

Задача 1. Таблица с формулами

В представленной ниже таблице «спрятаны» химические формулы семи веществ, играющих важную роль в пищевой химии, информация о них приведена ниже. В клетке может находиться либо символ химического элемента, либо индекс в формуле. Формулы могут быть расположены горизонтально слева направо и вертикально сверху вниз. В качестве примера выделена формула $C_{57}H_{110}O_6$ (усредненная формула жиров). Формулы в таблице не пересекаются, то есть каждая клетка принадлежит только одной формуле. Некоторые клетки не входят в состав никаких формул и останутся незадействованными.

C	20	H	30	C	2	H	5	N	10	C	S
8	C	6	H	10	C	9	H	8	O	2	C
H	5	N	8	H	12	C	3	H	6	O	3
8	H	6	O	16	C	4	S	7	S	9	H
O	12	N	5	C	7	H	5	O	2	Na	5
3	O	4	Na	2	C	57	H	110	O	6	N
C	5	O	C	6	H	12	O	3	N	S	Na

Бензоат натрия – распространенный консервант, содержащий 58.333% C, 3.472% H, 22.222% O и 15.972% Na по массе.

Ванилин – ароматизатор кондитерских изделий с запахом ванили. В состав его молекулы входят атомы углерода, водорода и кислорода, причем общее количество атомов равно 19, а количество атомов углерода равно количеству атомов водорода. Общее количество протонов в одной молекуле ванилина равно 80.

Молочная кислота – важный компонент кисломолочных продуктов, имеет молярную массу менее 100 г/моль. Массовая доля углерода в ней равна 40%, кислорода – 53.33%.

Ксилит – подсластитель, одна молекула которого имеет массу $2.525 \cdot 10^{-22}$ г. В состав молекулы ксилита входят углерод, водород и кислород, массовая доля углерода равна 39.47%, мольные доли углерода и кислорода равны.

Лимонен – ароматизатор, придающий продукту аромат цитрусовых. Молекула лимонена состоит только из атомов углерода и водорода, количество которых различается в 1.6 раза.

Коричный альдегид – ароматизатор, придающий продукту аромат корицы. Его молярная масса равна 132 г/моль, из которых 81.82% приходится на углерод.

Цикламат натрия – синтетический подсластитель, содержащий углерод, водород, азот, кислород, серу и еще один химический элемент.

1. Определите формулу каждого из описанных веществ. Ответ приведите в формате «название соединения – формула», подтвердите расчетом и/или проверкой. Перерисовывать таблицу в лист ответов не нужно. Учтите, что формула каждого вещества начинается с атома углерода, на втором месте стоит атом водорода.

2. Рассчитайте молярную массу цикламата натрия в г/моль и количество электронов в одной формульной единице этого вещества.

3. Из формул найденных веществ выпишите все неметаллы, находящиеся во втором периоде ПСХЭ имени Д.И. Менделеева, расположите их в порядке усиления неметаллических свойств.

Задача 1. Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	<p>А) Бензоат натрия – $C_xH_yO_zNa_w$ $x : y : z : w = 58.333/12 : 3.472/1 : 22.222/16 : 15.972/23 =$ $= 4.861 : 3.472 : 1.389 : 0.694 = 7 : 5 : 2 : 1$, формула – $C_7H_5O_2Na$</p> <p>Б) Ванилин – $C_xH_yO_z$ По условию $x + y + z = 19$ Каждый атом углерода содержит 6 протонов, атом водорода – 1 протон, атом кислорода – 8 протонов, следовательно, $6x + y + 8z = 80$ Учитывая, что $x = y$, преобразуем уравнения и составим систему: $\begin{cases} 2x + z = 19 \\ 7x + 8z = 80 \end{cases}$ получаем $x = y = 8, z = 3$, формула – $C_8H_8O_3$.</p> <p>В) Молочная кислота – $C_xH_yO_z$ $x : y : z = 40/12 : 6.67/1 : 53.33/16 = 3.333 : 6.67 : 3.333 = 1 : 2 : 1$ Простейшая формула – CH_2O. По условию $M < 100$ г/моль. Этому условию удовлетворяют формулы CH_2O, $C_2H_4O_2$, и $C_3H_6O_3$, но только последняя из них присутствует в таблице, то есть формула молочной кислоты – $C_3H_6O_3$.</p> <p>Г) Ксилит – $C_xH_yO_z$ $M(\text{ксилита}) = m \times N_a = 2.525 \cdot 10^{-22} \times 6.02 \cdot 10^{23} = 152$ г/моль На атомы углерода приходится $12x/152 = 0.3947$, откуда $x = 5$ Так как мольные доли углерода и кислорода равны, то $z = x = 5$ Тогда на атомы водорода приходится $152 - 5 \times 12 - 5 \times 16 = y$, откуда $y = 12$, то есть формула ксилита – $C_5H_{12}O_5$.</p> <p>Д) Лимонен – C_xH_y По условию $y = 1.6x$. Поскольку индексы должны быть целыми, то условию соответствует ряд формул $C_5H_8, C_{10}H_{16}, C_{15}H_{24}, C_{20}H_{32} \dots$. Из данного ряда в таблице присутствует только формула $C_{10}H_{16}$.</p> <p>Е) Коричный альдегид – $C_xH_yO_z$ На атомы углерода приходится $12x/132 = 0.8182$, откуда $x = 9$ Тогда на остальные атомы приходится $132 - 12 \times 9 = 24$ г/моль Это не могут быть только атомы водорода (формула не будет подходить по валентности углерода), поэтому логично предположить, что в составе есть атом кислорода, на который приходится 16 г/моль, тогда на атомы водорода остается $24 - 16 = 8$ г/моль, что соответствует восьми атомам. Действительно, в таблице находим формулу C_9H_8O.</p> <p>Ж) Цикламат натрия – $C_xH_yN_zO_wS_qNa_p$ (наличие натрия очевидно из названия вещества). Так как в условии для данного вещества нет количественных данных, рассмотрим таблицу. В ней есть только один горизонтальный ряд, включающий последовательность названных элементов, формула – $C_6H_{12}O_3NSNa$. Таким образом,</p> <p>Бензоат натрия – $C_7H_5O_2Na$ Ванилин – $C_8H_8O_3$ Молочная кислота – $C_3H_6O_3$ Ксилит – $C_5H_{12}O_5$</p>	<p>2 6</p> <p>2 6</p> <p>2 6</p> <p>2 6</p>

	Лимонен – C₁₀H₁₆ Коричный альдегид – C₉H₈O Цикламат натрия – C₆H₁₂O₃NSNa Без расчетов/проверки за каждое вещество (кроме цикламата натрия) ставится по 1 баллу.	2 б 2 б 2 б
2.	$M(C_6H_{12}O_3NSNa) = 6 \times 12 + 12 \times 1 + 3 \times 16 + 14 + 32 + 23 = \mathbf{201 \text{ г/моль}}$ Количество электронов в атоме равно его порядковому номеру в ПСХЭ. С учетом числа каждого вида атомов в формульной единице цикламата натрия $N(e) = 6 \times 6 + 12 \times 1 + 3 \times 8 + 7 + 16 + 11 = \mathbf{106}$	2 б 2 б
3.	Неметаллы второго периода ПСХЭ, встречающиеся в зашифрованных формулах – углерод С, азот N и кислород O. В периоде слева направо неметаллические свойства элементов усиливаются, следовательно, получим ряд С → N → O .	1 б 1 б
	Итого	20 баллов

Задача 2. Сахарозаменители

В настоящее время широкое распространение получили сахарозаменители, многие из них используются для снижения калорийности продуктов или предназначены для больных сахарным диабетом, которым противопоказано употребление глюкозы и сахарозы. Наиболее известными сахарозаменителями являются сахарин $C_7H_5NO_3S$ и аспартам $C_{14}H_{18}N_2O_5$. Сахарин слаще сахара примерно в 500 раз, а аспартам – в 250 раз.

1. По одному из рецептов в 1 кг песочного теста добавляют 500 мг сахарина. Рассчитайте массовую долю (%) сахарина и массу атомов серы (мг) в полученном тесте.

2. Считается, что сладкий вкус сахарина будет чувствоваться в растворе уже при массовой концентрации 0.001%. Рассчитайте, какую минимальную массу (г) сахарина нужно добавить в цистерну с водой объемом 125 м^3 для получения требуемой концентрации. Сколько молекул сахарина будет содержаться в 1 мл полученного раствора?

3. Напишите уравнение реакции сгорания аспартама в кислороде, если известно, что в результате образуются углекислый газ, вода и азот. Рассчитайте объем азота (в л при н.у.), который выделится при сгорании 147 г аспартама.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	В полученном песочном тесте $\omega(\text{сахарина}) = 0.5 / 1000.5 = 5 \cdot 10^{-4}$ или 0.05% $M_r(C_7H_5NO_3S) = 7 \times 12 + 5 \times 1 + 14 + 3 \times 16 + 32 = 183$ $\omega(S) = 32 / 183 = 0.175$ (17.5%) $m(S) = 500 \times 0.175 = \mathbf{87.5 \text{ мг}}$	2 б 4 б
2.	Т.к. $\rho(H_2O) = 1000 \text{ кг/м}^3$, то $m(H_2O) = 125000 \text{ кг} = 125 \cdot 10^6 \text{ г}$. $m(\text{сахарина}) = 125000 \times 0.00001 = 1.25 \text{ кг} = \mathbf{1250 \text{ г}}$ В 1 мл полученного раствора $m(\text{сахарина}) = 1250 / 125 \cdot 10^6 = 10^{-5} \text{ г}$ $n(\text{сахарина}) = 10^{-5} / 183 = 5.46 \cdot 10^{-8} \text{ моль}$ $N(\text{сахарина}) = 5.46 \cdot 10^{-8} \times 6.02 \cdot 10^{23} = \mathbf{3.29 \cdot 10^{16} \text{ молекул}}$	3 б 4 б
3.	Уравнение реакции сгорания аспартама: $C_{14}H_{18}N_2O_5 + 16O_2 = 14CO_2 + 9H_2O + N_2$ $M(C_{14}H_{18}N_2O_5) = 14 \times 12 + 18 \times 1 + 2 \times 14 + 5 \times 16 = 294 \text{ г/моль}$ $n(\text{аспартама}) = 147 / 294 = 0.5 \text{ моль}$ По уравнению реакции $n(N_2) = n(\text{аспартама}) = 0.5 \text{ моль}$ $V(N_2) = 0.5 \times 22.4 = \mathbf{11.2 \text{ л}}$	3 б 4 б
	Итого	20 баллов

Задача 3. Пекарский порошок

Пекарский порошок – это смесь питьевой соды (NaHCO_3), лимонной кислоты ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) и муки, которая используется в качестве разрыхлителя теста. При внесении данного порошка в воду выделяется газ **X** с плотностью 1.964 г/л (при н.у.), который и делает тесто пышным.

Кулинар-любитель решил приготовить такой порошок самостоятельно. Для этого он взял 0.357 моль питьевой соды, $6.27 \cdot 10^{22}$ молекул лимонной кислоты и добавил такое количество муки, чтобы суммарная масса порошка стала равной 100 г. Приготовленный порошок он использовал при приготовлении теста для пирогов.

1. Рассчитайте относительную молекулярную массу и массовые доли (в %) всех элементов в питьевой соде.

2. Рассчитайте молярную массу газа **X** и определите, что это за газ. Приведите его химическую формулу и название. Что произойдет при внесении в газ **X** горящей лучины? О чем это свидетельствует?

3. Рассчитайте массовые доли (в %) всех компонентов в пекарском порошке, приготовленном кулинаром-любителем.

4. Каким способом можно отделить муку от остальных компонентов пекарского порошка? Какое лабораторное оборудование понадобится для этого? Учтите, что питьевая сода и лимонная кислота растворимы в воде.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	$M_r(\text{NaHCO}_3) = 23 + 1 + 12 + 3 \times 16 = 84$ $\omega(\text{Na}) = 23 / 84 = 0.2738$ (27.38%) $\omega(\text{H}) = 1 / 84 = 0.0119$ (1.19%) $\omega(\text{C}) = 12 / 84 = 0.1429$ (14.29%) $\omega(\text{O}) = 3 \times 16 / 84 = 0.5714$ (57.14%)	1 б 1 б 1 б 1 б 1 б
2.	$M(\text{X}) = 1.964 \times 22.4 = 44$ г/моль Формула газа – CO_2 Название – оксид углерода (IV), диоксид углерода, углекислый газ При внесении горящей лучины в углекислый газ она тухнет. Это свидетельствует о том, что углекислый газ не поддерживает горения.	1 б 1 б 1 б 1 б 1 б
3.	В полученном пекарском порошке $m(\text{NaHCO}_3) = 0.357 \times 84 = 30$ г $n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7) = 6.27 \cdot 10^{22} / 6.02 \cdot 10^{23} = 0.1042$ моль $m(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7) = 0.1042 \times 192 = 20$ г $\omega(\text{питьевой соды}) = 30 / 100 = 0.3$ (30%) $\omega(\text{лимонной кислоты}) = 20 / 100 = 0.2$ (20%) $\omega(\text{муки}) = 100 - 30 - 20 = 50\%$	1 б 2 б 1 б 1 б 1 б
4.	Из перечисленных компонентов смеси питьевая сода и лимонная кислота растворимы в воде, а мука в воде не растворяется, поэтому для разделения полученную смесь нужно поместить в воду, а затем провести фильтрование муки. Также засчитывается метод отстаивание (декантация) Для фильтрования понадобятся воронка и/или фильтр (фильтровальная бумага).	2 б 2 б
	Итого	20 баллов

Задача 4. Усилитель вкуса

Пищевая добавка E621 – усилитель вкуса глутамат натрия $C_5H_8NO_4Na$, добавляемый во многие продукты, в том числе в чипсы. Данная пищевая добавка является солью природной аминокислоты, применяется в пищевой промышленности с начала XX века и передает так называемый «мясной» вкус. Для проявления оптимального вкуса продукта в него следует добавлять 0.5 масс.% глутамата натрия.

1. Рассчитайте молярную массу и массу одной формульной единицы глутамата натрия (в г).

2. Рассчитайте массу (в г) и количество атомов углерода, которые попадут в организм человека, если он съест упаковку чипсов массой 200 г.

3. Предположим, что на некотором предприятии суточное производство чипсов составляет 2500 упаковок по 200 г. Рассчитайте массу глутамата натрия (кг), которая требуется данному предприятию для производства чипсов в течение недели.

4. Растворимость глутамата натрия составляет 74 г на 100 мл воды. Рассчитайте массовую долю глутамата натрия в насыщенном растворе (%). Какую массу глутамата (г) и какой объем воды (мл) нужно взять для приготовления 1 кг насыщенного раствора?

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	$M(C_5H_8NO_4Na) = 5 \times 12 + 8 \times 1 + 14 + 4 \times 16 + 23 = 169 \text{ г/моль}$ $m(C_5H_8NO_4Na) = 169 / 6.02 \cdot 10^{23} = 2.81 \cdot 10^{-22} \text{ г}$	1 б 2 б
2.	В одной упаковке чипсов $m(\text{глутамата}) = 200 \times 0.005 = 1 \text{ г}$ В глутамате натрия $\omega(C) = 5 \times 12 / 169 = 0.355$ (35.5%) $m(C) = 1 \times 0.355 = 0.355 \text{ г}$ $n(C) = 0.355 / 12 = 0.0296 \text{ моль}$ $N(C) = 0.0296 \times 6.02 \cdot 10^{23} = 1.78 \cdot 10^{22} \text{ атомов}$	3 б 3 б
3.	В течение недели на предприятии будет произведено $m(\text{чипсов}) = 2500 \times 200 \times 7 = 3500000 \text{ г} = 3500 \text{ кг}$ Для этого потребуется $m(\text{глутамата}) = 3500 \times 0.005 = 17.5 \text{ кг}$	5 б
4.	В насыщенном растворе глутамата натрия $\omega(\text{глутамата}) = 74 / (100 + 74) = 0.4253$ (42.53%) Для приготовления 1 кг насыщенного раствора необходимо $m(\text{глутамата}) = 1000 \times 0.4253 = 425.3 \text{ г}$ $m(\text{воды}) = 1000 - 425.3 = 574.7 \text{ г}$ $V(\text{воды}) = 574.7 \text{ мл}$	2 б 2 б 2 б
	Итого	20 баллов

Задача 5. Молекулярная кухня

Молекулярная кухня – одно из самых модных и экзотических направлений высокой кулинарии, с помощью которого можно приготовить апельсиновые спагетти, мороженое со вкусом мяса, чай из говядины и другие необычные блюда. В основе их приготовления лежат разнообразные физико-химические процессы, позволяющие изменять консистенцию блюда и добиваться оригинальных текстур. Для этого часто применяют широко известные химические вещества, но в необычных для них состояниях.

Так, для шоковой заморозки блюд, позволяющей сохранить их цвет и натуральный вкус, в молекулярной кухне применяется жидкий азот, имеющий температуру кипения -196°C . При контакте с продуктами жидкий азот начинает эффектно переходить в газообразное состояние. Для создания ярких ароматов используют твердый углекислый газ – «сухой лед», который при комнатной температуре также переходит в газообразное состояние. Плотность жидкого азота равна 0.808 г/см^3 , а плотность сухого льда – 1.56 г/см^3 . Для перевода жидкого азота в газообразное состояние требуется 5.6 кДж/моль теплоты, для сухого льда – 26 кДж/моль .

1. Запишите химические формулы азота и углекислого газа. Для углекислого газа рассчитайте относительную плотность по водороду и абсолютную плотность в г/л (при н.у.).

2. Углекислый газ можно получить при действии соляной кислоты на школьный мел (карбонат кальция). Напишите уравнение этой реакции.

3. Как называются процессы перехода жидкого азота и сухого льда в газообразное состояние? Какие это процессы – физические или химические? Ответ аргументируйте. Рассчитайте, во сколько раз увеличатся объемы жидкого азота и сухого льда при переходе в газообразное состояние (при н.у.).

4. Рассчитайте количество теплоты (кДж), которое потребуется для перевода в газообразное состояние 50 г жидкого азота и 50 г сухого льда.

Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	Азот – N_2 Углекислый газ – CO_2 Для углекислого газа $D_{\text{H}_2} = M(\text{CO}_2) / M(\text{H}_2) = 44 / 2 = 22$ $\rho = M(\text{CO}_2) / V_m = 44 / 22.4 = 1.964 \text{ г/л}$	1 б 1 б 1 б 1 б
2.	$\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	3 б
3.	Переход азота из жидкого состояния в газообразное – испарение . Переход углекислого газа из твердого состояния в газообразное – возгонка (сублимация) . Испарение и возгонка – это физические процессы , поскольку в них не происходит изменений в составе веществ, изменяется только агрегатное состояние. Пусть $V(\text{N}_2)_{\text{ж}} = V(\text{CO}_2)_{\text{тв}} = V \text{ см}^3$ $m(\text{N}_2) = 0.808V \text{ г}$ $n(\text{N}_2) = 0.808V / 28 = 0.0289V \text{ моль}$ $V(\text{N}_2)_{\text{газ}} = 0.0289V \times 22.4 = 0.647V \text{ л} = 647V \text{ мл}$ $V(\text{N}_2)_{\text{газ}} / V(\text{N}_2)_{\text{ж}} = 647V / V = 647$ $m(\text{CO}_2) = 1.56V \text{ г}$	1 б 1 б 1 б 3 б

	$n(\text{CO}_2) = 1.56V / 44 = 0.0355V$ моль $V(\text{CO}_2)_{\text{газ}} = 0.0355V \times 22.4 = 0.795V$ л = 795V мл $V(\text{CO}_2)_{\text{газ}} / V(\text{CO}_2)_{\text{ж}} = 795V / V = \mathbf{795}$	3 б
4.	$n(\text{N}_2) = 50 / 28 = 1.786$ моль $Q_1 = 5.6 \times 1.786 = \mathbf{10}$ кДж $n(\text{CO}_2) = 50 / 44 = 1.136$ моль $Q_2 = 26 \times 1.136 = \mathbf{29.5}$ кДж	2 б 2 б
	Итого	20 баллов