

Грядущий 2024 год является юбилейным для многих изобретений, связанных с индустрией освещения и источников света. Так, около 220 лет назад британский химик Гэмфри Дэви разработал дуговую лампу, 150 лет назад российский электротехник А.Н. Лодыгин получил патент на нитевую лампу, а чуть позднее, 145 лет назад, патент на новую нитевую лампу, которая затем была запущена в массовое производство в США, получил изобретатель и предприниматель Томас Эдисон. Также, 10 лет назад за открытие технологии изготовления дешёвого синего светодиода Нобелевскую премию по физике получили японские физики Исама Акасаки, Хироси Аmano и Сюдзи Накамура. Достижениям в этой индустрии, а также химии процессов и соединений, используемых в современном освещении, посвящается несколько задач I этапа 62-й Всесибирской открытой олимпиады школьников.

Задание 1. «Огни большого города»

В большинстве современных городов уже сложно найти классическую лампу накаливания. С развитием технологий появились различные усовершенствованные виды ламп. 65 лет назад в массовое производство в СССР и США были запущены <...>ные лампы, которые выгодно отличались от ламп накаливания сроком службы, а также имели более сложную конструкцию. Для повышения срока службы в этой модели ламп использовали простые вещества **A** и **B**.



1. Объясните, чем отличается строение классической лампы накаливания от <...>ной лампы. Заполните пропуск в названии лампы, обозначенный <...>, зная, что в названии содержится указание на семейство элементов, которые образуют простые вещества **A** и **B**.

В отличие от классических ламп накаливания, в <...>ной лампе в небольших количествах присутствуют **A** или **B** в виде паров. Если поместить по 0,100 г этих веществ в закрытые вакуумированные сосуды объёмом 1,00 л и нагреть их до 100 °С, то они полностью испарятся и в сосудах установятся различные давления, которые приведены в таблице. Если же поместить 0,100 г **A** и 0,100 г **B** в один сосуд, то при нагревании они частично прореагируют [**реакция 1**], а общее давление в сосуде составит 3,16 кПа.

Вещество	A	B
Давление, кПа	1,94	1,22

2. Приведите формулы веществ **A** и **B**, ответ подтвердите расчётом. Напишите уравнение реакции [**1**]. Установите состав пара (в мольных %), образующегося при нагревании смеси 0,100 г **A** и 0,100 г **B** до 100 °С в сосуде объёмом 1,00 л, если известно, что в этом паре полярных молекул в 3 раза больше, чем неполярных.

Вещество **A** весьма реакционноспособное; например, оно весьма бурно реагирует с алюминием [**2**], железом [**3**], фосфором [**4, 5**], охотно растворяется как в холодном [**6**], так и в горячем [**7**] водном растворе гидроксида калия. Являясь довольно сильным окислителем, **A** реагирует с избытком водного раствора аммиака [**8**], а также взаимодействует с раствором гексагидроксохромата(III) цезия в присутствии гидроксида цезия при нагревании [**9**].

3. Напишите уравнения реакций [**2–9**], иллюстрирующих химические свойства **A**.

Хотя впервые вещество **B** было получено кипячением морских водорослей в концентрированной серной кислоте [**10**], сейчас его получают иначе. Например, в России основным сырьём для промышленного получения **B** являются буровые воды, образующиеся при промывке нефтяных скважин в ходе бурения. Для получения этого вещества можно использовать несколько способов. Первый способ заключается в пропускании небольшого избытка хлора через буровой раствор [**11**] с протеканием побочной реакции [**12**]. Второй способ основан на действии пероксида водорода на подкисленный серной кислотой буровой раствор [**13**]. Наконец, также известно применение озона в качестве окислителя для выделения **B** из щелочных [**14**] буровых вод. Получаемый в результате реакции [**14**] раствор затем смешивают с подкисленной исходной буровой водой, в результате чего выделяется **B** [**15**].

4. Напишите уравнения реакций [10–15]. Источником **В** в водорослях и буровом растворе является бинарная (двухэлементная) соль **С**, в которой массовая доля тяжёлого элемента равна 84,67%. Напишите формулу **С**, ответ подтвердите расчётом.

5. За 2020 год в России было продано 72 млн <...>ных ламп. Какой объём буровой воды необходимо переработать для получения массы **В**, достаточной для использования в таком количестве этих ламп? Примите, что концентрация **С** в буровой воде равна 0,25 ммоль/л, а в одной лампочке содержится 11 мг **В**.

Добавление небольшого количества **А** (или **В**) в лампу приводит к многократному увеличению срока её службы за счёт т.н. транспортной реакции. Механизм разрушения нити накаливания следующий: нить накаливания, состоящая, к примеру, из вольфрама, при пропускании тока нагревается и светится. Вольфрам, нагретый до высокой температуры в условиях низкого давления, возгоняется с нити, а затем оседает на стенках лампы (что можно наблюдать на примере давно находящихся в эксплуатации классических ламп накаливания). При наличии у стенок лампы паров **А**, нагретых до определенной температуры, вольфрам реагирует с ними, образуя множество соединений, среди которых можно обнаружить вещество **Д** с массовым содержанием вольфрама 31,51%.

6. Дополните приведённые объяснения, показав, какой именно процесс приводит к увеличению срока службы лампы. Установите формулу **Д**, ответ подтвердите расчётом. Рассчитайте температуры сублимации и разложения вещества **Д** в стандартном состоянии, если стандартные энтальпии образования и энтропии равны:

$$\Delta_{\text{обр}}H^{\circ}(\mathbf{D}_{(\text{ТВ})}) = -311,71 \text{ кДж/моль}, S^{\circ}(\mathbf{D}_{(\text{ТВ})}) = 271,95 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}, \Delta_{\text{обр}}H^{\circ}(\mathbf{D}_{(\text{газ})}) = -199,16 \text{ кДж/моль}, S^{\circ}(\mathbf{D}_{(\text{газ})}) = 461,47 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}; S^{\circ}(W_{(\text{ТВ})}) = 32,66 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

При сильном нагревании (на нити накаливания) **Д** разлагается с образованием металлического вольфрама и атомов неметалла; стандартная энтальпия и энтропия разложения **А** на атомы равны 111,86 кДж/моль и 175,02 Дж/(моль·К) соответственно.

Стандартная энергия Гиббса ΔG° рассчитывается по формуле $\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$.

Задание 2. «Холодный свет газов»

Газоразрядная лампа – осветительный прибор, принцип действия которого основан на свечении ионизированного газа. Фрэнсис Хоксби, член Лондонского королевского общества, продемонстрировал первую газоразрядную лампу ещё в 1705 году, однако первое коммерческое использование лампы такого типа было зарегистрировано почти 200 лет спустя, лишь в 1904 году. Обычно у обывателя газоразрядные лампы ассоциируются с лампами на основе инертных газов: многие из нас сталкивались в жизни с неоновым, а иногда и ксеноновым светом. Цветовая температура газоразрядных ламп обычно варьируется от 2200 до 20000 К и связана с мощностью излучения абсолютно черного тела по закону Стефана-Больцмана: $W = \sigma \cdot T^4$, где σ – постоянная Стефана-Больцмана равная $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

1. Укажите две области применения газоразрядных ламп, связанных с индустрией освещения. Что характеризует цветовая температура? Рассчитайте цветовую температуру солнечного излучения вблизи поверхности Солнца, если его мощность равна $6,3 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$.

Однако не только инертные газы используют для производства газоразрядных ламп. Ниже представлены результаты экспериментов с бесцветными газами **А**, **В**, **С** и **Д**, которые, в частности, используют в упомянутых лампах для создания оттенков свечения тлеющего разряда от светло-голубого до розового.

I: После пропускания разряда через смесь газов **А** и **В** [реакция 1] и последующего охлаждения полученной смеси образуется бурый газ [2], 1,00 л (25 °С, 100 кПа) которого полностью поглощается раствором натриевой щелочи с образованием солей 1 и 2 [3]. При этом масса раствора увеличивается на 3,14 г.

2. Напишите формулы веществ **А**, **В**, солей 1, 2 и уравнения реакций [1–3]. Известно, что массовое содержание натрия в соли 1 больше, чем в соли 2, а газ **А** легче, чем **В**.

3. Вычислите молярную массу бурого газа, полученного в условиях описанного эксперимента (25 °С, 100 кПа). Предположите качественный (формулы) и установите количественный (мольные доли) состав этого газа. Какой объём (условия те же) этого бурого газа нужно пропустить в 100 г 42,8 % раствора натриевой щелочи для того, чтобы щелочь прореагировала полностью?

II: При нагревании смеси газов **А** и **С** с катализатором образуется очень хорошо растворимый в воде газ **Х** [4]. Его насыщенный при 25 °С водный раствор окрашивает лакмус в синий цвет и содержит 30% вещества **Х** (по массе).

4. Напишите формулы веществ **C**, **X** и уравнение реакции [4]. Сколько литров газа **X** можно растворить в 1 л воды при 25 °С?

III: При нагревании под давлением смеси газов **X** и **D** образуется твердое вещество [5], впервые полученное Фридрихом Вёлером в 1828 году нагреванием цианата аммония (NH₄OCN). Если проводить реакцию **X** с **D** в присутствии паров воды при комнатной температуре [6], то образуется вещество, которое можно встретить в разрыхлителях теста.

IV: При пропускании газа **D** над раскаленным углем образуется бесцветный ядовитый газ **Y** [7], который реагирует с оксидом иода(V), снова давая газ **D** [8]. Этот же ядовитый газ **Y** можно обнаружить по его реакции с водным раствором хлорида палладия(II) [9]: в результате реакции раствор чернеет.

5. Напишите формулы веществ **D**, **Y** и уравнения реакций [5–9].

6. Оказывается, что реакция [5] протекает в две стадии: на первой образуется вещество **M**, которое разлагается на второй стадии с образованием продуктов реакции [5]. Укажите формулу вещества **M**. Рассчитайте удельный объём (в мл на 1 мг ядовитого газа) 0,0500 М раствора тиосульфата натрия, который затрачивается на взаимодействие с продуктом реакции [8]. Определите предельную допустимую концентрацию (ПДК, в мг/м³) ядовитого газа в воздухе, если в ходе реакции [9] с 660,5 литрами воздуха с ПДК ядовитого газа образуется 50,0 мг черного осадка.

Раньше в газоразрядных лампах было популярно использование паров металлов **E** и **F**. Они способны не только образовывать сплавы, но и реагировать друг с другом с образованием химических соединений, таких как желтые кристаллы **G**, которое образуется при нагревании эквимольных количеств **E** и **F**, или вещество с металлической проводимостью **H**. При нагревании в атмосфере кислорода эквимольной смеси **G** и **H** с четырехкратным количеством едкого натра образуется вещество **I** и газообразная вода, при этом привес массы сухого остатка составляет 3,461%. При горении смеси, как и при горении **E**, наблюдается желтое пламя.

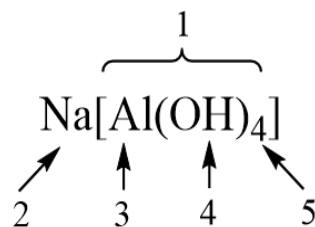
7. Напишите формулы веществ **E** – **I**. Какие из ламп (на основе **E** или **F**) требуют наличия люминофора?

Задание 3. «Химия в квадратных скобках».

В 2023 году исполняется 100 лет со дня присуждения Нобелевской премии по химии А. Вернеру «В знак признания его работ о природе связей атомов в молекулах, которые позволяли по-новому взглянуть на результаты ранее проведенных исследований и открывали новые возможности для научно-исследовательской работы, особенно в области неорганической химии», а также 130 лет со дня опубликования его основополагающего труда «О конституции неорганических соединений», который поистине «дал импульс развитию неорганической химии». В этом труде изложен совершенно новый взгляд на строение химических веществ и представлена координационная теория, объясняющая строение и стереохимию многих комплексных соединений (комплексов). К настоящему моменту комплексные соединения используются в самых различных областях: от сельского хозяйства до медицины и космической отрасли. Среди наиболее распространённых комплексов выделяют аммиачные, гидратные, галогенидные, гидроксокомплексы и другие.



Для получения хорошо известной Вам комплексной соли Na[Al(OH)₄] следует провести следующие реакции: к раствору хлорида алюминия добавить гидроксид натрия, что приведет к выпадению студенистого осадка [реакция 1], растворяющегося в избытке щелочи [2]. Если наоборот, к раствору гидроксида натрия прилить немного раствора хлорида алюминия, осадок не выпадет, а раствор останется прозрачным [3]. Кратко поясните, почему? Na[Al(OH)₄] может легко взаимодействовать с избытками следующих веществ: соляная кислота [4], углекислый газ [5] и хлорид аммония [6]. При попытке же выделить Na[Al(OH)₄] из раствора выпариванием он разлагается [7].



В аналитической химии образование окрашенных комплексных солей позволяет обнаруживать ионы металлов в растворе. Одними из наиболее высокочувствительных реакций для обнаружения ионов Fe³⁺ (например, в растворе FeCl₃) являются реакции с роданидом калия (KSCN) [8] или желтой кровяной солью (K₄[Fe(CN)₆]) [9] с образованием кроваво-красного окрашивания и синего осадка, соответственно.

Из органической химии примером качественной реакции может являться взаимодействие гидроксида меди(II) с этиленгликолем с формированием сине-фиолетового комплекса [10].

1. Укажите номенклатурное название комплексной соли $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ и названия частей 1-5 из рисунка согласно современной теории строения комплексных соединений. Напишите уравнения описанных реакций [1]-[10]. Изобразите структурную формулу продукта реакции [10].

Динатриевая соль кислоты **Y** является весьма распространенным реагентом в аналитической химии и может взаимодействовать с различными ионами металлов в соотношении 1:1 с образованием комплексов. Реакция используется для извлечения ионов металла из их нерастворимых солей или для количественного определения методом комплексонометрии. Известно, что молярная масса этой соли меньше 350 г/моль и в ней содержится 13.7, 35.7, 4.2, 8.3 и 38.1% натрия, углерода, водорода, азота и кислорода по массе, соответственно. Молекула кислоты **Y** симметричная, содержит 4 карбоксильные группы и не содержит связи N-N.

2. Установите молекулярную и изобразите структурную формулу кислоты **Y**.

Образование комплексных соединений может подтолкнуть к взаимодействию малореакционноспособные вещества, привести к растворению нерастворимых веществ или стабилизировать неустойчивые степени окисления. При этом для катионов с зарядом +1 характерно координационное число (КЧ) 2, двухзарядных – 4, реже 6, трехзарядных, как правило, 6.

3. Напишите уравнения реакций растворения малоактивного металла меди в концентрированной соляной кислоте в присутствии кислорода воздуха с образованием комплекса меди(II) [11], растворения нерастворимого в воде йода в растворе иодида калия [12], растворения осадка хлорида серебра в водном аммиаке [13] и взаимодействия сульфата марганца(II) с цианидом калия и перекисью водорода с образованием комплекса марганца(III) [14].

Для получения примечательных представителей комплексных соединений можно использовать следующую схему, выбрав в качестве исходного соединения металл **X**, а точнее его хлорид голубого цвета **A** ($W_X = 45,38\%$). Известно, что в состав ядра атома этого металла входит нечетное число протонов. Вещество **A** во влажном воздухе постепенно меняет цвет на фиолетовый, после чего начинает краснеть, в итоге превращаясь в розовое вещество **B** ($W_X = 24,8\%$) [15].

Взаимодействие **A** с газообразным аммиаком приводит к светло-красным кристаллам соединения **C** [16], содержащего 30,6% хлора по массе. При реакции **C** с нитратом серебра происходит выпадение двух эквивалентов (два моля на один моль **C**) белого творожистого осадка [17]. Взаимодействие же **A** с водным раствором смеси концентрированного аммиака и хлорида аммония с последующим пропусканием сильного тока воздуха приводит к образованию соединения **D** с менее распространенной степенью окисления **X** [18]. При подкислении раствора соляной кислотой соединение **D** выпадает в осадок в виде красных кристаллов, содержащих 42,5% хлора по массе.

4. Установите формулы веществ **X**, **A-D**, если известно, что для **X** характерно КЧ 6. Назовите соединения **A-D** по химической номенклатуре. Напишите уравнения реакций [15]-[18]. К какому типу комплексных соединений можно отнести вещество **B**? Поясните по какому «механизму» образованы связи различных групп с катионом металла в веществе **B**?

При создании координационного учения А. Вернер на примере комплексов кобальта, хрома, железа внес пространственные представления в теорию строения комплексных соединений и установил у них наличие геометрической, а, позднее, и оптической изомерии (имеют одинаковый количественный состав, но разную структуру). По мнению А. Вернера, комплексные соединения с КЧ 6 должны иметь октаэдрическое строение (многогранник с восемью гранями и шестью вершинами), а с КЧ 4 – плоско-квадратное.

5. Так, для комплекса дихлородиамминмедь $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ существуют два геометрических изомера: цис- и транс-, причем последний был обнаружен в виде минерала Ammineite в природе. Изобразите пространственное строение этих изомеров.

Известны аналоги комплексов **C-D** состава $\text{XCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ (**E**) и $\text{XCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$ (**F**).

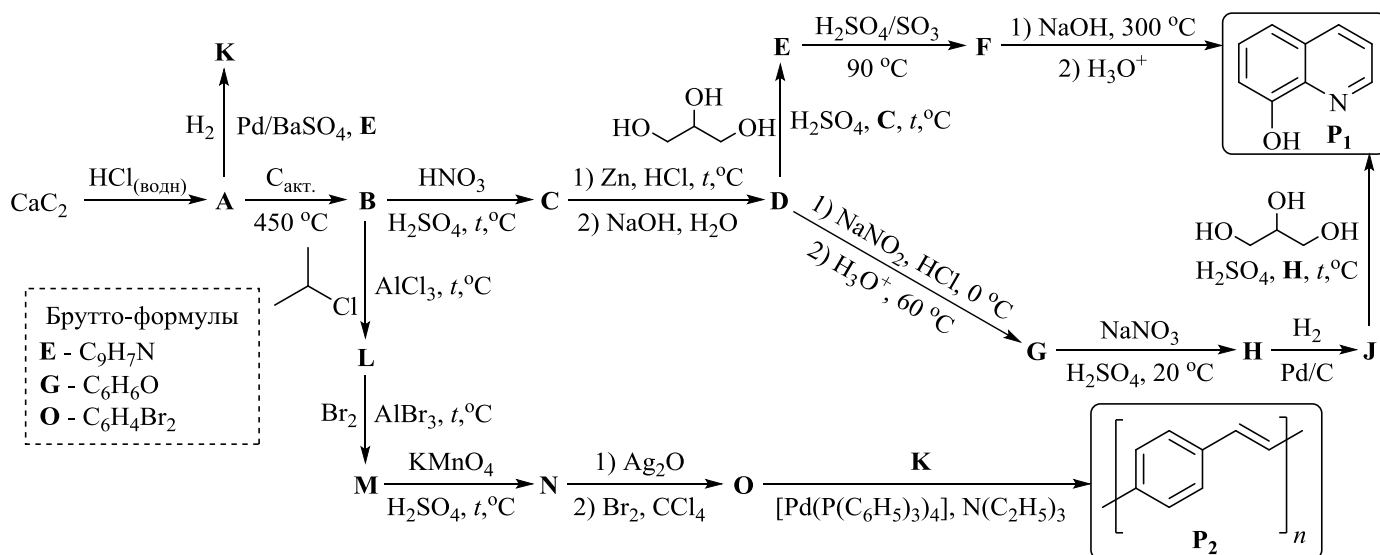
6. Напишите их координационные формулы и назовите их по номенклатуре комплексных соединений. Изобразите пространственное строение изомеров комплексов **E** и **F**, если известно, что для каждого них существует по два пространственных изомера.

Задание 4. «OLED – цветопередача в новом свете»

«Всё, что было много лет назад,
Сны цветные бережно хранят»
х/ф «Мэри Поппинс, до свидания!» (1984)

Светоизлучающие материалы не ограничиваются лишь соединениями неорганической природы. В последнее время набирают популярность изделия, в дисплеях которых используются органические светодиоды (*англ.* OLED – органический светоизлучающий диод). Создатели первого диодного устройства на основе органических молекул в 2014 году вошли в шорт-лист номинантов Нобелевской премии по химии.

Способностью к светоизлучению при подаче напряжения обладают разнообразные органические соединения. Среди них есть и небольшие молекулы (т.н. «микромолекулы» – SM-OLED) – как правило, это координационные соединения металлов с органическими лигандами. Первый диод на основе органических соединений был разработан учёными из компании Eastman Kodak в 1987 году; ими был использован комплекс алюминия с веществом **P₁**. Чуть позднее, в 1989 году, учёными Кембриджского университета был синтезирован первый светоизлучающий полимер **P₂**. С этого времени параллельно развивались два направления производства светодиодов: на основе SM-OLED и полимерных P-OLED. Далее представлена схема, по которой можно получить вещества **P₁** и **P₂**. В табличке слева внизу (обведена пунктирной линией) даны брутто-формулы некоторых из промежуточных соединений.

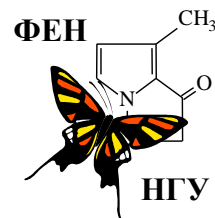


1. Изобразите структурные формулы веществ **A** – **O**. Имейте в виду, что в промышленности **L** используется для получения **G**, а в ходе реакции **G** → **H** образуется два изомерных продукта, из которых только **H** содержит внутримолекулярную водородную связь.

2. Напишите уравнение реакции **M** → **N**.

Для получения комплекса аниона **P₁** с алюминием, используемого в SM-OLED, достаточно смешать водные растворы хлорида алюминия и **P₁**; искомым комплекс состава [Al(C₉H₆NO)₃] при этом выпадает в осадок. Для проведения этой реакции взяли 50 мл 0,001 М раствора хлорида алюминия и смешали его с 0,725 г **P₁**. Выпавший осадок отфильтровали, а фильтрат собрали и сохранили. Произведение растворимости: $PP([Al(C_9H_6NO)_3]) = [Al^{3+}][C_9H_6NO^-]^3 = 5 \cdot 10^{-33}$. Вещество **P₁** является амфолитом (является одновременно кислотой и основанием), для него константы кислотности $K_a = 1,5 \cdot 10^{-10}$ и основности $K_b = 8,1 \cdot 10^{-10}$.

3. Изобразите структурную формулу комплекса Al(C₉H₆NO)₃, учитывая, что координационное число атома алюминия в этом комплексе равно 6. Рассчитайте молярную концентрацию ионов Al³⁺ в полученном фильтрате. Изменением объёма раствора в ходе реакций можно пренебречь.



Грядущий 2024 год является юбилейным для многих изобретений, связанных с индустрией освещения и источников света. Так, около 220 лет назад британский химик Гэмфри Дэви разработал дуговую лампу, 150 лет назад российский электротехник А.Н. Лодыгин получил патент на нитевую лампу, а чуть позднее, 145 лет назад, патент на новую нитевую лампу, которая затем была запущена в массовое производство в США, получил изобретатель и предприниматель Томас Эдисон. Также, 10 лет назад за открытие технологии изготовления дешёвого синего светодиода Нобелевскую премию по физике получили японские физики Исама Акасаки, Хироси Аmano и Сюдзи Накамура. Достижениям в этой индустрии, а также химии процессов и соединений, используемых в современном освещении, посвящается несколько задач I этапа 62-й Всесибирской открытой олимпиады школьников.

Задание 1. «Огни большого города»

В большинстве современных городов уже сложно найти классическую лампу накаливания. С развитием технологий появились различные усовершенствованные виды ламп. 65 лет назад в массовое производство в СССР и США были запущены <...>ные лампы, которые выгодно отличались от ламп накаливания сроком службы, а также имели более сложную конструкцию. Для повышения срока службы в этой модели ламп использовали простые вещества **A** (бурая жидкость при н. у.) и **B** (твёрдое при н.у., возгоняется с образованием фиолетовых паров).



1. Объясните, чем отличается строение классической лампы накаливания от <...>ной лампы. Заполните пропуск в названии лампы, обозначенный <...>, зная, что в названии содержится указание на семейство элементов, которые образуют простые вещества **A** и **B**.

В отличие от классических ламп накаливания, в <...>ной лампе в небольших количествах присутствуют **A** или **B** в виде паров. Если поместить по 0,100 г этих веществ в закрытые вакуумированные сосуды объёмом 1,00 л и нагреть их до 100 °С, то они полностью испарятся и в сосудах установятся различные давления, которые приведены в таблице. Если же поместить 0,100 г **A** и 0,100 г **B** в один сосуд, то при нагревании они частично прореагируют [реакция 1], а общее давление в сосуде составит 3,16 кПа.

Вещество	A	B
Давление, кПа	1,94	1,22

2. Приведите формулы веществ **A** и **B**, ответ подтвердите расчётом. Напишите уравнение реакции [1]. Установите состав пара (в мольных %), образующегося при нагревании смеси 0,100 г **A** и 0,100 г **B** до 100 °С в сосуде объёмом 1,00 л, если известно, что в этом паре полярных молекул в 3 раза больше, чем неполярных. Также известно, что 1 моль идеального газа при 100 °С в сосуде объёмом 1,00 л оказывает давление 3100 кПа.

Вещество **A** весьма реакционноспособное; например, оно весьма бурно реагирует с алюминием [2], железом [3], фосфором [4, 5], охотно растворяется как в холодном [6], так и в горячем [7] водном растворе гидроксида калия. Являясь довольно сильным окислителем, **A** реагирует с избытком водного раствора аммиака [8] с выделением бесцветного газа, а также взаимодействует с раствором гексагидроксохромата(III) цезия в присутствии гидроксида цезия при нагревании [9].

3. Напишите уравнения реакций [2–9], иллюстрирующих химические свойства **A**.

Хотя впервые вещество **B** было получено кипячением морских водорослей в концентрированной серной кислоте [10] (при этом выделяется газ с запахом тухлых яиц), сейчас его получают иначе. Например, в России основным сырьём для промышленного получения **B** являются буровые воды, образующиеся при промывке нефтяных скважин в ходе бурения. Для получения этого вещества можно использовать несколько способов. Первый способ заключается в пропускании небольшого избытка хлора через буровой раствор [11] с протеканием побочной реакции [12]. Второй способ основан на действии пероксида водорода на подкисленный серной кислотой буровой раствор [13]. Наконец, также известно применение озона в качестве окислителя для выделения **B** из щелочных [14] буровых вод. Получаемый в результате ре-

акции [14] раствор затем смешивают с подкисленной исходной буровой водой, в результате чего выделяется **B** [15].

4. Напишите уравнения реакций [10–15]. Источником **B** в водорослях и буровом растворе является бинарная (двухэлементная) соль **C**, в которой массовая доля тяжёлого элемента равна 84,67%. Напишите формулу **C**, ответ подтвердите расчётом.

5. За 2020 год в России было продано 72 млн <...>ных ламп. Какой объём буровой воды необходимо переработать для получения массы **B**, достаточной для использования в таком количестве этих ламп? Примите, что концентрация **C** в буровой воде равна 0,25 ммоль/л, а в одной лампочке содержится 11 мг **B**.

Добавление небольшого количества **A** (или **B**) в лампу приводит к многократному увеличению срока её службы за счёт т.н. транспортной реакции. Механизм разрушения нити накаливания следующий: нить накаливания, состоящая, к примеру, из вольфрама, при пропускании тока нагревается и светится. Вольфрам, нагретый до высокой температуры в условиях низкого давления, возгоняется с нити, а затем оседает на стенках лампы (что можно наблюдать на примере давно находящихся в эксплуатации классических ламп накаливания).

6. Дополните приведённые объяснения, показав, какой именно процесс приводит к увеличению срока службы лампы.

При наличии у стенок лампы паров **A**, а также следовых количеств кислорода, нагретых до определенной температуры, вольфрам обратимо реагирует с ними, образуя множество соединений, среди которых можно обнаружить вещества **D**, **E** и **F** (массовые доли вольфрама 31,51%, 35,38%, 48,94%, соответственно).

7. Определите формулы веществ **D–F**, ответ подтвердите расчётом. Изобразите пространственное строение молекул, образующих эти вещества, напишите названия образуемых этими молекулами геометрических фигур.

Задание 2. «Холодный свет газов»

Газоразрядная лампа – осветительный прибор, принцип действия которого основан на свечении ионизированного газа. Фрэнсис Хоксби, член Лондонского королевского общества, продемонстрировал первую газоразрядную лампу ещё в 1705 году, однако первое коммерческое использование лампы такого типа было зарегистрировано почти 200 лет спустя, лишь в 1904 году. Обычно у обывателя газоразрядные лампы ассоциируются с лампами на основе инертных газов: многие из нас сталкивались в жизни с неоновым, а иногда и ксеноновым светом. Цветовая температура газоразрядных ламп обычно варьируется от 2200 до 20000 К и связана с мощностью излучения абсолютно черного тела по закону Стефана-Больцмана: $W = \sigma \cdot T^4$, где σ – постоянная Стефана-Больцмана равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴).

1. Укажите две области применения газоразрядных ламп, связанных с индустрией освещения. Что характеризует цветовая температура? Рассчитайте цветовую температуру солнечного излучения вблизи поверхности Солнца, если его мощность равна $6,3 \cdot 10^7$ Вт/м².

Однако не только инертные газы используют для производства газоразрядных ламп. Ниже представлены результаты экспериментов с бесцветными газами **A**, **B**, **C** и **D**, которые, в частности, используют в упомянутых лампах для создания оттенков свечения тлеющего разряда от светло-голубого до розового.

I: После пропускания разряда через смесь газов **A** и **B** [реакция 1] и последующего охлаждения полученной смеси образуется бурый газ [2], 1,00 л (25 °С, 100 кПа) которого полностью поглощается раствором натриевой щелочи с образованием солей 1 и 2 [3]. При этом масса раствора увеличивается на 3,14 г.

2. Напишите формулы веществ **A**, **B**, солей 1, 2 и уравнения реакций [1–3]. Известно, что массовое содержание натрия в соли 1 больше, чем в соли 2, а газ **A** легче, чем **B**.

3. Вычислите молярную массу бурого газа, полученного в условиях описанного эксперимента (25 °С, 100 кПа). Предположите качественный (формулы) и установите количественный (молярные доли) состав этого газа. Какой объём (условия те же) этого бурого газа нужно пропустить в 100 г 42,8 % раствора натриевой щелочи для того, чтобы щелочь прореагировала полностью?

II: При нагревании смеси газов **A** и **C** с катализатором образуется очень хорошо растворимый в воде газ **X** [4]. Его насыщенный при 25 °С водный раствор окрашивает лакмус в синий цвет и содержит 30% вещества **X** (по массе).

4. Напишите формулы веществ **C**, **X** и уравнение реакции [4]. Сколько литров газа **X** можно растворить в 1 л воды при 25 °С?

III: При нагревании под давлением смеси газов **X** и **D** образуется твердое вещество **[5]**, впервые полученное Фридрихом Вёлером в 1828 году нагреванием цианата аммония (NH_4OCN). Если проводить реакцию **X** с **D** в присутствии паров воды при комнатной температуре **[6]**, то образуется вещество, которое можно встретить в разрыхлителях теста.

IV: При пропускании газа **D** над раскаленным углем образуется бесцветный ядовитый газ **Y** **[7]**, который реагирует с оксидом иода(V), снова давая газ **D** **[8]**. Этот же ядовитый газ **Y** можно обнаружить по его реакции с водным раствором хлорида палладия(II) **[9]**: в результате реакции раствор чернеет вследствие образования взвеси металлического палладия.

5. Напишите формулы веществ **D**, **Y** и уравнения реакций **[5–9]**.

6. Оказывается, что реакция **[5]** протекает в две стадии: на первой образуется вещество **M** (массовая доля углерода 15,38%), которое разлагается на второй стадии с образованием продуктов реакции **[5]**. Укажите формулу вещества **M**. Рассчитайте удельный объём (в мл на 1 мг ядовитого газа) 0,0500 М раствора тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, который затрачивается на взаимодействие с простым веществом - продуктом реакции **[8]** (в ходе последней реакции тиосульфат натрия превращается в тетрагидрат натрия $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$). Определите предельную допустимую концентрацию (ПДК, в мг/м^3) ядовитого газа в воздухе, если в ходе реакции **[9]** с 660,5 литрами воздуха с ПДК ядовитого газа образуется 50,0 мг черного осадка.

Раньше в газоразрядных лампах было популярно использование паров металлов **E** и **F**. Они способны не только образовывать сплавы, но и реагировать друг с другом с образованием химических соединений, таких как желтые кристаллы **G**, которое образуется при нагревании эквимольных количеств **E** и **F**, или вещество с металлической проводимостью **H**. При нагревании в атмосфере кислорода эквимольной смеси **G** и **H** с четырехкратным количеством едкого натра образуется вещество **I** и газообразная вода, при этом привес массы сухого остатка составляет 3,461%. При горении смеси, как и при горении **E**, наблюдается желтое пламя.

7. Напишите формулы веществ **E – I**. Какие из ламп (на основе **E** или **F**) требуют наличие люминофора?

Задание 3. «Химия в квадратных скобках».

В 2023 году исполняется 100 лет со дня присуждения Нобелевской премии по химии А. Вернеру «В знак признания его работ о природе связей атомов в молекулах, которые позволяли по-новому взглянуть на результаты ранее проведенных исследований и открывали новые возможности для научно-исследовательской работы, особенно в области неорганической химии», а также 130 лет со дня опубликования его основополагающего труда «О конституции неорганических соединений», который поистине «дал импульс развитию неорганической химии». В этом труде изложен совершенно новый взгляд на строение химических веществ и представлена координационная теория, объясняющая строение и стереохимию многих комплексных соединений (комплексов). К настоящему моменту комплексные соединения используются в самых различных областях: от сельского хозяйства до медицины и космической отрасли. Среди наиболее распространённых комплексов выделяют аммиачные, гидратные, галогенидные, гидроксокомплексы и другие.



Для получения хорошо известной Вам комплексной соли $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ следует провести следующие реакции: к раствору хлорида алюминия добавить гидроксид натрия, что приведет к выпадению студенистого осадка **[реакция 1]**, растворяющегося в избытке щелочи **[2]**. Если наоборот, к раствору гидроксида натрия прилить немного раствора хлорида алюминия, осадок не выпадет, а раствор останется прозрачным **[3]**. *Кратко поясните, почему?* $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ может легко взаимодействовать с *избытками* следующих веществ: соляная кислота **[4]**, углекислый газ **[5]** и хлорид аммония **[6]**. При попытке же выделить $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ из раствора выпариванием он разлагается, отщепляя воду **[7]**.

В аналитической химии образование окрашенных комплексных солей позволяет обнаруживать ионы металлов в растворе. Одними из наиболее высокочувствительных реакций для обнаружения ионов Fe^{3+} (например, в растворе FeCl_3) являются реакции с роданидом калия (KSCN) **[8]** или желтой кровяной солью ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) **[9]** с образованием кроваво-красного окрашивания и синего осадка, соответственно.

1. Укажите номенклатурное название комплексной соли $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ и названия частей 1-5 из рисунка согласно современной теории строения комплексных соединений. Напишите уравнения описанных реакций [1]-[9].

Образование комплексных соединений может подтолкнуть к взаимодействию малореакционноспособные вещества, привести к растворению нерастворимых веществ или стабилизировать неустойчивые степени окисления. При этом для катионов с зарядом +1 характерно координационное число (КЧ) 2, двухзарядных – 4, реже 6, трехзарядных, как правило, 6.

2. Напишите уравнения реакций растворения малоактивного металла меди в концентрированной соляной кислоте в присутствии кислорода воздуха с образованием комплекса меди(II) [10], растворения нерастворимого в воде йода в растворе иодида калия [11], растворения осадка хлорида серебра в водном аммиаке [12] и взаимодействия сульфата марганца(II) с цианидом калия и перекисью водорода с образованием цианидного комплекса марганца(III) [13].

Для получения примечательных представителей комплексных соединений можно использовать следующую схему, выбрав в качестве исходного соединения металл **X**, а точнее его хлорид голубого цвета **A** ($W_X = 45,38\%$). Известно, что в состав ядра атома этого металла входит нечетное число протонов. Вещество **A** во влажном воздухе постепенно меняет цвет на фиолетовый, после чего начинает краснеть, в итоге превращаясь в розовое вещество **B**, содержащее во внутренней сфере молекулы воды ($W_X = 24,8\%$) [14].

Взаимодействие **A** с газообразным аммиаком приводит к светло-красным кристаллам соединения **C** [15], содержащего 30,6 % хлора по массе. При реакции **C** с нитратом серебра происходит выпадение двух эквивалентов (2 моля на 1 моль **C**) белого творожистого осадка [16]. Взаимодействие же **A** с водным раствором смеси концентрированного аммиака и хлорида аммония с последующим пропусканием сильного тока воздуха приводит к образованию соединения **D** с менее распространенной степенью окисления **X** [17]. При подкислении раствора соляной кислотой соединение **D** выпадает в осадок в виде красных кристаллов, содержащих 42,5 % хлора по массе.

3. Установите формулы веществ **X**, **A-D**, если известно, что для обеих степеней окисления **X** характерно КЧ 6. Назовите соединения **A-D** по химической номенклатуре. Напишите уравнения реакций [14]-[17]. К какому типу комплексных соединений можно отнести вещество **B**? Поясните по какому «механизму» образованы связи различных групп с катионом металла в веществе **B**?

При создании координационного учения А. Вернер на примере комплексов кобальта, хрома, железа внес пространственные представления в теорию строения комплексных соединений и установил у них наличие геометрической, а, позднее, и оптической изомерии (имеют одинаковый количественный состав, но разную структуру). По мнению А. Вернера, комплексные соединения с КЧ 6 должны иметь октаэдрическое строение (многогранник с восемью гранями и шестью вершинами), а с КЧ 4 – плоско-квадратное.

4. Так, для комплекса дихлородиамминмедь $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ существуют два геометрических изомера: цис- и транс-, причем последний был обнаружен в виде минерала Ammineite в природе. Изобразите пространственное строение этих изомеров.

Известны аналоги комплексов **C-D** состава $\text{XCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ (**E**) и $\text{XCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$ (**F**).

5. Напишите их координационные формулы и назовите их по номенклатуре комплексных соединений. Изобразите пространственное строение изомеров комплексов **E** и **F**, если известно, что для каждого них существует по два пространственных изомера.

Задание 4. «Фотохимия в органике»

Свет представляет собой электромагнитное излучение, несущее энергию, наименьшие части (кванты) которой переносятся *фотонами*. Эта энергия (E , Дж) связана с такой характеристикой излучения, как длина волны (λ , м): $E = \frac{hc}{\lambda}$, где h – постоянная Планка ($6,63 \cdot 10^{-34}$...), c – скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с). Энергия излучения в виде фотонов может поглощаться молекулами вещества в различном виде: вещество может нагреваться, менять цвет, переизлучать фотоны с другой длиной волны и т.д.

1. Определите размерность постоянной Планка h , ответ обоснуйте. Укажите границы волнового диапазона (в нм) видимого света.

Если энергия фотона больше или равна энергии некоторой связи в молекуле, то поглощение такого фотона может привести к разрыву связи и распаду молекулы на составляющие радикалы. Простейшим примером такого распада является облучение простых веществ галогенов, в частности хлора и брома.

2. Рассчитайте максимальные длины волн фотонов, поглощение которых вызывает разрыв связей в молекулах Cl_2 (энергия связи 239 кДж/моль) и Br_2 (энергия связи 190 кДж/моль).

Облучение смеси хлора или брома с алканами светом ртутной лампы приводит к образованию галогенпроизводных. Хлорирование метана CH_4 может приводить к образованию пяти продуктов.

3. Напишите формулы продуктов хлорирования метана, если известно, что два из них при н.у. являются газами, а остальные – жидкостями. Укажите, какие из продуктов являются газообразными и напишите уравнение реакции монохлорирования метана.

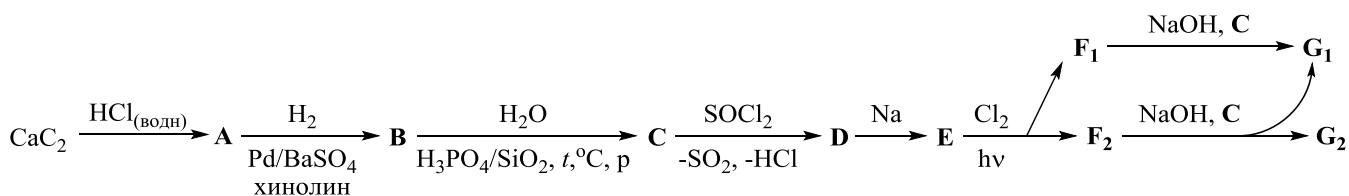
При моногалогенировании алканов сложного строения образуются смеси продуктов; их мольное соотношение задаётся соотношением скоростей r галогенирования по первичным (r_1), вторичным (r_2) и третичным (r_3) положениям. По закону действующих масс, $r_i = k_i \cdot c_{\text{алк}} \cdot N_i$, где k_i – константа скорости галогенирования по i -му положению, $c_{\text{алк}}$ – молярная концентрация алкана, N_i – количество атомов водорода в этом положении. При монохлорировании метилциклопентана на свету образуются органические продукты в мольном соотношении 3 : 15,2 : 15,2 : 5.

4. Изобразите структурные формулы монохлорпроизводных метилциклопентана без учета пространственных изомеров (энантиомеров и диастереомеров). Исходя из мольного соотношения органических продуктов рассчитайте соотношение констант скоростей $k_1 : k_2 : k_3$.

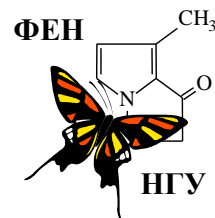
5. В результате монобromирования метилциклопентана также образуется смесь четырёх органических продуктов без учета пространственных изомеров (энантиомеров и диастереомеров). Качественно опишите мольный состав смеси продуктов (расставьте мольные доли продуктов в ряд по убыванию, используйте знаки $>$ и \approx).

6. Возможно ли со значительным выходом провести реакции при облучении между 2-метилбутаном и: а) фтором; б) иодом? Если да, то приведите структурные формулы основных углеродсодержащих продуктов этих реакций.

Одним из методов получения замещённых циклопропанов является облучение ультрафиолетом смеси diazometана CH_2N_2 с алкеном. При облучении происходит распад CH_2N_2 на крайне реакционноспособную частицу **X** и химически инертный газ **Y**. Частица **X** затем присоединяется к алкену по двойной связи с образованием целевого продукта. Из изомерных алкенов **G**₁ и **G**₂ (могут быть получены при выдерживании веществ **F**₁ и **F**₂ в растворе гидроксида натрия в веществе **C**, см. схему ниже) могут быть получены замещённые циклопропаны **H**₁ и **H**₂ соответственно.



7. Напишите формулы частицы **X** и химически инертного газа **Y**. Изобразите структурные формулы веществ **A** – **E**, **F**₁ – **H**₁ и **F**₂ – **H**₂. Среди веществ на схеме выберите те, которые существуют в виде пространственных изомеров. Имейте в виду, что в реакции $\text{F}_2 \rightarrow \text{G}_2$ вещество **G**₁ образуется в качестве побочного продукта.



Грядущий 2024 год является юбилейным для многих изобретений, связанных с индустрией освещения и источников света. Так, около 220 лет назад британский химик Гэмфри Дэви разработал дуговую лампу, 150 лет назад российский электротехник А.Н. Лодыгин получил патент на нитевую лампу, а чуть позднее, 145 лет назад, патент на новую нитевую лампу, которая затем была запущена в массовое производство в США, получил изобретатель и предприниматель Томас Эдисон. Также, 10 лет назад за открытие технологии изготовления дешёвого синего светодиода Нобелевскую премию по физике получили японские физики Исама Акасаки, Хироси Аmano и Сюдзи Накамура. Достижениям в этой индустрии, а также химии процессов и соединений, используемых в современном освещении, посвящается несколько задач I этапа 62-й Всесибирской открытой олимпиады школьников.

Задание 1. «Огни большого города»

В большинстве современных городов уже сложно найти классическую лампу накаливания. С развитием технологий появились различные усовершенствованные виды ламп. 65 лет назад в массовое производство в СССР и США были запущены <...>ные лампы, которые выгодно отличались от ламп накаливания сроком службы, а также имели более сложную конструкцию. Для повышения срока службы в этой модели ламп использовали простые вещества **A** (бурая жидкость при н. у.) и **B** (твёрдое при н.у., возгоняется с образованием фиолетовых паров).



1. Объясните, чем отличается строение классической лампы накаливания от <...>ной лампы. Заполните пропуск в названии лампы, обозначенный <...>, зная, что в названии содержится указание на семейство элементов, которые образуют простые вещества **A** и **B**.

В отличие от классических ламп накаливания, в <...>ной лампе в небольших количествах присутствуют **A** или **B** в виде паров. Порядковый номер элемента, образующего вещество **A**, может быть получен путём перестановки цифр, используемых для записи порядкового номера элемента, образующего вещество **B**. Сумма порядковых номеров упомянутых элементов равна 88. **A** и **B** могут реагировать друг с другом с образованием наилегчайшего из возможных продуктов [реакция 1].

2. Определите элементы, образующие вещества **A** и **B**, приведите формулы этих веществ, ответ подтвердите расчётом. Напишите уравнение реакции [1], укажите степени окисления элементов в продукте этой реакции.

Вещество **A** весьма реакционноспособное; например, оно весьма бурно реагирует с алюминием [2], железом [3], фосфором [4, 5], охотно растворяется как в холодном [6], так и в горячем [7] водном растворе гидроксида калия. Являясь довольно сильным окислителем, **A** способен реагировать с избытком водного раствора аммиака [8] с выделением бесцветного газа, а также взаимодействует с раствором гексагидроксохромата(III) цезия в присутствии гидроксида цезия при нагревании [9].

3. Напишите уравнения реакций [2–9], иллюстрирующих химические свойства **A**.

Хотя впервые вещество **B** было получено кипячением морских водорослей в концентрированной серной кислоте, сейчас его получают иначе. Например, в России основным сырьём для промышленного получения **B** являются буровые воды, образующиеся при промывке нефтяных скважин в ходе бурения. Для получения этого вещества можно использовать несколько способов. Один из них заключается в пропуске небольшого избытка хлора через буровой раствор [10] с протеканием побочной реакции [11] (в её ходе образуется соль с массовой долей кислорода 24,24%).

4. Напишите уравнения реакций [10, 11]. Источником **B** в буровом растворе является бинарная соль **C**, в которой массовая доля тяжёлого элемента равна 84,67%. Напишите формулу **C**, ответ подтвердите расчётом.

5. За 2020 год в России было продано 72 млн <...>ных ламп. Какой объём буровой воды необходимо переработать для получения количества **B**, достаточного для использования в таком количестве <...>ных

ламп? Примите, что концентрация **C** в буровой воде равна $0,25 \text{ мкмоль/л}$, а в одной лампочке содержится 11 мг В .

Добавление небольшого количества **A** (или **B**) в лампу приводит к многократному увеличению срока её службы за счёт т.н. транспортной реакции. Механизм разрушения нити накаливания следующий: нить накаливания, состоящая, к примеру, из вольфрама, при пропускании тока нагревается и светится. Вольфрам, нагретый до высокой температуры в условиях низкого давления, возгоняется с нити, а затем оседает на стенках лампы (что можно наблюдать на примере давно находящихся в эксплуатации классических ламп накаливания). При наличии у стенок лампы паров **A**, нагретых до определенной температуры, вольфрам обратимо реагирует с ними, образуя множество соединений, среди которых можно обнаружить вещество **D** (массовая доля вольфрама $31,51\%$).

6. Дополните приведённые объяснения, показав, какой именно процесс приводит к увеличению срока службы лампы. Определите формулу вещества **D**.

В некоторых современных лампах вместо веществ **A** и **B** применяют сложные соединения. Вместо **A**, в частности, можно использовать трёхэлементные соединения **E** и **F** (массовая доля углерода $12,63$ и $6,90\%$ соответственно). Их можно получить путём взаимодействия метана CH_4 с **A** при облучении ультрафиолетом или нагревании.

7. Одним из источников метана является попутный нефтяной газ, получаемый при добыче нефти; мольное содержание CH_4 в нём равно 64% . Считая, что вещества **E** и **F** образуются в мольном соотношении $1 : 4$, рассчитайте минимальный объём попутного нефтяного газа (при н. у.), достаточного для производства 72 млн <...>ных ламп, содержащих 7 мг атомов элемента, образующего **A**. Считайте, что в лампе используются вещества **E** и **F** в том же соотношении, в котором они получаются.

Задание 2. «Холодный свет газов»

Газоразрядная лампа – осветительный прибор, принцип действия которого основан на свечении ионизированного газа. Фрэнсис Хоксби, член Лондонского королевского общества, продемонстрировал первую газоразрядную лампу ещё в 1705 году, однако первое коммерческое использование лампы такого типа было зарегистрировано почти 200 лет спустя, лишь в 1904 году. Обычно у обывателя газоразрядные лампы ассоциируются с лампами на основе инертных газов: многие из нас сталкивались в жизни с неоновым, а иногда и ксеноновым светом. Цветовая температура газоразрядных ламп обычно варьируется от 2200 до 20000 К и связана с мощностью излучения абсолютно черного тела по закону Стефана-Больцмана: $W = \sigma \cdot T^4$, где σ – постоянная Стефана-Больцмана равная $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

1. Укажите две области применения газоразрядных ламп, связанных с индустрией освещения. Что характеризует цветовая температура? Рассчитайте цветовую температуру солнечного излучения вблизи поверхности Солнца, если его мощность равна $6,3 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$.

Однако не только инертные газы используют для производства газоразрядных ламп. Ниже представлены результаты экспериментов с бесцветными газами **A**, **B**, **C** (простые вещества) и **D**, которые, в частности, используют в упомянутых лампах для создания оттенков свечения тлеющего разряда от светлого до розового.

I: После пропускания разряда через смесь газов **A** и **B** (масса одной молекулы **B** равна $5,32 \cdot 10^{-23} \text{ г}$) [реакция **1**] и последующего охлаждения полученной смеси образуется газообразное вещество **A**₂ бурого цвета [2], молекула которого тяжелее молекулы газа **C** в 23 раза. Смесь газа **A**₂ с газом **B** поглощается водой [3] с образованием раствора азотной кислоты. Довольно концентрированный раствор азотной кислоты можно получить взаимодействием 1200 г бурого газа с избытком газа **B** и 1 л воды.

II: При нагревании с железным катализатором смеси газов **A** и **C** образуется ещё один очень хорошо растворимый в воде газ **A**₃ (массовая доля азота $82,35\%$) [4], при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ можно получить его насыщенный водный раствор с массовой долей **A**₃ $42,8\%$.

2. Учитывая, что единственным продуктом реакции [1] является вещество **A**₁, напишите формулы веществ **A**₁ – **A**₃, **A** – **C** и уравнения реакций [1–4]. Сколько литров газа **A**₃ можно растворить в 1 л воды при н.у.? Рассчитайте массовую долю азотной кислоты в её концентрированном растворе, описанном в условии задачи. Выпадет ли осадок нитрата натрия из этого раствора при его полной нейтрализации твёрдым гидроксидом натрия [5] (напишите уравнение реакции)? Растворимость нитрата натрия в воде равна $91,6 \text{ г/100 г}$ воды.

III: При пропускании газа **D** через раствор гашеной извести происходит выпадение белого осадка вещества **D**₁ [6], который растворяется при дальнейшем пропускании газа **D** [7] с образованием раствора

вещества **D**₂. Если пропустить 1 л газа **D** (н. у.) через избыток раствора гашеной извести, может выпасть до 4,46 г белого осадка вещества **D**₁.

IV: При пропускании газа **D** над раскаленным углем [8] образуется бесцветный ядовитый газ **D**₃, который реагирует с оксидом иода(V), снова давая газ **D** [9] – явным признаком этой реакции является выделение фиолетовых паров. Этот же ядовитый газ можно обнаружить по его реакции с водным раствором хлорида палладия(II) [10]: в результате реакции раствор чернеет вследствие образования взвеси металлического палладия.

3. Напишите формулы веществ **D**, **D**₁ – **D**₃ и уравнения реакций [6–10]. Определите предельную допустимую концентрацию (ПДК, в мг/м³) ядовитого газа в воздухе, если в ходе реакции [10] с 660,5 литрами воздуха с ПДК ядовитого газа образуется 50,0 мг черного осадка.

При нагревании под давлением смеси газов **A**₃ и **D** образуется твердое вещество **D**₄ [11], впервые полученное Фридрихом Вёлером в 1828 году нагреванием цианата аммония (NH₄OCN) – его работа помогла опровергнуть т.н. «теорию витализма», до того господствовавшую в химии. Если проводить реакцию **A**₃ с **D** в присутствии паров воды, то образуется вещество **D**₅, которое можно встретить в разрыхлителях теста [12].

Нагревание смеси газов **C** и **D** с катализатором [13] может приводить к образованию метана (массовая доля углерода 75%). Смесь метана, **A**₃ и **B** при сильном нагревании в присутствии платинового катализатора образует бесцветный крайне ядовитый газ **D**₆ [14].

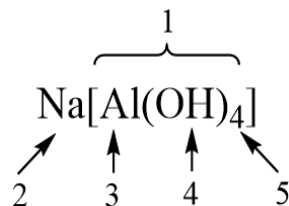
4. Напишите формулы веществ **D**₄ – **D**₆ и уравнения реакций [11–14]. Как Вы думаете, за счёт чего обеспечивается высокая температура при проведении реакции [14], если для этого не требуется подведение тепла извне?

Раньше в газоразрядных лампах было популярно использование паров металлов **E** и **F**. Они способны не только образовывать сплавы, но и реагировать друг с другом с образованием химических соединений, таких как желтые кристаллы **G**, которое образуется при нагревании эквимольных (одинаковых по молям) количеств **E** и **F**, или вещество с металлической проводимостью **H**. При нагревании в атмосфере кислорода эквимольной (одинаковой по молям реагентов) смеси **G** и **H** с четырехкратным количеством едкого натра образуется вещество **I** (содержит только кислород и два металла) и выделяется вода, при этом привес массы в расчете на сухой остаток составляет 3,461%. При горении смеси, как и при горении **E**, наблюдается желтое пламя.

5. Напишите формулы веществ **E** – **I**.

Задание 3. «Химия в квадратных скобках».

В 2023 году исполняется 100 лет со дня присуждения Нобелевской премии по химии А. Вернеру «В знак признания его работ о природе связей атомов в молекулах, которые позволяли по-новому взглянуть на результаты ранее проведенных исследований и открывали новые возможности для научно-исследовательской работы, особенно в области неорганической химии», а также 130 лет со дня опубликования его основополагающего труда «О конституции неорганических соединений», который поистине «дал импульс развитию неорганической химии». В этом труде изложен совершенно новый взгляд на строение химических веществ и представлена координационная теория, объясняющая строение и стереохимию многих комплексных соединений (комплексов). К настоящему моменту комплексные соединения используются в самых различных областях: от сельского хозяйства до медицины и космической отрасли. Среди наиболее распространённых комплексов выделяют аммиачные (лиганд NH₃ во внутренней сфере), гидратные (лиганд H₂O), галогенидные, гидроксокомплексы и другие.



Для получения известной комплексной соли Na[Al(OH)₄] следует провести следующие реакции: к раствору хлорида алюминия добавить гидроксид натрия, что приведет к выпадению студенистого осадка [реакция 1], растворяющегося в избытке щелочи [2]. Если наоборот, к раствору гидроксида натрия прилить немного раствора хлорида алюминия, осадок не выпадет, а раствор останется прозрачным [3]. *Кратко поясните, почему?* Na[Al(OH)₄] может легко взаимодействовать с *избытками* следующих веществ: соляная кислота [4], углекислый газ [5] и хлорид аммония [6] (в двух последних реакциях один из продуктов – студенистый осадок). При попытке же выделить Na[Al(OH)₄] из раствора выпариванием он разлагается, отщепляя воду [7].

В аналитической химии образование окрашенных комплексных солей позволяет обнаруживать ионы металлов в растворе. Одними из наиболее высокочувствительных реакций для обнаружения ионов Fe^{3+} (например, в растворе FeCl_3) являются реакции с роданидом калия (KSCN) [8] или желтой кровяной солью ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) [9] с образованием кроваво-красного окрашивания роданидного комплекса и синего осадка железной соли исходного комплексного аниона, соответственно.

1. Укажите номенклатурное название комплексной соли $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ и названия частей 1-5 из рисунка согласно современной теории строения комплексных соединений. Напишите уравнения описанных реакций [1]-[9].

Образование комплексных соединений может подтолкнуть к взаимодействию мало реакционноспособные вещества, привести к растворению нерастворимых веществ или стабилизировать неустойчивые степени окисления. При этом для катионов с зарядом +1 характерно координационное число (КЧ) 2, двухзарядных – 4, реже 6, трехзарядных, как правило, 6.

2. Напишите уравнения реакций растворения малоактивного металла меди в концентрированной соляной кислоте в присутствии кислорода воздуха с образованием комплекса меди(II) [10], растворения нерастворимого в воде йода в растворе иодида калия с образованием единственного продукта [11], растворения осадка хлорида серебра в водном аммиаке [12] и взаимодействия сульфата марганца(II) с цианидом калия (KCN) и перекисью водорода с образованием цианидного комплекса марганца(III) [13].

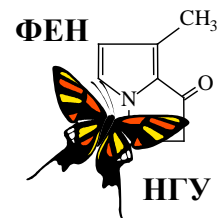
При создании координационного учения А. Вернер на примере комплексов кобальта, хрома, железа внес пространственные представления в теорию строения комплексных соединений и установил у них наличие геометрической, а, позднее, и оптической изомерии (имеют одинаковый количественный состав, но разную структуру). По мнению А. Вернера, комплексные соединения с КЧ 6 должны иметь октаэдрическое строение (многогранник с восемью гранями и шестью вершинами), а с КЧ 4 — плоско-квадратное.

3. Так, для комплекса дихлородиамминмедь $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ существуют два геометрических изомера: цис- (с лат. «на одной стороне») и транс- («напротив»), причем последний был обнаружен в виде минерала Ammineite в природе. Изобразите пространственное строение этих изомеров.

Для получения примечательных представителей комплексных соединений можно использовать следующую схему, выбрав в качестве исходного соединения металл **X**, а точнее его хлорид голубого цвета **A** ($W_X = 45,38\%$). Известно, что в состав ядра атома этого металла входит нечетное число протонов. Вещество **A** во влажном воздухе постепенно меняет цвет на фиолетовый, после чего начинает краснеть, в итоге превращаясь в розовое вещество **B**, содержащее во внутренней сфере молекулы воды ($W_X = 24,8\%$) [14].

Взаимодействие **A** с газообразным аммиаком приводит к светло-красным кристаллам соединения **C** [15], содержащего 30,6 % хлора по массе. При реакции **C** с нитратом серебра происходит выпадение двух эквивалентов (2 моля на 1 моль **C**) белого творожистого осадка [16]. Взаимодействие же **A** с водным раствором смеси концентрированного аммиака и хлорида аммония с последующим пропусканием сильного тока воздуха приводит к образованию соединения **D** с менее распространенной степенью окисления **X** [17]. При подкислении раствора соляной кислотой соединение **D** выпадает в осадок в виде красных кристаллов, содержащих 42,5 % хлора по массе. Отметим, что при реакции **D** с нитратом серебра (также, как и в случае с **C**) происходит выпадение двух эквивалентов (2 моля на 1 моль **D**) белого творожистого осадка [18].

4. Установите формулы веществ **X**, **A-D**, если известно, что для обоих степеней окисления **X** характерно КЧ 6. Назовите соединения **A-D** по химической номенклатуре. Напишите уравнения реакций [14]-[18]. К какому типу комплексных соединений можно отнести вещество **B**? Поясните по какому «механизму» образованы связи различных групп с катионом металла в веществе **B**?



Грядущий 2024 год является юбилейным для многих изобретений, связанных с индустрией освещения и источников света. Так, около 220 лет назад британский химик Гэмфри Дэви разработал дуговую лампу, 150 лет назад российский электротехник А.Н. Лодыгин получил патент на нитевую лампу, а чуть позднее, 145 лет назад, патент на новую нитевую лампу, которая затем была запущена в массовое производство в США, получил изобретатель и предприниматель Томас Эдисон. Также, 10 лет назад за открытие технологии изготовления дешёвого синего светодиода Нобелевскую премию по физике получили японские физики Исама Акасаки, Хироси Аmano и Сюдзи Накамура. Достижениям в этой индустрии, а также химии процессов и соединений, используемых в современном освещении, посвящается несколько задач I этапа 62-й Всесибирской открытой олимпиады школьников.

Задание 1. «Огни большого города»

В большинстве современных городов уже сложно найти классическую лампу накаливания. С развитием технологий появились различные усовершенствованные виды ламп. 65 лет назад в массовое производство в СССР и США были запущены <...>ные лампы, которые выгодно отличались от ламп накаливания сроком службы, а также имели более сложную конструкцию. Для повышения срока службы в этой модели ламп использовали простые вещества **A** (бурая жидкость при н. у.) и **B** (твёрдое при н.у., возгоняется с образованием фиолетовых паров).



1. Объясните, чем отличается строение классической лампы накаливания от <...>ной лампы. Заполните пропуск в названии лампы, обозначенный <...>, зная, что в названии содержится указание на семейство элементов, которые образуют простые вещества **A** и **B**.

В отличие от классических ламп накаливания, в <...>ной лампе в небольших количествах присутствуют **A** или **B** в виде паров. Порядковый номер элемента, образующего вещество **A**, может быть получен путём перестановки цифр, используемых для записи порядкового номера элемента, образующего вещество **B**. Сумма порядковых номеров упомянутых элементов равна 88. **A** и **B** могут реагировать друг с другом с образованием наилегчайшего из возможных продуктов [реакция 1].

2. Определите элементы, образующие вещества **A** и **B**, и приведите формулы этих веществ, ответ подтвердите расчётом. Напишите уравнение реакции [1], укажите степени окисления элементов в продукте этой реакции.

Вещество **A** весьма реакционноспособное; например, оно весьма бурно реагирует с алюминием [2] и железом [3] с образованием солей трёхвалентных металлов, а также с фосфором: с образованием соединений трёх- [4] и пятивалентного фосфора [5]. Любопытные оксиды (образованные трёхатомными молекулами и имеющие одинаковый качественный состав) образуются в реакции **A** с оксидом ртути(II) [6] (образующийся оксид содержит чётное количество электронов в одной молекуле), а также **A** с озоном при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [7] (образующийся оксид содержит нечётное количество электронов в одной молекуле).

3. Напишите уравнения реакций [2–7]. Как называются молекулы (а также другие частицы), содержащие нечётное количество электронов?

Хотя впервые вещество **B** было получено кипячением морских водорослей в концентрированной серной кислоте, сейчас его получают иначе. Например, в России основным сырьём для промышленного получения **B** являются буровые воды, образующиеся при промывке нефтяных скважин в ходе бурения. Для получения этого вещества можно использовать несколько способов. Один из них заключается в пропускании небольшого избытка хлора через буровой раствор [8] с протеканием побочной реакции [9] (в её ходе образуется трёхэлементная натриевая соль с массовой долей хлора 24,24%).

4. Напишите уравнения реакций [8, 9]. Источником **B** в буровом растворе является бинарная соль **C**, в которой массовая доля натрия равна 15,33%. Напишите формулу **C**, ответ подтвердите расчётом.

5. За 2020 год в России было продано 72 млн <...>ных ламп. Какой объём буровой воды необходимо переработать для получения количества **B**, достаточного для использования в таком количестве <...>ных

ламп? Примите, что концентрация **C** в буровой воде равна 0.25 мкмоль/л ($1 \text{ ммоль} = 10^{-3} \text{ моль}$), а в одной лампочке содержится 11 мг В .

Добавление небольшого количества **A** (или **B**) в лампу приводит к многократному увеличению срока её службы за счёт т.н. транспортной реакции. Механизм разрушения нити накаливания следующий: нить накаливания, состоящая, к примеру, из вольфрама, при пропускании тока нагревается и светится. Вольфрам, нагретый до высокой температуры в условиях низкого давления, возгоняется с нити, а затем оседает на стенках лампы (что можно наблюдать на примере давно находящихся в эксплуатации классических ламп накаливания). При наличии у стенок лампы паров **A**, нагретых до определенной температуры, вольфрам обратимо реагирует с ними, образуя множество соединений, среди которых можно обнаружить вещество **D** (массовая доля вольфрама $31,51\%$).

6. Дополните приведённые объяснения, показав, какой именно процесс приводит к увеличению срока службы лампы. Определите формулу вещества **D**.

В некоторых современных лампах вместо веществ **A** и **B** применяют сложные соединения. Вместо **A**, в частности, можно использовать трёхэлементные соединения **E** и **F** (массовая доля углерода $12,63$ и $6,90\%$ соответственно). Их можно получить путём взаимодействия метана CH_4 с **A** при облучении ультрафиолетом или нагревании.

7. Одним из источников метана является попутный нефтяной газ, получаемый при добыче нефти; мольное содержание CH_4 в нём равно 64% . Считая, что вещества **E** и **F** образуются в мольном соотношении $1 : 4$, рассчитайте минимальный объём попутного нефтяного газа (при н. у.), достаточного для производства 72 млн <...>ных ламп, содержащих 7 мг атомов элемента, образующего **A**. Считайте, что в лампе используются вещества **E** и **F** в том же соотношении, в котором они получаются.

Задание 2. «Холодный цвет газов»

Газоразрядная лампа – осветительный прибор, принцип действия которого основан на свечении ионизированного газа. Фрэнсис Хоксби, член Лондонского королевского общества, продемонстрировал первую газоразрядную лампу ещё в 1705 году, однако первое коммерческое использование лампы такого типа было зарегистрировано лишь в 1904 году. Обычно у обывателя газоразрядные лампы ассоциируются с лампами на основе инертных газов: многие сталкивались в жизни с неоновым, а иногда и ксеноновым светом. Цветовая температура газоразрядных ламп обычно варьируется от 2200 до 20000 К и связана с мощностью излучения абсолютно черного тела по закону Стефана-Больцмана: $W = \sigma \cdot T^4$, где σ – постоянная Стефана-Больцмана равная $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

1. Укажите две области применения газоразрядных ламп, связанных с индустрией освещения. Рассчитайте цветовую температуру солнечного излучения вблизи поверхности Солнца, если его мощность равна $6,3 \cdot 10^7 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Однако, конечно, далеко не только инертные газы используют для производства газоразрядных ламп. Ниже представлены результаты экспериментов с бесцветными газами **A**, **B**, **C** (простые вещества) и **D** (бинарное вещество), которые, в частности, используют в упомянутых лампах для создания свечения от светло-голубого до розового оттенков тлеющего разряда.

I: После пропускания разряда через смесь газов **A** и **B** (масса одной молекулы **B** равна $5,32 \cdot 10^{-23} \text{ г}$) [реакция **1**] и последующего охлаждения полученной смеси образуется газообразное вещество **A₂** бурого цвета [2], молекула которого тяжелее молекулы газа **C** в 23 раза. Смесь газа **A₂** с газом **B** поглощается водой [3] с образованием раствора азотной кислоты. Довольно концентрированный раствор азотной кислоты можно получить взаимодействием 1200 г бурого газа с избытком газа **B** и 1 л воды.

II: При нагревании с железным катализатором смеси газов **A** и **C** образуется ещё один очень хорошо растворимый в воде газ **A₃** (массовая доля азота $82,35\%$) [4], при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ можно получить его насыщенный водный раствор с массовой долей **A₃** $42,8\%$.

Схемы реакций [1–4] (не уравнены, «...» обозначает одно неизвестное вещество):



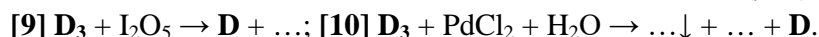
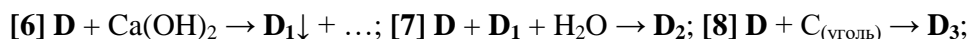
2. Напишите формулы веществ **A₁** – **A₃**, **A** – **C** и уравнения реакций [1–4]. Сколько литров газа **A₃** можно растворить в 1 л воды при н.у.? Рассчитайте массовую долю азотной кислоты в её концентрированном растворе, описанном в условии задачи. Выпадет ли осадок нитрата натрия из этого раствора при его полной нейтрализации твёрдым гидроксидом натрия [5] (напишите уравнение реакции)? Растворимость нитрата натрия в воде равна $91,6 \text{ г}/100 \text{ г}$ воды.

III: При пропускании газа **D** через раствор гашеной извести происходит выпадение белого осадка вещества **D₁** [6], который растворяется при дальнейшем пропускании газа **D** [7] с образованием раствора

кислой соли D_2 . Если пропустить 1 л газа D (н. у.) через избыток раствора гашеной извести, может выпасть до 4,46 г белого осадка вещества D_1 .

IV: При пропускании газа D над раскаленным углем [8] образуется бесцветный ядовитый газ D_3 , который реагирует с оксидом иода(V), снова давая газ D [9] – явным признаком этой реакции является выделение фиолетовых паров. Этот же ядовитый газ можно обнаружить по его реакции с водным раствором хлорида палладия(II) [10]: в результате реакции раствор чернеет вследствие образования взвеси металлического палладия.

Схемы реакций [6–10] (не уравнены, «...» обозначает одно неизвестное вещество):



3. Напишите формулы веществ D , D_1 – D_3 и уравнения реакций [6–10]. Определите предельную допустимую концентрацию (ПДК, в мг/м³) ядовитого газа в воздухе, если в ходе реакции [10] с 660,5 литрами воздуха с ПДК ядовитого газа образуется 50,0 мг черного осадка.

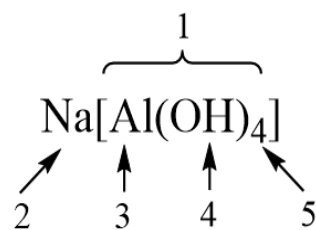
Раньше в газоразрядных лампах было популярно использование паров металлов E и F . Они способны не только образовывать сплавы, но и реагировать друг с другом с образованием химических соединений, таких как желтые кристаллы G , которое образуется при нагревании эквимольных (одинаковых по молям) количеств E и F , или вещество с металлической проводимостью H . При нагревании в атмосфере кислорода эквимольной (одинаковой по молям реагентов) смеси G и H с четырехкратным количеством едкого натра образуется вещество I (имеет в своем составе только кислород и два металла), при этом привес массы составляет 3,461%. При горении смеси, как и при горении E , наблюдается желтое пламя.

Схема реакции с кислородом и едким натром (не уравнена): $G + H + NaOH + O_2 \rightarrow I + H_2O \uparrow$.

4. Напишите формулы веществ E – I .

Задание 3. «Химия в квадратных скобках».

В 2023 году исполняется 100 лет со дня присуждения Нобелевской премии по химии А. Вернеру «В знак признания его работ о природе связей атомов в молекулах, которые позволяли по-новому взглянуть на результаты ранее проведенных исследований и открывали новые возможности для научно-исследовательской работы, особенно в области неорганической химии», а также 130 лет со дня опубликования его основополагающего труда «О конституции неорганических соединений», который поистине «дал импульс развитию неорганической химии». В этом труде изложен совершенно новый взгляд на строение химических веществ и представлена координационная теория, объясняющая строение и стереохимию многих комплексных соединений (комплексов). К настоящему моменту комплексные соединения используются в самых различных областях: от сельского хозяйства до медицины и космической отрасли. Среди наиболее распространённых комплексов выделяют аммиачные (лиганд NH_3 во внутренней сфере), гидратные (лиганд H_2O), галогенидные (лиганд галогенид-ион), гидроксокомплексы и другие.



Для получения известной комплексной соли $Na[Al(OH)_4]$ следует провести следующие реакции: к раствору хлорида алюминия добавить гидроксид натрия, что приведет к выпадению студенистого осадка гидроксида алюминия [реакция 1], растворяющегося в избытке щелочи [2]. Если наоборот, к раствору гидроксида натрия прилить немного раствора хлорида алюминия, осадок не выпадет, а раствор останется прозрачным [3]. *Кратко поясните, почему?* $Na[Al(OH)_4]$ может легко взаимодействовать с *избытками* следующих веществ: соляная кислота [4] (образуются соли металлов и вода), углекислый газ [5] и хлорид аммония [6] (в двух последних реакциях один из продуктов – студенистый осадок гидроксида алюминия). При попытке же выделить $Na[Al(OH)_4]$ из раствора выпариванием он разлагается, отщепляя воду [7].

В аналитической химии образование окрашенных комплексных солей позволяет обнаруживать ионы металлов в растворе. Одними из наиболее высокочувствительных реакций для обнаружения ионов Fe^{3+} (например, в растворе $FeCl_3$) являются реакции с роданидом калия ($KSCN$) [8] или желтой кровяной солью ($K_4[Fe(CN)_6]$) [9] с образованием кроваво-красного окрашивания комплекса $K_3[Fe(SCN)_6]$ и синего осадка соли железа(II) и исходного комплексного аниона, соответственно. Еще один продукт в двух последних реакциях – хлорид калия.

1. Укажите номенклатурное название комплексной соли $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ и названия частей 1-5 из рисунка согласно современной теории строения комплексных соединений. Если Вы не знаете эти названия, сначала дочитайте задачу до конца. Напишите уравнения описанных реакций [1]-[9].

Образование комплексных соединений может подтолкнуть к взаимодействию мало реакционноспособные вещества, привести к растворению нерастворимых веществ или стабилизировать неустойчивые степени окисления. При этом для центральных атомов с зарядом +1 характерно координационное число (КЧ) 2, двухзарядных – 4, реже 6, трехзарядных, как правило, 6. Под КЧ подразумевают количество присоединенных молекул или ионов (т.е. лигандов) к иону металла-комплексобразователя (центральному атому). Галогенид-анионы обладают способностью присоединять молекулу свободного галогена с образованием тригалогенид-анионов.

2. Напишите уравнения реакций растворения малоактивного металла меди в концентрированной соляной кислоте в присутствии кислорода воздуха с образованием хлоридного комплекса меди(II) и воды [10], растворения нерастворимого в воде йода в растворе иодида калия [11], растворения осадка хлорида серебра в водном аммиаке [12] (в двух последних реакциях образуется единственный продукт) и взаимодействия сульфата марганца(II) с цианидом калия (KCN) и перекисью водорода с образованием цианидного комплекса марганца(III), сульфата и гидроксида калия [13].

При создании координационного учения А. Вернер на примере комплексов кобальта, хрома, железа внес пространственные представления в теорию строения комплексных соединений и установил у них наличие геометрической, а, позднее, и оптической изомерии (имеют одинаковый количественный состав, но разную структуру). По мнению А. Вернера, комплексные соединения с КЧ 6 должны иметь октаэдрическое строение (многогранник с восемью гранями и шестью вершинами), а с КЧ 4 — плоско-квадратное.

3. Так, для комплекса дихлородиамминмедь $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ существуют два геометрических изомера: цис- (с лат. «на одной стороне») и транс- («напротив»), причем последний был обнаружен в виде минерала Ammineite в природе. Изобразите пространственное строение этих изомеров.

Для получения примечательных представителей комплексных соединений можно использовать следующую схему, выбрав в качестве исходного соединения металл **X**, а точнее его хлорид голубого цвета **A** ($W_X = 45,38\%$). Известно, что металл **X** получил свое название в честь горного духа кобольда. Вещество **A** во влажном воздухе постепенно меняет цвет на фиолетовый, после чего начинает краснеть, в конечном итоге превращаясь в розовое вещество **B**, содержащее во внутренней сфере молекулы воды ($W_X = 24,8\%$) [14].

Взаимодействие **A** с газообразным аммиаком приводит только к одному продукту – светло-красным кристаллам соединения **C** [15], содержащего 30,6 % хлора по массе. При реакции **C** с нитратом серебра происходит выпадение двух эквивалентов (2 моля на 1 моль **C**) белого творожистого осадка хлорида серебра [16]. Взаимодействие же **A** с водным раствором смеси концентрированного аммиака и хлорида аммония с последующим пропусканием сильного тока воздуха (или кислорода) приводит к образованию воды и соединения **D** с пятью молекулами аммиака во внутренней сфере и с менее распространенной степенью окисления **X** (+3) [17]. Соединение **D** выпадает в осадок в виде красных кристаллов, содержащих 42,5 % хлора по массе. Отметим, что при реакции **D** с нитратом серебра (также, как и в случае с **C**) происходит выпадение двух эквивалентов (2 моля на 1 моль **D**) белого творожистого осадка [18].

4. Установите формулы веществ **X**, **A-D**, если известно, что для обеих степеней окисления **X** характерно КЧ 6. Назовите соединения **A-D** по химической номенклатуре. Напишите уравнения реакций [14]-[18]. К какому типу комплексных соединений можно отнести вещество **B**? Поясните по какому «механизму» образованы связи различных групп с катионом металла в веществе **B**?