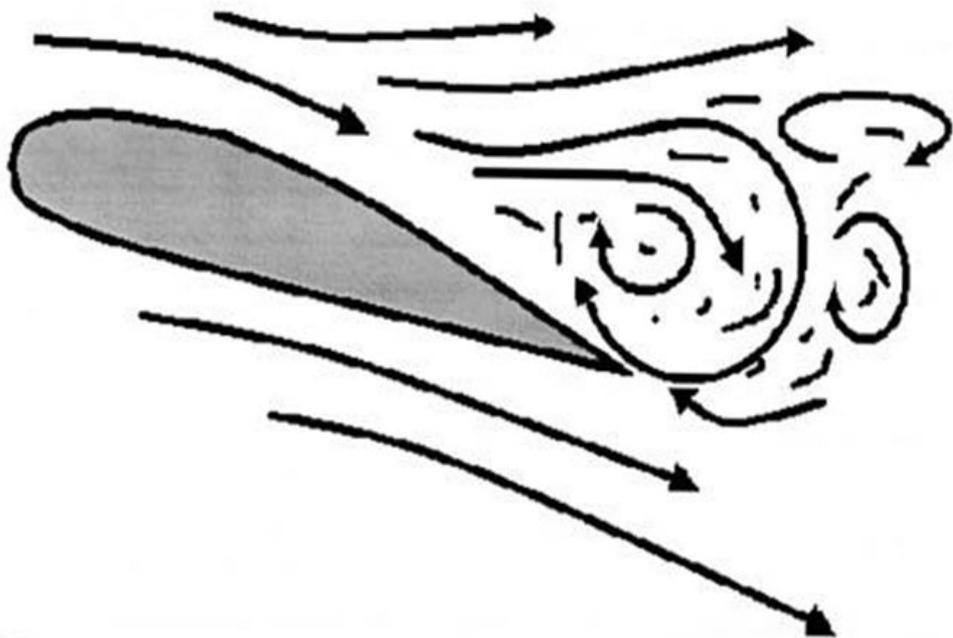
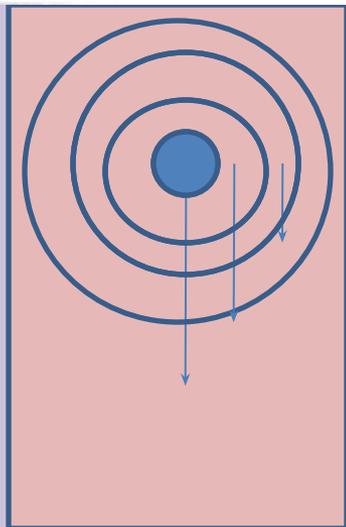


# Понятие о вязкости. Реологический закон Ньютона.



Вязкость или внутреннее трение – процесс перераспределения импульса частицам системы, обусловленное механизмом столкновения.

Реологический закон Ньютона: касательные напряжения (трения) прямо пропорциональны поперечной к направлению потока производной его скорости (скорости сдвига).



$$F_w = -\eta \frac{\Delta V}{\Delta x} \Omega$$

$$\tau_y = -\eta \frac{dV}{dx}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Идеально вязкая среда.

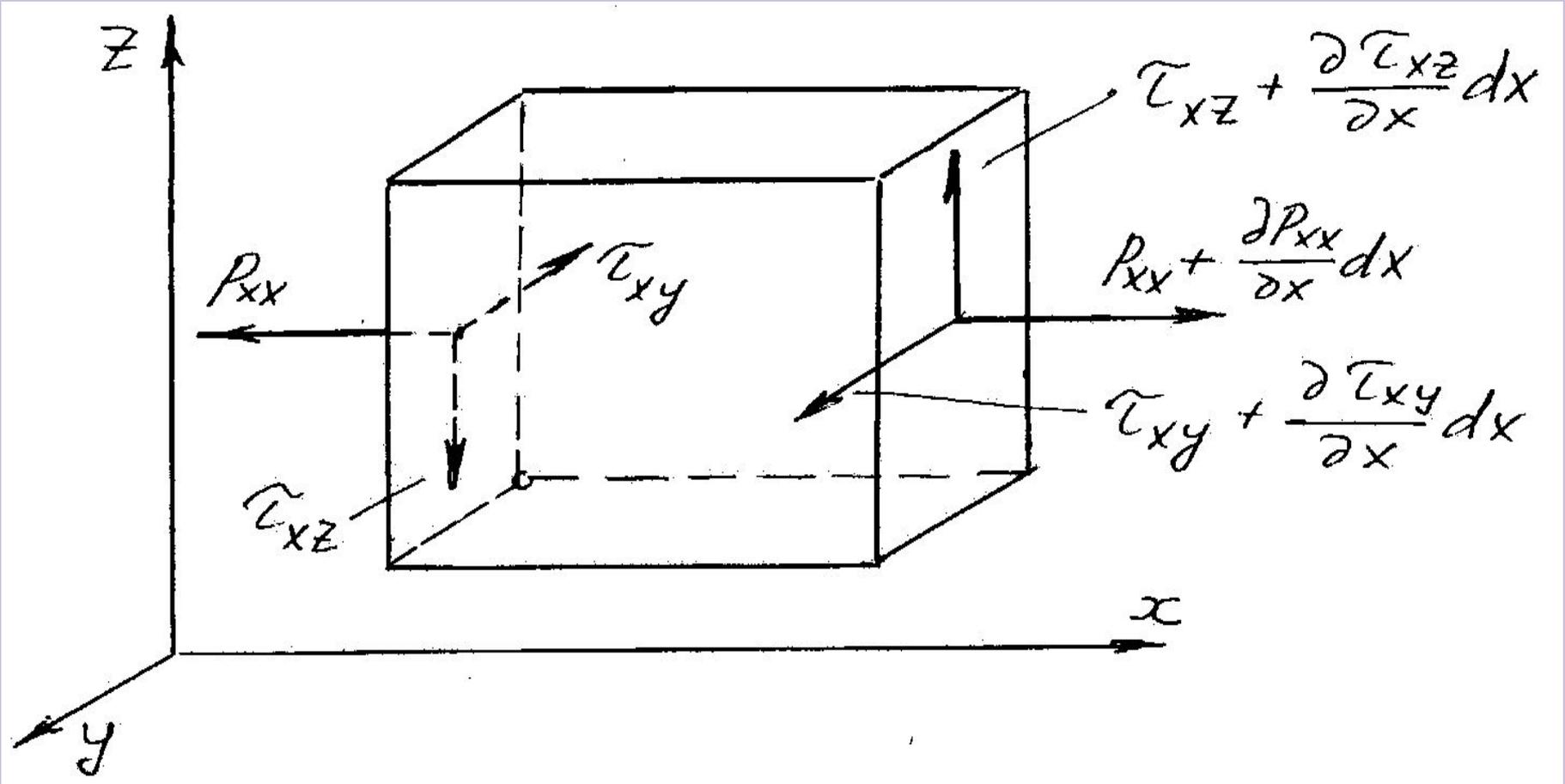
Уравнения Стокса

Медленное обтекание шара.

Метод обмена. Числа обмена.

# Уравнение Навье-Стокса.

$$\rho \frac{dV}{dt} + \rho \left( \frac{\partial V_x}{\partial x} V_x + \frac{\partial V_x}{\partial y} V_y + \frac{\partial V_x}{\partial z} V_z \right) = f_x - \frac{dp}{dx}$$



# Уравнение Навье-Стокса.

$$\rho \frac{dV}{dt} + \rho \left( \frac{\partial V_x}{\partial x} V_x + \frac{\partial V_x}{\partial y} V_y + \frac{\partial V_x}{\partial z} V_z \right) = f_x - \frac{dp}{dx} \quad \tau_x = -\eta \left( \frac{dV_x}{dy} + \frac{dV_x}{dz} \right)$$

грань	нормальное напряжение	касательное напряжение	
левая	$P_{xx}$	$\tau_{xy}$	$\tau_{xz}$
правая	$p_{xx} + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} dx$	$\tau_{xy} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} dx$	$\tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} dx$
задняя	$P_{yy}$	$\tau_{yx}$	$\tau_{yz}$
передняя	$p_{yy} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} dy$	$\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy$	$\tau_{yz} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} dy$
нижняя	$P_{zz}$	$\tau_{zx}$	$\tau_{zy}$
верхняя	$p_{zz} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} dz$	$\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz$	$\tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} dz$

## Уравнение Навье-Стокса.

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_r}{\partial t} + (\mathbf{v}\nabla) v_r - \frac{v_\theta^2 + v_\varphi^2}{r} = \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[ \Delta v_r - \frac{2v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial (v_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} - \frac{2}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \right], \end{aligned}$$

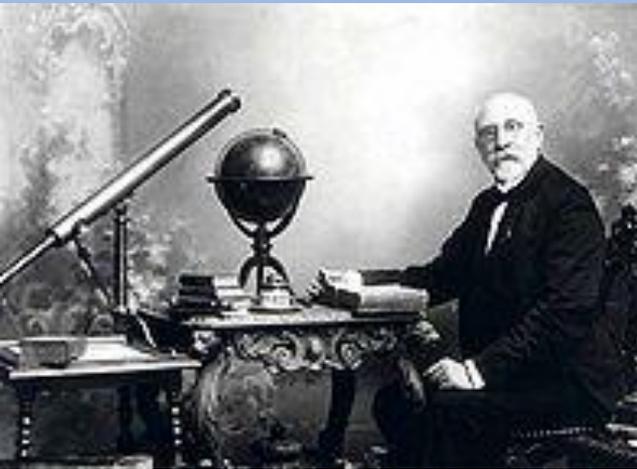
$$\begin{aligned} \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + (\mathbf{v}\nabla) v_\theta + \frac{v_r v_\theta}{r} - \frac{v_\varphi^2 \operatorname{ctg} \theta}{r} = \\ = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \nu \left[ \Delta v_\theta + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta}{r^2 \sin^2 \theta} - \frac{2 \cos \theta}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_\varphi}{\partial t} + (\mathbf{v}\nabla) v_\varphi + \frac{v_r v_\varphi}{r} + \frac{v_\theta v_\varphi \operatorname{ctg} \theta}{r} = \\ = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \nu \left[ \Delta v_\varphi + \frac{2}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + \frac{2 \cos \theta}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial v_\theta}{\partial \varphi} - \frac{v_\varphi}{r^2 \sin^2 \theta} \right], \end{aligned}$$

# Линеаризация уравнений Навье-Стокса на примере стационарного обтекания шара.



# Метод подобия явлений. Числа подобия. Критерии подобия.



Подобие двух сравниваемых течений обусловлено одинаковостью чисел подобия оговоренных в условии поставленной задачи, такие числа называются *критериями подобия*.

$$\frac{V}{T} \frac{dW'}{dx} + \frac{V \partial W'}{\partial x} + \frac{\partial W'}{\partial y} + \frac{\partial W'}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \frac{dp'}{dx} + \frac{1}{2} \frac{V^2}{L} \frac{dW'}{dx} + \frac{1}{2} \frac{V^2}{L} \frac{dW'}{dx}$$

$$Sh = \frac{L}{VT} \quad Fr = \frac{V^2}{FL} \quad Re = \frac{VL}{\nu} \quad Eu = \frac{P}{\rho V^2} \quad c_s = \frac{F_s}{\Omega \rho V^2 / 2}$$

# Лекция закончилась

