

**КОНВЕКТИВНИЙ ТЕПЛООБМІН. ПОНЯТТЯ
ДИНАМІЧНОГО ТА ТЕРМІЧНОГО ПРИСТІННИХ
ШАРІВ. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ
ПРОЦЕСІВ.**



Конвективний теплообмін здійснюється в умовах сумісного протікання процесів конвекції, теплопровідності та випромінювання. При цьому, теплопровідність найбільш інтенсивно відбувається в граничному шарі середовища та поверхні тіла. Конвективний же теплообмін відбувається якраз в найбільшій степені поза межами цього шару, а теплообмін випромінюванням може здійснюватися з віддаленими тілами, або середовищами безпосередньо чи за допомогою середовища, яке рухається.

Тобто, явище конвективного теплообміну характерно лише для рідин та газів. Об'єми цих середовищ, переміщаючись з областей з більш високою температурою в області з меншою, переносять з собою енергію у вигляді теплоту.

ВИДИ

Вільний

Відбувається внаслідок різниці густин нагрітих та холодних об'ємів рухомого середовища, яке знаходиться в полі дії сили тяжіння.

Вимушений -

виникає під дією сил тиску сторонніх збудників (наприклад - насосу, вентилятора і т.п.). Завжди супроводжується вільним.

РУХ

РЕЖИМИ

Ламінарний-

(в'язкістний)

(частини рідини рухаються лінійно - струменево, тобто пошарово - без збурення маси

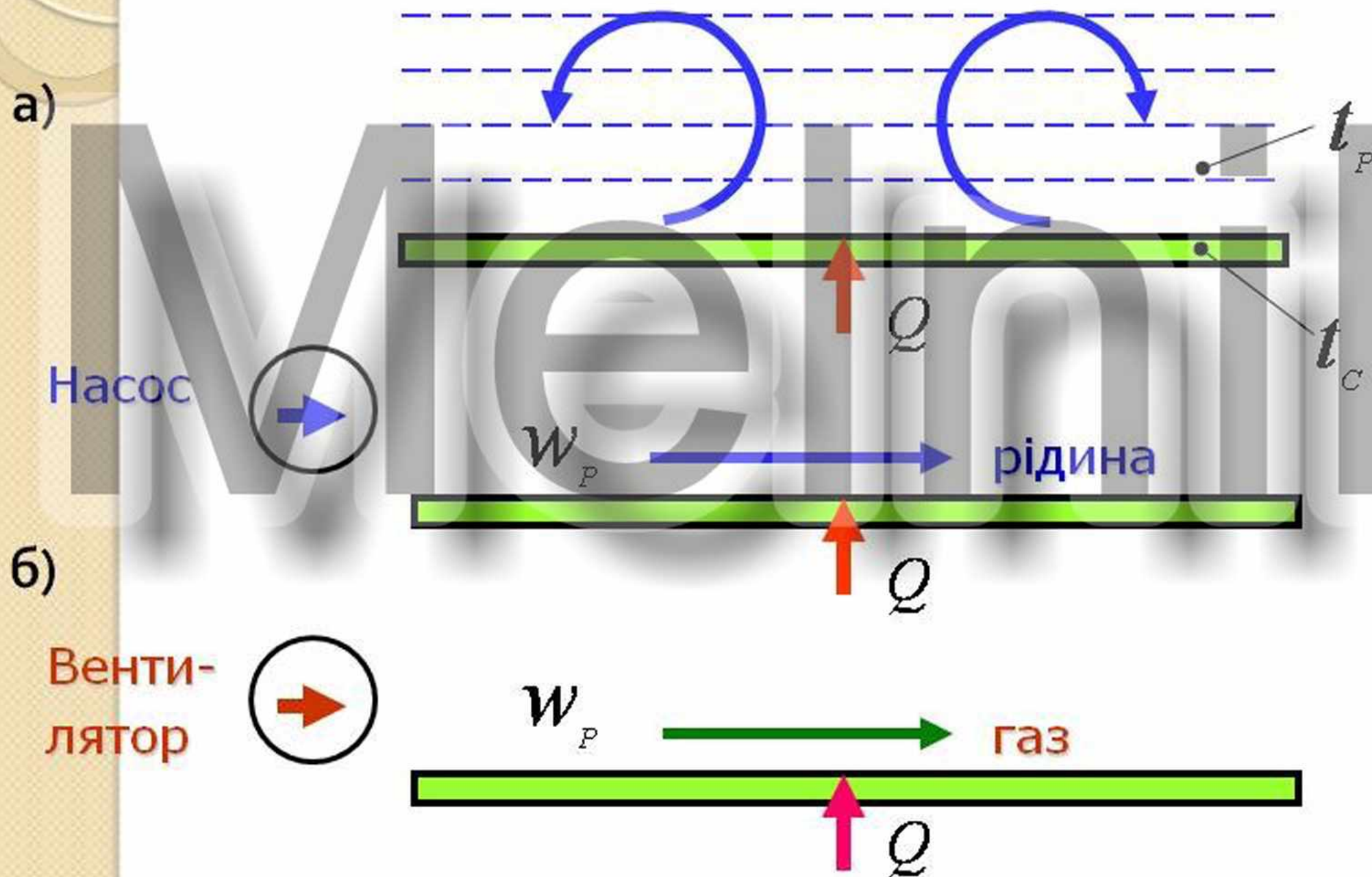
середовища у поперечному напрямку і не перемішуючись, повторюючи обриси каналу чи стінки).

Турбулентний

характеризується безперервним перемішуванням усіх прошарків рідини в усіх напрямках. В

пристінному шарі завжди присутній ламінарний рух.

Конвекція за вільного (природна) (а) та вимушеного (примусова) (б) рухів



- Перехід ламінарного руху в турбулентний визначається числом Рейнольдса (Осборн Рейнольдс, англійський вчений фізик 1842-1912 рр.) – безроз-



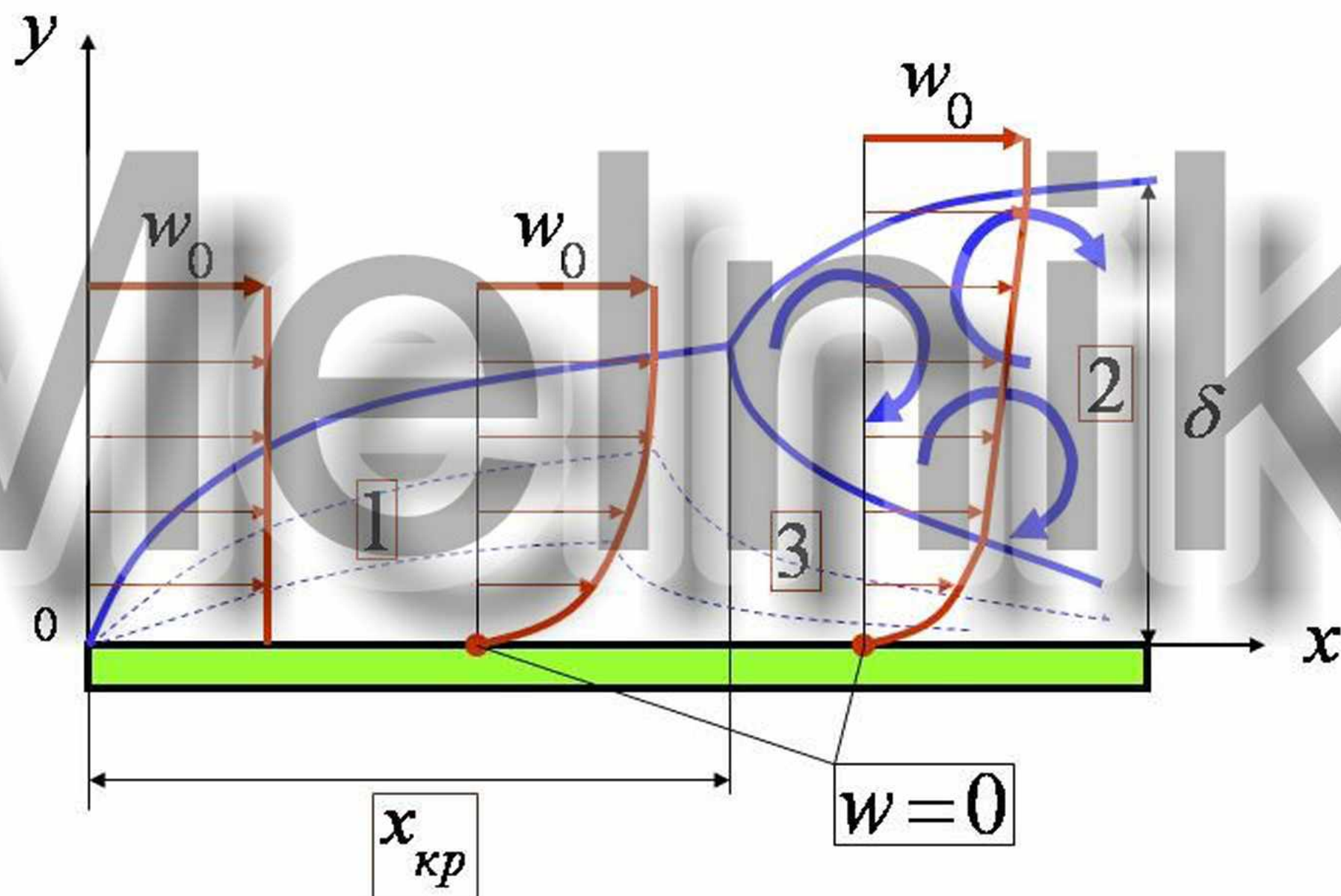
мірним комплексом, названим в його честь: $Re = wd/\nu$, де W – швидкість руху теплоносія (м/с), d – визначальний розмір (м), ν – кінематична в'язкість (м²/с). $\nu = \mu/\rho$.

Кінематична в'язкість дорівнює відношенню динамічної в'язкості рідини чи газу до її густини при тій же температурі.

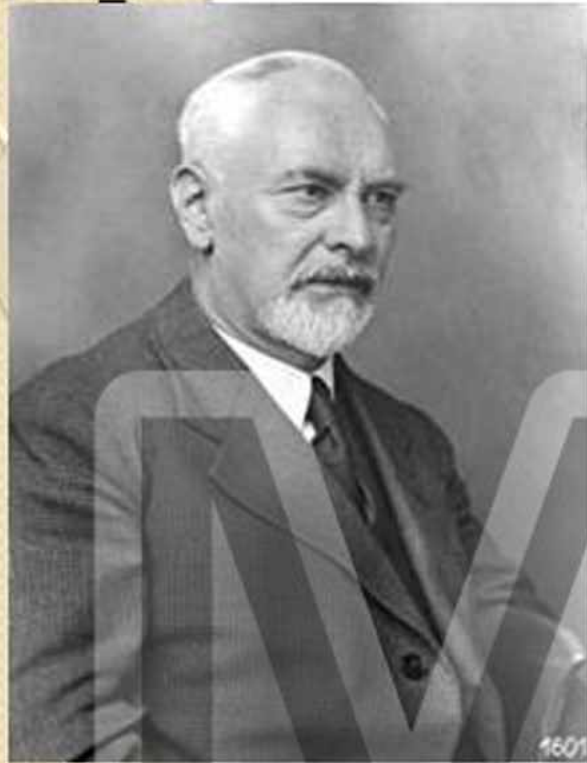
(Динамічна в'язкість μ це коефіцієнт внутрішнього тертя, який визначається силою відносного переміщення із швидкістю 1 см/с двох шарів рідини (газу), площею 1 см² і які знаходяться на відстані 1 см – вимірюється в Пуазах). Тобто, перехід ламінарного руху в турбулентний визначається не кожною окремо взятою величиною W, d чи ν , а саме комп-

лексом цих величин. При будь-якому русі, безпосередньо поблизу обтікаємої поверхні, внаслідок дії сил в'язкого тертя утворюється тонкий шар загальмованої рідини (т.з. гідродинамічний граничний шар), в границях якого швидкість міняється від нуля, на поверхні тіла, до швидкості незбуреного потоку (подаліше від поверхні). Цей шар основний термічний опір при теплоперенесенні.

Гідродинамічний граничний шар



- Основи теорії пристінного шару були в свій час (1904 рік) закладені Л.Прандлем (Людвіг Прандтль, німецький фізик 1875-1953рр.), стосовно теорії гідродинаміки. Критерій подібності, названий в його честь $Pr = \nu/\alpha$ служить для опису фізичних властивостей рідини і являється мірою подібності температурних та швидкісних полів рухомого потоку.

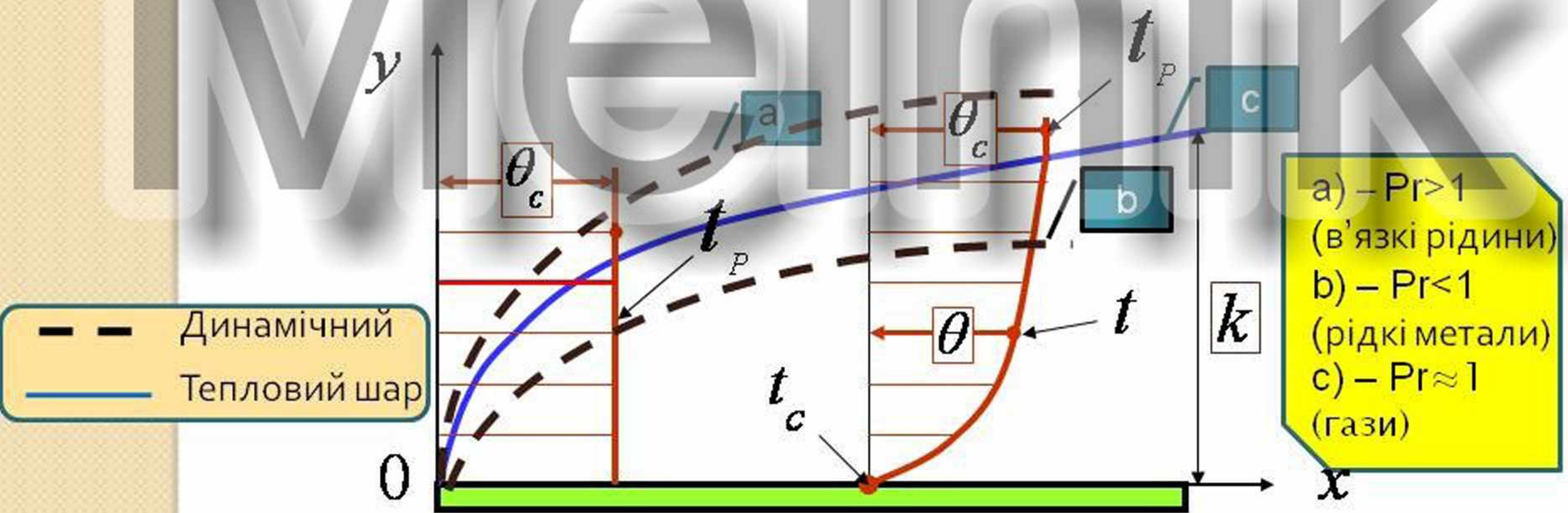


(В загальному випадку товщини теплового та динамічного шарів можуть не співпадати і як раз співвідношення товщини динамічного і теплового граничних шарів визначається числом Прандля. Для в'язких рідин з низькою теплопровідністю (наприклад, олив) число $Pr > 1$ і товщина динамічного граничного шару більша товщини теплового граничного шару. Для газів це число приблизно рівне 1. Для рідких металів число Прандля < 1 і тепловий граничний шар проникає в область динамічного незбуреного потоку – тобто, “товстіший” динамічного граничного шару).

- В загальному, за товщину динамічного та теплового пристінного шарів, приймають таку товщину, в границях якої швидкість (динамічний) та температура (тепловий) змінюються від 0 до 0,99 величини відповідного параметру в основному незбуреному потоці рідини.

Тепловий граничний шар

По аналогії з гідродинамічним граничним шаром Кружилін ввів поняття **теплого граничного шару** - це шар рідини біля поверхні теплообміну, в якому температура змінюється від температури поверхні до температури рідини, яка знаходиться відносно далеко від самої поверхні. В загальному випадку товщини цих шарів не співпадають, хоча співставимі.



Коефіцієнт тепловіддачі. Рівняння Ньютона-Ріхмана.

- При розрахунках тепловіддачі користуються формулою Ньютона-Ріхмана $\partial Q = \alpha \cdot F(t_c - t_p) \cdot \tau$. Якщо α і $(t_1 - t_2)$ (в подальшому будемо називати: тепловий напір) не залежать від часу і не змінюються по поверхні F , то $Q = \alpha \cdot F(t_c - t_p)$. Тут, в загальному випадку, α - коефіцієнт тепловіддачі, визначається геометричною формою і розмірами тіла, його положенням у просторі, фізичними властивостями середовища та поверхні, температурними умовами, швидкістю і напрямком руху середовища, природою виникнення руху і рядом інших факторів. Тобто, він не являється фізичною константою ($\alpha = f(c, \rho, \mu, \lambda, x, y, z, \dots)$), як наприклад – коефіцієнт теплопровідності. В агрегатах, які вивчають в теплотехніці, рух відбувається в основному турбулентно і для них коефіцієнт тепловіддачі визначають експериментально з використання теорії подібності.

Значення коефіцієнта тепловіддачі для різних випадків теплообміну

Вид теплообмена	Значение α , Вт/(м ² · К)
Нагревание и охлаждение:	
воздуха	2 ... 60
газов	10 ... 50
перегретых паров	23 ... 115
органических жидкостей	300 ... 2500
воды	500 ... 5000
масел	50 ... 1700
Кипение:	
воды и водных растворов	580 ... 50 000
органических жидкостей	800 ... 2500
Конденсация:	
водяных паров:	
пленочная	4000 ... 17 000
капельная	4000 ... 120 000
органических растворителей (пленочная)	500 ... 2000

ШЛЯХИ ЗНАХОДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ

АНАЛІТИЧНИЙ
(не є точним, багатьма факторами
необхідно нехтувати, необхідно
проводити багато дослідів і т.п.)

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ
ВИЗНАЧЕННЯ** різниці температур
та густини теплового потоку
(велика похибка, неможливо
застосувати для апаратів на стадії
розробки і т.п.)

МЕТОД ТЕОРІЇ ПОДІБНОСТІ

(Дозволяє поєднати переваги
аналітичного та експериментального
шляхів, наприклад мати змогу
поширювати результати отримані на
одному апараті чи моделі на інші
апарати чи зразки)

Основи теорії подібності

- Теорія подібності – це вчення про подібні явища. Вона дозволяє з аналізу диференціальних рівнянь та умов однозначності зробити ряд висновків, не застосовуючи інтегрування і тим самим дає однозначну теоретичну базу для проведення дослідів та їх інтерпретації.
- Подібними називають явища, які мають однакову фізичну природу та описуються однаковими по формі та змісту рівняннями.

ВИДИ ПОДІБНОСТІ

ФІЗИЧНА

ГЕОМЕТРИЧНА

Гідро-
динамічна

Теплова

Часова та
інші

- Перша теорема подібності (Ньютона): для подібних явищ однойменні числа подібності однакові ($Re_1 = w_1 d_1 / \nu_1 = w_2 d_2 / \nu_2 = Re_2$).
- Друга теорема подібності (Бекінгема-Федермана): розв'язок системи рівнянь, що описують явище, можна зобразити у вигляді чисел подібності, що складені на підставі цих рівнянь. Ця функція має назву рівняння подібності. (Наприклад: $Nu = f(Re, Pr, Gr \dots)$. Найчастіше її вигляд: степенева функція.).
- Третя теорема подібності (Кирповича-Гухмана) вказує на ознаки подібності явищ: Явища подібні між собою, якщо їх описують однакові рівняння, а складені з умов однозначності числа подібності є попарно однаковими. Це є основою моделювання. Якщо є певність, що умови однозначності для моделі та зразка подібні, то можна вважати, що й явища в них цілком подібні. Наприклад, якщо числа Re в зразку і моделі однакові, то й значення чисел Nu теж однакові.