Встановлення меж застосування елементів фізичних знань як елемент формування предметної компетентності на заняттях із медичної і біологічної фізики

Катерина Макаренко, Володимир Макаренко, Олександр Макаренко

Однією з фахових компетентностей майбутнього лікаря є вміння встановлювати межі застосування лікарських засобів. Це слід враховувати під час вивчення окремих предметів з метою кореляції між предметними і фаховими компетентностями. Так, зокрема, при вивченні біофізики можна показати студентам як враховуються межі застосування певних законів і теорій при означенні понять і виведенні співвідношень. Як показує практика цьому виду діяльності не приділяється достатня увага. В основному студентам даються готові формули, теоретичні положення та робочі формули до лабораторних робіт, що не сприяє розвитку такої предметної компетентності як встановлення меж застосування теорії на практиці. І як сказано було вище не формується фахова компетентність майбутнього лікаря.

Покажемо це на прикладі вивчення теми «В’язкість рідини» першого модуля з медичної і біологічної фізики [2]. З’ясування межі застосування теорії можна розпочати з означення понять. Яскравим прикладом є означення ідеальної, ньютонівської і неньютонівської рідини, які вводяться одночасно. Ідеальною називається нестислива рідина, у якій відсутнє внутрішнє тертя. Ньютонівськими називаються рідини, для яких сила в’язкого тертя прямо пропорційна градієнту швидкості. До них відносяться: вода, низькомолекулярні органічні сполуки, розчини солей, кислот, лугів та розплавлені метали. Високомолекулярні сполуки (розчини полімерів), дисперсні системи (суспензії, емульсії), в’язкість яких залежить від тиску та швидкості течії (при збільшенні швидкості течії в’язкість зменшується), називаються структурно-в’язкими або неньютонівськими. Для таких рідин вводиться поняття умовного коефіцієнта в’язкості, який характеризує в’язкість рідини у визначених умовах течії. При цьому указується на межі поділу на ньютонівські і не ньютонівські рідини.

Існують два види течії рідин: ламінарна і турбулентна. Ламінарною називається така течія рідини, при якій її частинки рухаються уздовж плавних траєкторій не змішуючись. Турбулентною називається така течія, при якій її швидкість і тиск швидко і нерегулярно змінюються з плином часу, що призводить до інтенсивного змішування між шарами рідини.

Важливим елементом теорії є число Рейнольдса $\mathrm{Re} = \frac{\rho \upsilon l}{\eta}$, що виступає критерієм, який визначає характер течії рідини. Де ρ – густина рідини; υ – середня у перерізі швидкість потоку, l – характерний розмір, що вказує розмір трубки, якою протікає рідина, або поперечний розмір тіла, яке обтікає рідина; η – динамічна в'язкість. Для гладких трубок потік крові буде ламінарним, якщо Re<2300, для Re > 2300 потік – турбулентний.

Наступним етапом формування знань про межі застосування теорії є ознайомлення з законами гідродинаміки, що застосовуються при вивченні даної теми. Медицину особливо цікавить течія в'язкої рідини гладкими трубками, бо таким чином можна змоделювати течію крові судинами. Французький учений Ж.-Л. Пуазейль (1799-1869), який займався фізичними аспектами кровообігу, дослідив залежність від радіуса R і довжини l величини потоку нестисливої рідини для ламінарної течії в циліндричній трубі. Згідно формули Пуазейля об'ємна швидкість течії рідини Q через жорстку трубку дорівнює: $Q = \frac{p_1 - p_2}{X}$, де p_1 і p_2 – тиск відповідно на вході і виході трубки; $X = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$ – гідравлічний опір; η – в'язкість рідини.

При виведенні формули Пуазейля розглядають стаціонарну ламінарну течію рідини (газу) усередині циліндричної труби з внутрішнім радіусом R [1]. Завдяки адгезії між рідиною і стінками труби швидкість рідини біля стінок дорівнює (або майже рівна) нулю). Тому вважають, що швидкість циліндричного шару рідини, прилеглого до внутрішньої стінки труби, дорівнює нулю. Швидкість кожного наступного шару із-за в'язкого тертя між ними лише трохи більше, ніж швидкість попереднього шару. Таким чином, швидкість збільшується до центру труби і досягає максимуму на осьовій лінії. Спочатку швидкість υ визначають як функцію від r для суцільного циліндра рідини радіусом r ($r < R$), вісь якого збігається з віссю труби. На цей циліндр за рахунок різниці тисків на кінцях труби діє сила: $F = (p_1 - p_2)\pi r^2$, де πr^2 – площа торця циліндра. Рух циліндра рідини гальмується силою в'язкого тертя між ним і прилеглим до нього шаром; величина цієї сили визначається за формулою Ньютона, де в якості площі S потрібно взяти площу бічної поверхні циліндра $S = 2\pi rl$: $F = -\eta 2\pi rl \frac{d\upsilon}{dr}$, тут знак мінус означає, що сила направлена протилежно руху. Оскільки течія стаціонарна, прискорення дорівнює нулю. Отже, ці дві сили взаємно компенсуються: $(p_1 - p_2)\pi r^2 = -\eta 2\pi rl \frac{d\upsilon}{dr}$.

Звідси градієнт швидкості: $\frac{d\upsilon}{dr} = -\frac{(p_1 - p_2)r}{2\eta l}$.

Шляхом інтегрування цього виразу знаходять υ як функцію від r, де r – відстань від осі труби (з урахуванням того, що $\upsilon = 0$ при $r = R$):

$$\int_0^{\upsilon} d\upsilon = -\frac{(p_1 - p_2)}{2\eta l}\int_R^r r dr, \ \upsilon = -\frac{(p_1 - p_2)}{2\eta l}[\frac{r^2}{2}]_R^r, \ \upsilon = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta l}(R^2 - r^2).$$

Як і слід було чекати, найбільша швидкість досягається на осі труби ($r = 0$); вона пропорційна квадрату радіусу труби, а також градієнту тиску $\frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{(p_1 - p_2)}{l}$.

Знаючи тепер υ як функцію від r, визначають повний потік (об’ємна витрата) Q в трубі: $Q = \frac{dV}{dt}$. Оскільки швидкість υ в поперечному перерізі різна, не можна записати просто $Q = S\upsilon$, як у формулі (13.1). Розділивши поперечний переріз труби на вузькі кільця шириною dr, обчислюють величину потоку рідини для кожного з цих кілець і додають по всіх кільцях, щоб отримати повний потік. Площа вузького кільця дорівнює добутку довжини кола $2\pi r$ на ширину dr: $dS = 2\pi r dr$.

Оскільки швидкість рідини залежить лише від r, в межах одного кільця її можна вважати постійною. Таким чином, потік через вузьке кільце запишеться у вигляді

$$dQ = \upsilon dS = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta l}(R^2 - r^2)2\pi r dr.$$

Сума по всіх кільцях дає повний потік у трубі:

$$Q = \int_{r=0}^{r=R} dQ = \frac{\pi (p_1 - p_2)}{2\eta l}\int_0^R (R^2 r - r^3)dr = \frac{\pi (p_1 - p_2)}{2\eta l}\left[\frac{R^2 r^2}{2} - \frac{r^4}{4}\right]_0^R = \frac{\pi (p_1 - p_2)R^4}{8\eta l}.$$

Таким чином, студенти бачать, що формула Пуазейля виведена в припущенні, що течія рідини (або газу) в трубі є ламінарною.

Введення таким способом означень та співвідношень активізує розумову діяльність студентів, що сприяє розвитку предметної компетентності – встановлення меж застосування теорії, і, як наслідок, формує фахову компетентність майбутнього лікаря.

Література

1. Джанколи Д. Физика : [в 2 т.] Т. 1 / Д. Джанколи; [пер. с англ. А.С. Доброславского, О.А. Котельниковой, М.А. Сухановой; под ред. Ю.Г. Рудого]. – М.: Мир, 1989. – 656 с.
2. Іщейкіна Ю.О. Медична і біологічна фізика. Навчальний посібник / Ю.О. Іщейкіна, В.І. Макаренко, Н.В. Тронь. – Полтава : Шевченко Р.В., 2012. – 352 с.