

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 . . . . .	4
<b>3. Буферные растворы</b>	<b>6</b>
3.1. Реактивы и оборудование . . . . .	6

## 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
- Стеклянная палочка

### 1.2. Порядок выполнения опыта

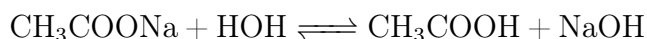
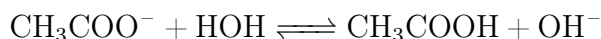
В 8 пробирок были добавлены по одному микрошпателю указанных сухих солей, после чего они были разбавлены одинаковым небольшим количеством дистиллированной воды. К полученным растворам был также добавлен в небольшом объеме (2-3 капли). Все растворы были тщательно перемешаны стеклянной палочкой.

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	9	10	9.5	7	8	10	4.5

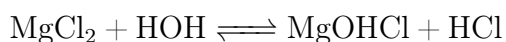
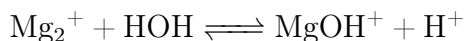
### 1.3. Дополнительное задание

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

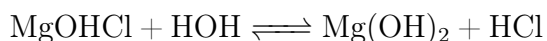
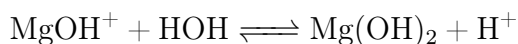


- $\text{MgCl}_2$  — слабое (на самом деле среднее) основание и сильная кислота, гидролиз по катиону.

#### 1 степень



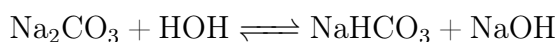
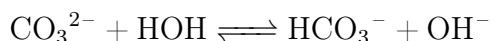
#### 2 степень



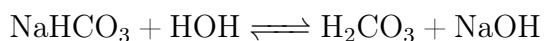
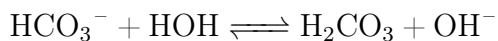
В результате же получается почему-то щелочная среда (хотя она должна быть кислой в силу гидролиза по катиону). Возможно, это объясняется плохо помытыми пробирками после предыдущих экспериментов, или же нечистотой  $\text{MgCl}_2$ .

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

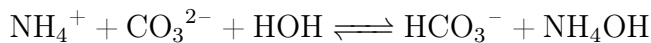
#### 1 степень



### 2 ступень



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

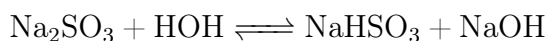
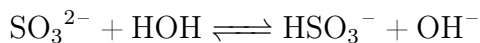


- $\text{NaCl}$  — сильное основание и сильная кислота, гидролиз не идет.
- $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  — слабое основание и слабая кислота, гидролиз и по аниону, и по катиону:  

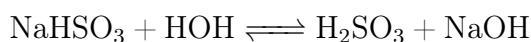
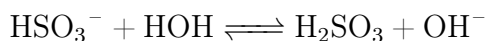
$$\text{NH}_4^+ + \text{COOCH}_3^- + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH} + \text{CH}_3\text{COOH}$$

$$\text{CH}_3\text{COONH}_4 + \text{HOH} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH} + \text{CH}_3\text{COOH}$$
- $\text{Na}_2\text{SO}_3$  — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону

### 1 ступень

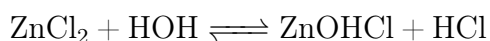
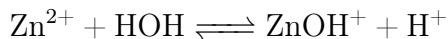


### 2 ступень

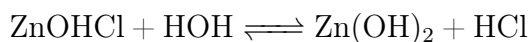
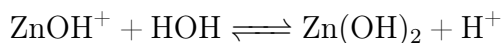


- $\text{ZnCl}_2$  — слабое основание и сильная кислота, гидролиз по катиону

### 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
- Стеклянная палочка
- 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.

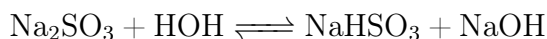
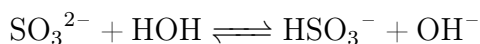
Полученные результаты приведены в таблице ниже:

В-во	$\text{Na}_2\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
pH	10	11

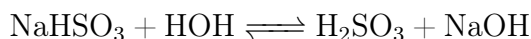
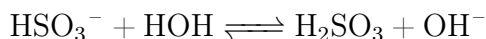
$\text{H}_2\text{CO}_3$  более сильная, чем  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , поэтому степень гидролиза будет выше у  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

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

#### 1 ступень

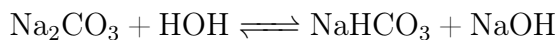
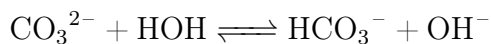


#### 2 ступень

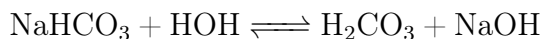
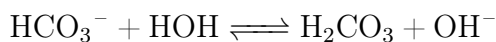


- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — сильное основание и слабая кислота, гидролиз по аниону

#### 1 ступень



#### 2 ступень

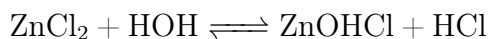
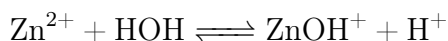


То же самое было проделано для  $\text{ZnCl}_2$  и  $\text{MgCl}_2$ . Результаты:

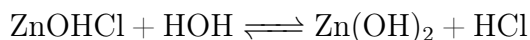
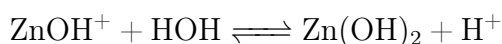
В-во	$\text{ZnCl}_2$	$\text{MgCl}_2$
pH	5	8

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

#### 1 ступень

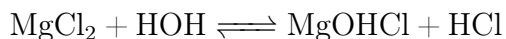
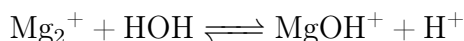


#### 2 ступень

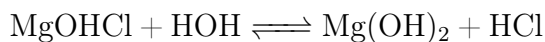
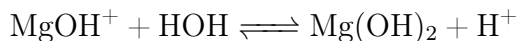


- $\text{MgCl}_2$  — слабое основание и сильная кислота, гидролиз по катиону:

**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

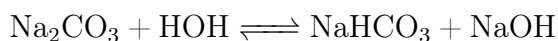
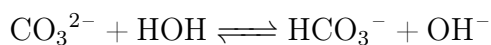
В одну пробирку был внесен  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , во вторую —  $\text{NaHCO}_3$ . К обеим солям было прилито одно и то же небольшое количество воды и несколько капель универсального индикатора, после чего они были размешаны с помощью стеклянной палочки.

Результаты pH полученных растворов приведены ниже:

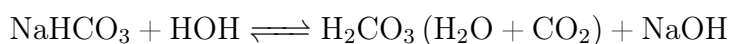
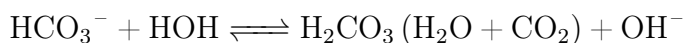
В-во	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$
pH	9.5	7.5

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

**1 ступень**



**2 ступень**



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



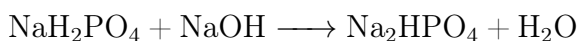
В гидролизе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  две ступени, логично ожидать, что в результате среда будет более щелочной, чем у  $\text{NaHCO}_3$ .

## 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:

$$c = \frac{1/2\nu_1 + \nu_2}{V}$$

$$\nu_2 = \frac{cV}{2}$$

$$\nu_1 = cV$$

$$m(\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = cVM = 0.01 \cdot 0.1 \cdot 120 = 0.156 \text{ г}$$

$$m(\text{NaHPO}_4) = \frac{cVM}{2} = \frac{0.01 \cdot 0.1 \cdot 40}{2} = 0.02 \text{ г}$$

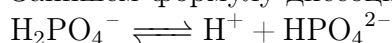
Подготовленные навески  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaOH}$  были внесены в мерную колбу, после чего она была залита водой до отметки, а полученный раствор — тщательно перемешан. pH полученного буферного раствора оказалась близка к нейтральной.

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	$\text{HCl}$	$\text{NaOH}$
Объем, мл	2.5	2.4

Запишем формулу диссоциации:



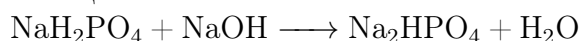
Посчитаем константу:

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

Таким образом, pH изначального раствора оказывается равной:

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

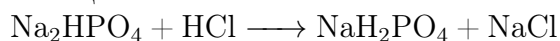
Реакция с основанием:



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:

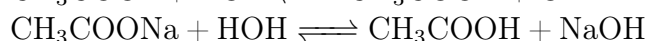
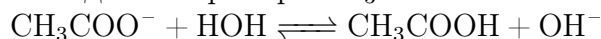


В таком случае pH:

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

### 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:

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

### Вывод pH раствора

$$[\text{H}^+] = K_{\text{CH}_3\text{COOH}} \frac{[\text{OH}^-]}{C_{\text{salt}} - [\text{OH}^-]} = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{[\text{OH}^-]} \Rightarrow [\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{CH}_3\text{COOH}}} (C_{\text{salt}} - [\text{OH}^-])}$$

В выражении под корнем понятно, что концентрация соли гораздо выше, чем ионов  $\text{OH}^-$ , поэтому последней мы пренебрежем. Учтя, что  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ :

$$\text{pH} = -\lg \text{H}^+ = -\lg \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{[\text{OH}^-]} = -\lg K_{\text{H}_2\text{O}} + \frac{1}{2} \lg \left( \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{CH}_3\text{COOH}}} C_{\text{salt}} \right)$$