



ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерне моделювання фізичних процесів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР</i>
Розклад занять	<i>Час і місце проведення аудиторних занять викладені на сайті http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.ф.-м.н., проф. Решетняк Сергій Олександрович, r.sa@ukr.net Лабораторні заняття: д.ф.-м.н., проф. Решетняк Сергій Олександрович, r.sa@ukr.net, ст. викл. Захарченко Роман Валерійович, r.zakharchenko@kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, платформа Сікорський (код курсу в Google Classroom: t563lp3)</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Мета навчальної дисципліни – формування та закріплення у здобувачів компетентностей, навичок та вмінь щодо використання апарату фізики твердого тіла в фізичних дослідженнях.

Предмет навчальної дисципліни – закони, методи та засоби фізики твердого тіла як складові процесу фізичних досліджень.

Дисципліна «Фізика твердого тіла» належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки і вивчається студентами в 7-му семестрі навчання за спеціальністю 104 Фізика та астрономія. Ця дисципліна є неодмінною частиною класичної програми підготовки спеціалістів в області фізики і спрямована на формування у студентів базових понять, вмінь та навичок стосовно процесів, явищ та законів фізики твердого тіла. Зокрема,

ЗДАТНІСТЬ:

- опанувати основні положення фізики твердого тіла;*
- використовувати основи фізики твердого тіла для описання кристалічної структури твердих тіл;*
- застосовувати апарат фізики твердого тіла для дослідження пружних та термодинамічних характеристик твердих тіл;*
- обчислювати характеристики хвильових процесів в твердих тілах;*

- виконувати експериментальні дослідження з фізики твердого тіла.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

- концептуальних підходів фізики твердого тіла до вивчення фізичних явищ;
- класичних дифракційних методів;
- методик лабораторних досліджень з фізики твердого тіла;
- основ кристалічної будови твердих тіл;
- загальних підходів до вивчення термодинамічних характеристик твердих тіл;
- методів дослідження хвильових процесів в твердих тілах.

УМІННЯ:

- аналізувати навчальну та навчально-методичну літературу, використовувати її в навчальному процесі;
- складати математичні моделі задач фізики твердого тіла;
- виконувати теоретичні розрахунки при вивченні модельних процесів фізики твердого тіла;
- виконувати експериментальні роботи з фізики твердого тіла;
- викладати матеріал логічно та послідовно.

Програмні результати навчання.

Компетентності:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК4. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень

ФК6. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

ФК8. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук

ПРН 1. Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.

ПРН7. Знати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПРН9. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.

ПРН10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів

ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН16. Вміти самостійно навчатися та підвищувати рівень своєї кваліфікації

ПРН25. Вміти проводити теоретичні або експериментальні наукові дослідження що виконуються індивідуально або у складі наукової групи.

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

Вивчення даного кредитного модуля базується на дисциплінах «Загальна фізика. Механіка», «Загальна фізика. Молекулярна фізика», «Загальна фізика. Електрика та магнетизм», «Загальна фізика. Оптика», «Загальна фізика. Фізика атома», «Теоретична фізика. Класична механіка», «Теоретична фізика. Квантова механіка», «Математичний аналіз», «Основи векторного та тензорного аналізу», «Аналітична геометрія та лінійна алгебра», «Диференціальні та інтегральні рівняння».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна структурно розділена на 6 розділів:

Розділ 1. Структура кристалів.

Тема 1.1. Кристал. Кристалічна ґратка, базис, елементарна комірка, примітивна комірка, комірка Вігнера-Зейтца. Операції симетрії кристалічних структур. Трансляція, точкові операції симетрії, точкова група симетрії.

Тема 1.2. Сингонії. Типи кристалічних структур. Індекси Міллера. Положення та позначення площин, напрямків та вузлів елементарної ґратки в кристалі.

Розділ 2. Дифракція в кристалах. Обернена ґратка.

Тема 2.1. Закон Брегга. Методи дослідження кристалічних структур. Використовування електронів, нейтронів, рентгенівських променів для дослідження кристалів. Метод Лауе, метод обертання кристала, метод коливань, метод порошку.

Тема 2.2. Елементарна теорія дифракції. Розсіяння хвилі на розсіючому центрі, вектор розсіяння, амплітуда розсіяння, максимальне значення амплітуди розсіяння. Співвідношення Лауе. Обернена ґратка. Обернена ґратка простої кубічної ґратки.

Тема 2.3. Умови відбору при дифракції. Побудова Евальда. Зони Бріллюена.

Тема 2.4. Амплітуда розсіяння. Атомний фактор розсіяння. Структурний фактор базису. Структурний фактор базису ОЦК-ґратки.

Тема 2.5. Структурний фактор базису при розсіянні рентгенівських променів на електронах. Вплив теплових флуктуацій на атомний фактор розсіяння. Множник Дебая-Уоллера.

Тема 2.6. Електрони в напівпровідниках. Чорне випромінення.

Розділ 3. Фонони та коливання ґратки.

Тема 3.1. Квантовий характер коливань ґратки. Фонон як квазічастинка. Експериментальні дослідження, які доводять існування фононів. Квазіімпульс фонона. Правила відбору при непружному розсіянні. Непружне розсіяння фотонів на фононах.

Тема 3.2. Одномірний ланцюжок однакових атомів. Функція Лагранжа ланцюжка атомів в гармонічному наближенні. Рівняння Лагранжа. Закон дисперсії коливань ланцюжка однакових атомів. Перша зона Бріллюена. Групова і фазова швидкість. Функція Лагранжа ланцюжка атомів двох сортів в гармонічному наближенні. Рівняння Лагранжа. Оптичні та акустичні коливання лінійного ланцюжка з двохатомним базисом. (Закон дисперсії, заборонена зона).

Тема 3.3. Квантування коливань ґратки. (Гамільтоніан системи, перехід до Фур'є-компонент, комутаційні співвідношення). Оператори народження та знищення в теорії вторинного квантування. Комутаційні співвідношення. Гамільтоніан фононів в термінах операторів вторинного квантування (породження та знищення). Власні функції в просторі чисел заповнення. Нульові коливання.

Розділ 4. Теплові властивості кристалів.

Тема 4.1. Теплоємність кристала. Формула Планка. Модель Ейнштейна. Густина станів в кристалі в загальному випадку. Періодичні граничні умови. Теорія теплоємності Дебая.

Тема 4.2. Теплове розширення кристалу. Теплопровідність, коефіцієнт теплопровідності. Тепловий опір ґратки, процеси перебросу.

Розділ 5. Електрони в кристалічній ґратці.

Тема 5.1. Електрон в періодичній кристалічній ґратці. Рівняння Шредінгера електронної підсистеми. Властивості хвильової функції. Обернена ґратка. Теорема Блоха. Квазіімпульс. Густина станів в p -просторі. Властивості функцій $\varepsilon_l(\mathbf{p})$.

Тема 5.2. Наближення сильного зв'язку. Функції Ваньє. Лінійна теорія збурень.

Тема 5.3. Модель вільних електронів. Антисиметризація хвильової функції. Енергія Фермі.

Тема 5.4. Модель слабозв'язаних електронів.

Тема 5.5. Вплив зонної структури на фізичні властивості кристалів. Визначення типу провідності.

Тема 5.6. Фермі-газ і Фермі-рідина. Ефективна маса електрона. Густина станів для електронного газу в кристалі.

Тема 5.7. Електронна теплоємність. Експериментальне визначення вкладу електронної підсистеми в теплоємність кристалу.

Розділ 6. Магнітні властивості кристалів.

Тема 6.1. Енергія магнітної підсистеми. Доменна структура.

Тема 6.2. Ефект магнітострикції. Гігантська магнітострикція.

Тема 6.3. Ефект магнітоопору. Гігантський магнітоопір.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. C. Kittel. *Introduction to Solid State Physics*. – John Willy & Sons inc., 2005. – 680 p.
2. A. Abrikosov. *Fundamentals of the Theory of Metals*. – Elsevier Sci. Publ., 1988. – 630 p.
3. *Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах.* / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетика. – 415 с.
4. *Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах.* / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с.
5. *Фізика твердого тіла. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»* / С. О. Решетняк, Р. В. Захарченко, В. Н. Захарченко, Ю. Б. Скурта – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 191 с.

Додаткова література:

6. J.M. Ziman. *Electrons and Phonons*. – Oxford Univ. Press, 1960. – 554 p.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика. Ч. 1.* М.: Наука, 1976.
8. Ашкрофт Н., Мерин Н. *Фізика твердого тіла. Т. 1-2.* М.: Наука, 1983.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теория упругости.* М.: Наука, 1977.
10. Бонч-Бруевич В.Л. *Електронная теория неупорядоченных полупроводников.* М.: Наука, 1987
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Квантовая механика.* М.: Наука, 1991.
12. К.В. Шалимова /Гл. ред./ *Практикум по полупроводниковым приборам.* – М.: Высшая школа, 1968.
13. Ю.В. Воробьев, В.Н. Добровольский, В.И. Стриха. *Методы исследования полупроводников.* – Киев: Вища школа, 1988.

Всі наведені джерела можна завантажити з Електронного кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського або з папки курсу на платформі Сікорський.

Інформаційні ресурси:

1. Електронний кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, методичне забезпечення до кредитного модуля «Фізика твердого тіла».
2. Платформа «Сікорський», дистанційний курс «Фізика твердого тіла», код курсу **t563lp3**.

5. Методика опанування навчальної дисципліни

Навчальна частина дисципліни складена з лекційного матеріалу, лабораторних занять та контрольних заходів у вигляді МКР і ДКР. 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:

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Розділ 1, тема 1.1. Лекція 1. Кристал. Кристалічна ґратка, базис, елементарна комірка, примітивна комірка, комірка Вігнера-Зейтца. Операції симетрії кристалічних структур. Трансляція, точкові операції симетрії, точкова група симетрії. [1], глава 1.
2.	Розділ 1, тема 1.2. Лекція 2. Сингонії. Типи кристалічних структур. Індекси Міллера. Положення та позначення площин, напрямків та вузлів елементарної ґратки в кристалі. [1], глава 1.
3.	Розділ 2, теми 2.1-2.2. Лекція 3. Закон Бреґга. Методи дослідження кристалічних структур. Використовування електронів, нейтронів, рентгенівських променів для дослідження кристалів. Метод Лауе, метод обертання кристала, метод коливань, метод порошку. Елементарна теорія дифракції. Розсіяння хвилі на розсіючому центрі, вектор розсіяння, амплітуда розсіяння, максимальне значення амплітуди розсіяння. Співвідношення Лауе. [1], глави 1,2.
4.	Розділ 2, тема 2.2-2.3. Лекція 4. Обернена ґратка. Обернена ґратка простої кубічної ґратки. Умови відбору при дифракції. Побудова Евальда. Зони Бріллюена. [1], глава 2.
5.	Розділ 2, теми 2.4-2.5. Лекція 5. Амплітуда розсіяння. Атомний фактор розсіяння. Структурний фактор базису. Структурний фактор базису ОЦК-ґратки. Структурний фактор базису при розсіянні рентгенівських променів на електронах. Вплив теплових флуктуацій на атомний фактор розсіяння. Множник Дебая-Уоллера [1], глава 2.
6.	Розділ 3, тема 3.1.

	<p>Лекція 6. Квантовий характер коливань ґратки. Фонон як квазічастинка. Експериментальні дослідження, які доводять існування фононів. Квазіімпульс фонона. Правила відбору при непружному розсіянні. Непружне розсіяння фотонів на фононах. [1], глава 5.</p>
7.	<p>Розділ 3, тема 3.2. Лекція 7. Одномірний ланцюжок однакових атомів. Функція Лагранжа ланцюжка атомів в гармонічному наближенні. Рівняння Лагранжа. Закон дисперсії коливань ланцюжка однакових атомів. Перша зона Бріллюена. Групова і фазова швидкість. Функція Лагранжа ланцюжка атомів двох сортів в гармонічному наближенні. Рівняння Лагранжа. Оптичні та акустичні коливання лінійного ланцюжка з двохатомним базисом. (Закон дисперсії, заборонена зона). [1], глава 5.</p>
8.	<p>Розділ 3, тема 3.3. Лекція 8. Квантування коливань ґратки. (Гамільтоніан системи, перехід до Фур'є-компонент, комутаційні співвідношення). Оператори породження та знищення в теорії вторинного квантування. Комутаційні співвідношення. Гамільтоніан фононів в термінах операторів вторинного квантування (породження та знищення). Власні функції в просторі чисел заповнення. Нульові коливання. [1], глава 5.</p>
9.	<p>Розділ 4, тема 4.1. Лекція 9. Формула Планка. Теплоємність кристала. Модель Ейнштейна. Густина станів в кристалі в загальному випадку. Періодичні граничні умови. Теорія теплоємності Дебая. [1], глава 6.</p>
10.	<p>Розділ 4, тема 4.2. Лекція 10. Теплове розширення кристалу. Теплопровідність, коефіцієнт теплопровідності. Тепловий опір ґратки, процеси перебросу. [1], глава 6.</p>
11.	<p>Розділ 5, тема 5.1. Лекція 11. Електрон в періодичній кристалічній ґратці. Рівняння Шредінгера електронної підсистеми. Властивості хвильової функції. Обернена ґратка. Теорема Блоха. Квазіімпульс. Густина станів в p-просторі. Властивості функцій $\varepsilon_l(p)$. [2], § 1.1.</p>
12.	<p>Розділ 5, тема 5.2. Лекція 12. Наближення сильного зв'язку. Функції Ваньє. Лінійна теорія збурень. [2], § 1.2.</p>
13.	<p>Розділ 5, тема 5.3. Лекція 13. Модель вільних електронів. Антисиметризація хвильової функції. Енергія Фермі. [3], § 18.</p>
14.	<p>Розділ 5, тема 5.4. Лекція 14. Модель слабозв'язаних електронів. [2], § 1.3.</p>

15.	<i>Розділ 5, тема 5.5. Лекція 15. Вплив зонної структури на фізичні властивості кристалів. Визначення типу провідності. [6], § 20.</i>
16.	<i>Розділ 5, тема 5.6. Лекція 16. Фермі-газ і Фермі-рідина. Ефективна маса електрона. Густина станів для електронного газу в кристалі. [6], § 20.</i>
17.	<i>Розділ 5, тема 5.7. Лекція 17. Електронна теплоємність. Експериментальне визначення вкладу електронної підсистеми в теплоємність кристалу. [6], глава 2.</i>

Лабораторні заняття:

<i>№</i>	<i>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</i>
1.	<i>Вивчення техніки безпеки та правил користування лабораторним обладнанням з фізики твердого тіла (2 години) [5,7,8,13]</i>
2.	<i>Вивчення властивостей p-n переходу (6 годин) [5,7,8,13]</i>
3.	<i>Вивчення характеристик чорного випромінювання (6 годин) [5,7,8,13]</i>
4.	<i>Вивчення температурної залежності електропровідності металів і напівпровідників (6 годин) [5,7,8,13]</i>
5.	<i>Вивчення ефекту Холла (4 години) [5,7,8,13]</i>
6.	<i>Вивчення впливу магнітного поля на доменну структуру (6 годин) [5,7,8,13]</i>
7.	<i>Вивчення ефекту магнітоопору (6 годин) [5,7,8,13]</i>

6. Самостійна робота студента

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

<i>№ з/п</i>	<i>Вид самостійної роботи</i>	<i>Кількість годин СРС</i>
1	<i>Підготовка до аудиторних занять</i>	<i>34</i>
2	<i>Підготовка до МКР</i>	<i>6</i>
3	<i>Підготовка до заліку</i>	<i>8</i>

7. Політика навчальної дисципліни

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 PCO 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. Успішним вважається виконання контрольної роботи, якщо студент отримав за неї не менш, ніж 50% від максимальної кількості балів. У випадку пропуску контрольної роботи без поважної причини або неуспішної здачі контрольної роботи перескладання контрольної роботи здійснюється за узгодженням з викладачем, при цьому максимальна оцінка, яку студент може отримати за контрольну роботу, зменшується на 2 бали по відношенню до вчасної здачі контрольної роботи;
- **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 «Фізика твердого тіла»;
- **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.

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

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: успішне виконання всіх контрольних та лабораторних робіт, семестровий рейтинг не менше 60 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.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, які студент отримує за:

- 1) три контрольні роботи (МКР поділяється на 3 контрольні роботи тривалістю по 0,6 акад. годин);
- 2) виконання лабораторних робіт (7 робіт);

2. Критерії нарахування балів.

2.1. Виконання контрольних робіт:

Ваговий бал – 10 балів. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює 10 балів x 3 = 30 балів. Критерії оцінювання:

- | | |
|---|---------------|
| творча робота | - 9–10 балів, |
| роботу виконано з незначними недоліками | - 7–8 балів, |
| роботу виконано з певними помилками | - 5–6 балів, |
| роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) | - 0 балів. |

2.2. Виконання лабораторних робіт:

- | | |
|---|---------------|
| бездоганна робота | - 9–10 балів, |
| роботу виконано з незначними недоліками | - 7–8 балів, |
| роботу виконано з певними помилками | - 5–6 балів, |
| роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) | - 0 балів. |

3. Умовою першої атестації є отримання не менше 15 балів та успішне виконання всіх лабораторних робіт на час атестації. Умовою другої атестації – отримання не менше 30 балів, виконання всіх лабораторних робіт на час атестації.

4. Умовою допуску до заліку є успішне виконання всіх контрольних та лабораторних робіт. Якщо семестровий рейтинг складає не менше 60 балів, студент отримує залік автоматом.

5. Виконання всіх контрольних та лабораторних робіт є також умовою допуску до перескладання заліку, якщо рейтинг протягом семестру склав менше 60 балів. В такому разі рейтингова оцінка встановлюється в результаті співбесіди з викладачем з урахуванням вже набраних балів.

6. Сума отриманих балів переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Є незараховані контрольні чи лабораторні роботи	Не допущено

Якщо студент набрав протягом семестру 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, він може це зробити у співбесіді з викладачем.

9. Додаткова інформація з дисципліни

- Перелік запитань наведено в Електронному кампусі КПІ ім. Ігоря Сікорського та в папці курсу на платформі «Сікорський».
- Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 ВІД 01.10.2020 р. «Про затвердження положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склав завідувач кафедри загальної фізики, д.ф.-м.н., проф. Решетняк С.О.

Ухвалено кафедрою загальної фізики (протокол № 8 від 18.06.2024 р.).

Погоджено Методичною комісією ФМФ (протокол № 10 від 25.06.2024 р.)