

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Кафедра фізики



«ЗАТВЕРДЖЕНО»
завідувач кафедри
Горєв В.М. _____
«29» серпня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ ТЕОРІЇ ГРАВІТАЦІЇ»

Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	104 Фізика та астрономія
Освітній рівень.....	перший (бакалаврський)
Освітня програма	«Фізика»
Спеціалізації	-
Статус	вибіркова
Загальний обсяг	8 кредитів ЄКТС (240 годин)
Форма підсумкового контролю	Диф. залік
Термін викладання	6-й семестр, 11 та 12 чверті
Мова викладання	українська

Викладач: доц. Турінов А.М.

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

Дніпро
НТУ «ДП»
2024

Робоча програма навчальної дисципліни «Основи теорії гравітації» для бакалаврів освітньо-професійної програми «Фізика» спеціальності 104 Фізика та астрономія / Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка», каф. фізики. – Д.: НТУ «ДП», 2024. – 14 с.

Розробник:

- Турінов Андрій Миколайович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики.

Робоча програма регламентує:

- мету дисципліни;
- дисциплінарні результати навчання, сформовані на основі трансформації очікуваних результатів навчання освітньої програми;
- базові дисципліни;
- обсяг і розподіл за формами організації освітнього процесу та видами навчальних занять;
- програму дисципліни (тематичний план за видами навчальних занять);
- алгоритм оцінювання рівня досягнення дисциплінарних результатів навчання (шкали, засоби, процедури та критерії оцінювання);
- інструменти, обладнання та програмне забезпечення;
- рекомендовані джерела інформації.

Робоча програма призначена для реалізації компетентнісного підходу під час планування освітнього процесу, викладання дисципліни, підготовки студентів до контрольних заходів, контролю провадження освітньої діяльності, внутрішнього та зовнішнього контролю забезпечення якості вищої освіти, акредитації освітніх програм у межах спеціальності.

Погоджено рішенням науково-методичної комісії спеціальності 104 Фізика та астрономія (протокол № 3 від 07.02.2024 р.).

ЗМІСТ

1 МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	4
2 ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ.....	4
3 БАЗОВІ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
4 ОБСЯГ І РОЗПОДІЛ ЗА ФОРМАМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ	5
5 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ ЗА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ.....	5
6 ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ.....	8
6.1 Шкали.....	8
6.2 Засоби та процедури	9
6.3 Критерії.....	10
7 ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	12
8 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	12

1 МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

В освітньо-професійній програмі «Фізика» спеціальності 104 Фізика та астрономія здійснено розподіл програмних результатів навчання (ПРН) за організаційними формами освітнього процесу. Зокрема, до вибіркової дисципліни «Основи теорії гравітації» віднесено такі результати навчання:

ПР02	Знати фізику, електротехніку, електроніку, та схемотехніку, мікропроцесорну техніку на рівні, необхідному для розв'язання типових задач і проблем автоматизації.
ПР04	Розуміти суть процесів, що відбуваються в об'єктах автоматизації (за галузями діяльності) та вміти проводити аналіз об'єктів автоматизації і обґрунтовувати вибір структури, алгоритмів та схем керування ними на основі результатів дослідження їх властивостей.
ПР07	Вміти застосовувати знання про основні принципи та методи вимірювання фізичних величин і основних технологічних параметрів для обґрунтування вибору засобів вимірювань та оцінювання їх метрологічних характеристик.

Мета дисципліни – вивчення основ загальної теорії відносності як загальноприйнятої теорії гравітації, а також застосування цієї теорії до космології. Вивчення цієї навчальної дисципліни передбачає опанування методами диференційної геометрії та геометрії Ріманового простору, тензорного аналізу та коваріантних форм фундаментальних законів природи.

Реалізація мети вимагає трансформації програмних результатів навчання в дисциплінарні та адекватний відбір змісту навчальної дисципліни за цим критерієм.

2 ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Шифр ПРН	Дисциплінарні результати навчання (ДРН)	
	шифр ДРН	зміст
ПР02	ПР02.1-Б1	знати основні фізичні величини і характеристики, зв'язки між ними, їх одиниці вимірювання
	ПР02.2-Б1	знати фізичні явища, що становлять фізичну основу процесів.
	ПР02.3-Б1	застосовувати навички узагальнення, аналізу, сприйняття інформації, постановки наукової задачі та вибору шляху її розв'язку.
ПР04	ПР04.1-Б1	прогнозувати та аналізувати інформацію, отриману в результаті досліджень, узагальнювати, систематизувати й використовувати її у професійній діяльності
ПР07	ПР07.1-Б1	формулювати фізичні ідеї, розв'язувати задачі, робити оцінки величин, оперувати фізичними моделями й усвідомлювати границі їх застосувань
	ПР07.2-Б1	застосовувати знання основних фундаментальних законів класичної та сучасної фізики для вирішення прикладних задач

3 БАЗОВІ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна викладається у шостому семестрі відповідно до навчального плану, тому передбачає попередні знання студентами:

- спеціальної теорії відносності, теорії електромагнетизму, класичної теорії поля, фізики елементарних частинок, статистичної фізики і термодинаміки;
- вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів загальної теорії відносності, фізики елементарних частинок та статистичної фізики для розв'язку практичних задач, аналізувати результати своєї роботи;
- володіти навичками обчислень з курсу теорії диференційного та інтегрального числення, лінійної алгебри, теорії диференціальних рівнянь у частинних похідних, диференціальної геометрії і тензорної алгебри, роботи з навчальною літературою, взаємодії з колегами під час навчання.

4 ОБСЯГ І РОЗПОДІЛ ЗА ФОРМАМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ

Вид навчальних занять	Розподіл за формами навчання, години							
	денна			вечірня		заочна		
	Обсяг	аудиторні заняття	самостійна робота	аудиторні заняття	самостійна робота	Обсяг	аудиторні заняття	самостійна робота
лекційні	130	42	88	-	-	-	-	-
практичні	110	34	76	-	-	-	-	-
лабораторні	-	-	-	-	-	-	-	-
семінари	-	-	-	-	-	-	-	-
РАЗОМ	240	76	164	-	-	-	-	-

5 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ ЗА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ

Шифри ДРН	Види та тематика навчальних занять	Обсяг складових, години
	ЛЕКЦІЇ	130
	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).	10
	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	15

Шифри ДРН	Види та тематика навчальних занять	Обсяг складових, години
	Рімана та його похідні. Тензор Ейнштейна.	
	3. Неінерціальні системи координат у СТВ.	15
	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.	15
	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.	25
	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.	40
	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, що описують траєкторії в полі Шварцшильда з рівняння Гамільтона-Якобі. Дослідження властивостей радіального руху.	
	7. Експериментальні основи загальної теорії відносності.	10
	Зміщення перигелію в полі Шварцшильда. Відхилення променів світла в полі Шварцшильда. Часова затримка електромагнітних сигналів. Червоне зміщення.	
	ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ	110
	1. Елементи спеціальної теорії відносності (СТВ).	5
	Елементи векторної та тензорної алгебри у просторі-часі Мінковського. Простір-час загальної теорії відносності (ЗТВ).	
	2. Елементи тензорного аналізу в рімановій геометрії.	10
	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.	15
	Система координат Мелера. Система координат, що обертається. Система координат Мілна-Робертсона. Обґрунтування викривленості простору-часу.	
	4. Частинка в гравітаційному полі.	15
	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.	25

Шифри ДРН	Види та тематика навчальних занять	Обсяг складових, години
	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 частини 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.	30
	7. Експериментальні основи загальної теорії відносності. Зміщення перигелію в полі Шварцшильда. Відхилення променів світла в полі Шварцшильда. Часова затримка електромагнітних сигналів. Червоне зміщення.	10
		240

6 ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Сертифікація досягнень студентів здійснюється за допомогою прозорих процедур, що ґрунтуються на об'єктивних критеріях відповідно до Положення університету «Про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти».

Досягнутий рівень компетентностей відносно очікуваних, що ідентифікований під час контрольних заходів, відображає реальний результат навчання студента за дисципліною.

6.1 Шкали

Оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП» здійснюється за рейтинговою (100-бальною) та інституційною шкалами. Остання необхідна (за офіційною відсутністю національної шкали) для конвертації (переведення) оцінок мобільних студентів.

Шкали оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП»

Рейтингова	Інституційна
90...100	відмінно / Excellent
74...89	добре / Good
60...73	задовільно / Satisfactory
0...59	незадовільно / Fail

Кредити навчальної дисципліни зараховуються, якщо студент отримав підсумкову оцінку не менше 60-ти балів. Нижча оцінка вважається академічною заборгованістю, що підлягає ліквідації відповідно до Положення про організацію освітнього процесу НТУ «ДП».

6.2 Засоби та процедури

Зміст засобів діагностики спрямовано на контроль рівня сформованості знань, умінь, комунікації, автономності та відповідальності студента за вимогами НРК до 6-го кваліфікаційного рівня під час демонстрації регламентованих робочою програмою результатів навчання.

Студент на контрольних заходах має виконувати завдання, орієнтовані виключно на демонстрацію дисциплінарних результатів навчання (розділ 2).

Засоби діагностики, що надаються студентам на контрольних заходах у вигляді завдань для поточного та підсумкового контролю, формуються шляхом конкретизації вихідних даних та способу демонстрації дисциплінарних результатів навчання.

Засоби діагностики (контрольні завдання) для поточного та підсумкового контролю дисципліни затверджуються кафедрою.

Види засобів діагностики та процедур оцінювання для поточного та підсумкового контролю дисципліни подано нижче.

Засоби діагностики та процедури оцінювання

ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ			ПІДСУМКОВИЙ КОНТРОЛЬ	
навчальне заняття	засоби діагностики	процедури	засоби діагностики	процедури
лекції	контрольні завдання за кожною темою	виконання завдання під час лекцій	комплексна контрольна робота (ККР)	визначення середньозваженого результату поточних контролів;
практичні	перевірка та захист	виконання завдання під час практичних занять		виконання ККР під час екзамену за бажанням студента

Під час поточного контролю лекційні заняття оцінюються шляхом визначення якості виконання контрольних конкретизованих завдань. Практичні заняття оцінюються якістю виконання практичних письмових завдань, що містять теоретичні та розрахункові питання, знанням теоретичної частини роботи, ступенем самостійності виконання розрахунків.

Якщо зміст певного виду занять підпорядковано декільком складовим, то інтегральне значення оцінки може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюються викладачем.

За наявності рівня результатів поточних контролів з усіх видів навчальних занять не менше 60 балів, підсумковий контроль здійснюється без участі студента шляхом визначення середньозваженого значення поточних оцінок.

Незалежно від результатів поточного контролю кожен студент під час екзамену має право виконувати ККР, яка містить завдання, що охоплюють ключові дисциплінарні результати навчання.

Кількість конкретизованих завдань ККР повинна відповідати відведеному часу на виконання. Кількість варіантів ККР має забезпечити індивідуалізацію завдання.

Значення оцінки за виконання ККР визначається середньою оцінкою складових (конкретизованих завдань) і є остаточним.

Інтегральне значення оцінки виконання ККР може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюється кафедрою для кожної складової опису кваліфікаційного рівня НРК.

6.3 Критерії

Реальні результати навчання студента ідентифікуються та вимірюються відносно очікуваних під час контрольних заходів за допомогою критеріїв, що описують дії студента для демонстрації досягнення результатів навчання.

Для оцінювання виконання контрольних завдань під час поточного контролю лекційних і практичних занять в якості критерію використовується коефіцієнт засвоєння, що автоматично адаптує показник оцінки до рейтингової шкали:

$$O_i = 100 a/m,$$

де a – число правильних відповідей або виконаних суттєвих операцій відповідно до еталону рішення; m – загальна кількість запитань або суттєвих операцій еталону.

Індивідуальні завдання та комплексні контрольні роботи оцінюються експертно за допомогою критеріїв, що характеризують співвідношення вимог до рівня компетентностей і показників оцінки за рейтинговою шкалою.

Зміст критеріїв спирається на компетентнісні характеристики, визначені НРК для бакалаврського рівня вищої освіти (подано нижче).

Загальні критерії досягнення результатів навчання для 6-го кваліфікаційного рівня за НРК

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
<i>Знання</i>		
♦ концептуальні наукові та практичні знання, критичне осмислення теорій, принципів, методів і понять у сфері професійної діяльності та/або навчання	Відповідь відмінна – правильна, обґрунтована, осмислена. Характеризує наявність: - концептуальних знань; - високого ступеню володіння станом питання; - критичного осмислення основних теорій, принципів, методів і понять у навчанні та професійній діяльності	95-100
	Відповідь містить негрубі помилки або описки	90-94
	Відповідь правильна, але має певні неточності	85-89
	Відповідь правильна, але має певні неточності й недостатньо обґрунтована	80-84
	Відповідь правильна, але має певні неточності, недостатньо обґрунтована та осмислена	74-79
	Відповідь фрагментарна	70-73
	Відповідь демонструє нечіткі уявлення студента про об'єкт вивчення	65-69
	Рівень знань мінімально задовільний	60-64
	Рівень знань незадовільний	<60
<i>Уміння/навички</i>		
♦ поглиблені когнітивні та практичні уміння/навички, майстерність та інноваційність на рівні, необхідному для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем у сфері професійної діяльності або навчання	Відповідь характеризує уміння: - виявляти проблеми; - формулювати гіпотези; - розв'язувати проблеми; - обирати адекватні методи та інструментальні засоби; - збирати та логічно й зрозуміло інтерпретувати інформацію; - використовувати інноваційні підходи до розв'язання завдання	95-100
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності з негрубими помилками	90-94
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації однієї вимоги	85-89
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні	80-84

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	неточності при реалізації двох вимог	
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації трьох вимог	74-79
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації чотирьох вимог	70-73
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності при виконанні завдань за зразком	65-69
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з неточностями	60-64
	рівень умінь/навичок незадовільний	<60
Комунікація		
<ul style="list-style-type: none"> ◆ донесення до фахівців і нефахівців інформації, ідей, проблем, рішень, власного досвіду та аргументації; ◆ збір, інтерпретація та застосування даних; ◆ спілкування з професійних питань, у тому числі іноземною мовою, усно та письмово 	<p>Вільне володіння проблематикою галузі. Зрозумілість відповіді (доповіді). Мова:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правильна; - чиста; - ясна; - точна; - логічна; - виразна; - лаконічна. <p>Комунікаційна стратегія:</p> <ul style="list-style-type: none"> - послідовний і несуперечливий розвиток думки; - наявність логічних власних суджень; - доречна аргументації та її відповідність відстоюваним положенням; - правильна структура відповіді (доповіді); - правильність відповідей на запитання; - доречна техніка відповідей на запитання; - здатність робити висновки та формулювати пропозиції 	95-100
	<p>Достатнє володіння проблематикою галузі з незначними хибами. Достатня зрозумілість відповіді (доповіді) з незначними хибами. Доречна комунікаційна стратегія з незначними хибами</p>	90-94
	<p>Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано три вимоги)</p>	85-89
	<p>Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна</p>	80-84

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано чотири вимоги)	
	Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано п'ять вимог)	74-79
	Задовільне володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано сім вимог)	70-73
	Часткове володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано дев'ять вимог)	65-69
	Фрагментарне володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано 10 вимог)	60-64
	Рівень комунікації незадовільний	<60
<i>Відповідальність і автономія</i>		
<ul style="list-style-type: none"> ◆ управління складною технічною або професійною діяльністю чи проектами; ◆ спроможність нести відповідальність за вироблення та ухвалення рішень у непередбачуваних робочих та/або навчальних контекстах; ◆ формування суджень, що враховують соціальні, наукові та етичні аспекти; ◆ організація та керівництво професійним розвитком осіб та груп; ◆ здатність продовжувати 	<p>Відмінне володіння компетенціями менеджменту особистості, орієнтованих на:</p> <p>1) управління комплексними проектами, що передбачає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - дослідницький характер навчальної діяльності, позначена вмінням самостійно оцінювати різноманітні життєві ситуації, явища, факти, виявляти і відстоювати особисту позицію; - здатність до роботи в команді; - контроль власних дій; <p>2) відповідальність за прийняття рішень в непередбачуваних умовах, що включає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обґрунтування власних рішень положеннями нормативної бази галузевого та державного рівнів; - самостійність під час виконання поставлених завдань; - ініціативу в обговоренні проблем; - відповідальність за взаємовідносини; <p>3) відповідальність за професійний розвиток окремих осіб та/або груп осіб, що передбачає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - використання професійно-орієнтованих навичок; - використання доказів із самостійною і правильною аргументацією; - володіння всіма видами навчальної діяльності; <p>4) здатність до подальшого навчання з високим рівнем автономності, що передбачає:</p>	95-100

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
навчання із значним ступенем автономії	<ul style="list-style-type: none"> - ступінь володіння фундаментальними знаннями; - самостійність оцінних суджень; - високий рівень сформованості загальнонавчальних умінь і навичок; - самостійний пошук та аналіз джерел інформації 	
	Упевнене володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано дві вимоги)	90-94
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано шість вимог)	74-79
	Задовільне володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано сім вимог)	70-73
	Задовільне володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано вісім вимог)	65-69
	Рівень відповідальності і автономії фрагментарний	60-64
	Рівень відповідальності і автономії незадовільний	<60

7 ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

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.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Основи теорії гравітації» для бакалаврів освітньо-професійної програми
«Фізика» зі спеціальності 104 Фізика та астрономія

Розробник:
Турінов Андрій Миколайович

В редакції автора

Підготовлено до виходу в світ
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19