МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
“____” _____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇДИСЦИПЛІНИ

ВБ 4.1 «Небесна механіка»

Рівень вищої освіти	**перший (освітньо-професійний)**
Галузь знань	**10 – Природничі науки**
Спеціальність	**104 – Фізика та астрономія**
Освітньо-професійна програма	**Фізика та астрономія**

ОНУ
Одеса
2022

Робоча програма навчальної дисципліни «Небесна механіка». – Одеса: ОНУ, 2022. -- 19 с.

Розробник: Базєй Олександр Анатолійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та астрономії

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія» _____ Юрієм Ніцуком

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Наталя МАСЛЄЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № 1 від «29» 08 2024 р.

Завідувач кафедри _____ (Гоцульський В.Я.)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___ від «___» _____ 20___ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти</td><td>Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>Очна (денна) форма навчання</td></tr>
<tr><td rowspan="15">Загальна кількість кредитів – 6
годин – 180
змістовних модулів – 2</td><td rowspan="15">Галузь знань
10 – Природничі науки
Спеціальність:
104 – Фізика та астрономія
Рівень вищої освіти:
<u>Перший (освітньо-професійний)</u></td><td>Вибіркова дисципліна</td></tr>
<tr><td>Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>3-й</td></tr>
<tr><td>Семестр</td></tr>
<tr><td>5,6-й</td></tr>
<tr><td>Лекції</td></tr>
<tr><td>40 год.</td></tr>
<tr><td>Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>0 год.</td></tr>
<tr><td>Лабораторні</td></tr>
<tr><td>50 год.</td></tr>
<tr><td>Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td></tr>
<tr><td>Форма підсумкового контролю:
залік, іспит</td></tr>
</table>

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є навчити студентів застосовувати методи небесної механіки до розв'язання різних задач: обчислення гравітаційних полів небесних тіл, визначення траєкторій руху та ефемерид, врахування збурень при обчислюванні орбіт небесних тіл.

Завдання:

- сформувати у здобувачів основні математичні та фізичні засади небесної механіки;
- виробити розуміння сучасного стану розвитку теорії потенціалу та динаміки матеріальних тіл в різноманітних системах;
- навчити користуванню основними методами що застосовуються при вивченні рухів небесних тіл з урахуванням збурень;
- навчити застосовувати отримані вміння для обчислення та прогнозування рухів небесних тіл.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей.**

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

К01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

К02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

К05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

К08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

К09. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і

взятих обов’язків.

Спеціальні (фахові) компетентності:

К16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

К17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

К18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

К21. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

К22. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об’єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

К25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

К26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен знати:

- основні математичні та фізичні засади небесної механіки;
- основні методи, що застосовуються при вивченні рухів небесних тіл;
- сучасний стан у розвитку теорії потенціалу та особливості гравітаційних полів у Сонячні системі.

Вміти:

- розв’язувати рівняння руху для кеплерівського випадку та з урахуванням зовнішніх збурень;
- визначати положення та ефемериди небесних тіл для даних начальних умов;
- моделювати динаміку тіл Сонячної системи;

- вміти аналізувати наукову літературу з проблем небесної механіки, використовувати одержану інформацію для написання рефератів і підготовки доповідей;
- вміти орієнтуватися серед астрономічної інформації, аналізувати факти, що наводяться в наукових джерелах і засобах масової інформації.

Що забезпечують наступні **програмні результати навчання:**

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.

ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

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.

ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПР22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

3.Зміст навчальної дисципліни

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1.

ЗАДАЧА N ТІЛ. ЗАДАЧА 2-Х ТІЛ. ЗАДАЧА 3-Х ТІЛ.

Тема 1. Вступ. Задача N тіл. Історія розвитку небесної механіки. Загальні домовленості. Диференціальні рівняння руху. Інтегрування диференціальних рівнянь руху.

Тема 2. Інтеграли руху. Інтеграли імпульсу. Інтеграли моменту імпульсу. Силова функція. Властивості силової функції. Інтеграл енергії.

Тема 3. Задача двох тіл. Перехід до системи відліку з центром у Сонці. Властивість руху планети навколо Сонця. Інтеграл енергії. Рівняння траєкторії. Класифікація руху в задачі 2-х тіл. Уточнений закон Кеплера.

Тема 4. Кеплерові елементи орбіти. Геометричний сенс сталих інтегрування. Елементи, що визначають площину орбіти у просторі. Елементи, що визначають форму орбіти.

Тема 5. Обчислення положення небесного тіла на еліптичній орбіті. Направляючі косинуси. Перехід до екваторіальної системи відліку. Складові вектору швидкості. Обчислення істинної аномалії та геліоцентричної швидкості. Рівняння Кеплера.

Тема 6. Обчислення положення небесного тіла на інфінітних орбітах. Обчислення положення небесного тіла на параболічній орбіті. Обчислення положення небесного тіла на гіперболічній орбіті.

Тема 7. Рівняння руху в обмеженій задачі 3-х тіл. Постанова задачі, обмеження. Рівняння руху. Інтеграл Якобі.

Тема 8. Поверхні Хілла. Поверхні нульової швидкості. Особливі точки поверхонь нульової швидкості. Колінеарні точки Лагранжа. Компланарні точки Лагранжа. Лінії Хілла у площині орбіти. Критерій Тіссерана.

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2
ОБЧИСЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ОРБІТ. ЗАДАЧА ПРО ВІДНОСНИЙ РУХ N ТІЛ.

Тема 1. Метод Гауса первинного визначення елементів еліптичної орбіти. Ідея методу. Рівняння площини орбіти. Відношення площин трикутників. Перше наближення для координат світила. Виправлення моментів часу за планетну аберацію. Обчислення відношення площини сектору до площини трикутника. Друге та наступні наближення. Обчислення елементів орбіти. Алгоритм обчислень.

Тема 2. Метод Ольберса первинного визначення елементів параболічної орбіти. Ідея методу. Постановка задачі. Рівняння Ольберса. Обчислення відношення площин трикутників. Формула Ейлера. Визначення геоцентричних відстаней. Визначення елементів орбіти.

Тема 3. Задача про відносний рух N тіл. Перехід до системи відліку з центром у Сонці. Збурений рух. Оскулюючі елементи орбіти. Рівняння Лагранжа. Дужки Лагранжа. Властивості дужок Лагранжа. Обчислення дужок Лагранжа.

Тема 4. Збурений рух у Сонячній системі. Збурення: вікові, довгоперіодичні, короткоперіодичні. Теорема Лапласа-Лагранжа. Збурення: геометричний підхід. Негравітаційні збурення.

4. Структура навчальної дисципліни «Класична механіка»

Назва тем	Кількість годин				
	Очна (денна) форма				
	Усього	у тому числі			
		Лек.	Пр.	Лаб.	СР
1	2	3	4	5	6
Змістовний модуль 1. Задача N тіл. Задача 2-х тіл. Задача 3-х тіл.					

Тема 1. Вступ. Задача N тіл.	6	2			8
Тема 2. Інтеграли руху.	8	2			6
Тема 3. Задача двох тіл.	14	4		6	8
Тема 4. Кеплерові елементи орбіти.	16	4		4	8
Тема 5. Обчислення положення небесного тіла на еліптичній орбіті.	20	2		6	10
Тема 6. Обчислення положення небесного тіла на інфінітних орбітах.	12	2		8	6
Тема 7. Рівняння руху в обмеженій задачі 3-х тіл.	12	2		8	6
Тема 8. Поверхні Хілла.	12	4			6
Змістовний модуль 2. Обчислення елементів орбіт. Задача про відносний рух N тіл.					
Тема 1. Метод Гауса первинного визначення елементів еліптичної орбіти.	16	8		10	10
Тема 2. Метод Ольберса первинного визначення елементів параболічної орбіти.	16	4		8	10
Тема 3. Задача про відносний рух N тіл.	14	4			6
Тема 4. Збурений рух у Сонячній системі.	12	2			6
Усього годин	180	40		50	90

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом

4. Теми лабораторних робіт

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Визначення гравітаційних параметрів тіл (в системі СІ, в астрономічній системі одиниць).	6
2.	Визначення параметрів руху супутника Землі.	4
3.	Розв'язання рівняння Кеплера щодо різних типів орбіт. Визначення часу перельоту супутника орбітою.	6
4.	Обчислення прямокутних геліоцентричних та геоцентричних координат небесного тіла. Перехід до екваторіальних геліо- та геоцентричних координат.	4
5.	Обчислення Кеплерових елементів орбіти за відомим радіусом-вектором та вектором швидкості небесного тіла.	4
6.	Обчислення точок рівноваги в обмеженій коловій задачі 3-х тіл.	8
7.	Визначення Кеплерових елементів еліптичної орбіти за спостереженнями методом Гауса.	10
8.	Визначення Кеплерових елементів параболічної орбіти за спостереженнями методом Ольберса.	8
	Разом	50

8. Самостійна робота

№	Питання для підготовки	Кількість годин
1.	Зоряні скупчення. Теорема віріалу.	8
2.	Гравітаційний потенціал планет Сонячної системи.	10
3.	Орбіти подвійних зір.	8
4.	Орбітальна енергія небесного тіла.	8
5.	Прецесія перигеліїв планет.	8
6.	Критерій Тіссерана.	8
7.	Рух Місяця по навколоземній орбіті.	8
8.	Припливи. Еволюція системи Земля-Місяць	10
9.	Рух супутника планети. Межа Роша.	10
10.	Еволюція планетних орбіт у Сонячній системі.	6
11.	Екзопланети. Класифікація екзопланет. Проблема виникнення «гарячих юпітерів».	6
	Разом	90

9. Методи навчання

Під час вивчення навчальної дисципліни використовують такі форми роботи – лекція, лабораторна робота, самостійна робота.

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція − відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, евристичний метод.

Під час лабораторних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький, при захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод.

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль здійснюється шляхом фронтального контролю знань. Індивідуальний контроль застосовується для ґрунтовного ознайомлення викладача із рівнем навчальних досягнень окремих студентів. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування на лекції, усна перевірка робіт, написання звітів до лабораторних робіт, їх захист. Підсумковий контроль – залік, іспит.

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи

Оцінювання виконання самостійної роботи студентів за кожною темою навчальної дисципліни здійснюється за 2-бальною шкалою. Об’єктом поточного контролю самостійної роботи є:

Конспектування окремих питань теми (максимальна оцінка – 1 бал).

Критерії оцінювання:

Наявність конспекту теоретичного матеріалу – 1 бал.

Повнота представленого матеріалу, якість відповідей на запитання викладача та однокурсників – 1 бал.

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 8 балів за кожну роботу. При захисті роботи, за кожну правильну відповідь на запитання додається 2 бали. За неповну відповідь, відповідь, що містить несуттєві помилки додається 1 бал. За неправильну відповідь, або її відсутність бали не додаються. Максимальна кількість балів за лабораторну роботу не повинна перевищувати 15 балів. При виставленні підсумкової оцінки береться середня арифметична оцінка за всіма лабораторними роботами.

Критерії оцінювання підсумкового контролю

Підсумковий семестровий контроль (залік) проводиться в усній формі. Студенту пропонується два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 15 бальною шкалою.

Критерії оцінювання теоретичного питання:

– повна розгорнута відповідь – 15 балів;

– повна, але не розгорнута відповідь – 12 балів;

– повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 10 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

– неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 8 балів,

за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

– відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Кількість балів, що здобувач отримав на заліку, є сумою балів, що були отримані за кожне теоретичне питання.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче (п.12).

Підсумковий семестровий контроль (іспит) проводиться в усній формі. Студенту пропонується одне теоретичне питання, яке оцінюється за 10 бальною шкалою та два практичних завдання, кожне з яких теж оцінюється за 10 бальною шкалою.

Критерії оцінювання теоретичного питання:

– повна розгорнута відповідь – 10 балів;

– повна, але не розгорнута відповідь – 8 балів;

– повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

– неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 6 балів,

за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

– відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання практичного завдання:

– задача розв'язана повністю. Розв'язання містить скорочену умову (дано), необхідні дії, обґрунтування, графіки, одиниці вимірювання, відповідь – 9-10 балів;

– задача розв'язана повністю. Розв'язання містить скорочену умову, необхідні дії, обґрунтування, графіки, одиниці вимірювання. В кінці не вказана відповідь або не правильно вказані деякі одиниці вимірювання – 7-8 балів;

– хід розв'язування правильний, але допущені помилки логічного характеру в обчисленнях, що привело до неправильної відповіді. Або розв'язування не містить необхідних пояснень – 5-6 балів;

– розв'язання неповне, відповідь не отримана, але студент у розв'язанні досить близько наблизився до неї. Студентом виконано не менше половини логічних кроків – 3-4 бали;

– розв'язання задачі розпочате: зроблений короткий запис умови задачі, при необхідності виконаний рисунок, наведені окремі фрагменти розв'язання – 2 бали;

– розв'язання задачі розпочате: зроблений короткий запис умови задачі, при необхідності виконаний рисунок – 1 бал;

– завдання не розв'язувалося взагалі. Відповідь відсутня – 0 балів.

Кількість балів, що здобувач отримав на іспиті, є сумою балів, що були отримані за теоретичне питання та кожне практичне завдання.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче (п.12).

11. Питання для підготовки для поточного та підсумкового контролю.

1. Що є основною задачею небесної механіки?

2. Чому саме задача багатьох тіл має фундаментальне значення в небесній механіці?

3. В чому полягає задача N тіл у формулюванні Ньютона?

4. Як отримати систему рівнянь руху небесних тіл?

5. Скільки початкових умов потрібно знати для розв’язку задачі 2-х тіл? 3-х тіл? N тіл?

6. Скільки інтегралів руху потрібно знати для розв’язку задачі 2-х тіл? 3-х тіл? N тіл?

7. Чим визначається значення сталих інтегрування?

8. Як визначається положення центру мас системи N тіл?

9. Як рухається центр мас замкненої системи N тіл?

10. Що називають секторною швидкістю рухомої точки?

11. Що таке незмінна площина Лапласа?

12. Чи існує незмінна площина Лапласа у Сонячній системі? Чому?

13. Як визначається силова функція системи N тіл?

14. Назвіть найважливіші властивості силової функції системи N тіл.

15. Скільки відомо інтегралів руху у задачі N тіл? Назвіть всі інтеграли руху у задачі N тіл.

16. Якого порядку система диференціальних рівнянь руху, що описує рух у задачі 2-х тіл в інерціальній системі відліку?

17. Сформулюйте задачу 2-х тіл.

18. Що таке коефіцієнт гравітації у задачі 2-х тіл? Чому він дорівнює?

19. Якщо початок системи відліку пов’язаний з центром одного з тіл, чи виконується в цій системі закон збереження моменту імпульсу?

20. Що називають рівнянням траєкторії?

21. Що називають аргументом перигелію?

22. Що називають істинною аномалією? В якому напрямі вона відраховується?

23. Чим визначається величина великої піввісі орбіти у задачі 2-х тіл?

24. Якій умові повинна задовольняти величина швидкості V на даній відстані між тілами r, якщо вони рухаються по параболічним орбітам?

25. Якій умові повинна задовольняти величина швидкості V на даній відстані між тілами r, якщо вони рухаються по круговим орбітам?

26. У чому полягає відмінність уточненого закону Кеплера від 3-го закону Кеплера?

27. У чому полягає відмінність сталої Гауса k від гравітаційної сталої Кавендіша G?

28. Яка точка називається вузлом орбіти? Скільки існує вузлів орбіти?

29. Який вузол орбіти називається висхідним?

30. Який рух небесного тіла називають прямим? Який зворотним?

31. Що називають апсидами та лінією апсид?

32. Скільки існує незалежних елементів орбіти? Чому?

33. Перелічіть незалежні Кеплерові елементи орбіти та поясніть, що вони визначають.

34. Що називають ефемеридою? Які бувають ефемериди?

35. Що називають середньою аномалією?

36. Що пов’язує рівняння Кеплера?

37. Чи виконується закон збереження секторної швидкості для параболічного руху?

38. Скільки незалежних елементів орбіти визначають рух небесного тіла по параболічній орбіті?

39. Як змінюється істинна аномалія при русі по гіперболічній орбіті?

40. Що називається гіперболічним надлишком швидкості?

41. Скільки незалежних елементів орбіти визначають рух небесного тіла по гіперболічній орбіті?

42. Як співвідносяться періоди обертання по барицентричним орбітам та їх ексцентриситети?

43. У чому полягає обмежена колова задача 3-х тіл?

44. Що називають нескінченно малим тілом?

45. Якщо у задачі 2-х тіл маса одного тіла нескінченно мала, тоді сила притягання його до другого тіла, виходячи з закону всесвітнього тяжіння, теж нескінченно мала. Тіло майже не притягується і повинно покинути систему. В чому тут помилка?

46. Скільки інтегралів руху потрібно знати для визначення руху тіла нескінченно малої маси в обмеженій коловій задачі 3-х тіл?

47. В чому полягає сенс інтеграла Якобі в обмеженій коловій задачі 3-х тіл?

48. Як визначаються поверхні нульової швидкості в обмеженій коловій задачі 3-х тіл?

49. Якщо стала Якобі зменшується, тоді область можливого руху тіла нескінченно малої маси збільшується, чи зменшується?

50. Як Хілл обґрунтував існування верхньої межі відстані між Місяцем та Землею?

51. Де лежать усі особливі точки поверхонь нульової швидкості в обмеженій коловій задачі 3-х тіл?

52. Як залежить розташування компланарних точок Лагранжа від співвідношення мас в обмеженій коловій задачі 3-х тіл?

53. Що називають збуренням у русі небесного тіла?

54. Що називають оскулюючими елементами орбіти?

55. В чому полягає сенс рівнянь Лагранжа в задачі N тіл?

56. Назвіть основні властивості дужок Лагранжа.

57. Дайте поняття вікових збурень у русі планет.

58. Сформулюйте теорему Лапласа-Лагранжа для Сонячної системи.

59. Як змінюється велика піввісь та ексцентриситет орбіти коли рух відбувається в розрідженому газовому середовищі?

60. Як впливає на елементи орбіти тіла тиск сонячного світла?

61. В чому полягає ефект Пойнтинга-Робертсона?

62. Чи діє ефект Пойнтинга-Робертсона на будь-яке тіло? Чому?

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

<table>
<tr><td colspan="10">Поточний контроль, самостійна робота</td><td>Підсумковий контроль</td><td>Сума балів</td></tr>
<tr><td colspan="8">Змістовний модуль 1
Поточний контроль на лекціях</td><td>Контрольна робота</td><td>Виконання і захист лабораторних робіт</td><td>Разом</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Т1</td><td>Т2</td><td>Т3</td><td>Т4</td><td>Т5</td><td>Т6</td><td>Т7</td><td>Т8</td><td></td><td></td><td rowspan="2">100</td><td></td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>34</td><td>50</td></tr>
<tr><td colspan="8">Змістовний модуль 2
Поточний контроль на лекціях</td><td></td><td></td><td rowspan="3">70</td><td rowspan="3">(Іспит)
30</td><td rowspan="3">100</td></tr>
<tr><td colspan="2">Т1</td><td colspan="2">Т2</td><td colspan="2">Т3</td><td colspan="2">Т4</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">2</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">2</td><td>22</td><td>40</td></tr>
</table>

Шкала оцінювання: національна та ECTS

<table>
<tr><td rowspan="2">Сума балів за всі види навчальної діяльності</td><td rowspan="2"></td><td colspan="2">Оцінка за національною шкалою</td></tr>
<tr><td>для для екзамену, курсового проекту (роботи), практики</td><td>для заліку</td></tr>
<tr><td>90 – 100</td><td>A</td><td>відмінно</td><td rowspan="5">зараховано</td></tr>
<tr><td>85-89</td><td>B</td><td rowspan="2">добре</td></tr>
<tr><td>75-84</td><td>C</td></tr>
<tr><td>70-74</td><td>D</td><td rowspan="2">задовільно</td></tr>
<tr><td>60-69</td><td>E</td></tr>
<tr><td>35-59</td><td>FX</td><td rowspan="2">незадовільно</td><td rowspan="2">не зараховано</td></tr>
<tr><td>1-34</td><td>F</td></tr>
</table>

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; силабус, конспекти лекцій; збірники задач: http://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/fmfit/dystsypliny, http://lib.onu.edu.ua http://phys.onu.edu.ua/uk/robochi-prohramy-navchalnykh-dystsyplin,

14. Рекомендована література

Основна

1. Александров Ю.В. Небесна механіка. Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, 2004.
2. Краснобокий Ю. М., Ткаченко І. А. Механіка небесних тіл: збірник задач. Умань : ФОП Жовтий О.О., 2014. – 174.
3. Beutler G. Methods of Celestial Mechanics. Vol.I: Physical, Mathematical, and Numerical Principles. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. − 472 p.
4. Beutler G. Methods of Celestial Mechanics. Vol.II: Application to Planetary System, Geodynamics and Satellite Geodesy. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. − 452 p.
5. Fitzpatrick R. An Introduction to Celestial Mechanics. Cambridge University Press, 2012. – 216 p.
6. David Morin. Introduction to Classical Mechanics. Cambridge University Press, 2008. – 719 p.

Додаткова

1. Pini Gurfil, P. Kenneth Seidelmann. Celestial Mechanics and Astrodynamics: Theory and Practice. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. – 533 p.
2. Chobotov V. Orbital mechanics. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Virginia. 2002. – 473 p.

15. Електронні інформаційні ресурси

1. http://dspace.onu.edu.ua
2. http://phys.onu.edu.ua
3. https://www.e-booksdirectory.com/listing.php?category=405
4. http://pds.nasa.gov