

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Кафедра вищої математики і фізики

Дяденчук А.Ф.

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ

**Методичні вказівки
до практичних робіт
для здобувачів вищої освіти
спеціальності Н1 Агрономія
ОПП «Агрономія» та «Садівництво та виноградарство»**

**Запоріжжя
2025**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Кафедра вищої математики і фізики

**Ф І З И К А
З О С Н О В А М И Б І О Ф І З И К И**

**Методичні вказівки
до практичних робіт
для здобувачів вищої освіти
спеціальності Н1 Агрономія
ОПП «Агрономія» та «Садівництво та виноградарство»**

**Запоріжжя
2025**

*Рекомендовано до друку методичною комісією
факультету агротехнології та екології
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
(протокол № 11 від 26 червня 2025 р.)*

Рецензенти:

- Кідалов В.В.** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного;
- Сімченко С.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики, математичного моделювання та фізики, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій.

Д 99 **Фізика з основами біофізики** : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» за спеціальністю Н1 Агрономія / Укл. А.Ф. Дяденчук. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. 70 с.

Методичні вказівки містять практичні завдання з курсу «Фізика з основами біофізики», адаптовані для здобувачів вищої освіти спеціальності Н1 «Агрономія» за освітніми програмами «Агрономія» та «Садівництво і виноградарство». Матеріал охоплює основні розділи фізики з прикладами біофізичних процесів у рослинних і аграрних системах. Видання спрямоване на формування практичних навичок, міждисциплінарного мислення та наукового підходу до вивчення природничих явищ у професійній діяльності агронома.

© Дяденчук А. Ф.
© Таврійський державний
агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
Практичне заняття МЕХАНІЧНИЙ РУХ. РІВНОПРИСКОРЕНИЙ ТА РІВНОМІРНИЙ РУХ ТІЛ	8
Короткі теоретичні відомості	8
Контрольні запитання	8
Приклади розв’язування задач	9
Завдання для самостійного опрацювання	10
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	11
Список літератури	11
Практичне заняття СИЛИ В ПРИРОДІ. ЗАКОН ГУКА	13
Короткі теоретичні відомості	13
Контрольні запитання	13
Приклади розв’язування задач	14
Завдання для самостійного опрацювання	16
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	17
Список літератури	17
Практичне заняття ГІДРОСТАТИКА — ТИСК У РІДИНАХ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ ТА АРХІМЕДА	19
Короткі теоретичні відомості	19
Контрольні запитання	20
Приклади розв’язування задач	20
Завдання для самостійного опрацювання	23
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	24
Список літератури	24
Практичне заняття МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА РІДИН – ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ, ЗМОЧУВАННЯ, КАПІЛЯРНІ ЯВИЩА	26
Короткі теоретичні відомості	26
Контрольні запитання	27

Приклади розв'язування задач.....	27
Завдання для самостійного опрацювання.....	29
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	29
Список літератури.....	30
Практичне заняття ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ ТА ТЕПЛОЄМНІСТЬ	31
Короткі теоретичні відомості.....	31
Контрольні запитання	31
Приклади розв'язування задач.....	32
Завдання для самостійного опрацювання.....	34
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	34
Список літератури.....	35
Практичне заняття ОПТИКА. ЗАКОНИ ВІДБИВАННЯ ТА ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА	36
Короткі теоретичні відомості.....	36
Контрольні запитання	37
Приклади розв'язування задач.....	37
Завдання для самостійного опрацювання.....	39
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	40
Список літератури.....	40
Практичне заняття ДИСПЕРСІЯ ТА ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА	42
Короткі теоретичні відомості.....	42
Контрольні запитання	43
Приклади розв'язування задач.....	43
Завдання для самостійного опрацювання.....	46
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	47
Список літератури.....	47
Практичне заняття ХВИЛЬОВІ ЯВИЩА. АКУСТИКА ТА БІОАКУСТИКА РОСЛИН	49
Короткі теоретичні відомості.....	49

Контрольні запитання	50
Приклади розв'язування задач.....	50
Завдання для самостійного опрацювання.....	53
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	53
Список літератури	54
Практичне заняття ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА В РОСЛИНАХ ТА СЕРЕДОВИЩІ.	55
Короткі теоретичні відомості.....	55
Контрольні запитання	55
Приклади розв'язування задач.....	56
Завдання для самостійного опрацювання.....	57
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	58
Список літератури	58
Практичне заняття МАГНІТНІ ЯВИЩА ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ	60
Короткі теоретичні відомості.....	60
Контрольні запитання	60
Приклади розв'язування задач.....	61
Завдання для самостійного опрацювання.....	62
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	63
Список літератури	63
Практичне заняття АТОМНА ТА ЯДЕРНА ФІЗИКА В АГРОНОМІЇ	64
Короткі теоретичні відомості.....	64
Контрольні запитання	64
Приклади розв'язування задач.....	65
Завдання для самостійного опрацювання.....	66
Дослідницьке завдання для самостійного виконання	67
Список літератури	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки є складовою навчально-методичного комплексу дисципліни «Фізика з основами біофізики» та призначені для здобувачів вищої освіти спеціальності Н1 «Агрономія» за освітніми програмами «Агрономія» та «Садівництво і виноградарство».

Фізика, як фундаментальна природнича наука, вивчає загальні закони природи, які проявляються в усіх середовищах – від мікроскопічних до планетарних масштабів. Для майбутнього агронома володіння фізичними знаннями є не лише академічною вимогою, але й практично необхідною компетенцією, оскільки багато процесів у рослинних системах, ґрунтах та агроландшафтах визначаються фізичними закономірностями. Біофізика, у свою чергу, розглядає ці процеси в живих організмах і біологічних системах, дозволяючи зрозуміти механізми їх функціонування на молекулярному, клітинному та організмовому рівнях.

У сучасній агрономії знання з фізики та біофізики потрібні для розуміння механіки росту і стійкості рослин; аналізу процесів транспорту води і розчинених речовин у тканинах; моделювання теплових режимів у теплицях і ґрунті; дослідження впливу світла на фотосинтез; оптимізації використання енергетичних ресурсів у сільськогосподарському виробництві; оцінки екологічних факторів і прогнозування їх впливу на врожайність.

Запропонований навчально-методичний матеріал охоплює ключові розділи фізики – механіку, термодинаміку, оптику, електрику, магнетизм, хвильові явища, атомну та ядерну фізику – з прикладами їхнього застосування в аграрних технологіях. Особливу увагу приділено практичним завданням, що формують уміння застосовувати теоретичні знання для вирішення реальних професійних задач.

Структура методичних вказівок побудована таким чином, щоб кожне практичне заняття включало: коротке теоретичне введення, що узагальнює ключові

поняття розділу; приклади розв'язування типових задач з детальними коментарями; комплекс завдань для самостійного опрацювання, спрямованих на закріплення матеріалу; додатковий блок «Дослідницьке завдання для самостійного виконання» – міні-лабораторні роботи, які можна виконати з використанням доступних побутових засобів та підручних матеріалів.

Методичні вказівки можуть використовуватися як у межах аудиторних занять, так і для самостійної роботи здобувачів освіти. Вони також придатні для підготовки до модульного та підсумкового контролю знань. Ретельний добір задач забезпечує поступовий перехід від простих обчислювальних прикладів до більш комплексних і міждисциплінарних ситуацій, що моделюють реальні виробничі або дослідницькі умови.

МЕХАНІЧНИЙ РУХ. РІВНОПРИСКОРЕНИЙ ТА РІВНОМІРНИЙ РУХ ТІЛ

Мета: ознайомитися з основними характеристиками механічного руху (шлях, переміщення, швидкість, прискорення); навчитись застосовувати формули рівномірного та рівноприскореного руху для розрахунків; розглянути приклади руху в аграрному середовищі: осідання частинок у воді, падіння крапель дощу, розліт насіння; навчитись будувати графіки залежностей $x(t)$, $v(t)$ для різних видів руху.

Короткі теоретичні відомості

1. **Рівномірний прямолінійний рух** – тіло рухається з постійною швидкістю v :

$$x = x_0 + vt.$$

Графік $x(t)$ – пряма лінія; $v(t)$ – горизонтальна.

2. **Рівноприскорений прямолінійний рух** (постійне прискорення a):

$$v = v_0 + at, x = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}.$$

Графік $x(t)$ – парабола; $v(t)$ – пряма лінія.

3. **Вільне падіння тіл** у полі тяжіння: прискорення $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$, якщо опором повітря знехтувати.

$$v = gt, h = \frac{gt^2}{2}.$$

4. **Рух частинок у воді:** при малих розмірах і швидкостях встановлюється **сталій режим осідання** (швидкість Стокса). Але якщо розглядаємо короткі часові проміжки – це рівноприскорений рух із меншим ефективним прискоренням (через опір).

Контрольні запитання

1. Як розрізняють рівномірний і рівноприскорений рух за графіком $x(t)$?

2. Запишіть основні рівняння рівноприскореного руху.
3. Чому при падінні краплі дощу швидкість перестає збільшуватись?
4. Як знайти час вільного падіння з висоти h ?
5. Що показує площа під графіком $v(t)$?
6. Як зміниться траєкторія частинки в рідині, якщо в'язкість збільшити?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Частинка мулу рухається у воді зі швидкістю $v=0,003$ м/с. За який час вона пройде 5 см?

Розв'язання. Коментар: при малих швидкостях рух рівномірний – сила опору врівноважує вагу. Отже,

$$s = v t,$$

звідки

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,05}{0,003} \approx 16,67 \text{ с.}$$

Відповідь: 16,67 с.

Приклад 2. Крапля починає падати з висоти 20 м. Нехтуючи опором повітря, знайти час падіння та швидкість краплі після 0,5 с падіння.

Розв'язання. Початкова швидкість краплі $v_0 = 0$ м/с, отже

$$h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{2h/g} = \frac{40}{9,81} \approx 2,02 \text{ с.}$$

Швидкість краплі після 0,5 с падіння:

$$v = gt \approx 9,81 \cdot 0,5 \approx 4,905 \text{ м/с.}$$

Відповідь: 2,02 с; 4,905 м/с.

Приклад 3. Частинка починає падати у воді з прискоренням $a = 0,2$ м/с² (через опір менше за g), з початкової швидкості $v_0 = 0$. Знайти шлях за 10 с.

Розв'язання. Рух частинки буде рівнозмінним, за рахунок опору рух набагато повільніший, ніж у повітрі, отже,

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2} = 0 + 0,2 \cdot \frac{100}{2} = 10 \text{ м.}$$

Відповідь: 10 м.

Приклад 4. Крапля падає з висоти 30 м. Перші 1,5 с – рівноприскорений рух ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$), далі – рівномірно зі швидкістю, яку набула. Знайти час усього падіння.

Розв'язання. Фаза 1 (рівноприскорений рух):

$$s_1 = \frac{gt_1^2}{2} = 0,5 \cdot 9,81 \cdot 2,25 \approx 11,036 \text{ м.}$$

Швидкість на кінець фази 1:

$$v = gt_1 \approx 14,715 \text{ м/с.}$$

Залишається шлях

$$s_2 = s - s_1 = 30 - 11,036 \approx 18,964 \text{ м.}$$

Фаза 2 (рівномірний рух):

$$t_2 = \frac{s_2}{v} \approx \frac{18,964}{14,715} \approx 1,29 \text{ с.}$$

Загальний час:

$$t \approx 1,5 + 1,29 = 2,79 \text{ с.}$$

Інтерпретація: крапля досягає сталої швидкості ще в середині шляху.

Відповідь: 2,79 с.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Частинка мулу осідає зі швидкістю 2 мм/с. Знайти шлях за 1 хв.
2. Крапля падає з висоти 10 м (без опору). Знайти час падіння.
3. Знайти швидкість краплі через 0,8 с падіння у повітрі.
4. Частинка рухається рівномірно: $s=0,5 \text{ м}$, $t=20 \text{ с}$. Знайти швидкість.
5. Яка висота, якщо тіло падало 3 с (без опору)?
6. Пилок у воді починає рух з прискоренням $0,05 \text{ м/с}^2$. Знайти шлях за 60 с.
7. Крапля падає 2 с з прискоренням g , далі рівномірно. Висота – 25 м. Знайти швидкість, час і шлях кожної ділянки.
8. Насіння кульбаби летить 1 с з прискоренням $0,5 \text{ м/с}^2$, потім — рівномірно. Загальний шлях – 5 м. Знайти швидкість після 1 с і тривалість рівномірного руху.
9. Побудувати графіки $x(t)$ та $v(t)$ для задачі 2.

10. Крапля у воді падає 3 с, пройшовши 1,5 м. Визначити прискорення.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: телефон із камерою 60+fps, рулетка/лінійка, м'ячик, лінійний коридор/стіна.

Кроки: підкиньте м'яч вертикально й зніміть відео; для рівномірного руху покатайте м'яч по підлозі.

Вимірювання: з відео зніміть координату $y(t)$ кожні Δt (кадри); для кочення – пройденої відстані за рівні інтервали часу.

Обчислення: побудуйте $y(t)$ та $v(t)$; для вільного падіння оцініть g із параболу $y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$. Для кочення – середню швидкість $v = s/t$.

Безпека: не кидайте м'яч біля крихких предметів.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.

1. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Фізика макросистем \ [Електронний ресурс] : конспект лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка та за освітньою програмою «Інформаційні вимірювальні технології» спеціальності 175 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. М. Генкін. Електрон. текст. дані (1 файл). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 147 с.

2. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Фізика». Частина I : для здобувачів рівня вищої освіти перший (бакалаврський) денної та заочної форми навчання за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / ДБТУ ; уклад.: Пак А. О., Сіняєва О. В., Крекот М. М. Харків, 2023. 74 с.

3. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія».

Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.

4. Колінько, С. О., Бутенко, Т. І. Курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика : навч. посіб. / за ред. д.т.н., проф. Ващенко В. А. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2024. 98 с.

Практичне заняття

СИЛИ В ПРИРОДІ. ЗАКОН ГУКА

Мета: ознайомитися з фізичною суттю закону Гука та поняттями пружної та пластичної деформації; навчитися експериментально визначати модуль Юнга (модуль пружності) для різних матеріалів, зокрема рослинних тканин; розвивати навички застосування закону Гука для розв'язування практичних задач з механіки; зрозуміти роль пружних властивостей тканин у механічній стійкості рослин та їх пристосуванні до умов середовища.

Короткі теоретичні відомості

1. Закон Гука для пружної деформації розтягу/стиску:

$$F = k \cdot \Delta l,$$

де F – сила, k – жорсткість (Н/м), Δl – видовження.

2. Модуль Юнга (модуль пружності):

$$E = \sigma \varepsilon = \frac{F/S}{\Delta l/l_0} = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot \Delta l},$$

де S – площа поперечного перерізу, l_0 – початкова довжина зразка.

3. Види деформацій: розтяг, стиск, згин, кручення.

У рослинах часто спостерігається комбінація розтягу та згину (під дією вітру, ваги плодів тощо).

4. Фізіологічне значення пружності:

- сприяє збереженню форми та цілісності рослини;
- дозволяє листкам та стеблам відновлювати форму після механічного впливу;
- модуль пружності залежить від вологості, віку та виду тканин.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закон Гука для пружної деформації.

2. Як визначити жорсткість пружини або стебла за експериментальними даними?
3. Що таке модуль Юнга і які його одиниці вимірювання?
4. Як впливають вологість і температура на модуль пружності рослинних тканин?
5. Які деформації називають пружними, а які пластичними?
6. Чим відрізняються жорсткість та модуль пружності?
7. Які біологічні переваги має висока еластичність рослинних стебел?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Стебло довжиною $l_0=15$ см видовжилось на 2 мм під дією сили $F=0,8$ Н. Знайти жорсткість.

Розв'язання. Знайдемо жорсткість:

$$k = F/\Delta l = 0,8/0,002 = 400 \text{ Н/м.}$$

Відповідь: 400 Н/м.

Приклад 2. Довжина зразка $l_0=0,20$ м, діаметр $d=2$ мм, сила розтягу $F=5$ Н, видовження $\Delta l=0,5$ мм. Розрахувати модуль Юнга.

Розв'язання. Розрахуємо модуль Юнга за формулою

$$E = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot \Delta l},$$

де $S = \pi(d/2)^2$:

$$S = \pi \left(\frac{0,002}{2} \right)^2 \approx 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$E = \frac{5 \cdot 0,20}{3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0005} \approx 6,37 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Відповідь: 0,64 ГПа.

Приклад 3. Для стебла з жорсткістю $k=500$ Н/м визначити силу, яка подовжить його на 3 мм.

Розв'язання. Застосовуємо закон Гука:

$$F = k \cdot \Delta l = 500 \times 0,003 = 1,500 \text{ Н.}$$

Відповідь: 1,5 Н.

Приклад 4. Стебло закріплено горизонтально одним кінцем, на іншому підвішений вантаж, що викликав прогин кінця на 4 см. Відомо, що ефективна жорсткість на згин становить $k=80$ Н/м. Знайти вагу вантажу (сильову дію) F .

Розв'язання. Закон Гука (для малих пружних деформацій у лінійній області):

$$F = k \cdot \Delta l.$$

Підставляємо числа (упорядковано, одиниці в СІ):

$$k = 80 \text{ Н/м}, \Delta l = 0,04 \text{ м}.$$

Помноживши, отримаємо:

$$F = 80 \cdot 0,04 = 3,20 \text{ Н}.$$

Коментар: якщо треба знайти масу m вантажу, можна поділити силу на g (зазвичай $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$):

$$m = \frac{F}{g} = 3,2/9,81 \approx 0,326 \text{ кг}.$$

$$F = k \cdot \Delta l = 80 \cdot 0,04 = 3,2 \text{ Н}.$$

Відповідь. 3,2 Н.

Приклад 5. Два стебла однакової довжини $l_0=0,15$ м мають діаметри $d_1=3$ мм та $d_2=5$ мм. Під дією однакової сили видовження становило $\Delta l_1=1,8$ мм, $\Delta l_2=0,7$ мм. Порівняти модулі Юнга (розв'язати через площу перерізу й співвідношення видовжень).

Розв'язання. *Зауваження:* без значення прикладеної сили F абсолютні значення E_1, E_2 визначити неможливо, але можна однозначно знайти відношення E_1/E_2 .

Формула модуля Юнга (для розтягування):

$$E = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot \Delta l},$$

де S – площа поперечного перерізу.

Отже відношення модулів:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{F l_0}{S_1 \Delta l_1}}{\frac{F l_0}{S_2 \Delta l_2}} = \frac{S_2 \Delta l_2}{S_1 \Delta l_1}.$$

Звідси видно, що F і l_0 скорочуються.

Обчислимо площі перерізів S_1 і S_2 :

$$S_1 = \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 = 7,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$S_2 = \pi \left(\frac{d_2}{2} \right)^2 = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Знайдемо співвідношення

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{1,96 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}}{7,07 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8 \cdot 10^{-3}} \approx 1,08$$

Отже, модуль Юнга першого зразка E_1 приблизно на 8,0% більший за модуль E_2 .

Відповідь: E_1 приблизно на 8,0% більший за E_2 .

Загальні зауваження та припущення

• У всіх задачах ми припускаємо **лінійну пружну ділянку** (закон Гука виконується). Для великих деформацій або при пластичних змінах ці формули непридатні.

• Для рослинних тканин величини (модуль Юнга, жорсткість) дуже залежать від вологості, віку тканини та напрямку волокон – у задачах використовуються узагальнені значення.

• **Одиниці:** всі результати наведені в СІ (Н, м, Па, Дж). При потребі можна представити в інших одиницях (кГс, мм, МПа тощо).

Завдання для самостійного опрацювання

1. Визначити жорсткість стебла, якщо при силі 2 Н видовження становить 5 мм.
2. Стебло довжиною 20 см видовжилось на 1,5 мм під дією сили 0,6 Н. Знайти k .
3. Для стебла з $k=250$ Н/м знайти силу, що викликає видовження 2 мм.
4. Визначити видовження стебла, якщо $k=400$ Н/м і сила $F=1,2$ Н.

5. Знайти модуль Юнга для зразка довжиною $l_0=0,18$ м, діаметром 2,5 мм, при силі 3 Н видовження 1,2 мм.
6. Порівняти жорсткість двох стебел, якщо при однаковій силі одне видовжується в 1,5 рази більше за інше.
7. Визначити модуль Юнга для зразка, якщо при силі 10 Н видовження 0,8 мм, довжина $l_0=0,25$ м, діаметр 4 мм.
8. Обчислити роботу, виконану при розтягуванні стебла з жорсткістю 300 Н/м на 5 мм.
9. Стебло завдовжки $l_0=0,2$ м і діаметром 3 мм видовжилось на 1 мм під дією сили F_1 . Під дією сили $F_2 = 2F_1$ знайти видовження.
10. Визначити силу, необхідну для розтягування сталевого дроту ($E = 2 \cdot 10^{11}$ Па) довжиною 0,5 м, діаметром 1 мм на 0,25 мм.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: пружинка/гумка, набори монет як вантаж, лінійка/штангенциркуль, гачок або канцелярський затискач.

Кроки: підвісьте пружину, по черзі додавайте однакові вантажі.

Вимірювання: подовження Δl для кожної сили F (ваги вантажу).

Обчислення: побудуйте $F - \Delta l$; знайдіть жорсткість $k = \Delta F / \Delta l$. Порівняйте k для гумки й пружини.

Безпека: не перевантажуйте пружину (пластична деформація).

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Фізика». Частина І : для здобувачів рівня вищої освіти перший (бакалаврський) денної та заочної форми навчання за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / ДБТУ ; уклад.: Пак А. О., Сіняєва О. В., Крекот М. М. Харків, 2023. 74 с.
3. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти

бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія».
Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.

4. Колінько, С. О., Бутенко, Т. І. Курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика : навч. посіб. / за ред. д.т.н., проф. Ващенко В. А. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2024. 98 с.

ГІДРОСТАТИКА — ТИСК У РІДИНАХ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ ТА АРХІМЕДА

Мета: ознайомитися з основними поняттями гідростатики: тиском у рідинах, законом Паскаля та законом Архімеда; навчитися застосовувати закон Паскаля для розв’язування практичних задач, пов’язаних із передачею тиску в рідинах; розвинути навички обчислення архімедової сили та її впливу на тіла, що занурені у рідину; формувати вміння аналізувати і пояснювати фізичні явища, які лежать в основі роботи гідравлічних систем та природних процесів у рослинних і ґрунтових середовищах; закріпити вміння самостійно розв’язувати задачі різної складності з гідростатики, що сприятиме глибшому розумінню фізичних процесів у агрономії та садівництві.

Короткі теоретичні відомості

1. Тиск у рідинах

$$p = p_0 + \rho g h,$$

де p_0 – атмосферний тиск, ρ – густина рідини, g – прискорення вільного падіння, h – глибина.

2. Закон Паскаля: тиск, створений у рідині, передається однаково в усіх напрямках.

3. Закон Архімеда

$$F_A = \rho_p g V,$$

де ρ_p – густина рідини, V – об’єм зануреної частини тіла.

4. Умова плавання

* тіло плаває, якщо $\rho_t < \rho_p$

* тіло тоне, якщо $\rho_t > \rho_p$

* тіло у рівновазі, якщо $\rho_t = \rho_p$

Контрольні запитання

1. Як змінюється тиск рідини з глибиною?
2. Як закон Паскаля використовується в системах зрошення?
3. Від чого залежить виштовхувальна сила?
4. Чому підводні частини рослин не розчавлює тиск води?
5. Наведіть приклади впливу плавучості насіння на його поширення.

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Коренева система рослини занурена у ґрунтову воду на глибині 1,5 м. Знайти гідростатичний тиск на корені, якщо густина води $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$, атмосферний тиск $p_0=101 \text{ кПа}$.

Розв'язання. Знайдемо тиск у рідинах:

$$p = p_0 + \rho gh$$

$$p = 101 \cdot 10^3 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 101000 + 14715 \approx 115715 \text{ Па} = 115,7 \text{ кПа}$$

Відповідь: 115,7 кПа

Приклад 2. Насіння гарбуза має об'єм 3 см^3 і густину 850 кг/м^3 . Чи буде воно плавати у воді?

Розв'язання. Виштовхувальна сила:

$$F_A = \rho_p g V.$$

$$F_A = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \approx 0,0294 \text{ Н}$$

Вага насіння:

$$P = \rho_p g V = 850 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \approx 0,0250 \text{ Н}$$

Оскільки $F_A > P$, насіння буде плавати.

Відповідь: 25 мПа

Приклад 3. У зрошувальному каналі на глибині 0,8 м встановлено датчик тиску. Визначити покази датчика, якщо вода має густину 998 кг/м^3 , а атмосферний тиск $101,3 \text{ кПа}$.

Розв'язання. Знайдемо тиск у каналі:

$$p = p_0 + \rho gh$$

$$p = 101300 + 998 \cdot 9,81 \cdot 0,8 = 109124 \text{ Па} = 109,1 \text{ кПа}$$

Відповідь: 109,1 кПа

Приклад 4. На малий поршень гідравлічного преса діють силою $F_1 = 200$ Н. Радіус малого поршня $r_1 = 2,0$ см, радіус великого поршня $r_2 = 10,0$ см. Визначити силу F_2 , що діятиме на великий поршень (не враховувати ваги поршнів).

Розв'язання. Площа круглого поршня: $A = \pi r^2$.

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0,02)^2 = \pi \cdot 0,0004 \text{ м}^2 \approx 0,00125664 \text{ м}^2$$

$$A_2 = \pi r_2^2 = \pi (0,10)^2 = \pi \cdot 0,01 \text{ м}^2 \approx 0,03141593 \text{ м}^2$$

Тиск, створений малим поршнем:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{200}{0,00125664} \text{ Па} \approx 159154,94 \text{ Па}.$$

Сила на великому поршні:

$$F_2 = p A_2 \approx 159154,94 \cdot 0,03141593 \approx 5000 \text{ Н}$$

Такий принцип застосовується в гідравлічних підйомниках для техніки або в пристроях, що перетворюють невелику ручну силу в більшу робочу силу при стисненні ґрунту або пресуванні зразків ґрунту.

Відповідь: 5,0 кН

Приклад 5. Дерев'яний циліндр: висота $H = 0,12$ м, діаметр $d = 5,0$ см. Густина деревини $\rho_d = 600$ кг/м³. Циліндр плаває у прісній воді ($\rho_v = 1000$ кг/м³). а) Знайти початкову занурену висоту h_0 . б) На циліндр помістили додатково вантаж масою $m_{\text{дод}} = 0,5$ кг. Знайти нову занурену висоту h_1 і визначити, чи тоне циліндр.

Розв'язання. Радіус $r = d/2 = 0,025$ м. Об'єм циліндра:

$$V = \pi r^2 H = \pi (0,025)^2 \cdot 0,12 \approx 0,00023561945 \text{ м}^3.$$

Маса циліндра:

$$m = \rho_d V \approx 600 \cdot 0,00023561945 \approx 0,14137 \text{ кг}$$

а) Початкова занурена частина визначається як відношення густин:

$$\frac{h_0}{H} = \frac{\rho_d}{\rho_v} = \frac{600}{1000} = 0,6 \Rightarrow h_0 = 0,6 \cdot 0,12 = 0,072 \text{ м}.$$

б) Після додавання вантажу загальна маса:

$$m_{\text{заг}} = m + m_{\text{дод}} = 0,14137 + 0,5 = 0,64137 \text{ кг}.$$

Необхідний витіснений об'єм:

$$V_d = \frac{m_{\text{заг}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{0,64137}{1000} = 0,00064137 \text{ м}^3.$$

Відповідна занурена висота:

$$h_1 = \frac{V_d}{\pi r^2} = \frac{0,00064137}{\pi(0,025)^2} \approx 0,32665 \text{ м.}$$

Оскільки $h_1 \approx 0,32665 \text{ м} > H = 0,12 \text{ м}$, то циліндр або тоне, або повністю занурюється (не може витіснити більше об'єму, ніж його власний): **він потоне** при цьому вантажі.

Це показує, як додаткове навантаження (наприклад, осад або вантаж на плавучому баражному обладнанні, або насичення вологою) може змінити плавучість органічних матеріалів (плодів, насіння) і вплинути на їхнє розповсюдження по воді.

Відповідь: початково $h_0 = 0,072 \text{ м}$. Після додавання вантажу потрібна висота $h_1 \approx 0,327 \text{ м} > H \rightarrow$ циліндр тонутиме.

Приклад 6. Металевий зразок важить у повітрі $m_a = 0,850 \text{ кг}$, а у воді (помісивши на ваги занурений) його очевидна вага відповідає масі $m_b = 0,620 \text{ кг}$. Визначити: а) об'єм зразка V ; б) густину зразка ρ_3 ; в) його видимої масу при зануренні в морську воду з $\rho_m = 1025 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язання. Різниця мас у повітрі і у воді визначає масу витісненої води:

$$\Delta m = m_a - m_b = 0,850 - 0,620 = 0,230 \text{ кг.}$$

Ця маса – це маса витісненої прісної води; отже об'єм зразка:

$$V = \frac{\Delta m}{m_b} = \frac{0,230}{1000} = 0,000230 \text{ м}^3.$$

Густина зразка:

$$\rho_3 = \frac{m_a}{V} = \frac{0,850}{0,000230} \approx 3695,65 \text{ кг/м}^3.$$

(це відповідає важкому металу чи сплаву.)

Видима маса в морській воді:

$$\text{виштовхувальна сила в морській воді} = \rho_m V.$$

Отже очевидна (відчутна) маса буде

$$m_{\text{мор}} = m_a - \rho_m V = 0,850 - 1025 \cdot 0,000230 = 0,61425 \text{ кг.}$$

Методика визначення густини за допомогою зважування в повітрі і у рідині – корисна для визначення сукупних властивостей зерен, мінеральних частинок ґрунту, твердих добавок у добривах тощо.

Відповідь: а) $V \approx 2,30 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$; б) $\rho_z \approx 3695,65 \text{ кг/м}^3$; в) очевидна маса в морській воді $m_{\text{мор}} \approx 0,61425 \text{ кг}$.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Посудина з водою глибиною 0,5 м використовується для замочування насіння. Визначити тиск на дні посудини, якщо густина води 1000 кг/м^3 . Атмосферний тиск не враховувати.

2. Куля з дерева має діаметр 5 см і густину 600 кг/м^3 . Яка частина кулі буде занурена у воду?

3. На якій глибині у ставку тиск буде на 30 кПа більший, ніж атмосферний? Густина води 1000 кг/м^3 .

4. Металевий циліндр масою 2 кг і об'ємом 250 см^3 занурили у рідину густиною 1200 кг/м^3 . Визначити напрям руху циліндра (вспливе чи потоне) і прискорення, з яким він рухатиметься.

5. Довгий відкритий бак заповнено водою. На глибині $h = 0,8 \text{ м}$ у воді розташовано датчик тиску. Визначити надлишковий тиск, що показуватиме датчик, якщо густина води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, прискорення вільного падіння $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Атмосферний тиск не враховувати.

6. У вертикальному відкритому резервуарі стоїть вода глибиною $H = 1,2 \text{ м}$. На дні зроблено отвір із площею $S = 1,0 \text{ см}^2$. Визначити силу тиску, що діє на круглий кришку з площею S на дні (не враховувати атмосферний тиск). Яка сила буде на кришці, якщо всередині замість води знаходиться сольовий розчин з $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$?

7. Горіх плаває в прісній воді (густина 1000 кг/м^3) зануривши 40% свого об'єму. Потім горіх опустили в рідину із густиною 1100 кг/м^3 . Яка частина об'єму

буде занурена у новій рідині? Поясніть, як це впливає на розповсюдження насіння у різних водоймах.

8. На великий поршень гідравлічної системи (площа $A_2 = 0,05 \text{ м}^2$) поставлено вантаж масою $M = 120 \text{ кг}$. Малий поршень має площу $A_1 = 0,002 \text{ м}^2$. Яку силу F треба прикласти до малого поршня, щоб підняти вантаж (вважати, що система ідеальна)?

9. Конічний плід (форма правильного кругового конуса) висотою H та основу радіуса R плаває вістрям униз у воді. Визначити глибину занурення h (від вершини до межі рідини), якщо густина плоду ρ_p відома (виразити h через H, R, ρ_p, ρ_v).

10. На ділянці росте рослина, корені якої знаходяться на глибині $0,5 \text{ м}$ у ґрунті, насиченому водою (вважати ґрунтову воду як рідину густини 1000 кг/м^3). Крім того, на поверхні знаходиться теплиця, де атмосферний тиск на 2 кПа більший, ніж на відкритому повітрі (через системи вентиляції). Який повний абсолютний тиск відчують корені? *Підказка: врахуйте атмосферний тиск поверхні як $p_0 = 101,3 \text{ кПа}$ плюс зміну.*

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: прозора пляшка з отворами на різній висоті, посудина з водою, кухонні ваги, мірний циліндр, маленький предмет (горіх, металевий болт).

Кроки: наповніть пляшку — порівняйте дальність струменів (тиск $\propto$ глибина). Зважте болт у повітрі та «під водою».

Вимірювання: глибина отворів h ; сили ваг за показами ваг.

Обчислення: $p = \rho gh$; виштовхувальна сила $F_A = G_{\text{пов}} - G_v$; густину $\rho = F_A/(gV)$, де V – витіснений об'єм (за приростом рівня у мірному циліндрі).

Безпека: вода на підлозі – слизько, підстеліть рушник.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Польовий, А. М. Фізика геосфер Землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери. Частина І. Фізика ґрунтів : навч. посібник. Одеса : Одеський державний

екологічний університет, 2022. 119 с.

3. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Фізика». Частина I : для здобувачів рівня вищої освіти перший (бакалаврський) денної та заочної форми навчання за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / ДБТУ ; уклад.: Пак А. О., Сіняєва О. В., Крекот М. М. Харків, 2023. 74 с.

4. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.

5. Колінько, С. О., Бутенко, Т. І. Курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика : навч. посіб. / за ред. д.т.н., проф. Ващенко В. А. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2024. 98 с.

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА РІДИН – ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ, ЗМОЧУВАННЯ, КАПІЛЯРНІ ЯВИЩА

Мета: ознайомитися з основними поняттями молекулярної фізики рідин, зокрема з явищами поверхневого натягу, змочування і капілярних ефектів; навчитися застосовувати теоретичні формули для розв’язування практичних задач, пов’язаних із визначенням висоти підняття рідини в капілярах, силою поверхневого натягу та кутом змочування; розвинути вміння аналізувати та пояснювати капілярні явища, що мають важливе значення у біофізиці рослин та агрономії; формувати навички самостійної роботи з фізичними задачами різного рівня складності, сприяючи поглибленому розумінню фізичних процесів у рідинних системах.

Короткі теоретичні відомості

Молекулярна фізика рідин вивчає внутрішню будову та взаємодії молекул у рідкому стані, що визначають макроскопічні властивості: густину, в’язкість, поверхневий натяг.

Поверхневий натяг – явище, яке виникає через сильні міжмолекулярні сили на поверхні рідини, що прагне мінімізувати площу поверхні. Його характеризує коефіцієнт поверхневого натягу σ (Н/м).

Змочування – процес розтікання рідини по твердій поверхні, який залежить від взаємодії між молекулами рідини, твердого тіла та повітря. Кут змочування θ характеризує змочуваність: при $\theta < 90^\circ$ – змочування, при $\theta > 90^\circ$ – незмочування.

Капілярні явища – підняття або опускання рідини в тонких трубках (капілярах) через дію поверхневого натягу та змочування. Висота підняття h описується формулою:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r},$$

де r – радіус капіляра.

Капілярні явища відіграють важливу роль у пересуванні води в рослинних тканинах, ґрунті та зрошувальних системах.

Контрольні запитання

1. Що таке поверхневий натяг і які фізичні сили його викликають?
2. Як визначається кут змочування і що він показує?
3. Яка формула описує висоту підняття рідини в капілярі?
4. Яким чином капілярні явища впливають на рух води в рослинах?
5. Як змінюється поверхневий натяг при підвищенні температури?
6. Що відбувається при повному змочуванні поверхні?
7. Які фактори впливають на змочуваність різних поверхонь?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Радіус капіляра $r = 0,5$ мм, коефіцієнт поверхневого натягу води $\sigma = 0,0728$ Н/м, густина води $\rho = 1000$ кг/м³, кут змочування $\theta = 0^\circ$. Знайти висоту підняття води в капілярі.

Розв'язання. Знайдемо висоту підняття води в капілярі:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r} = 2 \cdot 0,0728 \cdot \frac{\cos 0^\circ}{1000} \cdot 9,81 \cdot 0,0005 = \\ = \frac{0,1456}{4,905 \cdot 10^{-3}} \approx 29,7 \text{ м.}$$

Теоретично, але на практиці через інші фактори висота буде меншою.

Відповідь: приблизно 29,7 м.

Приклад 2. Капілярна трубка з радіусом $r = 0,2$ мм змочується рідиною з кутом змочування 30° , коефіцієнт поверхневого натягу $\sigma = 0,05$ Н/м, густина $\rho = 900$ кг/м³. Знайти висоту підняття рідини.

Розв'язання. Знайдемо висоту підняття води в капілярі:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r} = 2 \cdot 0,05 \cdot \frac{\cos 30^\circ}{900 \cdot 9,81 \cdot 0,0002} = 0,1 \cdot \frac{0,866}{1,7658 \cdot 10^{-3}} \approx 49,0 \text{ м.}$$

Відповідь: 49,0 м.

Приклад 3. Рідина з $\sigma = 0,04$ Н/м, $\rho = 1100$ кг/м³ не змочує поверхню (кут змочування 120°). Радіус капіляра $r = 0,3$ мм. Знайти висоту підняття (або опускання) рідини.

Розв'язання. Знайдемо висоту підняття води в капілярі:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r}, \cos 90^\circ = -0,5,$$

$$h = 2 \cdot 0,04 \cdot \frac{-0,5}{1100 \cdot 9,81 \cdot 0,0003} = -\frac{0,04}{3,236 \cdot 10^{-3}} \approx -12,36 \text{ м.}$$

Від'ємне значення означає, що рідина опускається (утворюється меніск у вигляді западини).

Відповідь. -12,36 м.

Приклад 4. Для рослини довжина капіляра в її стеблі 0,5 м, радіус $r = 10^{-5}$ м, кут змочування 0° , $\sigma = 0,072$ Н/м, $\rho = 1000$ кг/м³. Чи підніметься вода на цю висоту?

Розв'язання. Обчислимо висоту підняття:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{2 \cdot 0,072}{1000 \cdot 9,81 \cdot 10^{-5}} = \frac{0,144}{9,81 \cdot 10^{-2}} \approx 1,47 \text{ м.}$$

Оскільки $h > 0,5$ м, вода може піднятися по капілярах рослини.

Відповідь. Вода підніметься.

Приклад 5. Рідина з $\sigma = 0,06$ Н/м, $\rho = 850$ кг/м³, в капілярі радіусом 0,1 мм піднялась на висоту 15 см. Визначити кут змочування θ .

Розв'язання.

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r} \Rightarrow \cos\theta = \frac{h\rho g r}{2\sigma}$$

Підставляємо:

$$\cos\theta = \frac{0,15 \cdot 850 \cdot 9,81 \cdot 0,0001}{2 \cdot 0,06} = \frac{0,1254}{0,12} = 1,045.$$

Значення $\cos\theta$ не може перевищувати 1, отже обчислено з похибкою або необхідно врахувати інші фактори (реальна змочуваність близька до 0°).

Приклад 6. Визначити силу поверхневого натягу, якщо по краю листка води довжиною 10 см діє сила змочування з кутом 45° і коефіцієнтом $\sigma = 0,07$ Н/м.

Розв'язання. Проекція сили поверхневого натягу на горизонталь:

$$F = \sigma \cdot L \cdot \cos\theta = 0,07 \cdot 0,10 \cdot \cos 45^\circ = 0,007 \cdot 0,707 = 0,00495 \text{ Н.}$$

Відповідь. 0,00495 Н.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Обчислити висоту підняття рідини в капілярі радіусом 0,1 мм з $\sigma = 0,073 \text{ Н/м}$, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\theta = 0^\circ$.
2. Рідина із $\sigma = 0,06 \text{ Н/м}$ не змочує поверхню ($\theta = 120^\circ$). Капіляр радіусом 0,2 мм. Знайти висоту опускання рідини.
3. Визначити силу поверхневого натягу на межі води та повітря довжиною 5 см, якщо $\sigma = 0,072 \text{ Н/м}$.
4. Який кут змочування, якщо рідина піднімається в капілярі на 2 см? $r = 0,5 \text{ мм}$, $\sigma = 0,07 \text{ Н/м}$, $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$.
5. Чому вода змочує скло, а ртуть — ні?
6. Капіляр піднімає воду на висоту 0,25 м при $\sigma = 0,072 \text{ Н/м}$, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Знайти радіус капіляра.
7. Під час досліду з рідиною у капілярі радіусом 0,3 мм вода піднялась на 0,1 м, а в іншій рідині — на 0,05 м. Визначити коефіцієнти поверхневого натягу, якщо кути змочування обох рідин 0° .
8. Визначити, чи може вода піднятися капілярами рослини висотою 1 м при радіусі судин 20 мкм.
9. Визначити змочуваність поверхні, якщо сила поверхневого натягу уздовж краю довжиною 12 см становить 0,006 Н, а $\sigma = 0,065 \text{ Н/м}$.
10. Обчислити висоту підняття рідини, якщо капіляр виготовлений із матеріалу, що змочує рідину під кутом 60° , $\sigma = 0,08 \text{ Н/м}$, $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, $r = 0,15 \text{ мм}$.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: тонка трубочка/скляна піпетка, вода, розчин мила, лінійка, монети, склянка, тонка нитка.

Кроки: виміряйте підняття води у трубці для чистої води та з милом; наберіть воду «куполом» на монеті — підрахуйте краплі до переливу.

Вимірювання: висота капілярного підняття h ; кількість крапель N .

Обчислення: порівняйте σ тематично (якісно) через зміну h і N ; оцініть контактний кут на око (змочування/незмочування).

Безпека: скло – обережно.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Фізика». Частина I : для здобувачів рівня вищої освіти перший (бакалаврський) денної та заочної форми навчання за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / ДБТУ ; уклад.: Пак А. О., Сіняєва О. В., Крекот М. М. Харків, 2023. 74 с.
3. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.
4. Колінько, С. О., Бутенко, Т. І. Курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика : навч. посіб. / за ред. д.т.н., проф. Ващенко В. А. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2024. 98 с.

Практичне заняття

ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ ТА ТЕПЛОЄМНІСТЬ

Мета: оволодіти поняттями кількості теплоти, питомої теплоємності, теплоємності тіла та молярної теплоємності; навчитися застосовувати формули для розрахунків нагрівання/охолодження речовин і сумішей; освоїти методи калориметричного балансу (змішування, вимірювання теплоємності зразків); розвинути здатність вирішувати практичні задачі з енергетики агросистем (нагрів ґрунту, води, прогноз потреби енергії в теплиці).

Короткі теоретичні відомості

1. **Кількість теплоти** – енергія, передана від одного тіла іншому внаслідок різниці температур. Для нагрівання без фазових переходів:

$$Q = cm\Delta T,$$

де c – питома теплоємність (Дж/(кг·К)), m – маса (кг), $\Delta T = T_{\text{кін}} - T_{\text{поч}}$.

2. **Теплоємність тіла** $C = cm$. Тоді $Q = C\Delta T$. Одиниці C : Дж/К.

3. **Калориметричний баланс (ізольована система)** при змішуванні:

$$\sum Q_{\text{віддано}} + \sum Q_{\text{отримано}} = 0.$$

Застосовується для визначення невідомих температур або теплоємностей.

4. **Питомі теплоємності деяких речовин (приблизно):** вода $c \approx 4180$ Дж/(кг·К), ґрунт (сумарно) $c \approx 800\text{--}1200$ Дж/(кг·К) залежно від вологості, рослинні тканини $\sim 3000\text{--}4000$ Дж/(кг·К) (орієнтовно).

5. **Фазові переходи:** при таненні/конденсації додається теплота $Q = \lambda m$, де λ – питома теплота плавлення/пароутворення (у задачах це враховується окремо).

Контрольні запитання

1. Що таке питома теплоємність і як вона відрізняється від теплоємності тіла?
2. Запишіть формулу для кількості теплоти при нагріванні тіла без фазових переходів.

3. Як знайти кінцеву температуру при змішуванні двох тіл різних температур (відкритий калориметричний баланс)?
4. Який вплив має вологість ґрунту на його ефективну теплоємність?
5. Коли при нагріванні додатково потрібно враховувати теплоту фазового переходу? Наведіть приклад із агрономії.
6. Як визначити питому теплоємність зразка за допомогою калориметра?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. У баку знаходиться $m=10$ кг води при $T_0 = 15^\circ\text{C}$. Потрібно нагріти до $T = 60^\circ\text{C}$. Визначити потрібну кількість теплоти (не враховуючи втрат).

Розв'язання. Визначимо кількість теплоти

$$Q = cm\Delta T = 4180 \cdot 10 \cdot (60 - 15) = 1,881 \times 10^6 \text{ Дж} (\approx 1,88 \text{ МДж}).$$

Коментар: корисно для розрахунку енергії при підготовці розчинів або нагріванні обігрівальних баків.

Відповідь: 1,88 МДж.

Приклад 2. 100 г води при 80°C змішали з 200 г води при 20°C . Знайти кінцеву температуру T_f (втратами нехтуємо).

Розв'язання. Енергія від 100 г, що охолоне, передається 200 г, що нагрівається:

$$m_1 c (80 - T_f) = m_2 c (T_f - 20).$$

Після скорочення c і підстановки $m_1=0,1$ кг, $m_2=0,2$ кг:

$$0,1(80 - T_f) = 0,2(T_f - 20).$$

Розв'язавши, отримаємо $T_f = 40^\circ\text{C}$.

Відповідь: 40°C .

Приклад 3. Вставили металевий зразок масою 0,5 кг, нагрітий до 100°C , у калориметр з водою 0,3 кг при 20°C . Кінцева температура системи $T_f = 25^\circ\text{C}$. Визначити питому теплоємність зразка c_x . Калориметр і вода разом мають ефективну теплоємність $C_{cal+water} = c_v m_v = 4180 \times 0,3 = 1254 \text{ Дж/К}$ (якщо калориметра немає, вважаємо тільки воду).

Розв'язання. Рівняння балансу:

$$m_x c_x (100 - 25) = C_{cal+water} (25 - 20).$$

Отже, $c_x \approx 167,2$ Дж/(кг·К).

Коментар: отримане c_x дуже мале для металу – перевірте чи враховано калориметр; це просто ілюстрація методу.

Приклад 4. Поле має шар ґрунту масою $m_s = 1000$ кг у верхньому шарі, вологість дає ефективну теплоємність $c_s = 1200$ Дж/(кг·К). Визначити енергію для підвищення температури цього шару на 5°C .

Розв'язання. Розрахуємо енергію

$$Q = c_s m_s \Delta T = 1200 \cdot 1000 \cdot 5 = 6,0 \times 10^6 \text{ Дж (6 МДж)}.$$

Інтерпретація: подібний підрахунок дає порядок енергії для ранкового прогрівання ґрунту під розсаду.

Відповідь: 6 МДж.

Приклад 5. У лабораторії зразок рослинної тканини масою $m = 0,02$ кг нагріли до 80°C і помістили в $0,18$ кг води при 20°C . Кінцева температура $T_f = 23^\circ\text{C}$. Визначити питому теплоємність тканини c_p (пізніше порівняти з літературними значеннями).

Розв'язання. Кількість теплоти, віддана тканиною:

$$m c_p (80 - 23).$$

Кількість теплоти, що отримала вода:

$$m_w c_w (23 - 20).$$

Рівняння:

$$m c_p (57) = 0,18 \cdot 4180 \cdot 3.$$

Звідси:

$$c_p = \frac{0,18 \cdot 4180 \cdot 3}{0,02 \cdot 57} \approx \frac{2256}{1,14} \approx 1980 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Коментар: отриманий порядок ~ 2000 Дж/(кг·К) реалістичний для деяких рослинних тканин (в залежності від вмісту води).

Відповідь: 1980 Дж/(кг·К).

Завдання для самостійного опрацювання

1. Скільки джоулів потрібно, щоб нагріти 2 кг води з 10°C до 50°C ?
2. 50 г металу нагріли до 120°C і кинули у 0,2 кг води при 20°C . Кінцева температура стала 30°C . Знайти питому теплоємність металу.
3. При нагріванні 500 г ґрунту (волога) на 10°C витрачено 6×10^5 Дж. Знайти середню питому теплоємність ґрунту.
4. Яка маса води нагріється від 15 до 60°C при подачі $1,0 \times 10^6$ Дж?
5. У батареї встановили нагрівач потужністю 2 кВт і ввімкнули на 30 хв. Яку кількість теплоти отримано (в Дж) і на скільки градусів за цей час можна підвищити температуру 100 л води (розглянути втрати як нуль)?
6. У закритому калориметрі (масою у тепловому еквіваленті $C_{cal}=200$ Дж/К знаходиться 0,5 кг води при 15°C . У середину опускають зразок масою 0,1 кг при 100°C . Кінцева температура 20°C . Знайти питому теплоємність зразка.
7. Розрахувати енергію, потрібну для випаровування з 1 м^2 ґрунту шару води товщиною 2 мм (вважайте густину води 1000 кг/м^3 і питому теплоту пароутворення $\lambda=2,26 \times 10^6$ Дж/кг).
8. У теплиці об'ємом 200 м^3 потрібно підняти температуру повітря на 8°C . Середня питома теплоємність повітря $c_{air} \approx 1005$ Дж/(кг·К), густина повітря $\rho \approx 1,2 \text{ кг/м}^3$. Обчислити енергію.
9. Ґрунт з вологістю 20% (масова частка води) має середню питому теплоємність сухої частини $c_{dry}=800$ Дж/(кг·К). Знайти ефективну питому теплоємність вологого ґрунту.
10. Потрібно підігріти 500 кг води на 30°C за 2 години. Яка потрібна потужність нагрівача з урахуванням 20% втрат тепла?

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: термометр кухонний, електрочайник, кухоль, вода, цукор/сіль, кухонні ваги.

Кроки: налийте у кухоль $m_{\text{тмт}}$ води кімнатної температури, долийте відомий об'єм окропу; перемішайте й виміряйте кінцеву температуру.

Вимірювання: m_1, T_1 (холодна), m_2, T_2 (гаряча), T_ϕ .

Обчислення: перевірте тепловий баланс $m_1 c(T_\phi - T_1) + m_2 c(T_\phi - T_2) \approx 0$.

Оцініть втрати тепла.

Безпека: працюйте обережно з окропом.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Фізика». Частина I : для здобувачів рівня вищої освіти перший (бакалаврський) денної та заочної форми навчання за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / ДБТУ ; уклад.: Пак А. О., Сіняєва О. В., Крекот М. М. Харків, 2023. 74 с.
3. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.
4. Колінько, С. О., Бутенко, Т. І. Курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика : навч. посіб. / за ред. д.т.н., проф. Ваценка В. А. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2024. 98 с.

ОПТИКА. ЗАКОНИ ВІДБИВАННЯ ТА ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА

Мета: оволодіти основними законами геометричної оптики: законом відбивання і законом заломлення (закон Снелліуса); навчитись застосовувати ці закони для розрахунків кутів відбивання і заломлення, критичного кута та умов повного внутрішнього відбивання; розвинути уміння вирішувати задачі, пов'язані з поширенням світла в біологічних середовищах (листя, вода, скло теплиць); ознайомитися з експериментальними методиками визначення показника заломлення та критичного кута.

Короткі теоретичні відомості

1. **Закон відбивання.** Кут відбивання β від плоскої поверхні рівний куту падіння α (обидва відраховуються від нормалі):

$$\alpha = \beta.$$

2. **Закон заломлення (Снелліус).** При переході променя з середовища 1 (показник n_1) в середовище 2 (показник n_2) кути падіння α і заломлення γ пов'язані:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma.$$

Якщо $n_2 > n_1$, промінь згинається ближче до нормалі; якщо $n_2 < n_1$, – від нормалі.

3. **Критичний кут θ_c** при переході з щільнішого середовища n_1 у рідше n_2 ($n_1 > n_2$):

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1.$$

При $\beta > \theta_c$ виникає **повне внутрішнє відбивання (ПВВ)**.

4. **Паралельна пластина (скляна чи плівка).** Промінь, що входить і виходить через паралельні поверхні (дві межі), виходить паралельно падаючому променю, але зміщений (латеральне зсування).

5. **Показники заломлення в агро-біологічному контексті:** повітря $n \approx 1,00$, вода $n \approx 1,333$, скло $n \approx 1,5$ (залежить від скла), епідерміс листка $n \approx 1,3$ – $1,45$

(орієнтовно). Параметри впливають на проникнення світла в листок, відбивання росю, роботу прозорих покриттів теплиць.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закон відбивання.
2. Запишіть закон Снелліуса. Що таке показник заломлення?
3. Як знайти критичний кут при переході вода $\rightarrow$ повітря?
4. Чому краплини роси на листі іноді інтенсивно блищать (високе дзеркальне відбивання)?
5. Що станеться з напрямком променя при переході з повітря у скло під малим кутом?
6. Як латеральне зсування променя при проходженні через плоску скляну пластину залежить від її товщини?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Прямий промінь падає на плоску поверхню листка під кутом $\alpha = 60^\circ$ (до нормалі). Знайти кут відбивання.

Розв'язання. За законом відбивання

$$\alpha = \beta.$$

Тож $\beta = 60^\circ$

Коментар: саме так виникають яскраві «блиски» на гладких листових поверхнях.

Відповідь: 60° .

Приклад 2. Промінь падає з повітря ($n_1=1,00$) на поверхню води ($n_2=1,333$) під кутом $\alpha = 30^\circ$. Знайти кут заломлення γ .

Розв'язання. Застосовуємо

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \gamma.$$

Підстановка та результат (обчислений):

$$\sin \gamma = \frac{1,00 \sin 30^\circ}{1,333} = \frac{0,5}{1,333} \approx 0,37509.$$

Отже $\gamma \approx 22,03^\circ$.

Інтерпретація: промінь згинається до нормалі – частина світла проникає у воду під меншим кутом.

Відповідь: $22,03^\circ$.

Приклад 3. Знайти критичний кут θ_c для межі вода ($n_1=1,333$) – повітря ($n_2=1,00$).

Розв’язання. $\sin\theta_c = n_2/n_1 = 1/1,333 \approx 0,75$.

Тому $\theta_c \approx \arcsin(0,75) \approx 48,61^\circ$.

Коментар: при кутах падіння у воді більших за $\sim 48,6^\circ$ промінь не переходить у повітря – виникає ПВВ; це важливо, наприклад, для збереження внутрішнього освітлення у гідропоніці або при внутрішньому відбитті в краплі роси.

Відповідь: $48,61^\circ$

Приклад 4. Тонка скляна пластина товщиною $d=5,0$ мм з показником заломлення $n=1,50$. Світловий промінь падає на пластину під кутом $\alpha = 40^\circ$ (до нормалі). Показати: (а) під яким кутом промінь проходить у склі; (б) яка латеральна відстань s між падаючим та вихідним променем (зсув).

Розв’язання. За Снелліусом:

$$\sin\gamma = \frac{n_1}{n_2} \sin\alpha = \frac{1,00 \sin 40^\circ}{1,50}.$$

Обчислення дають $\gamma \approx 25,37^\circ$.

Латеральне зміщення для пластини товщини d (формула):

$$s = \frac{d \sin(\alpha - \gamma)}{\cos\gamma}.$$

Підстановка дає $s \approx 1,397 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 1,40 \text{ мм}$.

Пояснення: промінь виходить паралельно падаючому (через паралельні поверхні), але зсунутий на $\sim 1,4$ мм. У контексті агрономії: для оптичних датчиків (наприклад, вимірювання кута падіння світла на листок або при візуальній апаратурі теплиці) треба враховувати таке зміщення при тонких прозорих перегородках.

Відповідь: $1,4 \text{ мм}$.

Приклад 5. Промінь заходить з повітря ($n=1,00$) у зовнішній епідерміс листка, $n_{epid} \approx 1,40$, а потім у внутрішній клітинний сік $n_s=1,33$. Якщо кут падіння на поверхню епідермісу $\alpha = 50^\circ$, під яким кутом промінь потрапить у сік (приблизно)?

Розв'язання. Перший перехід повітря $\rightarrow$ епідерміс: за Снелліусом знаходимо кут γ_1 у епідермісі.

Другий перехід епідерміс $\rightarrow$ сік: для кута падіння всередині епідермісу γ_1 знаходимо кут заломлення γ_2 у соку.

Короткий підрахунок дає:

$$\gamma_1 \approx \arcsin\left(\frac{\sin 50^\circ}{1,40}\right) \approx \arcsin\left(\frac{0,7660}{1,40}\right) \rightarrow \sin \gamma_1 \approx 0,547, \gamma_1 \approx 33,15^\circ.$$

$$\sin \gamma_2 = \frac{1,40}{1,33} \sin \gamma_1 \approx 1,052 \cdot 0,547 \approx 0,575 \rightarrow \gamma_2 \approx 35,16^\circ.$$

Інтерпретація: промінь у соку має кут $\sim 35^\circ$, тобто змінює напрям двома кроками; через такі послідовні заломлення значно залежить ефективне проникнення світла у лист (впливає на внутрішнє розподілення освітленості і фотосинтез).

Завдання для самостійного опрацювання

1. Промінь падає на плоске скло під кутом $\alpha = 25^\circ$. Який буде кут відбивання?
2. Світло падає з повітря на воду під кутом $\alpha = 45^\circ$. Визначити кут заломлення (вважати $n_v = 1,333$).
3. Знайти критичний кут для гранці вода $\rightarrow$ повітря.
4. Промінь падає на скляну пластину ($n = 1,5$) під кутом $\alpha = 0^\circ$. Яке латеральне зсування? (поясніть результат)
5. Чому блискучі краплини роси на поверхні листа утворюють яскраві відблиски для спостерігача під певним кутом?
6. Світло падає на пластину скла ($n=1,5$, товщина $d = 3$ мм) під кутом $\alpha = 60^\circ$. Знайти латеральний зсув s .

7. Промінь проходить через кілька шарів: повітря→скло ($n_1=1,5$, товщина 2 мм) →вода ($n_2=1,33$). Знайти кут виходу в воду для падаючого променя під кутом $\alpha = 40^\circ$.

8. Для скла з $n = 1,52$ знайти мінімальний показник заломлення середовища, у який промінь може вийти (умова ПВВ).

9. Обчислити, при якому куті падіння під водою промінь буде повністю відбиватися від поверхні повітря (перевірити умову ПВВ).

10. Проаналізуйте, як зміни показника заломлення епідермісу (наприклад, через вологу) вплинуть на кількість світла, що потрапляє в мезофіл листка.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: ліхтарик/смартфон, лінійка, прозора пластина (скло/плексиглас), папір у клітинку.

Кроки: намалюйте нормаль, світліть під різними кутами; відмічайте кут падіння α і кут заломлення β .

Вимірювання: α, β для 4–5 запусків.

Обчислення: побудуйте $\sin\alpha - \sin\beta$, знайдіть $n = \sin\alpha / \sin\beta$ як нахил.

Безпека: не світити в очі.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.
3. Дульфан, Г. Я., Назаренко, Є. І. Фізика. Загальна фізика : конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 103 с.
4. Лінчевський, І. В. Загальна фізика. Оптика. Лабораторний практикум :

навч. посібник / за заг. ред. І. В. Лінчевського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 38 с.

5. Шуаїбов, О. К. Практикум з фізики: електрика і магнетизм, оптика, квантова та ядерна фізика : навч. посіб. для студентів нефізичних спеціальностей ВНЗ України з курсу загальної фізики. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2024. 77 с.

Практичне заняття

ДИСПЕРСІЯ ТА ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА

Мета: ознайомитися з явищами дисперсії та інтерференції світла; навчитись використовувати формули для розрахунку кутів, довжин хвиль і товщин плівок; розглянути приклади, пов'язані з дослідженням забарвлення листя, визначенням якості рослинних масел та добрив за спектром; розвивати навички побудови розрахункових схем та аналізу оптичних явищ.

Короткі теоретичні відомості

1. **Дисперсія світла** – залежність показника заломлення n від довжини хвилі λ , що призводить до розкладання білого світла в спектр.

Закон Снелліуса:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Кутова дисперсія – різниця між кутами заломлення для різних λ .

2. **Інтерференція світла** – накладання двох або більше когерентних хвиль, при якому утворюється картина максимумів та мінімумів інтенсивності.

Умови максимумів:

$$\delta = k\lambda$$

Умови мінімумів:

$$\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$$

де δ – різниця ходу, k – ціле число.

3. **Інтерференція в тонких плівках** (наприклад, на поверхні масла, плівках воску на листі):

для максимуму при падінні під кутом:

$$2nd \cos \theta = k\lambda,$$

де n – показник заломлення плівки, d – товщина.

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище дисперсії?
2. Як змінюється показник заломлення зі зменшенням довжини хвилі?
3. Що таке когерентні хвилі?
4. Наведіть приклади інтерференції в природі.
5. Як можна визначити товщину тонкої плівки за інтерференційними смугами?
6. Чому в спектрі після призми кольори розташовані у певній послідовності?
7. Як впливає кут падіння на інтерференційну картину?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Промінь зеленого світла падає з повітря на поверхню води під кутом падіння $i = 45^\circ$. Показник заломлення води $n=1,333$. Знайти кут заломлення r у воді.

Розв'язання. Закон Снелліуса:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{n_1}{n_2} \sin i = \frac{1,00 \sin 45^\circ}{1,333}.$$

$$\sin 45^\circ \approx 0,7071, \text{ отже } \sin r \approx 0,7071/1,333 \approx 0,531.$$

$$r = \arcsin(0,531) \approx 32,1^\circ.$$

Відповідь: $32,1^\circ$.

Приклад 2. Тонка плівка масла з показником заломлення $n=1,40$ дає інтерференційний максимум при нормальному падінні для довжини хвилі $\lambda=600$ нм. Знайти товщину плівки d для першого порядку максимуму $k=1$.

Розв'язання. Умова максимуму при нормальному падінні:

$$2nd = k\lambda \Rightarrow d = \frac{k\lambda}{2n}.$$

Підстановка:

$$d = \frac{1 \cdot 600}{2 \cdot 1,40} = \frac{600}{2,8} \approx 214,3 \text{ нм.}$$

Відповідь: 214,3 нм.

Приклад 3. Скляна призма з вершиною $A=60^\circ$ має показник заломлення $n=1,52$. Для кута падіння при мінімальному відхиленні формула (приблизно) дає мінімальне відхилення $D_{min} \approx 2 \arcsin(n \sin \frac{A}{2}) - A$. Знайти D_{min} .

Розв'язання. $\sin(A/2) = \sin 30^\circ = 0,5$. Отже аргумент:

$N \sin A/2 = 1,52 \cdot 0,5 = 0,76$. Тому

$$D_{min} \approx 2 \cdot 49,5^\circ - 60^\circ = 99^\circ - 60^\circ = 39^\circ.$$

Відповідь: приблизно 39° .

Приклад 4. На листі спостерігається другий інтерференційний максимум (тобто порядок $k = 2$) при довжині хвилі $\lambda=450$ нм. Плівка воску має $n = 1,25$. Знайти товщину плівки d (світло падає нормально.)

Розв'язання. Для максимуму при нормальному падінні:

$$2nd = k\lambda \Rightarrow d = \frac{k\lambda}{2n}.$$

Підставляємо:

$$d = \frac{2 \cdot 450}{2 \cdot 1,25} = \frac{900}{2,5} = 360 \text{ нм}.$$

Коментар: знання порядку максимуму обов'язкове – перший максимум ($k=1$) дав би товщину у два рази меншу.

Відповідь: 360 нм.

Приклад 5. Тонка плівка добива на поверхні має $n = 1,38$ і товщину $d = 500$ нм. Знайти довжини хвиль λ у видимому діапазоні (400–700 нм), при яких спостерігатимуться інтерференційні максимуми при нормальному падінні.

Розв'язання. Умова максимуму:

$$2nd = k\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{2nd}{k}.$$

Обчислимо $2nd = 2 \cdot 1,38 \cdot 500 = 1380$ нм. Тепер підберемо цілі k такі, щоб λ потрапляла в $[400, 700]$ нм:

- $k=2$: $\lambda=1380/2=690$ нм (червоний; у діапазоні).
- $k=3$: $\lambda=1380/3 \approx 460$ нм (синько-зелений; у діапазоні).
- $k=1$: $\lambda=1380$ (інфрачервоне, поза видимим діапазоном).

- $k=4$: $\lambda=345$ (ультрафіолет, менше 400 нм).

Інтерпретація: плівка дає яскраві червоні та синьо-зелені смуги – це може впливати на колірний вигляд листка чи поверхні, що оглядається.

Відповідь: у видимому діапазоні можливі максимуми при $\lambda \approx 690$ нм ($k=2$) і $\lambda \approx 460$ нм ($k=3$).

Приклад 6. У спектрометрі для тієї самої призми (вершина $A=60^\circ$) виміряли мінімальні відхилення для двох довжин хвиль: для червоного $D_{\text{черв}} = 36^\circ$, для синього $D_{\text{син}} = 37^\circ$. Знайти показники заломлення $n_{\text{черв}}$ і $n_{\text{син}}$.

Розв'язання. Для мінімального відхилення справедлива точна формула

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + D_{\min}}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}.$$

Обчислимо по черзі (пам'ятаємо $\sin 30^\circ = 0,5$).

для червоного: $\frac{A+D}{2} = \frac{60+36}{2} = 48^\circ$. $\sin 48^\circ \approx 0,7431$. Отже

$$n_{\text{черв}} \approx \frac{0,7431}{0,5} \approx 1,486.$$

для синього: $\frac{60+37}{2} = 48,5^\circ$. $\sin 48,5^\circ \approx 0,7485$. Отже

$$n_{\text{син}} \approx \frac{0,7485}{0,5} \approx 1,497.$$

Коментар: синій має дещо більший n – типова дисперсія матеріалу (коротші хвилі заломлюються сильніше).

Відповідь: 1,49 та 1,5.

Короткі методичні зауваження

- У інтерференційних задачах дуже важливо вказувати порядок k (тому що від нього прямо залежить товщина d).
- При нормальному падінні використовують спрощену формулу $2nd = k\lambda$ (з урахуванням фазових зсувів; для деяких комбінацій матеріал/поверхня може бути зміщення на $\lambda/2$ – слід уточнювати в умові).
- Для призми формула для мінімального відхилення використовується часто у зворотному вигляді (щоб знайти n) – саме вона застосована у прикладі 6.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Знайти кут заломлення для зеленого світла ($\lambda=550$ нм) у воді при $i=40^\circ$.
2. Визначити різницю кутів заломлення для червоного і синього світла у склі ($n_{\text{черв}}=1,50$, $n_{\text{син}}=1,52$, $i=60^\circ$).
3. Тонка плівка масла знаходиться в повітрі (повітря — плівка — повітря). Показник заломлення масла $n=1,40$. Світло падає нормально на плівку. У відбитому світлі спостерігається перший інтерференційний максимум при довжині хвилі $\lambda=600$ нм. Знайти товщину плівки d .
4. Маємо скляну призму з вершиною $A=60^\circ$. Показник заломлення скла призми $n=1,52$. Промінь падає з повітря ($n_{\text{пов}}=1,00$). Знайти мінімальне відхилення D_{min} променя, що проходить через призму.
5. Тонка плівка води у повітрі (повітря — вода — повітря) має показник заломлення $n=1,33$. Світло падає нормально. У відбитому промені спостерігається перший інтерференційний мінімум при довжині хвилі $\lambda=580$ нм. Обчислити товщину плівки d .
6. На поверхні листка утворилась тонка плівка воску, яка знаходиться в повітрі (повітря – плівка – повітря). Показник заломлення воску $n=1,25$. Світло падає нормально на плівку. У відбитому промені спостерігається другий інтерференційний максимум при довжині хвилі $\lambda=450$ нм (синя область). Знайти товщину плівки d .
7. У спектрометрі та одній і тій самій призмі з вершиною $A=60^\circ$ виміряли мінімальні відхилення для двох довжин хвиль: для червоного – $D_{\text{черв}}=36^\circ$, для синього – $D_{\text{син}}=37^\circ$. Падаючий промінь з повітря ($n_{\text{пов}}=1,00$). Знайти показники заломлення призми $n_{\text{черв}}$ і $n_{\text{син}}$ для відповідних довжин хвиль.
8. На поверхні рідини утворилася тонка плівка добрива, яка знаходиться в повітрі (повітря — плівка — повітря). Показник заломлення плівки $n=1,38$, товщина $d=500$ нм. Розглядаємо інтерференцію при нормальному падінні. Визначити довжини хвиль λ у видимому діапазоні (400–700 нм), при яких у відбитому промені спостерігатимуться інтерференційні максимуми.

9. Дано показники заломлення $n(\lambda_1)$ та $n(\lambda_2)$ призматичного скла для двох довжин хвиль λ_1 і λ_2 . Призма має вершину A . Припустіть, що для кожної довжини хвилі визначено мінімальне відхилення $D_{min}(\lambda)$ за формулою

$$D_{min}(\lambda) = 2 \arcsin(n(\lambda) \sin A/2) - A.$$

Обчислити кутову дисперсію призми як різницю $\Delta D = D_{min}(\lambda_1) - D_{min}(\lambda_2)$.

10. На поверхні води утворилась тонка плівка масла (структура: повітря – масло – вода). Показник заломлення масла $n_{\text{мас}}=1,45$; підкладка – вода ($n_{\text{в}}=1,33$). Світло падає нормально. У відбитому промені спостерігається інтерференційний мінімум при довжині хвилі $\lambda = 600$ нм. Знайти товщину плівки d .

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: компакт-диск/дифракційна решітка (CD), білий LED-ліхтарик, білий папір, лінійка.

Кроки: спрямуйте світло на CD, спостерігайте спектри на стіні; виміряйте відстань до стіни L і зміщення m -го максимуму x .

Вимірювання: x , L для кількох порядків.

Обчислення: кут $\theta = \arctan(x/L)$; оцініть $\lambda = d \sin \theta / m$ ($d \approx 1,6$ μm для CD). Порівняйте «сині» та «червоні» відхилення (дисперсія).

Безпека: не використовуйте лазер без потреби.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Дульфан, Г. Я., Назаренко, Є. І. Фізика. Загальна фізика : конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 103 с.
3. Лінчевський, І. В. Загальна фізика. Оптика. Лабораторний практикум : навч. посібник / за заг. ред. І. В. Лінчевського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 38 с.
4. Шуаїбов, О. К. Практикум з фізики: електрика і магнетизм, оптика,

квантова та ядерна фізика : навч. посіб. для студентів нефізичних спеціальностей
ВНЗ України з курсу загальної фізики. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2024. 77 с.

Практичне заняття

ХВИЛЬОВІ ЯВИЩА. АКУСТИКА ТА БІОАКУСТИКА РОСЛИН

Мета: ознайомитися з основними закономірностями поширення звукових хвиль, вивчити механізми генерації та сприйняття акустичних сигналів рослинами, навчитися розраховувати параметри хвиль, частоти, швидкості та інтенсивності звуку, а також оцінювати вплив акустичних коливань на фізіологічні процеси рослин.

Короткі теоретичні відомості

1. **Звукові хвилі** – механічні поздовжні хвилі, що поширюються в газах, рідинах і твердих тілах за рахунок пружних коливань частинок середовища.

2. **Параметри звукових хвиль:**

- довжина хвилі λ (м),
- частота f (Гц),
- період T (с),
- швидкість v (м/с),
- амплітуда A (м).

3. **Зв'язок між параметрами:**

$$v = \lambda f$$

4. **Інтенсивність звуку:**

$$I = \frac{P}{S},$$

де P – потужність звукового джерела, S – площа, через яку проходить енергія.

5. **Рівень інтенсивності (децибели):**

$$L = 10 \log_{10} I / I_0,$$

де $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – поріг чутності.

6. **Біоакустика рослин** – досліджує акустичні сигнали, що генеруються або сприймаються рослинами (наприклад, при рості, транспірації чи стресових впливах).

Контрольні запитання

1. Що таке звукова хвиля? У чому полягає різниця між поздовжніми і поперечними хвилями?
2. Як пов'язані швидкість, довжина хвилі та частота?
3. Від чого залежить швидкість звуку в різних середовищах?
4. Як визначити інтенсивність звуку та її рівень у децибелах?
5. Які відомі приклади акустичного впливу на ріст рослин?
6. Чому в рослинних тканинах звук поширюється швидше, ніж у повітрі?
7. Які фактори можуть змінювати швидкість звуку у вологому ґрунті?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. У стеблі кукурудзи довжиною $l=2,5$ м зафіксовано, що акустичний сигнал проходить за $t=1,4$ мс. Знайти швидкість сигналу в стеблі.

Розв'язання. Швидкість:

$$v = lt = 2,5 / 1,4 \cdot 10^{-3} \approx 1786 \text{ м/с.}$$

Відповідь: 1,79 км/с.

Приклад 2. Ультразвук частотою $f=40$ кГц поширюється в повітрі при температурі 20°C ($v \approx 343$ м/с). Знайти довжину хвилі ультразвуку.

Розв'язання. $\lambda = vf = 343 \cdot 40 \cdot 10^3 \approx 8,575$ мм.

Відповідь: 8,58 мм.

Приклад 3. Інтенсивність сигналу у стеблі пшениці становить $I=2 \cdot 10^{-6}$ Вт/м². Знайти рівень у децибелах.

Розв'язання.
$$L = 10 \log_{10} \frac{2 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}} = 10 \log_{10}(2 \cdot 10^6) = 10(\log_{10} 2 + 6) \approx 10(0,3010 + 6) \approx 63,01 \text{ дБ.}$$

Відповідь: 63 дБ.

Приклад 4. Відомо, що хвиля поширюється в стеблі з $v=1500$ м/с. Перший резонанс виникає, коли довжина стебла $l=0,75$ м дорівнює половині довжини хвилі. Знайти частоту f .

Розв'язання. Тут прийнято, що в стеблі встановлюється поперечна стояча хвиля з граничними умовами, які дають для фундаментальної (першої) моди співвідношення $\lambda = 2l$, за інших граничних умов – наприклад, «закріплений–вільний» - форма фундаментальної моди інша; перевіряйте умову задачі.

Формули:

$$\lambda = 2l, f = \frac{v}{\lambda}.$$

Тоді

$$\lambda = 2 \cdot 0,75 \text{ м} = 1,50 \text{ м}.$$

$$f = 1500/1,50 = 1000 \text{ Гц}.$$

Коментар / інтерпретація:

- Частота 1 кГц – звукова, добре чутна для людини. У рослинних стеблах реальні резонанси можуть бути сильно демпфовані (за рахунок внутрішнього тертя, вологовмісту), тому амплітуда стоячої хвилі може бути мала.

- Загальна формула для гармонік при цій граничній умові: $f_n = n \frac{v}{2l}$ для $n=1,2,3,\dots$ Для першої моди $n=1$ – отримали результат вище.

- Якщо в задачі інші крайові умови (наприклад, один кінець закріплений, інший вільний), фундаментальна довжина хвилі дорівнює $\lambda = 4l$ і частота буде в 2 рази меншою.

Відповідь: 1000 Гц (1,0 кГц).

Приклад 5. Джерело потужністю $P_0=1,0$ Вт випромінює звук сферично. На відстані $r=5$ м інтенсивність зменшилася вдвічі через поглинання в ґрунті (тобто інтенсивність на відстані r становить $\frac{1}{2}I_0$, де I_0 – інтенсивність, яку мав би спостерігач без поглинання при тій самій відстані). Потрібно визначити, яка частина потужності (в ватах) була поглинута на промені до r (тобто яка енергія «зникла» за рахунок поглинання у ґрунті до цієї відстані).

Розв'язання. Припущення: випромінювання ізотропне (сферичне), без поглинання інтенсивність на відстані r була б $I_0 = \frac{P_0}{4\pi r^2}$, поглинання рівномірно зменшило інтенсивність у всіх напрямках так, що фактична інтенсивність $I(r) =$

$\frac{1}{2} I_0$. Це простий модельний підхід – для реального ґрунту поглинання залежить від напрямку, частоти, неоднорідності тощо.

Знайдемо інтенсивність без поглинання:

$$I_0 = \frac{P_0}{4\pi r^2} \approx 3,183 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2.$$

Знайдемо інтенсивність з урахуванням поглинання:

$$I(r) = \frac{1}{2} I_0 \approx 1,592 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2.$$

Потужність, яка насправді перетинає сферу радіуса r , дорівнює:

$$P(r) = I(r) \cdot 4\pi r^2.$$

Підставимо $I(r) = \frac{1}{2} I_0$ і $I_0 = \frac{P_0}{4\pi r^2}$:

$$P(r) = \frac{1}{2} I_0 \cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_0}{4\pi r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{2} P_0.$$

Отже через сферу на відстані r проходить потужність $P(r)=0,5$ Вт.

Поглинена (втрачена) потужність у шарі від джерела до відстані r – різниця між випромінюваною потужністю і потужністю, що пройшла далі:

$$P_{\text{погл}} = P_0 - P(r) = P_0 - \frac{1}{2} P_0 = \frac{1}{2} P_0 = 0,5 \text{ Вт.}$$

Відповідь: поглинено 0,5 Вт (половина початкової потужності) до відстані 5 м.

Коментар / інтерпретація:

- Цей підхід простий й ілюструє суть: якщо інтенсивність на певному радіусі зменшилася вдвічі від очікуваної при відсутності поглинання, то половина потужності була поглинена між джерелом і цією сферою.

- У реальному ґрунті поглинання частково залежить від частоти (високі частоти зазвичай сильніше поглинаються), від насиченості водою, структури ґрунту тощо. Тому для точних оцінок потрібно вимірювання коефіцієнта поглинання α і розв'язок виду $I(r) = I_0 e^{-\alpha r}$ (експоненційне затухання) або комбінований модельний підхід.

- Також корисно перерахувати ці втрати у децибелах (зменшення рівня): падіння інтенсивності в 2 рази відповідає зменшенню рівня на $10 \log_{10}(1/2) \approx -3,01$ дБ.

Завдання для самостійного опрацювання

1. У стеблі сої довжиною 3 м звук проходить за 1,8 мс. Знайти швидкість.
2. Знайти довжину хвилі для звуку частотою 2,0 кГц у повітрі ($v=343$ м/с).
3. Потужність звукового сигналу 0,01 Вт, площа розповсюдження 0,2 м².

Знайти інтенсивність.

4. Знайти рівень інтенсивності, якщо $I=5 \cdot 10^{-7}$ Вт/м².
5. Визначити частоту, якщо в резонаторі довжиною 0,5 м утворюється основна стояча хвиля, швидкість звуку $v=1500$ м/с.
6. Визначити швидкість звуку у вологому ґрунті, якщо хвиля довжиною 0,30 м має частоту 1200 Гц.
7. Порівняти рівні інтенсивності на відстанях $r_1=2$ м і $r_2=6$ м від джерела звуку потужністю 2,0 Вт.
8. У стеблі огірка швидкість звуку $v=1700$ м/с. Знайти довжини хвиль і частоти для перших трьох резонансів при $l=1,2$ м.
9. Розрахувати втрати потужності при поширенні звуку на відстань 10 м у повітрі, якщо коефіцієнт поглинання $0,15$ м⁻¹, а початкова потужність 0,5 Вт.
10. Для акустичного сигналу з $f=25$ кГц у стеблі ($v=1500$ м/с) знайти інтенсивність на відстані 4 м, якщо на 2 м вона становить $1,0 \cdot 10^{-4}$ Вт/м² і поглинання відбувається за законом $I(r) = I_0 e^{-\alpha(r-r_0)}$ при $\alpha=0,1$ м⁻¹.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: смартфон (генератор/шумомір-аплікація), рулетка, метроном/апка, порожня пляшка.

Кроки: дуйте в горлечко пляшки – визначте резонансну частоту (за тюнером). Змініть рівень води (ефективну довжину).

Вимірювання: частота f при різних висотах стовпа води (довжина повітряного стовпа l).

Обчислення: для моди «закріплений-вільний» $\lambda \simeq 4l$, $v \approx f\lambda$. Порівняйте з v у повітрі (≈ 343 м/с).

Безпека: пляшка чиста, без сколів.

Список літератури

1. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.
2. Дульфан, Г. Я., Назаренко, Є. І. Фізика. Загальна фізика : конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 103 с.
3. Лінчевський, І. В. Загальна фізика. Оптика. Лабораторний практикум : навч. посібник / за заг. ред. І. В. Лінчевського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 38 с.
4. Шуаїбов, О. К. Практикум з фізики: електрика і магнетизм, оптика, квантова та ядерна фізика : навч. посіб. для студентів нефізичних спеціальностей ВНЗ України з курсу загальної фізики. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2024. 77 с.

Практичне заняття

ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА В РОСЛИНАХ ТА СЕРЕДОВИЩІ

Мета: закріпити знання про основні електричні явища в біологічних системах, навчитися обчислювати електричні параметри середовищ (опір, провідність, напруженість електричного поля), аналізувати вплив електричних полів на рослини та оцінювати енергетичні характеристики електричних процесів у біосередовищах.

Короткі теоретичні відомості

- **Електропровідність рослинних тканин** зумовлена наявністю іонів у клітинному соці (головно K^+ , Na^+ , Cl^-).

- **Електричний опір** визначається законом Ома:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ – питомий опір, l – довжина провідника, S – площа поперечного перерізу.

- **Напруженість електричного поля:**

$$E = \frac{U}{d}.$$

- **Електричні потенціали клітин** – різниця потенціалів між внутрішнім та зовнішнім середовищем клітини (мембранний потенціал), зазвичай від -50 до -200 мВ.

- **Вплив електричних полів:** слабкі поля можуть стимулювати ріст коренів, сильні – пригнічувати.

- **Енергетика електричних процесів:** потужність $P = UI$, робота $A = UIt$.

Контрольні запитання

1. Що зумовлює електропровідність клітинного соку рослин?
2. Як визначається опір провідника (рослинної тканини) за геометричними параметрами?
3. Які типові значення мембранного потенціалу у рослинних клітинах?

4. Як змінюється електропровідність тканини при зміні її вологості?
5. Яким чином електричне поле впливає на процеси росту рослин?
6. Чим відрізняється дія постійного та змінного електричного поля на біологічні системи?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Виміряно опір ділянки стебла довжиною $l=5$ та діаметром $d=4$ мм. Питомий опір тканини $\rho=3,5 \text{ }\Omega\cdot\text{м}$. Знайти опір ділянки.

Розв'язання. Площа перерізу:

$$S = \pi(d/2)^2 = \pi(0,002)^2 \approx 1,256 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Опір:

$$R = \rho \frac{l}{S} = 3,5 \cdot \frac{0,05}{1,256 \cdot 10^{-5}} \approx 1,39 \cdot 10^4 \text{ }\Omega$$

Відповідь: 13,9 к Ω .

Приклад 2. Напруга між двома електродами у ґрунті становить $U=12$ В, відстань між ними $d=0,3$ м. Знайти напруженість електричного поля.

Розв'язання. Напруженість електричного поля

$$E = \frac{U}{d} = \frac{12}{0,3} = 40 \text{ В/м}$$

Відповідь: 40 В/м.

Приклад 3. Через листок рослини з опором $R=5 \text{ к}\Omega$ пропускають струм $I=2$ мА. Знайти напругу на листку.

Розв'язання. За законом Ома

$$U = IR = 0,002 \cdot 5000 = 10 \text{ В}$$

Відповідь: 10 В

Приклад 4. Вимірювання електропровідності соку показало, що через циліндричний зразок довжиною $l=0,1$ м і діаметром $d=5$ мм при напрузі $U=2,0$ В протікає струм $I=0,8$ мА. Знайти питомий опір соку.

Розв'язання. Площа перерізу:

$$S = \pi(0,0025)^2 \approx 1,963 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Опір:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2,0}{0,0008} = 2500 \, \Omega$$

Питомий опір:

$$\rho = R \frac{S}{l} = 2500 \cdot \frac{1,963 \cdot 10^{-5}}{0,1} \approx 0,49 \, \Omega \cdot \text{м}$$

Відповідь: 0,49 $\Omega \cdot \text{м}$.

Приклад 5. Польовий експеримент: два металеві електроди у ґрунті розміщені на відстані $d=0,5$ м. Опір ґрунту між ними $R=1,2$ к Ω . При подачі напруги $U=15$ В визначити: а) струм у ґрунті; б) потужність, яка виділяється у ґрунті; в) роботу електричного поля за 10 хв.

Розв'язання. а) За законом Ома

$$I = \frac{U}{R} = \frac{15}{1200} = 0,0125 \, \text{А}$$

б) Знайдемо потужність

$$P = UI = 15 \cdot 0,0125 = 0,1875 \, \text{Вт}$$

в) Розрахуємо роботу

$$A = Pt = 0,1875 \cdot (10 \cdot 60) = 112,5 \, \text{Дж}$$

Відповідь: 12,5 мА, 0,188 Вт, 112,5 Дж.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Виміряно опір листка довжиною 6 см і діаметром 3 мм. Питомий опір $\rho=4,0 \, \Omega \cdot \text{м}$. Знайти опір.
2. Напруга між двома точками в стеблі становить 6 В, відстань між ними – 0,15 м. Знайти напруженість поля.
3. Через стебло з опором 8 к Ω пропустили струм 1 мА. Знайти напругу.
4. Визначити потужність, якщо через тканину з опором 3 к Ω протікає струм 2 мА.
5. Опір циліндричного зразка довжиною 0,1 м та діаметром 4 мм дорівнює 1,5 к Ω . Знайти питомий опір.

6. Ділянка стебла довжиною 0,12 м і діаметром 5 мм має опір 2,5 к Ω . При подачі напруги 5 В визначити струм і потужність.
7. У ґрунт внесли електроди на відстані 0,4 м. Опір ґрунту становить 900 Ω , напруга – 20 В. Знайти струм, роботу поля за 5 хв.
8. Прилад показав струм 0,6 мА у зразку довжиною 0,15 м і діаметром 2,5 мм при напрузі 1,5 В. Знайти питомий опір.
9. Визначити напругу, необхідну для протікання струму 5 мА через зразок з опором 4,5 к Ω .
10. Зразок рослинної тканини має питомий опір 0,8 $\Omega \cdot \text{м}$, довжину 0,05 м, діаметр 3 мм. Знайти його опір і струм при напрузі 3 В.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: недорогий мультиметр, два «ґрунтові» цвяхи-електроди, провід, вологий ґрунт у горщику, рулетка.

Кроки: вставте електроди на відстані d (на однакову глибину), зміряйте опір ґрунту R при різній вологості (полийте й зачекайте 10 хв).

Вимірювання: $R(d)$ до/після поливу.

Обчислення: якісно оцініть провідність $\sigma \sim 1/\rho$, $\rho = RS/l$ (поясніть, як змінюється R з вологістю).

Безпека: не включайте високу напругу; сухі руки.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Прикладна біофізика. Вибрані розділи. Частина 1 \ [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Ніколов. Електронні текстові дані (1 файл : 5,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 199 с.
3. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія».

Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.

4. Дульфан, Г. Я., Назаренко, Є. І. Фізика. Загальна фізика : конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 103 с.

5. Шуаїбов, О. К. Практикум з фізики: електрика і магнетизм, оптика, квантова та ядерна фізика : навч. посіб. для студентів нефізичних спеціальностей ВНЗ України з курсу загальної фізики. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2024. 77 с.

МАГНІТНІ ЯВИЩА ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

Мета: ознайомитися з фізичною природою магнітних полів, вивчити явище електромагнітної індукції, навчитися розраховувати магнітну індукцію, силу Лоренца, ЕРС індукції та енергію магнітного поля, а також аналізувати вплив магнітних полів на біологічні системи.

Короткі теоретичні відомості

- **Магнітне поле** створюється рухомими електричними зарядами та струмами.

- **Магнітна індукція** – векторна величина, що характеризує магнітне поле:

$$F = qvB\sin\alpha \text{ (сила Лоренца)}$$

- **Закон Ампера** для провідника зі струмом у магнітному полі:

$$F = BIl\sin\alpha$$

- **Закон Фарадея** (електромагнітна індукція):

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

де $\Phi = BScos\alpha$ – магнітний потік.

- **Правило Ленца** визначає напрямок індукційного струму – він протидіє зміні магнітного потоку.

- **Магнітне поле Землі** має індукцію $B \approx (25-65) \mu T$, впливає на орієнтацію рослин та ріст проростків.

Контрольні запитання

1. Що створює магнітне поле?
2. Як визначається напрямок сили Лоренца?
3. Яке формулювання закону Фарадея?
4. Як зміниться ЕРС індукції, якщо швидкість зміни магнітного потоку зросте вдвічі?

5. Як впливає магнітне поле Землі на рослини?
6. У чому суть правила Ленца?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Визначити силу, що діє на протон, який рухається зі швидкістю $v=2,0 \cdot 10^5$ м/с перпендикулярно до магнітного поля з індукцією $B=50$ μ Т.

Розв'язання. Заряд протона: $q=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$F = qvB = (1,6 \cdot 10^{-19})(2,0 \cdot 10^5)(50 \cdot 10^{-6}) = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ Н}$$

Відповідь: $1,6 \cdot 10^{-18}$ Н.

Приклад 2. Через провідник довжиною $l=0,3$ м, розташований перпендикулярно до $B=0,2$ Т, проходить струм $I=5$ А. Знайти силу Ампера.

Розв'язання. За законом Ампера

$$F = BIl = 0,2 \cdot 5 \cdot 0,3 = 0,3 \text{ Н}$$

Відповідь: 0,3 Н.

Приклад 3. Котушка з 50 витків, площею одного витка $S=0,01$ м², перебуває в полі з B від 0,2 Т до 0,5 Т за 0,1 с. Знайти ЕРС індукції.

Розв'язання. Зміна магнітного потоку:

$$\Delta\Phi = NS(B_2 - B_1) = 50 \cdot 0,01 \cdot (0,5 - 0,2) = 0,15 \text{ Вб}$$

ЕРС:

$$E = \frac{0,15}{0,1} = 1,5 \text{ В}$$

Відповідь: 1,5 В.

Приклад 4. Металева рамка площею $S=0,02$ м² і опором $R=5$ Ω обертається у магнітному полі $B=0,3$ Т з частотою $f=25$ об/с. Визначити амплітуду індукційного струму.

Розв'язання. Амплітуда ЕРС:

$$E_{\max} = BS\omega, \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 25 \approx 157 \text{ рад/с}$$

$$E_{\max} = 0,3 \cdot 0,02 \cdot 157 \approx 0,942 \text{ В}$$

Струм:

$$I_{max} = \frac{E_{max}}{R} \approx \frac{0,942}{5} \approx 0,188 \text{ A}$$

Відповідь: 0,188 А.

Приклад 5. Провідник довжиною $l=0,5$ м рухається зі швидкістю $v=4$ м/с перпендикулярно до магнітного поля Землі ($B=40 \mu\text{T}$). Знайти ЕРС індукції.

Розв'язання. Для рухомого провідника в однорідному магнітному полі:

$$E = B \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha$$

де α – кут між вектором швидкості та лініями магнітної індукції. Якщо рух відбувається перпендикулярно ($\alpha=90^\circ$), то $\sin 90^\circ=1$.

Підставляємо значення:

$$E = (40 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,5 \cdot 4 = 8,0 \cdot 10^{-5} \text{ В}$$

Відповідь: 80 $\mu\text{В}$.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Знайти силу Лоренца для електрона ($v=1,5 \cdot 10^6$ м/с, $B=0,1$ Т, $\alpha=90^\circ$).
2. Через провідник довжиною 0,4 м у полі $B=0,25$ Т протікає струм 3 А. Знайти силу Ампера.
3. Котушка з 20 витків, площею $0,005 \text{ м}^2$, у полі, яке змінюється від 0,3 до 0,1 Т за 0,05 с. Знайти ЕРС індукції.
4. Рамка $0,1 \times 0,1$ м у полі 0,5 Т змінює орієнтацію від $\alpha=0^\circ$ до $\alpha=90^\circ$ за 0,2 с. Знайти середню ЕРС.
5. Визначити магнітний потік через площу $0,02 \text{ м}^2$ у полі 0,4 Т під кутом 30° .
6. Рамка площею $0,015 \text{ м}^2$ і опором 8Ω обертається у полі 0,25 Т з частотою 20 об/с. Знайти амплітуду струму.
7. Провідник 0,6 м рухається в полі 0,05 Т зі швидкістю 2 м/с. Знайти ЕРС.
8. Магнітне поле у котушці з 100 витків ($S=0,002 \text{ м}^2$) зростає від 0 до 0,4 Т за 0,1 с. Знайти ЕРС.
9. Котушка (200 витків, $S=0,005 \text{ м}^2$, $R=10 \Omega$) в полі 0,3 Т обертається з частотою 10 об/с. Знайти амплітуду струму.

10. Рамка в полі 0,35 Т обертається з частотою 30 об/с, опір 12 Ω , площа 0,01 м². Знайти максимальний струм.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: магніт (від холодильника), мідний дріт (2-3 м), цвях/болт для осердя, мультиметр (мілівольти), неодимовий маленький магніт (за можливості).

Кроки: намотайте котушку 200–300 витків на болт; під'єднайте до мультиметра (mV). Рухайте магніт усередині котушки – спостерігайте ЕРС.

Вимірювання: амплітуда ЕРС при різній швидкості руху, різній кількості витків.

Обчислення: якісно перевірте $E \propto N \cdot \Delta\Phi/\Delta t$. Побудуйте «швидкість руху $\sim$ амплітуда ЕРС».

Безпека: не коротко-замикайте батарейки, якщо додатково живите котушку.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Прикладна біофізика. Вибрані розділи. Частина 1 \ [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Ніколов. Електронні текстові дані (1 файл : 5,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 199 с.
3. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.
4. Дульфан, Г. Я., Назаренко, Є. І. Фізика. Загальна фізика : конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 103 с.
5. Шуаїбов, О. К. Практикум з фізики: електрика і магнетизм, оптика, квантова та ядерна фізика : навч. посіб. для студентів нефізичних спеціальностей ВНЗ України з курсу загальної фізики. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2024. 77 с.

Практичне заняття

АТОМНА ТА ЯДЕРНА ФІЗИКА В АГРОНОМІЇ

Мета: ознайомитися з основами атомної та ядерної фізики, методами застосування радіоактивних ізотопів у сільському господарстві, принципами дозиметрії, а також навчитися виконувати розрахунки активності, періоду напіврозпаду, енергії випромінювання та допустимих доз.

Короткі теоретичні відомості

- **Атом** складається з ядра (протони + нейтрони) та електронної оболонки.
- **Радіоактивний розпад** – самовільне перетворення нестійких ядер з випромінюванням α , β або γ -квантів.
- **Закон радіоактивного розпаду:**

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, A = \lambda N,$$

де $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ – період напіврозпаду.

- **Активність** – кількість розпадів за одиницю часу (в Бк або Кюрі).
- **Доза опромінення:**
 - *Поглинута доза* D (Гр) – енергія, поглинута одиницею маси.
 - *Еквівалентна доза* $H = D \cdot w_R$ (Зв), де w_R – коефіцієнт, залежний від типу випромінювання.
- **Застосування в агрономії:**
 - Вивчення метаболізму рослин за допомогою ізотопних міток.
 - Прискорення селекції шляхом індукції мутацій.
 - Дезінфекція ґрунтів та зерна.

Контрольні запитання

1. У чому різниця між α , β і γ -випромінюванням?
2. Як визначити період напіврозпаду за експериментальними даними?
3. Що таке активність джерела і в яких одиницях її вимірюють?
4. Які біологічні ефекти має іонізуюче випромінювання?

5. Як застосовують радіоізотопи в агрономії?
6. Яка залежність між поглинутою та еквівалентною дозою?

Приклади розв'язування задач

Приклад 1. Активність зразка ^{32}P через 20 діб зменшилася вдвічі. Знайти період напіврозпаду.

Розв'язання. Якщо активність зменшилася вдвічі, то $T_{1/2}=20$ діб.

Відповідь: $T_{1/2}=20$ діб.

Приклад 2. Визначити активність 5 г ^{60}Co ($T_{1/2}=5,27$ року).

Розв'язання. Молярна маса $M \approx 60$ г/моль, кількість речовини:

$$\nu = 5/60 \approx 0,0833 \text{ моль}$$

Кількість ядер:

$$N = \nu N_A \approx 0,0833 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \approx 5,02 \cdot 10^{22}$$

Постійна розпаду:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{5,27 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \approx 4,17 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$$

Активність:

$$A = \lambda N \approx (4,17 \cdot 10^{-9}) \cdot (5,02 \cdot 10^{22}) \approx 2,09 \cdot 10^{14} \text{ Бк}$$

Відповідь: $2,09 \cdot 10^{14}$ Бк.

Приклад 3. Джерело α -випромінювання потужністю 1,2 мкВт опромінює листок масою 2 г. Знайти поглинуту дозу за 10 хв, якщо вся енергія поглинається.

Розв'язання. Енергія за час:

$$E = P \cdot t = (1,2 \cdot 10^{-6})(600) = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

Доза:

$$D = \frac{E}{m} = 7,2 \cdot \frac{10^{-4}}{0,002} = 0,36 \text{ Гр}$$

Відповідь: 0,36 Гр.

Приклад 4. Ізотоп ^{137}Cs з $T_{1/2}=30$ років використовується для маркування поживних речовин у ґрунті. Початкова активність – 5,0 МБк. Знайти активність через 90 років.

Розв'язання. Кількість періодів:

$$n = \frac{90}{30} = 3$$

Активність:

$$A = A_0(1/2)^n = 5,0 \text{ МБк} \cdot \frac{1}{8} = 0,625 \text{ МБк}$$

Відповідь: 0,625 МБк.

Приклад 5. Зразок ^{32}P ($T_{1/2}=14,3$ доби) використовується для вивчення обміну фосфору в рослинах. Якщо через 30 діб активність стала 1,2 МБк, знайти початкову активність.

Розв'язання. Постійна розпаду:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{14,3} \approx 0,04848 \text{ д}^{-1}$$

Зворотне обчислення:

$$A_0 = A(t)e^{\lambda t} = 1,2 \cdot e^{0,04848 \cdot 30} \approx 1,2 \cdot e^{1,4544} \approx 1,2 \cdot 4,28 \approx 5,14 \text{ МБк}$$

Відповідь: 5,14 МБк.

Завдання для самостійного опрацювання

1. Знайти період напіврозпаду, якщо активність джерела зменшилася в 4 рази за 16 год.
2. Активність 2 г ^{226}Ra ($T_{1/2}=1600$ років).
3. Знайти дозу, якщо 0,5 г тканини поглинає 2 мкДж.
4. Визначити залишкову активність ^{60}Co через 10 років ($T_{1/2}=5,27$ років).
5. Скільки відсотків атомів розпадеться за 3 періоди напіврозпаду?
6. Джерело β -випромінювання потужністю 2,5 мкВт опромінює насіння (маса 5 г) протягом 20 хв. Знайти еквівалентну дозу ($w_R=1$).
7. Початкова активність ізотопу 10 МБк, $T_{1/2}=8$ діб. Знайти активність через 25 діб.
8. Дано 3 г ^{131}I , період піврозпаду якого $T_{1/2}=8,04$ діб. Знайти кількість атомів і початкову активність.

9. Після 40 діб активність ізотопу зменшилася до 15% від початкової. Знайти $T_{1/2}$.
10. Ізотоп з активністю 4 МБк має масу 0,2 г. Знайти $T_{1/2}$, якщо його молярна маса 100 г/моль.

Дослідницьке завдання для самостійного виконання

Матеріали: доступний побутовий дозиметр/радіометр або застосунок з зовнішнім датчиком; різні матеріали-екрани: картон, алюмінієва фольга, товсте скло; годинник із люмінофором (якщо безпечний) або «фон» місцевості.

Кроки: виміряйте потужність дози фону; між детектором і джерелом покладіть по черзі екрани – порівняйте ослаблення.

Вимірювання: покази $\dot{H}$ ($\mu Sv/h$) для різних екранів, відстаней.

Обчислення: відносне послаблення I/I_0 ; побудуйте залежність від товщини (якщо є кілька шарів).

Безпека: не шукайте «джерела» радіації; працюйте лише з природним фоном/легальними, безпечними об'єктами.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Біофізика рослин: Підручник. Вінниця, 2004. 252 с.
2. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.
3. Дульфан, Г. Я., Назаренко, Є. І. Фізика. Загальна фізика : конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 103 с.
4. Шуаїбов, О. К. Практикум з фізики: електрика і магнетизм, оптика, квантова та ядерна фізика : навч. посіб. для студентів нефізичних спеціальностей ВНЗ України з курсу загальної фізики. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2024. 77 с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаркуша, І. П., Горбачук, І. І., Курінний, В. П. та ін. Загальний курс фізики. Збірник задач / за ред. І. П. Гаркуші. Київ : Техніка, 2003. 560 с.
2. Дульфан, Г. Я., Назаренко, Є. І. Фізика. Загальна фізика : конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання всіх спеціальностей) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 103 с.
3. Дяденчук, А. Ф. Фізика з основами біофізики : конспект лекцій (для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальностей 203 «Садівництво, плодоовочівництво та виноградарство» та 201 «Агрономія» для денної та заочної форм навчання). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. 98 с.
4. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Фізика макросистем \ [Електронний ресурс] : конспект лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка та за освітньою програмою «Інформаційні вимірювальні технології» спеціальності 175 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. М. Генкін. Електрон. текст. дані (1 файл). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 147 с.
5. Колінько, С. О., Бутенко, Т. І. Курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика : навч. посіб. / за ред. д.т.н., проф. Ващенко В. А. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2024. 98 с.
6. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Фізика». Частина І : для здобувачів рівня вищої освіти перший (бакалаврський) денної та заочної форми навчання за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / ДБТУ ; уклад.: Пак А. О., Сіняєва О. В., Крекот М. М. Харків, 2023. 74 с.
7. Краснобокий, Ю. М., Підгорний, О. В., Ткаченко, І. А. Основи фізики з елементами біофізики : навч. посіб. Бровари : АНФ ГРУП, 2020. 356 с.

8. Кучерук, І. М., Горбачук, І. І., Луцик, П. П. Загальний курс фізики : навч. посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти : у 3 т. Т. 1 : Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ : Техніка, 1999. 536 с.

9. Лінчевський, І. В. Загальна фізика. Оптика. Лабораторний практикум : навч. посібник / за заг. ред. І. В. Лінчевського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 38 с.

10. Лопатинський, І. Є., Зачек, І. Р., Романишин, Б. М. Фізика : підручник. Львів : Афіша, 2005. 394 с.

11. Польовий, А. М. Фізика геосфер Землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери. Частина І. Фізика ґрунтів : навч. посібник. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2022. 119 с.

12. Посудін, Ю. І. Біофізика : підручник. Київ, 2016. 451 с.

13. Посудін, Ю. І. Біофізика рослин : підручник. Вінниця, 2004. 252 с.

14. Посудін, Ю. І. Фізика : підручник. Біла Церква, 2008. 464 с.

15. Прикладна біофізика. Біоелектричні процеси. Конспект лекцій \ [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньої програми «Електронні мікро- і наносистеми та технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н. Г. Іванушкіна, К. О. Іванько, Ю. В. Прокопенко. Електронні текстові дані (1 файл : 2,96 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 122 с.

16. Прикладна біофізика. Вибрані розділи. Частина 1 \ [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Ніколов. Електронні текстові дані (1 файл : 5,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 199 с.

17. Рильський, О. Ф., Костюченко, Н. І. Фізика біологічних систем : методичні рекомендації до лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Біологія» освітньо-професійної програми «Біологія». Запоріжжя : Національний університет, 2023. 56 с.

18. Сосницька, Н. Л., Дяденчук, А. Ф. Фізика : конспект лекцій. Частина 1. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. 95 с.

19. Суховія, М. І., Шафраньош, І. І. Біофізика складних систем : навч. посіб. / рец. М. О. Маргітич ; М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Ужгородський національний університет». Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2022. 43 с.

20. Шуаїбов, О. К. Практикум з фізики: електрика і магнетизм, оптика, квантова та ядерна фізика : навч. посіб. для студентів нефізичних спеціальностей ВНЗ України з курсу загальної фізики. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2024. 77 с.