

Максимальное количество баллов за олимпиаду — 100

Задание 1.

Запишите химические формулы всех устойчивых при обычных условиях веществ, в молекулах которых содержится по 10 протонов. Рассматривайте только наиболее распространённые изотопы.

Ответ:

- ✓ HF
- ✓ NH₃
- ✓ H₂O
- ✓ CH₄

Критерий оценивания: за каждую верно записанную формулу — 1 балл; если указано более 5 ответов, то результат — 0 баллов

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

Такие молекулы могут быть составлены только из элементов начала периодической системы: водорода, лития, бериллия, бора, углерода, азота, кислорода и фтора. Перебираем число атомов водорода в молекуле.

Если атом водорода один, на остальную часть молекулы приходится 9 протонов. Это фтороводород HF. Устойчивых молекул вроде HLiC или HBeV не существует.

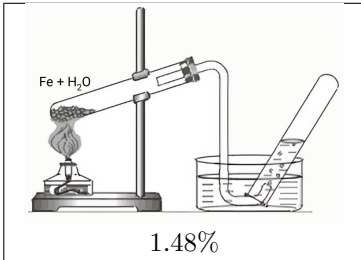
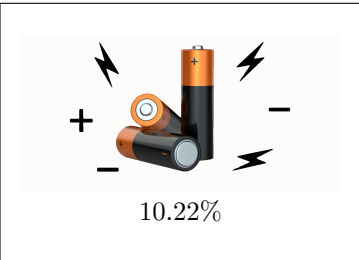
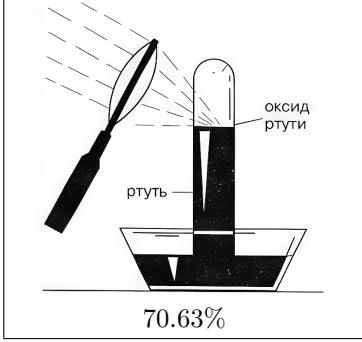

Если атомов водорода два, остаётся 8 протонов. Получаем воду H₂O.

Если атомов водорода три, остаётся 7 протонов. Это аммиак NH₃.

Если атомов водорода четыре, остаётся 6 протонов. Это метан CH₄.

Задание 2.

В ребусе зашифровано некоторое соединение. Рисунки соответствуют элементам, а числа показывают их процентное содержание по массе. Заполните пропуски в таблице символами элементов. При расчётах атомные массы округляйте до целых.

 <p>1.48%</p>	 <p>10.22%</p>
 <p>70.63%</p>	 <p>17.67%</p>

Ответ:

1.48%	H
10.22%	Li
70.63%	O
17.67%	C

Критерий оценивания: за каждый верно определённый элемент в таблице — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4

Задание 3.

Запишите формулу вещества.

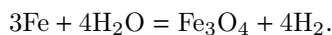
Ответ: LiHCO₃.

Критерий оценивания: за формулу вещества — 4 балла

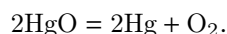
Максимальный балл за задание — 4

Решение. Задания 2–3

Определим качественный состав вещества. При взаимодействии паров воды с раскалённым железом выделяется водород:



Поэтому первый рисунок соответствует водороду. Современные батарейки часто литий-ионные, значит второй рисунок указывает на литий. При нагревании оксид ртути разлагается с выделением кислорода:



Бриллиант — обработанный алмаз, одна из аллотропных модификаций углерода. Следовательно, состав можно записать в виде $\text{Li}_a\text{H}_b\text{C}_c\text{O}_d$.

Пусть в формульной единице содержится один атом углерода. Тогда

$$d = \frac{70.63 \cdot 12}{17.67 \cdot 16} \approx 3.$$

Аналогично получаем, что на один атом углерода приходится по одному атому лития и водорода. Следовательно, зашифрованное вещество — гидрокарбонат лития LiHCO_3 .

Задание 4.**Вариант 1.**

«Кислотно-основные индикаторы - это вещества, меняющие окраску в зависимости от кислотности среды», - отвечала Катя. - «С их помощью можно отличать кислоты от оснований».

«А что с растворами солей?» - поинтересовался Андрей. - «Их растворы не кислые и не щелочные?»

«По-разному. Всё зависит от того, какой кислотой и каким основанием образована соль. И цвет индикатора тут даёт важную информацию. Связь цвета индикатора, который он приобретает при попадании в раствор соли, с её составом вполне однозначна».

Индикаторы внесли в разбавленные растворы некоторых солей. Какой цвет приобрели растворы? Варианты цветов: синий, оранжевый, бесцветный, зелёный, малиновый, фиолетовый, жёлтый.

- фенолфталеин в растворе ацетата натрия;
- метилоранж в растворе гидрокарбоната калия;
- фенолфталеин в растворе бромида аммония;
- лакмус в растворе иодида лития.

Ответ:

Фенолфталеин в растворе ацетата натрия	малиновый
Метилоранж в растворе гидрокарбоната калия	жёлтый
Фенолфталеин в растворе бромида аммония	бесцветный
Лакмус в растворе иодида лития	фиолетовый

Критерий оценивания: за каждую верную пару — 1 балл; за каждую неверную пару снимается 1 балл

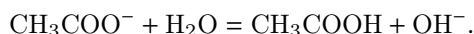
Максимальный балл за задание — 4

Решение.

Окраска индикатора определяется реакцией среды, а она в растворах солей зависит от гидролиза.

Индикатор	кислая среда	нейтральная среда	щёлочная среда
Лакмус	розовый	фиолетовый	синий
Метилоранж	красный	оранжевый	жёлтый
Фенолфталеин	бесцветный	бесцветный	малиновый

Ацетат натрия — соль сильного основания и слабой кислоты, гидролиз идёт по аниону, среда щёлочная:



Поэтому фенолфталеин становится малиновым.

Гидрокарбонат калия тоже даёт щёлочную среду, поэтому метилоранж будет жёлтым.

Бромид аммония — соль слабого основания и сильной кислоты. Гидролиз идёт по катиону:



Среда кислая, фенолфталеин остаётся бесцветным.

Иодид лития образован сильным основанием и сильной кислотой, гидролиз практически не идёт, среда нейтральная, лакмус имеет фиолетовую окраску.

Задание 4. Вариант 2.

«Кислотно-основные индикаторы - это вещества, меняющие окраску в зависимости от кислотности среды», - отвечала Катя. - «С их помощью можно отличать кислоты от оснований».

«А что с растворами солей?» - поинтересовался Андрей. - «Их растворы не кислые и не щелочные?»

«По-разному. Всё зависит от того, какой кислотой и каким основанием образована соль. И цвет индикатора тут даёт важную информацию. Связь цвета индикатора, который он приобретает при попадании в раствор соли, с её составом вполне однозначна».

Индикаторы внесли в разбавленные растворы некоторых солей. Какой цвет приобрели растворы? Варианты цветов: синий, оранжевый, бесцветный, зелёный, малиновый, фиолетовый, жёлтый.

- лакмус в растворе сульфида натрия;
- метилоранж в растворе бромида натрия;
- фенолфталеин в растворе сульфида натрия;
- лакмус в растворе бромида натрия.

Ответ:

Лакмус в растворе сульфида натрия	синий
Метилоранж в растворе бромида натрия	оранжевый
Фенолфталеин в растворе сульфида натрия	малиновый
Лакмус в растворе бромида натрия	фиолетовый

Критерии оценивания и Решение по аналогии с вариантом 1**Задание 5.**

Три изомерных соединения *A*, *B*, *C* имеют одинаковый состав $C_3H_6O_2$. Все они реагируют с раствором $NaOH$. *A* и *B* подвергаются кислотному гидролизу. Вещество *A* вступает в реакцию серебряного зеркала, а вещество *C* при взаимодействии с металлическим натрием выделяет водород.

- К какому классу соединений относится вещество *C*?
- Какая функциональная группа вещества *A* участвует в реакции серебряного зеркала?

Ответ:

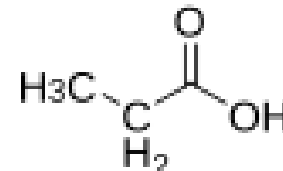
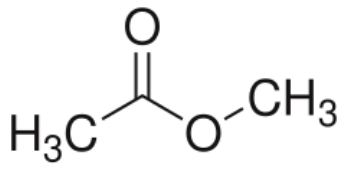
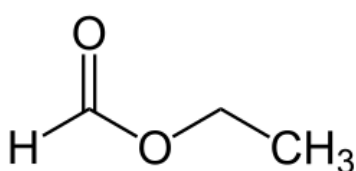
- Карбоновые кислоты
- Альдегидная группа

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Из условия следует, что вещества *A* и *B* — сложные эфиры, а вещество *C* — карбоновая кислота. Тогда возможны следующие структуры:



A — этилформиат. Он подвергается щелочному и кислотному гидролизу и реагирует с аммиачным раствором оксида серебра. За эту реакцию отвечает альдегидная группа, содержащаяся в формиатном фрагменте.

B — метилацетат. Он также гидролизует в кислой и щелочной среде.

C — пропионовая кислота. Она реагирует и с гидроксидом натрия, и с металлическим натрием с выделением водорода, следовательно, относится к классу карбоновых кислот.

Задание 6.

Углеводород *A* состава C_6H_{10} содержит в молекуле один четвертичный атом углерода и взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра с образованием осадка.

- Сколько первичных sp^3 -гибридизованных атомов углерода содержится в молекуле *A*?
- К какому классу органических соединений относится продукт гидратации углеводорода *A*?

Ответ:

- 3
- Кетоны

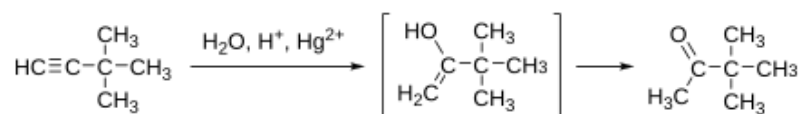
Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

С аммиачным раствором оксида серебра реагируют только терминальные алкины, то есть в молекуле есть фрагмент $\text{HC} \equiv \text{C}-$.

Учитывая наличие одного четвертичного атома углерода, единственной подходящей структурой является 3.3-диметилбутин-1. В его молекуле три первичных sp^3 -гибридизованных атома углерода.



При гидратации по Кучерову образуется 3.3-диметилбутан-2-он, то есть соединение класса кетонов.

Задание 7.

Учитель вошёл в класс в отличном настроении.

«Я доволен результатами ваших контрольных работ, - обратился он к ученикам, - только вот Никита вместо решения последней задачи написал: „Это мы не проходили!“». А ведь знание свойств соединения позволяет предположить его структуру».

«Давайте обсудим эту задачу».

Соединение А впервые было выделено из коры белой ивы (*Salix* sp.). Ивовая кора традиционно использовалась для лечения ревматизма и в качестве жаропонижающего средства. Химики выделили из неё активный компонент, который затем и превратили в соединение А состава $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$, обладающее антисептическими свойствами. На основе соединения А получают и другие более эффективные жаропонижающие средства.

Известно, что соединение А реагирует в мольном соотношении 1 : 2 как с металлическим натрием с выделением водорода, так и со щёлочью. Заместители в структурной формуле вещества А находятся в соседних положениях. При добавлении к веществу А раствора хлорида железа (III) проявляется насыщенный сине-фиолетовый цвет с небольшим красноватым оттенком.

а) Соединения какого класса дают подобную реакцию на хлорид железа (III)?

б) У соединения А имеются изомеры, отличающиеся от А расположением функциональных групп. Сколько существует таких изомеров?

Ответ:

а) Фенолы

б) 2

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Задание 8.

Магний является важным микроэлементом, необходимым для нормальной работы организма человека. Для лучшей усвояемости препараты магния выпускаются в виде солей органических кислот.

В каком препарате процентное содержание магния по массе наибольшее?

Глицинат магния	$\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_4\text{NO}_2)_2$
Цитрат магния	$\text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$
Малат магния	$\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5)_2$
Аспарагинат магния	$\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_6\text{NO}_4)_2$

Ответ: Цитрат магния $\text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$

Критерий оценивания: за верный ответ — 4 балла

Максимальный балл за задание — 4

Задание 9.

Какая масса глицината магния соответствует суточной норме потребления магния (400 мг)? Ответ выразите в граммах, округлите до десятых.

Ответ: 2.8 г

Критерий оценивания: за верный ответ — 4 балла

Максимальный балл за задание — 4

Решение. Задания 8–9

Найдём массовую долю магния в каждом препарате.

Глицинат магния $\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_4\text{NO}_2)_2$ содержит

$$100 \cdot \frac{24}{172} = 14.1\% \text{ магния.}$$

Цитрат магния $\text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$ содержит

$$100 \cdot \frac{3 \cdot 24}{451} = 16.2\%.$$

Малат магния $\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_5)_2$ содержит

$$100 \cdot \frac{24}{290} = 8.4\%.$$

Аспарагинат магния $\text{Mg}(\text{C}_4\text{H}_6\text{NO}_4)_2$ содержит

$$100 \cdot \frac{24}{288} = 8.4\%.$$

Наибольшее процентное содержание магния у цитрата магния.

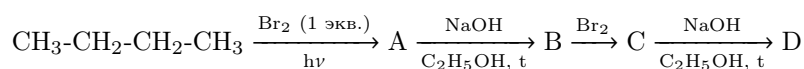
Суточную дозу элемента можно получить из

$$\frac{400}{0.141} \approx 2837 \text{ мг} = 2.8 \text{ г.}$$

То есть требуется 2.8 г глицината магния.

Задание 10.

Углеводород *D* может быть получен из бутана согласно схеме:



Определите молярные массы веществ *A–D*. Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

Ответ:

<i>A</i>	137
<i>B</i>	56
<i>C</i>	216
<i>D</i>	54

Критерий оценивания: за каждую верную молярную массу — 2 балла

Максимальный балл за задание — 8

Задание 11.

К какому классу соединений относится вещество *B*?

- Алкены
- Алканы
- Диены
- Алкины

Ответ: алкены

Критерий оценивания: за верно указанный класс — 2 балла

Максимальный балл за задание — 2

Задание 12.

К какому классу соединений относится вещество *D*?

- Алкены
- Алканы
- Диены
- Алкины

Ответ: алкины

Критерий оценивания: за верно указанный класс — 2 балла

Максимальный балл за задание — 2

Решение. Задания 10–12

Первая стадия — радикальное бромирование бутана. Оно легче идёт при вторичном атоме углерода, поэтому образуется в основном 2-бромбутан А:

$$M(A) = 4 \cdot 12 + 9 \cdot 1 + 80 = 137 \text{ г/моль.}$$

Вторая стадия — отщепление бромоводорода в спиртовом растворе щёлочи. По правилу Зайцева образуется бутен-2 В, относящийся к классу алкенов:

$$M(B) = 4 \cdot 12 + 8 \cdot 1 = 56 \text{ г/моль.}$$

Третья стадия — присоединение брома по двойной связи. Получаем 2,3-дибромбутан С:

$$M(C) = 4 \cdot 12 + 8 \cdot 1 + 2 \cdot 80 = 216 \text{ г/моль.}$$

Четвёртая стадия — отщепление двух молекул бромоводорода по правилу Зайцева. Образуется бутин-2 D, который относится к классу алкинов:

$$M(D) = 4 \cdot 12 + 6 \cdot 1 = 54 \text{ г/моль.}$$

Задание 13.**Вариант 1.**

Учитель химии и по совместительству агроном-любитель Семён Петрович решил приготовить ценное микроудобрение - цинковый купорос, семиводный кристаллогидрат (гептагидрат) сульфата цинка. Ему известно, что это вещество можно получить растворением металла в водном растворе кислоты.

В его небольшой домашней лаборатории было 15.0 г цинка, который он добыл из отработанных солевых батареек, и 40.0 мл электролита, который используется в свинцовых аккумуляторах. Измерив плотность электролита (она оказалась равной 1.26 г/мл), Семён Петрович с помощью справочника нашёл, что электролит представляет собой 35%-ный водный раствор серной кислоты.

а) Сколько сульфата цинка химик может получить из имеющихся у него металла и сернокислотного электролита? Ответ выразите в молях, округлите до сотых.

б) Какую массу цинкового купороса можно получить из этого количества? Ответ выразите в граммах, округлите до десятых.

Ответ:

а) 0.18 моль

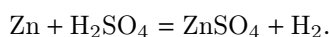
а) 51.7 г

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Уравнение реакции:



Количество цинка:

$$\nu(\text{Zn}) = \frac{15.0}{65} = 0.23 \text{ моль.}$$

Масса серной кислоты в электролите:

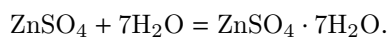
$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 40.0 \cdot 1.26 \cdot 0.35 = 17.64 \text{ г.}$$

Количество серной кислоты:

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{17.64}{98} = 0.18 \text{ моль.}$$

В избытке цинк, а серная кислота будет вся израсходована. Расчёты ведём по количеству серной кислоты: сульфата цинка получится 0.18 моль.

Формула цинкового купороса: $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.



Из 0.18 моль сульфата цинка можно получить такое же количество гептагидрата сульфата цинка. Тогда

$$m(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 0.18 \cdot 287 = 51.66 \text{ г} \approx 51.7 \text{ г.}$$

Задание 13. Вариант 2.

Для второго варианта даны: 12.0 г цинка, 30.0 мл электролита, плотность 1.30 г/мл, массовая доля серной кислоты 40%.

Ответ:

- а) 0.16 моль
б) 45.7 г

Критерии оценивания и Решение по аналогии с вариантом 1**Задание 13. Вариант 3.**

Для третьего варианта даны: 16.0 г цинка, 40.0 мл электролита, плотность 1.22 г/мл, массовая доля серной кислоты 30%.

Ответ:

- а) 0.15 моль
б) 42.9 г

Критерии оценивания и Решение по аналогии с вариантом 1**Задание 14.****Вариант 1.**

Незнайке поручили провести количественный анализ смеси пропена и пропана, образующейся побочно при производстве топлива для обогрева Солнечного города. Для этого он собрал 1 л этой смеси (н. у.) и пропустил её через избыток раствора брома в тетрахлорметане, при этом образовалось 3.61 г продукта. Остаток газовой смеси был сожжён в избытке кислорода, при этом образовалось 3.54 г углекислого газа.

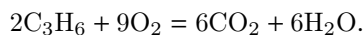
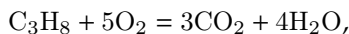
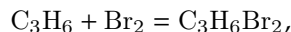
- а) Определите объёмную долю пропена. Ответ выразите в процентах, округлите до целых.
б) Какая масса углекислого газа образовалась бы, если сгорание газовой смеси в избытке кислорода было проведено до её пропускания через раствор брома в тетрахлорметане? Ответ выразите в граммах, округлите до сотых.

Ответ:

- а) 40%
а) 5.90 г

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 4 балла**Максимальный балл за задание — 8****Решение.**

Уравнения реакций:



Количество пропена определяем по массе дибромпроизводного:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = \nu(\text{C}_3\text{H}_6\text{Br}_2) = \frac{3.61}{202} = 0.01787 \text{ моль}.$$

Количество пропана определяем по массе углекислого газа, полученного после удаления пропена:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{\nu(\text{CO}_2)}{3} = \frac{3.54}{3 \cdot 44} = 0.02682 \text{ моль}.$$

Объёмная доля пропена в исходной смеси:

$$\varphi = \frac{0.01787}{0.01787 + 0.02682} = 0.40 = 40\%.$$

Если проводить сгорание сразу всего объёма исходной смеси, дополнительный углекислый газ даст пропен:

$$3 \cdot 0.01787 \cdot 44 = 2.36 \text{ г}.$$

Значит, общая масса CO_2 составит

$$3.54 + 2.36 = 5.90 \text{ г}.$$

Задание 14. Вариант 2.

Во втором варианте после обработки бромом образовалось 1.944 г продукта, а после сжигания остатка смеси — 6.34 г углекислого газа.

Ответ:

- а) 80%
б) 7.92 г

Критерии оценивания и Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 15.

В ребусе зашифрован химический состав кислоты, которая содержится в природе и используется в качестве реактива для обнаружения катионов некоторых металлов, например кальция. Рисунки соответствуют элементам, а числа показывают их процентное содержание по массе.



2.22%



26.7%



71.1%

- а) Запишите брутто-формулу кислоты.
б) Запишите тривиальное название кислоты.
в) Как называются соли этой кислоты?

Ответ:

- а) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$
б) щавелевая
в) оксалаты

Критерий оценивания: за формулу — 6 балла; за название кислоты — 4 балла; за название солей — 4 балла

Максимальный балл за задание — 14

Решение.

На первом рисунке показан стакан с водой и льдом. Формула воды — H_2O , значит под этим рисунком может быть либо водород, либо кислород. На втором рисунке изображён древесный уголь, значит это углерод. На третьем рисунке медсестра наполняет подушку газом из баллона; в медицине часто используют кислород. Следовательно, первый рисунок соответствует именно водороду.

Ищем простейшую формулу кислоты $\text{H}_x\text{C}_y\text{O}_z$:

$$x : y : z = \frac{2.22}{1} : \frac{26.7}{12} : \frac{71.1}{16} = 1 : 1 : 2.$$

Получаем простейшую формулу HCO_2 . Однако реальная структура кислоты показывает, что формульную единицу нужно удвоить. Следовательно, брутто-формула — $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

Это щавелевая кислота, а её соли называются оксалатами.

Задание 16.

Некоторое широко применяемое органическое вещество при стандартных условиях представляет собой газ, который легко сжимается в испаряющуюся жидкость. Это вещество используют в качестве хладагента (теплоносителя в холодильных установках), экстрагента эфирных масел с высокой растворяющей способностью, аэрозольного пропеллента (наполнителя аэрозольных баллончиков, который выталкивает и раздробливает на мелкие капли жидкое содержимое баллона при нажатии на распылительную головку), а также его рассматривают как перспективное экологичное топливо для дизельных двигателей.

При стандартных условиях (25 °С, 1 атм / 760 мм рт. ст.) газ имеет плотность 1.880 г/л. 520 мл этого газа сожгли в избытке воздуха, при этом образовалось только два продукта реакции и выделилось 31.0 кДж теплоты.

- а) Запишите название этого газа.
б) Чему равна стандартная теплота образования этого газа в расчёте на один моль? Ответ выразите в кДж/моль, округлите до целых. Стандартные теплоты сгорания графита и водорода равны 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно.

Ответ:

а) Диметиловый эфир

б) 186 кДж/моль

Критерий оценивания: за название вещества — 4 балла; за значение стандартной теплоты образования — 6 баллов

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

Из уравнения Менделеева-Клапейрона $pV = nRT$ и формулы $n = m/M$ получаем выражение для плотности газа:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{Mp}{RT}.$$

Значит, зная плотность газа при данном давлении и температуре, можно найти его молярную массу:

$$M = \frac{dRT}{p}.$$

Подставляя численные данные в системе СИ, получаем $M = 46.0$ г/моль.

При сгорании вещества в избытке кислорода образуются только углекислый газ и вода. Следовательно, молекула обязательно содержит углерод и водород; возможен также кислород. Из простого перебора молекул с одним или двумя атомами углерода получаем брутто-формулу C_2H_6O и структурную формулу $CH_3 - O - CH_3$. Это диметиловый эфир (метоксиметан). Муравьиная кислота и этанол при условиях задачи были бы жидкостями.

Найдём количество сгоревшего диметилового эфира:

$$\nu(C_2H_6O) = \frac{pV}{RT} = 2.126 \cdot 10^{-2} \text{ моль}.$$

При сгорании этого количества вещества выделилось 31.0 кДж теплоты, значит, молярная теплота сгорания диметилового эфира равна

$$Q_{\text{сг}} = \frac{31.0}{2.126 \cdot 10^{-2}} \approx 1458 \text{ кДж/моль}.$$

Используя стандартные теплоты образования CO_2 и H_2O , получаем:

$$Q_{\text{обр}}(C_2H_6O(g)) = 2 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - 1458 = 186.4 \text{ кДж/моль}.$$

Следовательно, стандартная теплота образования газа составляет примерно 186 кДж/моль.