

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ФІЗИКА»



Ступінь освіти	бакалавр
Освітня програма	«Фізика»
Тривалість викладання	11, 12 чверть
Заняття:	6-й семестр
лекції:	2 години (11 чверть), 3 години (12 чверть)
практичні заняття:	2 години
Мова викладання	українська

Кафедра, що викладає Фізика

Консультації: 14.30-15.50, щосереда (чис.), ауд. 2/27 (лекції)

14.30-15.50, щосереда (знам.), ауд. 2/29 (практичні заняття)

Онлайн-консультації *: Microsoft Teams– команда «ОСНОВИ ТЕОРІЇ ГРАВІТАЦІЇ (104-23-1)».



Викладач:

Турінов Андрій Миколайович

Доцент кафедри фізики, кандидат фізико-математичних наук.

Персональна сторінка

<https://physics.nmu.org.ua/ua/>

E-mail:

Turinov.A.M@nmu.one

1. АНОТАЦІЯ ДО КУРСУ

Фізика – як навчальна дисципліна, забезпечує поглиблення знань студентів про основні властивості речовини і поля, засвоєння методів та методик отримання достовірних даних про фізичні властивості речовин, конструкційних матеріалів та залежності їх властивостей від змін оточуючого середовища; засвоєння основних характеристик та методів вимірювання механічних, термічних, електричних, магнітних і оптичних властивостей речовин як на макро-, так і на мікроскопічному рівнях.

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСУ

Мета дисципліни – вивчення основ загальної теорії відносності як загальноприйнятої теорії гравітації, а також застосування цієї теорії до космології; формування компетентностей щодо використання законів класичної та сучасної фізики у практичній діяльності майбутнього фахівця та під час вивчення ним інших спеціальних дисциплін, передбачених ОПП для відповідного напрямку.

Вивчення цієї навчальної дисципліни передбачає опанування методами диференційної геометрії та геометрії Ріманового простору, тензорного аналізу та коваріантних форм фундаментальних законів природи.

Завдання курсу: основними завданнями при вивченні дисципліни «Основи теорії гравітації» дати студентам достатньо широку теоретичну підготовку в області фізичних властивостей простору-часу, які дозволили б майбутнім спеціалістам орієнтуватись у потоці наукової інформації та забезпечили б їм можливість використовувати в роботі новітні фізичні принципи;

- ✓ сформулювати у студентів наукове мислення, правильне розуміння границь застосування різних фізичних понять, теорій та вміння оцінювати ступінь достовірності результатів, отриманих із допомогою експериментальних чи математичних методів дослідження;
- ✓ засвоєння студентами методів опису еволюції Всесвіту на великих масштабах, розширення їх обсягу знань про сучасний стан космології і фізики частинок;
- ✓ сприяти розвитку у студентів фізичного мислення та діалектичного світогляду;
- ✓ ознайомити студентів з історією фізичної науки та роллю вітчизняних учених у розвитку фізики.

- ✓

3. РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- основні поняття диференційної геометрії: многовид, вектор, ковектор, тензор, координатні системи і координатні перетворення.
- основні поняття Ріманової геометрії: метрика, зв'язність, коваріантна похідна, тензор кривини Рімана та його похідні;
- принципи і методи теорії гравітації;
- загальний принцип еквівалентності Ейнштейна;
- рівняння Ейнштейна та його застосувань у фізичних ситуаціях;
- основи космології та застосування до неї загальної теорії відносності;
- способи одержання необхідних експериментальних даних.

вміти:

- давати означення основним поняттям і фізичним явищам;
- розв'язувати задачі спеціальної теорії відносності коваріантним способом та у довільних координатах;

- обчислювати символи Крістоффеля та компоненти тензора кривини Рімана;
- записувати та розв'язувати рівняння для геодезичних для заданої метрики простору-часу.
- отримувати коваріантні рівняння для теоретико-польових систем із принципу екстремальної дії;
- розраховувати основні гравітаційні ефекти та космологічні характеристики;
- аналізувати спостережні явища у сферично-симетричному просторі Шварцшильда;
- розв'язувати елементарні задачі, що описують космологічні спостереження;
- застосовувати термодинаміку та фізичну кінетику до процесів у Всесвіті, що розширюється;
- застосовувати набуті знання до вирішення конкретних дослідницьких завдань.

Засвоївши курс «Основи теорії гравітації», студенти вказаного напрямку підготовки повинні з повним розумінням знати фундаментальні закони фізики і методи їх досліджень, а також вміти застосовувати ці знання при розгляді окремих явищ, використовувати їх фізичну суть; вміти поєднувати макроскопічні явища з їх мікроскопічним механізмом; вміти використовувати знання з курсу при вивченні інших фахових дисциплін.

4. Структура курсу

ЛЕКЦІЇ

1. Елементи спеціальної теорії відносності (СТВ).

Елементи векторної та тензорної алгебри у просторі-часі Мінковського. Лоренц-коваріантні рівняння теорії Максвелла та поля Клейна–Гордона–Фока. Тензор енергії-імпульсу. Простір-час загальної теорії відносності (ЗТВ).

2. Елементи тензорного аналізу в рімановій геометрії.

Векторні і тензорні поля. Локальні координати. Дотичний вектор. Гладкі векторні поля і їх комутатори. Ковектори. Тензори, метричний тензор. Підмноговиди. Коваріантна похідна. Коваріантна похідна у плоскому та викривленому просторі. Паралельний перенос. Геодезична. Символи Кристофеля та їх властивості. Тензор Річчі, скалярна кривина. Тензор кривини Рімана та його похідні. Тензор Ейнштейна.

3. Неінерціальні системи координат у СТВ.

Системи координат та системи відліку. Система координат Мелера. Система координат, що обертається. Система координат Мілна-Робертсона. Обґрунтування викривленості простору-часу.

4. Частинка в гравітаційному полі.

Відстані та проміжки часу в ЗТВ. Хронометрично інваріантні величини. Рівняння руху частинки в гравітаційному полі. Енергія та імпульс частинки в гравітаційному полі. Ньютонове наближення для рівняння руху. Релятивістські рівняння руху.

5. Рівняння Ейнштейна.

Виведення рівнянь Ейнштейна. Координатні умови. Ньютонове наближення для рівнянь поля. Рівняння Ейнштейна для випадку двох і трьох вимірів. Динамічні ступені свободи гравітаційного поля.

6. Сферично-симетричні гравітаційні поля.

Метричний інтервал для сферично-симетричної метрики. Рівняння Ейнштейна у випадку сферичної симетрії. Закон збереження для тензора енергії-імпульсу рідини. Розв'язок Шварцшильда. Координатні та справжні особливості метрики. R- і T- області розв'язку Шварцшильда. Геометрія просторової частинки розв'язку Шварцшильда. Системи координат, що описують тільки R-область. Виведення рівнянь руху і рівнянь, то описують траєкторії в полі Шварцшильда з рівняння Гамільтона-Якобі. Дослідження властивостей радіального руху.

7. Експериментальні основи загальної теорії відносності.

Зміщення перигелію в полі Шварцшильда. Відхилення променів світла в полі Шварцшильда. Часова затримка електромагнітних сигналів. Червоне зміщення.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

1. Елементи спеціальної теорії відносності (СТВ).

Елементи векторної та тензорної алгебри у просторі-часі Мінковського. Простір-час загальної теорії відносності (ЗТВ).

2. Елементи тензорного аналізу в рімановій геометрії.

Локальні координати. Ковектори. Тензори, метричний тензор. Підмноговиди. Коваріантна похідна у плоскому та викривленому просторі. Геодезична. Символи Кристофеля та їх властивості. Тензор Річчі. Тензор кривини Рімана. Тензор Ейнштейна.

3. Неінерціальні системи координат у СТВ.

Система координат Мелера. Система координат, що обертається. Система координат Мілна-Робертсона. Обґрунтування викривленості простору-часу.

4. Частинка в гравітаційному полі.

Відстані та проміжки часу в ЗТВ. Хронометрично інваріантні величини. Рівняння руху частинки в гравітаційному полі. Енергія та імпульс частинки в гравітаційному полі. Ньютонове наближення для рівняння руху. Релятивістські рівняння руху.

5. Рівняння Ейнштейна.

Виведення рівнянь Ейнштейна. Координатні умови. Ньютонове наближення для рівнянь поля. Рівняння Ейнштейна для випадку двох і трьох вимірів. Динамічні ступені свободи гравітаційного поля.

6. Сферично-симетричні гравітаційні поля.

Розв'язок Шварцшильда. Координатні та справжні особливості метрики. R- і T-області розв'язку Шварцшильда. Геометрія просторової частинки розв'язку Шварцшильда. Гаусова система координат. Ізотропна система координат. Необхідність введення різних систем координат. Виведення рівнянь руху і рівнянь, то описують траєкторії в полі Шварцшильда з рівняння Гамільтона-Якобі. Дослідження властивостей радіального руху. Закон всесвітнього тяжіння у ЗТВ. Доведення, що повна енергія частинки та момент імпульсу в полі Шварцшильда є інтегралом руху. Побудова потенціальних кривих в полі Шварцшильда.

7. Експериментальні основи загальної теорії відносності.

Зміщення перигелію в полі Шварцшильда. Відхилення променів світла в полі Шварцшильда. Часова затримка електромагнітних сигналів. Червоне зміщення.

6. Система оцінювання та вимоги

6.1. Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90 – 100	відмінно
75-89	добре
60-74	задовільно
0-59	незадовільно

6.2. Здобувачі вищої освіти можуть отримати **підсумкову оцінку** з навчальної дисципліни на підставі поточного оцінювання знань за умови, якщо набрана кількість балів з поточного тестування та самостійної роботи складатиме не менше 60 балів.

Максимальне оцінювання:

Теоретична частина	Практична частина		Бонус	Разом
	При своєчасному складанні	При несвоєчасному складанні		
48	48	29	4	100

Практичні роботи приймаються при наявності звітів за контрольними запитаннями до кожної з робіт.

Теоретична частина оцінюється за результатами здачі екзаменаційного білету, який містить 3 питання, кожен вагою 16 балів.

6.3. Критерії оцінювання підсумкової роботи

Робота повинна містити розгорнуті відповіді на чотири питання білету. Якщо робота виконується у дистанційному режимі, то видача номеру білета проходить через систему MS Teams у зазначеній викладачем групі спілкування. В такому режимі виконана робота пишеться вручну, фотографується та відсилається не електронну пошту викладача у впродовж встановленого викладачем часу. Несвоєчасно вислана відповідь враховується такою, що не здана. За кожне питання нараховуються бали:

16 балів – відповідь цілком відповідає суті питання, містить необхідні пояснення та малюнки, написана лаконічно, послідовно і грамотно, а також містить ситуаційний аналіз;

12 балів – відповідь цілком відповідає поставленому питанню, але відсутні деякі пояснення або допущена незначна неточність, або ж відсутня послідовність у відповіді;

9 балів – відповідь, в основному, відбиває суть питання, але допущено декілька неточностей або частина її не відповідає суті питання, або ж відповідь носить схематичний характер без необхідних пояснень;

6 бали – відповідь неповна та містить серйозну помилку або більша частина відповіді не за темою питання;

3 бали – відповідь неповна та містить тільки загальні дані змісту питання або у

відповіді допущено кілька серйозних помилок;
0 балів – на питання не було відповіді або відповідь була не по суті питання.

6.4. Критерії оцінювання практичної роботи

З кожної практичної роботи здобувач вищої освіти отримує запитання з переліку контрольних запитань. Кількість вірних відповідей визначають кількість отриманих балів.

7. Політика курсу

7.1. Політика щодо академічної доброчесності

Академічна доброчесність здобувачів вищої освіти є важливою умовою для опанування результатами навчання за дисципліною і отримання задовільної оцінки з поточного та підсумкового контролів. Академічна доброчесність базується на засудженні практик списування (виконання письмових робіт із залученням зовнішніх джерел інформації, крім дозволених для використання), плагіату (відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення авторства), фабрикації (вигадування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі). Політика щодо академічної доброчесності регламентується положенням "Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті "Дніпровська політехніка". http://www.nmu.org.ua/ua/content/activity/us_documents/System_of_prevention_and_detection_of_plagiarism.pdf.

У разі порушення здобувачем вищої освіти академічної доброчесності (списування, плагіат, фабрикація), робота оцінюється незадовільно та має бути виконана повторно. При цьому викладач залишає за собою право змінити тему завдання.

7.2. Комунікативна політика

Здобувачі вищої освіти повинні мати активовану університетську пошту.

Усі письмові запитання до викладачів стосовно курсу мають надсилатися на університетську електронну пошту.

7.3. Політика щодо перескладання

Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

7.4. Відвідування занять

Для здобувачів вищої освіти денної форми відвідування занять є обов'язковим. Поважними причинами для неявки на заняття є хвороба, участь в університетських заходах, відрядження, які необхідно підтверджувати документами у разі тривалої (два тижні) відсутності. Про відсутність на занятті та причини відсутності здобувач вищої освіти має повідомити викладача або особисто, або через старосту. Якщо здобувач вищої освіти захворів, ми рекомендуємо залишатися вдома і навчатися за допомогою дистанційної платформи. Здобувачу вищої освіти, чий стан здоров'я є незадовільним і може вплинути на здоров'я інших здобувачів вищої освіти, буде пропонуватися залишити заняття (така відсутність вважатиметься пропуском з причини хвороби). Практичні заняття не проводяться повторно, ці оцінки неможливо отримати під час консультації, це саме стосується і колоквиумів. За об'єктивних причин (наприклад,

міжнародна мобільність) навчання може відбуватись дистанційно - в онлайн-формі, за погодженням з викладачем.

7.5 Політика щодо оскарження оцінювання

Якщо здобувач вищої освіти не згоден з оцінюванням його знань він може опротестувати виставлену викладачем оцінку у встановленому порядку.

7.6. Бонуси

Наприкінці вивчення курсу та перед початком сесії здобувача вищої освіти буде запропоновано анонімно заповнити електронні анкети (Microsoft Forms Office 365), які буде розіслано на ваші університетські поштові скриньки. Заповнення анкет є важливою складовою вашої навчальної активності, що дозволить оцінити дієвість застосованих методів викладання та врахувати ваші пропозиції стосовно покращення змісту навчальної дисципліни «Основи теорії гравітації». За участь у анкетуванні здобувач вищої освіти отримує **4 бали**.

8 Рекомендовані джерела інформації

1. ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ: горизонти випробувань / Я.С. Яцків, О.М. Александров, І.Б. Вавилова, В.І. Жданов, О.І. Жук, Ю.М. Кудря, С.Л. Парновський, О.В. Федорова, С. В.Хміль. – Київ: ГАО НАН України, 2013. – 264 с.
2. ВСТУП ДО ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ: навчальний посібник / В.І. Жданов. – Київ: «Київський університет», 2008. – 287 с.
3. PHYSICAL FOUNDATIONS OF COSMOLOGY. / Mukhanov V. – New York: Cambridge University Press, 2008. – 422 p.
https://sites.astro.caltech.edu/~george/ay21/readings/Mukhanov_PhysFoundCosm.pdf
4. NOTES ON GENERAL RELATIVITY / Y. Shtanov, 2023. Інтернет-ресурс за адресою
<http://shtanov.pp.ua/gravity/GR-notes.pdf>
5. SPACETIME AND GEOMETRY, AN INTRODUCTION TO GENERAL RELATIVITY / S. Carrol. – Chikago; The University of Chikago Press, 2003.
6. GENERAL RELATIVITY / R. M. Wald. – Chikago; The University of Chikago Press, 1984. https://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/PGF5292_2021/Wald_GR.pdf
7. LECTURE NOTES ON GENERAL RELATIVITY / M. Blau. Інтернет-ресурс за адресою
<http://www.blau.itp.unibe.ch/Lecturenotes.html>
8. COSMOLOGY / Weinberg S. – Oxford: Oxford University Press, 2008. – 612 p.
9. LECTURE NOTES IN COSMOLOGY / Paitella O. – Berlin: Springer, 2018. – 418 p.

10. MODERN COSMOLOGY / Dodelson S., Schmidt F. – Oxford: Academic Press, 2021. – 494 p.
11. COSMOLOGY AND THE EARLY UNIVERSE / Di Bari P. – New York: CRC Press, 2018. – 244 p.
12. COSMOLOGY FOR PHYSICISTS / Lyth D. – New York: CRC Press, 2017. – 168 p.
13. AN INTRODUCTION TO MODERN COSMOLOGY / Liddle A. – Chichester: Wiley, 2015. – 182 p.
14. INTRODUCTION TO COSMOLOGY / Roos M. – Chichester: Wiley, 2015. – 270 p.
15. RELATIVISTIC COSMOLOGY / Ellis G.F.R., Maartens R., MacCallum M.A.H. – Cambridge: Cambridge University Press, 2012. – 622 p.