Механика

Лекция 22

«Человек не имеет крыльев и по отношению веса своего тела к весу мускулов в 72 раза слабее птицы, но я думаю, что он полетит, опираясь не на силу своих мускулов, а на силу своего разума»

Н.Е.Жуковский“О воздухоплавании” (1898)

aislepkov.phys.msu.ru

Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

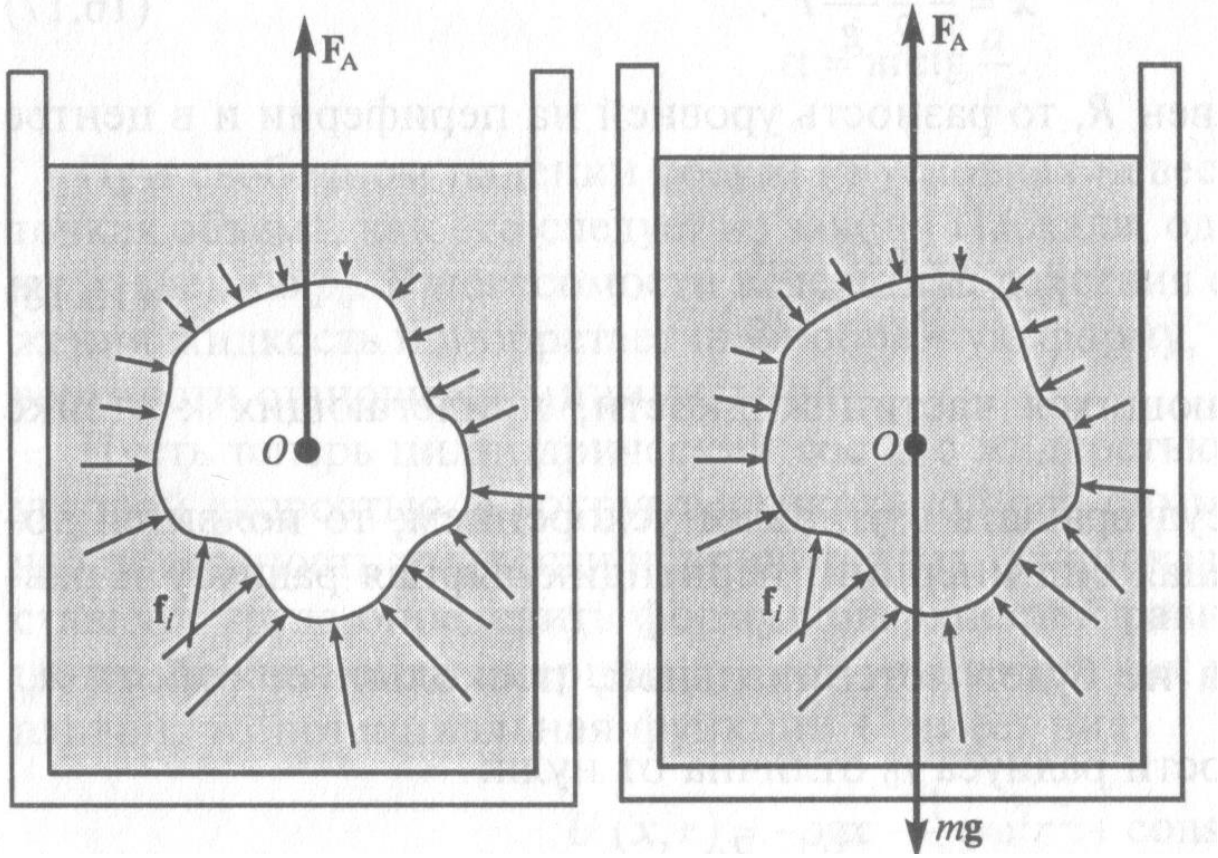
П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.5. Закон Архимеда.



Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

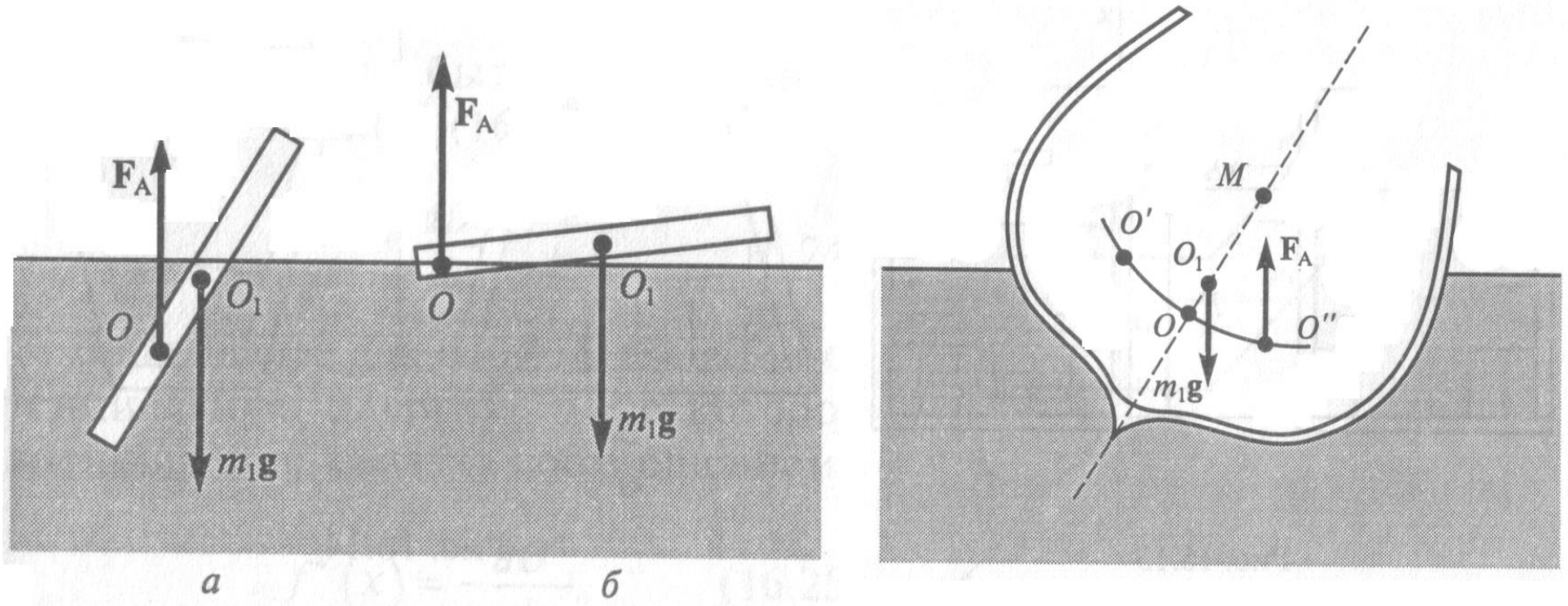
П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.



П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

П.9.2.1. Идеальная жидкость. Линии тока. Трубки тока.

Идеальная жидкость – жидкость, лишенная вязкости.

Линии тока – линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением скорости частицы.

Трубка тока – область пространства, ограниченная замкнутой поверхностью, образованной семейством линий тока.

Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

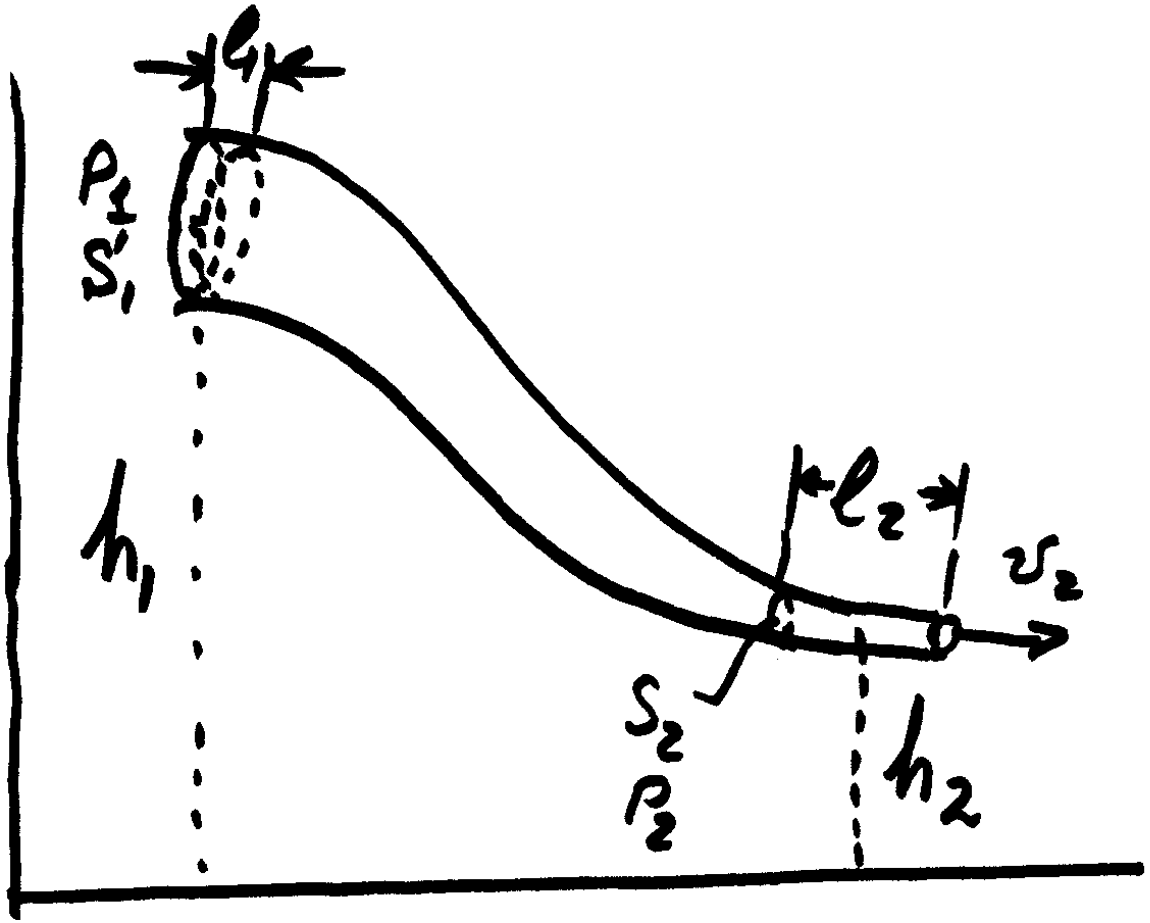
П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

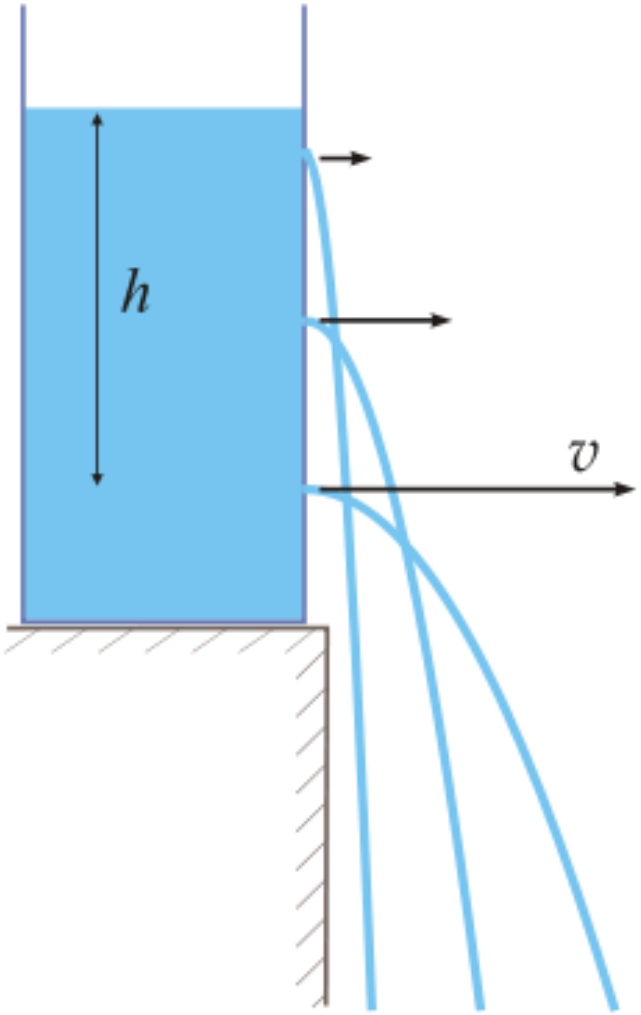
П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

П.9.2.2.Уравнение Бернулли



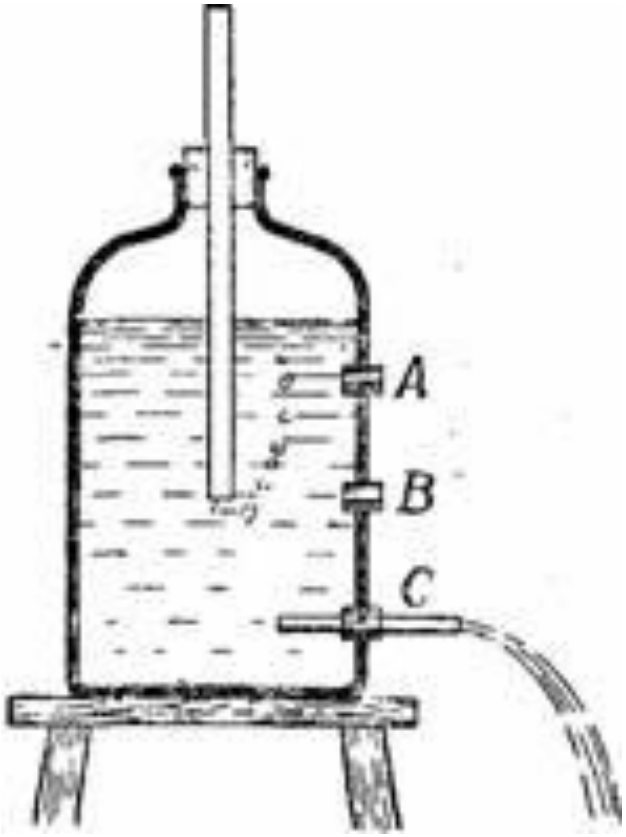
Пример1. Вытекание жидкости из широкого сосуда.



Торичелли
(1608-1647)

П.9.2.2.Уравнение Бернулли

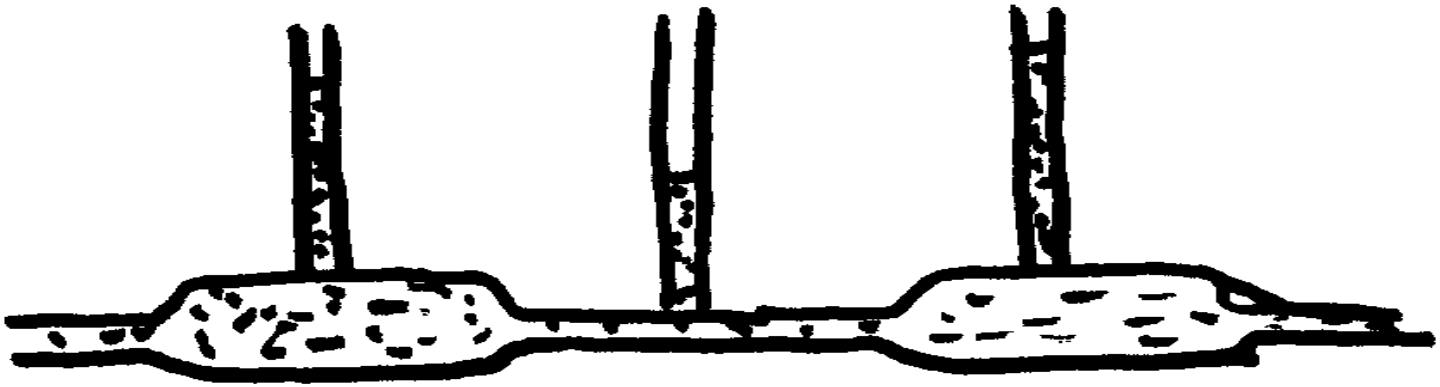
Пример1. Вытекание жидкости из широкого сосуда.



Мариотт
(1620—1684)

СНПЧ

Пример 2. Давление в жидкости, текущей по трубе переменного сечения.



$$\frac{\rho \upsilon_2^2}{2} + p_2 = \frac{\rho \upsilon_1^2}{2} + p_1$$

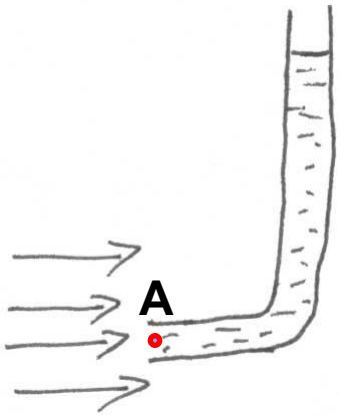
$$Q \cdot \Delta t = \rho \cdot \upsilon_1 S_1 \cdot \Delta t = \rho \cdot \upsilon_2 S_2 \cdot \Delta t$$

Пример 3. Трубка Пито и трубка Прандля.

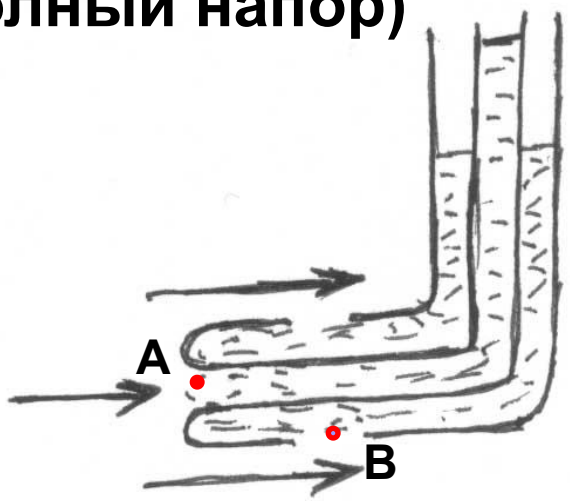
p - статическое давление (или просто давление)

$\frac{\rho \upsilon^2}{2}$ - динамическое давление (скоростной напор)

$\frac{\rho \upsilon^2}{2} + p$ - полное давление (полный напор)



трубка Пито (1695-1771)



трубка Прандтля (1875-1953)

Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

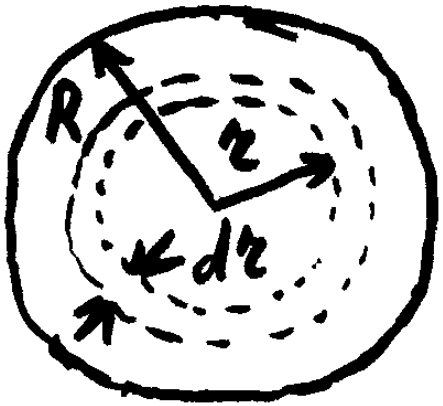
П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

Вещество	Коэффициент вязкости (Па·сек)		
	$t=0^0C$	$t=15^0C$	$t=99^0C$
Жидкости			
Глицерин	4.6	1.5	-
Вода	$1.8\ 10^{-3}$	$1.15\ 10^{-3}$	$0.29\ 10^{-3}$
Эфир	$0.29\ 10^{-3}$	$0.25\ 10^{-3}$	-
Газы			
Воздух	$1.71\ 10^{-5}$	$1.81\ 10^{-5}$	$2.2\ 10^{-5}$
Углекислый газ	$1.39\ 10^{-5}$	$1.46\ 10^{-5}$	$1.86\ 10^{-5}$
Водяной пар	$0.9\ 10^{-5}$	$0.97\ 10^{-5}$	$1.31\ 10^{-5}$

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.



$$dQ = 2\pi r\,dr \cdot \upsilon$$

$$Q = \int_0^R 2\pi \upsilon r\,dr = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta l}\int_0^R \left(R^2 - r^2\right)2\pi r\,dr$$

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{l}\,\frac{\pi R^4}{8\eta}$$

- Формула Пуазейля

Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

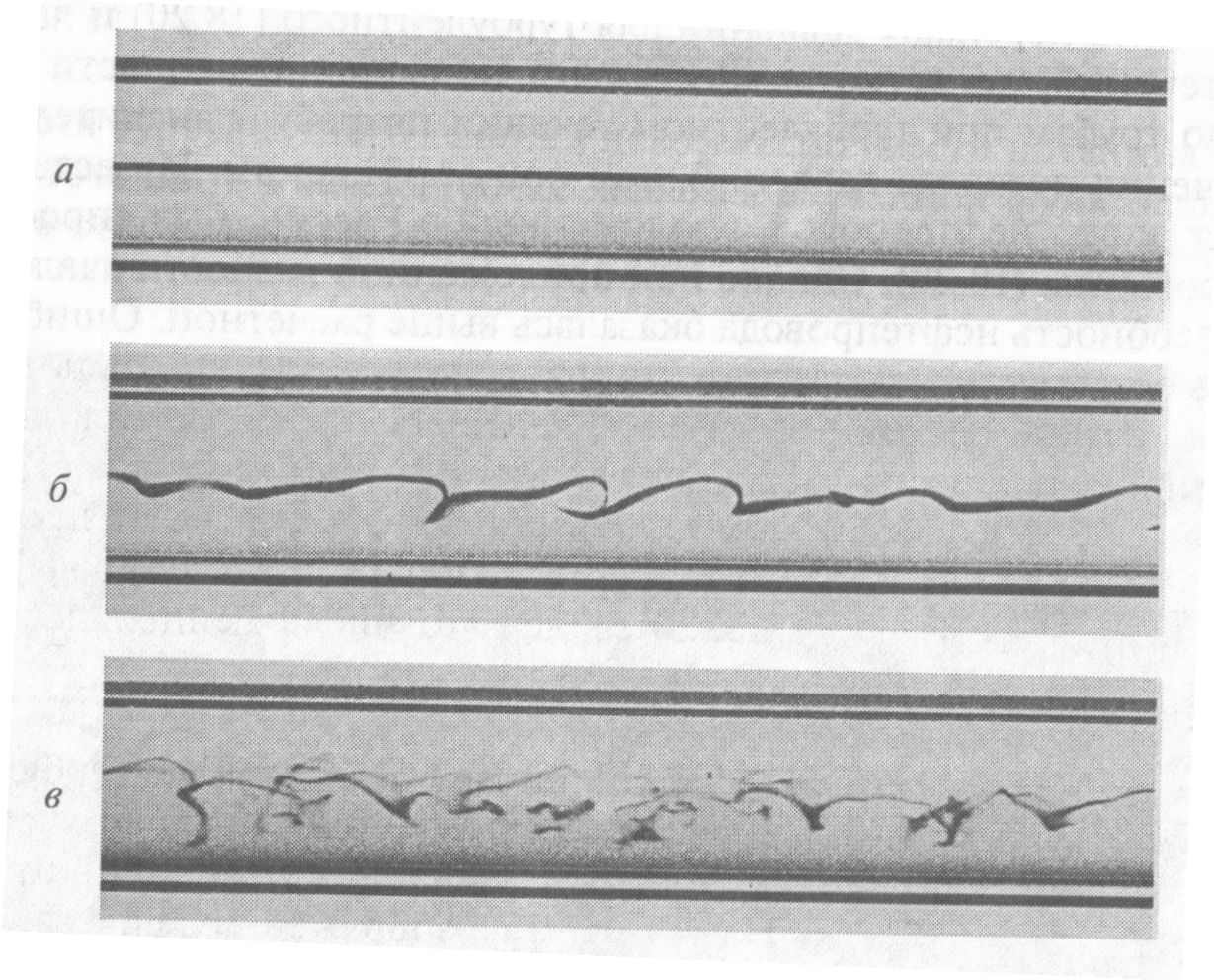
П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.



П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

$$<\upsilon>=\frac{Q}{\pi R^2}=\frac{p_1-p_2}{l}\frac{R^2}{8\eta}$$

$$p_1-p_2=\frac{8\eta}{R}<\upsilon>\frac{l}{R}$$

- Для ламинарного течения

$$p_1-p_2=k\rho<\upsilon>^2\frac{l}{R}$$

- Для турбулентного течения

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

$$A_{тр} = (p_1 - p_2) \cdot \pi R^2 \cdot l = \frac{8\eta}{R} < \upsilon > \frac{l}{R} \cdot \pi R^2 \cdot l = 8\eta < \upsilon > \cdot \pi l^2$$

$$E = \frac{m < \upsilon >^2}{2} = \frac{\rho\left(\pi R^2 l\right) < \upsilon >^2}{2}$$

$$\frac{E}{A_{тр}} = \frac{\rho\left(\pi R^2 l\right) < \upsilon >^2}{2 \cdot 8\eta < \upsilon > \pi l^2} = \frac{\rho R^2 < \upsilon >}{2 \cdot 8\eta l}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho R < \upsilon >}{\eta}$$

-Число Рейнольдса

П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

Пример 1. Оценки чисел Рейнольдса для типичных случаев.

R=1 см, скорость течения $<v>$=1см/с

Вода

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho R < \upsilon >}{\eta} = \frac{10^3 \cdot \left(1 \cdot 10^{-2}\right) \cdot \left(1 \cdot 10^{-2}\right)}{1.15 \cdot 10^{-3}} = 87$$

Воздух

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho R < \upsilon >}{\eta} = \frac{1.3 \cdot \left(1 \cdot 10^{-2}\right) \cdot \left(1 \cdot 10^{-2}\right)}{1.8 \cdot 10^{-5}} = 7.2$$

Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

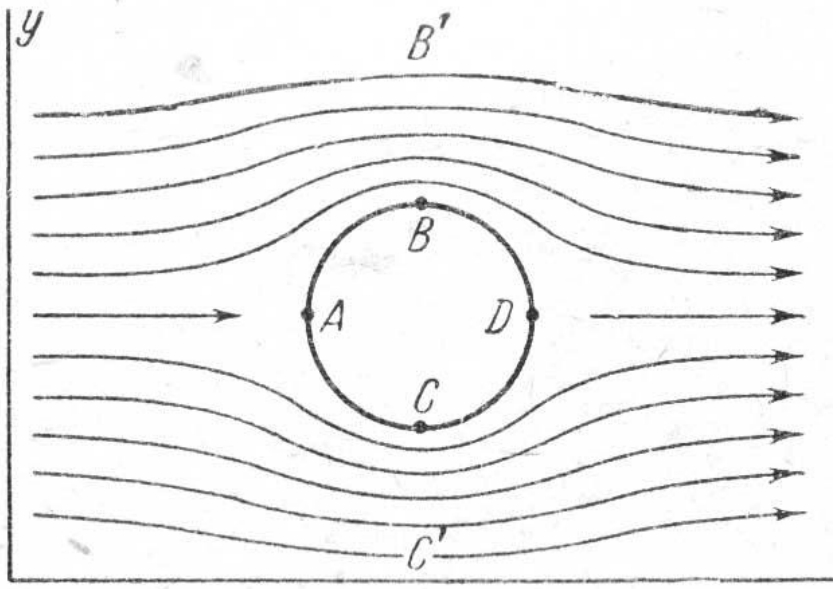
П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

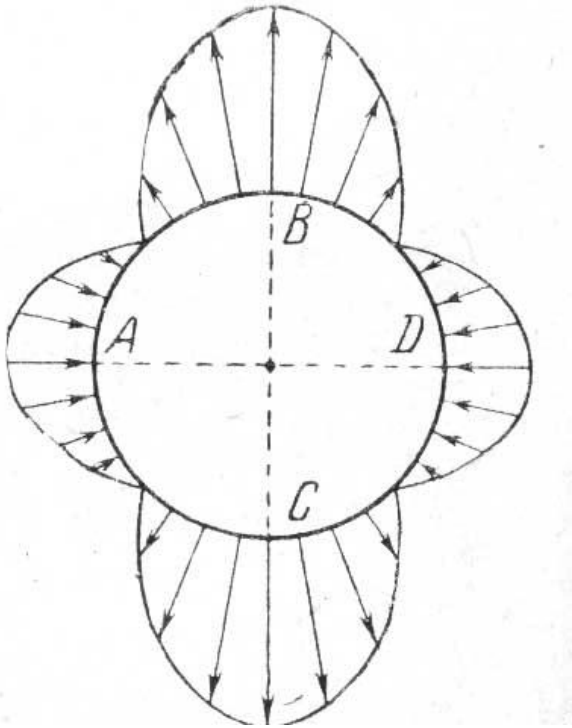
П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

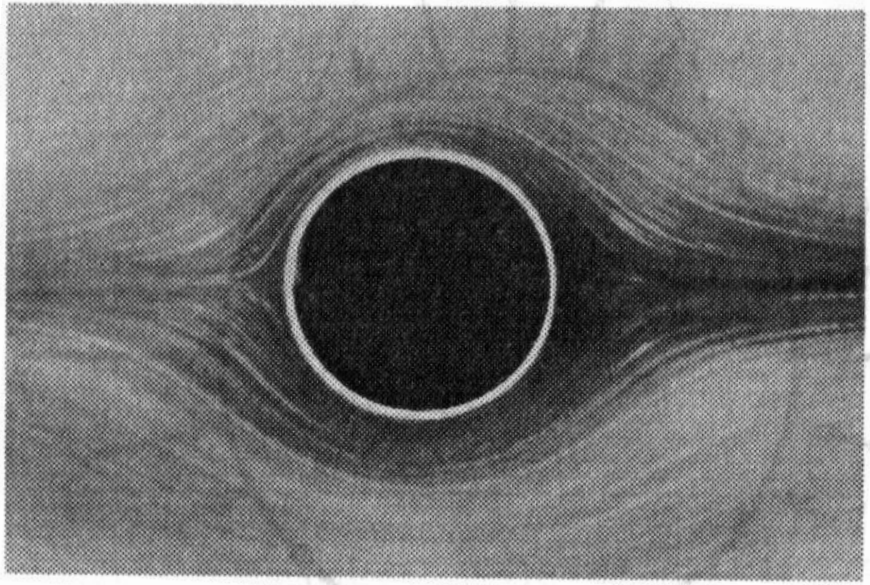
П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

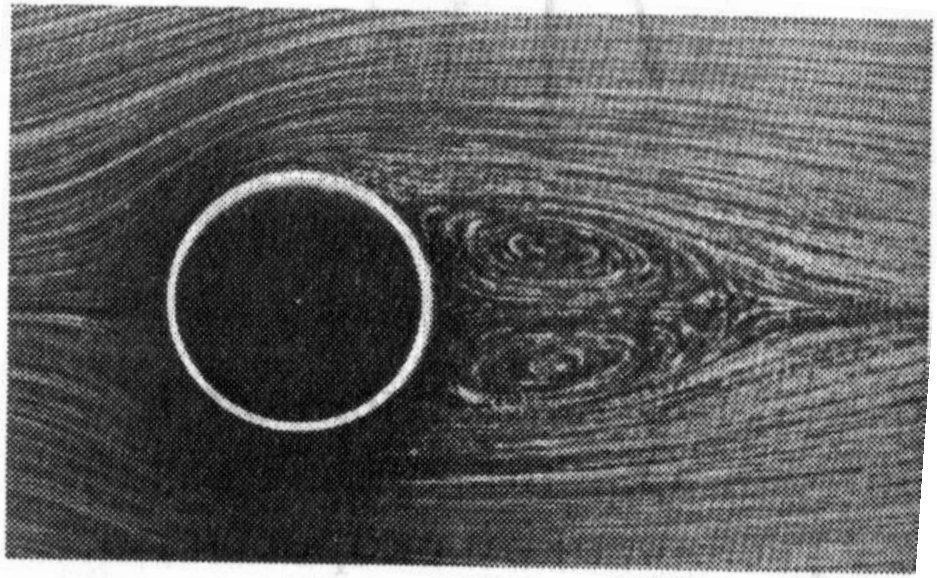




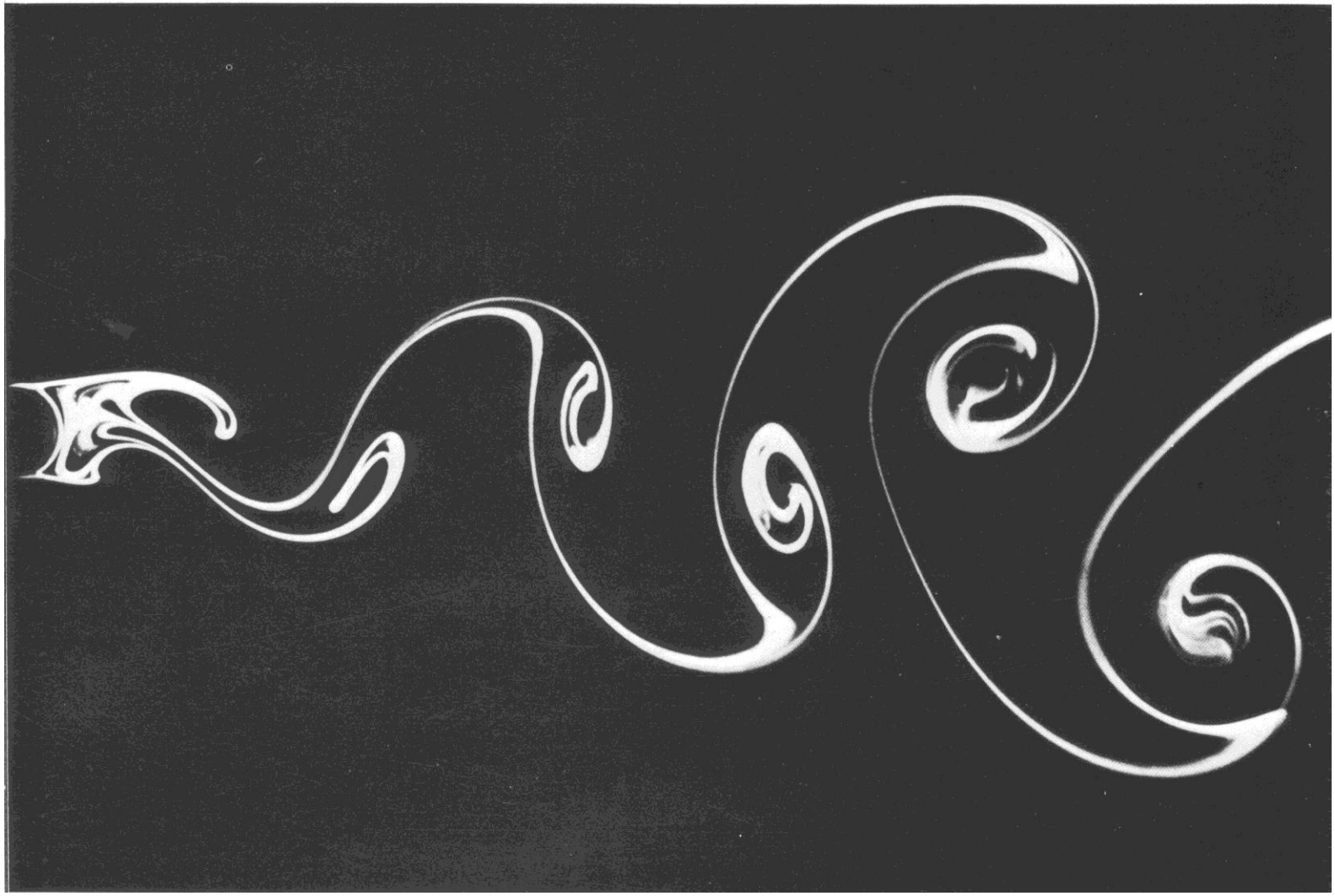
П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

$$F_{лс} = C(\mathrm{Re})\frac{\rho v^2}{2} S$$





П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.



Лекция 22
План

Глава 9. Основы гидро и аэромеханики

П.9.1.Основы гидро- и аэростатики.

П.9.1.5. Закон Архимеда.

П.9.1.6.Условия устойчивого плавания тел.

П.9.2.Стационарное течение несжимаемой жидкости.

П.9.2.1. Идеальная жидкость.Линии тока. Трубки тока.

П.9.2.2. Уравнение Бернулли

П.9.2.3.Течение вязкой жидкости. Сила вязкого трения. Формула Пуазейля.

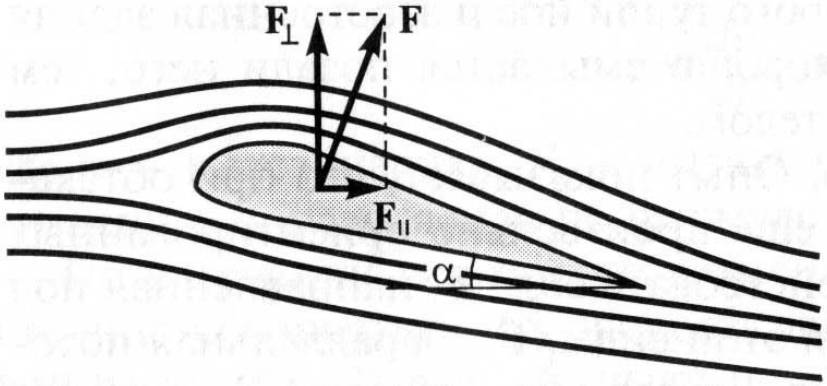
П. 9.3. Ламинарное и турбулентное течение. Обтекание тел жидкостью или газом.

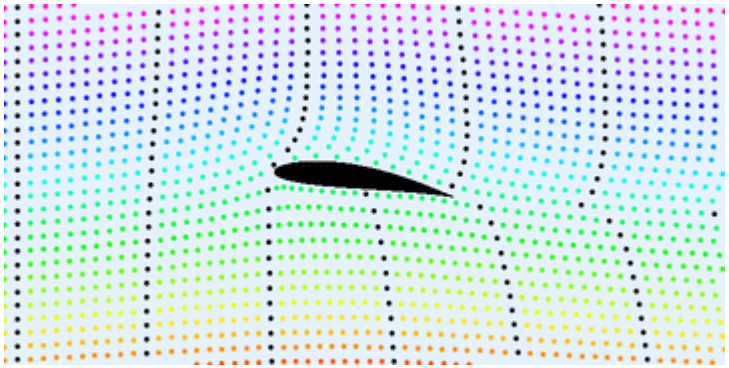
П.9.3.1.Ламинарное и турбулентное течение. Число Рейнольдса.

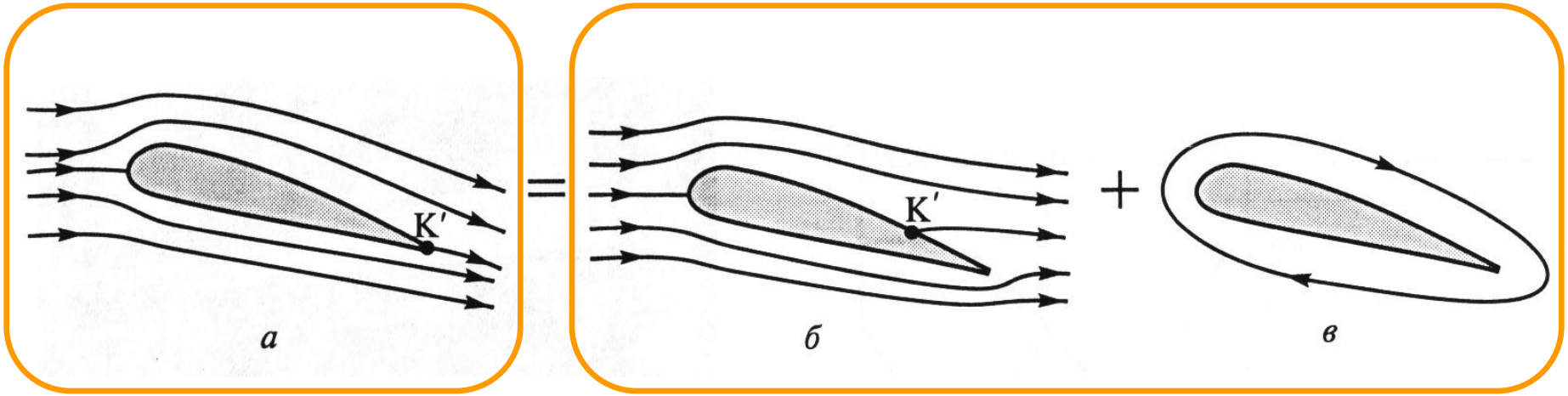
П.9.3.2. Лобовое сопротивление при обтекании тел. Парадокс Даламбера.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.





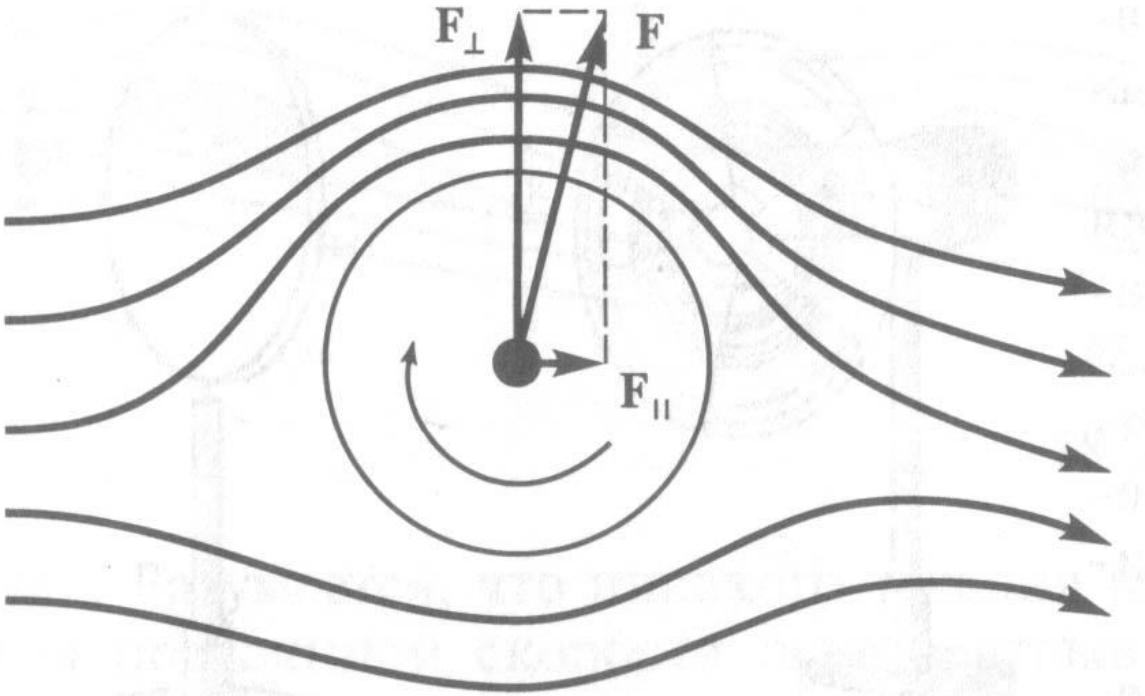


П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.

$$dF = (p_н - p_в)Ldl$$

$$p_н - p_в = \frac{\rho \upsilon_в^2}{2} - \frac{\rho \upsilon_н^2}{2}$$

$$F_\perp = \int dF = \rho v L \int_0^b (\upsilon_в - \upsilon_н) dl = \rho v L \Gamma$$

- Формула Жуковского

П.9.3.3. Подъемная сила. Формула Жуковского. Эффект Магнуса.