

**12 класс**



***Химическое равновесие в  
гомогенных системах.  
Ионное произведение  
воды. Водородный  
показатель и характер  
среды.***

**Бозаджи Н.М.  
учитель химии  
высшей категории**

# **В результате изучения темы, вы будете способны:**

- 1. Составлять уравнения реакции нейтрализации, опираясь на молекулярный способ; молекулярно-ионный способ; сокращенный молекулярно-ионный способ;**
- 2. Находить ионное произведение воды  $K_w$ ;**
- 3. Вести расчеты по формулам  $pH = -lg [H^+]$ ;  $pH + pOH = 14$ .**
- 4. Осуществлять рефлекссию своей деятельности**

# Что такое рН?



**Вы смотрите каждый день телевизор. И конечно же знаете из рекламы, что мыло DOVE имеет значение рН 5,5 и делает кожу гладкой и бархатистой.**

**А что такое рН? Какого рода – мужского, женского или среднего?**

**Как правильно сказать: «Равно, равен или равна?»**

**На вашем участке не растут некоторые цветы или овощи. Вы позвали специалиста-почвововеда, он пришел к вам с маленьким приборчиком, вставил в землю какую-то трубку, посмотрел на шкалу прибора и сказал, что у почвы не такой рН, какой требуется таким растениям. Следует в почву внести доломитовую муку или известь.**

# Что такое рН?



Молоко на фермах и молокозаводах проверяют на рН. Если рН не соответствует норме, молоко быстро скисает.

Вы или ваши родители пришли к врачу с жалобами на боли в желудке. После не очень приятной процедуры исследования желудочного сока врач отмечает низкое значение рН и прописывает принимать лекарственные средства, изменяющие рН.

Что же такое рН?

Кстати, читается «пэ-аш». **p** – начальная буква слова **potenz** – математическая степень, буква **H** – химический знак водорода.

Ответ на вопрос Вы узнаете сегодня на уроке

# Реакции нейтрализации



В реакциях между сильными кислотами и основаниями (щелочами), проходящими в водных растворах, всегда выделяется одно и то же количество теплоты в расчете на 1 моль образующейся воды, а именно 58 кДж/моль:



Все уравнения записаны молекулярным способом: формулы исходных веществ и продуктов реакции представлены для молекул, даже если такие молекулы и не существуют в водном растворе.

# *Реакции нейтрализации*

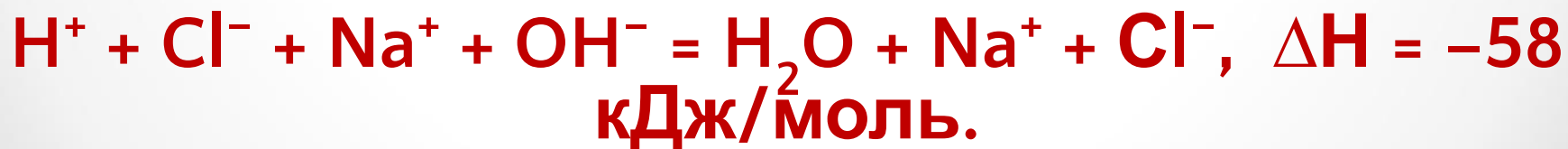


**Во всех приведенных реакциях образуется одно общее вещество – вода. Поэтому можно предположить, что тепловой эффект таких реакций в растворе обусловлен образованием воды из ионов водорода (протонов) и гидроксид-ионов, находящихся в растворах всех этих реагирующих веществ в одинаковом состоянии. Этот факт очень важен для доказательства ионного поведения кислот, оснований и солей в водных растворах.**

# Реакции нейтрализации



Все перечисленные реакции – это реакции нейтрализации сильной кислоты сильным основанием. Равенство тепловых эффектов этих реакций доказывает, что кислоты, основания и образующиеся соли находятся в ионном состоянии. С учетом этого уравнение каждой реакции можно записать молекулярно-ионным способом, в котором сильные электролиты представляют в виде ионов, а слабые – в виде молекул. Например:



# Реакции нейтрализации



Очевидно, одни и те же ионы, входящие в правую и левую части уравнения реакции, можно не записывать. Тогда все приведенные выше четыре уравнения реакции могут быть выражены одним уравнением:



Такой способ написания уравнений реакций носит название сокращенного молекулярно-ионного.



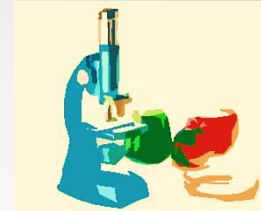
# Реакции нейтрализации



Заметим, что запись формул сильных электролитов в виде формул молекул принципиально неправильна, т. к. в водном растворе нет таких веществ, как  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ , а есть только ионы этих веществ.

В молекулярном виде уравнение может быть записано, если реакция проходит в газообразном состоянии, между кристаллами или в неводном растворе, в котором вещества не диссоциируют на ионы.

# Реакции нейтрализации



Уравнения реакций в виде формул молекул записывают для неэлектролитов, слабых электролитов, газообразных и малорастворимых в воде веществ.

В качестве примеров приведем уравнения реакций нейтрализации с участием слабых электролитов:

$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} = \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$   
(неверная запись для водного раствора!),

$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- = \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$  (записывать только так!);

# Реакции нейтрализации



(неверная запись для водного раствора!),



(записывать только так!);

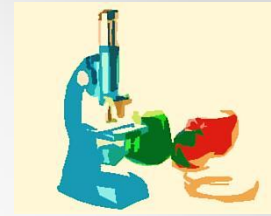
\* $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NH}_4\text{OH} = \text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO} + \text{H}_2\text{O}$  (неверная запись для водного раствора!),



(записывать только так!).

Однако, если вас попросят ответить на вопрос, какие вещества останутся в чашке после выпаривания раствора, вы можете уверенно написать формулы солей, содержащих в своем составе ионы.

# *Реакции нейтрализации*



## **Уравнение нейтрализации**



**записанное в обратном направлении:**



**есть уравнение диссоциации  
воды как слабого электролита.**

$$1,8 \cdot 10^{-16} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

$$C = \nu/V$$

$$\nu = m/M$$

$$C = m/VM$$

$$m = V\rho$$

$$C = V\rho/VM$$

$$C = \rho/M$$

$$\rho (\text{воды}) = 1000 \text{ г/л}; \quad M(\text{воды}) = 18 \text{ г/моль}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1000/18 = 55,56 \text{ моль/л}$$

# Реакции нейтрализации



В воде и водных растворах концентрации ионов  $H^+$  и  $OH^-$  взаимосвязаны константой диссоциации воды:



$$K_{\text{дисс}} = [H^+][OH^-]/[H_2O] = 1,8 \cdot 10^{-16}$$

(при 25 °C).

Мольная концентрация воды из-за ее крайне незначительной диссоциации остается постоянной, поэтому она равна

$[H_2O] = 1000/18 = 55,56$  моль/л. Объединим константу равновесия диссоциации воды с постоянным значением ее концентрации:

$$K \cdot [H_2O] = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,56 = 1 \cdot 10^{-14}.$$



## *Ионное произведение воды*



Полученная величина называется ионным произведением воды  $K_{H_2O}$  :

$$K_{H_2O} = [H^+][OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}.$$

Это произведение согласно закону действующих масс, являясь константой равновесия, не зависит от концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов и постоянно при данной температуре.



# Ионное произведение воды



В чистой воде или нейтральном (не кислотном, не щелочном) растворе концентрации ионов водорода и гидроксид-ионов равны:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-],$$

поэтому

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = [\text{H}^+]^2 = 1 \cdot 10^{-14}.$$

В чистой воде или нейтральном водном растворе концентрация ионов водорода равна

$$[\text{H}^+] = \sqrt{1 \cdot 10^{-14}} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1 \cdot 10^{-14}} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

# *Ионное произведение воды*



Если в чистую воду добавить ионы водорода (прилить кислоту), то получится кислотный раствор, в котором концентрация ионов водорода будет больше  $1 \cdot 10^{-7}$  моль/л:

$$[H^+] > 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Если в чистую воду добавить гидроксид-ионы (прилить щелочи), то получится основной (щелочной) раствор, в котором концентрация ионов водорода будет меньше  $1 \cdot 10^{-7}$  моль/л:

$$[H^+] < 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

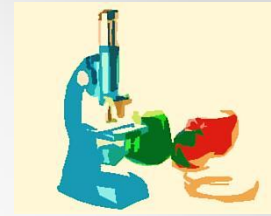
В кислотных растворах содержание гидроксид-ионов:

$$[OH^-] < 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

а в основных растворах:

$$[OH^-] > 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

# *Водородный показатель*



**Пользоваться такими значениями концентраций, выраженными в виде числа 10 в отрицательной степени, очень неудобно, и было предложено применять отрицательные десятичные логарифмы концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов и обозначать их соответственно рН и рОН:**

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\lg [\text{H}^+], \\ \text{pOH} &= -\lg [\text{OH}^-] \end{aligned}$$

# Водородный показатель



**Величина рН называется водородным показателем.**

**В 1909 г. С.Сёренсен предложил для выражения кислотности растворов указывать величину отрицательного десятичного логарифма концентрации ионов водорода, которая получила обозначение **рН** (*potential hydrogeni*):**

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+].$$

# Что же такое логарифм?

$$\begin{aligned}\lg 1 &= 0 \\ \lg 10^5 &= 5 \\ \lg 10^{-2} &= -2 \\ \lg a * b &= \lg a + \lg b \\ \lg a / b &= \lg a - \lg b \\ \lg a^n &= n(\lg a) \\ \lg a^{1/n} &= 1/n(\lg a)\end{aligned}$$

*Вычисление десятичного логарифма на калькуляторе*

# *Водородный показатель*



**Прологарифмировав выражение**

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14},$$

**получим**

$$\lg [\text{H}^+] + \lg [\text{OH}^-] = -14.$$

**Для водных растворов выполняется соотношение:**

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14.$$

**Для нейтральных растворов  $\text{pH} = 7$ ,**

**для кислотных растворов  $\text{pH} < 7$ ,**

**для основных (щелочных) растворов  $\text{pH} > 7$ .**

**Изменение  $\text{pH}$  на единицу соответствует изменению водородных ионов в 10 раз.**

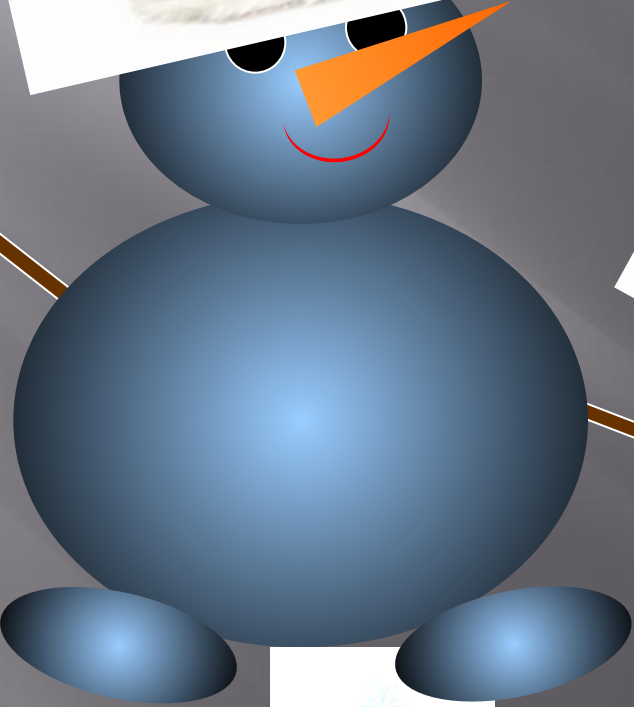
$$\text{pH} = - \lg [\text{H}^+]$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-7} \quad \text{среда нейтральная} \quad \text{pH}=7$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-3} \quad \text{среда кислая} \quad \text{pH}=3$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-9} \quad \text{среда щелочная} \quad \text{pH}=9$$

**Вывод:** при  $\text{pH} < 7$  среда кислая  
 $\text{pH} = 7$  среда нейтральная  
 $\text{pH} > 7$  среда щелочная





# *Водородный показатель*



**Принято считать**  
**СИЛЬНОКИСЛОТНЫМИ**  
**растворами те растворы,**  
**рН которых равен 1–2,**  
**слабокислотными – 4–5,**  
**нейтральными – около 7,**  
**слабощелочными – 9–10 и**  
**сильнощелочными – 12–13.**

# Решите задачи

Концентрация ионов водорода в растворе равна  $10^{-3}$  моль/л. Определите рН раствора.

-3

-11

11

3

Определите концентрацию ионов водорода в растворе, рН которого равен 6.

$10^6$

$10^{-6}$

-6

6

Чему равна концентрация гидроксид-ионов в растворе, рН которого равен 8?

$10^{-8}$

$10^{-6}$

-8

$10^8$

рН одного раствора равен 2, а другого - 6. В л какого раствора концентрация ионов водорода больше и во сколько раз?

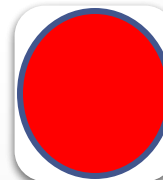
В 1-м  
в 10  
тыс.  
раз

В 2-м  
в 10  
тыс.  
раз

В 1-м  
в 1  
тыс.  
раз

В 2-м  
в 10  
тыс.  
раз

Окраска лакмуса в растворе с концентрацией  $\text{OH}^-$ -ионов равной  $10^{-5}$  моль/л





*Роль воды  
в химических  
реакциях*

**Среды водных  
растворов  
электролитов**



Среду любого водного раствора  
можно охарактеризовать  
содержанием ионов водорода  $H^+$   
или гидроксид-ионов  $OH^-$ .  
В водных растворах различают  
три типа **сред:нейтральную,**  
**кислую и щелочную.**



Качественно реакцию среды  
водных растворов электролитов  
определяют с помощью  
индикаторов.

**ИНДИКАТОРЫ** – это вещества,  
которые изменяют свой цвет в  
зависимости от среды раствора.



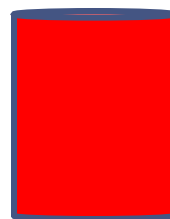


**Чистая  
вода**

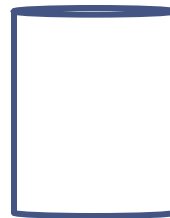
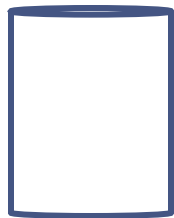
**Растворы  
кислот**

**Растворы  
щелочей**

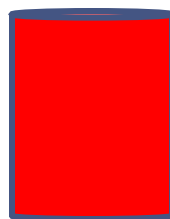
**лакмус**



**Фенол  
фталеин**



**Метил  
оранж**



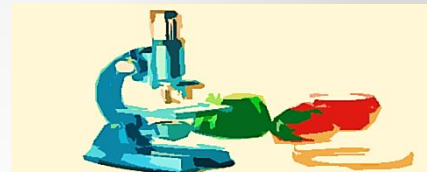
Величину рН определяют при помощи  
**универсального индикатора.**  
**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНДИКАТОР – ЭТО СМЕСЬ**  
**НЕСКОЛЬКИХ ИНДИКАТОРОВ, ИЗМЕНЯЮЩИХ**  
**ОКРАСКУ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ рН ОТ 1-10.**



Уровень показателя рН



# рН растворов



Вещество	рН < 7	Вещество	рН 7
Промышленная концентрированная HCl (37%)	1,1	Слезы	7,0
Желудочный сок	1,0–1,5	Кровь	7,4
Лимонный сок	2,1	Водопроводная вода	7,5
Томатный сок	4,1	Морская вода	8,0
Черный кофе	5,0	Раствор пищевой соды NaHCO <sub>3</sub>	8,5
Моча	6,0	Известковая вода	10,5
Человеческий пот	4–6	Аммиак из аптечки	11,9
Дождевая вода	6,5	1М раствор NaOH	14
Слюна	6,9	Насыщенный раствор NaOH	~15
Молоко	6,9		



# Применение водородного показателя.



Сельское  
ХОЗЯЙСТВО

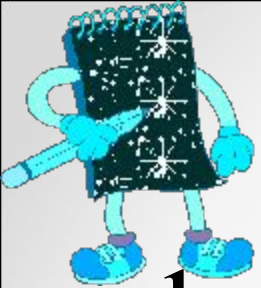
Медицина



Техника

Наука





# Задания.

1. В растворе каких веществ фенолфталеин приобретает малиновый цвет:

$H_2S$ ,  $H_2O$ ,  $NaOH$ ,  $HNO_3$ . **NaOH**

2. Желудочный сок имеет рН 1,7. Назовите тип среды в желудке. **сильно кислая**

3. Какова среда крови человека, если рН равен 7,4? **слабо-щелочная, близкая к нейтральной**

4. Выпишите формулы веществ, изменяющих окраску лакмуса в красный цвет:

$Ca(OH)_2$ ,  $H_2O$ ,  $NaCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $KOH$ ,  $HCl$ .

**$H_2SO_4$ ,  $HCl$**

# Тест

1. Вода не является: *участником реакции, кат реакции, средой для осуществления реакции*
2. Вода *слабый* электролит.
3. Уравнение диссоциации воды:  
$$\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$$
4. Константа диссоциации (равновесия) воды:  
$$K_d = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$
5. Кислотный характер раствора определяют ионы ... $\text{H}^+$
6. Щелочной характер раствора определяют ионы ... $\text{OH}^-$
7. Для нейтральной среды характерно соотношение:  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$
8. Качественно тип среды водных растворов электролитов определяют с помощью *индикаторов*.
9. Лакмус в нейтральной среде имеет *фиолетовую* окраску.
10. Фенолфталеин в щелочной среде имеет *малиновую* окраску.
11. Метиловый оранжевый в кислой среде имеет *розовую* окраску.



# Типичные примеры расчетов pH и концентраций ионов водорода в растворах кислот и оснований.

**Пример 1.** Чему равен pH 0,01М раствора хлороводородной (соляной) кислоты?

**Решение:**

Чтобы дать правильный ответ, следует написать уравнение диссоциации.

Хлороводородная кислота – сильная кислота, поэтому из 0,01 моль HCl в водном растворе образуется по 0,01 моль ионов водорода и хлорид-ионов:





Концентрация ионов водорода будет равна  
концентрации сильной одноосновной  
кислоты:

$c(\text{H}^+) = 0,01$  моль/л. Откуда

$$\text{pH} = -\lg 0,01 = -\lg 10^{-2} = -(-2) = 2.$$

**Пример 2.** Рассчитайте pH 0,001M раствора гидроксида натрия.

**Решение:**

Гидроксид натрия в водном растворе – сильный электролит, поэтому



## *Водородный показатель*



**Концентрация гидроксид-ионов  
будет равна концентрации  
сильного однокислотного  
основания:**

**$c(\text{OH}^-) = 0,001$  моль/л. Откуда**

$$\text{pOH} = -\lg 0,001 = -\lg 10^{-3} = -(-3) \\ = 3,$$

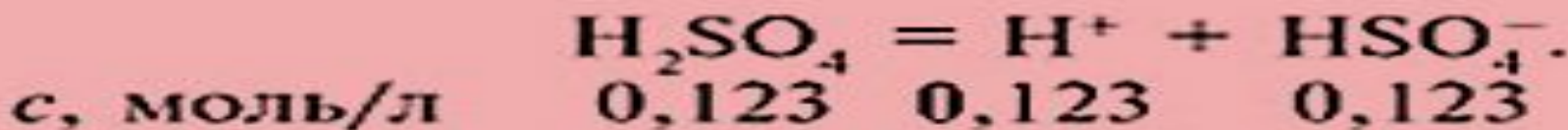
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3 = 11.$$

# Водородный показатель



**Пример 3.** Предполагая, что диссоциация серной кислоты как сильного электролита проходит по первой ступени, рассчитайте pH раствора кислоты концентрации 0,123 моль/л.

**Решение:**



$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\lg 0,123 = -\lg (1,23 \cdot 10^{-1}) = -\lg 1,23 \\ &\quad + (-\lg 10^{-1}) = \\ &= -0,0899 + [ -(-1) ] = -0,0899 + 1 = 0,91. \end{aligned}$$

## *Водородный показатель*



**Пример 4.** Раствор соляной кислоты имеет  $\text{pH} = 3$ .  
Рассчитайте концентрацию ионов водорода в этом растворе.

**Решение**

$$-\lg c(\text{H}^+) = 3. \text{ Следовательно, } c(\text{H}^+) = 10^{-3} = 0,001 \text{ моль/л.}$$



# Водородный показатель



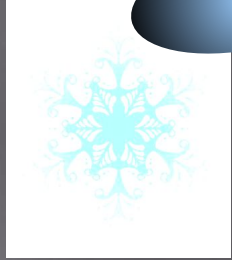
**Пример 5.** Раствор соляной кислоты имеет  $pH = 3,21$ . Рассчитайте концентрацию ионов в этом растворе и концентрацию кислоты.

**Решение**

$$-lg c(H^+) = 3,21, \text{ значит,}$$
$$c(H^+) = 10^{-3,21} = 0,00062 \text{ моль/л.}$$

Концентрация сильной соляной кислоты равна концентрации ионов водорода.

Заметьте, мы условно говорим о концентрации соляной кислоты  $HCl$ , ведь в растворе нет молекул  $HCl$ , а только ионы водорода и хлорид-ионы.



# Водородный показатель



**Пример 6.** Раствор гидроксида натрия имеет  $pH = 12,4$ . Рассчитайте концентрацию гидроксид-ионов, ионов водорода и концентрацию гидроксида натрия в этом растворе.

**Решение**

$$-\lg c(H^+) = 12,4.$$

$$c(H^+) = 10^{-12,4} = 10^{-13} \cdot 10^{0,6} = 3,98 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л.}$$

$$\text{Далее, } pOH = 14 - pH = 14 - 12,4 = 1,6.$$

$$\text{Следовательно, } c(OH^-) = 10^{-1,6} = 0,025 \text{ моль/л.}$$

Концентрация сильного электролита гидроксида натрия равна концентрации гидроксид-ионов.

Заметьте, мы условно говорим о концентрации гидроксида натрия, ведь в растворе нет молекул этого вещества, а только ионы натрия и гидроксид-ионы.

## 2. Решите задачи

### ✓ 1 уровень сложности:

[H <sup>+</sup> ]	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-7</sup>
[OH <sup>-</sup> ]			
pH			
Тип среды			

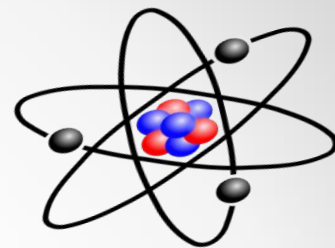
### ✓ 2 уровень сложности:

pH	10	7	3
[H <sup>+</sup> ]			
[OH <sup>-</sup> ]			
Тип среды			

### ✓ 3 уровень сложности:

Рассчитайте величину pH 0,001 М раствора HCl.

# РЕФЛЕКСИЯ



- 1. Что не понравилось на уроке?**
- 2. Что понравилось?**
- 3. Какие вопросы остались для тебя неясными?**



# Пирамида



**Вопрос,  
который вы  
хотите задать по  
этой теме**

---

**Два слова, которые  
запомнились в этой теме**

---

**Три ключевых слова, которые  
важны в этой теме**