

**Разбор заданий школьного этапа ВсОШ по химии
для 11 класса**

2023/24 учебный год

Максимальное количество баллов — 50

Задание № 1.1

Общее условие:

Иод является важным микроэлементом, необходимым для биосинтеза гормонов щитовидной железы. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует потреблять 120 мкг иода в сутки. Одним из вариантов восполнения дефицита иода является использование в пище йодированной соли.

Условие:

Какую минимальную массу йодированной соли, содержащей 20 мг иодата калия (KIO_3) на 1 кг хлорида натрия, нужно потреблять человеку в сутки, чтобы это соответствовало рекомендациям ВОЗ? Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 10

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Выберите основную причину, по которой в соль НЕ добавляют простое вещество иод:

Ответ:

- Иод взрывоопасен
- Соль будет не белого цвета
- Иод реагирует с солью
- ✓ Иод улетучивается

Точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Содержание иода в 20 мг иодата калия, т.е. в 1 кг йодированной соли, равно:

$$20 \cdot 127 / (39 + 127 + 48) = 11.9 \text{ мг или } 11900 \text{ мкг.}$$

Тогда для восполнения дефицита иода в сутки необходимо потреблять:

$$1000 \cdot 120 / 11900 = 10 \text{ г йодированной соли.}$$

Задание № 1.2

Общее условие:

Иод является важным микроэлементом, необходимым для биосинтеза гормонов щитовидной железы. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует потреблять 140 мкг иода в сутки. Одним из вариантов восполнения дефицита иода является использование в пище йодированной соли.

Условие:

Какую минимальную массу йодированной соли, содержащей 30 мг иодата калия (KIO_3) на 1 кг хлорида натрия, нужно потреблять человеку в сутки, чтобы это соответствовало рекомендациям ВОЗ? Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 8

Точное совпадение ответа — 3 балла

Условие:

Выберите основную причину, по которой в соль НЕ добавляют простое вещество иод:

Ответ:

- ☐ Иод взрывоопасен
- ☐ Соль будет не белого цвета
- ☐ Иод реагирует с солью
- ☒ Иод улетучивается

Точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение по аналогии с заданием № 1.1

Задание № 2

Условие:

Кристаллы вещества **X** бирюзового цвета при нагревании теряют 21 % своей массы, превращаясь в вещество **Y**. Если продукт **Y** оставить во влажной среде, то он снова перейдёт в вещество **X**. Определите вещество **X**, если известно, что при сливании 10 г 10 %-ного раствора **Y** с избытком раствора нитрата серебра выпадает белый творожистый осадок массой 2.13 г.

Запишите молярную массу вещества **X**, ответ выразите в г/моль, округлите до целых. При расчетах молярные массы округляйте до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [170; 171]

Точное совпадение ответа — 4 балла

Решение:

Белый творожистый осадок, выпадающий при добавлении нитрата серебра, по всей видимости, хлорид серебра. Количество вещества AgCl составляет:

$$N = 2.13 / 143.5 = 0.0148 \text{ моль}$$

Тогда в 1 г вещества **Y** содержится 0.0148 моль (0.525 г) атомов хлора.

Оставшиеся 0.475 г приходятся, по-видимому, на катион. Если искомое вещество — монохлорид, то атомная масса неизвестного элемента 32 а.е.м. — подходящего элемента нет (сера не подходит — валентность один у нее не наблюдается). Если искомое вещество — дихлорид, атомная масса неизвестного элемента 64 а.е.м., что соответствует меди.

Обратимая потеря массы при нагревании обусловлена, вероятно, удалением кристаллизационной воды. Тогда на 1 г вещества **Y** приходится $(1/0.79 - 1) = 0.266$ г воды, что составляет 0.0148 моль, т.е. количество вещества воды равно количеству вещества атомарного хлора. Тогда вещество **X** — $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Его молярная масса составляет 171 г/моль.

Задание № 3.1

Общее условие:

Существование элемента **X** было предсказано Д. И. Менделеевым на основании Периодического закона и в дальнейшем подтверждено экспериментально. При стандартных условиях простое вещество **X** твёрдое, имеет металлический блеск, растворимо в кислотах и концентрированных щелочах. При взаимодействии 1.00 г металла с избытком хлора образуется 2.52 г продукта. Запишите химический символ элемента **X**.

Ответ: Ga

Точное совпадение ответа — 4 балла

Условие:

Запишите название элемента **X**, данное ему Дмитрием Ивановичем Менделеевым.

Ответ: Экаалюминий

Точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 5 баллов

Решение.

Как известно, Дмитрий Иванович Менделеев предсказал свойства трёх неоткрытых элементов — скандия (экабор), галлия (экаалюминий) и германия (экакремний). При взаимодействии с избытком хлора первые два образуют трихлориды, а германий — тетрахлорид. Определим массовые доли хлора в каждом из этих высших хлоридов:

$$\text{ScCl}_3: 35.5 \cdot 3 / (35.5 \cdot 3 + 45) = 70.3 \%$$

$$\text{GaCl}_3: 35.5 \cdot 3 / (35.5 \cdot 3 + 70) = 60.3 \%$$

$$\text{GeCl}_4: 35.5 \cdot 4 / (35.5 \cdot 4 + 73) = 66.0 \%$$

В высшем хлориде неизвестного элемента массовая доля хлора составляет $1.52 / 2.52 = 60.3 \%$, следовательно, неизвестный элемент — галлий (экаалюминий).

Задание № 3.2

Общее условие:

Существование элемента **X** было предсказано Д. И. Менделеевым на основании Периодического закона и в дальнейшем подтверждено экспериментально. При стандартных условиях простое вещество **X** твёрдое, имеет металлический блеск, растворимо в кислотах и концентрированных щелочах. При взаимодействии 1.00 г металла с избытком брома образуется 6.33 г продукта. Запишите химический символ элемента **X**.

Ответ: Sc

Точное совпадение ответа — 4 балла

Запишите название элемента **X**, данное ему Дмитрием Ивановичем Менделеевым.

Ответ: Экабор

Точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 5 баллов

Решение по аналогии с заданием № 3.1

Задание № 4.1

Условие:

Пищевая добавка E338 (ортофосфорная кислота) изучена довольно хорошо, её концентрации в пищевых продуктах (напитки, колбасы, плавленые сыры, мармелад и пр.) не представляют опасности. Эта добавка является компонентом довольно распространённого напитка — колы. Содержание ортофосфорной кислоты составляет примерно 0.07 г на 100 г напитка.



Определите pH колы. При решении считайте, что только ортофосфорная кислота определяет pH напитка, и используйте только первую ступень диссоциации. Константы кислотности ортофосфорной кислоты:

$K_{a1} = 7.52 \cdot 10^{-3}$; $K_{a2} = 6.31 \cdot 10^{-8}$; $K_{a3} = 1.26 \cdot 10^{-12}$, плотность колы — 1.04 г/см^3 .

Ответ:

- ☐ 1.8
- ☐ 2.1
- ☒ 2.3
- ☐ 2.7
- ☐ 3.3
- ☐ 3.8

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение.

Определим молярную концентрацию ортофосфорной кислоты.

Если в 100 г напитка содержится 0.07 г кислоты, то в 1000 г будет 0.7 г.

Количество вещества равно $0.7 \text{ г} : 98 \text{ г/моль} = 7.14 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$. Объём напитка такой массы равен $1000 \text{ г} : 1.04 \text{ г/см}^3 = 961.5 \text{ мл} = 0.96 \text{ л}$.

Тогда молярная концентрация $C = 7.14 \cdot 10^{-3} \text{ моль} : 0.96 \text{ л} = 7.44 \cdot 10^{-3} \text{ М}$.

Запишем уравнение диссоциации H_3PO_4 по первой ступени:



Запишем уравнение для константы диссоциации по первой ступени:

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C - [\text{H}^+]}$$

Решение квадратного уравнения приводит к $[\text{H}^+] = 4.6 \cdot 10^{-3} \text{ М}$.

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 2.3$$

Задача № 4.2

Условие:

Пищевая добавка E338 (ортофосфорная кислота) изучена довольно хорошо, её концентрации в пищевых продуктах (напитки, колбасы, плавленые сыры, мармелад и пр.) не представляют опасности. Эта добавка является компонентом довольно распространённого напитка — колы. Содержание ортофосфорной кислоты составляет примерно 0.05 г на 100 г напитка.



Определите pH колы. При решении считайте, что только ортофосфорная кислота определяет pH напитка, и используйте только первую ступень диссоциации. Константы кислотности ортофосфорной кислоты:

$K_{a1} = 7.52 \cdot 10^{-3}$; $K_{a2} = 6.31 \cdot 10^{-8}$; $K_{a3} = 1.26 \cdot 10^{-12}$, плотность колы — 1.04 г/см^3 .

Ответ:

- ☐ 2.8
- ☒ 2.4
- ☐ 3.8
- ☐ 2.2
- ☐ 3.3
- ☐ 1.9

Точное совпадение ответа — 5 баллов

Решение по аналогии с заданием № 4.1

Задача № 5

Условие:

Определите число ациклических изомеров состава C_4H_8O без учёта геометрических изомеров.

Ответ: 15

Точное совпадение ответа — 2 балла

Условие:

Определите число ациклических структурных изомеров состава C_4H_8O с учетом геометрических изомеров.

Ответ: 19

Точное совпадение ответа — 1 балл

Условие:

Расположите классы органических соединений в порядке увеличения количества ациклических структурных изомеров состава C_4H_8O , относящихся к этому классу.

Ответ:

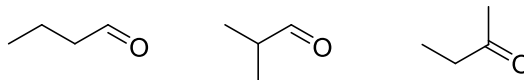
- ✓ Карбонильные соединения
- ✓ Простые эфиры
- ✓ Спирты
- Фенолы
- Карбоновые кислоты
- Сложные эфиры

Точное совпадение ответа — 2 балла

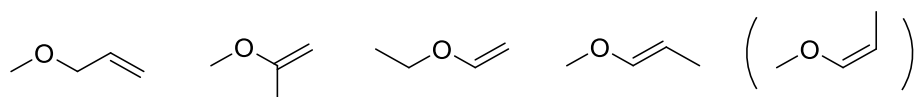
Максимальный балл за задание — 5 баллов

Решение.

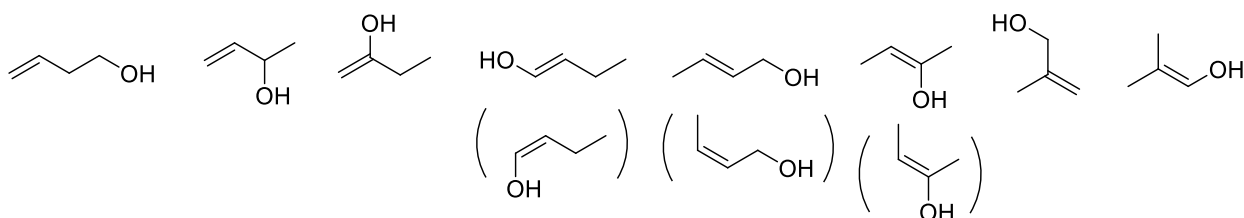
Существует 3 ациклических изомера состава C_4H_8O , которые относятся к классу карбонильных соединений:



4 изомера, которые относятся к классу простых эфиров (один из них имеет геометрический изомер):



8 изомеров, которые относятся к классу спиртов (три из них имеют геометрические изомеры):






Таким образом, число ациклических изомеров состава C_4H_8O без учёта геометрических изомеров равно 15, с учётом геометрических изомеров — 19.

Задача № 6

Общее условие:

Ниже зашифрована формула некоторого химического соединения, которое встречается в природе в виде минерала. Рисунки соответствуют элементам, а числа показывают их процентное содержание по массе.

Элемент			
Массовая доля, %	24.24	3.64	72.12

Условие:

Определите это вещество и запишите формулу катиона (без указания заряда).

Ответ: UO_2

Точное совпадение ответа — 2 балла

Условие:

Запишите формулу аниона (без указания заряда).

Ответ: CO_3

Точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Предположим, что картинка с огнём символизирует горение и необходимый для него кислород. На второй картинке изображены грифели для карандаша, которые состоят из углерода. Наконец, изображённый на третьей картинке

«гриб» ядерного взрыва может указывать нам на элемент уран. Запишем общую формулу загаданного вещества как $U_xC_yO_z$ и попробуем составить брутто-формулу, запишем соотношение:

$$x : y : z = \frac{0.7212M}{238.03} : \frac{0.0364M}{12.01} : \frac{0.2424M}{16} = 0.003 M : 0.003 M : 0.015 M,$$

где M — молекулярная масса вещества.

Получим, что $x : y : z = 1 : 1 : 5$, тогда формула вещества: UCO_5 или UO_2CO_3 — карбонат уранила, встречающийся в природе в виде минерала рёзерфордина.

Задача № 7

Общее условие:

Папа Карло отдал Буратино на обучение в химический класс. Но дела мальчика продвигались туго.

— Ещё раз читаю условие задачи, — упавшим голосом произнесла Мальвина. — Органическое соединение **A** состава C_9H_{12} может быть получено из органического соединения **B** состава C_3H_4 . Известно, что при галогенировании **A** в присутствии катализатора может получиться только одно моногалогенпроизводное. Галогенирование **A** при облучении также приводит к образованию единственного моногалогенпроизводного.

— Разве так бывает? — искренне удивился Буратино.

Мальвина безнадежно махнула рукой и сказала:

— Ещё как бывает! Здесь же получились в разных условиях структурные изомеры монобромпроизводных.

Условие:

Запишите название соединения **A** по номенклатуре ИЮПАК.

Ответ: 1,3,5-триметилбензол (мезитилен)

Точное совпадение ответа — 2 балла

Условие:

Запишите название соединения **B** по номенклатуре ИЮПАК.

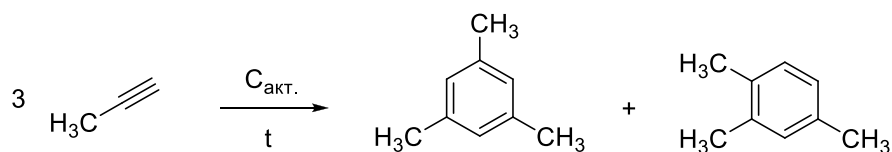
Ответ: пропин

Точное совпадение ответа — 2 балла

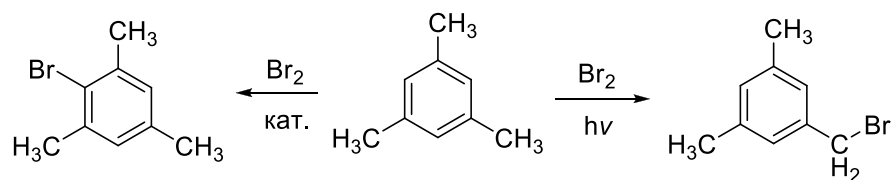
Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Хорошо известна реакция тримеризации ацетилена в бензол, она не является единственной — в реакцию тримеризации вступают и другие алкины. В задаче описана тримеризация пропина, при этом могут образоваться два продукта — 1,3,5-триметилбензол или 1,2,4-триметилбензол:



Ввиду симметричности первый из них может образовать только одно моногалогенпроизводное как в реакции по ароматическому кольцу, так и по боковой цепи:



Таким образом, вещество **A** — 1,3,5-триметилбензол (мезитилен),
вещество **B** — пропин.

Задача № 8

Общее условие:

Полимеры прочно вошли в жизнь человека. Например, инертный и термостойкий полимер X белого цвета находит широчайшее применение в промышленности и в быту. Он состоит из двух элементов, один из которых — углерод ($\omega(\text{C}) = 24\%$).

Условие:

Запишите формулу элементарного звена этого полимера.

Ответ: C_2F_4 или CF_2

Точное совпадение ответа — 2 балла

Условие:

Запишите название этого полимера.

Ответ: Тефлон

Точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

Общую формулу неизвестного полимер можно записать как $-(\text{CX}_2)_n-$

Исходя из процентного содержания углерода в полимере, на остаток, помимо углерода, приходится $12 \cdot 76 / 24 = 38$ г/моль. Это два атома фтора. Тогда элементарное звено полимера: C_2F_4 (или $\text{CF}_2\text{-CF}_2$). Название полимера — политетрафторэтилен (или тефлон). Как следует из названия, он образуется при полимеризации тетрафторэтилена.

Задача № 9

Общее условие:

В результате нагревания бензола со смесью концентрированных серной и азотной кислот химиком Колбочкиным было получено два основных продукта: жёлтое жидкое вещество с приятным запахом ($\omega(\text{C}) = 58.5\%$) и бесцветное твёрдое вещество ($\omega(\text{C}) = 42.9\%$).

Условие:

Запишите название жёлтого жидкого вещества по номенклатуре ИЮПАК.

Ответ: Нитробензол

Точное совпадение ответа — 2 балла.

Условие:

Запишите название бесцветного твёрдого вещества по номенклатуре ИЮПАК.

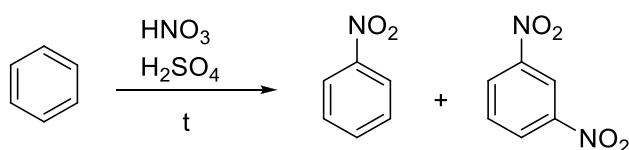
Ответ: 1,3-динитробензол

Точное совпадение ответа — 2 балла.

Максимальный балл за задание — 4 балла

Решение.

При нагревании бензола смесью концентрированных серной и азотной кислот (нитрующая смесь) происходит реакция электрофильного замещения водорода в кольце на нитрогруппу и образуется нитробензол (жёлтое жидкое вещество с приятным запахом). Это подтверждается расчётом процентного содержания углерода: $12 \cdot 6 / (12 \cdot 6 + 5 + 46) = 0.585$.



Для нахождения второго продукта определим его молярную массу. Так как число атомов углерода в процессе реакции, вероятно, сохраняется, то молярная масса второго вещества: $12 \cdot 6 / 0.429 = 168$ г/моль. Вычитая массу, приходящуюся на 6 атомов углерода и 4 атома водорода, получим 92 г/моль, что соответствует двум нитрогруппам. Таким образом, второй продукт — это продукт нитрования нитробензола. Нитрогруппа вследствие своих акцепторных свойств является мета-ориентантом, поэтому продуктом является 1,3-динитробензол.

Задание № 10

Условие:

Проучившись 4 года на химическом факультете, Незнайка (или уже Знайка!) отправился проводить химический анализ. Он получил задание определить состав неизвестного вещества общей формулой $C_nH_{2n+1}NH_2$.



«Меня учили, что для определения состава органических веществ можно сжечь образец, а продукты сгорания пропустить через сосуды с сухой щёлочью, металлическим магнием и сухим пентаоксидом фосфора... только я забыл порядок, в котором эти сосуды должны следовать друг за другом!».
Помогите Незнайке вспомнить порядок следования сосудов.

Ответ:

- ✓ Пентаоксид фосфора
- ✓ Сухая щёлочь
- ✓ Металлический магний

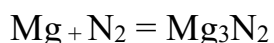
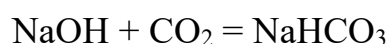
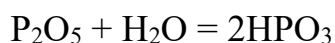
Точное совпадение ответа — 4 балла

Решение.

Исходя из брутто-состава $C_nH_{2n+1}NH_2$ становится понятно, что это вещество относится к классу предельных аминов. При его сгорании в качестве продуктов образуются углекислый газ, вода и азот. При пропускании этих продуктов

через склянки с сухой щёлочью, пентаоксидом фосфора и металлическим магнием в склянках будут протекать соответствующие реакции, и по изменению их масс можно будет проводить количественный анализ и судить о составе вещества. Наиболее целесообразно первой по очереди склянкой выбрать сосуд с пентаоксидом фосфора — он поглотит в себя пары воды. Далее будет следовать склянка со щёлочью, с которой вступит в реакцию углекислый газ. Оставшийся азот вступит в реакцию с металлическим магнием в третьей склянке.

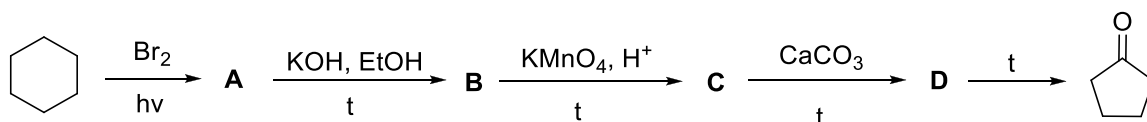
Если газообразные продукты реакции запустить сначала в склянку со щёлочью, то поглотятся и углекислый газ, и пары воды. Неправильным будет и пускать первой склянку с магнием — при нагревании он вступит в реакцию с углекислым газом и парами воды. Уравнения реакций:



Задание № 11

Условие:

Расшифруйте цепочку превращений, если известно, что неприятно пахнущее вещество **В** содержит 87.73 % углерода по массе.



Запишите молярные массы соединений **A**, **B**, **C**, **D**. Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

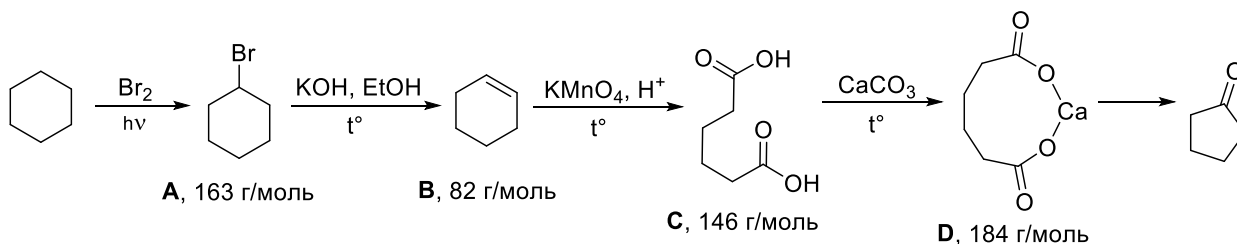
Ответ:

Соединение	A	B	C	D
Молярная масса	163	82	146	184

За каждый верный пункт — 1 балл, всего — 4 балла

Решение.

Бромирование циклогексана в радикальных условиях приводит к образованию бромциклогексана, а его нагревание со спиртовым раствором щёлочи даёт циклогексен. Результатом окисления перманганатом в кислой среде при нагревании является адипиновая кислота, которая при нагревании реагирует с карбонатом кальция, образуя соль **D**. Пиролиз адипината кальция приводит к отщеплению карбоната кальция и образованию циклопентанона. Схема реакций с загаданными веществами:



Задача № 12

Условие:

При кислотном гидролизе сложного эфира состава $C_9H_{10}O_2$ образуются два органических соединения **A** и **B**. Известно, что **A** и **B** способны взаимодействовать с металлическим натрием и раствором гидроксида натрия, но не реагируют с иодоводородной кислотой. Соединение **B**, в отличие от **A**, способно вступать в реакции электрофильного замещения. Изомерное веществу **B** вещество **C** не реагирует с натрием и гидроксидом натрия, но взаимодействует с HCl . При этом так же, как и **B**, оно может вступать в реакции электрофильного замещения.

К каким классам соединений относятся вещества **A**, **B** и **C**?

Ответ:

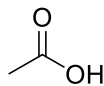
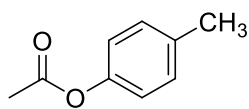
Карбоновые кислоты	A
Фенолы	B
Простые эфиры	C
Спирты	
Карбонильные соединения	
Сложные эфиры	

За каждую верную пару — 1 балл, всего — 3 балла

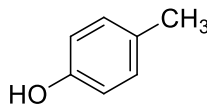
Решение.

Обычно при гидролизе сложного эфира образуется карбоновая кислота и спирт. Так как в условии сказано, что продукты гидролиза — соединения **A** и **B** — не реагируют с иодоводородной кислотой, то **B** — не спирт, а вещество класса фенолов (спирты реагируют с HCl). Это подтверждается также тем, что соединение **B** реагирует с гидроксидом натрия (спирты не реагируют) и вступает в реакции электрофильного замещения, что характерно для реакций ароматических соединений.

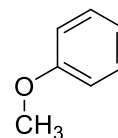
Вещество **С**, являющееся изомером **В**, не реагирует с натрием и гидроксидом натрия, следовательно, в его составе нет гидроксильной группы, но сохраняется ароматическое кольцо (**В** вступает в реакции электрофильного замещения). Вещество **В** является простым эфиром фенола, действительно, простые эфиры реагируют с HI. Возможный вариант структур веществ:



A



B



C