

Глава 6. Обтекание тел

6.1. Силы, действующие на обтекаемое жидкостью тело

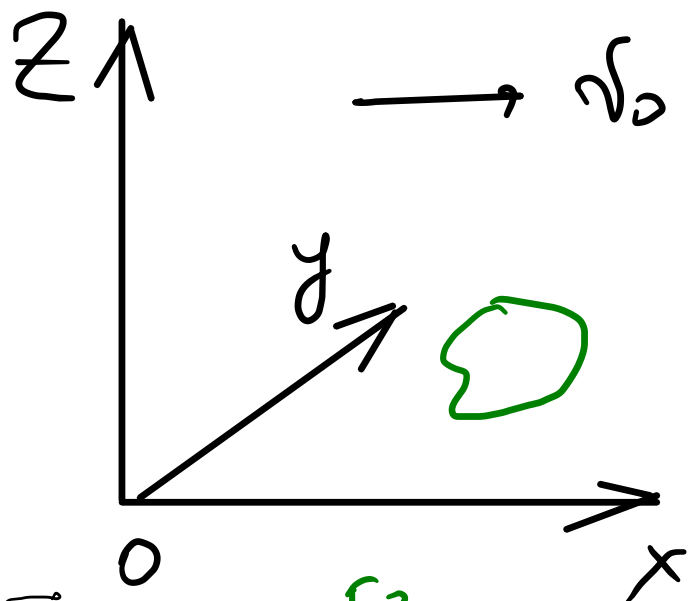
\leftrightarrow 1-я теор., закон Бетцмана.

На дос. удаляются от тела как \vec{v} и ρ -

- стая и днерзита.

Невозможность знать \vec{v}_0 (\vec{v}_∞) и ρ_0 (ρ_∞)

Не учитываем силы тяжести, Архимеда и Т.г.

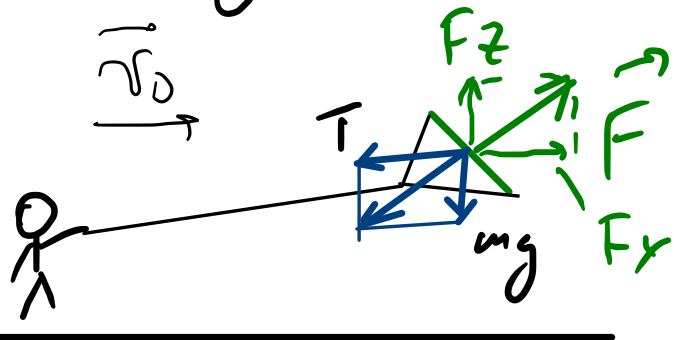


$$OX \uparrow \vec{v}_0$$

OZ - (горизонтально) вверх x

$$OY \perp \vec{v}_0$$

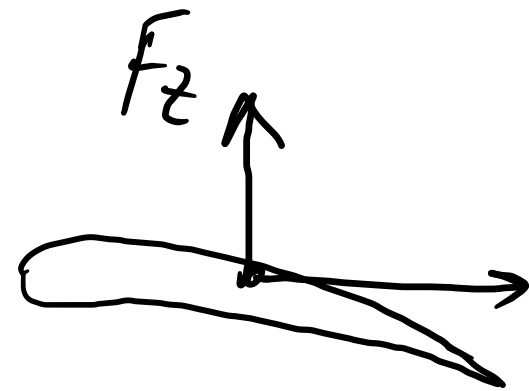
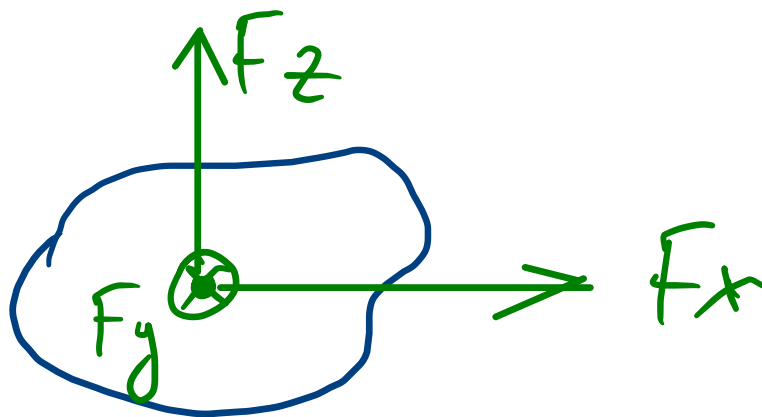
В одну сторону $\vec{F} \parallel \vec{v}_0$



F_x - сила (направление) сопротивления

F_z - подъемная сила

F_y - боковая сила





Сила сопротивления

Обусл. возникли напряжением
сопротивление трения
зависит от площади

Обусл. нормальными
напряжениями
сопротивление давления
(жидкости)
зависит от формы
тела

Система ТЭД + КЭД

Физ. вол., кванты ее характеризуют:

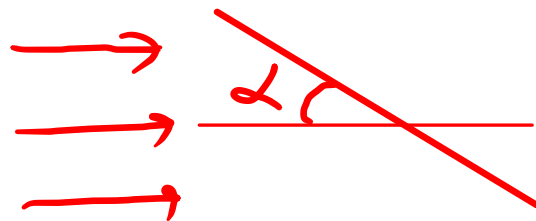
- сила \vec{F}

- мех. характ. волны f, γ, \vec{v}_0

- геом. характ. тела:

- лин. размеры (длина, диаметр, пороговость и т.д.)
- площадь проекции на коорд. плоскости
- объем
- угол атаки α

$$[+1] = \frac{1 \text{ м}}{c^2}$$



$$\frac{X}{L^P M^S T^Z} = f(\text{дегрязи})$$

$(x_1^{d_1} x_2^{d_2} \dots)$

Прявно размерности

\Leftrightarrow

$$F_i = \frac{\rho v_0^2}{2} \sum C_i$$

$$\frac{10 \text{ м}^2}{\text{м}^3} \frac{1}{\text{с}^2} [X] =$$

$$= \frac{10 \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$$

C_i - безразм. коэфф.

как прямо $C_i = C_i(\text{Re}, \alpha, \Delta z, \dots)$

$$\Delta z = \frac{\Delta}{L}$$

- шероховатость

отн. шероховатость

$Re = \frac{\rho v_0 L}{\mu}$
 L - хар. размер

C_x — коэффициент (коэффициент) сопротивления

C_z — коэффициент продольной силы (C_y)

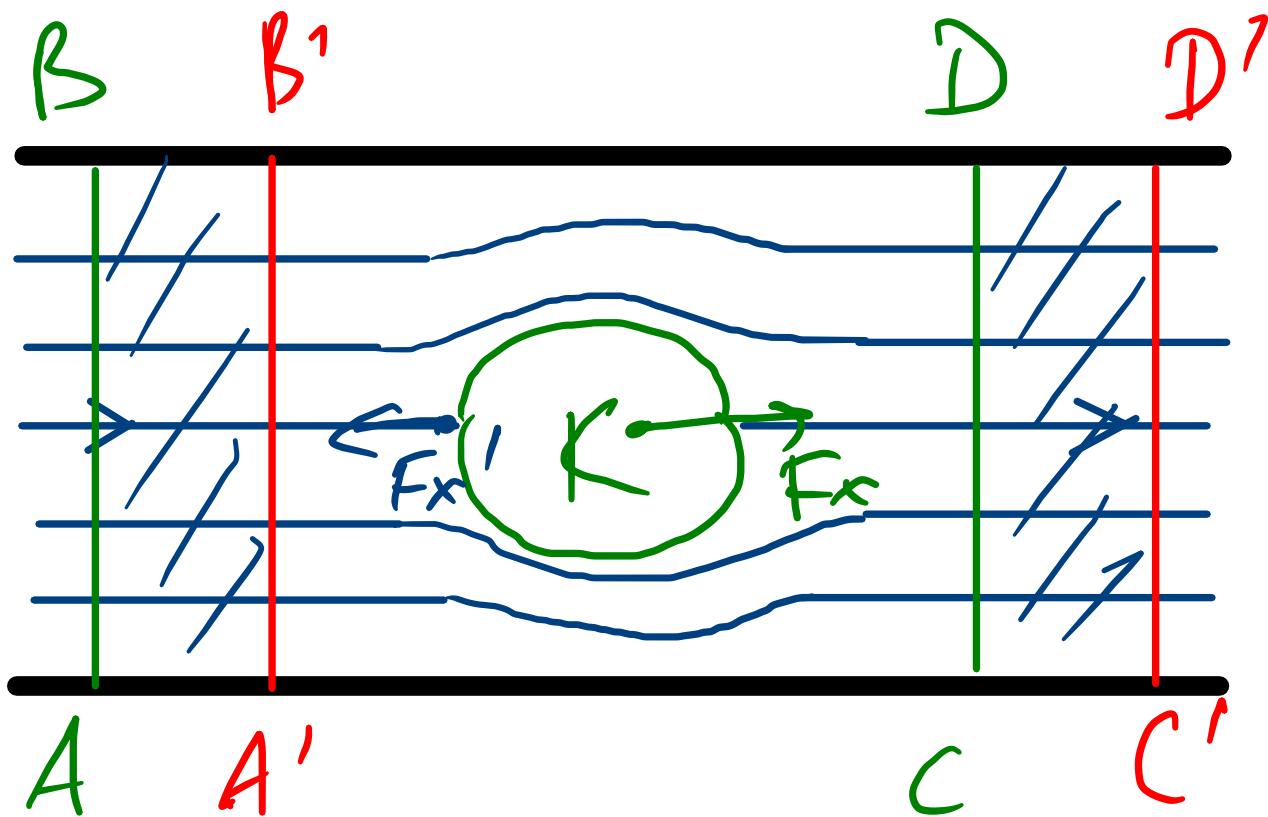
C_y — коэффициент боковой силы (C_z)

6.2. Парадокс Даламбера

Рассм. стая. тел-е невзаимн. нестим. χ -стн
Положим в него тело K .

На доск. большом r -и ст K
исток — невозможный.

Рассм. тел-е в трубе



За время Δt

$$V_{ABCD} \rightarrow V_{A'B'C'D'}$$

Через $AB, CD, A'B',$

$C'D'$ - далеко от

теки и уходит во

не возм. участки.

Рассм. изм. импульса:

$$P = P_{A'B'CD} + P_{AA'B'B}$$

$$P' = P_{A'B'CD} + P_{CC'D'D}$$

Течение стационарное

$$\Rightarrow P_{AA'B'B} = P_{CC'D'D}$$

$$\int_{AB} = \int_{CD} = \dots$$

T.O. $\Delta P = P' - P = 0$

C др. случая: $\Delta P = \underline{F_x' \Delta t}$ $\Leftrightarrow F_x' \neq 0$

$\vec{F}_x' = -\vec{F}_x$ (3.5 3.4)

T.O.

$F_x = 0$

При стационарном течении невязки
местных жидк (равномерном движении
тела в жид) лобовое сопротивление
равно нулю

Парадокс Даламбера

6.3. Подъемная сила

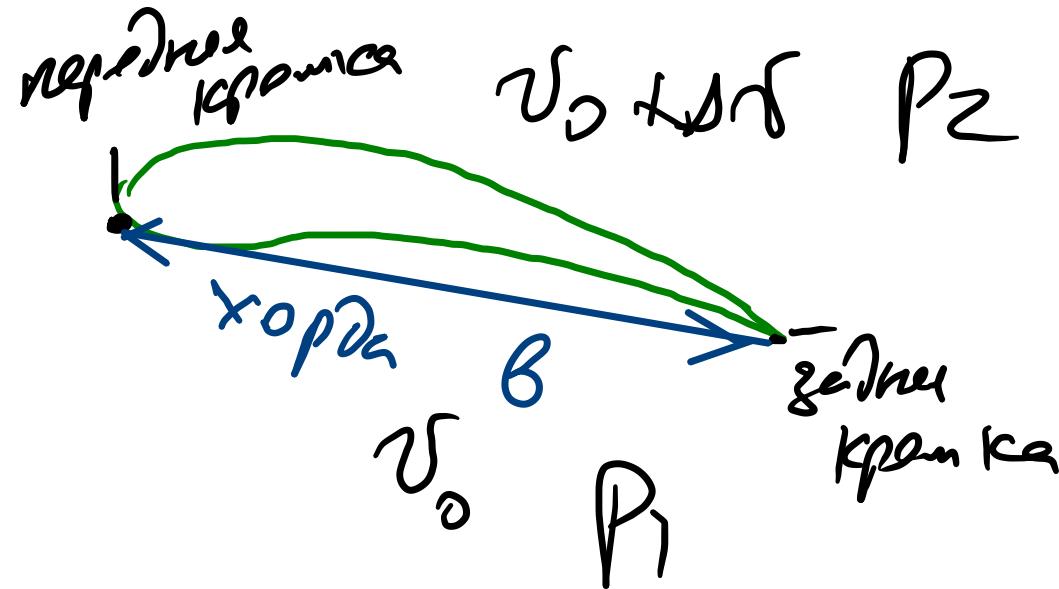
Рассм. тело в форме цилиндра с осью вращения

в виде некоего профиля.

Пусть скорость потока c

двояк сверху v_0

с др. ст. $\underline{v_0 + \Delta v}$.



Т.о. будем считать, что вода не движется \Rightarrow

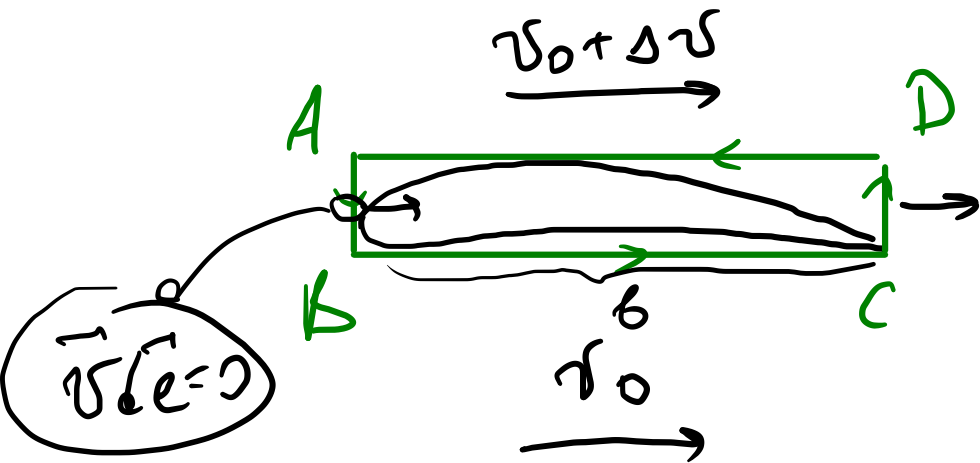
Уг. Ур-е Бернулли: $\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{(v_0 + \Delta v)^2}{2}$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} [(v_0 + \Delta v)^2 - v_0^2] = \frac{\rho}{2} (v_0^2 + 2v_0\Delta v + \Delta v^2 - v_0^2) =$$

\approx / $\Delta v \ll v_0$ / $\approx \rho v_0 \Delta v$.

Т.о. сила $F_z = \Delta P \cdot S' = \Delta P \cdot b \cdot l$ — Длина цилиндра.

Рассм. циркуляцию скорости вокруг тела:



$$\Gamma = \oint_{ABCD} \vec{v} \cdot d\vec{l} = \int_{AB} + \int_{BC} + \int_{CD} + \int_{DA} =$$

$$= v_0 \cdot b - (v_0 + \Delta v) b = \underline{\underline{-\Delta v b}}$$

$$\Rightarrow F_z = b \cdot l \rho v_0 \Delta v$$

||
-Γ

Μοχλίο οδονύμι.ο

$$F_z = -\rho v_0 l \cdot \Gamma$$

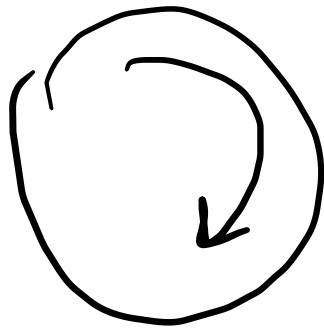
$$(F_z)_{\text{υδ}} = -\rho v_0 \Gamma$$

$$\vec{F} = \rho [\vec{v}_0 \vec{\Gamma}] l$$

Τεταμένη

Κυκλώσεως v

απόδεικτος $\epsilon_{11} l$



6.4. Потенциальный слой

Ур-е Н.-С. + усл. прилипания $\vec{\sigma}|_{z_0} = 0$ (для взаимои $x=0$)

Решение опять не простое, т.к. нелин.

(др с. если рассм. непертурбированную границу $\sigma_n|_{z_0} = 0$

\Rightarrow возможно потенциальное решение

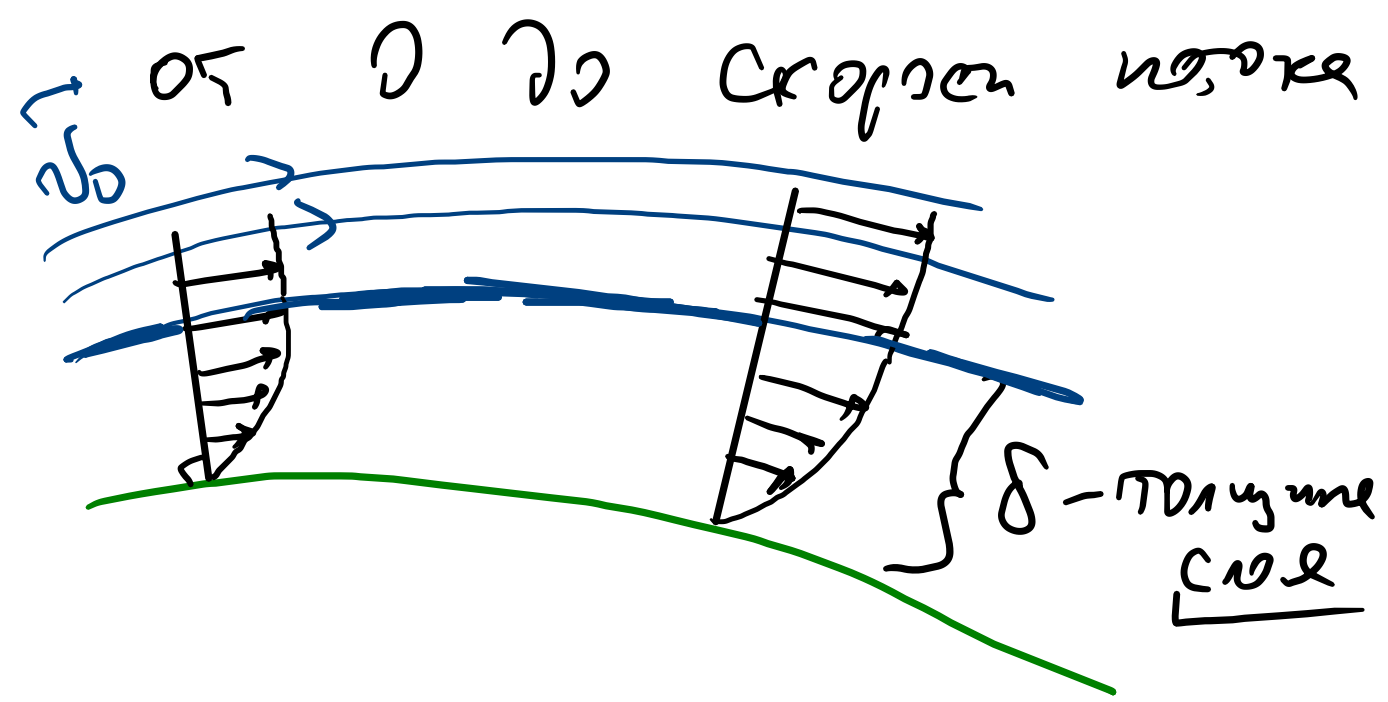
\Rightarrow можно решить ур-е Лапласа

— просто,

~~$\sigma_n|_{z_0} = 0$~~
 $\nabla^2 \varphi = 0$

Прангтль

из физ. показат, что вблизи
пов. тела \exists слои, т.е. в нем скорость не равна




Параметрический
слой

Можно разбить задачу на 2

I. Поиск потенциального поля скорости вокруг тела с непроточными границей — упр. задача

\Rightarrow р. у. ур. Н.-Л. / Эйлера

II. Решение ур. для порр. скорости — ур. Н.-Л. / Эйлера

Упрощение:  $\frac{\partial v}{\partial z} \gg \frac{\partial v}{\partial x}$

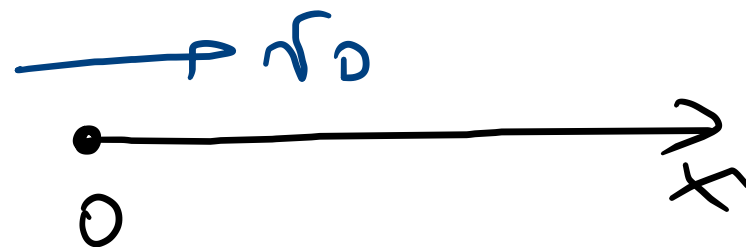
Ур-вса: — применение к р. у. $\bar{v} = \bar{v}_0$ на гр с порр.

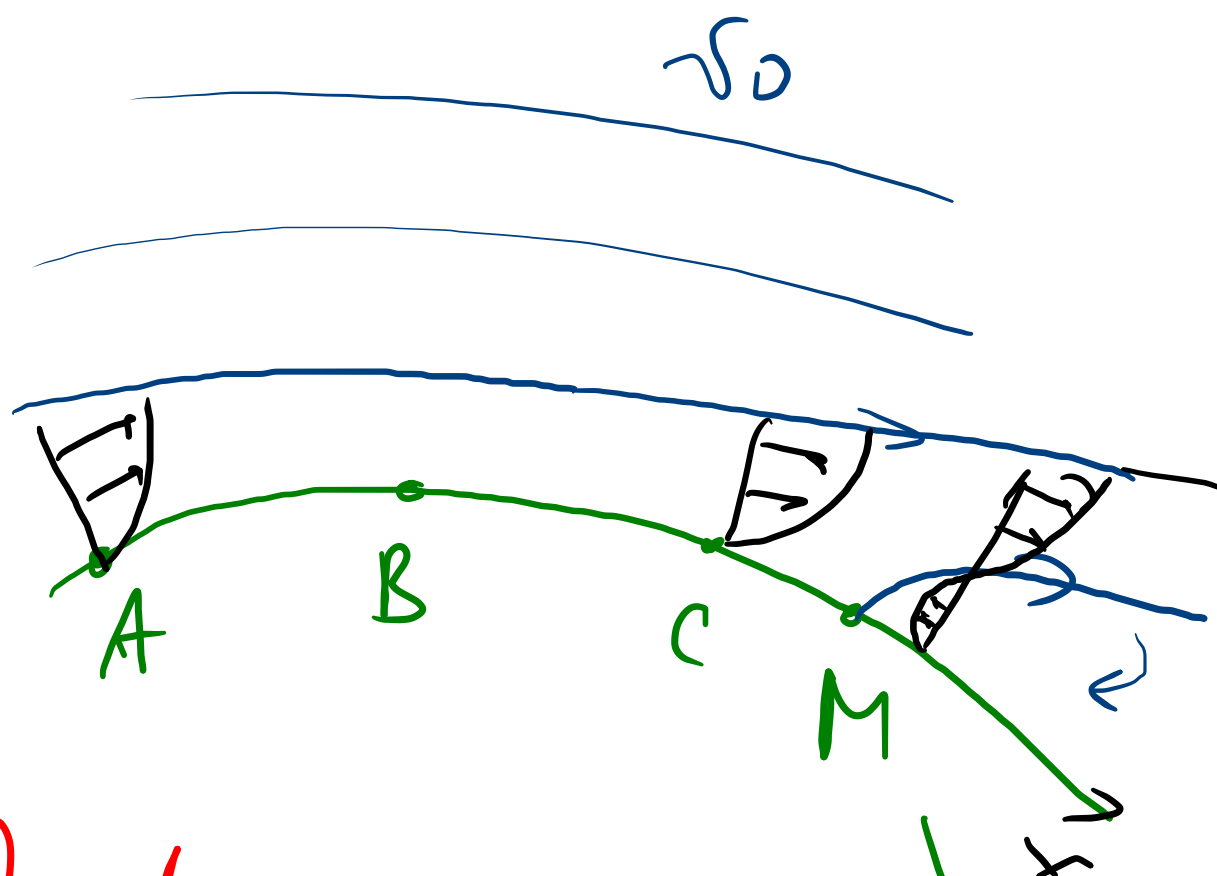
Попр. слой : - ламинарный
- турбулентный

Толщина слоя обычно растет по высоте

Для турбулентного течения при малых Re

$$\delta = 5,2 \sqrt{\frac{\nu \cdot x}{v_0}}$$





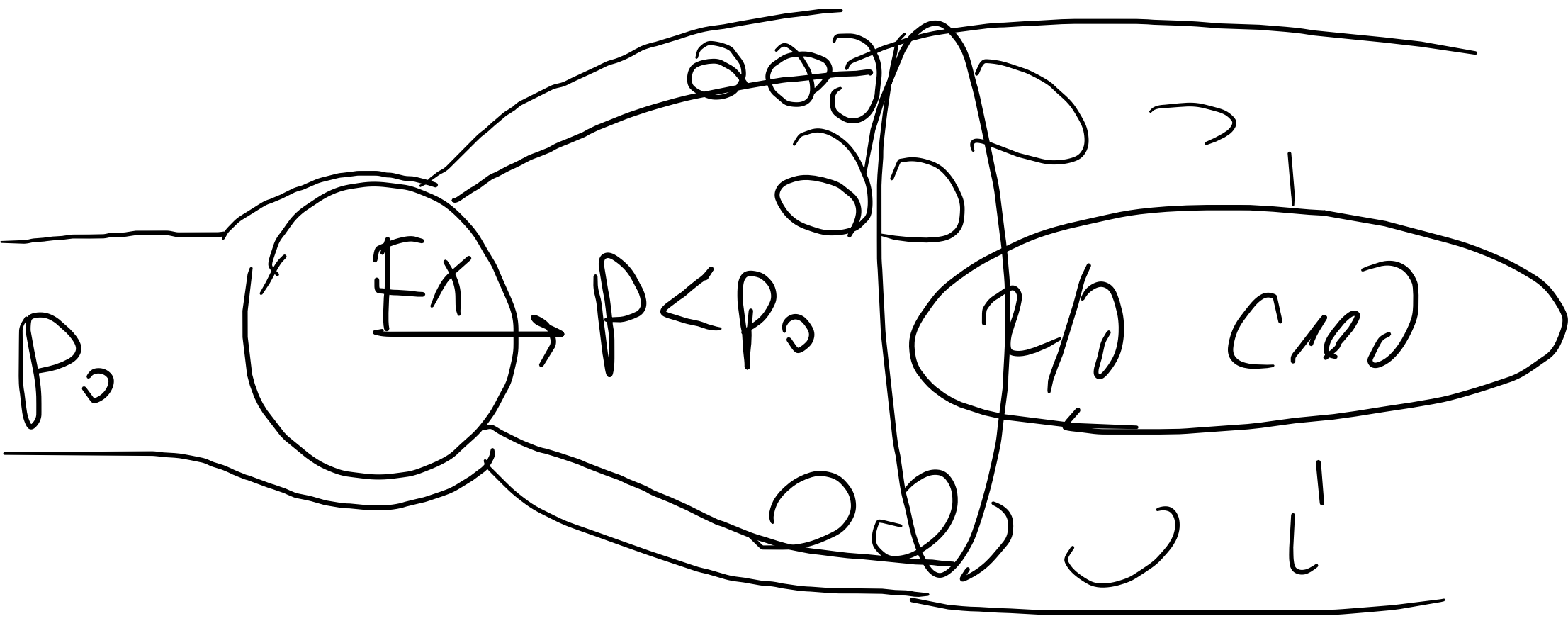
$AB; \frac{\partial v}{\partial x} > 0$ $BC; \frac{\partial v}{\partial x} < 0$
 $\frac{\partial P}{\partial x} < 0$ $\frac{\partial P}{\partial x} > 0$

Часть искр. эн, которая уходит на трение

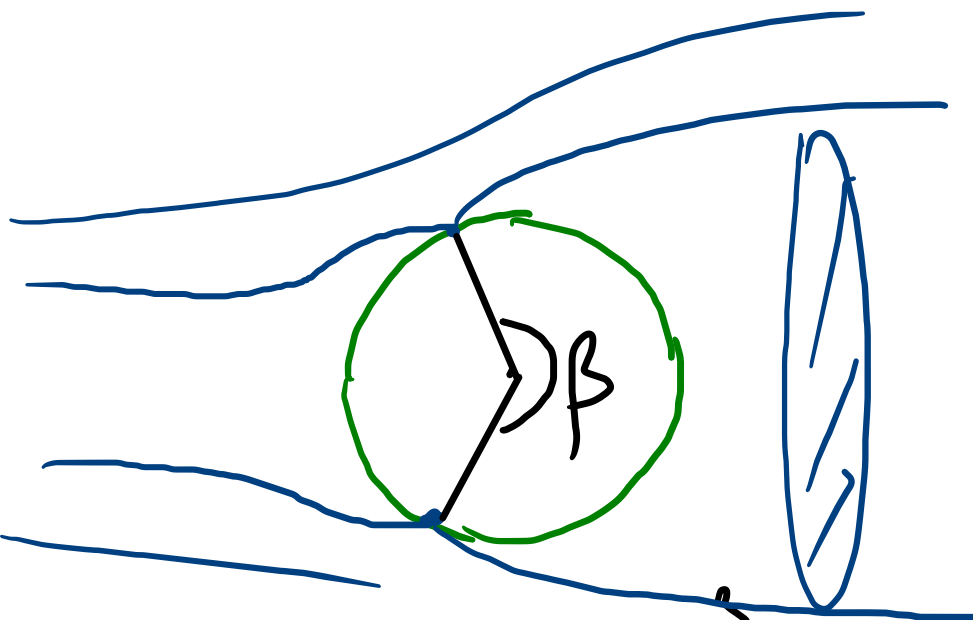
Отрыв пограничного слоя

траектория отрыва

возникает отрывное течение



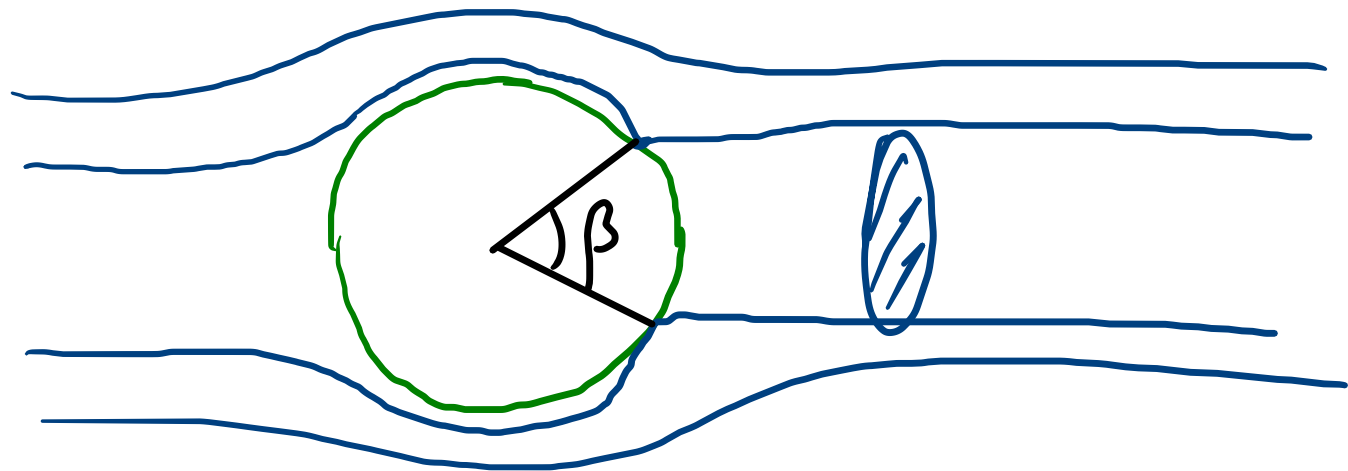
Торка оръна забвент оу Re



$$10 < Re < 10^3$$

$$\beta > 100^\circ$$

ноу. снѣн — ламинарныи



$$10^3 < Re < 10^5$$

$$\beta < 100^\circ$$

ноу. снѣн — турбулентныи.

При $\beta < 120^\circ$ обтекание ламинарное C_x - велика

При $Re \approx 10^5$ - переход в турб. режим

$\Rightarrow \beta \rightarrow \beta_{min} \approx \underline{110^\circ - 120^\circ}$ C_x - падает резко



Резкое уменьшение C_x -
- кризис
сопротивления