**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, ¹³C, ¹⁵N, ¹⁸O, ³⁶S, ³⁷Cl.

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

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

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

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

Витамин **В₂**: $M_{V2} = 12 \cdot 17 + 1 \cdot 20 + 14 \cdot 4 + 16 \cdot 6 = 204 + 20 + 56 + 96 = 376$ а.е.м.

Теперь вычислим количество каждого витамина **А**, **В₁** и **В₂** в молях в составе одного драже.

$v_A = 1,38 \cdot 10^{-3} / 524 = 2,63 \cdot 10^{-6}$, $v_{V1} = 1 \cdot 10^{-3} / 337 = 2,97 \cdot 10^{-6}$, $v_{V2} = 1 \cdot 10^{-3} / 376 = 2,66 \cdot 10^{-6}$ 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, $n_{\text{молекул}} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot (v_A + v_{V1} + v_{V2} + v_C) = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-6} \cdot (2,63 + 2,97 + 2,66 + 198,86) = 1,25 \cdot 10^{20}$.

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

Следовательно, $n_{\text{атомов}} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot (98v_A + 38v_{V1} + 47v_{V2} + 20v_C) = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-6} \cdot (98 \cdot 2,63 + 38 \cdot 2,97 + 47 \cdot 2,66 + 20 \cdot 198,86) = 2,69 \cdot 10^{21}$.

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.

$v_{\text{CO}_2} = v_C = 100 \cdot (36v_A + 12v_{V1} + 17v_{V2} + 6v_C) = 100 \cdot 10^{-6} \cdot (36 \cdot 2,63 + 12 \cdot 2,97 + 17 \cdot 2,66 + 6 \cdot 199) = 0,137$ 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. Требуется 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	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

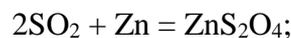
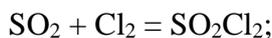
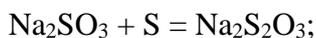
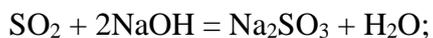
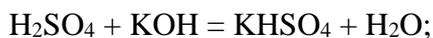
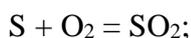
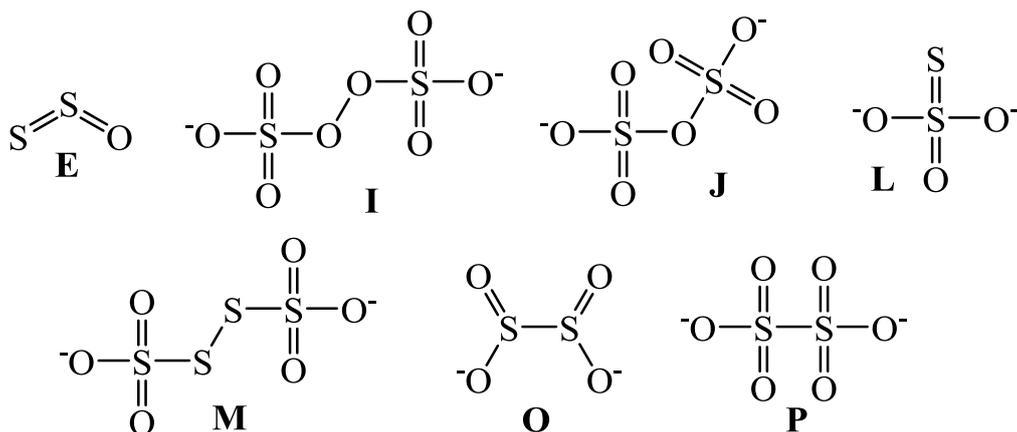
приводит к образованию вещества **М**. Так как по условию это вещество содержит два типа атомов серы, то их общее количество тоже не меньше двух. Если их два, то на остаток (Na, O или I) приходится $135,1 - 32,06 \cdot 2 = 70,98$ г/моль. Подбором нетрудно получить, что в остатке атом Na и три атома O. 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), **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 «девятка» - 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], $\text{K}_2\text{SiF}_6 + 4\text{K} = 6\text{KF} + \text{Si}$ [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) С. Следовательно, основной продукт окисления углерода – СО: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}\uparrow$ [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.

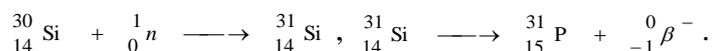
6. Для оценки воспользуемся целыми значениями атомных масс. Из 600 кг (10^4 моль) SiO_2 должно было получиться 10^4 моль (280 кг) кремния. Следовательно, $292-280 = 12$ кг в полученном пеке приходится на углерод (10^3 моль), который связан с кремнием в карбид кремния. Его получилось 10^3 моль или 40 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: $\text{SiO}_2 + 3\text{C} \xrightarrow[2500^\circ\text{C}]{1600^\circ\text{C}} \text{SiC} + 3\text{CO}\uparrow$.

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:



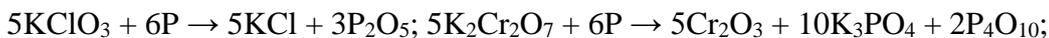
Система оценивания:

1. Кремний 2 б., связан с кислородом 2 б.	2+2 = 4 б.
2. Полупроводник 1 б., содержание основного вещества 99,9999999 % 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.	1×7 = 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:



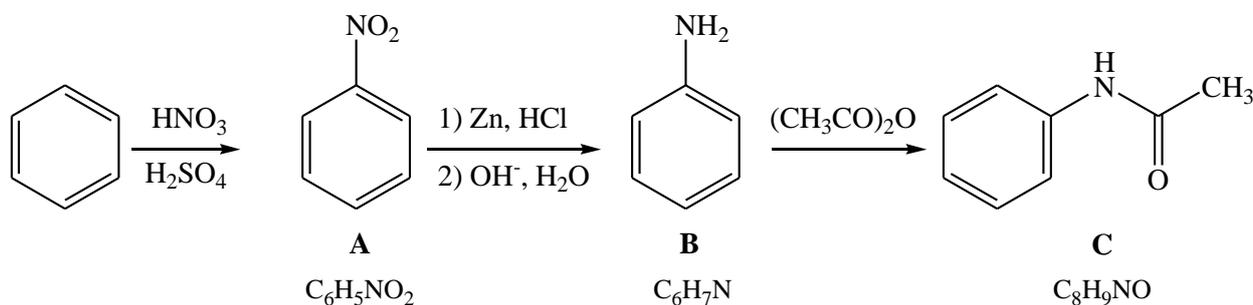
3. Получение люца только из воды наводит на мысль о том, что это молекулярный водород. В самом деле, из 18 мл воды можно получить 2 г водорода. Синтез без использования дополнительных реагентов – электролиз в присутствии щелочи: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$.

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).

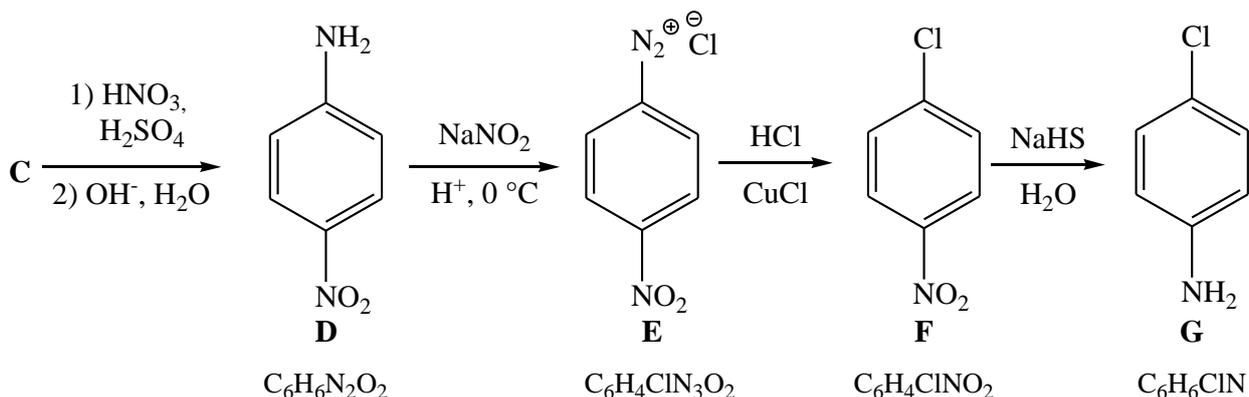
Жидкий люц. $m = 44,8 \text{ л} \cdot 10^3 \cdot 0,07 \text{ г/мл} = 3136 \text{ г} = 3,136 \text{ кг}$, что составляет $3,136/0,769 = 4$ заряда, каждого из которых хватает на 160 км, т.е. на полном баке жидкого люца пепелац пролетит 640 км.

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

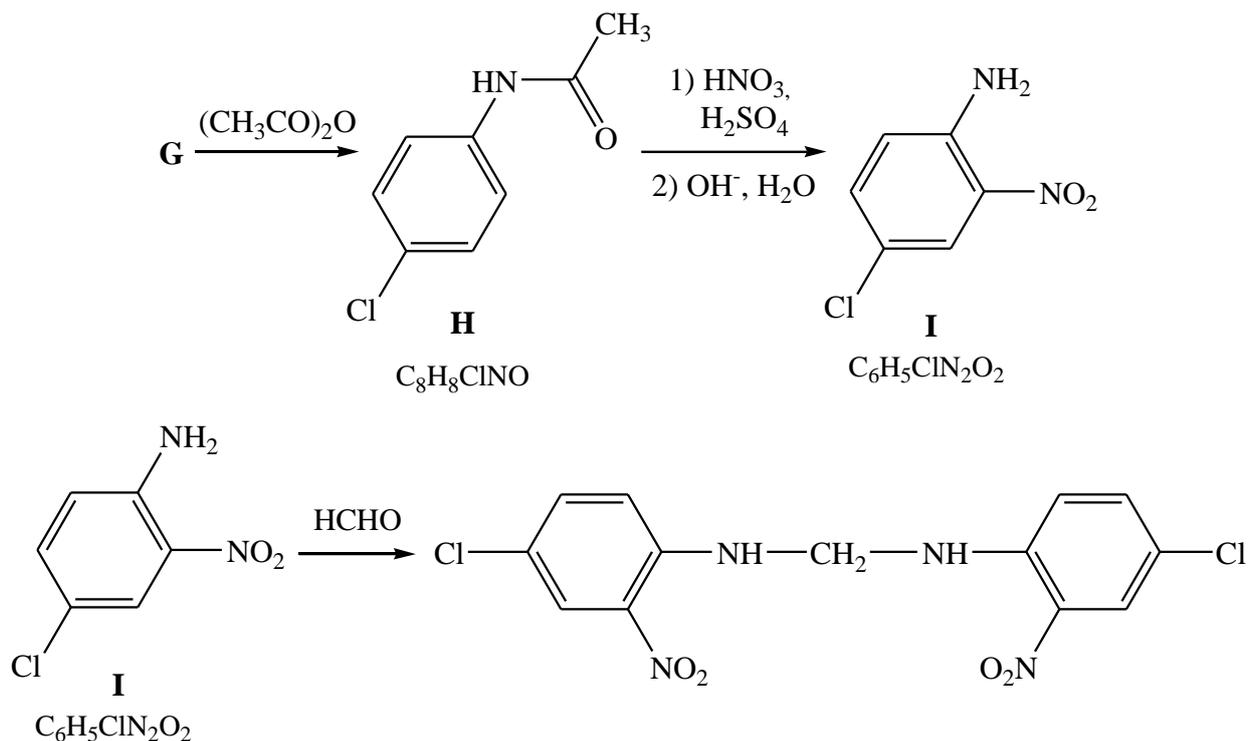
5. *Желтый.* Бензол под действием нитрующей смеси превращается в нитробензол **A**, который восстанавливают цинком в соляной кислоте до хлорида анилина. Обработка щелочью соли анилина переводит его в свободное основание – анилин **B**. Ацилирование анилина уксусным ангидридом приводит к образованию ацетанилида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



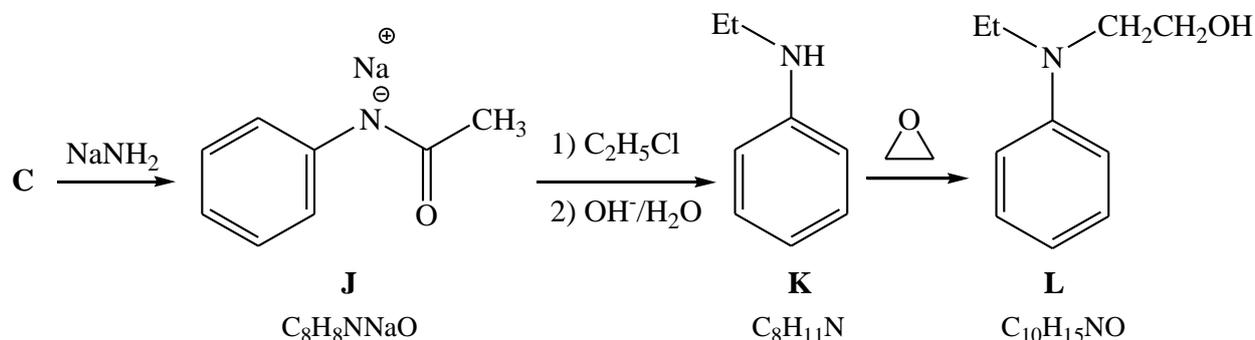
Нитрование ацетанилида **C** происходит преимущественно в *n*-положение (стерический эффект) с образованием 4-нитроацетанилида, который гидролизует под действием щелочи до 4-нитроанилина **D**. Диазотирование 4-нитроанилина азотистой кислотой (нитрит натрия и соляная кислота при охлаждении) приводит 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**.



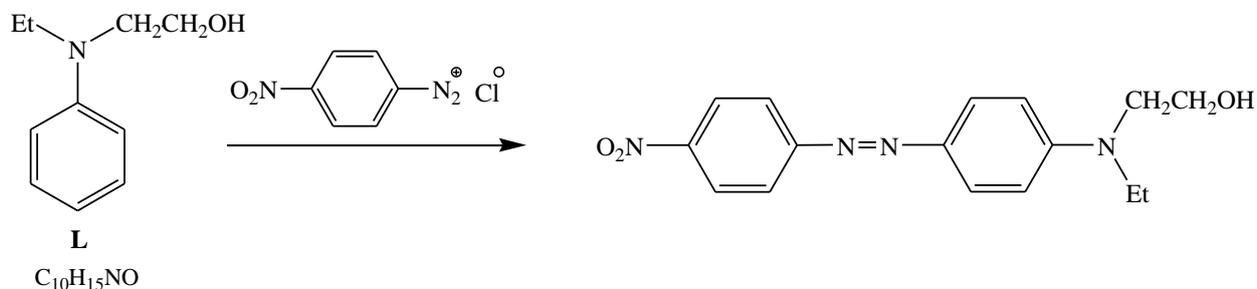
Ацилированием амина **G** уксусным ангидридом получают амид **H**, который нитруют с образованием нитроамина **I**, после гидролиза щелочным раствором. На заключительной стадии происходит конденсация амина **I** с формальдегидом с образованием конечного диамина.



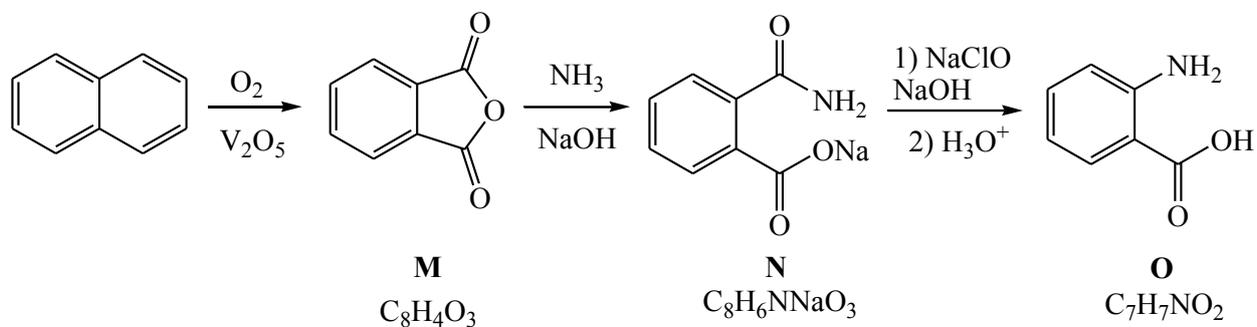
Малиновский. Под действием сильного основания – амида натрия ацетанилид депротонируется с образованием соли, которую алкилируют этилхлоридом с последующим гидролизом водным раствором щелочи с образованием *N*-этиланилина **K**. На следующей стадии происходит раскрытие оксиранового цикла под действием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



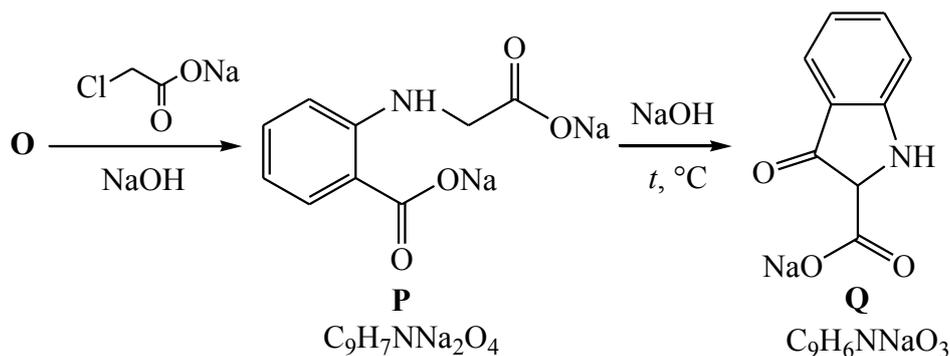
Взаимодействие соли диазония с аминспиртом является заключительной стадией получения конечного азосоединения.



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**.

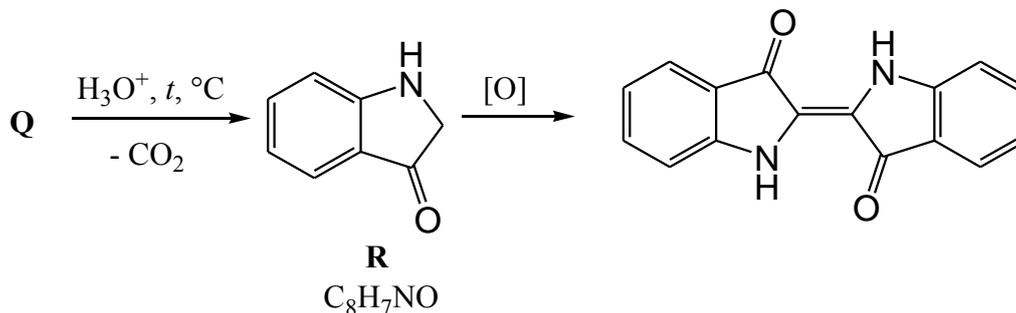


Третья стадия представляет собой расщепление амида по Гофману с последующим кислотным гидролизом, в результате чего образуется антралиловая кислота **O**. Следующая стадия – ацилирование аминогруппы с образованием N-ацетилантралиловой кислоты **P**.



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.	$0,5 \times 10 = 5$ б.
2. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 5 = 5$ 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.	$1 \times 18 = 18$ б.
Всего	33 балла