**Задание 1.** (авторы Р.А. Бредихин, В.А. Емельянов).

1. Количество протонов определяет заряд ядра и совпадает с порядковым номером элемента в Периодической системе. Массовое число изотопа складывается из суммы числа протонов и нейтронов. Для того чтобы определить количество нейтронов, необходимо из массового числа изотопа вычесть количество протонов. Количество электронов в электронейтральном атоме (атом как целое не имеет электрического заряда) равно количеству протонов, причем, в то время как протоны и нейтроны сконцентрированы в ядре, электроны находятся вне его и занимают большую часть объема атома. В состав ядра атома электроны не входят.

Изотоп	Состав ядра			Состав атома		
	¹ H	³² S	³⁷ Cl	¹³ C	¹⁵ N	¹⁸ O
Протоны	1	16	17	6	7	8
Нейтроны	0	16	20	7	8	10
Электроны	0	0	0	6	7	8

2. Самые распространенные на Земле изотопы элементов, входящих в состав молекул витаминов **B₁** и **B₂**, это ¹H, ¹²C, ¹⁴N, ¹⁶O, ³²S, ³⁵Cl.

Количество протонов n_{p+} в молекуле **B₁**: $6 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 17 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 + 16 = 176$.

Количество протонов n_{p+} в молекуле **B₂**: $6 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 198$.

Количество нейтронов n_n в молекуле **B₁**: $6 \cdot 12 + 18 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 + 16 = 160$.

Количество нейтронов n_n в молекуле **B₂**: $6 \cdot 17 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 178$.

3. Согласно определению массовой доли $\omega = m_{\text{вещества}} / m_{\text{смеси}}$.

Витамин **A**: $m_A / m_{\Sigma} = 1,38/500 = 0,00276$ или 0,276 %;

Витамин **B₁**: $m_{B1} / m_{\Sigma} = 1,0/500 = 0,002$ или 0,2 %;

Витамин **B₂**: $m_{B2} / m_{\Sigma} = 1,0/500 = 0,002$ или 0,2 %;

Витамин **C**: $m_C / m_{\Sigma} = 35,0/500 = 0,07$ или 7 %.

4. Сначала вычислим молекулярные массы этих витаминов.

Витамин **A**: $M_A = 12 \cdot 36 + 1 \cdot 60 + 16 \cdot 2 = 432 + 60 + 32 = 524$ а.е.м.

Витамин **C**: $M_C = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 8 + 16 \cdot 6 = 72 + 8 + 96 = 176$ а.е.м.

В 1 г содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ а.е.м., следовательно, масса одной молекулы витамина **A** составит $524 / (6,02 \cdot 10^{23}) = 8,7 \cdot 10^{-22}$ г.

В 1 драже содержится 35 мг или $35 \cdot 10^{-3}$ г витамина **C**, что составляет $v_C = m_C / M_C = 35 \cdot 10^{-3} / 176 = 1,9886 \cdot 10^{-4}$ моль или $1,99 \cdot 10^{-4} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,20 \cdot 10^{20}$ молекул.

5. Чтобы сравнивать количество молекул, не обязательно считать именно его, достаточно посчитать и сравнить количество каждого вещества в молях. Вычислим молекулярные массы витаминов **B₁** и **B₂**, которые мы еще не считали.

Витамин **B₁**: $M_{B1} = 12 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 35,5 \cdot 2 + 14 \cdot 4 + 16 + 32 = 144 + 18 + 71 + 56 + 16 + 32 = 337$ а.е.м.

Витамин **B₂**: $M_{B2} = 12 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 14 \cdot 4 + 16 \cdot 6 = 204 + 20 + 56 + 96 = 376$ а.е.м.

Теперь вычислим количество каждого витамина **A**, **B₁** и **B₂** в молях в составе одного драже.

$v_A = 1,38 \cdot 10^{-3} / 524 = 2,63 \cdot 10^{-6}$, $v_{B1} = 1 \cdot 10^{-3} / 337 = 2,97 \cdot 10^{-6}$, $v_{B2} = 1 \cdot 10^{-3} / 376 = 2,66 \cdot 10^{-6}$ моль.

Таким образом, из предложенных трех витаминов, **A**, **B₁** и **B₂**, в составе препарата больше всего молекул витамина **B₁**, а меньше всего молекул витамина **A**.

6. Количество молекул каждого из витаминов, содержащихся в одном драже препарата, будет равно количеству молей каждого из них, умноженному на число Авогадро.

$$\text{Следовательно, } n_{\text{молекул}} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot (v_A + v_{B1} + v_{B2} + v_C) = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-6} \cdot (2,63 + 2,97 + 2,66 + 198,86) = 1,25 \cdot 10^{20}.$$

7. Для того, чтобы найти общее количество атомов, сначала надо найти количество атомов в составе каждого из витаминов, а потом сложить эти цифры.

$$\text{Следовательно, } n_{\text{атомов}} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot (98v_A + 38v_{B1} + 47v_{B2} + 20v_C) = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-6} \cdot (98 \cdot 2,63 + 38 \cdot 2,97 + 47 \cdot 2,66 + 20 \cdot 198,86) = 2,69 \cdot 10^{21}.$$

8. По условию задачи весь углерод, входивший в состав витаминов, выделился из организма в виде углекислого газа. Поскольку из одного атома углерода получается одна молекула CO_2 , рассчитаем количество углерода, входящего в состав витаминов, для 100 драже.

$$v_{\text{CO}_2} = v_C = 100 \cdot (36v_A + 12v_{B1} + 17v_{B2} + 6v_C) = 100 \cdot 10^{-6} \cdot (36 \cdot 2,63 + 12 \cdot 2,97 + 17 \cdot 2,66 + 6 \cdot 199) = 0,137 \text{ моль.}$$

Масса выделившегося углекислого газа составит $0,137 \cdot 44 = 6,03$ г, его объем при нормальных условиях $0,137 \cdot 22,4 = 3,07$ л.

Система оценивания:

1. Составы ядер и атомов по 1 б.	$1 \times 6 = 6$ б.
2. Количество протонов и нейтронов в каждой из молекул по 1 б.	$1 \times 4 = 4$ б.
3. Массовые доли каждого витамина по 1 б.	$1 \times 4 = 4$ б.
4. Масса молекулы 2 б., количество молекул 2 б.	$2 + 2 = 4$ б.
5. Верные ответы по 1 б.	$1 + 1 = 2$ б.
6. Общее количество молекул 2 б.	2 б.
7. Общее количество атомов 2 б.	2 б.
8. Масса CO_2 3 б. (за верное количество 2 б.), объем 1 б.	$3 + 1 = 4$ б.
Всего	28 баллов

Задание 2. (автор О.Г. Сальников).

1. Из предисловия к задаче следует, что **X** – сера. Тогда **A** – S_8 (в качестве верного ответа засчитывается и **S**), **B** – H_2S , **C** – SO_2 . При взаимодействии SO_2 с хлором и PCl_5 образуются сульфурилхлорид SO_2Cl_2 (**N**) и тионилхлорид SOCl_2 (**D**).

Найдём молярные массы **M** всех неизвестных веществ, для которых дано содержание серы (в расчёте на один атом серы). Для этого используем формулу $M = 32,06/\omega(\text{S})$. Также найдём массу, приходящуюся на все остальные элементы. Получим следующую таблицу:

Вещество	E	I	M	O	P
M , г/моль	40,06	135,16	67,55	96,74	107,51
[M – M(S)] , г/моль	8,00	103,10	35,49	64,68	75,45

В бинарном веществе **E** на второй элемент (**O**, **Cl** или **Ag**) приходится только 8 г/моль в расчёте на один атом серы. Тогда единственный возможный вариант – это S_2O .

При окислении SO_2 кислородом образуется SO_3 (**F**), взаимодействие которого с водой приводит к образованию H_2SO_4 (**G**). В реакции серной кислоты с 1 эквивалентом KOH образуется KHSO_4 (**H**). Нагревание гидросульфата калия приводит к его дегидратации с образованием дисульфата $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (**J**). Осталось определить продукт электролиза KHSO_4 . На остальные элементы (**K**, **H**, **O**) приходится 103,10 г/моль (в расчёте на один атом серы), что соответствует KO_4 . Однако вещество KSO_4 не подходит, так как соединение с таким составом должно иметь серу или кислород с нечётной валентностью. Значит, **I** – это $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$.

При взаимодействии с NaOH диоксид серы образует сульфит натрия Na_2SO_3 (**K**). Дальнейшая реакция с серой приводит к получению тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (**L**). Взаимодействие $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ с иодом приводит к образованию вещества **M**. Так как по условию это вещество содержит два типа атомов се-

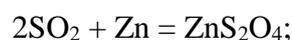
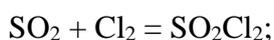
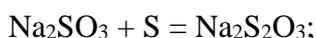
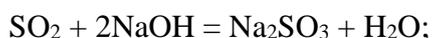
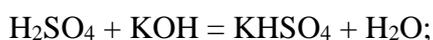
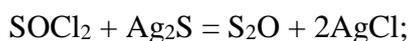
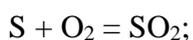
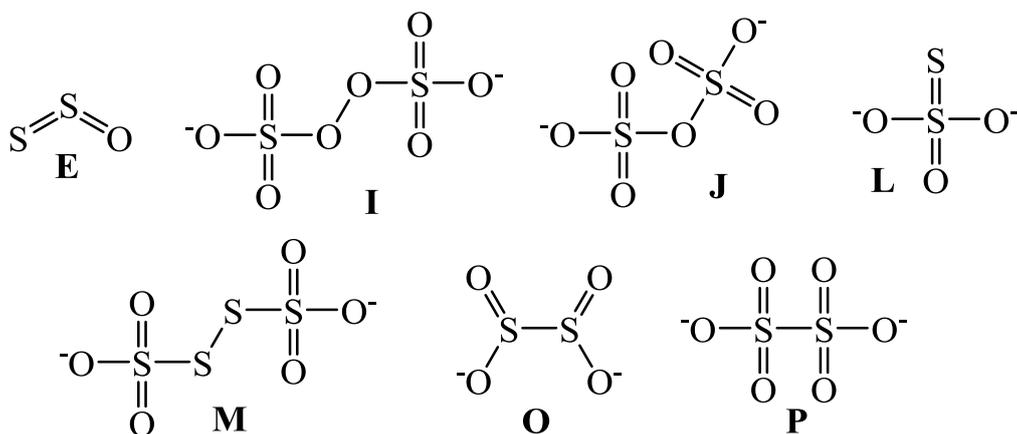
ры, то их общее количество тоже не меньше двух. Если их два, то на остаток (Na, O или I) приходится $135,1 - 32,06 \cdot 2 = 70,98$ г/моль. Подбором нетрудно получить, что в остатке атом Na и три атома O. Тогда **М** должно иметь формулу NaS_2O_3 . Но такой вариант не подходит, так как соединение с таким составом должно иметь серу или кислород с нечётной валентностью. Значит, **М** – это $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$.

Вещество **О** образуется при взаимодействии цинка с SO_2 . На Zn и O приходится 64,68 г/моль (в расчёте на один атом серы), что меньше атомной массы цинка (65,37 а.е.м.) и не так уж и хорошо совпадает с массой четырёх атомов кислорода (к тому же соединение SO_4 выглядит совсем нереалистично, не говоря о том, что по условию **О** содержит три элемента). Значит, **О** содержит два атома серы; тогда его молярная масса 193,48 г/моль, а на Zn и O приходится $193,48 - 32,06 \cdot 2 = 129,36$ г/моль. Такая масса идеально соответствует ZnO_4 ; значит, **О** – ZnS_2O_4 .

Вещество **Р** образуется при взаимодействии MnO_2 с SO_2 . На Mn и O приходится 75,45 г/моль (в расчёте на один атом серы), что не соответствует ни одной из комбинаций атомов этих элементов. Значит, **Р** содержит два атома серы; тогда на Mn и O приходится $215,02 - 32,06 \cdot 2 = 150,9$ г/моль. Такая масса идеально соответствует MnO_6 ; значит, **Р** – MnS_2O_6 .

Итого: **А** – S_8 (сера), **В** – H_2S (сероводород), **С** – SO_2 (диоксид серы, оксид серы(IV)), **Д** – SOCl_2 (тионилхлорид), **Е** – S_2O (монооксид дисеры), **Ф** – SO_3 (оксид серы(VI)), **Г** – H_2SO_4 (серная кислота), **Н** – KHSO_4 (гидросульфат калия), **И** – $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (пероксодисульфат калия), **Ж** – $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (дисульфат калия), **К** – Na_2SO_3 (сульфит натрия), **Л** – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (тиосульфат натрия), **М** – $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ (тетратионат натрия), **Н** – SO_2Cl_2 (сульфурилхлорид), **О** – ZnS_2O_4 (дитионит цинка), **Р** – MnS_2O_6 (дитионат марганца).

2.



Система оценивания:

1. Формулы по 0,5 б., названия по 0,5 б.	$(0,5+0,5) \times 16 = 16$ б.
2. Структурные формулы по 1 б.	$1 \times 7 = 7$ б.
3. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 15 = 15$ б.
Всего	38 баллов

Задание 3. (авторы А.И. Губанов, В.А. Емельянов).

1. Элемент **Х** – кремний. В подавляющем большинстве природных веществ кремний связан непосредственно с кислородом.

2. Главное свойство кремния – он «полупроводник»: значение его удельной электропроводности существенно меньше, чем у металлов, но значительно больше, чем у диэлектриков. Количество «девятток» - показатель чистоты продукта. «Девять девяток» - сверхчистый продукт с содержанием основного вещества 99,9999999 %, то есть содержание примесей не более 10^{-7} %.

3. Тут Дэн Браун, однако, погорячился. Ни сам кремний, ни его оксид не являются ядами вследствие крайне низкой реакционной способности.

4. $\text{SiF}_4 + 4\text{K} = 4\text{KF} + \text{Si}$ [1], $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} = 2\text{MgO} + \text{Si}$ [2], $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} = 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Si}$ [3], $\text{MgO} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ [4], $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ [5], $\text{Si} + 2\text{Cl}_2 = \text{SiCl}_4$ [7], $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = 4\text{HCl} + \text{Si}$ [8], $\text{SiCl}_4 + \text{Zn} = 2\text{ZnCl}_2 + \text{Si}$ [9].

5. При соотношении масс 5:2 на 60 г SiO_2 (1 моль) требуется $60 \cdot 2/5 = 24$ г (2 моля) С. Следовательно, основной продукт окисления углерода – СО: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}\uparrow$ [6]. Однако углерод может окисляться и до углекислого газа $\text{SiO}_2 + \text{C} = \text{Si} + \text{CO}_2\uparrow$ [6*]. Тогда некоторая его часть действительно останется в избытке, и будет реагировать с кремнием: $\text{Si} + \text{C} = \text{SiC}$ [6**]. Тогда вещество Б – SiC, карбид кремния.

6. Для оценки воспользуемся целыми значениями атомных масс. Из 600 кг (10^4 моль) SiO_2 должно было получиться 10^4 моль (280 кг) кремния. Следовательно, $292-280 = 12$ кг в полученном пеке приходится на углерод (10^3 моль), который связан с кремнием в карбид кремния. Его получилось 10^3 моль или 40 кг, т.е. его содержание в пеке $100 \cdot 40/292 = 13,7$ масс. %. Выход кремния составил $100 \cdot (10^4 - 10^3)/10^4 = 90$ % = $100 \cdot (292-40)/280$.

7. По реакциям [6] и [6*] 600 кг песка прореагировали с $240-12 = 228$ кг углерода. Следовательно, с 240 кг углерода по этим реакциям прореагирует $600 \cdot 240/228 \approx 632$ кг песка. Таким образом, чтобы выход кремния оказался близок к 100 %, к нашей смеси следует добавить 32 кг песка.

8. Карбид кремния, обладающий высокой твердостью и повышенной термической и химической устойчивостью, имеет техническое название карборунд. Простейший способ его получения – спекание кремнезема с коксом: $\text{SiO}_2 + 3\text{C} \xrightarrow[2500^\circ\text{C}]{1600}$ $\text{SiC} + 3\text{CO}\uparrow$.

9. Схема транспортной реакции: $\text{Si} + 2\text{I}_2 \xrightarrow{500^\circ\text{C}} \text{SiI}_4 \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \text{Si} + 2\text{I}_2$.

Система оценивания:

1. Кремний 2 б., связан с кислородом 2 б.	2+2 = 4 б.
2. Полупроводник 1 б., содержание основного вещества 99,9999999 % 2 б., (просто «чистота» 1 б.)	1+2 = 3 б.
3. Не ядовиты 1 б., низкая реакционная способность (инертность) 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×8 = 8 б.
5. Формула и название по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1×2+1×3 = 5 б.
6. Массовая доля Б в пеке 2 б., выход вещества А 2 б.	2+2 = 4 б.
7. Добавить песок 1 б., его масса 2 б.	1+2 = 3 б.
8. Способ получения 1 б., техническое название 0,5 б., свойства по 0,5 б.	1+0,5+0,5×3 = 3 б.
9. Схема транспортной реакции 2 б.	2 б.
Всего	34 балла