

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ХИМИЯ. 2024–2025 уч. г.

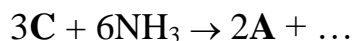
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 100.

Задача 1 (1–3)

Неорганическое вещество **A** изоэлектронно бензолу. По физическим свойствам **A** и бензол похожи. При очень сильном нагревании **A** отщепляет водород и превращается в бинарное соединение **B**, которое изоэлектронно кристаллическому углероду и по твёрдости приближается к алмазу. Вещество **A** получают при нагревании смеси двух газообразных водородных соединений – газа **C** и NH_3 , взятых в соотношении 1:2.



Установите формулы веществ **A–C**.

Ответ:	1.	Вещество A	$\text{B}_3\text{N}_3\text{H}_6$ или $\text{H}_6\text{B}_3\text{N}_3$ или $\text{N}_3\text{B}_3\text{H}_6$	<i>2 балла</i>
	2.	Вещество B	BN или NB	<i>2 балла</i>
	3.	Вещество C	B_2H_6 или H_6B_2	<i>2 балла</i>

Итого – 6 баллов.

Задача 2 (4–6)

Химический анализ бесцветного кристаллического соединения **A** показал наличие атомов трёх химических элементов: С, Н и О, массовые доли которых равны 34,6%, 3,9% и 61,5%. При нагревании вещества **A** выше 140°C образуется жидкое при комнатной температуре вещество и газ **B**, массовая доля кислорода в котором составляет 72,7%. Если же вещество **A** нагреть в присутствии оксида фосфора(V), то образуется газообразное вещество **C** с резким удушливым запахом. Газ **C** при хранении или при сжижении полимеризуется. Известно, что **C** – бинарное соединение, массовая доля кислорода в котором 47,1%.

Установите молекулярные формулы веществ **A–C**.

Ответ:	4.	Вещество A	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$ или $\text{H}_4\text{C}_3\text{O}_4$	<i>2 балла</i>
	5.	Вещество B	CO_2	<i>2 балла</i>
	6.	Вещество C	C_3O_2 или O_2C_3	<i>2 балла</i>

Итого – 6 баллов.

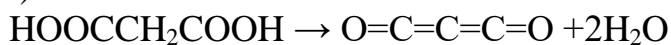
Решение.

Пусть $m(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z) = 100$ г. Тогда $x : y : z = (34,6/12) : (3,9/1) : (61,5/16) = 3 : 4 : 4$.
Простейшая формула А – $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$.

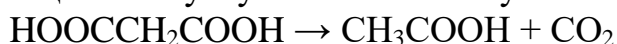
Расчёт формулы газа В. Наиболее вероятно, что вторым элементом в газе В является углерод, так как этот газ образуется при нагревании соединения состава $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$. Если молекула газа В содержит один атом кислорода, то его молярная масса равна $16/0,727 = 22$ г/моль. Оксида углерода с такой молярной массой не существует. Если молекула газа В содержит два атома кислорода, то его молярная масса равна $32/0,727 = 44$ г/моль. Этой молярной массе соответствует углекислый газ.

Расчёт формулы газа С. Оксид фосфора (V) используется как активное дегидратирующее средство. Следовательно, соединение А под действием этого соединения теряет воду и превращается в бинарное соединение C_nO_m , в котором массовая доля кислорода составляет 47,1 %. Если молекула газа С содержит один атом кислорода, то его молярная масса равна $16 / 0,471 = 34$ г/моль. Соединения углерода и кислорода с такой молярной массой не существует. Если молекула газа С содержит два атома кислорода, то его молярная масса равна $32 / 0,471 = 68$ г/моль. Этой молярной массе соответствует субоксид углерода (диоксид триуглерода) – $\text{C}_3\text{O}_2(\text{O}=\text{C}=\text{C}=\text{C}=\text{O})$.

Этот оксид образуется при нагревании малоновой кислоты в присутствии оксида фосфора (V):



При нагревании малоновой кислоты при температуре выше температуры плавления происходит реакция декарбоксилирования, в результате которой образуется жидкое вещество – уксусная кислота и углекислый газ.



Задача 3 (7)

При взаимодействии неразветвленного кетона с реактивом Гриньяра CH_3MgBr и последующем гидролизе образовался спирт, дегидратацией которого был получен алкен. При озонировании этого алкена образуются ацетальдегид и бутанон.

Определите структуру исходного кетона. В ответ запишите его систематическое название. Пример записи – деканон-5

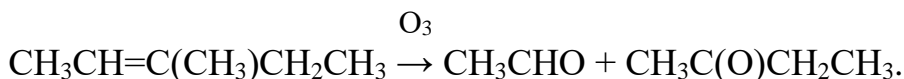
Ответ:

7.	пентанон-3	6 баллов
----	------------	-----------------

Итого – 6 баллов.

Решение.

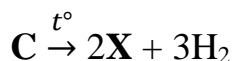
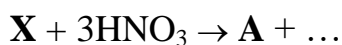
Продуктами озонирования алкена, который образуется при дегидратации спирта, являются ацетальдегид и бутанон. На основании анализа продуктов озонлиза можно определить строение алкена, который образуется при дегидратации полученного спирта. Этим алкеном является 3-метилпентен-2:



Этот алкен может образоваться при дегидратации вторичного спирта $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$ или третичного спирта $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{OH})(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$. Но из кетонов по реакции Гриньяра получают третичные спирты. Искомый кетон содержал $6 - 1 = 5$ атомов углерода и кислород при третьем атоме углерода, это – пентанон-3: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}_3$.

Задача 4 (8-11)

Соединения элемента **X** мало изучаются в школьном курсе химии. Однако, кислота **A** (17,5 % **X** по массе) и соль **B**, содержащие этот элемент, продаются в аптеках и используются в быту. На основе схем и уравнений превращений, приведённых ниже, установите формулы **X** и его соединений **A** – **C**.



Ответ:	8.	Формула X	B	<i>2 балла</i>
	9.	Вещество A	H_3BO_3 или $\text{B}(\text{OH})_3$	<i>2 балла</i>
	10.	Вещество B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	<i>2 балла</i>
	11.	Вещество C	B_2H_6	<i>2 балла</i>

Итого – 8 баллов.

Задача 5 (12-13)

Оранжевый раствор вещества **A** окрашивает пламя горелки в фиолетовый цвет. К раствору **A** добавили избыток 20 %-й соляной кислоты. Изменение цвета при этом не наблюдалось. К полученному раствору добавили избыток цинковой пыли. Началась бурная реакция с выделением газа, в ходе реакции цвет раствора изменился сначала на зелёный, а затем на ярко-голубой. Полученный голубой раствор отфильтровали от избытка цинковой пыли и добавили к фильтрату насыщенный раствор ацетата натрия. При этом выпал малиновый осадок вещества **B**. Вещество **B** диамагнитно (не имеет

неспаренных электронов), имеет молекулярное строение и содержит 42,55 % кислорода (по массе). При расчётах используйте целочисленные значения молярных масс.

Какой газ начинает выделяться при добавлении цинковой пыли? Введите молярную массу этого газа с точностью до целых.

Ответ:	12. 2 г/моль	1 балл
---------------	---------------------	---------------

Какой металл входит в состав соединений **A** и **B**? Введите его порядковый номер в периодической системе.

Ответ:	12. 24	2 балла
---------------	---------------	----------------

Чему равна молярная масса соединения **A**? Приведите ответ с точностью до целых.

Ответ:	12. 294 г/моль	1 балл
---------------	-----------------------	---------------

Чему равна молярная масса соединения **B**? Приведите ответ с точностью до целых.

Ответ:	13. 376 г/моль	4 балла
	за ответ 188 г/моль	2 балла

Итого – 8 баллов.

Решение.

Изменение окраски веществ в ходе описанных реакций указывает на соединения хрома. Исходное вещество **A** – дихромат калия $K_2Cr_2O_7$. При добавлении цинковой пыли к подкисленному раствору начинает выделять водород H_2 . Атомарный водород восстанавливает хром сначала до $CrCl_3$ (зелёная окраска), а затем до $CrCl_2$ (голубая окраска). При добавлении ацетата натрия выпадает гидрат ацетата хрома (II) (количество кристаллизационной воды можно вычислить по массовой доле кислорода). Данное соединение имеет димерное строение и содержит связь Cr–Cr: $Cr_2(CH_3COO)_4 \cdot 2H_2O$.

Задача 6 (14)

Углеводород **A** содержит 83,33 % углерода (по массе). При бромировании **A** бромом на свету образуется единственное монобромпроизводное **B**. Соединение **B** растворили в безводном диэтиловом эфире и добавили магниевую стружку. После растворения магния полученный раствор охладили и добавили к раствору сухой лёд. После завершения реакции реакционную смесь вылили в стакан с избытком 10 % соляной кислоты. После экстракции

смеси диэтиловым эфиром и упаривания экстракта было выделено соединение **В**. Нагревание соединения **В** с оксидом кальция приводит к образованию нерастворимого в воде органического соединения **Г**. Нагревание **Г** с гидразином и гидроксидом калия даёт углеводород **Д**.


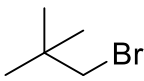
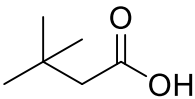
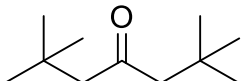
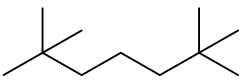
Определите неизвестные вещества **А–Д**. Для веществ **А–Г** в ответе укажите молярные массы (г/моль, с точностью до целых), а для вещества **Д** – число первичных, вторичных, третичных и четвертичных атомов углерода.

Ответ: 14.	Молярная масса А	72 г/моль	<i>1 балл</i>
	Молярная масса Б	151 г/моль	<i>1 балл</i>
	Молярная масса В	116 г/моль	<i>2 балла</i>
	Молярная масса Г	170 г/моль	<i>2 балла</i>
	Количество первичных атомов углерода в молекуле Д	6	<i>1 балл</i>
	Количество вторичных атомов углерода в молекуле Д	3	<i>1 балл</i>
	Количество третичных атомов углерода в молекуле Д	0	<i>1 балл</i>
	Количество четвертичных атомов углерода в молекуле Д	2	<i>1 балл</i>

Итого – 10 баллов.

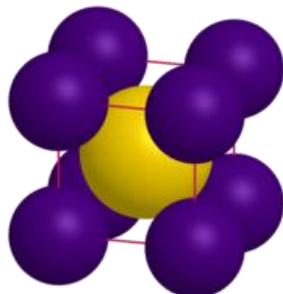
Решение.

Исходя из массовой доли углерода в **А**, находим, что его формула C_5H_{12} . Поскольку при его бромировании образуется единственное монобромпроизводное, соединение **А** – это 2,2-диметилпропан. Тогда соединение **Б** – это 1-бром-2,2-диметилпропан. Взаимодействие с магнием даёт реактив Гриньяра, который при взаимодействии с углекислым газом и последующем подкислении даёт 3,3-диметилбутановую кислоту **В**. Нагревание кислоты **В** с оксидом кальция даёт 2,2,6,6-тетраметилгептанон-4 **Г**. Восстановление кетона **Г** гидразином в щелочной среде даёт 2,2,6,6-тетраметилгептан **Д**.

А	Б	В	Г	Д
				

Задача 7 (15–18)

Необычное бинарное соединение **X** образовано элементами одного периода периодической системы элементов. Данное соединение впервые было получено в 1943 году. Вещество **X** обладает следующей структурой:



При взаимодействии 2,00 г соединения **X** с избытком воды образуется 67,88 мл водорода (при н.у.), осадок простого вещества **Y** и вещество **Z**, из-за которого полученный раствор имеет сильнощелочную среду. Вещество **Y** известно человечеству с древности и не растворяется в азотной и соляной кислотах, но растворяется в их смеси. Вещество **Z** окрашивает пламя горелки в характерный цвет, за что элемент, входящий в состав **Z**, и получил своё название.

Определите неизвестные вещества **X**, **Y** и **Z**. Запишите их формулы.

Рассчитайте массу осадка **Y** (в граммах, с точностью до сотых). При расчётах используйте целочисленные значения молярных масс.

Ответ:	15.	Вещество X	CsAu или AuCs	<i>3 балла</i>
	16.	Вещество Y	Au	<i>2 балла</i>
	17.	Вещество Z	CsOH	<i>2 балла</i>
	18.	Масса осадка Y	1,19 г [1,18 до 1,20]	<i>2 балла</i>

Итого – 9 баллов.

Решение.

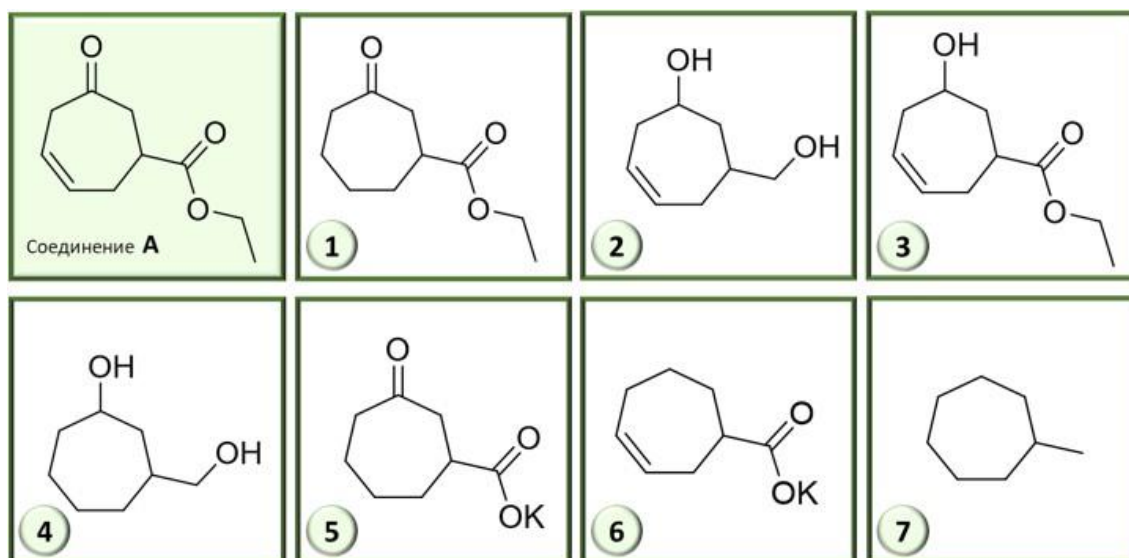
Структура соединения **X** показывает, что элементы в составе **X** находятся в соотношении 1 : 1. Известное с древности простое вещество, нерастворимое в соляной и азотной кислотах, но растворимое в царской водке – это золото Au **Y**. Если из 1 моля **X** будет получаться 1 моль водорода, тогда молярная масса **X** составит 165 г/моль, что меньше молярной массы золота. Если из 1 моля **X** образуется 0,5 моль водорода, тогда молярная масса **X** составит 330 г/моль. Тогда второй элемент имеет молярную массу 133 г/моль, что соответствует цезию Cs. Цезий, как и золото, находится в шестом периоде. Своё название элемент цезий получил за способность своих соединений окрашивать пламя в небесно-голубой цвет (от лат. *caesius* – небесно-голубой). Таким образом,

соединение **X** – это аурид цезия CsAu. Тогда соединение **Z** – это гидроксид цезия CsOH.

$$\begin{aligned} \nu(\text{H}_2) &= 67,88 / 22,4 = 3,03 \text{ ммоль} \\ \nu(\text{Cs}) &= 2 \cdot 3,03 = 6,06 \text{ ммоль} \\ m(\text{Cs}) &= 6,06 \cdot 10^{-3} \cdot 133 = 0,806 \approx 0,81 \text{ г} \\ m(\text{Au}) &= 2,00 - 0,81 = 1,19 \text{ г.} \end{aligned}$$

Задача 8 (19)

Установите соответствие между восстановителями и продуктами, которые образуются при действии этих восстановителей на соединение **A**.



Восстановитель:

А) LiAlH_4

Б) NaBH_4

В) H_2 (1 атм), Pd/C

Г) N_2H_4 , KOH, t

Д) H_2 (50 атм), Ni, t

Ответ:

	А	Б	В	Г	Д
	2	3	1	6	4
	<i>2 балла</i>	<i>2 балла</i>	<i>2 балла</i>	<i>2 балла</i>	<i>2 балла</i>

Итого – 10 баллов.

Решение.

1) Вещества, их формулы и молярные массы:

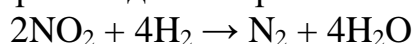
Вещество	HA	X ₁	X ₂	X ₃	M	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Формула	HNO ₃	H ₂	NO ₂	Cl ₂	Mn	Mn(NO ₃) ₂	Mn(OH) ₂	MnCl ₂	MnO ₂
Молярная масса, г/моль	63	2	46	71	55	179	89	126	87

2) Реакция между концентрированной кислотой HA и металлом M:



Сумма коэффициентов в этой реакции равна 10.

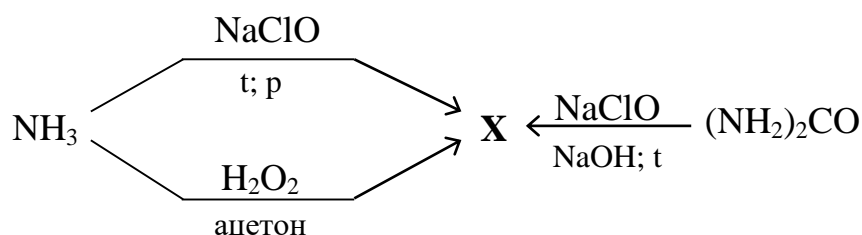
3) Реакция между X₁ и X₂ происходит с образованием N₂:



Сумма коэффициентов в этой реакции равна 11.

Задача 10 (21–23)

Токсичное вещество X можно получить несколькими способами:



При окислении вещества X сернокислым раствором перманганата калия выделяется газ Y с плотностью по водороду 14. Соотношение между перманганатом калия и X в реакции составляет 4:5.

Определите вещества X и Y. В ответе укажите их формулы.

При окислении кислородом 1 моль вещества X выделяется 623 кДж теплоты. Теплоты образования некоторых веществ, упомянутых в задаче, приведены ниже в таблице.

Вещество	X	Y	H ₂ O _(ж.)	NH _{3(г.)}
Q _{обр} , кДж/моль	?	0	286	46

Ответ:	21.	Вещество X	N ₂ H ₄	2 балла
	21.	Вещество Y	N ₂	2 балла

Рассчитайте теплоту образования вещества X и теплоту гипотетической реакции между X и водородом (коэффициенты должны быть минимальными и целочисленными). Дайте ответ в кДж/моль и кДж соответственно, с точностью до целых.

Ответ:	23. Теплота образования X	–51 кДж/моль	2 балла
	Теплота реакции (X + H ₂)	143 кДж	2 балла

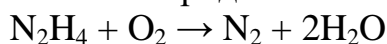
Итого – 8 баллов.

Решение.

1) Вещество **Y** – N₂, т.к. его молярная масса равна 28 г/моль и энтальпия образования равна 0 кДж/моль, что исключает угарный газ и этилен, молярные массы которых также равны 28 г/моль.

2) Если коэффициент перед перманганатом равен 4, а перед веществом **X** равен 5, то это означает, что одна молекула **X** при окислении отдает 4 электрона. Также известно, что в реакции с перманганатом калия образуется азот, все это указывает на то, что **X** – гидразин N₂H₄.

3) Реакция окисления гидразина кислородом:

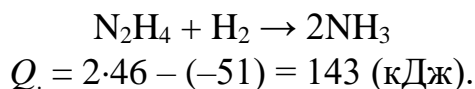


С учётом того, что теплоты образования простых веществ равны нулю, можно посчитать теплоту образования гидразина:

$$623 = 2Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр}}(\text{N}_2\text{H}_4),$$

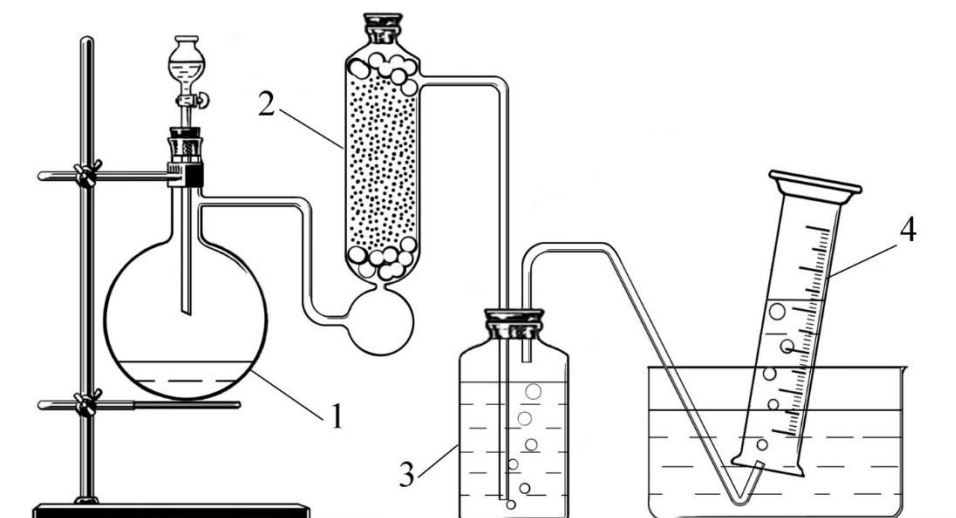
$$Q_{\text{обр}}(\text{N}_2\text{H}_4) = 2 \cdot 286 - 623 = -51 \text{ (кДж/моль)}.$$

Теперь можно найти тепловой эффект реакции между гидразином и водородом:



Задача 11 (24–27)

Собрали прибор, как показано на рисунке, и проверили его на герметичность.



Колба Вюрца (на рис. показана цифрой 1) служила реактором, её объем составлял 500 мл. С помощью делительной воронки в эту колбу-реактор

поочерёдно добавляли следующие растворы: 30 мл 0,5 М нитрита натрия, 50 мл 1 М иодида калия и 50 мл 2 М серной кислоты. Из реакционной смеси выделялся газ X. Его последовательно пропускали через колонку (2), заполненную фосфорным ангидридом, банку (3), заполненную раствором гидроксида натрия. Затем газ X собирали над водой в цилиндр (4).

Какой газ X получали в данном приборе? Приведите его формулу.

Ответ:	24. Газ X	NO	2 балла
--------	-----------	----	---------

Какое теоретически возможное количество вещества X образовалось в колбе-реакторе (1)? Ответ выразите в миллимолях и округлите до целых.

Ответ:	25. Количество вещества X	15	2 балла
--------	---------------------------	----	---------

Масса банки (3) с раствором щелочи после опыта немного увеличилась. Рассчитайте, на сколько миллиграммов теоретически могла увеличиться масса этой банки, если принять, что опыт проводили при нормальных условиях. Объёмами исходного воздуха в колонке (2), банке (3) и соединительных трубках пренебречь. Также следует пренебречь растворимостью X. Ответ округлите до целых.

Ответ:	26. Масса увеличиться на	432 [410 до 450]	4 балла
--------	--------------------------	------------------	---------

Газ X, который собирали в цилиндре (4), в качестве основной примеси содержал значительное количество газа Y. Какой это газ? Введите значение его молярной массы (в г/моль), предварительно округлив до целого числа.

Ответ:	27. Молярная масса X	28	2 балла
--------	----------------------	----	---------

Итого 10 баллов.

Решение.

А. Получали оксид азота (II) NO:



Б. Количества веществ в реакционной смеси:

$$n_{\text{NaNO}_2} = \frac{30 \text{ мл} \cdot 0,5 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл/л}} = 0,015 \text{ моль} = 15 \text{ ммоль}$$

$$n_{\text{KI}} = \frac{50 \text{ мл} \cdot 1 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл/л}} = 0,05 \text{ моль} = 50 \text{ ммоль}$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{50 \text{ мл} \cdot 2 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл/л}} = 0,1 \text{ моль} = 100 \text{ ммоль}$$

Видно, что иодид калия и серная кислота взяты в избытке, поэтому образуется **15 ммоль NO**.

В. Изначально колба (1) была заполнена воздухом, объём колбы 500 мл, при н.у.

$$n_{\text{O}_2} = \frac{0,50 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \cdot 0,21 = 4,69 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = 4,69 \text{ ммоль}$$

Кислород окисляет оксид азота (II):



Образуется 9,38 ммоль диоксида азота NO_2 , который поглощают щелочью в банке (3):



За счёт поглощения диоксида азота масса банки (3) с раствором щелочи увеличивается:

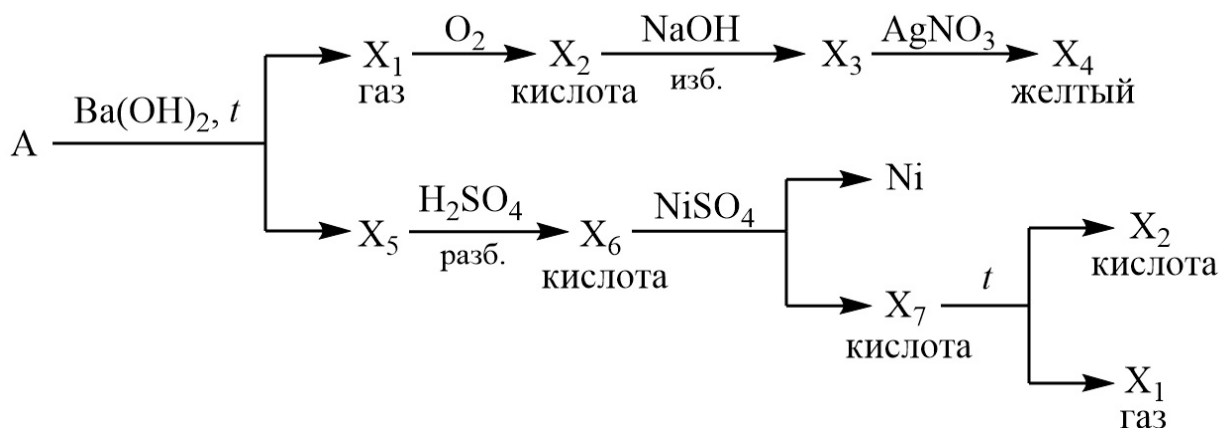
$$m_{\text{NO}_2} = 9,38 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} \approx 431,5 \cdot 10^{-3} \text{ г} = 431,5 \text{ мг}$$

Другие газы (HI , H_2S , SO_2) в колбе-реакторе (1) не образуются, серная кислота весьма разбавленная. Пары воды, которые могли привести к увеличению массы банки (3), были поглощены фосфорным ангидридом в колонке (2).

Г. Основная примесь в получаемом оксиде азота (II) – азот из воздуха, который исходно содержался в колбе-реакторе (1), около 17 ммоль. Азот N_2 , **28** г/моль.

Задача 12 (28)

Дана схема превращений



A – простое вещество белого цвета. При комнатной температуре мягкое как воск, режется ножом. Медленно окисляется на воздухе, при слабом нагревании воспламеняется. В состав соединений X_1 – X_7 входят атомы одного и того же элемента. Определите вещества **A**, X_1 – X_7 , в поля для ответов введите значения их молярных масс (в г/моль), предварительно округлив до целых чисел.

Ответ:	28. Вещество A	124 г/моль	<i>1 балл</i>
	Вещество X₁	34 г/моль	<i>1 балл</i>
	Вещество X₂	98 г/моль	<i>1 балл</i>
	Вещество X₃	164 г/моль	<i>1 балл</i>
	Вещество X₄	419 г/моль	<i>1 балл</i>
	Вещество X₅	267 г/моль	<i>1 балл</i>

	Вещество X₆	66 г/моль	<i>1 балл</i>
	Вещество X₇	82 г/моль	<i>1 балл</i>

Итого – 8 баллов.

Решение.

Простое вещество А, белого цвета, мягкое, режется ножом, – это белый фосфор Р₄ (**124 г/моль**).

X₁ – фосфин РН₃ (**34 г/моль**); X₅ – гипофосфит бария Ва(Н₂РО₂)₂ (**267 г/моль**)
 $2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O = 2PH_3\uparrow + 3Ba(H_2PO_2)_2$

X₂ – ортофосфорная кислота Н₃РО₄ (**98 г/моль**)
 $PH_3 + 2O_2 = H_3PO_4$

X₃ – ортофосфат натрия Na₃РO₄ (**164 г/моль**)
 $H_3PO_4 + 3NaOH = Na_3PO_4 + 3H_2O$

X₄ – осадок жёлтого цвета, фосфат серебра Ag₃РO₄ (**419 г/моль**)
 $Na_3PO_4 + 3AgNO_3 = Ag_3PO_4\downarrow + 3NaNO_3$

X₆ – фосфорноватистая кислота Н₃РO₂ (**66 г/моль**)
 $Ba(H_2PO_2)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2H_3PO_2$

X₇ – фосфористая кислота Н₃РO₃ (**82 г/моль**)
 $H_3PO_2 + NiSO_4 + H_2O = Ni\downarrow + H_3PO_3 + H_2SO_4$
 $4H_3PO_3 = PH_3\uparrow + 3H_3PO_4$

№ задачи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Баллы	6	6	6	8	8	10	9	10	11	8	10	8

Максимальный балл за работу – 100.