**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 ассамблеей 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)** пниктогены? Запишите обобщенные электронные конфигурации внешних энергетических уровней атомов этих элементов.
4. Перечислите номера (2, 4, 6-9) элементов, относящихся к: **а)** платиновым металлам; **б)** благородным металлам; **в)** редкоземельным элементам; **г)** трансурановым 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 элементов 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 трансурановых 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: **а)** через 30 мин; **б)** через 225 мин. Рассчитайте периоды полураспада этого изотопа по двум направлениям распада отдельно, если известно, что электронный захват происходит с эффективностью 90 %.

Задание 2. «Первичный 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. Кузмина (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 °С без доступа воздуха в коксовых печах. Продуктами этого процесса являются кокс и первичный коксовый газ, который содержит много ценных газообразных и парообразных веществ. В частности, в его состав входят соединения **А-Ж**, обладающие основными свойствами. Известно, что **А** – бинарное (двухэлементное) неорганическое соединение, а в состав всех остальных веществ **Б-Ж** входят оба этих элемента и еще один (одинаковый для всех) третий элемент. Соединения **Б-Ж** – ароматические, причем **Б**, **Г-Ж** являются гетероциклическими соединениями, а в состав молекулы **Ж** входят два шестичленных цикла.

Некоторые свойства этих веществ представлены в таблице

Вещ- во	Запах	$T_{\text{пл.}},$ °С	$T_{\text{кип.}},$ °С	K_b	Растворимость в воде	$M,$ г/моль	Продукты окисления в-ва
А	резкий	-78	-33	$1,8 \cdot 10^{-5}$	700 л газа А в 1л H_2O при 20 °С	?	
Б	неприятный	-41,7	115,2	$1,6 \cdot 10^{-9}$	неограниченно	79	
В	похожий на бензол	-6	184	$4,0 \cdot 10^{-10}$	малорастворимо	93	
Г₁, Г₂, Г₃	неприятный	-66,7 ÷ +3,6	129,6 ÷ 145,4	$>1,6 \cdot 10^{-9}$	растворимо	?	И₁-И₃
Д₁ – Д₆	неприятный	-64 ÷ -6,1	144 ÷ 161	$>1,6 \cdot 10^{-9}$	растворимо	107	К₁-К₆
Е₁ – Е₅	неприятный	-44,2	170	$>1,6 \cdot 10^{-9}$	растворимо	121	Л₁-Л₅
Ж₁, Ж₂	сладковатый	15,2	226,6	$>7,9 \cdot 10^{-10}$	малорастворимо	129	И₁-И₂ + М

Для вещества **Г** известно 3 изомера, различающихся положением заместителей (**Г₁**, **Г₂**, **Г₃**), для **Д** известно 6 таких изомеров (**Д₁ – Д₆**), для **Е** – 5 (**Е₁ – Е₅**), для **Ж** – 2 (**Ж₁**, **Ж₂**), для веществ **Б** и **В** таких изомеров нет. Однако вещество **В** является межклассовым изомером вещества **Г**.

Соединения **Г – Ж** реагируют с перманганатом калия в щелочной среде, образуя воду, вещество **З** (продукт восстановления перманганата калия) и продукты собственного окисления. При этом из соединений **Г₁-Г₃** получаются органические соли **И₁-И₃** [реакция 1], из **Д₁-Д₆** – **К₁-К₆** [2], из **Е₁-Е₅** – **Л₁-Л₅** [3], из **Ж₁-Ж₂** – соли **И₁-И₂** и неорганическая соль **М** [4]. При обработке вещества **З** разбавленной серной кислотой образуется розовый раствор с осадком [5], а при такой же обработке соли **М** образуется бесцветный раствор и выделяется газ **Н** [6], обладающий кислыми свойствами ($M_H = 2,588M_A$). При нагревании смеси любой из солей **И₁-И₃** с гидроксидом калия образуются вещества **Б** и **М** [7].

Дополнительно известно, что хлоридная соль основания **В** может быть получена при восстановлении вещества **О** железными опилками в солянокислой среде [8]. Вещество **О** представляет собой маслянистую ядовитую жидкость, имеющую запах миндаля, $M_O = 6,529M_A$.

1. Установите формулы и напишите названия неорганических соединений **А**, **З**, **М**, **Н**.

2. Установите брутто-формулы (либо формулы, не учитывающие полное строение, скажем, $C_6H_3(OH)_3$) органических веществ **Б-Ж**, **И-Л** и **О**.

3. Напишите уравнения реакций [1]-[8]. Для записи органических соединений в этих уравнениях можно использовать как структурные формулы, так и формулы из п.2, на Ваш выбор.

4. Изобразите структурные формулы и напишите названия соединений **Б-Ж**, **И-Л** и **О**. Для соединений, имеющих несколько изомеров положения заместителей, приведите структурные формулы и названия только одного из таких изомеров.

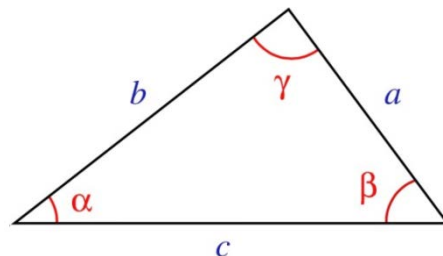
Задание 3. «Хемотригонometрия».

«Питаем 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: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha$.

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

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 $\cos^{-1}$.

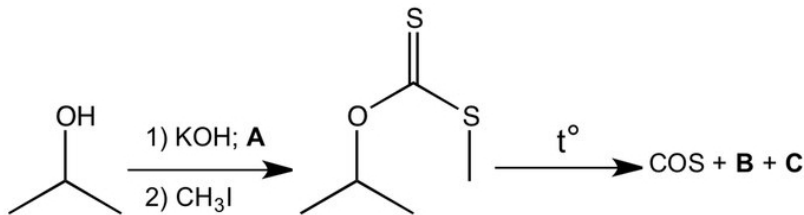
3. Являются ли эти молекулы плоскими? Обоснуйте свой ответ. А теперь проведите дешифровку и скажите, чем именно так отличаются составляющие эти молекулы атомы, что углы получаются разными?

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, растворяющееся 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: $r(\text{C-Cl}) = 1,75 \text{ \AA}$, $r(\text{C-C}) = 1,39 \text{ \AA}$, угол $\text{C-C-Cl} = 125^\circ$.

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

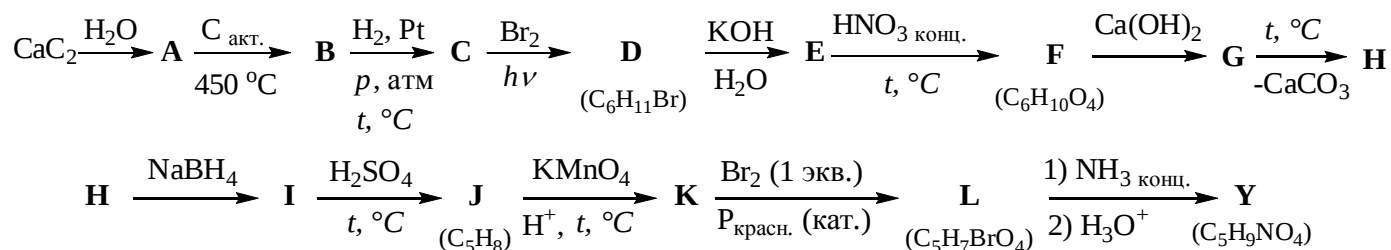
Задание 4. «Откуда берутся вкусяшки».

В 1907 году профессор Токийского Имперского Университета Икэда Кикунэ 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».



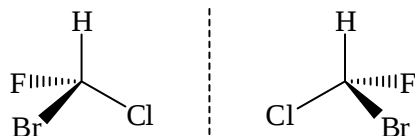
Предпринимались попытки искусственного синтеза добавки **X**, которую можно получить из кислоты **Y** взаимодействием с гидроксидом натрия. Однако синтезируемая химическим путем кислота **Y** образуется в виде рацемата (эквимольной смеси оптических антиподов или энантиомеров), а вкусом обладает только 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).



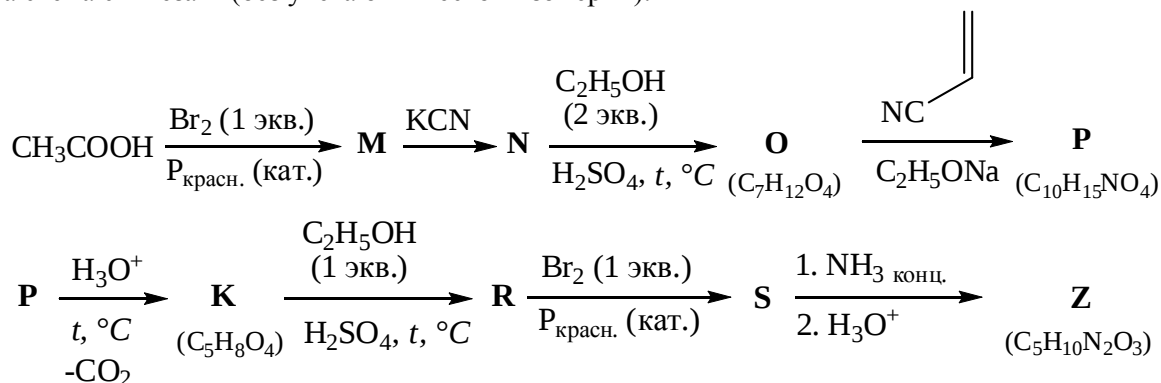
(R)-бромфторхлорметан (S)-бромфторхлорметан

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.

В живых организмах встречается и другая α-аминокислота, **Z**, очень похожая по структуре на **Y**. Ниже приведена схема синтеза **Z** (без учета оптической изомерии).



5. Приведите структурные формулы веществ **M-S** и кислоты **Z**.