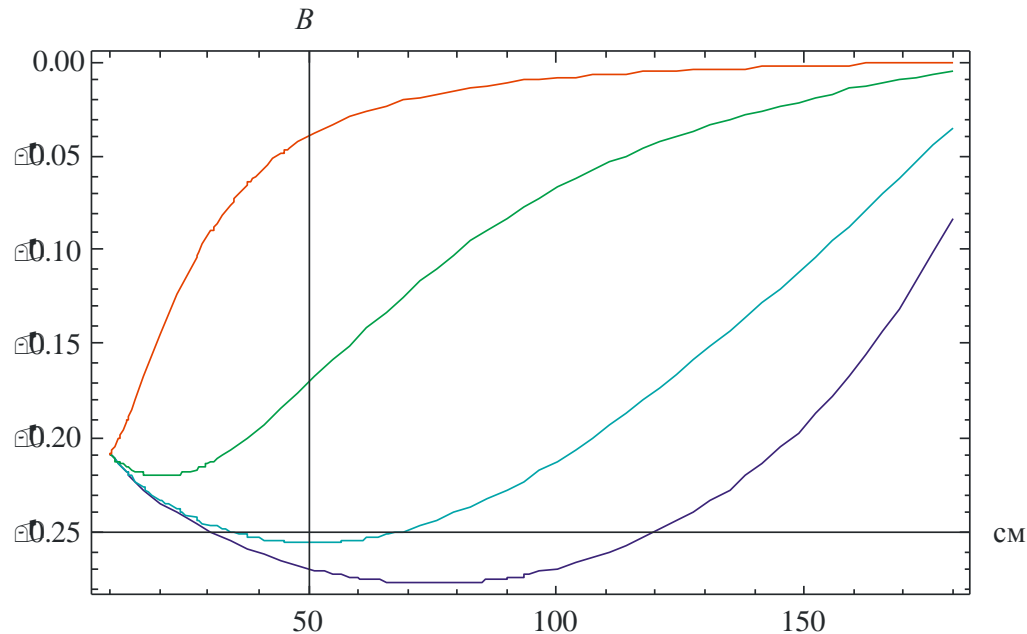


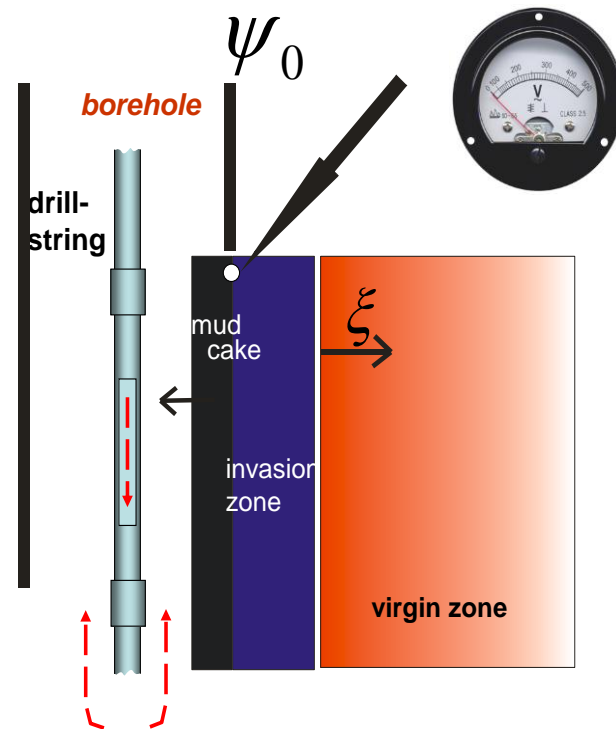
# Электрокинетика и геодинамика прискважинной зоны

Шелухин В.В. Институт гидродинамики СО РАН



Зависимость потенциала самополяризации на стенке скважины от глубины зоны проникновения при  $P_w - P_\infty = 2$  бар

для разных значений проницаемости глинистой корки. Кривые сверху вниз соответствуют проницаемостям 0.01 мД, 0.1 мД, 1.0 мД, 10.0 мД.



$$\psi_0(\xi) = ?$$

Ельцов И.Н., Шелухин В.В., Эпов М.И. Эволюция потенциала самополяризации вблизи скважины во время бурения. ДАН, 2011, Т. 436, № 4, 537-540.

# Проблема определения электрокинетических констант

$$\vec{Q} = -\lambda_{11}\nabla p - \lambda_{12}\nabla\psi, \quad \text{div } \vec{Q}=0,$$

$$\vec{J} = -\lambda_{21}\nabla p - \lambda_{22}\nabla\psi, \quad \text{div } \vec{J}=0,$$

$$\lambda_{11} = \frac{k}{\mu}, \quad \lambda_{22} = \sigma_r, \quad \lambda_{12} = \lambda_{21} = -\frac{\zeta\epsilon_f}{\mu\sigma_f},$$

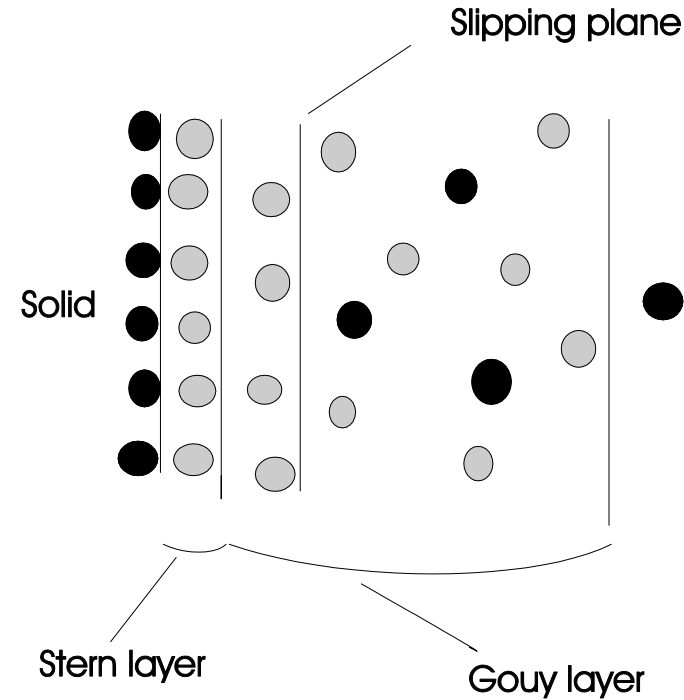
?

$\sigma_r = f(\sigma_f, \sigma_s, \Phi, \omega)$  - физический аналог формулы Арчи

In situ  $\zeta^-$  потенциал =?

?

$k = f$  (механические напряжения в породе)

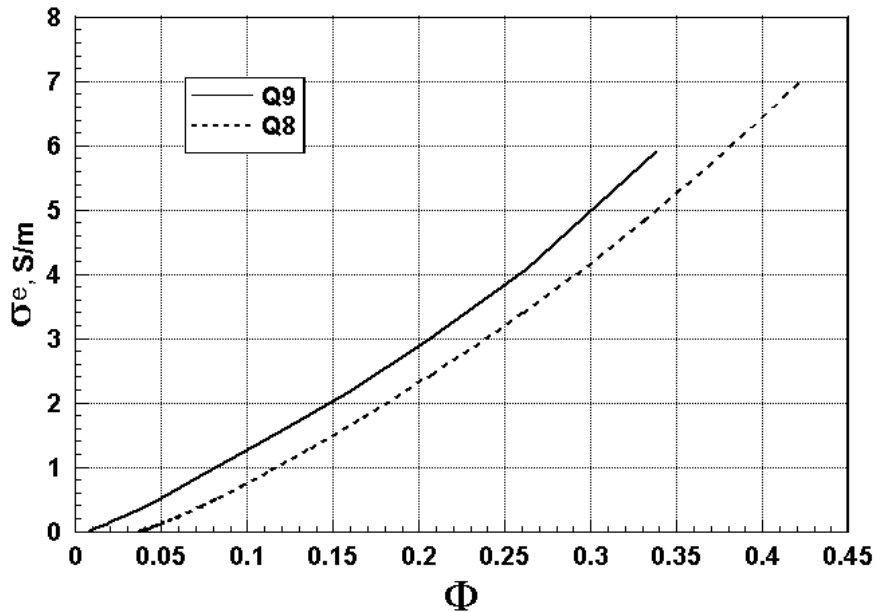
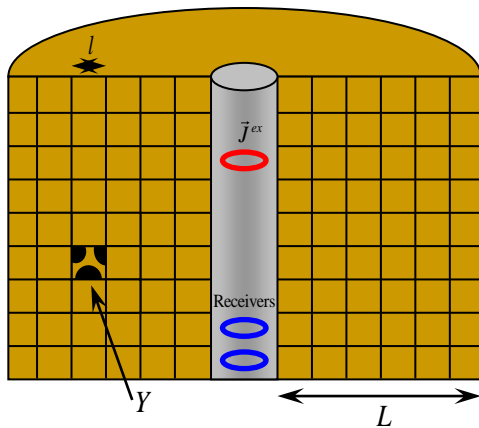


**Electric double layer**

# Проводимость электркомполитов

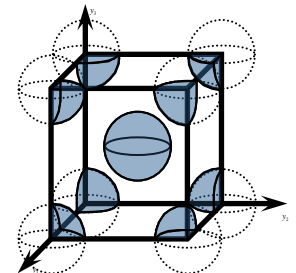
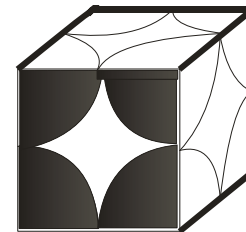
## Теория гомогенизации уравнений Максвелла

Shelukhin V., Terentev S.A. Frequency dispersion of dielectric permittivity and electric conductivity of rocks via two-scale homogenization of the Maxwell equations. Progress in electromagnetic research B, Vol. 14, (2009), 175-202.

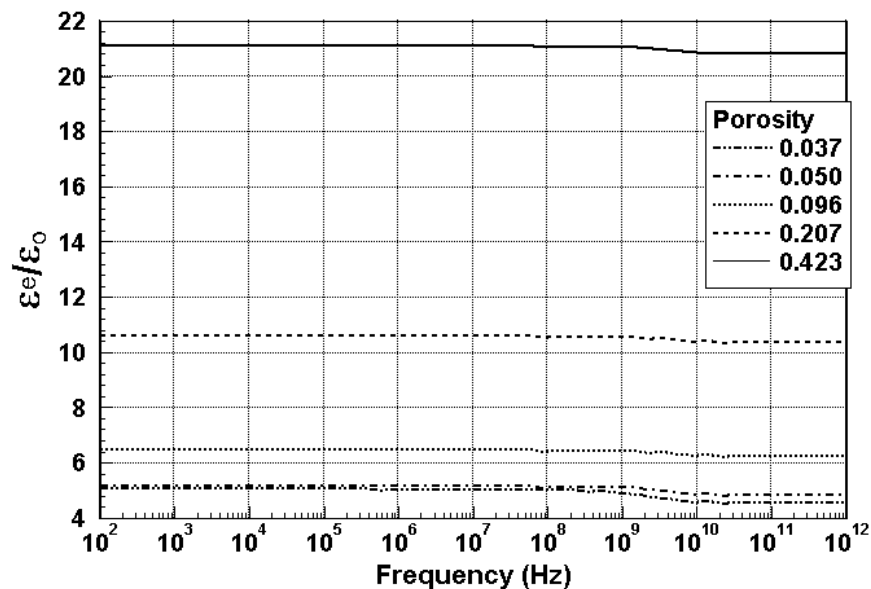
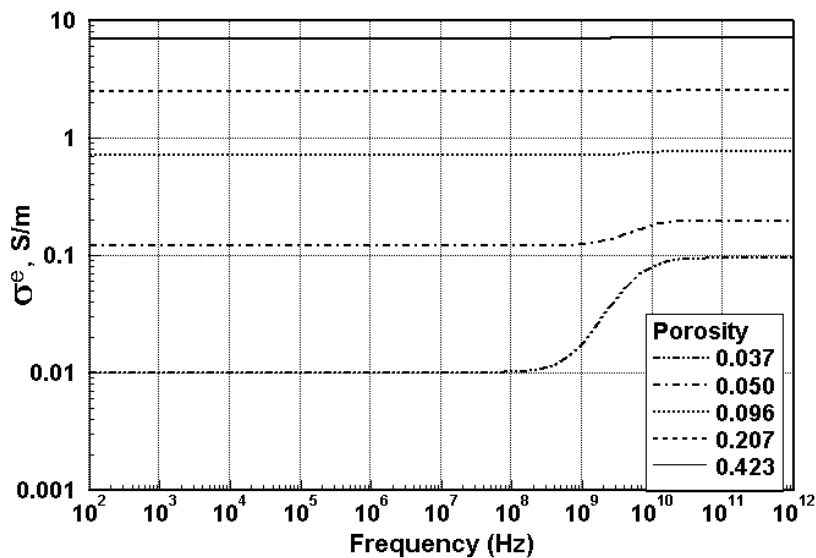


- компьютерная программа  
(аналог формулы Арчи)

$$\sigma_s = 10^{-12} (S/m), \sigma_f = 25 (S/m), \epsilon_s / \epsilon_0 = 4, \epsilon_f / \epsilon_0 = 60$$

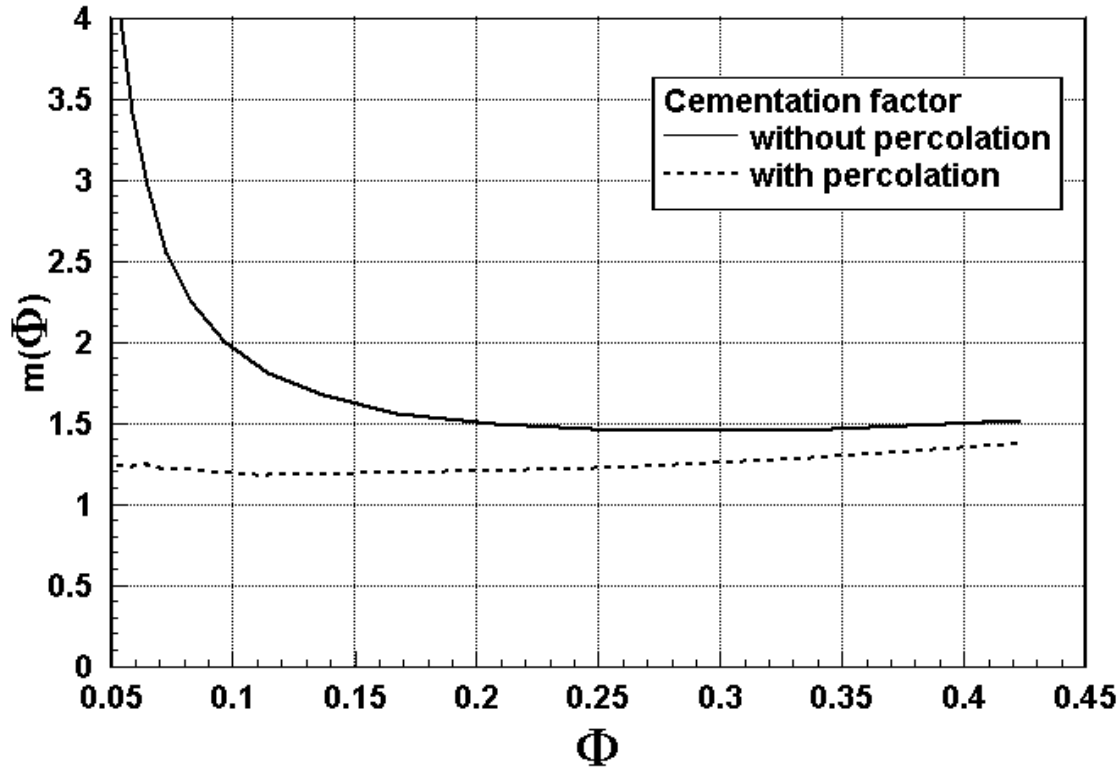


# Частотная дисперсия удельной электрической проводимости и диэлектрической проницаемости



$$\sigma_s = 10^{-12} (S/m), \quad \sigma_f = 25 (S/m), \quad \epsilon_s / \epsilon_0 = 4, \quad \epsilon_f / \epsilon_0 = 60$$

## Сравнение с формулой Арчи



$$\sigma / \sigma_f = \Phi^m$$

$$\sigma / \sigma_f = a(\Phi - \Phi_p)^m$$

# Перекрестный электрокинетический коэффициент

$$\lambda_{12} = \lambda_{21} = -\frac{\zeta \varepsilon_f}{\mu \sigma_f}, \quad (\text{случай малых поверхностных токов})$$



Shelukhin V., Yeltsov I., Paranichev I. The electrokinetic cross-coupling coefficient: two-scale homogenization approach. World Journal of Mechanics, Vol.1 No.3, 2011, 127-136.

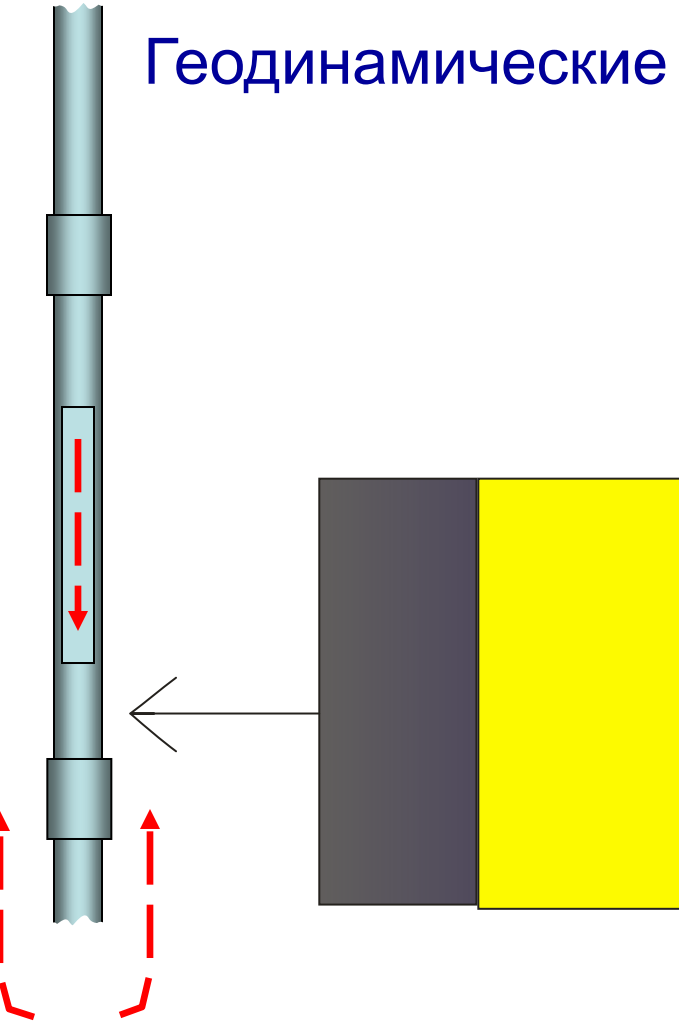
$$\lambda_{12} = \frac{k \sum_i q_i c_i}{\mu}, \quad \sigma_r = \frac{k}{\mu} \left( \sum_i q_i c_i \right)^2 + \frac{\Phi}{k_b T} \sum_i D_i q_i^2 c_i,$$

$$D_i \approx 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1},$$

$$\lambda_{12} = f_T \sqrt{k \sigma_r / \mu}, \quad f_T = 10^{-3} \text{ to meet F.Reus experiment}$$

$$\lambda_{12} = f_T s_w^{q/2} \left( \Phi - \Phi_p \right)^{m/2} \sqrt{k \sigma_f / \mu},$$

# Геодинамические эффекты



## Уравнения Био

$$\rho \mathbf{u}_{tt} + \rho_f \mathbf{q}_t = \operatorname{div} \boldsymbol{\tau},$$

$$\rho = \phi \rho_f + (1 - \phi) \rho_s,$$

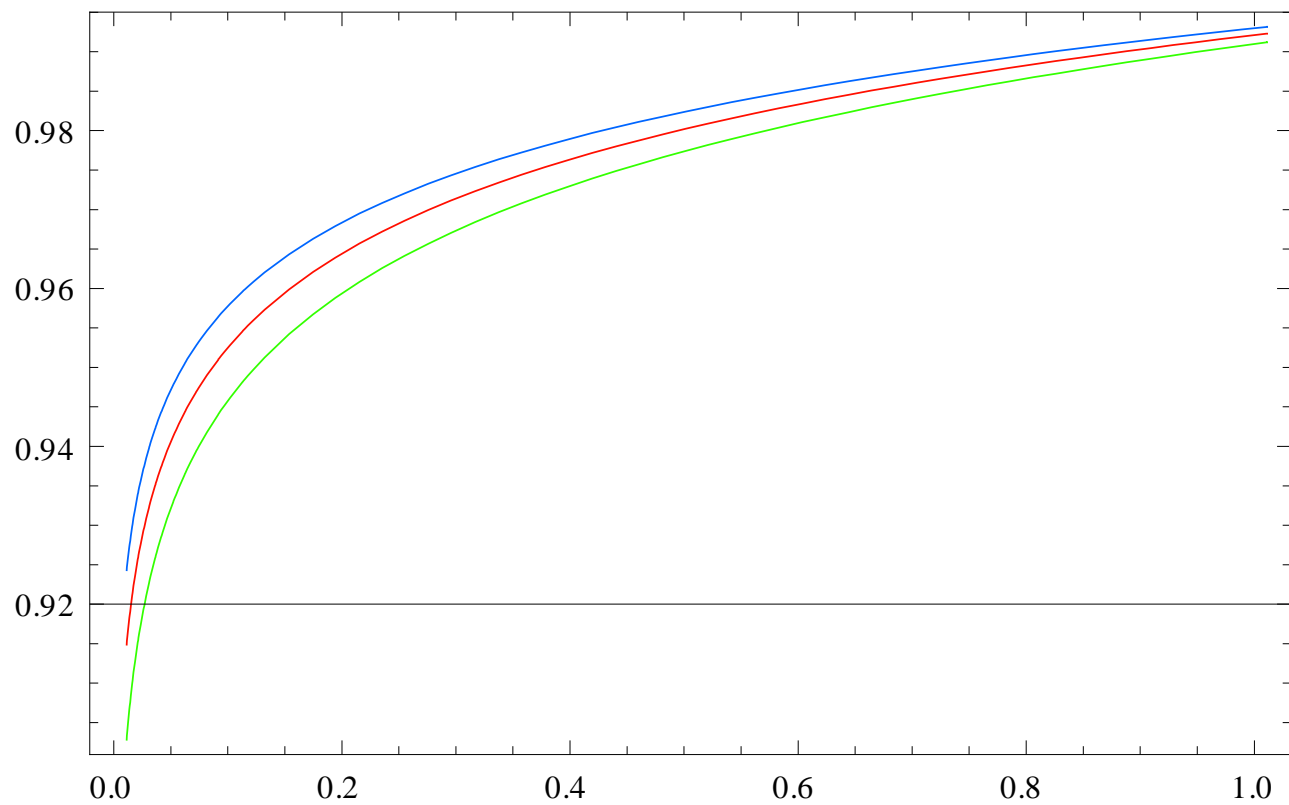
$$\mathbf{q} = k \eta^{-1} \left( -\nabla p + \rho_f \mathbf{u}_{tt} + m \mathbf{q}_t \right),$$

$$-p_t = \alpha_c M \operatorname{div} \mathbf{u}_t + M \operatorname{div} \mathbf{q},$$

$$\boldsymbol{\tau} = 2\mu E(\mathbf{u}) + [(\lambda_c - \alpha_c \phi M) \operatorname{div} \mathbf{u} + M(\alpha_c - \phi) \operatorname{div} \mathbf{w}] \cdot \mathbf{I} - \phi p \cdot \mathbf{I},$$

$$\frac{k}{k_0} = e^{-\alpha p_e / \mu}, \quad p_e = \phi p - \left( \lambda + \frac{2}{3} \mu \right) \operatorname{tr} E$$

$k / k_0$



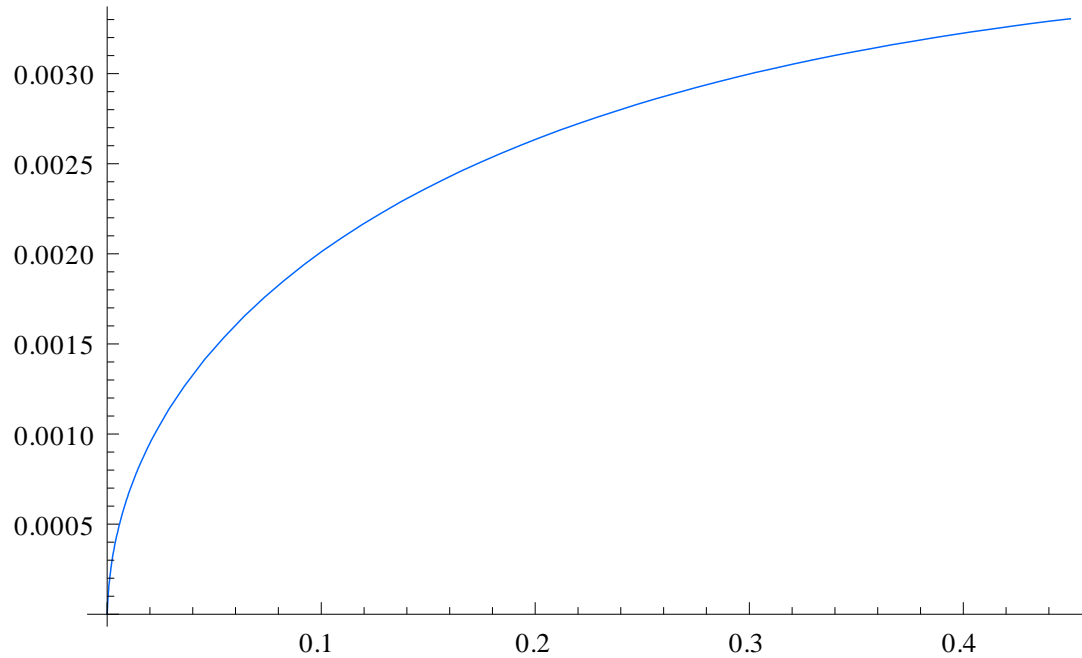
$r / (r_\infty - r_w)$

при  $p_w - p_\infty = 40$  атм.

- 0
- 0.15
- 0.3 (сутки)

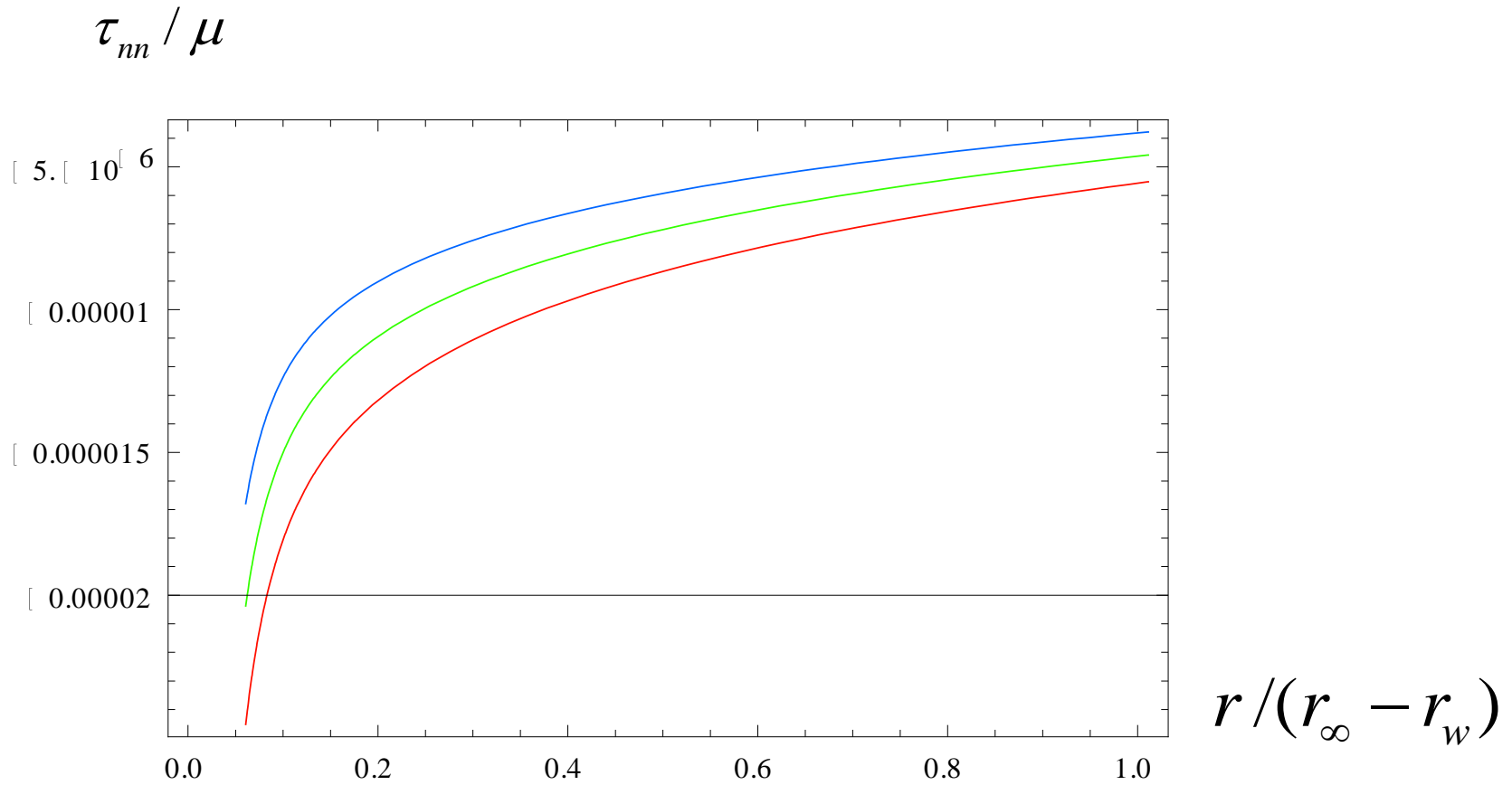


# Фронт проникновения



Опережение безразмерного «жесткого» фронта проникновения  $\delta x / \Delta r$   
в зависимости от времени (сутки) при  $p_w - p_\infty = 20$  атм

# Сжатие в радиальном направлении



$p_w - p_{\infty} = 20$  атм.     $\mu = 8.95$  ГПа

- █ 0
- █ 0.3
- █ 0.8 (сутки)