

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка

Фізичний факультет
Кафедра експериментальної фізики

Затверджено
на засіданні кафедри експериментальної фізики
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 7 від 07.06.2023 р.)
Завідувач кафедри



проф. Анатолій ВОЛОШИНОВСЬКИЙ

Силабус з навчальної дисципліни

“АКУСТООПТИКА”,

**що викладається в межах ОНП «Експериментальна фізика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 «Фізика та астрономія»**

Львів 2023

Назва дисципліни	Акустооптика
Адреса викладання дисципліни	вул. Кирила і Мефодія, 8, м. Львів, 79005.
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Фізичний факультет, кафедра експериментальної фізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
Викладачі дисципліни	Брезвін Руслан Степанович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри експериментальної фізики.
Контактна інформація викладачів	ruslan.brezvin@lnu.edu.ua , brezvinr@ukr.net https://physics.lnu.edu.ua/employee/brezvin-ruslan-stepanovych
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/akustooptyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Акустооптика» є нормативною навчальною дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається у III семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Акустооптика – розділ оптики, в якому вивчається закономірності поширення світла та його взаємодії з речовиною при збудженні в останній акустичних (механічних) хвиль ультразвукового діапазону (порядку 10 – 100 МГц).
Мета та цілі дисципліни	<p>Мета:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Вивчити основні характеристики кристалів, необхідні для збудження та проходження звукових хвиль у твердому тілі, • закономірності взаємодії світлової та звукової хвиль у середовищі, принципи їх застосування. <p>Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь, необхідних для:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Вивчення тензорного опису механічних, електромеханічних, діелектричних, пружних, п'єзоелектричних та п'єзооптичних властивостей кристалів, необхідний для збудження ультразвукових хвиль та деформацій оптичної індикатриси. • Вивчення закономірності взаємодії звукових та світлових хвиль, методів реалізації різних форм дифракції світла та синхронізації світлових і звукових пучків. • Вивчення принципу будови, характеристики та застосування акустооптичних взаємодій. • Ознайомлення із головними АО матеріалами.
Література для вивчення дисципліни	<p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Романюк М.О. Кристалооптика. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 456 с. 2. Романюк М.О. Акустооптика. – К.: УМК ВО, 1989. – 87с. 3. Романюк М.О. Кристалооптика. – К.: ІЗМН, 1997. – 432с. 4. Романюк М.О., Андрієвський Б.В. Методичні вказівки до

	<p>лабораторних робіт з акустооптики. – Львів: ЛДУ, 1987. – 28 с.</p> <p>5. М.О. Романюк. Практикум з кристалооптики і кристалофізики. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 362 с.</p> <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Андрієвський Б.В., Романюк М.О. Методичні вказівки до застосування ЕОМ при виконанні лабораторних робіт з кристалооптики та п'єзооптики. – Львів: вид. ЛДУ, 1988. – 32 с. 2. В.Й.Стадник, М.О.Романюк, Р.С.Брезвін. Електронна поляризованість фероїків. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 306 с. 3. Лукас Р., Бікард П. Оптичні властивості твердих і рідких середовищ, що зазнають високочастотних пружних коливань / Journal de Physique. 71 : 464–477. doi : 10.1051 / jphysrad: 01932003010046400 <p>Інформаційні ресурси: https://en.wikipedia.org/wiki/Acousto-optics</p>
Тривалість курсу	Один семестр (3 семестр)
Обсяг курсу	90 годин, з яких 32 год. аудиторних занять, з них 16 год. лекцій, 16 год. лабораторних занять та 58 год. самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p>Загальні компетентності:</p> <p>ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p>ЗК06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.</p> <p>ЗК07. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>Спеціальні (фахові) компетентності:</p> <p>СК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.</p> <p>СК02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії.</p> <p>СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опановувати знання та навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.</p> <p>СК08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у галузі фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.</p>

СК11. Здатність використовувати фізичну апаратуру та обладнання.

СК13. Здатність виявляти й тлумачити основні закономірності поведінки фізичних величин і процесів, ґрунтуючись на одержаних експериментальних даних.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- тензорний опис електромеханічних, діелектричних та п'єзооптичних властивостей кристалів;
- методи збудження об'ємних та поверхневих ультразвукових хвиль;
- основні закономірності АО взаємодій;
- принцип будови приладів з використанням акустооптичних взаємодій.

вміти:

- вибрати сингонію та зріз кристалу для п'єзоелектричного резонатора на різні типи коливань;
- виміряти пружні, електромеханічні характеристики кристалів;
- виміряти п'єзооптичні коефіцієнти та встановити їхні тензорні індекси;
- визначити характеристики АО модулятора світла;
- вибрати кристалічні зразки для отримання ізотропної та анізотропної дифракції світла.

Програмні результати навчання:

РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

РН02. Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.

РН04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.

РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

РН06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії.

РН10. Відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отриману інформацію та дані.

РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

	<p>PH17. Застосовувати спеціальну фізичну апаратуру й обладнання для вимірювання фізичних величин.</p> <p>PH18. Проводити стандартні експерименти з досліджень структури та властивостей кристалічних, аморфних, рідких і наносистем.</p> <p>PH20. Дотримуватися вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці під час експлуатації лабораторного обладнання.</p>						
Ключові слова	Електро механічні, діелектричні та п'єзооптичні властивості кристалів; збудження об'ємних та поверхневих ультразвукових хвиль; акустооптична взаємодія; прилади з використанням акустооптичних взаємодій; п'єзооптичні коефіцієнти; п'єзоелектричний резонатор; АО модулятор світла; АО дефлектор.						
Формат курсу	Очний: лекції, лабораторні заняття, самостійна робота та консультації для кращого розуміння тем.						
Теми	Наведено у табл.1.						
Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці семестру усний, тести						
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з: Прикладна оптика, Електронна будова і оптика кристалів.						
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, виконання лабораторних робіт, захист лабораторних робіт.						
Необхідне обладнання	Лекційні заняття – мультимедійна установка та ноутбук. Лабораторні заняття – обладнання навчальної лабораторії оптики та кристалофізики (лабораторії кристалооптики), дифракційний спектрограф ДФС-452, акустооптичний модулятор, генератор частот.						
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводяться за 100- бальною шкалою.</p> <p>Бали нараховуються за наступним співвідношенням: лабораторні роботи: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів $40 = 8 \text{ робіт} \times 5 \text{ балів}$;</p> <p>За якісне виконання однієї лабораторної роботи студент отримає 5 балів з навчальної дисципліни.</p> <p>Шкала оцінювання лабораторної роботи</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Бали</th> <th>Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено незначні помилки,</td> </tr> </tbody> </table>	Бали	Критерії оцінювання	5	Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.	4	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено незначні помилки,
Бали	Критерії оцінювання						
5	Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.						
4	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено незначні помилки,						

	самостійно робить висновки, на захисті, за винятком несуттєвих фізичних неточностей, продемонстрував глибокий рівень знань.
3	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, зробив правильні висновки або їх частину, на захисті продемонстрував середній рівень знань.
2	Студент виконав експеримент відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час математичної обробки та оформлення роботи допущено суттєві помилки. На захисті тематичної лабораторної роботи продемонстровано задовільний рівень знань.
1	Студент провів експеримент з допомогою лаборанта/викладача, частково обробив результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи без належного оформлення, на захисті продемонстрував базовий рівень знань.
0	Не представлено до захисту звіту з відповідної тематичної лабораторної роботи здобувачем.

- контрольний замір (модуль): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10;

Оцінювання письмової модульної контрольної роботи (0–10 балів) враховує рівень сформованості знань та вмінь на кінцевому етапі вивчення навчальної дисципліни. Відповідно 10 балів здобувач отримує за 100–96% правильних відповідей, 9 балів – 95–91% прав. відпов., 8 балів – 90–86% прав. відпов., 7 балів – 85–81% прав. відпов., 6 балів – 80–76% прав. відпов., 5 балів – 75–71% прав. відпов., 4 бали – 70–66% прав. відпов., 3 бали – 65–61% прав. відпов., 2 бали – 60–56% прав. відпов., 1 бал – 55–51% прав. відпов., 0 балів – 50% і менше правильних відповідей.

Шкала оцінювання модульної контрольної роботи

Кількість балів	% правильних відповідей
10	100-96
9	95-91
8	90-86
7	85-81
6	80-76
5	75-71
4	70-66
3	65-61
2	60-56
1	55-51
0	50 і менше

Додаткові бали можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого

	<p>навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання. Також до 10 додаткових балів включно можна отримати через наукову роботу здобувача, куди входить написання тез, статей, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни.</p> <p>У разі відсутності студента під час проведення лабораторних занять чи на контрольних замірах з поважних причин йому надається право на відпрацювання. У всіх інших випадках відсутність здобувача автоматично зараховується йому як незадовільна оцінка (0 балів) за відповідну тематичну лабораторну роботу чи контрольний замір. Незадовільну оцінку студент має право пересклати. Додатковий термін перездачі призначає викладач.</p> <ul style="list-style-type: none"> іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50. <p>Підсумкова максимальна кількість балів – 100.</p> <p>Академічна доброчесність 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>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю література, 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>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на лабораторних роботах і поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь 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.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> Симетрійні властивості тензорів напруг і деформацій. Як реалізувати напруги зсуву? Що описують симетрична та антисиметрична частини тензора деформацій? Закон Гука для кристалів. Симетрійні властивості тензора пружних констант кристалів. Що описує п'єзоелектричний ефект? Форми запису п'єзоелектричного ефекту.

8. Зв'язок між коефіцієнтами прямого та оберненого п'єзоелектричного ефекту.
9. За якими коефіцієнтами вибирають кристали для виготовлення збуджувачів механічних коливань?
10. Як встановлюють просторову залежність п'єзоелектричних коефіцієнтів?
11. Просторова залежність п'єзоелектричних коефіцієнтів кристалів кварцу.
12. Приклади застосування п'єзоелектричних властивостей кристалів кварцу.
13. П'єзоелектричні властивості фероїків. Їхнє застосування. Характерні кристали.
14. Граничні умови при дослідженні п'єзоелектричних властивостей кристалів.
15. У кристалах якої симетрії можливий лінійний п'єзоелектричний ефект?
16. У кристалах якої симетрії можливий квадратичний п'єзоелектричний ефект?
17. Записати хвильове рівняння для механічних коливань кристалів.
18. Що описує тензор Крістофеля?
19. Які характеристики матеріалу можна визначити методом резонансу-антирезонансу?
20. Еквівалентна схема п'єзоелектричного резонатора та її практичне значення.
21. Що описує коефіцієнт електромеханічного зв'язку?
22. Охарактеризувати звукове поле.
23. Сформулювати закони заломлення та відбивання звукових хвиль.
24. Що визначає коефіцієнт відбивання звукових хвиль?
25. Що таке хвильовий опір?
26. Поверхневі звукові хвилі.
27. Методи збудження поверхневих звукових хвиль.
28. Що визначає оптимальну кількість смужок електродів для збудження поверхневих звукових хвиль?
29. Основні припущення при виведенні рівняння Рамана-Ната.
30. Чим обмежується кількість максимумів при дифракції світла на звукових хвилях?
31. Критерії режимів акустооптичних взаємодій – Рамана-Ната і Бреґа.
32. Види АО дифракції світла: ізотропна, анізотропна, колінеарна, скалярна, векторна.
33. Що описують коефіцієнти АО якості матеріалів: M_1 , M_2 , M_α ?
34. Основні вимоги до акустооптичних матеріалів.
35. Принцип роботи АО модулятора.
36. Будова АО дефлектора. Область модулюючих частот.
37. Чим визначається роздільна здатність АО дефлектора?
38. Яку проблему дають змогу вирішити АО дефлектори на анізотропній дифракції?
39. Рефракційні АО дефлектори.
40. АО світлофільтри – принцип дії, будова і

- характеристики.
41. Модова структура світлових пучків у плоских хвилеводах.
 42. Чим відрізняються характеристики АО пристроїв на об'ємних і поверхневих звукових хвилях?
 43. Колінеарна взаємодія поверхневих світлових та звукових хвиль. Зв'язані моди.
 44. Які проблеми вирішує перехід від об'ємних до поверхневих хвиль?
 45. Які фізичні проблеми можна вирішувати на базі АО взаємодій?
 46. Яке коло питань охоплює поняття "оптоакустика"?
 47. Що таке п'єзооптичний ефект?
 48. Як реалізується деформація зсуву?
 49. Як виглядає тензор для різних механічних напруг?
 50. Що описує симетрична частина тензора деформації?
 51. Що описує антисиметрична частина тензора деформації?
 52. Вигляд матриці п'єзоелектричного ефекту?
 53. Умови режиму Рамана-Ната.
 54. Умови режиму Брегга.
 55. Що визначають коефіцієнти акустооптичної якості?
 56. Будова акустооптичного модулятора.
 57. Будова акустооптичного дефлектора.
 58. Будова акустооптичного фільтра.
 59. Симетрійні властивості тензорів напруг і деформацій.
 60. Закон Гука для кристалів.
 61. Симетрійні властивості тензора пружних констант.
 62. Форми запису п'єзоелектричного ефекту.
 63. Зв'язок між коефіцієнтами прямого та оберненого п'єзоелектричного ефекту.
 64. За якими коефіцієнтами вибирають кристали для збудження механічних коливань?
 65. Як встановлюють просторову залежність п'єзоелектричних коефіцієнтів?
 66. Просторова залежність п'єзоелектричних коефіцієнтів кристалів кварцу.
 67. Приклади застосувань п'єзоелектричного ефекту кристалів кварцу.
 68. П'єзоелектричний ефект кристалів фероїків. Його застосування. Приклади фероїків.
 69. У кристалах якої симетрії можливий лінійний п'єзоелектричний ефект?
 70. У кристалах якої симетрії можливий квадратичний п'єзоелектричний ефект?
 71. Хвильове рівняння для механічних коливань кристалів.
 72. Що описує тензор Крістофеля?
 73. Які характеристики матеріалу можна визначити методом резонансу-антирезонансу?
 74. Еквівалентна схема п'єзоелектричного резонатора та її практичне значення.
 75. Що описує коефіцієнт електромеханічного зв'язку?
 76. Закони заломлення та відбивання звукових хвиль.
 77. Методи збудження поверхневих звукових хвиль.
 78. Як визначають кількість смужок електродів збудження

	<p>поверхневої хвилі?</p> <p>79. Чим обмежується кількість максимумів при дифракції світла на звукових хвилях?</p> <p>80. Критерії взаємодій при режимах Рамана-Ната і Брегга.</p> <p>81. Види акустооптичної дифракції світла: Ізотропна, анізотропна, колінеарна, векторна.</p> <p>82. Що описують коефіцієнти акустооптичних взаємодій M_1, M_2, M_3 ?</p> <p>83. Основні вимоги до акустооптичних матеріалів.</p> <p>84. Принцип роботи акустооптичного модулятора.</p> <p>85. Будова акустооптичного дефлектора. Область модулюючих частот.</p> <p>86. Чим визначають область акустооптичного дефлектора?</p> <p>87. Яку проблему розв'язують акустооптичним дефлектором на анізотропній дифракції?</p> <p>88. Рефракційні акустооптичні дефлектори.</p> <p>89. Акустооптичні світлофільтри – принцип будови, характеристики.</p> <p>90. Чим відрізняються характеристики акустооптичних пристроїв на поверхневих та об'ємних звукових хвилях?</p> <p>91. Які проблеми вирішує перехід від об'ємних до поверхневих хвиль?</p> <p>92. Які фізичних проблеми можна вирішувати на акустооптичних взаємодіях?</p> <p>93. Яке коло питань охоплює поняття “оптоакустика”.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу «Акустооптика»

Тиж-день	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Завдання	Термін виконання
1	Предмет АО. Механічні властивості кристалів.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна роб. – 7 год.	Б – 1, 2, 3 Д – 2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи	1 тиждень
2	П'єзоелектричні властивості кристалів.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна роб. – 7 год.	Б – 1, 2, 3,4,5 Д – 2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
3	П'єзооптичні властивості кристалів.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна роб. – 7 год.	Б – 1, 2,3,4,5 Д – 2, 3	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт	1 тиждень
4	Пружні хвилі у кристалах. Тензори Крістофеля. Поверхневі хвилі.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна роб. – 7 год.	Б – 1, 2, 3 Д – 3	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
5	Рівняння Рамана-Ната та його розв'язки.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна роб. – 7 год.	Б – 1, 2, 3, 5 Д – 1, 3	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт	1 тиждень
6	Акустооптична якість кристалів.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна роб. – 7 год.	Б – 1, 2, 3, 5 Д – 2, 3	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу. Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень
7	Векторні діаграми АО дифракції світла.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год.	Б – 1, 2, 3, 4, 5	Опрацювати матеріали	1 тиждень

		самостійна роб. – 8 год.	Д – 3	лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи. Підготовка до захисту лабораторних робіт	
8	Застосування АО взаємодій – АОМ, АОД, АОФ.	Лекції – 1 год. контрольний замір – 1 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна роб. – 8 год.	Б – 1, 2, 3, 4, 5 Д – 1, 2, 3	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи.	1 тиждень