

# Внутрішнє тертя

Виконала студентка 2-курсу

групи Ф-22

Квітка Вікторія

**Внутрішнє тертя або в'язкість** — це властивість рідких речовин (рідин і газів) чинити опір переміщенню однієї їх частини відносно іншої.

кг · м/с за 1 с. Отже, коефіцієнт в'язкості виражається в кілограмах на метр-секунду [кг/(м · с)]. У системі одиниць СГС коефіцієнт в'язкості виражається у грамах на сантиметр-секунду [г/(см · с)]. Цю одиницю називають пуаз. Одиницею виміру коефіцієнта кінематичної в'язкості є відповідно квадратний метр на секунду ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) і квадратний сантиметр на секунду ( $\text{см}^2/\text{с}$ ). Цю одиницю називають стокс. Згідно із законом Ньютона для внутрішнього тертя в'язкість характеризується коефіцієнтом пропорційності між напруженням зсуву і градієнтом швидкості руху шарів у перпендикулярному до деформації зсуву напрямку (поверхні шарів):

Коефіцієнт називають динамічний коефіцієнт в'язкості або абсолютною в'язкістю. Одиниця вимірювання динамічного коефіцієнта в'язкості — Па с, Пуаз (0,1 Па·с). Кількісно динамічний коефіцієнт в'язкості дорівнює силі  $F$ , яку треба прикласти до одиниці площі зсувної поверхні шару  $S$ , щоб підтримати в цьому шарі ламінарну течію із сталою одиничною швидкістю відносного зсуву.

# Типи в'язкості

Закон Ньютона для в'язкості, наведений вище, є класичною моделлю в'язкості. Це не основний закон природи, а наближення, що має місце для деяких матеріалів і не підтверджується для інших.

Неньютонівської рідини мають значно складніший зв'язок між напруженням зсуву і градієнтом швидкості, ніж проста лінійність. Тому, для різних видів рідин застосовують різні моделі в'язкості:

- **Ньютонівська рідина**: рідина, така як вода і більшість газів, що має стале значення динамічної в'язкості.
- **Дилатантна рідина**: рідина, в'язкість якої із зростанням градієнту швидкості зростає (глиняні суспензії, солодкі суміші, гідрозоль кукурудзяного крохмалю, системи пісок/вода).
- **Псевдопластик**: рідина, в'язкість якої із зростанням градієнту швидкості зменшується (фарби, емульсії, деякі суспензії).
- **Тиксотропна рідина**: рідина, в'язкість якої з перебігом часу зменшується (водоносні грунти (пливуни), біологічні структури, різні технічні матеріали).
- **Реопексна рідина**: рідина, в'язкість якої з перебігом часу зростає (гіпсові пасти, суспензії оксиду ванадію, бетоніти та окремі види принтерного чорнила).
- **Бінгамівський пластик**: модель Бінгама схожа до моделі сухого тертя. В статичних умовах рідина веде себе як твердий матеріал, а при силовому впливі починає текти..
- **Магнітореологічна рідина** це тип "смарт-рідини", яка, при впливі магнітного поля значно збільшує свою умовну в'язкість і набуває властивостей в'язко-пружного твердого тіла.

# Методи визначення в'язкості

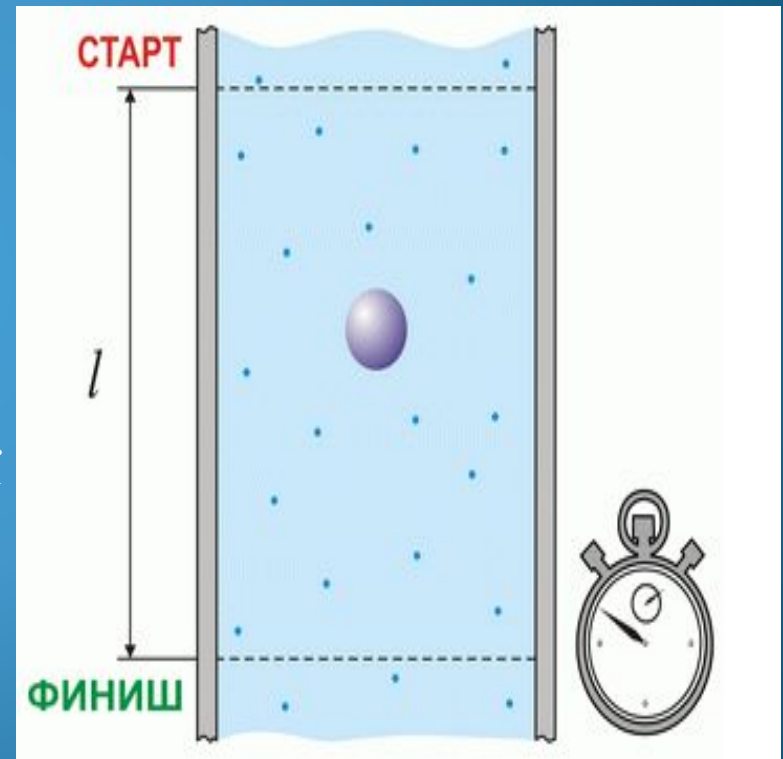
Метод Стокса  
Метод Оствальда



# Метод Стокса

Метод Стокса використовується в медицині: з реакції осідання еритроцитів (РОЕ) у плазмі крові судять про в'язкості плазми: чим в'язкість плазми більше, тим величина стовпа осіли за певний час еритроцитів менше. Для визначення коефіцієнта беруть високий циліндр з досліджуваною рідиною, на циліндрі є кільцева замітка вгорі.

Ця замітка відповідає тій висоті, де сили діють на кульку врівноважують один одного. Крім того на відстані  $l$  від верхньої мітки є така ж мітка внизу (для зручності відліку кінця падіння кульки). Кидаємо кульку в циліндр, відзначаємо за секундоміром час  $t$  проходження ним шляху  $l$ , звідки визначаємо швидкість падіння. Діаметр кульки визначаємо за допомогою мікрометра



# Метод Оствальда

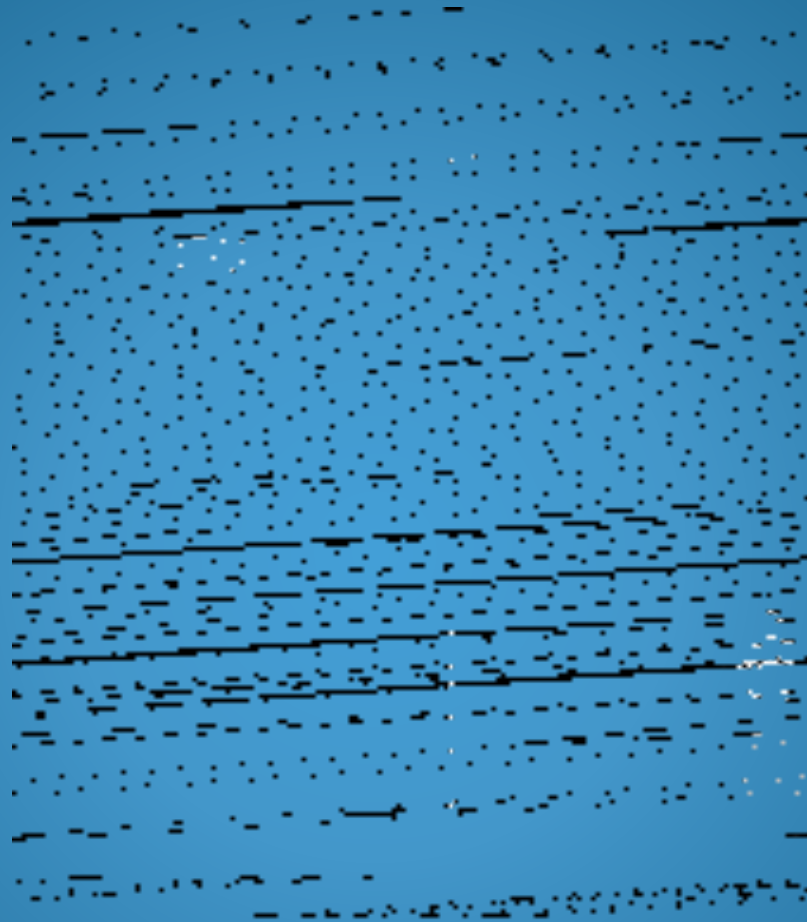
Прилади для вимірювання в'язкості рідин називаються віскозиметрами (від лат. *viscosus* – в'язкий та грец. *metréō* – вимірюю). Найбільш розповсюдженими є капілярні, ротаційні, з рухомою кулькою та ультразвукові віскозиметри. Розглянемо деякі з них.

1. Віскозиметр Оствальда – Пінкевича являє собою -подібну скляну трубку (рис. 3.26). Одне коліно її має кулясте розширення 1, обмежене двома позначками для відліку об'єму досліджуваної рідини, і впаяний капіляр 2. Друге коліно з розширенням 3 призначене для зливання рідини, що протікає через капіляр. Спочатку в це коліно вливають вимірною піпеткою певний об'єм рідини (однаковий у дослідах з різними рідинами), а звідси за допомогою гумової груші 4 рідину засмоктують з розширення 1. Далі вимірюють час витікання цієї рідини через капіляр.

Оскільки рідина витікає внаслідок різниці рівнів у колінах віскозиметра (ця різниця є однаковою в дослідах з різними рідинами), то замість відношення тисків, під якими витікають рідини, можна взяти відношення їхньої густини



# Віскозиметр Оствальда



- Тоді формула для визначення коефіцієнта в'язкості рідин відносним методом за допомогою віскозиметра Оствальда – Пінкевича буде:
- $\eta = \frac{4\pi r^4 \rho g \Delta h}{9000 V t}$ , або  $\eta = \frac{4\pi r^4 \rho g \Delta h}{9000 V t}$
- тобто:  $\eta = \frac{4\pi r^4 \rho g \Delta h}{9000 V t}$ ,
- де  $\eta$  та  $\rho$  – коефіцієнти кінематичної в'язкості досліджуваної та відомої рідини, відповідно. Отже, капілярним віскозиметром Оствальда–Пінкевича безпосередньо вимірюють кінематичну в'язкість рідини. Щоб забезпечити сталу температуру в дослідах, віскозиметр вміщують у термостат або велику посудину з водою заданої температури, яка підтримується сталою на протязі всього досліді. Густина досліджуваної рідини визначають пікнометром

# Ротаційний віскозиметр М.П. Воларовича

Для визначення в'язкості рідин та повних реологічних характеристик пластично-в'язких систем широко застосовуються ротаційні віскозиметри. Ротаційний віскозиметр, запропонований М.П. Воларовичем складається з двох циліндрів – нерухомого (зовнішнього) 1 та рухомого (внутрішнього) 2, який обертається під дією вантажу 3, що падає донизу під дією сили тяжіння.

- Поміж циліндрами 1 та 2 віскозиметра розміщується досліджувана речовина. Вантаж опускається та фіксується частота обертання  $N$  (об/с) циліндра 2 при значенні ваги  $P$  вантажу 3 та виключенням сили тертя  $P_0$  підшипників 4 приладу. Для підтримання заданої та постійної температури досліду прилад розміщують в термостат 5.
- В'язкість розраховують за формулою
- де  $K$  – стала приладу, яка залежить від розмірів циліндрів. Вона вказується в характеристиці віскозиметра або визначається відповідними дослідженнями.

