**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		
	<sup>1</sup> H	<sup>32</sup> S	<sup>37</sup> Cl	<sup>13</sup> C	<sup>15</sup> N	<sup>18</sup> 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 **B<sub>1</sub>** и **B<sub>2</sub>**, это <sup>1</sup>H, <sup>12</sup>C, <sup>14</sup>N, <sup>16</sup>O, <sup>32</sup>S, <sup>35</sup>Cl.

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

Количество протонов  $n_{p+}$  в молекуле **B<sub>2</sub>**:  $6 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 198$ .

Количество нейтронов  $n_n$  в молекуле **B<sub>1</sub>**:  $6 \cdot 12 + 18 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 + 16 = 160$ .

Количество нейтронов  $n_n$  в молекуле **B<sub>2</sub>**:  $6 \cdot 17 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 178$ .

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 **B<sub>1</sub>**:  $m_{B_1} / m_{\Sigma} = 1,0/500 = 0,002$  или 0,2 %;

Витамин **B<sub>2</sub>**:  $m_{B_2} / m_{\Sigma} = 1,0/500 = 0,002$  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  $v_C = m_C / M_C = 35 \cdot 10^{-3} / 176 = 1,9886 \cdot 10^{-4}$  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 **B<sub>1</sub>** и **B<sub>2</sub>**, которые мы еще не считали.

Витамин **B<sub>1</sub>**:  $M_{B_1} = 12 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 35,5 \cdot 2 + 14 \cdot 4 + 16 + 32 = 144 + 18 + 71 + 56 + 16 + 32 = 337$  а.е.м.

Витамин **B<sub>2</sub>**:  $M_{B_2} = 12 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 14 \cdot 4 + 16 \cdot 6 = 204 + 20 + 56 + 96 = 376$  а.е.м.

Теперь вычислим количество каждого витамина **A**, **B<sub>1</sub>** и **B<sub>2</sub>** в молях в составе одного драже.

$v_A = 1,38 \cdot 10^{-3} / 524 = 2,63 \cdot 10^{-6}$ ,  $v_{B_1} = 1 \cdot 10^{-3} / 337 = 2,97 \cdot 10^{-6}$ ,  $v_{B_2} = 1 \cdot 10^{-3} / 376 = 2,66 \cdot 10^{-6}$  моль.

Таким образом, из предложенных трех витаминов, **A**, **B<sub>1</sub>** и **B<sub>2</sub>**, в составе препарата больше всего молекул витамина **B<sub>1</sub>**, 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  $\text{CO}_2$ , 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 $\text{CO}_2$ 3 б. (за верное количество 2 б.), объем 1 б.	$3 + 1 = 4$ б.
<b>Всего</b>	<b>28 баллов</b>

### Задание 2. (автор О.Г. Сальников).

1. Из предисловия к задаче следует, что **X** – сера. Тогда **A** –  $\text{S}_8$  (в качестве верного ответа засчитывается и **S**), **B** –  $\text{H}_2\text{S}$ , **C** –  $\text{SO}_2$ . При взаимодействии  $\text{SO}_2$  с хлором и  $\text{PCl}_5$  образуются сульфурилхлорид  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  (**N**) и тионилхлорид  $\text{SOCl}_2$  (**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	<b>E</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>O</b>	<b>P</b>
<b>M</b> , г/моль	40,06	135,16	67,55	96,74	107,51
<b>[M – M(S)]</b> , 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  $\text{S}_2\text{O}$ .

При окислении  $\text{SO}_2$  кислородом образуется  $\text{SO}_3$  (**F**), взаимодействие которого с водой приводит к образованию  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (**G**). В реакции серной кислоты с 1 эквивалентом **KOH** образуется  $\text{KHSO}_4$  (**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  $\text{KHSO}_4$ . На остальные элементы (**K**, **H**, **O**) приходится 103,10 г/моль (в расчёте на один атом серы), что соответствует  $\text{KO}_4$ . Однако вещество  $\text{KSO}_4$  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  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (**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-

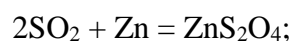
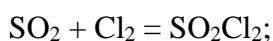
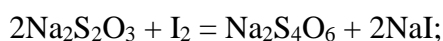
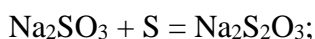
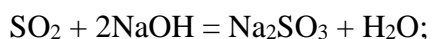
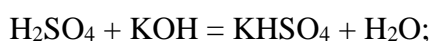
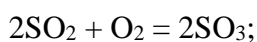
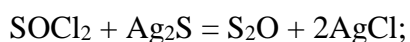
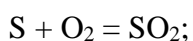
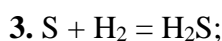
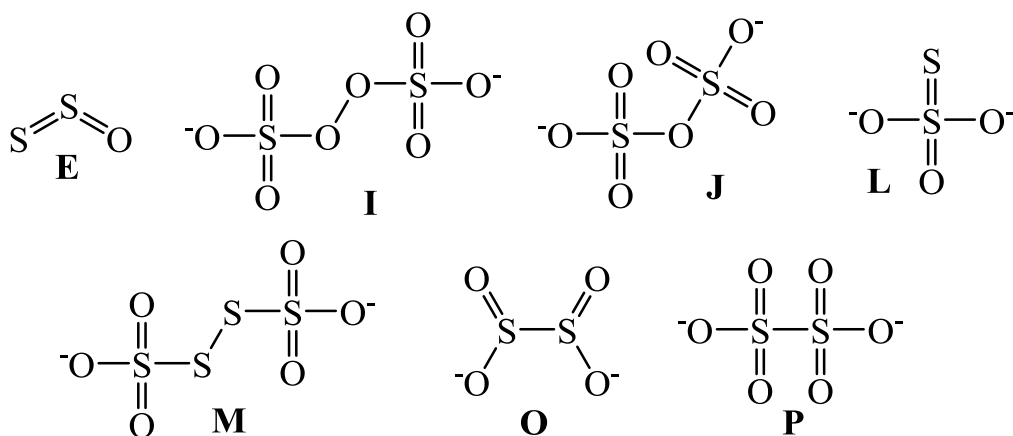
ры, то их общее количество тоже не меньше двух. Если их два, то на остаток (Na, O или I) приходится  $135,1 - 32,06 \cdot 2 = 70,98$  г/моль. Подбором нетрудно получить, что в остатке атом Na и три атома O. Тогда **М** должно иметь формулу  $\text{NaS}_2\text{O}_3$ . Но такой вариант не подходит, так 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  $\text{SO}_2$ . 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  $\text{SO}_4$  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  $\text{ZnO}_4$ ; значит, **О** –  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ .

Вещество **Р** образуется при взаимодействии  $\text{MnO}_2$  с  $\text{SO}_2$ . 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  $\text{MnO}_6$ ; значит, **Р** –  $\text{MnS}_2\text{O}_6$ .

Итого: **А** –  $\text{S}_8$  (сера), **В** –  $\text{H}_2\text{S}$  (сероводород), **С** –  $\text{SO}_2$  (диоксид серы, оксид серы(IV)), **Д** –  $\text{SOCl}_2$  (тионилхлорид), **Е** –  $\text{S}_2\text{O}$  (монооксид дисеры), **Ф** –  $\text{SO}_3$  (оксид серы(VI)), **Г** –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (серная кислота), **Н** –  $\text{KHSO}_4$  (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** –  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (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** –  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  (сульфурилхлорид), **О** –  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  (дитионит цинка), **Р** –  $\text{MnS}_2\text{O}_6$  (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.
<b>Всего</b>	<b>38 баллов</b>

**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  $\text{SiO}_2$  (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)  $\text{SiO}_2$  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:  $\text{SiO}_2 + 3\text{C} \xrightarrow[2500^\circ\text{C}]{1600-2500^\circ\text{C}} \text{SiC} + 3\text{CO}\uparrow$ .

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.
<b>Всего</b>	<b>34 балла</b>