

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра астрономії та космічної інформатики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-  
педагогічної роботи

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Небесна механіка**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ бакалаврський \_\_\_\_\_  
галузь знань \_\_\_\_\_ 04. Природничі науки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
спеціальність \_\_\_\_\_ 104. Фізика та астрономія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
освітня програма \_\_\_\_\_ астрономія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
спеціалізація \_\_\_\_\_ астрономія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
вид дисципліни \_\_\_\_\_ обов'язкова \_\_\_\_\_  
(обов'язкова / за вибором)  
факультет \_\_\_\_\_ фізичний \_\_\_\_\_

2021 / 2022 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)

“ 31 ” \_\_\_\_\_ серпня \_\_\_\_\_ 2021\_ року, протокол № 7

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)  
Баннікова О.Ю., доктор фіз.-мат наук, ст. наук. співробітник, професор кафедри астрономії та космічної інформатики

Програму схвалено на засіданні кафедри астрономії та космічної інформатики

Протокол від “ 5 ” \_\_\_\_\_ липня \_\_\_\_\_ 2021 року № 12

Завідувач кафедри астрономії та космічної інформатики

\_\_\_\_\_ Шкуратов Ю. Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією  
\_\_\_\_\_ фізичного факультету \_\_\_\_\_  
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 31 ” \_\_\_\_\_ серпня \_\_\_\_\_ 2021\_ року № 1

Голова методичної комісії \_\_\_\_\_ фізичного факультету \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Макаровський М. О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Небесна механіка**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

бакалавра  
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напрямку) 104 фізика та астрономія

освітня програма астрономія

спеціалізації астрономія

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

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

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

- а) основні математичні та фізичні засади небесної механіки;
- б) сучасний стан у розвитку теорії потенціалу та динаміки матеріальних тіл в різноманітних системах;
- в) основні методи, що застосовуються при вивченні рухів небесних тіл з урахуванням збурень та релятивістських ефектів;
- г) сучасні методи швидкого обчислювання траєкторій в задачах багатьох тіл та дослідження стійкості гравітаційних систем.

#### 1.3. Кількість кредитів: 4

#### 1.4. Загальна кількість годин: 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	-й
Семестр	
6-й	-й
Лекції	
48 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
16 год.	год.
Лабораторні заняття	
год.	год.
Самостійна робота	
56 год.	год.
Індивідуальні завдання	

### 1.6. Заплановані результати навчання

- а) Знати основні математичні та фізичні засади небесної механіки;
- б) Знати основні методи, що застосовуються при вивченні рухів небесних тіл;
- в) Знати сучасний стан у розвитку теорії потенціалу та особливості гравітаційних полів для різного розподілу маси;
- г) Вміти розв'язувати рівняння руху для кеплерівського випадку та з урахуванням зовнішніх збурень;
- д) Вміти визначити положення та ефемериди небесних тіл для даних початкових умов;
- е) Вміти моделювати динаміку тіл Сонячної та галактичної систем;
- є) Вміти аналізувати наукову літературу з проблем небесної механіки, використовувати одержану інформацію для написання рефератів і підготовки доповідей;
- з) Вміти орієнтуватися серед астрономічної інформації, аналізувати факти, що наводяться в наукових джерелах і засобах масової інформації;

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### *Розділ 1. Теорія гравітаційного потенціалу*

#### *Тема 1. Потенціал простих тіл та методи його визначення.*

Зміст: Поняття гравітаційного потенціалу. Теорема Гаусса. Методи визначення потенціалу, теорема Дірихле для гравітаційного потенціалу. Потенціал сфери, шару, матеріальної окружності, диску. Теорема Ньютона для гравітуючої оболонки. Потенціал еліпсоїда та тороїда. Теорема Лапласа для еліпсоїда.

#### *Тема 2. Потенціал об'ємних тіл з довільним розподілом густини.*

Зміст: Потенціал об'ємних тіл з довільним розподілом густини: постановка задачі. Розкладання потенціалу в ряд за поліномами Лежандра. Ряд Лапласа. Гравітаційний потенціал планет.

### *Розділ 2. Задача багатьох тіл та задача двох тіл.*

#### *Тема 3. Задача багатьох тіл*

Зміст: Задача багатьох тіл в різних системах координат. Рівняння руху в задачі багатьох тіл. Перші інтеграли задачі багатьох тіл. Сучасні чисельні методи рішення задачі N-тіл.

#### *Тема 4. Задача двох тіл.*

Зміст: Рівняння руху в задачі двох тіл в різних системах координат та перші інтеграли. Загальний розв'язок задачі двох тіл. Задача двох тіл в відносній системі координат, інтеграл Лапласа. Зв'язок з законами Кеплера. Рівняння в канонічних перемінних. Ефективний потенціал. Кеплерівські елементи орбіти та і класифікація рухів в задачі двох тіл.

#### *Тема 5. Окремі випадки кеплерівського руху.*

Зміст: Еліптичний рух. Орбітальна система координат. Рівняння Кеплера. Визначення координат та швидкості. Метод розрахунку ефемерид небесних тіл на довільний момент часу. Гіперболічний рух. Коловий рух. Параболічний рух. Прямолінійний рух.

*Тема 6. Ряди еліптичного руху.*

Зміст: Ряди за ступенями ексцентриситету. Визначення радіусу збіжності. Тригонометричні ряди. Розкладання в ряд Фур'є. Основні вирази для координат в орбітальній системі координат.

*Тема 7. Додаткові питання задачі двох тіл.*

Зміст: Метод Гамільтона-Якобі для задачі двох тіл. Рух під дією центральної сили. Метрика Шварцшильда. Релятивістська задача двох тіл. Динаміка та стабільність в гравітаційному полі чорної діри. Релятивістське зміщення перигелію Меркурія.

**Розділ 3. Основи теорії збуреного руху.***Тема 8. Збурений рух.*

Зміст: Поняття збуреного руху. Метод оскулюючих елементів. Диференціальні рівняння для оскулюючих елементів.

*Тема 9. Методи інтегрування рівнянь збуреного руху.*

Зміст: Методи наближень та малого параметру. Вікові та періодичні збурення. Метод осереднення. Еволюційні рівняння.

*Тема 10. Стійкість руху в небесній механіці.*

Зміст: Поняття про стійкість руху. Основи теорії стійкості по Ляпунову. Теорема Лапласа про стійкість Сонячної системи. Сучасний стан проблеми стійкості руху тіл Сонячної системи.

*Тема 11. Задача трьох тіл.*

Зміст: Обмежена кругова задача трьох тіл. Точки Лагранжа та їх стійкість. Інтеграл Якобі. Лінії та поверхні Хілла. Гравітаційні резонанси в Сонячній системі. Елементи теорії руху Місяця.

**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	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b><i>Розділ 1. Теорія гравітаційного потенціалу</i></b>												
Тема 1.	9	4	1	-		4						
Тема 2.	9	4	1	-		4						
Разом за розділом 1	18	8	2	-		8						
<b><i>Розділ 2. Задача багатьох тіл та задача двох тіл.</i></b>												
Тема 3.	11	4	1	-		6						
Тема 4.	12	4	2	-		6						
Тема 5.	12	4	2	-		6						
Тема 6.	9	3	1	-		5						
Тема 7.	8	2	1	-		5						
Разом за розділом 2	52	17	7	-		28						

<b>Розділ 3. Основи теорії збуреного руху.</b>												
Тема 8.	11	5	1	-		5						
Тема 9.	13	6	2	-		5						
Тема 10.	13	6	2	-		5						
Тема 11.	13	6	2	-		5						
Разом за розділом 3	50	23	7	-		20						
<b>Усього годин</b>	120	48	16			56						

#### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Задача багатьох тіл.	1
2	Задача двох тіл.	1
3	Окремі випадки кеплерівського руху.	1
4	Ряди еліптичного руху.	2
5	Додаткові питання задачі двох тіл.	2
6	Збурений рух.	1
7	Методи інтегрування рівнянь збуреного руху.	1
8	Стійкість руху в небесній механіці.	1
9	Задача трьох тіл.	2
10	Точки Лагранжа та їх стійкість	2
11	Гравітаційні резонанси в Сонячній системі	2
	Разом	16

#### 5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методи визначення гравітаційного потенціалу.	4
2	Гравітаційний потенціал планет.	4
3	Сучасні чисельні методи рішення задачі N-тіл.	6
4	Загальний розв'язок задачі двох тіл.	6
5	Метод розрахунку ефемерид на довільний момент часу.	6
6	Ряди за ступенями ексцентриситету.	5
7	Релятивістська задача двох тіл.	5
8	Метод оскулюючих елементів.	5
9	Вікові та періодичні збурення.	5
10	Основи теорії стійкості	5
11	Точки Лагранжа та їх стійкість	5
	Разом	56

#### 6. Індивідуальні завдання

#### 7. Методи контролю

Лекції, практичні заняття, індивідуальні завдання та самостійна робота.

## 8. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота											Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Разом	Екзамен (залікова робота)	Сума
Розділ 1	Розділ 2						Розділ 3							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11				
5	5	4	4	4	5	5	5	5	4	4	10	60	40	100

T1, T2 ... T12 – теми розділів.

## Шкала оцінювання

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

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основне задачи и методы. 1963.
2. Л.Д. Ландау, И.Е.Лифшиц Механика, М.: Наука, 1965
3. Александров Ю.В. Небесна механіка. Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, - 2004
4. Субботин М.Ф. Курс небесной механики. Т.3, Гостехиздат, 1949
5. К.Мюррей, С.Дермотт Динамика Солнечной системы / Пер. с англ. Под ред. И. И. Шевченко. -М.:ФИЗМАТЛИТ.-2010.-588с.
6. Смарт У.М. Небесная механика, М.: Мир, 1965

### Допоміжна література

1. Рой А. Движение по орбитам, 1981
2. Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел, М., 1977
4. Диаку Ф., Холмс Ф. Небесне зустрічі. Ітоги хаосу и устойчивости. М., 2004

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

1. <http://www.astron.kharkov.ua/> - Сайт НДІ астрономії ХНУ імені В.Н. Каразіна.
2. Електронна бібліотека НДІ астрономії ХНУ імені В.Н. Каразіна.
3. Вікіпедія – електронна бібліотека.
4. <http://www.planetary.org/> - Сайт астрономів Планетної спілки.
5. <http://pds.nasa.gov/> - Сайт Планетної бази даних (США).