Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра комп'ютерної фізики

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Директор навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА

"___" _____ 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма	«Комп'ютерна фізика» «Прикладна фізика енергетичних систем» «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики»
вид дисципліни	обов'язкова

навчально – науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

28 серпня 2023 року, протокол № 8/23

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:
Нємченко Костянтин Едуардович, професор кафедри комп'ютерної фізики, д.ф.-м.н.
Нємченко Єгор Костянтинович, старший викладач кафедри комп'ютерної фізики, к.ф.-м.н.

Програму схвалено на засіданні кафедри комп'ютерної фізики

Протокол від 28 серпня 2023 року № 8/23

Завідувач кафедри комп'ютерної фізики

_____ Костянтин НЄМЧЕНКО

Програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми «Комп'ютерна фізика»

Гарант освітньо-наукової програми «Комп'ютерна фізика»

_____ Світлана РОГОВА

Гарант освітньо-наукової програми «Прикладна фізика енергетичних систем»

_____ Руслан СУХОВ

Гарант освітньо-наукової програми «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики»

_____ Ілля МАРУЩЕНКО

Програму погоджено науково-методичною комісією
навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від 28 серпня 2023 року № 8/23

Голова науково-методичної комісії
навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Денис ПРОТЕКТОР

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Теоретична механіка» складена відповідно до освітньо-професійних програм «Прикладна фізика енергетичних систем», «Комп'ютерна фізика», «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики» підготовки першого (бакалаврського) рівня освіти

спеціальність: 105 Прикладна фізика та наноматеріали

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни: оволодіння теорією та практичними навичками розв'язування задач та підготовка студентів до вивчення фізичних основ та математичних методів сучасної теоретичної фізики.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни: забезпечити формування у студентів розуміння теоретичних методів класичної механіки та оволодіння математичними навиками, що необхідні для розв'язування різноманітних механічних задач.

Загальні компетентності (ЗК):

1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. (ЗК2)
2. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. (ЗК5)
3. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. (ЗК6)
4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК7)
5. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні. (ЗК11)
6. Здатність застосовувати обчислювальні методи для отримання інформації з експериментальних даних та вирішення наукових проблем. (ЗК15)
7. Розуміння обмеження чисельних методів, включаючи помилки наближення, помилки округлення та обмеження щодо застосування конкретних алгоритмів. (ЗК16)
8. Здатність перетворювати наукові проблеми в загальні обчислювальні моделі та зрозуміти, як різні джерела помилок впливають на точність та надійність моделей та обчислені результати. (ЗК17)

Спеціальні компетентності (СК):

1. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження. (СК3)
2. Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок. (СК4)
3. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій. (СК5)
4. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. (СК6)
5. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. (СК7)
6. Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проектах. (СК8)
7. Вміння програмувати на мовах високого рівня, компілювати мови та ефективно використовувати комп'ютерну систему алгебри. (СК9)
8. Вміння підвищувати ефективність чисельних алгоритмів та відповідного програмного забезпечення. (СК10)

9. Знайомство з прийомами спільної розробки програмного забезпечення. (СК11)

1.3. Кількість кредитів - 6

1.4. Загальна кількість годин - 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов’язкова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	
Семестр	
5-й	
Лекції	
32 год.	
Практичні, семінарські заняття	
64 год.	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
84 год.	
у тому числі індивідуальні завдання	

1.6. Заплановані результати навчання: згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, після вивчення курсу студент повинен знати теоретичні методи ньютонової, лагранжевої і гамільтонової механіки, що дозволяють отримати рівняння руху для різноманітних механічних систем, а також вміти застосовувати отримані знання на практиці для розв’язання різноманітних задач в класичних механічнихсистемах.

РН01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв’язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.

РН02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.

РН07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.

РН11. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.

РН12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.

РН13. Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов’язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів.

РН14. Розробляти та формулювати свої професійні висновки та розумно їх аргументувати для фахової та нефахової аудиторії.

РН15. Вміння представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі.

РН16. Базові знання у сфері штучного інтелекту, нейронних мереж та великих даних та вміння застосовувати ці знання фізичних дослідженнях.

РН17. Розуміння обмеження чисельних методів, включаючи помилки наближення, помилки округлення та обмеження щодо застосування конкретних алгоритмів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1: Основи теоретичної механіки.

Тема 1: Механіка Ньютона. – 8 лекцій, 4 практичних

Фундаментальні закони динаміки: кінематика матеріальної точки, криволінійні координати, закони руху Ньютона, закон збереження імпульсу. Прості проблеми динаміки: фундаментальні взаємодії і модельні сили, рух в однорідному гравітаційному полі, вільне падіння тіла з тертям, роль граничних умов, задача про лінійний гармонічний осцилятор, математичний маятник. Лінійний гармонічний осцилятор: механічна і електрична моделі, повне розв'язання задачі про гармонічний осцилятор, вільні коливання із загасанням, вимушені коливання із загасанням, резонанс. Фундаментальні концепції і теореми (енергія, робота): одновимірний рух під дією довільної сили, що залежить від координат, робота, потенціальна і кінетична енергія, повна енергія, траєкторії класичних частинок, потужність, консервативні і неконсервативні сили. Рух в полі центральних сил: кутовий момент, центральні сили, збереження секторальної швидкості, інтегрування рівнянь руху і перші інтеграли, ефективний потенціал. Механіка системи матеріальних точок: закони збереження, збереження кутового моменту, збереження енергії, задача двох тіл. Теорія зіткнень: розпад частинок, пружні зіткнення. Розсіювання частинок: розсіювання на нерухомому силовому центрі, формула Резерфорда, розсіювання на малі кути.

Тема 2: Механіка Лагранжа. – 6 лекцій, 3 практичних

Зв'язки та узагальнені координати (приклади і дефініції): мотивація для введення зв'язків і узагальнених координат, активні сили і сили зв'язків, класифікація голономних зв'язків і приклади узагальнених координат, неголономні зв'язки. Принцип д'Аламбера: віртуальні зміщення, віртуальна робота, диференційний принцип д'Аламбера, узагальнені сили, виведення рівнянь Лагранжа. Рівняння Лагранжа: форма рівняння і фізичний зміст, узагальнений імпульс, інваріантність рівнянь, рівняння Лагранжа з узагальненим потенціалом, рівняння Лагранжа з тертям. Метод множників Лагранжа: неголономні системи, метод множників Лагранжа, приклади застосування. Принцип Гамільтона: конфігураційний простір, інтегральний принцип Гамільтона і його фізичний зміст, правила варіювання траєкторій, рівняння Ейлера-Лагранжа, виведення рівнянь руху Лагранжа із принципу Гамільтона. Закони збереження: гамільтоніан і збереження енергії, зв'язок між симетрією лагранжіана і законами збереження (теорема Нетер), приклади.

Тема 3: Механіка Гамільтона. – 6 лекцій, 3 практичних

Канонічні рівняння: узагальнений імпульс і фазовий простір, перетворення Лежандра, гамільтоніан і канонічні рівняння Гамільтона, фізичний зміст гамільтоніана, виведення рівнянь Гамільтона із варіаційного принципу. Канонічні перетворення: рівняння канонічних перетворень, твірна функція, приклади канонічних перетворень. Фундаментальні дужки Пуассона: визначення дужок Пуассона, фундаментальні дужки Пуассона, зв'язок із квантовою механікою. Властивості симетрії: нескінчено маліканонічні перетворення, гамільтоніан як твірна функція, константи руху і властивостісиметрії. Дужки Пуассона: рівняння руху, кінетичний момент, теорема Ліувілля. Теорія Гамільтона-Якобі: рівняння Гамільтона-Якобі, головна функція Гамільтона, приклади.

Розділ 2: Задачі теоретичної механіки.

Тема 4: Періодичний рух. – 6 лекцій, 3 практичних.

Пов'язані осцілятори: дві маси і три пружини (рівняння руху Ньютона та їх розв'язання), випадок ідентичних мас і пружин, нормальні коливання і нормальні координати. Два слабо пов'язаних осцилятора: повне розв'язання, режими коливань, биття. Подвійний маятник: рівняння Лагранжа, задача на власні значення, нормальні коливання. Загальна теорія нормальних коливань: узагальнення на випадок довільного потенціалу, загальне розв'язання. Механіка Гамільтона і періодичний рух: задача про гармонічний осцилятор, лібрації та осциляції, змінні час-кут. Задача Кеплера: рівняння планетарного руху, класифікація траєкторій (еліпс, парабола, гіпербола), зв'язок параметрів траєкторії з інтегралами руху, закони Кеплера.

Тема 5: Механіка твердого тіла. – 6 лекцій, 3 практичних.

Неінерціальні системи відліку: кутова швидкість, похідні за часом в системі відліку, що обертається, другий закон Ньютона в системі відліку, що обертається, центробіжна сила, сила Коріоліса. Обертання навколо нерухомої осі: кінетична енергія і кутовий момент, моменти інерції, приклади. Обертання навколо довільної осі: кутовий момент і тензор інерції, приклади обчислення тензора інерції. Головні осі інерції: головні моменти інерції, кінетична енергія, знаходження головних осей (задача на власні значення). Прецесія дзиги: прецесія дзиги під дією малого обертаючого моменту, рівняння Ейлера, розв'язання у відсутності обертаючого моменту. Рух дзиги, що обертається: рівняння Лагранжа, рівноважна прецесія, нутація.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Основи теоретичної механіки												
Тема 1. Механіка Ньютона	42	8	16			18						
Тема 2. Механіка Лагранжа	36	6	12			18						
Тема 3. Механіка Гамільтона	34	6	12			16						
Разом за розділом 1	112	20	40			52						
Розділ 2. Задачі теоретичної механіки												
Тема 4. Періодичний рух.	34	6	12			16						
Тема 5. Механіка твердого тіла	34	6	12			16						
Разом за розділом 2	68	12	24			32						
Усього годин	180	32	64			84						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Аналіз розмірності.	4
2	Прості проблеми динаміки.	4
3	Інтеграли руху і збереження енергії.	4
4	Теорія зіткнень.	4
5	Узагальнені координати і зв'язки.	4
6	Рівняння Лагранжа.	4
7	Рівняння Лагранжа.	4
8	Канонічні рівняння.	4
9	Дужки Пуассона.	4
10	Задача про осцилятор в методі Гамільтона-Якобі.	4
11	Нормальні коливання і власні частоти.	4
12	Рівняння Лагранжа і нормальні коливання.	4
13	Планетарний рух.	4
14	Момент інерції.	4
15	Тензор інерції.	4
16	Обертання твердого тіла.	4
	Разом	64

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювати тему "Механіка Ньютона"	18
2	Опрацювати тему "Механіка Лагранжа"	18
3	Опрацювати тему "Механіка Гамільтона"	16
4	Опрацювати тему "Періодичний рух"	16
5	Опрацювати тему " Механіка твердого тіла "	16
	Разом	84

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом**.**

7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-дискусії і передбачають можливість використанням електронних засобів навчання (відеозв'язок в системі Zoom, презентації у форматі pdf). Практичні заняття проводяться методами обговорення теоретичних положень дисципліни та їх використання для розв'язання задач. Основною метою практичних занять є розвиток навичок практичного застосування і закріплення теоретичного матеріалу.

8. Методи контролю

Для оцінювання результатів навчання використовуються такі види та методи контролю: поточний контроль протягом семестру – виступи студентів на практичних заняттях при обговоренні теоретичних положень дисципліни та розв'язанні задач, задачі для самостійного розв'язання за темами розділів; семестрова контрольна робота; підсумковий семестровий контроль - екзамен.

Знання студентів з теоретичної підготовки оцінюються за такими критеріями:

- 4 бали – студент міцно засвоїв теоретичний матеріал, глибоко і всебічно знає зміст навчальної дисципліни, основні положення наукових першоджерел та рекомендованої

літератури, логічно мислить і будує відповідь, висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем;
– 3 бали – студент добре засвоїв теоретичний матеріал, володіє основними аспектами з першоджерел та рекомендованої літератури, аргументовано викладає його; має практичні навички, висловлює свої міркування з приводу тих чи інших проблем, але припускається певних неточностей і похибок у логіці викладу теоретичного змісту;
– 2 бали – студент переважно опанував теоретичними знаннями навчальної дисципліни, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, але непереконливо відповідає, плутає поняття, додаткові питання викликають невпевненість або відсутність стабільних знань; відповідаючи на запитання практичного характеру, виявляє неточності узнаннях, не вміє оцінювати факти та явища, пов'язувати їх із майбутньою діяльністю;
– 1 бал – студент майже не опанував навчальний матеріал дисципліни, не знає наукових фактів, визначень, погано орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, відсутнє наукове мислення, практичні навички майже не сформовані.
– 0 балів – знання як з теоретичної, так і з практичної підготовки за даним завданням виявити не вдається.

Знання студентів з практичної підготовки оцінюються за такими критеріями:
– За розв'язання кожної задачі на контрольній роботі студенту нараховується до 3 балів. Максимальний бал студент отримує, якщо задача розв'язана повністю і правильно. Якщо студент припустився несуттєвих помилок при розрахунках, але продемонстрував розуміння задачі, він отримує 2 бали. Якщо помилка суттєва, або метод розв'язання задачі не є відповідним, він отримає 1 бал. Якщо розв'язання відсутнє, воно не оцінюється.
– За активну участь в практичному занятті студент може отримати 1 бал, якщо він був активно залучений до обговорення теми практичного заняття, давав правильні відповіді на запитання і самостійно розв'язував задачі.
– За правильне розв'язання кожної із задач для самостійної роботи нараховується 1 або 2 бали, залежно від складності задачі. Якщо при розв'язанні складної задачі студент допустив незначної помилки, йому буде зарахований один бал. У разі, якщо помилка суттєва, бал за задачу не нараховується.

За теми першого розділу можна отримати щонайбільше 30 балів, за теми другого розділу – 20 балів. За контрольну роботу можна отримати щонайбільше 10 балів. Загалом за роботу протягом семестру можна отримати не більше ніж 60 балів.

Підсумковий семестровий контроль – письмова екзаменаційна робота (40 балів). За бажанням студента йому можуть нараховуватися до 10-ти заохочувальних балів за коментар підсумкової роботи в усній формі та за відповіді на додаткові запитання, але загалом за екзаменаційну роботу неможливо отримати більше ніж 40 балів.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, контрольні роботи				Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольна робота	Разом		
Т1-Т3	Т4-Т5				
30	20	10	60	40	100

Мінімальна кількість балів для допуску до підсумкового контролю становить – 20 балів.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для чотирирівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

10. Рекомендована література

Основна література

1. Єжов С.М., Макарець М.В., Романенко О.В. Класична механіка. Київ, 2007.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Ліфшиц "Курс теоретичної фізики, том 1: Механіка", 2004.

Допоміжна література

5. Wolfgang Nolting. Theoretical Physics 1. Classical Mechanics. Springer, 2016 року.
6. Wolfgang Nolting. Theoretical Physics 2. Analytical Mechanics. Springer, 2016 року.
7. John R. Taylor. Classic mechanics. University Science Books, 2005.
8. David Morin. Introduction to Classical Mechanics. З проблемами і рішеннями. Cambridge University Press, 2007.
9. Д. Тер Хаар "Основи гамільтонової механіки".
10. В.І. Арнольд "Математичні методи класичної механіки".

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. https://dist.karazin.ua/moodle/course/view.php?id=25