

**Задание 1.** «Затаившийся, инертный и чужой, но лучистый, солнечный и новый».

О том, что воздух представляет собой смесь газов, ученые стали догадываться во второй половине XVIII века. В 1754 году шотландский ученый Джозеф Блэк экспериментально доказал, что воздух представляет собой смесь газов, а не однородную субстанцию. Вот как описал его эксперименты другой шотландский химик нобелевский лауреат Уильям Рамзай в своей статье «История химии», (1920 г). «В старые годы казалось каким-то чудом, что воздух может быть в большом количестве выделен из камня. Только с открытием Блэка «фиксируемого» воздуха было обращено внимание на то, что газ может быть получен из твердого тела... Получив мягкую магнезию осаждением из горькой соли с поташом [реакция 1], Блэк нашел, что она «быстро растворяется с бурным выделением воздуха кислотами купороса, селитры или обыкновенной соли». Если сильно нагреть мягкую магнезию [2], то она превращается в белый порошок, растворяющийся в кислотах без выделения пузырьков. Кроме того, она при накаливании теряет около 25/48 своего веса. ... часть ее веса, без сомнения, должна быть приписана «фиксируемому» воздуху». Блэк сделал здесь огромный шаг вперед: он взвесил газ в связанном состоянии...».

В 1772 г. британский химик и физик Генри Кавендиш многократно пропустил воздух над раскаленным углем, а полученную газовую смесь пропустил через раствор калиевой щелочи, получив остаток, который он назвал «удушливым» или «испорченным» воздухом. Французский ученый Антуан Лоран Лавуазье, которого не без оснований считают основателем современной химии, в 1772-75 годах произвел анализ и синтез воздуха, также сделав вывод о том, что весь воздух в основном состоит из «огненного», и «безжизненного» (по Кавендишу «испорченного»), в пропорциях 1/5 и 4/5 объема соответственно. Он показал, что вес металлов при их нагревании в закрытых сосудах увеличивается за счет присоединения части воздуха.

1. Напишите современные названия «фиксируемого», «безжизненного» и «огненного» воздуха, приведите их содержание в атмосферном воздухе в объемных процентах.

2. Приведите современные названия мягкой магнезии, горькой соли, поташа, кислот купороса, селитры и обыкновенной соли. Напишите уравнения реакций [1] – [2].

В работе 1785 г. Кавендиш описал эксперименты, в которых ему удалось установить, что около 1 % атмосферного воздуха составляют другие газы. Он зафиксировал «безжизненный» воздух, пропуская через его смесь с «огненным» воздухом электрические разряды. Образующийся в результате реакций бурый газ был удален с использованием раствора гидроксида калия [3]. Газовый остаток после этих экспериментов обладал необыкновенной химической стойкостью.

3. Напишите уравнение реакции [3]. Как в настоящее время в промышленности получают «безжизненный» и «огненный» воздух?

Спустя приблизительно сто лет британский ученый лорд Рэлей обнаружил, что «безжизненный» воздух, получаемый из воздуха, имеет несколько большую плотность, чем простое вещество, получаемое химическим путем, о чем он сообщил в журнале «Nature» в 1892 г. Откликнувшись на эту публикацию, Уильям Рамзай предположил, что «безжизненный» воздух содержит примесь более тяжелого газа и провел новые эксперименты. Полученный из 10 л атмосферного воздуха «безжизненный» воздух, он многократно пропустил над раскаленным магнием, получив в остатке немногим менее 100 мл нового газа. Оказалось, что этот газ тяжелее чистого «безжизненного» воздуха почти в полтора раза, а его молекула состоит из одного атома. Много времени затратили Рамзай и Рэлей на изучение его реакционной способности, но в итоге пришли к выводу, что их газ совершенно недейтелен. В то время не было известно ни одного настолько неактивного вещества. 7 августа 1894 г на собрании Британской ассоциации физиков, химиков и естествоиспытателей было сделано сообщение об открытии нового элемента. В своем докладе Рэлей утверждал, что в 1 м<sup>3</sup> воздуха присутствует около 15,28 г открытого газа (1,288 % по массе). Позднее выяснилось, что Рамзай и Рэлей держали в своих руках не одного незнакомца, а нескольких – целое новое семейство элементов. Собственно, Рамзай и предсказал их существование. Опыты с урановым минералом клевеитом в 1895 г. привели его к обнаружению на Земле элемента, который к тому времени был обнаружен только на Солнце. А уже через три года, в 1898 г Рамзай объявил об открытии еще трех новых элементов.

В 1904 г. Рэлей за исследования плотностей наиболее распространенных газов и открытие нового элемента получил Нобелевскую премию по физике, а Рамзай за открытие в атмосфере нескольких новых газов и

определения их места в Периодической системе (ПС) – Нобелевскую премию по химии.

4. Об открытии какого элемента Рамзай и Рэлей сообщили в 1894 г.? Исходя из данных Рэля, вычислите: а) объемную долю этого газа в составе воздуха; б) температуру, при которой Рэлей измерял объем воздуха.

5. Какой элемент Рамзай обнаружил на Земле в 1895 г., а какие – в 1898 г.? Соотнесите русские названия каждого из элементов этой группы ПС с эпитетами, приведенными в названии этой задачи.

Наиболее реакционно-способным из газов этого семейства является простое вещество, образованное элементом X, природным источником которого служит ядерный распад  $^{238}\text{U}$ . Его наиболее устойчивый изотоп имеет период полураспада 3,8 суток и образуется после следующих превращений ядра урана: один альфа-распад, два бета-распада, три альфа-распада [4 - суммарное уравнение 6-ти ядерных реакций].

6. Укажите название элемента X и состав ядра его наиболее устойчивого изотопа. Напишите суммарное уравнение ядерного распада  $^{238}\text{U}$ , приводящего к образованию X [4].

7. Вычислите время, за которое от образца простого вещества X массой 12,0 г останется 0,375 г этого вещества.

Помимо всех упомянутых в задаче газов при анализе обычного воздуха можно обнаружить заметное количество еще одного компонента, содержание которого очень сильно зависит от погоды, температуры и географического положения местности, в которой был взят образец этого воздуха. В частности, при 25 °C его объемная доля в составе воздуха может достигать 3,1 %.

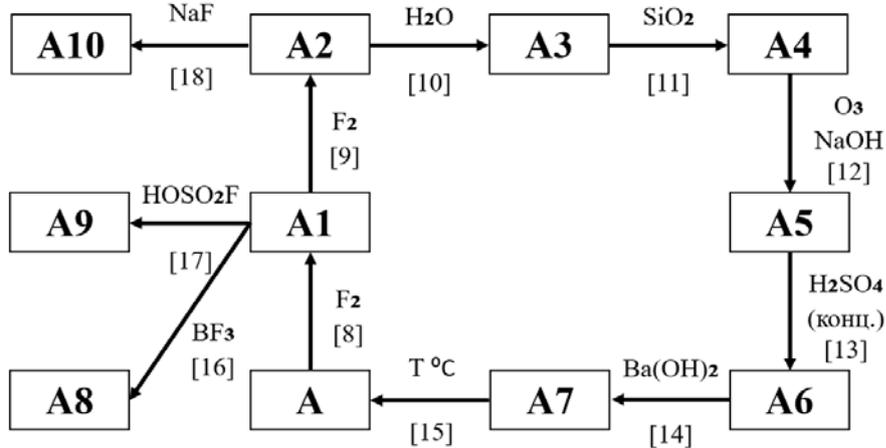
8. Укажите название этого вещества. Какой воздух будет тяжелее (иметь более высокую плотность), тот, в котором много этого вещества, или тот, в котором этого вещества мало? Обоснуйте свой ответ.

Поскольку исследование химических свойств газа X затруднено из-за его высокой радиоактивности, первым перевести в химически связанное состояние удалось элемент A. В 1962 г. канадский химик Нил Бартлетт обратил внимание на то, что потенциалы ионизации молекулярного кислорода и A практически не отличаются (1165 кДж/моль и 1170 кДж/моль соответственно). Предыдущие работы Бартлетта показали, что молекулярный кислород соединяется с гексафторидом платины в соотношении 1:1 с образованием красно-оранжевой соли катион-радикала  $\text{O}_2^+$  [5]. Бартлетт провел аналогичную реакцию гексафторида платины с газом A [6], которая по всем параметрам оказалась очень похожей на предыдущую. Однако исследование строения образовавшегося ионного соединения A0 горчишно-жёлтого цвета показало, что двухэлементным в этой соли является не только катион, но и анион, а платина понижает свою степень окисления сразу на две единицы. Полученные кристаллы разлагались под действием воды с образованием четырех продуктов [7], два из которых выделялись в газовую фазу.

9. Напишите уравнения реакций [5] – [7], а также названия солей, полученных Бартлеттом.

Вскоре после сообщения о синтезе первого соединения элемента A было получено множество других его соединений, зашифрованных на схеме символами A1-A10.

Известно, что в реакциях 10, 11, 13, 14, 16, 17 и 18 степени окисления элементов не изменяются. В реакцию 9 вещества вступают в соотношении 1:2, а в реакцию 16 – 1:1. Молекула вещества A3 и анион соединения A8 имеют тетраэдрическое строение. Соединение A5 не содержит атомов водорода, а его анион имеет форму октаэдра. Вещества A4 и A6 двухэлементные. Соединение A10 содержит 14% натрия по массе. В реакции 17 один из продуктов – фтороводород, второй – молекулярное соединение.



10. Напишите уравнения реакций [8] – [18], а также названия соединений A3, A5, A8, A10.

Одним из наиболее впечатляющих достижений в химии A стало получение соединения A11, содержащего связь A-A (самую длинную химическую связь, известную на сегодня, 0,3087 нм). Взаимодействие соединения  $[\text{AF}][\text{Sb}_2\text{F}_{11}]$  с A в смеси  $\text{SbF}_5$  и HF [19] привело к образованию тёмно-зелёных кристаллов A11 ( $\omega(\text{A}) = 22,86$ ,  $\omega(\text{Sb}) = 42,40$ ,  $\omega(\text{F}) = 34,74$  %). Дополнительно известно, что в соединении имеются мостиковые атомы фтора, а атомы A связаны только друг с другом. Вещество дает сигнал в спектре ЭПР, что свидетельствует о наличии в его составе парамагнитных частиц (частиц, содержащих неспаренные электроны).

11. Установите состав и изобразите структурную формулу соединения A11, напишите уравнение реакции [19].

## Задание 2. «Химия и цивилизация»

*«Страна, опередившая мир в развитии химии, также будет на первом месте в богатстве и в общем процветании».*

Уильям Рамзай, лауреат Нобелевской премии по химии 1904 г.

Химия сопровождает человечество в течение всего его развития. В процессе приготовления еды древние люди, сами того не зная, задействовали множество химических реакций. Даже для того, чтобы сварить обычную похлёбку, приходилось иметь дело с реакцией горения для разведения костра, не говоря о десятках сложных процессов, которые протекают при термической обработке овощей и мяса. На этом этапе исторического развития человек освоил некоторые нужные ему закономерности, не вникая в суть происходящих процессов. Однако с объединением общин в деревни, деревень – в протогорода и их дальнейшей эволюцией в города, положившие основу первым цивилизациям, человечество начало искать возможность добывать ресурсы. В тех местах, где была медь, люди использовали бронзу; древние средиземноморские цивилизации стали повсеместно использовать бронзовые изделия, что дало название длительной исторической эпохе – Бронзовому веку.

Считается, что Бронзовому веку средиземноморских народов положил конец т. н. «бронзовый коллапс» – извержение вулкана Санторин в Эгейском море, что прервало торговое сообщение с народами, продававшими один из основных компонентов бронзы средиземноморским народам.

1. Какой металл, необходимый для производства бронзы, оказался в дефиците?

На смену бронзе искали новые сплавы, и постепенно для металлических изделий начали применять металл **X** и его сплавы. И поныне **X** используется в виде сплавов для изготовления металлоконструкций и разнообразных предметов. В природе **X** встречается не в чистом виде, а в составе различных минералов, например гематита и магнетита (содержат в своём составе оксиды **A** и **B** соответственно; массовые доли **X** в них составляют 70,00% и 72,41%).

Древние люди восстанавливали металл **X** из руд в сыродутной печи; суть процесса заключалась в смешивании руды с древесным углём, последующем поджигании смеси и продувании влажным воздухом. В результате получали сплавы **X** с большим содержанием углерода и содержащие большое количество примесей. Со временем люди научились избавляться от примесей и регулировать содержание углерода в сплаве. Например, для избавления от кварца, который содержится практически во всех рудах, в реакционную смесь добавляли флюс в виде известняка [реакция 1].

2. Определите металл **X**, напишите формулы оксидов **A** и **B** и уравнение реакции [1]. Примите, что в руде содержится 64,08 масс. % **X**, а единственной примесью является кварц (содержание 9,00 масс. %). На основании этого найдите массовые доли **A** и **B** в составе данной руды.

3. Какие названия носят сплавы **X** с низким и высоким содержанием углерода? Предположите, где может находиться ближайший от Вас природный источник металла **X** в виде простого вещества.

Итак, человечество получило в своё распоряжение ценный металл **X**. Но на одном металле долго не проживешь: **X**’ом печку не растопишь и каши на нём не сварить. Важным фактором для развития народов является эффективное топливо. Долгое время в качестве топлива человек использовал древесину. С началом Промышленной революции в XVIII веке начала бурно развиваться и металлургия. Требуемые количества топлива не могла покрыть одна лишь древесина – люди начали активно использовать каменный уголь.

Наиболее высоко ценным сортом каменного угля является антрацит (в его состав входит в основном 4 элемента). С образцом антрацита массой 15,00 г провели следующий эксперимент. Сначала его измельчили и поместили в трубку, нагрели до 110 °С и продували током азота. После этого полученный порошок остудили, достали из трубки и взвесили; его масса составила 14,46 г. Затем его положили в камеру и сожгли в избытке кислорода. В результате сгорания образовалась газовая смесь, а также негорючая зола (силикаты и оксиды) массой 0,9601 г. Газовую смесь последовательно пропустили через башню с активной медью при нагревании, трубку с оксидом фосфора(V) (масса увеличилась на 2,954 г, [2]) и известковую воду (выпало 106,3 г осадка, [3]). После проделанных процедур осталось 57,84 мл азота (н. у.).

4. Назовите 4 основных элемента, входящих в состав антрацита. В каких формах эти элементы содержатся в антраците? Напишите уравнения реакций [2, 3]. Для чего смесь вводят в реакции с активной медью?

5. Найдите влажность исходного антрацита (в масс. %). Рассчитайте элементный состав сухого антрацита (в масс. %). Рассчитайте удельную теплоту сгорания исходного антрацита (в МДж/кг). Вам потребуются теплоты образования  $Q_f(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 393,5$  кДж/моль,  $Q_f(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = 285,8$  кДж/моль и теплота испарения воды 44,00 кДж/моль; для оценки примите  $Q_f(\text{антрацита}_{(\text{тв})}) = 0$  кДж/моль, для расчетов примите, что в результате сгорания образуются только два сложных вещества.

С развитием машиностроения возникла потребность в новых, более удобных видах топлива. В этом качестве начали применять продукты фракционной перегонки нефти. Нефть представляет собой смесь различных веществ, в первую очередь, различных углеводородов. Также в составе нефти всегда содержится

некоторое количество серосодержащих соединений. После перегонки из нефтепродуктов удаляют серосодержащие соединения (проводят т.н. *обессеривание*).

Рассмотрим в общих чертах процесс переработки нефти. Сначала нефть подвергают перегонке без доступа воздуха, в результате чего её разделяют на условные бензиновую ( $T_{\text{кип}} < 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), лигроиновую ( $140\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{кип}} < 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), керосиновую ( $180\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{кип}} < 220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), дизельную фракции ( $220\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{кип}} < 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); после отгонки этих фракций остаётся мазут.

6. Объясните, по какой причине мазут не подвергают дальнейшей перегонке при атмосферном давлении.

7. В нефти содержится большое количество соединений, некоторые из них приведены в таблице.

Вещества	бензол	бензпирен	<i>n</i> -гексан	додекан	<i>n</i> -пентан	цетан	циклопентан
$T_{\text{кип}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	–	69	216	–	–	–

Определите, в каких фракциях будут отгоняться из нефти перечисленные выше соединения. Приведите структурные формулы бензпирена и цетана.

8. В виде каких соединений сера содержится в нефти (приведите 2 примера)? Приведите причины, из-за которых требуется проводить обессеривание нефти и продуктов её перегонки.

Хотя нефть и нефтепродукты до сих пор играют очень важную роль в функционировании цивилизации, с середины XX века начало набирать обороты использование нового вида топлива на основе элемента **Y**. С тех пор его продолжают широко применять по всему миру, несмотря на некоторые риски при его использовании.

Процесс извлечения **Y** из руд весьма трудоёмок, поскольку при переводе его в раствор в него также попадают элементы, которые соосаждаются и соэкстрагируются вместе с **Y**. Однако в конечном итоге после отделения удаётся получить технически чистый **C** (оксид **Y**), который, однако, всё ещё содержит некоторые критические для его использования примеси (в т.ч. бор, кадмий и гафний). Для их отделения полученный **C** растворяют в азотной кислоте [4], после чего полученную соль **D** (массовая доля азота 7,11%) дополнительно очищают методом экстракции. Затем к подкисленному раствору очищенного **D** добавляют пергидроль, в результате чего в осадок выпадает светло-жёлтое вещество **E** [5]. После фильтрации **E** прокаливают, в результате чего образуется бинарное вещество **F** (потеря массы 15,38%, [6]), которое затем в токе водорода восстанавливают до **C** (потеря массы 5,59%, [7]). Очищенный **C** при нагревании обрабатывают газообразным фтороводородом с целью получения **G** (*реакция* [8]), который прокаливают с магнием, в результате чего получают желаемое простое вещество [9].

9. Напишите символ элемента **Y** и формулы веществ **C–G**. Напишите уравнения реакций [4] - [9].

10. Объясните, чем были бы вредны упомянутые примеси для использования топлива на основе **Y**.

Несмотря на все приложенные усилия, полученное простое вещество не годится в качестве топлива. В основном **Y** представлен на Земле двумя радиоактивными изотопами (массовое число у основного изотопа **Y**<sub>1</sub> больше на 3 единицы, чем у побочного изотопа **Y**<sub>2</sub>), естественное мольное содержание **Y**<sub>2</sub> равно 0,720%. Чтобы извлекать энергию из **Y**, необходимо повысить это содержание хотя бы до 3,6%. Для этого вместо реакции с магнием **G** окисляют фтором с целью получения летучего **H** [10]. Полученный **H** затем подвергают газовому центрифугированию: газообразный **H** помещают в центрифугу и раскручивают. Полученный изотопно обогащённый **H** затем химически превращают в удобное для использования топливо.

11. Кратко опишите принцип, на котором основано разделение изотопов методом газового центрифугирования. Напишите формулу вещества **H** и напишите уравнение реакции [10]. Рассчитайте массу обогащённого до 3,6% **C**, который можно получить из 1 т **H** с естественным содержанием изотопов; наряду с обогащенной фракцией при центрифугировании образуется отвал, в котором содержание **Y**<sub>2</sub> составляет 0,2%.

В 1956 году в местечке Окло (Габон) были обнаружены уникальные жилы **Y**. Они интересны тем, что мольное содержание изотопа **Y**<sub>2</sub> в них составляет лишь 0,717%. После изучения образцов в 1970-х годах было точно установлено, что эти жилы имеют естественное происхождение – низкое содержание **Y**<sub>2</sub> же объяснили тем, что 2 млрд лет назад в этом месте начал действовать естественный реактор, подобный тем, которые сейчас целенаправленно создаёт человек. Учёные посчитали, что этот реактор проработал 600 тыс. лет.

12. Содержание изотопов **Y**<sub>1</sub> и **Y**<sub>2</sub> зависит от времени; так, раньше доля **Y**<sub>2</sub> была выше, чем в настоящее время. Рассчитайте естественное содержание **Y**<sub>2</sub> в природе 2 млрд лет назад и в жиле из Окло сразу после прекращения работы реактора. Количество радиоактивных частиц *N* зависит от времени *t* по формуле:  $N(t) = N_0 \cdot 2^{-t/\tau_{1/2}}$ , где  $N_0$  – начальное количество радиоактивных частиц,  $\tau_{1/2}$  – период полураспада. Период полураспада для изотопа **Y**<sub>1</sub>  $\tau_{1/2}^{Y_1} = 4,468$  млрд лет, для изотопа **Y**<sub>2</sub>  $\tau_{1/2}^{Y_2} = 0,704$  млрд лет. Все расчеты ведите с точностью до третьего знака после запятой.

13. Рассчитайте мощность (в кДж/с), которую выделяла одна жила в Окло за время действия реактора. Примите, что жила является цилиндром диаметром 10 м и толщиной 50 см, плотностью 7100 кг/м<sup>3</sup>, массовое содержание **Y** в ней было равно 30%. При делении одного ядра **Y**<sub>2</sub> выделяется  $3,244 \cdot 10^{-11}$  Дж.

### Задание 3. «Лактоза».

Первым продуктом питания в жизни ребенка является молоко. В молоке содержатся белки, жиры и углеводы, которые позволяют организму человека полноценно развиваться без существенной нагрузки на пищеварительную систему. Одним из ключевых питательных веществ в молоке является углевод лактоза, содержание которого в молоке млекопитающих может достигать до 8 масс. %.

1. Установите брутто-формулу лактозы, если известно, что теплота сгорания 1 моля лактозы составляет 1345 ккал, а  $1 \text{ г} = 16,5 \text{ кДж}$ . Дополнительно известно, что суммарное количество атомов в 1 моле лактозы составляет  $2,71 \cdot 10^{25}$ . Ответ подтвердите расчетом.

*Справочная информация:* для нагрева 1 грамма воды на 1 градус Цельсия требуется 4,2 Джоуля.

2. Объясните происхождение названия «лактоза».

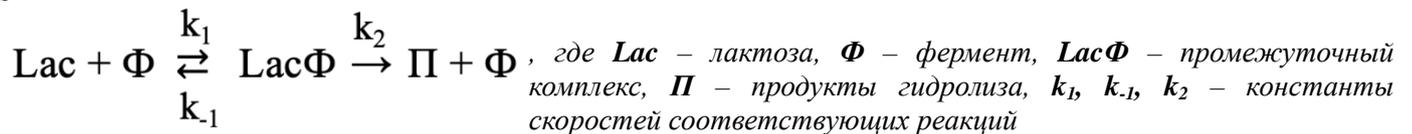
Несмотря на важную функцию, осуществляемую молоком в первые месяцы жизни человека, в последующем у многих людей могут возникать проблемы пищеварительного тракта, ассоциированные с непереносимостью лактозы. Непереносимость лактозы связана с недостаточной выработкой в организме фермента лактазы, который принимает участие в гидролизе гликозидных связей.

3. Напишите определение ферментативного катализа. К какому классу ферментов относится лактаза?

Непосредственно сама лактоза не способна всасываться в кровь ввиду непроницаемости кишечной стенки для такого типа молекул. В результате гидролиза с участием лактазы, лактоза расщепляется на две молекулы с одинаковым брутто-составом, которые проникают через стенки кишечника и участвуют в метаболических процессах.

4. Напишите суммарное уравнение реакции гидролиза лактозы, представив вещества в виде брутто-формул. Изобразите линейную и пиранозную структурные формулы D-изомера одного из продуктов гидролиза лактозы, звенья которого также входят в состав сахарозы и мальтозы.

Гидролиз лактозы является многоступенчатым ферментативным процессом. Как правило, реакционная среда (пищеварительная система) содержит избыток воды, поэтому для описания кинетики процесса можно воспользоваться простейшей схемой ферментативной реакции, которая впервые была опубликована в 1913 г. Согласно опубликованной схеме, ферментативный катализ можно описать следующей последовательностью реакций:



5. Воспользовавшись законом действующих масс, запишите кинетические уравнения для выражения скоростей реакций образования промежуточного комплекса  $\text{Lac}\Phi$  ( $V_1$ ), его распада на исходные вещества ( $V_{-1}$ ) и превращения в продукты реакции ( $V_2$ ).

Изменение концентрации промежуточного комплекса в единицу времени  $\frac{d[\text{Lac}\Phi]}{dt}$  связано только с протекающими в системе реакциями, поскольку до начала ферментативного процесса гидролиза его концентрация была нулевой.

6. Выразите изменение концентрации промежуточного комплекса в единицу времени  $\frac{d[\text{Lac}\Phi]}{dt}$  через кинетические уравнения скоростей реакций ( $V_1$ ), ( $V_{-1}$ ) и ( $V_2$ ).

При выводе кинетического уравнения для ферментативного процесса авторы упомянутой статьи ввели допущение о том, что концентрация промежуточного комплекса  $[\text{Lac}\Phi]$ , образующегося между ферментом и субстратом, не изменяется в течение времени, т. е.  $\frac{d[\text{Lac}\Phi]}{dt} = 0$ .

7. Повторите путь авторов статьи, описавших скорость ферментативной реакции, и выразите скорость образования продуктов гидролиза лактозы ( $V_2$ ) через начальную концентрацию фермента  $[\Phi]_0$ , текущую концентрацию лактозы  $[\text{Lac}]$  и константы скоростей реакций  $k_1, k_{-1}, k_2$ . Для выражения концентрации фермента  $[\Phi]$  воспользуйтесь уравнением материального баланса.

Для упрощения расчетов в статье 1913 года было предложено использовать собирательный множитель  $K_M = \frac{k_2 + k_{-1}}{k_1}$ , который в настоящее время носит имя одного из авторов статьи.

8. Примените упрощение, предложенное авторами статьи для выведенного вами в п. 7 выражения для скорости реакции и выразите скорость гидролиза лактозы ( $V_2$ ) через  $k_2, K_M, \Phi_0$  и  $[\text{Lac}]$ . Как в настоящее время называется  $K_M$ ?

Один из способов улучшения качества жизни человека с непереносимостью лактозы – употребление фермента лактазы вместе с молочными продуктами. В Российской Федерации можно приобрести БАД «Лактазар», одна капсула которого содержит 0,0585 г лактазы. По заявлениям производителя, употребление одной капсулы «Лактазара» позволяет достичь нормального уровня лактазы в пищеварительной системе человека.

9. Воспользовавшись уравнением, полученным в п. 8, вычислите начальную скорость гидролиза лактозы в организме того же человека с непереносимостью лактозы, употребившего 1 капсулу «Лактазара» одновременно с тем же стаканом молока объемом 200 мл. При вычислениях примите, что лактоза в организме человека не вырабатывается, содержание лактозы в молоке составляет 2 масс. %,  $M(\Phi) = 320 \text{ кг/моль}$ ,  $k_2 = 1,0097 \text{ с}^{-1}$ ,  $K_M = 0,0024 \text{ моль/л}$ . Объем реакционной среды примите равным объему употребленного молока.

При концентрации лактозы, существенно превышающей  $K_M$  (т. е.  $[\text{Lac}] \gg K_M$ ), в реакционной среде формулу из п. 8 можно упростить.

10. Запишите упрощенное уравнение скорости гидролиза лактозы  $V_2$ . Ответ обоснуйте.

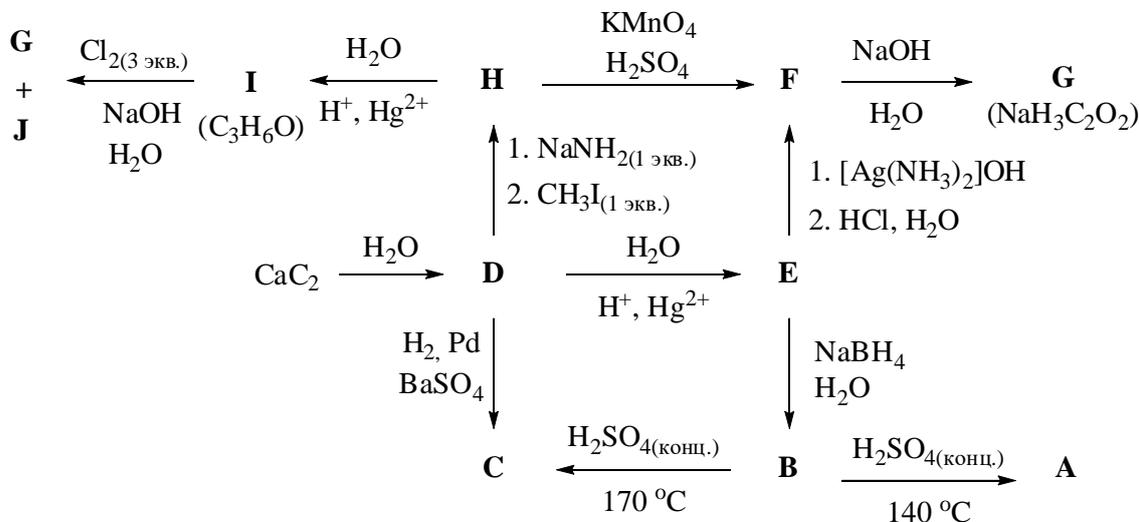
11. Воспользовавшись данными из п. 9, рассчитайте начальную скорость гидролиза лактозы по упрощенной формуле. Сделайте вывод о применимости упрощенной формулы в условиях задачи, если допустимая погрешность составляет 2 % от наибольшей скорости.

12. При каком минимальном соотношении  $[\text{Lac}]/K_M$  упрощенная формула будет применима?

#### Задание 4. «Анестетики».

«У хорошего анестезиолога и хирурги весёлые».  
Из поговорок

Согласно последним археологическим данным (журнал *Nature*, 2022 г.) человечество начало проводить хирургические вмешательства более 30 тыс. лет назад. В настоящее время операции проводят не только из-за травм, полученных во время военных действий, ЧП, ЧС, землетрясений, цунами, но и в результате болезней, бытовых травм, ДТП и в стоматологии. Для проведения несложных операций врачи прибегают к местному наркозу. Более 180 лет назад 30 марта 1842 года впервые была проведена операция с использованием общего наркоза. Пациенту удалили опухоль, предварительно дав подышать парами вещества А. В результате дальнейших исследований были найдены вещества, которые в настоящее время с успехом применяются для создания местного или общего наркозов. Синтез некоторых веществ А, В, D, J, обладающих анестезирующими свойствами, приведен на схеме. Все эти соединения содержат один и тот же химический элемент К, массовая доля которого указана в таблице. Дополнительно известны некоторые физико-химические свойства соединений А, В, D, J.



В-во	Агрегатное состояние при н.у., свойства	$t_{\text{кип.}}$ , $^\circ\text{C}$	$\omega(\text{K})$ , %
А	Бесцветная, легколетучая жидкость со своеобразным запахом и жгучим вкусом	35	64,86
В	Бесцветная жидкость с характерным запахом и жгучим вкусом	78	52,17
Д	Бесцветный газ без запаха	-84	92,31
Ж	Бесцветная летучая жидкость с эфирным запахом и сладким вкусом	61	10,04

1. Приведите структурные формулы веществ А-Ж, название и символ химического элемента К.

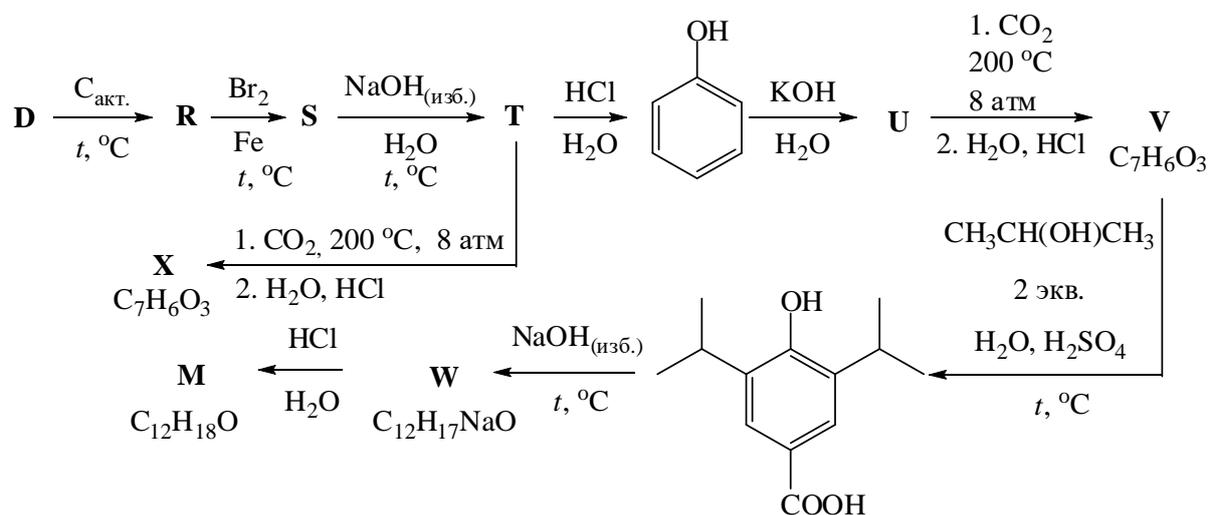
Соединения **A**, **B**, **D**, **J**, которые применяются для наркоза, являются органическими. Однако и некоторые неорганические вещества обладают подобными свойствами. Например, бинарное вещество **L** представляющее собой бесцветный негорючий газ со сладковатым запахом, применяется в медицине для ингаляционного наркоза. Известно, что массовая доля одного из элементов в его составе 63,64%.

2. Установите молекулярную формулу вещества **L** и приведите способ его получения в лаборатории из любых реагентов в одну стадию (уравнение реакции и условия ее проведения).

В настоящее время для создания общего наркоза часто применяется вещество **M**, которое относится к классу фенолов. Оно образуется при алкилировании фенола изопропильным катионом как один из продуктов.

3. Основываясь на электронных эффектах фенольной группы, приведите структурные формулы всех пяти возможных продуктов (**M**, **N**, **O**, **P**, **Q**), которые могут образоваться при катализируемом серной кислотой моно- и полиалкилировании гидроксibenзола в ароматическое кольцо изопропиловым спиртом.

При выделении из такой сложной смеси целевой фенол **M** обычно содержит много примесей. Однако в настоящее время разработаны и другие, более селективные способы синтеза **M**. Один из них основан на декарбоксилировании 3,5-диизопропил-4-гидроксibenзойной кислоты. Вашему вниманию представлена возможная схема синтеза фенола **M** из вещества **D**.



4. Приведите структурные формулы веществ **R-W**.

5. Особого внимания заслуживают реакции получения изомерных веществ **V** и **X**. Интересно то, что они протекают по механизму электрофильного ароматического замещения. Электрофилом при этом является углекислый газ. В органической химии этот процесс известен как карбоксилирование по Кольбе-Шмидту. Кроме того, важной особенностью реакции является то, что направление (*орто*- или *пара*-положение) электрофильного замещения определяется катионом металла в соответствующем феноксиде. Приведите структурную формулу кислоты **X**.