***Додаток 7***

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

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

“\_\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 р.

РОБОЧА Програма навчальної дисципліни

**Теоретична фізика (Електродинаміка )**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти 1 рівень (бакалаврський)

/

галузь знань 10 «Природничі науки»

спеціальність 105 «Прикладна фізика»

освітня програма Прикладна фізика

спеціалізація

вид дисципліни обов’язкова

ННІ «Фізико-технічний факультет»

2020/ 2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою ННІ «Фізико-технічний факультет»

“\_27\_” \_\_\_серпня\_\_\_ 2020\_ року, протокол №8

Розробники програми: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

Кірочкін Юрій Олексійович, доцент кафедри Програму схвалено на засіданні кафедри

фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера

Протокол від “26”\_\_серпня\_\_\_\_2020 року № 16

Завідувач кафедри ФЯВЕ імені О. І. Ахієзера \_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Шульга М.Ф..

(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»)

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “\_27\_”\_серпня\_\_2010 року № 10

Голова методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_Юнаков М.М.\_

(підпис) (прізвище та ініціали)

**Вступ**

Програма навчальної дисципліни «Електродинаміка» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки **бакалавра**

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

**спеціальності (напряму) 105 --** “Прикладна фізика та наноматеріали”

**спеціалізації** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

### **1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни:

підготовка фахівця з сучасної фізики, що здатний розв’язувати різноманітні задачі, пов’язані із релятивістською механікою чи теорією поля, що є однією з основ сучасної фізики.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

* усвідомлення обмеженості нерелятивістської фізики, переосмислення уявлень про час і простір, суттєве розширення світогляду;
* засвоєння базових понять, математичного апарату та позначень спеціальної теорії відностності;
* розуміння принципів, засобів конструювання та властивостей класичної релятивістської механіки та теорії поля;
* здобуття теоретичної бази для вирішення всіляких задач релятивістської фізики.

1.3. Кількість кредитів

4

1.4. Загальна кількість годин

120

|  |  |
| --- | --- |
| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | |
| Нормативна | |
| Денна форма навчання | Заочна (дистанційна) форма навчання |
| Рік підготовки | |
| 3-й | -й |
| Семестр | |
| 5-й | -й |
| Лекції | |
| 48 год. | год. |
| Практичні, семінарські заняття | |
| 32 год. | год. |
| Лабораторні заняття | |
| 0 год. | год. |
| Самостійна робота | |
| 40 год. | год. |
| Індивідуальні завдання | |
| 0 год. | |

1.6. Заплановані результати навчання: студенти повинні

* Знати основи спеціальної теорії відносності, принципи та засоби конструювання релятивістської теорії поля, властивості електромагнітного поля в вакуумі та взаємодії із ним частинок та систем частинок;
* Вміти розв’язувати задачі релятивістської механіки та електромагнетизму.

# 2. виклад змісту навчальної дисципліни

## Розділ 1. Основи спеціальної теорії відносності

### Тема 1. Перетворення Лоренца

1. Принцип відносності та перетворення Лоренца
   1. Принципи відносності Галілея та Ейнштейна, скінченність максимальної швидкості поширення сигналу.
   2. Постулати теорії відносності. Простір-час та інтервал.
   3. Лоренцеве перетворення координат у різних формах.
   4. Релятивістське скорочення довжини та сповільнення часу.
   5. Перетворення швидкості та аберація світла.
   6. Перетворення Лоренца як чотиривимірній поворот.
   7. Групи перетворень Галілея, Лоренца, Пуанкаре.
2. Чотиривимірні вектори та тензори.
   1. Коваріантність та абсолютні величини в теорії відносності.
   2. Чотиривимірні системи відліку.
   3. Чотиривимірні вектори і тензори, їх лоренцеве перетворення в чотиривимірній формі.
   4. Диференційні оператори.

### Тема 2. Релятивістська механіка

1. Релятивістська вільна частинка.
   1. Чотиривимірні швидкість та прискорення.
   2. Власний час та тривимірна швидкість.
   3. Принципи конструювання релятивістської дії. Дія для вільної частинки.
   4. Функція Лагранжа, енергія і імпульс вільної частинки, маса покою.
   5. Чотиривимірна форма принципу найменшої дії, чотиривимірний імпульс.
   6. Перетворення енергії і імпульсу при лоренцевому перетворенні координат.
   7. Перехід до граничного випадку класичної механіки.
2. Взаємодія релятивістських частинок.
   1. Релятивістські інваріанти у зіткненнях частинок, дефект маси.
   2. Закони збереження як наслідки симетрій простору-часу в тривимірній та чотиривимірній формі.
   3. Чотиривимірний момент імпульсу та центр інерції.
   4. Чотиричастинкові процеси. Пружні зіткнення двох частинок: опис в лабораторній системі та системі центру інерції, закони збереження в чотиривимірній формі та перетворення Лоренца. Порівняння з класичною механікою. Ефект Комптона.

## Розділ 2. Рівняння руху для частинки і електромагнітного поля

### Тема 3. Заряд в електромагнітному полі

1. Дія та рівняння руху заряду в електромагнітному полі
   1. Дія та рівняння руху в чотиривимірній формі, тензор електромагнітного поля.
   2. Функція Лагранжа, узагальнений імпульс, енергія.
   3. Рівняння руху в тривимірній формі.
   4. Напруженості поля та калібровочна інваріантність.
   5. Перетворення Лоренца для потенціалів та напруженостей електромагнітного поля.
2. Рух заряду в постійному однорідному електромагнітному полі.
   1. Рух заряду в постійному електричному полі
   2. Рух заряду в постійному магнітному полі.
   3. Дрейф заряду в схрещених постійних однорідних електричному і магнітному полях.
   4. Загальна задача руху заряду в постійному однорідному полі

### Тема 4. Рівняння електромагнітного поля

1. Рівняння Максвела
   1. Тривимірна форма рівнянь Максвелла в вакуумі як наслідок експериментально відкритих законів електродинаміки.
   2. Перша пара рівнянь Максвела в чотиривимірній формі.
   3. Рівняння неперервності та теорема Гауса. 4-вектор тока.
   4. Дія для електромагнітного поля.
   5. Друга пара рівнянь Максвелла.
2. Тензор енергії-імпульса.
   1. Густина і потік енергії, густина імпульсу і густина потоку імпульсу.
   2. Тензор енергії-імпульсу для макроскопічних тіл, для скалярного поля, для електромагнітного поля.
   3. Тензор напруги Максвелла
3. Теорема Ньотер

## Розділ 3. Рух частинки в найпростіших конфігураціях поля та електромагнітні хвилі

### Тема 5. Електростатика

1. Рівняння поля в криволінійних системах координат. Ортогональні координати та коефіциенти Ламе.
2. Поле системи нерухомих зарядів.
   1. Кулонівський потенціал, енергія нерухомих зарядів.
   2. Класичний радіус електрона.
   3. Дипольний момент системи зарядів, поле диполя на великих відстанях від нього.
   4. Тензор квадрупольного моменту i квадрупольний потенціал на великих відстанях від системи зарядів.
3. Система зарядів у зовнішньому сталому електричному полі. Потенційна енергія взаємодії диполя і квадруполя з зовнішнім сталим електричним полем.

### Тема 6. Магнітостатика

1. Поле системи стаціонарних токів
   1. Усереднене по часу магнітне поле.
   2. Розв’язання рівняння для усередненого по часу векторного потенціалу. Закон Біо і Савара.
   3. Усереднені по часу векторний потенціал і магнітне поле на великих відстанях від системи зарядів, які фінітно рухаються.
   4. Магнітний момент системи зарядів.
2. Заряди у зовнішньому магнітному полі.
   1. Усереднені по часу момент сил і функція Лагранжа системи зарядів у зовнішньому постійному і однорідному магнітному полі.
   2. Теорема Лармора. Ларморова частота прецесії магнітного моменту навколо напрямку магнітного поля.

### Тема 7. Електромагнітні хвилі

1. Хвильове рівняння.
   1. Плоскі хвилі.
   2. Зв’язок між напруженостями електричного і магнітного полів плоскої хвилі.
   3. Густина і потік енергії плоскої хвилі.
   4. Монохроматична плоска хвиля. Поляризація.
   5. Ефект Доплера.
2. Поле рухомих зарядів.
   1. Загаяні потенціали.
   2. Загальний розв’язок рівнянь для загаяних потенціалів.

### Тема 8. Генерація та поширення електромагнітних хвиль

1. Поле рухомих зарядів на великих відстанях.
   1. Дипольне випромінювання.
   2. Квадрупольне та магнітно-дипольне випромінювання.
2. Гальмування частинок за рахунок випромінювання. Розсіяння хвиль.
   1. Сила променистого тертя.
   2. Природна ширина спектральної лінії.
3. Геометрична оптика та дифракція.
   1. Рівняння ейконала.
   2. Оптико-механічна аналогія. Принцип Ферма. Межі геометричної оптики.
   3. Дифракція.

# 3. Структура навчальної дисципліни

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Назви розділів і тем | Кількість годин | | | | | |
| усього | у тому числі | | | | |
| л | п | лаб. | інд. | с.р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| **Розділ 1**. Основи спеціальної теорії відносності | | | | | | |
| Тема 1. Перетворення Лоренца | 15 | 4 | 6 | - | - | 5 |
| Тема 2. Релятивістська механіка | 15 | 4 | 6 | - | - | 5 |
| Разом за розділом 1 | 30 | 8 | 12 | - | - | 10 |
| **Розділ 2**. Рівняння руху для частинки і електромагнітного поля | | | | | | |
| Тема 3. Заряд в електромагнітному полі | 30 | 12 | 8 | - | - | 10 |
| Тема 4. Рівняння електромагнітного поля | 30 | 14 | 6 | - | - | 10 |
| Разом за розділом2 | 60 | 26 | 14 | - | - | 20 |
| **Розділ 3**. Рух частинки в найпростіших конфігураціях поля  та електромагнітні хвилі | | | | | | |
| Тема 5. Електростатика | 10 | 4 | 3 | - | - | 3 |
| Тема 6. Магнітостатика | 5 | 3 | 0 | - | - | 2 |
| Тема 7. Електромагнітні хвилі | 10 | 4 | 3 | - | - | 3 |
| Тема 8. Генерація та поширення електромагнітних хвиль | 5 | 3 | 0 | - | - | 2 |
| Разом за розділом3 | 30 | 14 | 6 | - | - | 10 |
| Усього годин | 120 | 48 | 32 | - | - | 40 |

# 4. Теми практичних занять

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва теми | Кількість  годин |
| 1 | Перетворення Лоренца | 2 |
| 2 | Векторна форма перетворення Лоренца | 2 |
| 3 | Енергія та імпульс частинки | 2 |
| 4 | Функції розподілу та аберація світла | 2 |
| 5 | Релятивістська кінематика: зіткнення | 2 |
| 6 | Одновимірний рух частинки в електростатичному полі | 2 |
| 7 | Рух частинки у електростатичному полі | 2 |
| 8 | Рух частинки в однорідному статичному полі | 2 |
| 9 | Векторний аналіз | 2 |
| 10 | Рух частинки у однорідних полях та перетворення полів | 4 |
| 11 | Поля зі сферичною та циліндрічною симетрією | 4 |
| 12 | Поле частинки що рухається та статичного розподілу зарядів | 4 |
| 13 | Електромагнітні хвилі | 2 |
|  | Разом | 32 |

# 5. Самостійна робота

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва теми | Кількість годин | Форма контролю |
| 1 | Перетворення Лоренца | 5 | Тести, опитування, перевірка домашнього завдання, контрольні |
| 2 | Релятивістська механіка | 5 |
| 3 | Заряд в електромагнітному полі | 10 |
| 4 | Рівняння електромагнітного поля | 10 |
| 5 | Електростатика та магнітостатика | 5 |
| 7 | Електромагнітні хвилі | 5 |
|  | Разом | 40 |  |

# 6. Індивідуальні завдання

Розрахункова робота по темі «Задачі спеціальної теорії відносності»

# 7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться комбінуванням відео-лекцій та методів лекції та розповіді-бесіди. Практичні заняття проводяться шляхом розв’язання студентами задач в аудиторії та дискусії біля дошки. Основною метою практичних занять є розвиток навичок розв’язання задач і закріплення теоретичного матеріалу. Домашні завдання з просмотру відео-лекцій та розв’язування задач.

# 8. Методи контролю

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

1. Поточний контроль: 15 балів за кожен кредит (розділ 1 – 1 кредит, розділ 2 – 2 кредити, розділ 3 – 1 кредит). Бали по кожному кредиту набираються з:
   1. написання тестів – загалом 20 балів, по 5 балів на кредит
   2. виконання домашніх завдань із розв’язування задач, загалом 20 балів, по 5 балів на кредит
   3. модульна контрольна робота із розв’язування задач, тривалістю 1 академічну годину, загалом на 20 балів, по 5 балів на 4 контрольні.
   4. розрахункова робота на 10 балів
   5. активна робота на практичних заняттях, до 5 балів
   6. надлишок більше 10 балів не враховується
2. Екзаменаційна робота (ваговий бал – 40). Екзаменаційний білет представляє собою тест із питань по всьому курсу, кожне з питань розділу в кожному розділі оцінюється однаково. В питаннях типу multiple choice за невірні відповіді бали віднімаються, із вагою що обернено пропорційна числу невірних варіантів.

Форма підсумкового контролю знань – екзамен.

# 9. Розподіл балів, які отримують студенти

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Поточний контроль та самостійна робота | | | | | | | | | Екзамен | Сума |
| Розділ 1 | | Розділ 2 | | Розділ 3 | | | | Разом |
| Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | Т6 | Т7 | Т8 | 60 | 40 | 100 |
| 7 | 8 | 15 | 15 | 10 | 0 | 5 | 0 |

Т1, Т2 ... Т8 – теми розділів.

### Шкала оцінювання

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

# 10. Рекомендоване методичне забезпечення

Опорні конспекти лекцій, методичні поради до курсу, що вивчається

### Базова література

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля, Наука, 1988, 509 с.
2. М.М.Бредов, В.В.Румянцев, И.Н.Топтыгин. Классическая электродинамика. Наука. 1985, 400 с.
3. В.В.Батыгин, И.Н.Топтыгин. Сборник задач по электродинамике, RXD, 2002, 640 c.

### Допоміжна література

1. E.F. Taylor, J.A. Wheeler. Spacetime physics. W.H. Freeman, 1992, 324 p., ISBN 0716723271
2. В.Г. Левич. Курс теоретической физики, т. 1. Наука, 1969.
3. И.Е.Тамм. Основы теории электричества, Наука, 1976.
4. В.А.Угаров. Специальная теория относительности, Наука,1977.
5. И.Н. Топтыгин. Современная электродинамика, часть 1: микроскопическая теория, Москва-Ижевск, 2002.
6. Jackson J.D. Classical Electrodynamics, 3-r ed., Wiley 1999.
7. В.Паули. Теория относительности. Наука, 1983.
8. Ю.И. Соколовский. Элементарный задачник по теории относительности (с решениями). М., Наука, 1974

# Інформаційні ресурси

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Theory_of_relativity>
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Теорія_відносності>
3. <https://en.wikisource.org/wiki/Portal:Relativity>
4. <http://scienceworld.wolfram.com/physics/SpecialRelativity.html>
5. <https://www.wolframalpha.com/examples/Relativity.html>
6. <http://demonstrations.wolfram.com/search.html?query=special%20relativity>
7. <http://newt.phys.unsw.edu.au/einsteinlight/>
8. [https://www.coursera.org/courses?query=relativity&domains=physical-science-and-engineering](https://www.coursera.org/courses?query=relativity&primaryLanguages=en&domains=physical-science-and-engineering)
9. <http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-20-introduction-to-special-relativity-january-iap-2005/>
10. [http://relativity.livingreviews.org](http://relativity.livingreviews.org/)
11. <http://arxiv.org/list/gr-qc/recent>
12. <http://lesswrong.com/>