

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДВНЗ «ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА»**

Факультет/інститут фізико-технічний

Кафедра фізики і хімії твердого тіла

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Електродинаміка**

Освітня програма **Середня освіта (Фізика)**

Спеціальність **014 Середня освіта (за предметними спеціальностями)**

Спеціалізація **014.08 Середня освіта (Фізика)**

Галузь знань **01 Освіта/Педагогіка**

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 3 від “19” жовтня 2020 р.

## **ЗМІСТ**

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Компетентності
5. Результати навчання
6. Організація навчання курсу
7. Система оцінювання курсу
8. Політика курсу
9. Рекомендована література

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Квантова механіка
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший рівень освіти
<b>Викладач (-і)</b>	Возняк Орест Михайлович
<b>Контактний телефон викладача</b>	59-60-82
<b>E-mail викладача</b>	orest.voznyak@pnu.edu.ua
<b>Формат дисципліни</b>	Очна
<b>Обсяг дисципліни</b>	6 кредитів
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pu.if.ua/">http://www.d-learn.pu.if.ua/</a>
<b>Консультації</b>	Згідно з графіком консультацій
<b>2. Анотація до курсу</b>	
<p>Курс електродинаміки поряд із класичною та квантовою механікою є однією із основних дисциплін при підготовці фізиків, він покликаний поглибити знання з електродинаміки одержані в загальному курсі фізики, засвоїти математичний апарат класичної теорії поля та застосовувати загальні фундаментальні принципи теоретичної фізики.</p> <p>Предметом вивчення навчальної дисципліни є основні положення теорії електромагнітного поля у вакуумі, макроскопічного поля в середовищі та релятивістської електродинаміки. Показано, що електродинаміка має експериментальні основи, а відповідний математичний апарат дає змогу адекватно записати її закони і розв'язати будь-яку задачу електродинаміки (принаймні принципово). В курсі електродинаміки викладено і застосовано різні математичні методи дуже корисні не лише в електродинаміці, а й у інших розділах теоретичної фізики.</p>	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p>Метою викладання навчальної дисципліни “Електродинаміка” є поглибити знання з електродинаміки одержані в загальному курсі фізики, засвоїти математичний апарат класичної теорії поля і на його основі теорію електромагнітного поля Максвелла-Лоренца і релятивістську теорію електромагнітного поля. У ньому подано основні положення теорії електромагнітного поля у вакуумі, макроскопічного поля в середовищі та релятивістської електродинаміки. Показано, що електродинаміка має експериментальні основи, а відповідний математичний апарат дає змогу адекватно записати її закони і розв'язати будь-яку задачу електродинаміки.</p> <p>Основними завданням вивчення дисципліни “Електродинаміка” є подати основні положення теорії електромагнітного поля у вакуумі, макроскопічного поля в середовищі та релятивістської електродинаміки. Показати, що електродинаміка має експериментальні основи, а відповідний математичний апарат дає змогу адекватно записати її закони і розв'язати будь-яку задачу електродинаміки (принаймні принципово).</p> <p><b>Цілі:</b> Застосування основних законів ядерної фізики і фізики елементарних частинок до розв'язку конкретних задач.</p>	
<b>4. Компетентності</b>	
<p>ПК. Здатність розв'язувати задачі різного рівня складності та практичні проблеми в галузі фізики, освіти і педагогіки, в цілому, та дидактики фізики, зокрема, при здійсненні професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування законів, теорій та методів фізики та педагогіки і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.</p> <p>ЗК.3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.</p> <p>ЗК.6. Знання та розуміння предметної області і розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК.8. Здатність до пошуку, обробки та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК.9. Прагнення до збереження навколишнього середовища та застосування енергозберігаючих технологій.</p> <p>ЗК.10. Здатність до аналізу та синтезу.</p> <p>ФК.1. Здатність використовувати закони й принципи фізики у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.</p> <p>ФК.3. Здатність професійно орієнтуватися в сучасних проблемах фізики і новітніх фізичних методах досліджень і наукових технологій.</p> <p>ФК.4. Здатність правильно використовувати набуті знання і навички у викладацькій діяльності та при роботі у науково-дослідних лабораторіях.</p> <p>ФК.5. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати розв'язки навчально-методичних та наукових проблем на абстрактному рівні шляхом декомпозиції їх на складові, які можна дослідити</p>	

окремо в їх більш та менш важливих аспектах  
 ФК.8. Здатність вільно володіти розділами фізики, необхідними для розв'язання науково-інноваційних задач і використовувати результати наукових досліджень та педагогічних досягнень в інноваційній та інноваційно-педагогічній діяльності.

### 5. Результати навчання

ПРН.1. Знає та розуміє основні поняття, закони, теорії, загальну структуру, предмет і методи дослідження фізики та методики її навчання; місце і зв'язки в системі наук, етапи розвитку.

ПРН.2. Аналізує фізичні явища і процеси на основі фізичних законів, теорій, принципів, із застосуванням відповідних математичних методів.

ПРН.4. Знає, розуміє і демонструє здатність реалізовувати теоретичні й методичні засади навчання фізики для виконання освітньої програми в базовій середній школі.

ПРН.6. Користується математичним апаратом фізики, застосовує математичні та чисельні методи, що використовуються в курсі фізики базової середньої школи.

ПРН.10. Знає і розуміє математичні методи фізики та розділів математики, що є основою вивчення курсів загальної та теоретичної фізики.

### 6. Організація навчання курсу

#### Обсяг курсу

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	50 год.
семінарські заняття / практичні / лабораторні	30 год.
самостійна робота	100 год.

#### Ознаки курсу

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний /вибірковий
VI	Середня освіта (Фізика)	3	Нормативний

#### Тематика курсу

Тема, план	Форма заняття	Література	Завдання, год	Вага оцінки	Термін виконання
<b>Змістовий модуль 1.</b> Електродинаміка вакууму.					
<b>Тема 1.</b> Вступ. Заряди і електромагнітне поле. Експериментальні основи і математичне формулювання законів електродинаміки. Рівняння електродинаміки для зарядів і струмів у вакуумі.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 2.</b> Система рівнянь Максвела для електромагнітного поля у вакуумі. Основна задача електродинаміки.	лекція	[1 - 7]	4	2	за розкладом
<b>Тема 3.</b> Електромагнітні потенціали. Рівняння для потенціалів. Градієнтна інваріантність. Розв'язок рівнянь Даламбера. Запізнюючі і випереджуючі потенціали.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 4.</b> Стаціонарне електричне поле. Рівняння Пуассона і його розв'язки. Поле на великій відстані від системи. Дипольні і	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом

квадрупольні моменти. Енергія електричного поля. Сили, що діють на систему зарядів у зовнішньому полі.					
<b>Тема 5.</b> Стаціонарне магнітне поле. Рівняння для векторного потенціалу. Мультипольні розклади. Енергія магнітного поля. Магнітний момент. Сили в магнітному полі.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 6.</b> Вільне електромагнітне поле. Хвильові рівняння і їх розв'язок методом Даламбера. Загальний розв'язок хвильового рівняння. Хвильовий пакет. Енергія електромагнітних хвиль.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 7.</b> Теорія випромінювання. Потенціали, що випереджують і запізнюються. Поле на великій відстані від системи. Електричне дипольне випромінювання. Магнітне дипольне і електричне квадрупольне випромінювання. Сила променистого тертя.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 8.</b> Розсіювання електромагнітних хвиль зарядами. Диференціальний і повний переріз розсіювання. Формула Томсона.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Змістовий модуль 2.</b> Теорія відносності і макроскопічна електродинаміка	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 1.</b> Теорія відносності. Принцип причинності. Перетворення Лоренца і наслідки з них.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 2 .</b> Чотиривимірна інтерпретація СТВ. 4-вектори і 4-тензори. Операції в 4-просторі.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 3.</b> Релятивістська механіка вільної частинки. Функція дії. 4-вектор енергії-імпульсу.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 4.</b> Релятивістська коваріантність рівнянь електродинаміки. 4-потенціал. Тензор	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом

електромагнітного поля.					
<b>Тема 5.</b> Канонічна форма для рівнянь поля. Тензор енергії-імпульсу електромагнітного поля.	лекція	[1 - 7]	2	2	За розкладом
<b>Тема 6.</b> Рівняння макроскопічної електродинаміки. Усереднення полів. Вектори поляризації і намагнічення. Граничні умови.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 7.</b> Електростатика провідників і діелектриків. Методи розв'язування електростатичних задач.: Енергія і сили, що діють на тіла у електростатичному полі.	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 8.</b> Постійний електричний струм. Сторонні сили. Закон Ома і Джоуля-Ленца. Струм в необмеженому середовищі	лекція	[1 - 7]	2	2	за розкладом
<b>Тема 9.</b> Магнітне поле стаціонарних струмів. Енергія магнітного поля. Коефіцієнти індукції і самоіндукції.	лекція	[1 - 7]	4	2	за розкладом
<b>Практичні роботи.</b>					
<b>Тема 1.</b> Принцип суперпозиції полів для напруженості і потенціалу електричного поля.	практичне	[8 – 11]	2	4	за розкладом
<b>Тема 2.</b> Теорема Остроградського-Гауса і її застосування до розрахунку полів.	практичне	[8 – 11]	2	4	за розкладом
<b>Тема 3.</b> Диференціальне рівняння Пуассона і його застосування до розв'язку задач. Обернені задачі.	практичне	[8 – 11]	1	2	за розкладом
<b>Тема 4.</b> Енергія електростатичного поля. Пондеромоторні сили.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 5.</b> Поле на великій відстані від системи зарядів. Дипольний і квадрупольний моменти.	практичне	[8 – 11]	1	2	за розкладом
<b>Тема 6.</b> Статичне магнітне поле. Теорема Стокса. Рівняння для векторного потенціалу.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 7.</b> Енергія магнітного поля. Магнітний момент системи.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом

<b>Тема 8.</b> Електромагнітні хвилі. Геометрична оптика. Спектральні розклади.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 9.</b> Випромінювання електромагнітних хвиль. Енергія випромінювання.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 10.</b> Магнітний і електричний дипольні та електричні квадрупольні моменти системи зарядів, що рухаються.	практичне	[8 – 11]	2	4	за розкладом
<b>Тема 11.</b> Дипольне електричне та магнітне електричне квадрупольне випромінювання найпростіших систем. Антени.	практичне	[8 – 11]	2	4	за розкладом
<b>Тема 12.</b> Основи релятивістської механіки. Перетворення Лоренца. 4-вимірна інтерпретація перетворень Лоренца.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 13.</b> Релятивістська механіка. Релятивістська електродинаміка. Перетворення полів. Принцип Гамільтона для поля.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 14.</b> Метод електричних зображень для задач електростатики провідників і діелектриків.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 15.</b> Постійний електричний струм. Квазістаціонарний струм.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом
<b>Тема 16.</b> Електромагнітні хвилі у речовині.	практичне	[8 – 11]	2	2	за розкладом

#### 7. Система оцінювання курсу

Загальна система оцінювання курсу	Загальна система оцінювання курсу накопичувальна бально-рейтингова, що передбачає оцінювання студентів за видами аудиторної та позааудиторної навчальної діяльності, спрямованої на опанування навчального навантаження з освітньої програми: поточний, рубіжний (модульний), підсумковий контроль. Підсумковий контроль здійснюється письмово, письмово-усно або в тестовій формі. Критерії оцінювання знань студентів зі всіх видів робіт на протязі семестру наведені в таблиці 1 а відомістю, в яку виставляються оцінки рубіжного контролю знань, є таблиця 2. Перший модуль здається, як і перші контрольні роботи виконуються після вивчення перших тем програми. Другий модуль здається і другі контрольні роботи виконуються після вивчення решти тем програми.
Вимоги до письмової роботи	Письмова робота з будь-якого виду занять,

	повинна бути належним чином оформлена, повинна містити умову поставленого завдання (задачі), пояснення, рисунки, формули, графіки тощо.
Семинарські заняття	При оцінці роботи студента на практичному/семинарському занятті враховується: розуміння студентом теоретичного матеріалу, пов'язаного з темою, яка обговорюється на занятті, вміння теоретично обґрунтовувати хід розв'язку задачі, вміння викладати свої думки письмово (у випадку письмової роботи), правильність і послідовність викладання своїх думок (розв'язку задачі), самостійно висловлювати ідеї і вміння відстоювати їх, вміння застосовувати теоретичні положення теми до розв'язку конкретних задач, застосування ілюстрацій (презентацій) впродовж доповіді на семінарі, участь (активність) студента при розв'язку задач та в дискусії при обговоренні питань на семінарі.
Умови допуску до підсумкового контролю	Студент допускається до підсумкового контролю (екзамену), якщо він впродовж семестру за змістові модулі сумарно набрав 25 і більше балів. В протилежному випадку студенту у екзаменаційній відомості робиться запис «не допущений».

### 8. Політика курсу

Розділ курсу теоретична фізика “Електродинаміка” є одним із базових курсів фізики. При його вивченні використовуються знання одержані при вивченні курсів математики, математичних методів фізики та попередніх розділів теоретичної фізики. Враховано також, що при вивченні цього розділу необхідні додаткові розділи математики, як то теорія узагальнених функцій, операційне числення. тощо Тому на ці моменти у цьому курсі звернута особлива увага.

#### **Політика академічної поведінки і етики**

Студент повинен бути толерантним і поважати думку інших. Заперечення слід формулювати в коректній формі. Неприпустимими є підказування та списування під час здачі будь-яких робіт (проміжного контролю, модулів, екзамену тощо).

Кожен викладач ставить студентам систему вимог та правил поведінки студентів на заняттях, доводить до їх відома методичні рекомендації щодо виконання контрольних робіт, тестових завдань. Все це гарантує високу ефективність навчального процесу і є обов'язковою для студентів.

### 9. Рекомендована література

1 Возняк О.М. Теоретична фізика. Класична електродинаміка. Збірник задач. Електронна версія.

#### **Базова**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. т.2 Теория поля. М.Наука, 1973.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. т.8. Электродинамика сплошных сред. М. Наука, 1983.
3. Бредов М.М., Румянцев В.В. Классическая электродинамика. М. Наука, 1985.
4. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. М. Наука, 1980.
5. Левич В.Г. Курс теоретической физики. т.1. М. Наука, 1969.
6. Федорченко А.М. Теоретична фізика. Електродинаміка. К. Вища школа, 1992.
7. Скалозуб В.В., Гулов О.В. Класична електродинаміка, К.:Вища освіта, 2011. – 208с.
8. Сугаков В.Й. Теоретична фізика. Електродинаміка. К. Вища школа, 1974.
9. Измайлов С.В. Курс электродинамики М. Учпедгиз, 1962.
10. Гречко А.Г. и др. Сборник задач по теоретической физике. М. Высшая школа, 1984.
11. Алексеев А.И. Сборник задач по классической электродинамике. М. Наука, 1977.

12. Возняк О.М. Теоретична фізика. Класична електродинаміка. Збірник задач. Електронна версія.

**Допоміжна**

1. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М. Наука, 1965.
2. Новожилов Ю.В., Яппа Ю.А. Электродинамика. М. Наука, 1978.
3. Мултановский А.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики. Классическая электродинамика. М. Просвещение, 1990.
4. Савельев И.В. Основы теоретической физики. т.1. М. Наука, 1991.
5. Векштейн Е.Г. Сборник задач по электродинамике. М. Высшая школа, 1966.

**Викладач** \_\_\_\_\_

## Питання для проведення теоретичного змістовного модуля

1. Предмет Електродинаміки.
2. Електричний заряд і закон збереження заряду.
3. Електромагнітне поле і його характеристики.
4. Закон Кулона і його узагальнення. Перше рівняння Максвелла.
5. Циркуляція магнітної індукції. Друге рівняння Максвелла.
6. Закон електромагнітної індукції. Третє рівняння Максвелла.
7. Замкнутість магнітних силових ліній. Четверте рівняння Максвелла.
8. Система рівнянь Максвелла і завдання електродинаміки.
9. Закон збереження енергії електромагнітного поля.
10. Закон збереження імпульсу електромагнітного поля.
11. Електромагнітний потенціал. Рівняння для електромагнітних потенціалів.
12. Гамільтонівська форма для рівнянь електромагнітного поля.
13. Система рівнянь Максвелла для стаціонарного електромагнітного поля.
14. Електростатичний потенціал. Рівняння Пуассона для електростатичного потенціалу.
15. Електростатичне поле на великій відстані від системи зарядів.
16. Енергія електростатичного поля і сили, що діють в електростатичному полі.
17. Поняття про обернену задачу в електростатиці.
18. Система рівнянь для магнітостатичного поля
19. Стаціонарне магнітне поле на великих відстанях від зарядів.
20. Магнітний момент системи.
21. Енергія стаціонарного магнітного поля.
22. Сили, що діють на струми в системі магнітостатичного поля.
23. Система рівнянь Максвелла для вільного електромагнітного поля. Хвильове калібрування електромагнітних потенціалів.
24. Хвильові рівняння і їх розв'язок методом Даламбера.
25. Плоскі електромагнітні хвилі. Властивості.
26. Розв'язок хвильових рівнянь у вигляді сферичних хвиль.
27. Плоскі монохроматичні хвилі.
28. Поляризація електромагнітних хвиль.
29. Загальний розв'язок хвильового рівняння.
30. Розв'язок рівнянь Даламбера у вигляді потенціалів, що запізнюються і випереджають.
31. Поле рухомого заряду. Потенціали Віенара-Віхерта.
32. Поле на великій відстані від системи зарядів. Ближня і хвильова зона випромінювача.
33. Електричне дипольне випромінювання.
34. Магнітне дипольне і електричне квадрупольне випромінювання.
35. Реакція випромінювання.
36. Природна ширина спектральних ліній.
37. Розсіювання електромагнітних хвиль.
38. Експериментальні основи СТВ.
39. Перетворення Лоренца.
40. Кінематичні наслідки з перетворень Лоренца.
41. Перетворення швидкості.
42. Просторово-часовий інтервал. Класифікація інтервалів.
43. Простір Мінковського. Геометрична інтерпретація перетворень Лоренца.
44. Чотиришвидкість. Чотиривимірні вектори і тензори.
45. Принцип екстремальності дії для релятивістської частки.
46. Чотиривимірний вектор енергії-імпульсу.
47. Закон збереження в системі частинок.
48. Релятивістське рівняння руху.
49. Чотиривимірна форма закону збереження заряду.

50. Коваріантність рівнянь електромагнітного поля для потенціалу.
51. Тензор електромагнітного поля.
52. Перетворення полів.
53. Інваріанти поля.
54. Ефект Доплера.
55. Рівняння макроскопічної електродинаміки як результат усереднення рівнянь для мікрополів. Вектори поляризації і намагнічення.
56. Матеріальні співвідношення для векторів індукції та напруженості.
57. Граничні умови на межі поділу двох середовищ.
58. Основні рівняння для електростатичного поля у середовищі. Електростатика провідників та діелектриків
59. Енергія електростатичного поля в середовищі. Сили, що діють на тіла в електростатичному полі.
60. Стаціонарне магнітне поле в середовищі. Енергія магнітного поля в середовищі. Сила і момент сили в магнітостатичному полі.
61. Квазістаціонарне електромагнітне поле. Скін-ефект.
62. Електромагнітні хвилі в речовині. Відбивання і заломлення хвиль на межі двох середовищ.
63. Дисперсійні співвідношення для дійсної і уявної частини діелектричної проникливості. Співвідношення Крамерса-Кроніга.
64. Теорія дисперсії для системи гармонічних осциляторів.
65. Поширення електромагнітних хвиль у провідниках.

## 10. Питання для підсумкового контролю знань (екзамену)

### Білет 1

1. Стаціонарне електричне поле. Рівняння Пуассона і його розв'язок.
2. Перетворення Лоренца.
3. Рівняння макроскопічної електродинаміки як результат усереднення рівнянь для мікрополів. Вектори поляризації і намагнічення.
4. Задача.

### Білет 2

1. Система рівнянь Максвела для електромагнітного поля у вакуумі. Основна задача електродинаміки.
2. 4-вектор швидкості.
3. Матеріальні співвідношення для векторів індукції та напруженості.
4. Задача.

### Білет 3

1. Закони збереження електродинаміки: заряду, енергії, імпульсу.
2. Перетворення Лоренца в 4-вимірній формі.
3. Граничні умови на межі поділу двох середовищ.
4. Задача.

### Білет 4

1. Електромагнітні потенціали. Рівняння для потенціалів. Градієнтна інваріантність.
2. Закон збереження заряду в 4-вимірній формі.
3. Основні рівняння для електростатичного поля у середовищі. Електростатика провідників та діелектриків.
4. Задача.

### Білет 5

1. Рівняння електродинаміки для зарядів і струмів у вакуумі.
2. Скорочення довжини.

3. Енергія електростатичного поля в середовищі. Сили, що діють на тіла в електростатичному полі.
4. Задача.

Білет 6

1. Поле на великих відстанях від системи. Дипольні і квадропольні моменти стаціонарного електричного поля.
2. 4-вектор енергії-імпульсу.
3. Стаціонарне магнітне поле в середовищі. Енергія магнітного поля в середовищі. Сила і момент сили в магнітостатичному полі.
4. Задача.

Білет 7

1. Енергія електростатичного поля. Сили, що діють на систему зарядів в зовнішньому електростатичному полі.
2. Сповільнення часу.
3. Квазістаціонарне електромагнітне поле. Скін-ефект.
4. Задача.

Білет 8

1. Стаціонарне магнітне поле. Рівняння для векторного потенціалу і його розв'язок. Мультипольні розклади для стаціонарного магнітного поля.
2. Рівняння для електромагнітних потенціалів в коваріантній формі.
3. Електромагнітні хвилі в речовині. Відбивання і заломлення хвиль на межі двох середовищ.
4. Задача.

Білет 9

1. Енергія магнітного поля. Магнітний момент. Сили в стаціонарному магнітному полі.
2. Просторово-часовий інтервал.
3. Поширення електромагнітних хвиль у провідниках.
4. Задача.

Білет 10

1. Вільне електромагнітне поле. Хвильові рівняння і їх розв'язок методом Даламбера. Плоскі і сферичні хвилі.
2. Тензор електромагнітного поля.
3. Поляризація середовища в змінному електромагнітному полі. Комплексна діелектрична проникність.
4. Задача.

Білет 11

1. Загальний розв'язок хвильового рівняння. Група хвиль.
2. Принцип екстремальності дії для вільної релятивістської частинки.
3. Дисперсійні співвідношення для дійсної і уявної частини діелектричної проникливості. Співвідношення Крамерса-Кроніга.
4. Задача.

Білет 12

1. Стаціонарне електричне поле. Рівняння Пуассона і його розв'язок.
2. Коваріантна форма першої пари рівнянь Максвелла.
3. Теорія дисперсії для системи гармонічних осциляторів.
4. Задача.

Білет 13

1. Теорія випромінювання. Потенціали, що запізнюються і випереджають. Поле на великих відстанях від системи.
2. Коваріантна форма другої пари рівнянь Максвелла.
3. Основні рівняння для електростатичного поля у середовищі. Електростатика провідників та діелектриків.

4. Задача.

Білет 14

1. Електричне дипольне випромінювання.
2. Просторово-часовий інтервал. Класифікація інтервалів.
3. Енергія електростатичного поля в середовищі. Сили, що діють на тіла в електростатичному полі.
4. Задача.

Білет 15

1. Магнітне дипольне і електричне квадропольне випромінювання.
2. Релятивістське рівняння руху.
3. Стаціонарне магнітне поле в середовищі. Енергія магнітного поля в середовищі. Сила і момент сили в магнітостатичному полі.
4. Задача.

Білет 16

1. Поле заряду, що рухається. Потенціали Ліснара-Віхерта.
2. Перетворення полів в релятивістській і класичній електродинаміці.
3. Електромагнітні хвилі в речовині. Відбивання і заломлення хвиль на межі двох середовищ.
4. Задача.

Білет 17

1. Сила променистого тертя. Природна ширина спектральних ліній.
2. Інваріанти електромагнітного поля.
3. Квазістаціонарне магнітне поле. Скін-ефект.
4. Задача.

Білет 18

1. Розсіювання електромагнітних хвиль зарядами.
2. Закон додавання швидкостей.
3. Поширення електромагнітних хвиль в провідниках.
4. Задача.

Білет 19

1. Вільне електромагнітне поле. Хвильові рівняння і їх розв'язок методом Даламбера. Плоскі і сферичні хвилі.
2. Простір Мінковського. Геометрична інтерпретація перетворень Лоренца.
3. Рівняння макроскопічної електродинаміки як результат усереднення рівнянь для мікрополів. Вектори поляризації і намагнічення.
4. Задача.

## Критерії контролю знань

Таблиця 1

Максимальна кількість балів	Вид роботи
7	Модуль 1-ий
7	Модуль 2-ий
5	Контрольна робота №1 (домашня)
5	Контрольна робота №2 (домашня)
7	Контрольна робота №1 (аудиторна)
7	Контрольна робота №2 (аудиторна)
3	Робота над конспектом
5	Практичні роботи (сер. оцінка)
4	Реферат
50	Екзамен
100	Σ

Відомість контролю знань Таблиця 2

№ п/п	Вид роботи	Оцінка (в балах)													
		Модуль 1-ий	Модуль 2-ий	Контр. робота № 1 (домашня)	Контр. робота № 2 (домашня)	Контр. робота № 1 (аудиторна)	Контр. робота № 2 (аудиторна)	Робота над конспектом	Практ. роботи (середня оцінка)	Реферат	Екзамен	Σ			
	ППП студента														

Викладач \_\_\_\_\_