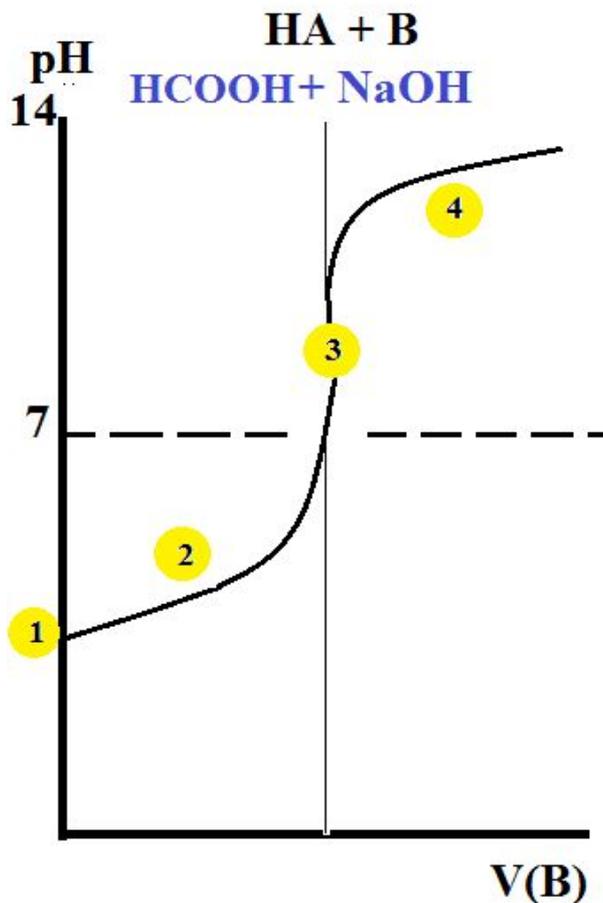


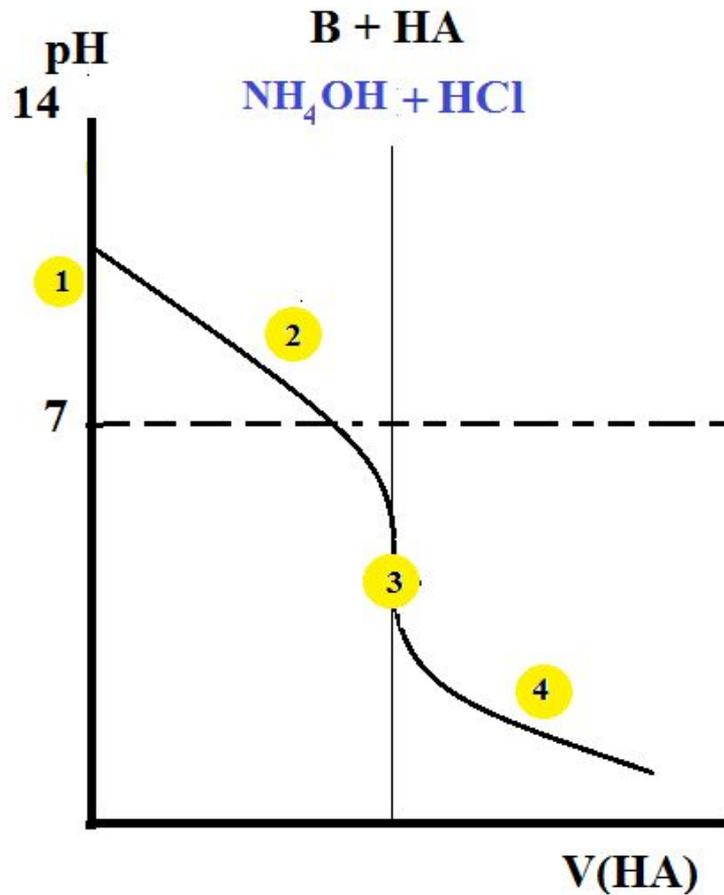
**Аналитическая химия**  
**Лекция 4**  
**Кислотно-основное титрование**



# Кривая титрования слабых одноосновных протолитов



слабая кислота

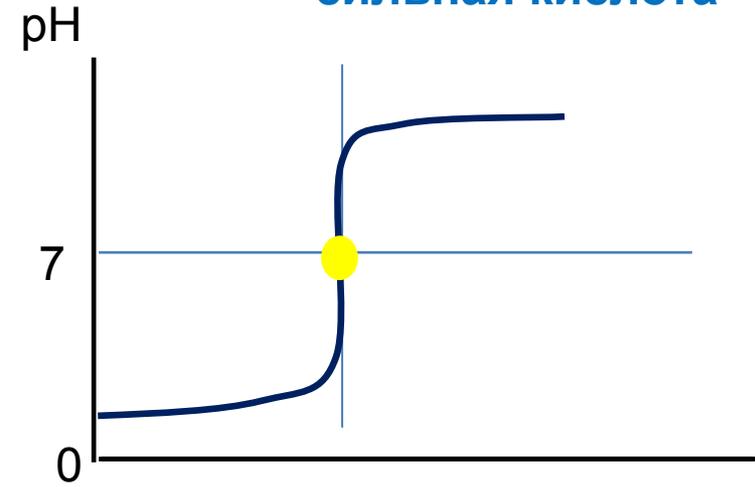


слабое основание

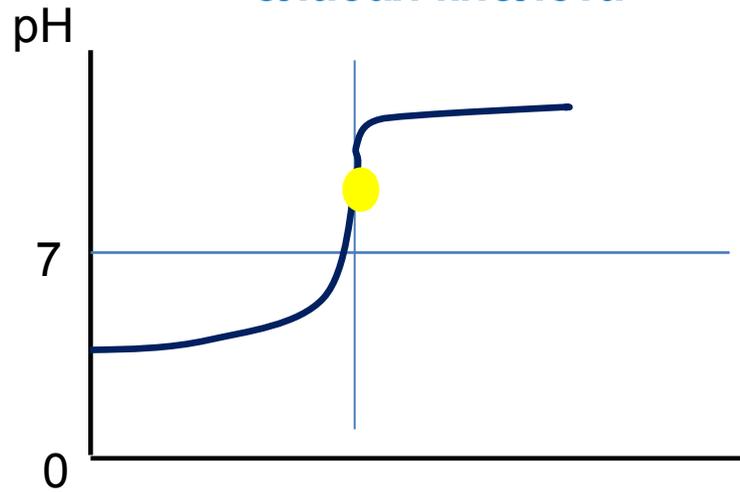


## Итак, подведем итог:

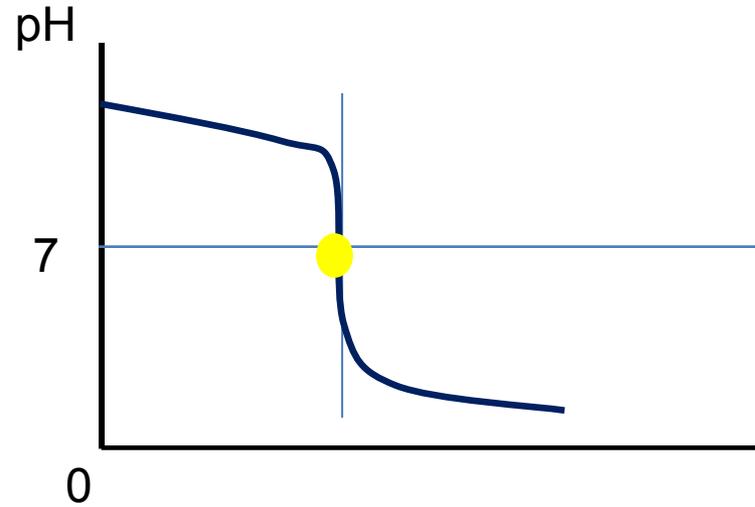
**сильная кислота**



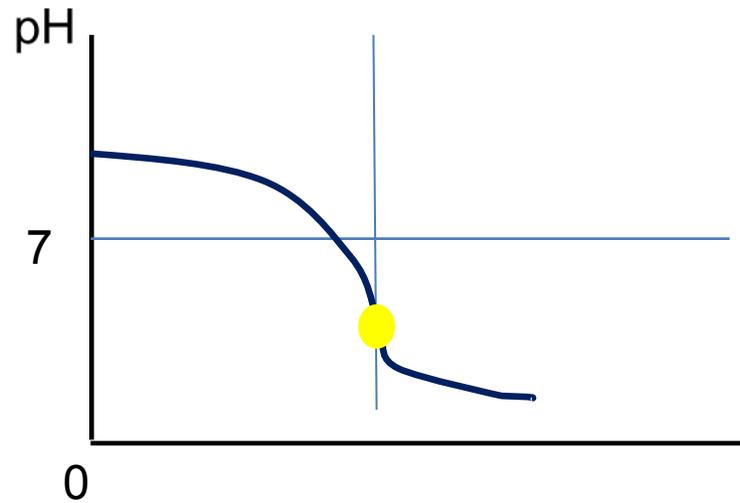
**слабая кислота**



**сильное основание**

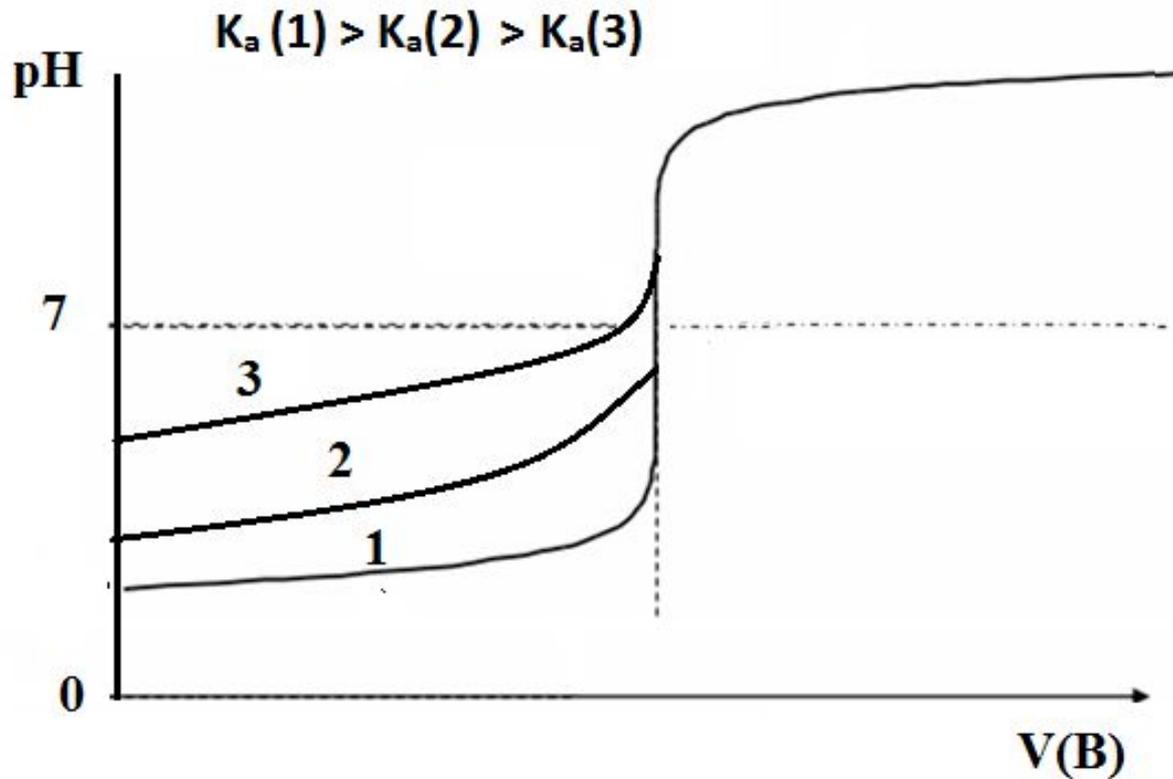


**слабое основание**



# Факторы, влияющие на величину скачка на кривой титрования

## 1. Сила титруемых протолитов

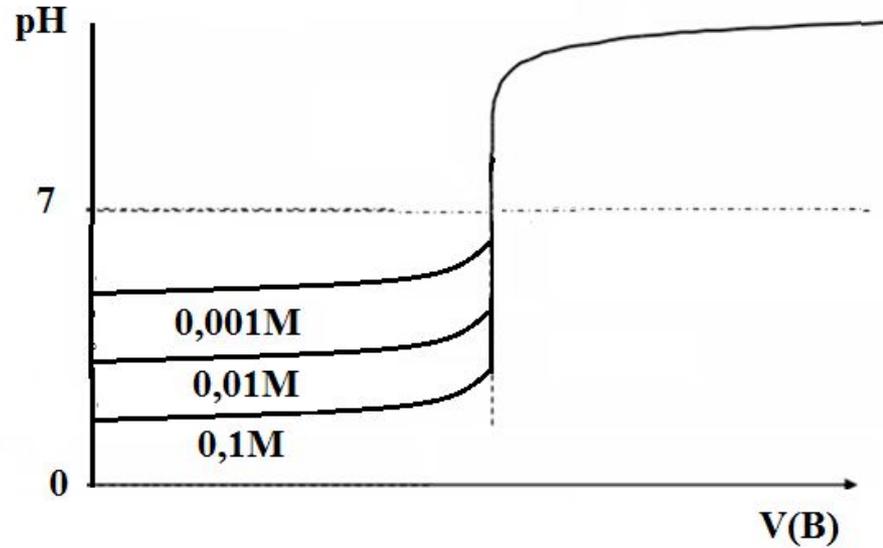


Если константа диссоциации титруемого протолита ( $K_{\text{дисс}}$ ) меньше, чем  $10^{-8}$ , то скачка на кривой титрования не будет.  $K_{\text{дисс}} < 10^{-8}$



## 2. Концентрация титруемого протолита

Если концентрация титруемого протолита меньше, чем  $10^{-4}$  М, то скачка на кривой титрования не будет



3. Температура раствора влияет на  $K_{\text{дисс}}$

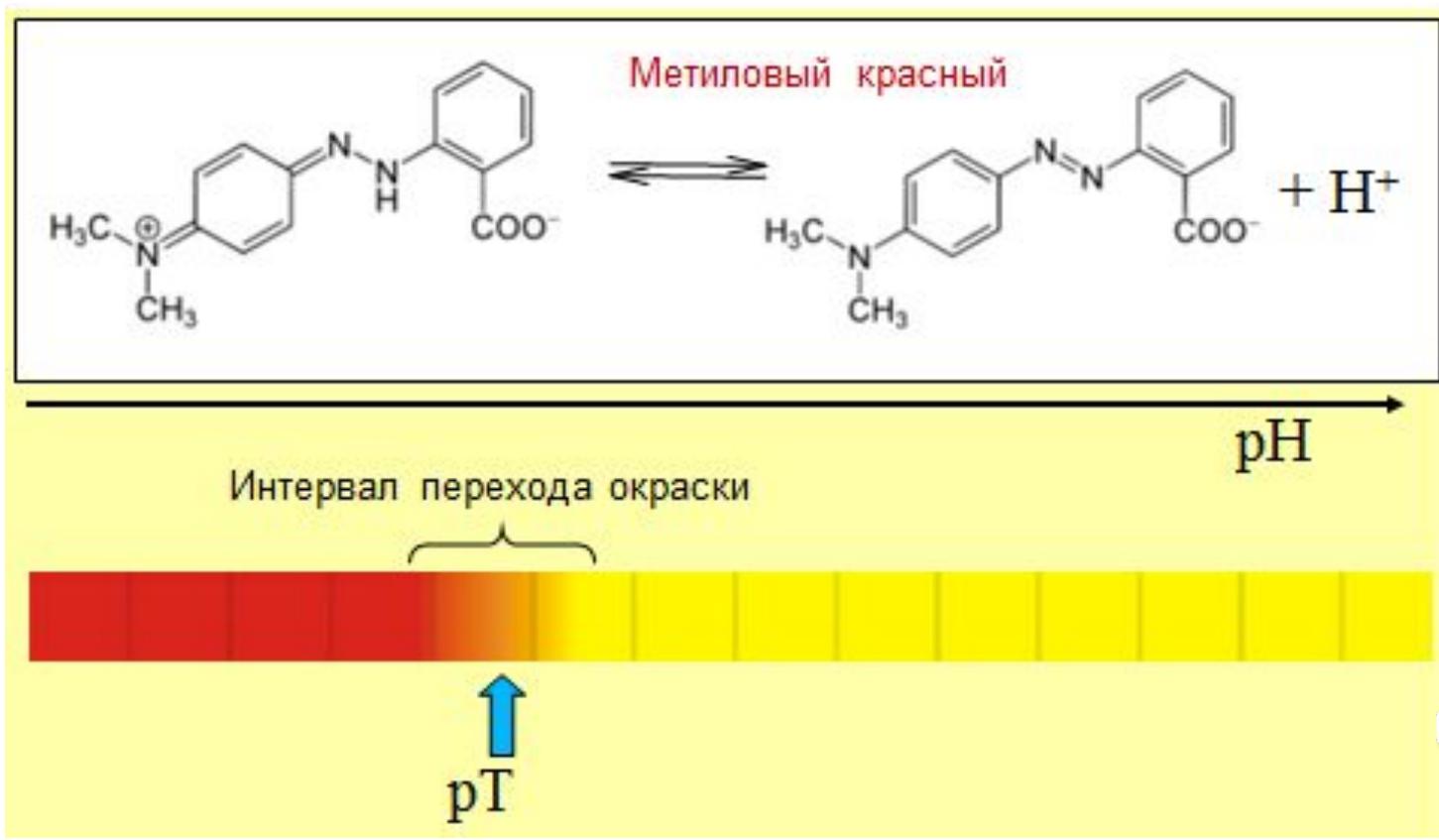
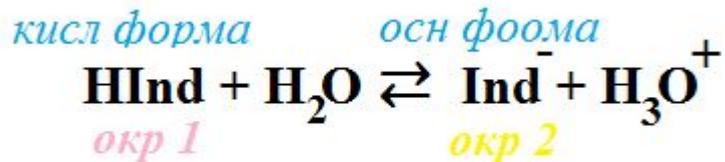
4. Ионная сила раствора влияет на  $K_{\text{дисс}}$

4. Природа растворителя. От константы автопротолиза растворителя зависит шкала кислотности и  $K_{\text{дисс}}$  протолитов

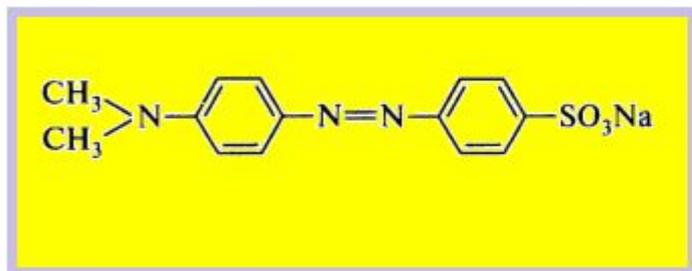


# Индикация КТТ в кислотно-основном титровании

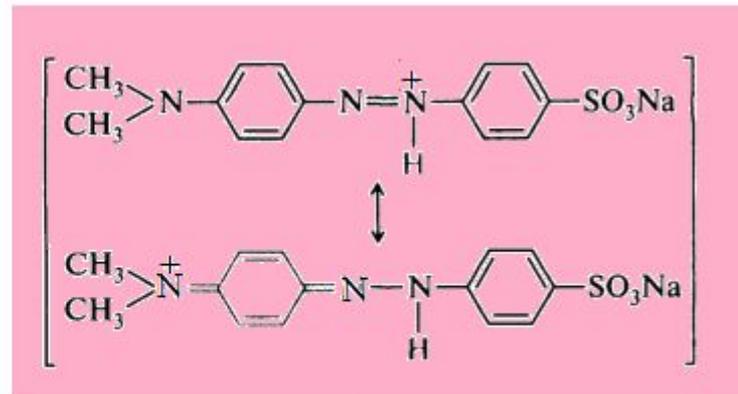
**Кислотно-основные индикаторы** – слабые органические кислоты/основания, протонированная и депротонированная формы которых имеют различные окраски



# Метилловый оранжееый



pH > 4



pH

1

2

3

4

5

6

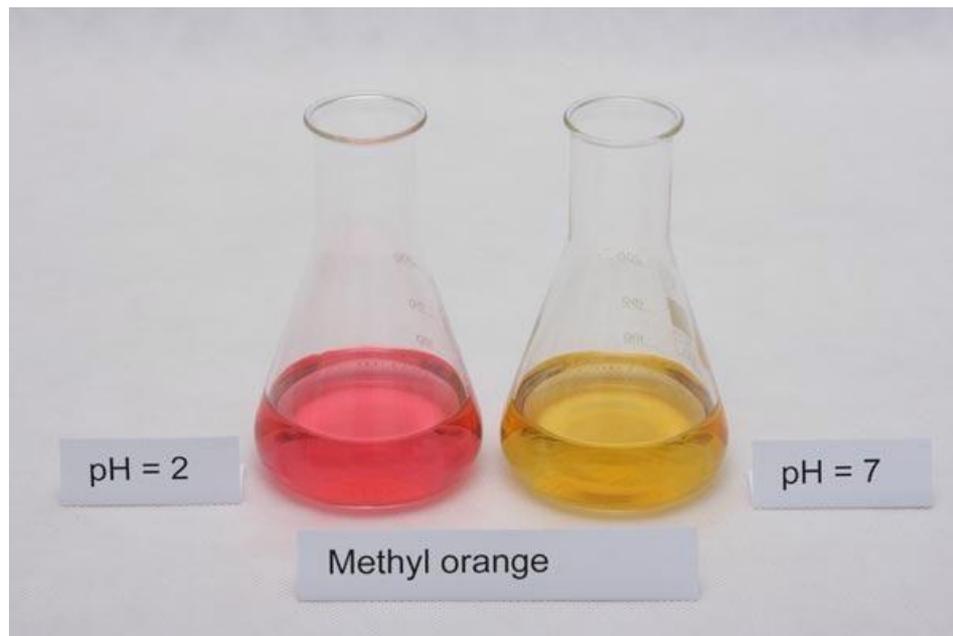
7

8

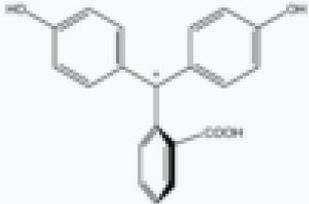
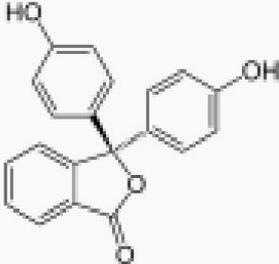
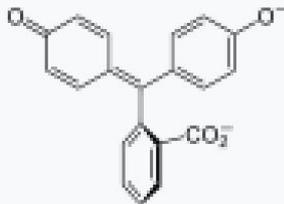
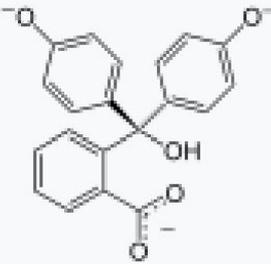
9

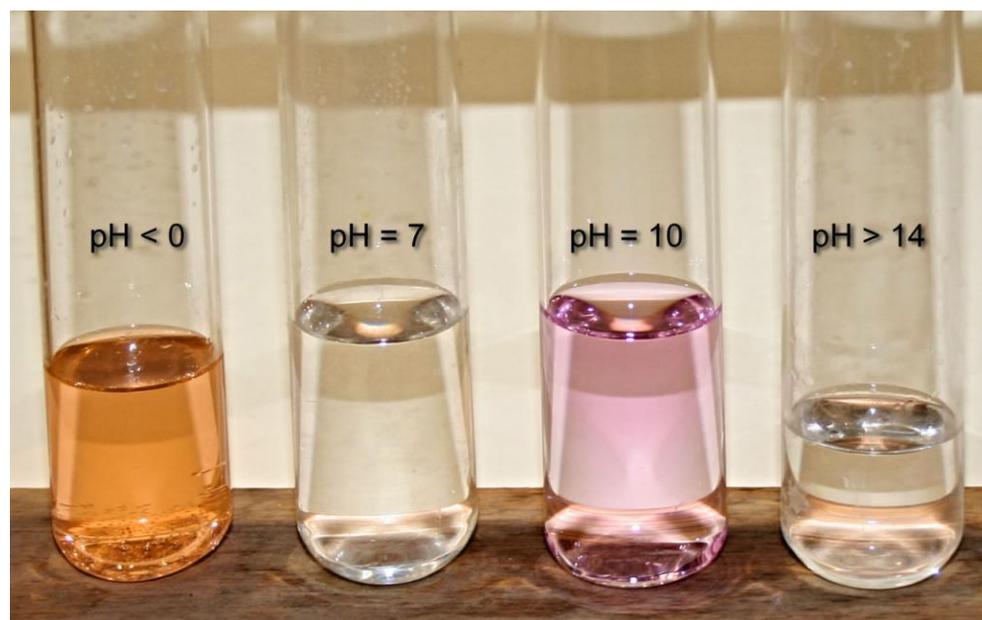
10

11



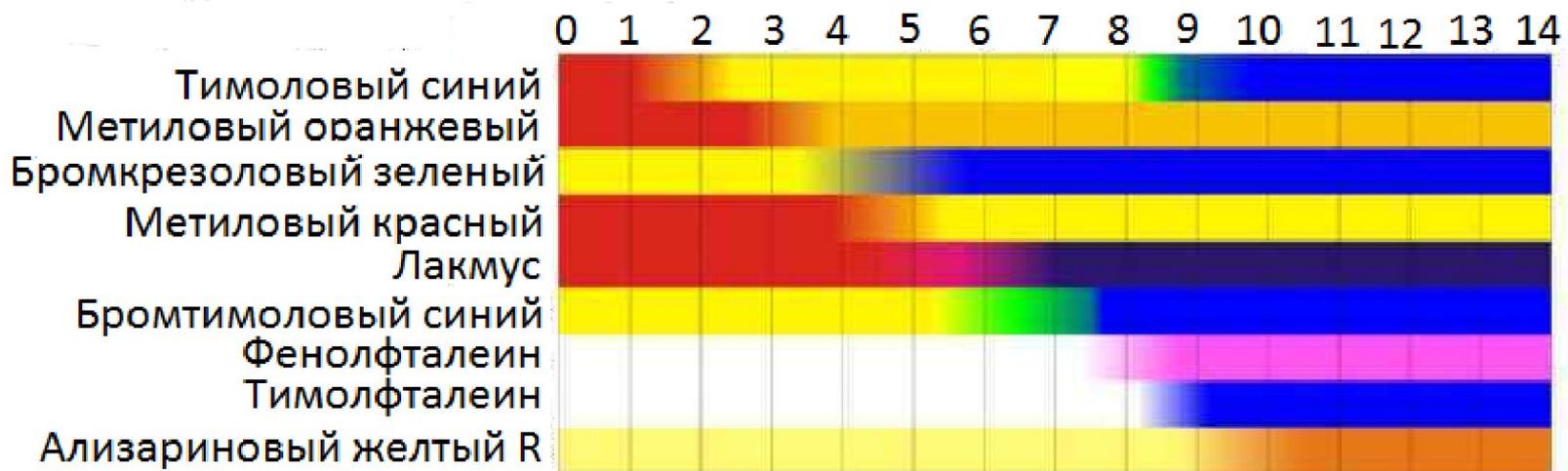
# ФЕНОЛФТАЛЕИН – ОДНОЦВЕТНЫЙ К-О ИНДИКАТОР

$H_2In$	$In$	$In^{2-}$	$In(OH)^{3-}$
			
0-3	4-7	8-10	12-14
сильнокислая	слабокислая и нейтральная	щелочная	сильнощелочная



## Кисотно-основные индикаторы

Индикатор	Интервал изменения окраски, ΔpH	Показатель титрования, pT
Метиловый оранжевый	3,1– 4,4	4,0
Метиловый красный	4,4 – 6,2	5,5
Метиловый желтый	2,4 – 4,0	3,0
Фенолфталеин	8,2 – 9,8	9,0
Тимолфталеин	9,3 – 10,5	9,6
Феноловый красный	6,4 – 8,2	7,5
Тимоловый синий	8,0 – 9,6	9,2
Бромтимоловый синий	6,0 – 7,6	7,3
Бромкрезоловый зеленый	3,9 – 5,4	4,5
Бромкрезоловый пурпурный	5,2 – 6,8	6,0



## Интервал pH перехода окраски индикатора

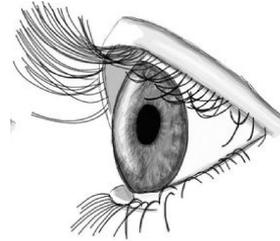
$\Delta\text{pH}$  – интервал значений pH, в котором глаз фиксирует переходную окраску индикатора



$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{Ind}^-]}{[\text{HInd}]}; \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{H}^+] = K_a \frac{[\text{HInd}]}{[\text{Ind}]}; \quad \text{pH} = \text{p}K_a - \lg \frac{c(\text{HInd})}{c(\text{Ind})}$$

$$\frac{c(\text{HInd})}{c(\text{Ind})} \geq \frac{10}{1}, \text{ то окраска HInd}$$

$$\frac{c(\text{HInd})}{c(\text{Ind})} \leq \frac{1}{10}, \text{ то окраска Ind}$$



Таким образом, переходная окраска индикатора ощущается глазом в интервале pH:

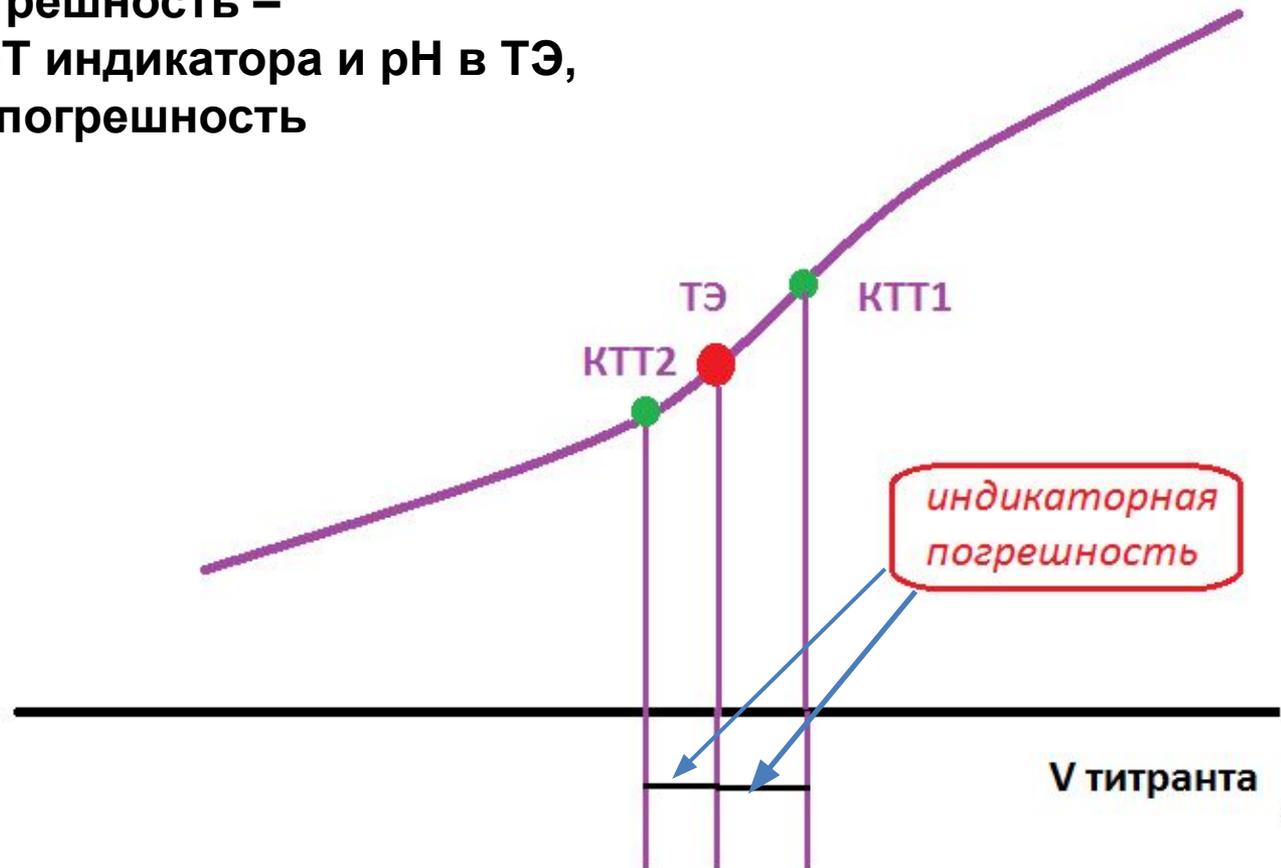
$$\Delta\text{pH} = \text{p}K_a \pm 1$$

$\text{pT}$  – показатель титрования (середина области перехода окраски), точка, в которой происходит изменение окраски индикатора



# Индикаторная погрешность

Индикаторная погрешность –  
разность между  $pT$  индикатора и  $pH$  в ТЭ,  
систематическая погрешность



## Требования, предъявляемые к индикаторам:

- ✓ Высокое светопоглощение – концентрация индикатора должна быть мала
- ✓ Переход окраски индикатора должен быть контрастным

## Правило выбора индикатора:

- ✓ Интервал рН перехода окраски индикатора ( $\Delta pH$ ) должен быть в пределах скачка титрования или частично с ним перекрываться.
- ✓ рТ индикатора должен быть внутри скачка титрования и как можно ближе к ТЭ.



# Практическое применение метода к-о титрования. Примеры

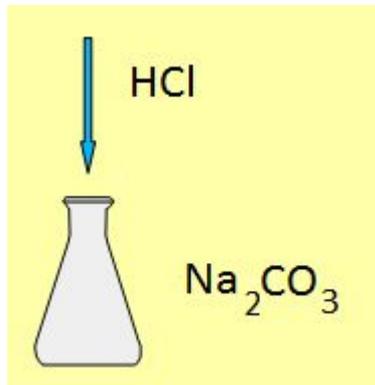
## 1. Прямое титрование Титрование соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

Константы диссоциации

угольной кислоты

$$K_{a1} = 4,5 \cdot 10^{-7}$$

$$K_{a2} = 4,8 \cdot 10^{-11}$$

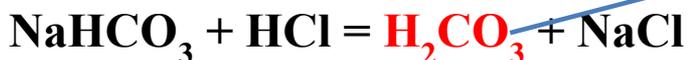


1 ступень титрования:

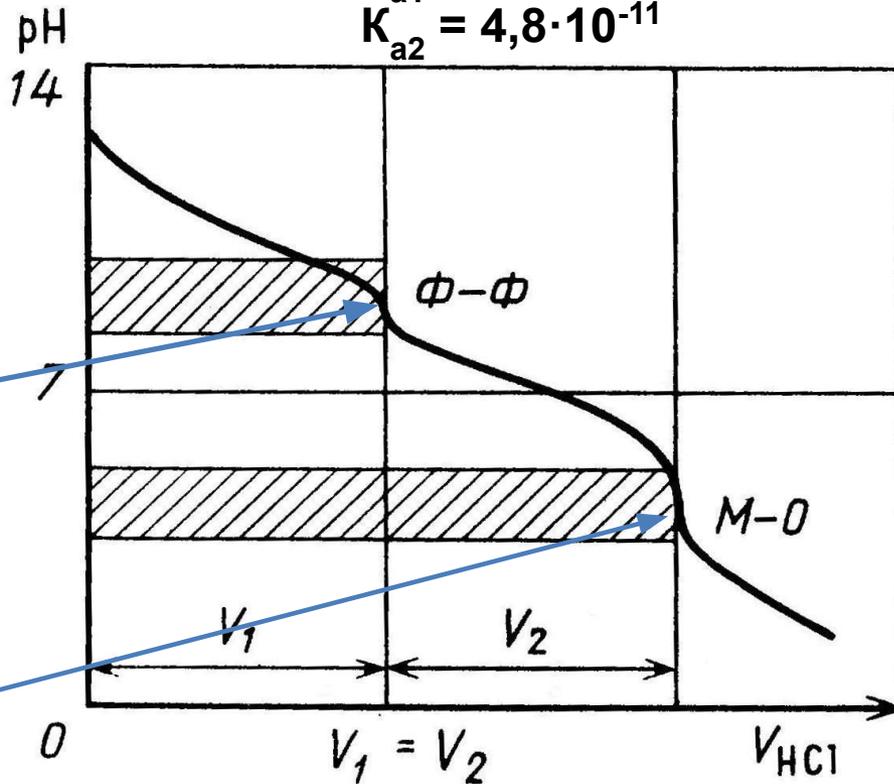


$$n(1|1 \text{ Na}_2\text{CO}_3) = n(1|1 \text{ HCl})$$

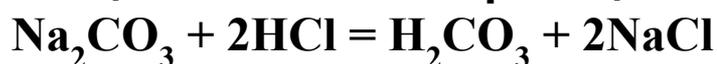
2 ступень титрования:



$$n(1|1 \text{ Na}_2\text{CO}_3) = n(1|1 \text{ HCl})$$



Общая химическая реакция:

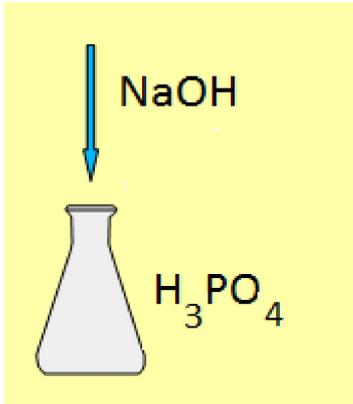


$$n(1|2 \text{ Na}_2\text{CO}_3) = n(1|1 \text{ HCl})$$



## Прямое титрование. Титрование фосфорной кислоты

Константы диссоциации фосфорной кислоты:  
 $K_1 = 7,1 \cdot 10^{-3}$ ;  $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ ;  $K_3 = 5,0 \cdot 10^{-13}$



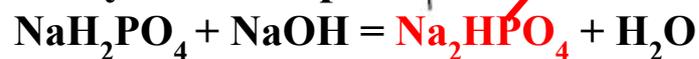
1 ступень титрования:



$$f_{\text{экв}}(H_3PO_4) = 1/1;$$

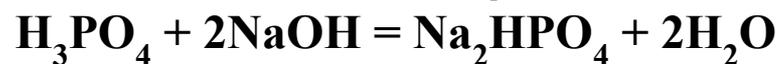
$$n(1|1 H_3PO_4) = n(1|1 NaOH)$$

2 ступень титрования:



$$f_{\text{экв}}(NaH_2PO_4) = 1/1$$

Общая химическая реакция:



$$n(1|2 H_3PO_4) = n(1|1 NaOH)$$

