

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО) ЗАНЯТТЯ

Навчальна дисципліна	Медична і біологічна фізика
Модуль №1	Основи вищої математики та біологічної фізики
Змістовний модуль №	Біологічна фізика
Тема заняття	В'язкість рідин. Методи визначення в'язкості рідин
Курс	I, II
Факультет	Медичний №1, 2, стоматологічний

Актуальність теми:

У медичній практиці велику увагу приділяють в'язкості різних біологічних рідин (крові, лімфи, молока, слини, сечі, спинномозкової рідини). Наприклад, в'язкість крові неоднакова в чоловіків та жінок, змінюється з віком (що є важливим для судово-медичних досліджень), а також при різних захворюваннях, залежить також від умов життя та харчування. У нормі вона дорівнює 4-5 сПз (санти Пуаз). При патології коливається від 1,7 до 22,9 сПз, що відбивається на швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ). Венозна кров має більшу в'язкість, ніж артеріальна. При тяжкій фізичній праці збільшується в'язкість крові. Деякі інфекційні захворювання збільшують в'язкість крові, інше – черевний тиф, туберкульоз – зменшують її.

2. Конкретні цілі:

- *Знати* визначення в'язкості рідини та одиниці вимірювання в'язкості;
- *Ознайомитись* з методами визначення в'язкості рідини; з будовою та принципом роботи віскозиметра ВК-4;
- *Засвоїти* метод Стокса для визначення в'язкості рідини;
- *Навчитися* визначати в'язкість крові за допомогою віскозиметра ВК-4;

3. Базові знання вміння навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція)

Назви попередніх дисциплін	Отримані навички
1. Фізика	Знати поняття сили, одиниця вимірювання сили. Ідентифікувати сили. Класифікувати сили. Графічно зображувати сили.

4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
Сили внутрішнього тертя. В'язкості рідини. Ньютонівські та неньютонівські рідини. Метод Стокса. Визначення в'язкості рідини за допомогою віскозиметра ВК-4.	*Сила внутрішнього тертя є результатом сил молекулярного зчеплення на межі двох шарів і переходу молекул з одного шару в інший внаслідок хаотичного руху. *Властивість рідини чинити опір рухові її шарів одного відносно іншого називається в'язкістю рідини. *Рідини наз. ньютонівськими, коли їх в'язкість залежить лише від природи рідини та температури. Рідини, в'язкість яких залежить не лише від їх природи та температури, але й від тиску та швидкості течії наз. структурно-в'язкими або неньютонівськими рідинами.

4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. Що таке сили внутрішнього тертя? Чим зумовлене виникнення даних сил?

2. Що називається в'язкістю рідини? Які одиниці вимірювання в'язкості?
3. Що таке в'язкість крові? Від чого залежить в'язкість крові у людини?
4. Ньютонівські та неньютонівські рідини.
5. Вимірювання в'язкості рідини методом Стокса.
6. Капілярна віскозиметрія. Метод вимірювання в'язкості рідини за допомогою віскозиметра ВК-4.

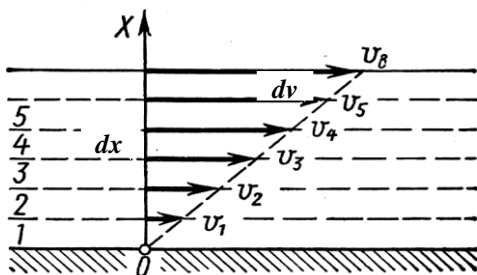
4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті: Визначення в'язкості крові за допомогою віскозиметра ВК-4

1. Промити скляні наконечники спиртом;
2. Опустити кінець однієї піпетки в дистильовану воду й засмоктати її до позначки «0»;
3. Закрити кран першої піпетки;
4. Засмоктати кров у другу піпетку до позначки «0»;
5. Відкрити крани та засмоктати кров до позначки «1»;
6. Визначити відстань, пройдену водою та кров'ю;

Дослід повторити три рази та занести дані в таблицю. Провести обчислення згідно формули (7) та знайти середнє значення в'язкості.

Зміст теми:

При русі реальної рідини по трубах чи крові по кровоносних судинах, різні шари їх мають неоднакову швидкість: центральні шари рідини чи крові рухаються з більшою швидкістю, ніж периферичні. Це пояснюється тим, що швидкість шару, що



мал. 1

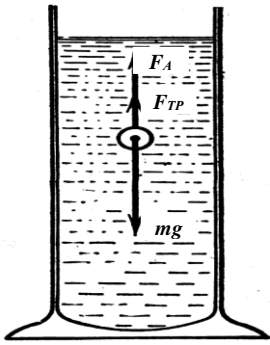
прилипає до стінки труби, внаслідок змочування, дорівнює нулю, а в міру віддалення від неї швидкість шарів рідини збільшується (мал. 1). Інакше кажучи, у таких потоках рідини існує рух одного шару рідини відносно іншого.

Між двома шарами рідини з різними швидкостями виникає сила внутрішнього тертя. Вона є результатом сил молекулярного зчеплення на межі двох шарів і переходу молекул з одного шару в інший внаслідок хаотичного руху. Властивість рідини чинити опір рухові її шарів одного відносно іншого називається *в'язкістю рідини*.

Рідини називаються *ньютонівськими*, коли їх в'язкість залежить лише від природи рідини та температури (з підвищенням температури в'язкість зменшується і навпаки). До ньютонівських рідин відносяться: вода, низькомолекулярні органічні сполуки, розчини солей, кислот, лугів та розплавлені метали. Високомолекулярні сполуки (розчини полімерів), дисперсні системи (суспензії, емульсії), в'язкість яких залежить не лише від їх природи та температури, але й від тиску та швидкості течії (при збільшенні швидкості течії в'язкість зменшується і навпаки), називаються *структурно-в'язкими* або *неньютонівськими* рідинами.

Ньютон експериментально встановив та довів, що сила внутрішнього тертя (в'язкості) пропорційна градієнту швидкості $\left(\frac{\Delta v}{\Delta x}\right)$ і площі шарів S , між якими

визначається тертя:



Мал. 2

$$F = \eta \left(\frac{\Delta v}{\Delta x} \right) S, \quad (1)$$

де η – коефіцієнт внутрішнього тертя або в'язкості; він залежить від роду рідини, температури та наявних домішок.

Одиниці вимірювання коефіцієнта в'язкості $[\eta] = [Па \cdot c] = \left[\frac{Н \cdot c}{м^2} \right]$,

або пуаз. $1 Па \cdot c = 10 Пз$.

В'язкість лімфи та плазми крові досить добре описуються законом Ньютона для в'язкої течії, тому їх можна віднести до ньютонівських рідин. Кров являє собою суспензію формених елементів у білковому розчині – плазмі. При русі крові по судинах спостерігається концентрація формених елементів по осі течії, де в'язкість незначно збільшується. Тому кров відносять до неньютонівських рідин. Але так як в'язкість крові невелика, то цими змінами нехтують та вважають її коефіцієнт в'язкості сталою величиною.

Класичним методом визначення в'язкості рідин є *метод Стокса*, вході якого було експериментально встановлено, що при русі кульки у в'язкому середовищі з невеликою швидкістю, коли немає завихрень, на неї діє сила опору, пропорційна коефіцієнту в'язкості, радіусу кульки та швидкості її руху:

$$F = 6\pi\eta r v, \quad (2)$$

При падінні кульки в рідині ця сила зростає, доки не зрівноважить вагу кульки, після чого рух кульки стає рівномірним (мал. 2). Точніше швидкість рівномірного руху v кульки визначають за умови рівноваги сил:

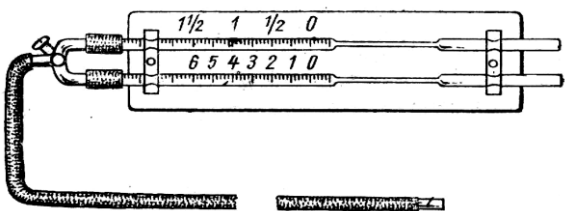
$$P = Q + F, \quad (3)$$

де P – вага кульки, Q – виштовхувальна сила рідини, F – сила опору рідини.

Підставивши значення цих сил, матимемо:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g + 6\pi\eta r v, \quad (4)$$

звідки:



Мал. 3

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho_1)gr^2}{9v}, \quad (5)$$

де ρ – густина кульки, ρ_1 – густина рідини.

Закон Стокса лежить в основі *методу визначення швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ) крові*. Вимірювання ШОЕ в плазмі крові є надзвичайно важливим методом діагностики, що дає можливість встановити наявність запальних процесів в організмі людини.

У зв'язку з необхідністю досить великої кількості рідини, метод Стокса не може бути використаний для визначення в'язкості крові. З цією метою користуються віскозиметром ВК-4 (мал. 3), принцип дії якого базується на законі Пуазейля. Віскозиметр ВК-4 складається з двох проградуєваних однакових піпеток-капілярів. Відстань, яку проходить рідина в капілярі під дією градієнту тиску, обернено пропорційна в'язкості рідини. Тому відношення в'язкостей відомої та невідомої рідин, обернено пропорційне відповідним відстаням. В якості рідини з відомою в'язкістю

використовують воду. Тому:

$$\frac{\eta_{\text{води}}}{\eta_{\text{крові}}} = \frac{h_{\text{крові}}}{h_{\text{води}}}, \quad (6)$$

звідки:

$$\eta_{\text{крові}} = \frac{\eta_{\text{води}} \cdot h_{\text{води}}}{h_{\text{крові}}}, \quad (7)$$

Матеріали для самоконтролю:

1. Чи є сироватка крові людини ньютонівської рідиною?
 - А. Є псевдопластичною рідиною
 - Б. Так, є, але тільки при низьких швидкостях зсуву
 - В. Так, є, але тільки при високих швидкостях зсуву
 - Г. Ні, не є
 - Д. Так, є завжди
2. Що може привести до турбулентної течії рідини?
 - А. збільшення поперечного перерізу
 - Б. збільшення в'язкості рідини
 - В. збільшення швидкості рідини
 - Г. збільшення стаціонарного тиску
 - Д. Зменшення поперечного перерізу
3. Як змінюється швидкість течії рідини, якщо діаметр трубки по якій тече рідина зменшується вдвічі?
 - А. рідина тече вдвічі швидше
 - Б. рідина тече вдвічі повільніше
 - В. рідина тече вчетверо швидше
 - Г. рідина тече вчетверо повільніше
 - Д. не змінюється
4. Що таке градієнт швидкості руху рідин?
 - А. зміна швидкості руху рідини з часом
 - Б. зміна швидкості руху рідини між шарами
 - В. зміна швидкості руху рідини між шарами відносно до відстані між ними
 - Г. зміна швидкості руху рідини при зміні площі поперечного перерізу
 - Д. не відбувається зміна чутливості
5. Яка течія рідини є стаціонарною?
 - А. через поперечний переріз S протікає однакова кількість рідини
 - Б. лінія току не змінюється з часом
 - В. швидкість рідини для будь-якої точки трубки току не залежить від часу
 - Г. лінії току співпадають з траєкторіями руху частинок рідини
 - Д. швидкість рідини для будь-якої точки трубки току не залежить ні від координати, ні від часу
6. Яка формула лежить в основі метода визначення в'язкості крові віскозиметром ВК-4:
 - А. Пуассона
 - Б. Ньютона

- В. Пуазейля
 - Г. Бернуллі
 - Д. Столетова
7. Що впливає на в'язкість крові?
 - А. зміна кількості формених елементів
 - Б. зміна швидкості руху крові
 - В. зміна концентрації солей в крові
 - Г. зміна концентрації білків
 - Д. зміна температури
 8. Від чого залежить коефіцієнт в'язкості ньютонівської рідини?
 - А. роду рідини
 - Б. густини рідини
 - В. температури
 - Г. складу розчину
 - Д. площі поперечного перерізу
 9. Чому в методі Стокса швидкість кульки вимірюється не з початку руху?
 - А. тому, що на початковій стадії не діє сила Архімеда
 - Б. тому, що на початковій стадії рух кульки не рівномірний
 - В. тому, що на початковій стадії не діє сила тертя
 - Г. тому, що на початковій стадії швидкість дуже мала
 - Д. тому, що на початковій стадії не діє сила тяжіння
 10. За рахунок чого може змінюватись в'язкість крові?
 - А. зміни кількості формених елементів
 - Б. зміни швидкості руху
 - В. зміни концентрації солей
 - Г. зміни концентрації білків
 - Д. зміни форми еритроцитів

Б. Задачі для самоконтролю

1. Якої найбільшої швидкості v може досягти дощова краплина діаметром $d = 0,3$ мм? В'язкість повітря вважати рівною $\eta = 16,7 \cdot 10^{-6}$ Па·с.
2. Визначити час підйому частинок олії діаметром $d = 2$ мкм при відстоюванні молока в склянці висотою 10 см. Густину молока вважати рівною 1034 кг/м³, густину олії відповідно 940 кг/м³ та в'язкість молока – $\eta = 10^{-3}$ Па·с.
3. Визначити розміри свинцевої кульки, що, падаючи в касторовій олії при $t = 20^{\circ}\text{C}$, проходить при сталій швидкості за $t = 20$ с відстань $l = 0,5$ м.

Література.

Основна:

1. Медична і біологічна фізика/ За ред. О. В. Чалого, 2-ге видання.- К.: Книга-плюс, 2005.
2. Медична і біологічна фізика / За ред. О. В. Чалого. Т. 1 – К.: Віпол,1999; Т. 2- К.: Віпол, 2001.
3. Медична і біологічна фізика (практикум) за ред. О. В. Чалого. - К.: Книга-плюс, 2003.
4. Свердан П. Л. Вища математика: Аналіз інформації у математиці та медицині. - Львів: Світ, 1998.
5. Чалий О. В., Стучинська Н. В., Меленевська А. В. Вища математика. - К.: Техніка, 2001.

6. Костюк П. Г., Зима В. Л., Магура І. С., Мірошніченко М. С., Шуба М.Ф. Біофізика. – К.: Обереги, 2001.
7. Тиманюк В. А., Животова Е. Н. Біофізика. – Харків, Изд-во НФАУ, 2003.
8. Зима В. Л. Біофізика. Збірник задач. - К.: В. шк.,2001.
9. Русяев В. Ф., Мищенко С. В., Пронина Н. В. Медицинская физика (сборник вопросов и задач). – Полтава, АСМИ 2001.
10. Іщейкіна Ю.О., Макаренко В.І., Тронь Н.В. Медична і біологічна фізика [Навчальний посібник] – Полтава: Шевченко Р.В., 2012. – 352 с., іл.

Додаткова:

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высш. шк., 1992.
2. Антонов В. Ф. и др. Биофизика. – М.: Владос, 2000.
3. Эссаулова И. Л., Блохина М. Е., Гонцов Л. Д. Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике. – М: Высш. шк., 1987.
4. Ремизов А. Н., Исакова Н. Х., Максина Л. Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике. – М: Высш. шк., 1978.
5. Владимиров Ю. А., Рошупкин Д. И., Потапенко А. Я., Деев А, И . Биофизика. - М.: Медицина, 1983.
6. Рубин А. Б. Биофизика. – М.: Высш. шк., 1987.
7. Волькенштейн М. В. Биофизика. – Высш. шк., 1987.
8. Самойлов О. В. Медицинская биофизика. – Л.: Изд-во ВМА, 1986.
9. Губанов Н. И., Утенбергов А. А. Медицинская биофизика. – М.: Медицина, 1981.
10. Лабораторный и лекционный эксперимент по медицинской и биологической физике / Под ред. Кройтора Д. С., Ремизова А. Н., Самойлова В. О. – Кишинев: Лумина, 1983.
11. Агапов Б. Т.,Максютин Г. В., Островерхов П. И. Лабораторный практикум по физике. – М.: Высш. шк., 1982.
12. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980.
13. Чернавский Д. С. Синергетика и информатика. – М.: УРСС, 2004.
14. Чалый А. В.,Цехмистер Я. В. Флуктуационные модели процессов самоорганизации. К.: Випол, Випол, 19994.
15. Чалый А. В. Неравновесные процессы в физике биологии. – К.: Наук. думка, 1997.
16. Чалый О. В. Синергетичні принципи освіти та науки. – К.: Віпол, 2000.