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

1. Самые тяжелые из стабильных изотопов каждого элемента, входящего в состав молекул витаминов **B₁** и **B₂**, это ^2H , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , ^{36}S , ^{37}Cl .

Количество протонов p_+ в молекуле «тяжелого» **B₁**: $6 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 17 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 + 16 = 176$.

Количество протонов p_+ в молекуле «тяжелого» **B₂**: $6 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 198$.

Количество нейтронов p_n в молекуле «тяжелого» **B₁**: $7 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 20 \cdot 2 + 8 \cdot 4 + 10 + 20 = 204$.

Количество нейтронов p_n в молекуле «тяжелого» **B₂**: $7 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 8 \cdot 4 + 10 \cdot 6 = 231$.

2. 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.

3. 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**.

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

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

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

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

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.

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

Масса выделившегося углекислого газа составит $0,137 \cdot 44 = 6,03$ г, его объем при комнатной температуре найдем по уравнению Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$, откуда $V = 0,137 \cdot 0,082 \cdot 293 = 3,29$ л.

7. Витамины (от лат. vita – жизнь) – группа органических соединений различной химической природы, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Требуются организму в ничтожных количествах (по сравнению с белками, жирами, углеводами, солями). Организм животных и человека не синтезирует большинство витаминов или синтезирует их в недостаточном количестве, поэтому должен получать их в готовом виде с пищей. Недостаток витаминов в пище или нарушение процессов

их всасывания и усвоения приводит к нарушениям обмена веществ и гиповитаминозам. Витамины принимают активное участие в обмене веществ как составные части ферментов и как регуляторы отдельных биохимических и физиологических процессов.

Ключевые фразы, оцениваемые баллами:

- 1) Витамины – это органические вещества.
- 2) Витамины необходимы организму для нормальной жизнедеятельности, при недостатке витаминов возникают заболевания.
- 3) Потребность организма в витаминах по объему небольшая.
- 4) Поскольку организм не способен производить витамины в достаточном количестве, они должны поступать с питанием.

8. Витамины лучше принимать через четверть часа после еды, так как увеличивается эффективность усвоения жирорастворимых витаминов (например, витамина **A**) под действием секретов, выделяющихся при пищеварении.

Система оценивания:

1. Количество протонов и нейтронов в каждой из молекул по 1 б. (Если один из изотопов выбран неправильно, то за количество нейтронов 0,5 б., если два изотопа выбраны неправильно, то за количество нейтронов 0 б.)	$1 \times 4 = 4 \text{ б.}$
2. Масса молекулы 2 б., количество молекул 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
3. Верные ответы по 1 б.	$1 + 1 = 2 \text{ б.}$
4. Общее количество молекул 2 б.	2 б.
5. Общее количество атомов 2 б.	2 б.
6. Масса CO_2 1,5 б. (за верное количество 1 б.), объем 0,5 б.	$1,5 + 0,5 = 2 \text{ б.}$
7. Описание термина «витамины» по 0,5 б. за ключевую фразу	$0,5 \times 4 = 2 \text{ б.}$
8. Пояснение способа приема витаминов 1 б.	1 б.
Всего	19 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** – SO_2 .

Бинарные вещества **C** и **D** образуются при взаимодействии серы с NH_3 и больше в этой реакции ничего не получается. Значит, одно из них – соединение серы с водородом, а другое – соединение серы с азотом. Для соединения серы с водородом содержание серы 69,60 % явно недостаточно; значит, таким соединением является **C**, а не **D**. Так как дипольный момент всех связей в **C** отличен от нуля, то это H_2S , а не полисульфаны H_2S_n , содержащие неполярные связи $\text{S}-\text{S}$. Теперь рассчитаем состав **D**. Его молярная масса в расчёте на один атом серы $M(\text{D}) = 32,06/0,6960 = 46,06 \text{ г/моль}$, что соответствует простейшей формуле SN . Очевидно, что из двух атомов нельзя построить циклическую молекулу; значит, **D** содержит кратное число фрагментов SN (как минимум, S_2N_2). Так как это заочный этап Всесибирской олимпиады, то можно поискать немного информации в университетских учебниках или в сети Интернет, и понять, что соединение **D** – это тиазен (циклотетратиазил) S_4N_4 (по способу получения или золотистому цвету).

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	F	G	J	M	Q
M , г/моль	49,06	96,74	107,51	40,06	67,55	135,16
$[\text{M} - \text{M}(\text{S})]$, г/моль	17,00	64,68	75,45	8,00	35,49	103,10

Вещество **E** образуется при взаимодействии SO_2 с H_2S при -70°C . Его молярная масса в расчёте на один атом серы 49,06 г/моль, что соответствует простейшей формуле HSO . Такого соединения суще-

ствовать не может; к тому же **Е** должно содержать два типа атомов серы в соотношении 1:1. По-видимому, **Е** имеет формулу $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_2$, что соответствует тиосернистой кислоте.

Вещество **Ф** 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 **Ф** содержит три элемента). Значит, **Ф** 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, **Ф** – ZnS_2O_4 .

Вещество **Г** 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, **Г** 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, **Г** – MnS_2O_6 .

При взаимодействии SO_2 с хлором и PCl_5 образуются сульфурилхлорид SO_2Cl_2 (**Н**) и тионилхлорид SOCl_2 (**И**).

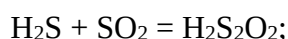
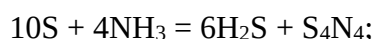
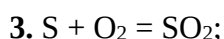
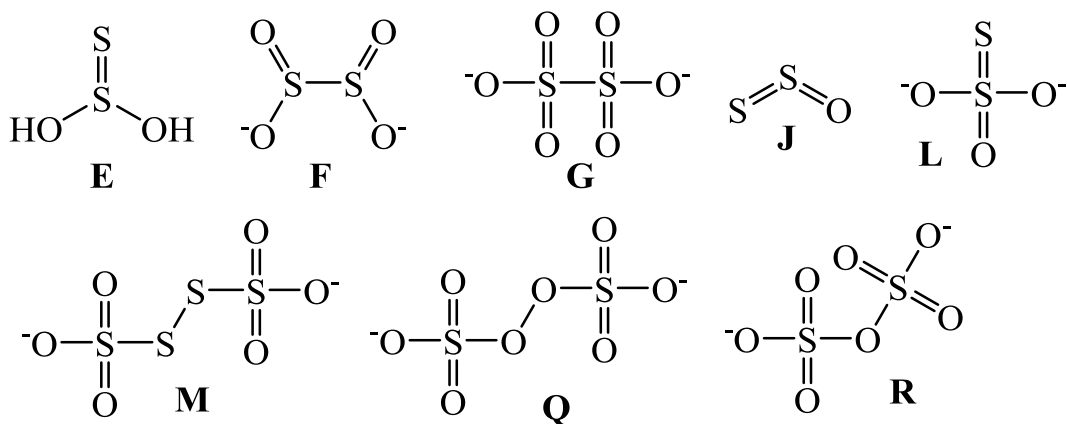
В бинарном веществе **Ж** на второй элемент (O, Cl или Ag) приходится только 8 г/моль в расчёте на один атом серы. Тогда единственный возможный вариант – это S_2O .

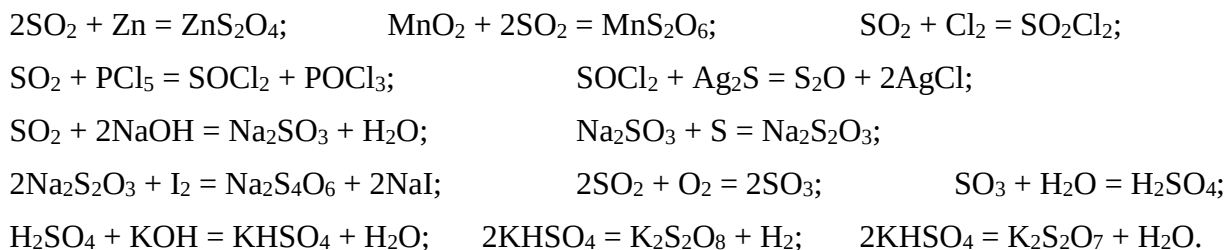
При взаимодействии с NaOH диоксид серы образует сульфит натрия Na_2SO_3 (**К**). Дальнейшая реакция с серой приводит к получению тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (**Л**). Взаимодействие $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ с иодом приводит к образованию вещества **М**. Так как по условию это вещество содержит два типа атомов серы, 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 $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$.

При окислении SO_2 кислородом образуется SO_3 (**Н**), взаимодействие которого с водой приводит к образованию H_2SO_4 (**О**). В реакции серной кислоты с 1 эквивалентом KOH образуется KHSO_4 (**Р**). Нагревание гидросульфата калия приводит к его дегидратации с образованием дисульфата $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (**Р**). 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, **Q** – это $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$.

Итого: **А** – S_8 (сера), **В** – SO_2 (диоксид серы, оксид серы(IV)), **С** – H_2S (сероводород), **Д** – S_4N_4 (тиазен, циклотетратиазил), **Е** – $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_2$ (тиосернистая кислота), **Ф** – ZnS_2O_4 (дитионит цинка), **Г** – MnS_2O_6 (дитионат марганца), **Н** – SO_2Cl_2 (сульфурилхлорид), **И** – SOCl_2 (тионилхлорид), **Ж** – S_2O (монооксид дисеры), **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_3 (оксид серы(VI)), **О** – H_2SO_4 (серная кислота), **Р** – KHSO_4 (гидросульфат калия), **Q** – $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (пероксодисульфат калия), **Р** – $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (дисульфат калия).

2.





4. Эта реакция идёт количественно и с изменением окраски раствора, что позволяет использовать ее для определения количества вещества методом титрования (иодометрический метод анализа). Определять можно не только сами реагенты (иод и тиосульфат), но и другие вещества, обладающие окислительно-восстановительными свойствами.

Система оценивания:

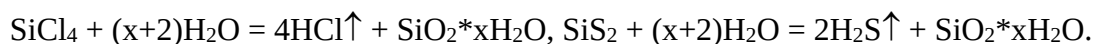
1. Формулы по 0,5 б., названия по 0,5 б.	$(0,5+0,5) \times 18 = 18 \text{ б.}$
2. Структурные формулы по 1 б.	$1 \times 8 = 8 \text{ б.}$
3. Уравнения реакций по 0,5 б.	$0,5 \times 16 = 8 \text{ б.}$
4. Количественное определение иода 1 б.	1 б.
Всего	35 баллов

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

1. Элемент **X** – кремний. В подавляющем большинстве природных веществ кремний связан непосредственно с кислородом. Координационное число кремния в этих соединениях всегда равно 4, геометрия частиц – тетраэдры, связанные общими вершинами.

2. Главное свойство кремния – он «полупроводник»: значение его удельной электропроводности существенно меньше, чем у металлов, но значительно больше, чем у диэлектриков. Количество «девятка» - показатель чистоты продукта. «Девять девяток» - сверхчистый продукт с содержанием основного вещества 99,999999 %, 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. Зато хлорид и сульфид, легко гидролизующиеся даже парами воды с образованием хлороводорода и сероводорода, безусловно, крайне ядовиты:



4. $\text{SiF}_4 + 4\text{K} = 4\text{KF} + \text{Si}$ [1], $\text{K}_2\text{SiF}_6 + 4\text{K} = 6\text{KF} + \text{Si}$ [2], $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} = 2\text{MgO} + \text{Si}$ [3], $\text{MgO} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [4], $\text{Si} + 2\text{Cl}_2 = \text{SiCl}_4$ [6], $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = 4\text{HCl} + \text{Si}$ [7], $\text{SiCl}_4 + \text{Zn} = 2\text{ZnCl}_2 + \text{Si}$ [8].

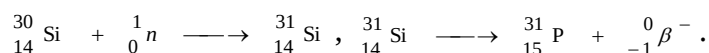
5. При соотношении масс 5:2 на 60 г SiO_2 (1 моль) требуется $60 \cdot 2/5 = 24$ г (2 моля) C. Следовательно, основной продукт окисления углерода – CO: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}\uparrow$ [5]. Однако углерод может окисляться и до углекислого газа $\text{SiO}_2 + \text{C} = \text{Si} + \text{CO}_2\uparrow$ [5*]. Тогда некоторая его часть действительно останется в избытке, и будет реагировать с кремнием: $\text{Si} + \text{C} = \text{SiC}$ [5**]. 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 $100 \cdot (10^4 - 10^3)/10^4 = 90 \text{ \%} = 100 \cdot (292 - 40)/280$.

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: $\text{SiO}_2 + 3\text{C} \xrightarrow[2500]{1600} \text{SiC} + 3\text{CO}\uparrow$.

9. Присоединив нейтрон, стабильный изотоп кремния увеличивает массу, но сохраняет заряд ядра, т.е. остается атомом кремния. Излучив β -частицу, т.е. превратив один из нейтронов в протон и электрон, он сохраняет массу, но увеличивает заряд ядра на 1 и превращается в атом фосфора, у которого по условию только один стабильный изотоп. Таким образом, **Y** – фосфор. Значение атомной массы фосфора в ПС однозначно указывает на то, что этот изотоп ^{31}P . Следовательно, превращениям подвергался изотоп ^{30}Si . Уравнения описанных ядерных реакций:



10. Поскольку один из стабильных изотопов кремния – это ^{30}Si , а природные изотопы по массе отличаются на 1, следовательно, остальные 2 природных изотопа – это ^{28}Si и ^{29}Si (мы уже знаем, что ^{31}Si нестабилен). Из значения атомной массы Si (28,0855 а.е.м.) понятно, что 92,27 масс. % – это содержание ^{28}Si . Посчитаем, сколько его содержится в нашем монокристалле: $0,9227 \cdot 5617 = 5182,8$ г или $5182,8/28 = 185,1$ моля. Общее количество кремния в кристалле $5617/28,0855 = 200$ молей. Обозначив количество молей ^{30}Si за x , составим уравнение: $185,1 \cdot 28 + (200 - 185,1 - x) \cdot 29 + x \cdot 30 = 5617$ или $(14,9 - x) \cdot 29 + x \cdot 30 = 434,2$. Отсюда $x = 2,1$ моля.

а) При полном превращении ^{30}Si в ^{31}P его атомов получится тоже 2,1 моля или $2,1 \cdot 6 \cdot 10^{23} = 1,26 \cdot 10^{24}$ шт. Масса монокристалла увеличится на 2,1 г и составит 5619,1 г, а масса ^{31}P в нем составит $2,1 \cdot 31 = 65,1$ г. Максимальное содержание ^{31}P в монокристалле $100 \cdot 65,1/5619,1 = 1,16$ %.

б) За каждый период полураспада количество радиоактивных изотопов уменьшается в 2 раза, а за n периодов – в 2^n раз. $2^n = 10^{23} = 2^{(23/0,301)} = 2^{76,41}$. Отсюда $n = 76,41$, $t = 76,41 \cdot 2,6 = 198,7 \approx 200$ часов.

Система оценивания:

1. Кремний 1 б., связан с кислородом 1 б., КЧ 1 б., тетраэдры 1 б.	$1+1+1+1 = 4$ б.
2. Полупроводник 1 б., содержание основного вещества 99,9999999 % 2 б., (просто «чистота» 1 б.)	$1+2 = 3$ б.
3. Верное указание ядовит/нет по 0,5 б., низкая реакционная способность (инертность) кремния и оксида по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times (4+2) + 2 = 5$ б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 7 = 7$ б.
5. Формула и название по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 2 + 1 \times 3 = 5$ б.
6. Массовая доля B в пеке 2 б., выход вещества A 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.	$1+0,5+0,5 \times 3 = 3$ б.
9. Фосфор 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$1+1 \times 2 = 3$ б.
10. Максимальное содержание в масс. % и шт. атомов по 2 б., время 2 б.	$2 \times 3 = 6$ б.
Всего	43 балла

Задание 4. (авторы Т. М. Карнаухов, А. С. Недогибченко, В.Н. Конев).

1. Бертолетова соль – хлорат калия KClO_3 , хромпик – дихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, сера – S, мел – карбонат кальция CaCO_3 , кварц – диоксид кремния SiO_2 , свинцовый сурик – оксид свинца(II, IV) Pb_3O_4 , цинковые белила – оксид цинка ZnO , антимонит – сульфид сурьмы (III) Sb_2S_3 , красный фосфор – P_n (можно просто P), железный сурик – оксид железа(III) Fe_2O_3 .

2. Возможные уравнения реакций:



3. Получение луча только из воды наводит на мысль о том, что это молекулярный водород. В самом деле, из 18 мл воды можно получить 2 г водорода. Синтез без использования дополнительных реагентов – электролиз в присутствии щелочи: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$.

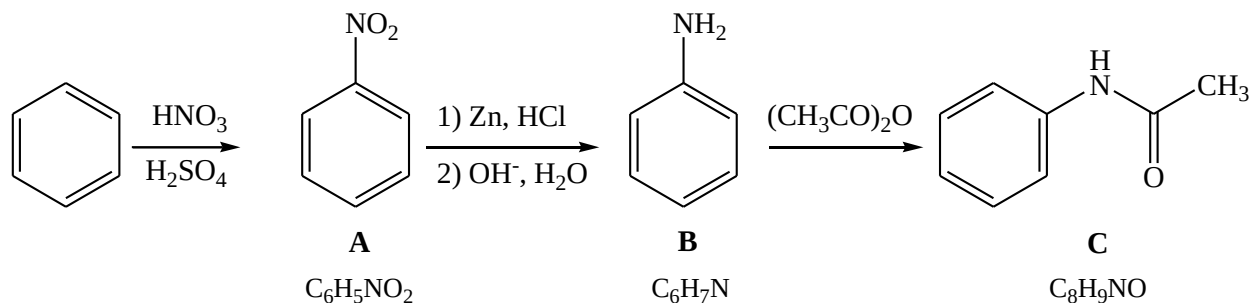
4. Бак пепелаца гораздо более целесообразно заполнять жидким лучем, т. к. жидкость занимает значительно меньший объём, чем такое же количество газа. Покажем это расчётами дальности полёта

пепелаца при полном баке газообразного и жидкого луца (возможно подтверждение и другими разумными расчётами).

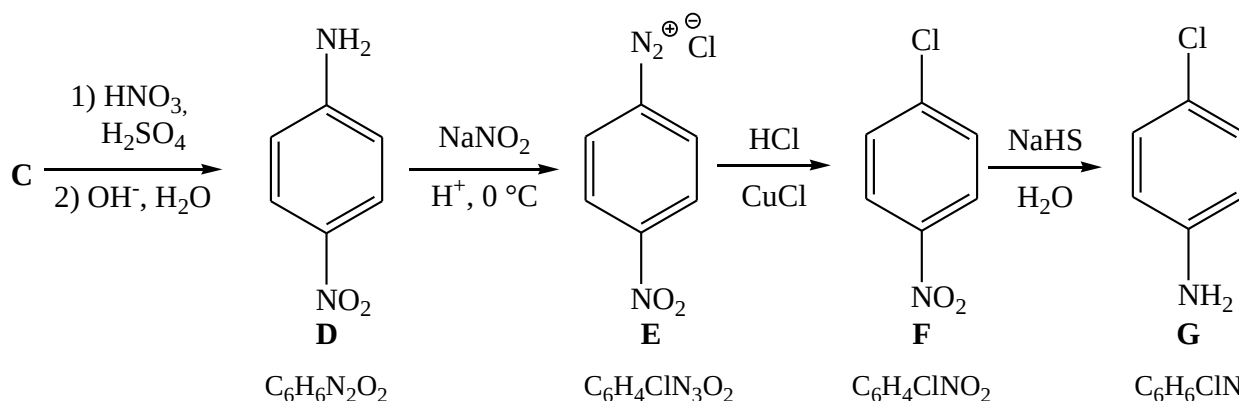
Жидкий луц. $m = 44,8 \text{ л} \cdot 10^3 \cdot 0,07 \text{ г/мл} = 3136 \text{ г} = 3,136 \text{ кг}$, что составляет $3,136/0,769 = 4$ заряда, каждого из которых хватает на 160 км, т.е. на полном баке жидкого луца пепелац пролетит 640 км.

При сгорании 3136 г H_2 образуется $3136/2 \cdot 18 = 28224 \text{ мл} = 28,224 \text{ л}$ жидкой воды.

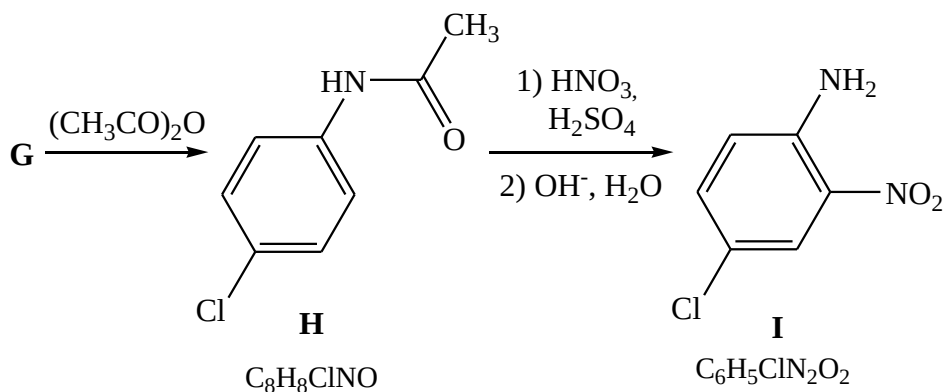
5. Желтый. Бензол под действием нитрующей смеси превращается в нитробензол **A**, который восстанавливают цинком в соляной кислоте до хлорида анилина. Обработка щелочью соли анилина переводит его в свободное основание – анилин **B**. Ацилирование анилина уксусным ангидридом приводит к образованию ацетанилида **C**.

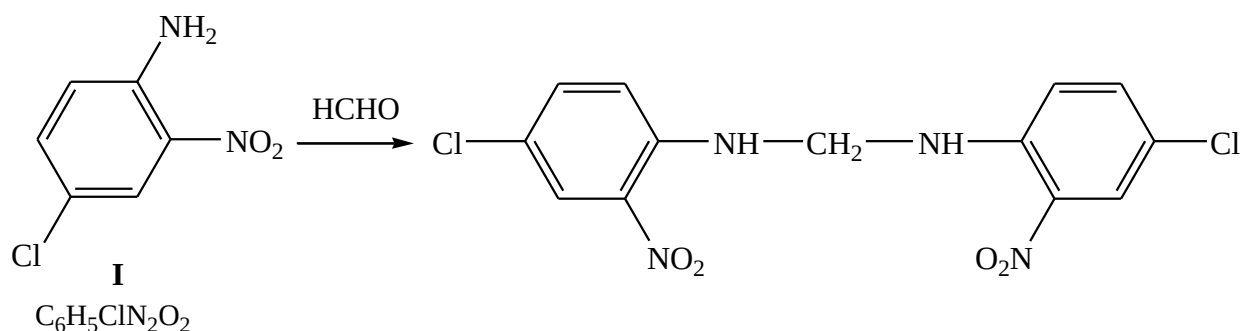


Нитрование ацетанилида **C** происходит преимущественно в *n*-положение (стерический эффект) с образованием 4-нитроацетанилида, который гидролизует под действием щелочи до 4-нитроанилина **D**. Diazotирование 4-нитроанилина азотистой кислотой (нитрит натрия и соляная кислота при охлаждении) приводит к получению соли диазония **E**. Реакция замещения диазогруппы соли диазония **E** на атом хлора протекает с образованием 4-хлорнитробензола **F**. Гидросульфид натрия использовался для восстановления нитрогруппы соединения **F** в 4-хлоранилин **G**.

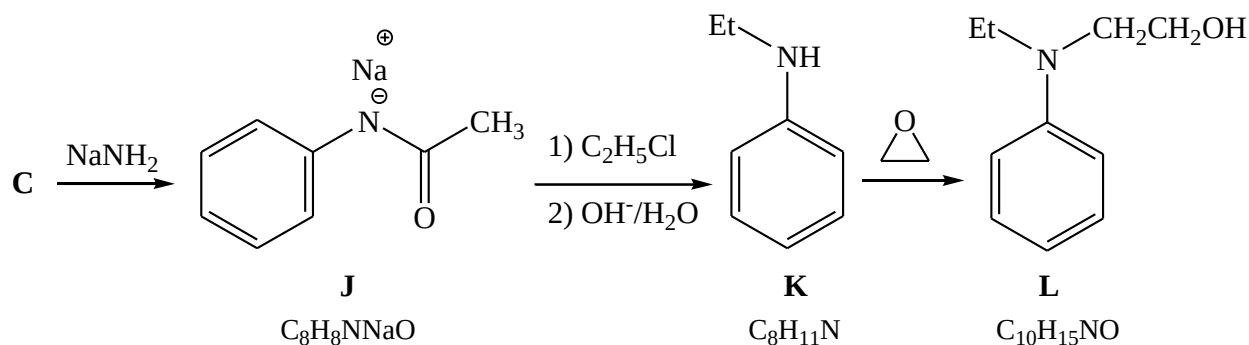


Ацилированием амина **G** уксусным ангидридом получают амид **H**, который нитруют с образованием нитроамин **I**, после гидролиза щелочным раствором. На заключительной стадии происходит конденсация амина **I** с формальдегидом с образованием конечного диамина.

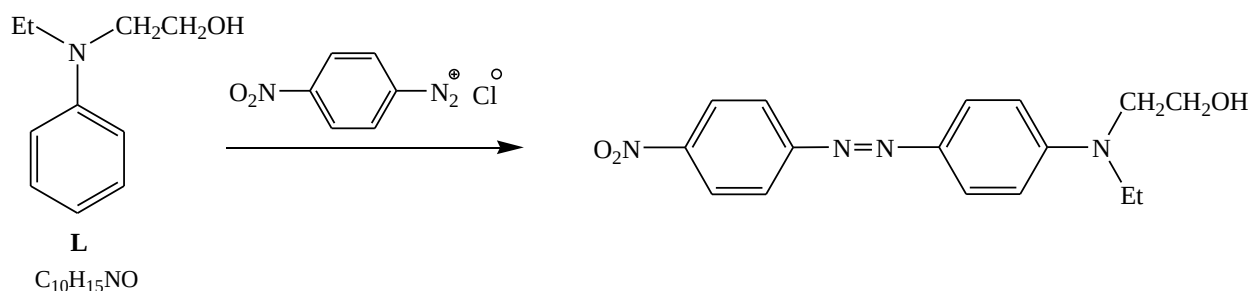




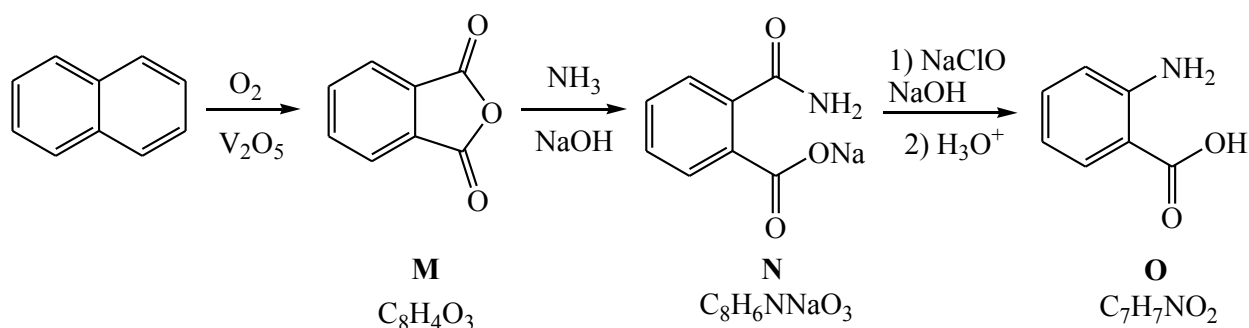
Малиновый. Под действием сильного основания – амида натрия ацетанилид депротонируется с образованием соли, которую алкилируют этилхлоридом с последующим гидролизом водным раствором щелочи с образованием *N*-этиланилина **K**. На следующей стадии происходит раскрытие оксиранового цикла под действием этиламина с образованием аминоспирта **L**.



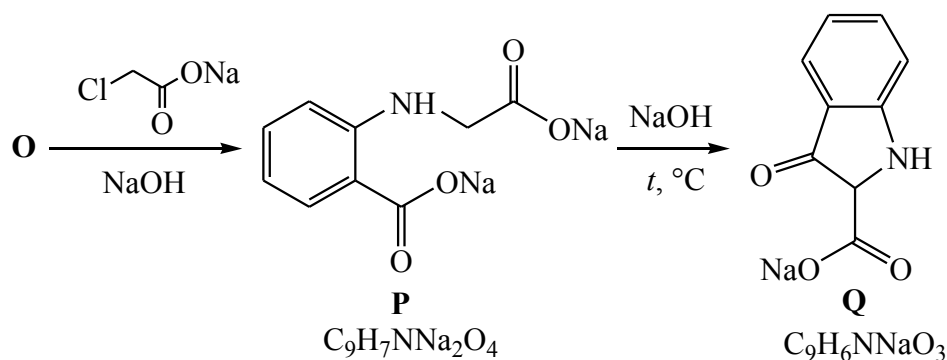
Взаимодействие соли диазония с аминоспиртом является заключительной стадией получения конечного азосоединения.



Голубой. Окисление нафталина кислородом воздуха над оксидом ванадия является промышленным способом получения фталевого ангидрида **M**. Щелочной гидролиз водной щелочью амида, образующегося из фталевого ангидрида и аммиака, приводит к образованию соли **N**.

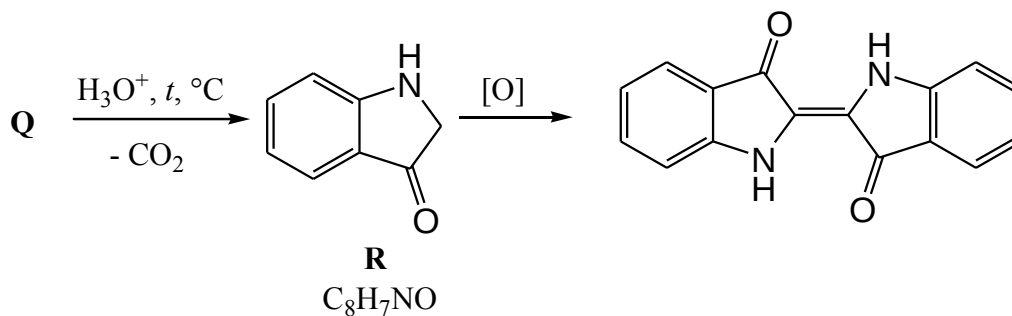


Третья стадия представляет собой расщепление амида по Гофману с последующим кислотным гидролизом, в результате чего образуется антраниловая кислота **O**. Следующая стадия – ацилирование аминогруппы с образованием *N*-ацетилантраниловой кислоты **P**.



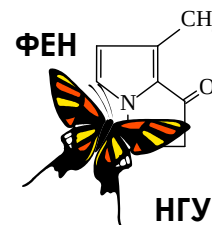
Нагревание с гидроксидом натрия приводит к замыканию цикла и образованию индоксилата **Q**.

Нагревание кислоты, образующейся из соли **Q**, в кислой среде приводит к декарбоксилированию с образованием кетоамина **R**, который легко окисляется кислородом до индиго.



Система оценивания:

1. Формулы веществ по 0,5 б.	0,5×10 = 5 б.
2. Уравнения реакций по 1 б.	1×5 = 5 б.
3. Состав люца 1 б., способ получения 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Расстояния на газе и на жидком водороде по 1 б., объем воды 1 б.	1+1+1 = 3 б.
5. Структурные формулы веществ A-R по 1 б.	1×18 = 18 б.
Всего	33 балла

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

1. Самые тяжелые из стабильных изотопов каждого элемента, входящего в состав молекул витаминов **В₁** и **В₂**, это ^2H , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , ^{36}S , ^{37}Cl .

Количество протонов p_+ в молекуле «тяжелого» **В₁**: $6 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 17 \cdot 2 + 7 \cdot 4 + 8 + 16 = 176$.

Количество протонов p_+ в молекуле «тяжелого» **В₂**: $6 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 7 \cdot 4 + 8 \cdot 6 = 198$.

Количество нейтронов p_n в молекуле «тяжелого» **В₁**: $7 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 20 \cdot 2 + 8 \cdot 4 + 10 + 20 = 204$.

Количество нейтронов p_n в молекуле «тяжелого» **В₂**: $7 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 8 \cdot 4 + 10 \cdot 6 = 231$.

2. Сначала вычислим молекулярные массы этих витаминов.

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

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

В 1 г содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ а.е.м., следовательно, масса одной молекулы витамина **А** 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 **С**, 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.

3. Чтобы сравнивать количество молекул, не обязательно считать именно его, достаточно посчитать и сравнить количество каждого вещества в молях. Вычислим молекулярные массы витаминов **В₁** и **В₂**, которые мы еще не считали.

Витамин **В₁**: $M_{B1} = 12 \cdot 12 + 1 \cdot 18 + 35,5 \cdot 2 + 14 \cdot 4 + 16 + 32 = 144 + 18 + 71 + 56 + 16 + 32 = 337$ а.е.м.

Витамин **В₂**: $M_{B2} = 12 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 14 \cdot 4 + 16 \cdot 6 = 204 + 20 + 56 + 96 = 376$ а.е.м.

Теперь вычислим количество каждого витамина **А**, **В₁** и **В₂** 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, **А**, **В₁** и **В₂**, в составе препарата больше всего молекул витамина **В₁**, а меньше всего молекул витамина **А**.

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

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

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

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

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.

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

7. Витамины (от лат. *vita* – жизнь) – группа органических соединений различной химической природы, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Требуются организму в ничтожных количествах (по сравнению с белками, жирами, углеводами, солями). Организм животных и человека не синтезирует большинство витаминов или синтезирует их в недостаточном количестве, поэтому должен получать их в готовом виде с пищей. Недостаток витаминов в пище или нарушение процессов

их всасывания и усвоения приводит к нарушениям обмена веществ и гиповитаминозам. Витамины принимают активное участие в обмене веществ как составные части ферментов и как регуляторы отдельных биохимических и физиологических процессов.

Ключевые фразы, оцениваемые баллами:

- 1) Витамины – это органические вещества.
 - 2) Витамины необходимы организму для нормальной жизнедеятельности, при недостатке витаминов возникают заболевания.
 - 3) Потребность организма в витаминах по объему небольшая.
 - 4) Поскольку организм не способен производить витамины в достаточном количестве, они должны поступать с питанием.
8. Витамины лучше принимать через четверть часа после еды, так как увеличивается эффективность усвоения жирорастворимых витаминов (например, витамина А) под действием секретов, выделяющихся при пищеварении.

Система оценивания:

1. Количество протонов и нейтронов в каждой из молекул по 1 б. (Если один из изотопов выбран неправильно, то за количество нейтронов 0,5 б., если два изотопа выбраны неправильно, то за количество нейтронов 0 б.)	$1 \times 4 = 4 \text{ б.}$
2. Масса молекулы 2 б., количество молекул 2 б.	$2 + 2 = 4 \text{ б.}$
3. Верные ответы по 1 б.	$1 + 1 = 2 \text{ б.}$
4. Общее количество молекул 2 б.	2 б.
5. Общее количество атомов 2 б.	2 б.
6. Масса CO_2 3 б. (за верное количество 2 б.), объем 1 б.	$3 + 1 = 4 \text{ б.}$
7. Описание термина «витамины» по 0,5 б. за ключевую фразу	$0,5 \times 4 = 2 \text{ б.}$
8. Пояснение способа приема витаминов 1 б.	1 б.
Всего	21 балл

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	Е	І	М	О	Р
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

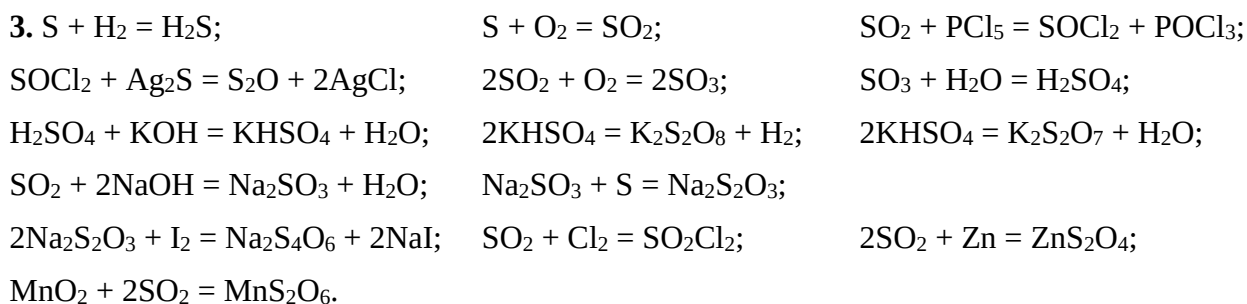
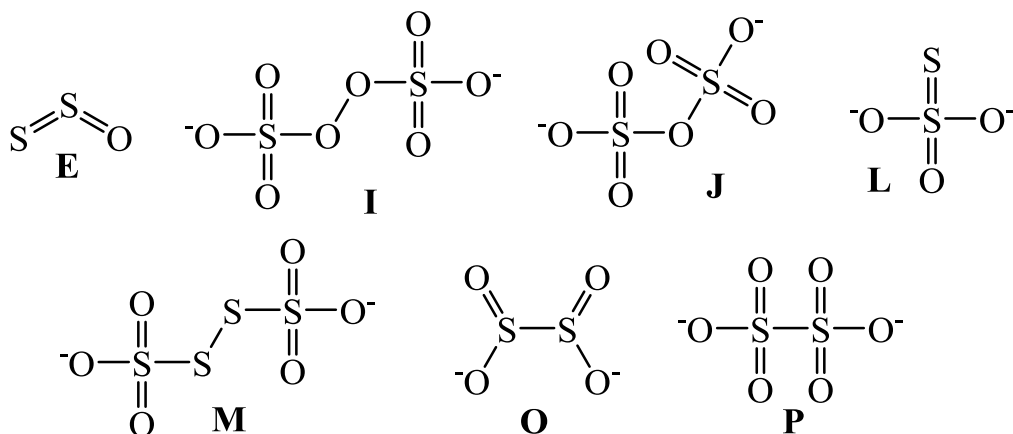
приводит к образованию вещества **М**. Так как по условию это вещество содержит два типа атомов серы, то их общее количество тоже не меньше двух. Если их два, то на остаток (Na, O или I) приходится $135,1 - 32,06 \cdot 2 = 70,98$ г/моль. Подбором нетрудно получить, что в остатке атом Na и три атома O. 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), **Г** – SO_3 (оксид серы(VI)), **Ж** – H_2SO_4 (серная кислота), **З** – KHSO_4 (гидросульфат калия), **И** – $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (пероксодисульфат калия), **К** – $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (дисульфат калия), **Л** – Na_2SO_3 (сульфит 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 «девяток» - показатель чистоты продукта. «Девять девяток» - сверхчистый продукт с содержанием основного вещества 99,999999 %, 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], $\text{K}_2\text{SiF}_6 + 4\text{K} = 6\text{KF} + \text{Si}$ [2], $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} = 2\text{MgO} + \text{Si}$ [3], $\text{MgO} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ [4], $\text{Si} + 2\text{Cl}_2 = \text{SiCl}_4$ [6], $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = 4\text{HCl} + \text{Si}$ [7], $\text{SiCl}_4 + \text{Zn} = 2\text{ZnCl}_2 + \text{Si}$ [8].

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: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}\uparrow$ [5]. Однако углерод может окисляться и до углекислого газа $\text{SiO}_2 + \text{C} = \text{Si} + \text{CO}_2\uparrow$ [5*]. Тогда некоторая его часть действительно останется в избытке, и будет реагировать с кремнием: $\text{Si} + \text{C} = \text{SiC}$ [5**]. 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 $100 \cdot (10^4 - 10^3)/10^4 = 90$ % = $100 \cdot (292 - 40)/280$.

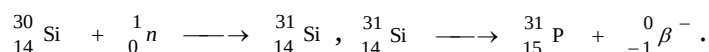
7. По реакциям [6] и [6*] 600 кг песка прореагировали с $240 - 12 = 228$ кг углерода. Следовательно, с 240 кг углерода по этим реакциям прореагирует $600 \cdot 240/228 \approx 632$ кг песка. Таким образом, чтобы выход кремния оказался близок к 100 %, к нашей смеси следует добавить 32 кг песка.

8. Карбид кремния, обладающий высокой твердостью и повышенной термической и химической устойчивостью, имеет техническое название карборунд. Простейший способ его получения – спекание кремнезема с коксом:

$\text{SiO}_2 + 3\text{C} \xrightarrow{1600-2500^\circ\text{C}} \text{SiC} + 3\text{CO}\uparrow$.

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

10. Присоединив нейтрон, стабильный изотоп кремния увеличивает массу, но сохраняет заряд ядра, т.е. остается атомом кремния. Излучив β -частицу, т.е. превратив один из нейтронов в протон и электрон, он сохраняет массу, но увеличивает заряд ядра на 1 и превращается в атом фосфора, у которого по условию только один стабильный изотоп. Таким образом, Y – фосфор. Значение атомной массы фосфора в ПС однозначно указывает на то, что этот изотоп ^{31}P . Следовательно, превращениям подвергался изотоп ^{30}Si . Уравнения описанных ядерных реакций:



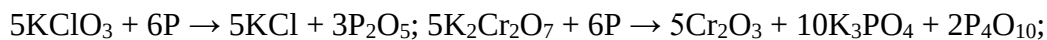
Система оценивания:

1. Кремний 2 б., связан с кислородом 2 б.	2+2 = 4 б.
2. Полупроводник 1 б., содержание основного вещества 99,999999 % 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.	1×7 = 7 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 с указанием температуры в нужном интервале 2 б. (просто нагревание 1 б.), техническое название 0,5 б., свойства по 0,5 б.	2+0,5+0,5×3 = 4 б.
9. Схема транспортной реакции 2 б.	2 б.
10. Фосфор 2 б., уравнения реакций по 1 б.	2+1×2 = 4 б.
Всего	38 баллов

Задание 4. (авторы Т.М. Карнаухов, А.С. Недогибченко, В.Н. Конев).

1. Бертолетова соль – хлорат калия KClO_3 , хромпик – дихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, сера – S , мел – карбонат кальция CaCO_3 , кварц – диоксид кремния SiO_2 , свинцовый сурик – оксид свинца(II, IV) Pb_3O_4 , цинковые белила – оксид цинка ZnO , антимонит – сульфид сурьмы (III) Sb_2S_3 , красный фосфор – P_n (можно просто P), железный сурик – оксид железа(III) Fe_2O_3 .

2. Возможные уравнения реакций:



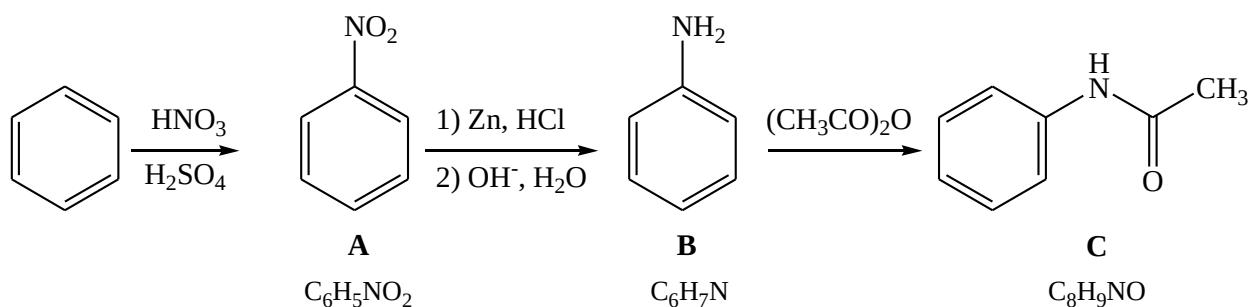
3. Получение люца только из воды наводит на мысль о том, что это молекулярный водород. В самом деле, из 18 мл воды можно получить 2 г водорода. Синтез без использования дополнительных реагентов – электролиз в присутствии щелочи: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$.

4. Бак пепелаца гораздо более целесообразно заполнять *жидким* люцем, т. к. жидкость занимает значительно меньший объём, чем такое же количество газа. Покажем это расчётами дальности полёта пепелаца при полном баке газообразного и жидкого люца (возможно подтверждение и другими разумными расчётами).

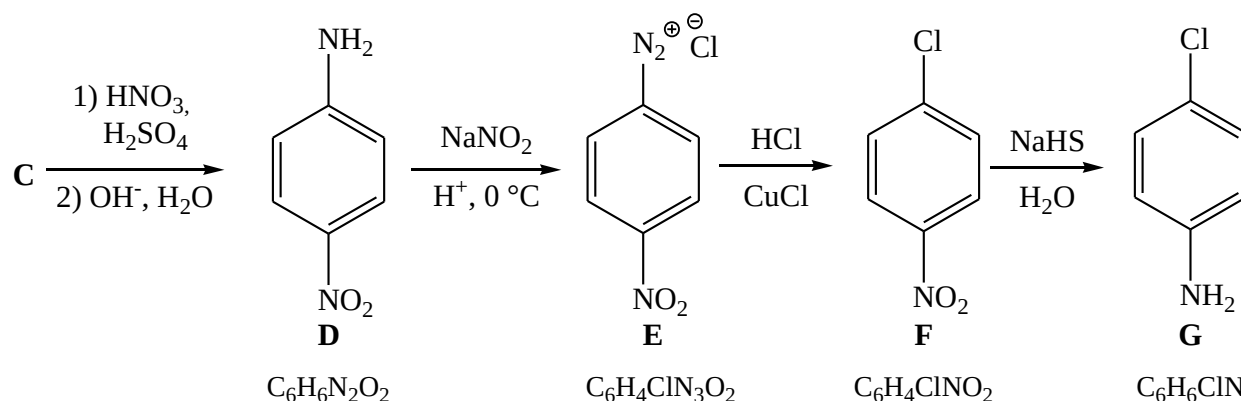
Жидкий люц. $m = 44,8 \text{ л} \cdot 10^3 \cdot 0,07 \text{ г/мл} = 3136 \text{ г} = 3,136 \text{ кг}$, что составляет $3,136/0,769 = 4$ заряда, каждого из которых хватает на 160 км, т.е. на полном баке жидкого люца пепелац пролетит 640 км.

При сгорании 3136 г H_2 образуется $3136/2 \cdot 18 = 28224 \text{ мл} = 28,224 \text{ л}$ жидкой воды.

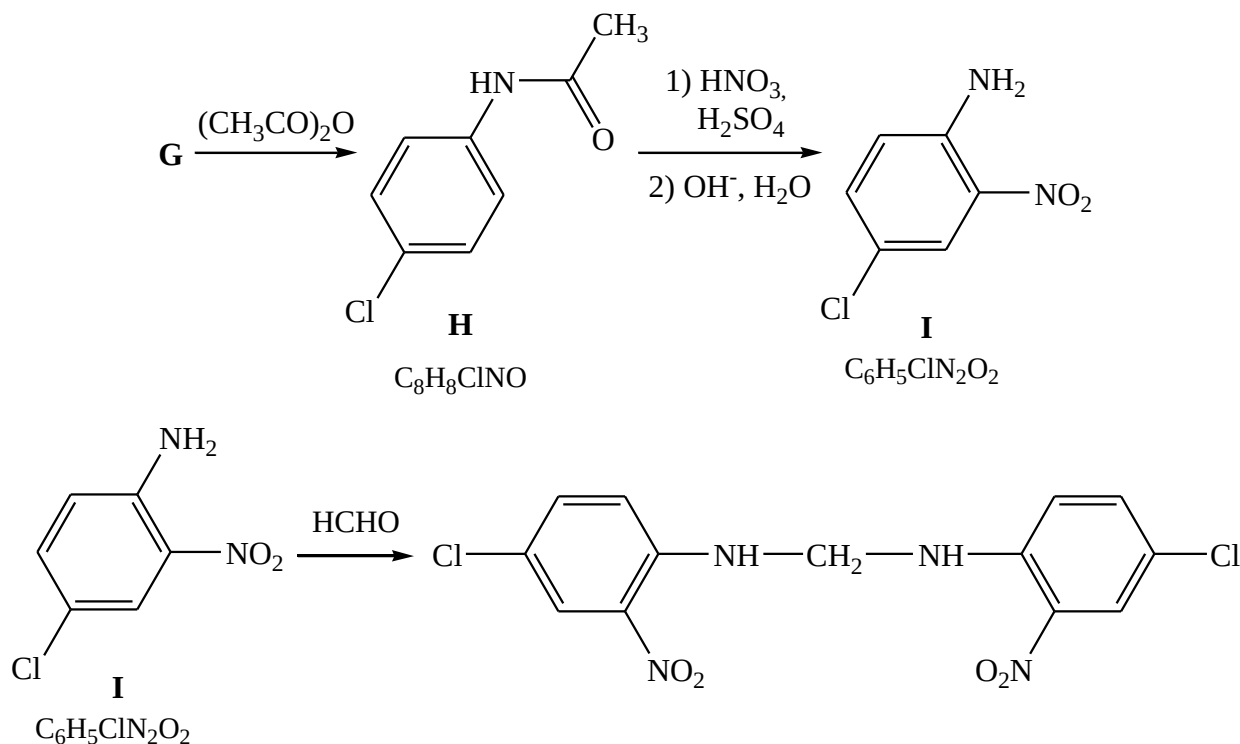
5. *Желтый.* Бензол под действием нитрующей смеси превращается в нитробензол **A**, который восстанавливают цинком в соляной кислоте до хлорида анилина. Обработка щелочью соли анилина переводит его в свободное основание – анилин **B**. Ацилирование анилина уксусным ангидридом приводит к образованию ацетанилида **C**.



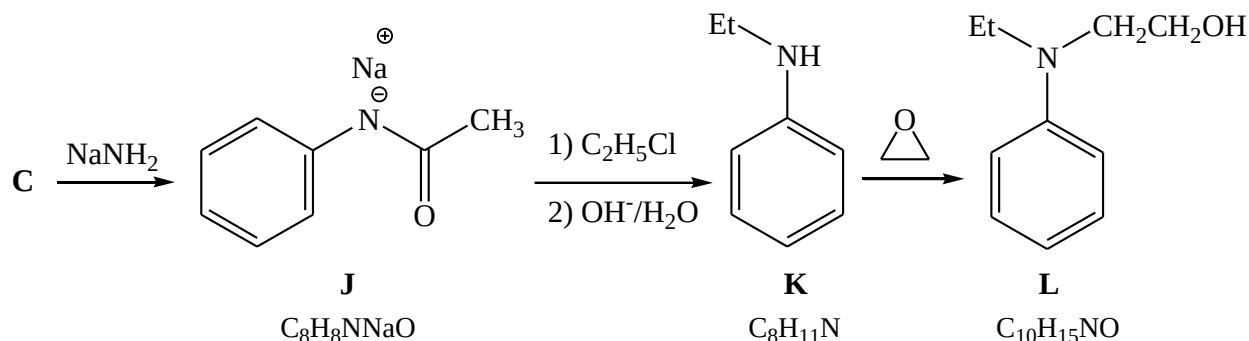
Нитрование ацетанилида **C** происходит преимущественно в *n*-положение (стерический эффект) с образованием 4-нитроацетанилида, который гидролизует под действием щелочи до 4-нитроанилина **D**. Диазотирование 4-нитроанилина азотистой кислотой (нитрит натрия и соляная кислота при охлаждении) приводит к получению соли диазония **E**. Реакция замещения диазогруппы соли диазония **E** на атом хлора протекает с образованием 4-хлорнитробензола **F**. Гидросульфид натрия использовался для восстановления нитрогруппы соединения **F** в 4-хлоранилин **G**.



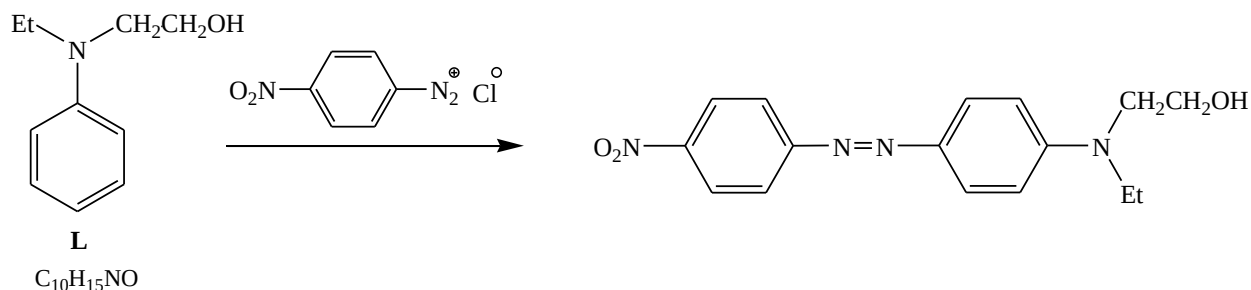
Ацилированием амина **G** уксусным ангидридом получают амид **H**, который нитруют с образованием нитроамина **I**, после гидролиза щелочным раствором. На заключительной стадии происходит конденсация амина **I** с формальдегидом с образованием конечного диамина.



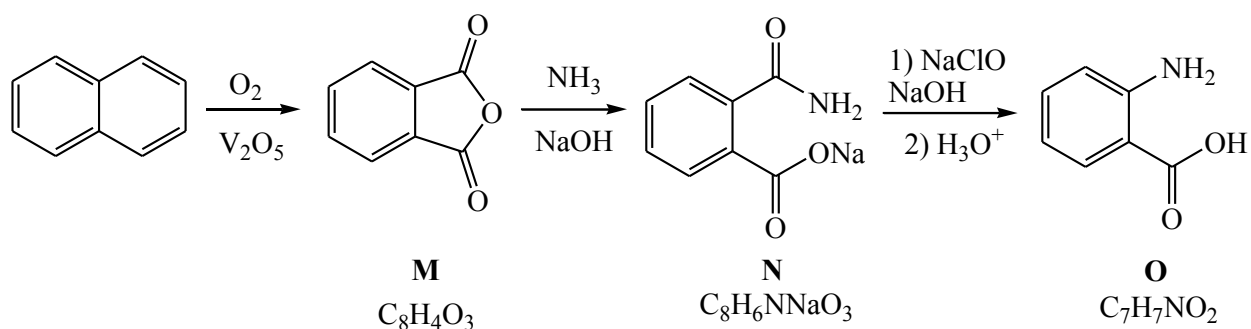
Малиновский. Под действием сильного основания – амида натрия ацетанилид депротонируется с образованием соли, которую алкилируют этилхлоридом с последующим гидролизом водным раствором щелочи с образованием *N*-этиланилина **K**. На следующей стадии происходит раскрытие оксиранового цикла под действием этиламина с образованием аминспирта **L**.



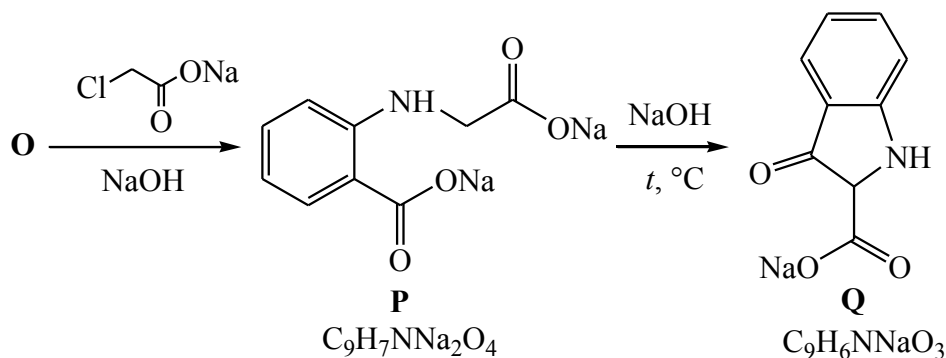
Взаимодействие соли диазония с аминспиртом является заключительной стадией получения конечного азосоединения.



Голубой. Окисление нафталина кислородом воздуха над оксидом ванадия является промышленным способом получения фталевого ангидрида **M**. Щелочной гидролиз водной щелочью амида, образующегося из фталевого ангидрида и аммиака, приводит к образованию соли **N**.

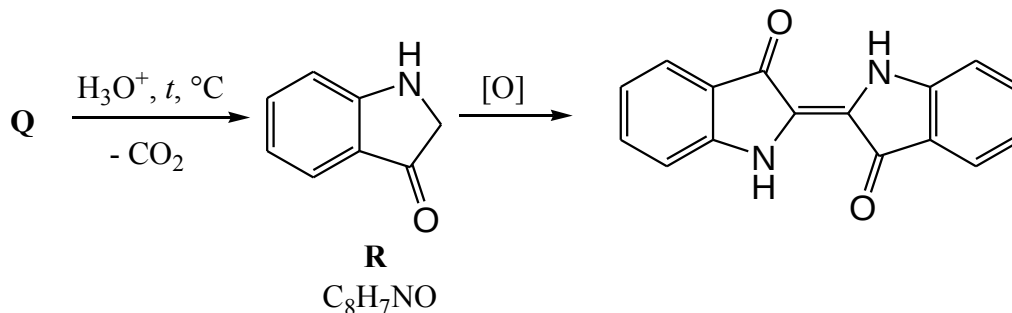


Третья стадия представляет собой расщепление амида по Гофману с последующим кислотным гидролизом, в результате чего образуется антраниловая кислота **O**. Следующая стадия – ацилирование аминогруппы с образованием N-ацетилантраниловой кислоты **P**.



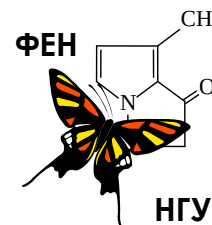
Нагревание с гидроксидом натрия приводит к замыканию цикла и образованию индоксилата **Q**.

Нагревание кислоты, образующейся из соли **Q**, в кислой среде приводит к декарбоксилированию с образованием кетоамина **R**, который легко окисляется кислородом до индиго.



Система оценивания:

1. Формулы веществ по 0,5 б.	0,5×10 = 5 б.
2. Уравнения реакций по 1 б.	1×5 = 5 б.
3. Состав луга 1 б., способ получения 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Расстояния на газе и на жидком водороде по 1 б., объем воды 1 б.	1+1+1 = 3 б.
5. Структурные формулы веществ A-R по 1 б.	1×18 = 18 б.
Всего	33 балла

**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.

	Состав ядра			Состав атома		
Изотоп	^1H	^{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 , ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{32}S , ^{35}Cl .

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

Количество протонов 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 $\nu_C = m_C / M_C = 35 \cdot 10^{-3} / 176 = 1,9886 \cdot 10^{-4}$ 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.

$\nu_A = 1,38 \cdot 10^{-3} / 524 = 2,63 \cdot 10^{-6}$, $\nu_{B1} = 1 \cdot 10^{-3} / 337 = 2,97 \cdot 10^{-6}$, $\nu_{B2} = 1 \cdot 10^{-3} / 376 = 2,66 \cdot 10^{-6}$ 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 $0,137 \cdot 44 = 6,03 \text{ г}$, 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. 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.	$3 + 1 = 4 \text{ б.}$
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-

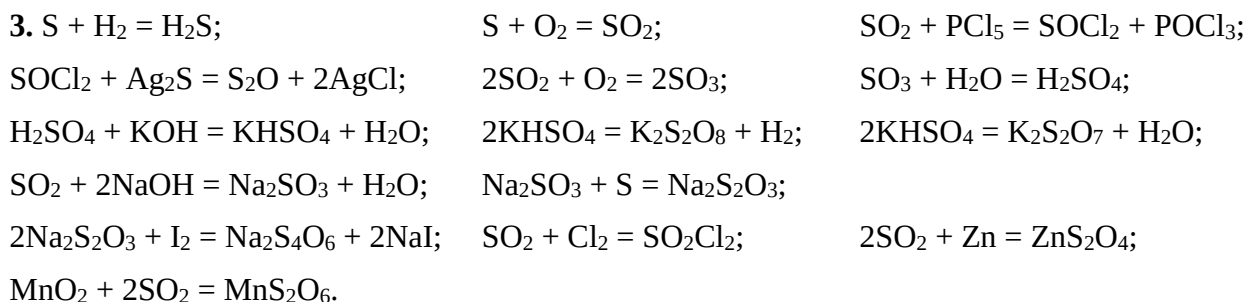
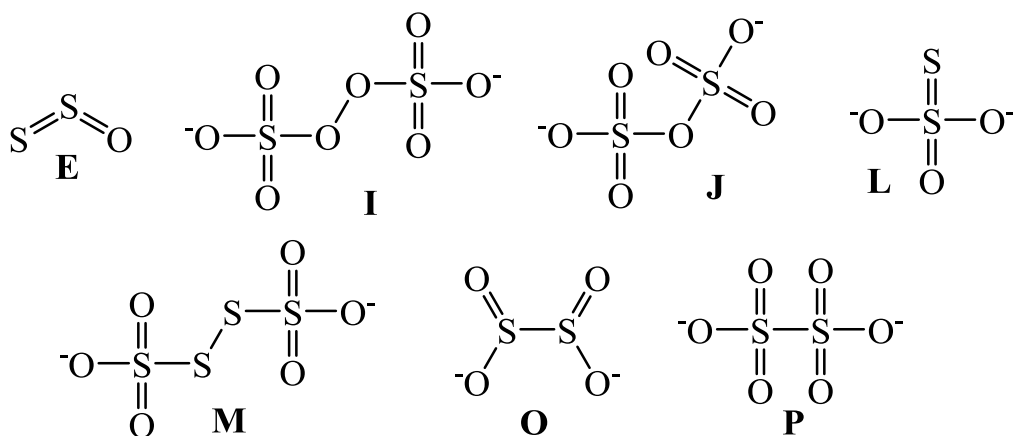
ры, то их общее количество тоже не меньше двух. Если их два, то на остаток (Na, O или I) приходится $135,1 - 32,06 \cdot 2 = 70,98$ г/моль. Подбором нетрудно получить, что в остатке атом Na и три атома O. Тогда **М** должно иметь формулу NaS_2O_3 . Но такой вариант не подходит, так как соединение с таким 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 99,999999 %, 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.

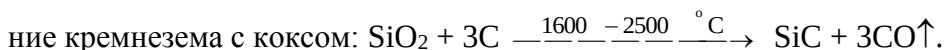
4. $\text{SiF}_4 + 4\text{K} = 4\text{KF} + \text{Si}$ [1], $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} = 2\text{MgO} + \text{Si}$ [2], $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} = 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Si}$ [3], $\text{MgO} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ [4], $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ [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, основным 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.

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.

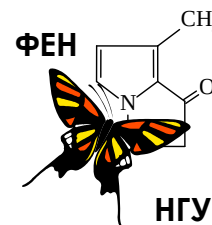
8. Карбид кремния, обладающий высокой твердостью и повышенной термической и химической устойчивостью, имеет техническое название карборунд. Простейший способ его получения – спекание кремнезема с коксом:



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

**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.

	Состав ядра			Состав атома		
Изотоп	^1H	^{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 , ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{32}S , ^{35}Cl .

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

Количество протонов 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 $\nu_C = m_C / M_C = 35 \cdot 10^{-3} / 176 = 1,99 \cdot 10^{-4}$ 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 **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.

$\nu_A = 1,38 \cdot 10^{-3} / 524 = 2,63 \cdot 10^{-6}$, $\nu_{B1} = 1 \cdot 10^{-3} / 337 = 2,97 \cdot 10^{-6}$, $\nu_{B2} = 1 \cdot 10^{-3} / 376 = 2,66 \cdot 10^{-6}$ 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. По условию задачи весь углерод, входивший в состав витаминов, выделился из организма в виде углекислого газа. Поскольку из одного атома углерода получается одна молекула CO₂, рассчитаем количество углерода, входящего в состав витаминов, для 100 драже.

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

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

Система оценивания:

1. Составы ядер и атомов по 1 б.	1×6 = 6 б.
2. Количество протонов и нейтронов в каждой из молекул по 1 б.	1×4 = 4 б.
3. Массовые доли каждого витамина по 1 б.	1×4 = 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. Масса CO ₂ 3 б. (за верное количество 2 б.), объем 1 б.	3+1 = 4 б.
Всего	24 балла

Задание 2. (автор О.Г. Сальников).

1. Из предисловия к задаче следует, что **X** – сера. Тогда **A** – S₈ (в качестве верного ответа засчитывается и S), **B** – SO₂. При каталитическом окислении SO₂ кислородом образуется SO₃ (**C**), взаимодействие которого с водой приводит к образованию H₂SO₄ (**D**).

Уравнения реакций: $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$; $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$; $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$.

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*:

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

По молярным массам подходит довольно большое количество металлов. Однако реалистичный состав имеет только FeS₂, который действительно является одним из основных природных источников серы. Таким образом, **E** – FeS₂ (минерал пирит). Уравнение реакции: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$.

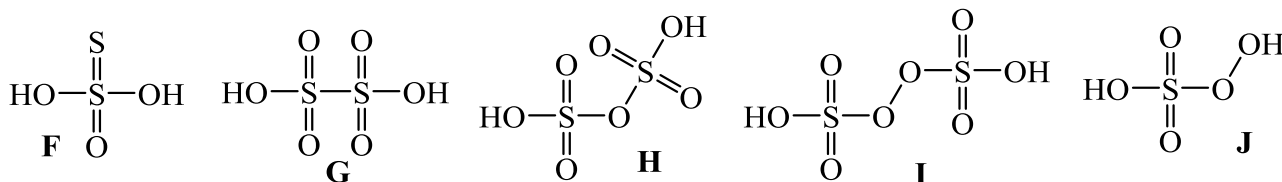
3. Найдём молярные массы кислот *M* (в расчёте на один атом серы). Для этого используем формулу $M = 32,06 / \omega(\text{S})$. Также найдём массу, приходящуюся на остальные элементы. Получим следующую таблицу.

Вещество	F	G	H	I	J
<i>M</i> , г/моль	57,07	81,06	89,08	97,06	114,09
[<i>M</i> – <i>M</i> (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** – HSO_{1,5}, **G** – HSO₃, **H** – HSO_{3,5}, **I** – HSO₄, **J** – H₂SO₅. Поскольку формулы **F** и **H** содержат полуцелое количество атомов кислорода, их следует удвоить, то есть **F** – H₂S₂O₃, **H** – H₂S₂O₇.

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 H₂S₂O₆ и H₂S₂O₈ соответственно.

Структурные формулы кислот:



Система оценивания:

1. Формулы по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1×4+1×3 = 7 б.
2. Формула E 2 б., уравнение реакции 1 б.	2+1 = 3 б.
3. Установление простейших формул F-J по 2 б.	2×5 = 10 б.
4. Истинные формулы G и I по 1 б.	1×2 = 2 б.
Структурные формулы по 1 б.	1×5 = 5 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 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.
Всего	29 баллов