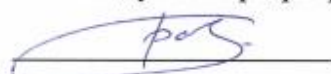


ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА

Фізичний факультет

**Затверджено**  
на засіданні кафедри фізики твердого тіла  
Протокол № 15 від 25.06 2019 р.

Завідувач кафедри фізики твердого тіла

 / Капустяник В.Б. /

Силабус

### **ФІЗИКА ПОВЕРХНІ ТВЕРДОГО ТІЛА**

галузь знань	<b>10 – Природничі науки</b>
спеціальність	<b>105 – Прикладна фізика та наноматеріали</b>
спеціалізація	<b>фізика напівпровідників і діелектриків</b>
факультет	<b>фізичний</b>

Кредитно-модульна система  
організації навчального процесу

2019 – 2020 навчальний рік

Силабус курсу

**ФІЗИКА ПОВЕРХНІ ТВЕРДОГО ТІЛА**

2019-2020 навчальний рік

<b>Назва курсу</b>	Фізика поверхні твердого тіла
<b>Адреса викладання курсу</b>	м. Львів вул. Драгоманова, 50
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань 10 – природничі науки. Спеціальність 105 – прикладна фізика та наноматеріали
<b>Викладач</b>	Доц. Турко Б. І., канд. фіз.-мат. наук
<b>Контактна інформація викладача (-ів)</b>	tyrko_borys@ukr.net
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Четвер 16.00-17.00. вул. Драгоманова, 50, а. 307; он-лайн консультації через Skype (для узгодження часу писати на електронну пошту tyrko_borys@ukr.net)
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/department/fizyky-tverdogo-tila">https://physics.lnu.edu.ua/department/fizyky-tverdogo-tila</a>

<b>Інформація про курс</b>	Дисципліна «Фізика поверхні твердого тіла» є вибіркою дисципліною зі спеціальності 105 – прикладна фізика і нанотехнології – для підготовки доктора філософії з природничих наук, яка викладається в 4 семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS)
<b>Коротка анотація курсу</b>	Курс фізика поверхні твердого тіла є курсом зі спеціалізації, який узагальнює та систематизує знання аспірантів, отримані у інших курсах, а також знайомить з новими фізичними методами дослідження та модифікації структури та властивостей поверхні твердих тіл.
<b>Мета та цілі курсу</b>	Метою вивчення дисципліни “Фізика поверхні твердого тіла” є формування у майбутнього науковця поняття про властивості, що ґрунтуються на особливій електронній будові поверхні. Освітньою ціллю курсу є формування вміння у аспірантів самостійно вибирати і обґрунтовувати свій вибір щодо оптимального методу дослідження хімічного складу та структури поверхні конкретного об'єкта заданої природи у процесі виконання дисертаційних робіт. В результаті вивчення даного курсу аспірант повинен знати основні поняття предмету, викладені у програмі курсу; вміти працювати на скануючому електронному мікроскопі на рівні користувача, читати отримані мікроскопом у різних режимах зображення, проводити найпростіший мікроаналіз, пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи у самостійній науковій роботі.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тузяк О. Я., Курляк В. Ю. Основи електронної та зондової мікроскопії: Навч. посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с.</li> <li>2. Праттон М. Введение в физику поверхности. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 256 с.</li> <li>3. Киселев В. Ф., Козлов С. Н., Зотеев А. В. Основы физики поверхности твердого тела. – М.: Изд-во Московского университета. Физический факультет МГУ, 1999. – 284 с.</li> <li>4. Зайцев А. Л. Физика поверхности: структура, адсорбция. – Минск: БНТУ, 2011. – 164 с.</li> </ol>

	<p>5. Шалимова К. В. Физика полупроводников. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 392 с.</p> <p><b>Додаткова література:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мамонова М. В., Прудникова В. В., Прудникова И. А. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы. – М.: Физматлит, 2011. – 400 с.</li> <li>2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т.1. – М.: Мир, 1979. – 399 с.</li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	90 год.
<b>Обсяг курсу</b>	<p>48 годин аудиторних.  3 них 32 години лекцій,  16 годин практичних занять,  42 години самостійної роботи.</p>
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення курсу аспірант повинен:</p> <p><b>Знати:</b> методи дослідження структури поверхонь твердих тіл;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методи дослідження складу поверхонь твердих тіл;</li> <li>• методи дослідження фізичних властивостей поверхонь твердих тіл;</li> </ul> <p><b>Вміти:</b> працювати на скануючому електронному мікроскопі на рівні користувача;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• читати отримані мікроскопом у різних режимах зображення;</li> <li>• проводити найпростіший мікроаналіз;</li> <li>• пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи у самостійній науковій роботі.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Поверхневі електронні стани, кристалічна структура, сорбція, адсорбція, методи аналізу поверхні.

<b>Формат курсу</b>	Очний
<b>Теми</b>	<p>Тема 1. Короткі історичні відомості, предмет і напрями розвитку фізики і хімії поверхні твердого тіла.</p> <p>Тема 2. Атомна структура поверхонь кристалічних матеріалів.</p> <p>Тема 3. Релаксація та реконструкція поверхонь твердих тіл.</p> <p>Тема 4. Поняття сорбції та адсорбції.</p> <p>Тема 5. Одновимірна модель кристалу. Стани Тамма і Шоклі.</p> <p>Тема 6. Контактний потенціал і робота виходу.</p> <p>Тема 7. Дифракція електронів.</p> <p>Тема 8. Деякі методи аналізу поверхні твердих тіл.</p>
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Іспит
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу необхідні знання з електрики і магнетизму, оптики, квантової механіки, атомної фізики, фізики напівпровідників та діелектриків.

<p><b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b></p>	<p>В процесі навчання використовуються лекції, тьюторство, презентації.</p>
<p><b>Необхідні обладнання</b></p>	<p>Технічні засоби, необхідні для презентацій, загально вживані програми і операційні системи.</p>
<p><b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b></p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• практичні/самостійні тощо : 25% семестрової оцінки; максимальна кількість балів <u>25</u></li> <li>• контрольні заміри (модулі): 25% семестрової оцінки; максимальна кількість балів <u>25</u></li> <li>• іспит/залік: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів <u>50</u></li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів <u>100</u></p> <p>Позитивна оцінка поточної успішності (сумарного результату проміжної і модульної оцінки за семестр) за умови відсутності пропущених або невідпрацьованих практичних занять є підставою допуску до підсумкової форми контролю. Враховується присутність на заняттях та активність аспіранта під час лекцій. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Питання до екзамену</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Об'єкт і предмет вивчення фізики поверхні твердого тіла.</li> <li>2. Елементи кристалографії. Примітивні ґратки. Поверхневі групи симетрії.</li> <li>3. Елементи кристалографії. Спеціальні точки, напрямки і площини.</li> <li>4. Елементи кристалографії. Ґратки Браве.</li> <li>5. Елементи кристалографії. Примітивні ґратки. Поверхневі групи симетрії.</li> <li>6. Структура поверхні металів.</li> <li>7. Неоднорідні поверхні.</li> <li>8. Поверхні монокристалів хімічних сполук.</li> <li>9. Складні поверхні монокристалів.</li> <li>10. Поверхнева структура макрочастинок.</li> </ol>

11. Релаксація поверхні твердих тіл.
12. Реконструкція поверхні твердих тіл.
13. Позначення структури поверхні при реконструкції і в присутності домішкових і адсорбованих атомів.
14. Релаксовані поверхні металів.
15. Реконструйовані поверхні металів.
16. Поверхні графіту, кремнію і деяких напівпровідникових матеріалів.
17. Поверхні складних напівпровідників типу АІІВV.
18. Низькорозмірні структури алюмінію на поверхні Si (111).
19. Адсорбція: класифікація та визначення.
20. Зв'язування молекул з поверхнею.
21. Фізична адсорбція молекул.
22. Хімічна адсорбція молекул на твердих тілах.
23. Енергетика адсорбції молекул на твердих поверхнях.
24. Термодинаміка адсорбції.
25. Кінетика і швидкість адсорбції.
26. Процес десорбції.
27. Теоретичні моделі адсорбції.
28. Поверхневі електронні стани Тамма.
29. Поверхневі електронні стани Шоклі.
30. Контактний потенціал і робота виходу.
31. Вимірювання роботи виходу.
32. Геометрія дифракції електронів.
33. Дифрактограми та їхній аналіз.
34. Використання оберненої ґратки у дифракційному аналізі.
35. Дифракційна картина Кікучі. Дифрактограми від збіжного пучка електронів.
36. Просвічувальний електронний мікроскоп.
37. Скануючий електронний мікроскоп.
38. Зондова мікроскопія.
39. Польовий іонний мікроскоп з атомним зондом.
40. Мас-спектрометрія вторинних іонів.
41. Спектроскопія резерфордівського зворотного розсіяння.

	<p>42. Фотоелектронна та оже-електронна спектроскопії.</p> <p>43. Раманівська спектроскопія.</p> <p>44. Доповнювальні дифракційні методики (дифракція високоенергетичних електронів на відбивання та дифракція повільних електронів, Дифракція з фільтруванням за енергією).</p> <p>45. Порівняння візуалізаційних методик та методик аналізу поверхні твердих тіл.</p>
<b>Опитування</b>	<p>. Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>



## ДОДАТОК

### Схема курсу Фізика поверхні твердого тіла

Тиж. / дата / год.-	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)* *лекція, самостійна , дискусія, групова робота)	Матеріали	Література.*** Ресурси в інтернеті	Завдання, год	Термін виконан- ня
1 тиж. 13.02 10.10	<b>Тема 1. Короткі історичні відомості, предмет і напрями розвитку фізики і хімії поверхні твердого тіла.</b> Короткі історичні відомості. Предмет і напрями розвитку фізики і хімії поверхні твердого тіла. Вибір фізичної моделі поверхні.	Лекція  Самостійна робота	Киселев В. Ф., Козлов С. Н., Зотеев А. В. Основы физики поверхности твердого тела. – М.: Изд-во Московского университета. Физический факультет МГУ, 1999. – 284 с.		2 год.  аудит.  2,625 год. само- стійної роботи	1 тиждень
2 тиж. 20.02 10.10	<b>Тема 2. Атомна структура поверхонь кристалічних матеріалів.</b> Елементи	Лекція  Практичне заняття  Самостійна робота	Зайцев А. Л. Физика поверхности: структура, адсорбция. – Минск: БНТУ, 2011. – 164 с.		6 год. аудит.  5,25 год. само- стійної роботи	2 тижні

<p><b>11.50</b> <b>3 тиж.</b> <b>27.02</b> <b>10.10</b></p>	<p>кристалографії. Примітивні ґратки. Спеціальні точки, напрямки і площини. Ґратки Браве. Поверхневі групи симетрії. Структура поверхні металів. Об'ємні кристалічні структури. Структура поверхні ГЦК металів. Структура поверхні ГЦУ металів. Структура поверхні ОЦК металів. Енергетика поверхні. Складні поверхні монокристалів. Неоднорідні поверхні. Поверхні монокристалів хімічних сполук. Поверхнева структура металів і макрочастинок.</p>					
<p><b>4 тиж.</b> <b>5.03</b> <b>10.10</b> <b>11.50</b></p>	<p><b>Тема 3.</b> <b>Релаксація та</b> <b>реконструкція</b> <b>поверхонь</b> <b>твердих тіл.</b> Релаксація поверхні твердих тіл. Реконструкція поверхні твердих тіл. Позначення структури поверхні при реконструкції і в присутності домішкових і</p>	<p>Лекція  Практичне заняття  Самостійна робота</p>	<p>Зайцев А. Л. Фізика поверхності: структура, адсорбція. – Минск: БНТУ, 2011. – 164 с.</p>		<p>6 год аудит.  5,25 год. само- стійної роботи</p>	<p>2 тижні</p>

<p><b>5 тиж.</b></p> <p><b>12.03</b></p> <p><b>10.10</b></p>	<p>адсорбованих атомів. Релаксовані поверхні металів.</p> <p>Реконструйовані поверхні металів.</p> <p>Поверхні графіту, кремнію і деяких напівпровідникових матеріалів.</p> <p>Поверхні складних напівпровідників типу АІІВV.</p> <p>Низькорозмірні структури алюмінію на поверхні Si (111).</p>					
<p><b>6 тиж.</b></p> <p><b>19.03</b></p> <p><b>10.10</b></p> <p><b>11.50</b></p> <p><b>7 тиж.</b></p> <p><b>26.03</b></p> <p><b>10.10</b></p>	<p><b>Тема 4. Поняття сорбції та адсорбції.</b></p> <p>Адсорбція: класифікація та визначення.</p> <p>Зв'язування молекул з поверхнею.</p> <p>Фізична адсорбція молекул.</p> <p>Хімічна адсорбція молекул на твердих тілах.</p> <p>Енергетика адсорбції молекул на твердих поверхнях.</p> <p>Термодинаміка адсорбції.</p> <p>Кінетика і швидкість адсорбції.</p> <p>Процес десорбції.</p> <p>Теоретичні моделі адсорбції.</p>	<p>Лекція</p> <p>Практичне заняття</p> <p>Самостійна робота</p>	<p>1. Зайцев А. Л. Физика поверхности: структура, адсорбция. – Минск: БНТУ, 2011. – 164 с.</p> <p>2. Киселев В. Ф., Козлов С. Н., Зотеев А. В. Основы физики поверхности твердого тела. – М.: Изд-во Московского университета. Физический факультет МГУ, 1999. – 284 с.</p> <p>3. Праттон М. Введение в физику поверхности. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 256 с.</p>		<p>6 год аудит.</p> <p>5,25 год самостійної роботи</p>	<p>2 тижні</p>

8 тиж. 2.04 10.10 11.50 9 тиж. 9.04 10.10	<b>Тема 5. Одновимірна модель кристалу. Стани Тамма і Шоклі.</b> Одновимірна модель кристалу. Поверхневі електронні стани Тамма. Поверхневі електронні стани Шоклі.	Лекція  Практичне заняття  Самостійна робота	1. Киселев В. Ф., Козлов С. Н., Зотеев А. В. Основы физики поверхности твердого тела. – М.: Изд-во Московского университета. Физический факультет МГУ, 1999. – 284 с. 2. Шалимова К. В. Физика полупроводников. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 392 с.		6 год аудит.  5,25 год. само- стійної роботи	2 тижні
10 тиж. 16.04 10.10 11.50 11 тиж. 23.04 13.30	<b>Тема 6 Контактний потенціал і робота виходу.</b> Контактний потенціал і робота виходу. Вимірювання роботи виходу.	Лекція  Практичне заняття  Контроль- на робота  Самостійна робота	1. Праттон М. Введение в физику поверхности. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 256 с. 2. Шалимова К. В. Физика полупроводников. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 392 с.		6 год аудит.  5,25 год. само- стійної роботи	2 тижні
12 тиж. 30.04 10.10 11.50 13 тиж. 7.05 10.10	<b>Тема 7 Дифракція електронів.</b> Геометрія дифракції електронів. Бреггівська дифракція. Розсіювальна здатність атома. Структурний фактор. Дифракція у просвічувальному мікроскопі. Дифрактограми та їхній аналіз. Використання	Лекція  Практичне заняття  Самостійна робота	Тузяк О. Я., Курляк В. Ю. Основы електронної та зондової мікроскопії: Навч. посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с.		6 год аудит.  5,25 год. само- стійної роботи	2 тижні

	<p>оберненої ґратки у дифракційному аналізі.  Поняття оберненої ґратки.  Побудова сфери Евальда.  Дифракція на скінченному кристалі.  Інші типи дифрактограм.  Дифракційна картина Кікучі.  Дифрактограми від збіжного пучка електронів.</p>					
<p><b>14 тиж.</b>  <b>14.05</b>  <b>10.10</b>  <b>11.50</b>  <b>15 тиж.</b>  <b>21.05</b>  <b>10.10</b>  <b>16 тиж.</b>  <b>28.05</b>  <b>10.10</b>  <b>11.50</b></p>	<p><b>Тема 8. Деякі методи аналізу поверхні твердих тіл.</b>  Просвічувальний електронний мікроскоп.  Скануючий електронний мікроскоп.  Зондова мікроскопія.  Польовий іонний мікроскоп з атомним зондом.  Мас-спектрометрія вторинних іонів.  Спектроскопія резерфордівського зворотного розсіяння.  Фотоелектронна та оже-електронна спектроскопія.  Природа фото- та оже-електронів.</p>	<p>Лекція  Практичне заняття  Самостійна робота</p>	<p>1. Тузяк О. Я., Курляк В. Ю. Основи електронної та зондової мікроскопії: Навч. посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с.  2. Праттон М. Введение в физику поверхности. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 256 с.</p>		<p>10 год аудит.  7,875 год самостійної роботи</p>	<p>3 тижні</p>

	Реєстрація фото- та оже-електронів. Аналіз спектрів. Раманівська спектроскопія. Доповнювальні дифракційні методики. Порівняння методик.					
--	---	--	--	--	--	--