

Задание 1.

Юбилейная задача

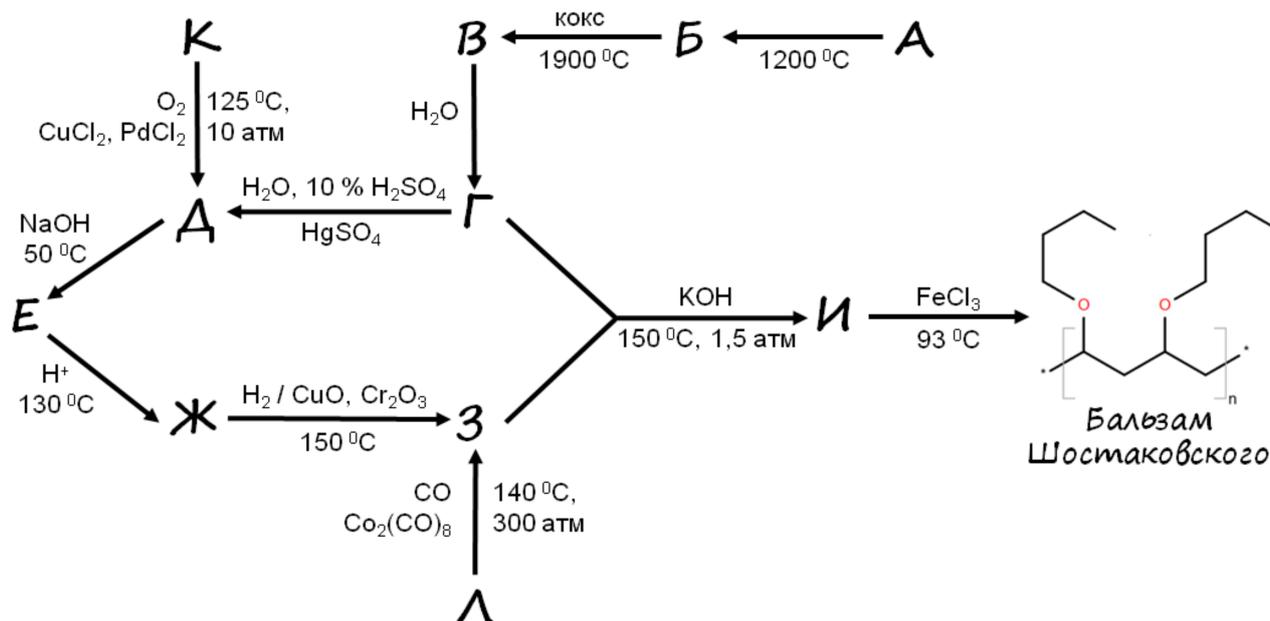


М. Ф. Шостаковский

В 2025 году отмечается 80-летие Победы в Великой Отечественной войне. Победа стала возможной благодаря героизму, стойкости и самоотверженному труду простых советских людей – значительный вклад внесли и ученые, которые создали необходимые продукты и технологии. В 2025 году исполняется 120 лет со дня рождения химика-органика, члена-корреспондента АН СССР Михаила Фёдоровича Шостаковского. Ещё до войны его лаборатория разработала сгущающую присадку винипол для производства низкотемпературных зимних моторных масел. Однако самой известной его разработкой станет винилин – средство антибактериального и противовоспалительного действия.

Благодарные солдаты, которых эта мазь спасала от ожогов, обморожений и ран, окрестили её «*бальзамом Шостаковского*». Винилин, в кратчайший срок созданный в начале войны советскими химиками, до сих пор используется в медицине.

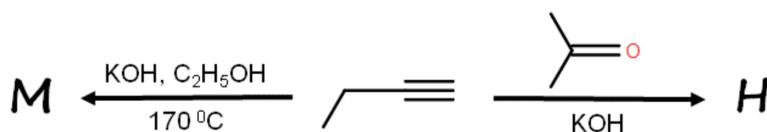
Ниже представлена схема синтеза основного действующего вещества «бальзама Шостаковского» из природного сырья – известняка, основным компонентом которого является вещество **А**. Уже после войны доступным сырьём стали лёгкие непредельные углеводороды **К** и **Л**, получаемые пиролизом фракций природных газа и нефти, причём плотность **К** в 1,75 раз меньше плотности **Л**. Известно, что массовые доли кислорода в **Б** и **Ж** составляют 28,6 % и 22,9 % соответственно.



1. Расшифруйте схему, приведя структурные формулы веществ А-Л.

Разработка винилола и винилина стала возможной благодаря фундаментальным исследованиям углеводов ряда Г. Основоположник этого направления – учитель М.Ф. Шостаковского, великий российский химик, академик Алексей Евграфович Фаворский, со дня рождения которого в 2025 году исполняется 165 лет.

2. Именем Фаворского названо сразу несколько реакций, значимых для органической химии. Напишите продукты некоторых из них:



Фаина Петровна Сидельковская, ученица М.Ф.Шостаковского, старший научный сотрудник ИОХ АН СССР, вспоминала: «Ни минуты не размышляя о том, что лечение – дело чрезвычайно сложное, что в мировой практике, насколько мы знали, синтетические полимеры в медицине еще ни разу не применялись (до размышлений ли было осенью 1941 года?), мы начали готовить набор фракций, отличавшихся по молекулярной массе. Массу я тут же измеряла на самодельном криоскопе, благо нужный для этого термометр Бекмана у нас был. Каждую порцию, едва она была готова, несли

физиологам, трудившимся здесь же, в университете. А они в тот же день пробовали ее на лягушках».

Криоскопия – метод определения молекулярной массы, основанный на явлении понижения температуры замерзания раствора $T_{\text{зам.р-ра}}$ по сравнению с температурой замерзания чистого растворителя $T_{\text{зам.р-ля}}$. Установлено следующее соотношение: $\Delta T = T_{\text{зам.р-ля}} - T_{\text{зам.р-ра}} = K \cdot \mu$, где K – криоскопическая постоянная, К·кг/моль, (характеристика растворителя, независящая от растворяемого вещества), μ – моляльность раствора, моль/кг (количество моль растворенного вещества, приходящееся на 1 кг растворителя).

3. Рассчитайте среднюю молекулярную массу фракции винилина, если раствор 7,90 г в 50 мл бензола замерзает при температуре 5,0 °С. Свойства бензола: криоскопическая постоянная 5,10 К·кг/моль, температура кристаллизации 5,5 °С, плотность 0,879 г/мл.

Задание 2.

Запрещённая химия

Известный российский кристаллограф Артём Романович Оганов и его команда разработали программу USPEX (*Universal Structure Predictor: Evolutionary Xtallography*) – метод компьютерного предсказания кристаллических структур. Этот метод теоретически доказал возможность существования при сверхвысоких давлениях ряда «запрещённых» соединений необычного состава, содержащих натрий и хлор в различных пропорциях. Сведения о некоторых из них перечислены в таблице:

Вещество	Содержание хлора, %	Вещество	Содержание хлора, %
А	33,95	NaCl	60,66
Б	43,53	Г	82,22
В	50,69	Д	91,52

Подобные «запрещённые» соединения имеют интерес не только с теоретической точки зрения. К примеру, довольно остро стоит вопрос о безопасном хранении и транспортировке фтора, поскольку он, ввиду своей крайне высокой химической активности, способен разрушать большинство веществ, из которых изготавливают тары.

В настоящее время ведутся исследования «запрещённых» соединений щелочного металла **М**, например, вещества **Е**, имеющего формулу MF_n . Транспортировать фтор в виде твердого соединения гораздо безопаснее, а повы-

шенное содержание фтора в таких веществах повышает эффективность его перевозки. На теоретический синтез 1,00 г **Е** из простых веществ было бы затрачено 0,98 мл (н.у.) фтора.

1. Определите соединения **А-Д**, ответы подтвердите расчетами.
2. Определите металл **М** и вещество **Е**, ответы подтвердите расчетами. Дополнительно известно, что массовая доля **М** в одном из его бинарных соединений с кислородом составляет 80,59 %

Задание 3.

Магическая задача

*Если не изучать физику и химию в школе,
то вся жизнь наполнится чудесами и волшебством.*

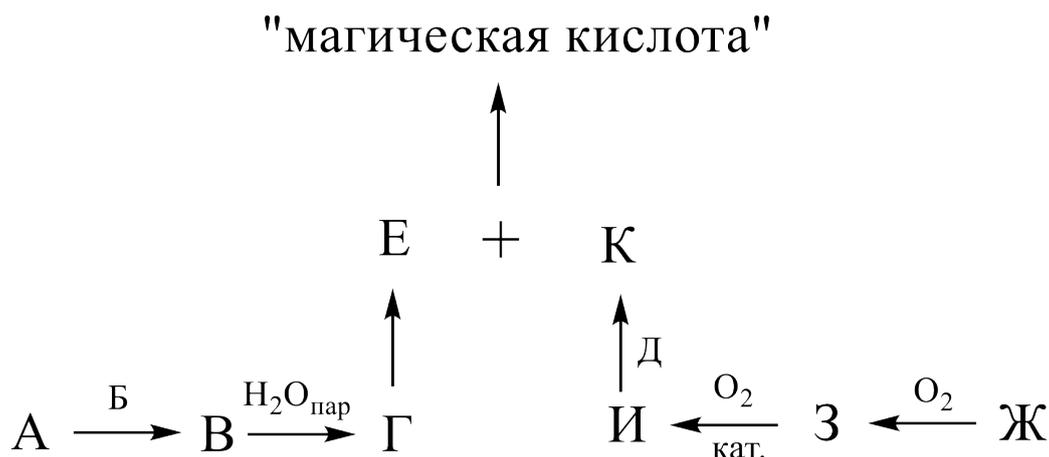
Что приходит на ум при слове «магия»? Кому-то волшебная палочка, кому-то летающая метла, а химику — «магическая кислота».

Однажды на новогодней вечеринке в начале 1960-х годов в научной группе Джорджа Олы один из сотрудников, к всеобщему удивлению, растворил праздничную свечу в одной из исследуемых *смесей*. После этого за данной *смесью* закрепилась слава одной из «магических кислот», поскольку парафин инертен к большинству химических реагентов, в том числе к кислотам. Данная *кислота* сильнее серной в 10^{12} раз, ионизирует не только углеводороды, но и некоторые другие вещества: к примеру, сера при взаимодействии с данной *кислотой* образует в растворе частицы S_8^{2+} .

Для её получения серебристо-белое простое **А** реагирует с избытком желто-зеленого газа **Б**, образуя бесцветную, дымящую на воздухе жидкость **В** (*реакция 1*). При нагревании этой жидкости с водяным паром получается белое твердое вещество **Г** (*реакция 2*), при этом теоретически из 1,000 г **А** может получиться 1,328 г **Г**. Полученный осадок промывают и растворяют в веществе **Д** (*реакция 3*), которое нельзя хранить в стеклянной посуде, при этом получается бинарное вещество **Е**.

Другое простое вещество — желтый порошок **Ж** — окисляют кислородом с получением **З** (*реакция 4*), которое при дальнейшем окислении кислородом с катализатором — оксидом некоего металла — превращается в **И** (*реакция 5*).

При реакции **И** с кислотой **Д** получается вещество **К** (*реакция 6*), которое содержит в себе 4 элемента с массовыми долями элементов в нем 18,99 %, 1,01 %, 47,97 % и 32,04 %. При взаимодействии **К** с **Е** в соотношении 1:1 образуется «магическая кислота» (*реакция 7*). Схема описанных превращений представлена ниже:



1. Определите вещества **А–К** и «магическую кислоту», ответы подтвердите расчетами.
2. Какой катализатор используется в *реакции 5*?
3. Напишите уравнения всех реакций, описанных в задаче.

Задание 4.

Вещество **Х** при комнатных условиях представляет собой газ без цвета, запаха и вкуса. В промышленности **Х** получают как побочный продукт производства жидкого кислорода и азота. Ввиду своего низкого ($0,086 \text{ см}^3$ на 1 м^3 воздуха) содержания в воздухе **Х** достаточно дорог в производстве, однако незаменим в ряде высокотехнологичных сфер.

Вещества **А**, **Б** и **В** в виде смеси можно получить прямым взаимодействием с простым веществом **У**, представляющим собой химически активный бледно-жёлтый газ с характерным запахом. В зависимости от условий проведения реакции, в смеси продуктов будет преобладать определённое вещество: при комнатной температуре и УФ излучении будет преобладать **А** (*реакция 1*), при $400 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении – **Б** (*реакция 2*), при $300 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении – **В** (*реакция 3*).

Вещество **А** также можно получить взаимодействием **Х** с соединением **У** с серебром (содержит 26,04 % масс. **У**) в присутствии кислоты Льюиса, к

примеру соединения **У** с бором (*реакция 4*). Вещество **В** обычно получают длительным нагреванием **А** под давлением в присутствии катализатора (*реакция 5*).

Сильные окислительные свойства данных веществ рассмотрим на примере вещества **А**. Сера при взаимодействии с **А** окисляется до высшей степени окисления (*реакция 6*), в водном растворе бромат калия окисляется до пербромата калия (*реакция 7*), а нитрат марганца (II) в щелочном растворе окисляется до перманганата (*реакция 8*).

С кислородом **Х** образует два крайне неустойчивых и взрывоопасных соединения – вещества **Г** и **Д**. Вещество **Г** можно получить осторожным взаимодействием **В** с диоксидом кремния (*реакция 9*). При растворении в воде в присутствии щелочи **Г** образует одну из оксокислот **Х** – вещество **Е** (*реакция 10*).

Для кислоты **Е** были выделены лишь кислые соли щелочных металлов состава MeHXO_4 , наиболее устойчивой из которых является соль натрия. Однако при добавлении избытка щелочи данная соль диспропорционирует, при этом образуется еще одна соль высшей кислоты **Х** – вещество **Ж** (*реакция 11*). При действии на средние соли **Ж** 100%-ной серной кислоты при охлаждении можно получить оксид **Д** (*реакция 12*).

1. Определите газы **Х**, **У**, а также вещества **А-Ж**.
2. Напишите уравнения всех указанных в задаче реакций.
3. Нарисуйте структуры веществ **А**, **Б** и **В**.

Задание 5.

Металлический остеосинтез

В настоящее время для скорейшего сращения переломов в медицине используют внутренние фиксирующие конструкции (импланты). Ранее их изготавливали из стали, однако подобные изделия подвержены коррозии и взаимодействию с ионами физиологической среды человека, что приводит к разрушению конструкции и отторжению имплантов организмом. Большим шагом в развитии медицины стало применение в качестве основ для таких имплантов сплавов металла **М**, что позволяет избежать нежелательных последствий ввиду его биосовместимости.



применение пластины **М** при переломе ключицы

Первым этапом промышленного получения **М** является обработка соляной кислотой руды, основным компонентом которой является трёхэлементное вещество **А** (содержит железо, **М** и кислород) (*реакция 1*). Полученный твёрдый остаток (вещество **Б**) подвергают хлорированию в присутствии угля (*реакция 2*), в результате чего образуется вещество **В**, являющееся жидким при нормальных условиях, и угарный газ. Далее **В** восстанавливают металлическим магнием (*реакция 3*) в стальных реакторах с использованием среды аргона при температуре около 900 °С. Продуктом последней реакции является «**М**-овая губка» — металл **М**, пропитанный хлоридом магния и избытком самого магния. Избытки магния и его хлорида удаляют возгонкой в герметичном вакуумном аппарате, а затем, в присутствии электрической дуги, **М** переплавляют в слитки. Полученный металл очищают и производят из него различные сплавы, в том числе для эндопротезирования.

Из 1000,0 кг руды, содержащей 84,0 % **А**, после проведения всех описанных промышленных процессов, удаётся получить 134,7 кг **М**. Выход продукта, содержащего **М**, в реакциях 1, 2 и 3 примите равным 92,0 %, 92,0 % и 60,0 % соответственно.

1. Определите металл **М**, формулы веществ **А-В** и запишите уравнения *реакций 1-3*. Для изготовления некоторых медицинских инструментов и добавления прочности к фиксирующим конструкциям, из **М** синтезируют бинарное вещество **Г** взаимодействием **В** с хлоридом **И** и водородом

при температуре 1300 °С (*реакция 4*) или спеканием **М** со смесью оксида **II** и карбида **III** при 2000 °С (*реакция 5*). Вещества **I–III** содержат один и тот же элемент, массовое содержание которого составляет 9,36 %, 31,43 % и 78,57 % соответственно.

2. Определите формулу **Г**, веществ **I–III** и запишите уравнения *реакций 4 и 5*.