

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

Задача № 3 Вариант № 1 (40 баллов)

Смесь алифатических углеводородов (УВ) состоит из двух веществ, одно из которых обесцвечивает бромную воду. При разложении этих УВ под действием искрового электрического разряда образуются углерод и водород, причем объем образующегося водорода в обоих случаях втрое больше, чем объем исходного УВ при одинаковых условиях. При сжигании одинаковых объемов исходных УВ (температура выше 100 °С) объемы продуктов сгорания относятся друг к другу, как 5:6. Если смесь УВ сжечь и продукты совместного сжигания пропустить сначала через сухой хлорид кальция, а затем через раствор гидроксида калия, то масса сосуда с CaCl₂ увеличится на 27,0 г, а масса сосуда с раствором щелочи увеличится на 48,4 г. Назовите УВ и рассчитайте их процентное (по объему) содержание в исходной смеси.

Решение и критерии оценивания решения задачи № 3:

	Решение
1	Под действием искрового электрического разряда $C_xH_y = xC + \frac{y}{2} H_2$; $V(C_xH_y) : V(H_2) = 1:3$; $\frac{y}{2} = 3$; $y = 6$. Таким образом, в состав каждого из двух УВ входит 6 атомов водорода: C_xH_6
2	Т.к. только один УВ обесцвечивает бромную воду, то смесь состоит из этана C ₂ H ₆ и непредельного УВ C _x H ₆ : алкена, алкина или алкадиена, т.е. x может принять значение 3 или 4
3	Горение УВ происходит по схеме $C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$ и $C_xH_6 + (x+1,5)O_2 = xCO_2 + 3H_2O$. Т.к. при температуре выше 100 °С вода находится в парообразном состоянии, то $(2+3) : (x+3) = 5:6$. Отсюда $x=3$, т.е. второй УВ в смеси C ₃ H ₆ - пропилен (пропен, метилэтилен): $C_3H_6 + Br_2 = C_3H_6Br_2$
4	Т.к. масса сосуда с CaCl ₂ увеличилась на 27,0 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $27/18=1,5$ моль H ₂ O
5	Т.к. масса сосуда с раствором щелочи увеличилась на 48,4 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $48,4/44=1,1$ моль CO ₂
6	Пусть в смеси x моль этана и y моль пропена, тогда из уравнений реакций $C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$ и $C_3H_6 + 4,5O_2 = 3CO_2 + 3H_2O$, что в результате горения смеси УВ образовалось $2x+3y=1,1$ моль CO ₂ и

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

	$3x+3y=1,5$ моль H_2O . Решаем систему уравнений и находим: $x=0,4$ моль; $y=0,1$ моль. Т.о. объем этана в смеси составляет $0,4 \cdot 22,4=8,96$ л, а объем пропена – $0,1 \cdot 22,4=2,24$ л.
7	Находим процентное (по объему) содержание УВ в исходной смеси: - общий объем смеси – $8,96+2,24=11,2$ л; - на долю этана приходится $(8,96/11,2) \cdot 100\% = 80\%$; - на долю пропена – $(2,24/11,2) \cdot 100\% = 20\%$.
	Ответ: смесь состоит из этана (80% по объёму) и пропена (20% по объёму)

Задача № 3 Вариант № 2 (40 баллов)

Смесь алифатических углеводородов (УВ) состоит из двух веществ, одно из которых обесцвечивает бромную воду. При разложении этих УВ под действием искрового электрического разряда образуются углерод и водород, причем объем образующегося водорода в обоих случаях вдвое больше, чем объем исходного УВ при одинаковых условиях. При сжигании одинаковых объемов исходных УВ (температура выше $100^\circ C$) объемы продуктов сгорания относятся друг к другу, как 3:4. Если смесь УВ сжечь и продукты совместного сжигания пропустить сначала через сухой хлорид кальция, а затем через раствор гидроксида калия, то масса сосуда с $CaCl_2$ увеличится на 54,0 г, а масса сосуда с раствором щелочи увеличится на 71,28 г. Назовите УВ и рассчитайте их процентное (по объему) содержание в исходной смеси.

Решение и критерии оценивания решения задачи № 3:

	Решение
1	Под действием искрового электрического разряда $C_xH_y = xC + \frac{y}{2} H_2$; $V(C_xH_y) : V(H_2) = 1:2$; $\frac{y}{2} = 2$; $y = 4$. Таким образом, в состав каждого из двух УВ входит 4 атома водорода: C_xH_4
2	Т.к. только один УВ обесцвечивает бромную воду, то смесь состоит из метана CH_4 и непредельного УВ C_xH_4 : алкена, алкина или алкадиена, т.е. x может принять значение 2 или 3
3	Горение УВ происходит по схеме $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$ и $C_xH_4 + (x+1)O_2 = xCO_2 + 2H_2O$.

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

	<p>Т.к. при температуре выше 100 °С вода находится в парообразном состоянии, то $(1+2) : (x+2) = 3:4$. Отсюда $x=2$, т.е. второй УВ в смеси C_2H_4 - этилен (этен):</p> $C_2H_4 + Br_2 = C_2H_4Br_2$
4	<p>Т.к. масса сосуда с $CaCl_2$ увеличилась на 54,0 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $54/18=3$ моль H_2O</p>
5	<p>Т.к. масса сосуда с раствором щелочи увеличилась на 71,28 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $71,28 /44=1,65$ моль CO_2</p>
6	<p>Пусть в смеси x моль метана и y моль этилена, тогда из уравнений реакций $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$ и $C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$, что в результате горения смеси УВ образовалось $x+2y=1,65$ моль CO_2 и $2x+2y=3$ моль H_2O. Решаем систему уравнений и находим: $x=1,35$ моль; $y=0,15$ моль. Т.о. объем метана в смеси составляет $1,35 \cdot 22,4=30,24$ л, а объем этилена – $0,15 \cdot 22,4=3,36$ л.</p>
7	<p>Находим процентное (по объему) содержание УВ в исходной смеси:</p> <ul style="list-style-type: none"> - общий объем смеси – $30,24+3,36=33,6$ л; - на долю метана приходится $(30,24/33,6) \cdot 100\% = 90\%$; - на долю этилена – $(3,36/33,6) \cdot 100\% = 10\%$.
	<p style="text-align: center;">Ответ: смесь состоит из метана (90% по объёму) и этилена (10% по объёму)</p>

Задача № 3 Вариант № 3 (40 баллов)

Смесь алифатических углеводородов (УВ) состоит из двух веществ, одно из которых обесцвечивает бромную воду. При разложении этих УВ под действием искрового электрического разряда образуются углерод и водород, причем объем образующегося водорода в обоих случаях втрое больше, чем объем исходного УВ при одинаковых условиях. При сжигании одинаковых объемов исходных УВ (температура выше 100 °С) объемы продуктов сгорания относятся друг к другу, как 5:6. Если смесь УВ сжечь и продукты совместного сжигания пропустить сначала через сухой хлорид кальция, а затем через раствор гидроксида калия, то масса сосуда с $CaCl_2$ увеличится на 54,0 г, а масса сосуда с раствором щелочи увеличится на 96,8 г. Назовите УВ и рассчитайте их процентное (по объему) содержание в исходной смеси.

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

Решение и критерии оценивания решения задачи № 3:

	Решение
1	Под действием искрового электрического разряда $C_xH_y = xC + \frac{y}{2} H_2$; $V(C_xH_y) : V(H_2) = 1:3$; $\frac{y}{2} = 3$; $y = 6$. Таким образом, в состав каждого из двух УВ входит 6 атомов водорода: C_xH_6
2	Т.к. только один УВ обесцвечивает бромную воду, то смесь состоит из этана C_2H_6 и непредельного УВ C_xH_6 : алкена, алкина или алкадиена, т.е. x может принять значение 3 или 4
3	Горение УВ происходит по схеме $C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$ и $C_xH_6 + (x+1,5)O_2 = xCO_2 + 3H_2O$. Т.к. при температуре выше $100^\circ C$ вода находится в парообразном состоянии, то $(2+3) : (x+3) = 5:6$. Отсюда $x=3$, т.е. второй УВ в смеси C_3H_6 - пропилен (пропен, метилэтилен): $C_3H_6 + Br_2 = C_3H_6Br_2$
4	Т.к. масса сосуда с $CaCl_2$ увеличилась на 54,0 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $54/18=3$ моль H_2O
5	Т.к. масса сосуда с раствором щелочи увеличилась на 96,8 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $96,8/44=2,2$ моль CO_2
6	Пусть в смеси x моль этана и y моль пропена, тогда из уравнений реакций $C_2H_6 + 3,5O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$ и $C_3H_6 + 4,5O_2 = 3CO_2 + 3H_2O$, что в результате горения смеси УВ образовалось $2x+3y=2,2$ моль CO_2 и $3x+3y=3$ моль H_2O . Решаем систему уравнений и находим: $x=0,8$ моль; $y=0,2$ моль. Т.о. объем этана в смеси составляет $0,8 \cdot 22,4=17,92$ л, а объем пропена – $0,2 \cdot 22,4=4,48$ л.
7	Находим процентное (по объему) содержание УВ в исходной смеси: - общий объем смеси – $17,92+4,48=22,4$ л; - на долю этана приходится $(17,92/22,4) \cdot 100\% = 80\%$; - на долю пропена – $(4,48/22,4) \cdot 100\% = 20\%$.
	Ответ: смесь состоит из этана (80% по объёму) и пропена (20% по объёму)

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

Задача № 3 Вариант № 4 (40 баллов)

Смесь алифатических углеводородов (УВ) состоит из двух веществ, одно из которых обесцвечивает бромную воду. При разложении этих УВ под действием искрового электрического разряда образуются углерод и водород, причем объем образующегося водорода в обоих случаях вдвое больше, чем объем исходного УВ при одинаковых условиях. При сжигании одинаковых объемов исходных УВ (температура выше 100 °С) объемы продуктов сгорания относятся друг к другу, как 3:4. Если смесь УВ сжечь и продукты совместного сжигания пропустить сначала через сухой хлорид кальция, а затем через раствор гидроксида калия, то масса сосуда с CaCl₂ увеличится на 54,0 г, а масса сосуда с раствором щелочи увеличится на 92,4 г. Назовите УВ и рассчитайте их процентное (по объему) содержание в исходной смеси.

Решение и критерии оценивания решения задачи № 3:

	Решение
1	Под действием искрового электрического разряда $C_xH_y = xC + \frac{y}{2} H_2$; $V(C_xH_y) : V(H_2) = 1:2$; $\frac{y}{2} = 2$; $y = 4$. Таким образом, в состав каждого из двух УВ входит 4 атома водорода: C_xH_4
2	Т.к. только один УВ обесцвечивает бромную воду, то смесь состоит из метана CH ₄ и непредельного УВ C _x H ₄ : алкена, алкина или алкадиена, т.е. x может принять значение 2 или 3
3	Горение УВ происходит по схеме $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$ и $C_xH_4 + (x+1)O_2 = xCO_2 + 2H_2O$. Т.к. при температуре выше 100 °С вода находится в парообразном состоянии, то $(1+2) : (x+2) = 3:4$. Отсюда $x=2$, т.е. второй УВ в смеси C ₂ H ₄ - этилен (этен): $C_2H_4 + Br_2 = C_2H_4Br_2$
4	Т.к. масса сосуда с CaCl ₂ увеличилась на 54,0 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $54/18=3$ моль H ₂ O
5	Т.к. масса сосуда с раствором щелочи увеличилась на 92,4 г, то в результате горения смеси УВ образовалось $92,4/44=2,1$ моль CO ₂
6	Пусть в смеси x моль метана и y моль этилена, тогда из уравнений реакций $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$ и $C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$, что в результате горения смеси УВ образовалось $x+2y=2,1$ моль CO ₂ и

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

	$2x+2y=3$ моль H_2O . Решаем систему уравнений и находим: $x=0,9$ моль; $y=0,6$ моль. Т.о. объем метана в смеси составляет $0,9 \cdot 22,4=20,16$ л, а объем этилена – $0,6 \cdot 22,4=13,44$ л.
7	Находим процентное (по объему) содержание УВ в исходной смеси: - общий объем смеси – $20,16+13,44=33,6$ л; - на долю метана приходится $(20,16/33,6) \cdot 100\% = 60\%$; - на долю этилена – $(13,44/33,6) \cdot 100\% = 40\%$.
	Ответ: смесь состоит из метана (60% по объёму) и этилена (40% по объёму)

Задача № 3 Вариант № 5 (40 баллов)

Масса продуктов гидролиза сахарозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$) оказалась больше массы исходного дисахарида на 0,45 г. К продуктам гидролиза добавили 39 г пропионового ангидрида. Какой объем 5%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,05 г/мл) необходимо добавить для полной нейтрализации полученного раствора? Напишите уравнения протекающих реакций.

Критерии оценивания решения задачи № 3:

Элементы ответа	Решение
Записано уравнение реакции гидролиза	$C_{12}H_{22}O_{11}+H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6(\text{глю}) + C_6H_{12}O_6(\text{фру})$
Определена масса и количество вещества веществ	$n(H_2O) = 0,45/18 = 0,025 \text{ моль} = n(\text{глю}) = n(\text{фру})$
Определено количество вещества ангидрида	$n(\text{ангидрида}) = 39/130 = 0,3 \text{ моль}$
Записано уравнение реакции продуктов гидролиза с ангидридом	Для глюкозы и фруктозы (имеют одинаковое число OH-групп): $C_6H_7O(OH)_5 + 5(C_2H_5CO)_2O \leftrightarrow C_6H_7O(OCOC_2H_5)_5 + 5C_2H_5COOH$
Определено количество вещества израсходованного	$n(\text{ангидрида})_{\text{изр}} = (0,025+0,025) \cdot 5 = 0,25 \text{ моль}$

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

ангидрида		
Определено количество вещества ангидрида	количество оставшегося	$n(\text{ангидрида})_{\text{ост}} = 0,3 - 0,25 = 0,05$ моль
Определено количество вещества кислоты	количество образовавшейся	$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 0,25$ моль
Записаны уравнения реакции нейтрализации		$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{COONa} + \text{H}_2\text{O};$ $(\text{C}_2\text{H}_5\text{CO})_2\text{O} + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$
Определено количество вещества NaOH	количество	$n(\text{NaOH}) = 0,25 + 0,1 = 0,35$ моль
Определена масса р-ра		$m_{\text{р-ра}} = 0,35 \times 40 / 0,05 = 280$ г
Определен объем		$V_{\text{р-ра}} = 280 / 1,05 = 266,7$ мл

Задача № 3 Вариант № 6 (40 баллов)

Масса продуктов гидролиза сахарозы ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) оказалась больше массы исходного дисахарида на 0,45 г. К продуктам гидролиза добавили 30,6 г уксусного ангидрида. Какой объем 7%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,05 г/мл) необходимо добавить для полной нейтрализации полученного раствора? Напишите уравнения протекающих реакций.

Критерии оценивания решения задачи № 3:

Элементы ответа	Решение
Записано уравнение реакции гидролиза	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{глю}) + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{фру})$
Определена масса и количество вещества веществ	$n(\text{H}_2\text{O}) = 0,45 / 18 = 0,025$ моль = $n(\text{глю}) = n(\text{фру})$

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

Определено количество вещества ангидрида	$n(\text{ангидрида}) = 30,6/102 = 0,3 \text{ моль}$
Записано уравнение реакции продуктов гидролиза с ангидридом	Для глюкозы и фруктозы (имеют одинаковое число OH-групп): $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}(\text{OH})_5 + 5(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} \leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_7\text{O}(\text{OCOCH}_3)_5 + 5 \text{CH}_3\text{COOH}$
Определено количество вещества израсходованного ангидрида	$n(\text{ангидрида})_{\text{изр}} = (0,025+0,025) \times 5 = 0,25 \text{ моль}$
Определено количество вещества оставшегося ангидрида	$n(\text{ангидрида})_{\text{ост}} = 0,3 - 0,25 = 0,05 \text{ моль}$
Определено количество вещества образовавшейся кислоты	$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,25 \text{ моль}$
Записаны уравнения реакции нейтрализации	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O};$ $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O} + 2\text{NaOH} \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$
Определено количество вещества NaOH	$n(\text{NaOH}) = 0,25 + 0,1 = 0,35 \text{ моль}$
Определена масса р-ра	$m_{\text{р-ра}} = 0,35 \times 40 / 0,07 = 200,0 \text{ г}$
Определен объем	$V_{\text{р-ра}} = 200 / 1,05 = 190,48 \text{ мл}$

Задача № 3 Вариант № 7 (40 баллов)

Масса продукта гидролиза мальтозы ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) оказалась больше массы исходного дисахарида на 0,9 г. К продукту гидролиза добавили 78 г пропионового ангидрида. Какой объем 8%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,07 г/мл) необходимо добавить для полной нейтрализации полученного раствора? Напишите уравнения протекающих реакций.

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

Критерии оценивания решения задачи № 3:

Элементы ответа	Решение
Записано уравнение реакции гидролиза	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6(\text{глю});$
Определена масса и количество вещества веществ	$n(H_2O) = 0,9/18 = 0,05 \text{ моль}$ $n(\text{глю}) = 0,1 \text{ моль}$
Определено количество вещества ангидрида	$n(\text{ангидрида}) = 78/130 = 0,6 \text{ моль}$
Записано уравнение реакции продукта гидролиза с ангидридом	$C_6H_7O(OH)_5 + 5(C_2H_5CO)_2O \rightleftharpoons C_6H_7O(OCOC_2H_5)_5 + 5C_2H_5COOH$
Определено количество вещества израсходо-ванного ангидрида	$n(\text{ангидрида})_{\text{изр}} = 0,1 \times 5 = 0,5 \text{ моль}$
Определено количество вещества оставшегося ангидрида	$n(\text{ангидрида})_{\text{ост}} = 0,6 - 0,5 = 0,1 \text{ моль}$
Определено количество вещества образовав-шейся кислоты	$n(C_2H_5COOH) = 0,5 \text{ моль}$
Записаны уравнения реакции нейтрализации	$C_2H_5COOH + NaOH \rightarrow C_2H_5COONa + H_2O;$ $(C_2H_5CO)_2O + 2NaOH \rightarrow 2C_2H_5COONa + H_2O$
Определено количество вещества NaOH	$n(NaOH) = 0,5 + 0,2 = 0,7 \text{ моль}$
Определена масса р-ра	$m_{\text{р-ра}} = 0,7 \times 40 / 0,08 = 350 \text{ г}$
Определен объем	$V_{\text{р-ра}} = 350 / 1,07 = 327,1 \text{ мл}$

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

Задача № 3 Вариант № 8 (40 баллов)

Масса продукта гидролиза мальтозы (C₁₂H₂₂O₁₁) оказалась больше массы исходного дисахарида на 1,8 г. К продукту гидролиза добавили 122,4 г уксусного ангидрида. Какой объем 6%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,05 г/мл) необходимо добавить для полной нейтрализации полученного раствора? Напишите уравнения протекающих реакций.

Критерии оценивания решения задачи № 3:

Элементы ответа	Решение
Записано уравнение реакции гидролиза	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2C_6H_{12}O_6(\text{глю});$
Определена масса и количество вещества веществ	$n(H_2O) = 1,8/18 = 0,1 \text{ моль}$ $n(\text{глю}) = 0,2 \text{ моль}$
Определено количество вещества ангидрида	$n(\text{ангидрида}) = 122,4/102 = 1,2 \text{ моль}$
Записано уравнение реакции продукта гидролиза с ангидридом	$C_6H_7O(OH)_5 + 5(CH_3CO)_2O \leftrightarrow C_6H_7O(OCOSCH_3)_5 + 5 CH_3COOH$
Определено количество вещества израсходованного ангидрида	$n(\text{ангидрида})_{\text{изр}} = 0,2 \times 5 = 1,0 \text{ моль}$
Определено количество вещества оставшегося ангидрида	$n(\text{ангидрида})_{\text{ост}} = 1,2 - 1,0 = 0,2 \text{ моль}$
Определено количество вещества образовавшейся кислоты	$n(CH_3COOH) = 1,0 \text{ моль}$
Записаны уравнения реакции нейтрализации	$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O;$ $(CH_3CO)_2O + 2NaOH \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O$
Определено количество вещества NaOH	$n(NaOH) = 1,0 + 0,4 = 1,4 \text{ моль}$

Южно-Российская олимпиада школьников «Будущий врач»
(химия), 2020 год

Определена масса р-ра	$m_{\text{р-ра}} = 1,4 \times 40 / 0,06 = 933,33 \text{ г}$
Определен объем	$V_{\text{р-ра}} = 933,33 / 1,05 = 888,89 \text{ мл}$