

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный педагогический
университет имени Л. Н. Толстого»

**В. В. Платонов,
О. С. Половецкая,
В. А. Попков**

**СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ
ПО ОБЩЕЙ
И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ
(с решениями)**

Учебно-методическое пособие

Тула
Издательство ТГПУ им. Л. Н. Толстого
2012

ББК 24.1я73
ПЗ7

Рецензенты:

доктор химических наук, профессор *Н. Е. Кузьменко*
(МГУ им. М. В. Ломоносова);
кандидат химических наук, доцент *О. И. Бойкова*
(ТГПУ им. Л. Н. Толстого)

Платонов, В. В.

ПЗ7 Сборник задач и упражнений по общей и неорганической химии (с решениями): Учеб.-метод. пособие / В. В. Платонов, О. С. Половецкая, В. А. Попков. – Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2012. – 167 с.

ISBN 978-5-87954-719-1

Пособие содержит примеры решения типовых упражнений и задач по всем разделам курсов общей и неорганической химии. Материал задачника соответствует примерной программе по дисциплинам «Общая химия», «Химия неметаллов» и «Химия металлов» для студентов направления подготовки 020100 «Химия» (профиль «Медицинская и фармацевтическая химия»), направления подготовки 050100 «Педагогическое образование» (профиль «Биология» и «Химия»), специальности 050101 «Химия» со специализацией «Химия окружающей среды и химическая экспертиза».

Пособие может быть использовано учащимися старших классов общеобразовательных и специализированных школ, лицеев, гимназий, студентами колледжей, а также преподавателями химии.

ББК 24.1я73

ISBN 978-5-87954-719-1

© В. В. Платонов,
О. С. Половецкая, В. А. Попков, 2012
© ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Данное учебно-методическое пособие адресуется студентам Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого, учащимся старших классов муниципальных образовательных учреждений, а также абитуриентам, готовящимся к поступлению в вузы.

В пособии представлено 400 типовых заданий по общей и неорганической химии, из них 200 с решениями, наглядно демонстрирующими наиболее общие их приемы.

Изучение данного пособия позволит обучающимся применить теоретические знания к разнообразным химическим задачам и упражнениям. Взаимодействие веществ и образование продуктов реакции протекают в соответствии с уравнениями химических реакций, объединяющими как качественную, так и количественную стороны процесса. Умение правильно составить уравнение химической реакции и провести расчет количеств веществ – два неотъемлемых аспекта изучения химии.

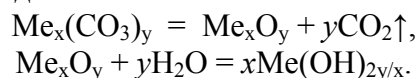
Пособие ставит задачу выработать у студентов, изучающих общую и неорганическую химию, логику мышления в процессе решения задач, научить самостоятельно решать сложные химические задачи, осмысленно используя и закрепляя теоретический материал.

Авторы надеются, что данное издание будет приносить пользу преподавателям и обучающимся, послужит связующим звеном между теоретическим курсом и лабораторным практикумом, поможет организовать самостоятельную работу в аудитории и дома и осуществить контроль за приобретенными умениями и навыками.

Авторы будут признательны за все предложения и замечания, присланные на электронный адрес: olpolov@mail.ru

Задача 1. При нагревании твердого вещества «А» получили 0,2 г твердого вещества «В» и газ «С». При растворении вещества «В» в воде образовался раствор, содержащий 0,32 г вещества «Д». При пропускании газа «С» через раствор, содержащий избыток вещества «Е», образовалось 2,1733 г соединения «F», при взаимодействии которого с водным раствором вещества «Д» образуются вещества «А» и «Е». Установите формулы соединений «А» – «F».

Решение. Химизм процессов, описанных в условии, позволяет предположить, что исходное вещество «А» – карбонат неизвестного щелочного металла, так как только оксиды щелочных металлов хорошо растворимы в воде, «В» – его оксид, «С» – оксид углерода(IV), «Д» – гидроксид неизвестного металла.



Увеличение массы при растворении оксида металла в воде происходит за счет его превращения в гидроксид.

Обозначим молярную массу эквивалента ($M_{\text{эКВ}}$) неизвестного металла через x г/моль. Тогда

$$M_{\text{эКВ}}(\text{Me}_x\text{O}_y) = (x + 8) \text{ г/моль} \text{ и } M_{\text{эКВ}}(\text{Me}(\text{OH})_{2y/x}) = (x + 17) \text{ г/моль}.$$

Согласно закону эквивалентов массы веществ, вступивших в реакцию, относятся между собой как молярные массы их эквивалентов (Д. Дальтон, 1803 г.). Отношение масс оксида и гидроксида неизвестного металла в реакции равно отношению их эквивалентных масс [см. формулу (1)]:

$$\begin{aligned} \frac{m_1}{m_2} &= \frac{M_{\text{эКВ1}}}{M_{\text{эКВ2}}}, \\ \frac{0,32}{0,2} &= \frac{x+17}{x+8}, \end{aligned} \quad (1)$$

откуда $x = 7$.

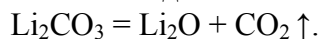
Молярная масса эквивалента – масса вещества количеством один моль эквивалентов, равная произведению молярной массы вещества на фактор эквивалентности, – рассчитывается по формуле (2):

$$M_{\text{эКВ}} = M \cdot f_{\text{эКВ}}, \quad (2)$$

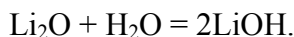
где $f_{\text{эКВ}}$ – фактор эквивалентности – безразмерная величина, показывающая, какая доля реальной частицы вещества равноценна в кислотно-основных реакциях одному иону водорода (H^+) или одному электрону в окислительно-восстановительных реакциях.

Подбирая значение фактора эквивалентности ($f_{\text{эКВ}} = 1$), устанавливаем, что $M(\text{Э}) = \frac{M_{\text{эКВ}}}{f_{\text{эКВ}}} = \frac{7}{1} = 7 \text{ г/моль}$. Полученное значение молярной массы соответствует литию (Li).

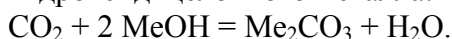
Следовательно, твердое вещество «А» – карбонат лития, который при нагревании разлагается на твердое вещество «В» – оксид лития и газ «С» – оксид углерода(IV):



При растворении оксида лития в воде образуется водный раствор вещества «Д» – гидроксида лития:



Допустим, что «Е» – это гидроксид щелочного металла:



Количество вещества эквивалентов $n_{\text{эКВ}}(\text{Li}_2\text{O})$ рассчитывается по формуле (3):

$$n_{\text{эКВ}} = \frac{m}{M_{\text{эКВ}}}, \quad (3)$$

$$n_{\text{экв.}}(\text{Li}_2\text{O}) = \frac{0,2}{15} = 0,0133 \text{ моль.}$$

Согласно реакции количество вещества эквивалента оксида углерода(IV) равно количеству вещества эквивалента Me_2CO_3 и составляет 0,0133 моль.

$$M_{\text{экв}}(\text{Me}_2\text{CO}_3) = M_{\text{экв}}(\text{Me}) + M_{\text{экв}}(\text{кислотного остатка}) = (x + 30) \text{ г/моль.}$$

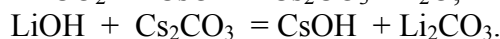
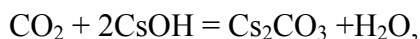
$$\text{В то же время: } M_{\text{экв}}(\text{Me}_2\text{CO}_3) = \frac{2,1733}{0,0133} = 163 \text{ г/моль.}$$

Составим уравнение:

$$x + 30 = 163,$$

откуда $x = 133$.

Полученное значение молярной массы соответствует цезию (Cs), следовательно, вещество «Е» – гидроксид цезия:

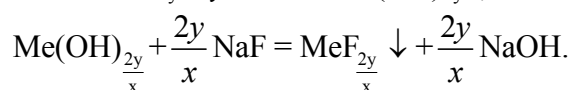
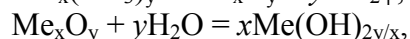


Ответ: «А» – Li_2CO_3 ; «В» – Li_2O ; «С» – CO_2 ; «Д» – LiOH ; «Е» – CsOH ; «F» – Cs_2CO_3 .

Задача 2. При прокаливании ($t = 800^\circ\text{C}$) карбоната неизвестного металла массой 7,4 г получили белый порошок, который бурно прореагировал с водой. К образовавшемуся прозрачному раствору добавили избыток раствора фторида натрия, в результате чего образовался белый осадок массой 5,2 г. Установите формулу неизвестного металла. Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение. Запишем формулу карбоната неизвестного металла в общем виде $\text{Me}_x(\text{CO}_3)_y$.

По условию задачи протекали реакции:



Обозначим молярную массу эквивалента неизвестного металла через x г/моль; количество вещества эквивалента карбоната неизвестного металла – через y моль.

Запишем выражение для молярной массы эквивалента карбоната неизвестного металла:

$$M_{\text{экв}}(\text{Me}_x(\text{CO}_3)_y) = M_{\text{экв}}(\text{Me}) + M_{\text{экв}}(\text{кислотного остатка}) = (x + 30) \text{ г/моль.}$$

По условию задачи $(x + 30) \cdot y = 7,4$ г.

Согласно закону эквивалентов из y моль $\text{Me}_x(\text{CO}_3)_y$ образуется y моль $\text{MeF}_{2y/x}$, следовательно, молярная масса эквивалента фторида неизвестного металла равна:

$$M_{\text{экв}}(\text{MeF}_{2y/x}) = M_{\text{экв}}(\text{Me}) + M_{\text{экв}}(\text{F}) = (x + 19) \text{ г/моль.}$$

По условию задачи $(x + 19) \cdot y = 5,2$ г.

Составим систему уравнений:

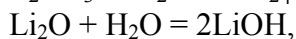
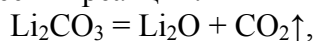
$$\begin{cases} (x + 30) \cdot y = 7,4; \\ (x + 19) \cdot y = 5,2. \end{cases}$$

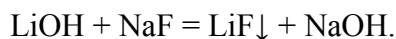
Решая систему, находим: $x = 7$.

$$M_{\text{экв}}(\text{Me}) = 7 \text{ г/моль.}$$

Подбирая значения фактора эквивалентности ($f_{\text{экв}} = 1$), по формуле (2) устанавливаем, что $M(\text{Э}) = \frac{M_{\text{экв}}}{f_{\text{экв}}} = \frac{7}{1} = 7 \text{ г/моль}$. Полученное значение молярной массы соответствует литию (Li).

Запишем уравнения химических реакций:



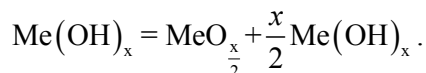
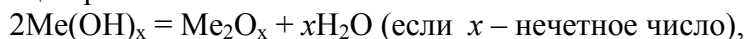


Ответ: Li.

Задача 3. При прокаливании 20 г гидроксида неизвестного металла получили 13,077 г его оксида. Установите формулу гидроксида неизвестного металла.

Решение. Пусть формула гидроксида неизвестного металла $\text{Me}(\text{OH})_x$.

Уравнения реакций разложения:



Изменение массы при термоллизе гидроксида неизвестного металла происходит за счет потери воды.

Согласно закону сохранения массы веществ (масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, образовавшихся в результате ее, *М. Ломоносов, 1748 г.*) выделилось 6,923 г воды ($m = 20 - 13,077 = 6,923$ г).

По формуле (1) рассчитаем молярную массу эквивалента неизвестного оксида:

$$\frac{m_{\text{оксида}}}{m_{\text{воды}}} = \frac{M_{\text{экв}}(\text{оксида})}{M_{\text{экв}}(\text{воды})},$$

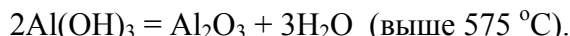
$$M_{\text{экв}}(\text{воды}) = 18 \frac{1}{2} = 9 \text{ г/моль};$$

$$M_{\text{экв}}(\text{оксида}) = \frac{13,077 \times 9}{6,923} = 17 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса эквивалента кислорода равна 8 г/моль, следовательно, $M_{\text{экв}}(\text{Me}) = 17 - 8 = 9$ г/моль.

Если фактор эквивалентности $f_{\text{экв}}(\text{Me}) = \frac{1}{3}$, то $M(\text{Me}) = 9 \cdot 3 = 27$ г/моль. Полученное значение молярной массы соответствует алюминию (Al).

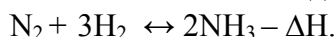
Формулы исходных веществ: гидроксид алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ и оксид алюминия Al_2O_3 .



Ответ: $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Задача 4. В процессе синтеза аммиака из простых веществ в замкнутом сосуде давление в реакционной смеси упало на 20% (при постоянной температуре). Определите состав (об.%) полученной газовой смеси, если в исходной смеси содержание компонентов отвечало стехиометрическому соотношению.

Решение. Реакция образования аммиака из азота и водорода обратимая:



Обозначим объем исходной газовой смеси через 1 л, тогда в исходной смеси содержалось 0,25 л азота (1 часть) и 0,75 л водорода (3 части).

При полном протекании прямой реакции давление в реакторе уменьшится на 50%, поскольку из 4 моль исходных веществ (H_2 и N_2) образуется 2 моль NH_3 . Согласно условию задачи давление в реакционной смеси упало на 20%.

Составим пропорцию:

если давление понижается на 50% – выход реакции синтеза 100%;

если давление понижается на 20% – выход реакции $x\%$,

откуда $x = 40$.

Если выход реакции синтеза аммиака 40%, то количества вещества газов, вступивших в реакцию: $n(\text{H}_2) = 0,75 \cdot 0,4 = 0,3$ моль; $n(\text{N}_2) = 0,25 \cdot 0,4 = 0,1$ моль.

Рассчитаем количества оставшихся после реакции газов и количество образовавшегося аммиака:

$$n(\text{H}_2) = 0,75 - 0,3 = 0,45 \text{ моль}; n(\text{N}_2) = 0,25 - 0,1 = 0,15 \text{ моль}; \\ n(\text{NH}_3) = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ моль}.$$

Суммарное количество веществ в конечной смеси газов: $\sum n = 0,45 + 0,15 + 0,2 = 0,8$ моль.

По закону Авогадро объемные доли газов равны их мольным долям:

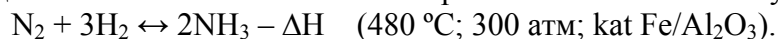
$$\varphi(\text{H}_2) = \chi(\text{H}_2) = \frac{0,45}{0,8} \cdot 100\% = 56,25\%;$$

$$\varphi(\text{NH}_3) = \chi(\text{NH}_3) = \frac{0,2}{0,8} \cdot 100\% = 25,00\%.$$

Ответ: $\varphi(\text{H}_2) = 56,25\%$; $\varphi(\text{N}_2) = 18,75\%$; $\varphi(\text{NH}_3) = 25,00\%$.

Задача 5. В процессе синтеза аммиака из простых веществ в замкнутом сосуде давление в реакционной смеси упало на 10% (при постоянной температуре). Определите состав (об.%) полученной газовой смеси, если в исходной смеси содержалось 50 об.% азота.

Решение. Реакция синтеза аммиака является обратимой и описывается уравнением:



Обозначим объем исходной смеси через 1 л. По условию задачи, в ней содержатся равные объемы азота и водорода: $V(\text{N}_2) = V(\text{H}_2) = 0,5$ л.

Обозначим объем вступившего в реакцию азота через x л, тогда объем прореагировавшего водорода – $3x$ л, и образовалось $2x$ л аммиака.

В конечной смеси содержатся: $V(\text{N}_2) = (0,5 - x)$ л; $V(\text{H}_2) = (0,5 - 3x)$ л; $V(\text{NH}_3) = 2x$ л.

Реакция проводится в замкнутом сосуде, поэтому давление в сосуде при постоянной температуре прямо пропорционально общему количеству газов: $\frac{P_2}{P_1} = 0,9$.

Конечный объем газовой смеси (л) равен:

$$(0,5 - x) + (0,5 - 3x) + 2x = 0,9,$$

откуда $x = 0,05$.

В конечной смеси

$$V(\text{N}_2)_{\text{кон}} = 0,5 - 0,05 = 0,45 \text{ л}; V(\text{H}_2)_{\text{кон}} = 0,5 - 3 \cdot 0,05 = 0,35 \text{ л};$$

$$V(\text{NH}_3)_{\text{кон}} = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ л}.$$

Объемный состав полученной смеси газов равен:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{0,35}{0,9} \cdot 100\% = 38,89\%; \quad \varphi(\text{N}_2) = \frac{0,45}{0,9} \cdot 100\% = 50,00\%;$$

$$\varphi(\text{NH}_3) = \frac{0,1}{0,9} \cdot 100\% = 11,11\%.$$

Ответ: $\varphi(\text{H}_2) = 38,89\%$; $\varphi(\text{N}_2) = 50,00\%$; $\varphi(\text{NH}_3) = 11,11\%$.

Задача 6. В процессе синтеза оксида серы(VI) из оксида серы(IV) и кислорода давление в замкнутом реакторе упало на 25% (при постоянной температуре). Определите состав (об.%) образовавшейся газовой смеси, если в исходной смеси компоненты находились в стехиометрическом соотношении.

Решение. Реакция образования оксида серы(VI) из оксида серы(IV) и кислорода обратимая:



Обозначим исходное количество вещества оксида серы(IV) через 2 моль и кислорода – через 1 моль.

При полном протекании прямой реакции слева направо, давление в реакторе уменьшится на 33,33% (из 3 моль исходных газов образуется 2 моль оксида серы(VI)).

Составим пропорцию:

если давление понижается на 33,33% – выход реакции 100%;

если давление понижается на 20% – выход реакции $x\%$,

откуда $x = 75$.

Выход реакции синтеза оксида серы(VI) – 75%.

Рассчитаем количество вещества газов, вступивших в реакцию:

$$n(\text{SO}_2) = 2 \cdot 0,75 = 1,5 \text{ моль}; n(\text{O}_2) = 1 \cdot 0,75 = 0,75 \text{ моль}.$$

Рассчитаем количества веществ, оставшихся после реакции газов и образовавшегося оксида серы(VI): $n(\text{SO}_2) = 2 - 1,5 = 0,5$ моль; $n(\text{O}_2) = 1 - 0,75 = 0,25$ моль; $n(\text{SO}_3) = 0,75 \cdot 2 = 1,5$ моль.

Суммарное количество веществ в конечной смеси газов: $\sum n = 0,5 + 0,25 + 1,5 = 2,25$ моль.

Объемный состав полученной смеси газов равен ее мольному составу.

$$\varphi(\text{SO}_2) = \chi(\text{SO}_2) = \frac{0,5}{2,25} \cdot 100\% = 22,22\%;$$

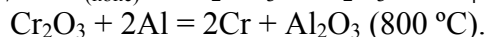
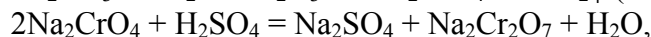
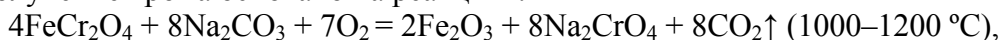
$$\varphi(\text{O}_2) = \chi(\text{O}_2) = \frac{0,25}{2,25} \cdot 100\% = 11,11\%; \varphi(\text{SO}_3) = \chi(\text{SO}_3) = \frac{1,5}{2,25} \cdot 100\% = 66,67\%.$$

Ответ: $\varphi(\text{SO}_2) = 22,22\%$; $\varphi(\text{O}_2) = 11,11\%$; $\varphi(\text{SO}_3) = 66,67\%$.

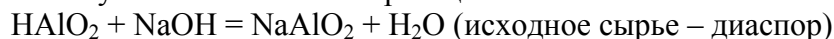
Задача 7. Определите массы (кг) хромистого железняка и боксита, в котором содержание основного вещества 60 масс.%, необходимых для получения 312 кг хрома. Приведите уравнения химических реакций, укажите условия их протекания.

Решение. Исходным сырьем для получения хрома являются хромистый железняк (FeCr_2O_4) и боксит (гидратированный оксид алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, который в зависимости от степени гидратации может находиться в форме диаспора $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ или гидроаргелита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

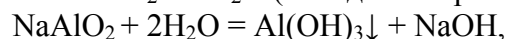
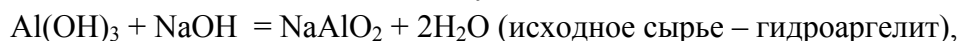
Получение хрома основано на реакциях:

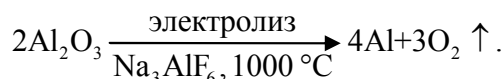


Алюминий получают из боксита по реакциям:



или





Так как $n(\text{Cr}) = 312/52 = 6$ кмоль, то согласно уравнениям реакций $n(\text{FeCr}_2\text{O}_4) = 3$ кмоль, $n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 6$ кмоль.

Масса хромистого железняка: $m(\text{FeCr}_2\text{O}_4) = 3,0 \cdot 224 = 672$ кг.

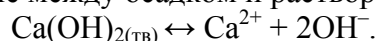
Масса боксита: $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \cdot 6 = 612$ кг.

Масса боксита с учетом примесей 60 масс. %: $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{612}{0,6} = 1020$ кг.

Ответ: $m(\text{FeCr}_2\text{O}_4) = 672$ кг; $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1020$ кг.

Задача 8. Смешали равные объемы 0,01М раствора бромида кальция и 0,03М раствора гидроксида натрия. Определите, будет ли образовываться осадок, если произведение растворимости гидроксида кальция $5,5 \cdot 10^{-6}$. Принять плотности всех растворов равными 1 г/мл.

Решение. Для насыщенного раствора гидроксида кальция, находящегося в контакте с твердым $\text{Ca}(\text{OH})_2$, равновесие между осадком и раствором имеет вид:



Произведение растворимости (ПР) равно произведению молярных концентраций ионов в растворе, каждая из которых возведена в степень, равную стехиометрическому коэффициенту при соответствующем ионе в уравнении. Таким образом, $\text{ПР}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = c_{\text{Ca}^{2+}} \cdot c_{\text{OH}^-}^2$. Если произведение концентраций реальных ионов в растворе превышает табличное значение $\text{ПР}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 5,5 \cdot 10^{-6}$, то осадок будет образовываться.

Предположим, что смешали по 0,5 л исходных растворов (по условию задачи – равные объемы). При этом концентрация ионов кальция и гидроксид-ионов уменьшится вдвое:

$$c_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{0,01}{2} = 0,005 \text{ моль/л}; c_{\text{OH}^-} = \frac{0,03}{2} = 0,015 \text{ моль/л}.$$

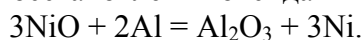
Ионное произведение равно: $c_{\text{Ca}^{2+}} \cdot c_{\text{OH}^-}^2 = 0,005 \cdot (0,015)^2 = 1,125 \cdot 10^{-6}$.

Так как $1,125 \cdot 10^{-6} < 5,5 \cdot 10^{-6}$, то осадок не образуется.

Ответ: осадок образовываться не будет.

Задача 9. Смесь порошков алюминия и оксида никеля(II) подожгли с помощью магниевой ленты. В результате был получен Ni–Al сплав, содержащий 30 масс.% алюминия. Вычислите массовую долю (%) алюминия в исходной смеси.

Решение. Уравнение реакции восстановления оксида никеля(II) алюминием:



Пусть масса исходной смеси порошков равна 100 г. Обозначим массу алюминия в этой смеси через x г, тогда масса оксида никеля(II) равна $(100 - x)$ г. Количество

вещества $n(\text{NiO}) = \frac{100 - x}{74,7}$ моль.

Количество вещества алюминия: $n(\text{Al}) = \frac{2}{3} \cdot n(\text{NiO}) = \frac{2}{3} \cdot \frac{(100 - x)}{74,7} = \frac{100 - x}{112,05}$ моль.

Рассчитаем массу вступившего в реакцию алюминия:

$$m(\text{Al}) = \frac{2}{3} \cdot \frac{27 \cdot (100 - x)}{74,7} = 0,2409 \cdot (100 - x) = (24,09 - 24,09 \cdot x) \text{ г}.$$