**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 **V₁** и **V₂**, это ¹H, ¹²C, ¹⁴N, ¹⁶O, ³²S, ³⁵Cl.

Количество протонов n_{p+} в молекуле **V₁**: $6 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 17 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 + 16 = 176$.

Количество протонов n_{p+} в молекуле **V₂**: $6 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 198$.

Количество нейтронов n_n в молекуле **V₁**: $6 \cdot 12 + 18 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 + 16 = 160$.

Количество нейтронов n_n в молекуле **V₂**: $6 \cdot 17 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 178$.

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 **V₁**: $m_{V_1} / m_{\Sigma} = 1,0/500 = 0,002$ или 0,2 %;

Витамин **V₂**: $m_{V_2} / m_{\Sigma} = 1,0/500 = 0,002$ 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 $v_C = m_C / M_C = 35 \cdot 10^{-3} / 176 = 1,99 \cdot 10^{-4}$ моль или $1,99 \cdot 10^{-4} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,2 \cdot 10^{20}$ молекул.

5. Чтобы сравнивать количество молекул, не обязательно считать именно его, достаточно посчитать и сравнить количество каждого вещества в молях. Вычислим молекулярные массы витаминов **V₁** и **V₂**, которые мы еще не считали.

Витамин **V₁**: $M_{V_1} = 12 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 35,5 \cdot 2 + 14 \cdot 4 + 16 + 32 = 144 + 18 + 71 + 56 + 16 + 32 = 337$ а.е.м.

Витамин **V₂**: $M_{V_2} = 12 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 14 \cdot 4 + 16 \cdot 6 = 204 + 20 + 56 + 96 = 376$ а.е.м.

Теперь вычислим количество каждого витамина **A**, **V₁** и **V₂** в молях в составе одного драже.

$v_A = 1,38 \cdot 10^{-3} / 524 = 2,63 \cdot 10^{-6}$, $v_{V_1} = 1 \cdot 10^{-3} / 337 = 2,97 \cdot 10^{-6}$, $v_{V_2} = 1 \cdot 10^{-3} / 376 = 2,66 \cdot 10^{-6}$ моль.

Таким образом, из предложенных трех витаминов, **A**, **V₁** и **V₂**, в составе препарата больше всего молекул витамина **V₁**, а меньше всего молекул витамина **A**.

6. 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.

$$v_{\text{CO}_2} = v_{\text{C}} = 100 \cdot (36v_{\text{A}} + 12v_{\text{B}_1} + 17v_{\text{B}_2} + 6v_{\text{C}}) = 100 \cdot 10^{-6} (36 \cdot 2,63 + 12 \cdot 2,97 + 17 \cdot 2,66 + 6 \cdot 199) = 0,137 \text{ моль.}$$

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

Система оценивания:

1. Составы ядер и атомов по 1 б.	$1 \times 6 = 6 \text{ б.}$
2. Количество протонов и нейтронов в каждой из молекул по 1 б.	$1 \times 4 = 4 \text{ б.}$
3. Массовые доли каждого витамина по 1 б.	$1 \times 4 = 4 \text{ б.}$
4. Масса молекулы 2 б., количество молекул 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
5. Верные ответы по 1 б.	$1 + 1 = 2 \text{ б.}$
6. Масса CO_2 3 б. (за верное количество 2 б.), объем 1 б.	$3 + 1 = 4 \text{ б.}$
Всего	24 балла

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** – SO_2 . При каталитическом окислении SO_2 кислородом образуется SO_3 (**C**), взаимодействие которого с водой приводит к образованию H_2SO_4 (**D**).



2. Предположим, что вещество **E** имеет формулу M_xS_y . Тогда $0,5345 = 32,06 \cdot y / (32,06 \cdot y + M \cdot x)$, где M – атомная масса металла M . Это уравнение преобразуется к виду $59,98 \cdot y = 32,06 \cdot y + M \cdot x$, откуда $M = 27,92 \cdot y / x$. Перебирая натуральные значения x и y , получаем таблицу возможных значений M :

M	x								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
y	1	27,92	13,96	9,31	6,98 (Li)	5,58	4,65	3,99	3,49
	2	55,84 (Fe)	27,92	18,61	13,96	11,17	9,31	7,98	6,98 (Li)
	3	83,76	41,88	27,92	20,94	16,75	13,96	11,97	10,47
	4	111,68	55,84 (Fe)	37,23	27,92	22,34	18,61	15,95	13,96
	5	139,6	69,80 (Ga)	46,53	34,90	27,92	23,27	19,94	17,45
	6	167,52 (Er)	83,76	55,84 (Fe)	41,88	33,50	27,92	23,93 (Mg)	20,94
	7	195,44 (Pt)	97,72	65,15 (Zn)	48,86	39,09 (K)	32,57	27,92	24,43 (Mg)
	8	223,36	111,68	74,45	55,84 (Fe)	44,67 (Sc)	37,23	31,91	27,92

По молярным массам подходит довольно большое количество металлов. Однако реалистичный состав имеет только FeS_2 , который действительно является одним из основных природных источников серы. Таким образом, **E** – FeS_2 (минерал пирит). Уравнение реакции: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$.

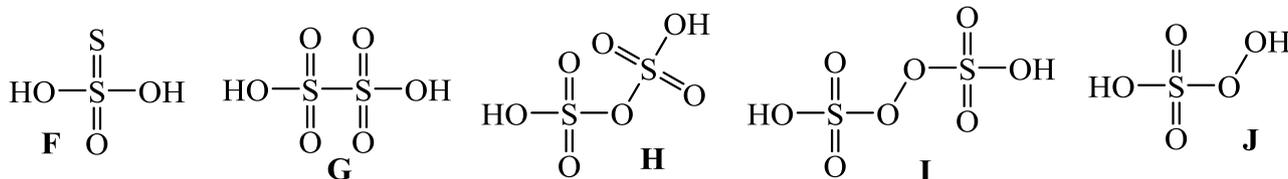
3. Найдём молярные массы кислот **M** (в расчёте на один атом серы). Для этого используем формулу $M = 32,06 / \omega(\text{S})$. Также найдём массу, приходящуюся на остальные элементы. Получим следующую таблицу.

Вещество	F	G	H	I	J
M , г/моль	57,07	81,06	89,08	97,06	114,09
$[M - M(\text{S})]$, г/моль	25,01	49,00	57,02	65,00	82,03

Так как все эти кислоты содержат только серу, кислород и водород, то несложно подобрать простейшие формулы по массам, приходящимся на остальные элементы. Получим: **F** – $\text{HSO}_{1,5}$, **G** – HSO_3 , **H** – $\text{HSO}_{3,5}$, **I** – HSO_4 , **J** – H_2SO_5 . Поскольку формулы **F** и **H** содержат полуцелое количество атомов кислорода, их следует удвоить, то есть **F** – $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$, **H** – $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$.

4. Так как кислород и сера образуют чётное число связей, а водород образует одну связь, то все эти кислоты могут содержать только чётное количество атомов водорода. Значит, вещества **G** и **I** должны иметь формулы $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$ и $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ соответственно.

Структурные формулы кислот:



Система оценивания:

1. Формулы по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 4 + 1 \times 3 = 7 \text{ б.}$
2. Формула E 2 б., уравнение реакции 1 б.	$2 + 1 = 3 \text{ б.}$
3. Установление простейших формул F-J по 2 б.	$2 \times 5 = 10 \text{ б.}$
4. Истинные формулы G и I по 1 б.	$1 \times 2 = 2 \text{ б.}$
Структурные формулы по 1 б.	$1 \times 5 = 5 \text{ б.}$
Всего	27 баллов

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

1. Элемент X – 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 «девяток» - 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) C. Следовательно, основной продукт окисления углерода – CO: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO} \uparrow$ [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 (карборунд).

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.

Система оценивания:

1. Кремний 2 б., связан с кислородом 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
2. Полупроводник 1 б., содержание основного вещества 99,9999999 % 2 б., (просто «чистота» 1 б.)	$1 + 2 = 3 \text{ б.}$
3. Не ядовиты 1 б., низкая реакционная способность (инертность) 1 б.	$1 + 1 = 2 \text{ б.}$
4. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 8 = 8 \text{ б.}$
5. Формула и название по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 2 + 1 \times 3 = 5 \text{ б.}$
6. Массовая доля Б в пеке 2 б., выход вещества А 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
7. Добавить песок 1 б., его масса 2 б.	$1 + 2 = 3 \text{ б.}$
Всего	29 баллов