

Задача 1. Великолепная десятка

Все окружающие нас вещества состоят из атомов химических элементов. На данный момент известно 118 различных элементов, однако самыми распространенными из них являются только 10, на которые приходится более 99% всего того, что нас окружает. В этой задаче вам предстоит определить эти 10 элементов, а также некоторые важные вещества, в состав которых они входят. Известно, что порядковые номера этих элементов в Периодической системе химических элементов (ПСХЭ) имени Д.И. Менделеева находятся в диапазоне от 1 до 26, а символы данных элементов составлены из 17 латинских букв, которые приведены ниже в алфавитном порядке:

A	a	a	C	e	F	g	H	i	i	K	I	M	N	O	S	T
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Далее приведено краткое описание шести самых распространенных элементов в порядке уменьшения их содержания на Земле:

- элемент №1 в виде простого вещества необходим живым организмам для дыхания;
- элемент №2 входит в состав большого количества минералов и горных пород, в том числе вместе с элементом №1 образует вещество **X** – главный компонент песка;
- элемент №3 широко встречается на Земле в виде оксида **Y**, являющегося основой глинозема и некоторых драгоценных камней, например, рубина и сапфира;
- элемент №4 является главным продуктом черной металлургии, встречается в природе в виде оксидных минералов гематита ($\omega(\text{O}) = 30\%$) и магнетита ($\omega(\text{O}) = 27.59\%$);
- элемент №5 – металл, входящий в состав вещества **Z**, являющегося основой таких минералов, как мел, мрамор и известняк;
- элемент №6 образует широко известное вещество **Q** – поваренную соль, которую мы употребляем в пищу.

1. Определите символы и названия десяти самых распространенных элементов на Земле. Ответ приведите в формате «символ элемента – русское название элемента». Для определения элементов №1–6 используйте приведенные описания, а оставшиеся четыре элемента определите, взяв неиспользованные латинские буквы из списка.

2. Выпишите из списка десяти самых распространенных элементов символы неметаллов. Для каждого неметалла укажите количество протонов в ядре его атома.

3. Приведите формулы веществ **X**, **Y**, **Z**, **Q**.

4. Установите формулы минералов гематита и магнетита, ответ подтвердите расчетом.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	По приведенному описанию получаем следующие 6 самых распространенных элемента: О – кислород Si – кремний Al – алюминий Fe – железо Ca – кальций Na – натрий Из оставшихся латинских букв (g, H, i, K, M, T) при выполнении условия нахождения порядкового номера в диапазоне от 1 до 26 можно установить оставшиеся элементы: K – калий Mg – магний Ti – титан H – водород	10×1 = 10 б
2.	Неметаллами из приведенного списка являются кислород O, кремний Si и водород H. Количество протонов в ядре атома химического элемента равно его порядковому номеру в ПСХЭ, следовательно, O – 8p Si – 14p H – 1p	3×1 = 3 б
3	Главным компонентом песка является оксид кремния SiO₂, состоящий из атомов двух самых распространенных элементов. Основу глинозема и ряда драгоценных камней составляет оксид алюминия Al₂O₃, а основу мела, мрамора и известняка – карбонат кальция CaCO₃. Поваренная соль – это хлорид натрия NaCl. Таким образом, X – SiO₂ Y – Al₂O₃ Z – CaCO₃ Q – NaCl	4×1 = 4 б
4.	Состав оксидных минералов гематита и магнетита можно рассчитать по массовым долям входящих в них элементов. Формулы оксидов в общем виде – Fe_xO_y. Для гематита $x : y = 70/56 : 30/16 = 1.25 : 1.875 = 1 : 1.5 = 2 : 3$ Формула гематита – Fe₂O₃ Для магнетита $x : y = 72.41/56 : 27.59/16 = 1.293 : 1.724 = 1 : 1.3336 = 3 : 4$ Формула магнетита – Fe₃O₄	1.5 б 1.5 б
	Итого	20 баллов

Задача 2. Минеральная задача

Юный химик изучал состав и свойства разных минералов, содержащих кремний. Он составил для себя таблицу с названиями веществ в алфавитном порядке, однако при заполнении второго столбца все перепутал и написал формулы в случайном порядке:

Берилл (1)	SiO_2
Каолин (2)	Fe_2SiO_4
Кварц (3)	KAlSi_3O_8
Оливин (4)	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{H}_4\text{O}_9$
Ортоклаз (5)	$\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$

Помогите Юному химику сделать правильные соответствия «названия – формула», используя следующую информацию:

- берилл имеет наибольшую молярную массу;
- формульная единица каолина содержит 17 атомов;
- в формульной единице ортоклаза содержится 138 протонов.
- формульная единица оливина имеет массу $3.389 \cdot 10^{-22}$ г;

1. Установите правильное соответствие названия вещества (порядкового номера) и его формулы. Ответ приведите в формате «порядковый номер – формула» (таблицу переносить в лист ответов не нужно). Ответ подтвердите расчетами.

2. В каком из минералов массовая доля кремния (в %) наибольшая? Чему она равна?

3. Юный химик приготовил для опытов порошок кварца, однако в него случайно попал сахар. Опишите последовательность действий и необходимую химическую посуду и оборудование, которые потребуются Юному химику для очистки кварца от сахара (выделять сахар в твердом виде не нужно).

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Для определения правильного соответствия названий минералов и их формул необходимо рассчитать для всех приведенных формул молярные массы, количество атомов и количество протонов в их формульных единицах. Кроме того, для оливина можно рассчитать молярную массу по данным о массе его формульной единицы: $M(\text{оливина}) = 3.389 \cdot 10^{-22} \times 6.02 \cdot 10^{23} = 204 \text{ г/моль}$ Проведем необходимые расчеты для каждой формулы: $M(\text{SiO}_2) = 28 + 16 \times 2 = 60 \text{ г/моль}$ $N(\text{атомов}) = 3, \quad N(p) = 14 + 8 \times 2 = 30$ Ни одно из полученных значений не соответствует описанию минералов, тогда методом исключения определяем, что SiO_2 – кварц. $M(\text{Fe}_2\text{SiO}_4) = 56 \times 2 + 28 + 16 \times 4 = 204 \text{ г/моль} \text{ – соответствует оливину}$ $N(\text{атомов}) = 7, \quad N(p) = 26 \times 2 + 14 + 8 \times 4 = 98$ Следовательно, Fe_2SiO_4 – оливин. $M(\text{KAlSi}_3\text{O}_8) = 39 + 27 + 28 \times 3 + 16 \times 8 = 278 \text{ г/моль}$ $N(\text{атомов}) = 13, \quad N(p) = 19 + 13 + 14 \times 3 + 8 \times 8 = 138$ По количеству протонов в одной формульной единице заключаем, что KAlSi_3O_8 – ортоклаз. $M(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{H}_4\text{O}_9) = 27 \times 2 + 28 \times 2 + 1 \times 4 + 16 \times 9 = 258 \text{ г/моль}$	

	$N(\text{атомов}) = 17, \quad N(p) = 13 \times 2 + 14 \times 2 + 1 \times 4 + 8 \times 9 = 130$ По количеству атомов в одной формульной единице делаем вывод, что $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{H}_4\text{O}_9$ – каолин. $M(\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}) = 27 \times 2 + 9 \times 3 + 28 \times 6 + 16 \times 18 = 537 \text{ г/моль}$ $N(\text{атомов}) = 29, \quad N(p) = 13 \times 2 + 4 \times 3 + 14 \times 6 + 8 \times 18 = 266$ У данной формульной единицы наибольшая молярная масса, следовательно, $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ – берилл. Таким образом, 1 – $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ 2 – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{H}_4\text{O}_9$ 3 – SiO_2 4 – Fe_2SiO_4 5 – KAlSi_3O_8 <i>Примечание:</i> участнику олимпиады не обязательно приводить все расчеты для каждой формулы, для выставления полного балла достаточно расчетов, подтверждающих соответствие названия минерала и его формулы. Если приведено правильное соответствие названия формуле, но отсутствует подтверждение расчетом, то в этом случае ответ оценивается в 2 б за каждую формулу.	5×3 = 15 б
2.	Наибольшая массовая доля кремния – в кварце SiO_2: $\omega(\text{Si}) = A_r(\text{Si}) / M_r(\text{SiO}_2) = 28 / 60 = \mathbf{0.4667 (46.67\%)}$	1 б
3.	Проанализируем свойства компонентов разделяемой смеси: в отличие от кварца, сахар хорошо растворяется в воде, поэтому для их разделения можно использовать следующую последовательность действий: 1. Поместим сухую смесь в стакан (колбу), добавим воду, перемешаем с помощью стеклянной палочки. 2. Соберем установку для фильтрования: на штативе закрепим кольцо, поместим в него воронку, внутрь которой вставим фильтр (бумажный или другой). Под воронку поставим стакан для сбора фильтрата. Вольем приготовленную смесь на фильтр. Кварц останется на фильтре, а фильтрат будет представлять собой раствор сахара. Таким образом, для разделения смеси кварца и сахара потребуются: стаканы (или плоскодонные колбы), штатив с кольцом, воронка, фильтровальная бумага (или другой фильтрующий материал), стеклянная палочка. Полный балл за данный пункт выставляется, если участник олимпиады выбрал верное оборудование и описал правильную последовательность действий.	2 б 2 б
	Итого	20 баллов

Задача 3. Воздушная задача

Воздух – это газовая смесь, без которой мы не можем прожить даже несколько минут. Главными компонентами воздуха являются простые вещества **А**, **Б** и **В**, на которые суммарно приходится больше 99.8% всего объема. Газ **А** – основной компонент воздуха (78% по объему), он не поддерживает горение и не вступает в реакции при комнатной температуре. Газ **Б** (21% по объему) используется для дыхания, поэтому играет ключевую роль в процессах поддержания жизни на Земле. Газ **В** (0.9% по объему) относится к группе инертных (благородных) газов, его молярная масса в 1.25 раз больше, чем у газа **Б**. В процессе дыхания человек выдыхает в атмосферу газ **Г** взамен поглощенного газа **Б**. В выдыхаемом воздухе объемная доля **Б** составляет 16.5%, а доля **Г** – 4.5%. Средний объем вдыхаемого / выдыхаемого воздуха составляет 500 мл, средняя частота дыхания – 15 вдохов в минуту.

1. Установите формулы и названия газов **А**, **Б**, **В**, **Г**, состав газа **В** подтвердите расчетом молярной массы.

2. Рассчитайте среднюю молярную массу воздуха по формуле $M(\text{воздуха}) = M(\text{А}) \times \varphi(\text{А}) + M(\text{Б}) \times \varphi(\text{Б}) + M(\text{В}) \times \varphi(\text{В})$, где φ – объемная доля газа. Ответ приведите с точностью до второго знака после запятой. Рассчитайте массу воздуха (в кг) в помещении размером $5 \times 10 \times 3$ м при н.у.

3. Рассчитайте объем (в мл), количество моль и количество молекул газа **Б** в 500 мл воздуха.

4. Рассчитайте объем (в л при н.у) газа **Б**, который потребляет один человек за 1 час, а также массу (в г) газа **Г**, который человек выдыхает за этот же промежуток времени.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Известно, что основным компонентом воздуха является азот N₂, обладающий крайне низкой химической активностью. Второй важнейший компонент воздуха – кислород O₂, который необходим нам для дыхания. Помимо этих двух газов в состав воздуха в небольших количествах входят некоторые инертные газы. Для установления газа В рассчитаем его молярную массу. По условию: $M(\text{В}) = 1.25 \times M(\text{Б}) = 1.25 \times 32 = 40 \text{ г/моль}, \text{ что соответствует } \text{аргону Ar}$ В процессе дыхания человек поглощает кислород, а взамен выдыхает углекислый газ CO₂. Таким образом, А – N₂ – азот Б – O₂ – кислород В – Ar – аргон Г – CO₂ – оксид углерода (IV) (диоксид углерода, углекислый газ)	1 б 4×1 = 4 б
2.	Среднюю молярную массу воздуха можно рассчитать по данным об объемных долях газов в воздухе, используя приведенную в условии формулу: $M(\text{воздуха}) = 28 \times 0.78 + 32 \times 0.21 + 40 \times 0.009 = \mathbf{28.92 \text{ г/моль}}$ Расчет массы воздуха в помещении можно провести двумя способами. Для любого способа	2 б

	$V(\text{воздуха}) = V(\text{помещения}) = 5 \times 10 \times 3 = 150 \text{ м}^3 = 150000 \text{ л}$ <i>Способ 1</i> $\rho(\text{возд.}) = M / V_M = 28.92 / 22.4 = 1.291 \text{ г/л (при н.у.)}$ $m(\text{воздуха}) = V \times \rho = 150000 \times 1.291 = 193650 \text{ г} = \mathbf{193.65 \text{ кг}}$ <i>Способ 2</i> $n(\text{возд.}) = V / V_M = 150000 / 22.4 = 6696.43 \text{ моль}$ $m(\text{воздуха}) = n \times M = 6696.43 \times 28.92 = 193661 \text{ г} = \mathbf{193.66 \text{ кг}}$ <i>Примечание:</i> в качестве правильного принимается ответ, рассчитанный по любому из способов.	3 6
3	С учетом объемной доли кислорода в воздухе: $V(\text{O}_2) = V(\text{возд.}) \times \varphi(\text{O}_2) = 500 \times 0.21 = \mathbf{105 \text{ мл}}$ $n(\text{O}_2) = V / V_M = 0.105 / 22.4 = \mathbf{0.0046875 \text{ моль}}$ $N(\text{O}_2) = n \times N_A = 0.0046875 \times 6.02 \cdot 10^{23} = \mathbf{2.822 \cdot 10^{21} \text{ молекул}}$	1 6 2 6 2 6
4.	За 1 час (60 минут) человек делает $15 \times 60 = 900$ вдохов За 1 вдох/выдох человек потребляет $0.5 \times (0.21 - 0.165) = 0.0225 \text{ л}$ кислорода и выдыхает $0.5 \times 0.045 = 0.0225 \text{ л}$ углекислого газа Тогда за 1 час человек потребляет: $V(\text{O}_2) = 0.0225 \times 900 = \mathbf{20.25 \text{ л}}$ При этом он выдыхает: $m(\text{CO}_2) = M \times n = M \times V / V_M = 44 \times 20.25 / 22.4 = \mathbf{39.78 \text{ г}}$	1 6 2 6 2 6
	Итого	20 баллов

Задача 4. Водная задача

Основная часть гидросферы нашей планеты приходится на Мировой океан, объем которого составляет $1.34 \cdot 10^9$ (1340 млн) км^3 . Хорошо известно, что вода морей и океанов является соленой, среднее содержание солей в Мировом океане равно 35 г/л. Данные соли в основном содержат следующие элементы: хлор, натрий, магний, серу и кальций. При анализе пробы океанической воды массой 20 г в ней было обнаружено 390 мг хлора, 216 мг натрия и 26 мг магния.

1. Рассчитайте массовую долю (в %) хлора, натрия и магния в океане.
2. Рассчитайте количество молей и количество атомов натрия в 1 м^3 океана, а также массу натрия (в кг) во всем Мировом океане. Плотность океана примите равной 1000 кг/м^3 .
3. В некоторых странах океаническую воду опресняют, а затем используют для питья и бытовых нужд. Как называется способ очистки воды от содержащихся в ней примесей? Какую посуду и оборудование необходимо использовать в химической лаборатории, чтобы провести такую очистку?
4. Составьте формулы всех возможных бинарных солей из элементов, содержащихся в Мировом океане (хлор, натрий, магний, сера, кальций). Назовите полученные соли.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Массовые доли элементов в океане: $\omega(\text{Cl}) = 0.39 / 20 = 0.0195$ (1.95%) $\omega(\text{Na}) = 0.216 / 20 = 0.0108$ (1.08%) $\omega(\text{Mg}) = 0.026 / 20 = 0.0013$ (0.13%)	3×1 = 3 б
2.	В 1 м³ океана содержится: $m(\text{воды}) = V \times \rho = 1 \times 1000 = 1000 \text{ кг} = 10^6 \text{ г}$ $m(\text{Na}) = m(\text{воды}) \times \omega(\text{Na}) = 10^6 \times 0.0108 = 10800 \text{ г}$ $n(\text{Na}) = m / M = 10800 / 23 = \mathbf{469.565 \text{ моль}}$ $N(\text{Na}) = n \times N_A = 469.565 \times 6.02 \cdot 10^{23} = \mathbf{2.827 \cdot 10^{26} \text{ атомов}}$ Объем всего Мирового океана составляет: $V(\text{океана}) = 1.34 \cdot 10^9 \text{ км}^3 = 1.34 \cdot 10^9 \times 10^9 = 1.34 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$ $m(\text{океана}) = 1.34 \cdot 10^{18} \times 1000 = 1.34 \cdot 10^{21} \text{ кг}$ $m(\text{Na}) = 1.34 \cdot 10^{21} \times 0.0108 = \mathbf{1.4472 \cdot 10^{19} \text{ кг}}$	2 б 2 б 3 б
3	Для очистки воды от содержащихся в ней растворимых солей используют метод дистилляции (перегонки). Для этой цели обычно используют специальные аппараты – дистилляторы. Чтобы провести очистку воды данным методом в химической лаборатории, необходимо собрать установку для перегонки. Для этого потребуется следующая посуда: круглодонная перегонная колба с боковым отводом (колба Вюрца либо комбинация круглодонной колбы с насадкой Вюрца), холодильник, аллонж, приемная колба. В качестве оборудования необходимо использовать лабораторный штатив для закрепления элементов установки и нагревательный прибор (электроплитка или иной прибор, но не спиртовка). <i>Примечание:</i> если участник олимпиады указал всю необходимую посуду, то его ответ оценивается полным баллом, частично правильный ответ следует оценить в 1 балл.	1 б 2 б (посуда) 1 б (оборудование)
4.	При составлении формул бинарных солей следует учесть, что они должны включать атомы металла и кислотные остатки бескислородных кислот (атомы неметаллов). Из элементов, содержащихся в Мировом океане, натрий, магний и кальций являются металлами, а хлор и сера – неметаллами, которым соответствуют бескислородные соляная HCl и сероводородная H₂S кислоты. Таким образом, из данной комбинации элементов можно составить формулы шести бинарных солей: NaCl – хлорид натрия Na₂S – сульфид натрия MgCl₂ – хлорид магния MgS – сульфид магния CaCl₂ – хлорид кальция CaS – сульфид кальция	6×1 = 6 б
	Итого	20 баллов

Задача 5. Почвенная задача

Литосфера Земли сложена преимущественно минеральными неорганическими породами, однако самая интересная ее часть – это почва, которая обладает плодородием и обеспечивает возможность роста растений. Одним из важнейших компонентов почвы является гумус – комплекс органических веществ сложного состава. Например, в состав гумуса входят вещества с формулами $C_9H_{10}O_4$ (**X**) и $C_{154}H_{168}O_{45}N_2$ (**Y**). Помимо этого, большую роль в развитии растений играют такие макроэлементы, как азот, калий и фосфор. При интенсивном ведении сельского хозяйства эти вещества активно расходуются, поэтому должны систематически вноситься в почву в виде удобрений.

1. Рассчитайте относительные молекулярные массы веществ **X** и **Y**, а также массовые доли (в %) всех элементов в веществе **Y**.

2. Приведите формулы и названия трех соединений, которые можно использовать в качестве калийных удобрений для восполнения дефицита калия в почве (растворимые соли сильных кислот).

3. Одно из наиболее распространенных азотных удобрений – мочевина (карбамид). Известно, что молекула мочевины содержит по массе 46.667% азота, 6.667.% водорода, 20% углерода и кислород. Выведите молекулярную формулу мочевины.

4. Для подкормки растений в некотором фермерском хозяйстве с общей площадью почв 5 км^2 нужно внести 5 г азота на 1 м^2 площади. Рассчитайте массу мочевины (в кг), которую нужно внести в почву данного фермерского хозяйства для восполнения дефицита азота.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	$M_r(X) = 12 \times 9 + 1 \times 10 + 16 \times 4 = \mathbf{182}$ $M_r(Y) = 12 \times 154 + 1 \times 168 + 16 \times 45 + 14 \times 2 = \mathbf{2764}$ Содержание элементов во втором веществе: $\omega(C) = 12 \times 154 / 2764 = 0.6686$ (66.86%) $\omega(H) = 1 \times 168 / 2764 = 0.0608$ (6.08%) $\omega(O) = 16 \times 45 / 2764 = 0.2605$ (26.05%) $\omega(N) = 14 \times 2 / 2764 = 0.0101$ (1.01%)	2 6 2 6 1 6 1 6 1 6 1 6
2.	В качестве калийных удобрений можно использовать многие растворимые соли калия, например: KNO₃ – нитрат калия KCl – хлорид калия K₂SO₄ – сульфат калия <i>Примечание:</i> в качестве правильного ответа также засчитываются KBr, KI и любые другие соли сильных минеральных кислот.	3×1 = 36 (формулы) 3×1 = 36 (названия)
3	Запишем формулу мочевины в виде N _x H _y C _z O _k $\omega(O) = 100 - 46.667 - 6.667 - 20 = 26.666\%$ $x : y : z : k = 46.667/14 : 6.667/1 : 20/12 : 26.667/16 =$ $= 3.3334 : 6.667 : 1.6667 : 1.6667 = 2 : 4 : 1 : 1$ Искомая формула мочевины – N₂H₄CO	3 6
4.	В фермерском хозяйстве S(почвы) = 5 км ² = 5 · 10 ⁶ м ² Общая масса азота, которую требуется внести на данную площадь: $m(N) = 5 \cdot 10^6 \times 5 = 2.5 \cdot 10^7 \text{ г} = 25000 \text{ кг}$ m(мочевины) = 25000 / 0.46667 = 53571 кг	3 6
	Итого	20 баллов