

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної  
роботи

Олександр ГОЛОВКО



\_\_\_\_\_ 2022р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**Теоретична фізика (Електродинаміка)**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	перший (бакалавр)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма	«Прикладна фізика»
спеціалізація	
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2022/2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)  
“26” серпня 2022 року, протокол №8

Розробники програми: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)  
доцент кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера,  
д.ф.-м.н., старший дослідник Сергій ТРОФИМЕНКО

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера  
Протокол від “26” серпня 2022 року, протокол № 13

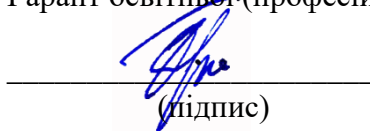
Завідувач кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера



\_\_\_\_\_ Микола ШУЛЬГА  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми Прикладна фізика  
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної) програми



\_\_\_\_\_ Ігор ГІРКА  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»  
(назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна)

Протокол від “30” серпня 2022 року, протокол №11

Голова методичної комісії фізико-технічного факультету



\_\_\_\_\_ Микола ЮНАКОВ  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програму навчальної дисципліни “Електродинаміка” складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – “Природничі науки”. Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”. Освітня програма: «Прикладна фізика», «Медична фізика», «Біомедичні нанотехнології». При розробці Програми враховані вимоги Стандарту вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого наказом МОН України № 804 від 16.06.2020 р.

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Полягає в оволодінні студентами основними поняттями та методами розв’язування задач у галузі спеціальної теорії відносності та класичної електродинаміки у вакуумі.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями є засвоєння студентами базових понять, позначень, математичного апарату та методів спеціальної теорії відносності та електродинаміки з метою їх подальшого використання в інших навчальних курсах, як-от квантовій електродинаміці, фізиці плазми, ядерній фізиці тощо, та в науковій роботі. Зокрема це стосується таких понять як перетворення Лоренца для різноманітних фізичних величин, псевдоевклідовий простір, чотиривимірні вектори і тензори, коваріантна форма запису фізичних законів, функція Лагранжа для системи заряджених частинок в електромагнітному полі, рівняння Максвелла та рівняння руху релятивістської частинки в електромагнітному полі, принцип калібрувальної інваріантності, дипольний момент та тензор квадрупольного моменту системи зарядів, магнітний момент системи зарядів, загаяні потенціали, інтенсивність та спектрально-кутова густина випромінювання, переріз розсіювання випромінювання вільними частинками та осциляторами тощо, а також методів розв’язку зазначених рівнянь та способів обчислення згаданих вище величин.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення дисципліни «Теоретична фізика (Електродинаміка)»:

- Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. **(ЗК-6)**
- Здатність працювати автономно. **(ЗК-9)**

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення дисципліни «Теоретична фізика (Електродинаміка)»:

- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. (СК-6)
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. (СК-7)

### 1.3. Кількість кредитів

9

### 1.4 Загальна кількість годин

270

### 1.5. Характеристика навчальної дисципліни

Нормативна	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	3-й
Семестр	
5-й	6-й
Лекції	
48 год.	48 год.
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	32 год.
Лабораторні заняття	
0 год.	
Самостійна робота	
55 год.	55 год.
Індивідуальні завдання	
2	

### 1.6. Заплановані результати навчання:

**знати:**

- постулати та основні поняття спеціальної теорії відносності;
- визначення та властивості 4-векторів і 4-тензорів;
- перетворення Лоренца для компонент довільного 4-вектору;
- релятивістські визначення енергії та імпульсу частинки;
- явний вигляд 4-векторів координати, швидкості, імпульсу, потенціалу, визначення тензору електромагнітного поля;
- комбінації фізичних величин (час, координати, енергія, імпульс, електричне і магнітне поле), інваріантні відносно перетворень Лоренца;
- рівняння Максвелла та рівняння руху релятивістської частинки у тривимірному та чотиривимірному вигляді;
- принцип калібрувальної інваріантності, калібрування Кулона та Лоренца;
- визначення дипольного моменту, тензору квадрупольного моменту та магнітного моменту системи зарядів;
- визначення густини енергії та потоку енергії електромагнітного поля;
- комплексна форма запису поля плоскої монохроматичної хвилі з лінійною та круговою поляризацією;

- умови застосовності класичної електродинаміки;
- умови застосовності дипольного наближення у теорії випромінювання;
- основні властивості синхротронного випромінювання.

#### **вміти:**

- виконувати операції з 4-векторами і 4-тензорами;
- записувати рівняння руху частинки у декартовій та циліндричній системі координат у довільному електромагнітному полі;
- виконувати перетворення Лоренца для часу, координат, довжин, швидкості, імпульсу, енергії, електричного та магнітного поля, кутового розподілу, спектрально-кутової густини та частоти випромінювання;
- описувати кінематику зіткнень релятивістських частинок на основі закону збереження 4-імпульсу;
- розв'язувати рівняння руху релятивістської частинки в тривимірному та чотиривимірному вигляді в однорідних електричних і магнітних полях, а також у суперпозиції цих полів;
- обчислювати потенціал системи зарядів у дипольному та квадрупольному наближенні та потенційну енергію диполя і квадруполь у зовнішньому електричному полі;
- розраховувати повну інтенсивність та спектрально-кутові характеристики випромінювання частинки із заданим законом руху;
- розраховувати переріз розсіювання випромінювання вільними частинками та осциляторами.

#### **студенти мають досягти таких результатів навчання:**

- Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **(Зн-1)**
- Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних середовищ, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та геометричної 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 теоретичної та прикладної фізики. **(Зн-4)**
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. **(Зн-5)**
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **(Ум-1)**
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. **(Ум-3)**
- Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. **(Ум-4)**
- Відшуковувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації. **(Ум-5)**
- Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики. **(Ум-6)**
- Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи. **(АіВ-1)**

## **2. Тематичний план навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Основи спеціальної теорії відносності.**

**Тема 1.** Експеримент Майкельсона. Принципи відносності Галілея та Ейнштейна. Постулати теорії відносності. Лоренцеве перетворення координат і часу.

**Тема 2.** Наслідки перетворень Лоренца. Релятивістське скорочення довжини та сповільнення часу. Перетворення швидкості та аберація світла.

**Тема 3.** Інтервал. Перетворення Лоренца як чотиривимірний поворот. Простір Мінковського.

**Тема 4.** Чотиривимірні вектори і тензори та їх лоренцеве перетворення. Операції з чотиривимірними векторами і тензорами. Метричний тензор. Абсолютно антисиметричний чотиривимірний одиничний тензор четвертого рангу.

### **Розділ 2. Релятивістська механіка**

**Тема 5.** Чотиривимірна швидкість. Дія для вільної частинки. Функція Лагранжа, енергія і імпульс вільної частинки, маса спокою. Перетворення Лоренца для енергії і імпульсу. Перехід до граничного випадку нерелятивістської механіки.

**Тема 6.** Закони збереження в релятивістській механіці. Закон збереження 4-вектора імпульсу. Центр інерції системи частинок. Розпад частинки. Дефект мас. Пружні зіткнення двох частинок.

### **Розділ 3. Заряджена частинка в електромагнітному полі**

**Тема 7.** 4-вектор потенціалу електромагнітного поля. Дія, функція Лагранжа та функція Гамільтона частинки в електромагнітному полі. Рівняння руху частинки в електромагнітному полі у тривимірній формі. Принцип калібрувальної інваріантності. Постійне електромагнітне поле. Однорідне електричне поле. Однорідне магнітне поле.

**Тема 8.** Рух частинки у постійному електричному полі. Рух частинки у постійному магнітному полі. Дрейф частинки у схрещених постійних однорідних електричному і магнітному полях.

**Тема 9.** Рівняння руху частинки в електромагнітному полі у чотиривимірній формі. Тензор електромагнітного поля. Перетворення Лоренца для електричного і магнітного полів. Інваріанти електромагнітного поля.

### **Розділ 4. Рівняння Максвелла**

**Тема 10.** Перша пара рівнянь Максвелла у тривимірній та чотиривимірній формі. Чотиривимірний вектор густини струму. Дельта-функція. Рівняння неперервності.

**Тема 11.** Опис поля в рамках формалізму Лагранжа. Дія для електромагнітного поля. Друга пара рівнянь Максвелла у чотиривимірній та тривимірній формі. Струм зсуву.

**Тема 12.** Рівняння Максвелла для потенціалів. Калібрування Лоренца та Кулона. Густина та потік енергії електромагнітного поля. Імпульс електромагнітного поля.

### **Розділ 5. Постійне електромагнітне поле.**

**Тема 13.** Електростатичне поле. Електростатична енергія системи зарядів. Класичний радіус електрона.

**Тема 14.** Електричне поле на великій відстані від системи зарядів. Дипольний момент. Тензор квадрупольного моменту. Система зарядів у зовнішньому електричному полі. Потенційна енергія взаємодії диполя і квадрупольного зовнішнім сталим електричним полем.

**Тема 15.** Усереднене за часом магнітне поле. Закон Біо і Савара. Магнітне поле на великих відстанях від системи зарядів, які фінітно рухаються. Магнітний момент системи зарядів.

**Тема 16.** Момент сил, що діє на систему зарядів у зовнішньому магнітному полі. Прецесія магнітного моменту у зовнішньому магнітному полі. Частота Лармора. Функція Лагранжа системи зарядів у зовнішньому постійному і однорідному магнітному полі.

### **Розділ 6. Електромагнітні хвилі.**

**Тема 17.** Хвильове рівняння у тривимірному і чотиривимірному вигляді. Плоскі хвилі. Зв'язок між напруженостями електричного і магнітного полів плоскої хвилі. Густина і потік енергії плоскої хвилі. Монохроматична плоска хвиля. Поляризація.

**Тема 18.** Середня густина і потік енергії у монохроматичній плоскій хвилі. Релятивістський ефект Доплера. Спектральний розклад поля, яке змінюється з часом періодично та неперіодично.

### **Розділ 7. Випромінювання електромагнітних хвиль.**

**Тема 19.** Загаяні потенціали. Поле на великих відстанях від системи зарядів, що рухаються довільним чином. Хвильова зона. Довжина формування випромінювання.

**Тема 20.** Дипольне випромінювання. Умови застосування дипольного наближення. Електричне и магнітне поле випромінювання. Диференційна та повна інтенсивність випромінювання. Квадрупольне та магнітно-дипольне випромінювання.

**Тема 21.** Спектрально-кутова густина випромінювання (формула через швидкість). Випромінювання при миттєвому старті частинки. Фізичні причини випромінювання. Спектрально-кутова густина випромінювання (формула через прискорення).

**Тема 22.** Втрати енергії релятивістської частинки на випромінювання. Випромінювання при періодичному русі нерелятивістської частинки. Кутовий розподіл випромінювання релятивістської частинки. Синхротронне (магніто-гальмівне) випромінювання. Ондуляторне випромінювання.

**Тема 23.** Гальмування частинок за рахунок випромінювання. Сила променистого тертя. Умови застосування класичної теорії випромінювання. Розсіювання електромагнітних хвиль

вільним зарядом. Формула Томсона. Розсіювання електромагнітних хвиль осцилятором.  
Природна ширина спектральної лінії.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів	Кількість годин												
	денна форма						заочна форма						
	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<b>Розділ 1. Основи спеціальної теорії відносності</b>													
Разом за розділом 1	30	9	6			15							
<b>Розділ 2. Релятивістська механіка</b>													
Разом за розділом 2	27	6	6		•	15							
<b>Розділ 3. Заряджена частинка в електромагнітному полі</b>													
Разом за розділом 3	37	9	8		•	20							
<b>Розділ 4. Рівняння Максвелла</b>													
Разом за розділом 4	15	6	4			5							
<b>Розділ 5. Постійне електромагнітне поле</b>													
Разом за розділом 5	15	6	4			5							
<b>Розділ 6. Електромагнітні хвилі</b>													
Разом за розділом 6	10	3	2			5							
<b>Розділ 7. Випромінювання електромагнітних хвиль.</b>													
Разом за розділом 7	16	9	2			5							
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>48</b>	<b>32</b>			<b>70</b>							

### 4. Теми аудиторних практичних занять



Розв'язання задач зі спеціальної теорії відносності та електродинаміки. Номери задач даються зі збірника [3].

**Тема 1.** Елементи математичного апарату електродинаміки – 2 години.

Задачі 1, 3, 6, 7, 9.

**Тема 2.** Перетворення Лоренца – 4 години.

Задачі 12, 14, 16, 18, 19.

**Тема 3.** Векторна форма перетворень Лоренца. Прискорення – 2 години

Задачі 23, 24, 25, 26.

**Тема 4.** Енергія і імпульс – 2 години

Задачі 30, 31, 32, 33, 34.

**Тема 5.** Закон збереження енергії-імпульсу – 2 години.

Задачі 38, 40, 41, 44.

**Тема 6.** Рух заряджених частинок в електромагнітному полі – 8 годин

Задачі 45, 46, 49, 50, 53, 55, 59, 60, 61, 62.

**Тема 7.** Поле заряду, що рівномірно рухається. Магнітний момент – 4 години

Задачі 65, 66, 67;

**Тема 8.** Постійне електричне поле у вакуумі – 4 години

Задачі 71, 74, 76.

**Тема 9.** Перетворення Лоренца для кутового розподілу випромінювання. Ефект Доплера – 2 години.

Задачі 78, 79, 82.

**Тема 10.** Випромінювання електромагнітних хвиль. Тиск світла – 2 години.

Задачі 84, 85.

## **5.Самостійна робота**

Завдання для самостійної роботи представляють собою домашні завдання по кожній із тем практичних занять. Номери задач даються зі збірника [3].

**Тема 1.** Елементи математичного апарату електродинаміки – 2 години.

Задачі 2, 4, 5, 8, 10.

**Тема 2.** Перетворення Лоренца – 4 години.

Задачі 11, 13, 15, 17, 20, 21, 22.

**Тема 3.** Векторна форма перетворень Лоренца. Прискорення – 2 години

Задачі 27, 28, 29.

**Тема 4.** Енергія і імпульс – 2 години

Задачі 35, 36, 37.

**Тема 5.** Закон збереження енергії-імпульсу – 2 години.

Задачі 39, 42, 43.

**Тема 6.** Рух заряджених частинок в електромагнітному полі – 8 годин

Задачі 47, 48, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 63, 64.

**Тема 7.** Поле заряду, що рівномірно рухається. Магнітний момент – 4 години

Задачі 68, 69, 70;

**Тема 8.** Постійне електричне поле у вакуумі – 4 години

Задачі 72, 73, 75, 77.

**Тема 9.** Перетворення Лоренца для кутового розподілу випромінювання. Ефект Доплера – 2 години.

Задачі 80, 81, 83.

**Тема 10.** Випромінювання електромагнітних хвиль. Тиск світла – 2 години.

Задачі 86, 87.

## **6. Індивідуальні завдання**

Індивідуальні завдання передбачено у вигляді поточної контрольної роботи за розділами 1 і 2 та у вигляді розв'язування студентами задач 88 – 91 зі збірника [3] з теми «Рух заряду в кулонівському полі та полі електромагнітної хвилі».

## **7. Методи навчання**

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-бесіди. Задаються домашні завдання з розв'язування задач.

## **8. Методи контролю**

**Поточний контроль** складається з:

- 1) активної участі в аудиторних заняттях (ваговий бал – 20);
- 2) виконання домашніх завдань із розв'язування задач (ваговий бал – 15);
- 3) контрольні роботи (ваговий бал – 20);
- 4) Експрес-контроль на практичних заняттях (ваговий бал – 5)

**Підсумковий контроль** проводиться у формі екзамену (ваговий бал – 40). До складання іспиту допускають студентів, які набрали протягом семестру не менше 10 балів.

Екзаменаційне завдання: білет містить два теоретичних питання (ваговий бал – 20) та одну задачу (ваговий бал – 10).

Число балів, які студент отримав на екзамені, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету плюс бали за додаткові запитання (ваговий бал – 10).

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою що наведена нижче.

## **Шкала оцінювання**

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

## 9. Запитання до екзамену

1. Принцип відносності Ейнштейна. Постулати теорії відносності. Лоренцеве перетворення координат і часу.
2. Наслідки перетворень Лоренца. Релятивістське скорочення довжини та сповільнення часу.
3. Перетворення Лоренца для швидкості та аберація світла.
4. Інваріанти відносно перетворень Лоренца. Інтервал.
5. Перетворення Лоренца як чотиривимірний поворот. Простір Мінковського.
6. Чотиривимірні вектори і тензори та їх лоренцеве перетворення. Операції з чотиривимірними векторами і тензорами.
7. Дія для вільної частинки. Функція Лагранжа, енергія і імпульс вільної частинки, маса спокою.
8. 4-вектори швидкості та імпульсу. Перетворення Лоренца для енергії і імпульсу.
9. Центр інерції системи частинок. Розпад частинки. Дефект мас.
10. Пружне зіткнення двох частинок.
11. Дія, функція Лагранжа та функція Гамільтона частинки в електромагнітному полі.
12. Рівняння руху частинки в електромагнітному полі у тривимірній формі. Принцип калібрувальної інваріантності.
13. Постійне електромагнітне поле. Скалярний потенціал однорідного електричного поля. Векторний потенціал однорідного магнітного поля.
14. Рух частинки у постійному електричному полі.
15. Рух частинки у постійному магнітному полі.
16. Дрейф частинки у схрещених постійних однорідних електричному і магнітному полях.
17. Рівняння руху частинки в електромагнітному полі у чотиривимірній формі. Тензор електромагнітного поля.

18. Перетворення Лоренца для електричного і магнітного полів. Інваріанти електромагнітного поля.
19. Перша пара рівнянь Максвелла у тривимірній та чотиривимірній формі. Чотиривимірний вектор густини струму. Рівняння неперервності.
20. Дія для електромагнітного поля. Друга пара рівнянь Максвелла у чотиривимірній та тривимірній формі.
21. Рівняння Максвелла для потенціалів. Калібрування Лоренца та Кулона.
22. Закон збереження енергії для системи частинок в електромагнітному полі.
23. Закон збереження імпульсу для системи частинок в електромагнітному полі.
24. Електростатичне поле. Електростатична енергія системи зарядів.
25. Електричне поле на великій відстані від системи зарядів. Дипольний момент. Тензор квадрупольного моменту.
26. Потенційна енергія системи зарядів у зовнішньому електричному полі.
27. Постійне магнітне поле. Закон Біо і Савара. Магнітне поле на великих відстанях від системи зарядів, які фінітно рухаються. Магнітний момент системи зарядів.
28. Момент сил, що діє на систему зарядів у зовнішньому магнітному полі. Прецесія магнітного моменту. Функція Лагранжа системи зарядів у зовнішньому постійному і однорідному магнітному полі.
29. Хвильове рівняння у тривимірному і чотиривимірному вигляді. Плоскі хвилі.
30. Монохроматичні плоскі хвилі. Поляризація.
31. Релятивістський ефект Доплера.
32. Спектральний розклад поля, яке змінюється з часом періодично та неперіодично.
33. Загаяні потенціали. Поле на великих відстанях від системи зарядів, що рухаються довільним чином.
34. Дипольне випромінювання.
35. Довжина формування випромінювання. Спектрально-кутова густина випромінювання (формула через швидкість).
36. Випромінювання при миттєвому старті частинки. Фізичні причини випромінювання.
37. Спектрально-кутова густина випромінювання (формула через прискорення).
38. Втрати енергії релятивістської частинки на випромінювання.
39. Випромінювання при періодичному русі нерелятивістської частинки.
40. Кутовий розподіл випромінювання релятивістської частинки. Синхротронне (магніто-гальмівне) випромінювання. Ондуляторне випромінювання.
41. Гальмування частинок за рахунок випромінювання. Сила променистого тертя. Умови застосування класичної теорії випромінювання.

42. Розсіювання електромагнітних хвиль вільним зарядом.
43. Розсіювання електромагнітних хвиль осцилятором.
44. Природна ширина спектральної лінії.

## **10. Рекомендоване методичне забезпечення**

### **Основна література**

1. Landau L.D., Lifshitz E.M. The classical theory of fields. Oxford: Pergamon, 1971. 374 p.
2. Jackson J.D. Classical Electrodynamics, 3<sup>rd</sup> ed. New York: Wiley, 1999. 808 p.
3. ННІ «ФТФ» «Задачі з електродинаміки».

### **Допоміжна література**

1. Feynman R., Leighton R., Sands M. The Feynman Lectures on Physics, V. II. <https://www.feynmanlectures.caltech.edu>.
2. B.G. Levich, Theoretical physics: An advanced text. V. 1. Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1970. 395 p.
3. Tamm I.E. Fundamentals of the theory of electricity. Mir, 1979. 684 p.
4. Pauli W. Theory of relativity. New York: Pergamon, 1958. 241 p.
5. Ugarov V.A. Special theory of relativity. Mir, 1979. 406 p.
6. Carroll S. Spacetime and geometry. An introduction to general relativity. San Francisco: Addison Wesley, 2004. 513 p.

### **Інформаційні ресурси**

1. Веб-ресурси кафедри, мережа інтернет.
2. Бібліотека ХНУ імені В.Н. Каразіна.