

Лабораторная работа

Определение молярной массы эквивалентов

Цель работы

Ознакомиться с понятием эквивалента вещества и методикой расчета молярной массы эквивалента, связанной с законом эквивалентов, изучить экспериментальный способ определения молярной массы эквивалента металла, по объему вытесняемого им водорода из соединений (метод вытеснения водорода).

Продолжительность лабораторного занятия – 2 ч.

Теоретические положения

Эквивалент (Э) – это реальная или условная частица вещества, которая может замещать, присоединять, высвобождать или быть каким-либо другим образом эквивалентна одному иону водорода в кислотно-основных или ионообменных реакциях или одному электрону в окислительно-восстановительных реакциях. Так же, как молекула, атом или ион, эквивалент безразмерен. И так же как в случае молекул, атомов или ионов, состав эквивалента выражают с помощью химических знаков и формул.

Моль эквивалентов – количество вещества содержащего $6,02 \cdot 10^{23}$ эквивалентов. Массу одного моля эквивалентов называют молярной массой эквивалентов вещества ($M_{\text{Э}}$), г/моль.

Для расчета молярной массы эквивалента вещества можно использовать формулы:

а) для простого вещества

$$M_{\text{Э}} = \frac{M_{\text{А}}}{\text{В}},$$

где $M_{\text{А}}$ – молярная масса атома данного вещества; В – валентность атома.

б) для сложного вещества

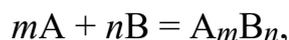
$$M_{\text{Э}} = \frac{M}{\text{В} \cdot n},$$

где M – молярная масса данного вещества; В – валентность функциональной группы; n – число функциональных групп в молекуле.

Все вещества реагируют друг с другом в эквивалентных количествах. Массы участвующих в реакции веществ пропорциональны молярным массам их эквивалентов (закон эквивалентов):

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{\text{Э}1}}{M_{\text{Э}2}}.$$

Закон эквивалентов для реакции



протекающей в растворе, можно записать следующим образом:

$$V_A N_A = V_B N_B,$$

где V_A и V_B – объемы реагирующих растворов, мл; N_A и N_B – их молярные концентрации эквивалентов, моль экв/л.

Задание для домашней подготовки

Каждый студент должен:

1. Ознакомиться с теоретическими основами метода определения эквивалента веществ по рекомендуемой литературе [1, 2].
2. Ознакомиться с порядком выполнения лабораторной работы.
3. Подготовить ответы на следующие вопросы:
 - 3.1. Что такое химический эквивалент?
 - 3.2. Что такое молярная масса эквивалента?
 - 3.3. Как формулируется закон эквивалентов?

Оборудование и реактивы

Для выполнения работы потребуется две бюретки, соединенные резиновым шлангом (наполненные водой), сосуд Ландольта, пробка с газоотводной трубкой, термометр, барометр; раствор соляной кислоты (1 : 4), навеска металла около 0,2 г.

Рабочее задание

Каждый студент обязан:

- выполнить эксперимент по определению молярной массы эквивалента металла;
- по данным опыта определить молярную массу эквивалента металла. Сравнив экспериментальное значение с теоретическим значением молярной массы эквивалента металла (Mg, Al, Zn), определить, какой металл был взят для реакции;
- подготовить отчет по работе.

Методика и порядок выполнения работы

Метод основан на измерении объема водорода, который выделяется из кислоты при действии на нее металла.

1. Соберите прибор для определения эквивалента металла. Применяемый для этой цели прибор состоит из двух бюреток, укрепленных на штативе и соединенных резиновой трубкой. В такой сообщающийся сосуд наливают воду приблизительно до половины бюреток. Одну из бюреток сверху закрывают пробкой с отводной трубкой, к которой присоединяют сосуд Ландольта, где происходит реакция между кислотой и металлом. Другая бюретка служит приемником для воды, вытесняемой выделяющимся при реакции водородом.

2. Проверьте герметичность прибора. Для этого, не трогая бюретку с пробиркой, переместите другую бюретку вместе с лапкой штатива так, чтобы уровень воды в ней стал на 5–10 см выше, чем в первой бюретке. Если разница в уровнях не изменяется, прибор исправлен («держит»); если уровни в бюретках выравниваются, прибор негерметичен, пропускает воздух, о чем следует сообщить преподавателю.

3. В один отросток сосуда Ландольта налить раствор соляной кислоты (на одну четверть): поддерживая сосуд в наклонном положении, поместите навеску металла в другой отросток сосуда Ландольта и закройте сосуд пробкой с отводной трубкой от бюретки.

4. Приведите воду в бюретках к одинаковому уровню и отметьте уровень воды в открытой бюретке (мл). Отчет производите по нижнему мениску воды с точностью до 0,1 мл.

5. Стряхните металл в кислоту (смойте его кислотой). Наблюдайте выделение водорода и вытеснение воды из бюретки.

По окончании реакции дайте пробирке охладиться на воздухе, после чего снова приведите воду в бюретках к одинаковому уровню. Запишите новый уровень воды в открытой бюретке.

Объем выделившегося водорода определяют по разности уровней воды в любой из бюреток до и после опыта при давлении в закрытой бюретке,

равном атмосферному. Давление газа в закрытой бюретке равно атмосферному, если вода в обеих бюретках находится на одном уровне.

Даже при комнатной температуре пар над поверхностью воды обладает заметным давлением. Это следует учитывать при вычислении объема газа, собранного над водой. Поэтому для определения парциального давления водорода необходимо от общего (атмосферного) давления, под которым находится водород, вычесть давление насыщенного водяного пара.

6. По опытным данным рассчитайте молярную массу эквивалента металла. Для этого:

а) по разности уровней воды до и после реакции рассчитайте объем выделившегося водорода;

б) рассчитайте объем водорода при нормальных условиях, используя уравнение газового состояния

$$\frac{V_0 \cdot p_0}{T_0} = \frac{V \cdot p}{T},$$

где V_0 – объем выделившегося водорода при н.у., мл; p_0 – парциальное давление водорода при н.у., равное 101,3 кПа (760 мм рт. ст.); T_0 – температура, 273 К; V – объем выделившегося водорода при условиях опыта, мл; p – парциальное давление водорода при данных условиях, кПа (мм рт. ст.); T – температура опыта, К.

Для определения парциального давления водорода необходимо от общего (атмосферного) давления, под которым находится водород, вычесть давление насыщенного водяного пара h (табл. 3):

$$p_{\text{H}_2} = p_{\text{атм}} - h;$$

в) рассчитайте теоретическое значение молярной массы эквивалента Mg, Al, Zn;

Таблица 3

Давление насыщенного водяного пара

Температура, °С	Давление		Температура, °С	Давление	
	кПа	мм рт.ст.		кПа	мм рт.ст.

13	1,49	11,2	22	2,64	19,8
14	1,58	11,9	23	2,81	21,1
15	1,68	12,6	24	2,99	22,4
16	1,81	13,6	25	3,17	23,8
17	1,93	14,5	26	3,36	25,2
18	2,07	15,5	27	3,56	26,7
19	2,20	16,5	28	3,75	28,1
20	2,33	17,5	29	3,97	29,8
21	2,49	18,7	30	4,21	31,6

г) рассчитайте опытное значение молярной массы эквивалента металла, согласно закону эквивалентов:

$$m \text{ г металла вытесняют } V_0 \text{ мл водорода}$$

$$x \gg \gg \gg 11200 \gg \gg$$

Сравнивая полученное значение молярной массы эквивалента с теоретическим значением молярной массы эквивалента металла (Mg, Al, Zn), определите, какой металл был взят для реакции;

д) рассчитайте ошибки опыта:

1) абсолютную: $e = M_{\text{Э}}(\text{теор}) - M_{\text{Э}}(\text{прак})$,

2) относительную: $\delta = \frac{e}{M_{\text{Э}}(\text{теор})} \cdot 100\%$.

Запишите уравнение реакции взаимодействия металла с соляной кислотой.

Указания по оформлению отчета

Отчет о работе должен включать:

- а) название выполняемой работы, цель;
- б) перечисление оборудования и реактивов;
- в) краткие теоретические положения;
- г) ход работы: краткое описание методики определения эквивалента металла;
- д) рисунок прибора, используемого для определения эквивалента металла;
- е) данные опыта:
 - навеска металла, г;
 - уровень воды в бюретке до и после реакции, мл;
 - температура, К;
 - атмосферное давление, кПа;

- давление водяного пара, кПа;
- давление водорода, кПа.
- ж) расчет опытной молярной массы эквивалента металла на основе закона эквивалентов, абсолютной и относительной ошибки опыта;
- е) выводы.

Контрольные вопросы и задачи

1. Что называют эквивалентом вещества?
2. Как определить эквивалент кислоты, основания, соли в кислотно-основных реакциях?
3. Как определить эквивалент вещества в окислительно-восстановительных реакциях?
4. Что такое моль эквивалентов и молярная масса эквивалентов?
5. Рассчитайте молярные массы эквивалента следующих веществ в реакциях обмена: NaOH, H₂S, Mg(NO₃)₂, Ca(OH)₂, H₂SO₄, NH₄OH. Составьте уравнения реакций.
6. К раствору, содержащему 1 г соляной кислоты, прибавили раствор, содержащий 1 г гидроксида натрия. Будет ли полученный раствор нейтральным, кислым или щелочным? Ответ подтвердите расчетом.
7. Какую навеску алюминия растворили в кислоте, если объем выделившегося водорода при $T = 291 \text{ К}$ и $p_{\text{H}_2} = 734 \text{ мм рт. ст.}$ равен 113 мл?
8. Молярная масса эквивалента металла равна 56 г/моль. Сколько мл кислорода (н.у.) образуется при разложении 1,28 г оксида этого металла?