

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Фізичний факультет**  
**Кафедра астрофізики**

**Затверджено**

На засіданні кафедри астрофізики  
фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка  
(протокол № 1 від 30 серпня 2023 р.)

Завідувач кафедри  Богдан МЕЛЕХ

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**« Супутникова навігація »,**  
**що викладається в межах ОНП «Теоретична фізика та астрофізика»,**  
**ОНП «Експериментальна фізика»**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів зі спеціальності 104 Фізика та астрономія**

**Львів 2023**

<b>Назва курсу</b>	Супутникова навігація
<b>Адреса викладання курсу</b>	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра астрофізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	10 Природничі науки, 104 Фізика та астрономія
<b>Викладачі курсу</b>	Лектор: Новосядлий Богдан Степанович, директор Астрономічної обсерваторії, професор кафедри астрофізики, докт. фіз.-мат. наук, чл.-кор. НАН України.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:bohdan.novosyadlyj@lnu.edu.ua">bohdan.novosyadlyj@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/novosyadlyj-bohdan-stepanovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/novosyadlyj-bohdan-stepanovych</a> <a href="mailto:stepan.apunevych@lnu.edu.ua">stepan.apunevych@lnu.edu.ua</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації за попередньою домовленістю. Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/suputnykova-navihatsiia-satellite-navigation">https://physics.lnu.edu.ua/course/suputnykova-navihatsiia-satellite-navigation</a> Команда в MS Teams <a href="https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a29be54b4338840aebec5460846881a2c%40thread.tacv2/conversations?groupId=ae179ed9-a473-45ea-b5a7-1a254c1458de&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf">https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a29be54b4338840aebec5460846881a2c%40thread.tacv2/conversations?groupId=ae179ed9-a473-45ea-b5a7-1a254c1458de&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf</a>
<b>Інформація про курс</b>	Дисципліна «Супутникова навігація» є вибірковою дисципліною для підготовки магістрів за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, яка викладається в I–II семестрах в обсязі 3.5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація курсу</b>	Курс розроблений для ознайомлення магістрів із принципами роботи, організації та застосування Глобальних Навігаційних Супутникових Систем (ГНСС). Курс покликаний викласти студентам основи астрономії та геодезії (системи відліку та обертання Землі), наук про Землю, космонавтики (контроль орбіт), експериментальної фізики (надточні атомні годинники), радіофізики, обробки сигналів та інформаційних технологій, інженерних наук у загальному контексті Глобальних Навігаційних Супутникових систем (GNSS). Розуміння принципів проєктування та роботи таких складних інженерних систем має показати магістрам-фізикам прикладну цінність фізичних наук та виробити навички необхідні для застосування навігації на практиці. Окрім загальних підвалін, у курсі також вивчаються конкретні особливості роботи та використання наявних імплементацій навігаційних систем (GPS, Galileo, Глонасс та ін.). Також цей курс слугує фундаментом для укріплення боєздатності України в умовах сучасної технологічної війни, оскільки супутникова навігація разом із іншими інформаційними технологіями має широке застосування на полі бою.
<b>Мета та цілі курсу</b>	<b>Головна мета курсу:</b> Навчити студента користуватися навігаційними системами для розв'язання практичних завдань, із розумінням принципів роботи таких систем. <b>Цілі курсу:</b> 1. Подати основні відомості про астрономічні та геодезичні системи відліку і їхні реалізації;

	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Вивчити особливості обертання Землі, системи лічби часу та міжнародні стандарти у цій галузі;</li> <li>3. Викласти основні методи геодезії та геодинаміки у контексті визначення місцеположення та навігації;</li> <li>4. Навчити читати карти та розуміти основи картографії;</li> <li>5. Викласти основи космонавтики та контролю орбіт;</li> <li>6. Вивчити методи радіонавігації та їх принципові характеристики та обмеження;</li> <li>7. Розуміти структуру сигналу GPS, типи даних що передаються, та якими саме алгоритмами обчислюється місцеположення;</li> </ol>
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<p><b>Базова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гофманн-Велленгоф Б., Легат К., Візер М. <i>Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування</i>. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2006.</li> <li>2. Дума Д. П. <i>Загальна астрометрія: навчальний посібник</i>. К.: Наукова думка, 2007.</li> <li>3. Bernhard Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger, Elmar Wasle. <i>GNSS – Global Navigation Satellite Systems. GPS, GLONASS, Galileo, and more</i>. Springer 2008.</li> </ol> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oliver Montenbruck , Eberhard Gill, <i>Satellite Orbits. Models, Methods and Applications</i>. Springer, 2000 (<a href="https://www.researchgate.net/publication/230873238_Satellite_Orbits">https://www.researchgate.net/publication/230873238_Satellite_Orbits</a>)</li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	два семестри
<b>Обсяг курсу</b>	105 годин, з них 32 годин лекцій, 73 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• розуміти принципи роботи навігаційних систем;</li> <li>• вміти використовувати на практиці супутникові навігаційні системи;</li> <li>• вміти використовувати карти для орієнтування та планування маршруту;</li> <li>• розуміти системи лічби часу та вміти перераховувати час між ними;</li> <li>• розуміти основні астрономічні явища та вміти їх використовувати для орієнтування на місцевості та у часі;</li> <li>• розуміти основні проблеми які можуть виникнути під час використання GNSS та способи їх вирішення</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Глобальні Навігаційні Супутникові системи; навігація; штучні супутники Землі; геодезія; визначення положення; астрометрія; контроль орбіт
<b>Формат курсу</b>	Очний. Проведення лекцій, самостійних робіт та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у табл. 1
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік в кінці I семестру Залік в кінці II семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін астрономія, науки про Землю, картографія
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач, підготовка доповідей.

Необхідне обладнання	Персональний комп'ютер, мобільний пристрій із навігаційними можливостями, проектор.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою в кожному семестрі. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• виконання семестрових самостійних робіт (задач) за темами змістовних модулів (ЗМ): <math>2 \times 20 = 40</math> балів. Кожна самостійна робота оцінюється за 5-бальною шкалою, відповідно до таких критеріїв: <ul style="list-style-type: none"> <li>5 — результатом виконання самостійної роботи є правильна відповідь з описом етапів розв'язання в обсязі 81%–100% і з урахуванням акуратності оформлення,</li> <li>3–4 — результатом виконання роботи є правильна відповідь з описом етапів розв'язання в обсязі 61%–80%, або завдання виконано в обсязі 61%–80% і не доведено до кінця, або в процесі виконання допущені помилки, які не дозволили отримати правильну відповідь, або завдання виконане неакуратно, зі змістовними і текстовими помилками;</li> <li>1–2 — результатом виконання завдання є правильна відповідь, але описом етапів розв'язання представлено в обсязі 20%–60%, або завдання виконано в обсязі 20%–60% і не доведено до кінця, або в процесі виконання допущені помилки, які не дозволили отримати правильну відповідь, або завдання виконане неакуратно, зі змістовними і текстовими помилками,</li> <li>0% — самостійна робота не виконана, або виконана неправильно;</li> </ul> </li> <li>• контрольні роботи з двох ЗМ: <math>2 \times 30 = 60</math> балів. Кожна контрольна містить три теоретичні питання, три практичні (задачі), кожне з яких оцінюється за 5-бальною шкалою, відповідно до таких критеріїв: <ul style="list-style-type: none"> <li>5 — питання викладено правильно і повністю, практичне завдання виконане повністю;</li> <li>3–4 — повнота викладення 60%–80%, практичне завдання (задача) виконане частково, на 60%–80%;</li> <li>1–2 — рівень володіння матеріалом 20%–40%, практичне завдання виконане на 20%–40%;</li> <li>0 — студент повністю неправильно виклав теоретичне питання, або ж зовсім не надав на нього відповіді, практичне завдання без відповіді, або цілком неправильний підхід до розв'язання.</li> </ul> </li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність</b> здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p><b>Відвідування занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку</p>

	<p>студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Усю літературу, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані на поточному контролі і лекційна активність в режимі запитання-відповідь. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Незадовільну оцінку (0 балів) студент отримує за відсутність на лекціях без поважних причин, невірні або відсутні відповіді на контрольних опитуваннях чи у письмових контрольних роботах.</p> <p><b>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</b></p>
<p><b>Питання до тестування (зразок)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які головні задачі астрометрії?</li> <li>2. Що таке ефемериди?</li> <li>3. Які проблеми потрібно вирішити спостерігачу на поверхні Землі для точних астрометричних спостережень?</li> <li>4. Чи можна множити матриці різних розмірностей?</li> <li>5. Чим відрізняється система відліку від системи координат?</li> <li>6. Яка ключова відмінність між горизонтальною і екваторіальною системами астрономічних координат?</li> <li>7. Для чого ввели систему Всесвітнього координованого часу UTC ?</li> <li>8. В чому суть явища прецесії?</li> <li>9. Чим характерний період 18.6 років?</li> <li>10. Чи можна описати Землю як абсолютно пружне тіло?</li> <li>11. Якою геометричною фігурою приблизно описуються орбіти супутників Землі? Які параметри використовуються для її опису?</li> <li>12. Що таке геостационарна орбіта?</li> <li>13. Назвіть кілька будь-яких супутників, згадайте їх призначення</li> <li>14. Що таке геоїд? Що він описує?</li> <li>15. Для чого геодезичний датум?</li> <li>16. Які види картографічних проєкцій Ви знаєте?</li> <li>17. Яким методом визначають місцеположення у системах супутникової навігації?</li> <li>18. У якому частотному діапазоні працюють супутникові навігаційні системи? Чому?</li> <li>19. Яка модуляція використовується у радіосигналі GPS?</li> <li>20. Що таке PRN? Яке його призначення?</li> </ol>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

## Схема курсу «Супутникова навігація»\*

Тиж- день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
<b>I семестр</b>			
<i><b>Змістовий модуль 1</b></i>			
1–2	Вступ до супутникової навігації. <b>Література:</b> Б2	Лекції — 2 год, самостійна робота — 4 год	2 тижні
3–4	Основи астрометрії <b>Література:</b> Б2, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 4 год	2 тижні
5–6	Математичний апарат для систем координат <b>Література:</b> Б2, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 4 год	2 тижні
7–8	Астрономічні системи координат <b>Література:</b> Б2, Б3	Лекції — 1.5 год, контр. роб. — 0.5 год, самостійна робота — 4 год	2 тижні
<i><b>Змістовий модуль 2</b></i>			
9–10	Системи лічби часу <b>Література:</b> Б2, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 4 год	2 тижні
11–12	Обертання Землі <b>Література:</b> Б1, Б2, Б3, Д1	Лекції — 2 год, самостійна робота — 4 год	2 тижні
13–16	Орбіти <b>Література:</b> Б1, Б2, Б3, Д1	Лекції — 3.5 год, контр. роб. — 0.5 год, самостійна робота — 9 год	4 тижні
<b>II семестр</b>			
<i><b>Змістовий модуль 3</b></i>			
1–2	Штучні супутники Землі <b>Література:</b> Б1, Б3, Д1	Лекції — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
3–4	Основи геодезії <b>Література:</b> Б1, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
5–6	Мапи і картографія <b>Література:</b> Б1, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
7–8	Позиціонування і навігація: основні методи <b>Література:</b> Б1, Б3	Лекції — 1.5 год, контр. роб. — 0.5 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
<i><b>Змістовий модуль 4</b></i>			
9–10	GPS: загальна структура системи <b>Література:</b> Б1, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
11–12	GPS: структура сигналу <b>Література:</b> Б1, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
13–14	GPS: особливості та обмеження <b>Література:</b> Б1, Б3	Лекції — 2 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні
15–16	Galileo <b>Література:</b> Б1, Б3	Лекції — 1.5 год, контр. роб. — 0.5 год, самостійна робота — 5 год	2 тижні

\* Поклики на літературу подано відповідно до переліку базової (Б) та допоміжної (Д) літератури.