

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет

Кафедра оптики



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Оптична метрологія та стандартизація
для студентів

галузь знань **15 Автоматизація та приладобудування**
спеціальність **152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка**
освітній рівень **бакалавр**
освітня програма **Оптотехніка**
вид дисципліни **Обов'язкова**

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2022/2023
Семестр	6
Кількість кредитів ECTS	3
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі: Поперенко Леонід Володимирович

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробник(и): Поперенко Леонід Володимирович., д.ф.-м.н., професор, зав. кафедри оптики

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри  Леонід ПОПЕРЕНКО

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 13 від « 19 » Травня 20__ р.

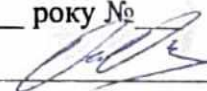
Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету _____

Протокол від « ____ » _____ 20__ року №

Голова науково-методичної комісії _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

 (Мих. В. Я.)

1. Мета дисципліни – вивчення метрології як науки про вимірювання, методи обробки результатів вимірювань, методи та засоби забезпечення їх єдності та точності, про підходи до використання оптичних методів діагностики і контролю в засобах вимірювання, а також вивчення загальних засад контролю якості і стандартизації в Україні.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати основні принципи повірки, калібрування та метрологічної атестації засобів вимірювальної техніки; розрахунку оптичних систем і закони фізичної оптики стосовно явищ інтерференції, дифракції, когерентності світла при формуванні зображення в приладах оптотехніки

2. Вміти запропонувати оптичні схеми для експериментального лазерного устаткування з розрахунком точності відтворення еталонів довжини в широкому інтервалі її значень і метрологічним забезпеченням прецизійних вимірювань товщин пліткових наносистем методами фотоелектричної еліпсометрії та лазерної інтерферометрії

3. Володіти навичками проведення оптико-фізичних вимірювань з заданою точністю, реалізації прецизійних кутових, азимутальних та спектральних еліпсометричних вимірювань для розрахунку в нанометровому інтервалі товщин і оптичних сталих напівпровідникових гетероструктур і тонких плівок з металевими шарами для потреб плазмоніки і фотовольтаїки

3. Анотація навчальної дисципліни:

“Оптична метрологія та стандартизація” включає вивчення розділів: метрологія- наука про вимірювання, принципи розробки і побудови оптичних засобів вимірювання, спектроскопічні передумови прецизійного вимірювання малих довжин і розмірів нанооб’єктів, методи інженерного розрахунку оптичних засобів вимірювання і контролю якості наноматеріалів, техніка оптичних спектральних вимірювань, основні принципи побудови спектрометрів, метрологічне забезпечення оптичних поляризаційних вимірювань в режимі їхньої автоматизації засобами комп’ютерно-інтегрованих систем.

4. Завдання (навчальні цілі):

Основне завдання курсу – ознайомлення студентів з об’єктами стандартизації в Україні та закордоном, нововведеннями для реалізації еталонів в міжнародній системі одиниць, фізичними засадами метрологічного забезпечення оптичних вимірювань нанооб’єктів методами і засобами фотометричних, інтерферометричних, просторово-частотних, фур’є-спектрометричних і поляриметричних вимірювань. В подальшому під час проходження літньої ознайомчої практики на виробничих підприємствах ознайомитися із відповідним метрологічним устаткуванням та стандартним обладнанням для оптичних вимірювань.

Перелік компетентностей:

Загальні компетентності

ЗК1. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК10. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт

Фахові компетентності спеціальності

ФК6. Здатність виконувати технічні операції при випробуванні, повірці, калібруванні та інших операціях метрологічної діяльності.

ФК7. Здатність до забезпечення метрологічного супроводу технологічних процесів та сертифікаційних випробувань.

ФК8. Здатність здійснювати технічні заходи із забезпечення метрологічної простежуваності, правильності, повторюваності та відтворюваності результатів вимірювань і випробувань за міжнародними стандартами.

ФК9. Здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об’єктах.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Знати основні об'єкти стандартизації, види державних стандартів. Еталони, метрична система мір, реалізація еталонів в міжнародній системі SI і їх числові значення після ухвали 26-ї CGPM конференції 13-16 листопада 2018 року, дію яких розпочато з 20.05.2019. Нормативні документи по оформленню заявок на винахід і деклараційний патент України стосовно просторово-часових методів вимірювання і пристроїв для їх реалізації.	Лекції та лабораторні	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом надання відповідей на конкретну кількість питань за тестом 1 з наданням звіту із належним оформленням тексту заявки на винахід відповідно до стандартних вимог	20
1.2	Знати різновиди нормативних документів і стандартів, технічні регламенти та їх застосування. Методи обробки результатів вимірювання, прямі і непрямі вимірювання, абсолютні та відносні похибки, точність вимірювань. Енергетичні та фотометричні одиниці вимірювань.	Лекції та лабораторні	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом надання відповідей на конкретну кількість питань за тестом 2	20
1.3	Вміти використовувати оптичні методи в робочих та зразкових засобах вимірювання, знати методи і засоби вимірювань енергетичної та спектральної груп параметрів лазерного випромінювання. Вимірювання довжини хвилі лазерного випромінювання	Лекції та лабораторні	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань за тестом 3, модульна контрольна робота 1	20
2.1	Вміти застосовувати набуті знання при виконанні фотометричних, інтерферометричних, просторово-частотних, спектрометричних та поляризаційних вимірювань	Лекції та лабораторні	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом надання відповідей на конкретну кількість питань за тестом 4	20
2.2	Комунікувати через набуті знання і навички на виробничих підприємствах та в лабораторіях науково-дослідних і навчальних установ стосовно використання оптичних методів контролю якості	Лекції та лабораторні	Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом надання студентом відповідей на конкретну кількість питань за тестом 5, модульна контрольна робота 2	20

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибірових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

Результати навчання дисципліни (код)	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2
Програмні результати навчання (назва)					
ПР2 Знати і розуміти основні поняття метрології, теорії вимірювань, математичного та комп'ютерного моделювання, сучасні методи обробки та оцінювання точності вимірювального експерименту.	+	+	+		
ПР3 Розуміти широкий міждисциплінарний контекст спеціальності, її місце в теорії пізнання і оцінювання об'єктів і явищ.		+			+
ПР4 Вміти вибирати, виходячи з технічної задачі, стандартизований метод оцінювання та вимірювального контролю характерних властивостей продукції та параметрів технологічних процесів.	+		+	+	+

ПР5 Вміти використовувати принципи і методи відтворення еталонних величин при побудові еталонних засобів вимірювальної техніки (стандартних зразків, еталонних перетворювачів, еталонних засобів вимірювання).	+	+			+
ПР8 Вміти організовувати та проводити вимірювання, технічний контроль і випробування.		+		+	+
ПР10 Вміти встановлювати раціональну номенклатуру метрологічних характеристик засобів вимірювання для отримання результатів вимірювання з заданою точністю.			+		+
ПР11 Знати стандарти з метрології, засобів вимірювальної техніки та метрологічного забезпечення якості продукції.	+			+	
ПР15 Знати та розуміти предметну область, її історію та місце в сталому розвитку техніки і технологій, у загальній системі знань про природу і суспільство.	+				
ПР16 Вміти враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні аспекти, вимоги охорони праці, виробничої санітарії і пожежної безпеки під час формування технічних рішень. Вміти використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.		+	+		+
ПР18 Вільно володіти термінологічною базою спеціальності, розуміти науково-технічну документацію державної метрологічної системи України, міжнародні та міждержавні рекомендації та настанови за спеціальністю.	+		+		+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1: 5 балів
2. Модульна контрольна робота 2: 5 балів
3. Лабораторні роботи (6 робіт):– 5 балів за кожену

- підсумкове оцінювання у формі заліку: - 60 балів

- умови допуску до підсумкового заліку:

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше ніж 20 балів.

7.2 Організація оцінювання: *(обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).*

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять

№ п/п	Номер і назва теми*	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостій на робота
Змістовий модуль 1 ОПТИЧНІ МЕТОДИ В ЗАСОБАХ ВИМІРЮВАНЬ				
1	Вступ. Тема 1 Метрологія – наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності та точності. Наукова, технічна, юридична і організаційна основи метрології. Метрологічна служба в Україні. Види державних стандартів. Основні об'єкти стандартизації. Єдина практична система одиниць вимірювання Метричної Конвенції.	2		3
2	Тема 2. Ключові моменти про оновлену міжнародну систему одиниць SI і критерії її нового визначення на основі фундаментальних (конвенційних) сталих : метр, ампер, кандела (замінено угодою в 1990 р); із визначення на основі атомних властивостей матеріалів (секунда, кельвін, моль) і одне визначення на основі артефакту (кілограм). Ваги Кіббла.	2	3	3
3	Тема 3. Еталони основних фізичних величин і розробка вторинних еталонів. атестація і зберігання вторинних еталонів в галузі вимірювань оптико-фізичних величин; класифікація і характеристики вимірювань. Точність вимірювань. Точність вимірювання часу.	1		2
4	Тема 4. Розробка просторово-часових методів вимірювання. Калібрування вимірювальних засобів оптотехніки. Винахідництво і нормативні документи по оформленню заявок на винахід в Україні: способи і пристрої для їх реалізації. Ліцензії і ключові умови їхнього оформлення.	2		2
5	Тема 5. Використання оптичних методів в робочих та зразкових засобах вимірювань. Методи обробки результатів вимірювань. Передача розмірів фізичних величин. Енергетичні та фотометричні одиниці вимірювань.	2	3	3
6	Тема 6. Інтерференційні методи при передачі лінійних розмірів від еталона довжини до робочого засобу. Спосіб передачі В'яйселе для великих баз. Зразкові міри і метод кінцевих мір. Повірка і оцінка відповідності засобів вимірювання довжини для малих баз.	2		2
7	Тема 7. Спектроскопічні передумови прецизійного вимірювання довжини. Лазер як стандарт довжини хвилі. Оптична частотна лазерна гребінка	2		3
8	Тема 8. Стабілізація частоти випромінювання лазера. Вимірювання частоти за допомогою оптичної гребінки. Оптичний метр і надточна оптична лінійка Т. Хенша.	1		2
Змістовий модуль 2 . ТЕХНІКА ОПТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ І ЇХ МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ				
9	Тема 9. Контактні методи контролю якості поверхні оптичних деталей. Класи чистоти поверхні Шлірен-метод. Безконтактні оптичні методи. Еліпсометрія шорсткої поверхні і характеристика її якості за	1		3

	показниками гоніополяриметричних параметрів. Європейські стандарти параметрів шорсткості поверхні.			
10	Тема 10. Принцип випереджувальної точності при побудові засобів вимірювання і контролю. Використання фур'є-методу при формуванні зображення в оптичних інструментах.	2	3	2
11	Тема 11. Управління просторовими частотами в мікроскопії нанооб'єктів. Роздільна здатність оптичного мікроскопа і контраст в зображенні мікроскопа. Мікроскопія фазового контрасту.	1		2
12	Тема 12. Методи інженерного розрахунку оптичних засобів вимірювання і контролю. Матричні методи розрахунку оптичних систем в параксіальному наближенні. Розрахунок в поляризаційних оптичних системах складових вектора Стокса і елементів матриці Мюлера для характеристики тонкоплівкових шарів для сенсорів плазмоніки	1	2	3
13	Тема 13. Метрологічне забезпечення спектральних вимірювань. Основні принципи побудови спектрометрів. Роздільна здатність спектральних приладів.	2		3
14	Тема 14. Фур'є-спектрометрія. Аналіз інтерферограм комп'ютерно-інтегрованою системою і її переваги при спектральних вимірюваннях в інфрачервоній області.	1		2
15	Тема 15. Метрологічне забезпечення оптичних поляризаційних вимірювань і його переваги на засадах спектроеліпсометрії. Розрахунки товщин та оптичних сталих тонких плівок і нанорозмірних шарів.	2		3
16	Тема 16. Поляриметрична безкомпенсаторна апаратура. Стокс-поляриметрія наноматеріалів для потреб плазмоніки	2	3	3
17	Тема 17. Методи і засоби вимірювань потужності, енергії та довжини хвилі лазерного випромінювання. Енергетична та спектральна група параметрів.	2		3
18	Тема 18. Кореляційна група параметрів для лазерів. Способи вимірювання форм лазерного імпульсу.	2		2
	ВСЬОГО¹	30	14	46

*Примітка: слід зазначити також теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 90 год.², в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Лабораторні заняття - **14 год.**

Самостійна робота - **46 год.**

¹ У робочій програмі навчальної дисципліни для лекційних, семінарських, практичних і лабораторних занять зазначається *реальна* кількість годин (*кратне 2 год. – час тривалості пари*).

² Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

9. Рекомендовані джерела³:

Основні:

1. Л.В. Поперенко. Рефлектометрические поляризационные методы контроля оптических поверхностей// Контенант. – 2013. - Т. 12, № 2. – С. 64-83.
2. П.І. Неєжмаков. Міжнародна система одиниць (SI). За матеріалами доповіді 2018 року в КНУТШ:

- 2.1 [ДЕТУ 11-01-96](#)
- 2.2 [ДЕТУ 11-02-15](#)
- 2.3 [ДЕТУ 11-03-09](#)
- 2.4 [ДЕТУ 11-04-97](#)
- 2.5 [ДЕТУ 11-05-02](#)
- 2.6 [ДЕТУ 11-06-06](#)
- 2.7 [ДЕТУ 11-07-06](#)
- 2.8 [ДЕТУ 11-08-07](#)
- 2.9 [ДЕТУ 11-09-08](#)
- 2.10 [ДЕТУ 11-10-13](#)
- 2.11 [ВЕТУ 11-01-01-98](#)

3. Прикладна оптична спектроскопія: підручник / В.І. Григоруk, П.А. Коротков. _ К.: ВПЦ «Київський університет», 2016. – 574 с.

4. Лазерна спектроскопія: навч посіб. / В.І. Григоруk, П.А. Коротков. – К.: ВПЦ «Київський університет. 2017. - 263 с.

Додаткові:

1. Кованжі П.О., Прокопець В.М., Поперенко Л.В., Бондаренко В.А.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ СПЕКТРОЕЛІПСОМЕТРИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ОПТИЧНІЙ МЕТРОЛОГІЇ НАНООБ'ЄКТІВ. Матеріали 12-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Технічне регулювання, метрологія, якість, інформаційні та транспортні технології», 2-4 червня 2021, Одеса. С. 89-93.

2. Handbook of Optical Dimensional Metrology, edited by Kevin Harding. CRC Press. London, New York. 2013, 480 p.

3. Rajpal S. Sirohi. Introduction to Optical Metrology. CRC Press. London, New York. 2016, 408 p.

Голова Науково-методичної ради

В.А.Бугров