

2.7

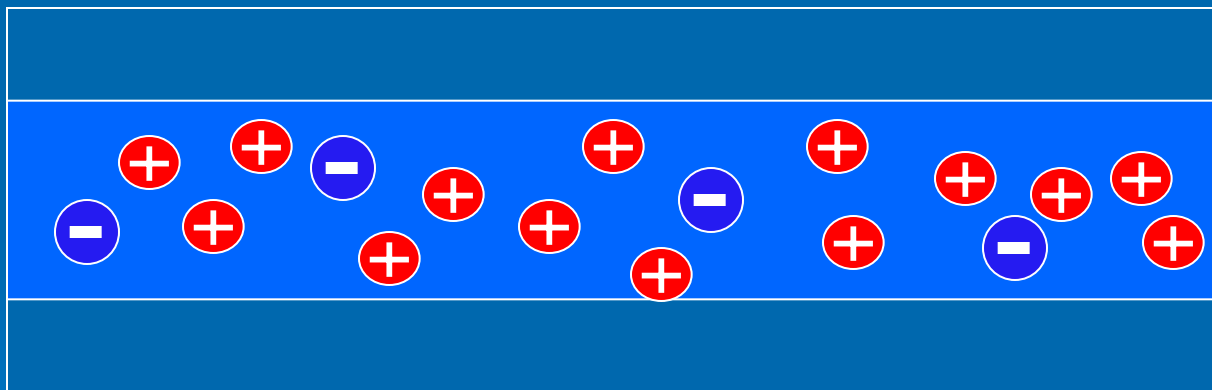
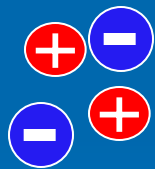
Электрокинетические явления



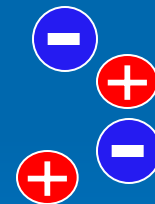
Два типа явлений, вызванных ДЭС: под действием механической и электрической силы

Пора в равновесии

Свободный
раствор



Свободный
раствор

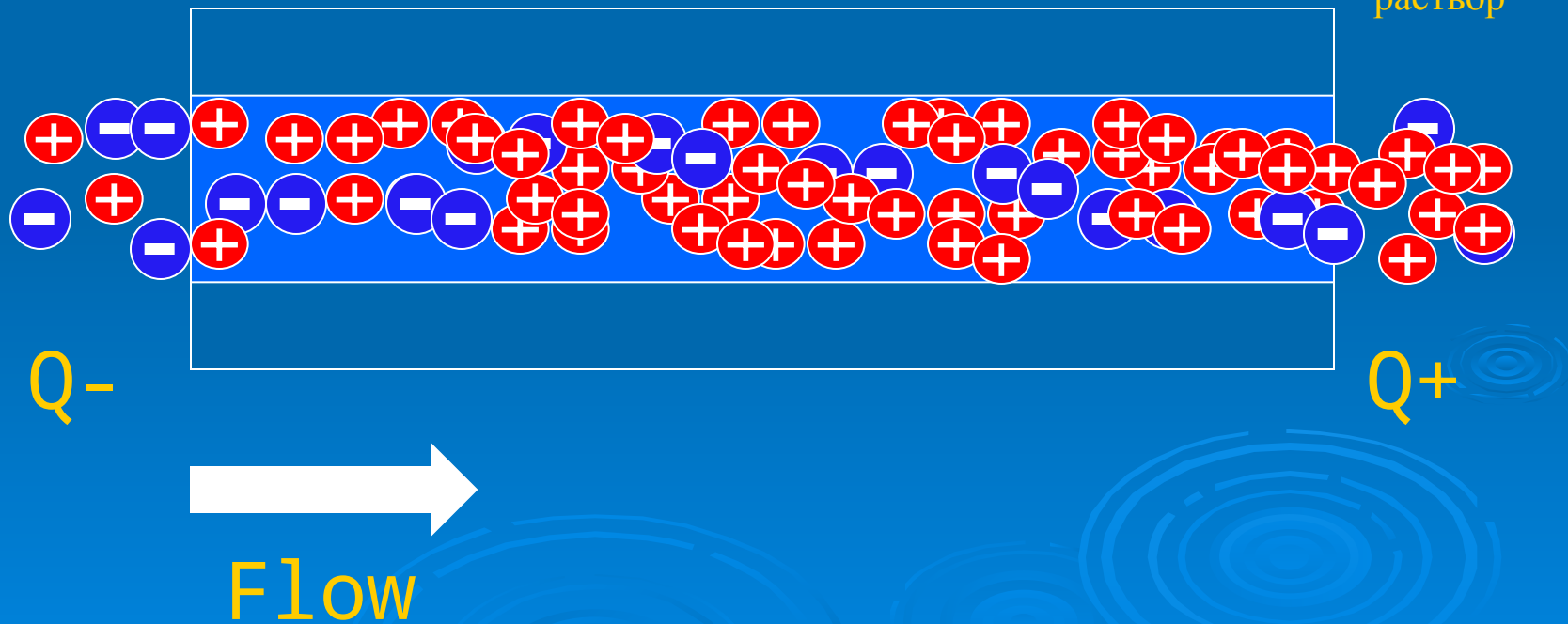


Ток фильтрации

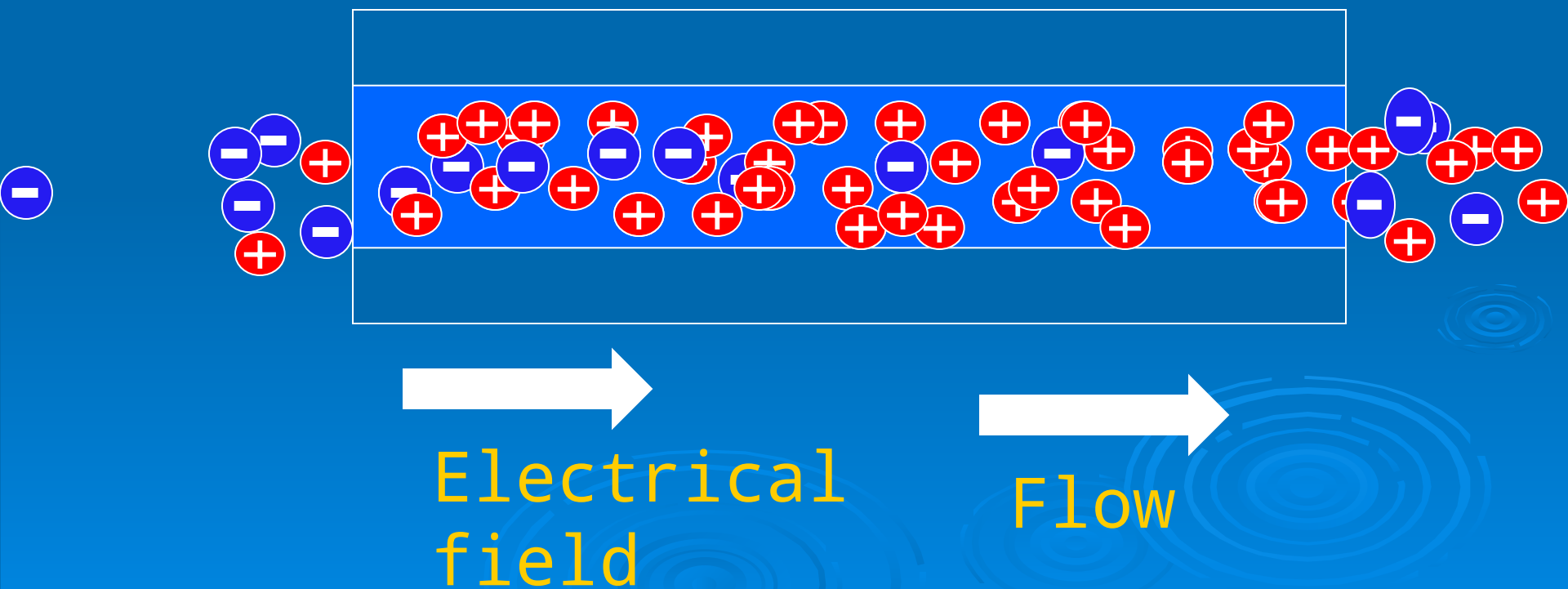
Пора в равновесии

Свободный
раствор

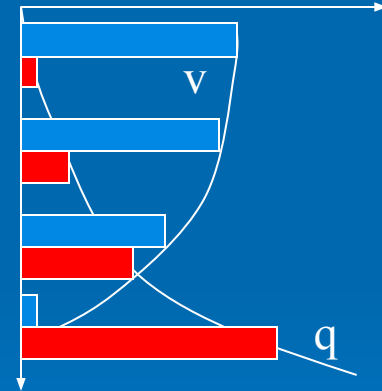
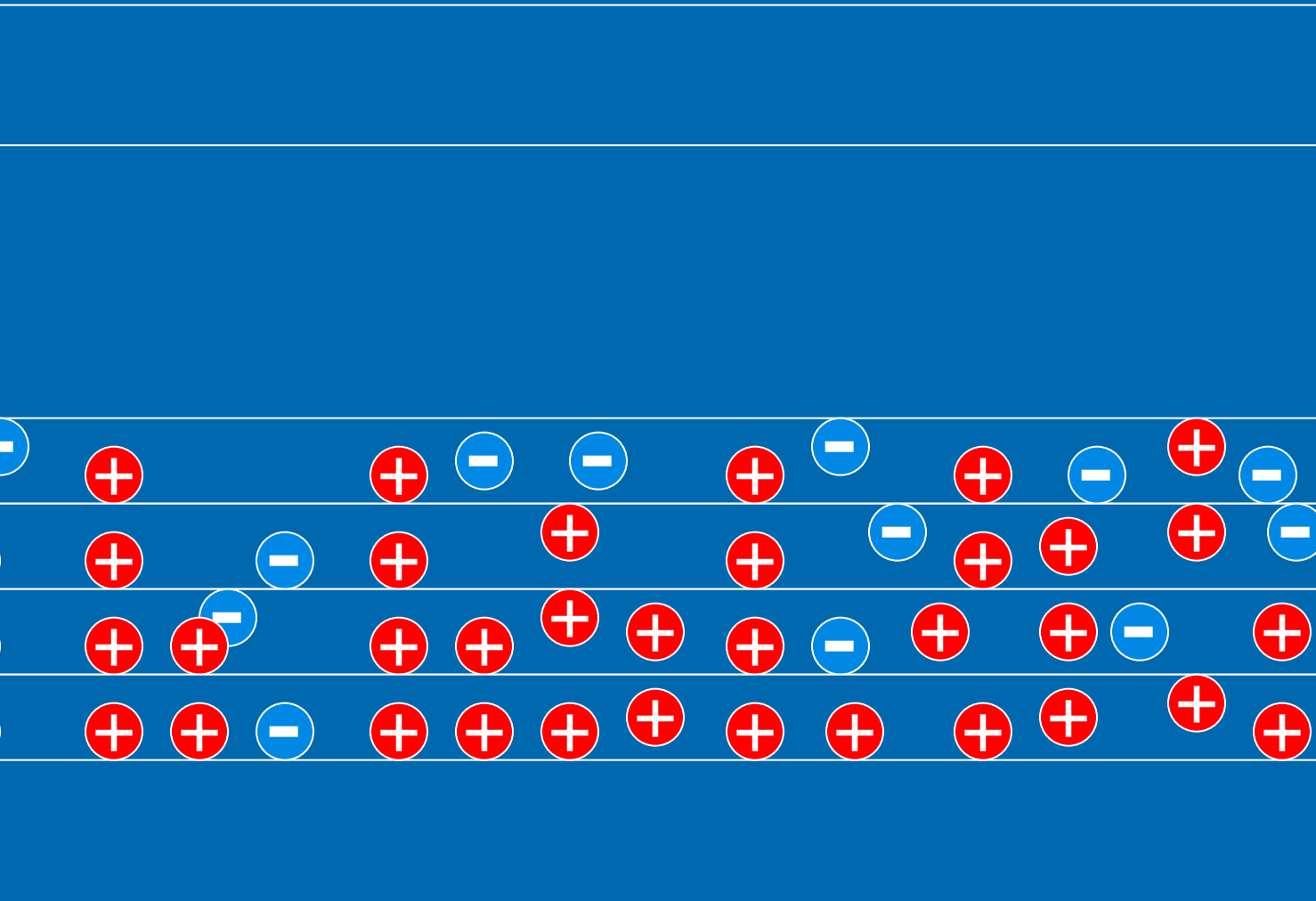
Свободный
раствор



Электроосмос и концентрационная поляризация



Ток фильтрации

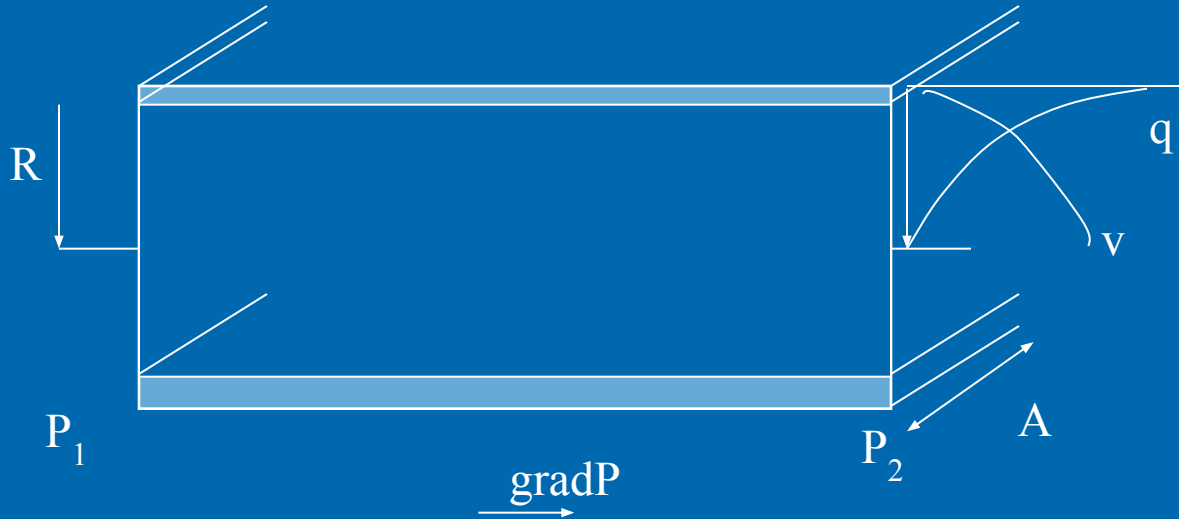


Flow



-gradh

Ток фильтрации



$$\begin{aligned}
 I_{str} &= A \int_0^R q(x)v(x)dx = -A\varepsilon\varepsilon_0 \int_0^R \phi'' v(x)dx = -A\varepsilon\varepsilon_0 \left(\phi' v - \int \phi' v' dx \right)_0^R = \\
 &= -A\varepsilon\varepsilon_0 \left(\phi' v - v' \int \phi' dx \right)_0^R = -A\varepsilon\varepsilon_0 (\phi' v - v' \phi)_0^R = -A\varepsilon\varepsilon_0 (0 - 0 - 0 + v' \zeta) = -A\varepsilon\varepsilon_0 \frac{P'}{\mu} R \zeta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{cond} &= AR\sigma E \\
 I_{cond} + I_{str} &= 0
 \end{aligned}$$



$$\frac{E}{P'} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \zeta}{\mu\sigma}$$

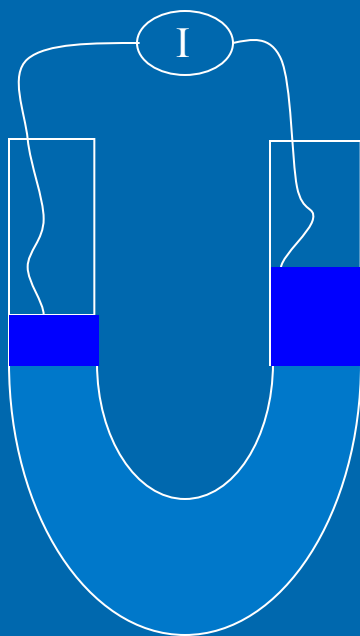
Уравнение Гельмгольца-
Смолуховского;

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m};$$

$$\varepsilon = 80$$

$$\zeta \sim 0.03 \text{ V}; \mu = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}; h[\text{m}] \approx 10^4 [\text{Pa}]$$

Электроосмос

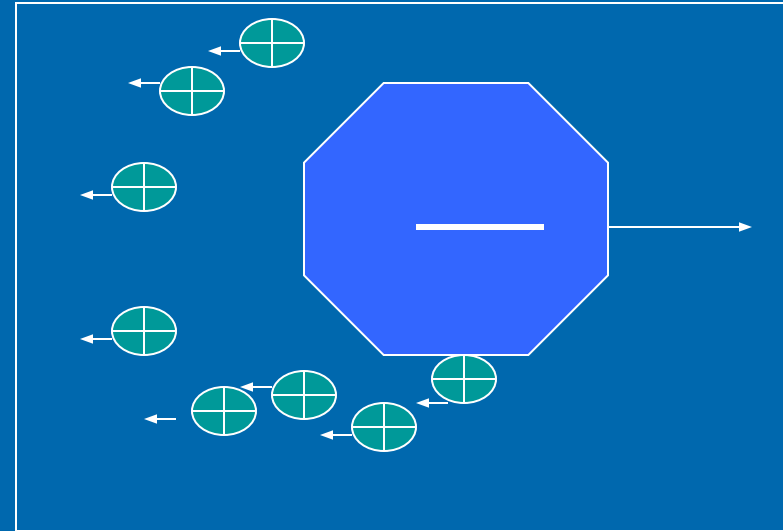
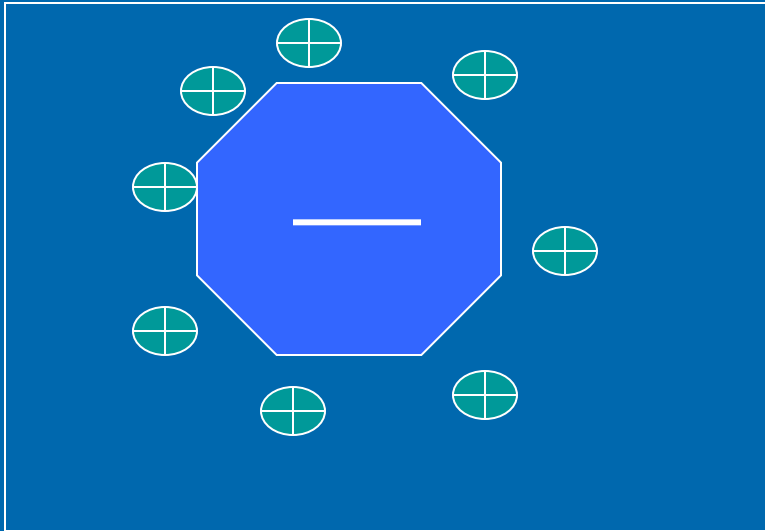


Уравнение Гельмгольца-Смолуховского:

$$\frac{Q}{I} = -\frac{\varepsilon\varepsilon_0\zeta}{\mu\sigma}$$

Профиль скорости воды:

Электрофорез



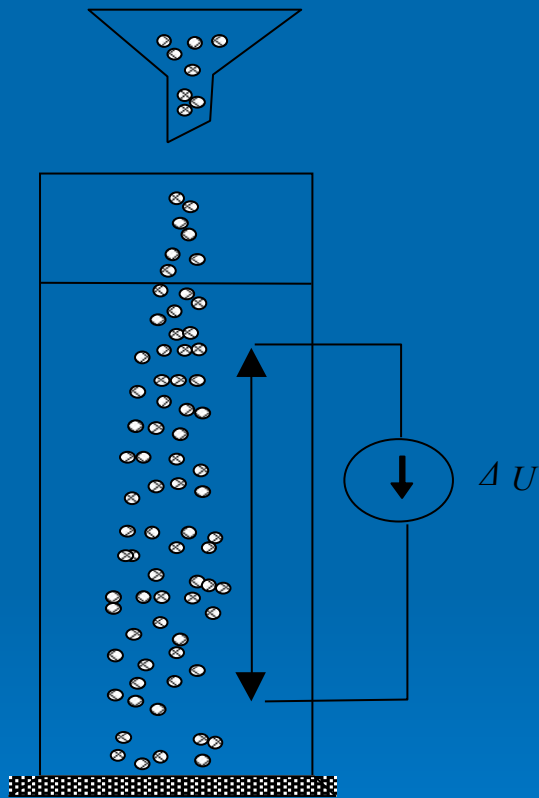
E

Уравнение Гельмгольца-Смолуховского:

$$\frac{v_{ef}}{E} = \frac{\epsilon\epsilon_0\zeta}{\mu}$$

$$u_{ef} = \frac{v_{ef}}{E} = 0.1 - 5 \cdot 10^{-8} \frac{m^2}{Vs}$$

Потенциал оседания



$$\Delta U = \frac{4}{3} \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\sigma \mu} \zeta \pi r^3 (d - d_0) g n \Delta h$$

$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$, диэл. постоянная
 $\varepsilon = 80$ относит. диэл проницаемость воды,
 n – концентрация частиц,
 d – плотность частиц,
 d_0 – плотность воды;
 r – средний радиус частиц

Перекрестные явления

1. Законы потоков:

Ома: $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} = -\sigma \nabla \phi$,

Фурье: $\boldsymbol{\tau} = -\lambda \nabla T$,

Фика: $\Phi = -D \nabla C$,

Дарси: $\mathbf{v} = -k/\mu \nabla p$

2. Обобщенный закон потоков и коэффициенты Онсагера:

$$\begin{array}{c} \mathbf{j} \\ \boldsymbol{\tau} \\ \Phi \\ \mathbf{v} \end{array} = \begin{array}{cccc} \sigma & l_{et} & l_{ec} & l_{eh} \\ l_{te} & \lambda & l_{tc} & l_{th} \\ l_{ce} & l_{ct} & D & l_{ch} \\ l_{he} & l_{ht} & l_{hc} & \frac{k}{\mu} \end{array} \cdot \begin{array}{c} -\nabla \phi \\ -\nabla T \\ -\nabla C \\ -\nabla p \end{array} \quad \begin{array}{l} i = j: \\ i \neq j: \\ l_{ij} = l_{ji} \end{array}$$

Проводимости

Перекрестные
коэффициенты

Пример двух сил

$$\begin{pmatrix} \mathbf{j} \\ \mathbf{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma & l \\ l & \frac{k}{\mu} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -\nabla\varphi \\ -\nabla p \end{pmatrix}$$

$\mathbf{j} = \sigma E - l\nabla p$ Электропроводность+ток фильтрации

$\mathbf{v} = lE - \frac{k}{\mu}\nabla p$ Течение Дарси + электроосмос

Электро-

фильтрация:

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} - L \nabla p = \sigma \mathbf{E} - L \rho g \nabla h = \sigma \mathbf{E} - L \nabla h$$

$$l = -\frac{\varepsilon \varepsilon_0 \zeta}{\mu} \quad \text{Коэффициент тока фильтрации}$$

$$L = -\frac{\varepsilon \varepsilon_0 \rho g \zeta}{\mu} \quad \text{Модифицированный коэффициент тока фильтрации}$$

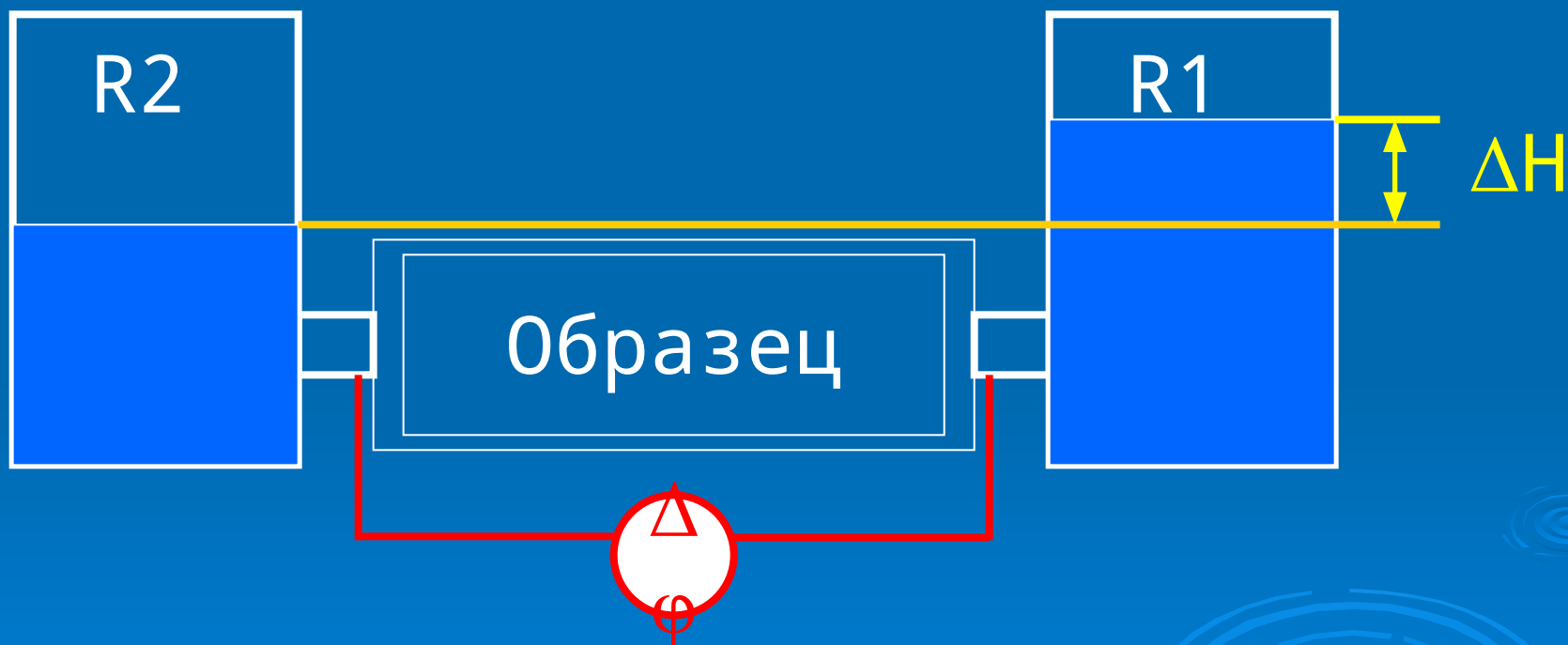
$$\mathbf{j} = \sigma \left(\mathbf{E} - \frac{L}{\sigma} \nabla h \right)$$

$$C = -\frac{L}{\sigma} \quad \text{Коэффициент потенциала фильтрации}$$

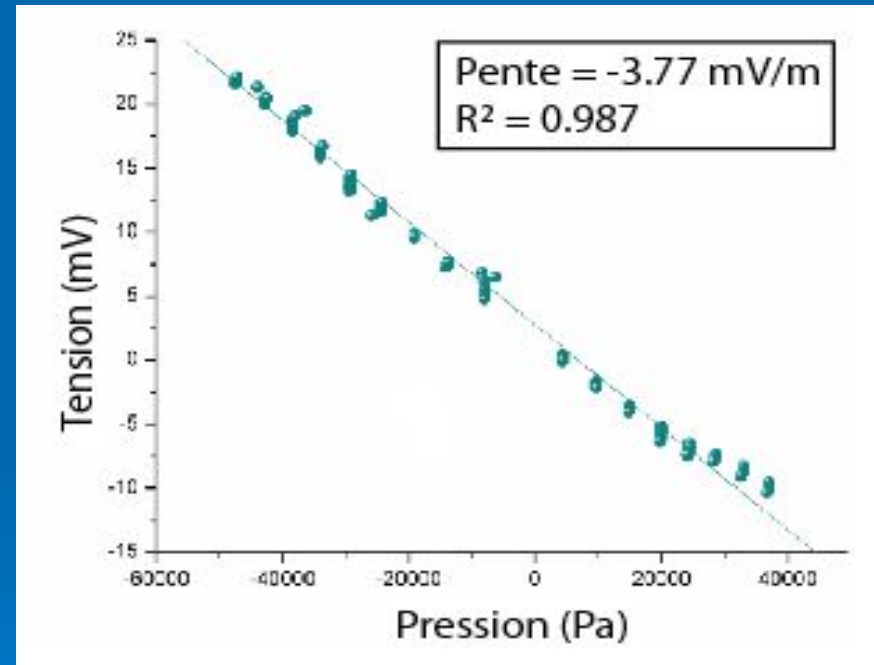
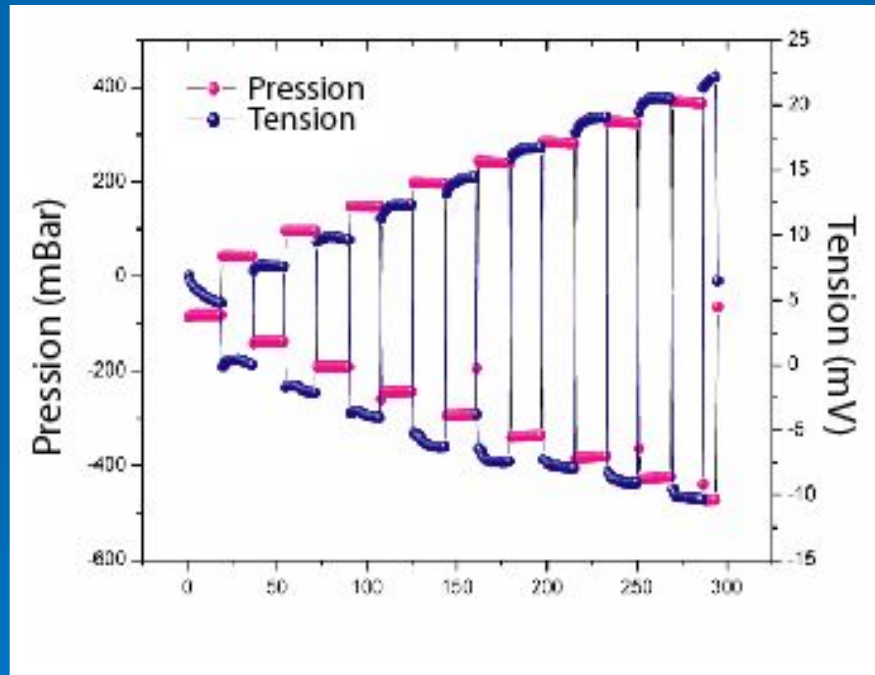
$$\nabla \cdot \mathbf{j} = 0 \quad \text{Уравнение неразрывности}$$

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla \varphi) = \nabla \cdot (L \nabla h) \quad \text{Уравнение Пуассона для } \varphi$$

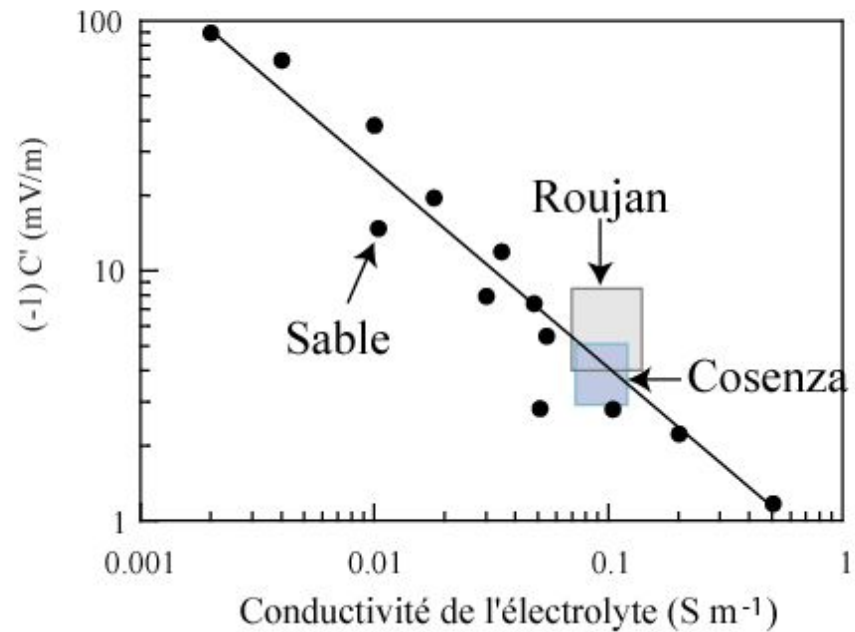
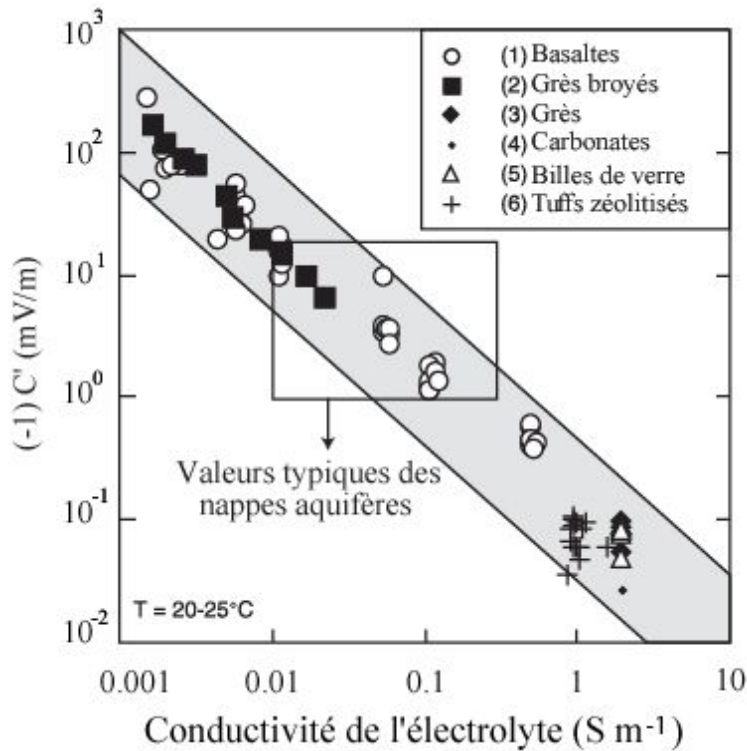
Схема измерительной установки



Измерение коэффициента потенциала фильтрации



Характерные значения коэффициента потенциала фильтрации при разной электропроводности раствора



Выводы

- Электрокинетические явления относятся к категории перекрестных;
- Течение воды возможно под действием электрического поля;
- Потенциал фильтрации есть следствие потока воды;
- Интенсивность потенциала фильтрации характеризуется соответствующим коэффициентом