

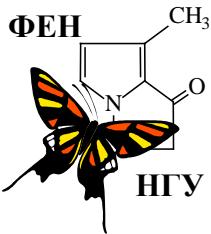


57-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Заключительный этап 2018-2019 уч. года

Задания по химии

10 класс



Задание 1. «Периодическая таблица химических элементов».

«Периодическому закону будущее не грозит разрушением, а только надстройка и развитие обещаются»

Д.И. Менделеев

2019 год провозглашен Генеральной ассамблей ООН Международным годом периодической таблицы (системы) химических элементов, которая является наглядным выражением периодического закона русского ученого Д.И. Менделеева, сформулированного им в 1869 году. В 2019 году этому открытию исполняется 150 лет. Периодическая система (ПС) служит ярким примером уникально краткой, но чрезвычайно информативной классификации химических элементов. Ни одна другая наука не имеет такого емкого и краткого справочного пособия, при умелом использовании которого можно очень много рассказать не только об известных, но и о не известных Вам и даже пока еще не полученных элементах и веществах. Руководствуясь выданной Вам «короткой» формой ПС и собственными знаниями, выполните следующие задания.



1. Дайте определение понятию «химический элемент». Приведите современную формулировку периодического закона и формулировку, предложенную Д.И. Менделеевым. Приведите современные названия элементов, которые Д.И. Менделеев назвал «экаалюминием» и «экасилицием».
2. Каково число переходных элементов в: **а)** четвертом периоде; **б)** шестом периоде? Почему их столько?
3. Элементы некоторых подгрупп и других частей ПС имеют обобщенные названия. К какой группе и подгруппе ПС принадлежат следующие элементы: **а)** инертные (благородные) газы; **б)** пнктогены? Запишите обобщенные электронные конфигурации внешних энергетических уровней атомов этих элементов. Какое из названий газов (инертные или благородные) более справедливо в настоящее время и почему?
4. Перечислите номера (2, 4, 6-9) элементов, относящихся к: **а)** платиновым металлам; **б)** благородным металлам; **в)** редкоземельным элементам; **г)** трансуранным элементам. Почему эти семейства так называются?
5. Среди элементов 2-6 периодов VII группы побочной подгруппы ПС выберите: **а)** наиболее активный металл; **б)** элемент, не имеющий стабильных изотопов; **в)** элемент с наиболее устойчивой высшей степенью окисления; **г)** элемент, содержание которого в природе меньше остальных. Запишите краткие электронные конфигурации марганца в катионе Mn^{2+} и анионе MnO_4^- .
6. Ответьте (кратко, 1-2 предложения), как и почему изменяются: **а)** радиусы изоэлектронных ионов от O^{2-} к Al^{3+} ; **б)** радиусы атомов второго периода слева направо.
7. Дайте определение понятию «изотопы». Сколько элементов ПС имеют хотя бы один стабильный изотоп?

«Мы посчитали целесообразным, чтобы был элемент имени русского химика Дмитрия Менделеева, который разработал периодическую таблицу. Почти во всех наших экспериментах по обнаружению трансуранных элементов мы зависели от его метода прогнозирования химических свойств на основе положения элемента в таблице. Несмотря на то, что в середине "холодной войны" название элемента для русского было несколько смелым жестом, правительство США разрешило такое наименование элемента». Гленн Т. Сиборг.

Элемент, названный в честь Менделеева, был впервые получен в 1955 г в США в количестве 17 атомов при бомбардировке изотопа ^{253}Es альфа частицами [реакция 1] (в ходе этой реакции испускается нейтрон). Несколько позже, в начале 60-х годов, в российском ядерном центре в Дубне были получены сотни таких же изотопов этого элемента бомбардировкой ^{238}U изотопами ^{22}Ne [2] (в ходе этой реакции испускается несколько элементарных частиц с единичным массовым числом). Полученный в этих реакциях изотоп распадается по двум направлениям (α -распад [3] и электронный захват [4]) с общим периодом полураспада 75 мин.

8. Напишите уравнения ядерных реакций [1]-[4]. Основываясь на периодическом законе, попробуйте кратко (без примеров) описать свойства этого элемента (какая степень окисления будет основной, окислительно-восстановительные свойства основной степени окисления и кислотно-основные свойства гидроксида).

Концентрация распадающегося изотопа экспоненциально убывает во времени в соответствии с уравнением $C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$, где $C(t)$ – концентрация распадающегося изотопа в момент времени t , C_0 – начальная концентрация этого изотопа, k – константа скорости распада.

9. Вычислите константу скорости распада описанного изотопа. Рассчитайте, какое количество от исходных 1000 атомов останется: **a)** через 30 мин, **б)** через 225 мин.

Задание 2. «Обратный коксовый газ».

Во многих городах России, в разные годы проводивших различные этапы Всесибирской открытой олимпиады школьников, расположены крупнейшие российские предприятия черной металлургии: Магнитогорский, Челябинский, Нижнетагильский, Череповецкий, Новокузнецкий металлургические комбинаты, Оскольский электрометаллургический комбинат, металлургические заводы «Визсталь» (Екатеринбург), «Ижсталь» (Ижевск), «Сибэлектросталь» (Красноярск), им. Кузьмина (Новосибирск), «Серп и молот» (Москва) и другие.

Производство чугуна и стали немыслимо без использования углерода, входящего в их конечный состав и выполняющего множество сопутствующих металлургических задач. Важнейшими для металлургии являются топливная и восстановительная функции углерода. В природе углерод в составе простого вещества находится в основном в виде углей, которые являются непрочными, вследствие чего не могут использоваться в современных металлургических печах напрямую. По этой причине предприятия черной металлургии всегда включают отдельные химические заводы по производству кокса (спечённого упрочнённого угля). Процесс коксования сводится к нагреву угля до температуры 1300–1350 °C без доступа воздуха в коксовых печах. Продуктами этого процесса являются кокс и первичный коксовый газ, который содержит много ценных парообразных и газообразных веществ. Первичный коксовый газ поступает в цех улавливания. При обработке первичного коксового газа в аппаратуре цеха улавливания из него выделяются основные химические продукты коксования и образуется очищенный коксовый газ. Он называется обратным, потому что часть его подается на обогрев коксовых печей, то есть, как бы возвращается обратно.

Обратный коксовый газ не имеет запаха и состоит в основном из не конденсирующихся в обычных условиях компонентов и водяных паров. В его составе отсутствуют благородные газы и соединения со связью С–С, но содержится немного свободного кислорода, которого в 27 раз меньше, чем самого лёгкого компонента обратного газа. Относительная плотность по гелию обратного коксования газа 2,8125. В заводской лаборатории определили, что в состав пробы обратного коксования газа входит 7 компонентов, после чего стали устанавливать содержание каждого из них (все измерения проведены при $p = 1$ атм).

I. Обратный коксовый газ пропустили через концентрированную серную кислоту, в результате чего его объем уменьшился в 1,0363 раза. Тот же результат был получен при пропускании газа над прокаленным хлоридом кальция. (Все объемы измерены при 25 °C).

II. Другую порцию газа пропустили через трубку с негашеной известкой, в результате чего его объем уменьшился в 1,0929 раза. (Все объемы измерены при 25 °C).

III. При сжигании 100,00 л нагретого обратного коксования газа в 100,00 л кислорода получили 169,50 л смеси газов (все объемы измерены при 400 °C).

IV. Смесь газов, полученную после сжигания в п. III, охладили до 0 °C и пропустили через H_2SO_4 конц. Объём полученной после этого «холодной» (0 °C) смеси газов составил 23,529 л.

V. «Холодную» смесь газов из п. IV пропустили через избыток известковой воды, в результате чего ее объем уменьшился в 3,0526 раза, а плотность новой смеси составила 1,415 г/л (измерено при 0 °C).

VI. Новую смесь из п. V пропустили над избытком раскаленной медной стружки, в результате чего масса стружки увеличилась на 10,141 г.

1. Проанализировав приведенную в задаче информацию, установите, какие еще газообразные вещества (формулы или названия), кроме воды и кислорода, могли входить в состав описанной пробы обратного коксования газа.

2. Напишите уравнения реакций, протекавших в ходе исследований обратного коксования газа в заводской лаборатории.

3. Вычислите содержание (мольные или объемные доли) каждого из 7 компонентов обратного коксования газа в исследованной пробе.

4. Вычислите количество тепла, выделившегося в п. III, если известны теплоты сгорания горючих компонентов обратного коксования газа в этих условиях (в порядке уменьшения мольного содержания): 240 кДж/моль, 800 кДж/моль, 280 кДж/моль.

Задание 3. «Хемотригонометрия».

«Питает вас. Ужель не узнаете? Мы корни дерева, на коем вы цветете». Крылов И.А. «Листы и корни»

Настя любит математику, а химия ей никак не дается. Но, узнав, что старший брат написал задачу по химии, она решила взглянуть на неё...

Если изобразить структурные формулы молекул NCl_3 и BI_3 так, как это принято в теории валентных связей (одна связь – одна черточка), то мы не увидим между ними никакой разницы. Однако валентные углы в этих молекулах заметно различаются, что приводит к существенному разному их геометрическому строению.

1. Назовите вещество состава NCl_3 и приведите структурную формулу его молекулы.

Зная расстояния между центрами атомов или длины связей в реальных молекулах, можно легко вычислить значения валентных углов. Для этого нужно лишь быть знакомым с основами тригонометрии и помнить теорему косинусов, связывающую стороны и углы в треугольнике: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos\alpha$.

Зашифруем химические символы в NCl_3 и BI_3 русскими буквами. По справочнику, расстояния в молекулах следующие. AB_3 : $r(\text{A}-\text{B}) = 2,10 \text{ \AA}$, $r(\text{B}-\text{B}) = 3,64 \text{ \AA}$; GD_3 : $r(\text{G}-\text{D}) = 1,76 \text{ \AA}$, $r(\text{D}-\text{D}) = 2,83 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$).

2. Рассчитайте значения валентных углов в молекулах AB_3 и GD_3 . Для справки: чтобы вычислить $\arccos(x)$ (значение угла, косинус которого равен x) в инженерном калькуляторе надо набрать x и нажать кнопку \cos^{-1} .

3. Являются ли эти молекулы плоскими? Обоснуйте свой ответ. А теперь проведите дешифровку и скажите, чем именно так отличаются составляющие эти молекулы атомы, что углы получаются разными?

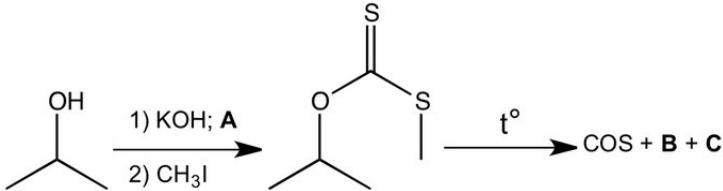
4. Дайте геометрические названия фигурам, которые образуют эти молекулы (линейная частица, плоский треугольник, треугольная пирамида, квадрат, четырехугольник, квадратная пирамида, призма, октаэдр и т. п.).

Как и любой человек, увлеченный математикой, но слабо знающий химию, Настя была очень удивлена, узнав о том, что у химиков есть свой, «химический косинус» (**COS**). В лаборатории он может быть получен действием кислот на тиокарбамат аммония $\text{CH}_6\text{SN}_2\text{O}$. В чистом виде представляет собой легко воспламеняющийся газ без цвета и запаха. Водой постепенно разлагается, в холодной щелочи растворяется.

5. Назовите «химический косинус» так, как это принято у химиков. Изобразите структурные формулы карбаминовой (аминоугольной) и тиокарбаминовой кислот. Напишите уравнение реакции тиокарбамата аммония с соляной кислотой и предложите еще один способ получения COS из неорганических веществ. Напишите уравнения реакций его горения, взаимодействия с водой и холодным раствором KOH.

Иногда такое совершенно неорганическое вещество, как **COS**, может получаться в результате различных превращений органических соединений, например в реакции Чугаева:

A – бинарное неорганическое соединение, бесцветная жидкость, растворяющаяся в растворах сульфида натрия, **B** – бинарное органическое соединение, обесцвечивающее раствор перманганата калия в кислой среде, **C** – органическое соединение, добавляемое в бытовой газ для обнаружения утечки. Массовая доля углерода в **A** составляет 15,77 %, в **B** – 85,63 %, в **C** – 24,97 %.



6. Приведите молекулярные формулы веществ **A**, **B** и **C** и назовите их. Напишите уравнения реакций вещества **B** с перманганатом калия в кислой среде и вещества **A** с раствором сульфида натрия.

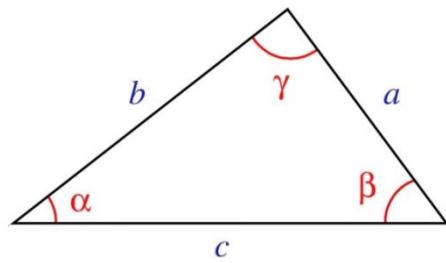
Известно, что бензол имеет плоское строение. Интересно, а вот останется ли молекула плоской, если все атомы водорода в бензоле заменить атомами хлора? Ответ можно получить, если воспользоваться другой известной теоремой для треугольника, теоремой синусов: $a/\sin\alpha = b/\sin\beta = c/\sin\gamma$.

В справочнике для гексахлорбензола находим: $r(\text{C}-\text{Cl}) = 1,75 \text{ \AA}$, $r(\text{C}-\text{C}) = 1,39 \text{ \AA}$, угол $\text{C}-\text{C}-\text{Cl} = 125^\circ$.

7. Изобразите структурную формулу молекулы гексахлорбензола. Вычислите расстояние $r(\text{Cl}-\text{Cl})$, исходя из предположения, что эта молекула плоская. Сравните полученное Вами значение со справочной величиной $r(\text{Cl}-\text{Cl}) = 3,50 \text{ \AA}$ и ответьте на вопрос, является ли эта молекула плоской?

При нагревании хлорида кремния в атмосфере аммиака можно получить и «химический синус». Правда, его формула уже не будет полностью повторять математический символ синуса, поскольку и регистр букв не везде тот, что нужен, и подстрочные цифры тоже будут мешать...

8. Тем не менее, попробуйте записать молекулярную формулу «химического синуса», дать ему название и написать уравнение реакции, приводящей к его образованию.



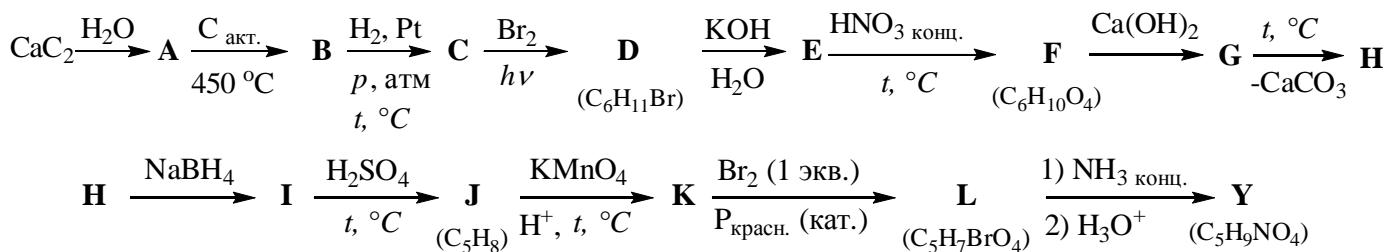
Задание 4. «Откуда берутся вкусняшки».

В 1907 году профессор Токийского Имперского Университета Икэда Кикуназ впервые выделил химически чистое вещество **X** из водорослей комбу, которое делало блюда с ними более вкусными. В 1909 г он получил патент на производство этого вещества гидролизом соевого и пшеничного белка. Вещество **X** стали выпускать в Японии как пищевую добавку под названием «адзиномото» — «сущность вкуса».



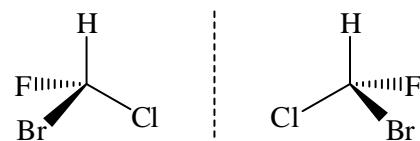
Предпринимались попытки искусственного синтеза добавки **X**, которую можно получить из кислоты **Y** взаимодействием с гидроксидом натрия. Однако синтезируемая химическим путем кислота **Y** образуется в виде рацемата (эквимолярной смеси оптических антиподов или энантиомеров), а вкусом обладает только один из двух энантиомеров **X**. Поскольку разделение энантиомеров является довольно сложным процессом, получаемая химическим путем добавка оказывалась довольно дорогой. На помощь химикам пришла биотехнология – в середине прошлого века была найдена бактерия, позволившая организовать недорогое массовое производство **X** методом ферментации. Мировое потребление **X** в настоящее время составляет 200000 тонн.

Ниже приведена схема синтеза, по которой можно получить кислоту **Y** в виде рацемата.



1. Приведите структурные формулы веществ A-L и кислоты Y.

Часть органических соединений может существовать в виде оптических изомеров – пары энантиомеров (зеркальных изомеров). Например, зимние перчатки являются зеркальным отображением друг друга, но в то же время они разные: нельзя надеть левую перчатку на правую руку. Самым простым случаем проявления оптической изомерии является наличие в молекуле атома углерода с четырьмя разными заместителями, например, в соединении бромфторхлорметан. Для отображения химических связей для оптически активных (или хиральных соединений) на бумаге используют следующие обозначения: «—» обозначает химическую связь в плоскости бумаги, «—» – химическую связь перед плоскостью бумаги (направленную к наблюдателю), «·····» – связь за плоскостью бумаги (направленную от наблюдателя). Например, энантиомеры бромфторхлорметана можно изобразить следующим образом (пунктирная черта показывает зеркальную плоскость).



(R)-бромфторхлорметан (S)-бромфторхлорметан

2. На основе приведенной информации попробуйте по аналогии изобразить пару энантимеров кислоты **Y**.

3. Кислота **Y** в водном растворе существует в виде цвиттер-иона. Получить **X** можно реакцией кислоты **Y** с 1 эквивалентом гидроксида натрия. Учитывая, что в веществе **X** реализуется внутримолекулярная водородная связь, приведите его структурную формулу (без учета оптических изомеров).

4. Во многих странах для обозначения **X** используют аббревиатуру «MSG». Расшифруйте эту аббревиатуру.