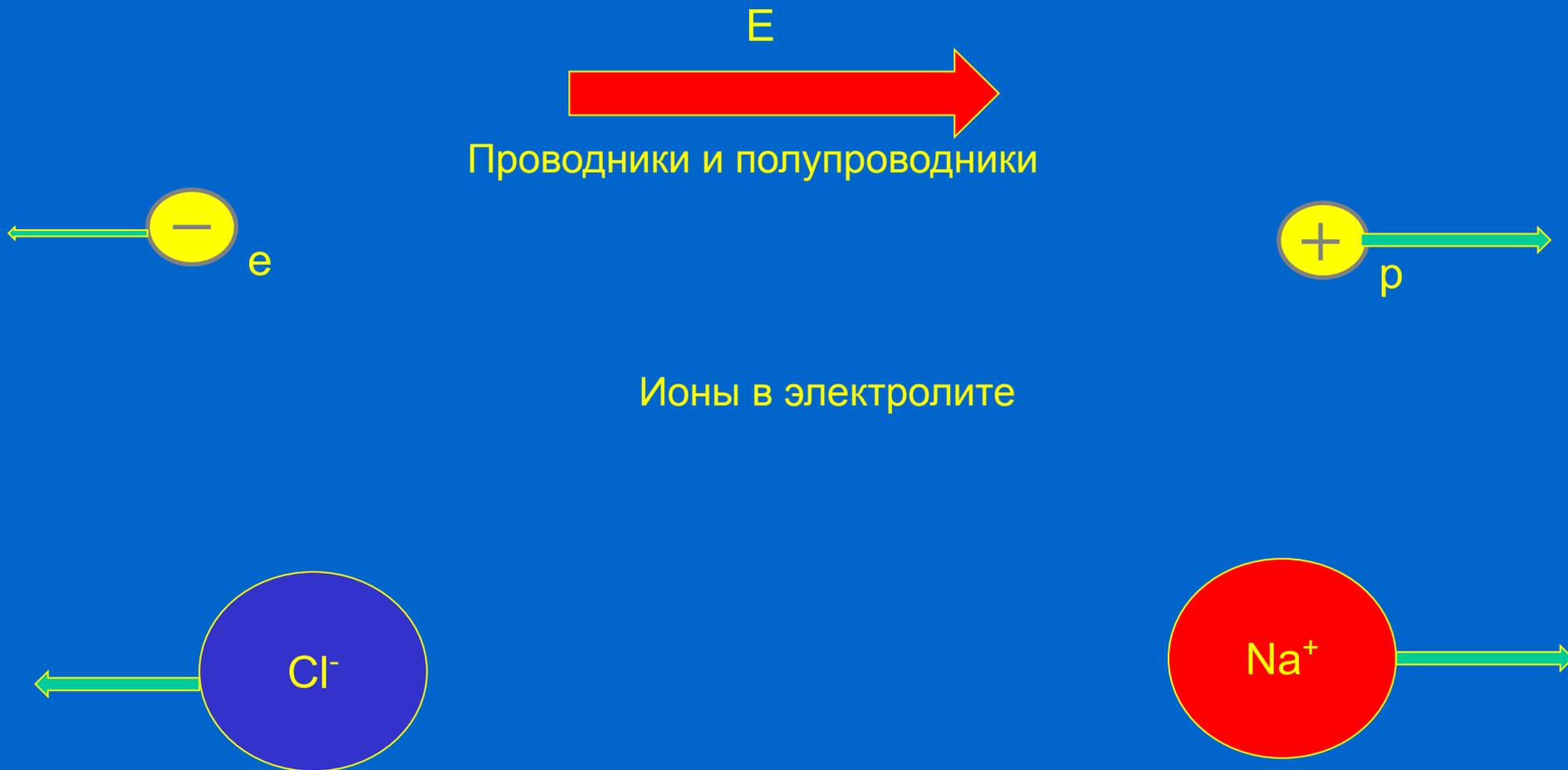


2. Электрические свойства горных пород

2.1 Механизм электропроводности



2.2 Удельное сопротивление

МИНЕРАЛОВ

Полупроводники

Несовершенные диэлектрики

Графит

Пирролюзит MnO_2

Борнит Cu_5FeS_4

Арсенопирит $FeAsS$

Никелин $NiAs$

Пирит FeS_2

Слюда

Кварц

Пироклаз

Пироксен

Нефть

1.E-04 1.E-02 1.E+00 1.E+02 1.E+04 1.E+06 1.E+08 1.E+10 1.E+12 1.E+14 1.E+16 1.E+18

**УДЕЛЬНОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ, ОМ-
МЕТР**

2.3 ПОДВИЖНОСТЬ ИОНОВ

определение 1

(электрическое):

СКОРОСТЬ ИОНА В

ЕДИНИЧНОМ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ,

$\text{м}^2(\text{с}\cdot\text{В})^{-1}$

определение 2 (общее):

СКОРОСТЬ ИОНА ПОД

ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ В 1Н,

ПРИЛОЖЕННОЙ К 1

КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА,

$\text{м}\cdot\text{моль}^{-1}(\text{с}\cdot\text{В})^{-1}$

$$\beta = \frac{v}{E}$$

$$u = \frac{v}{F}$$

ЗНАЧЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ

ИОН	ПОДВИЖНОСТЬ (10^{-8} $\text{м}^2(\text{с}\cdot\text{В})^{-1}$)
H^+	36.3
Li^+	4.00
Na^+	5.19
K^+	7.61
NH_4^+	7.60
Rb^+	8.06
Cs^+	8.00
Cl^-	7.91

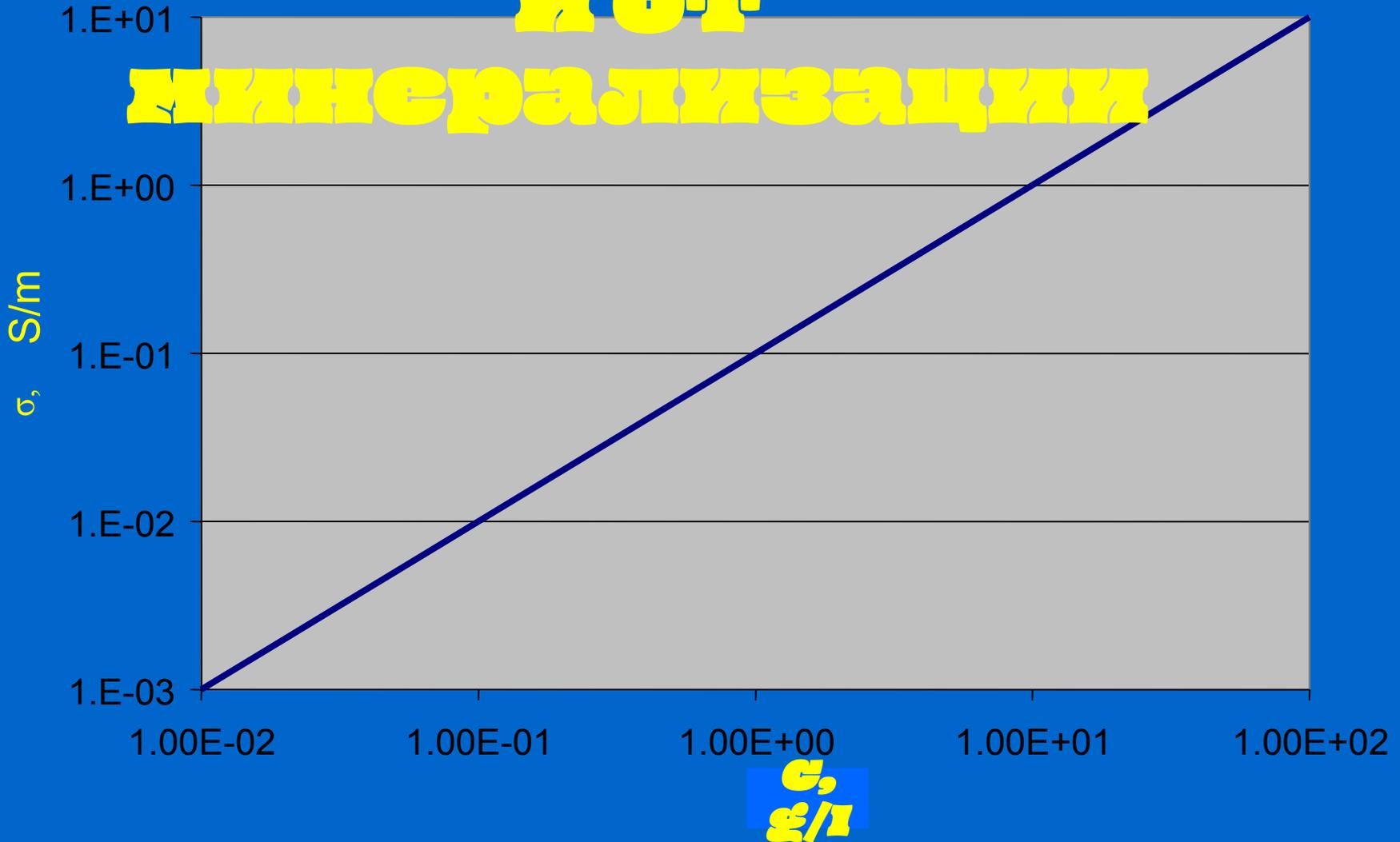
2.4

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ

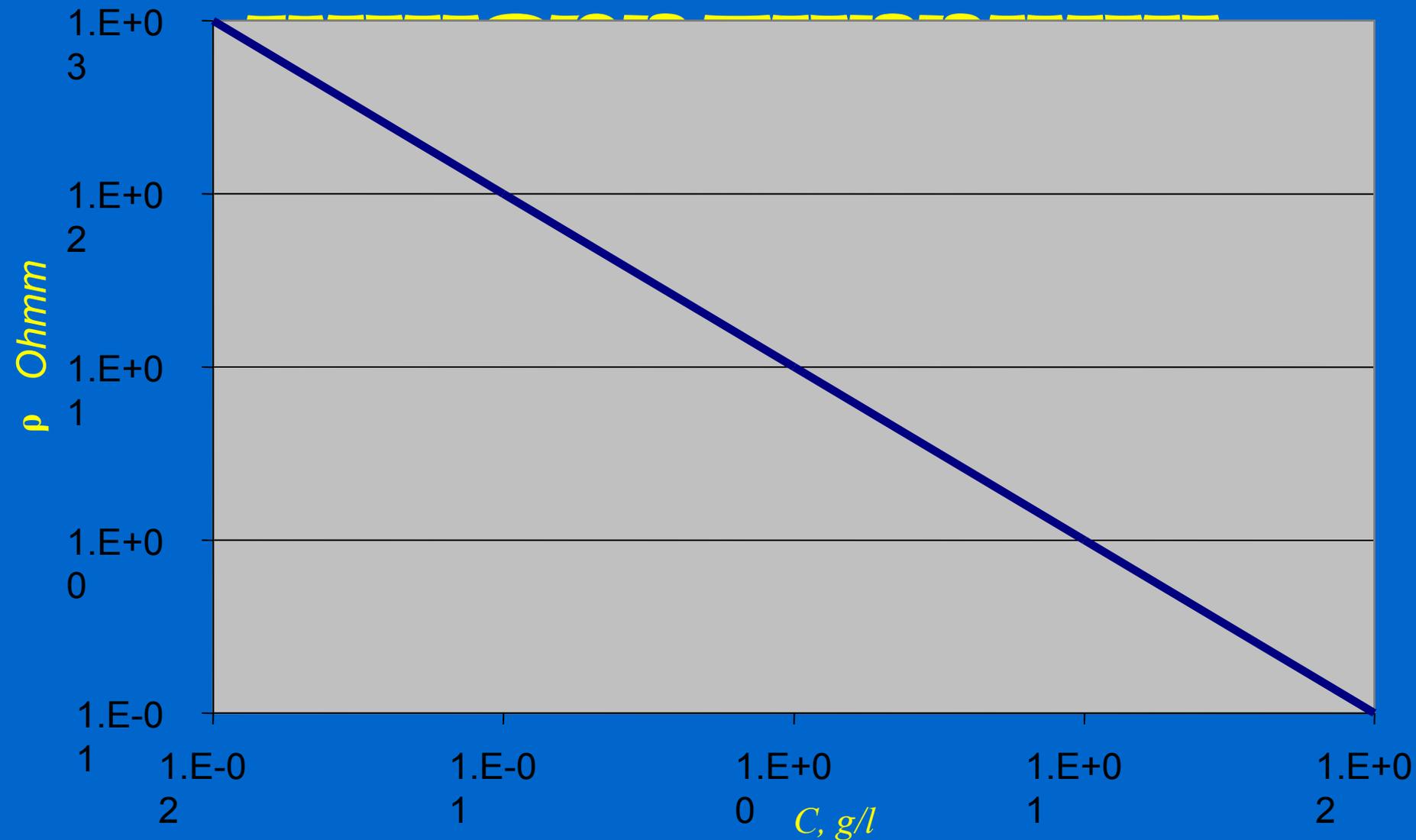
- **постоянная Фарадея $F = 96485$ Кулон/моль $(\text{К} \cdot \text{моль}^{-1})$;**
- **валентность, z ;**
- **концентрация ионов c (моль $\cdot \text{м}^{-3}$)** в теории,
или минерализация $(\text{г} \cdot \text{л}^{-1})$ на практике;
- **$\alpha = zF c$ $\text{К} \cdot \text{м}^{-3}$;**
- **электропроводность: $\sigma = \beta \alpha = zF \beta c$ $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$;**
- **$\sigma_c = zF \beta_c c_c$ – “катионная электропроводность”;**

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТ И ОТ

МИНЕРАЛИЗАЦИИ



Связь между удельного сопротивления от



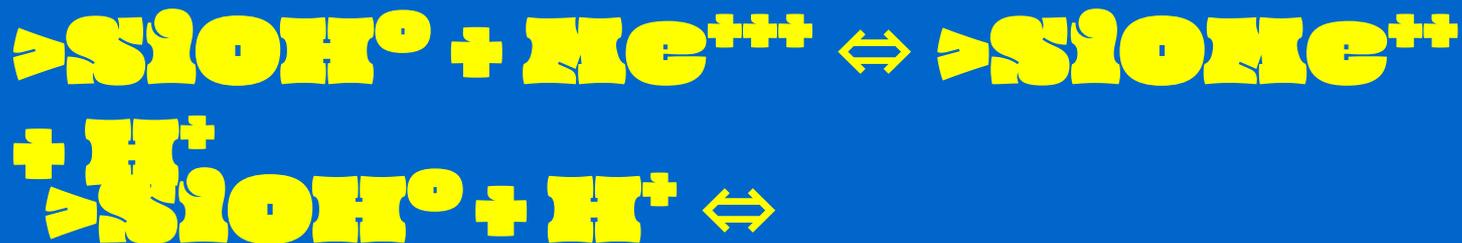
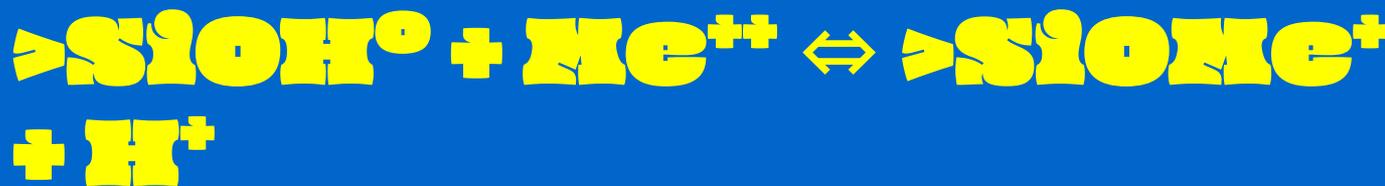
ВЫВОДЫ

- Для пород преобладает ионная электропроводность ;
- Электропроводность возрастает с ростом минерализации раствора

2.5 ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ

2.5.1

ПОВЕРХНОСТНЫЕ РЕАКЦИИ НА



**ПОДРОБНО
ВЗГЛЯД**

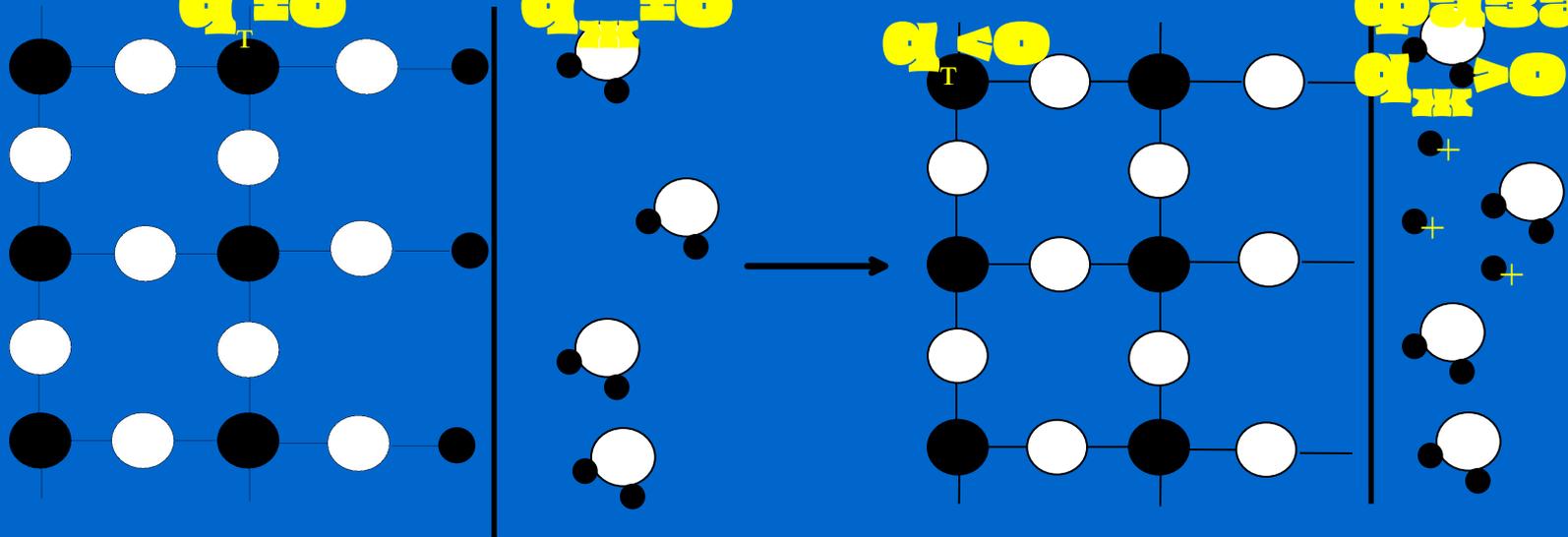
ПОВЕРХНОСТНАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

ТВЕР
ДЯЯ
ФАЗА
 $\alpha_T = 0$

ЖИДК
АЯ
ФАЗА
 $\alpha_{ж} = 0$

ЗАРЯЖЕ
ННАЯ
ПОВЕРХ
НОСТЬ
 $\alpha_T < 0$

ЗАРЯЖ
ЕННАЯ
ЖИДКАЯ
ФАЗА
 $\alpha_{ж} > 0$



ЭЛЕКТРОННОЙ

$\alpha_T + \alpha_{ж}$

АДСОРБЦИЯ

ТВЕР
ДЛЯ
ФАЗА

$\alpha = 0$

ЖИДК
ДЛЯ

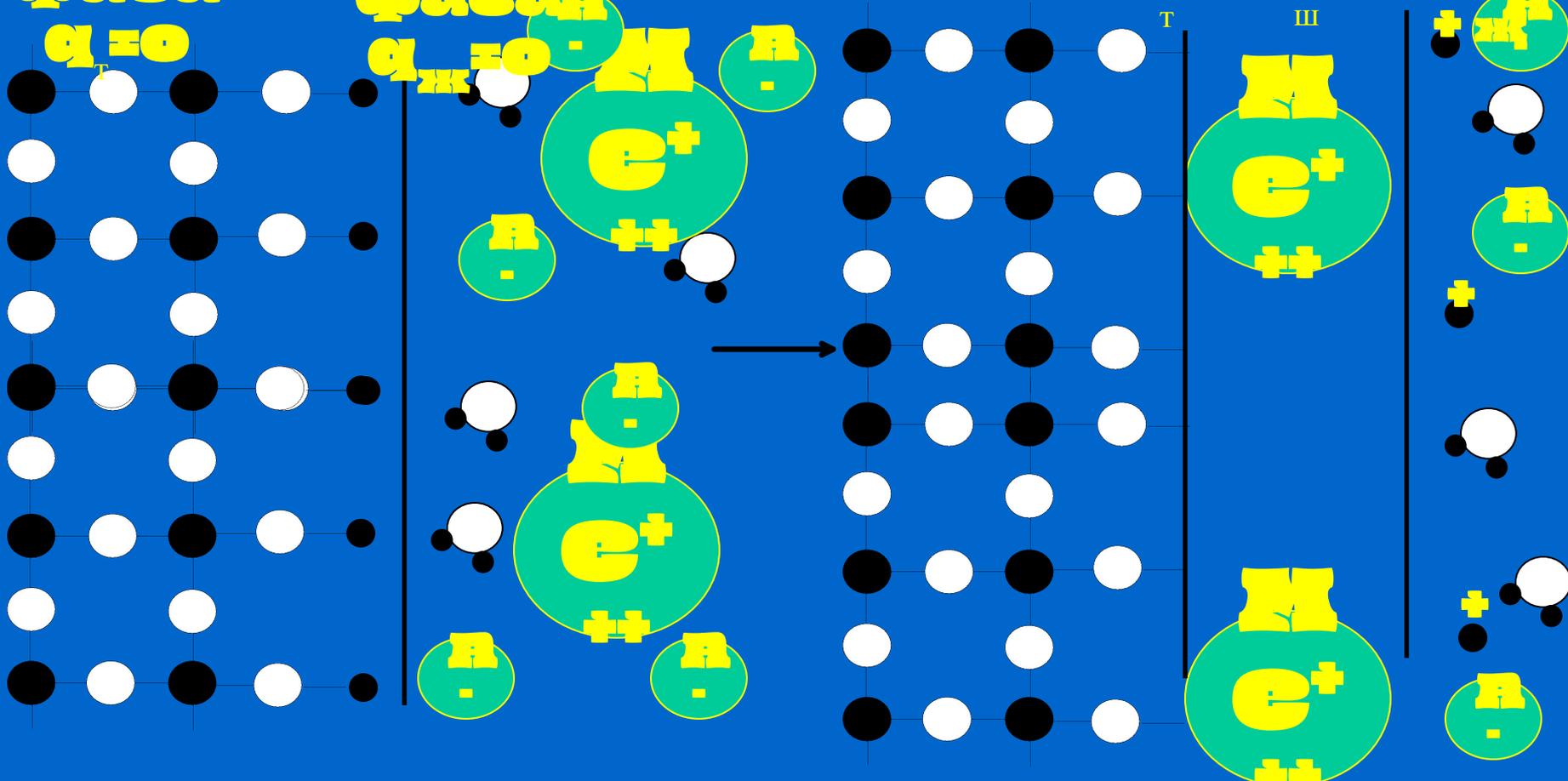
ФАЗА

$\alpha_{ж} = 0$

α

α

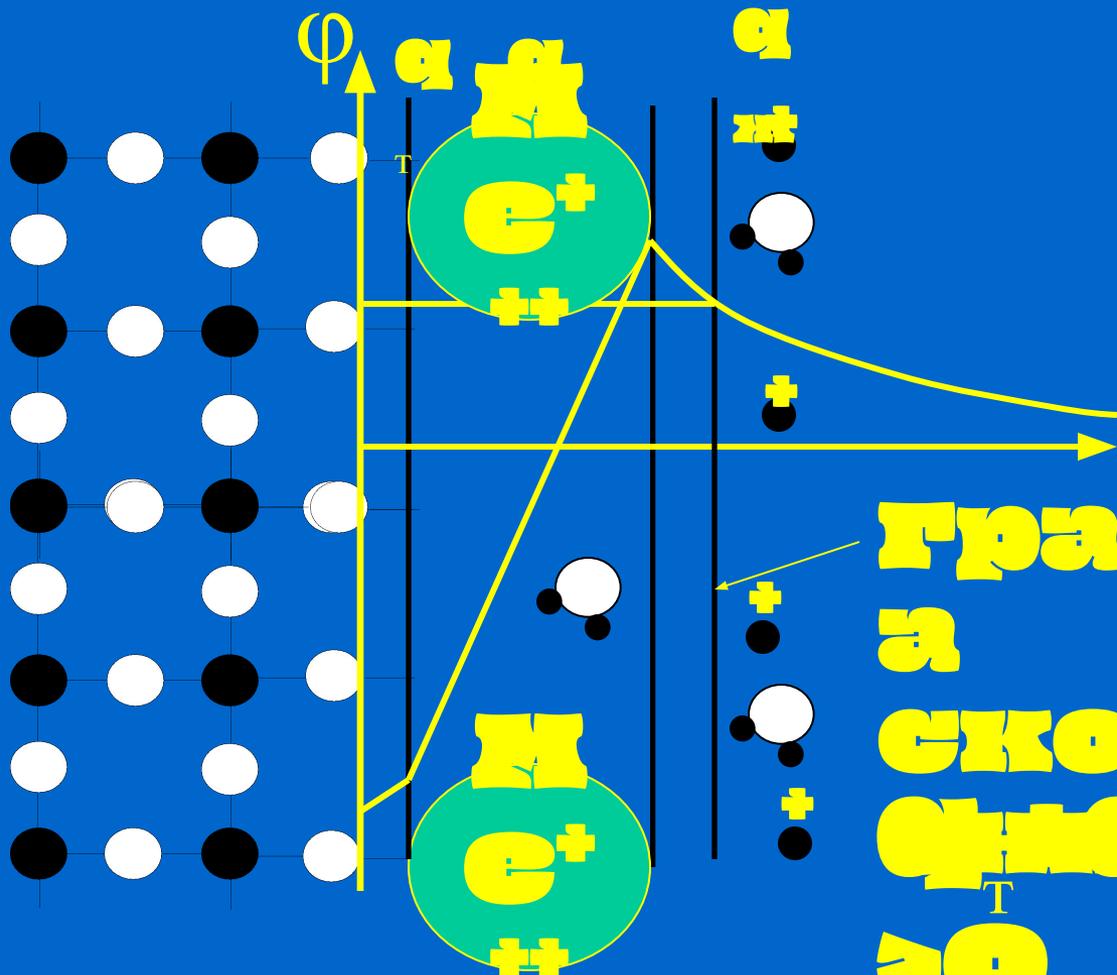
α



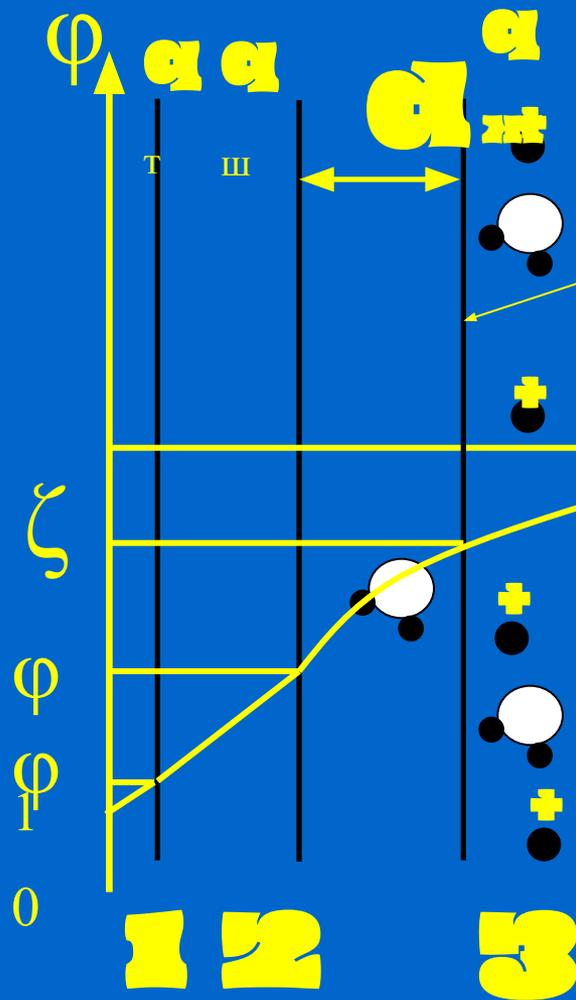
ЭЛЕКТРОНЕЙ

ПЛОТНОСТЬ:

$\alpha_T + \alpha_{III} + \alpha_T = 0$



ГРАНИЦА
 А
 СКОЛЬЖИ
 СЛУЖИ
 Т
 Ш



ГРАНИЦА

**СКОЛЬЖЕ
НИЖЕ**

- 1- ПОВЕРХНОСТЬ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ**
- 2- СЛОЙ ШТЕРНА**
- 3- ПОВЕРХНОСТЬ ЖИДКОСТИ**

ВЫВОДЫ

- между твердой и жидкой фазой имеется скачок потенциала;
- три характерных значения потенциала: φ_0 , φ_1 и ζ ;
- неопределенность положения границы раздела фаз

2.5.3 ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОТЕНЦИАЛА И КОНЦЕНТРАЦИИ

ЗАМЕЧАНИЕ:
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ
ВЕЩЕСТВА И

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗАРЯДА В
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

$$j_c = -\sigma_c \nabla \phi = -zF\beta_c C_c \nabla \phi$$

($\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ – ПОТОК
ВЕЩЕСТВА)

$$\Phi_c = -\beta_c C_c \nabla \phi$$

($\text{моль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) – ПОТОК
ВЕЩЕСТВА)

$$j = zF\Phi$$

$$\Phi_{dc} = -D_c \frac{dC_c}{dx}$$

$$D_c = \frac{RT}{zF} \beta_c$$

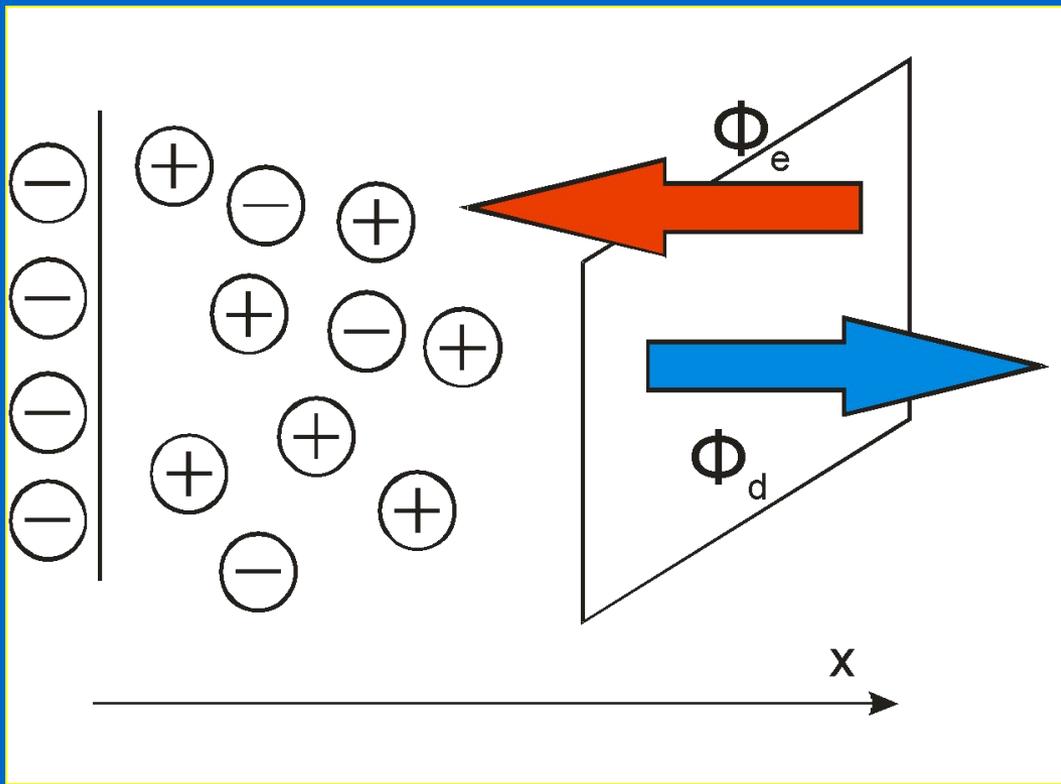
ЗАКОН ФРИКЕ СООТНОШЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА

D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2\text{с}^{-1}$;

R=8.31 Дж(°К×мол)⁻¹ –

**универсальная газовая
постоянная;**

T – абсолютная температура (°К)



$\Phi_e = C_c v_c$ - ПОТОК КАТИОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ, v - СКОРОСТЬ КАТИОНОВ;

$\Phi_d = -D \frac{dC_c}{dx}$ - ПОТОК КАТИОНОВ ЗА СЧЕТ ДИФФУЗИИ, D - КОЭФФИЦИЕНТ ДИФФУЗИИ;
В РАВНОВЕСИИ:

ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

КАТИОНОВ ЗА СЧЕТ
ДИФФУЗИИ: (*)

$$j_c^d = -zF \frac{RT}{zF} \frac{dC_c}{dx} = -RT \frac{dC_c}{dx}$$

ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

АНИОНОВ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ: (**)

$$j_c^e = -zF \beta C_c \frac{d\phi}{dx}$$

ПРИРАВНЯЕМ УРАВНЕНИЯ

$$\frac{1}{C_c} \frac{dC_c}{dx} = -\frac{zF}{RT} \frac{d\phi}{dx} \quad ; \quad \frac{d \ln C_c}{dx} = -\frac{zF}{RT} \frac{d\phi}{dx} \quad ; \quad \ln C_c = -\frac{zF}{RT} \phi + const$$

Граничные условия:

$x \rightarrow \infty, \phi \rightarrow 0, C_c \rightarrow C_0$;

C_0 – концентрация далеко от стенки поры

(равновесное распределение концентрации в свободной воде)

$$C_c = C_0 \exp\left[-\frac{zF\phi}{RT}\right]$$

Аналог

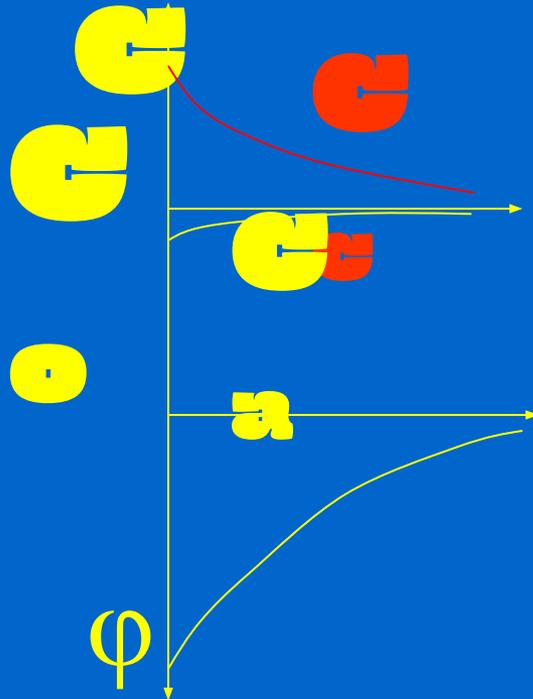
ично:

$$C_a = C_0 \exp\left[\frac{zF\phi}{RT}\right]$$

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ:

1. $\varphi < \varphi_0$, $\sigma_{\text{н}} > \sigma_0$, $\sigma_{\text{з}} < \sigma_0$

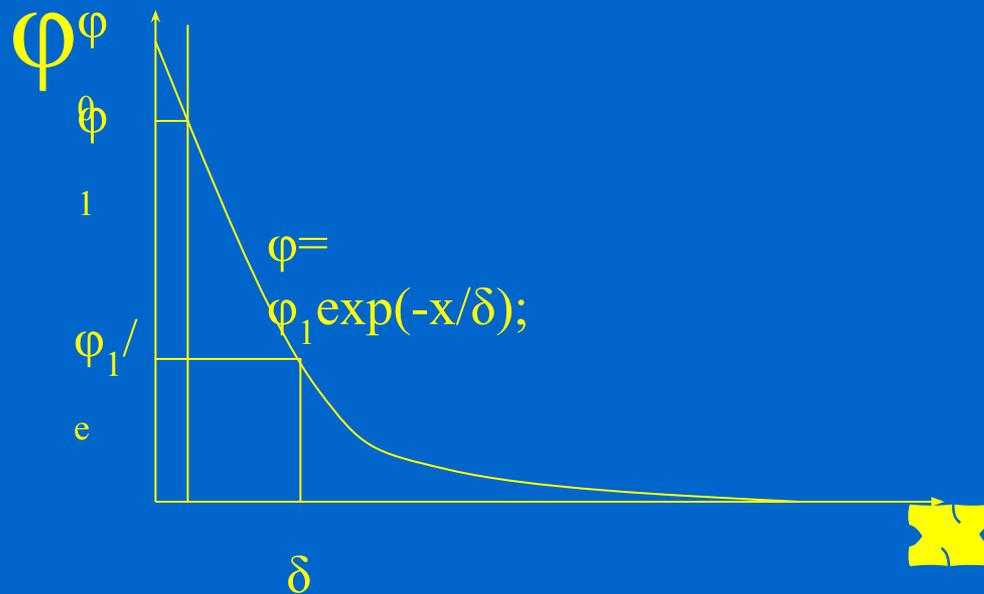
2. $\varphi > \varphi_0$, $\sigma_{\text{н}} < \sigma_0$, $\sigma_{\text{з}} > \sigma_0$



ИНТЕРПРЕТАЦИЯ:

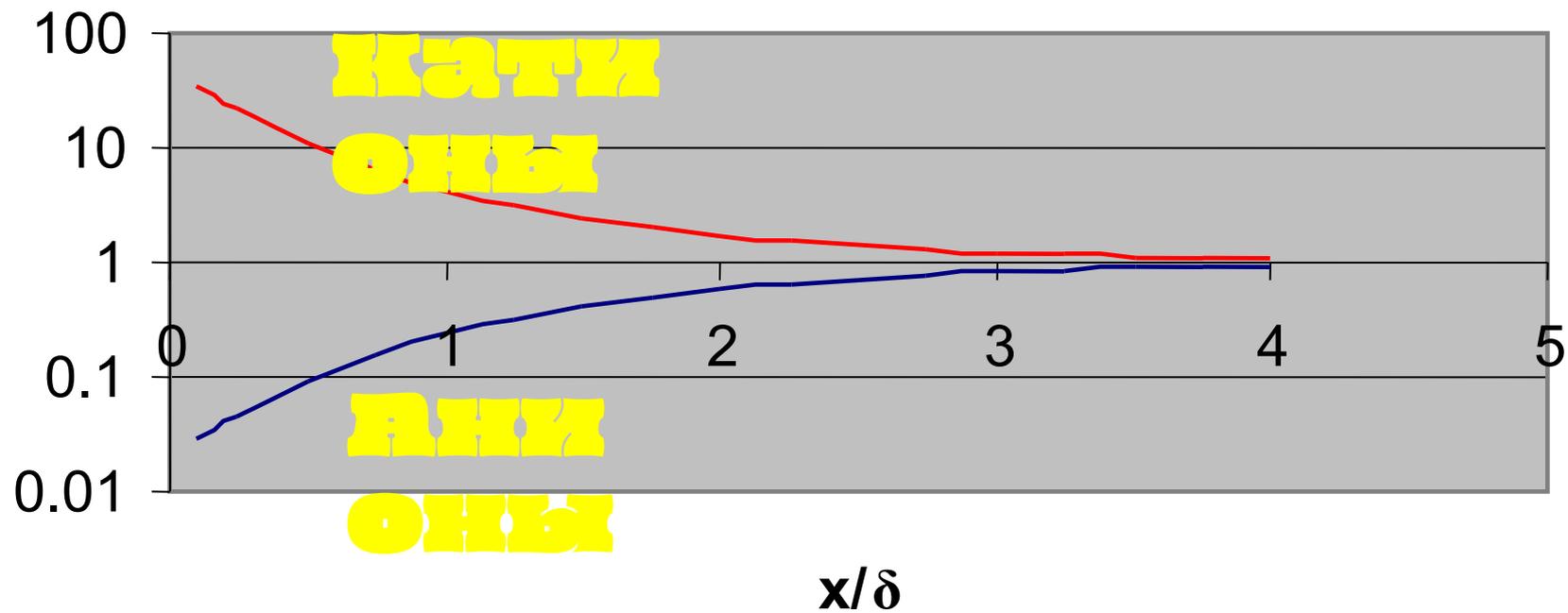
3. $[zF\phi] = [\text{Кл}\cdot\text{В}]$
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ
ЭНЕРГИЯ МОЛЯ ИОНОВ
4. $[RT] = [\text{Дж}]$
ТЕПЛОТА
ЭНЕРГИЯ И МОЛЯ

2.5.4 РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА И КОНЦЕНТРАЦИИ

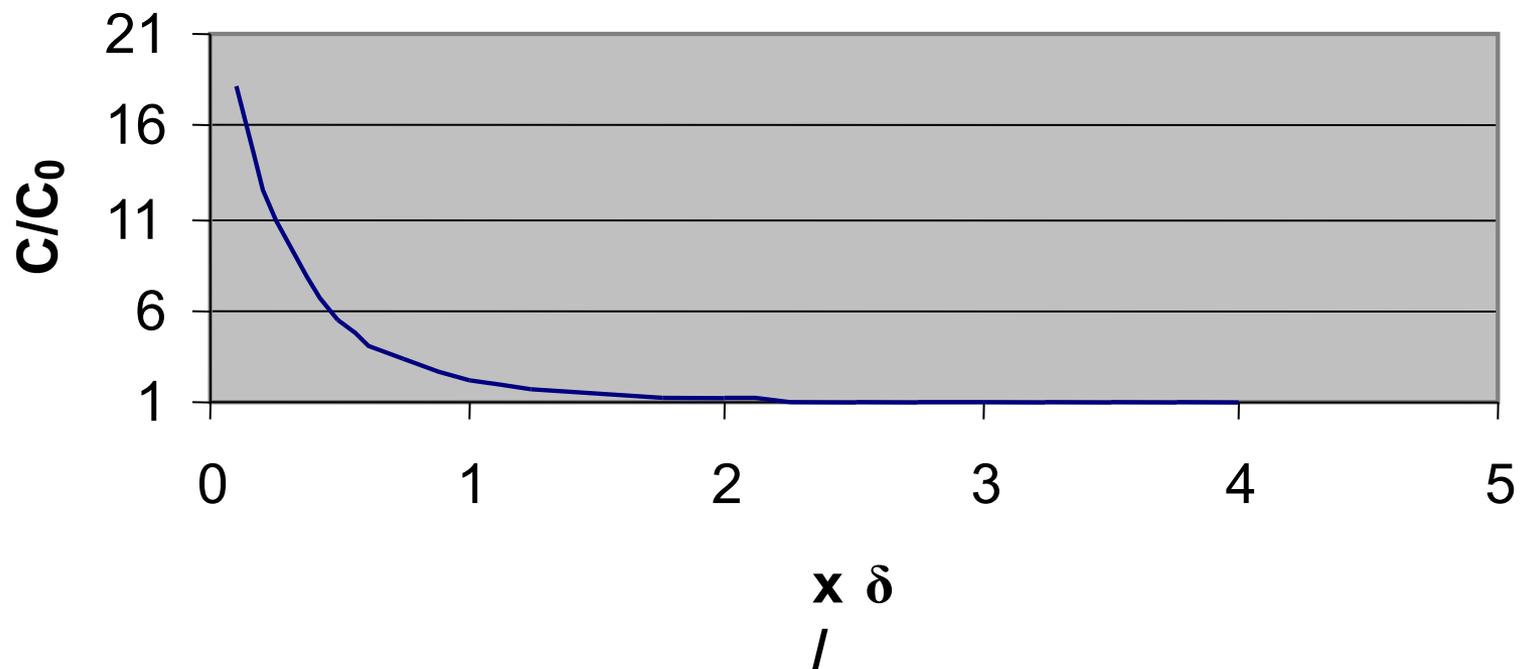


$\delta = ?$

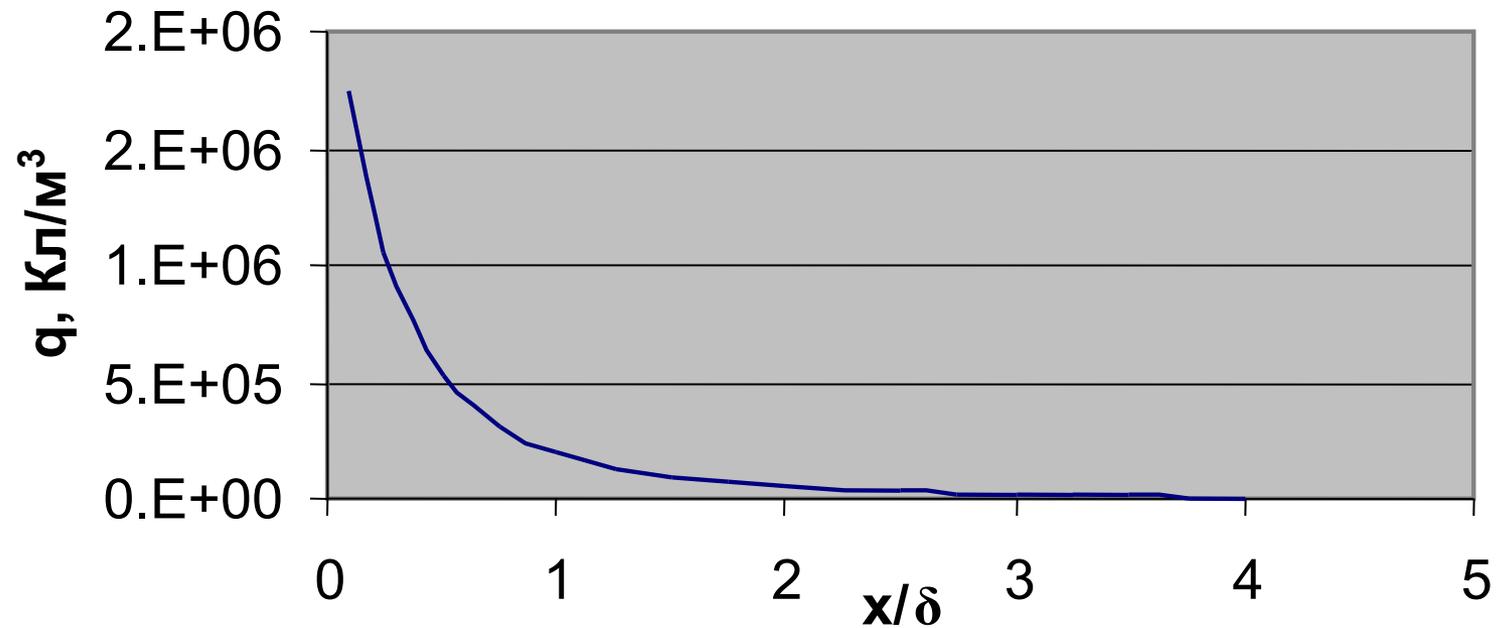
Концентрация ионов в ДЭС



Средняя концентрация ионов в ДЭС



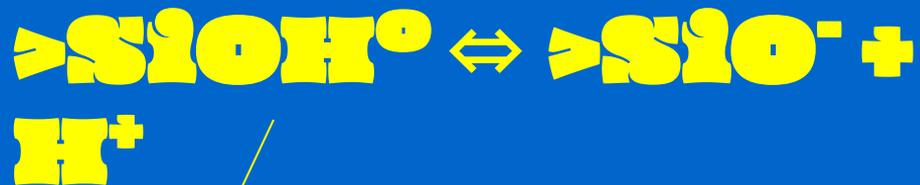
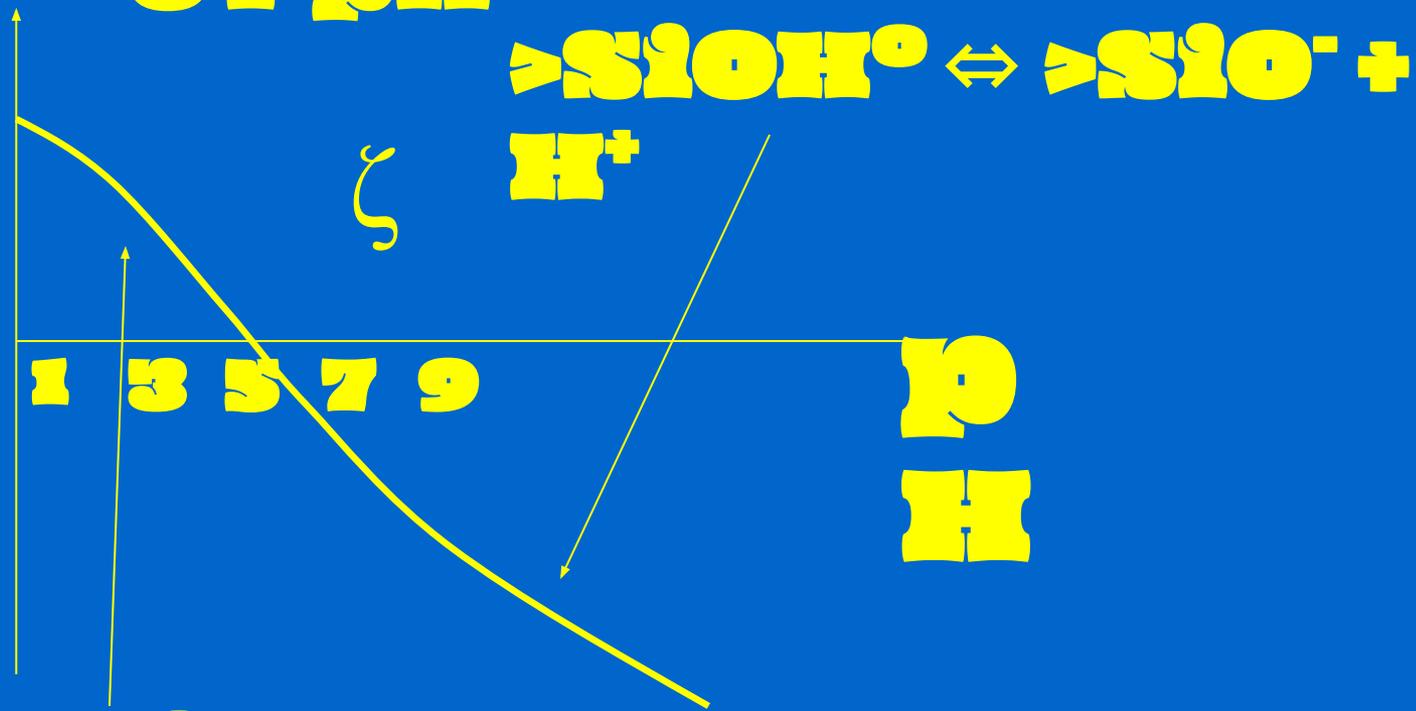
Плотность электрического заряда в ДЭС



**ОГРОМНЫЙ
ЗАРЯД!!!**

2.5.5 СВОЙСТВА ζ -ПОТЕНЦИАЛА

(1) ЗАВИСИМОСТЬ ОТ pH



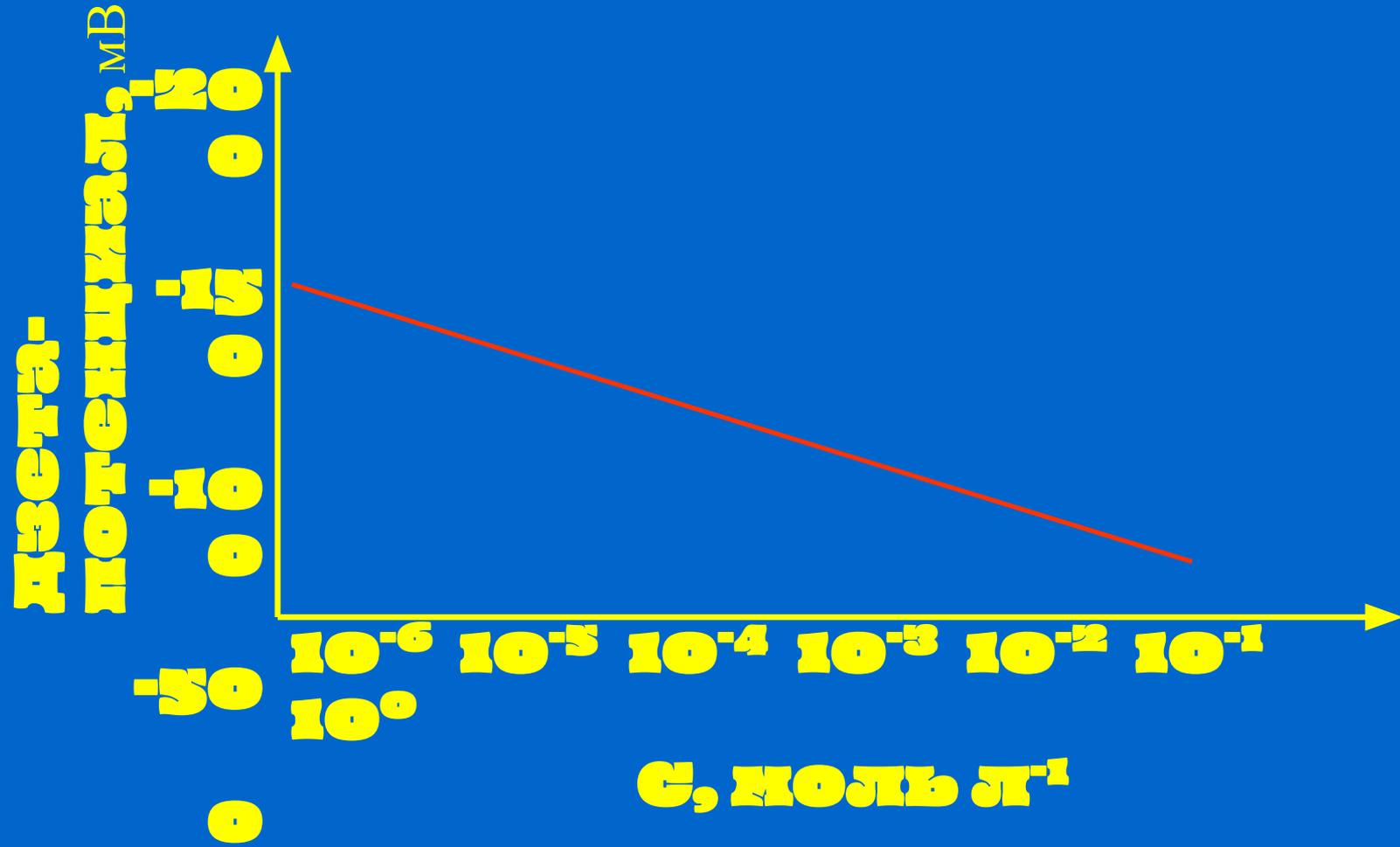
ζ

1 3 5 7 9

10
pH



(2) ЗАВИСИМОСТЬ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ МОНОМОВ



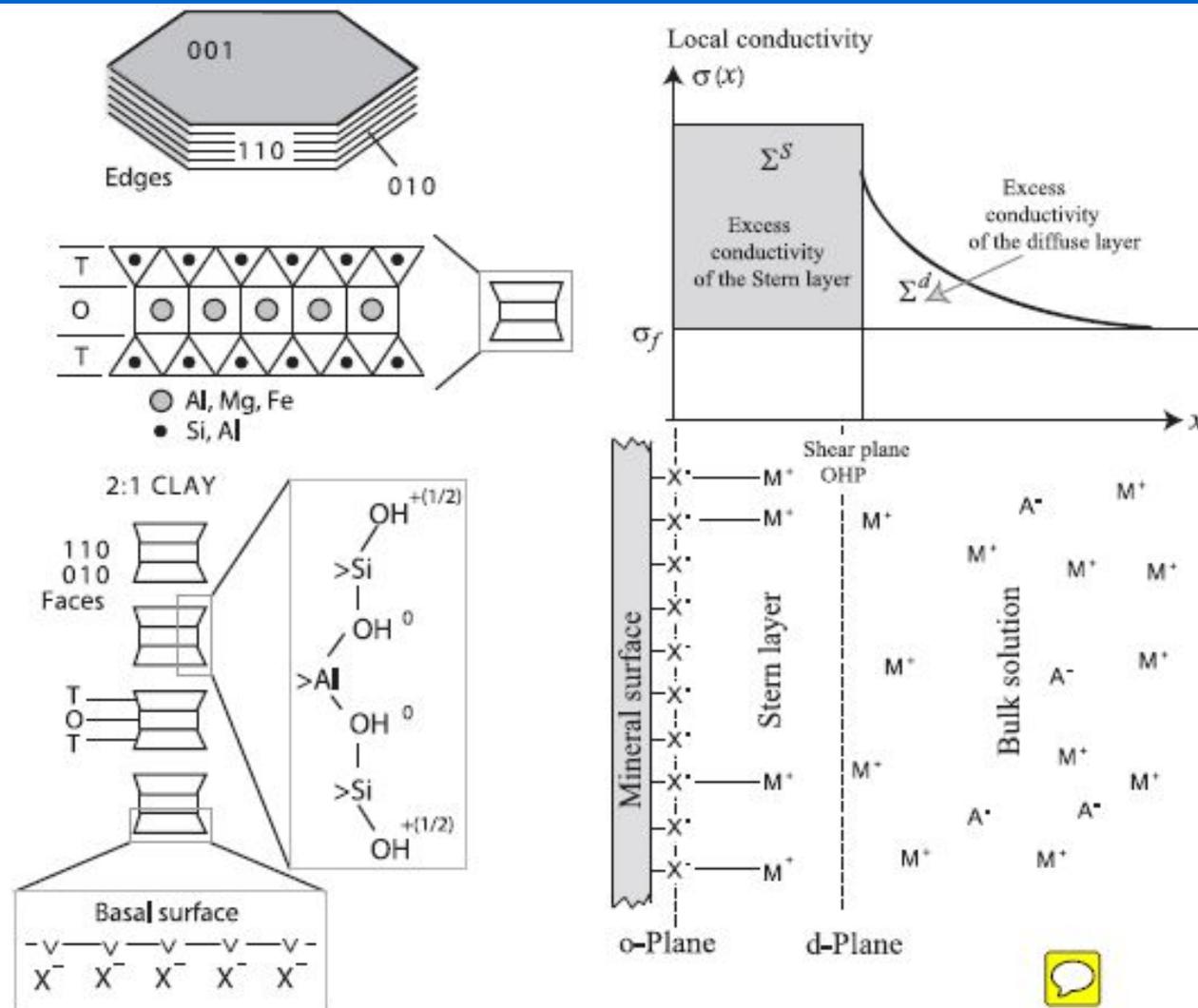
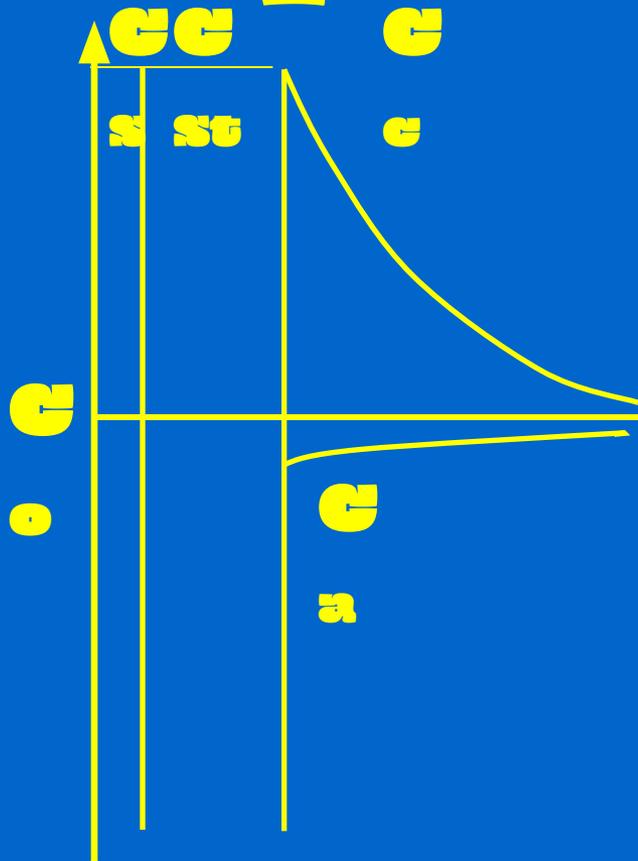


Figure 1. Electrical double layer at the surface of clays. The surface charge of the clays is heterogeneous and results from amphoteric sites located on the 110 and 010 crystalline planes, while the basal surfaces 001 carry negative sites associated with isomorphous substitutions in the crystalline framework (especially for illite and smectite). The electrical double layer is formed by the Stern layer of sorbed counterions (on the 110 and 010 planes) and the diffuse layer. The o plane defines the mineral surface, while the d plane defines the interface between the Stern layer and the diffuse layer on the 110 and 010 crystalline planes. The specific surface conductivities Σ_S and Σ_d define the excess surface conductivity associated with the Stern and diffuse layers with respect to the conductivity of the pore water.

2.5.6

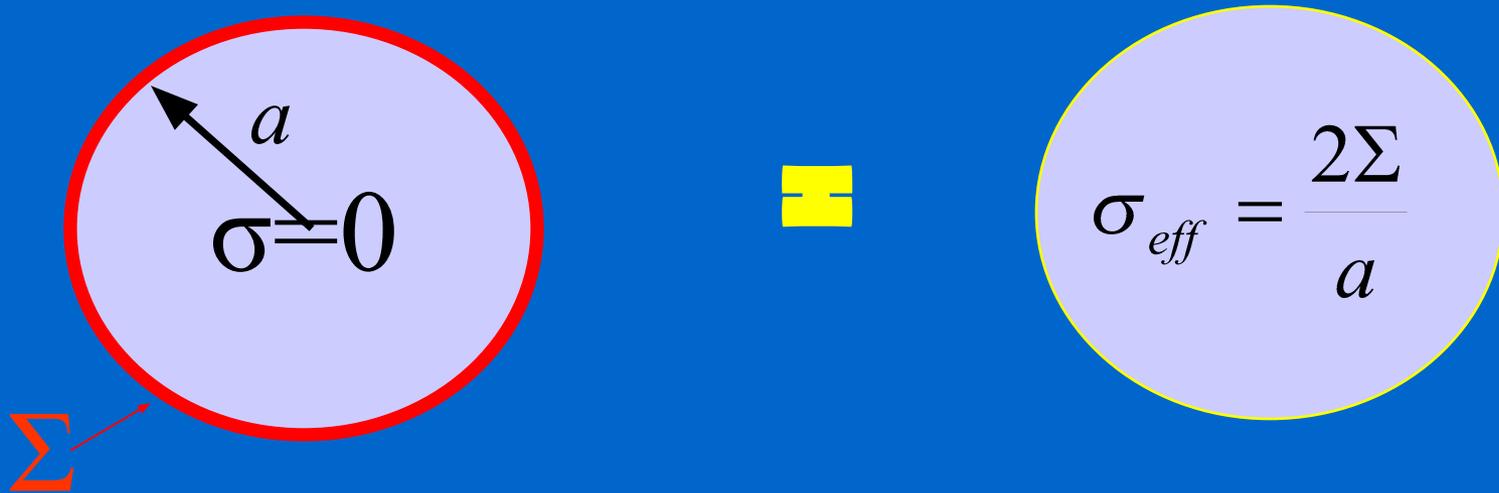
ПОВЕРХНОСТНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ



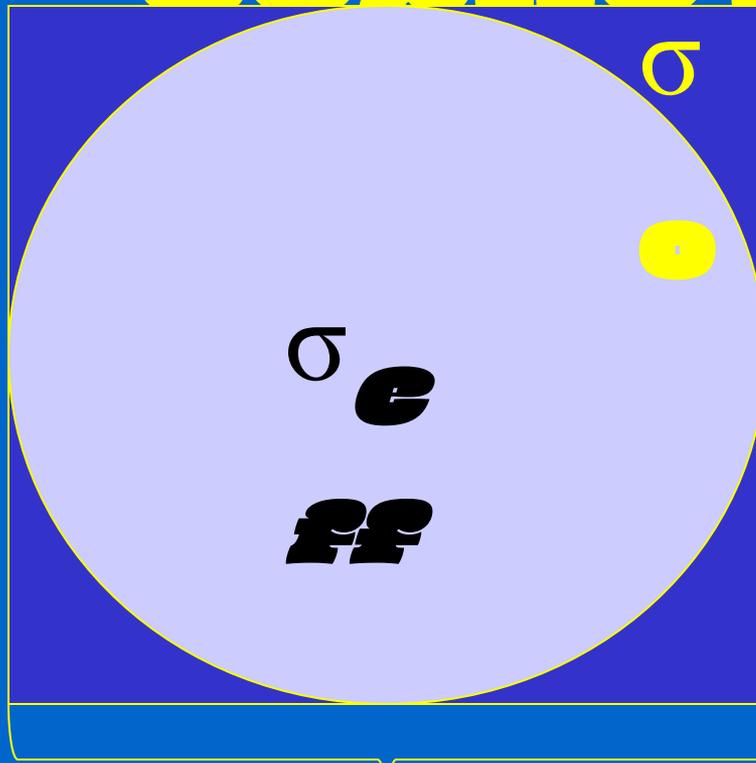
$$\Sigma = \int_0^{\infty} (\sigma(x) - \sigma_0) dx = \Sigma_s + \Sigma_{St} + \Sigma_{DL}$$

Х характеризуете
Т вкладом
✓ поверхности;
✓ слоя штерна
✓ диффузного
слоя

ЭФФЕКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЗАРЯЖЕННОГО ЗЕРНА



Исследованный Опыт: Заряженное зерно в воде



$$\sigma_{eff} < \sigma_0 \rightarrow \sigma < \sigma_0$$

$$\sigma_{eff} > \sigma_0 \rightarrow \sigma > \sigma_0$$

$$\sigma_{eff} = \sigma_0 \rightarrow \sigma = \sigma_0$$

ВЫВОДЫ:

1. **КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ В РАСТВОРЕ В БЛИЗИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ В СВОБОДНОМ РАСТВОРЕ. ОБЫЧНО: $c_k > c_{\text{в}}$**
2. **СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ВОДА В ПОРАХ НЕСЕТ ОБЪЕМНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД:**

ВЫВОДЫ

3. Раствор в порах – более минерализован, чем свободный раствор, следовательно, электропроводность воды в порах превышает электропроводность свободного раствора, что приводит к явлению поверхностной проводимости