

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Олимпиада школьников по химии и химической
технологии
«Потомки Менделеева»
2025/2026 учебный год**

Задания теоретического тура

9-й класс

Контактные данные

сайт: <https://malun.kpfu.ru/mendeleev>

telegram: <https://t.me/potomkimendeleeva>

email: ammoniy.olimpiada@mail.ru

тел.: +7(843)206-54-04 (5403)

Задача 1. Чудеса!

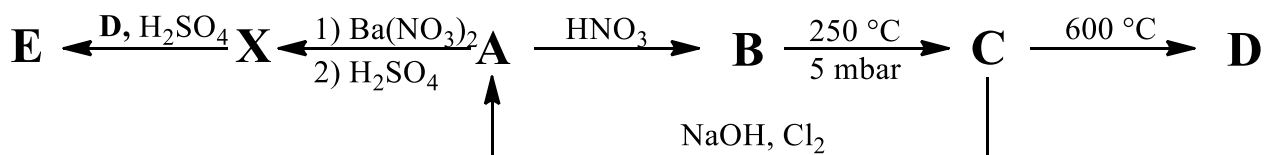
Химик Колбочкин проводил инвентаризацию в лаборатории и обнаружил банку с трудночитаемой этикеткой. Внимательно приглядевшись, ему всё же удалось разобрать надпись: [пропуск 1]. «Периодическая кислота, как интересно!», — подумал Колбочкин и решил установить содержимое банки.

Открыв, он обнаружил белые кристаллы вещества **X**, которые при помещении на лист бумаги достаточно быстро расплывались. «Раз вещество гигроскопично, значит, оно должно хорошо растворяться в воде», — рассудил химик, и, действительно, **X** легко растворялось в воде, образуя раствор с сильноокислой средой.

При добавлении раствора гидроксида натрия выпал белый осадок **A** (реакция 1). «Странное название, и при этом с натрием образуется осадок», — удивился Колбочкин и продолжил исследования.

Далее химик решил выяснить, проявляет ли вещество **X** окислительные или восстановительные свойства. При добавлении раствора перманганата калия никаких изменений не наблюдалось, однако при добавлении сульфата марганца(II) раствор приобрёл малиновую окраску (реакция 2). «Какой сильный окислитель!» — подумал Колбочкин и уже собирался проверить способность вещества **X** окислять соляную кислоту (реакция 3), как вовремя подоспевший коллега успел его остановить.

Коллега знал английский язык значительно лучше, чем Колбочкин, поэтому лишь рассмеялся и заодно дал несколько подсказок, которые должны были помочь однозначно установить природу вещества **X**. Они приведены ниже на схеме:



Дополнительно известно, что

- Из 100 мг **A** образуется 72.78, 67.34, 51.00 мг **B**, **C** и **D** соответственно.
- Массовая доля натрия в **A** 23.47 %.

1. Заполните пропуск 1.

2. Определите формулы неизвестных веществ **X**, **A-E**. Ответ подтвердите расчетом.

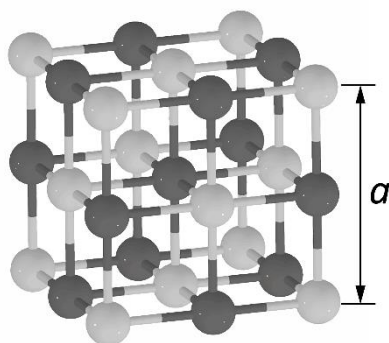
3. Напишите уравнения *реакций 1-3* и всех *реакций*, приведенных на схеме.

4. При добавлении избытка **D** раствор **E** окрашивается в темно-коричневый цвет. Почему? Приведите уравнение реакции.

Задача 2. Стекло не пройдет!

«Всегда найдется рыба крупнее»

Квай-Гон Джинн



Кристаллическая ячейка
вещества **A**

Металл **X** серебристого цвета образует с элементом **Y** вещество **A** с плотностью $7.077 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, которое имеет примитивную кубическую решетку с ребром $a = 4.92 \text{ \AA}$. При взаимодействии **A** с ClF_3 образуется темно-коричневое бинарное вещество **B** (*реакция 1*), являющееся сильным окислителем. При

добавлении SbF_5 к **B** образуется соль **C** (*реакция 2*), в которой массовая доля **X** равна 18.62 %.

Водные растворы **B** неустойчивы из-за протекания *реакции 3*, поэтому для проведения реакций с ним готовят раствор в безводной HF . Добавление к нему раствора KrF_2 в безводной HF в присутствии XeF_6 в качестве основания приводит к образованию вещества **D** с анионом квадратного строения и газа **E** (*реакция 4*). Пропускание через полученный раствор газообразного VF_3 сопровождается выпадением ярко-красного осадка бинарного соединения **F**, содержащего металл **X** (*реакция 5*).

Соединение **F** является еще более сильным окислителем, чем вещество **B**. Иллюстрацией этого является возможность протекания реакции между веществом **F** и LiRuF_6 в среде безводной HF (*реакция 6*). В ходе *реакции 6* образуются тяжелые темно-красные пары вещества **G**, которые в присутствии воздуха с высоким выходом переходят в соединение **H** (*реакция 7*) с массовой долей кислорода, равной 12.95 %.

1. Определите элементы **X**, **Y**, а также вещества **A – H**. Для веществ **A**, **C** и **H** ответ подтвердите расчетом.

2. Напишите уравнения *реакций 1-7*.

3. Определите энергию кристаллической решетки **A**, используя цикл Борна-Габера и уравнение Капустинского. Совпадают ли они между собой? Примите, что энтальпия образования **A** равна -204.7 кДж/моль, энтальпия диссоциации **Y** равна 276 кДж/моль, энтальпия сублимации **X** равна 265 кДж/моль, потенциал ионизации **X** равен 711 кДж/моль, а энергия сродства **Y** к электрону равна -348 кДж/моль.

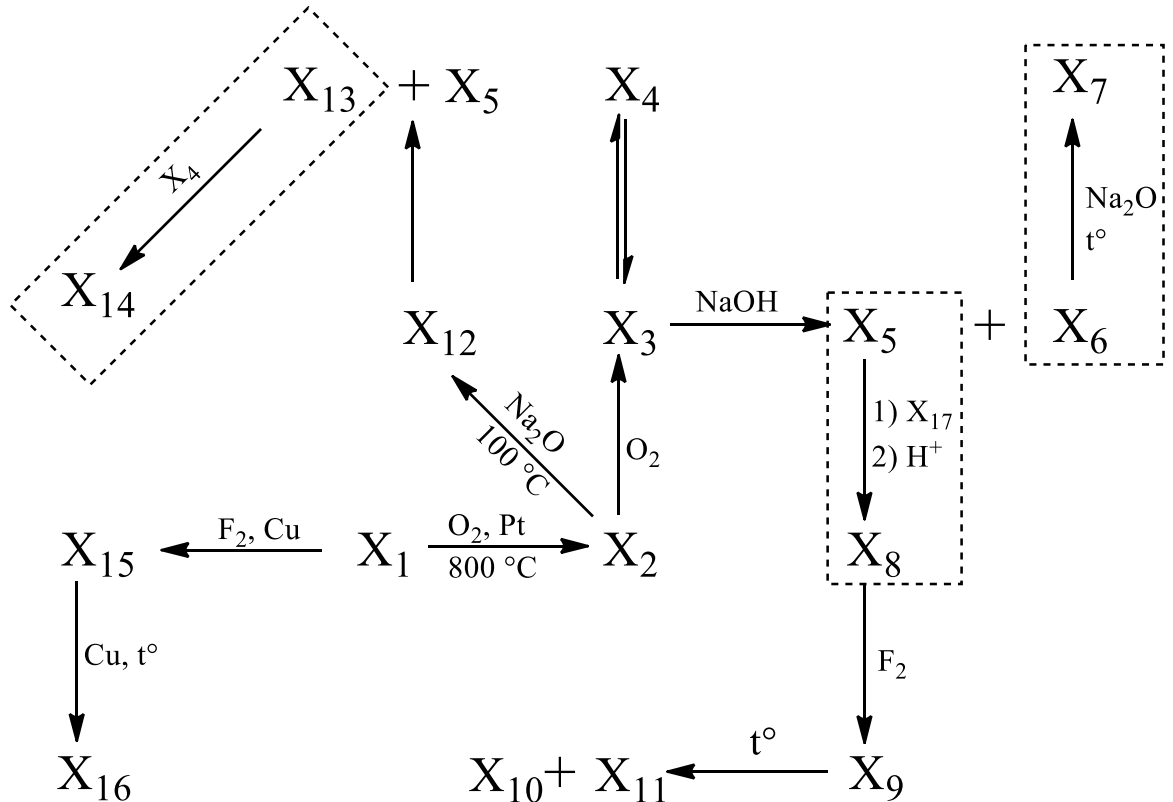
Справочная информация:

Уравнение Капустинского:

$$U_L = K \frac{v|z_+z_-|}{r_+ + r_-} \left(1 - \frac{d}{r_+ + r_-}\right)$$
, где U_L – энергия кристаллической решетки, $K = 1.202 \cdot 10^{-4}$ Дж·м·моль⁻¹, $d = 3.45 \cdot 10^{-11}$ м, v – число ионов в эмпирической формуле, z_+ и z_- – заряды катиона и аниона, r_+ и r_- – радиусы катиона и аниона, м.

Задача 3. Все новое – хорошо забытое старое...

Ниже приведена схема превращений соединений элемента **X**, входящего в десятку самых распространенных элементов во Вселенной.



вызревший осадок **X** отфильтровывают, промывают избытком воды и затем прокаливают до постоянной массы.

Из концентрированного раствора **B** может быть осаждён кристаллогидрат соли **D** с двумя типами анионов ($\omega(O) = 34.59\%$). При продувке того же раствора избыточным количеством **G** и последующем добавлении 96%-ного спирта образуется осадок кристаллогидрата кислой соли **E**, не содержащего спирт ($\omega(O) = 23.23\%$).

Первая стадия процесса сопровождается образованием промежуточного вещества **Ж**. Наличие в исходном минерале примесей диоксида кремния и оксида железа(III) в присутствии **Ж** ведёт к накоплению побочных продуктов **З** ($\omega(O) = 17.45\%$) и **И** ($\omega(O) = 20.45\%$). Газ **К**, выделяющийся в этих реакциях, быстро взаимодействует с основным газообразным продуктом всего процесса **Л**, образуя соединение **М** и простое вещество **Н** в виде газов. При наличии избытка **A** газ **М** вновь превращается в **Л**. **З** и **И** нерастворимы в воде, однако их суспензия способна реагировать с избытком **G**, образуя растворимый продукт **E**.

1. Определите все зашифрованные вещества, ответ подтвердите расчётами и логическими рассуждениями.

2. Расшифруйте название задачи.

3. Для чего при получении чистого **X** проводят вызревание осадка?

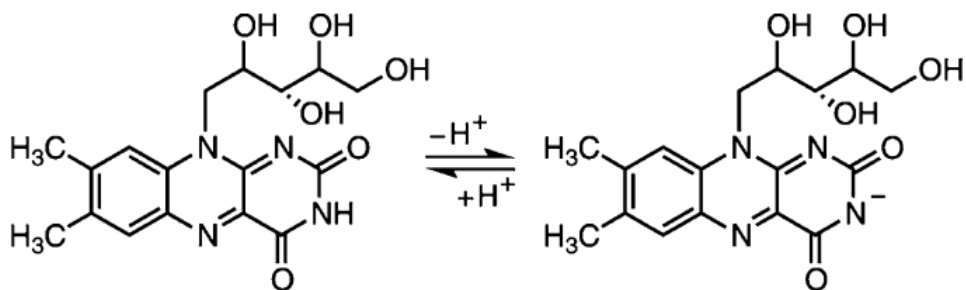
4. Рассчитайте выводимые массы основных продуктов процесса **X**, **G**, **Л** и **Н**, используя частично заполненную таблицу материального баланса производства. Считайте, что в ходе высокотемпературной стадии прореагировало 76% **X** и 100% примесей **X**, и что в остальных стадиях процесса потерь продуктов нет.

При решении задачи используйте атомные массы с точностью до тысячных.

ВВЕДЕНО		ВЫВЕДЕНО	
Минерал X , в том числе	100.0 кг	Чистый X	?
X	95.5 кг	Твёрдый остаток, в том числе	?
Диоксид кремния	2.5 кг	...	?
Оксид железа (III)	2.0 кг	Жидкий остаток, в том числе	?
A	20.0 кг	...	?
10% водн. р-р B , в том числе	450.0 кг	Отдувочный газ, в том числе	?
Вода дистиллированная	405.0 кг	...	?
B	45.0 кг	Циркуляц. газ, в том числе	?
Циркуляц. газ, в том числе	50.0 кг	Азот	?
Азот	40.0 кг	Г	?
Г	10.0 кг		
Вода дистиллированная для промывки осадков	100.0 кг		
СУММАРНО	?	СУММАРНО	?

Задача 5. E101.

Наверняка многие из вас знают, что константа равновесия зависит, прежде всего, от температуры. Однако известны случаи, где наблюдаемая константа кислотности некоторых молекул может измениться при их взаимодействиях с белками. Это явление зачастую влияет на биологическую активность, как белков, так и их лигандов. Величину pK_a можно определить с помощью ряда физико-химических методов, например, спектрофотометрии (см. справочную информацию). Студентка кафедры физической химии решила исследовать свойства рибофлавина (RH), который диссоциирует в водных растворах согласно представленной схеме, и может образовывать комплекс с рибофлавин-связывающим белком (РСБ).



1. Запишите выражение для константы кислотности рибофлавина. Можете здесь и далее использовать условные обозначения, например, RH и R⁻.

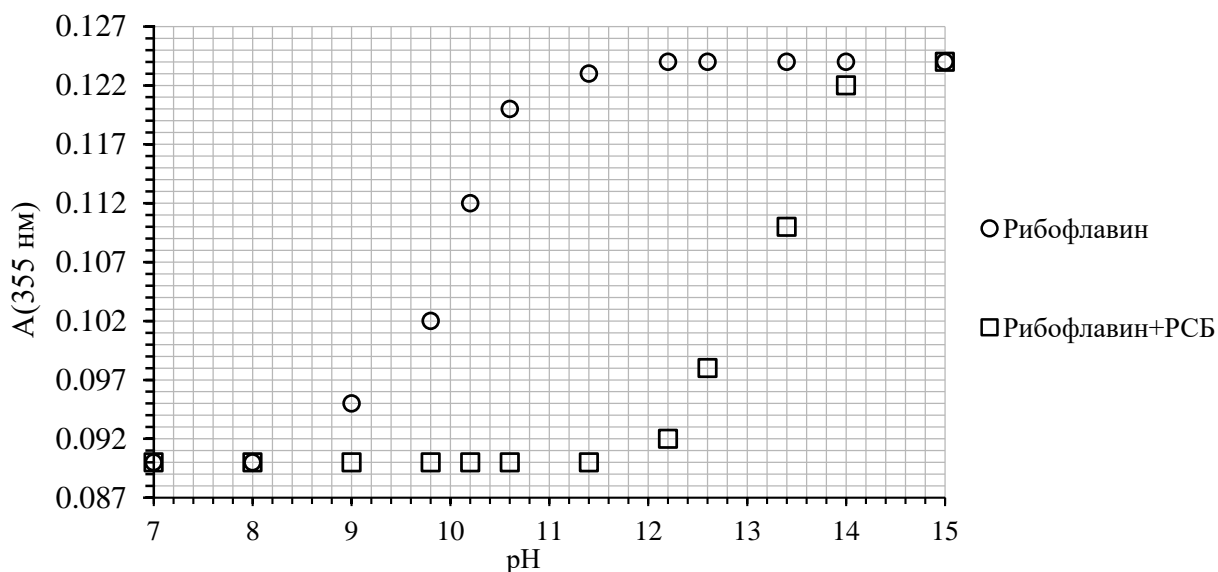
2. Если начальная концентрация рибофлавина равна C_0 , а константа кислотности K_a , то чему равен рН раствора рибофлавина в воде?

3. Выразите равновесные концентрации протонированной и депротонированной формы через K_a , $[H^+]$ и C_0 .

Оптическая плотность раствора рибофлавина на длине волны 355 нм при некотором рН оказалась равной A . Коэффициенты экстинкции протонированной и депротонированной форм равны ϵ_{RH} и ϵ_R , длина оптического пути 1 см.

4. Выразите A через K_a , $[H^+]$, C_0 , ϵ_{RH} и ϵ_R .

Студентка приготовила раствор рибофлавина концентрацией 9.9 мкМ при разных значениях рН и получила спектры поглощения. Аналогичный эксперимент она провела в присутствии 24 мкМ раствора РСБ. Далее она определила оптическую плотность при 355 нм и результаты представила профессору в виде графика зависимости A_{355} от рН:



5. Рассчитайте коэффициенты экстинкции для протонированной и депротонированной форм рибофлавина.

6. Определите pK_a рибофлавина в воде без присутствия белка и в окружении центра связывания РСБ. Примите, что коэффициенты экстинкции не зависят от окружения рибофлавина.

7. При каком рН содержание депротонированной и протонированной форм рибофлавина будет одинаковым? Приведите ответ для раствора в воде и в присутствии РСБ.

8. Во сколько раз будет отличаться концентрация протонов в растворе, образовавшихся в результате диссоциации рибофлавина, если в одном случае он связан с РСБ, а в другом находится в свободном виде?

Справочная информация:

- Спектрофотометрия – метод, позволяющий определить какая часть света определенной длины волны поглощается раствором вещества (частицей). Чаще всего количественной характеристикой выступает оптическая плотность (A), которая подчиняется закону Бугера-Ламберта-Бера: $A = \epsilon l c$, где ϵ – коэффициент экстинкции [$\text{см} \cdot \text{л} \cdot \text{моль}^{-1}$], l – длина оптического пути (толщина слоя раствора в кювете) [см], а c – молярная концентрация. Оптическая плотность – величина аддитивная, то есть если в растворе есть две частицы, поглощающих при длине волны λ , то тогда общее $A_{\Sigma} = A_1 + A_2$.

- Константой кислотности (K_a) называют константу равновесия обратимого процесса диссоциации слабой кислоты с отщеплением одного протона, при этом $\text{p}K_a = -\log_{10}(K_a)$, а $\text{pH} = -\log_{10}([\text{H}^+])$.