

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра фізики твердого тіла

Затверджено

На засіданні кафедри фізики твердого тіла
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол №1 від 29 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри 
Володимир КАПУСТЯНИК

**Силабус з навчальної дисципліни «Фізика напівпровідників»,
що викладається в межах ОПП Нанофізика та наноматеріали
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»**

Львів 2024 р.

Назва курсу	Фізика напівпровідників
Адреса викладання курсу	вул. Драгоманова, 50, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	10 Природничі науки / 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладачі курсу	Лекції проводить доцент кафедри фізики твердого тіла, к. ф.-м. н. Турко Борис Ігорович, Лабораторні роботи проводить доцент кафедри фізики твердого тіла, к. ф.-м. н. Еліяшевський Юрій Ігорович
Контактна інформація викладачів	borys.turko@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/turko-b-i yuriy.eliyashevskyy@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/eliyashevskiy-yurij-ihorovych
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Skype.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-napivprovodnykiv-i-dielektrykiv-prykladna-fizyka
Інформація про курс	Дисципліна «Фізика напівпровідників» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали, яка викладається в VI семестрі в обсязі 3,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація курсу	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам як теоретичні так і практичні знання, уміння, навички, загальні та фахові компетентності для розв'язання проблем в галузі фізики напівпровідників. Тому у курсі представлені огляд сучасних методів отримання і дослідження напівпровідникових матеріалів а також прикладні аспекти використання напівпровідників.
Мета та цілі курсу	Метою вивчення нормативної дисципліни «Фізика напівпровідників» є ознайомлення студентів із фундаментальними законами матеріалознавства в галузі напівпровідників, з методиками дослідження їхніх оптичних та електрофізичних властивостей, надати інформацію про можливості практичного застосування напівпровідників, в тому числі із переходом до нанометрового діапазону. Ціль курсу: розвинути в студентах уміння і навички аналізувати фізичні явища в напівпровідниках і описувати їх за допомогою аналітичних співвідношень (кількісний підхід); отримання досвіду виконання експериментальних досліджень і оброблення результатів вимірювань; здобуття теоретичної основи з проблем фізики конденсованого стану, знань фізичних процесів у напівпровідниках, основних принципів розгляду явищ у напівпровідниках; опанування методами аналізу фізичних властивостей напівпровідників; поглиблення уявлень про причинно-наслідкові зв'язки та адекватність їх відображення на сучасному науковому рівні в галузі фізики твердого тіла та матеріалознавстві, а також формування уявлень щодо

<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>перспектив різних напрямків науково-технічного прогресу.</p> <p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Конспект лекцій з дисципліни «Спецрозділи фізики» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальностей: 176 «Мікро- та наносистемна техніка», 171 «Електроніка». Частина II. Теорія поля. Фізика твердого тіла / Укладачі: Губарев С. В., Харитонова О. А., Набережна О. О., Єрмоїна К. А. – Кам'янське : ДДТУ, 2024. – 110 с. 2. Semiconductor Physics / K. W. Boer, U. W. Pohl. – Cham : Springer International Publishing AG, 2018. – 1299 p. 3. Grundmann M. The Physics of Semiconductors. An Introduction Including Nanophysics and Applications. 3rd Ed. – Cham : Springer International Publishing AG, 2016. – 989 p. 4. Semiconductor Devices. Physics and Technology. 3rd Ed. / S. M. Sze, M. K. Lee. – NY : John Wiley & Sons, Inc., 2012. – 578 p. 5. Neamen D. Semiconductor Physics and Devices. Basic Principles. 4th Ed. – NY : The McGraw-Hill Companies, Inc., 2012. – 758 p. 6. Fundamentals of Semiconductors. Physics and Materials Properties / P. Y. Yu, M. Cardona. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 775 p. 7. Болеста І. Фізика твердого тіла. – Львів : Вид-во ЛНУ, – 480 с. <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фізичне матеріалознавство. Частина IV. Напівпровідники: Навчальний посібник / Поплавко Ю. М., Льченко В. І., Воронов С. А., Якименко Ю. І. – Київ : В-во «КПІ», 2010. – 352 с. 2. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / Поплавко Ю. М., Борисов О. В., Льченко В. І. та ін. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 160 с. 3. Павлов С. М. Основи мікроелектроніки : навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 224 с. 4. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки: курс лекцій: [навчальний посібник] / Фреїк Д. М., Чобанюк В. М., Готра З. Ю. та ін. ; за заг. ред. Д. М. Фреїка. – Івано-Франківськ : Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 263 с. 5. Виробництво напівпровідникових матеріалів / Червоний І. Ф., Швець Є. Я., Воляр Р. М., Головка О. П., Єгоров С. Г., Головка Ю. В. / За ред. Червоного І. Ф. – Запоріжжя : ЗДІА, 2012. – 175 с. 6. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни “Матеріали електронної техніки” для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня денної форми навчання зі спеціальності 171 “Електроніка” / Укладачі: Волошин Р. В., Качура О. В. – Кам'янське : ДДТУ, 2022. – 67 с. 7. Царенко О. М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів: навчальний посібник. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2012. – 243 с. <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p>
--	---

	Інформаційні ресурси: <ol style="list-style-type: none"> 1. https://physics.lnu.edu.ua/research/publications/our-publisher 2. http://www.nbu.gov.ua 3. https://lnulibrary.lviv.ua
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	105 годин, з яких 64 години аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 32 години лабораторних занять, та 41 година самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:</p> <p>Загальні компетентності (ЗК):</p> <p>ЗК 01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК 03. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК 06. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>ЗК 07. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК 08. Навички міжособистісної взаємодії.</p> <p>ЗК 10. Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p>Спеціальні (фахові) компетентності (СК):</p> <p>СК 01. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проєктів.</p> <p>СК 02. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.</p> <p>СК 06. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.</p> <p>СК 07. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.</p> <p>СК09. Здатність організувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.</p> <p>СК10. Здатність представляти результати досліджень професійній та непрофесійній аудиторії.</p> <p>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:</p> <p>ПРН 01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.</p> <p>ПРН 10. Планувати й організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів.</p> <p>ПРН 11. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної</p>

	<p>сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.</p> <p>ПРН 12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.</p> <p>ПРН 15. Вміння розпізнавати методи синтезу наноматеріалів, встановлювати їх фізико-хімічні властивості, вплив на навколишнє середовище та людину.</p>
Ключові слова	Напівпровідники, мікро- і наноелектроніка, матеріалознавство, зонна структура, статистика носіїв заряду в напівпровідниках.
Формат курсу	Очний
Теми	Наведено у табл.1 і табл. 2
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: іспит в кінці семестру. Форма: усна.
Пререквізити	Для вивчення курсу необхідні знання з електрики і магнетизму, молекулярної фізики, оптики, атомної фізики, мікроскопії нанорозмірних об'єктів.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) <i>лабораторні роботи</i> – виконання лабораторних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань та формування вмінь і практичних навичок.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор, установка для вивчення температурної залежності металів і напівпровідників ФПК-07, установка для вивчення ефекту Холла в напівпровідниках ФПК-08, установка для вивчення р-п переходу ФПК-06, атомно-силовий мікроскоп Solver PRO47, електрометр Keithley 6517A, LCR метр IM3536-01.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40; • контрольні заміри (модулі): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10; • іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50. <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Критерії оцінювання лабораторних робіт:</p> <p>лабораторні роботи №1 та №2:</p> <p>5 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні;</p> <p>4 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні;</p> <p>3 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;</p> <p>2 б. – студент частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;</p> <p>1 б. – студент частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом;</p>

0 б. – студент не виконав завдання.
лабораторні роботи №3–12:

3 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні;

2,5 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні;

2 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;

1 б. – студент частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;

0,5 б. – студент частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом;

0 б. – студент не виконав завдання.

Контрольний замір (модуль) – максимально 10 балів:
Контрольний замір (модуль) проводиться у формі тестування. У тесті 10 питань по 1 балу кожне.

Іспит – максимально 50 балів:
Іспит проводиться у змішаній формі тестування. У тесті 20 питань по 1 балу кожне. У білеті 3 питання (по 10 балів, кожне).

Критерії оцінювання описових питань іспиту:

10 б. – студент повністю володіє матеріалом;

7–9 б. – студент достатньо володіє матеріалом;

4–6 б. – студент частково володіє матеріалом;

1–3 б. – студент має базові знання матеріалу;

0 б. – студент не володіє матеріалом.

Додаткові бали можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання. Додаткові 10 балів можна отримати, наприклад пройшовши онлайн курс «[Фізика напівпровідників – віртуальний курс – Coursera](#)» або подібний курс за тематикою курсу за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100 балів. Додаткові 10 балів студент також може отримати за публікацію статті або особисту участь у науковій конференції за тематикою курсу за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100 балів.

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.

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>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 та 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. Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Класифікація напівпровідникових матеріалів. 2. Методи вирощування монокристалів напівпровідників. 3. Виробництво кремнію для електроніки. 4. Епітаксія тонких плівок. Епітаксія і характер межі розділу «плівка–підкладка». 5. Режими гетероепітаксійного росту. 6. Молекулярно-променева епітаксія. 7. Газофазна епітаксія з металорганічних сполук. 8. Рідиннофазна епітаксія. 9. Енергетичні зони в твердих тілах. 10. Домішкові енергетичні рівні. 11. Генерація і рекомбінація носіїв заряду. 12. Елементи кристалографії (примітивні ґратки; спеціальні точки, напрямки і площини; ґратки Браве; поверхневі групи симетрії. 13. Структура поверхні матеріалів. 14. Густина енергетичних рівнів. Функція розподілу Фермі–Дірака. 15. Температурні залежності концентрації носіїв заряду. 16. Температурні залежності рухливості носіїв заряду і питомої провідності. 17. Аморфні напівпровідники. Означення, типи аморф. н/п. 18. Електронні стани в аморфних напівпровідниках. 19. Приклади використання аморфних напівпровідників. 20. Спінтроніка – означення. Завдання і приклади спін-електронних структур. 21. Гібридна спінтроніка. транзистор Монсма, спіновий польовий транзистор, спіновий світлодіод. 22. Магнітні напівпровідники для спінтроніки. 23. Органічні н/п – означення. Характеристика окремих груп органічних н/п. 24. Механізм електропровідності органічних н/п. 25. Фотопровідність органічних напівпровідників. 26. Органічні світловипромінюючі діоди (OLED). Загальні принципи роботи одношарових органічних світловипромінюючих пристроїв. 27. Загальні принципи роботи багатошарових органічних світловипромінюючих пристроїв. 28. Типи органічних світловипромінюючих діодів (OLED) і їхня

	<p>характеристика.</p> <p>29. Металорганічні комплекси і спряжені полімери.</p> <p>30. Ефекти Зеебека, Пельтьє і Томсона.</p> <p>31. Перспективи розвитку термоелектрики.</p> <p>32. Напівпровідникові детектори гамма і X випромінювання.</p> <p>33. Фотодіоди як альтернатива традиційним вакуумним фотоелектронним помножувачам.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу «Фізика напівпровідників»

Тиждень	Тема	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1	Тема 1. Основні поняття і терміни. Історичні відомості. Класифікація напівпровідникових матеріалів. Вступ. Цілі і завдання курсу. Основні поняття і терміни. Історичні відомості. Класифікація напівпровідникових матеріалів. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Принцип роботи транзистора.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 2–6; Допоміжна: 7	1 тиждень
2	Тема 2. Отримання напівпровідникових монокристалів. Вирощування монокристалів напівпровідників. Виробництво кремнію для електроніки. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Методи очищення поверхонь монокристалів від забруднень.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 2, 4–6; Допоміжна: 1, 5–7	1 тиждень
3	Тема 3. Епітаксійні методи отримання напівпровідникових матеріалів. Епітаксія тонких плівок з газової фази. Епітаксія і характер межі розділу «плівка–підкладка». Режими гетероепітаксійного росту. Молекулярно-променева епітаксія. Газофазна епітаксія з металорганічних сполук. Рідиннофазна епітаксія. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Мас-спектрометрія вторинних іонів.	Лекції – 4 год, самостійна робота – 5,25 год	Базова: 2, 4–6; Допоміжна: 1, 7	2 тижні
4	Тема 4. Структура енергетичних зон. Утворення енергетичних зон. Енергетичні зони в твердих тілах. Домішкові енергетичні рівні. Електрони і дірки. Генерація і рекомбінація носіїв заряду. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Хімічний зв'язок.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 1–7; Допоміжна: 1, 4, 7	1 тиждень
5	Тема 5. Елементи кристалографії. Структура поверхні матеріалів. Елементи кристалографії. Структура поверхні матеріалів. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Кристалічна структура кремнію.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 3, 5–7	1 тиждень
6	Тема 6 Статистика носіїв заряду в	Лекції – 4 год,	Базова: 2–6;	2 тижні

	<p>напівпровідниках. Густина енергетичних рівнів. Функція розподілу Фермі–Дірака. Час життя нерівноважних носіїв заряду. Температурні залежності концентрації носіїв заряду. Температурні залежності рухливості носіїв заряду і питомої провідності. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Перенесення носіїв заряду в низькорозмірних напівпровідниках.</p>	самостійна робота – 5,25 год	Допоміжна: 1, 4	
7	<p>Тема 7. Аморфні напівпровідники. Аморфні напівпровідники. Означення, типи аморф. н/п. Найбільш ефективні та результативні методи вивчення ближнього порядку в аморфних тілах. Аморфні тверді тіла з тетраедричними зв'язками. Халькогенідні скла. Електронні стани в аморфних напівпровідниках. Труднощі теорії фізики твердого тіла у випадку аморф. н/п. Використання аморфних напівпровідників. Гідрогенізований кремній. Селен. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Рентгеноструктурний аналіз.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 2, 3; Допоміжна: 1, 6	1 тиждень
8	<p>Тема 8. Спінтроніка. Напівпровідники для спінтроніки. Спінтроніка – означення. Завдання і експериментальні техніки спінтроніки. Явище гігантського магнітоопору. Металічні спін-електронні структури: багаточарові структури, спінові вентилі (клапани), системи магнітного тунельного переходу. Магніторезистивна оперативна пам'ять (MRAM). Спіновий транзистор Джонсона. Гібридна спінтроніка: транзистор Монсма, SPICE-транзистор, спіновий польовий транзистор, спіновий світлодіод. Магнітні напівпровідники для спінтроніки. Перспективні напрямки розвитку спінтроніки. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Дифракція електронів.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 3; Допоміжна: 2, 4	1 тиждень
9	<p>Тема 9. Галій нітрид – властивості та застосування. Історичні відомості. Структура,</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 3, 6; Допоміжна: 5, 6	1 тиждень

	оптичні та електричні властивості GaN. Використання матеріалів на основі GaN. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Технології отримання GaN.			
10	Тема 10. Органічні напівпровідники. Органічні напівпровідники – означення. Характеристика окремих груп органічних напівпровідників. Механізм електропровідності органічних напівпровідників. Фотопровідність органічних напівпровідників. Легування органічних напівпровідників. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Органічні напівпровідникові кристали. Малі органічні молекули, полімери.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 3, 6; Допоміжна: 1	1 тиждень
11	Тема 11. Практичне використання органічних напівпровідників. OLED технології. Органічні світловипромінюючі діоди (OLED). Загальні принципи роботи одношарових органічних світловипромінюючих пристроїв. Загальні принципи роботи багатошарових органічних світловипромінюючих пристроїв. Типи органічних світловипромінюючих діодів і їхня характеристика. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. PHOLED (Phosphorescent OLED), TOLED (Transparent and Top-emitting OLED), FOLED (Flexible OLED) і SOLED (Stacked OLED) технології.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 5,25 год	Базова: 3, 6; Допоміжна: 1	1 тиждень
12	Тема 12. Досягнення і проблеми термоелектрики. Вступ. Ефект Зеебека. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Нові термоелектричні нанокompозитні матеріали. Новітні виклики для термоелектрики. Перспективи розвитку термоелектрики в Україні. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Ефекти Холла та Еттінгсгаузена.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2,5 год	Базова: 1–3; Допоміжна: 1, 3, 4.	1 тиждень
13	Тема 13. Нові матеріали для детекторів іонізаційного випромінювання. Напівпровідникові детектори гамма і X випромінювання. Фотодіоди як	Лекції – 4 год, самостійна робота – 5,25 год	Базова: 3–5.	2 тижні

	альтернатива традиційним вакуумним фотоелектронним помножувачам. С.Р. Вивчення матеріалу лекції. Сцинтилятори.			
--	--	--	--	--

Таблиця 2

Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Вступне заняття.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
2	Вивчення температурної залежності електропровідності напівпровідників.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
3, 4	Дослідження вольт-амперних і вольт-фарадних характеристик $p-n$ переходу.	лаб. робота – 4 год	2 тижні
5	Дослідження ефекту Холла в напівпровідниках.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
6	Дослідження вольт-амперної характеристики стабілітрона.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
7	Дослідження вольт-амперної характеристики тунельного діода.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
8	Дослідження роботи фотодіода.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
9	Дослідження вольт-амперної характеристики варистора.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
10	Дослідження вольт-амперної характеристики тиристора.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
11	Дослідження вольт-амперної характеристики лавинного діода.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
12	Дослідження роботи світлодіода.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
13	Дослідження діелектричної проникності напівпровідників.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
14	Фотовольтаїчний ефект.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
15	Визначення ширини забороненої зони напівпровідника.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
16	Заключне заняття.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень