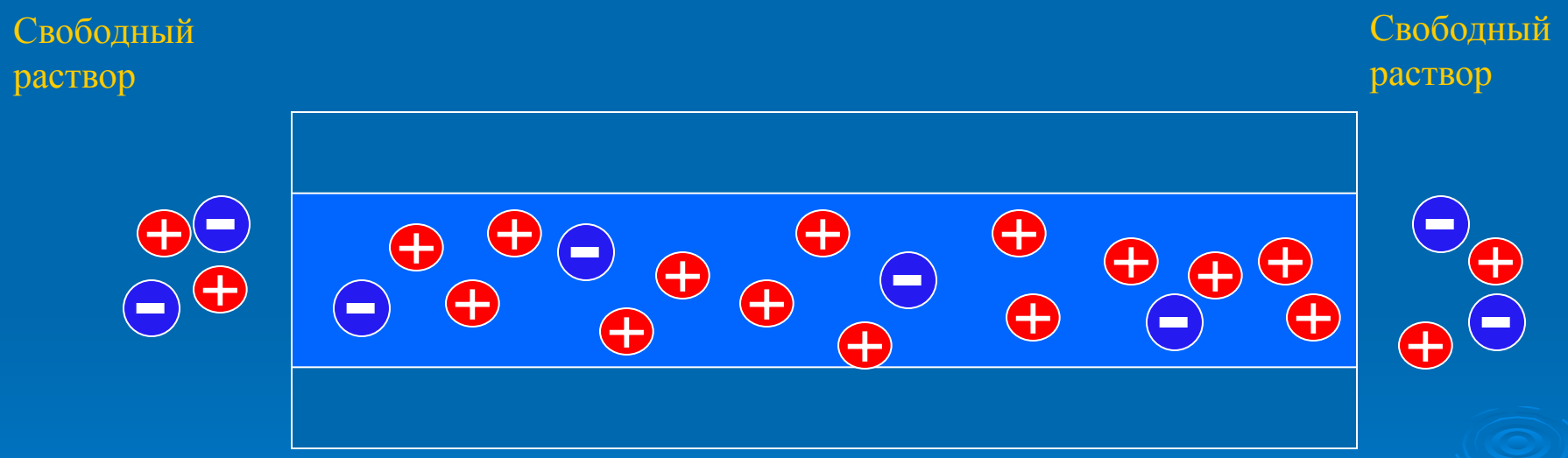
2.7 Электрокинетические явления

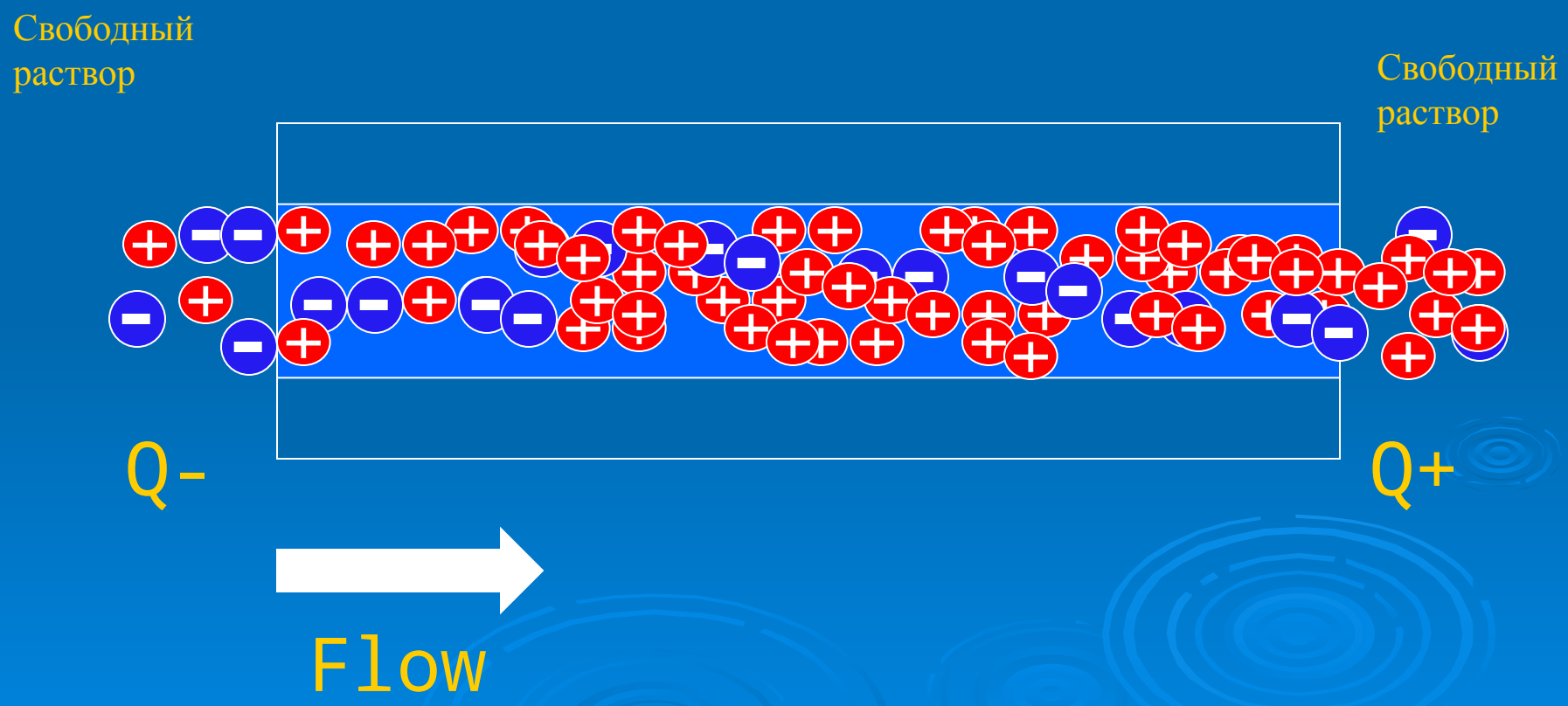
Два типа явлений, вызванных ДЭС: под действием механической и электрической силы

Пора в равновесии

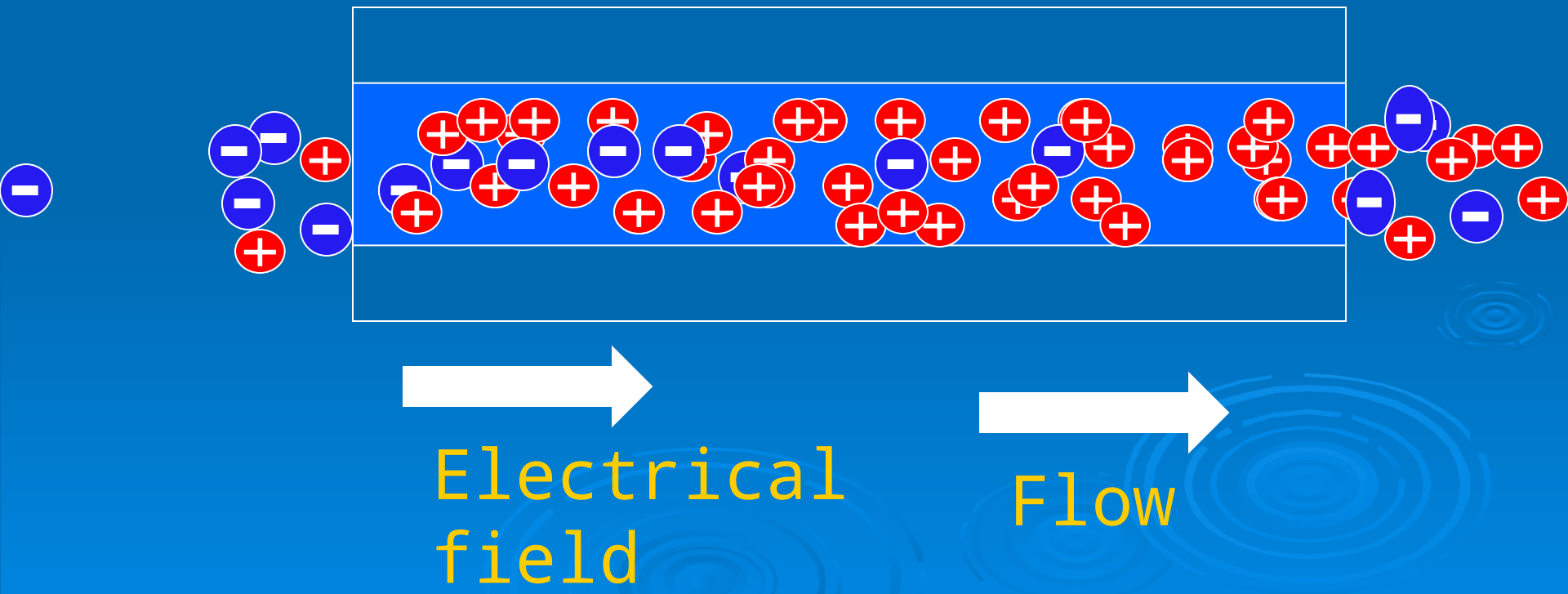


Ток фильтрации

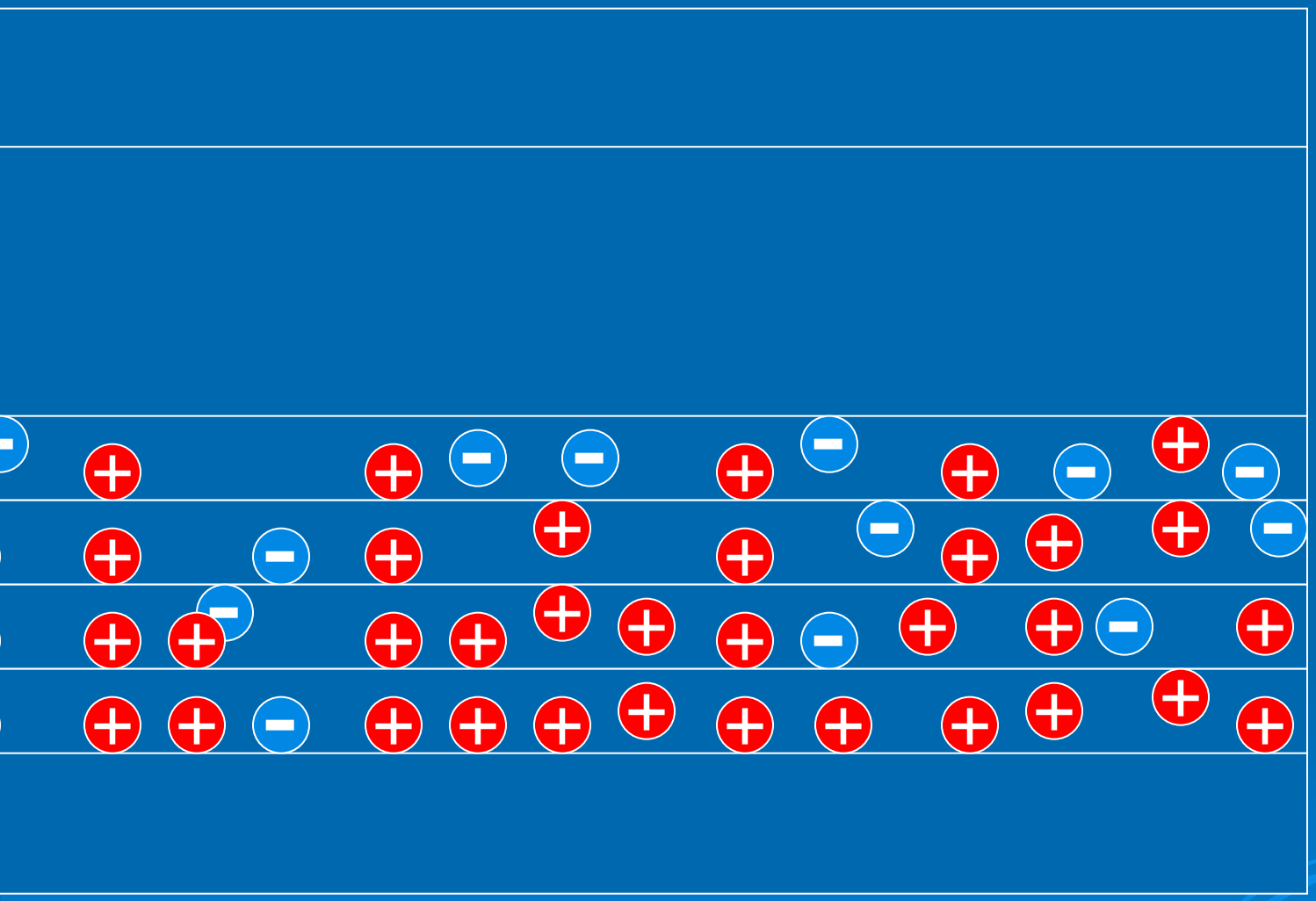
Пора в равновесии

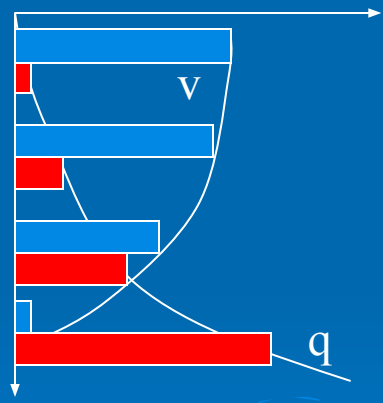


Электроосмос и концентрационная поляризация



Ток фильтрации

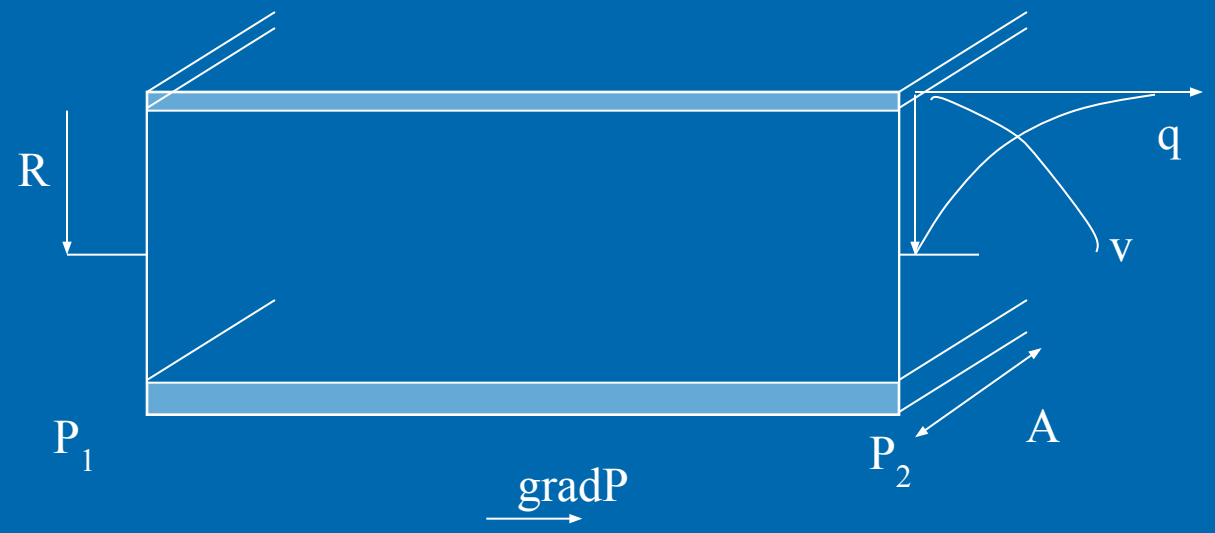




Flow

-gradh

Ток фильтрации



$$I_{str} = A\int_o^R q(x)v(x)dx = -A\varepsilon\varepsilon_0\int_o^R \phi''v(x)dx = -A\varepsilon\varepsilon_0\left(\phi'v - \int \phi'v'dx\right)_0^R =$$

$$= -A\varepsilon\varepsilon_0\left(\phi'v - v'\int \phi'dx\right)_0^R = -A\varepsilon\varepsilon_0\left(\phi'v - v'\phi\right)_0^R = -A\varepsilon\varepsilon_0\left(0 - 0 - 0 + v'\varsigma\right) = -A\varepsilon\varepsilon_0\frac{P'}{\mu}R\varsigma$$

$I_{cond}=AR\sigma E$

$I_{cond}+I_{str}=0$

$$\Longrightarrow \quad \frac{E}{P'} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\varsigma}{\mu\sigma}$$

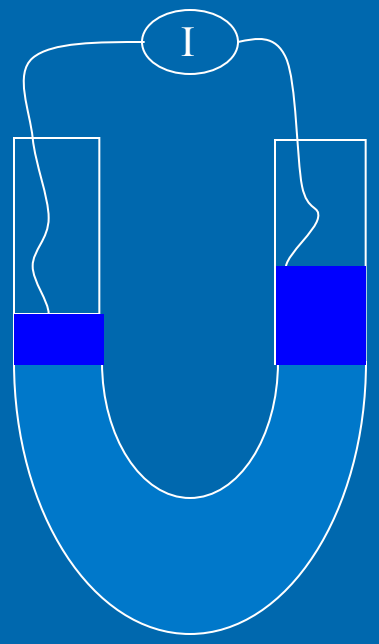
Уравнение Гельмгольца-Смолуховского;

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

$\varepsilon = 80$

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

Электроосмос

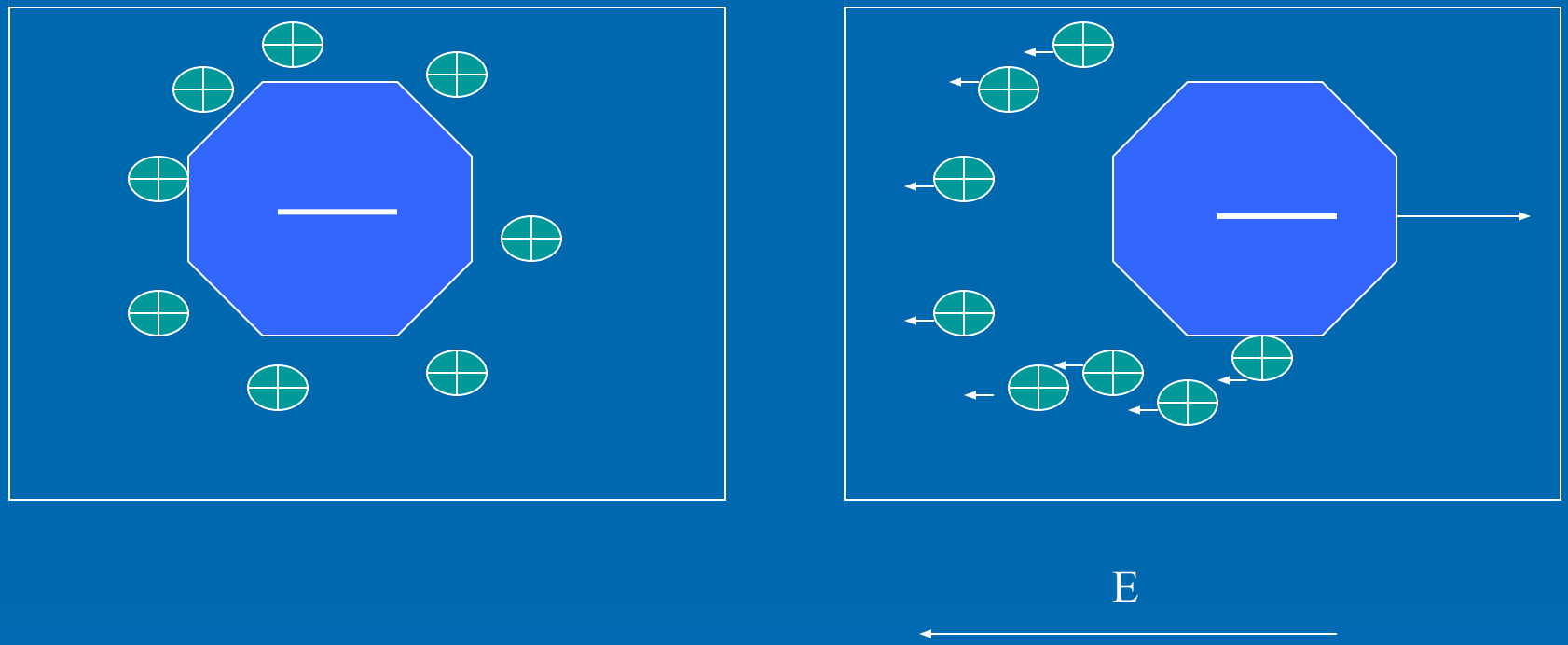


Уравнение Гельмгольца-Смолуховского:

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

Профиль скорости воды:

Электрофорез

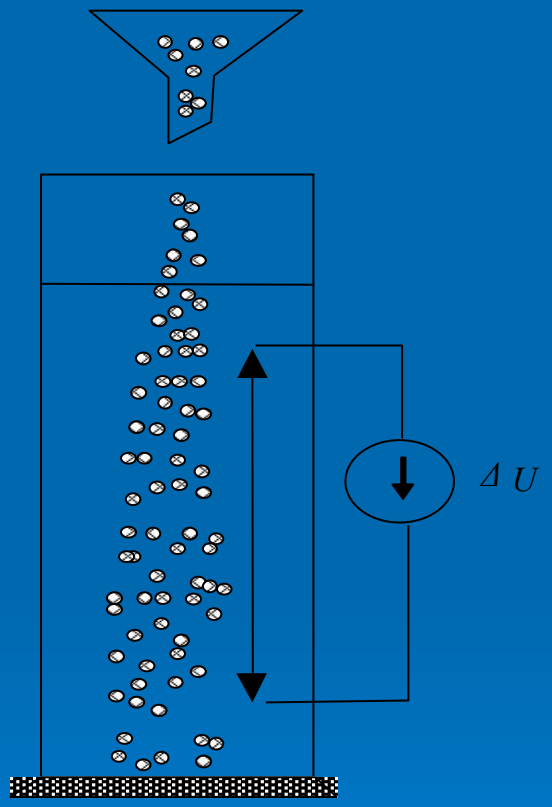


Уравнение Гельмгольца-Смолуховского:

$$\frac{v_{ef}}{E} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\varsigma}{\mu}$$

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

Потенциал оседания



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

ε_0=8.85·10^{-12}F/m, диэл. постоянная

ε=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: $\mathbf{j}=\sigma E=-\sigma \nabla \phi$,
Фурье: $\boldsymbol{\tau}=-\lambda \nabla T$,
Фика: $\mathbf{\Phi}=-D \nabla C$,
Дарси: $\mathbf{v}=-k/\mu \nabla p$
2. Обобщенный закон потоков и коэффициенты Онсагера:

$$\begin{vmatrix} \mathbf{j} \\ \boldsymbol{\tau} \\ \mathbf{\Phi} \\ \mathbf{v} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma & l_{et} & l_{ec} & l_{eh} \\ l_{te} & \lambda & l_{\tau c} & l_{\tau h} \\ l_{ce} & l_{c\tau} & D & l_{ch} \\ l_{he} & l_{ht} & l_{hc} & \dfrac{k}{\mu} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} -\nabla\varphi \\ -\nabla T \\ -\nabla C \\ -\nabla p \end{vmatrix} \qquad \begin{matrix} i = j: \\ i \neq j: \\ l_{ij} = l_{ji} \end{matrix}$$

Проводимости

Перекрестные коэффициенты

Пример двух сил

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

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

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

Электро-фильтрация:

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

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

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

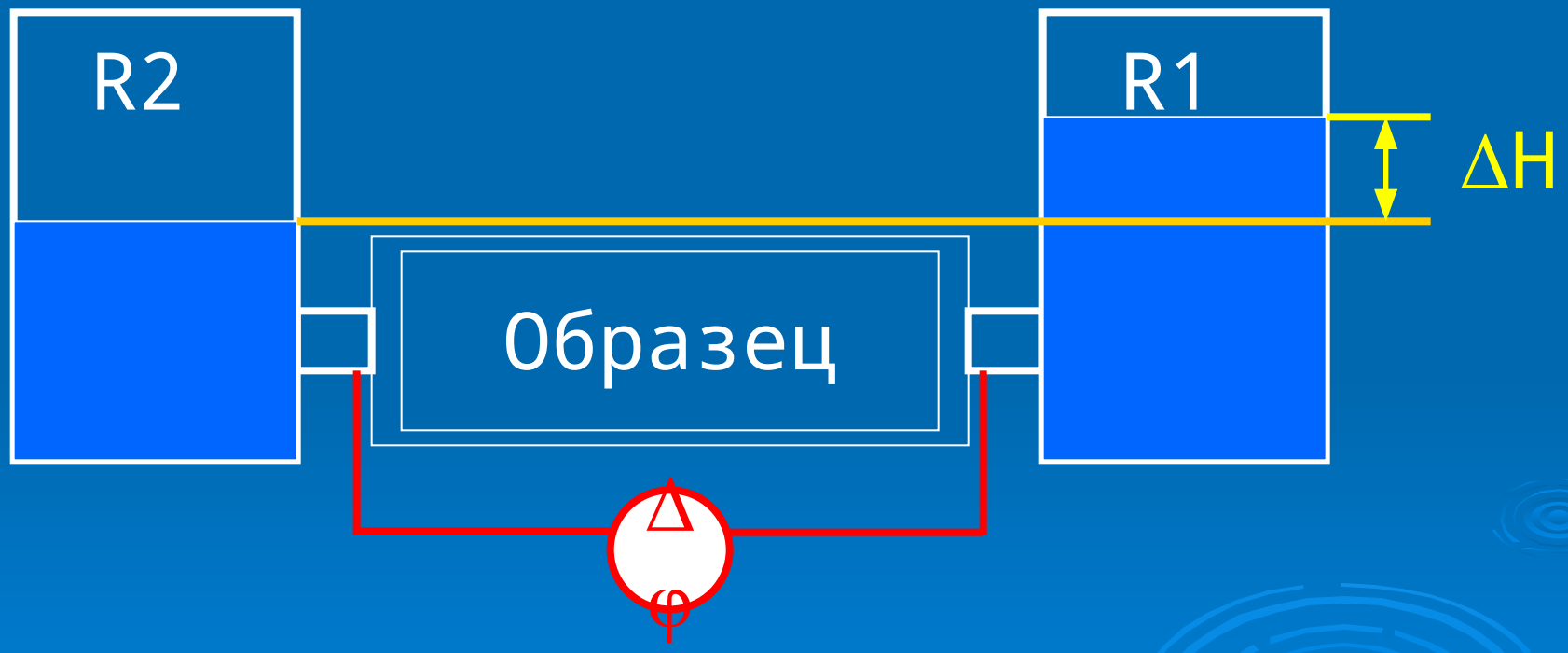
$$\mathbf{j} = \sigma\left(E - \frac{L}{\sigma}\nabla h\right)$$

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

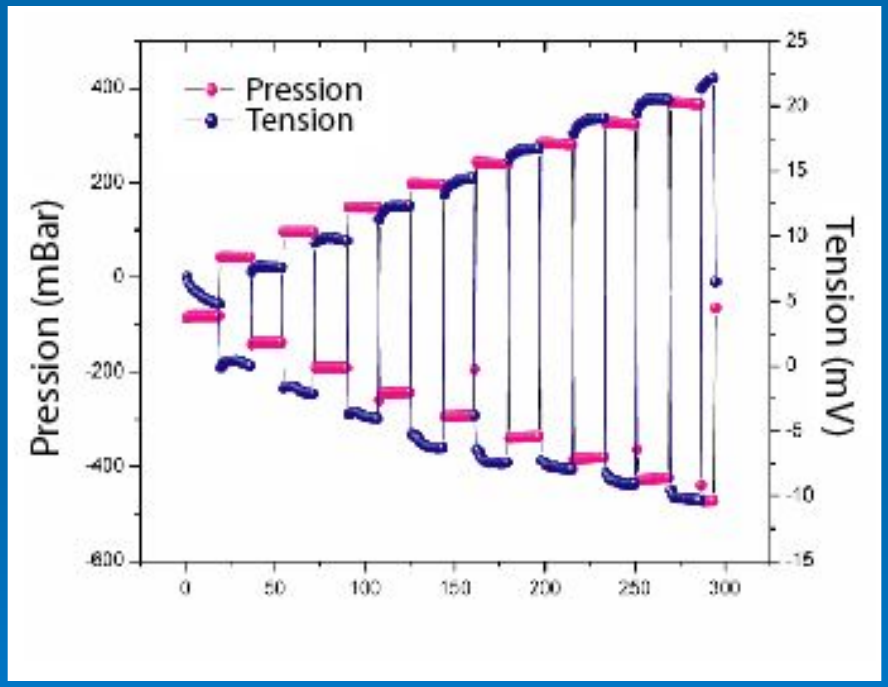
$$\nabla \cdot \mathbf{j} = 0$$ Уравнение неразрывности

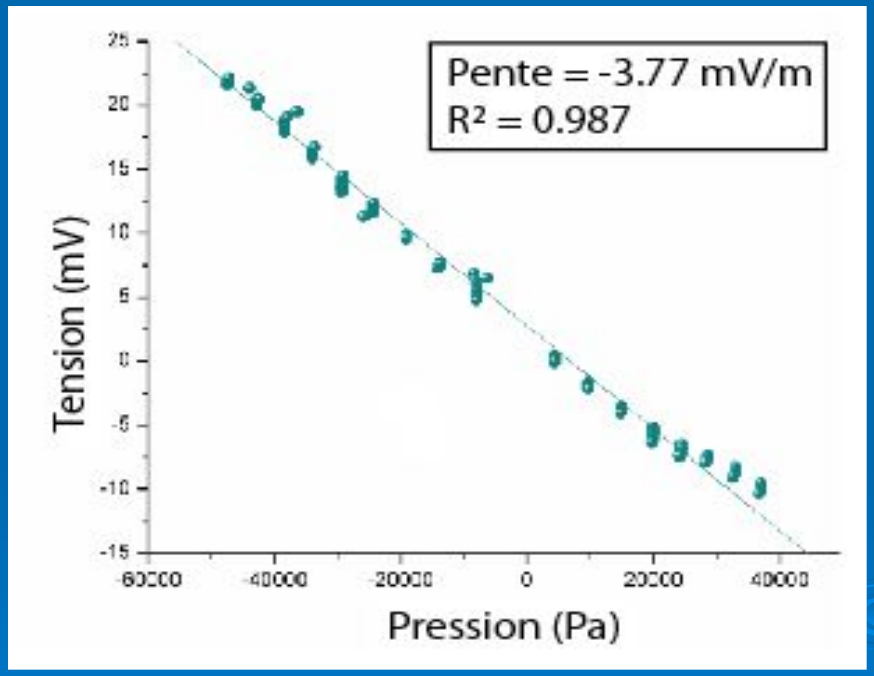
$$\nabla \cdot (\sigma \nabla \varphi) = \nabla \cdot (L \nabla h)$$ Уравнение Пуассона для ϕ

Схема измерительной установки

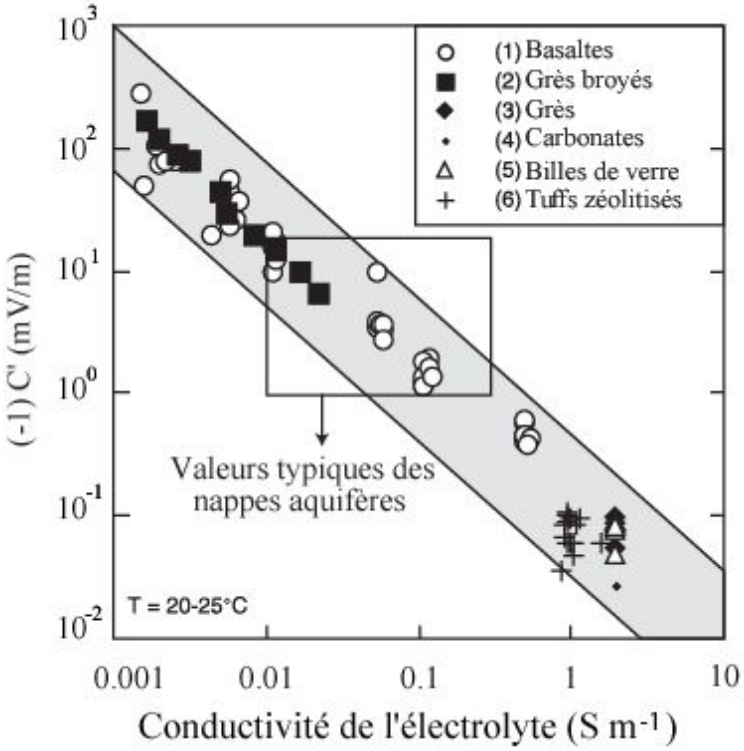


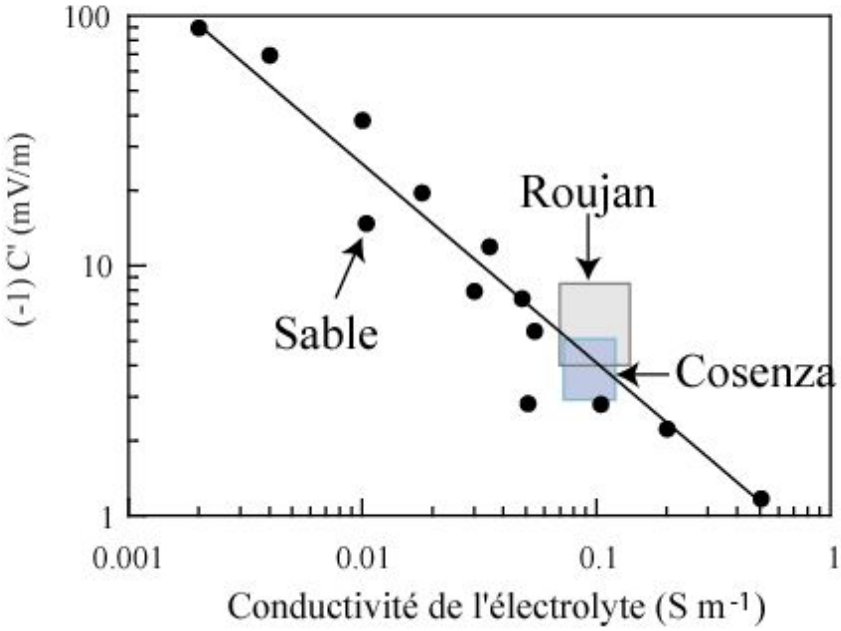
Измерение коэффициента потенциала фильтрации





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