

Всероссийская олимпиада школьников 2025-2026 учебный год

Муниципальный этап

Химия

7,8 класс

Теоретический тур

Продолжительность – 180 минут

Максимальный балл – 100

Ключи, критерии оценивания заданий

Самому замечательному и необычному веществу посвящается...

Задача 1

Самое замечательное и необычное вещество, одно из самых распространенных на Земле химических соединений – вода, простейшее устойчивое соединение водорода с кислородом. Она трижды послужила науке эталоном: *эталон* для выбора единицы температуры – градуса Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), *первым эталоном* для выбора единицы массы – грамма (г), *эталон* для выбора единицы теплоты – калории (кал). Вода относится к сравнительно небольшому числу веществ, легко переходящих все состояния: лёд тает (и превращается в жидкость), вода кипит (и превращается в водяной пар) [1], поэтому ее температура кристаллизации и температура кипения [2] были выбраны шведским астрономом Андерсом Цельсием (1742 г.) за опорные точки стоградусной температурной шкалы, которая значительно позже, с 1948 г. стала официально называться шкалой Цельсия. В 1795 г. за 1 грамм был принят вес 1 см^3 «чистой воды при температуре тающего льда», т.е. плотность чистой воды при нормальных условиях была принята равной 1 г/см^3 . Однако позже обнаружилось, что чистая вода имеет максимальную плотность не при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ (эту плотность и приняли равной $1,0000\text{ г/см}^3$) [3]. Стал известен поразительный факт: в отличие от большинства жидкостей, постоянно расширяющихся при нагревании, жидкая вода при нагревании от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ уменьшает объём, и только при дальнейшем повышении температуры вода увеличивает свой объём [4]. Необычной, или даже аномальной, способностью

воды является ее способность расширяться при замерзании. Например, при атмосферном давлении кристаллизация воды сопровождается увеличением объёма на 9% [5], поскольку лёд имеет меньшую плотность, чем жидкая вода [6]. Жидкая вода обладает очень высокой удельной теплоёмкостью – 4 184 Дж/(кг·К) при 20 °С [7]. А количество теплоты, необходимое для нагревания 1 грамма воды на 1 °С при стандартном атмосферном давлении 101 325 Па, используют как внесистемную единицу количества теплоты под названием «калория».

Количественный состав воды был установлен как получением, так и разложением её. В этом заслуга принадлежит, прежде всего А.Л. Лавуазье, который показал, что вода образуется не только при сжигании водорода, но и при накаливании оксидов металлов в струе водорода [8]. А изящный опыт по анализу воды А.Л. Лавуазье описал так: «при пропускании водяного пара через раскалённый докрасна ружейный ствол, воды разлагается нацело...; кислород, соединяясь с железом, превращает его в окалину, в то время как водное горючее начало (т.е. водород) переходит в воздухообразное состояние» [9]. Взвешивание всех веществ-участников описанного опыта, позволило А.Л. Лавуазье довольно точно определить состав воды.

Вода – реакционноспособное соединение, она способна взаимодействовать с металлами (активными и средней активности) и некоторыми неметаллами [10], с основными и кислотными оксидами [11], с солями [12].

1. *Какими цифрами обозначены физические свойства?*
2. *Какими цифрами обозначены физические явления?*
3. *Какими цифрами обозначены химические свойства?*
4. *Какими цифрами обозначены и химические явления?*

20 баллов

Решение

Физические свойства обозначены цифрами 2, 3, 6, 7. **(5 баллов)**

Физические явления обозначены цифрами 1, 4, 5. **(5 баллов)**

Химические свойства обозначены цифрами 10, 11, 12. (5 баллов)

Химические явления обозначены цифрами 8, 9. (5 баллов)

20 баллов

Задача 2

Вода является наиболее распространенным растворителем на Земле, её называют универсальным растворителем, потому что в ней растворяется больше твёрдых, жидких и газообразных веществ, чем в любом другом веществе. Водные растворы образуются вследствие взаимодействий молекул воды с частицами растворенных в ней веществ. Как правило, гидратационные взаимодействия не очень прочны, и разрушаются при выделении растворенных веществ из раствора путём выпаривания, кристаллизации и другими методами. Однако иногда такие взаимодействия могут быть настолько сильными, что при выделении растворенного вещества из раствора вода входит в состав растущего кристалла в химически связанном виде. Такие кристаллы называются кристаллогидратами, а вода, входящая в их состав – кристаллизационной. Например, свежеперекристаллизованный химически чистый пентагидрат сульфата меди (II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ имеет стехиометрический состав и содержит в 1 моль кристаллогидрата 1 моль безводной соли CuSO_4 и 5 моль воды H_2O .

Для определения массы кристаллизационной воды в кристаллогидратах их высушивают или прокаливают до постоянной массы (т.е. до полного удаления кристаллизационной воды). С этой целью свежеперекристаллизованный химически чистый кристаллогидрат хлорида бария $\text{BaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ массой 2,0000 г. просушили при температуре 120-125 °С в сушильном шкафу до постоянной массы. При этом потеря массы составила 0,2950 г.

Определите формулу кристаллогидрата (все расчёты ведите с точностью до десятичных).

20 баллов

Решение

Из условия задачи следует, что масса воды в кристаллогидрате равна 0,2950 г. **(2 балла)**

Массовая доля воды в кристаллогидрате равна:

$\omega_{\text{(воды)}} = m_{\text{(кристаллизационной воды)}} / m_{\text{(кристаллогидрата)}} = 0,2950 \text{ г} / 2,0000 \text{ г} = 0,1475$,
или 14,75%. **(5 баллов)**

Поскольку свежеперекристаллизованный химически чистый кристаллогидрат хлорида бария $\text{BaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ имеет стехиометрический состав, то число молей кристаллизационной воды в 1 моль кристаллогидрата можно определить по массовой доле воды в кристаллогидрате. **(1 балл)**

Выразив массовую долю воды по формуле кристаллогидрата, получим:

$$\omega_{\text{(воды)}} = M(\text{H}_2\text{O}) \cdot n / (M(\text{BaCl}_2) + M(\text{H}_2\text{O}) \cdot n) \quad \textbf{(2 балла)}$$

Подставим значения молярных масс:

$$\omega_{\text{(воды)}} = 18,016 \cdot n / (208,233 + 18,016 \cdot n); \quad \textbf{(5 баллов)}$$

решим полученное уравнение относительно n:

$$18,016 \cdot n / (208,233 + 18,016 \cdot n) = 0,1475$$

$$\text{Получим } n = 1,9998, \text{ или } n \approx 2 \quad \textbf{(5 баллов)}$$

Ответ: формула кристаллогидрата $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

20 баллов

Задача 3

Как известно, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Однако формула воды, которую можно записать как $^1\text{H}_2\text{}^{16}\text{O}$, или $^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$ (оба атома водорода содержат в ядре по 1 протону, а ядро атома кислорода – 8 протонов и 8 нейтронов), соответствует только самой легкой ее разновидности, мольная доля которой в природной воде составляет 99,73-99,76 мол.%. Остальные 0,24-0,27 мол. % в природной воде – другие ее разновидности, их молекулы различаются изотопным составом атомов водорода и кислорода.

В настоящее время известны 7 изотопов водорода – разновидностей химического элемента водорода с массовыми числами от 1 до 7 (в атомном

ядре количество протонов 1, нейтронов от 0 до 6). Три изотопа водорода природные (стабильные ^1H и ^2H и радиоактивный ^3H), а четыре синтетические (^4H , ^5H , ^6H и ^7H). В настоящее время известны 18 изотопов кислорода - разновидностей химического элемента кислорода с массовыми числами от 11 до 28 (в атомном ядре количество протонов 8, нейтронов от 3 до 20). Только три изотопа кислорода (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) природные и стабильные. Комбинации различных атомов-изотопов водорода и кислорода дают набор молекул-изотопологов воды (как природных, так и синтетических, как стабильных, так и нестабильных).

1. Составьте формулы всех природных изотопных разновидностей воды.
2. Укажите стабильные и нестабильные природные изотопные разновидности воды.

20 баллов

Решение

1. Всего 18 природных изотопных разновидностей воды, их формулы:

$^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^1\text{H}^{17}\text{O}$, $^1\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{17}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$, $^2\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$, $^2\text{H}^2\text{H}^{17}\text{O}$, $^2\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$, $^1\text{H}^3\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^3\text{H}^{17}\text{O}$, $^1\text{H}^3\text{H}^{18}\text{O}$, $^2\text{H}^3\text{H}^{16}\text{O}$, $^2\text{H}^3\text{H}^{17}\text{O}$, $^2\text{H}^3\text{H}^{18}\text{O}$, $^3\text{H}^3\text{H}^{16}\text{O}$, $^3\text{H}^3\text{H}^{17}\text{O}$, $^3\text{H}^3\text{H}^{18}\text{O}$

(10 баллов)

2. Всего 9 стабильных природных изотопных разновидностей воды, их формулы: $^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^1\text{H}^{17}\text{O}$, $^1\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{17}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$, $^2\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$, $^2\text{H}^2\text{H}^{17}\text{O}$, $^2\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$

(5 баллов)

3. Всего 9 нестабильных природных изотопных разновидностей воды, их формулы: $^1\text{H}^3\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^3\text{H}^{17}\text{O}$, $^1\text{H}^3\text{H}^{18}\text{O}$, $^2\text{H}^3\text{H}^{16}\text{O}$, $^2\text{H}^3\text{H}^{17}\text{O}$, $^2\text{H}^3\text{H}^{18}\text{O}$, $^3\text{H}^3\text{H}^{16}\text{O}$, $^3\text{H}^3\text{H}^{17}\text{O}$, $^3\text{H}^3\text{H}^{18}\text{O}$

(5 баллов)

20 баллов

Задача 4

Вода – реакционноспособное вещество, она способна взаимодействовать с металлами (активными и средней активности) и некоторыми неметаллами, с основными и кислотными оксидами, с солями и т.д.

В приведенных ниже уравнениях скрыты исходные вещества и показаны только продукты реакции со стехиометрическими коэффициентами, стоящими перед ними.

1. ... = $\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\uparrow$
- 2 ... = $2\text{NaOH} + \text{H}_2\uparrow$
3. ... = $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\uparrow$ (до 570 °C)
4. ... $\rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2$ (синтез-газ) (800-1000 °C)
5. ... = H_2SO_4
6. ... = $2\text{H}_3\text{PO}_4$
7. ... = 2LiOH
8. ... = Ca(OH)_2
9. ... = $2\text{Al(OH)}_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S}\uparrow$
10. ... $\xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{H}_2\uparrow$ (катод) + $\text{O}_2\uparrow$ (анод)

Закончите уравнения реакций, показав исходные вещества со стехиометрическими коэффициентами, стоящими перед ними.

20 баллов

Решение

Приведены уравнения реакций 1-10 :

1. $\text{H}_2\text{O} + \text{Ca} = \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\uparrow$
2. $2\text{H}_2\text{O} + \text{Na} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2\uparrow$
3. $4\text{H}_2\text{O}_{(\text{пар})} + 3\text{Fe} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\uparrow$ (до 570 °C)
4. $\text{H}_2\text{O} + \text{C}_{(\text{кокс})} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2$ (синтез-газ) (800-1000 °C)
5. $\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_3 = \text{H}_2\text{SO}_4$
6. $3\text{H}_2\text{O} + \text{P}_2\text{O}_5 = 2\text{H}_3\text{PO}_4$
7. $\text{H}_2\text{O} + \text{Li}_2\text{O} = 2\text{LiOH}$
8. $\text{H}_2\text{O} + \text{CaO} = \text{Ca(OH)}_2$
9. $6\text{H}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{S}_3 = 2\text{Al(OH)}_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S}\uparrow$
10. $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2\text{H}_2\uparrow$ (катод) + $\text{O}_2\uparrow$ (анод)

Каждое уравнение оценивается по 2 балла.

20 баллов

Кроссворд содержит 5 названий разновидностей воды, которые различаются по особенностям происхождения, состава или применения. Все зашифрованные в кроссворде слова являются прилагательными к слову «вода».

1		4 Ж				
2				5 Л		
3						

По вертикали: 4. Это разновидность воды с высоким содержанием растворенных солей щелочноземельных металлов, в основном, солей кальция и магния. **5.** Эта такая разновидность воды, молекулы которой содержат в основном атомы изотопа водорода ^2H (протия).

20 баллов

(4 балла)

2. Дистиллированная

(4 балла)

3. Мягкая

(4 балла)

4. Жёсткая

(4 балла)

5. Лёгкая

(4 балла)

¹ Т	я	⁴ ж	ё	л	а	я											
		ё															
² д	и	с	т	и	⁵ л	л	и	р	о	в	а	н	н	а	я		
		т			ё												
		к			г												
		а			к												
³ м	я	г	к	а	я												
					я												

Кроссворд

(20 баллов)