



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН
ФАКУЛТЕТ „ОБЩЕСТВЕНО ЗДРАВЕ“
ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

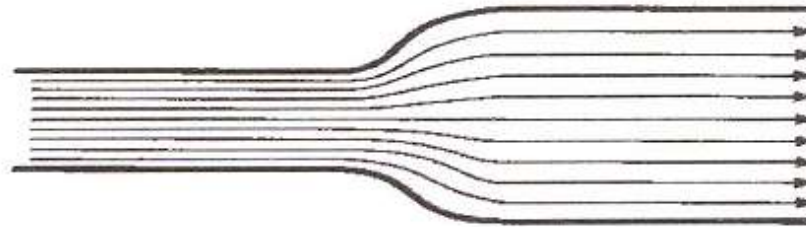
Лекция №12

БИОМЕХАНИКА

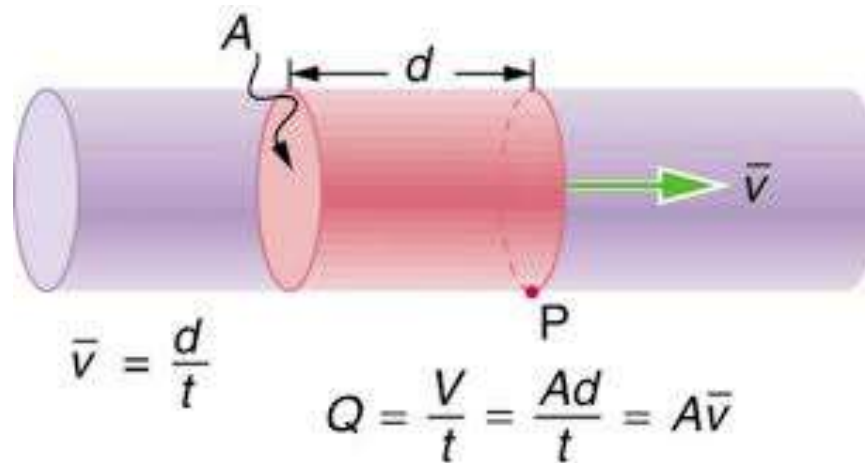
**Елементи от механиката на флуидите. Закон на Хаген-Поазьой.
Хидродинамично съпротивление. Ламинарно и турболентно движение.**

Проф. Константин Балашев, дхн

Стационарно движение на флуидите.



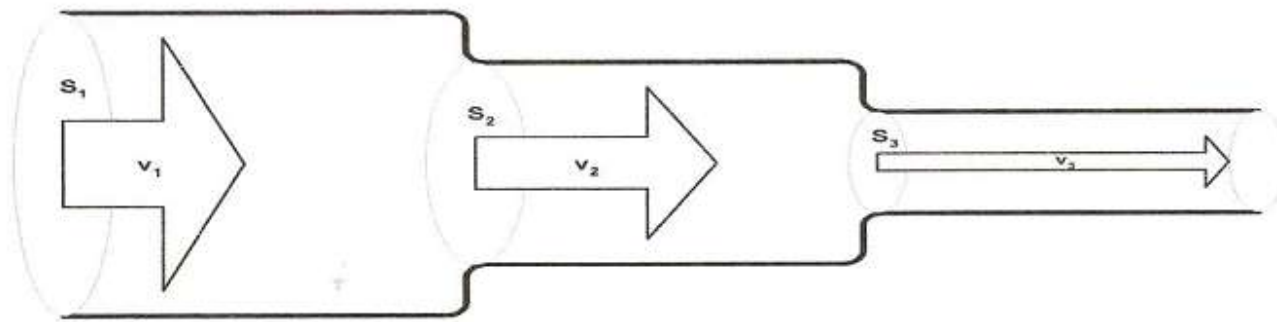
Ако скоростта в коя да е точка от движещ се идеален флуид не се изменя с времето, неговото движение се нарича **стационарно движение**. Стационарно движещ се флуиден поток може да бъде представен с мрежа от токови линии, представляващи траекториите на въображаеми частици, потопени във флуида и движещи се заедно с него. При стационарното движение флуидът е в движение, но токовите линии са неизменни. Там, където те са разположени по-гъсто, скоростта на флуида е по-висока и обратно.



При стационарния тип движение, през което и да е напречно сечение на потока за равни интервали от време Δt преминава еднакъв обем флуид ΔV (и маса, защото е несвиваем). С други думи, интензитетът I на течащия флуид е: $I = \Delta V / \Delta t = \text{const}$. Отношението $\Delta V / \Delta t$ се нарича още **дебит** или **интензитет на флуидния поток**.

Условие за непрекъснатост на потока.

Нека идеален флуид се движи стационарно през тръбопровод с променливо напречно сечение. В такъв случай, поради това, че неговият интензитет I е постоянен и тъй като $\Delta V/\Delta t = S \cdot v$, за всяко сечение на потока произведението на скоростта v и площта на сечението S ще бъде едно и също: $I = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = S_3 \cdot v_3 \dots$

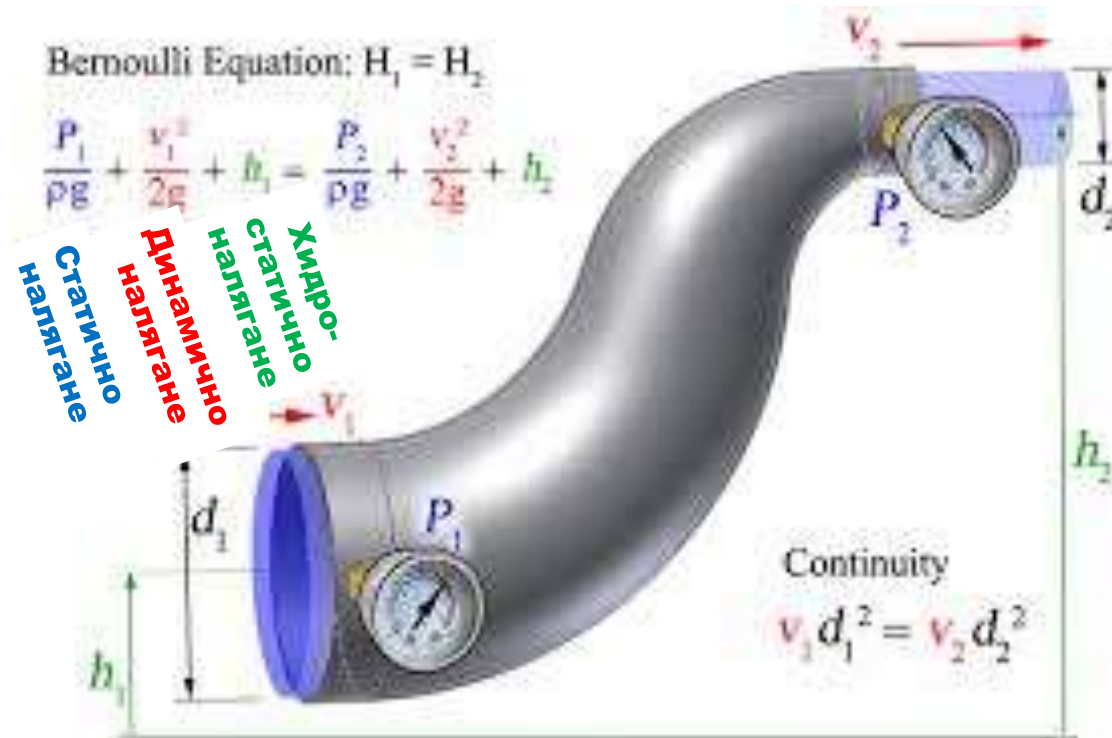


За стационарно движение на флуид в тръба с променливо сечение е изпълнено условието

$$S \cdot v = \text{const}$$

Това уравнение носи наименованието *условие за непрекъснатост на флуидния поток*. От него следва, че при стационарно движение на флуид, намаляването на площта на напречното сечение води до увеличаване скоростта на течене, и обратно.

Закон на Бернули



Един от основните закони в динамиката на флуидите е законът, открит от швейцарския математик и физик Даниел Бернули. Този закон гласи, че при стационарно движение на флуиди за всяко сечение на потока сумата от статичното, хидростатично и динамично налягания е постоянна величина:

$$p_{\text{ст}} + p_{\text{хст}} + p_{\text{дин}} = \text{const.}$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 =$$

Статичното налягане $p_{ст}$ е външно налягане, което, приложено към течността, обуславя нейното движение. Дължи се на работата, която външни сили извършват за преместването на течността. Статично налягане е налягането върху повърхност, успоредна на движещата се течност. То може да бъде измерено с манометър, потопен в течността и движещ се заедно с нея.

Хидростатичното налягане $p_{хст} = \rho \cdot g \cdot h$ (за единица обем от флуида) е допълнително външно налягане, обусловено от масата на флуида. Дължи се на потенциалната енергия, която притежава масата флуид, намираща на определена височина над земното равнище. Хидростатичното налягане оказва влияние върху движението на флуида само ако има участъци от потока, разположени на различна височина от земната повърхност.

Динамичното налягане $p_{дин}$ е налягане, обусловено от движението на флуида и се проявява при неговото спиране. Равно е на кинетичната енергия, притежавана от приведения в движение флуид (за единица обем от флуида $p_{дин} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$). Дължи се на инертността на масата на движещия се флуид. Динамичното налягане се определя от натиска на флуида. То може да бъде измерено с манометър, потопен в движещия се поток, но неподвижен спрямо него.



Когато флуид се движи по хоризонтално разположена тръба $p_{\text{ст}} = \text{const}$. В такъв случай законът на Бернули придобива по-прост вид: $p_{\text{ст}} + p_{\text{дин}} = \text{const}$. Това означава, че в участъците с по-висока скорост на потока (т.е. с по-голямо динамично налягане) статичното налягане ще е по-ниско, и обратно.

Ламинарно и турбулентно движение

По своя характер движението на реалните флуиди може да бъде ламинарно или турбулентно.

Ламинарно (слоесто) е движението, когато отделните слоеве на флуида се движат успоредно един на друг, без да се смесват. Обикновено такава е движението при ниски скорости. Ламинарното движение не изисква голяма загуба на енергия за придвижване на флуида. Стационарното движение е ламинарно, но ламинарното не винаги е стационарно.



При *турбулентното* (вихрово) движение различните слоеве на флуида се завихрят и смесват. Този тип движение се дължи на вискозитета.



Движение на вискозна течност по тръба (закон на Хаген-Поазьой).

Освен вискозитета и други фактори повлияват протичането на флуидите през тръби: разликата в налягането от единия край до другия, дължината на тръбата и нейния радиус.

Оказва се, че интензитетът (I) на флуидния поток през една тръба (т.е. обемът флуид, протичащ за единица време) зависи от разликата в наляганията между единия и другия край ($\Delta p = p_1 - p_2$), дължината (L) на тръбата, нейния радиус (R) и вискозитета (η) на флуида:

$$I = (\pi \cdot \Delta p \cdot R^4) / (8 \cdot \eta \cdot L).$$

Тази зависимост е открита през XIX век независимо един от друг от френския лекар и физиолог Жан-Луи-Мари Поазьой и независимо от него - от немския хидравличен инженер Готхилф Хаген и затова е известна като *закон на Хаген-Поазьой*.

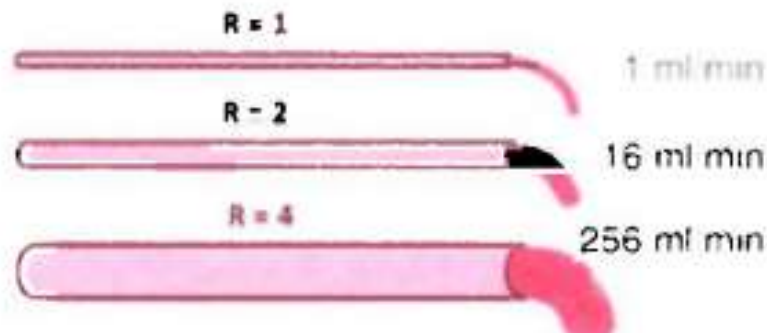
Съгласно закона на Хаген-Поазьой

$$I \propto \Delta p \cdot R^4 / \eta \cdot L$$

• Следователно, ако разликата в наляганията Δp се удвои, дебитът I също се удвоява.

• Интензитетът на потока I се изменя обратно пропорционално на дължината на тръбопровода L и на вискозитета на флуида η . Ако някоя от двете величини се увеличи двойно, дебитът намалява двойно.

• Зависимостта на дебита I от радиуса на тръбата R е много по-силна. Увеличението е право пропорционално на четвъртата степен на радиуса. Ако радиусът се увеличи 2 пъти, дебитът на потока ще се увеличи 16 пъти (2^4), а ако се увеличи 4 пъти, дебитът се увеличава 256 пъти (4^4) !



Ламинарен пото Турбулентен поток

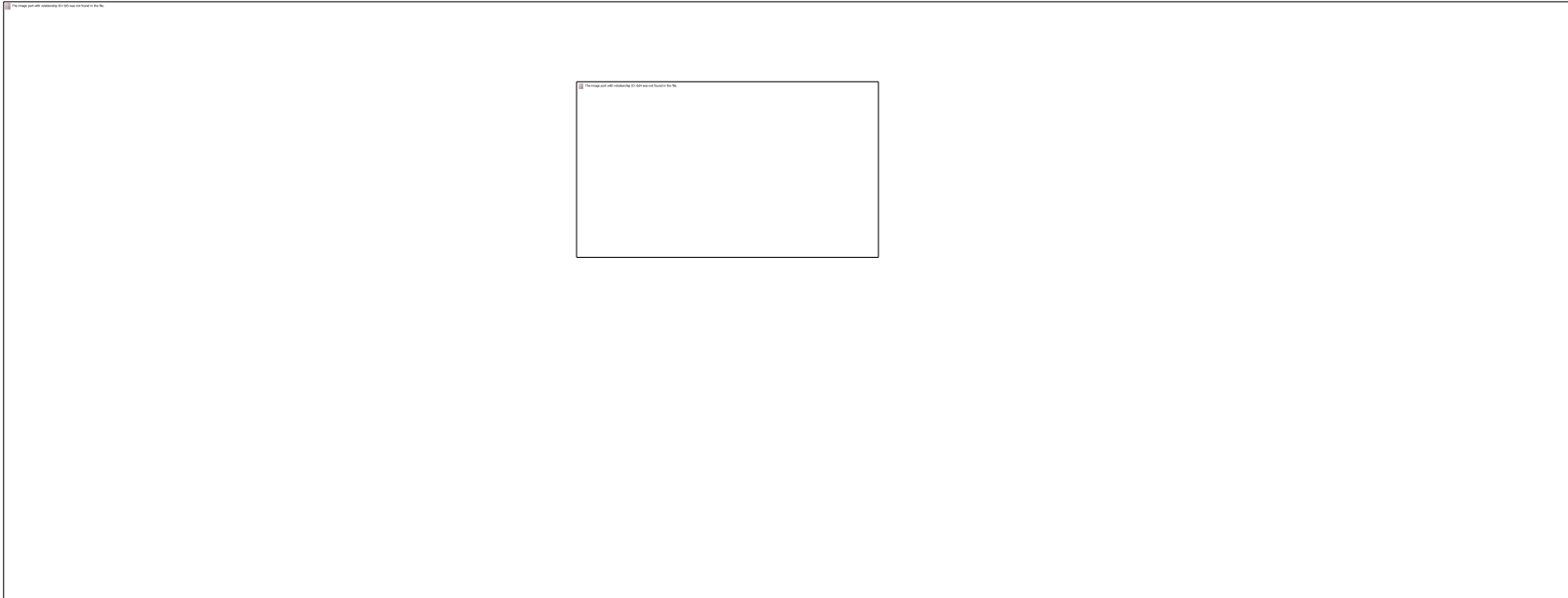


Ако скоростта на един флуид се увеличава плавно, тя ще достигне една критична стойност v_c , над която ламинарният поток преминава в турбулентен. Английският физик Осборн Рейнолдс е изследвал това свойство през 1883 г. Той е установил, че критичната скорост v_c е право пропорционална на вискозитета на флуида (η) и обратно пропорционална на неговата плътност (ρ) и диаметъра (d) на тръбата:

$$v_c = Re \cdot \eta / \rho \cdot d.$$



Константата на пропорционалност Re се нарича *число на Рейнолдс*.



Потокът в тръби с кръгло сечение е:

ламинарен ако $Re < 2300$

преходен ако $2300 < Re < 2600$

Ако има стеснения или грапавини по стените то числото на Рейнолдс има по-ниска стойност. *За потока на кръвта* стойността на $Re = 2000$