

Решение заданий Всероссийской олимпиады школьников по химии
(муниципальный этап)
11 класс
2022-2023 учебный год

Задание 11-1. В настоящее время возросло число случаев аллергии на синтетические средства ухода за кожей. Поэтому возрастает интерес к производству мыла из природных жиров, в том числе пищевых. Для этого на жир действуют раствором щёлочи, в результате чего происходит его омыление. Определите структурную формулу жира, если известно, что он является простым (см. рис.1), т.е. содержит три одинаковых остатка насыщенной высшей жирной карбоновой кислоты (ВЖК). На омыление 150,0013 г триглицерида (жира) было затрачено 82,83 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,2191$ г/мл).

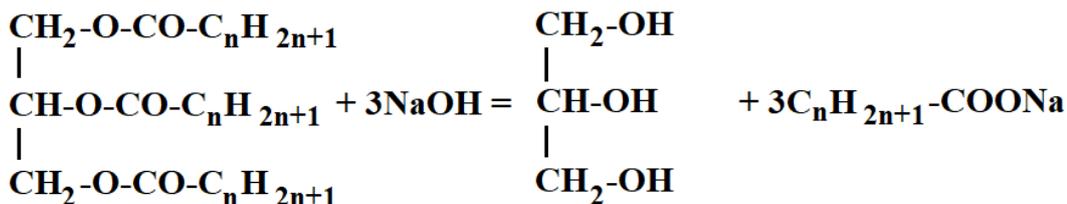


Рис. 1. Общая схема гидролиза жира

Вопросы.

1. Произведите расчёты, необходимые для определения количества вещества щёлочи, потраченной на омыление жира.
2. Выполните расчёты, необходимые для определения структурной формулы простого жира.
3. Напишите структурную формулу жира, о котором идёт речь в задаче, дайте ему название.
4. Составьте уравнение реакции омыления простого жира, используя полученную структурную формулу жира. **(10 баллов)**

Решение:

1. Рассчитываем количества вещества щёлочи, потраченной на омыление жира.

$$1) m(20\% \text{ ра-ра NaOH}) = V(20\% \text{ ра-ра NaOH}) \cdot \rho(20\% \text{ ра-ра NaOH})$$

$$m(20\% \text{ ра-ра NaOH}) = 82,83 \text{ мл} \cdot 1,2191 \text{ г/мл} = 100,98 \text{ г}$$

$$2) m(\text{NaOH}) = m(20\% \text{ ра-ра NaOH}) \cdot \omega(\text{NaOH})$$

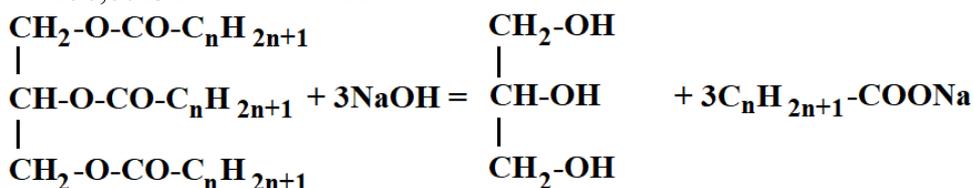
$$m(\text{NaOH}) = 100,98 \text{ г} \cdot 0,2 = 20,20 \text{ г}$$

$$3) n(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH}) : M(\text{NaOH})$$

$$n(\text{NaOH}) = 20,20 \text{ г} : 40,00 \text{ г/моль} = 0,50 \text{ моль}$$

2. Рассчитываем молярную массу жира и число атомов углерода, содержащихся в кислотном остатке кислоты:

$$150,0013 \text{ г} \quad \text{х г}$$



жир (триглицерид)

1 моль

мыло (натриевая соль ВЖК)

3 моль

$$1) n(\text{жира}) = 1/3 n(\text{NaOH})$$

$$n(\text{жира}) = 1/3 \cdot 0,50 \text{ моль} = 0,167 \text{ моль}$$

$$2) M(\text{жира}) = m(\text{жира}) : n(\text{жира})$$

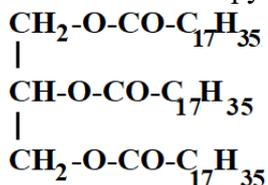
$$M(\text{жира}) = 150,0013 \text{ г} : 0,167 \text{ моль} = 898 \text{ г/моль}$$

$$3) M(\text{жира}) = 41 \text{ г/моль} + 3 \cdot 12 \text{ г/моль} + 6 \cdot 16 \text{ г/моль} + 3 \cdot (12n + 2n + 1) = 176 + 42n$$

$$176 + 42n = 898 \text{ (г/моль)}$$

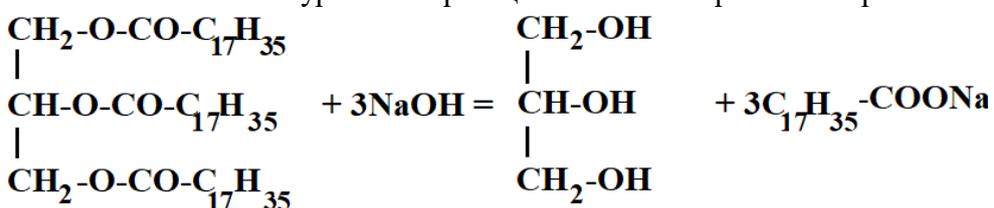
$$n = 17$$

3. Записываем структурную формулу жира и его название.



тристеарин (могут быть приведены другие названия данного жира: тристеарат глицерина, стеарин, глицериновый эфир стеариновой кислоты, тристеароилглицерин)

4. Записываем уравнение реакции омыления простого жира.



Оценивание ответов на вопросы.

№п/п	Этапы решения	Кол-во баллов
1	Расчёты, необходимые для определения количества вещества щёлочи, потраченной на омыление жира.	3
2	Расчёты, необходимые для определения структурной формулы простого жира.	3
3	Структурная формула жира, его название.	2
4	Уравнение реакции омыления простого жира.	2
		10 баллов

Задание 11-2. Вещество С – это прозрачная и бесцветная жидкость с запахом, напоминающим хлороформ, широко применяемая в промышленности и быту. Данное вещество является хорошим промышленным растворителем, компонентом инсектицидов, используется для обезжиривания металлических поверхностей и удаления загрязнений с тканей, а также представляет собой средство очистки веществ, полученных в органическом синтезе. При хлорировании вещества С образуется пентахлорэтан (**уравнение 1**), который является хладогентом «Хладон-125» в холодильниках и холодильных камерах. Однако вещество С нельзя хранить на свету, поскольку оно: 1) разлагается с образованием токсичного и воспламеняющегося дихлорацетилена (**уравнение 2**), который далее разлагается с выделением фосгена, угарного газа и хлороводорода (**уравнение 3**); 2) окисляется кислородом воздуха с образованием окиси трихлорэтилена (**уравнение 4**). В настоящее время вещество С в основном получают из отходов производства винилхлорида. Но до 1970-х гг. большую часть вещества С синтезировали в 2 стадии из ацетилен хлорированием (**уравнение 5**) и последующим дегидрохлорированием полученного продукта (**уравнение 6**) с использованием водного раствора гидроксида натрия. Вещество С также можно получить из этилена (**уравнения 7 и 8**). **14 баллов**

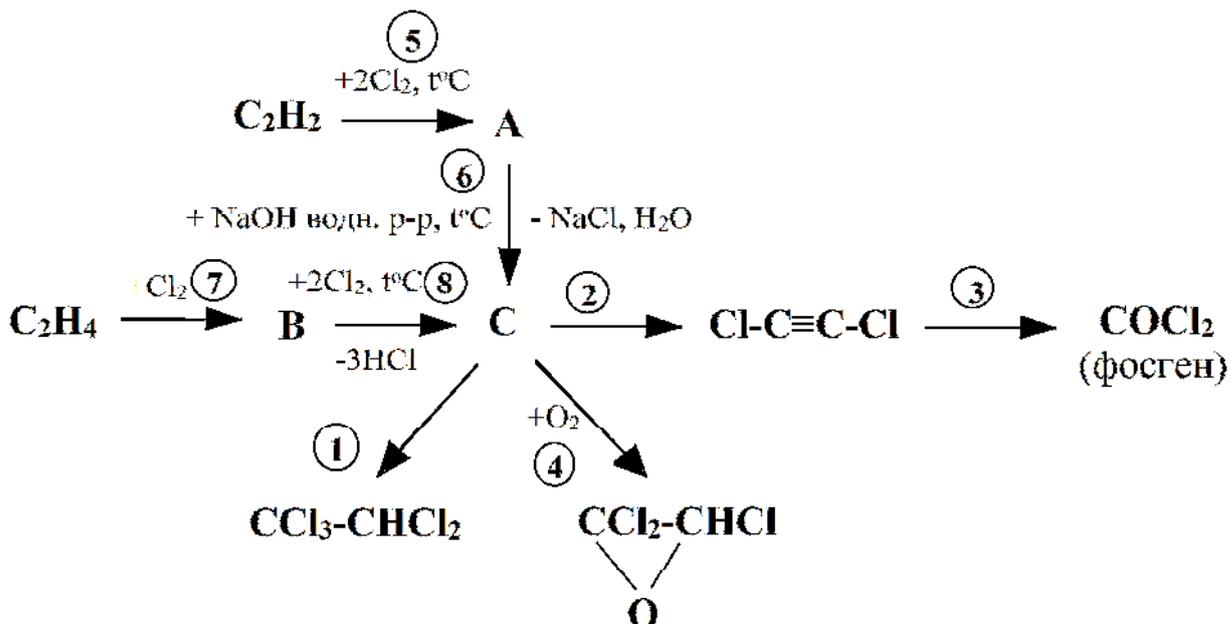


Рис. 1. Схема синтеза и превращений вещества G

Вопросы.

1. Напишите структурные формулы и названия веществ **A**, **B**, **C**.
2. Приведите уравнения химических **реакций 1-8**.
3. Рассчитайте объём ацетилена (при н.у.), который необходим для синтеза 300 кг вещества **C**.

Задача 11-2. Оценивание ответов на вопросы.

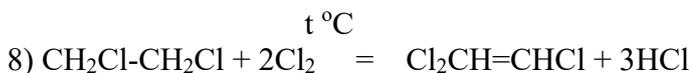
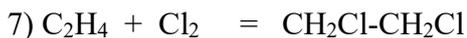
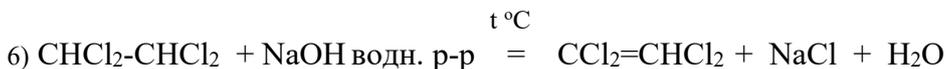
1. Структурные формулы и названия веществ **A**, **B**, **C**.

A – 1,1,2,2-тетрахлорэтан ($\text{CHCl}_2\text{-CHCl}_2$);

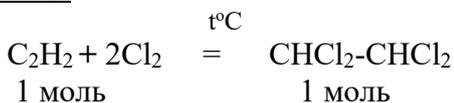
B – 1,2-дихлорэтан ($\text{CH}_2\text{Cl-CH}_2\text{Cl}$);

C – трихлорэтилен, 1,1,2-трихлорэтен ($\text{CCl}_2\text{=CHCl}$).

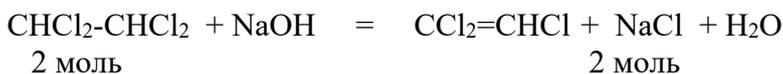
2. Уравнения химических **реакций 1-8**.



3. Расчёт объёма ацетилена (при н.у.), который необходим для синтеза 300 кг вещества **C**.



300 кг



$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = n(\text{CHCl}_2\text{-CHCl}_2) = n(\text{CCl}_2=\text{CHCl}) = m(\text{CCl}_2=\text{CHCl}) : M(\text{CCl}_2=\text{CHCl})$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = 300 \text{ кг} : 131 \text{ кг/кмоль} = 2,3 \text{ кмоль}$$

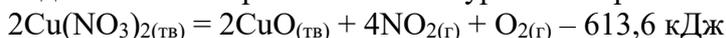
$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = 2,3 \text{ кмоль} \cdot 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль} = 51,52 \text{ м}^3.$$

№п/п	Этапы решения	Кол-во баллов
1	Структурные формулы и названия веществ А и В (по 1 баллу за каждое вещество).	2
2	Структурная формула и название вещества С .	2
3	Уравнения химических реакций 1-8 (по 1 баллу за каждое уравнение).	8
4	Расчёт объёма ацетилена (при н.у.), который необходим для синтеза 300 кг вещества С .	2
14 баллов		

Задание 11-3. При частичном термическом разложении хлората калия в присутствии катализатора выделился кислород объемом 6,72 л (в пересчете на н.у.) и образовался твердый остаток. Этот остаток прореагировал с 30%-ным раствором нитрата серебра. При этом образовалось 170 г раствора с массовой долей нитрата серебра 10%. Определите массу исходного образца хлората калия.

№п/п	Этапы решения	Кол-во баллов
1	Записаны уравнения реакций: $2\text{KClO}_3 = 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$ $\text{AgNO}_3 + \text{KCl} = \text{AgCl} + \text{KNO}_3$	1
2	Рассчитано количество вещества хлорида калия в твердом остатке и количество вещества нитрата серебра в конечном растворе: $n(\text{O}_2) = 6,72 / 22,4 = 0,3 \text{ моль}$ $n(\text{KCl}) = 2/3 n(\text{O}_2) = 0,2 \text{ моль}$ $m(\text{KCl}) = n \cdot M = 0,2 \cdot 74,5 = 14,9 \text{ г}$	2
3	Рассчитана масса и количество нитрата серебра в конечном растворе $m(\text{AgNO}_3 \text{ в конечном р-ре}) = 170 \cdot 0,1 = 17 \text{ г}$ $n(\text{AgNO}_3 \text{ в конечном р-ре}) = 17 / 170 = 0,1 \text{ моль}$	1
4	Вычислена масса исходного раствора AgNO_3 и масса осадка: $n(\text{AgNO}_3 \text{ прореагировало}) = n(\text{KCl}) = 0,2 \text{ моль}$ $n(\text{AgNO}_3 \text{ в исходном р-ре}) = 0,1 + 0,2 = 0,3 \text{ моль}$ $m(\text{AgNO}_3 \text{ в исходном р-ре}) = 0,3 \cdot 170 = 51 \text{ г}$ $m \text{ исходного р-ра} = 51 / 0,3 = 170 \text{ г}$ $n(\text{AgCl}) = n(\text{KCl}) = 0,2 \text{ моль}$ $m(\text{AgCl}) = 0,2 \cdot 143,5 = 28,7 \text{ г}$	3
5	4) Вычислена масса исходного образца KClO_3 : $m \text{ остатка} = m \text{ конечного раствора} - m \text{ исходного раствора} + m(\text{AgCl}) = 28,7 \text{ г}$ $m(\text{KClO}_3 \text{ остатка}) = 28,7 - 14,9 = 13,8 \text{ г}$ $n(\text{KClO}_3 \text{ разл.}) = n(\text{KCl}) = 0,2 \text{ моль}$ $m(\text{KClO}_3 \text{ разл.}) = 0,2 \cdot 122,5 = 24,5 \text{ г}$ $m(\text{KClO}_3) = 24,5 + 13,8 = 38,3 \text{ г}$	3
10 баллов		

Задание 11-4. Термохимическое уравнение разложения нитрата меди имеет вид:



1. Вычислите теплоту образования оксида меди (II), если известно, что теплоты образования нитрата меди (II) и оксида азота (IV) равны 394,3 кДж и – 33,8 кДж/моль

соответственно.

2. Какой объем газа (н.у.) выделился в реакции разложения X грамм нитрата меди (II), если тепловой эффект при этом составил – 122,72 кДж? Чему равно X?

3. Рассчитайте необходимый объем водорода (н.у.) для восстановления всего оксида меди (II), образовавшегося при разложении X г нитрата. **(10 баллов)**

№п/п	Этапы решения	Кол-во баллов
1	<p>Для простоты расчета поделим обе части термохимического уравнения на 2: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{тв}) = \text{CuO}(\text{тв}) + 2\text{NO}_2(\text{г}) + 0,5\text{O}_2(\text{г}) - 306,8 \text{ кДж}$</p> <p>По следствию из закона Гесса тепловой эффект реакции равен сумме теплот образования продуктов реакции за вычетом суммы теплот образования исходных веществ. Причем теплота образования простых веществ принята равной нулю.</p> <p>На этом основании составляем выражение: $Q_{\text{реакции}} = Q_{\text{обр}}(\text{CuO}) + 2Q_{\text{обр}}(\text{NO}_2) - Q_{\text{обр}}(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$, Выражаем: $Q_{\text{обр}}(\text{CuO}) = Q_{\text{реакции}} - 2Q_{\text{обр}}(\text{NO}_2) + Q_{\text{обр}}(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$.</p> <p>Подставляем в это выражение известные теплоты образования и находим теплоту образования оксида меди: $Q(\text{CuO})_{\text{обр}} = -306,8 - 2 \times (-33,8) + 394,3 = 155,1 \text{ кДж}$.</p>	4
2	<p>Исходя из термохимического уравнения, а также из данных о тепловом эффекте, рассчитаем количества веществ, прореагировавших и выделившихся в реакции:</p> <p>0,4 моль 0,4 моль 0,8 моль 0,2 моль – 122,72 кДж $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{тв}) = \text{CuO}(\text{тв}) + 2\text{NO}_2(\text{г}) + 0,5\text{O}_2(\text{г}) - 306,8 \text{ кДж}$</p> <p>Суммарное количество газов: $n(\text{газов}) = n(\text{NO}_2) + n(\text{O}_2) = 1 \text{ моль}$, $V(\text{газов}) = 1 \times 22,4 = 22,4 \text{ л}$.</p> <p>Рассчитаем количество израсходованного на реакцию нитрата меди: $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,4 \times 184 = 73,6 \text{ г}$.</p>	4
3	<p>Реакция восстановления оксида меди: $\text{CuO} + \text{H}_2 = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$</p> <p>$n(\text{H}_2) = n(\text{CuO}) = 0,4 \text{ моль}$, $V(\text{H}_2) = 0,4 \times 22,4 = 8,96 \text{ л}$.</p>	2
		10 баллов

Задание 11-5. Мысленный эксперимент. Под действием паров иода этикетка на бутылки с органическим веществом, хранившимся в сейфе, полностью обесцветилась. Для определения содержимого этой бутылки лаборант провёл исследование. Оказалось, что прозрачная бесцветная жидкость имеет знакомый резкий специфический запах, неограниченно растворяется в воде и имеет плотность 1,0477 г/мл.

К водному раствору анализируемого вещества лаборант добавил гранулу цинка и наблюдал выделение газа без цвета и запаха. Лаборант собрал выделяющийся при этом газ и подожг его. Раздался резкий хлопок.

Затем лаборант испытал действие раствора лакмуса на разбавленный водный раствор вещества. Раствор приобрёл красный цвет.

При нагревании безводной пробы жидкости с этанолом в присутствии серной кислоты образовалась маслянистая жидкость, имеющая приятный запах, напоминающий запах лака для ногтей (лёгкий фруктовый аромат).

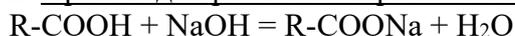
При испытании водного раствора бромной водой, аммиачным раствором нитрата серебра и хлорида железа (III) изменений не наблюдалось.

Лаборант растворил 1 мл безводной жидкости в мерной колбе объёмом 100 мл. 25,00 мл раствора испытуемого вещества он титровал 0,2 М раствором гидроксида натрия в присутствии фенолфталеина до бледно-розовой окраски. Средний объём раствора гидроксида натрия, затраченный на титрование пробы, составил 21,25 мл. Определите, какое вещество содержится в бутылки, укажите его название и напишите уравнения реакций, о которых идёт речь в проведённом исследовании. **(10 баллов)**

Решение

1. Высказано предположение о том, что в бутылки содержится предельная карбоновая кислота: водный раствор кислоты взаимодействует с цинком с образованием газообразного водород, который сгорает с хлопком; при нагревании с этанолом в присутствии серной кислоты образуется сложный эфир, имеющий приятный запах.

2. Произведён расчёт молярной массы карбоновой кислоты.



$$1) \text{C(R-COOH)} \cdot \text{V(R-COOH)} = \text{C(NaOH)} \cdot \text{V(NaOH)}$$

$$\text{C(R-COOH)} = \text{C(NaOH)} \cdot \text{V(NaOH)} : \text{V(R-COOH)}$$

$$\text{C(R-COOH)} = 0,2 \text{ моль/л} \cdot 0,02125 : 0,02500 \text{ л} = 0,1700 \text{ моль/л}$$

$$n_{\text{всего}}(\text{R-COOH}) = \text{C(R-COOH)} \cdot \text{V(R-COOH)}$$

$$n_{\text{всего}}(\text{R-COOH}) = 0,1700 \text{ моль/л} \cdot 0,100 \text{ л} = 0,0170 \text{ моль}$$

$$m(\text{R-COOH}) = \rho(\text{R-COOH}) \cdot \text{V(R-COOH)}$$

$$m(\text{R-COOH}) = 1,0477 \text{ г/мл} \cdot 1 \text{ мл} = 1,0477 \text{ г}$$

$$M(\text{R-COOH}) = m(\text{R-COOH}) : n(\text{R-COOH})$$

$$M(\text{R-COOH}) = 1,0477 \text{ г} : 0,0170 \text{ моль} = 61 \text{ г/моль}$$

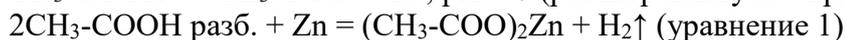
$$2) M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{-COOH}) = 12n + 2n + 1 + 12 + 16 \cdot 2 + 1 = 61 \text{ г/моль}$$

$$14n + 46 = 61$$

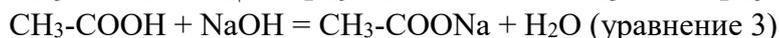
$$n = 1$$

3. Указано вещество и написана его структурная формула: уксусная кислота – CH_3COOH .

4. Написаны уравнения реакций взаимодействия уксусной кислоты с цинком и этанолом.



H_2SO_4 конц.



Оценивание ответов на вопросы.

№п/п	Этапы решения	Число баллов
1	Высказано предположение о том, что в бутылки содержится предельная карбоновая кислота.	1
2	Произведён расчёт молярной массы карбоновой кислоты.	4
3	Указано вещество и написана его структурная формула: уксусная кислота – CH_3COOH .	2
4	Написаны уравнения реакций взаимодействия уксусной кислоты с цинком и этанолом (по 1 баллу за каждое уравнение).	3
		10 баллов