

# Фізика коливально-хвильових процесів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	<b>Перший (бакалаврський)</b>
<b>Галузь знань</b>	12 Інформаційні технології
<b>Спеціальність</b>	122 Комп'ютерні науки
<b>Освітня програма</b>	Інтелектуальні сервіс-орієнтовані розподілені обчислювання, Системи і методи штучного інтелекту
<b>Статус дисципліни</b>	Нормативна
<b>Форма навчання</b>	Очна (денна)
<b>Рік підготовки, семестр</b>	1 курс, весняний семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	120 годин/ 4 кредити (денна: 36 годин – лекції, 18 годин – практичні, 18 годин – лабораторні, 48 годин – самостійна робота)
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	Екзамен/ МКР, РГР
<b>Розклад занять</b>	<a href="http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx">http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</a>
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	Професор, д.ф.-м.н. Калита Віктор Михайлович vmkalita@ukr.net
<b>Розміщення курсу</b>	<a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a> <a href="https://do.ipu.kpi.ua">https://do.ipu.kpi.ua</a>

### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

**Опис дисципліни.** Під час навчання студенти отримають теоретичну підготовку в області фізики часових процесів при збудженні фізичних систем, набудуть навичок правильного розуміння протікання фізичних явищ і їх опису з застосуванням фізичних понять, законів та теорій, що дозволить у майбутньому вибудовувати системний підхід до опису та моделюванні процесів, що розвиваються. Вивчення фізичних процесів відбувається з використанням методів диференціального та інтегрального числення, шляхом розв'язання диференціальних рівнянь. На практичних заняттях навчаються розв'язувати задачі практичного спрямування, максимально наближені з реальними процесами. На лабораторних заняттях студенти в умовах експерименту вивчатимуть процеси розвитку фізичних явищ, здійснювати їх математичний опис та проводити обробку даних експерименту. Контроль якості отриманих знань здійснюватиметься у вигляді модульної контрольної роботи.

**Предмет навчальної дисципліни:** вивчення фізичних процесів, їх математичний опис та установлення закономірностей розвитку процесів та явищ.

**Мета навчальної дисципліни.** Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей застосування основних принципів і законів фізики до опису реальних процесів, оперувати фізичними та математичними поняттями при розгляді протікання явищ і процесів, формувати навички системного мислення та системного підходу при аналізі розвитку і протіканні процесів, засвоїти основи фізичного моделювання процесів, оволодіти базовими знаннями для подальшого вивчення дисциплін циклу професійно-практичної підготовки.

### Основні завдання навчальної дисципліни

#### Знання:

- змісту основних законів коливальних механічних процесів та електромагнітних коливань;
- змісту основних законів поширення механічних та електромагнітних хвиль;
- основних законів хвильової оптики;
- основних законів теплового випромінювання;
- про хвильову функцію та хвильове рівняння Шредінгера

#### Уміння:

- застосовувати закони фізики в їх сучасному формулюванні до опису найпростіших фізичних процесів;
- аналітично та кількісно аналізувати фізичні явища та розв'язувати задачі;
- розраховувати характеристики коливальних систем;
- характеризувати найпростіші хвильові процеси;
- застосовувати математичний апарат для вирішення певних фізичних процесів;

#### Досвід:

- отримати розуміння концепцій та понять сучасної фізики й здатність до розуміння розвитку і протікання фізичних процесів;
- отримати здатність самостійно добувати знання, використовуючи сучасні освітні та інформаційні технології;
- правильно використовувати загальнонаукову та спеціальну термінологію.

### Програмні результати навчання:

Компетентності: зк1.2.6

**ЗК1.** Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

**ЗК2.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

**ЗК6.** Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.

**ФК 17.** Здатність забезпечувати моделювання технічних та інформаційних об'єктів і систем штучного інтелекту, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів

**ФК 28.** Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем, явищ і процесів.

**ПР2.** Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації.

**ПР3.** Використовувати знання закономірностей випадкових явищ, їх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки даних і побудови прогнозних моделей.

**ПР 28.** Вміти складати алгоритми чисельних розрахунків та комп'ютерні моделі фізичних явищ і процесів.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

**Міждисциплінарні зв'язки.** Дисципліна Фізика коливально-хвильових процесів є логічним продовженням та поглибленням курсу Основи фізики, що вивчається студентами бакалаврами та має тісний зв'язок з такими математичними дисциплінами: математичний аналіз, алгебра та аналітична геометрія, лінійна алгебра, диференційні рівняння, основи системного аналізу, моделювання систем.

**Пререквізити:** мати знання з основ фізики, знання основ інтегрального та диференціального числення, лінійної алгебри та аналітичної геометрії.

**Постреквізити:** знання, отримані студентами з курсу «Фізика коливально-хвильових процесів», використовуються в курсах «Комп'ютерна схемотехніка», «Основи системного аналізу», «Моделювання систем».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Механічні коливання**

Тема 1.1. Власні механічні коливання

Тема 1.2. Згасаючі механічні коливання, аперіодичний процес

Тема 1.3. Вимушені механічні коливання

Тема 1.4. Параметричний резонанс, системи з зв'язами, биття

### **Розділ 2. Електромагнітні коливання**

Тема 2.1. Вільні та згасаючі електромагнітні коливання

Тема 2.2. Вимушені електромагнітні коливання

Тема 2.3. Змінний струм

### **Розділ 3. Механічні та електромагнітні хвилі**

Тема 3.1. Хвильове рівняння механічних хвиль

Тема 3.2. Поширення механічних хвиль

Тема 3.2. Хвильове рівняння електромагнітних хвиль

Тема 3.4. Випромінювання та поширення електромагнітних хвиль

### **Розділ 4. Хвильова оптика**

Тема 4.1. Дисперсія світла. Групова швидкість.

Тема 4.2. Інтерференція та дифракція світлових хвиль.

Тема 4.3. Закони теплового випромінювання

### **Розділ 5. Хвильова оптика**

Тема 5.1. Фотон

Тема 5.2. Хвиля де Бройля

Тема 5.3. Хвильове рівняння Шредінгера

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Базова література

1. В.М.Калита, В.М.Локтев. Загальна фізика. Коливальні та хвильові процеси. – К: ІТФ, 2012.

2. Скіцько І.Ф., Скіцько О.І. Фізика (Фізика для інженерів): Підручник /: Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017.
3. В. М. Калита, І. М. Іванова, С.О. Решетняк. Загальна фізика. Коливання. Розв'язання задач. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
4. Задачі із загальної фізики. Розділ «Оптика. Квантова фізика. Молекулярна фізика». Уклад.: В.П. Бригінець, О.О. Гусєва, О.В. Дімарова та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2017.
5. І.М. Кучерук, І.І. Горбачук. Загальний курс фізики. Оптика. Квантова фізика.- К: Техніка, 1999.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна частина дисципліни складена з лекційного матеріалу, практичних занять, лабораторних занять та контрольних заходів у вигляді МКР. При викладанні дисципліни рекомендується побудувати ознайомлення студентів з предметом таким чином, щоб вони не тільки отримували ту чи іншу інформацію стосовно курсу, який вивчається, але й відчували зв'язок між різними темами кредитного модуля, а також місце модуля серед інших фізичних дисциплін.

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно-орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться студент – суб'єкт навчання і майбутній фахівець.

#### Лекційні заняття

*Лекція 1.* Механічні коливання. Коливальні системи. Диференційне рівняння вільних незгасаючих механічних коливань. Амплітуда, період, частота, фаза коливань. Кінетична, потенціальна та повна енергія при вільних механічних коливаннях. Фазовий портрет. Період коливань фізичного маятника. Показникова форма опису коливань.

*Лекція 2.* Диференційне рівняння вільних згасаючих механічних коливань. Розв'язок диференційного рівняння вільних згасаючих коливань. Характеристики згасаючих механічних коливань: ко-ефіцієнт згасання, час релаксації, логарифмічний декремент, добротність. Аперіодичний процес.

*Лекція 3.* Вимушені коливання. Диференційне рівняння вимушених механічних коливань. Розв'язок диференційного рівняння вимушених гармонічних коливань. Резонанс. Параметричний ре-зонанс. Коливання в системах з в'язами. Биття.

*Лекція 4.* Електромагнітні коливання. Власні електромагнітні коливання. Вільні згасаючі електромагнітні коливання. Вимушені електромагнітні коливання. Метод векторних діаграм. Складанні двох гармонічних коливань однакового напрямку і частоти.

*Лекція 5.* Змінний струм. Активний опір, ємнісний опір, індуктивний опір. Закон Ома для змінного струму, послідовне з'єднання елементів. Коло з паралельним з'єднанням елементів. Коефіцієнт потужності. Складання двох коливань перпендикулярних напрямків.

*Лекція 6.* Механічні хвилі. Рівняння хвилі. Період, довжина хвилі, хвильове число, фазова швидкість. Плоска хвиля. Сферична хвиля. Хвильове рівняння.

*Лекція 7.* Швидкість поширення біжучої хвилі в струні. Швидкість поширення біжучої пружної хвилі в стрижні. Поширення хвиль в газах. Енергія механічної пружної хвилі. Стоячі хвилі.

*Лекція 8.* Електромагнітні хвилі. Хвильове рівняння електромагнітної хвилі. Плоска електромагнітна хвиля. Зв'язок між векторами напруженостей полів електромагнітної хвилі..

*Лекція 9.* Вектор Пойтинга. Потік імпульсу електромагнітної хвилі. Випромінювання електромагніт-них хвиль.

*Лекція 10.* Оптика. Геометрична оптика. Принцип Ферма. Закони відбивання та заломлення світла. Закони відбивання та заломлення, як наслідок теорії Максвелла. Дисперсія світла. Електронна теорія дисперсії світла. Групова швидкість..

*Лекція 11.* Інтерференція. Когерентність. Інтерференція двох плоских когерентних хвиль. Дослід Юнга. Дзеркало Ллойда, біпризма Френеля. Кільця Ньютона.

*Лекція 12.* Дифракція. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракція від круглого отво-ру. Дифракція від непрозорого диску. Дифракція Фраунгофера від щілини.

*Лекція 13.* Теплова рівновага. Теплове випромінювання. Закон Кірхгофа. Абсолютно чорне тіло. Закони Стефана-Больцмана та закон Віна. Класична теорія теплового випромінювання. Квантова гіпотеза, формула Планка. Теорія Планка.

*Лекція 14.* Фотоефект. Закономірності та елементарна квантова теорія зовнішнього фотоефекту, рівняння Ейнштейна. Фотони, енергія, маса та імпульс фотона. Світловий тиск. Гальмівне рентгенівське випромінювання. Короткохвильова межа гальмівного спектра. Ефект Комптона та його елементарна теорія. Ядерна модель атома. Спектральні закономірності. Постулати Бора. Магнітний момент атому Бора.

*Лекція 15.* Гіпотеза де-Бройля. Характеристики хвилі де-Бройля: частота, довжина хвилі, фазова та групова швидкість, показник заломлення. Дифракція електронів.

*Лекція 16.* Принцип невизначеності, співвідношення Гейзенберга. Оціночні розрахунки за допомогою співвідношень Гейзенберга. Пояснення стабільності атому. Межі класичного способу опису. Хвильова функція, її ймовірностний зміст і властивості. Часове рівняння Шредінгера.

*Лекція 17.* Лінійні ермітові оператори. Сума операторів. Добуток операторів. Власні значення, власні функції операторів. Ортогональність власних функцій. Середнє значення фізичної величини. Однозначність вимірювання фізичних величин. Оператори квантової механіки. Оператор координати. Оператор імпульсу. Оператор моменту імпульсу. Оператор квадрату моменту імпульсу.

*Лекція 18.* Оператор кінетичної енергії. Гамільтоніан. Стационарне рівняння Шредінгера. Частинка в одновимірній потенціальній ямі. Частинка в тривимірній потенціальній ямі.

### **Практичні заняття**

№1. Механічні коливання.

№2. Електромагнітні коливання.

№3. Механічні хвилі.

№4. Електромагнітні хвилі.

№5. Хвильова оптика..

№6. Інтерференція, дифракція світлових хвиль.

№7. Теплове випромінювання.

№8. Корпускулярні властивості світла. Хвилі де Бройля.

№9. Модульна контрольна робота з теми коливання та хвилі

### **Лабораторні заняття (комп'ютерний практикум)**

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)
1	Вивчення вимушених коливань у коливальному контурі
2	Вивчення інтерференції світла (біпризма Френеля)

3	<i>Вивчення фраунгоферової дифракції на щілині</i>
4	<i>Вивчення поляризованого світла</i>
5	<i>Колоквіум з лабораторних занять</i>
6	<i>Вивчення досліду Франка - Герца</i>
7	<i>Вивчення ефекту Рамзауера</i>
8	<i>Вивчення оптичного спектра атомарного водню</i>
9	<i>Колоквіум з лабораторних занять</i>

### **Індивідуальні завдання**

З даного кредитного модуля заплановано індивідуальне завдання

*Основні цілі індивідуального завдання:*

- чітка організація самостійної роботи студентів;
- підвищення якості засвоєння навчального матеріалу;
- вироблення початкових навичок інженерних розрахунків

### **Розрахункова робота: “Механічні та електромагнітні хвилі”:**

Для плоскої механічної хвилі з заданою частотою та швидкістю поширення записати та побудувати графіки від часу та від координати:

- а) для зміщення точок середовища;
- б) для швидкості точок середовища;
- г) для прискорення точок середовища;
- д) для відносного видовження точок середовища;
- е) для кінетичної енергії точок середовища;
- ж) для імпульсу;
- з) для потоку енергії.

Для плоскої електромагнітної хвилі з заданою частотою, яка поширюється в середовищі записати та побудувати графіки від часу та від координати:

- а) для вектора напруженості магнітного поля;
- б) для вектора напруженості;
- в) для густини енергії магнітного поля;
- г) для густини енергії електричного поля;
- д) для вектора Пойтинга;
- е) для потоку імпульсу.

Параметри для обрахунку студенти отримують у викладача відповідно до таблиці варіантів.

### **Контрольні роботи**

З кредитного модуля заплановано проведення модульної контрольної роботи (МКР), розділеної на дві частини, що відповідають розділам: 1. Механічні коливання. 2. Електромагнітні коливання.

При проведенні МКР студенти отримують модульні контрольні завдання, які складаються з двох теоретичних питань та двох задач: перелік питань і приклади розв'язку задач в Додатку.

МКР проводиться письмово. Результати МКР оголошуються студентам на наступному занятті.

### **6. Самостійна робота студента**

Самостійна робота студента є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	12
2	Виконання РГР	4
3	Підготовка до МКР	2
4	Підготовка до екзамену	30

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на практичних заняттях.
- правила поведінки на заняттях: студент має слушно виконувати вказівки викладача щодо роботи на занятті, поводитися стримано й чемно та не заважати іншим студентам і викладачу. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на контрольну роботу (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Основи фізики»;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю:

Поточний контроль: МКР, РГР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: успішне виконання РГР, всіх контрольних та лабораторних робіт, семестровий рейтинг не менше 30 балів.

На першому занятті студенти ознайомлюються з рейтинговою системою оцінювання (PCO) дисципліни, яка побудована на основі «Положення про систему оцінювання результатів навчання», [https://document.kpi.ua/files/2020\\_1-273.pdf](https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf).

#### Рейтингова система оцінювання результатів навчання

1. Практичні заняття. За відповідь студент отримує бали: 3 бали при відповідності в межах 75-100 відсотків; 2 – готовність в межах 50-75 відсотків; 1 – готовність в межах 25-50 відсотків; 0 балів – повна неготовність (відсутність елементарних знань по темі заняття чи самостійної роботи).

Максимально за роботу на практичних заняттях протягом семестру студент отримує 12 балів.

2. Лабораторні роботи. За лабораторні роботи студент отримує бали: 0-1 бал – студент допущений до роботи, отримав допуск у процесі заняття й виконав виміри; 1-2 – студент допущений

до роботи, отримав допуск у процесі заняття, виконав виміри, здійснив розрахунки та оформлення роботи; 2-3 – студент допущений до роботи, отримав допуск у процесі заняття, виконав виміри, здійснив розрахунки, оформив та захистив роботу.

Максимально за роботу на лабораторних заняттях протягом семестру студент отримує 18 балів.

3. Модульна контрольна робота. Розділена на дві частини, максимальний бал кожної частини 10 балів, складаються з двох теоретичних питань та задачі: 0 балів – не виконано жодного завдання; 1–2 балів – виконано менше 20 % завдань; 3–4 балів – виконано не менше 30 % завдань; 5–6 балів – виконано не менше 50 % завдань; 7–8 балів – виконано не менше 70 % завдань; 9–10 балів – виконано не менше 85 % завдань. В підсумку за МКР  $2 \times 10 = 20$  балів.

4. Розрахунково-графічна робота (РГР). Максимально оцінюється в 10 балів. За роботу ставиться: 0 балів (не зараховано) – робота не подана протягом місяця після встановленого терміну; 1–2 бали (не зараховано) – робота містить грубі помилки в кожному завданні; 3–5 балів (не зараховано) – робота містить окремі грубі помилки, котрі спотворюють фізичний зміст отриманих результатів і потребує переробки; 6–7 балів (зараховано) – робота містить окремі суттєві помилки, але не потребує повної переробки; 8–9 балів (зараховано) – робота виконана вірно, але є помилки в обчисленнях і недоліки в графіках; 10 балів (зараховано) – робота не має суттєвих вад і зауважень.

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює 60. Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання модульної та розрахунково-графічної роботи виконання та захист всіх лабораторних робіт і стартовий рейтинг не менше 36 балів.

4. Відповідь на екзамені.

На екзамені студент отримує білет, що складається з чотирьох завдань, перші два з яких є теоретичними питаннями, а два інші задачі, які виконує письмово. Відповідь на кожне завдання оцінюється: у 10 балів у разі бездоганного виконання; у 8 балів, якщо відповідь помилкова через помилки в розрахунках або з помилково вживаною розмірністю; у 6 балів, якщо помилка виникла в процесі перетворення фізичних формул; у 5 балів, якщо розв'язку немає, але записані вірні фізичні формули; у 3 балів, якщо записана лише умова і зроблений рисунок; відсутність оформлення відповідей оцінюється в 0 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну відповідь переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Рейтингові бали	Оцінка за університетською шкалою
95 - 100	Відмінно
85 - 94	Дуже добре
75 - 84	Добре
65 - 74	Задовільно
60 - 64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрового контролю	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** д.ф.-м.н., проф. Калита В. М.

**Ухвалено** кафедрою загальної фізики (протокол № 5 від 22.06.2021)

**Погоджено** Методичною комісією НН ПСА (протокол № 8 від 17. 06. 2022)



## Додаток

### Контрольна 1

Перелік теоретичних питань:

Коливання. Коливальні системи. Диференційне рівняння вільних незгасаючих механічних коливань. Амплітуда, період, частота, фаза коливань. Кінетична, потенціальна та повна енергія при вільних механічних коливаннях. Фазовий портрет. Період коливань фізичного маятника. Показникова форма опису коливань. Диференційне рівняння вільних згасаючих механічних коливань. Розв'язок диференційного рівняння вільних згасаючих коливань. Характеристики згасаючих механічних коливань: коефіцієнт згасання, час релаксації, логарифмічний декремент, добротність. Аперіодичний процес. Вимушені коливання. Диференційне рівняння вимушених механічних коливань. Розв'язок диференційного рівняння вимушених гармонічних коливань. Резонанс. Параметричний резонанс. Коливання в системах з в'язами. Биття.

Приклади розв'язування задач Розділ 1. Задачі з механічних коливань в посібнику В.М. Калита, І.М. Іванова, С.О. Решетняк, Загальна фізика. Коливання. Розв'язання задач, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022, [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48724/1/Fizyka\\_Kolyvannia\\_Rozviazannia](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48724/1/Fizyka_Kolyvannia_Rozviazannia)

### Контрольна 2

Перелік теоретичних питань:

Електромагнітні коливання. Власні електромагнітні коливання. Вільні згасаючі електромагнітні коливання. Вимушені електромагнітні коливання. Метод векторних діаграм. Складання двох гармонічних коливань однакового напрямку і частоти. Змінний струм. Активний опір, ємнісний опір, індуктивний опір. Закон Ома для змінного струму. Коло з паралельним з'єднанням елементів. Коефіцієнт потужності. Складання двох коливань перпендикулярних напрямків.

Приклади розв'язування задач Розділ 2. Задачі з електромагнітних коливань в посібнику В.М.Калита, І.М. Іванова, С.О. Решетняк, Загальна фізика. Коливання. Розв'язання задач, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022, [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48724/1/Fizyka\\_Kolyvannia\\_Rozviazannia](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48724/1/Fizyka_Kolyvannia_Rozviazannia)