

Отчёт

О проведении занятия № 11 по теме: «**Определение молярной массы металла**» - 2 часа.

Дата: 27 января 2013 г.

Научн. рук. доц. Чекмарева Л.И.

Ведущие преподаватели: доц. Яргаева В.А., ст. препод. Мара Н. Л.

Ассистенты: Верхотуров А. О., Соловьёв Р. С. (гр. ХТПЭ-01), Ладный В. В. (гр. ПТК-21).

Материальное обеспечение: ведущий инженер Шашкова С. П.

Фотосессия: Яргаева В. А.

Компьютерное обеспечение: Яргаева В. А., Хорулёва М.

Цель занятия: Ознакомиться с основами газометрического анализа простейшей газометрической установкой и техникой выполнения эксперимента на примере определения молярной массы металла с использованием реакции, связанной с выделением газа,. Полученные знания закрепляются решением задач с применением газовых законов, правила Дюлонга и Пти, закона эквивалентов.

Использованные формы обучения: химический эксперимент, расчётные методы, тренинг. В экспериментальной части работы использованы фрагменты из методического пособия Гомза Т. В., Филипповой Г. А., Хромцовой Е. В. «Химия. Лабораторный практикум для студентов технических вузов»: учебн. пособие, 3-е изд. – Хабаровск, Изд-во ТОГУ, 2009.

Ожидаемые результаты:

- 1) повышение уровня теоретической и экспериментальной подготовки;
- 2) знакомство с техникой выполнения одного из вариантов газометрического анализа;
- 3) творческое продолжение исследований в школьных кружках реакций, связанных с выделением газов (H_2 , CO_2 и других).

Лабораторная работа №3.

«Определение молярной массы металла»

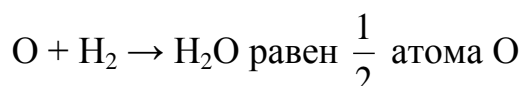
Опираясь на закон постоянства состава Пруста, (каждое химическое соединение имеет вполне определенный и постоянный состав, независимо от способа его получения), Дальтон ввел в науку представление о соединительных весах элементов, впоследствии названных «эквивалентами» (закон паёв). Под «паем – эквивалентом» Дальтон понимал такое весовое количество элемента, которое соответствует в реакциях (присоединяет или вытесняет) одной весовой части водорода (1,0079 г).

Важным следствием введенного Дальтоном понятия явился современный закон эквивалентов: «Все элементы соединяются между собой в определенных весовых соотношениях, соответствующих их эквивалентам», т.е. 1 эквивалент одного элемента (вещества) всегда реагирует с 1 эквивалентом второго элемента вещества. Претерпело изменение и дальтоновское понятие «эквивалента-пая».

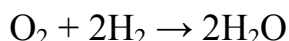
Современный эквивалент определяется как частица (молекула, ион, атом) или её часть, соответствующая в реакциях 1 атому водорода (или $\frac{1}{2}$ атома кислорода, или 1 переданному электрону).

$$1 \text{ эквивалент} = \frac{1}{z} \text{ частице}$$

Например, эквивалент атома кислорода в процессе образования воды

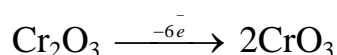


Эквивалент молекулы кислорода в том же процессе образования воды



равен $\frac{1}{4}$ молекулы O_2 , т.к. она соединяется с 4 атомами водорода.

Эквивалент оксида хрома (III) в превращении его в оксид хрома (VI)



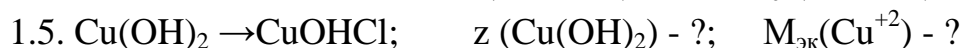
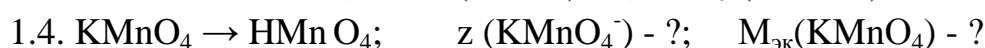
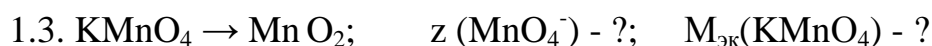
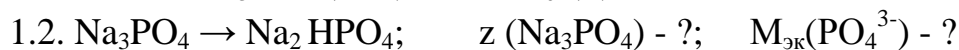
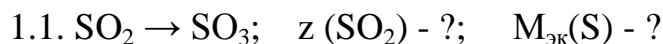
равен $\frac{1}{6}$ молекулы Cr_2O_3 , а эквивалент хрома равен $\frac{1}{3}$ атома Cr^{+3}

Молярные массы эквивалентов соответственно будут вычисляться, как

$M_{\text{эк}}(\text{B}) = M(\text{B})/z$, где z – число переданных частицей в реакции атомов водорода или электронов. Это число также называют числом эквивалентности.

Тренинг 1.

Определите число эквивалентности z частицы в превращениях, молярную массу эквивалента этой частицы или входящего в её состав элемента (согласно заданию).



Используя реакции веществ с участием водорода (или кислорода), можно экспериментальным путем определить молярную массу эквивалента этого вещества и, зная число эквивалентности z , определить его атомную или молярную массу

$$M(\text{B}) = M_{\text{эк}}(\text{B}) \cdot z$$

Экспериментальная часть

Часть I. Определение молярной массы эквивалентов металла газометрическим методом.

В данной работе молярную массу эквивалентов металла находят методом вытеснения водорода из кислоты с последующим измерением его объема. Водород, собираясь над водой, смешивается с ее парами, поэтому, чтобы установить давление собственно водорода, необходимо ввести поправку на парциальное давление водяных паров.

Парциальным называется давление, которое производит компонент газовой смеси, занимая объем, равный объему смеси. Давление, производимое водородом $P(\text{H}_2)$, вычисляют как разность общего давления смеси газов P (в данном случае оно равно атмосферному) и парциального давления паров воды: $P(\text{H}_2) = P - P(\text{H}_2\text{O})$.

Давление водяных паров считается величиной, постоянной для данной температуры

Таблица 1

Давление водяных паров P (мм рт. ст.) при различных температурах.

$t^\circ \text{C}$	$P(\text{H}_2\text{O})$	$t^\circ \text{C}$	$P(\text{H}_2\text{O})$
20	17,52	23	21,03
21	18,63	24	22,33
23	21,03	25	23,71

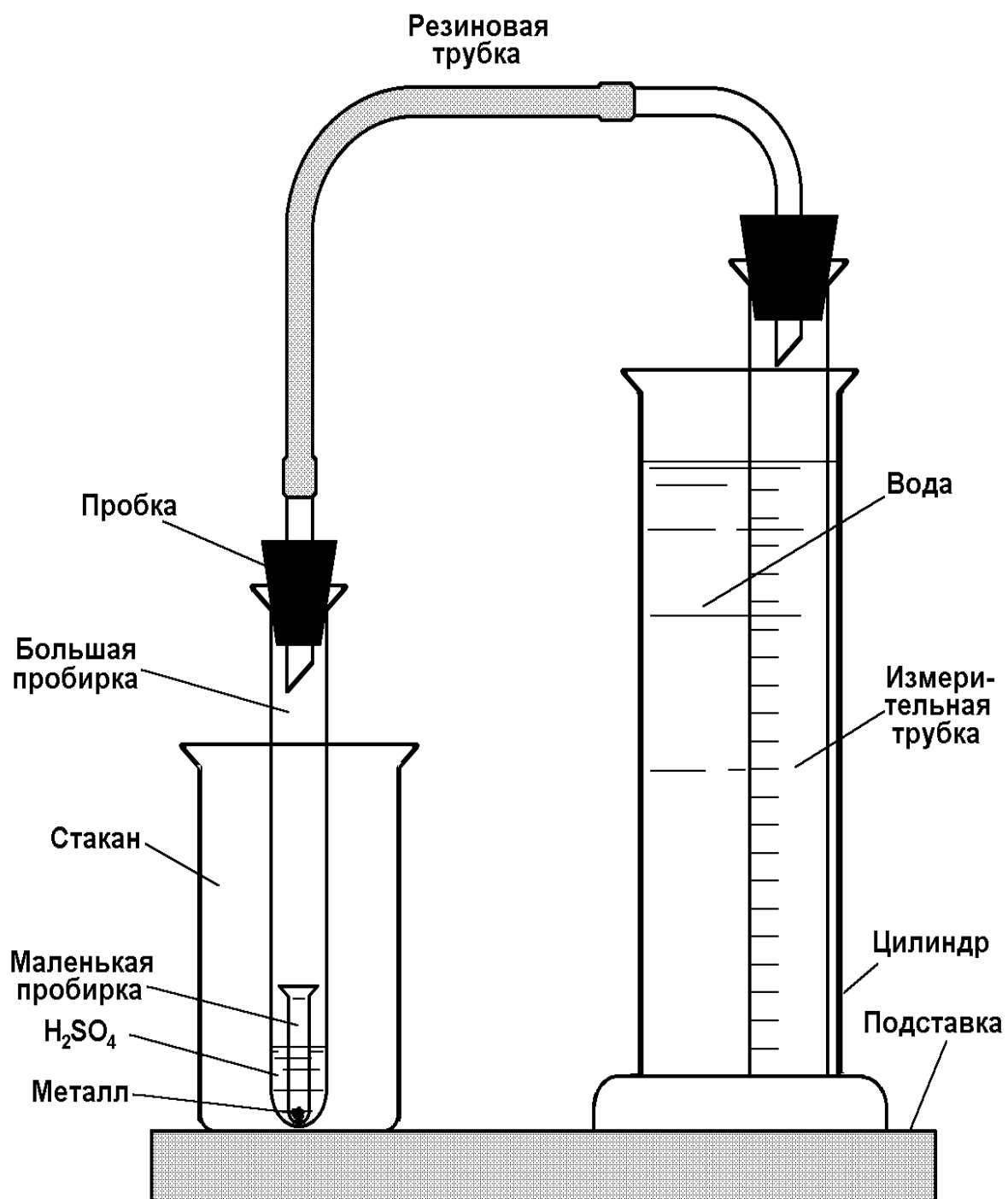


Рис. Прибор для газометрических измерений

**Методика
выполнения
опыта**

В маленькую пробирку поместите предварительно взвешенный кусочек металла. В большую пробирку налейте 5–7 мл серной кислоты 1:3. Наклонив большую пробирку, осторожно опустите в нее маленькую так, чтобы в маленькую пробирку не попала кислота (см. рис. 1).

Большую пробирку закройте пробкой и поставьте в стакан, который исполняет роль держателя большой пробирки.

Проверьте прибор на герметичность. Для этого нужно приподнять измерительную трубку в цилиндре на 5–10 см и подержать. Если уровень воды не изменится, прибор считается герметичным.

Значение исходного уровня воды V_1 в измерительной трубке занесите в табл. 2. В момент замера уровни воды в цилиндре и измерительной трубке должны совпадать, что будет соответствовать атмосферному давлению в системе.

Большую пробирку выньте из стакана и наклоните так, чтобы кислота попала в маленькую пробирку. Большую пробирку снова поставьте в стакан и наблюдайте взаимодействие металла с кислотой. К измерению объема выделившегося водорода можно приступить только тогда, когда пробирка с реагентами примет температуру окружающей среды. Для приведения давления в приборе к уровню атмосферного следует измерительную трубку внутри цилиндра приподнять таким образом, чтобы уровень воды в цилиндре совпал с уровнем воды в измерительной трубке. Результат измерения (V_2) внесите в табл. 2.

Разность уровней воды в измерительной трубке покажет объем газовой смеси (водород, образовавшийся в результате реакции, и водяные пары).

По окончании измерений большую пробирку следует отсоединить и вымыть обе пробирки.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Величина	Обозначение	Единица измерения	Значение
Число эквивалентности водорода (H ₂)	$Z(\text{H}_2)$	—	
Теоретическое значение молярной массы эквивалентов водорода	$M_{\text{эк}}^{\text{теор}}(\text{H}_2)$	г/моль	
Молярный объем эквивалентов водорода при н.у.	$V_{\text{эк}}^0(\text{H}_2)$	л/моль; мл/моль	
Масса металла	$m(\text{Me})$	г	
Температура в помещении	t, T	°С, К	
Атмосферное давление	P	мм рт. ст.	
Парциальное давление паров воды	$P(\text{H}_2\text{O})$	мм рт. ст.	
Исходный уровень воды	V_1	мл	
Конечный уровень воды	V_2	мл	
Объем газовой смеси	V	мл	
Объем водорода, приведенный к нормальным условиям	$V^0(\text{H}_2)$	мл	
Экспериментальное значение молярной массы эквивалентов металла	$M_{\text{эк}}^{\text{эксп}}(\text{Me})$	г/моль	

Расчеты и обсуждение результатов

1. Вычислите объем водорода, вытесненного металлом из кислоты, в смеси с парами воды:

$$V = V_2 - V_1.$$

2. Приведите объем водорода к нормальным условиям (по объединенному газовому закону $\frac{P^0 V^0}{T^0} = \frac{P_{\text{эксп}} V_{\text{эксп}}}{T_{\text{эксп}}}$, откуда

$$V^{\circ}(\text{H}_2) = \frac{V \cdot (P - P(\text{H}_2\text{O})) \cdot 273}{T \cdot 760}.$$

где $V^{\circ}(\text{H}_2)$ — объем водорода при нормальных условиях, мл; $T = t + 273$.

3. Рассчитайте экспериментальное значение молярной массы эквивалентов металла $M_{\text{эк}}^{\text{эксп}}(\text{Me})$, пользуясь соотношением

$$\frac{m(\text{Me})}{M_{\text{эк}}^{\text{эксп}}(\text{Me})} = \frac{V^{\circ}(\text{H}_2)}{V_{\text{эк}}^{\circ}(\text{H}_2)}.$$

Часть II. Установление числа эквивалентности, молярной массы металла и химического символа по дополнительным данным.

Дополнительно проведённым экспериментом была установлена удельная теплоёмкость исследуемого металла $C_p(\text{Me}) = 0,983$ Дж/г·К. (удельная теплоёмкость, C_p — это количество джоулей теплоты, которое требуется чтобы нагреть 1 г металла на 1 градус).

Используя эмпирическое правило Дюлонга и Пти о том, что стандартная молярная теплоёмкость простых веществ в достаточно небольших интервалах температур приблизительно составляет 23 – 26 Дж/моль·К, рассчитываем молярную массу исследуемого металла, приняв за C_p° значение 24 Дж/моль·К.

$$M(\text{Me}) = \frac{C_p^{\circ}(\text{Me})}{C_p(\text{Me})} \cdot \frac{24}{0,983} = 24,41 \text{ г/моль}$$

Далее определяем число эквивалентности z .

$$z(\text{Me}) = \frac{M(\text{Me})}{M_{\text{эк}}(\text{Me})} \approx \text{небольшое целое число.}$$

Число эквивалентности соответствует валентности металла, что позволяет определить группу ПСЭ, где этот металл находится и имеет найденную нами молярную массу, Таким образом, устанавливается химический символ металла.

Вставка 2. Записываем уравнение реакции исследуемого металла с кислотой. Рассчитываем погрешность определения $M_{\text{эксп.}}(\text{Me})$ относительно $M_{\text{теор.}}(\text{Me})$ по формуле:

$$\% = \frac{|M_{\text{эксп.}}(\text{Me}) - M_{\text{теор.}}(\text{Me})|}{M_{\text{теор.}}(\text{Me})} \cdot 100.$$









Тренинг 2.

- Определите атомную массу металла, если его удельная теплоемкость составляет $0,1276 \text{ Дж/г} \cdot \text{K}$, а оксиды содержат $13,98$ и $7,16 \%$ кислорода. Назовите этот металл, запишите формулы оксидов.

Рекомендации к решению:

Согласно закону эквивалентов отношение $m(\text{Me})/m(\text{O})$ в 100 г оксида (т.е. отношение их процентного содержания в оксиде) будет равно отношению молярных масс их эквивалентов $M_{\text{эк}}(\text{Me})/M_{\text{эк}}(\text{O})$.

Далее по правилу Дюлонга и Пти находим приблизительную молярную массу металла, приняв молярную теплоёмкость равной ≈ 26 .

Разделив $M(\text{Me})/M_{\text{эк}}(\text{Me})$ и округлив результат до ближайшего целого числа, находим валентности металла в каждом оксиде. Высшая валентность укажет на номер группы и по величине молярной массы мы установим химический символ металла.

- $3,000 \text{ г}$ железа реагируют с кислородом, образуя $4,289 \text{ г}$ оксида. Зная, что удельная теплоемкость железа равна $0,447 \text{ Дж/г} \cdot \text{K}$, рассчитайте число эквивалентности железа в оксиде и составьте формулу оксида.
- Металл образует два оксида, содержащих $21,20$ и $11,88\%$ кислорода. Удельная теплоемкость металла $0,217 \text{ Дж/г} \cdot \text{K}$. Вычислите молярную массу атомов металла и установите формулы оксидов.
- Удельная теплоемкость металла равна $0,238 \text{ Дж/г} \cdot \text{K}$. Хлорид этого металла содержит $38,7\%$ хлора. Определите молярную массу атомов металла.
- При нормальных условиях $1,540 \text{ г}$ металла вытесняют из кислоты $0,617 \text{ л}$ водорода. Удельная теплоемкость металла $0,486 \text{ Дж/г} \cdot \text{K}$. Вычислите молярную массу атомов металла и назовите этот металл.
- При взаимодействии $0,563 \text{ г}$ металла с водой выделилось $348,9 \text{ мл}$ водорода при 24°C и $9,943 \cdot 10^4 \text{ Па}$. При окислении $1,830 \text{ г}$ этого металла кислородом образовалось $2,560 \text{ г}$ оксида. При нагревании полученного оксида в атмосфере диоксида углерода масса вещества увеличилась на $2,09 \text{ г}$. При нагревании $0,980 \text{ г}$ металла в атмосфере влажного диоксида углерода масса вещества стала $3,969 \text{ г}$. Зная, что удельная теплоемкость металла равна $0,647 \text{ Дж/г} \cdot \text{K}$, определите этот металл и запишите все уравнения его реакций, подтвердив правильность их написания расчётами.

Рекомендации к решению:

- 1) Обратите внимание, что металл реагирует с водой, следовательно относится либо к щелочным, либо щелочноземельным металлам.

- 2) Его оксид увеличивает свою массу в атмосфере углекислого газа, следовательно идёт реакция соединения основного оксида с кислотным.
- 3) В присутствии влаги и избытка CO_2 масса металла увеличивается, видимо, за счёт образования кислой соли – гидрокарбоната металла.
- 4) По правилу Дюлонга и Пти определите приблизительную молярную массу металла.
- 5) По результатам реакции с водой или кислородом определите $M_{\text{эк}}(\text{Me})$, после чего установите число эквивалентности, тем самым определив в какой группе ПСЭ стоит металл.
- 6) Установив химический символ металла, запишите уравнения реакций, после чего рассчитайте, соответствуют ли полученные количества продуктов реакций написанным Вами уравнениям.

Тренинг 3.

- Через раствор соли двухвалентного металла в течение 10 часов при силе тока 2,68А пропущено 96484 Кл электричества.

На электроде выделилось 12,15г металла (выход по току 100%). Какова молярная масса атомов металла? Какой это металл?

Рекомендации к решению:

Взаимодействие веществ с электрическим током также подчиняется закону эквивалентов, т.е. моль эквивалентов электричества соответствует молю эквивалентов прореагировавшего с током вещества. Моль эквивалентов электричества содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ (число Авогадро) электронов и соответствует 96 500 кулонов электричества. Отрицательно заряженный катод отдаёт электроны веществу, а положительно заряженный анод принимает электроны от вещества.

Количество электричества, израсходованного на выделение вещества на электроде (процесс электролиза) вычисляем по формуле $Q(\text{Кулон}) = i (\text{ампер}) \cdot \tau (\text{секунд})$.

Процессы на электродах записываются в виде электронных уравнений:

Катод; $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}^0$ (на катоде) – процесс восстановления

Анод; $2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \rightarrow \text{Cl}_2$ (на аноде) – процесс окисления.

Таким образом, окислительно-восстановительные процессы, протекающие на электродах под действием электрического тока называют **электролизом**.

Закон эквивалентов для электролиза может быть записан:

$$\frac{m(\text{Me})}{Q(\text{Кл})} = \frac{M_{\text{эк}}(\text{Me})}{F},$$

где $Q = i \cdot \tau$, а F (число Фарадея) = 96 500 Кл. Из закона эквивалентов находим $M_{\text{эк}}$ (вещества).

Число эквивалентности будет соответствовать числу электронов, отданных или принятых на электроде. В нашем случае:

На катоде; $\text{Me}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Me}^{\circ}$, следовательно $z(\text{Me}^{\circ}) = 2$ и тогда $M(\text{Me}) = M_{\text{эк}}(\text{Me}) \cdot z(\text{Me})$. По величине $M(\text{Me})$ и числу $z = 2$ находим этот металл в ПСЭ.

- Вычислите молярную массу атомов хрома, исходя из того, что при пропускании через раствор $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ электрического тока силой 10 ампер в течение 30 минут на катоде отложилось 3,25г хрома. Потерями при электролизе пренебречь
- Вычислите объем моля эквивалентов хлора, исходя из того, что при пропускании через раствор хлорида натрия тока силой 1 ампер в течение 10мин 3 секунд на аноде выделилось 70 см^3 хлора (при нормальных условиях)
- Вычислите число эквивалентности (z) железа, исходя из того, что для выделения из раствора соли железа 1,117г металла требуется пропустить через раствор ток силой 4 ампера в течение 16мин 5секунд.
- При пропускании тока одной и той же силы через растворы серной кислоты и азотнокислого серебра за одинаковый промежуток времени на катоде в первом случае выделилось 224 см^3 (при н.у.) водорода, а во втором - 2,16г. серебра. Определите молярную массу эквивалента серебра.

Примечание: Так как на выделение водорода и серебра были израсходованы одинаковые количества электричества, то количества эквивалентов этих веществ тоже одинаковы. Тогда $\nu(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M_{\text{эк}}(\text{Ag})}$ будет равно $\nu(\text{H}) = \frac{V(\text{H})}{V_{\text{эк}}^{\circ}(\text{H})}$.

- Через раствор соли пропущен ток силой 2,00А в течение 1 часа. Выделилось 0,910г. металла, удельная теплоемкость которого равна 1,024 Дж/К*г. При сжигании в кислороде 0,810г металла образовалось 1,343г. оксида. При действии хлороводородной кислоты на 0,100г. металла из раствора выделилось $0,969 \text{ см}^3$ водорода, который собрали над водой при 19°C и $1,051 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (Давление паров воды при этой температуре равно $2,2 \cdot 10^3 \text{ Па}$). Что это за металл? Запишите все уравнения его реакций, подтвердите правильность их написания расчётами.