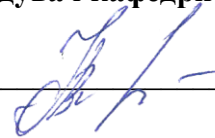


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ВИННИЧЕНКА**

Кафедра природничих наук та методик їхнього навчання

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри**



(Протокол 1 від «28» серпня 2020 року)

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**ПП 2.14.3 ТЕОРЕТИЧНА ФІЗИКА: ЕЛЕКТРОДИНАМІКА Й ОСНОВИ
СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ**

(шифр і назва навчальної дисципліни)

галузь 01 Освіта/Педагогіка
(шифр галузі і назва галузі знань)

спеціальність 014 Середня освіта (за предметними спеціальностями)
(код і назва спеціальності)

предметна спеціальність 014.15 Середня освіта (Природничі науки)
(шифр і назва спеціальності (предметної спеціальності))

освітня програма Середня освіта (Природничі науки)
(назва освітньої програми)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(назва рівня вищої освіти)

факультет природничо-географічний
(назва інституту, факультету, відділення)

форма навчання денна
(денна, заочна)

2020–2021 навчальний рік

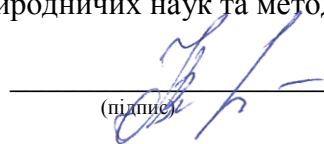
Робоча програма з теоретичної фізики: електродинаміка й основи спеціальної теорії відносності для студентів спеціальності 014 «Середня освіта (Природничі науки)» освітня програма «Середня освіта (Природничі науки)» на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти

Розробник: Подопригора Наталія Володимирівна, завідувач кафедри природничих наук та методик їхнього навчання, доктор педагогічних наук, професор

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

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри природничих наук та методик їхнього навчання (Протокол 1 від «28» серпня 2020 року)

Завідувач кафедри природничих наук та методики їхнього навчання

 / Подопригора Н.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів (ECTS) – 4	Галузь знань 01 Освіта/Педагогіка	Нормативна
Модулів – 2	Спеціальність 014 «Середня освіта (Природничі науки)	Рік підготовки:
Змістових модулів – 4		3-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання _____ (назва)		Семестр
Загальна кількість годин – 120 54/66 (аудиторна/самостійна)		5-й
Кількість навчальних тижнів – 18 Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 ; самостійної роботи студента – 4	Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти	Лекції
		36 год.
		Практичні, семінарські
		18 год.
		Лабораторні
		освітньо 0 год.
		Самостійна робота
		66 год.
		Індивідуальні завдання: 0 год.
		Вид контролю: 5-й семестр – <i>екзамен</i>

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:

для денної форми навчання – 45% / 55%

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Мета дисципліни «Теоретична фізика: електродинаміка й основи спеціальної теорії відносності» визначається метою освітньо-професійної програми (ОПП) підготовки бакалаврів спеціальності 014 «Середня освіта (Природничі науки)», що сприяє формуванню інтегрованої динамічної комбінації знань і умінь для вивчення студентами теоретичних та методологічних засад теоретичної фізики відповідно до структури предметної (спеціальної фахової) компетентності з теоретичної фізики. Теоретична фізика, як навчальна дисципліна, згідно робочого навчального плану підготовки бакалаврів спеціальності 014 «Середня освіта (Природничі науки)» (2018–2022 н.р.) розробленого для студентів, які вступали на навчання в 2018 році. Структурована система знань, розумінь, умінь, здатностей та ін. компетенцій з дисципліни забезпечує формування відповідної предметної (спеціальної фахової) компетентності в структурі професійної компетентності майбутніх учителів природничих наук, фізики, хімії, біології, їхню теоретичну і практичну підготовку, сприяючи формуванню цілісного бачення світу, виробленню наукового підходу до аналізу проблем оточуючого світу; теоретичного та критичного мислення під час тлумачення електродинамічних явищ і процесів на макроскопічному рівні опису матерії. Під час викладання дисципліни звертати особливу увагу на те, що курс теоретичної фізики об'єднується загальноприродничими принципами (причинності, додатковості, відповідності, відносності, симетрії, збереження, перетворення тощо) і положеннями в межах прийнятих теоретичних схем. Під час планування та проведення занять зосереджуватись на якісному обговоренні проблем і завдань, а не детальному вивченні різноманітних теоретичних методів та прикладних моделей фізичних систем. У процесі організації освітньої діяльності студентів орієнтуватись, перш за все, на кінцевий результат, визначаючи основні його цілі, – навчальну, дидактичну, розвивальну і виховну для забезпечення діагностично поставленої мети, а також, враховуючи можливість управління навчальною діяльністю студентів, щодо:

- формування та розвитку в студентів наукових знань і вмінь, необхідних та достатніх для розуміння явищ і процесів, які відбуваються в природі на макроскопічному рівні, знання класичної електродинаміки та основ спеціальної теорії відносності, вміння застосовувати ці знання для розв'язування задач за допомогою стандартних (аналітичних) і нестандартних (синтетичних) методик;
- формування концептуальних і теоретичних основ фізики як науки, її місця в загальній системі наук і цінностей у процесі навчальної діяльності;
- організації навчання теоретичній фізиці на основі єдності теоретичної та практичної складників професійної підготовки майбутніх учителів природничих наук і, зокрема, фізики;
- формування в студентів вмінь математичного моделювання фізичних систем, явища або процесу в фізичній системі в межах теоретичної схеми класичної електродинаміки (в теорії Максвелла), а також у релятивістських випадках

(модель теоретичної схеми Ейнштейна в його спеціальній теорії відносності, моделей релятивістської електродинаміки тощо);

- формування в студентів теоретичного типу мислення, уміння користуватись методами індукції та дедукції, аналізу й синтезу, робити висновки та узагальнення;
- формування в студентів уміння систематизувати здобуті знання про фізичні явища природи, використання їх у техніці;
- формування в студентів наукового світогляду, розвитку критичного мислення;
- озброєння студентів раціональним методологічним підходом до пізнавальної і практичної діяльності;
- формування в студентів вміння працювати з інформацією, сприяти розвитку їх комунікативних здібностей; позитивної мотивації до навчання;
- виховання екологічного мислення й поведінки, національної свідомості і патріотизму, працелюбності та наполегливості.

Кінцева мета вивчення дисципліни «Теоретична фізика: електродинаміка й основи спеціальної теорії відносності» спрямована на формування в студентів кількісного підходу до опису та аналізу макроскопічних електродинамічних систем, явищ та процесів, які протікають в таких системах. При цьому наголос робиться на основні поняття та закони електродинаміки: рівняння Максвелла для електромагнітного поля у вакуумі та суцільному середовищі. Особлива увага приділяється загальним теоретичним методам (рівнянням електромагнітного поля та законам збереження) знаходження законів руху тіл, або системи тіл в електромагнітному полі на основі методів класичної електродинаміки та узагальнення здобутих знань на релятивістський випадок та опанування основних ідей спеціальної теорії відносності. Вивчення дисципліни передбачає, отримання знань та вмінь, які необхідні майбутньому вчителю природничих наук, зокрема фізики, в його майбутній професійній діяльності.

2.2. Завдання вивчення дисципліни: Розглянути понятійний апарат та теоретичні основи класичної електродинаміки, що вивчались у шкільному курсі фізики та вивчаються в курсі загальної фізики, використовуючи основні загальні теоретичні підходи показати, що одержані висновки не суперечують висновкам шкільної та експериментальної фізики, а розширюють і доповнюють їх, створюючи у студентів цілісне уявлення про науковий підхід у дослідженні фізичних явищ природи. Презентувати більш розширене і загальне тлумачення та аналіз основних фізичних понять, що розглядались у школі і курсі загальної фізики (емпіричні закони електродинаміки мають бути систематизовані у вигляді теоретичної моделі феноменологічної теорії Максвелла). Встановити строгі рамки, критерії існування і використання фізичних законів класичної електродинаміки для релятивістської та нерелятивістської областей простору, спираючись на основні загальні положення. Обґрунтовувати фундаментальні та новітні досягнення класичної електродинаміки щодо використання у науці і техніці, окреслювати перспективи подальшого розвитку.

За результатами опанування програми студенти повинні:

знати:

основні завдання і теоретичні методи класичної електродинаміки в моделі Максвелла, розвиток електродинаміки в її історико-генезісному аспекті, роль експерименту у формуванні теоретичних основ теорії відносності та сучасної теоретичної схеми класичної електродинаміки; завдання і методи спеціальної теорії відносності та класичної електродинаміки за відповідними темами дисципліни;

уміти:

розв'язувати фізичні задачі за допомогою аналітичних та прикладних методик аналізу основних теоретичних моделей теорії відносності та класичної електродинаміки за відповідними темами дисципліни.

У результаті вивчення навчальної дисципліни у студента мають бути сформовані такі **компетентності**:

Інтегральна компетентність – здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в галузі середньої освіти, що передбачає застосування теорій та методів освітніх наук та природничих наук, фізики, хімії, біології і характеризується комплексністю та невизначеністю педагогічних умов організації освітнього процесу в закладах загальної середньої освіти.

Загальні компетентності:

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК2. Здатність діяти на основі етичних міркувань (мотивів).

ЗК3. Здатність діяти соціально відповідально та свідомості.

ЗК4. Здатність працювати в команді.

ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК6. Здатність застосовувати набуті знання в практичних ситуаціях.

ЗК7. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК8. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК10. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

Предметні (спеціальні фахові) компетентності:

ФК1. Здатність використовувати систематизовані теоретичні та практичні знання з класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності при вивченні Всесвіту і природи Землі як планети.

ФК2. Володіння математичним апаратом класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності.

ФК8. Здатність до рефлексії та самоорганізації професійної діяльності.

ФК11. Здатність характеризувати досягнення природничих наук та їх ролі у житті суспільства; формування цілісних уявлень про природу, використання природничо-наукової інформації на основі оперування базовими загальними закономірностями природи.

Програмними результатами навчання є:

Знання:

ПРНЗ2. Демонструє знання та розуміння класичної електродинаміки й основ спеціальної теорії відносності, взаємозв'язок квантової механіки в структурі природничих наук та з іншими науками;

ПРНЗ3. Знає й розуміє математичні методи класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності;

Уміння:

ПРНУ1. Аналізує природні явища і процеси, оперує базовими закономірностями природи на рівні сформованої природничо-наукової компетентності з погляду класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності як теоретичних схем, їхніх принципів і основ, а також на основі відповідних математичних методів.

ПРНУ3. Розв'язує задачі з класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності різних рівнів складності.

ПРНУ4. Користується математичним апаратом класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності, використання математичних методів, які застосовуються в класичній електродинаміці і спеціальній теорії відносності.

ПРНУ7. Уміє знаходити, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел, насамперед за допомогою інформаційних та хмарних технологій.

ПРНУ8. Самостійно вивчає нові питання класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності за різноманітними інформаційними джерелами.

ПРНУ11. Дотримується правових норм і законів, нормативно-правових актів України, усвідомлює необхідність їх дотримання.

Комунікація:

ПРНК1. Володіє основами професійної мовленнєвої культури при вивченні класичної електродинаміки і спеціальної теорії відносності.

ПРНК2. Пояснює фахівцям і не фахівцям стратегію сталого розвитку людства та екологічної безпеки і шляхи вирішення глобальних проблем людства.

Автономія і відповідальність

ПРНА1. Усвідомлює соціальну значущість майбутньої професії, сформованість мотивації до здійснення професійної діяльності.

ПРНА2. Відповідально ставиться до забезпечення охорони життя і власного здоров'я та оточуючих у освітньому процесі та позаурочній діяльності.

2.3. Міждисциплінарні зв'язки: Дисципліна «Теоретична фізика: електродинаміка й основи спеціальної теорії відносності» вивчається у тісному дидактичному зв'язку із дисциплінами циклу професійної підготовки (математичні методи фізики, загальна фізика, методика навчання фізики та природничих наук), засвоєння яких необхідно майбутнім учителям фізики та природничих наук для професійної та подальшої освітньої діяльності.

Дисципліна є часткою трисеместрового курсу теоретичної фізики (математичні методи фізики, класична механіка, електродинаміка й основи спеціальної теорії відносності), охоплює достатній мінімум засобів і прийомів теоретичної фізики. Набутий студентами на цей час багаж знань з дисциплін «Математичний аналіз», «Вища математика» та «Загальна фізика» (розділи «Механіка», «Молекулярна фізика та термодинаміка», «Електрика та магнетизм», «Оптика та квантова фізика») дозволяють знайомити студентів з сучасними методами дослідження фізичних явищ на якісному рівні. Здатність студентів застосовувати знання та

вміння сформовані під час вивчення теоретичної фізики, розділ: електродинаміка й основи спеціальної теорії відносності в подальшому є основою для вивчення інших розділів теоретичної фізики: квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика й інших дисциплін: сучасних питань фізики, фізики твердого тіла, зокрема електронної теорії речовини, природничо-наукової картини світу тощо.

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Модуль 1. Основи спеціальної теорії відносності

Релятивістська кінематика: Простір і час у спеціальній теорії відносності (СТВ). Експериментальне обґрунтування СТВ. Постулати Ейнштейна. Перетворення Лоренца (*отримання перетворень Лоренца на основі постулатів Ейнштейна*). Простір і час в СТВ, прийняті системи відліку. Кінематичні наслідки перетворень Лоренца: ефекти скорочення довжини і сповільнення часу. Відносна швидкість, перетворення швидкостей. **Простір Мінковського:** Поняття про чотиривимірний простір Мінковського. Перетворення Лоренца як обертання системи координат у просторі Мінковського. *Чотиривимірні тензори і коваріантна форма запису фізичних законів. Чотиривимірна швидкість.*

Релятивістська динаміка. Основне рівняння релятивістської динаміки. Інваріантна маса частинки. Чотиривимірний імпульс. Чотиривимірна сила. Релятивістське коваріантне узагальнення другого закону динаміки Ньютона. *Компоненти чотиривимірного імпульсу. Залежність релятивістської маси від швидкості.* **Релятивістська енергія.** Фізичний зміст четвертої компоненти чотиривимірного імпульсу. Релятивістська енергія. Зв'язок між власною енергією частинки і її масою (формула Ейнштейна). Частинки з нульовою масою.

Система релятивістських частинок. Система невзаємодіючих частинок, її чотиривимірні імпульси. Інваріантна маса системи невзаємодіючих частинок. *Особливості опису взаємодії частинок в релятивістській фізиці. Поняття про поле, його енергію та імпульс. Система взаємодіючих частинок, її маса і енергія зв'язку. Закони збереження для системи взаємодіючих частинок релятивістської динаміки.*

Елементи загальної теорії відносності. Перетворення Лоренца для полів. Принцип найменшої дії для електромагнітного поля. Закони збереження у чотиривимірній формі.

Модуль 2. Електродинаміка

Змістовий модуль 1. Основні поняття класичної електродинаміки

Вступ. Типи фундаментальних взаємодій у природі. Електромагнітна взаємодія, її характеристики. Обмінний характер електромагнітної взаємодії.

Електричний заряд та його дискретність. Елементарний заряд, точковий та одиничний заряди. Питомий заряд частинки. *Досліди Міллікена, Йойффе, Томсона по вимірюванню елементарного та питомого зарядів.* Густина заряду (об'ємна, поверхнева, лінійна). Два види зарядів. Закон збереження електричного заряду та пояснення на його основі явища електризації тіл.

Електричний струм (струм провідності) в різних середовищах. Сила та густина струму, одиниці їх вимірювання. Сила струму як потік вектора густини струму

через поперечний переріз провідника. *Технічний напрям струму*. Рівняння неперервності в інтегральній та диференціальній формах як найбільш загальна форма запису закону збереження заряду. *Елемент струму як векторна величина*.

Електромагнітне поле у вакуумі та його джерела. Поділ електромагнітного поля на електричне та магнітне поля; відносність такого поділу. Силкові та енергетичні характеристики електричного та магнітного полів. Графічна модель силкових полів (силкові лінії). Потенціальні та силкові вихрові поля.

Дія електричного поля на заряджену частинку та магнітного поля на елемент струму (сила Ампера). Принцип суперпозиції. Дія електромагнітного поля на рухому, заряджену частинку (сила Лоренца). Енергія зарядженої частинки, що рухається в електромагнітному полі.

Пробний заряд. Гіпотеза про кварки. Теоретичне обґрунтування елементарного заряду з об'єднаного закону Фарадея для електролізу (праці Стонея).

Джерела електричного струму (джерела сторонньої ЕРС). Електроємність та одиниці її вимірювання. Формула ємності плоского конденсатора з шаруватим діелектриком.

Неелектростатична природа джерел вихрових електричних полів. Центральні силкові поля. Однорідні електричне та магнітне поля.

Змістовий модуль 2. Експериментальні основи класичної електродинаміки

Фундаментальні емпіричні закони електростатики. Взаємодія однойменно та різнойменно заряджених частинок (наелектризованих тіл). Закон Кулона. *Досліди Кулона. Крутильні терези Кулона.* Вплив середовища на взаємодію заряджених тіл. *Відносна та абсолютна діелектрична проникність середовища.* Напруженість електричного поля точкового заряду, системи зарядів. Скалярний потенціал поля точкового заряду, системи зарядів. Рівняння зв'язку. Теорема Остроградського-Гауса про повний потік вектора напруженості електростатичного поля як математичний запис закону збудження потенціального електричного поля.

Закони постійного струму. Закон Ома в інтегральній та диференціальній формах. Електропровідність та опір провідника. Питома електропровідність та питомий опір. *Температурна залежність електричного опору металів та її якісне пояснення.* Закон Джоуля-Ленца в інтегральній та диференціальній формах. *Співвідношення між одиницями вимірювання енергії калорією і джоулем.*

Фундаментальні емпіричні закони магнітостатики. *Досліди Ампера. Емпіричний закон Ампера. Обчислення сили взаємодії двох прямих паралельних провідників із струмом. Одиниця сили струму в СІ.*

Відкриття Ерстедом магнітної дії електричного струму. Елемент струму як джерело вихрового магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа та його застосування до розрахунку магнітних полів прямого і колового струмів, на вісі нормального соленоїда.

Електромагнітна індукція та емпіричний закон Фарадея. Магнітний потік (потік вектора $\vec{B}$). ЕРС індукції у провіднику, що рухається у магнітному полі.

Гіпотеза Максвелла про струм зміщення. Обчислення густини струму зміщення. Матеріальне рівняння.

Явище самоіндукції. Індуктивність та одиниці її вимірювання. Індуктивність нормального соленоїда.

Теорема про циркуляцію вектора $\vec{H}$ магнітного поля системи струмів як математичний запис закону збудження вихрового магнітного поля. *Відсутність у природі потенціальних магнітних полів та магнітних монополів.*

Змістовий модуль 3. Узагальнення емпіричних законів класичної електродинаміки в теорії Максвелла

Система рівнянь Максвелла для електромагнітного поля у вакуумі

Система рівнянь Максвелла для електромагнітного поля у вакуумі в інтегральній та диференціальній формах. Фізичний зміст кожного рівняння та їх зв'язок із фундаментальними емпіричними законами електродинаміки. *Повна система рівнянь Максвелла, матеріальних рівнянь і граничних умов для електромагнітного поля в середовищі. Наближення електродинаміки суцільних середовищ.*

Загальні властивості електромагнітного поля у вакуумі.

Силкові та енергетичні характеристики електромагнітного поля і зв'язок між ними (рівняння зв'язку). Залежність локальних характеристик електромагнітного поля від стану джерел цього поля. Електростатичне поле та його потенціальність. Стационарне магнітне поле та його вихровий характер. *Неоднозначність визначення скалярного і векторного потенціалів в точці поля. Рівняння для потенціалів. Калібрувальна інваріантність, умова Лоренца. Енергія та густина енергії електромагнітного поля.*

Енергія та густина енергії електричного, магнітного поля.

Густина потоку енергії електромагнітного поля. Вектор Умова-Пойтінга, як величина, що визначає густину потоку електромагнітного поля. *Закон збереження енергії для замкненої системи “частинка–поле” в інтегральній та диференціальній формах.*

Імпульс та густина імпульсу електромагнітного поля.

Тиск світла при поглинанні та відбиванні електромагнітних хвиль у феноменологічній теорії Максвелла (якісне пояснення, кількісні розрахунки). *Досліди Лебедева з експериментального визначення тиску світла. Поняття про радіометричний ефект і радіометр Крукса.*

Електростатичне поле у вакуумі у рівняннях математичної фізики.

Джерела електростатичного поля у вакуумі. Принцип суперпозиції. Обчислення напруженості та скалярного потенціалу поля системи точкових, лінійно та об'ємно розподілених зарядів. Рівняння Пуассона для скалярного потенціалу та його загальний розв'язок. Скалярний потенціал системи нерухомих зарядів у точці поля на великих відстанях від зарядів. Мультипольне розкладання скалярного потенціалу. Наближення точкового заряду; дипольне наближення.

Найпростіша електронейтральна система зарядів – електричний диполь. Характеристики диполя. Дипольний момент системи зарядів. Електричне поле системи зарядів у дипольному наближенні (формули для скалярного потенціалу та напруженості).

Енергія взаємодії системи нерухомих точкових зарядів. Потенціальна енергія зарядженого тіла.

Стационарне магнітне поле у вакуумі у рівняннях математичної фізики.

Джерела стаціонарного магнітного поля у вакуумі. Принцип суперпозиції. Теорема про циркуляцію вектора $\vec{H}$ та її застосування до розрахунку стаціонарних магнітних полів. Рівняння Пуассона для векторного потенціалу для системи струмів та його загальний розв'язок. Векторний потенціал системи рухомих точкових зарядів. Векторний потенціал системи заряджених частинок, що здійснюють фінітний рух на великих відстанях від системи. Мультипольне розкладання векторного потенціалу. Стаціонарне магнітне поле в магнітному дипольному наближенні.

Магнітний момент системи рухомих зарядів та струмів. Магнітний момент витка із струмом.

Електромагнітне поле зарядженої частинки, що рухається рівномірно прямолінійно.

Електромагнітні хвилі.

Зв'язок між змінними в часі вихровими електричним і магнітним полями. Вихрове електромагнітне поле в ідеальному діелектрику (вакуумі). Хвильове рівняння та його загальний розв'язок. Рівняння ЕМ-хвилі. Швидкість поширення ЕМ-хвилі у вакуумі та діелектричному середовищі. Фазова швидкість.

Хвильовий фронт. Плоскі монохроматичні ЕМ-хвилі. Сферичні ЕМ-хвилі. Рівняння плоскої ЕМ-хвилі та сферичної ЕМ-хвилі у випадку гармонічного закону зміни векторів $\vec{E}$ та $\vec{H}$.

Ефект Доплера в електродинаміці та його практичне використання в сучасній науці і техніці.

Магнетики. Елементарні носії магнетизму в речовині. Діа-, пара- та феромагнетики. Температурна залежність магнітної сприйнятливості парамагнетиків, емпіричний закон Кюрі, формула Ланжевена. Точка Кюрі для феромагнетиків.

Квазістаціонарне електромагнітне поле в речовині.

Одержання змінної ЕРС та змінного струму в замкненому колі. Квазістаціонарне електромагнітне поле, умови квазістаціонарності. Проникнення змінного вихрового електромагнітного поля у провідник. Розподіл густини змінного струму у поперечному перерізі провідника, скін-ефект. Урахування скін-ефекту у колах змінного струму надвисоких частот. Проникнення змінного магнітного поля у провідник.

Електричні і магнітні властивості речовини.

Поляризація діелектриків в постійному електричному полі. Поляризація неполярних діелектриків. Діелектрична сприйнятливість полярних діелектриків. Діелектрики у змінних електричних полях. Пружно зв'язані електрони та їх вимушені коливання. Класична теорія дисперсії світла. Нормальна і аномальна дисперсії. Теорема Лармора і класична теорія діаманітного ефекту. Парамагнітна сприйнятливість магнетиків зі сталим магнітним моментом молекул.

Примітка: Курсивом в програмі виділено питання, які винесено на самостійне опрацювання

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма)				
	усього	у тому числі			
		лекції	пр	інд	сп/конс
Модуль 1. Основи спеціальної теорії відносності					
Тема 1. Релятивістська кінематика. Простір Мінковського	8	4	2	-	2
Тема 2. Релятивістська динаміка. Релятивістська енергія	8	4	2	-	2
Тема 3. Система релятивістських частинок	2	-	-	-	2
Тема 4. Елементи загальної теорії відносності	2	-	-	-	2
Тестове завдання 1 «Основи спеціальної теорії відносності»	2	-	-	-	2
Усього за модулем 2	22	8	4	-	10
Модуль 2. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА					
Змістовий модуль 1. Основні поняття класичної електродинаміки					
Тема 1. Вступ.	1	1	-	-	-
Тема 2. Електричний заряд та його дискретність	5	2	1	-	2
Тема 3. Електричний струм	4	2	-	-	2
Тема 4. Електромагнітне поле у вакуумі та його джерела	3	-	1	-	2
Тестове завдання 2 «Поняття класичної електродинаміки»	2	-	-	-	2
Тестове завдання 3 «Закони постійного струму»	2	-	-	-	2
Усього за змістовий модуль 1	17	5	2	-	10
Змістовий модуль 2. Експериментальні основи класичної електродинаміки					
Тема 1. Фундаментальні емпіричні закони електростатики	6	2	2	-	2
Тема 2. Закони постійного струму	6	2	2	-	2
Тема 3. Фундаментальні емпіричні закони магнітостатики	4	-	2	-	2
Тема 4. Електромагнітна індукція	6	2	2	-	2
Тестове завдання 4 «Теорема Остроградського-Гауса»	2	-	-	-	2
Тестове завдання 5 «Електромагнітна індукція»	2	-	-	-	2
Усього за змістовий модуль 2	26	6	8	-	12
Змістовий модуль 3. Узагальнення емпіричних законів класичної електродинаміки в теорії Максвелла					

Тема 1. Система рівнянь Максвелла для електромагнітного поля у вакуумі	4	2	-	-	2
Тема 2. Загальні властивості електромагнітного поля у вакуумі	4	2			2
Тема 3. Енергія та густина енергії електричного, магнітного поля	4	2	-	-	2
Тема 4. Імпульс та густина імпульсу електромагнітного поля	4	2	-	-	2
Тема 5. Електростатичне поле у вакуумі у рівняннях математичної фізики	7	3	2	-	2
Тема 6. Стаціонарне магнітне поле у вакуумі у рівняннях математичної фізики	8	4	2	-	2
Тема 7. Електромагнітні хвилі	4	2	-	-	2
Тема 8. Магнетики	4	-	-	-	4
Тема 9. Квазістаціонарне електромагнітне поле в речовині	4	-	-	-	4
Тема 10. Електричні і магнітні властивості речовини	4	-	-	-	4
<i>Тестове завдання 6 «Рівняння Максвелла»</i>	2	-	-	-	2
<i>Теоретичне завдання «Обґрунтування рівняння Максвелла»</i>	2	-	-	-	2
Усього за змістовий модуль 3	51	17	4	-	30
Контрольна робота	2	-	-	-	2
<i>Завдання для підвищення рейтингу</i>	2	-	-	-	2
Усього годин	120	36	18	-	66

4. ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ (не передбачено)

5. ТЕМИ І ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

6.1. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1. Основи спеціальної теорії відносності		
1	Основи релятивістської кінематики	2
2	Основи релятивістської динаміка	2
Модуль 2. Електродинаміка		
3	Електричний заряд і його поле. Принцип суперпозиції. Властивості електростатичного поля	2
4	Теорема Остроградського-Гауса	2
5	Розрахунок електричних і магнітних полів за допомогою	4

	рівнянь Пуассона і Лапласа	
6	Постійний електричний струм	2
7	Розрахунок магнітних полів за допомогою законів Біо-Савара-Лапласа та Ерстеда	2
8	Електромагнітна індукція	2
Усього годин		18

6.2. ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Модуль 1. ОСНОВИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

Практична робота №1 «Основи релятивістської кінематики»

2 год.

Розв'язування задач за збірником:

Мазуренко Д.М., Альперин М.М. Задачі і вправи з теоретичної фізики. 2-е вид., пер. і доп. К.: Вища школа, 1978. 183 с.

В аудиторії: №№ 111; 112; 115; 116;

Додому: №№ 113; 117; 122; 123

Розв'язати домашні задачі у зошиті, відсканувати, прикріпити як відповідь і відправити на перевірку у Google-classroom дисципліни

Запитання для самоконтролю:

1. Сформулювати постулати Ейнштейна.
2. Записати перетворення Лоренца при переході від нерухомої системи координат до рухомої.
3. Записати перетворення Лоренца при переході від рухомої системи координат до нерухомої.
4. Якого граничного фізичного змісту набувають перетворення Лоренца якщо рухомий об'єкт рухається із швидкістю, яка набагато менша за швидкість світла у вакуумі?
5. Якого граничного фізичного змісту набувають перетворення Лоренца якщо рухомий об'єкт рухається із швидкістю, яка більша за швидкість світла у вакуумі?
6. У чому полягає ефект скорочення довжини рухомого об'єкта?
7. У чому полягає ефект сповільнення часу рухомого годинника?
8. Записати закон додавання швидкостей у спеціальній теорії відносності.
9. Що являє собою чотиривимірний простір Мінковського?
10. Що називають просторово-часовим інваріантом?
11. Як записуються перетворення Лоренца у чотиривимірному просторі Мінковського?
12. Як задається чотири-вектор?
13. Як задається вектор чотири-швидкості?

Практична робота №2 «Основи релятивістської динаміки»

2 год.

План:

2.1. Обговорення питання про залежність маси від швидкості в релятивістській динаміці

Теоретичні відомості

У класичній фізиці маса m вважається величиною сталою, що приймає одне й теж значення в будь-якій інерціальній системі відліку. Але у теорії відносності показується, що це не так: маса тіла – величина відносна і залежить від швидкості руху, в різних інерціальних системах відліку має різні значення.

Імпульс і кінетична енергія в класичній механіці – $\vec{p} = m\vec{v}$ і $T = \frac{mv^2}{2}$, являють собою дві різні міри руху. Кінетична енергія – величина скалярна, вона характеризує рух лише кількісно, імпульс, як векторна величина, – вказує й на напрямок руху.

Основний закон класичної механіки – другий закон Ньютона. Цей закон може бути записаний у вигляді рівняння, що пов'язує швидкість зміни імпульсу й силу, що діє на тіло:

$$\frac{d}{dt} m\vec{v} = \vec{F} \quad (1)$$

Оскільки у класичній механіці масу незмінного тіла вважають сталою величиною, тоді її можна винести за знак похідної за часом та отримати іншу загальновідому формулу, що відображає зміст другого закону Ньютона:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} \quad (2)$$

Але слід відмітити, що, навіть у класичній механіці формулу (1) слід вважати більш загальною, ніж формулу (2), оскільки перша справджується і для тіл, маса яких змінюється під час їх руху (ракета, потяг із змінним вантажем і т.п.)

Помножимо обидві частини рівняння (2) скалярно на вектор швидкості частинки $\vec{v}$, тоді для тіла із незмінною масою ми отримаємо співвідношення:

$$m\vec{v} \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}\vec{v} \quad (3)$$

Рівняння (1) і (3), що впливає з нього можна записати ще й так:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{mv^2}{2} \right) = \vec{F}\vec{v} \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{mv^2}{2} \right) = \vec{F}\vec{v} \quad \text{або} \quad \frac{dT}{dt} = N \quad (5)$$

Таким чином, швидкість зміни імпульсу тіла дорівнює діючій на тіло силі, а швидкість зміни кінетичної енергії дорівнює роботі цієї сили за одиницю часу (потужності).

Надзвичайно плідним введення поняття імпульсу й енергії тіла виявилось під час їх розгляду в інших розділах фізики.

Передбачений Максвелом та експериментально обґрунтований Лебедевим тиск світла показав, що світло (взагалі електромагнітні хвилі), як будь-яка інша рухома матерія, володіє імпульсом і як наслідок, масою.

Поширення поняття енергії на інші форми руху (теплова, електромагнітна та інші) призвело до встановлення фундаментального закону природи – закону збереження й перетворення енергії.

Зрозуміло, що під час дослідження законів руху тіл в релятивістській області (тобто руху із великими швидкостями) на першому плані опиняться поняття імпульсу і енергії тіла.

Перш ніж ми перейдемо до пошуку закону руху тіла із великими швидкостями, зауважимо, що другий закон Ньютона записаний у формі (2) не може бути вірним у релятивістській області простору. У класичній фізиці маса вважалась незмінною величиною. Але це справедливо лише при малих швидкостях руху. На це вказує дослід сучасної техніки прискорення заряджених елементарних частинок. Експеримент показує, що при великих швидкостях маса рухомого тіла повинна залежати від абсолютної величини його швидкості:

$$m = m_0 \gamma; \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}.$$

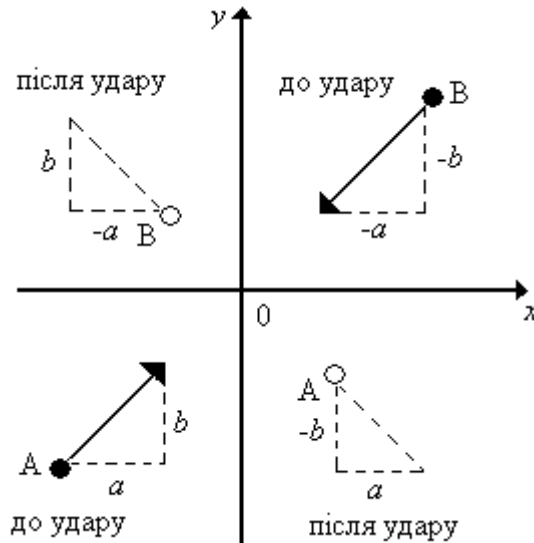
Вигляд цієї функціональної залежності може бути однозначно встановлений, якщо використати закон збереження імпульсу у релятивістській теорії додавання швидкостей.

Для досягнення цієї мети розмірнуємо так, як це в свій час вперше зробив Толмен.

Нехай відбувається пружний співудар двох однакових кульок А і В, причому у системі К швидкості шарів до удару рівні за величиною і протилежні за напрямком.

Якщо ми позначимо проекції швидкості кульки А на вісі Ox і Oy відповідно через a і b , то відповідні проекції швидкості кульки В будуть рівні $-a$ і $-b$.

Нехай внаслідок співудару „х-ові” проекцій швидкостей обох кульок залишаються незмінними, а „у-і” проекції змінюють знак, тобто кульки розлітаються у напрямках вказаних пунктирними стрілками, так як це показано на малюнку.



Тоді у системі відліку K (нерухомій) ми матимемо наступну таблицю для проекцій швидкостей кульок А і В до і після удару:

Шар	до удару		після удару	
	v_x	v_y	v_x	v_y
А	a	b	a	$-b$
В	$-a$	$-b$	$-a$	b

У цій системі відліку сумарний імпульс кульок до і після удару дорівнює нулю. Проекції на вісі Ox і Oy відповідно дорівнюють:

$$m\sqrt{a^2 + b^2} \cdot a + m\sqrt{a^2 + b^2} \cdot (-a) = 0;$$

$$m\sqrt{a^2 + b^2} \cdot b + m\sqrt{a^2 + b^2} \cdot (-b) = 0;$$

Перейдемо тепер до рухомої системи K' , використовуючи релятивістський закон додавання швидкостей:

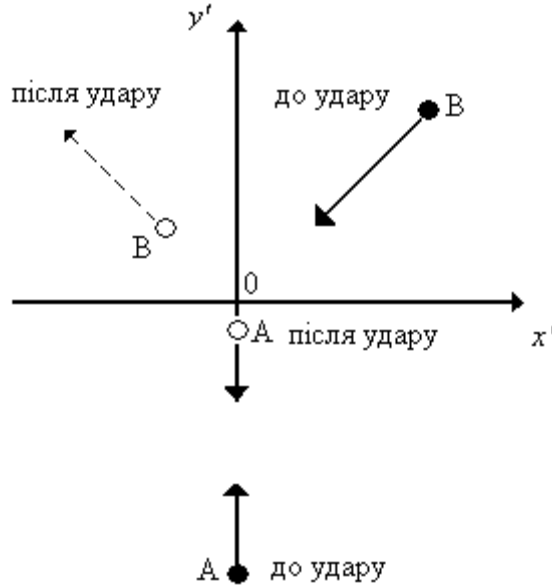
$$v'_x = \frac{v_x - a}{1 - \frac{v_x a}{c^2}}; \quad v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}}{1 - \frac{v_x a}{c^2}}$$

Підставляючи значення v_x і v_y до і після удару в ці формули, отримаємо проекції швидкостей для системи K' таблицю:

Шар	до удару		після удару	
	v'_x	v'_y	v'_x	v'_y
А	0	$\frac{b}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}}$	0	$\frac{-b}{\sqrt{1 - \frac{a^2}{c^2}}}$

B	$\frac{-2a}{1+\frac{a^2}{c^2}};$	$\frac{-b\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}}{1+\frac{a^2}{c^2}}$	$\frac{-2a}{1+\frac{a^2}{c^2}};$	$\frac{b\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}}{1+\frac{a^2}{c^2}}$
---	----------------------------------	--	----------------------------------	---

Таким чином, у системі K' шар А до і після удару рухається вздовж вісі Oy' і картина удару буде наступною:



Абсолютні величини швидкостей шарів в системі K' до і після удару не змінюються і дорівнюють $v' = \sqrt{v_x'^2 + v_y'^2}$,

$$\text{для шару А: } v'_A = \frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}}, \text{ для шару В: } v'_B = \frac{\sqrt{4a^2 + b^2 \left(1 - \frac{a^2}{c^2}\right)}}{1 + \frac{a^2}{c^2}}$$

Запишемо закони збереження імпульсу у системі K' . Легко побачити, що для проекцій імпульсу на вісь Ox' закон збереження виконуються тотожно, а саме:

$$(m \vec{v}'_A + m \vec{v}'_B)_{\text{до удару}} = (m \vec{v}'_A + m \vec{v}'_B)_{\text{після удару}},$$

$$m \left(\frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} \right) \cdot 0 + m \left(\frac{\sqrt{4a^2 + b^2 \left(1 - \frac{a^2}{c^2}\right)}}{1 + \frac{a^2}{c^2}} \right) \left(\frac{-2a}{1 + \frac{a^2}{c^2}} \right) = m \left(\frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} \right) \cdot 0 + m \left(\frac{\sqrt{4a^2 + b^2 \left(1 - \frac{a^2}{c^2}\right)}}{1 + \frac{a^2}{c^2}} \right) \left(\frac{-2a}{1 + \frac{a^2}{c^2}} \right)$$

А закон збереження імпульсу на вісь Oy' дає рівняння:

$$(m \vec{v}'_A + m \vec{v}'_B)_{\text{до удару}} = (m \vec{v}'_A + m \vec{v}'_B)_{\text{після удару}},$$

$$\begin{aligned}
& m \left(\frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} \right) \cdot \frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} + m \left(\frac{\sqrt{4a^2 + b^2 \left(1-\frac{a^2}{c^2}\right)}}{1+\frac{a^2}{c^2}} \right) \left(\frac{-b\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}}{1+\frac{a^2}{c^2}} \right) = \\
& = m \left(\frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} \right) \cdot \left(\frac{-b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} \right) + m \left(\frac{\sqrt{4a^2 + b^2 \left(1-\frac{a^2}{c^2}\right)}}{1+\frac{a^2}{c^2}} \right) \frac{b\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}}{1+\frac{a^2}{c^2}} = \\
& \text{або } m \left(\frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} \right) \cdot \frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} + m \left(\frac{\sqrt{4a^2 + b^2 \left(1-\frac{a^2}{c^2}\right)}}{1+\frac{a^2}{c^2}} \right) \left(\frac{-b\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}}{1+\frac{a^2}{c^2}} \right) = 0
\end{aligned}$$

Для отримання функції $m \left(\frac{a}{c} \right)$ поділимо останнє функціональне рівняння на спільний

множник $\frac{-b\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}}{1+\frac{a^2}{c^2}}$, отримаємо: $m \left(\frac{b}{\sqrt{1-\frac{a^2}{c^2}}} \right) \cdot \frac{1+\frac{a^2}{c^2}}{1-\frac{a^2}{c^2}} = m \left(\frac{\sqrt{4a^2 + b^2 \left(1-\frac{a^2}{c^2}\right)}}{1+\frac{a^2}{c^2}} \right).$

Ця рівність повинна виконуватись тотожно за будь-яких значень a і b .

Як частковий випадок, нехай $b=0$, ми отримаємо:

$$m_0 \cdot \frac{1+\frac{a^2}{c^2}}{1-\frac{a^2}{c^2}} = m \left(\frac{2a}{1+\frac{a^2}{c^2}} \right) \quad (6),$$

де $m_0 = m \left(\frac{0}{c} \right)$ – стала величина, яку називають **масою спокою**.

Для того, щоб остаточно отримати функціональну залежність $m \left(\frac{a}{c} \right)$, позначимо

$\frac{2a}{1+\frac{a^2}{c^2}} = v$. Поділимо обидві частини цього рівняння на швидкість світла c :

$$\frac{\frac{2a}{c}}{1+\frac{a^2}{c^2}} = \frac{v}{c}.$$

Додамо й віднімемо обидві частини цього рівняння від одиниці та отримаємо дві рівності:

$$\frac{\left(1+\frac{a}{c}\right)^2}{1+\frac{a^2}{c^2}} = 1+\frac{v}{c}; \quad \frac{\left(1-\frac{a}{c}\right)^2}{1+\frac{a^2}{c^2}} = 1-\frac{v}{c}$$

Перемножимо ліві й праві частини цих рівностей:

$$\frac{\left(1 + \frac{a}{c}\right)^2}{1 + \frac{a^2}{c^2}} \cdot \frac{\left(1 - \frac{a}{c}\right)^2}{1 + \frac{a^2}{c^2}} = \left(1 + \frac{v}{c}\right) \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right),$$

отримаємо:

$$\frac{\left(1 - \left(\frac{a}{c}\right)^2\right)^2}{\left(1 + \frac{a^2}{c^2}\right)^2} = 1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2.$$

Якщо добути квадратний корінь, тоді матимемо:

$$\frac{1 - \left(\frac{a}{c}\right)^2}{1 + \frac{a^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Отриману рівність врахуємо у рівнянні (6) й отримаємо остаточно вигляд функціональної залежності маси від швидкості:

$$m \curvearrowright = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7).$$

З функціональної залежності видно, що з ростом швидкості тіла маса його збільшується за законом (7) та при наближенні швидкості тіла до швидкості світла у вакуумі зростає безмежно. Але співвідношення (7) ми можемо трактувати й по іншому. Згідно цієї формули **маса тіла є величиною відносною: оскільки в різних системах відліку швидкість тіла різна**, то й маса тіла на підставі рівняння (7) є різною в різних системах відліку.

Інваріантною величиною є лише маса спокою. Із урахуванням формули (7) ми можемо записати вираз для релятивістського імпульсу у вигляді:

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8).$$

Тобто, в релятивістській області між імпульсом тіла й швидкістю вже немає прямої пропорційної залежності, як у класичній фізиці, а існує більш складна залежність, що відображена формулою (8).

Література:

1. Ю.Б. Румер и М.С. Рывкин. Теория относительности. – М.: Учпедгиз, 1960, §10.
2. В.Г. Левич. Курс теоретической физики, т. 1. – М.: Наука, 1969, ч.1, §12.
3. Г.О. Бугаенко, М.Е. Фонкич. Электродинамика і теорія відносності. –К.: Рад. школа, 1965, §108.
4. А.Н. Матвеев. Электродинамика и теория относительности. – М.: Высшая школа, 1964, §85.
5. А. Эйнштейн и Л. Инфельд. Эволюция физики. – М.: ОГИЗ, 1948, разд.3

2.2. Розв'язування задач з теми

за збірником: Мазуренко Д.М., Альперін М.М. *Задачі і вправи з теоретичної фізики*. К.: Вища школа, 1978. 183 с.

В аудиторії: №№ 128; 129; 130; 132.

Додому: №№ 131; 133; 135; 136.

Запитання для самоконтролю:

1. Чи справджується в релятивістській області основне рівняння класичної механіки? Пояснити чому.
2. Сформулювати принцип найменшої дії.
3. Записати інтеграл дії, який є основним інваріантом до перетворень Лоренцо у релятивістській динаміці.
4. Що називають релятивістським імпульсом?
5. Що називають релятивістською енергією?
6. Записати формулу Ейнштейна для розрахунку енергії релятивістської частинки.
7. Записати частковий випадок формули Ейнштейна для розрахунку енергії без масової релятивістської частинки.
8. Записати частковий випадок формули Ейнштейна для розрахунку енергії спокою релятивістської частинки.
9. Як визначається релятивістська маса частинки?
10. Запишіть релятивістське узагальнення основного рівняння динаміки.
11. Запишіть основний релятивістський закон динаміки у чотирьох коваріантній формі.
12. Записати закон збереження енергії для замкненої ізольованої релятивістської системи.
13. Записати закон збереження імпульсу для замкненої ізольованої релятивістської системи.
14. Як розрахувати дефект маси для мікросистеми?

Модуль 2. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

Практична робота №3 «Електричний заряд і його поле. Принцип суперпозиції. Властивості електростатичного поля»

2 год.

В аудиторії: №№ 20; 24; 25

Додому: №№ 21; 22; 23; 26

Розв'язати домашні задачі у зошиті, відсканувати, прикріпити як відповідь і відправити на перевірку у Google-classroom дисципліни

Запитання для самоконтролю:

1. Що називають електричним зарядом?
2. Перелічити і схарактеризувати основні властивості електричного заряду.
3. Що розуміють під поняттям „елементарний заряд”?
4. Вкажіть величину елементарного заряду.
5. Назвіть фундаментальні дослідження по визначенню величини елементарного заряду, у чому суть запропонованих методів вимірювання?
6. Що розуміють під поняттям „питомий елементарний заряд”?
7. Вкажіть величину питомого елементарного заряду.
8. Назвіть фундаментальні дослідження по визначенню величини питомого елементарного заряду, у чому суть запропонованих методів вимірювання?
9. Що розуміють під поняттям „точковий заряд” у класичній електродинаміці у тому випадку коли він неперервно розподілений у просторі?
10. Що розуміють під поняттям „точковий заряд” у класичній електродинаміці у тому випадку коли розподіл його у просторі дискретний?

11. Сформулюйте закон взаємодії двох точкових зарядів.
12. Якими способами вводиться одиниця вимірювання електричного заряду в електродинаміці?
13. Що називають об'ємною густиною електричного заряду, вказати одиниці вимірювання?
14. Що називають поверхневою густиною електричного заряду, вказати одиниці вимірювання?
15. Що називають лінійною густиною електричного заряду, вказати одиниці вимірювання?
16. Сформулювати закон збереження електричного заряду як експериментальний фундаментальний закон природи.
17. Які кількісні характеристики електромагнітного поля Ви знаєте?
18. Що називають силовою лінією поля?
19. Що називають еквіпотенціальною поверхнею?
20. Що є силовою характеристикою електричного поля, як вводиться ця характеристика, одиниці її вимірювання?
21. Якою є графічна картина електростатичного поля? Привести приклади.
22. Що є енергетичною характеристикою електричного поля, як вводиться ця характеристика, одиниці її вимірювання?
23. Що є силовою характеристикою магнітного поля, як вводиться ця характеристика, одиниці її вимірювання?
24. Що є енергетичною характеристикою магнітного поля, як вводиться ця характеристика, одиниці її вимірювання?
25. Записати рівняння зв'язку між силовими і енергетичними характеристиками електромагнітного поля.
26. Яку систему зарядів називають електроізолюваною?
27. Сформулювати принцип суперпозиції полів при наявності декількох зарядів.
28. Чому дорівнює потенціал поля системи точкових зарядів, у тому випадку коли вони неперервно розподілений у просторі?
29. Чому дорівнює потенціал поля системи точкових зарядів, у тому випадку коли розподіл зарядів дискретний?
30. Записати рівняння по визначенню величини сили Лоренца стаціонарного електромагнітного поля.

Практична робота №4 «Теорема Остроградського-Гауса»

2 год.

Мазуренко Д.М., Альперин М.М. Задачі і вправи з теоретичної фізики. 2-е вид., пер. і доп. К.: Вища школа, 1978. 183 с.

В аудиторії: №№ 25; 29; 31; 32

Додому: №№ 26; 28; 30; 33

Розв'язати 4 домашні задачі, відсканувати хід розв'язку кожної задачі окремо та підкріпити до відповідного завдання Google-форми "Задачі "Теорема Остроградського-Гауса"

Запитання для самоконтролю:

1. Що називають потоком вектора напруженості електростатичного поля?
2. Як визначається елементарний потік вектора напруженості електростатичного поля для точкового джерела поля?
Виконати малюнок.
3. Записати теорему Остроградського-Гауса в диференціальній формі.
4. Записати теорему Остроградського-Гауса в інтегральній формі.
5. Чому дорівнює потік вектора напруженості електростатичного поля, створений системою точкових зарядів через довільну замкнену поверхню у випадку, коли ця поверхня заряди не охоплює?

Практична робота №5 «Розрахунок електричних і магнітних полів за допомогою рівнянь Пуассона і Лапласа» 4 год.

Розв'язування задач за збірником:

Мазуренко Д.М., Альперин М.М. Задачі і вправи з теоретичної фізики. 2-е вид., пер. і доп. К.: Вища школа, 1978. 183 с.

№1. В аудиторії: №№ 40; 42

Додому: №№ 41; 1 додаткова

№2. В аудиторії: №№ 43; 59; 61

Додому: №№ 62; 63

Розв'язати домашні задачі у зошиті, відсканувати, прикріпити як відповідь і відправити на перевірку у Google-classroom дисципліни

Запитання для самоконтролю:

1. Записати рівняння Пуассона для скалярного потенціалу електростатичного поля в диференціальній формі.
2. Записати рівняння Лапласа для скалярного потенціалу електростатичного поля в диференціальній формі.
3. Записати загальний розв'язок рівняння Пуассона для скалярного потенціалу електростатичного поля.
4. Записати рівняння Пуассона для векторного потенціалу магнітного поля в диференціальній формі.
5. Записати рівняння Лапласа для векторного потенціалу магнітного поля в диференціальній формі.
6. Записати загальний розв'язок рівняння Пуассона для векторного потенціалу магнітного поля.
7. Записати вигляд оператора Лапласа в декартовій системі координат.
8. Записати вигляд оператора Лапласа в сферичній системі координат.
9. Записати вигляд оператора Лапласа в циліндричній системі координат.
10. Записати рівняння зв'язку між скалярним потенціалом електростатичного поля та його напруженістю.
11. Записати рівняння зв'язку між векторним потенціалом магнітного поля та його індукцією.
12. Записати матеріальні рівняння зв'язку між індукцією і напруженістю магнітного поля та індукцією і напруженістю електричного поля.

Практична робота №6 «Постійний електричний струм»

2 год.

Розв'язування задач за збірником:

Мазуренко Д.М., Альперин М.М. Задачі і вправи з теоретичної фізики. 2-е вид., пер. і доп. К.: Вища школа, 1978. 183 с.

В аудиторії: №№ 54; 56; 57; 58, додатково №№1, 2 (шкільних олімпіадних задач)

Додому: №№ 56; 59; додатково №№ 3, 4 (шкільних олімпіадних задач)

Розв'язати домашні задачі у зошиті, відсканувати, прикріпити як відповідь і відправити на перевірку у Google-classroom дисципліни

Запитання для самоконтролю:

1. Що називають постійним електричним струмом?
2. У чому відмінність між електричним полем постійних струмів і кулонівським полем статичних зарядів?
3. Дати означення одиниці електричного опору провідника.
4. Що називають електричною провідністю провідника? Одиниця вимірювання провідності в СІ.

5. Із чим фізично пов'язано існування електричного опору у провідників?
6. Від чого залежить опір однорідних провідників циліндричної форми?
7. Записати закон Ома для ділянки кола в інтегральній формі.
8. Що називають питомим опором провідника? Одиниця вимірювання питомого опору в СІ.
9. Що називають питомою провідністю провідника? Одиниця вимірювання питомої провідності в СІ.
10. Що називають температурним коефіцієнтом опору?
11. Записати закон Ома для ділянки кола у диференціальній формі.
12. Записати умову замкненості ліній постійного струму.
13. Який струм називають лінійним?
14. Які поля називають сторонніми?
15. Що називають ЕРС сторонніх сил джерела струму?
16. Яку ділянку кола називають неоднорідною?
17. Записати закон Ома для неоднорідного замкненого кола в інтегральній формі.
18. Записати закон Ома для неоднорідного ділянки кола в інтегральній формі.
19. Записати закон Джоуля-Ленца в диференціальній формі.
20. Записати закон Джоуля-Ленца в інтегральній формі.

Практична робота №7 «Розрахунок магнітних полів за допомогою законів Біо-Савара-Лапласа та Ерстеда» **2 год.**

Жирнов Н.И. Задачник-практикум по электродинамике. М.: Просвещение, 1970. 350 с.
 В аудиторії: №№ 86*; 88*; 89*; 90*; 96*; 97*; 99*; 101*; 102*
 Додому: №№ 87*; 91*; 98*; 100*

Розв'язати домашні задачі у зошиті, відсканувати, прикріпити як відповідь і відправити на перевірку у Google-classroom дисципліни

Запитання для самоконтролю:

1. Ким і в якому році був встановлений кількісний закон взаємодії магнітних полюсів?
2. Як називають розділ магнетизму, який вивчає стаціонарні магнітні поля?
3. Як визначається сила Ампера, що діє на об'ємний струм у магнітному полі?
4. Як визначається сила Ампера, що діє на лінійний струм у магнітному полі?
5. Записати емпіричний закон Ампера, який визначає силу взаємодії двох прямих провідників зі струмом.
6. Дати означення одиниці сили струму в СІ.
7. Що називають елементом струму?
8. Що є джерелом магнітного поля?
9. Сформулювати принцип суперпозиції для магнітних полів?
10. Записати закон Біо-Савара-Лапласа для лінійного струму.
11. Записати закон Біо-Савара-Лапласа для об'ємного струму.
12. Що називають циркуляцією вектора напруженості магнітного поля?
13. Що називають циркуляцією вектора індукції магнітного поля?
14. Записати матеріальні рівняння зв'язку між векторами напруженості і індукції магнітного поля.
15. Записати закон Ерстеда в диференціальній формі.
16. Записати закон Ерстеда в інтегральній формі.

Практична робота №8 «Електромагнітна індукція» **2 год.**

Розв'язування задач за збірником:

Жирнов Н.И. Задачник-практикум по электродинамике. М.: Просвещение, 1970. 350 с.

В аудиторії: №№ 134*; 135*; 136*; 137*; 138*;
Додому: №№ 98*; 100*; 139*, додатково №5 (зі шкільних олімпіадних задач)

Розв'язати домашні задачі у зошиті, відсканувати, прикріпити як відповідь і відправити на перевірку у Google-classroom дисципліни

Запитання для самоконтролю:

1. У чому полягає явище електромагнітної індукції?
2. Назвіть дві причини, які можуть викликати явище електромагнітної індукції?
3. Наслідком якого рівняння Максвелла є закон електромагнітної індукції Фарадея?
4. Записати закон електромагнітної індукції у диференціальній формі.
5. Записати закон електромагнітної індукції в інтегральній формі.
6. Яка фізична величина визначає роботу електростатичних сил над одиничним точковим зарядом, який внесений у поле по замкненому контуру?
7. Сформулюйте правило Ленца для закону електромагнітної індукції Фарадея.
8. Чому дорівнює робота магнітної складової сили Лоренца по переміщенню електричного заряду?
9. Яка з складових магнітної сили виконує роботу по переміщенні електричного заряду у провіднику поміщеного перпендикулярно до зовнішнього магнітного поля?

Методичні рекомендації до розв'язування задач. Розв'язування задач з курсу теоретичної фізики мають на меті перевірити вміння студента самостійно розв'язувати різноманітні фізичні задачі, аналогічні до тих, що були розглянуті під час практичних занять.

Пам'ятайте, що широту погляду на запропоновану задачу, вміння пов'язувати її з законами природи і з іншими суміжними задачами треба рішуче протиставити пошукам «потрібної формули» на основі здогадів, з'ясуванню, для чого дано ту чи іншу величину.

Розв'язування фізичних задач, як правило, має три етапи:

- 1) аналізу фізичної проблеми або опису фізичної ситуації;
- 2) пошуку математичної моделі розв'язку;
- 3) реалізації розв'язку та аналізу одержаних результатів.

На першому етапі фактично відбувається побудова фізичної моделі задачі, що подана в її умові:

- аналіз умови задачі, визначення відомих параметрів і величин та пошук невідомого;
- конкретизація фізичної моделі задачі за допомогою графічних форм (малюнки, схеми, графіки тощо);
- скорочений запис умови задачі, що відтворює фізичну модель задачі в систематизованому вигляді.

На другому, математичному етапі розв'язування фізичних задач відбувається пошук зв'язків і співвідношень між відомими величинами і невідомим:

- вибудовується математична модель фізичної задачі, робиться запис загальних рівнянь, що відповідають фізичній моделі задачі;
- враховуються конкретні умови фізичної ситуації, що описується в задачі, здійснюється пошук додаткових параметрів (початкові умови, фізичні константи

тощо);

– приведення загальних рівнянь до конкретних умов, що відтворюються в умові задачі, запис співвідношення між невідомим і відомими величинами у формі часткового рівняння.

На третьому етапі здійснюються такі дії:

– аналітичне, графічне або чисельне розв'язання рівняння відносно невідомого;

– аналіз одержаного результату щодо його вірогідності й реальності, запис відповіді;

– узагальнення способів діяльності, які властиві даному типу фізичних задач, пошук інших шляхів розв'язку.

7. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1. Основи спеціальної теорії відносності		
1	Релятивістська кінематика. Простір Мінковського	2
2	Релятивістська динаміка. Релятивістська енергія	2
3	Система релятивістських частинок	2
4	Елементи загальної теорії відносності	2
<i>Тестове завдання 1 «Основи спеціальної теорії відносності»</i>		2
Модуль 2. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА		
Змістовий модуль 1. Основні поняття класичної електродинаміки		
1	Вступ.	-
2	Електричний заряд та його дискретність	2
3	Електричний струм	2
4	Електромагнітне поле у вакуумі та його джерела	2
<i>Тестове завдання 2 «Поняття класичної електродинаміки»</i>		2
<i>Тестове завдання 3 «Закони постійного струму»</i>		2
Змістовий модуль 2. Експериментальні основи класичної електродинаміки		
1	Фундаментальні емпіричні закони електростатики	2
2	Закони постійного струму	2
3	Фундаментальні емпіричні закони магнітостатики	2
4	Електромагнітна індукція	2
<i>Тестове завдання 4 «Теорема Остроградського-Гауса»</i>		2
<i>Тестове завдання 5 «Електромагнітна індукція»</i>		2
Змістовий модуль 3. Узагальнення емпіричних законів класичної електродинаміки в теорії Максвелла		
1	Система рівнянь Максвелла для електромагнітного поля у вакуумі	2
2	Загальні властивості електромагнітного поля у вакуумі	2
3	Енергія та густина енергії електричного, магнітного поля	2
4	Імпульс та густина імпульсу електромагнітного поля	2

5	Електростатичне поле у вакуумі у рівняннях математичної фізики	2
6	Стаціонарне магнітне поле у вакуумі у рівняннях математичної фізики	2
7	Електромагнітні хвилі	2
8	Магнетики	4
9	Квазістаціонарне електромагнітне поле в речовині	4
10	Електричні і магнітні властивості речовини	4
<i>Тестове завдання 6 «Рівняння Максвелла»</i>		2
<i>Теоретичне завдання «Обґрунтування рівняння Максвелла»</i>		2
Контрольна робота		2
<i>Завдання для підвищення рейтингу</i>		2
Усього годин		66

Завдання для підвищення рейтингу:

1) Виконання тестового завдання на тему «Грецькі символи»

*2) Виконання навчального проекту (у вигляді **реферату**) на задану:*

- Експериментальні основи спеціальної теорії відносності.
- Моделі суцільного середовища в електродинаміці (діелектрики, магнетики, провідники, надпровідники).
- Заломлення і відбивання електромагнітних хвиль. Формули Френеля.
- Поширення плоских монохроматичних хвиль в анізотропних кристалах. Кристалооптика.
- Розсіяння електромагнітних хвиль вільними зарядами.
- Реакція випромінювання. Радіаційна ширина спектральних ліній.
- Дифракція електромагнітних хвиль. Формула Гріна.
- П'єзоелектрика та її застосування.
- Основні ідеї класичної теорії провідності металів.
- Електропровідність розчинів електролітів.
- Електропровідність у газах.
- Електронна теорія діелектричної провідності, показника заломлення та магнітної проникності.
- Електродинаміка надпровідників.
- Електропровідність напівпровідників.
- Теплопровідність напівпровідників. Екситони.
- Контактні явища у напівпровідниках.
- Типи дефектів кристалічної решітки. Іонна провідність кристалів.
- Сегнетоелектрики.
- Дисперсія і поглинання світла.
- Вплив зовнішнього електричного поля на розподіл світла (ефект Керра).
- Вплив зовнішнього магнітного поля. Ефект Фарадея та циклотронний резонанс.
- Діамагнетизм.
- Парамагнетизм.
- Магнітомеханічні та магніто резонансні явища.

25. Парамагнетизм металів.
26. Феромагнетизм.
27. Антиферомагнетизм.
28. Еволюція понять про природу магнетизму. Спін електронів.
29. Системи одиниць вимірювання електродинаміки.
30. Ефект Вавилова-Черенкова.
31. Загальна характеристика теорій близько- та дальності.

8. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

– *методи пізнання*: абстрагування, ідеалізація, узагальнення і систематизація знань, проблемно-пошуковий, моделювання фізичних явищ і процесів на лекціях; актуалізація опорних знань та послідовне виконання визначеної системи завдань на практичних заняттях; індивідуальне обговорення складних для засвоєння студентами теоретичних питань та індивідуальних завдань курсу на консультаціях;

– *методи управління*: моніторинг рівнів сформованості (мотивації – професійної, навчально-пізнавальної, соціальної інтенсифікації, утилітарної; засвоєння – глибина, міцність, системність знань, успішність вивчення дисципліни; наукового світогляду – фундаментальності, інтегрованості і технологічності знань з дисципліни тощо) – діагностика, аналіз, коригування.

10. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Усне (на практичних заняттях) та письмове опитування (розв'язування домашніх задач і контрольної роботи), тестове опитування (за змістом теоретичних питань програми дисципліни), колективне обговорення (запитань, що виносяться на самостійне опрацювання студентами, рефератів та ін.).

Норми оцінювання усних відповідей:

При оцінюванні усної відповіді студентом оцінюються:

- висвітлення логічно відповідає змісту питань курсу;
- знання фактів до визначених елементів теорії та їх узагальнення;
- знання й висвітлення експериментальних результатів;
- знання принципів і постулатів;
- уміння пов'язувати зміст питань курсів загальної й теоретичної фізики;
- виражати власну точку зору стосовно аналізу елементів курсу та наукового світогляду людства;
- вміння застосувати знання в новій ситуації.

Оцінювання теоретичних питань під час усного опитування.

5 балів ставиться тоді, коли студент: виявляє правильне розуміння фізичного змісту розглядуваних явищ і закономірностей, законів і теорій, дає точне визначення і тлумачення основних понять, законів і теорій, а також правильне визначення фізичних величин буде відповідь за власним планом, супроводжує розповідь власними прикладами, вміє застосувати знання в новій ситуації; може встановити зв'язок між матеріалом, що вивчається, і раніше вивченим.

4 бали студент одержує в разі неповного відтворення відповіді, пов'язане з випущенням або нерозумінням одного-двох положень, постулатів, принципів і невмінням визначити їх за довідниками, посібниками.

3 бали оцінюється відповідь, у якій лише відтворено основні постулати й принципи, на яких ґрунтується зміст відповідей без математичного виведення лише фрагментарним описом окремих елементів.

У 0 балів оцінюється відповідь, що складають логічно не зв'язані фрагментарні відомості, які не дозволяють судити про розуміння суті відповіді; відсутність знань законів, постулатів і їх математичних виразів.

Оцінювання завдань з розв'язування домашніх задач (4 задачі з кожної теми)

Максимальна кількість балів за кожен вірно розв'язану задачу = 1,25. Підсумкова оцінка, яка виставляється в академічний журнал, визначається шляхом додавання отриманих балів за розв'язані задачі

1,25 балів ставиться тоді, коли студент вільно володіє теоретичним матеріалом (законами, формулами), що проявляється у самотійному розв'язку задач на 4 й більше й більше логічних кроків, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

1 бал ставиться тоді, коли студент засвоїв теоретичний матеріал, може самотійно розв'язувати задачі на 4 й більше логічних кроків репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

0,75 бали ставиться тоді, коли студент вміє розв'язувати задачі і вправи на 1-3 кроки репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

У інших випадках відповідь оцінюється у **0 балів**.

Виконання **контрольної роботи** передбачає розв'язання 5 задач за варіантами (передбачено 13 варіантів)

Кількість балів за кожен правильно розв'язану задачу контрольної роботи = 1. Максимальна кількість балів = 5.

Підсумкова оцінка, яка виставляється в академічний журнал, визначається шляхом додавання отриманих балів за розв'язані задачі

1 балів ставиться тоді, коли студент вільно володіє теоретичним матеріалом (законами, формулами), що проявляється у самотійному розв'язку задач на 4 й більше й більше логічних кроків, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

0,75 бал ставиться тоді, коли студент засвоїв теоретичний матеріал, може самотійно розв'язувати задачі на 4 й більше логічних кроків репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

0,5 бали ставиться тоді, коли студент вміє розв'язувати задачі і вправи на 1-3 кроки репродуктивного характеру, зводить значення фізичних величин до єдиної

системи вимірювання, робить перевірку одиниць вимірювання шуканої фізичної величини.

У інших випадках відповідь оцінюється у **0 балів**

Під час виконання **тестових завдань** оцінювання здійснюється відповідно до критеріїв і структури завдання (1 бал за кожну правильну відповідь з накопиченням за кількістю запитань тесту. Підсумкова кількість балів переводиться в оцінку та відповідну кількість балів за рівнями – високий «відмінно» – 5 балів, достатній «добре» – 4 бали, середній «задовільно» – 3, низький «незадовільно» – 2 бали).

При оцінювання письмових робіт враховується частка завдання, яка виконана вірно.

Оцінювання завдань для підвищення рейтингу – рефератів (5 балів):

Вид оцінювання	Розподіл балів
<i>Наявність:</i> - загальна характеристика роботи (актуальність, мета, об'єкт, предмет дослідження, завдання, методи дослідження, характеристика етапів виконання дослідження, структура роботи); - структурування змісту роботи - наявність висновків; - перелік використаних першоджерел; - (додатків, за необхідності)	0,5 балів 0,5 балів 0,5 балів 0,5 балів
<i>Оформлення</i> (дотримання вимог щодо написання рукопису)	0,5 балів
<i>Зміст</i> (повнота теоретичних відомостей, що відповідають змістові роботи)	1 балів
<i>Прилюдний захист:</i> - доповідь (логічність, структурованість, локанічність, цілісність, системність і ін.); - унаочнення – мультимедійна презентація (схеми, таблиці, малюнки, відеоролики, фотографії і ін.); - відповіді на запитання під час обговорення (рівень теоретичної підготовки, широка ерудиція, інтелектуальні, комунікативні якості і ін.).	0,5 балів 0,5 балів 0,5 балів
Загальна кількість балів	5 балів

Підсумковий бал **на екзамені** обраховується як сума балів за виконані завдання в екзаменаційному білеті. Зміст **екзаменаційних білетів** складається з теоретичного і практичного складників (виконання тестового завдання з теоретичних питань за програмою курсу – 30 балів; 1-е практичне завдання з розв'язування задачі – 5 балів; 2-е – з обґрунтування одного з рівнянь Максвелла – 5 балів . Усього 40 балів).

Структура і оцінювання екзаменаційного тестового завдання:

Кількість запитань в тесті – 91. Кількість балів за кожну правильну відповідь для запитання з вибором одного варіанту відповіді =1. Максимальна кількість балів = 82. Кількість балів за кожну правильну відповідь для запитання з вибором декілька варіантів відповіді =2. Максимальна кількість балів $9 \cdot 1 = 18$. Підсумкова кількість балів, яка виставляється за тест, визначається переведенням в 30-бальну шкалу шляхом множення на 0,3 (з округленням в бік цілого).

Практичні завдання:

1) Розв'язати задачу зі списку.

Максимальна кількість балів за правильно розв'язану задачу - 5 балів

Вказівки: рекомендовано дотримуватись таких кроків, кожен з яких оцінюється:

- Записати коротку умову задачі (за необхідності звести одиниці вимірювання в систему СІ);
- Виконати рисунок, який віддзеркалює умову та хід розв'язку;
- Записати базові формули і формули зв'язку між ними в диференціальній формі;
- Доповнити розв'язок додатковими математичними умовами та перетвореннями;
- Виконати розв'язання задачі і отримати кінцеву формулу
- Здійснити розрахунки
- Перевірити одиниці вимірювання
- Записати відповідь

2) Обґрунтувати одне з рівнянь Максвелла.

Максимальна кількість балів за правильно обґрунтоване рівняння - 5 балів

Вказівки: рекомендовано дотримуватись таких кроків, кожен з яких оцінюється:

- Записати рівняння в диференціальній формі
- Виконати рисунок, який віддзеркалює зміст ходу його обґрунтування;
- Звести рівняння від диференціальної до інтегральної форми;
- Записати остаточну інтегральну форму рівняння;
- Записати словесну інтерпретацію інтегральної форми;
- Пояснити фізичний зміст отриманого результату
- Вказати, з яким емпіричним законом ця інтегральна форма пов'язана
- Записати математичну і словесну форму цього закону

Номер задачі визначається для кожного студента на початку екзамену

11. РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ

Поточне оцінювання – 75×0,8=60 балів															Екзамен	Усьо- го
Теоретична						Практична									40	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	Пр1	Пр2	Пр3	Пр4	Пр5	Пр6	Пр7	Пр8	КР		
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		

Примітка: Оцінювання проводиться за видами навчальної діяльності: Т – виконання тестових завдань за змістом теоретичних питань програми; Пр – виконання домашніх задач за програмою практичного заняття; КР – розв'язування задач контрольної роботи за варіантами.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для екзамену
90 – 100	A	відмінно
82-89	B	добре

74-81	C	задовільно
64-73	D	
60-63	E	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

12. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Підручники, навчальні посібники, навчально-методичний комплекс дисципліни (конспекти лекцій, перелік запитань для самоконтролю під час підготовки до практичних занять, завдання для підготовки до контрольної роботи, тематика рефератів, тестові завдання, екзаменаційні завдання тощо).

13. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

13.1. ОСНОВИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

1. Пеннер Д.И. Электродинамика и специальная теория относительности / Пеннер Д.И., Угаров В.А. – М.: Просвещение, 1980. –271 с.
2. Румер Ю.Б. Теория относительности / Ю.Б. Румер, М.С. Рывкин. – М.: Учпедгиз, 1960. –212 с.
3. Савельев И.В. Основы теоретической физики: [в 2 т.] / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1975. – Т.1: Механика и электродинамика. – 1991. –496 с.
4. Симонов В.Г. Специальная теория относительности и электромагнитное поле / Симонов В.Г. – Минск: Вышейш. шк., 1965. – 182 с.
5. Федорченко А.М. Класична механіка і електродинаміка / А.М. Федорченко. – К.: Вища школа, 1992. –535 с.
6. Эйнштейн А. Эволюция физики. Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов: научно-популярная литература / А. Эйнштейн, Л. Инфельд; пер. С.Г. Суворов. – [3-е изд.]. – М.: Наука, 1965. – 327 с.

13.2. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

7. Беллюстин С.В. Классическая электронная теория / Беллюстин С.В. – М.: Высшая школа, 1971. – 352 с.
8. Бугаєнко Г.О. Курс теоретичної фізики. Електродинаміка. Теорія Відносності / Бугаєнко Г.О., Фонкич М.Е. – К.: Радянська школа, 1965, – 419 с.
9. Жирнов Н.И. Задачник-практикум по электродинамике / Жирнов Н.И. – М.: Просвещение, 1970. – 350 с.
10. Измайлов С.В. Курс электродинамики: [учебник для физ-мат фак. пед. институтов] / Измайлов С.В. – М.: Учпедгиз, 1962. – 439 с.
11. Ландау Л.Д. Краткий курс теоретической физики. Кн. 1. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М.: Наука, 1969. – 271 с.

12. Мазуренко Д.М. Задачі і вправи з теоретичної фізики / Д. М. Мазуренко, М. М. Альперин. – 2-е вид., пер. і доп. – Київ : Вища школа, 1978. – 183 с.
13. Матвеев А.Н. Электродинамика и теория относительности / А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1964. – 426 с.
14. Мултановский В.В. Курс теоретической физики. Классическая электродинамика / Мултановский В.В., Василевский А.С. – М.: Просвещение, 1990. – 270 с.
15. Пеннер Д.И. Электродинамика и специальная теория относительности / Пеннер Д.И., Угаров В.А. – М.: Просвещение, 1980. – 271 с.
16. Савельев И.В. Основы теоретической физики. Т.1. Механика, электродинамика. – 2-е изд. — М.: Наука. Гл. ред. физ. -мат. лит., 1991. – 496 с.
17. Тамм И.Е. Основы теории электричества / Тамм И.Е. – 10-е изд., испр. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 504 с.
18. Федорченко А.М. Теоретична фізика: Підручник: У.2 т. Т.1. Класична механіка і електродинаміка / Федорченко А.М. – К.: Вища школа, 1992. – 535 с.
19. Федорченко А.М. Теоретическая физика. Классическая электродинамика / Федорченко А.М. – К.: Вища школа, 1988. – 277 с.

14. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. <http://ilib.mirror1.mccme.ru/>
2. http://booksobzor.info/estestvoznание_nauchnotekhnicheskaja_literatura
3. <http://www.femto.com.ua/start.html>
4. <http://newlibrary.ru/genre/nauka/fizika/>
5. <http://www.netbook.perm.ru/fisika.html>
6. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/elementary.htm>