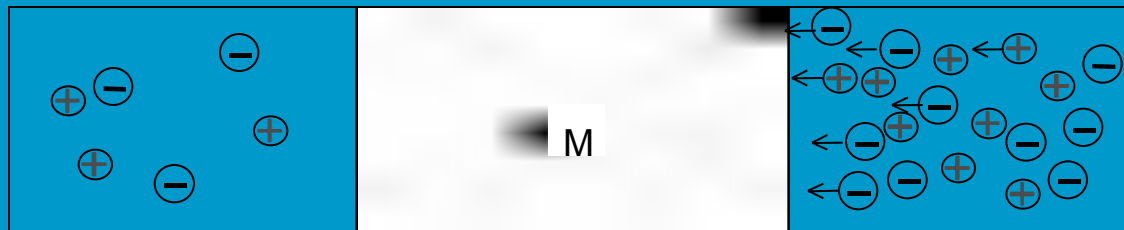


## 2.8 Электро-диффузионные явления

# 2.8.1 Диффузионный потенциал

Незаряженная мембрана



$$j_d^c = -zFD^c \frac{dC}{dx} = -RT\beta^c \frac{dC}{dx} \quad \text{-плотность тока диффузии катионов}$$

$$j_d^a = -RT\beta^a \frac{dC}{dx} \quad \text{-плотность тока диффузии анионов}$$

$$j_{np}^c = -\sigma^c \frac{dU}{dx} = -zF\beta^c C \frac{dU}{dx} \quad \text{-плотность тока проводимости катионов}$$

$$j_{np}^a = -zF\beta^a C \frac{dU}{dx} \quad \text{-плотность тока проводимости анионов}$$

$$j_d^c - j_d^a = j_{np}^c + j_{np}^a \quad \text{- условие равновесия}$$

$$RT(\beta^c - \beta^a) \frac{dC}{dx} = zF(\beta^c + \beta^a) C \frac{dU}{dx} \quad \frac{RT}{zF} \frac{\beta^c - \beta^a}{\beta^c + \beta^a} \frac{d \ln C}{dx} = \frac{dU}{dx}$$

$$n^c = \frac{C\beta^c}{C\beta^c + C\beta^a} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Числа} \\ \text{переноса} \end{array} \right\}$$

$$n^a = \frac{\beta^a}{\beta^c + \beta^a}$$

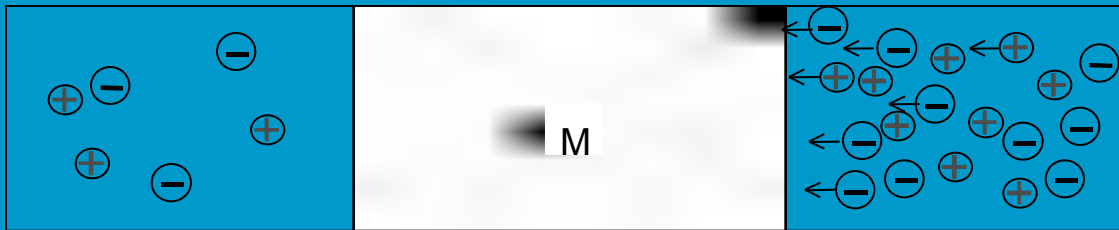
$$U_2 - U_1 = \frac{RT}{zF} (n^c - n^a) \ln \frac{C_2}{C_1}$$

$$\Delta U \approx -71 \cdot \lg\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)$$

(25°C)

# 2.8.2 Мембранный потенциал

Заряженная мембрана

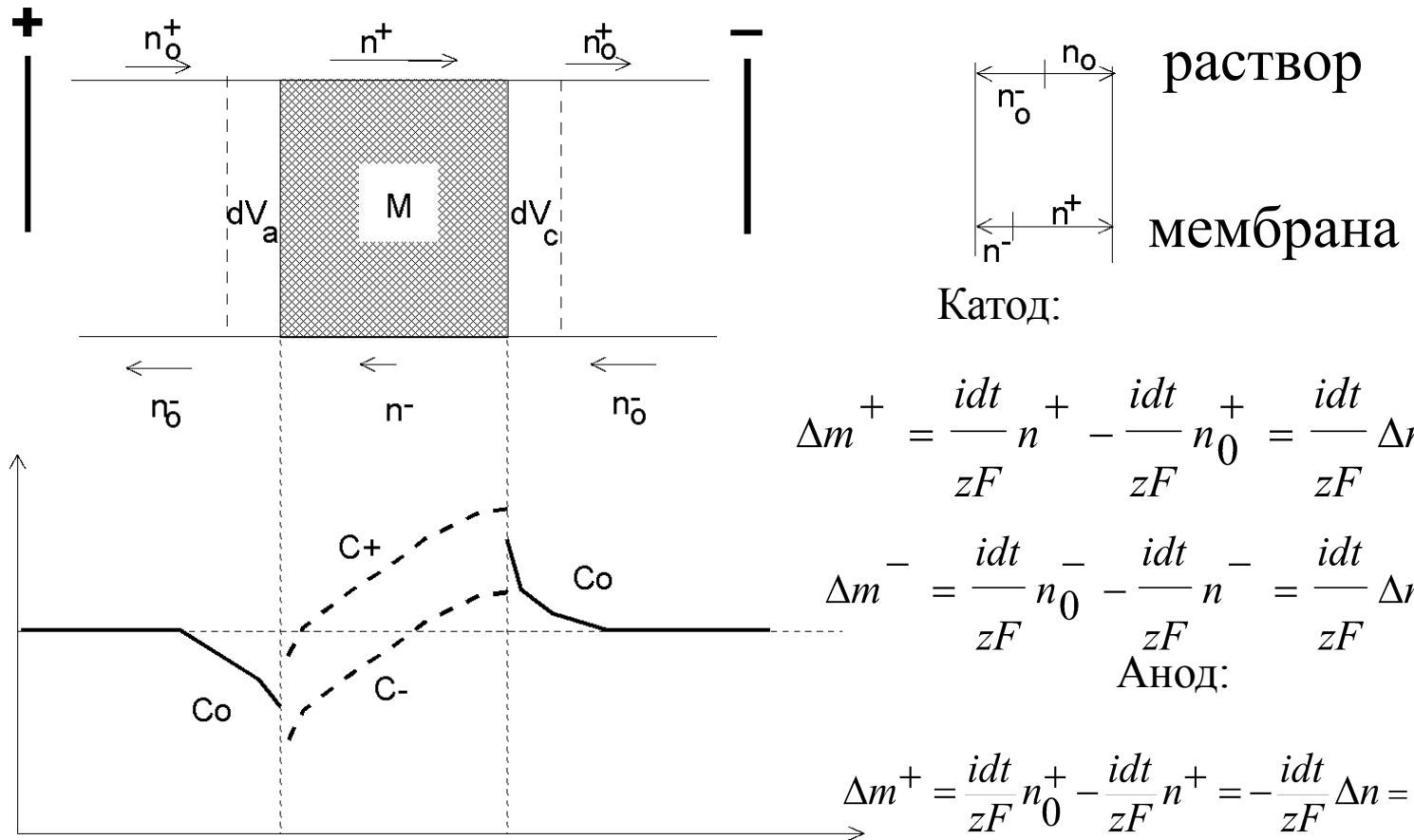


Для заряженной мембраны в первом приближении справедлива полученная формула, в которой необходимо учесть новое выражение для чисел переноса:

$$\left. \begin{aligned} n^c &= \frac{\beta^c C^c}{\beta^c C^c + \beta^a C^a} \\ n^a &= \frac{\beta^a C^a}{\beta^c C^c + \beta^a C^a} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Числа} \\ \text{переноса} \end{array}$$

$$U_2 - U_1 = \frac{RT}{zF} (n^c - n^a) \ln \frac{C_2}{C_1}$$

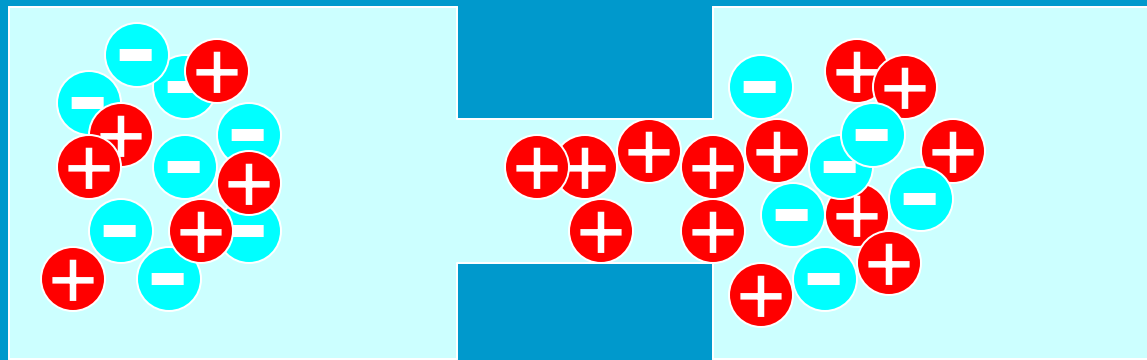
## 2.8.3 Электродиализ и концентрационная (мембранная) поляризация



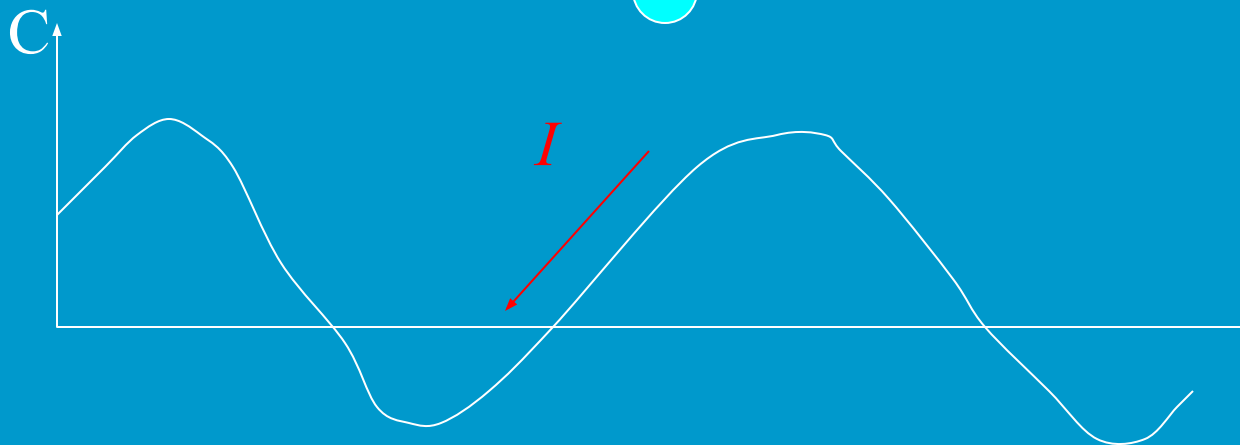
## 2.9 Вызванная поляризация



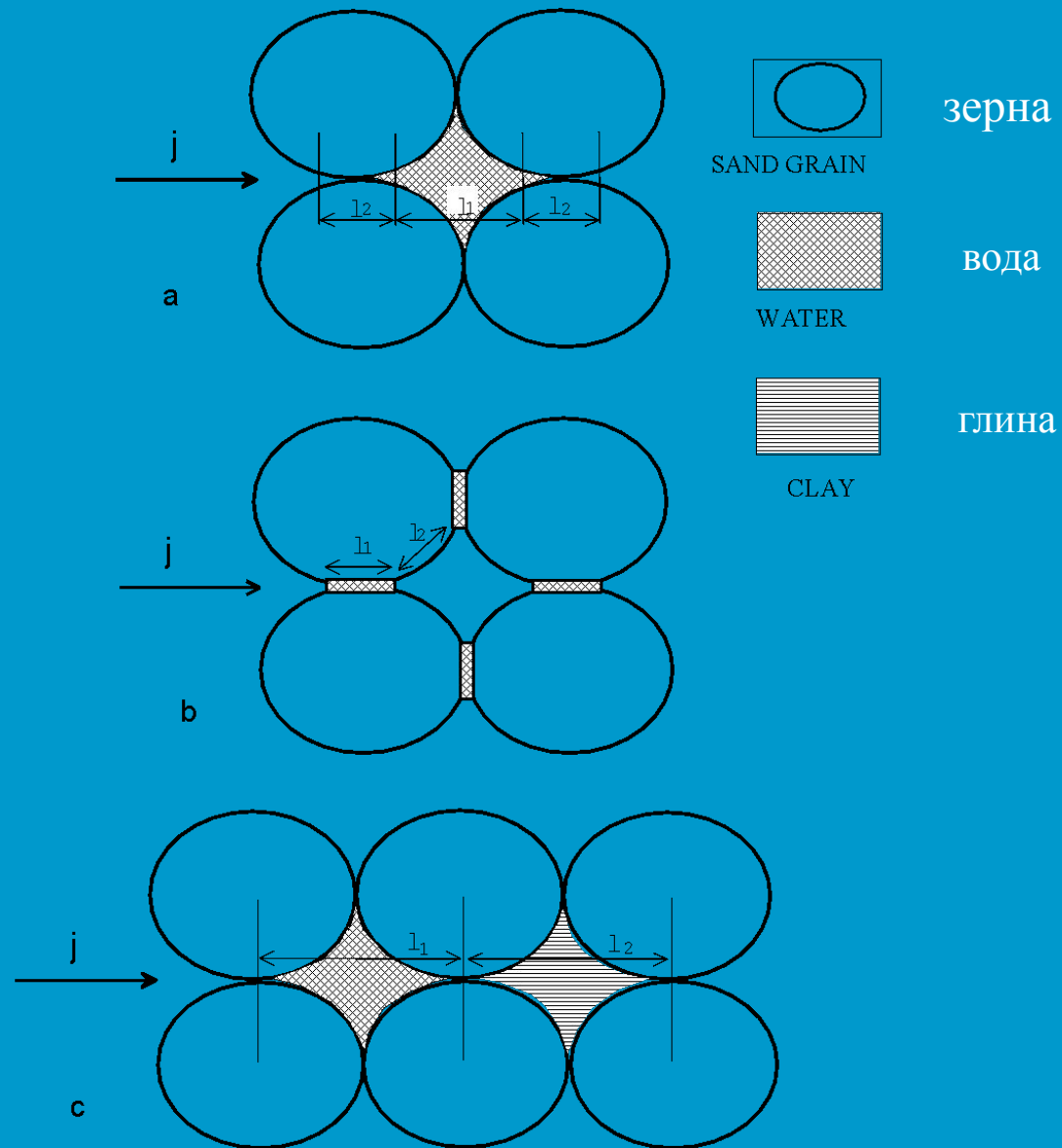
# Мембранная поляризация в породе

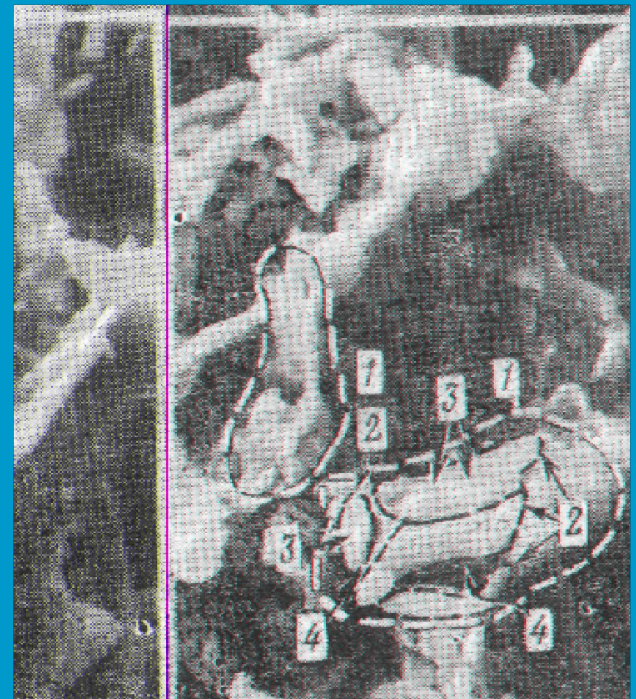
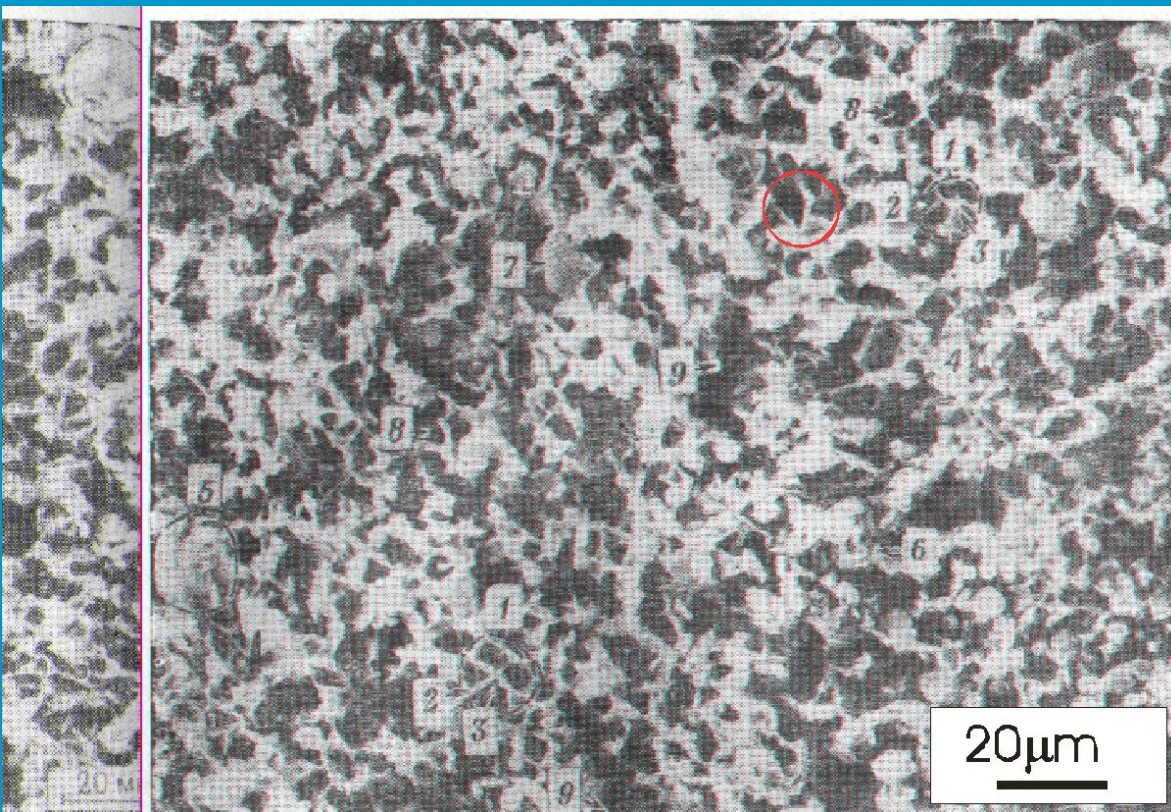


$E$

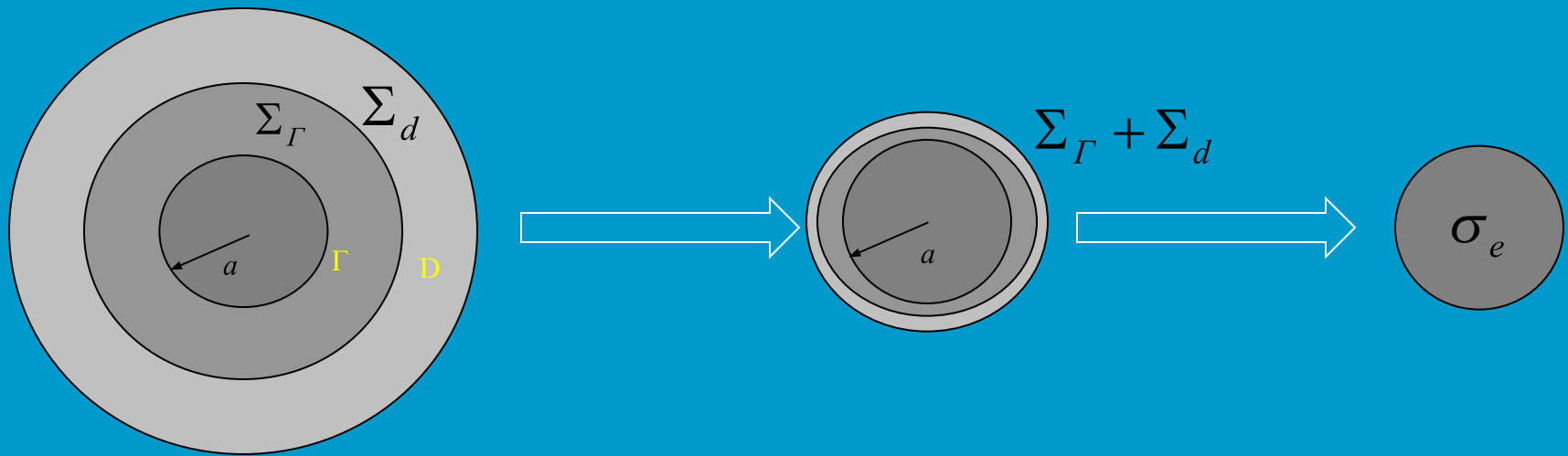


# Примеры природных мембран





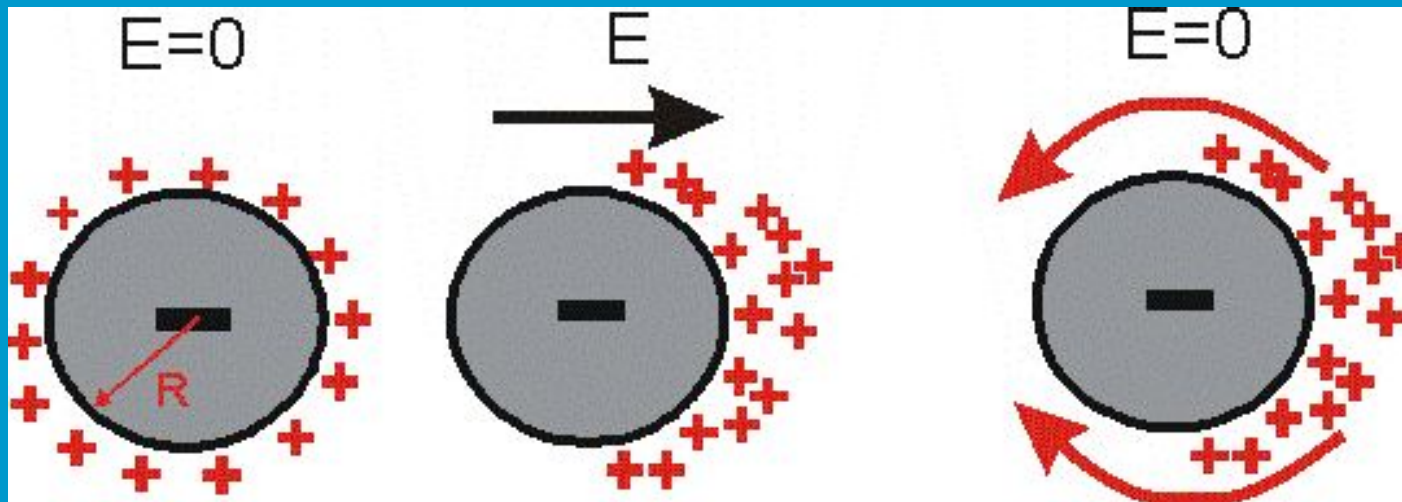
# Зерно с поверхностной проводимостью



$$\sigma_e = \frac{2(\Sigma_{\Gamma} + \Sigma_d)}{a}$$

O'Konski, 1960

ВП зерна с поверхностной проводимостью  
(Schwarz, 1962; Schurr, 1964; Leroy et al. 2008;  
Revil and Florsch, 2010)



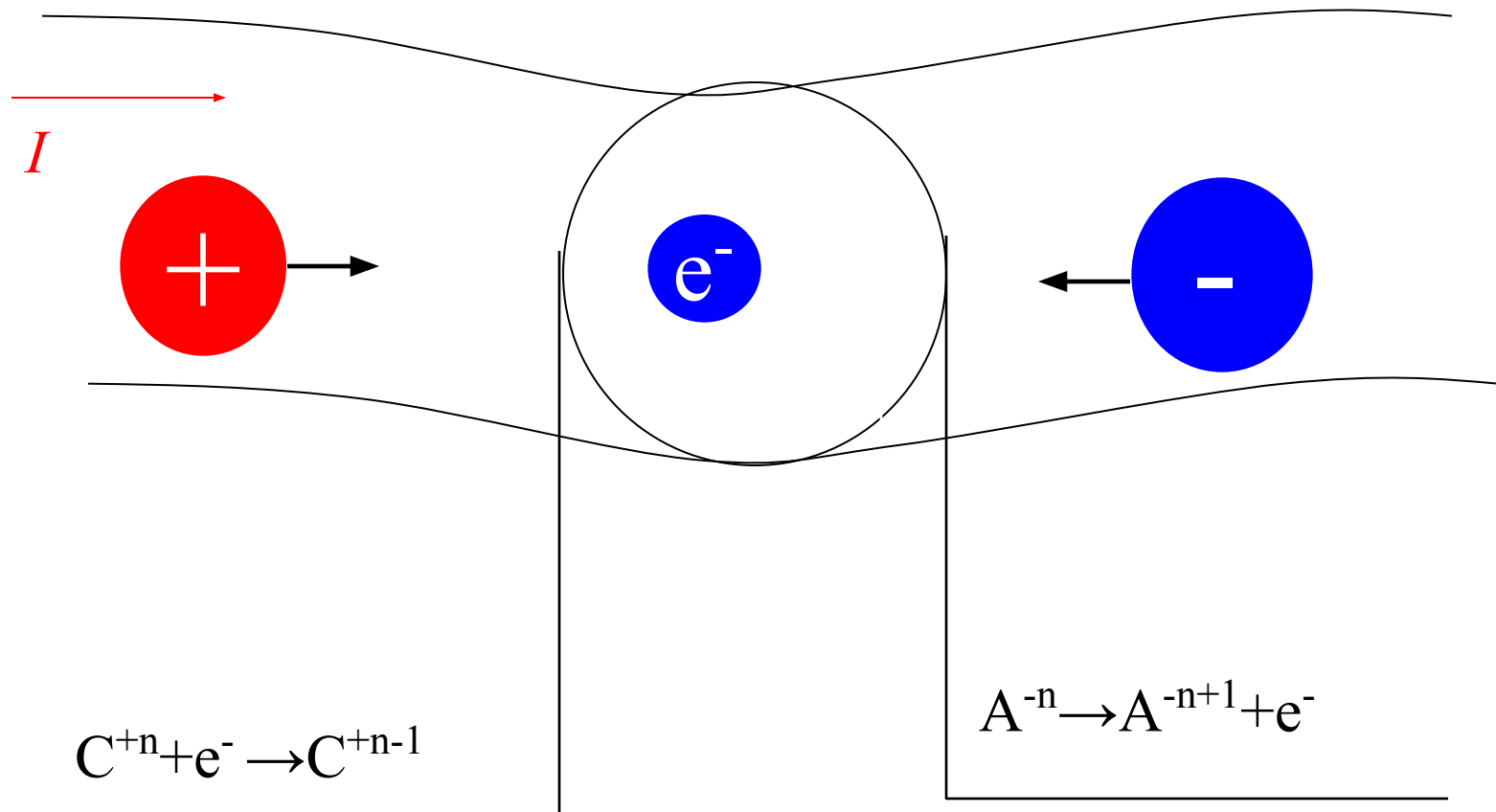
Миграция ионов  
в поле

Диффузия назад

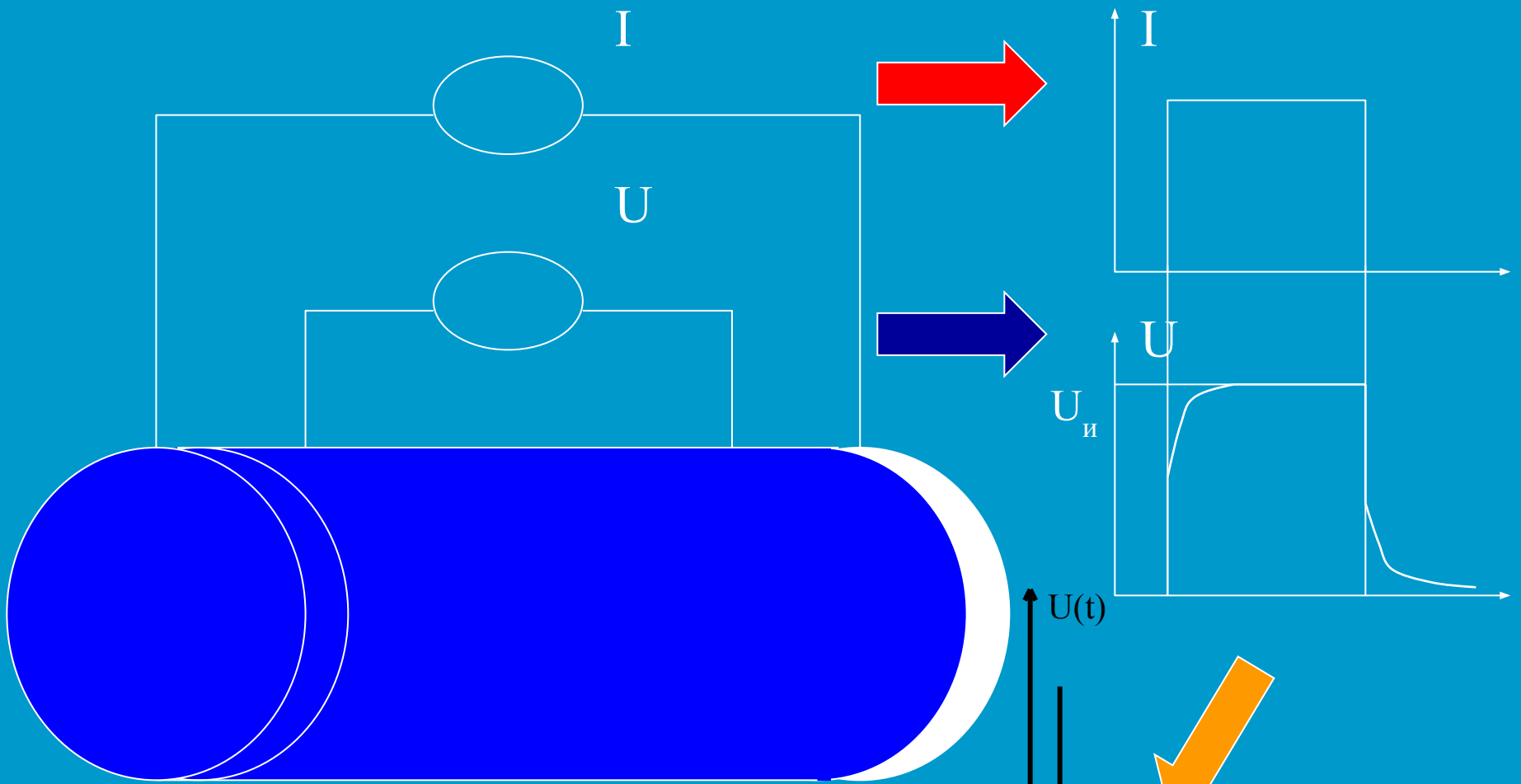
Т.к. ионы заряжены, диффузионный поток  
это – электрический ток



## Вызванная поляризация в рудах – незавершенная модель



Временная область

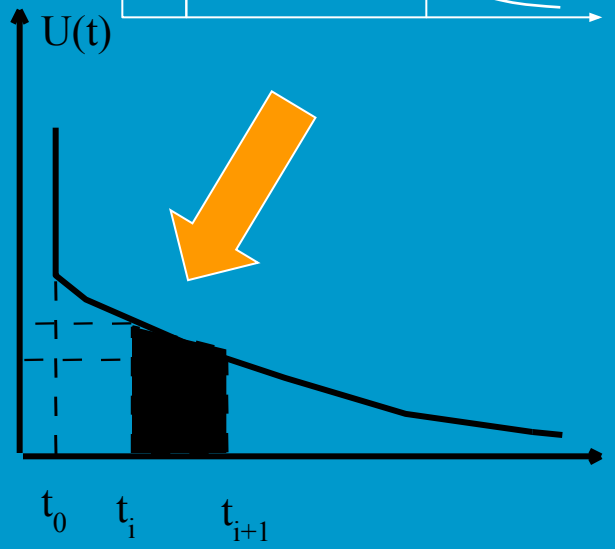


Поляризуемость:

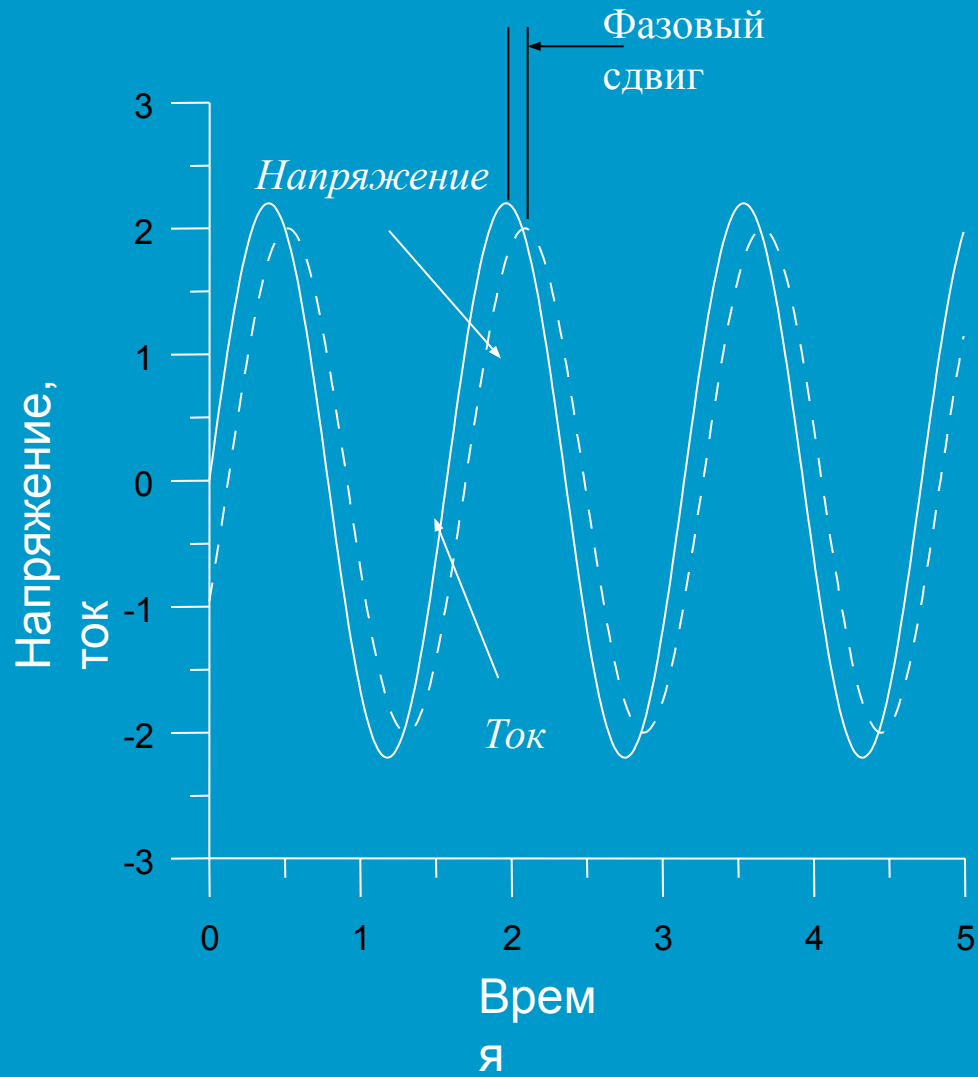
$$\eta(t) = U_{\text{п}} / U_{\text{и}}$$

Заряжаемость:

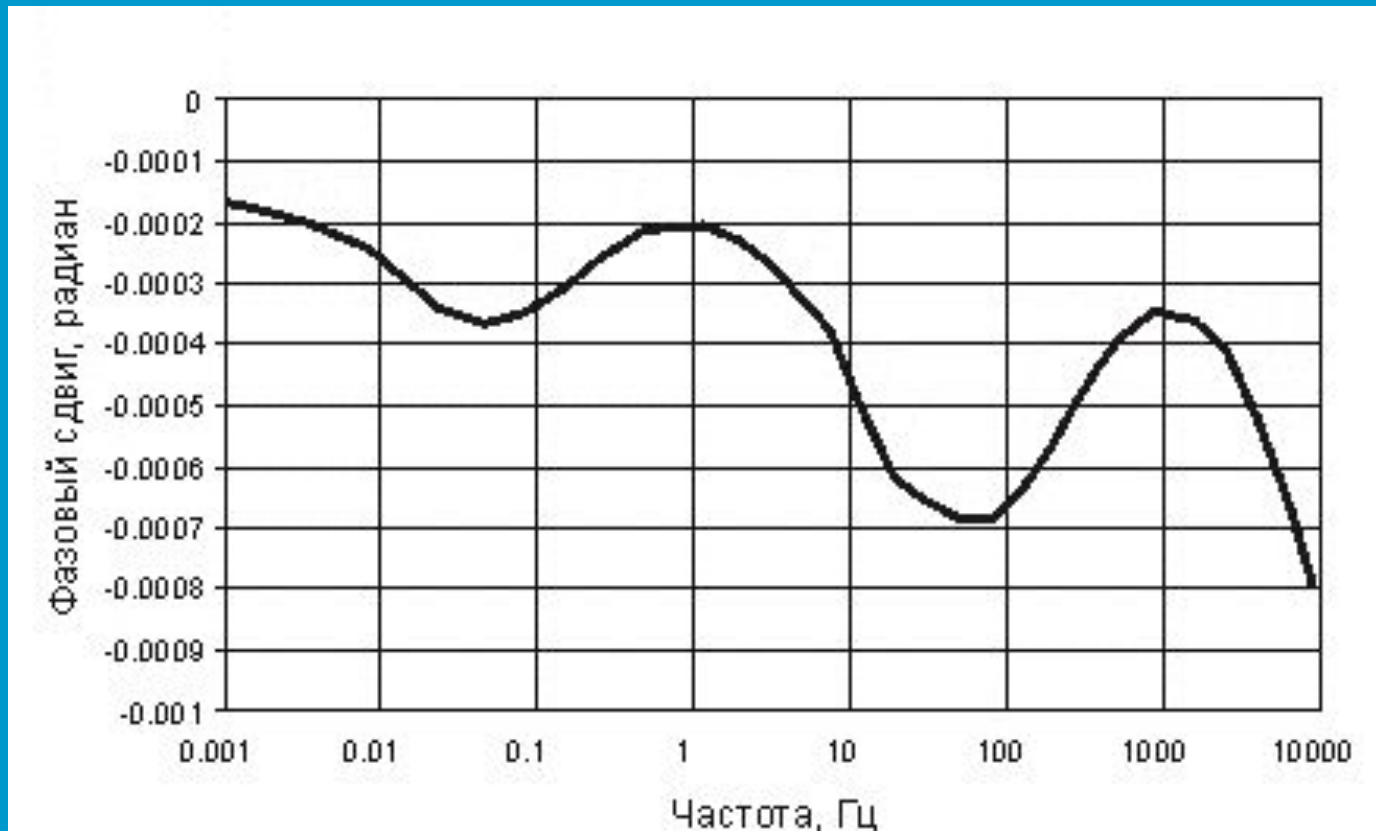
$$m = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \eta(t) dt$$



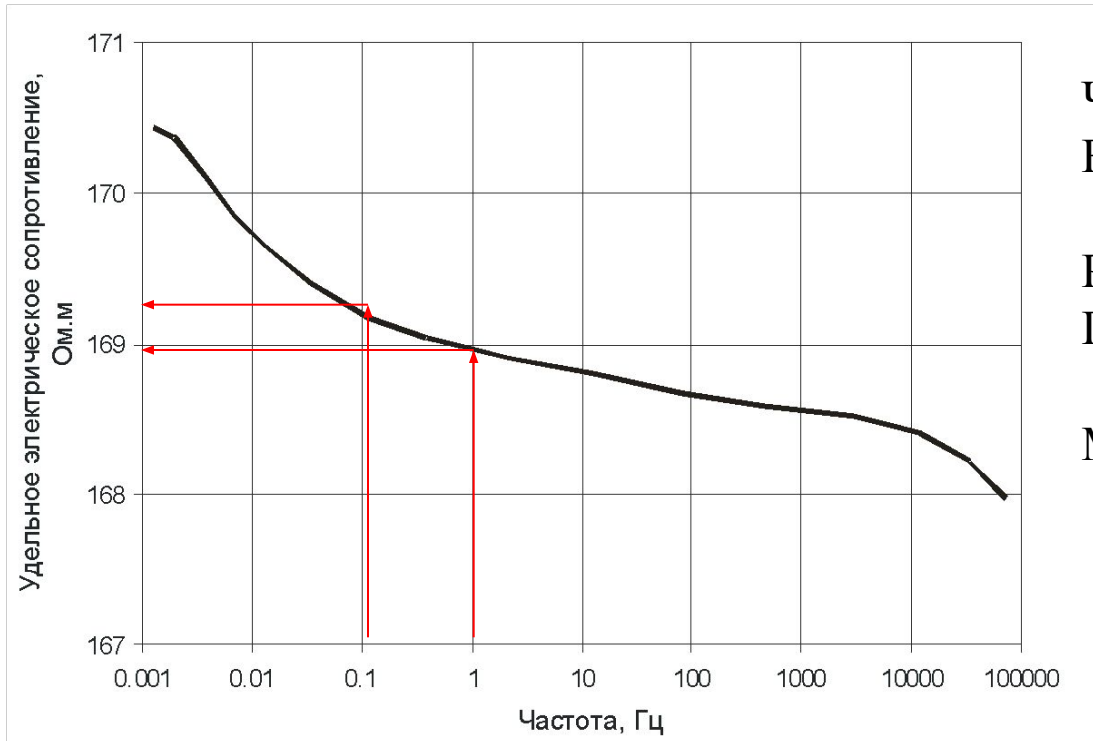
## Частотная область







Зависимость фазового сдвига удельного электрического сопротивления песчаника от частоты



Частотный эффект:  
 $FE = (\rho(f_1) - \rho(f_2)) / \rho(f_1)$

$PFE = FE \cdot 100\%$

Первые проценты для пород

Метал-фактор:

$$MF = 2 \cdot 10^5 \frac{\rho(f_1) - \rho(f_2)}{\rho(f_1)\rho(f_2)}$$

Зависимость абсолютной величины удельного электрического сопротивления песчаника от частоты

$$m = \frac{\rho_0 - \rho_\infty}{\rho_0} = \frac{\sigma_\infty - \sigma_0}{\sigma_\infty}$$

# Эмпирическое описание ВП

Формула братьев Коул (Cole-Cole, 1941)

$$\varepsilon_{CC}^* = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}}$$

$$\sigma_{CC}^* = \sigma_{\infty} + \frac{\sigma_0 - \sigma_{\infty}}{1 + (i\omega\tau)^c}$$

Формула Пелтона (Pelton et al., 1978)

$$\rho_P^* = \rho_{\infty} + \frac{\rho_0 - \rho_{\infty}}{1 + (i\omega\tau)^c}$$

# Проявление и параметры ВП

- Остаточное напряжение после выключения тока – параметр - поляризуемость
- Зависимость удельного сопротивления от времени после включения тока или от частоты тока – параметры: зависимость удельного сопротивления от частоты, частотный эффект
- Сдвиг фаз между напряжением и током в частотной области