

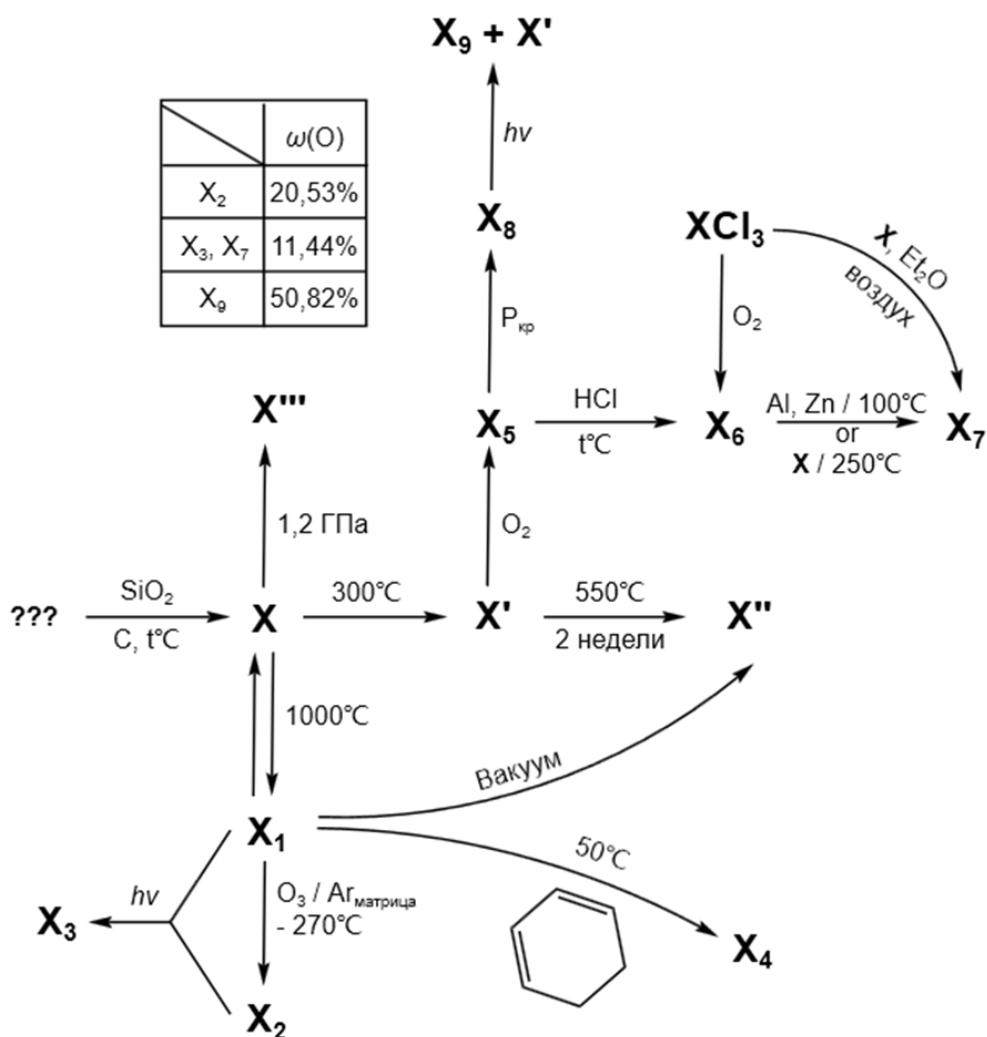
Задача 1. Элемент утренней звезды

Этимология названия элемента X с древнегреческим названием планеты Венеры. Из-за яркости Солнца Венера видна только на заре и закате, при этом древние греки считали это появлением разных планет – утренней и вечерней звезд. Также и элемент X , образующий множество аллотропных модификаций.

X – наиболее химически активный аллотроп данного элемента, ввиду чего даже какое-то время применялся в качестве химического оружия. При умеренном нагревании X в инертной атмосфере образуется менее опасный X' , наиболее распространенный в лабораторной практике в качестве реактива. Наименее активная же модификация – X'' , открытая лишь в 1914 году, структура которой схожа с графитом и графеном. Аллотроп X'' в англоязычных источниках известен как «фиолетовый X ». Основным способом получения аллотропа X в промышленности является спекание кальциевого минерала с коксом и кремнезёмом. X при экстремально высоких температурах превращается в чрезвычайно активное вещество X_1 . Данная молекула привлекла новый всплеск академического интереса в 2006 году, когда был открыт способ эффективно связывать ее с помощью циклогексадиена. При нормальных условиях при охлаждении X_1 образуется X , однако в вакууме формируется X'' .

Молекула X_3 была синтезирована относительно недавно фотохимической реакцией между X_1 и X_2 – продуктом окисления X_1 озоном в аргоновой матрице при криогенной температуре.

Схема перечисленных и других превращений и данные о содержании кислорода по массе в некоторых оксидах приведены ниже:

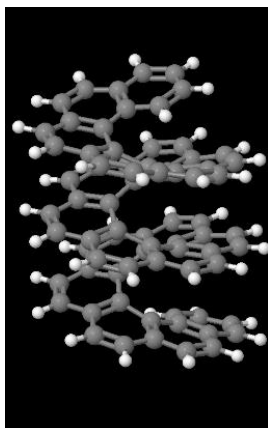


1. Установите формулы соединений X , X' , X'' , X''' , ???, X_1 - X_9 .
2. Напишите тривиальные названия всех аллотропных модификаций, упомянутых в задаче. Для X , X''' , X_7 и X_3 приведите структурные формулы (Для X''' – фрагмент структуры).
3. Какого цвета X''' ?
4. В честь кого названа реакция образования X_4 ?
5. Один из рассмотренных оксидов X , в отличие от других оксидов X , являющихся очень гигроскопичными, может существовать в водном растворе практически неограниченно долго. Какой?

Задача 2. Гелицены

В химии все возможно.

Ш.А. Вюрц



Октадекагелицен

Гелицены – класс веществ с удивительной спиралевидной геометрией (*англ. Helix* – спираль). Впервые представитель этого класса соединений был описан более 100 лет назад немецким химиком Я. Мейзенгеймером, однако они до сих пор привлекают внимание органиков. Несмотря на то, что в их структуре отсутствует асимметрический атом углерода, они существуют в виде двух энантиомеров и обладают оптической активностью. Благодаря этому они используются в асимметрическом синтезе, для создания хиральных биосенсоров и молекулярных моторов, в качестве жидких кристаллов и оптоэлектронных материалов.

В этой задаче речь пойдет о веществах **А** – одном из низших производных гелиценов. Интересно, что у него есть таутомер **Б**, однако равновесие между **А** и **Б** практически никогда не устанавливается. Принудительное же превращение **Б** в **А** возможно лишь специальными приёмами в очень жёстких условиях (обработка трифторуксусной кислотой и/или длительная выдержка при 200°C). Соединение **А** проявляет типичные свойства дикетона, при этом альфа-галогенирование (1 экв) принципиально позволяет получить лишь один структурный изомер, в то время как **Б** проявляет типичные свойства полифенолов.

Ниже приведена схема синтеза **А** и **И** – еще одного производного гелиценов – из бензола и родственного ему по свойствам углеводорода **Ж**, плотность паров которого по водороду составляет 64. Примечательно, что при окислении **А**, **Б** и **Ж** кислородом на ванадиевом катализаторе образуется одинаковый гетероциклический продукт **Е**. **Г** также является гетероциклом.

Задача 3. Радиоуглеродное датирование в МФТИ



Археологические раскопки на территории кремля древнего Ярославля

Специалисты Лаборатории исторической генетики, радиоуглеродного анализа и прикладной физики МФТИ разработали инновационную методику для анализа древней ДНК. Созданная уникальная система стерильных боксов используется для выделения ДНК из человеческих останков и первой стадии пробоподготовки, на которой необходимо максимально снизить вероятность контаминации (загрязнения образцов чужеродной ДНК). Ученые используют методы палеогенетики, антропологии, радиоуглеродного анализа для изучения останков древнего человека, определяя его возраст, пол, внешность, заболевания и годы жизни. В результате чего историки и археологи получают более полную картину процессов формирования народов нашей страны, возникновения и развития древних городов.

Углерод, являясь одним из ключевых элементов в составе живых организмов, содержится в атмосфере Земли в виде стабильных изотопов ^{12}C (98,89 %) и ^{13}C (1,11 %), а также радиоактивного изотопа ^{14}C , который присутствует в крайне малых количествах (10^{-10} %). Углерод-14 постоянно образуется в верхних слоях атмосферы при столкновении нейтронов, возникающих под действием космических лучей, с ядрами азота (*реакция 1*). Так как атмосфера перемешивается, её состав примерно однороден. Живые организмы поддерживают обмен с атмосферой, поэтому содержание изотопов углерода в них постоянно и соответствует таковому для атмосферы. Однако после гибели обмен прекращается, а радиоактивный изотоп претерпевает β -распад (*реакция 2*). Измеряя соотношение C^{14} к стабильным изотопам до гибели и в наши дни, можно установить возраст объекта, основываясь на периоде полураспада ^{14}C ($T_{1/2}(^{14}\text{C}) = 5730$ лет).

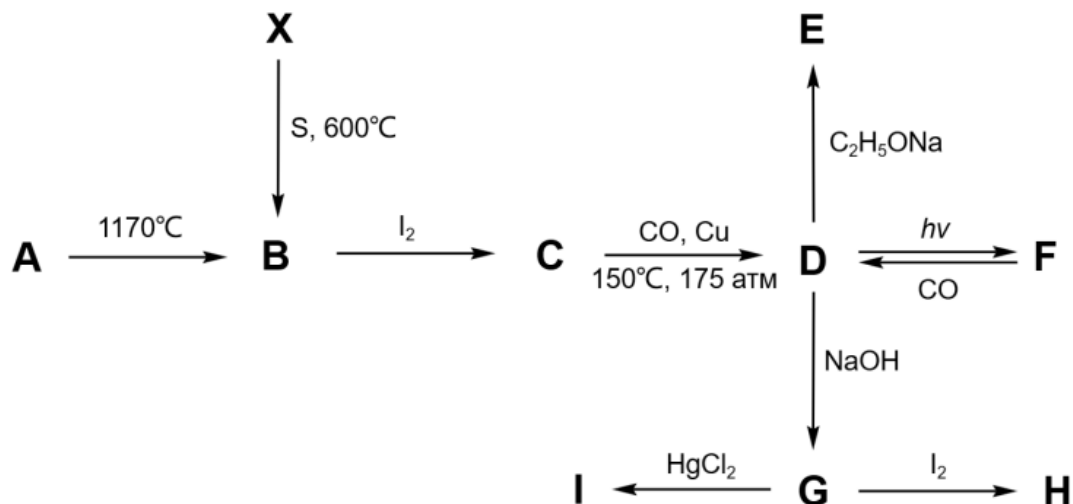
Любая реакция радиоактивного распада является реакцией первого порядка: чем больше количество вещества в образце, тем быстрее он распадается. При этом скорость распада $r = -(\Delta N / \Delta t) = kt$, где k – константа радиоактивного распада, N – число атомов вещества, t – время. Из этого выражения зависимость числа атомов вещества от времени такова: $N = N_0 \cdot e^{-kt}$, где N_0 – начальное количество атомов вещества.

1. Выведите формулу, позволяющую определить константу распада, если известен период полураспада. Рассчитайте константу распада для ^{14}C , лет $^{-1}$.
2. Определите возраст образца костных останков человека из массового захоронения с территории детинца г. Ярославль, если доля

радиоактивного изотопа в углероде, измеренная методом масс-спектрометрии, составила $9,08 \cdot 10^{-11} \%$.

3. Рассчитайте радиоактивность естественного углерода в живых организмах на килограмм углерода. *Ответ укажите в беккерелях, 1 Бк соответствует 1 распаду в секунду.*
4. Ускорительная масс-спектрометрия позволяет определять соотношение ^{14}C к стабильным изотопам углерода с пределом обнаружения до $10^{-13} \%$. Каков максимальный возраст образца, который можно определить с помощью радиоуглеродного анализа в этом случае?
5. Приведите уравнения ядерных *реакций 1 и 2.*

Задача 4. Об одном известном металле



Металл **X** серебристо-белого цвета – довольно распространенный элемент в земной коре. В данной задачке вам предлагается установить данный элемент и его соединения **A-H**.

Один из способов получения этого элемента – выделение из бинарного вещества **A**, минерал которого известен под названием «львиное золото» или «золото дураков». При нагревании до высокой температуры данное вещество разлагается, причем потеря массы составляет 26,67 %. Полученный продукт можно подвергнуть иодированию, получив соединение **C**, содержащее 18,06 % **X**. Вещество **C** является стартовым реагентом для получения различных комплексных соединений. При его реакции с угарным газом в присутствии меди образуется светло-оранжевая жидкость с резким запахом **D**. Соединение **D** в промышленности используется для получения сверхчистого **X**, ранее использовалось в качестве антидетонационной присадки к топливу. В настоящий момент данное вещество практически не используется из-за высокой токсичности и опасности для окружающей среды. При добавлении органических оснований к **D** раствор приобретает зеленоватый окрас, а при облучении ультрафиолетом твердеет, образуя кристаллы золотистого-желтого цвета. Если же к **D** прилить раствор щелочи в метаноле, образуется жидкий светло-желтый гидрид **G**, который может вступать в реакцию с иодом, проявляя восстановительные свойства. Кроме того, **G** способен образовывать соли, например в реакции с сурьмой образуется соединение **I**.

1. Определите формулы всех неизвестных веществ.
2. Запишите все уравнения проходящих реакций.