

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

Факультет физики

## Лабораторная работа

«Кислотно-основное титрование»

Работу выполнил студент 3 курса  
Захаров Сергей Дмитриевич



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Москва  
12 сентября 2020

## Содержание

<b>1. Опыт 1: Гидролиз солей</b>	<b>2</b>
1.1. Реактивы и оборудование: . . . . .	2
1.2. Порядок выполнения опыта . . . . .	2
1.3. Дополнительное задание . . . . .	2
<b>2. Опыт 2: Факторы, влияющие на степень гидролиза</b>	<b>3</b>
2.1. Реактивы и оборудование . . . . .	3
2.2. Порядок выполнения . . . . .	3
<b>3. Буферные растворы</b>	<b>5</b>
3.1. Реактивы и оборудование . . . . .	5

## 1. Опыт 1: Гидролиз солей

### 1.1. Реактивы и оборудование:

- Сухие соли:  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$
- Раствор универсального индикатора
- Пробирки
- Шпатель для реактивов
- Стеклопалочка

### 1.2. Порядок выполнения опыта

В 8 пробирок были добавлены по одному микрошпателю указанных сухих солей, после чего они были разбавлены одинаковым небольшим количеством дистиллированной воды. К полученным растворам был также добавлен в небольшом объеме (2-3 капли). Все растворы были тщательно перемешаны стеклопалочкой.

В результате были получены следующие значения для pH:

В-во	$\text{CH}_3\text{COONa}$	$\text{MgCl}_2$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	$\text{NaCl}$	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	$\text{Na}_2\text{SO}_3$	$\text{ZnCl}_2$
pH	8	7	10	9.5	7	8	10	4.5

### 1.3. Дополнительное задание

- $\text{CH}_3\text{COONa}$  — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону:  

$$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HON} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^-$$

$$\text{CH}_3\text{COONa} + \text{HON} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH}$$
- $\text{MgCl}_2$  — среднее основание и сильная кислота, гидролиз в целом не идет (но если бы шел, то был бы по катиону)
- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону  
**1 ступень**  

$$\text{CO}_3^{2-} + \text{HON} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HON} \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3 + \text{NaOH}$$
**2 ступень**  

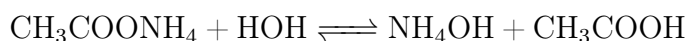
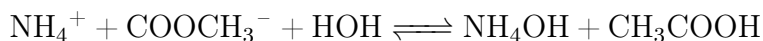
$$\text{HCO}_3^- + \text{HON} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$$

$$\text{NaHCO}_3 + \text{HON} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$$
- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  — слабое основание и слабая кислота, гидролиз и по аниону, и по катиону:  

$$\text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-} + \text{HON} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{NH}_4\text{OH}$$

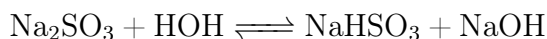
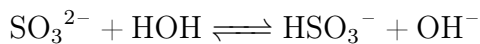
$$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{HON} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{OH}$$
- $\text{NaCl}$  — сильное основание и сильная кислота, гидролиз не идет.

- $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  — слабое основание и слабая кислота, гидролиз и по аниону, и по катиону:

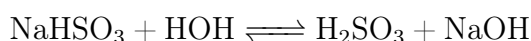
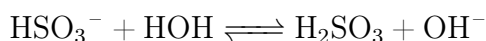


- $\text{Na}_2\text{SO}_3$  — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону

#### 1 ступень

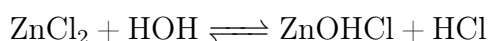
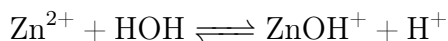


#### 2 ступень

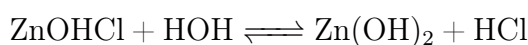
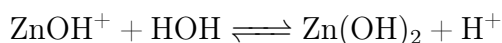


- $\text{ZnCl}_2$  — слабое основание и сильная кислота, гидролиз по катиону

#### 1 ступень



#### 2 ступень



## 2. Опыт 2: Факторы, влияющие на степень гидролиза

### 2.1. Реактивы и оборудование

- Сухие соли:  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$
- Раствор универсального индикатора
- Индикаторная бумага
- Пробирки
- Шпатель для реактивов
- Стеклопалочка
- Спиртовка

### 2.2. Порядок выполнения

#### Влияние силы кислоты и основания, образующих соль, на степень ее гидролиза

В одну пробирку был внесен  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , во вторую —  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . К обеим солям было прилито одно и то же небольшое количество воды и несколько капель универсального индикатора, после чего они были размешаны с помощью стеклянной палочки.

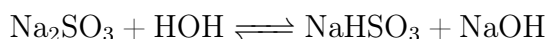
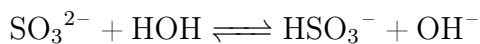
Полученные результаты приведены в таблице ниже:

В-во	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
pH	10	11

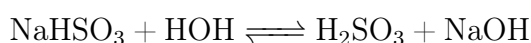
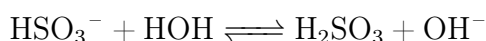
H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> более сильная, чем H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, поэтому степень гидролиза будет выше у Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

- Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону

**1 ступень**

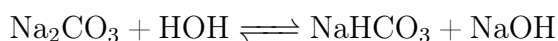
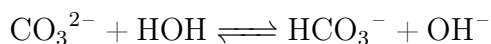


**2 ступень**

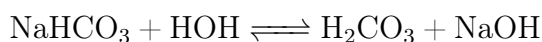
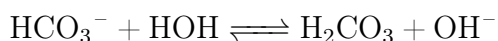


- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону

**1 ступень**



**2 ступень**

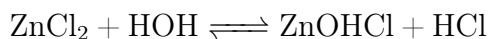
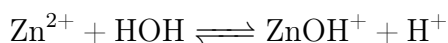


То же самое было проделано для ZnCl<sub>2</sub> и MgCl<sub>2</sub>. Результаты:

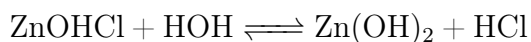
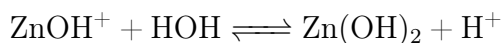
В-во	ZnCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>
pH	5	8

- ZnCl<sub>2</sub> — слабое основание и сильная кислота, гидролиз по катиону

**1 ступень**

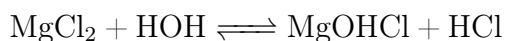
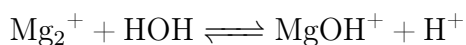


**2 ступень**

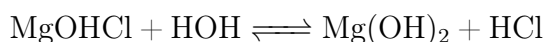
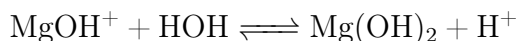


- MgCl<sub>2</sub> — слабое основание и сильная кислота, гидролиз по катиону:

**1 ступень**



**2 ступень**



## Влияние температуры на степень гидролиза

В пробирку был внесен  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , к которому был прилит небольшой объем воды и несколько капель фенолфталеина, после чего раствор был перемешан. Раствор при этом оставался прозрачным. После этого пробирка с раствором была постепенно нагрета на спиртовой горелке, в ходе чего было отмечено изменение оттенка раствора с бесцветного на нежно-розовый, что свидетельствует о появлении в пробирке щелочной среды. Это неудивительно: гидролиз – эндотермическая среда, поэтому повышение температуры смещает равновесие в сторону продуктов.

## Гидролиз средних и кислых солей

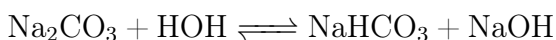
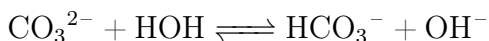
В одну пробирку был внесен  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , во вторую —  $\text{NaHCO}_3$ . К обеим солям было прилито одно и то же небольшое количество воды и несколько капель универсального индикатора, после чего они были размешаны с помощью стеклянной палочки.

Результаты pH полученных растворов приведены ниже:

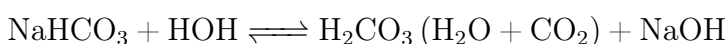
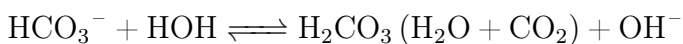
В-во	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$
pH	9.5	7.5

- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону

### 1 степень



### 2 степень



- $\text{NaHCO}_3$  — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону



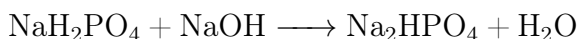
## 3. Буферные растворы

### 3.1. Реактивы и оборудование

- Сухие соли:  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaOH}$
- Растворы:  $\text{HCl}$  0.1M,  $\text{NaOH}$  0.1M
- Раствор универсального индикатора
- Индикаторная бумага
- Мерная колба на 100 мл
- Весы
- Шпатель для реактивов

- Стеклянная палочка
- Два стаканчика на 100 мл

### Расчет навесок



По условию  $\nu(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 2\nu(\text{Na}_2\text{HPO}_4)$ . Положим индекс 1 для  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , индекс 2 — для  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Тогда

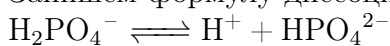
Подготовленные навески  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaOH}$  были внесены в мерную колбу, после чего она была залита водой до отметки, а полученный раствор — тщательно перемешан. pH полученного буферного раствора оказалась близка к нейтральной.

После этого полученный раствор был разделен поровну между двумя стаканчиками на 100 мл. В стаканчики было добавлено 2-3 капли универсального индикатора. Затем в один из стаканчиков по капле прибавлялся раствор  $\text{HCl}$ , в другой —  $\text{NaOH}$

Наблюдения следующие: до добавления определенного объема раствора кислоты или щелочи окраска раствора менялась слабо, после чего резко поменялась. Пороговые значения приведены ниже:

В-во	HCl	NaOH
Объем, мл	2.5	2.4

Запишем формулу диссоциации:



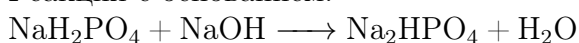
Посчитаем константу:

$$K_A = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \approx 6.2 \cdot 10^{-8} \Rightarrow \text{p}K_A = -\lg K_A = 7.2$$

Таким образом, pH изначального раствора оказывается равной:

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \lg \frac{[\text{Na}_2\text{HPO}_4]}{[\text{NaH}_2\text{PO}_4]} = 7.2$$

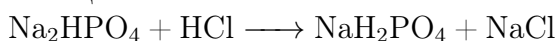
Реакция с основанием:



В таком случае pH:

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \lg \frac{[\text{Na}_2\text{HPO}_4] + \Delta}{[\text{NaH}_2\text{PO}_4] - \Delta} = 7.7$$

Реакция с кислотой:

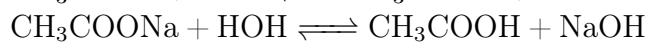
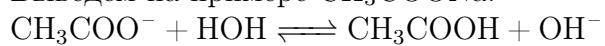


В таком случае pH:

$$\text{pH} = \text{p}K_A + \lg \frac{[\text{Na}_2\text{HPO}_4] - \Delta}{[\text{NaH}_2\text{PO}_4] + \Delta} = 6.65$$

### Вывод константы гидролиза

Выведем на примере  $\text{CH}_3\text{COONa}$ :



$$\frac{[\text{OH}^-][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_2\text{O}]} = K \quad K_{\Gamma} = K[\text{H}_2\text{O}]$$

Введем  $K_{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$ , тогда:

$$\frac{K_{\text{H}_2\text{O}}[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{CH}_3\text{COOH}}} = K_{\Gamma} = 5.9 \cdot 10^{-10}$$