

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 «Основи векторного і тензорного аналізу»,
що викладається в межах
ОПП «Фізика та астрофізика»
ОПП «Комп'ютерна фізика»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2022

Назва дисципліни	Основи векторного і тензорного аналізу
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	Лектор: доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н. Григорчак Орест Іванович
Контактна інформація викладача	orest.hryhorchak@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/hryhorchak-o-i
Консультації з курсу відбуваються	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.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/vektornyj-i-tenzornyj-analiz
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Основи векторного і тензорного аналізу» є вибірковою дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в III семестрі в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Основи векторного і тензорного аналізу» сприяє формуванню навиків аналітичної роботи з тензорами, а також зі скалярними та векторними полями у косокутних та криволінійних координатах. Під час курсу студенти ознайомляться з диференціальними операціями над скалярними і векторними полями, інтегральними теоремами, тензорами в криволінійних та косокутних координатах.
Мета та цілі дисципліни	Метою даної дисципліни є формування у майбутнього фізика поняття про скалярні та векторні поля, диференціальні операції над скалярними та векторними полями, інтегральні теореми для векторних полів, тензори та алгебраїчні операції над ними, перетворення систем координат, диференціальні операції над тензорами. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь, необхідних для самостійного виконання обчислень з використанням диференціальних операцій над скалярними та векторними полями, інтегральних теорем та основних операції над тензорами.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. М. А. Разумова, В. М. Хотяїнцев, Основи векторного і тензорного аналізу. К. Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2011. — 216 с. 2. М. Т. Сеньків, Векторний і тензорний аналіз. Львів: вид-во Львів. ун-ту, 1990, 148 с 3. Мокін, Б. І. М 74 Навчальний посібник для опанування студентами способів розв’язання задач з функціонального аналізу мовою Python. Частина 1. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 124 с. Допоміжна: 1. Зіненко С.М. Векторний і тензорний аналіз.— Скалярні й векторні поля. Навчальний посібник. — Харків: ХНУ, 2014. 2. С.М. Гребенюк, Ю.М. Стреляєв, М. І. Клименко. Тензорний аналіз. — Запоріжжя: ЗНУ, 2015. — 90с. Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.

	Інформаційні ресурси: 1. https://www.britannica.com/science/tensor-analysis 2. https://www.wikipedia.org/
Тривалість курсу	Один семестр
Обсяг курсу	120 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 годин практичних занять, та 72 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення даного курсу студенти повинні</p> <p>знати: основні операції над скалярними, векторними полями та тензорами в прямокутних, косокутних і криволінійних системах координат</p> <p>вміти: застосовувати диференціальні операції для довільних скалярних та векторних полів, використовувати інтегральні теореми для розрахунку криволінійних інтегралів та інтегралів по поверхні, виконувати перетворення систем координат, записувати диференціальні операції у довільних системах координат, перетворювати тензори при зміні систем координат, виконувати основні алгебраїчні операції над тензорами (додавання, множення, згортка, піднімання та опускання індексів).</p> <p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p><i>Загальні компетентності:</i></p> <p>K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p><i>Спеціальні компетентності:</i></p> <p>K17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.</p> <p>K18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.</p> <p>K20. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем</p> <p>K24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.</p> <p>K29. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></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>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>ПР25. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку.</p>
Ключові слова	Векторний аналіз, тензори, косокутні координати, криволінійні координати
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, практичних занять і консультацій для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань з основ математичного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, електрики
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, розв'язування задач.
Необхідне обладнання	Проектор, дошка
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • контрольні роботи за трьома змістовими модулями, 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 60. • оцінку відповідей та роботи на практичних заняттях, 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Академічна доброчесність 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>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти 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>Література. 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>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на практичних 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>
Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)	<p>1. Вектор-функція скалярного аргументу і її похідна.</p> <p>2. Похідна від скалярного поля по напрямку. Градієнт. Похідна від векторного поля по напрямку.</p>

	3. Дивергенція та ротор для векторних полів. 4. Інтегральні теореми векторного аналізу. Обчислення поверхневих та контурних інтегралів 5. Косокутні координати. Перетворення векторів та ковекторів у косокутних координатах 6. Криволінійні координати.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Основи векторного і тензорного аналізу»

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1-2	Тема 1. Прямокутні системи координат 1. Косокутні системи координат. Узагальнені проєкції та узагальнені складові вектора. 2. Масштабні та дуальні вектори. Метричний тензор в косокутних координатах. 3. Скалярний і векторний добутки в косокутних координатах. 4. Піднімання і опускання індексів. Правила індексів, приклади їхнього застосування. 5. Перетворення координат і компонент вектора при переході від однієї косокутної системи координат до іншої.	Лекції — 2 год. практичні — 4 год. самостійна робота — 18 год.	2 тижні
3 - 8	Тема 2. Основи векторного аналізу 1. Вектор-функція скалярного аргументу. Диференціювання та інтегрування вектор-функцій за скалярним аргументом. Годограф. 2. Скалярне поле. Поверхні та лінії рівня. Похідна від скалярної функції за напрямком. 3. Градієнт скалярного поля та його властивості. 4. Потік векторного поля через поверхню. Дивергенція векторного поля та її властивості. 5. Теорема Осторградського-Гаусса, теорема про градієнт. 6. Лінійний інтеграл від векторного поля. Потенціальне векторне поле. 7. Ротор вектора та його властивості. 8. Теорема Стокса, теорема про ротор. 9. Соленоїдальні векторні поля. 10. Диференціальні операції другого порядку. 11. Теорема про розклад (теорема Гельмгольца).	Лекції — 6 год. практичні — 12 год. самостійна робота — 18 год.	6 тижнів
9-10	Тема 3. Косокутні системи координат 1. Косокутні системи координат. Узагальнені проєкції та узагальнені складові вектора. 2. Масштабні та дуальні вектори. Метричний тензор в косокутних координатах. 3. Скалярний і векторний добутки в косокутних координатах.	Лекції — 2 год. практичні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	4. Піднімання і опускання індексів. Правила індексів, приклади їхнього застосування. 5. Перетворення координат і компонент вектора при переході від однієї косокутної системи координат до іншої.		
11-12	Тема 4. Тензори та їх властивості 1. Перетворення векторів при зміні базису. Полілінійні форми. Тензори. Ранг тензора. Перетворення тензорів при перетворенні систем координат. 2. Алгебраїчні операції над тензорами (додавання, множення, згортка, піднімання та опускання індексів). 3. Трансформаційні властивості компонент метричного тензора при переході від однієї до іншої системи координат. 4. Деякі властивості тензорів 2-го рангу. Подвійна згортка добутку симетричного і антисиметричного тензорів 2-го рангу. 5. Диференціальні операції над тензорами у косокутних координатах. Векторна дивергенція тензора.	Лекції — 2 год. практичні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
13-16	Тема 5. Криволінійні системи координат 1. Криволінійні системи координат. Масштабні та дуальні вектори у криволінійних системах координат. Локальний базис. 2. Ортогональні системи координат. Коефіцієнти Ламе. 3. Метричний тензор у криволінійних координатах. Ко- і контраваріантні метричні тензори. Метричні тензори для ортогональних систем координат. Метричні тензори для циліндричних та сферичних координат. 4. Перетворення криволінійних координат. Тензори в криволінійних системах координат. 5. Метричні простори. Задача про паралельне перенесення вектора. Символи Крістоффеля. Класифікація просторів. 6. Коваріантне диференціювання. Диференціальні операції в метричних просторах.	Лекції — 4 год. практичні — 8 год. самостійна робота — 12 год.	4 тижні