

Всесибирская открытая олимпиада школьников

В.А. Емельянов, В.В. Еремин

1. Историческая справка и общая информация об олимпиаде
2. Достижения победителей и призеров олимпиады
3. Методические особенности олимпиады
4. Как готовиться?
5. Интернет-ресурсы
6. Задачи для контроля

2. Историческая справка и общая информация об олимпиаде

Первая Всесибирская олимпиада школьников была проведена в 1962 году по инициативе ведущих ученых Сибирского отделения Академии наук (СО АН) СССР. Для проведения Всесибирской олимпиады был создан Олимпиадный комитет СО АН, в работе которого в разные годы участвовали академики М.А. Лаврентьев, С.Л. Соболев, А.И. Мальцев, Г.И. Будкер, В.И. Овчаренко (ныне – директор Международного Томографического центра СО РАН), чл.-корр. РАН В.П. Федин (ныне – директор Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН), профессора В.А. Собянин (ныне – зам. директора Института Катализа им. Г.К. Борескова СО РАН), В.А. Резников (ныне – декан ФЕН НГУ) и другие известные ученые. Первые олимпиады были проведены по математике и физике, несколько позднее (с 1965 года) к ним добавилась олимпиада по химии. Первый тур Олимпиады был заочный, задачи были опубликованы в газете «Комсомольская правда», журнале «Наука и жизнь», и распространялись непосредственно по школам Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и Средней Азии. После проверки решений задач Олимпиадный комитет через органы народного образования разослал приглашения на второй тур олимпиады, который совпадал с областными и краевыми олимпиадами. Таким образом, Всесибирская олимпиада успешно вписалась в складывающуюся систему Всероссийских, а впоследствии, и Всесоюзных олимпиад школьников.

Победители второго тура Всесибирской олимпиады и участники, успешно прошедшие собеседование с представителями Олимпиадного комитета, выезжавшими в регионы для проведения второго тура, были приглашены в Летнюю физико-математическую школу, проходившую в Новосибирском Академгородке в июле и августе 1962 года. Лучшие ребята из этой школы и составили первый набор Физико-математической школы-интерната, открывшейся в Новосибирске в январе 1963 года.

С тех пор ежегодно в дни зимних и весенних каникул научные работники институтов СО РАН, преподаватели НГУ и СУНЦ НГУ выезжают в города Восточной зоны Сибири и Дальнего Востока (это – 23 региона России) для проведения олимпиад и собеседований по математике, физике, химии, биологии, геологии в регионах Сибири и Дальнего Востока с целью набора учащихся в Летнюю физико-математическую и химико-биологическую школу и СУНЦ НГУ (ранее ФМШ при НГУ).

В августе месяце каждого года на базе СУНЦ НГУ и НГУ проводится трехнедельная Летняя физико-математическая и химико-биологическая школа, во время которой школьники слушают лекции ведущих ученых СО РАН, решают задачи, участвуют в различных интеллектуальных состязаниях (предметные бои, тематические вечера и КВНы, викторины, антинаучные конференции и др.). Перед началом Летней школы проводится очный предварительный (нулевой) этап Всесибирской олимпиады, на котором определяются его победители по физике, математике, химии и биологии. В этом этапе участвует до 700 школьников, приглашенных в Летнюю школу по итогам Всероссийских и Всесибирских олимпиад.

С 2010 года Всесибирская открытая олимпиада школьников по химии включает в себя 3 этапа.

Первый – очный отборочный этап, проводится в одно из воскресений в конце ноября. В 2016-17 г. этот этап олимпиады по химии проводился в Новосибирске и на региональных площадках в 40 городах, включая Москву. В этапе приняли участие 3988 школьников классов из 60 субъектов РФ, а также из Республик Казахстан и Беларусь.

Второй – заочный отборочный этап. Задания выставляются на сайте олимпиады 15-20 декабря, на решение предложенных задач школьникам предоставляется около месяца. Выполненные работы принимаются в электронном виде (файл загружается на сайт или отправляется в адрес электронной почты Оргкомитета). В 2016-17 г. в этом этапе олимпиады по химии участвовало 927 школьников из 51 субъекта РФ, а также из Республик Казахстан и Молдова.

Третий (заключительный) этап – проводится в очной форме в одно из воскресений марта. Для участия в заключительном этапе приглашаются призёры и победители каждого из отборочных этапов, а также призёры и победители Всесибирской открытой олимпиады предыдущего года, продолжающие обучение в школе. На решение предложенных задач школьникам отводится 4 астрономических часа. В 2016-17 г. этот этап олимпиады по химии проводился в Новосибирске и на региональных площадках в 30 городах, включая Москву. В этапе участвовало 1664 школьника из 54 субъектов РФ, а также из Республик Казахстан, Беларусь и Молдова. На заключительный этап были приглашены 1287 победителей и призёров первого (очного отборочного) этапа, 407 победителей и призёров Второго (заочного) этапа, а также 241 победитель и призёр заключительного этапа 2015–2016 учебного года. Победители и призёры были определены по результатам третьего этапа, их общее число по всем классам (8-11) составило 403 человека, т.е. 24,2 % от числа участников. 78 человек стали победителями.

Отметим, что Всесибирская олимпиада отличается открытостью и прозрачностью. Подробная информация обо всех этапах и событиях олимпиады регулярно обновляется на сайте. На площадках олимпиады во время туров организована онлайн-трансляция. Работы победителей сканируются и выкладываются в сеть, что позволяет убедиться в ответственности и высоком профессиональном уровне жюри олимпиады.

2. Достижения победителей и призёров олимпиады

Значительная часть участников Олимпиады является победителями и призёрами муниципальных и региональных этапов Всероссийской олимпиады школьников по химии. Многие школьники рассматривают Всесибирскую олимпиаду как один из важных этапов подготовки к Всероссийской олимпиаде. В заключительном этапе Всесибирской олимпиады школьников по химии 2016 г. принимали участие 98 школьников, приглашённых на заключительный этап 52-ой Всероссийской олимпиады школьников по химии 2016 г., который проводился в г. Белгороде со 1 по 7 апреля 2016 г.; из них 45 школьников (16 – 9 класс, 10 – 10 класс и 19 – 11 класс) стали победителями Всесибирской олимпиады, 28 школьников стали призёрами с дипломами 2 степени (6 – 9 класс, 11 – 10 класс и 11 – 11 класс), 6 школьников стали призёрами с дипломами 3 степени (1 – 10 класс и 5 – 11 класс).

Победители и призёры Всесибирской олимпиады регулярно входят в число победителей и призёров Менделеевской (Лякин Олег, Кабин Евгений, Головин Виктор, Кочетыгов Илья, Зима Александра, Никулин Максим, Суховерков Кирилл, Ямалетдинов Руслан, Демаков Павел, Валуев Игорь, Кузин Сергей, Лубов Дмитрий, Чернов Григорий, Королёв Алексей, Королёв Андрей, Сухоруков Максим, Жигалин Александр, Кириленко Никита, Жигилева Екатерина, Рябченко Анатолий, Адайкина Анастасия) и Международной (Воробьев Василий, Никитин Сергей, Сальников Олег, Устинович Илья, Гуляк Евгений, Бойчук Артем, Зайцев Сергей, Андреев Юрий, Кузин Сергей, Садыков Алексей, Чернов Григорий) олимпиад школьников по химии.

Многие победители и призёры Олимпиады, которые затем поступали в НГУ, впоследствии завоевывали дипломы победителей и призёров на Всероссийских студенческих олимпиадах (Быков Максим, Свиницкий Дмитрий, Стукалов Денис, Воробьев Василий, Никитин Сергей, Сальников Олег, Панов Михаил, Ямалетдинов Руслан, Чеплакова

Анастасия, Зима Александра, Демаков Павел, Соснин Глеб, Гуляк Евгений, Макаров Эдгар, Валуев Игорь, Федоров Алексей, Лубов Дмитрий), олимпиадах ИНХ СО РАН и НИОХ СО РАН, Международной научной студенческой конференции МНСК, конкурсах-конференциях «Ломоносов», «Менделеев», Chem Camp, Турнирах Естественных наук и на других студенческих конкурсах, являются стипендиатами фонда Потанина, компаний «Baker Atlas», «Shlumberger», «Beyond (British) Petroleum» и др.

3. Методические особенности олимпиады

Всесибирская открытая олимпиада школьников по химии – это классическая олимпиада для учащихся 8-11 классов. Она имеет теоретический характер, экспериментального тура нет. Для каждого класса составляется отдельный комплект заданий, состоящий из 4-5 задач, ориентированных на соответствующую школьную программу. Как правило, задания содержат вводную часть, призванную заинтересовать школьника знакомыми персонажами, своей связью с практикой, окружающим миром, знаменательными датами, происходящими событиями, любопытными фактами. Во многих заданиях присутствует обучающая составляющая, заключающаяся в объяснении наблюдаемых явлений, рассказе о способах и принципах использования тех или иных соединений, их химических и физических свойствах, технологических схемах их получения и применения. Задачи отличаются грамотным методическим подходом, наличием вопросов разного уровня сложности, как качественных, так и количественных. При беглом взгляде на комплекты может показаться, что большинство задач дублируется, повторяясь в разных классах. Однако, при внимательном прочтении условий задач можно увидеть, что задания в более младшей параллели обычно содержат более простые вопросы, а в их тексте приводится больше различных подсказок, что позволяет одинаково успешно справляться с такими заданиями как старшим, так и младшим школьникам.

Рассмотрим в качестве примера некоторые наиболее характерные задачи олимпиады с решениями и критериями оценивания.

Задание 1. «Химия не знает границ»

«Для решения этой задачи совсем не требуется знание немецкого языка. Вам помогут лишь знание химической номенклатуры и смекалка!».

От авторов

Находясь на научной стажировке в Германии, выпускник Новосибирского университета обратил внимание на то, как логично и строго образуются названия химических соединений на немецком языке. В качестве примера предлагаем Вам немецкие названия веществ, указанные на некоторых банках, бутылках и баллонах с реактивами, которые он обнаружил в лаборатории:

| | | | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| <i>Chlorwasserstoff</i> | <i>Kohlenstoff</i> | <i>Kohlendioxid</i> | <i>Natrium Chlorid</i> | <i>Sauerstoff</i> |
| <i>Schwefel</i> | <i>Schwefelsäure</i> | <i>Schwefelwasserstoff</i> | <i>Salzsäure</i> | <i>Wasserstoff Peroxyd</i> |

Чтобы заметно облегчить Вашу задачу, он сообщил формулы обнаруженных веществ:

O_2 , H_2O_2 , S, H_2SO_4 , HCl (водный раствор), HCl, NaCl, H_2S , C, CO_2 .

1. Приведите номенклатурные названия на русском языке для всех перечисленных веществ (для начала – в соответствии с приведенными формулами).

2. Какие из перечисленных реактивов находились в банках с широким горлом, какие – в бутылках, а какие – в баллонах?

3. Между многими парами перечисленных веществ возможно химическое взаимодействие. Напишите уравнения шести таких попарных реакций с указанием условий их проведения.
4. Теперь соотнесите формулы уже с немецкими названиями.
5. Попробуйте написать немецкие названия для H_2O , H_2 и H_2CO_3 .

Решение (авторы К.В. Юсенко, В.А. Емельянов).

1. Назовем перечисленные соединения, разделив их на группы и выделив однокоренные слова:

CO_2 – диоксид **углерода**

HCl (водн. раствор) – соляная (или хлороводородная) *кислота*

H_2SO_4 – **серная кислота**

O_2 – *кислород*

H_2O_2 – перекись водорода

C – **углерод**

S – **сера**

H_2S – **сероводород**

HCl (газ) – хлороводород

$NaCl$ – хлорид натрия

2. Газообразные вещества хранятся в баллонах (O_2 , HCl , H_2S , CO_2), жидкости – в бутылках (H_2O_2 , H_2SO_4 , HCl (водный раствор)), твердые вещества – в банках с широким горлом (S , $NaCl$, C).

3. Возможные реакции между парами веществ:

$2C + O_2 = 2CO$, $C + O_2 = CO_2$ (горение в недостатке и избытке кислорода); $C + CO_2 = 2CO$ (~1000 °C);

$S + O_2 = SO_2$ (горение); $2H_2S + 3O_2 = 2SO_2 + 2H_2O$ (горение); $H_2S + H_2O_2 = S\downarrow + 2H_2O$ (н.у.);

$H_2S + 3H_2SO_{4(конц)} = 4SO_2\uparrow + 4H_2O$ (нагрев); $3H_2S + H_2SO_{4(конц)} = 4S\downarrow + 4H_2O$ (н.у.);

$S + 2H_2SO_{4(конц)} = 3SO_2\uparrow + 2H_2O$ (нагрев); $C + 2H_2SO_{4(конц)} = CO_2\uparrow + 2SO_2\uparrow + 2H_2O$ (нагрев);

$NaCl + H_2SO_{4(конц)} = HCl\uparrow + NaHSO_4$ или Na_2SO_4 (нагрев); $2HCl + H_2O_2 = Cl_2\uparrow + 2H_2O$ (н.у.).

4. Пары Хлорид натрия – Natrium Chlorid, диоксид углерода – Kohlendioxid и углерод – Kohlenstoff, перекись водорода – Wasserstoff Peroxyd угадываются сразу. Достаточно прозрачен и хлороводород – Chlorwasserstoff, тогда сероводород – Schwefelwasserstoff. Отсюда сера Schwefel, серная кислота – Schwefelsäure, тогда соляная кислота – Salzsäure, а кислород будет переводиться как Sauerstoff.

Natrium Chlorid – хлорид натрия

Kohlenstoff – **углерод**

Schwefelwasserstoff – **сероводород**

Schwefelsäure – **серная кислота**

Wasserstoff Peroxyd – перекись водорода

Kohlendioxid – диоксид **углерода**

Chlorwasserstoff – хлороводород

Schwefel – **сера**

Salzsäure – соляная *кислота*

Sauerstoff – *кислород*

5. Из названий сероводорода, хлороводорода и перекиси водорода легко вычленяется слово водород – Wasserstoff, тогда название самой воды – Wasser. Для кислот общий корень также просматривается – säure (в переводе – «кислота»), откуда угольная кислота – Kohlensäure.

Система оценивания:

1. Названия веществ на русском языке по 0,5 б

$10 * 0,5б = 5 б$;

2. Правильное соотнесение вещества и сосуда по 0,5 б

$10 * 0,5б = 5 б$;

3. Уравнения реакций по 1 б

$6 * 1б = 6 б$;

4. Правильное соотнесение формулы с немецким названием по 0,5 б

$10 * 0,5б = 5 б$;

5. Названия веществ на немецком языке по 1 б

$3 * 1б = 3 б$;

Всего

24 балла

Задание 2. «Американский цент»

На состоявшихся в ноябре 2016 года выборах президента США, за которыми следил весь мир, победил кандидат от республиканской партии Дональд Трамп. А знаете ли Вы, что первым президентом-республиканцем в США в середине XIX века (1861-1865 годы) был Авраам Линкольн – освободитель американских рабов, ставший национальным героем американского народа? В год столетия Линкольна, в 1909 г., его профиль появился на монетах США достоинством один цент. Для большинства американцев эта монета является одним из символов страны, а порой встречаются фанаты, прямо-таки влюбленные в цент. Так, житель Алабамы Эдмонд Ноулес за 40 лет (с 1967 по 2007 годы) собрал таких монет на общую сумму 13 тыс. 84 доллара 59 центов.



До октября 1982 года одноцентовая монета состояла из медно-цинкового сплава и весила 3,08 г. Монеты, выпущенные после этой даты, внешне ничем не отличаются от более ранних аналогов: тот же цвет, абсолютно те же размеры, только вот вес легче – теперь цент весит 2,50 г и состоит из цинка, покрытого слоем меди. Если поцарапать или надпилить современную монету и опустить в разбавленный раствор соляной кислоты, то она покроется пузырьками какого-то газа и станет значительно легче. После прекращения выделения газа монета будет выглядеть так же, как до проведения опыта, но весить она теперь будет (после промывки и сушки) всего 0,06 г.

1. Оцените общую массу монет, собранных Ноулесом, считая, что собирал он их равномерно с октября 1967 г. по октябрь 2007 г.
2. Что произойдет, если в описанном опыте заменить соляную кислоту на серную или азотную? Напишите уравнения реакций, рассмотрев отдельно случаи с соляной кислотой, а также с концентрированными и разбавленными серной и азотной кислотами.
3. Оцените массовые доли меди и цинка в современных центах и центах старого (до 1982 года) образца. Плотность меди составляет $8,95 \text{ г/см}^3$, цинка – $7,14 \text{ г/см}^3$. Для оценки можно считать, что объем сплава равен сумме объемов вошедших в него металлов.

Допустим, мы опускали нашу монету ровно в 100 г 10 % соляной кислоты ($\rho = 1,048 \text{ г/см}^3$).

4. Рассчитайте молярные концентрации веществ, содержащихся в оставшемся после опыта растворе.

Если аккуратно испарить этот раствор, можно получить до 7,77 г кристаллогидрата некой соли, которая используется как основной компонент разнообразных паяльных флюсов.

5. Вычислите количество молекул кристаллизационной воды, которое приходится на одну молекулу этой соли.
6. Напишите уравнения реакций, поясняющих роль этой соли в паяльном деле. Попробуйте предложить способ ее получения в безводном виде.
7. Если очистить от меди ровно половину поверхности новой монеты, а потом опустить ее в соляную кислоту, равномерно ли монета будет покрываться пузырьками газа? Поясните свой ответ.

Решение (авторы В.А. Воробьев, В.А. Емельянов).

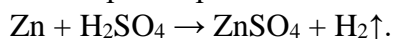
1. Монет собрано на общую сумму 13084,59 долларов, умножив это число на 100, получим общее количество монет: $13084,59 \cdot 100 = 1308459$ штук.

Рассчитаем, сколько монет Ноулес собирал в год: $1308459/40 = 32711 \approx 32,7$ тыс. монет. До 1982 года каждый год он набирал $32,7 \cdot 3,08 = 100,7$ кг монет. После 1982 года – $32,7 \cdot 2,50 = 81,75$ кг. Суммарная масса: $100,7 \cdot (1982-1967) + 81,75 \cdot (2007-1982) \approx 3560 \text{ кг} = 3,56 \text{ т}$. Можно посчитать и другим способом: До 1982 года в течение 15 лет Ноулес собирал центы по 3,08 г, а затем, в течение 25 лет – по 2,50 г. Средняя масса одной монетки: $3,08 \cdot 15/40 + 2,50 \cdot 25/40 =$

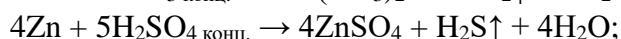
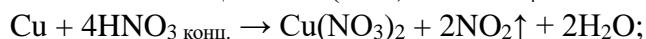
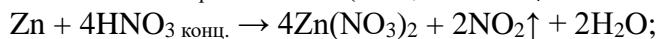
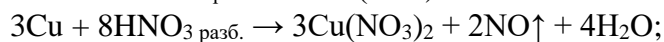
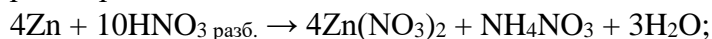
2,72 г. Можно считать, что он собирал монетки весом только 2,72 г в течение 40 лет. Общая масса монет: $2,72 \cdot 1308459 / 1000000 \approx 3,56$ т.

2. В описанном опыте цинк, находившийся внутри монеты, растворяется, а медное покрытие остается: $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$.

Чтобы растворять только цинк, подойдет лишь разбавленная серная кислота:



А вот, заменив соляную кислоту азотной или концентрированной серной, мы также будем растворять ещё и медь:



3. В условии сказано, что монета нового образца состоит из цинка, покрытого медью, суммарным весом 2,50 г. Если весь цинк растворить, то останется только медь, что и произошло в соляной кислоте. Масса оставшейся меди – 0,06 г. Значит, столько же содержалось изначально на монете, так как в таких условиях медь не переходит в раствор. Следовательно, массовая доля меди равна $0,06 / 2,50 = 0,024$ или 2,4 %, массовая доля цинка $1 - 0,024 = 0,976$ или 97,6 % из этих данных. (На самом деле содержание меди в настоящей монете 2,5 %, но отклонение незначительно, и его вполне можно списать на ошибку взвешивания).

Монета нового образца не отличается размерами от старого, а это значит, что объем у них одинаковый. Объем новой монеты получим сложением объемов меди и цинка:

$$V = 0,06 / 8,95 + (2,5 - 0,06) / 7,14 = 0,348 \text{ см}^3.$$

Пусть x - объем меди в составе старой монеты, тогда $(0,348 - x)$ - объем цинка. Составим уравнение:

$$8,95x + 7,14(0,348 - x) = 3,08, \text{ откуда } x = 0,329.$$

Масса меди в составе старой монеты $8,95 \cdot 0,329 = 2,94$ г, масса цинка $7,14 \cdot (0,348 - 0,329) = 0,14$ г. Массовая доля меди $2,94 / 3,08 = 0,955$ или 95,5 %, массовая доля цинка $1 - 0,955 = 0,045$ или 4,5 %.

Можно провести оценку и по-другому. Найдем среднюю плотность монеты нового образца: $\rho_{\text{нов}} = 7,14 \cdot 0,976 + 8,95 \cdot 0,024 = 7,18 \text{ г/см}^3$. Плотность монеты старого образца легко находится из соотношения масс монет: $\rho_{\text{стар}} = 3,09 \cdot 7,18 / 2,50 = 8,87 \text{ г/см}^3$. Массовую долю цинка, x , находим из следующего уравнения: $8,95 \cdot (1 - x) + 7,14 \cdot x = 8,87$; $x = 0,044$. Процентное содержание цинка 4,4 %, меди – 95,6 %.

*На самом деле, процент цинка в составе старой монеты чуть больше – 5 %. Отклонение на сей раз вызвано тем, что объем сплава на самом деле оказывается несколько меньше, чем сумма объемов входящих в него металлов.

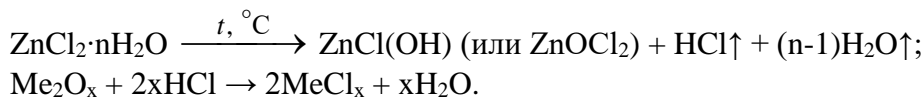
4. Рассчитаем количество хлороводорода, содержащегося в 100 г соляной кислоты:

$v_{HCl} = 100 \cdot 0,1 / 36,5 = 274$ ммоль. Количество цинка $v_{Zn} = (2,50 - 0,06) / 65,4 = 37,3$ ммоль, т. е. хлороводород взят в большом избытке. Рассчитаем объем раствора, который в ходе реакции практически не изменится: $100 / 1,048 = 95,4$ мл.

Итак, в растворе содержатся хлороводород (соляная кислота засчитывается) и хлорид цинка. Вычислим их концентрации: Оставшееся количество хлороводорода: $274 - 37,3 \cdot 2 = 199$ ммоль. Концентрация хлороводорода: $0,199 / 0,0954 = 2,09$ моль/л, концентрация хлорида цинка: $0,0373 / 0,0954 = 0,391$ моль/л.

5. При упаривании солянокислого раствора будет выделяться кристаллогидрат $ZnCl_2$. Его количество совпадает с количеством цинка (37,3 ммоль), а масса составляет 7,77 г. Следовательно, его молярная масса $7,77 / 0,0373 = 208,3$ г/моль. За вычетом массы $ZnCl_2$ ($65,4 + 71 = 136,4$) остается $208,3 - 136,4 = 71,9$ г/моль, что соответствует $71,9 / 18 = 3,99 \approx 4$ молекулам кристаллизационной воды.

6. Если кристаллогидрат $ZnCl_2 \cdot 4H_2O$ сушить просто нагреванием, пытаясь избавиться от кристаллизационной воды, то пойдет высокотемпературный гидролиз с образованием основных хлоридов (или оксохлоридов) цинка и паров соляной кислоты. В качестве паяльного флюса кристаллогидраты $ZnCl_2 \cdot nH_2O$ используются из-за образующейся соляной кислоты – она убирает с поверхности оксидные пленки, открывая металл для надежного крепления припоя:



Для получения безводных хлоридов такие кристаллогидраты сушат либо нагреванием в токе хлороводорода, либо с помощью тионилхлорида, который химически связывает воду:



7. Каким бы очевидным ни казался ответ, что водород будет образовываться на поверхности растворяющегося цинка – он неправильный! Цинк и медь в контакте образуют гальваническую пару, в которой анодом будет служить более активный металл, – цинк. Цинк и будет переходить в раствор, отдавая свои электроны меди, которая в результате будет заряжена отрицательно. Именно на поверхности медного катода в основном и будет проходить восстановление водорода. Таким образом, большая часть пузырьков будет покрывать медную поверхность.

Система оценивания:

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. Общая масса монет 2 б | 2 б; |
| 2. Уравнения реакций по 1 б | 1 б * 8 = 8 б; |
| 3. Массовые доли меди и цинка в новой монете по 1 б, в старой по 2 б | 1 б * 2 + 2 б * 2 = 6 б; |
| 4 Концентрации веществ по 2 б | 2 б * 2 = 4 б; |
| 5. Расчет количества кристаллизационной воды 2 б | 2 б; |
| 6. Уравнения реакций по 1 б, способ получения (не простой нагрев) 2 б | 1 б * 2 + 2 б = 4 б; |
| 7. Ответ - на меди пузырьков больше 1 б, пояснение до 2 б | 1 б + 2 б = 3 б; |
| Всего | 29 баллов |

Задание 3. «Гроза»

*«Люблю грозу в начале мая,
Когда весенний, первый гром,
Как бы резвяся и играя,
Грохочет в небе голубом».*
Ф.И. Тютчев. «Весенняя гроза».



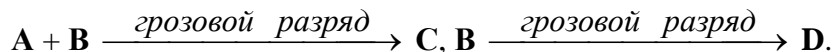
Облака — известный лирический образ, используемый многими поэтами в своих произведениях. Люди часто обращаются к этому образу, если требуется описать нечто высокое или недостижимое. Обычно облака ассоциируются с покоем, мягкостью и безмятежностью. Однако существуют так называемые кучево-дождевые облака или тучи, которые с покоем и безмятежностью точно не ассоциируются. Именно благодаря таким облакам возникают дожди и грозы. Каждое облако состоит из взвеси огромного количества водяных микрокапель со средним **диаметром** всего 5 мкм. В среднем в одном кубометре кучево-дождевого облака содержится 10^{11} таких микрокапель.

1. Рассчитайте количество молекул воды, содержащееся в одной микрокапле облака.
2. Вычислите массу воды, сосредоточенную в небольшом кучево-дождевом облаке высотой 4 км, длиной 25 км и шириной 10 км (для простоты облако будем считать параллелепипедом). Оцените среднюю толщину слоя воды, которым наше облако может покрыть земную поверхность, если оно полностью прольется на накрываемую им площадь.
3. Известно, что во время одной грозы выделяется около 10^8 кВт·ч энергии. Сколько железнодорожных вагонов антрацита можно сэкономить на каждой грозе, если научиться

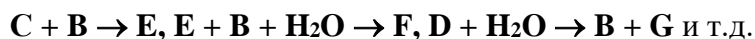
использовать энергию грозových разрядов в бытовых целях? Теплота полного сгорания углерода составляет 393,5 кДж/моль, один вагон вмещает в себя 60 тонн антрацита, в антраците содержится 96 % углерода.

Для справки: объем шара $V = 4/3\pi r^3$; 1 кВт·ч = 3600 кДж; 1 км = 10^6 м; плотность воды 1 г/мл.

При грозovém разряде в атмосфере протекают две химические реакции с участием основных компонентов воздуха – простых веществ **A** и **B**:



Образующиеся вещества **C** и **D** могут участвовать в дальнейших превращениях:



4. Установите формулы и названия веществ **A-G** и напишите уравнения описанных реакций.

5. Вещества **D** и **F** крайне реакционноспособны. Уже при комнатной температуре **D** легко реагирует с водными растворами иодида калия и нитрата марганца и даже такими стойкими веществами, как серебро и сульфид свинца. Концентрированный раствор вещества **F**, между тем, легко растворяет большинство простых веществ, например, медь, фосфор, иод. Напишите уравнения этих реакций.

Решение (автор М.М. Быков).

1. Радиус микрокапли $r = 0,5 \cdot 10^{-6}$ м = $2,5 \cdot 10^{-4}$ см. Её объем $V = 4/3\pi(2,5 \cdot 10^{-4})^3 = 6,542 \cdot 10^{-11}$ см³, масса $m = \rho \cdot V = 1 \cdot 6,542 \cdot 10^{-11} = 6,542 \cdot 10^{-11}$ г.

Количество воды в ней составляет $\nu = m/M = 6,542 \cdot 10^{-11}/18 = 3,634 \cdot 10^{-12}$ моля, количество молекул в капле $N = N_A \cdot \nu = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,634 \cdot 10^{-12} = 2,188 \cdot 10^{12}$ штук.

2. Рассчитаем объем облака: $V = 4 \cdot 10 \cdot 25 = 1000$ км³ = 10^{12} м³. Тогда в одном облаке содержится $10^{12} \cdot 10^{11} = 10^{23}$ капель. Их общая масса составляет $10^{23} \cdot 6,542 \cdot 10^{-11} = 6,542 \cdot 10^{12}$ г = $6,542 \cdot 10^6$ тонн. Цифры выглядят пугающе большими, но давайте все же посчитаем толщину слоя.

Такая масса воды в конденсированном состоянии займет объем $6,542 \cdot 10^{12}$ см³. Прольется она на площадь $10 \cdot 25 = 250$ км² = $250 \cdot 10^6$ м² = $250 \cdot 10^{10}$ см² = $2,50 \cdot 10^{12}$ см². Средняя толщина слоя составит всего $6,542 \cdot 10^{12}/2,5 \cdot 10^{12} = 2,62$ см или 26,2 мм. То есть, так себе было облачко...

На самом деле количество выпавших осадков (оно измеряется именно толщиной слоя в мм) зависит от множества факторов и сильно увеличивается при движении от края грозы к ее эпицентру.

3. Энергия 10^8 кВт·ч соответствует $3,6 \cdot 10^{11}$ кДж. Рассчитаем энергию, выделяющуюся при сгорании 1 кг антрацита. В 1 кг или 1000 г антрацита содержится $0,96 \cdot 1000 = 960$ г углерода. Его количество $\nu(C) = 960/12 = 80$ моль. При его сгорании выделится $393,5 \cdot 80 = 31480$ кДж тепла. Тогда необходимое количество антрацита составит $3,6 \cdot 10^{11}/31480 = 1,1436 \cdot 10^7$ кг = 11436 тонн, которое уместится в $11436/60 = 190,6 \approx 191$ железнодорожный вагон. Уравнение реакции: $C + O_2 = CO_2$.

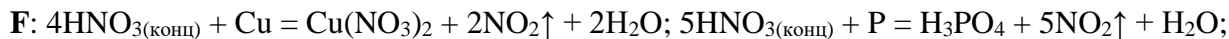
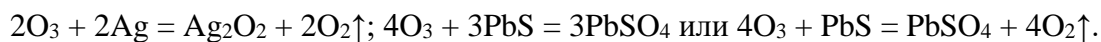
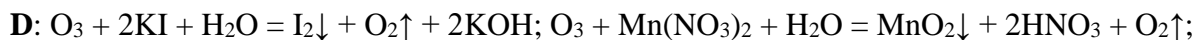
4. Простыми веществами, присутствующими в атмосфере в заметном количестве, являются азот и кислород. Две возможные реакции – взаимодействие азота и кислорода с образованием оксида азота(II) и образование озона из кислорода:



Уравнения вторичных реакций: $2NO + O_2 = 2NO_2$; $4NO_2 + O_2 + 2H_2O = 4HNO_3$; $O_3 + H_2O = H_2O_2 + O_2$.

Таким образом, **A** – N₂ – азот, **B** – O₂ – кислород, **C** – NO – оксид азота(II) или окись азота, **D** – O₃ – озон, **E** – NO₂ – оксид азота(IV) или диоксид азота или двуокись азота, **F** – HNO₃ – азотная кислота, **G** – H₂O₂ – пероксид водорода или перекись водорода.

5. Уравнения реакций.



Система оценивания:

1. Расчет количества молекул 2 б (если посчитана только масса микрокапли, то 1 б) 2 б;

2. Масса воды в облаке 2 б, толщина слоя 2 б 2б+2б = 4 б;

3. Расчет количества вагонов 2 б 2 б;

4. Формулы **A-G** по 0,5 б, названия по 0,5 б, уравнения реакций по 1 б (0,5б+0,5б)*7+1б*5 = 12 б;

5. Уравнения реакций по 1 б 1б*7 = 7 б;

Всего 27 баллов

Задание 4. «Голодные аборигены»

«Планета Шелезяка. Полезных ископаемых нет. Воды нет. Растительности нет. Населена роботами».

Кир Булычѳв. «Путешествие Алисы».



Для аборигенов планеты Шелезяка, которым не рады ни в одном из самых захудалых ресторанов Галактики «Млечный путь», автор задачи разработал специальное меню, блюда из которого они могут заказать в оргкомитете Всесибирской олимпиады:

| Блюдо | Состав [в скобках – массовая доля Fe, %] | Масса компонентов, г* | Цена, у.е.ш.** |
|---|--|-----------------------|----------------|
| Винегрет | Стружка стальная [97], магнетит кусочками [72,4], петли дверные вывороченные и мелко порубленные [100], гвозди гнутые тупые (слегка ржавые) [95], масло машинное [0] | 60/50/30/30/15 | 160 |
| Салатик грибной «Остренький» | Кнопки строительные кровельные [100], гвозди жареные [98], проволока стальная колечками (пассивированная) [95], масло рапсовое [0] | 75/60/30/15 | 170 |
| Макароны по-флотски | Леска капроновая толстая (на сома) [0] с жареным фаршем из опилок железных [100] | 120/150 | 160 |
| Манты «Гурман» пикантные на пару | Тесто из замазки Менделеевской [12,6], начинка из рубленой колючей проволоки [100] | 100/130 | 150 |
| Стейк слабо прожаренный с вермишелью «Паутинка» | Пирит слегка обожженный [46,5], нить шелковая (свежезапутанная) [0] | 300/100 | 200 |
| Майонез «Лимонный» | Лимонит тонкорастертый [62,9], в силиконовом масле [0] | 4/26 | 10 |
| Кетчуп «Особый» | Водный 36 % раствор хлорного железа [34,4], водный 65 % раствор роданида калия [0] | 15/15 | 8 |
| Напиток газированный «Тархун» | Раствор сидерита [48,2] в 2 % соляной кислоте [0] | 5/200 | 24 |
| Коктейль «Турнбулева Синь» | Водный 8 % раствор соли Мора [19,7], водный 7 % раствор красной кровяной соли [17] | 80/120 | 27 |

* - масса компонентов порции дана в порядке их упоминания в столбце «Состав».

** - условные единицы Шелезяки.

1. Вычислите массу элемента железа, содержащуюся в одной порции каждого блюда (с точностью до десятых долей грамма).

Два голодных робота **Шеля** и **Зяка** на днях заказали обеды в нашем оргкомитете:

Шеля: винегрет, макароны по-флотски, стейк, две порции майонеза и напиток «Тархун»;

Зяка: салатик грибной, манты, стейк, две порции кетчупа и коктейль «Турнбулева Синь».

2. Кому из них в результате досталось больше железа? А кто сделал более выгодный заказ, в среднем получив больше железа на каждую вложенную у.е.ш.?

3. Пользуясь данными о массовых долях железа в этих веществах, установите формулы хлорного железа, магнетита (в его состав еще входит кислород), пирита (сера) и лимонита (кислород и водород). Обязательно подтвердите ответы расчетами.

Растворение сидерита в соляной кислоте сопровождается образованием зеленого раствора, насыщенного углекислым газом и очень похожего на «Тархун».

4. Попробуйте установить формулу сидерита (не забудьте про массовую долю железа) и написать уравнение реакции его растворения в соляной кислоте.

5. Как пассивируют луковые кольца, Вы, вероятно, видели не раз. А как следует правильно пассивировать колечки из стальной проволоки? Чем отличаются поверхности пассивированного и не пассивированного железа, и к каким изменениям в свойствах металла приводит пассивация?

6. Напишите уравнение реакции, приводящей к ржавлению гвоздей, а также реакции, которая пройдет на поверхности стейка, если он сильно подгорит (иначе говоря, его сильно обожгут).

7. Как Вы думаете, почему смесь, полученная взаимодействием бурого и бесцветного растворов, называется в нашем ресторане кетчупом, а коктейль, полученный смешиванием зеленого и желтого растворов – Турнбулевой Синь? Попробуйте написать уравнения реакций, происходящих при приготовлении этих блюд (можно в ионном виде).

Старинный рецепт Менделеевской замазки включает 305 г канифоли, 80 г воска, 20 г льняной олифы, 5 г льняного масла и 90 г загадочной «мумии», которая является единственным компонентом замазки, содержащей железо.

8. «На закуску» Вам предлагается установить формулу той самой загадочной «мумии». Известно, что это соединение бинарное (двухэлементное), причем в его составе точно нет углерода.

Решение (автор В.А. Емельянов).

1. Для того, чтобы вычислить общую массу элемента железа в каждом блюде, надо умножить массу каждого из компонентов блюда на массовую долю железа (поделенную на 100 %):

Винегрет: $60 \cdot 0,97 + 50 \cdot 0,724 + 30 \cdot 1 + 30 \cdot 0,95 + 15 \cdot 0 = 152,9$ г;

Салатик грибной: $75 \cdot 1 + 60 \cdot 0,98 + 30 \cdot 0,95 + 15 \cdot 0 = 162,3$ г;

Макаронны по-флотски: $120 \cdot 0 + 150 \cdot 1 = 150$ г;

Манты «Гурман»: $100 \cdot 0,126 + 130 \cdot 1 = 142,6$ г;

Стейк: $300 \cdot 0,465 + 100 \cdot 0 = 139,5$ г;

Майонез «Лимонный»: $4 \cdot 0,629 + 26 \cdot 0 = 2,5$ г;

Кетчуп «Особый»: $15 \cdot 0,36 \cdot 0,344 + 15 \cdot 0,65 \cdot 0 = 1,9$ г;

Напиток газированный «Тархун»: $5 \cdot 0,482 + 200 \cdot 0,02 \cdot 0 = 2,4$ г;

Коктейль «Турнбулева Синь»: $80 \cdot 0,08 \cdot 0,197 + 120 \cdot 0,07 \cdot 0,17 = 2,7$ г.

2. **Шеля:** винегрет (152,9 г Fe; 160 у.е.ш.), макароны по-флотски (150; 160), стейк (139,5; 200), две порции майонеза (2*2,5; 2*10) и напиток «Тархун» (2,4; 24).

Общая масса железа $152,9 + 150 + 139,5 + 2 \cdot 2,5 + 2,4 = 449,8$ г.

Общая стоимость $160 + 160 + 200 + 2 \cdot 10 + 24 = 564$ у.е.ш. Получается $564 / 449,8 = 1,254$ у.е.ш. за 1 г Fe.

Зяка: салатик грибной (162,3 г Fe; 170 у.е.ш.), манты (142,6; 150), стейк (139,5; 200), две порции кетчупа (2*1,9; 2*8) и коктейль «Турнбулева Синь» (2,7; 27).

Общая масса железа $162,3 + 142,6 + 139,5 + 2 \cdot 1,9 + 2,7 = 450,9$ г.

Общая стоимость $170+150+200+2*8+27 = 563$ у.е.ш. Получается $563/450,9 = 1,249$ у.е.ш. за 1 г Fe.

Таким образом, немного больше железа (всего на 1,1 г) в результате досталось Зяке. Поскольку он потратил на 1 у.е.ш. меньше, он же и сделал относительно более выгодный заказ, в среднем получив больше железа на каждую вложенную у.е.ш. Правда разница в оплате каждого приобретенного грамма железа получилась очень и очень незначительной.

3. Посчитаем соотношения количества атомов элементов в формулах, взяв по 100 г вещества:

Хлорное железо: $n(\text{Fe}) : n(\text{Cl}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) : m(\text{Cl})/M(\text{Cl}) = 34,4/56 : (100-34,4)/35,5 = 0,614 : 1,848 = 1 : 3$. Формула вещества FeCl_3 .

Магнетит: $n(\text{Fe}) : n(\text{O}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) : m(\text{O})/M(\text{O}) = 72,4/56 : (100-72,4)/16 = 1,293 : 1,725 = 1 : 1,334 = 3 : 4$. Формула вещества Fe_3O_4 .

Пирит: $n(\text{Fe}) : n(\text{S}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) : m(\text{S})/M(\text{S}) = 46,5/56 : (100-46,5)/32 = 0,830 : 1,672 = 1 : 2$. Формула вещества FeS_2 .

Поскольку в состав лимонита входит 3 элемента, а у нас есть только массовая доля железа, попробуем вычислить молекулярную массу лимонита: $M = 56/0,629 = 89$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $89-56 = 33$ а.е.м., что соответствует двум атомам кислорода и одному атому водорода. Тогда формула лимонита FeHO_2 или, что более привычно, FeOОН .

4. Теперь попробуем вычислить молекулярную массу сидерита: $M = 56/0,482 = 116$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $116-56 = 60$ а.е.м. Углекислый газ получается при растворении в кислотах карбонатов, а 60 а.е.м. как раз соответствует карбонат-иону: трем атомам кислорода и одному атому углерода. Даже не зная этого свойства карбонатов, можно догадаться, что в состав сидерита входит углерод, поскольку в напитке оказался углекислый газ. В любом случае, формула сидерита FeCO_3 . Уравнение реакции: $\text{FeCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$.

5. Самый простой и эффективный способ пассивировать стальные колечки – опустить их на некоторое время в концентрированную азотную или серную кислоту. Как правило, пассивация металлов заключается в обработке их поверхности окислителями, в результате чего на поверхности металла образуется чрезвычайно тонкая и плотная оксидная пленка. Пассивированный металл оказывается в существенно меньшей степени подверженным процессам коррозии и заметно менее реакционноспособен, чем не пассивированный.

6. Ржавлением называют процесс взаимодействия железа с кислородом в присутствии воды или влажного воздуха. Уравнение реакции: $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 + 2n\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($\text{FeO}(\text{OH})$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$).

Уравнение реакции обжига пирита: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$.

7. Взаимодействие растворов, содержащих соли железа(III) и роданид-ионы, является качественной реакцией на ионы Fe^{3+} и приводит к образованию комплексных роданидов железа(III), имеющих интенсивную кроваво-красную окраску: $\text{Fe}^{3+} + n\text{SCN}^- = [\text{Fe}(\text{SCN})_n]^{3-n}$ (засчитывается реакция с любым n). Смесь наших концентрированных вязких растворов кроваво-красного цвета внешне вполне похожа на кетчуп.

А взаимодействие растворов, содержащих соли железа(II) и гексацианоферрат(III)-ионы, является качественной реакцией на ионы Fe^{2+} и приводит к образованию смеси комплексных цианидов железа(II, III), имеющих интенсивную синюю окраску: $3\text{Fe}^{2+} + 2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} = \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ (или любое другое уравнение с верными коэффициентами, где получается смешанновалентный комплекс).

8. Масса замазки, приготовленной по рецепту, 500 г. Железа в ней $0,126*500 = 63$ г, причем все оно содержится в 90 г «мумии». Следовательно, массовая доля железа в «мумии» $63/90 = 0,7$. Попробуем вычислить ее формулу. Если в состав молекулы «мумии» входит 1 атом железа, то ее масса $56/0,7 = 80$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $80-56 =$

24 а.е.м., что могло бы соответствовать двум атомам углерода, но углерод не подходит по условию. Если в состав молекулы «мумии» входит 2 атома железа, то ее масса $56 \cdot 2 / 0,7 = 160$ а.е.м., из которых 112 приходится на железо. Остается $160 - 112 = 48$ а.е.м., что соответствует трем атомам кислорода. Таким образом, формула вещества Fe_2O_3 .

Система оценивания:

1. Расчет массы железа в каждом блюде по 1 б $16 \cdot 9 = 9$ б;
2. Расчет массы железа у каждого робота по 1 б, вывод о том, что у Зяки железа больше 1 б, вывод о том, что его покупка выгоднее 2 б (вывод – одинаково 1 б) $16 \cdot 2 + 16 + 26 = 5$ б;
- 3-4. Формулы, подтвержденные расчетом по 1 б (без расчета 0,5 б) $16 \cdot 5 = 5$ б;
- Уравнение реакции 1 б 1 б;
5. Способ пассивации 1 б, оксидная пленка 1 б, снижение активности 1 б $16 + 16 + 16 = 3$ б;
6. Уравнения реакций по 1 б $16 \cdot 2 = 2$ б;
7. Красный и синий цвет по 0,5 б, уравнения реакций по 1 б $0,56 \cdot 2 + 16 \cdot 2 = 3$ б;
8. Формула мумии с расчетом 2 б (без расчета 1 б) 2 б;
- Всего 30 баллов**

Задание 5. «Удивительное озеро»

«Завтрак. Вылет в Долину Гейзеров. Во время полета осмотр действующего вулкана Карымский и замечательного кратерного озера в вулкане Малый Семячик (воды озера насыщены серной и соляной кислотами)».

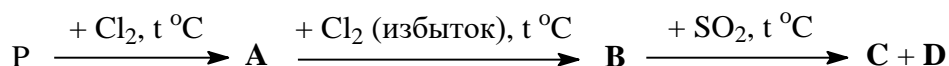


Из рекламного проспекта туристической компании «Огненная земля».

Галогениды и оксогалогениды неметаллов – чрезвычайно активные (реакционноспособные) вещества, широко применяющиеся в неорганическом и органическом синтезе. Большинство из них дымит на воздухе в результате взаимодействия с парами воды, которой они полностью разлагаются (гидролизуются). При их взаимодействии с водой обычно образуется смесь двух кислот (одна – галогеноводородная, другая – кислородсодержащая), за что они получили свое название «галогенангидриды». В предлагаемой Вашему вниманию таблице приведены характеристики некоторых неорганических хлорангидридов **A-D** (все они имеют составы $ЭCl_x$ или $ЭO_yCl_z$).

| В-во | $T_{пл.}, ^\circ C$ | $T_{кип.}, ^\circ C$ | Цвет и агрегатное состояние при $20^\circ C$ | Плотность при $20^\circ C$ | Массовая доля хлора, % |
|----------|---------------------|----------------------|--|----------------------------|------------------------|
| A | -90,3 | 75,3 | Бесцветная жидкость | 1,57 г/см ³ | 77,45 |
| B | 160 | Возг. | Зеленовато-белые кристаллы | 2,1 г/см ³ | 85,13 |
| C | 1,2 | 107,2 | Бесцветная жидкость | 1,65 г/см ³ | 69,36 |
| D | -104,5 | 76 | Бесцветная жидкость | 1,64 г/см ³ | 59,60 |
| E | -118,8 | 7,56 | Бесцветный газ | 4,12 г/л | 71,68 |
| F | -54,1 | 69,4 | Бесцветная жидкость | 1,67 г/см ³ | 52,53 |

Вещества **A-D** можно получить по следующей схеме:



Про вещество **C** известно, что его молекулярная масса составляет не менее 118 а.е.м. Вещества **D** и **F** имеют одинаковый качественный состав (состоят из одних и тех же

элементов), причем именно вещество **F** выделяет вулкан «Малый Семячик», подпитывая свое знаменитое озеро. Вещество **E** обычно получают, облучая светом смесь CO и Cl_2 в присутствии активированного угля.

1. Установите молекулярные формулы веществ **A-F**.
2. Приведите уравнения описанных реакций получения веществ **A-E**.
3. Напишите уравнение реакции вещества **F** с водой, приводящей к образованию той самой смеси серной и соляной кислот. Предложите способ получения вещества **F**, исходя из новых знаний, полученных Вами при чтении этой задачи.
4. А теперь попробуйте написать уравнения реакций взаимодействия с водой для веществ **A-E**. Здесь Вам опять же должно помочь условие нашей задачи.
5. Предположим, в Ваших руках оказалось 6 сосудов, содержащих по 100 см^3 каждого из веществ **A-F**. В сосуде с каким из веществ содержится наибольшее, а в каком – наименьшее число молекул?

Решение (авторы В.Н. Конев, В.А. Емельянов).

1. Из условий получения веществ **A** и **B** понятно, что они содержат только фосфор и хлор. Тогда посчитаем соотношения количества атомов элементов в формулах, взяв по 100 г вещества:

A: $n(\text{P}) : n(\text{Cl}) = m(\text{P})/M(\text{P}) : m(\text{Cl})/M(\text{Cl}) = (100-77,45)/31 : 77,45/35,5 = 0,727 : 2,182 = 1 : 3$.
Формула вещества PCl_3 .

B: $n(\text{P}) : n(\text{Cl}) = m(\text{P})/M(\text{P}) : m(\text{Cl})/M(\text{Cl}) = (100-85,13)/31 : 85,13/35,5 = 0,480 : 2,40 = 1 : 5$.
Формула вещества PCl_5 .

Вещества **C** и **D** по условиям получения могут содержать фосфор, хлор, серу и кислород. Поскольку про вещество **D** известно, что оно состоит из тех же элементов, что и **F**, а вещество **F** в реакции с водой дает смесь соляной и серной кислот (см. условие), следовательно, в состав **D** и **F** входят сера, хлор и, возможно, кислород. Тогда в состав **C** обязательно входят фосфор и хлор, а также, возможно, кислород. В состав **E** могут входить хлор, углерод и кислород. Попробуем вычислить их формулы:

C: Поскольку молекулярная масса **C** не менее 118 а.е.м., то на хлор в этом веществе приходится не менее $0,6936 \cdot 118 = 81,8$ а.е.м. Следовательно, оно содержит не менее $81,8/35,5 = 2,3$ атомов хлора. Если в состав молекулы входит 3 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 3/0,6936 = 153,5$ а.е.м., из которых $35,5 \cdot 3 = 106,5$ приходится на хлор. Остается $153,5 - 106,5 = 47$ а.е.м., что соответствует одному атому фосфора и одному атому кислорода. Таким образом, формула вещества POCl_3 .

D: Если в состав молекулы входит 1 атом хлора, то ее масса $35,5/0,596 = 59,6$ а.е.м., из которых 35,5 приходится на хлор. Остается $59,6 - 35,5 = 24,1$ а.е.м., что меньше атомной массы серы. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 2/0,596 = 119,1$ а.е.м., из которых 71 приходится на хлор. Остается $119,1 - 71 = 48,1$ а.е.м., что с приемлемой точностью (неточность связана с округлением атомных масс) соответствует одному атому серы и одному атому кислорода. Таким образом, формула вещества SOCl_2 .

E: Если в состав молекулы входит 1 атом хлора, то ее масса $35,5/0,7168 = 49,5$ а.е.м., из которых 35,5 приходится на хлор. Остается $49,5 - 35,5 = 14$ а.е.м., что заметно (на 2 а.е.м.) больше атомной массы углерода. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 2/0,7168 = 99$ а.е.м., из которых 71 приходится на хлор. Остается $99 - 71 = 28$ а.е.м., что соответствует одному атому углерода и одному атому кислорода. Таким образом, формула вещества COCl_2 .

F: Если в состав молекулы входит 1 атом хлора, то ее масса $35,5/0,5253 = 67,6$ а.е.м., из которых 35,5 приходится на хлор. Остается $67,6 - 35,5 = 32,1$ а.е.м., что почти совпадает с

атомной массы серы. Однако, нам известно, что вещества **D** и **F** состоят из одних и тех же элементов, следовательно, в состав **F** должен входить еще и кислород. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 2 / 0,5253 = 135,16$ а.е.м., из которых 71 приходится на хлор. Остается $135,16 - 71 = 64,16$ а.е.м., что с приемлемой точностью соответствует одному атому серы и двум атомам кислорода. Таким образом, формула вещества SO_2Cl_2 .

2. Уравнения описанных реакций получения веществ **A-E**: $2\text{P} + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{PCl}_3$; $\text{PCl}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{PCl}_5$;

$\text{PCl}_5 + \text{SO}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{POCl}_3 + \text{SOCl}_2$; $\text{CO} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{C_{\text{акт}}, h\nu} \text{COCl}_2$.

3. Уравнение реакции вещества **F** с водой, приводящей к образованию смеси серной и соляной кислот: $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$.

Как же получить вещество **F**, да еще и исходя из новых знаний, полученных при чтении этой задачи? Поскольку теперь мы знаем про реакцию присоединения хлора к окиси углерода с образованием COCl_2 , ничто не мешает нам предположить, что так же можно получить и SO_2Cl_2 :

$\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{C_{\text{акт}}, h\nu} \text{SO}_2\text{Cl}_2$. Собственно, так его обычно и получают.

(Если предложена реакция PCl_5 с SO_3 , то ее тоже нужно зачесть, т.к. ее тоже можно предположить, прочитав условие задачи).

4. Исходя из условия, при взаимодействии веществ **A-E** с водой должна получаться смесь двух кислот: $\text{PCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{HCl}$; $\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{HCl}$; $\text{POCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{HCl}$; $\text{SOCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_2$ (или H_2SO_3) + 2HCl ; $\text{COCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2$ (или H_2CO_3) + 2HCl .

5. Количество вещества в сосудах, которое пропорционально количеству молекул, считается как отношение массы вещества к его молекулярной массе: $\nu = m/M$. Чтобы посчитать массу вещества, надо умножить его плотность (в г/см^3) на объем (см^3), который у всех веществ одинаковый. Поэтому достаточно сравнить отношения ρ/M , чтобы дать ответ на поставленный вопрос.

Более того, ответ о наименьшем количестве молекул очевиден без расчетов: это сосуд, содержащий газообразное вещество **E**, плотность которого ($4,12 \text{ г/л} = 0,00412 \text{ г/см}^3$) на 3 порядка меньше плотности остальных веществ.

Вычислим отношения ρ/M для остальных веществ: $1,57/137,5 = 0,0114$ (**A**); $2,1/208,5 = 0,0101$ (**B**); $1,65/153,5 = 0,0107$ (**C**); $1,64/119 = 0,0138$ (**D**); $1,67/135 = 0,0124$ (**F**). Получается, что наибольшее число молекул содержится в сосуде с веществом **D**.

Система оценивания:

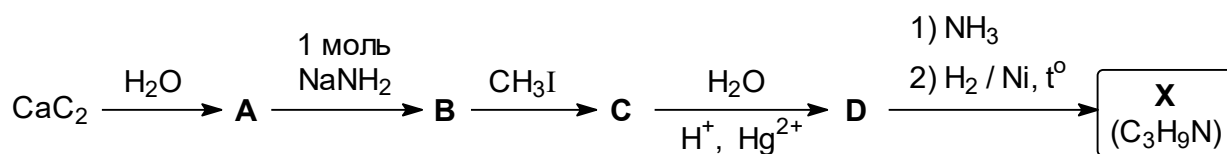
| | |
|--|----------------------|
| 1. Молекулярные формулы веществ A-F по 2 б | $2б \cdot 6 = 12$ б; |
| 2. Уравнения реакций по 1 б | $1б \cdot 4 = 4$ б; |
| 3. Уравнение реакции 1 б, способ получения 2 б | $1б + 2б = 3$ б; |
| 4. Уравнения реакций по 1 б | $1б \cdot 5 = 5$ б; |
| 5. Наименьшее – в сосуде с E, наибольшее – в сосуде с D по 2 б | $2б \cdot 2 = 4$ б; |
| Всего | 28 баллов |

Задание 6. «Химия и красота»

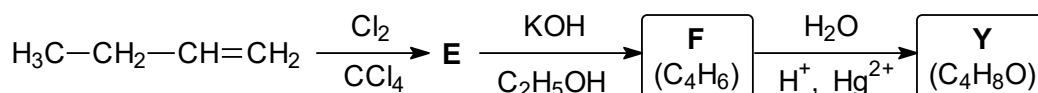
Однажды Антон заглянул в мамин шкафчик с косметическими средствами. Там ему сразу бросилась в глаза надпись на коробке с краской для волос: «не содержит аммиак». Прочитав состав краски, аммиак он действительно



не обнаружил, зато обнаружил вещество **X** – *органическое производное NH₃, в котором один из атомов водорода замещен на разветвленный углеводородный радикал*. Немного подумав, Антон предложил схему синтеза **X**.



Антон продолжил исследовать мамин шкафчик, и теперь на глаза ему попала баночка с жидкостью для снятия лака. На этой баночке красовалась этикетка с надписью "*не содержит ацетон*". Прочитав состав этой жидкости, вместо ацетона Антон обнаружил в ее составе соединение **Y**. Он хорошо представлял, как можно получить это вещество и быстро "набрosal" на листе бумаги схему синтеза **Y**:



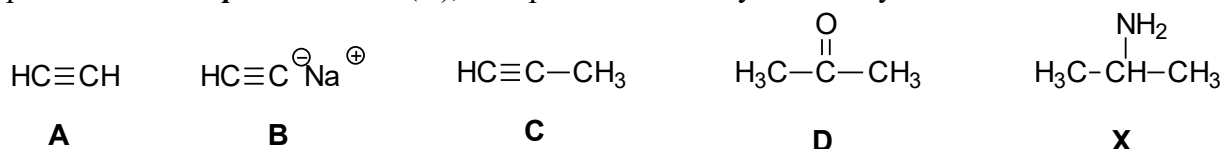
Дополнительно известно, что соединение **F** реагирует с гидроксидом диамминсеребра(I) (или, так называемым, "аммиачным раствором оксида серебра(I)") с образованием светло-серого осадка.

Задания.

1. Приведите структурные формулы и названия органических соединений **A–F**, **X** и **Y**.
2. Приведите формулу гидроксида диамминсеребра(I), выделив в квадратных скобках внутреннюю сферу в этом комплексном соединении. Напишите *уравнение реакции* (упоминаемой в условии) между раствором этого соединения и веществом **F**.
3. Превращения **C** → **D** и **F** → **Y** (см. приведенные выше схемы) обычно называют в честь русского химика, впервые осуществившего подобного рода реакции. Назовите фамилию этого химика.
4. При взаимодействии соединения **F** с раствором перманганата калия в присутствии серной кислоты выделяется газ и образуется органическая кислота. Напишите *уравнение* этой реакции.

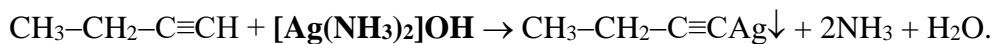
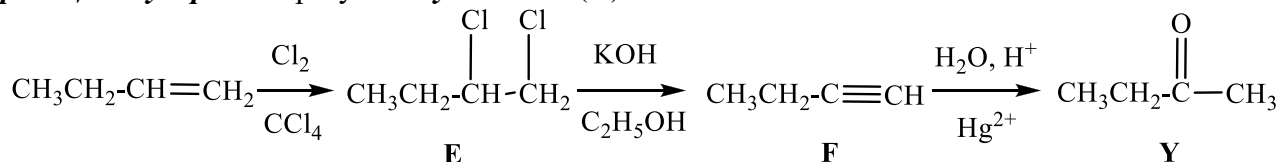
Решение (авторы Н.В. Рубан, М.А. Ильин).

1-3. При взаимодействии карбида кальция с водой образуется *ацетилен* (**A**). Ацетилен способен взаимодействовать с амидом натрия, при этом (учитывая молярное соотношение реагентов) образуется (моно)*ацетиленид натрия* (**B**). При взаимодействии ацетиленид натрия с метилиодидом образуется иодид натрия и *пропин* (**C**). При гидратации пропина в условиях *реакции Кучерова* ($\text{H}_2\text{O} / \text{H}^+, \text{Hg}^{2+}$) образуется *ацетон* (**D**). Взаимодействие ацетона с аммиаком в присутствии водорода (восстановительное аминирование) приводит к образованию *изопропиламина* (**X**), который соответствует составу $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$.

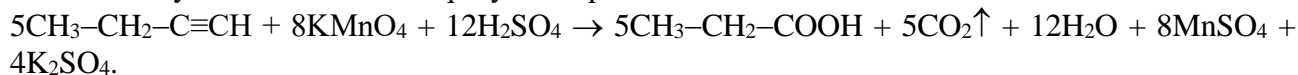


Рассмотрим схему получения соединения **Y**. При взаимодействии алкенов с галогенами в описанных условиях ($\text{Cl}_2 / \text{CCl}_4$) происходит реакция присоединения молекулы галогена по двойной связи, т.е. образуется *1,2-дихлорбутан* (**E**). Взаимодействие дихлорпроизводных алканов со спиртовым раствором щелочи приводит к образованию ненасыщенных углеводородов. Поскольку непредельный углеводород **F** взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра(I) с образованием осадка, соединение **F** –концевой

(терминальный) алкин, следовательно, **F** – *бутин-1*. При гидратации алкина **F** в условиях *реакции Кучерова* образуется *бутанон-2* (**Y**).



4. При окислении алкина **F** раствором перманганата калия в присутствии серной кислоты выделяется углекислый газ и образуется пропионовая кислота:



Система оценивания:

1. Структурные формулы A-F, X и Y по 1 б, названия по 1 б (1 б + 1 б) * 8 = 16 б;
 2. Формула $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ 1 б, уравнение реакции $F + [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ 1 б 1 б + 1 б = 2 б;
(если в уравнении реакции неправильно расставлены коэффициенты, ставится 0,5 б;
если приведены не все продукты до 0,5 б)
 3. Именное название (реакция Кучерова) 1 б 1 б.
 4. Уравнение реакции окисления F 2 б 2 б.
(если в уравнении реакции неправильно расставлены коэффициенты, ставится 1 б;
если приведены не все продукты до 0,5 б)
- Всего** 21 балл

Задание 7. «Обыкновенная парафиновая свеча»

С появлением электрической лампочки люди постепенно разучились пользоваться свечами. А ведь у свечи может быть множество предназначений: освещение, духовные и культовые ритуалы, создание ароматической ауры, лечение. Даже простое созерцание пламени свечи успокаивает нервную систему, помогает сосредоточиться, уйти от бытовой суеты, без спешки принять верное решение и просто пофилософствовать. Огонь имеет власть над человеческой душой, он согревает и завораживает. Тонкая свеча, устремленная к небу, освещает мир, делает жилье — домом, а будни — праздником. Обыкновенная парафиновая свеча, пусть даже выполненная в виде любимого Вами мультяшного героя, или, скажем, символа наступающего года, тоже может заставить Вас полюбить (или наоборот?) эту увлекательную науку — химию. В конце концов, почему только химикам должно быть известно о том, что парафин является смесью близких по составу и строению соединений углерода с водородом, полное сгорание которых приводит к образованию углекислого газа и водяного пара?



Для простоты дальнейших вычислений примем, что наша свеча массой 31,75 г состоит только из одного такого соединения – октадекана $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$.

1. Напишите уравнение реакции горения свечи, постаравшись не запутаться в коэффициентах.
2. Рассчитайте массу кислорода, который Вам потребуется для полного сжигания свечи, и объем жидкой воды, которая получится после охлаждения паров до комнатной температуры.
3. При комнатной температуре и атмосферном давлении 1 моль любого газа занимает объем около 25 л. Рассчитайте объем чистого кислорода, затрачиваемый на сгорание свечи в этих условиях. Во сколько раз больше будет объем потраченного на сгорание воздуха?
4. Допустим, мы сожгли свою свечу в закрытой пустой бочке из-под кваса объемом 900 л. Какие 4 газообразных вещества, и в каком количестве (л) будут в основном содержаться в бочке после сгорания?

5. Если в пламя горящей свечи внести стеклянную пластинку, она покроется черным налетом («закоптится»). Каков химический состав у этого налета? Напишите уравнение реакции, приводящей к его образованию. Вычислите максимальную массу этого черного вещества, которую можно получить из одной нашей свечки.

Решение (автор – В.А. Емельянов).

1. $2C_{18}H_{38} + 55O_2 = 36CO_2 + 38H_2O$ ($C_{18}H_{38} + 27,5O_2 = 18CO_2 + 19H_2O$).

2. Одна свеча содержит $31,75/(18 \cdot 12 + 38) = 0,125$ моля октадекана, для реакции с которым потребуется $0,125 \cdot 27,5 = 3,4375$ моля кислорода, которые имеют массу $3,4375 \cdot 32 = 110$ г.

В реакции получится $19 \cdot 0,125 = 2,375$ моля воды общей массой $2,375 \cdot 18 = 42,75$ г. Плотность воды при комнатной температуре приблизительно 1 г/см³, поэтому ее объем будет равен примерно **43 см³** или 43 мл.

3. Объем кислорода, затрачиваемый на сгорание свечи, составит $3,4375 \cdot 25 = 85,94 \approx 86$ л. Объем воздуха будет в $100/21 = 4,76$ или **примерно в 5 раз больше** ($85,94 \cdot 4,76 = 409$ л, если считать не очень точно, то получается $86 \cdot 5 = 430$ л).

4. Основные компоненты воздуха (в скобках – объемные % для сухого воздуха): азот (78 %), кислород (21%), аргон (0,9 %), углекислый газ (0,04 %) и водяной пар (его содержание сильно меняется в зависимости от температуры и наличия в системе жидкой воды). Количество **азота** и **аргона** в процессе сжигания свечи в бочке не изменится и составит $0,78 \cdot 900 = 702$ л и $0,009 \cdot 900 = 8,1$ л соответственно. **Кислорода** останется $0,21 \cdot 900 - 86 = 103$ л (**засчитывается и ответ $0,2 \cdot 900 - 86 = 94$ л**). **Углекислого газа** получится $0,125 \cdot 18 \cdot 25 = 56,25$ л, что в сумме с тем, что был в бочке изначально ($0,0004 \cdot 900 = 0,36$ л), составит $56,25 + 0,36 = 56,61 \approx 57$ л.

5. Черный налет – **сажа** (уголь, углерод, C), образующаяся при неполном сгорании парафина:

$C_{18}H_{38} + (19+n)/2O_2 = nCO + (18-n)C + 19H_2O$ (или $C_{18}H_{38} + 9,5O_2 = 18C + 19H_2O$).

Максимальная масса этого налета составит (если весь парафин превратится в углерод) $0,125 \cdot 18 \cdot 12 = 27$ г.

Система оценивания:

- | | | |
|------------------------------------|--|--------------------------------|
| 1. Уравнение реакции горения свечи | 2 б (если нет коэф-тов или ошибка в них 1 б) | 2 б; |
| 2. Масса кислорода | 2 б, объем воды | 2 б + 2 б = 4 б; |
| 3. Объем кислорода | 2 б, ответ в 4,8 раза | 2 б + 2 б = 4 б; |
| 4. Названия газов | по 1 б, их объем (или количество) по 2 б | 1 б * 4 + 2 б * 4 = 12 б; |
| 5. Состав налета | 1 б, уравнение реакции | 1 б, максимальная масса налета |
| | | 2 б |
| | | 1 б + 1 б + 2 б = 4 б; |

Итого

26 б.

4. Как готовиться?

Всесибирская олимпиада по химии – одна из самых интересных и сложных олимпиад в России, поэтому для того, чтобы добиться в ней успеха, требуется долгая и кропотливая работа. Организаторы олимпиады не дают никаких рекомендаций и не приводят список литературы для подготовки. Это означает, что такая подготовка – это очень творческий процесс, и они не хотят ограничивать его рамки.

Разумеется, и мы не сможем дать конкретный план, в котором будет указано, какие параграфы надо прочитать и какие задачи решить, чтобы гарантированно стать призером. Но несколько общих советов, которые могут быть полезны и для других олимпиад, мы можем предложить.

В первую очередь, стоит выделить два направления подготовки – психологическое и предметное. Психологическую подготовку мы понимаем здесь в узком смысле, только как тренировку внимания и умения воспринимать информацию. В самом деле, все задачи

довольно длинные, редко когда короче целой страницы текста. С одной стороны это хорошо, потому что в тексте содержится много подсказок для решения. Подсказкой может быть многое – цвет или агрегатное состояние вещества, условия реакции, исторические факты, области применения веществ. С другой стороны, эти подсказки еще надо уметь увидеть и сделать из них правильные выводы. Поэтому первое, что надо развивать, – это умение читать и делать выводы из прочитанного. Прежде, чем решать задачу, надо очень четко понять все, что дано, и все, что спрашивают, а уже потом искать пути от первого ко второму.

Что касается предметной подготовки, то здесь нужна большая методическая работа, которую во многом должен взять на себя учитель. Полезно изучить все задания последних лет (чем больше, тем лучше, для Всесибирской олимпиады они доступны с 2006 года) и сделать их статистический анализ по разделам химии и наиболее популярным темам. Затем предстоит методический анализ, в котором для каждой задачи (по крайней мере финального этапа) надо выделить «изюминку», химическую идею, основные уравнения и технические приемы решения. Методический анализ – это тяжелая и кропотливая работа, но ее достаточно сделать один раз, а потом просто освежать данные каждый год. После этого остается только подбирать тренировочные задачи для занятий по каждой теме. Поскольку задания ориентированы на школьную программу, то, разумеется, подготовку стоит вести отдельно по классам, хотя для отдельных занятий разные классы можно и объединять.

5. Интернет-ресурсы

<http://sesc.nsu.ru/vsesib/chem.html> – официальный сайт Всесибирской открытой олимпиады по химии

<http://info.olimpiada.ru/news/10171> – информация о Всесибирской олимпиаде на сайте олимпиад для школьников

<http://sesc.nsu.ru/vsesib/archive.html> – все задания олимпиады за последние 10 лет

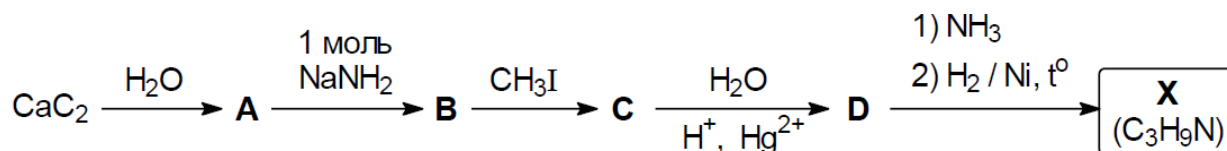
http://sesc.nsu.ru/vsesib/archive/2016/2016_chem.pdf – задачи и решения олимпиады 2016/2017 учебного года

<http://www.niic.nsc.ru/study/studentam/156-tasks> – электронный задачник, в основе которого – задачи Всесибирской олимпиады за 5 лет (авторы – В.А. Емельянов, М.А. Ильин, К.А. Коваленко). Содержит условия и решения больше 100 задач. Очень полезен для подготовки не только ко Всесибирской, но и к другим классическим олимпиадам по химии.

6. Задачи для контроля

В этом разделе мы предлагаем фрагменты заданий разных туров Всесибирской открытой олимпиады по химии, адаптированные для автоматической проверки)

1. Однажды Антон заглянул в мамин шкафчик с косметическими средствами. Там ему сразу бросилась в глаза надпись на коробке с краской для волос: «не содержит аммиак». Прочитав состав краски, аммиак он действительно не обнаружил, зато обнаружил вещество X – органическое производное NH₃. Немного подумав, Антон предложил схему синтеза X:



Что такое X?

- 1) Пропиламин
- 2) Изопропиламин
- 3) Триметиламин
- 4) Метилэтиламин
- 5) Аланин

2. Смесь, содержащую эквимольные (равные) количества карбоната и гидрокарбоната двухвалентного металла, прокалили до полного прекращения выделения газа, при этом масса полученного сухого остатка в 2,34 раза меньше массы исходной смеси. Определите атомную массу металла, соли которого использовали для опыта. В ответе укажите целое число, без указания размерности.

3. Смесь трех изомерных алканов, содержащих 16,67 % (по массе) водорода, подвергли хлорированию. Какое максимальное количество различных моноклорпроизводных могла содержать смесь после хлорирования (оптическую изомерию не учитывайте)? В ответе приведите число.

4. Можно выделить два типа взаимодействия хлора с водой после его растворения. При комнатной температуре в разбавленном растворе в основном происходит реакция диспропорционирования. При пониженной температуре из насыщенного раствора хлорной воды выделяются желтые кристаллы клатрата хлора. Клатраты представляют собой такие соединения, в которых молекулы одного сорта (т. н. «гости») заключены в полости, образованные молекулами другого сорта (т. н. «хозяевами»). В клатратах между «гостями» и «хозяевами» обычно образуются слабые межмолекулярные связи: ван-дер-ваальсовы либо водородные. Определите состав клатрата $\text{Cl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (n – целое), если при разложении 1,5 г данного соединения при 10 °С и нормальном атмосферном давлении выделяется 176,6 мл хлора (объем одного моля любого газа в этих условиях составляет 23,2 л). В ответе укажите значение n .

5. Смесь кислорода, сероводорода, силана и метана сгорела, превратившись только в углекислый газ, песок, оксид серы(IV) и воду (кислород израсходовался весь). Объем получившегося углекислого газа в 16 раз меньше объема исходной смеси, а плотность получившейся газовой смеси по водороду при н.у. равна 30 (растворением газов в воде пренебрегаем). Чему равна плотность по водороду исходной смеси?

- 1) 12
- 2) 13,75
- 3) 15,75
- 4) 18,25

Ответы.

1. 2)
2. 40
3. 8
4. 7
5. 3)