

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Фізичний факультет**  
**Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука**

**Затверджено**

На засіданні кафедри теоретичної фізики  
Імені професора Івана Вакарчука  
фізичного факультету  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 1 від 31 серпня 2022 р.)

Завідувач кафедри  проф. В. М. Ткачук

**Силабус**  
**з навчальної дисципліни «Вступ до теоретичної фізики»,**  
**що викладається в межах**  
**ОПП «Фізика та астрофізика»**  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія**

**Львів 2022**

<b>Назва дисципліни</b>	Вступ до теоретичної фізики
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
<b>Викладач дисципліни</b>	доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н. Григорчак Орест Іванович
<b>Контактна інформація викладача</b>	<a href="mailto:orest.hryhorchak@lnu.edu.ua">orest.hryhorchak@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/hryhorchak-o-i">https://physics.lnu.edu.ua/employee/hryhorchak-o-i</a>
<b>Консультації з курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Zoom, Telegram.
<b>Сторінка курсу</b>	
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Вступ до теоретичної фізики» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в VII семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Вступ до теоретичної фізики» сприяє розвитку розуміння концепцій і принципів теоретичної фізики на прикладі загальної теорії відносності. Під час курсу студенти ознайомляться з математичним апаратом загальної теорії відносності, рівняннями гравітаційного поля, варіаційним принципом для гравітації.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою даної дисципліни є ознайомлення студентів з підходами і методами теоретичної фізики, а також з таким поняттями як гравітаційне поле в загальній теорії відносності. Завданням курсу є навчити студентів працювати із рівнянням Айнштейна для гравітаційного поля, розв'язком Шварцшільда, гравітаційними хвилями.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. <i>В. І. Жданов.</i> Вступ до теорій відносності. Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. - 287 с. 2. <i>Я. С. Яцків, О. М. Александров, І. Б. Вавилова, В. І. Жданов, Ю. М. Кудря, С. Л. Парновський, О. В. Федорова, С. В. Хміль.</i> Загальна теорія відносності: випробування часом. – К.: ГАО НАН України, 2005, 288 с. 3. <i>М.Ш. Певзнер.</i> Основи теорії відносності: навч. пос. – Д. : ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 134 с.  <b>Допоміжна:</b> 1. <i>Lieber Lillian.</i> The Einstein Theory of Relativity: A Trip to the Fourth Dimension, Philadelphia: Paul Dry Books, Inc., 2008. 2. <i>Schutz, Bernard F.</i> "Gravitational radiation", in Murdin, Paul (ed.), Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics, 2001.  <b>Інформаційні ресурси:</b> 1. <a href="https://www.wikipedia.org/">https://www.wikipedia.org/</a>
<b>Тривалість курсу</b>	Один семестр

<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 42 години самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення даного курсу студенти повинні <b>знати</b>: рівняння для гравітаційного поля <b>вміти</b>: розв'язувати рівняння для гравітаційного поля.</p> <p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p>Загальні компетентності: K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. K06. Навички міжособистісної взаємодії.</p> <p>Спеціальні компетентності: K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. K18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів. K21. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси. K23. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи. K24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. K25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей. K26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю. K28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.</p> <p>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</p> <p>ПР01. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.</p> <p>ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.</p> <p>ПР04. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.</p>

	<p>ПР05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.</p> <p>ПР06. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.</p> <p>ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань</p> <p>ПР11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.</p> <p>ПР12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.</p> <p>ПР16. Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.</p> <p>ПР24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.</p>
<b>Ключові слова</b>	Гравітаційне поле, рівняння Айнштейна, розв'язок Шварцшильда, гравітаційні хвилі
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, лабораторні заняття і консультацій для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у таблиці 1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Підсумковий контроль: залік в кінці семестру. Форма: усна.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують знань з основ математичного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, основ векторного і тензорного аналізу
<b>Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції, дискусія, підготовка доповідей, розв'язування задач.
<b>Необхідне обладнання</b>	Проектор, дошка
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• контрольна робота, 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 60.</li> <li>• оцінкуповідей та роботи на лабораторних заняттях, 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність</b> здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти</p>

	<p>мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані на лабораторних роботах та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<b>Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Криволінійні координати. Вектор, тензор в криволінійних координатах.</li> <li>2. Символи Крістофеля. Зв'язок символів Крістофеля із метричним тензором.</li> <li>3. Гравітаційне поле в загальній теорії відносності.</li> <li>4. Коваріантне диференціювання. Тензор кривини</li> <li>5. Критерії плоского простору. Тотожності Біанкі. Тензор Річчі.</li> <li>6. Рівняння Айнштейна для гравітаційного поля. Розв'язок Шварцшільда</li> <li>7. Чорні діри. Рівняння Айнштейна для гравітаційного поля в присутності матерії.</li> <li>8. Тензор енергії-імпульсу для матерії.</li> <li>9. Дія для неперервно розподіленої матерії.</li> <li>10. Дія для електромагнітного поля. Дія для зарядженої матерії.</li> <li>11. Варіаційний принцип в загальному випадку.</li> <li>12. Рівняння для гравітаційних хвиль.</li> <li>13. Поляризація гравітаційних хвиль.</li> <li>14. Космологічний член.</li> </ol>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Вступ до теоретичної фізики»

Тиж-ні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1-2	<b>Тема 1. Математичний апарат загальної теорії відносності.</b> Криволінійні координати. Вектор, тензор в криволінійних координатах. Нетензорні величини. Викривлений простір. Паралельне перенесення вектора в криволінійних координатах. Метричний тензор. Символи Крістофеля. Зв'язок символів Крістофеля із метричним тензором.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 8 год.	2 тижні
3 - 8	<b>Тема 2. Гравітаційне поле.</b> Гравітаційне поле в загальній теорії відносності. Рівняння геодезичної. Властивості стаціонарності геодезичної.	Лекції — 6 год. лабораторні — 12 год. самостійна робота — 14 год.	6 тижнів

Тиж-ні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	Коваріантне диференціювання. Тензор кривини. Критерії плоского простору. Тотожності Біанкі. Тензор Річчі.		
9-10	<b>Тема 3. Рівняння гравітаційного поля.</b> Рівняння Айнштайна для гравітаційного поля. Розв'язок Шварцшільда. Чорні діри. Рівняння Айнштайна для гравітаційного поля в присутності матерії. Тензор енергії-імпульсу для матерії.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 6 год.	2 тижні
11-12	<b>Тема 4. Варіаційний принцип для гравітації.</b> Дія для неперервно розподіленої матерії. Дія для електромагнітного поля. Дія для зарядженої матерії. Варіаційний принцип в загальному випадку.	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 10 год.	2 тижні
13-16	<b>Тема 5. Гравітаційні хвилі.</b> Рівняння для гравітаційних хвиль. Поляризація гравітаційних хвиль. Космологічний член. Коефіцієнти Ламе.	Лекції — 4 год. лабораторні — 8 год. самостійна робота — 4 год.	4 тижні