

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра астрономії та космічної інформатики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан (директор навчально-наукового інституту)

фізичного факультету

(вказати назву структурного підрозділу)

Руслан ВОВК

(вказати П.І.Б керівника)

30 Серпня 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Астрометрія

(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

2023 / 2024 навчальний рік

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

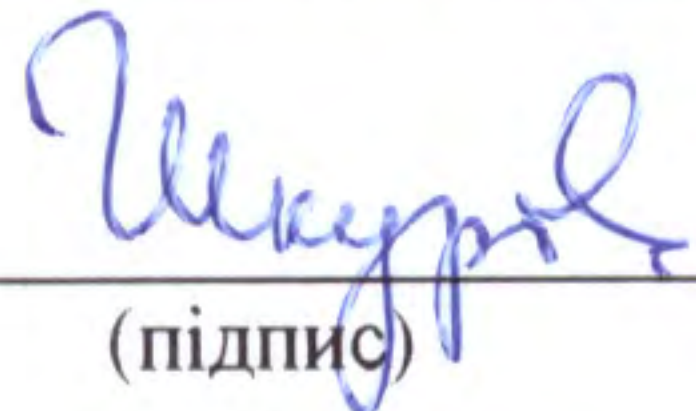
“ 30 ” серпня 2023 року, протокол № 6

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

Програму схвалено на засіданні кафедри астрономії та космічної інформатики

Протокол від “ 28 ” серпня 2023 року № 1

Завідувач кафедри астрономії та космічної інформатики

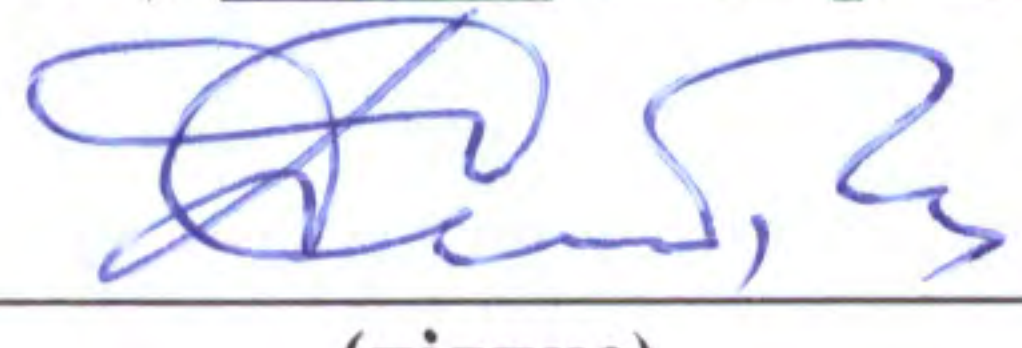


 (підпис)

Шкуратов Ю. Г.
 (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) _____
«Астрономія»
 назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
 (керівник проектної групи) _____
«Астрономія»



 (підпис)

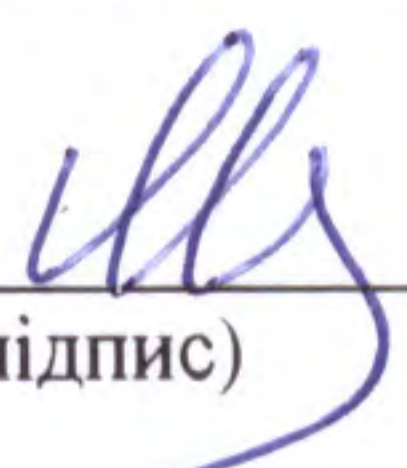
Станкевич Д.Г.
 (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією
фізичного факультету

 назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 29 ” серпня 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету



 (підпис)

Макаровський М. О.
 (прізвище та ініціали)

ВСТУП

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

бакалавра

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напряму) 104 фізика та астрономія
освітня програма астрономія
спеціалізації: астрономія

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є ознайомлення студентів з основними задачами, поняттями, інструментами та методами астрометрії, з створенням сучасних теоретичних систем відліку та їх практичними реалізаціями

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями дисципліни є вивчення

- 1) астрометричних інструментів і їх обладнання;
- 2) приймачів випромінювання, що використовуються в астрометрії;
- 3) методів спостережень і обробки астрометричних даних;
- 4) методів створення практичних реалізацій систем відліку в різних діапазонах довжин хвиль;
- 5) теорії обертання Землі.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- 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 складністю та невизначеністю умов (ІК).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків (ЗК-9).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).

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 | |
| 2-й | -й |
| Семестр | |
| 3-4-й | -й |
| Лекції | |
| 36 год. | год. |
| Практичні, семінарські заняття | |
| 16 год. | год. |
| Лабораторні заняття | |
| — | год. |
| Самостійна робота | |
| 68 год. | год. |
| В тому числі індивідуальні завдання | |
| 16 год. | |

1.6. Заплановані результати навчання

- Знати основні астрометричні інструменти та їх використання.
- Знати основні системи координат та їх застосування при визначенні координат.
- Вміти визначати астрометричні параметри об'єктів за даними спостережень на різних астрометричних інструментах, оснащених різними приймачами випромінювання;
- Вміти користуватись даними сучасних астрометричних каталогів, що містяться в різних базах даних;
- Вміти виконувати їх редукцію та проводити астрометричний, кінематичний та фотометричний аналіз.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні 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 (ПРН-1).
- Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них (ПРН-2).
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН-3).
- 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 (ПРН-4).
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).

- Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики та астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи (ПРН-9).
- Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів (ПРН-10).
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).
- Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження (ПРН-12).
- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень (ПРН-13).
- Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини (ПРН-14).
- Знати, аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних і астрономічних явищ, наукових досліджень та процесів (природних і штучних) на навколишнє природне середовище та на здоров'я людини (ПРН-15).
- Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів (ПРН-16).
- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН-17).
- Володіти державною та іноземною мовами на рівні, достатньому для усного і письмового професійного спілкування та презентації результатів власних досліджень (ПРН-18).
- Знати та розуміти необхідність збереження та примноження моральних, культурних та наукових цінностей і досягнень суспільства (ПРН-19).
- Знати і розуміти свої громадянські права і обов'язки, як члена вільного демократичного суспільства, мати навички їх реалізації, відстоювання та захисту (ПРН-20).
- Розуміти основні принципи здорового способу життя та вміти застосовувати їх для підтримки власного здоров'я та працездатності (ПРН-21).
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН-22).
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).
- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН-24).
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Проблема встановлення інерціальної системи відліку.

Тема 1. Основні астрометричні інструменти.

Зміст: Предмет, цілі та проблеми астрометрії. Зв'язок астрометрії із суміжними науками. Сучасні астрометричні телескопи. Астрометричні спостереження на телескопах в різних діапазонах спектру.

Тема 2. Міжнародна небесна система координат ICRS.

Зміст: Проблема встановлення інерціальної системи відліку. Міжнародна небесна система координат ICRS. Її реалізація в радіо діапазоні (ICRF), використання, підтримка і доступність. Інші реалізації (оптичний та близький інфрачервоний діапазон).

Тема 3. Динамічна система координат.

Зміст: Принципові відмінності між кінематичними та динамічними системами відліку. Проблема узгодження динамічної системи відліку з ICRF. Сучасні уявлення про рівень випадкових і систематичних помилок в реалізаціях ICRS.

Розділ 2. Методи визначення астрометричних параметрів світил, що спостерігаються

Тема 4. Визначення координат світил із наземних та космічних спостережень.

Зміст. Абсолютний і відносний методи визначення координат. Меридіанні спостереження і меридіанні інструменти. Специфіка спостережень на некласичних меридіанних кругах. Спостереження за допомогою астрографів.

Тема 5. Теорія та практика редуцій спостережних даних

Зміст: Огляд найбільш уживаних моделей. Помилки астрометричної редуції в загальному вигляді.

Тема 6. Визначення власних рухів зір.

Зміст: Меридіанні, фотографічні та космічні власні рухи зір. Точність власних рухів. Визначення поправок прецесії, кінематичних параметрів та параметрів галактичного обертання із спостережень.

Тема 7. Визначення положень і власних рухів зір із космічних спостережень.

Зміст: Короткий огляд редуційних перетворень в проектах Hipparcos та GAIA.

Розділ 3. Теорія обертання Землі.

Тема 8. Загальні рівняння руху абсолютно твердого тіла.

Зміст: Загальні міркування до побудови теорії. Кінематичні і динамічні рівняння Ейлера. Кінематична картина обертання Землі. Рух полюса і його вплив на визначення географічних координат.

Тема 9. Параметри обертання Землі.

Зміст: Вимірювальна апаратура та спостережні величини. Спостереження штучних супутників Землі. Доплерівський метод, лазерна дальнометрія, GPS (глобальна система позиціонування) та радіо-інтерферометричні методи.

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. Проблема встановлення інерціальної системи відліку. | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. | 11 | 4 | 0 | | 1 | 7 | | | | | | |
| Тема 2. | 9 | 4 | 0 | | 1 | 5 | | | | | | |
| Тема 3. | 9 | 4 | 0 | | 2 | 5 | | | | | | |
| Разом за розділом 1 | 29 | 12 | 0 | | 4 | 17 | | | | | | |
| Розділ 2. Методи визначення астрометричних параметрів світил, що спостерігаються | | | | | | | | | | | | |
| Тема 4. | 13 | 3 | 2 | | 2 | 8 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----|----|----|--|----|----|--|--|--|--|--|
| Тема 5. | 15 | 3 | 2 | | 2 | 10 | | | | | |
| Тема 6. | 15 | 3 | 2 | | 2 | 10 | | | | | |
| Тема 7. | 13 | 3 | 2 | | 2 | 8 | | | | | |
| Разом за розділом 2 | 56 | 12 | 8 | | 8 | 36 | | | | | |
| Розділ 3. Теорія обертання Землі. | | | | | | | | | | | |
| Тема 8. | 14 | 8 | 4 | | 2 | 2 | | | | | |
| Тема 9. | 21 | 4 | 4 | | 2 | 13 | | | | | |
| Разом за розділом 3 | 35 | 12 | 8 | | 4 | 15 | | | | | |
| Усього годин | 120 | 36 | 16 | | 16 | 68 | | | | | |

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1 | Визначення параметрів орієнтування меридіанного круга за допомогою лабораторних методів (колімація, азимут та нахил горизонтальної осі) | 2 |
| 2 | Знайомство з методами визначення положень, власних рухів і паралаксів зір. Знаходження опорних зір і визначення їх вимірних координат. | 3 |
| 3.. | Знайомство з базою астрометричних даних на основі SQL. Формування різноманітних запитів до бази даних. | 2 |
| 4 | Знайомство з універсальним інструментом. Визначення за його допомогою зенітних відстаней та азимутів. | 3 |
| 5 | Вирішення однорідних та неоднорідних рівнянь Ейлера для знаходження вільного та вимушеного обертання Землі. | 4 |
| 6 | Знайомство з методами спостереження штучних супутників Землі. | 2 |
| | Разом | 16 |

5. Завдання для самостійної робота

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1 | Фундаментальні поняття астрометрії. Рівнодення та епоха каталога. | 7 |
| 2 | Фундаментальні поняття астрометрії. Системи координат в Ньютонівській, СТВ та ЗТВ. Відмінності ICRS від FK5. | 5 |
| 3 | Реалізація динамічної системи відліку. | 5 |
| 4 | Спостережні засоби астрометрії. Цілі і задачі астрометричних проектів Hipparcos та GAIA. | 6 |
| 5 | Аналіз астрометричних каталогів зірок і позагалактичних об'єктів. Модель жорсткого взаємного обертання двох систем відліку. | 6 |
| 6 | Вивчення систематичних різниць каталогів сучасними методами. | 6 |
| 7 | Систематичні різниці між власними рухами каталогів ХРМ та РМА та власними рухами каталогів системи Hipparcos | 6 |
| 8 | Кінематичний аналіз зірок каталогів. Моделі Оорта-Лінблада та Огороднікова- Мілна. | 7 |
| 9 | Доплерівський метод, лазерна дальнометрія, GPS (глобальна система позиціонування) та радіо-інтерферометричні методи. | 4 |
| 10 | Індивідуальні завдання | 16 |
| | Разом | 68 |

6. Індивідуальні завдання

16 годин на підготовку курсової роботи у форматі доповіді (презентації).

(Орієнтовні назви курсових робіт)

1. Проблеми сучасної астрометрії. Побудова ICRS.
2. Радіоінтерферометрія з наддовгими базами. Система ICRF, ICRF.ext, ICRF2, ICRF3.
3. Космічна астрометрія. Місія "HIPPARCOS" та її результати.
4. Космічна астрометрія. Місія "GAIA" та її результати станом на 2018 рік.
5. Космічна астрометрія. Каталог TGAS та його характеристики.
6. Сучасні каталоги положень і власних рухів зір.
7. Лазерні і доплерівські спостереження ШСЗ.
8. Позиційні спостереження за допомогою ПЗЗ - пристроїв.
9. Вивчення нерівномірності обертання Землі навколо своєї осі.
10. Вивчення руху полюсів по поверхні Землі.
11. Використання сучасних телескопів, для астрометричних цілей.

7. Методи навчання

Лекції, практичні, індивідуальні завдання та самостійна робота.

8. Методи контролю

Поточне тестування на лекціях, контрольна робота за розділами 1-3 та 4-7, екзамен.

9. Схема нарахування балів

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | | | | | | | Контрольна робота, передбачена навчальним планом | Індивідуальне завдання | Разом | Екзаменаційна робота | Сума |
|--|----|----|----------|----|----|----|----------|----|----|--|------------------------|-------|----------------------|------|
| Розділ 1 | | | Розділ 2 | | | | Розділ 3 | | | | | | | |
| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | 1 | | | | | 100 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 10 | | 20 | 60 | 40 | 100 |

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку, або екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 30 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Користуючись загальними критеріями оцінювання рівня сформованості знань, умінь та навичок, ступеня сформованості системи професійних компетенцій осіб, які навчаються для здобуття освітнього ступеня бакалавра, встановленими Міністерством освіти і науки України, виходячи зі Стандарту вищої освіти бакалавра Міністерства освіти і науки України за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія та його складової «Засоби діагностики якості вищої освіти», та у відповідності до Положення про організацію навчального процесу в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна встановлюються такі вимоги до проведення та критерії оцінювання екзамену зі спецкурсу «Астрометрія»:

1. Екзаменаційна робота проводиться у письмовій формі.

2. Термін виконання завдань три аудиторні години, після чого студент передає відповідь викладачу.
3. Оцінка за виконання екзаменаційної роботи виставляється за шкалою оцінювання від 1 до 40 балів.
4. Оцінка за весь семестр роботи виставляється за шкалою оцінювання від 1 до 100 балів, як сума балів за навчальну діяльність студента протягом семестру, бали за контрольну роботу та екзаменаційну роботу.

| Бали | Критерії оцінювання виконання завдань |
|---------------------|---|
| 90-100 Балів | Відповідь на контрольні та екзаменаційні питання правильна, обґрунтована, логічна, містить аналіз і систематизацію, зроблені аргументовані висновки. |
| 70-89 Балів | У відповідях на контрольній та екзаменаційній роботах відтворюється значна частина питання. Студент виявляє знання і розуміння основних положень з навчальної дисципліни, певною мірою може аналізувати матеріал, порівнювати та робити висновки. |
| 50-69 Балів | Відповіді на контрольній та екзаменаційній роботах відтворюють основні положення питання на рівні запам'ятовування без достатнього розуміння. |
| 0-49 Балів | Відповіді на контрольній та екзаменаційній роботах дані неправильно, безсистемно, з грубими помилками, відсутні розуміння основної суті питань. |

5. Студенту зараховується екзамен, якщо кількість балів складає не менше 50.

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 |

10. Рекомендована література

1. Павленко П.П. Методичні вказівки до навчальної практики з астрометрії. Харків: ХНУ, 2002.
2. Андрієвський С.М., Кузьменков С.Г., Захожай В.А., Климишин І.А. Курс загальної астрономії: підручник. –Харків: ПромАрт, 2019. –524 с.
3. Астрономія. І.А. Климишин та інш. Одеса, Астропринт, 2012, 352 с.

4. Астрономічний енциклопедичний словник // за заг. ред. І.А. Климишина та А.О. Корсунь. – Львів, 2003. – 548 с.
5. Moritz H., Mueller I.I. Earth rotation: Theory and observation. New York. 1987. 512 p.
6. Perryman M.A.C., et al., The Hipparcos and Tycho Catalogues, vol. 1-17, ESA. 1997.
7. Дума Д.П. Загальна астрометрія: навчальний посібник. - Київ: Наукова Думка, 2007. - 599

8.

11. 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://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat> – Міжнародна база даних в Страсбурзі.
5. <http://www.usno.navy.mil/usno/astrometry> (США). Сайт астрометричних даних в USNO.
6. <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/earlydr3>