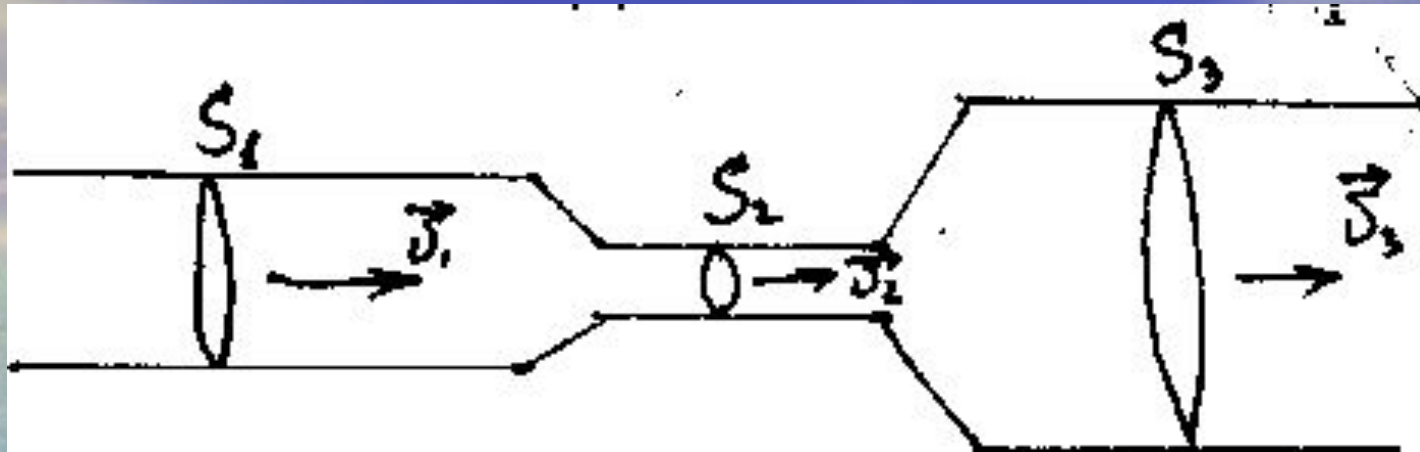


Основи гемодинаміки

- Гідродинамікою називають розділ фізики, в якому вивчають питання руху рідин, які не стискаються та їх взаємодію з оточуючими твердими тілами
- Гемодинамікою називають область біомеханіки, в якій вивчається рух крові по судинній системі.

Розглянемо деякі питання гідродинаміки



Припустимо, що рідина, проходячи систему труб з різними перерізами задовольняє таким умовам:

- Рідина заповнює труби так, що в них не утворюються порожнини.
- Рух рідини в трубах стаціонарний.

Стаціонарний рух — це рух, при якому швидкість рідини в будь-якому місті всередині труби не змінюється з часом.

- В усіх точках визначеного перерізу зберігається середня швидкість рідини.

При визначених умовах об'єм рідини, який проходить через різні перерізи труби за одиницю часу, повинен бути однаковий. В іншому випадку на будь-якій ділянці може відбутися або стискання або її розрив.

Нехай швидкість руху рідини в різних перерізах S_1 і S_2 відповідно дорівнюють v_1 і v_2 . Через переріз S_1 за 1 сек. пройде об'єм рідини

$v_1 \cdot S_1$, а через переріз S_2 - об'єм $V_2 = v_2 \cdot S_2$. Якщо рідина не стискаєма, то $V_1 = V_2$, тобто

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$$

Отже, для всіх поперечних перерізів даної труби $Sv = const$

В цьому полягає

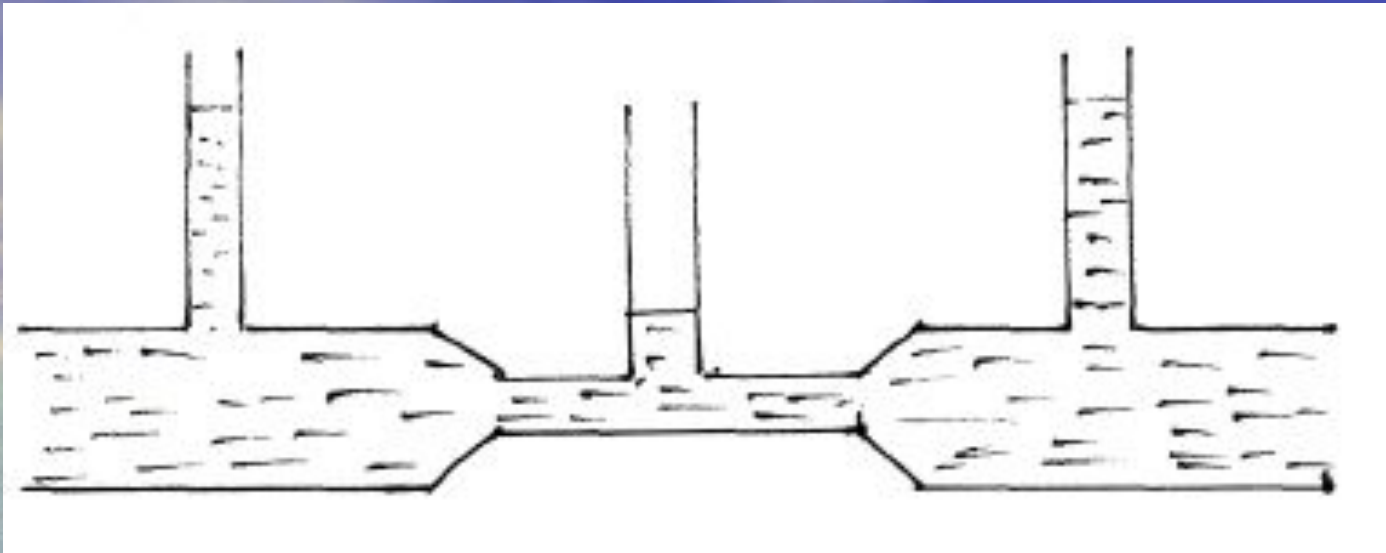
рівняння безперервності струменя.

Ідеальна і реальна рідина Закон Бернуллі

Ідеальна рідина - це рідина, в якій не ураховують сили, що діють між сусідніми шарами, по дотичній до цих шарів.

Для ідеальної рідини справедливий закон Бернуллі

Закон Бернуллі описує розподіл тиску в трубках із змінним поперечним перерізом.



- За рівнями в манометричних трубках видно, що в вузьких місцях труби статичний тиск менший, ніж в широких.
- Це означає, що при переході рідини із широкої частини труби в більш вузьку тиск зменшується, а при переході рідини з більш вузької частини труби в ширшу — тиск підвищується.
- Це пояснюється тим, що швидкість руху в широкій частині менша, а в вузькій частині — більша, тому що, об'єм рідини, що протікає по трубах за один і той самий час повинен бути однаковий.

тиск рідини, що тече по трубі, більший там, де швидкість руху рідини менша, і навпаки: тиск менше там, де швидкість руху рідини більша.

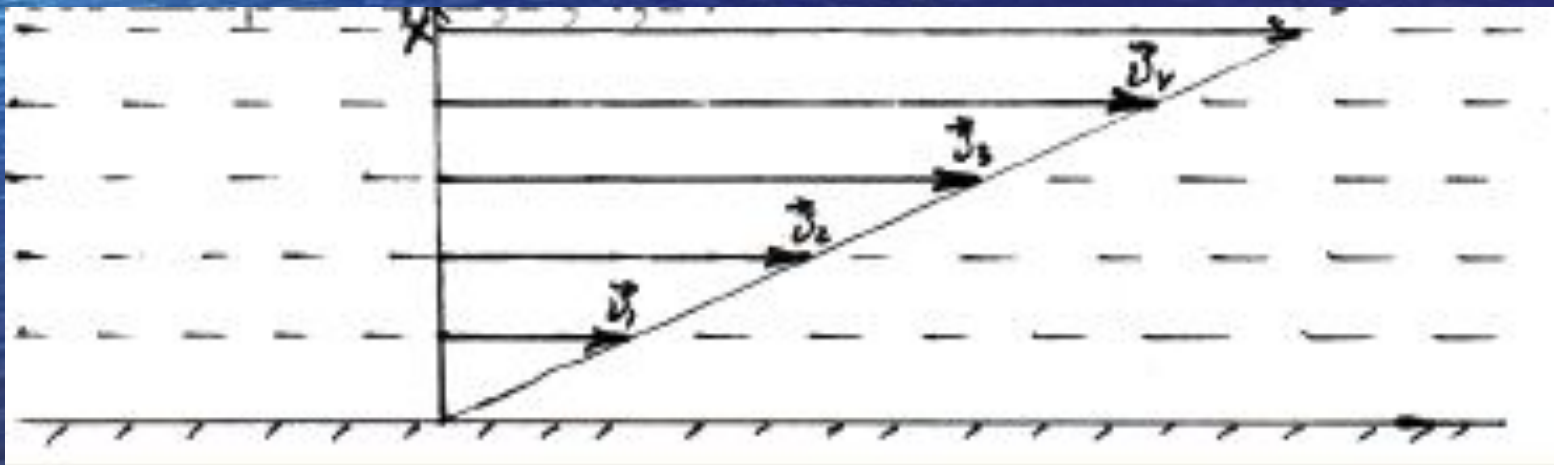
В цьому полягає Закон Бернуллі.

В'язкість рідини

Рух реальної рідини

При русі реальної рідини окремі шари її взаємодіють між собою з силами, дотичними до шарів. Це явище називається внутрішнім тертям або в'язкістю.

Розглянемо рух в'язкої рідини по горизонтальному руслу. Умовно уявимо рідину у вигляді декількох шарів 1,2,3,4,5.



Рух в'язкої рідини по трубах

Рух в'язкої рідини по трубах являє для медицини особливий інтерес, тому що кровоносна система складається в основному із циліндричних судин різного діаметру. Із симетрії видно, що в трубці частинки рухомої рідини, які рівновіддалені від осі, мають однакову швидкість, (див. мал.)



Найбільшу швидкість мають частинки, які рухаються вздовж осі труби; найближчий до труби шар рідини нерухомий.

Об'єм рідини, яка протікає через трубку залежить від радіуса труби та від в'язкості рідини.

$$V = \frac{R^4 \pi (p_1 - p_2)}{8\eta l}$$

Формула Пуазейля

R – радіус трубки

η - в'язкість рідини

$p_1 - p_2$ - різниця тиску

l - довжина трубки

Гідравлічний опір.

При русі рідини по трубах виникає гідравлічний опір X. Він тим більший, чим більша в'язкість рідини, довжина труби і менша площа поперечного перерізу.

$$X = \eta \frac{l}{S}$$

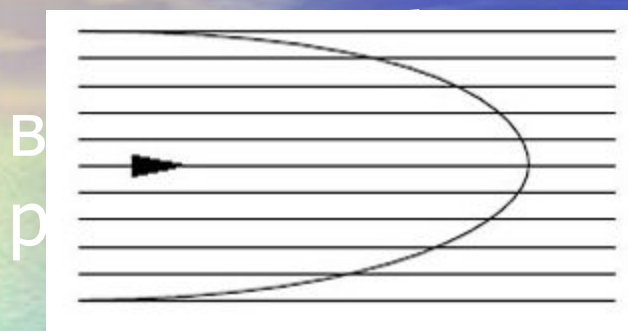
Гідравлічний опір можна порівняти з електричним опором. І за законами послідовного та паралельного з'єднання провідників знаходити гідравлічний опір з'єднання труб.

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_n$$

$$X = \left(\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n} \right)$$

Ламінарний та турбулентний рух рідини

Стаціонарний рух рідини є ламінарним.



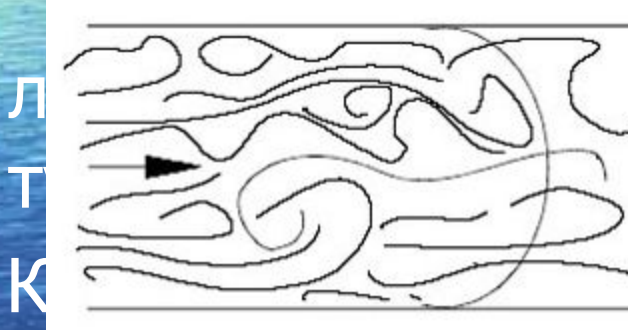
профілювання швидкості руху

характеризує

наступні: відсутність завихрення і

турбулентним.

Швидкість, при якій



рух рідини перетворюється

на

турбулентний рух

на критичною.

Критична швидкість залежить від в'язкості, густини рідини і від радіуса труби

Рух крові в артеріях в нормі є ламінарним, невелика турбулентність виникає поблизу клапанів. При патології, коли в'язкість менша за норму, турбулентність може розповсюдитись на більш довгі ділянки артерії. Такий рух пов'язаний з додатковою затратою енергії при русі крові. Це приводить до додаткової роботи серця. Шум, що виникає при турбулентному русі крові, може використовуватись для діагностики захворювань. Цей шум прослуховують на плечовій артерії при вимірюванні артеріального тиску.

Рух крові по трубах з еластичними стінками

При безперервному русі рідини не має значення ступінь еластичності матеріалу, з якого вироблена трубка. Якщо через трубки пропускати пульсуючий потік, характер руху рідини з скляної і гумової трубок буде різний. Із скляної перервний, а із гумової – стаціонарний. Це пояснюється тим, що при підвищенні тиску еластична трубка розширюється, кінетична енергія рідини частково переходить потенційну енергію деформованих стінок. В моменти припинення роботи насоса відбуваються зворотні енергетичні переходи.