

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Волинський національний університет імені Лесі Українки
Навчально-науковий фізико-технологічний інститут
Кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики імені А. В. Свідзинського

СИЛАБУС
вибіркової дисципліни

Спеціальна теорія відносності

підготовки бакалавра
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика)
освітньо-професійної програми Середня освіта. Фізика

Луцьк – 2023

Силабус освітнього компонента «СПЕЦІАЛЬНА ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ»
підготовки бакалавра, галузі знань 01 Освіта/Педагогіка, спеціальності – 014
Середня освіта (Фізика), за освітньою-професійною програмою – «Середня
освіта. Фізика».

Розробник: Трохимчук Петро Павлович, кандидат фізико-
математичних наук, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної
фізики імені А. В. Свідзинського

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми:  Головіна Н.А.

**Силабус освітнього компонента затверджено на засіданні кафедри
теоретичної та комп'ютерної фізики імені А. В. Свідзинського**

протокол № 1 від 30 серпня 2023 р.

Завідувач кафедри:  Сахнюк В. Є.

© Трохимчук П. П., 2023 р.

I. Опис освітнього компонента

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни
Денна форма навчання	01 – Освіта/Педагогіка, 014.08 – Середня освіта (Фізика), Середня освіта. Фізика бакалавр	Нормативна
Кількість годин/кредитів 150/5		Рік навчання <u>2</u>
		Семестр 1-ий
		Лекції 24 год.
		Практичні (семінарські) <u>30</u> год. Лабораторні <u>0</u> год. Індивідуальні <u>0</u> год.
ІНДЗ: <u>немає</u>		Самостійна робота 88 год.
		Консультації <u>8</u> год.
		Форма контролю: <u>залік</u>
Мова навчання		українська

II. Інформація про викладача

Прізвище, ім'я та по батькові

Трохимчук Петро Павлович

Науковий ступінь

кандидат фізико-математичних наук

Вчене звання

доцент

Посада

доцент

e-mail

Trokhimchuck.Petro@vnu.edu.ua;
trope1650@gmail.com

Дні занять (посилання на електронний розклад)

<http://94.130.69.82/cgi-bin/timetable.cgi?n=700>

III. Опис освітнього компоненту

1. Анотація курсу.

Предметом вивчення освітнього компоненту є спеціальна теорія відносності, основні поняття про простір і час, перетворення Лоренца і їх наслідки.

2. Мета і завдання освітнього компоненту.

Метою є: формування сучасного уявлення про властивості простору і часу, принципи відносності Галілея і Айнштейна, перетворення Лоренца, наслідки перетворень Лоренца, 4-вимірний простір Мінковського, розуміння релятивістських імпульсу та енергії.

Завданням викладання навчальної дисципліни є: отримати знання, уміння і набути навички, необхідні для використання апарату спеціальної теорії відносності у електродинаміці, квантовій механіці та інших розділах фізики.

3. Результати навчання (компетентності).

Процес вивчення освітнього компоненту сприяє формуванню у студентів наступних компетентностей:

Інтегральна компетентність

Здатність розв'язувати складні задачі та проблеми з фізики та інформатики у процесі навчання та при здійсненні педагогічної діяльності, що передбачає використання інноваційних підходів, які характеризуються комплексністю та невизначеністю педагогічних умов організації навчально-виховного процесу в основній (базовій) середній школі.

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК.04. Знання та розуміння фізики, інформатики та професійної діяльності. Здатність оволодівати сучасними знаннями та застосовувати їх в практичних ситуаціях.

Спеціальні (фахові) компетентності

A2.1. Здатність формувати міцні знання основних фундаментальних фізичних законів та процесів, найбільш загальних закономірностей, які описують властивості, різні форми руху і будову матерії та формують природничо-наукові знання.

A2.4. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або інформатики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання.

Програмні результати навчання:

A2.1. **Знання:** Грунтовні знання з фізики/інформатики, можливості їх інтеграції з іншими освітніми компонентами та між собою. **Уміння та навички:** Вміти застосовувати основні фундаментальні фізичні закони, фундаментальні основи інформатики для ефективного розв'язування практичних задач на основі високої математичної культури та використання відповідного програмного забезпечення.

IV. Структура освітнього компонента.

Назви змістових модулів і тем	Усього	Лек.	Практ.	Сам. роб.	Конс	*Форма контролю/ Бали
Тема 1. Принцип відносності Галілея.	20	3	4	10	1	ДС, РЗ, Реф., Зад 5
Тема 2. Принцип відносності Айнштейна. Основні властивості простору і часу.	20	4	4	10	1	ДС, РЗ, Реф., Зад 5
Тема 3. Перетворення Лоренца.	21	4	4	10	2	ДС, РЗ, Реф., Зад 5
Тема 4. Наслідки перетворень Лоренца.	30	4	4	20	1	ДС, РЗ, Реф., Зад 5
Тема 5. Математичний апарат СТВ. 4-інтервал, 4-швидкість, 4-прискорення.	29	3	4	18	1	ДС, РЗ, Реф., Зад 5
Тема 6. Релятивістські вирази для імпульсу та енергії.	15	3	5	10	1	ДС, РЗ, Реф., Зад 5
Тема 7. Основні рівняння релятивістської електродинаміки	15	3	4	10	1	ДС, РЗ, Реф., Зад 5
Разом за модулем	150	24	30	88	8	35
Види підсумкових робіт						Бал
Реферат						5
Задачі на самостійну роботу						20
Активність на практичних заняттях						35
Контрольна робота 1						20
Контрольна робота 2						20
Всього годин / Балів						100

* Форма контролю: ДС – дискусія, РЗ – розв’язування задач, МКР – модульна контрольна робота, Реф – реферат, Зад – задачі на самостійне опрацювання.

. 6. Завдання для самостійного опрацювання.

А) Задачі на самостійну роботу зі спеціальної теорії відносності

	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5	Вар. 6	Вар.7	Вар. 8	Вар. 9	Вар.10
1	1.7	1.1	1.2	1.4	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	1.10
2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	1.11	2.1ск	2.2ск	2.3ск
3	3.2ск	3.3ск	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
4	4.1	4.2	4.2 ск	4.3ск	4.4ск	4.5ск	4.6ск	4.7ск	4.3	4.4
5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10

Збірник задач: Коновал О. А. Основи спеціальної теорії відносності. Кривий Ріг: Видавець Роман Козлов, 2014. 272 с

Б) Теми рефератів

1. Теорія відносності Е. Маха.
2. Видима форма тіл, що рухаються з великою швидкістю.
- 3.Чотиривимірні вектори та формули перетворення їх компонентів.
4. Причинні зв'язки між подіями та перегляд класичних уявлень про простір та час.
5. Чотиривимірне рівняння руху точкової маси. Чотиривимірна сила Мінковського.
6. Тривимірне релятивістське рівняння руху та його особливості. Релятивістська маса.
7. Чотиривимірний тензор енергії-імпульсу. Формули перетворення його компонентів. Закон збереження чотиривимірного імпульсу.
8. Магнітна взаємодія як релятивістський ефект.
9. Принцип відносності і явище електромагнітної індукції.
10. Зміна частоти світла від його віддзеркалення від рухомої поверхні.
11. Обґрунтування формули лорентцевого скорочення позовжніх розмірів рухомих тіл.
12. Способи обґрунтування перетворення Лорентца.

V. Політика оцінювання

Відвідування лекцій студентом не оцінюється. Однак, для засвоєння студентам рекомендується відвідувати лекційні заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання практичних робіт та завдань, що пропонуються на контрольних заходах. Відвідування занять є обов'язковим. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Якщо у підсумку за результатами поточного оцінювання та контрольної роботи студент набрав менше 60 балів, то здача заліку є обов'язкова, а бали за контрольну роботу анулюються. Після завершення курсу студенти пишуть контрольну роботу, яка оцінюється максимум в 30 балів.

Викладач та всі здобувачі, що вивчають цей курс, зобов'язуються дотримуватись положень Кодексу академічної доброчесності Волинського національного університету імені Лесі Українки (http://ra.eenu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/Academ_Dobr_Code.docx), і розуміють, що за його порушення несуть особисту відповідальність.

VI. Шкала оцінювання

Оцінка в балах	Лінгвістична оцінка	Оцінка за шкалою ECTS	
		оцінка	пояснення
90–100	Відмінно	A	відмінне виконання
82–89	Дуже добре	B	вище середнього рівня
75–81	Добре	C	загалом хороша робота
67–74	Задовільно	D	непогано
60–66	Достатньо	E	виконання відповідає мінімальним критеріям
1–59	Незадовільно	Fx	необхідне перескладання

VII. Підсумковий контроль

Залік проводиться в письмовій формі. Студенту пропонується два теоретичних запитання та одна задача. Задачі є типовими до тих, що пропонувались на практичних заняттях.

VIII. Залікові запитання та задачі.

Запитання.

1. Елементи класично теорії відносності Е. Маха.
2. Принцип відносності Айнштейна.
3. Інтервал. Інваріантність інтервалу.
4. Апарат гіперболічних функцій. Квадрат інтервалу.
5. Просторовоподібні та часоподібні інтервали.
6. Вимірювання часу і просторової координати події.
7. Синхронізація годинників. Визначення трансформаційного коефіцієнта k .
8. Відносність одночасності.
9. Світловий конус. Причинний зв'язок подій.
10. Уповільнення часу.
11. Поздовжній ефект Доплера.
12. Закон композиції швидкостей.
13. Перетворення Лоренца. Перетворення компонент швидкості. Явище аберації.

14. Відносність одночасності.
15. Експериментальна перевірка постулатів СТВ.
16. Релятивістський імпульс.
17. Визначення релятивістської енергії.
18. Експериментальне вимірювання імпульсу.
19. Пружне зіткнення частинок рівної маси.
20. Частинака нульової маси.
21. Релятивістське рівняння Ньютона.
22. Маса частинки в терії відносності.
23. Ефект Доплера.
24. Ефект Комптона.
25. Складені системи.
26. Зв'язані системи. Дефект маси.
27. Задача про екстремум функціоналу.
28. Метод Лагранжа.
29. Лагранжів формалізм в релятивістській механіці.
30. Основні поняття чотиривимірного формалізму.
31. Видима форма тіл, що рухаються з великою швидкістю.
32. Формули перетворення компонентів тривимірної сили зв'язок енергії з масою.
33. Система невзаємодіючих частинок. Інваріантна маса системи невзаємодіючих частинок.
34. Система взаємодіючих частинок. Її маса та енергія.
35. Чотиривимірний вектор енергії імпульсу. Формули перетворення його компонентів.
36. Закон збереження чотиривимірного імпульсу.

Задачі.

1. Користуючись формулою перетворення Лоренца для енергії частинки отримати релятивістську формулу ефекту Доплера.
2. Визначити швидкість тієї системи відліку, в якій загальний імпульс з n частинок рівний нулю.
3. Показати, що якщо враховувати релятивістський ефект залежності маси від швидкості, то рух електрону в полі ядра із зарядом Ze відбувається по еліпсу, що повільно обертається в своїй площині (або по «розетці»).
4. Згідно класичного визначення фотон представляє собою частинку без маси спокою, але має імпульс $\frac{h\nu}{c}$ та енергію $h\nu$. При співударі з електроном, що знаходиться в стані спокою з масою m_0 фотон відхиляється на певний кут θ та рухається з новою енергією $h\nu'$. Показати, що зв'язок між зміною довжини хвилі фотона та кутом θ визначається формулою:

$$\lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}.$$

Знайти також кінетичну енергію, яку набуває електрон після співудару.

5. μ -мезон с масою, що дорівнює 276 мас електрона, знаходиться в стані спокою, та розпадається на л-мезон з масою 216 мас електрона та нейтрино ν с нульовою масою спокою. Визначити кінетичну енергію л-мезона та нейтрино.

6. Частинка з масою m_1 та швидкістю v зіштовхується з частинкою з масою m_2 , що знаходиться в стані спокою, причому обидві частинки об'єднуються в одну складну частинку. Визначити масу M та швидкість V цієї складної частинки.

7. Частинка рухається зі швидкістю $\mathcal{A}(t)$ відносно нерухомої системи відліку K . Визначити миттєве значення прискорення a_0 частинки в рухомій системі відліку K' , відносно якої її швидкість в певний момент часу t_0 рівна нулю, для випадку, коли швидкість $\mathcal{A}(t)$ змінюється тільки по напрямку; б) $\mathcal{A}(t)$ змінюється тільки по величині.

8. Частинка рухається зі швидкістю $\mathcal{A}(t)$ відносно нерухомої системи відліку K . Визначити миттєве значення прискорення a_0 частинки в рухомій системі відліку K' , відносно якої її швидкість в певний момент часу t_0 рівна нулю, для випадку, коли $\mathcal{A}(t)$ змінюється тільки по величині.

9. Написати формули перетворення Лоренца для прискорення по осі Ox .

10. Написати формули перетворення Лоренца для прискорення по осі Oy .

11. Написати формули перетворення Лоренца для прискорення по осі Oz .

12. π -мезон, що утворився під час зіткнення космічної частинки з високою енергією, має енергію 5000 МеВ. Середній час життя π -мезона в системі відліку, в якій π -мезон знаходиться в стані спокою, рівний 10^{-8} сек. Визначити час життя τ' мезона в лабораторній системі відліку. Який шлях може пройти π -мезон з моменту свого виникнення до розпаду? Массу π -мезона прийняти рівною 276 електрона.

13. Система координат K' рухається відносно системи K зі швидкістю v , напрямленою довільним чином. Знайти формулу перетворення радіуса-вектора $\mathbf{r}'$ якої небудь важкої точки в системі K' до радіуса-вектора $\mathbf{r}$ тієї ж точки в системі K .

14. Отримати закон додавання швидкостей Айнштейна швидкостей з формул перетворення Лоренца для чотиривимірного вектора швидкості $u_i = c \frac{dx_i}{ds}$.

15. Вивести релятивістські вирази для кінетичної енергії та повної енергії з диференціального рівняння руху $\dot{p} = F$.

16. Оцінити щосекундну втрату маси Сонця внаслідок випромінювання, поклавши середню відстань від Землі до Сонця рівною 150 млн. км.

17. Тіло з масою спокою M розпадається на дві частини з масами M_1 та M_2 . Визначити енергії E_1 та E_2 цих частин.

18. Показати, що при переході від однієї інерціальної системи відліку K до іншої K' фаза $(kr - \omega t)$ плоскої монохроматичної хвилі є інваріантною.

ІХ. Рекомендована література та інтернет-ресурси

Основна

1. Трохимчук П. П. Теоретична фізика. Луцьк: Вежа-Друк, 2017. 256 с.
2. Коновал О. А. Основи спеціальної теорії відносності. Кривий Ріг: Видавець Роман Козлов, 2014. 272 с.
3. Свідзинський А.В. Вступ до спеціальної теорії відносності. Луцьк: Вежа. 2007. 100 с.
4. Трохимчук П.П. Теоретична механіка: методичні вказівки. Луцьк: Вежа-Друк, 2016. 96 с.
5. Жданов В. І. Вступ до теорії відносності. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2008. 290 с.
6. Trokhimchuck P. P. Theories of Everything: Past, Present, Future. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2021. 260 p.
7. Барроу Дж. Новые теории всего. Минск: Попурри, 2013. 368 с.

Додаткова

1. Яцків Я. С., Александров О. М., Вавилова І. Б., Жданов В. І., Кудря Ю. М., Парновський С. Л., Федорова О. В., Хміль С. В. Загальна теорія відносності: випробування часом. Київ: ГАО НАН України, 2005. 288 с.

IV. Структура освітнього компонента.

Назви змістових модулів і тем	Усього	Лек.	Практ.	Сам. роб.	Конс.	*Форма контролю / Бали
Змістовий модуль 1.						
Тема 1. Принцип відносності Галілея.		0,5	1	15	1	ДС, РЗ, Реф., Зад, 5
Тема 2. Принцип відносності Айнштейна. Основні властивості простору і часу.		1	1	15	1	ДС, РЗ, Реф., Зад, 5
Тема 3. Перетворення Лоренца.		1	2	20	2	ДС, РЗ, Реф., Зад, 5
Тема 4. Наслідки перетворень Лоренца.		1	2	20	1	ДС, РЗ, Реф., Зад, 5
Тема 5. Математичний апарат СТВ. 4-інтервал, 4-швидкість, 4-прискорення.		1	2	18	1	ДС, РЗ, Реф., Зад, 5
Тема 6. Релятивістські вирази для імпульсу та енергії.		1	1	18	1	ДС, РЗ, Реф., Зад, 5
Тема 7. Основні рівняння релятивістської електродинаміки		0,5	1	20	1	ДС, РЗ, Реф., Зад, 5
Разом за модулем 1	150	6	10	126	8	35
Види підсумкових робіт						Бал
Реферат						5
Задачі на самостійну роботу						20
Активність на практичних заняттях						35
Контрольна робота 1						20
Контрольна робота 2						20
Всього годин / Балів						100

* Форма контролю: ДС – дискусія, РЗ – розв’язування задач, МКР – модульна контрольна робота, Реф – реферат, Зад – задачі на самостійне опрацювання.