

**Министерство образования и науки РТ
Казанский федеральный университет**

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады
школьников по химии 2016–2017 гг.
Решения**

Авторы и составители:

**Седов Игорь Алексеевич
Магсумов Тимур Ильнурович
Курамшин Булат Камилевич**

Инструкция для жюри

Жирным шрифтом выделены правильные ответы, за которые начисляются баллы, и разбалловка.

Во многих расчетных задачах оцениваются промежуточные шаги. Школьник может решать задачу не так, как в авторском решении, при этом, если он получил верный конечный ответ, решение должно быть оценено полным баллом как за этот ответ, так и за все шаги, ведущие к нему в авторском решении.

В многоступенчатых расчетных задачах за одну чисто арифметическую ошибку, приведшую к численно неверному ответу, суммарный балл за весь расчет не должен снижаться более чем наполовину.

Уравнения реакций с неверными или отсутствующими коэффициентами, как правило, оцениваются в половину от максимального количества баллов, а в тех случаях, когда уравнения без коэффициентов приведены в самом условии, в 0 баллов.

Школьники могут использовать при решении как округленные до целого числа, так и точные (1-3 знака после запятой) атомные массы элементов. В последнем случае ответ может содержать больше значащих цифр, чем приведено в данном решении.

При проверке работ одну и ту же задачу у всех участников должен проверять один человек.

Максимальный балл за каждую задачу различен и указан в конце решения.

Максимальный балл за все задачи в 8 классе 58 баллов, в 9 классе 59 баллов, в 10 классе 56 баллов, в 11 классе 52 балла.

8 класс (5 часов, максимум 58 баллов)

Задание 1.

- 1) $4\text{Al} + 3\text{O}_2 = \text{Al}_2\text{O}_3$
- 2) $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{NaOH} + \text{O}_2$
- 3) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$
- 4) $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$
- 5) $3\text{BaCl}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 3\text{BaSO}_4 + 2\text{AlCl}_3$
- 6) $2\text{Fe(OH)}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O}$
- 7) $2\text{K} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{KOH} + \text{H}_2$
- 8) $5\text{K}_2\text{SO}_3 + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = 6\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$

**По 1,5 балла за каждую реакцию, если верны все коэффициенты.
Всего максимум 12 баллов.**

Задание 2 – тест.

- 1) 1
- 2) 4
- 3) 2
- 4) 1
- 5) 2
- 6) 3
- 7) 1
- 8) 4
- 9) 1
- 10) 3
- 11) 3
- 12) 1
- 13) 3
- 14) 2
- 15) 3

**По 1 баллу за каждый верный ответ. Если на вопрос указано более одного варианта, среди которых есть верный, 0 баллов.
Всего максимум 15 баллов.**

Задание 3.

1. Брутто-формула ретинола $\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}$ (по 1 баллу за верно рассчитанное число каждого типа атомов С, Н и О, всего 3 балла). Молярная масса ретинола 286 г/моль (1 балл).

Массовая доля каждого элемента в ретиноле

$\omega(C) = 83,9\%$

$\omega(H) = 10,6\%$

$\omega(O) = 5,6\%$

(По 1 баллу за каждую верную массовую долю, всего 3 балла)

2. $m(\beta\text{-каротина}) = 6 \cdot 900 \text{мкг/сут} \cdot 366 \text{сут} = 1976400 \text{мкг} \approx 2 \text{г}$ (2 балла)

Всего максимум 9 баллов.

Задание 4.

$$1. \rho(\text{сплав Деварда}) = \frac{15,0}{3,05} = 4,92 \text{г/см}^3 \text{ (2 балла)}$$

$$2. V(\text{меди}) = \frac{15,0 \cdot 0,5 \cdot 1000}{8960} = 0,837 \text{ см}^3 \text{ (2 балла)}$$

$$V(\text{цинка}) = \frac{15,0 \cdot 0,05 \cdot 1000}{7140} = 0,105 \text{ см}^3 \text{ (2 балла)}$$

$$3. \rho = \frac{15,0 \cdot 0,45}{2,50} = 2,7 \text{г/см}^3, \text{ или } 2700 \text{кг/м}^3 \text{ (2 балла)}$$

4. Определим молярную массу металла X:

$$M(X) = V_m \cdot \rho = 2,7 \text{г/см}^3 \cdot 10 \text{см}^3 / \text{моль} = 27 \text{г/моль}$$

X – Al (2 балла)

Всего максимум 10 баллов.

Задание 5.

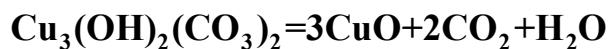
Суммарно на три элемента приходится 99,4% массы минерала. Значит в минерале содержится еще один элемент. Такая малая массовая доля, скорее всего, соответствует самому легкому элементу – водороду.

Определим соотношение между количеством атомов каждого типа в минерале:

$$n(Cu):n(C):n(O):n(H) = \frac{55.3}{63.546} : \frac{7.0}{12.011} : \frac{37.1}{16.000} : \frac{0.6}{1.008} = \\ 0.870 : 0.583 : 2.319 : 0.595 = 3 : 2 : 8 : 2$$

Брутто-формула минерала **Cu₃H₂C₂O₈ (4 балла).**

Следует предположить, что углерод входит в состав карбонат-аниона. Минералы с этим анионом распространены в природе. Тогда можно записать молекулярную формулу **Cu₃(OH)₂(CO₃)₂ (4 балла).** (Это минерал азурит, который часто встречается вместе с малахитом Cu₂(OH)₂CO₃).



По 2 балла за каждую верную реакцию, в том числе если азурит записан в виде брутто-формулы.

Всего максимум 12 баллов.

9 класс (5 часов, максимум 59 баллов)

Задание 1.

1. а) Рассчитаем общую массу хлорида натрия в баке:

$$m(\text{NaCl}) = m(\text{NaCl было}) + m(\text{NaCl добавл}) = 450 \cdot 1,15 \cdot 0,2 + 3390 = 3493,5 \text{ кг}$$

(2 балла за верную массу)

Вычислим объем воды, который требуется добавить в бак для приготовления насыщенного раствора хлорида натрия:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = (m(\text{H}_2\text{O в насыщ. р-ре}) - m(\text{H}_2\text{O было})) / \rho(\text{H}_2\text{O}) = \left(\frac{3493,5}{35,7} \cdot 100 - 450 \cdot 1,15 \cdot 0,8 \right) / 1 = \\ = 9372 \text{ л} \approx 9,4 \text{ м}^3$$

(2 балла)

б) Вычислим объем воды, который требуется добавить в бак для приготовления 20%-ного раствора хлорида натрия:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = (m(\text{NaCl добавл}) / 0,2 - m(\text{NaCl добавл})) / \rho(\text{H}_2\text{O}) = \\ = (3390 / 0,2 - 3390) / 1,00 = 13560 \text{ л} \approx 13,6 \text{ м}^3$$

(2 балла)

2. На $\Delta V = 3493,5 / 0,2 / 1,15 - 12000 = 3189 \text{ л} \approx 3,2 \text{ м}^3$ (1 балл)

3. $\omega(\text{NaCl}) = \frac{3493,5}{12000 \cdot 1,20} \cdot 100\% = 24,2\%$ (2 балла)

Всего максимум 9 баллов.

Задание 2.

1. Азот (+5) – N_2O_5

Кремний (+4) – SiO_2

Хром (+2) – CrO

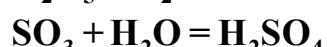
Сера (+6) – SO_3

Таллий (+1) – Tl_2O

Кальций (+2) – CaO

По 0,5 балла за каждую формулу, всего 3 балла.

2. С водой взаимодействуют N_2O_5 , SO_3 , Tl_2O , CaO (2 балла за 4 верных оксида, минус 0,5 балла за каждый неверный или лишний оксид).



По 0,5 балла за каждую реакцию, всего 2 балла.

3. N_2O_5 (0,5 балла)



4. +1 (1 балл)

Всего максимум 9 баллов.

Задание 3.

1. Определим соотношения между количеством атомов каждого типа в соединениях А и В. Из соотношений найдем формулы А и В. Для А:

$$n(N):n(C):n(O):n(H) = \frac{17.7}{14.007} : \frac{15.2}{12.011} : \frac{60.7}{16.000} : \frac{6.4}{1.008} = \\ = 1.264 : 1.266 : 3.794 : 6.349 = 1:1:3:5$$

Брутто-формула А – NH_5CO_3 . Молекулярная формула А – NH_4HCO_3 (2 балла, 1 балл если приведена только брутто-формула)

Для В:

$$n(N):n(C):n(O):n(H) = \frac{29.2}{14.007} : \frac{12.5}{12.011} : \frac{50.0}{16.000} : \frac{8.4}{1.008} = \\ = 2.085 : 1.041 : 3.125 : 8.333 = 2:1:3:8$$

Брутто-формула В – $\text{N}_2\text{H}_8\text{CO}_3$. Молекулярная формула В – $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (2 балла, 1 балл если приведена только брутто-формула)

2. А (NH_4HCO_3) – гидрокарбонат аммония (0,5 балла)

В $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$ – карбонат аммония (0,5 балла)

3. При разложении как карбоната аммония, так и гидрокарбоната аммония образуются аммиак, вода и углекислый газ. Так как именно аммиак получают в промышленности взаимодействием простых веществ (водорода и азота) на катализаторе, С – NH_3 . При сжигании аммиака в отсутствии катализатора образуются вода и азот. Значит Д – вода H_2O , F – азот N_2 . Тогда Е – углекислый газ CO_2 , а Г – водород H_2 .

Проверим вывод о соединении Е:

$M(\text{E}) = 17\text{г/моль} \cdot 2.58 = 43.9\text{г/моль}$, что соответствует CO_2 .

При окислении аммиака кислородом в присутствии катализатора образуется оксид азота (II). Н – NO .

При окислении оксида азота (II) кислородом образуется оксид азота (IV) NO_2 (I). При взаимодействии NO_2 с водой образуются азотная кислота HNO_3 (J) и оксид азота (II).

С – NH_3

Д – H_2O

Е – CO_2

Ф – N_2

Н – NO

И – NO_2

Ж – HNO_3

По 0,5 балла за каждое соединение, всего 3,5 балла.

4.

- (1) $\text{NH}_4\text{HCO}_3 = \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- (2) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- (3) $3\text{N}_2 + \text{H}_2 = 2\text{NH}_3$
- (4) $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- (5) $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$
- (6) $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$
- (7) $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$

По 0,5 балла за реакцию, всего 3,5 балла.

Всего максимум 12 баллов.

Задание 4 – тест.

- 1) 2
- 2) 1
- 3) 3
- 4) 4
- 5) 2
- 6) 3
- 7) 3
- 8) 1
- 9) 3
- 10) 3
- 11) 4
- 12) 2
- 13) 3
- 14) 1
- 15) 2

По 1 баллу за каждый верный ответ. Если на вопрос указано более одного варианта, среди которых есть верный, 0 баллов.

Всего максимум 15 баллов.

Задание 5.

1. Натрий сернокислый – Na_2SO_4

Цинк сернокислый – ZnSO_4

Барий хлористый – BaCl_2

Натрий фосфорнокислый – Na_3PO_4

Калий сернистый – K_2S

Калий цианистый – KCN

По 0,5 балла за каждую формулу, всего 3 балла.

2. 1 – Na_3PO_4

2 – Na_2SO_4

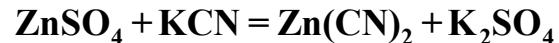
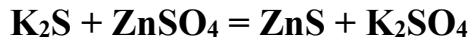
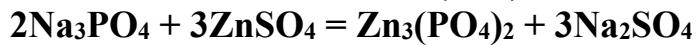
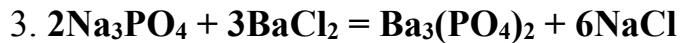
3 – K_2S

4 – BaCl_2

5 – KCN

6 – ZnSO_4

По 1 баллу за верное соответствие номера соединению, всего 6 баллов.



По 0,5 балла за реакцию, всего 3 балла.

4. (В порядке возрастания чистоты) техн – технический, ч – чистый, чда – чистый для анализа, хч химически чистый, осч – особо чистый. По 0,3 балла за каждую верную расшифровку, всего 1,5 балла.

Самую высокую чистоту имеет цианистый калий (0,25 балла), самую низкую – сернокислый натрий (0,25 балла).

Всего максимум 14 баллов.

10 класс (5 часов, максимум 56 баллов)

Задание 1.

1. Азот (+5) – N_2O_5

Кремний (+4) – SiO_2

Хром (+2) – CrO

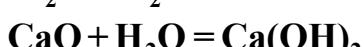
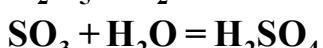
Сера (+6) – SO_3

Таллий (+1) – Tl_2O

Кальций (+2) – CaO

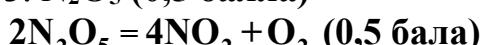
По 0,5 балла за каждую формулу, всего 3 балла.

2. С водой взаимодействуют N_2O_5 , SO_3 , Tl_2O , CaO (2 балла за 4 верных оксида, минус 0,5 балла за каждый неверный или лишний оксид).



По 0,5 балла за каждую реакцию, всего 2 балла.

3. N_2O_5 (0,5 балла)



4. +1 (1 балл)

Всего максимум 9 баллов.

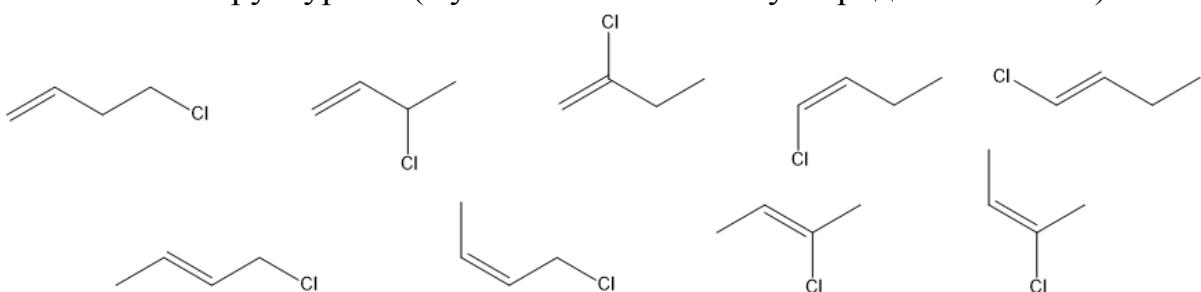
Задание 2.

1. Рассчитаем отношение атомов углерода и водорода в соединении:

$$\text{C:H} = \frac{53,0}{12} : \frac{7,73}{1} = 4 : 7$$

Если молекула содержит 4 атома углерода, то на оставшийся элемент приходится $12 \cdot 4 / 0,53 \cdot (1 - 0,53 - 0,0773) = 35,6$ г/моль – близко к атомной массе хлора (**1,5 балла**). Тогда эмпирическая формула – $\text{C}_4\text{H}_7\text{Cl}$ (**2 балла**).

2. Возможные структуры А (с учетом линейности углеродного скелета):



По 0,5 балла за каждый верный изомер, всего 4,5 балла.

3. Из всех изомеров пункта 2 хиральным является только 3-хлорбутен-1. Это соединение может образоваться при хлорировании при ультрафиолетовом облучении бутена-1. Значит, **A** – 3-хлорбутен-1, а **B** – бутен-1, не имеющий геометрических изомеров.



**По 1 баллу за верные структурные формулы А и В, всего 2 балла
Всего максимум 10 баллов.**

Задание 3 – тест.

- 1) 3
- 2) 3
- 3) 4
- 4) 4
- 5) 4
- 6) 2
- 7) 2
- 8) 2
- 9) 3
- 10) 2
- 11) 3
- 12) 4
- 13) 4
- 14) 4
- 15) 1

По 1 баллу за каждый верный ответ. Если на вопрос указано более одного варианта, среди которых есть верный, 0 баллов.

Всего максимум 15 баллов.

Задание 4.

1. Определим соотношение количеств атомов лития и германия:

$$\text{Li:Ge} = \frac{11,79}{6,94} : \frac{12,34}{72,61} = 1,7 : 0,17 = 10 : 1$$

$x = 10$ (2 балла)

2. $M(\text{Li}_{10}\text{GeA}_2\text{B}_{12}) = 10 \cdot 6,94 : 0,1179 = 588,63 = 10 \cdot 6,94 + 72,61 + 446,62$, то есть $2M(\text{A}) + 12M(\text{B}) = 446,62$

$M(\text{Li}_4\text{A}_2\text{B}_6) = 4 \cdot 6,94 : 0,0984 = 282,11 = 4 \cdot 6,94 + 254,35$, то есть $2M(\text{A}) + 6M(\text{B}) = 254,35$.

Отсюда получаем приближенные значения $M(A) = 31,0$ и $M(B) = 32,0$. **A – P** (фосфор) **(3 балла)**, **B – S** (сера) **(3 балла)**.

Формулы соединений: $Li_{10}GeP_2S_{12}$, $Li_4P_2S_6$.

3. Средняя степень окисления фосфора (**A**) в $Li_{10}GeP_2S_{12}$ **+5 (1 балл)**, в $Li_4P_2S_6$ **+4 (1 балл)**.

Всего максимум 10 баллов.

Задание 5.

- 1) $Ni(OH)_2$, H_2O_2
- 2) H_2S , SO_2
- 3) H_2O_2 , O_3
- 4) Na_2SO_3 , O_3
- 5) $(NH_4)_2CO_3$, $NaHSO_4$ или Na_2CO_3 , NH_4HSO_4
- 6) $Mg(OH)_2$, $Ca(HCO_3)_2$ или $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(OH)_2$
- 7) $Cu(NO_3)_2$, P_4
- 8) $Ba(OH)_2$, $Ca(H_2PO_4)_2$

По 1,5 балла за каждую верную пару. Если верно лишь одно вещество из пары, 0 баллов.

Всего максимум 12 баллов.

11 класс (5 часов, максимум 52 балла)

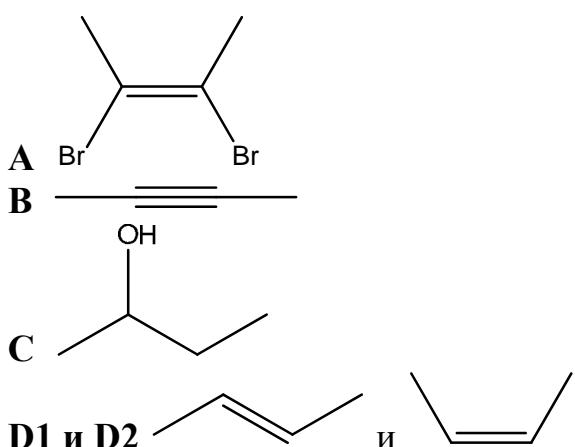
Задание 1 – тест.

- 1) 2
- 2) 4
- 3) 2
- 4) 4
- 5) 2
- 6) 4
- 7) 3
- 8) 3
- 9) 1
- 10) 3

По 1 баллу за каждый верный ответ. Если на вопрос указано более одного варианта, среди которых есть верный, 0 баллов.

Всего максимум 10 баллов.

Задание 2.



По 2 балла за каждую верную структурную формулу.

Всего максимум 10 баллов.

Задание 3.

1.

$$\nu(CuSO_4) = \frac{1,36\text{г}}{159,546\text{г / моль}} = 0,00852\text{моль}$$

$$\Delta m(A \rightarrow B) \approx 0,15\text{г}$$

Так как масса может увеличиваться только за счет воды, то

$$\nu(H_2O \text{ перешедшей в гидрат}) = \frac{0,15\text{г}}{18\text{г / моль}} = 0,0083\text{моль}$$

То есть $v(CuSO_4) : v(H_2O \text{ перешедшей в гидрат}) \approx 1:1$. Формула гидрата, образующегося в процессе A→B $CuSO_4 \cdot H_2O$.

По диаграмме видно, что $\Delta m(C \rightarrow E) = 2 \cdot \Delta m(A \rightarrow B)$

Значит в кристаллогидрат перешло в два раза больше воды, чем в первом случае. Формула гидрата, образующегося в процессе C→E $CuSO_4 \cdot 3H_2O$.

В последнем процессе $\Delta m(F \rightarrow G) = \Delta m(C \rightarrow E)$. То есть формула образующегося гидрата $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

По 1 балла за каждую формулу, всего 3 балла.

2. В точке D в системе находятся $CuSO_4 \cdot H_2O$ и $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ (по 1 баллу за каждое вещество, всего 2 балла).

Так как CD = DE, то на один моль $CuSO_4 \cdot H_2O$ было поглощено 1 моль воды.

Значит, в системе находится эквимолярная смесь $CuSO_4 \cdot H_2O$ и $CuSO_4 \cdot 3H_2O$.

$$\omega(CuSO_4 \cdot H_2O) = \frac{177,546 \text{ г / моль}}{177,546 \text{ г / моль} + 213,546 \text{ г / моль}} = 0,454, \text{ или } 45,4\%$$

$$\omega(CuSO_4 \cdot 3H_2O) = \frac{213,546 \text{ г / моль}}{177,546 \text{ г / моль} + 213,546 \text{ г / моль}} = 0,546, \text{ или } 54,6\%$$

2 балла за верные значения массовых долей.

3. Речь идет о процессе $CuSO_4 \cdot H_2O \text{ (тв)} + 2H_2O \text{ (газ)} \rightleftharpoons CuSO_4 \cdot 3H_2O \text{ (тв)}$.

Поскольку активности твердых веществ равны единице, то константа равновесия обратна квадрату давления паров воды на участке CE (которое

составляет 0,75 кПа): $K = 1/p_{H_2O}^2 = 1/(0,75 \cdot 10^{-2})^2 \approx 17800$. (1 балл за выражение для константы, 1 балл за верное значение, всего 2 балла.

Принимается также ответ $K = p_{H_2O}^2 = 5,6 \cdot 10^{-5}$ для обратного процесса).

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K = \Delta G^\circ = -RT \ln 17800 \approx -8,314 \cdot 298,15 \cdot \ln 17800 \approx -24300 \text{ Дж/моль}$$

(2 балла за верное значение, принимается также ответ 24300 Дж/моль для обратного процесса).

Всего максимум 11 баллов.

Задание 4.

Найдем молекулярную массу жидкости Z:

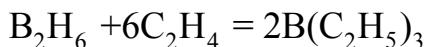
$$M(Z) = \rho \cdot V_m = 0,696 \cdot 140,7 = 98 \text{ г/моль}$$

Из 7 молекул (6+1) X и Y, имеющих одинаковую молярную массу, образуется n молекул жидкости Z. При этом n, вообще говоря, может быть любым рациональным числом, но перебор следует начать с целых чисел. Тогда

$$M(X) = M(Y) = \frac{98}{7} n = 14n$$

При $n = 1$ газов с молекулярной массой 14 не существует, а при $n = 2$ молярная масса X и Y должна быть равна 28 г/моль, что соответствует большому числу газов: CO, N₂, B₂H₆, C₂H₄. Взаимодействовать между собой

могут B_2H_6 и C_2H_4 с образованием триэтилборана, при этом они реагируют в искомом соотношении 1 к 6:

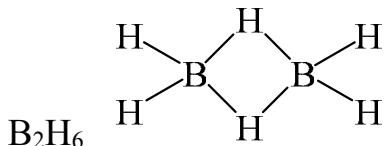


X – C_2H_4 (2 балла)

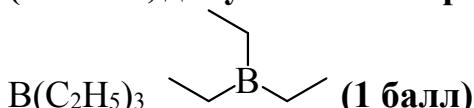
Y – B_2H_6 (2 балла)

Z – $\text{B}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ (2 балла)

$\text{C}_2\text{H}_4 = 1$ балл)



(2 балла, допускаются штриховые линии для связей B–H–B)



Всего максимум 10 баллов.

Задание 5.

1. $\text{C}_{430}\text{H}_{274}\text{O}_{12}$ (по 1 баллу за верно рассчитанное число каждого типа атомов С, Н и О, всего 3 балла)

$M = 12,011 \cdot 430 + 1,008 \cdot 274 + 16,00 \cdot 12 = 5632,922 \approx 5633$ г / моль (2 балла; 1 балл, если получен ответ 5626 г/моль из целочисленных атомных масс)

2. $v = 2\pi\nu r = 2 \cdot 3,14 \cdot 10^{10} \cdot 1,01 \cdot 10^{-9} / 2 = 31,7$ м/с = 114 км / ч (1 балл за верную формулу, 2 балла за верное значение, всего 3 балла)

3. $t = \frac{\frac{10000000}{2 \cdot 331} \cdot 0,34 \cdot 10^{-9}}{0,014 \cdot 10^{-3}} = 0,367\text{ч} = 22\text{мин}$ (3 балла; 2 балла, если получен

ответ 44 минуты без учета того, что спираль двойная)

Всего максимум 11 баллов.