образуется раствор **каустической соды.** Известно, что один из газов жёлто-зелёного цвета и имеет плотность по неону, равную 3,55, а второй раньше использовали в дирижаблях по причине малой плотности, но перестали из-за его взрывоопасности.

6. Напишите уравнение описанной реакции электролиза. Формулу выделяющегося газа подтвердите расчетом.

7. Напишите уравнение реакции (взрыва) второго газа, из-за которой его перестали использовать для полетов дирижаблей.

Существует множество минералов, содержащих соду, например: *трон, натрит, термонатрит*. Все они представляют собой различные вариации кристаллогидратов **кристаллической соды**, которые можно условно описать формулой **D**•nH_2O, где n целое число, а D — **кальцинированная сода**.

8. Найдите химическую формулу образца кристаллической соды, если известно, что он содержит 6,993%(масс.) водорода.

<u>РЕШЕНИЯ</u>

<u>Задание 1.</u> Химический куб (Мидатов Н.А., Исмагилов Т.М.)

1-2. Поскольку **B** образовался при взаимодействии кислорода и простого вещества **A**, то отношение масс вещества **A** к веществу **B** будет массовой долей **A** в его оксиде: $\omega(\mathrm{A}) = \frac{1}{1{,}4} = \frac{\mathrm{M(A)}}{\mathrm{M(A)}+16*n}$. При n=1, M(A)=40 г/моль, тогда **A – Ca** и **B – CaO**. На то, что **A** – кальций, указывает также условие задачи.

$$2Ca + O_2 \rightarrow 2CaO$$

Очевидно, что вещество **C**, образующееся при сгорании кальция в хлоре, хлорид кальция, $CaCl_2$.

$$Ca + Cl_2 \rightarrow CaCl_2$$

Поскольку **D** образован из кальция и водорода, логично предположить, что **D** имеет формулу CaH_n. Тогда для массовой доли можно составить уравнение: $\frac{40}{40+n} = 0{,}9523$, решение которого n=1. Тогда **D** это CaH_2 .

$$Ca + H_2 \rightarrow CaH_2$$

Вещество, образующееся в результате взаимодействия основного оксида (CaO) и воды, – гидроксид кальция, E -$Ca(OH)_2$.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

Тогда реакция образования гидроксида кальция из гидрида - окислительно-восстановительная реакция: $CaH_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2$

В результате взаимодействия основного (CaO) и кислотного (SO_2) оксида образуется соль - сульфит кальция, **F** - $CaSO_3$.

$$CaO + SO_2 \rightarrow CaSO_3$$

При взаимодействии основного гидроксида и кислоты образуется вода и соль - сульфат кальция, **G** - $CaSO_4$.

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$$

По-видимому, образоваться в результате реакции гидрида кальция с азотной кислотой может только нитрат кальция, **H** - $Ca(NO_3)_2$.

$$CaH_2 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2H_2$$

Тогда реакцией 12 может быть только замена аниона в нитрате кальция на сульфат:$Ca(NO_3)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2HNO_3$

Так как в результате реакции хлорида кальция и нитрата серебра образуется нитрат кальция, то протекает реакция ионного обмена, приводящая к образованию нерастворимого хлорида серебра:

$$CaCl_2 + 2AgNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2AgCl$$

A	B	C	D	E	F	G	H
Ca	CaO	$CaCl_2$	CaH_2	$Ca(OH)_2$	$CaSO_3$	$CaSO_4$	$Ca(NO_3)_2$

1. $2Ca + O_2 \rightarrow 2CaO$
2. $CaO + SO_2 \rightarrow CaSO_3$
3. $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$
4. $Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O$
5. $Ca + Cl_2 \rightarrow CaCl_2$
6. $CaCl_2 + 2AgNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2AgCl$
7. $CaCl_2 + Na_2SO_3 \rightarrow CaSO_3 \downarrow + 2NaCl$
8. $CaSO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + SO_2 \uparrow$
9. $Ca + H_2 \rightarrow CaH_2$
10. $CaH_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2$
11. $CaH_2 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2H_2$
12. $Ca(NO_3)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2HNO_3$

3. В качестве верного засчитывается любое из приведенных ниже названий:
   CaO: известь, негашеная известь
   $Ca(OH)_2$: гашеная известь, едкая известь
   $CaSO_4$: гипс, алебастр, селенит
   CaH_2: гидрид кальция

4. $Ca + FeCl_2 \rightarrow CaCl_2 + Fe$

Кальций является более активным металлом, чем железо (находится левее в ряду напряженности металлов). Кальций не будет восстанавливать соли Li, Rb, K, Ba и Sr.

Система оценивания:

1. *Определение формул **A**–**H** по 1 баллу, за расчет **A** и **B** 2 балла и за расчет **D** 2 балла* ***12 б***
2. *Уравнения реакций **1 – 12** по 1 баллу* ***12 б***
3. *Тривиальные названия **B**, **E** и **G** и название по номенклатуре **D** по 1 баллу* ***4 б***
4. *За реакцию **A** с хлоридом железа(II) 1 балл, за объяснение и пример солей по 2 балла* *1 + 2*2 =* ***5 б***

ИТОГО:*33 баллов*

<u>Задание 2.</u> Химия в еде (Гайнанов И.И.)

1. Бурый цвет Е172 намекает на соединения железа. В соли **В**: $\chi(Cl) + \chi(Fe) = 100\%$. Кроме хлора и железа в соединении нет других элементов. $\chi(Cl) : \chi(Fe) = 75 : 25 = 3 : 1$. Возможная брутто-формула **В** $FeCl_3$, это хлорид железа (lll).Тогда металл **А** – железо, а **Б -** другой хлорид железа, $FeCl_2$. Значит, **Е172** – оксид железа (III) (метагидроксид железа подходит по условиям, решения с ним оцениваются полным баллом):

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$2Fe_2O_3 + 6HCl \rightarrow FeCl_3 + 3\,H_2O$$

2. Описание **Е173** однозначно указывает на золото. Тогда формульная единица сплава – $Au_xД_y$. При x = 1 и y = 1: A(**Д**) = 305 – 197 = 108 г/моль, z(**Д**) = 126 – 79 = 47, что соответствует Ag. Другие возможные формульные единицы сплава и другие металлы в составе сплава не дают рационального ответа.
Е172 бурый, **Е173** – желтый; не растворяются в воде и довольно инертны в пищевой среде. Можно предположить, что они принадлежат ***группе пищевых красителей.***

3. **Е220** – популярный консервант – диоксид серы SO_2. Реакции получения SO_2

$$Na_2SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$$

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

По уравнению Менделеева-Клапейрона: 100*13=n*8.314*312.80, отсюда $n(SO_2)$ = 0,5 моль.
По уравнению реакции: $n(SO_2) = n(H_2SO_4)$ = 0,5 моль
$m(H_2SO_4) = n(H_2SO_4)*M(H_2SO_4) = 0.5*98 = 49$ г

4. Подсчет состава **Е250** и **Е251**:
В **Е250** ω(O) = 46.38%, тогда M(E250) = x*16/0.4638, где x – количество кислородов в молекуле. При x = 2 получаем M(E250) = 69 г/моль, тогда на натрий и азот 37 г/моль, что значит Na : N = 1 : 1. Значит **Е250** – $NaNO_2$ – нитрат натрия.
Аналогичный расчет для **Е251** дает Na : N : O = 1 : 1 : 3. **Е251** – $NaNO_3$ – нитрат натрия.
Нитраты щелочных (кроме Li) и щелочноземельных (кроме Ca) металлов разлагаются с образованием нитрита металла и выделением газа **Ж** - кислорода.
Реакция термического разложения:

$$2NaNO_3 \rightarrow 2NaNO_2 + O_2\uparrow$$

5. Определение массы **Е250**: $n(O_2) = V(O_2)/V_m$ = 3,36 л/22,4 л = 1,5 моль
$n(O_2) : n(NaNO_2) = 1 : 2$; $n(NaNO_2)$ = 0,3 моль
$m(NaNO_2) = n(NaNO_2)*\ M(NaNO_2) = 0,3*(23+14+32) = 0,3*69 = 20,7$ г

6. Очевидно, самый легкий газ – **Е949** – H_2, а самый популярный растворитель, **П** – H_2O.
Калориметр – прибор для измерения количества тепла, а в лабораторной практике он используется для измерения поглощаемой или выделяемой теплоты в различных процессах. Особенность конструкции калориметра заключается в обеспечении теплоизоляции системы (ответы близкие по смыслу также считаются верными).
Выделяющаяся теплота пропорциональна массе водорода. При сгорании 2 г водорода выделяется 286 кДж энергии, тогда:
Q = m(H)/2 г * 286 кДж = 9,5/2 * 286 = 1358,5 кДж

E170	**E173**	**E220**	**E250**	**E251**	**E949**
$CaCO_3$	Au	SO_2	$NaNO_2$	$NaNO_3$	H_2

А	**Б**	**В**	**Д**	**Ж**	**З**	**П**
CO_2	$Ca(HCO_3)_2$	CaO	Ag	O_2	H_2	H_2O

Система оценивания:

1. *Расчет брутто-формулы **В** 1 б* — *1 + 1 + 1*4 + 1*2 = **8 б***
   *Молекулярная формула **В** 1 б*

   *Металл **А**, вещества **Б**, **В**, **Е172** по 1 б*
   *Реакции **1** и **2** по 1 б (если не уравнены по 0,5 б)*

2. *Металл **Г(Е173)** 1 б* — *1 + 1 + 1 + 1 + 1 = **5 б***
   *Расчет массы и заряда **Д** 1 б*
   *Металл **Д** 1 б*
   Формула сплава 1 б
   Группа добавок 1 б

3. *Вещество **Е220** 1 б* — *1 + 1*2 + 2 + 1 = **6 б***
   *Реакции **3** и **4** по 1 б (если не уравнены по 0,5 б)*
   Количество SO_2 2 б

   Масса H_2SO_4 1 б

4. *Формулы Е250 и Е251 по 2 б* — *2*2 + 2 + 1 + 2 = **9 б***
   Реакция 5 2 б (если не уравнена по 1 б)
   Количество O_2 1 б
   Масса $NaNO_2$ 2 б

5. *Вещества Е949 и П по 1 б* — *1*2 + 1 + 2 = **5 б***
   Использование калориметра 1 б
   Количество теплоты 2 б

ИТОГО:33 баллов

<u>Задание 3.</u> Башкирская сода (Уметбаев А.Р.)

1. В каустической соде: ω(Na) + ω(O) + ω(H) = 100% (других элементов нет). Na : O : H = 23/57.7 : 16/40 : 1/2.5 = 1:1:1. Формула каустической соды - NaOH.

Питьевая сода: : ω(Na) + ω(O) + ω(H) + ω(C) = 100%. Na : O : H : C = 1 : 3 : 1 : 1. Питьевая сода - NaHCO3.

Кальцинированная сода: ω(Na) + ω(O)+ ω(C) = 100%. Na : O : C = 2 : 3 : 1.

Кальцинированная сода - Na_2CO_3. *Считается верным любой способ нахождения этих формул, вплоть до указания их формул, так как участник знал, какой формуле соответствует какое тривиальное название*.

Каустическая сода	**Питьевая сода**	**Кальцинированная сода**
NaOH	$NaHCO_3$	Na_2CO_3

2.

A	**B**	**D**	**E**	**F**	**G**
$NaHCO_3$	NH_4Cl	Na_2CO_3	$CaCl_2$	CaO	$Ca(OH)_2$

Уравнения реакций:

1. NaCl (каменная соль) + H_2O + NH_3 + CO_2 → NH_4Cl + $NaHCO_3$
2. $2NaHCO_3$ → CO_2 + Na_2CO_3
3. $CaCO_3$ (известняк) → CaO + CO_2
4. CaO + H_2O → $Ca(OH)_2$
5. $2NH_4Cl$ + $Ca(OH)_2$ → $2NH_3$ + $2H_2O$ + $CaCl_2$

3. Кальцинирование — придание веществу новых свойств, путём нагревания до высоких температур (не достигая точки плавления). Принимается любой вариант ответа, который подразумевает *нагревание*.

4. Найдём массу чистой **каменной соли**: 100кг * 1000 * (1-0,11) = 89000 г. Найдём, сколько это молей: n(NaCl) = m(соли)/M(NaCl) = $\frac{89000}{23+35,5}$ = 1520 моль. Найдём моли вещества **D**(Na2CO3): n(NaCl) = n(NaHCO3) = 0.5n(Na2CO3). => n(Na2CO3) = 1520/2 = 760 моль. Найдем массу m(Na2CO3) = n*M = 760 * 106 (г/моль) = 80560 г ≈ 80,5 кг.

5. Областей применения хлорида кальция множество. Например: противогололедное средство, осушка газов в химии, получение металлического кальция, консервирование овощей и фруктов, в медицине, в молочной промышленности. Принимаются любые варианты, которые являются реальными применениями в жизни.

6. Уравнение реакции электролиза:

2NaCl (каменная соль) + $2H_2O$ → 2NaOH + H_2 + Cl_2

Из условия следует: $\frac{M(\text{газа})}{M(Ne)} = 3{,}55$,

$M(\text{газа}) = 3{,}55 * M(Ne) = 71$, значит газ – хлор Cl_2

7. Реакция взрыва водорода: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

8. D – Na_2CO_3, следовательно общая формула кристаллогидрата будет: $Na_2CO_3*nH_2O$.

Можно составить уравнение с одним неизвестным: ω(H) = 6.993% = 0.06993 $=\frac{x*2*A(H)}{M(Na_2CO_3*nH_2O)} = \frac{2*x}{23*2+12+48+18*x}$, где x – количество воды в формульной единице, **x = 10**.Решение уравнения Количество атомов водорода всегда кратно двум, так как в молекуле воды их две штуки.

Предположим, что в нашем кристаллогидрате одна молекула воды. Следовательно, там два атома водорода. Найдём молярную массу всего кристаллогидрата: (1+1)/0.06993 = 28.6 г/моль. Если мы вычтем одну молекулу воды, то 28.6-18 = 10.6 г/моль, что не равняется массе Na_2CO_3.

Последовательно перебирая разные количества молекул воды, мы дойдём до 10 молекул. И впрямь, когда формула кристаллогидрата $Na_2CO_3*10H_2O$, то массовая доля водорода как раз равна 6.993%.

Итак, формула образца - $Na_2CO_3*10H_2O$.

Система оценивания

1.	*Формулы* ***каустической***, ***питьевой***, ***кальцинированной соды*** *по 2 б*	*2*3 =* ***6 б***
2.	*Формулы веществ* ***A***, ***B***, ***D***, ***E***, ***F***, ***G*** *по 1 б (формулы* ***A, B***, ***D***, ***E*** *без подтверждения по 0,5 б). Уравнение* ***1*** *2 б, уравнения* ***2-5*** *по 1,5 б (если реакции не уравнены, по 0,5 б)*	*1*6 + 2 + 4*1 =* ***12 б***
3.	*Верный по смыслу ответ, подразумевающий* ***нагревание*** *1 б*	***1 б***
4.	*Масса чистой* ***каменной соли*** *1 б* *Количество* ***NaCl*** *1.5 б* *Количество* $\mathbf{Na_2CO_3}$ *1,5 б* *Масса* $\mathbf{Na_2CO_3}$ *1,5*	*1 + 1,5*3 =* ***5,5 б***
5.	*2 имеющих смысла примера по 1 б*	*2*1 =* ***2 б***
6.	*Уравнение реакции электролиза 2 б* *Расчет брутто-формулы хлора 1 б*	*2 + 1 =* ***2 б***
7.	*Уравнение реакции горения (взрыва) 1,5 б*	***1,5 б***
8.	*Формула кристаллогидрата 3 б*	***3 б***
		ИТОГО:34 баллов