

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Хімічний факультет
Кафедра фізичної та колоїдної хімії

Затверджено

На засіданні кафедри фізичної та колоїдної хімії
хімічного факультету
Львівського національного університету імені
Івана Франка
(протокол № 1 від 31.08.2022 р.)

Завідувач кафедри
Проф. Олександр РИЩЕТНЯК



Силабус з навчальної дисципліни

«Електропровідні полімери»

що викладається в межах ОПП другого (магістерського) рівня вищої освіти для
здобувачів з спеціальності 102 ХІМІЯ

Львів 2022 р.

Назва дисципліни	Електропровідні полімери
Адреса викладання дисципліни	Львівський національний університет імені Івана Франка, хімічний факультет, вул. Кирила і Мефодія 6, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Хімічний факультет, кафедра фізичної та колоїдної хімії
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	10 Природничі науки 102 Хімія
Викладачі дисципліни	Аксіментьєва О. І., д.х.н., професор, професор кафедри фізичної та колоїдної хімії Горбенко Ю. Ю., к.х.н., асистент кафедри неорганічної хімії
Контактна інформація викладачів	olena.aksimentyeva@lnu.edu.ua (проф. Аксіментьєва О. І.) yuliia.horbenko@lnu.edu.ua (ас. Горбенко Ю. Ю.)
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі онлайн консультації через MS Teams чи ZOOM. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка курсу	https://chem.lnu.edu.ua/department/physical-and-colloid-chemistry
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Електропровідні полімери” є вибірковою дисципліною зі спеціальності 102 Хімія для освітньо-професійної програм “Хімія” другого (магістерського) рівня вищої освіти, яка викладається в другому семестрі в обсязі 4 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам необхідні знання, обов’язкові для того, щоб ознайомитись з теоретичними основами явища електропровідності полімерних матеріалів, сформувані практичні навички одержання органічних полімерів із власною провідністю, освоїти методи дослідження їхніх властивостей, ознайомитись зі сферою застосування.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни “Електропровідні полімери” є вивчення теоретичних основ у галузі одержання нових електроактивних матеріалів, до складу яких входять органічні полімери із системою спряжених зв’язків, дослідження їхніх властивостей та ознайомлення з галузями застосування.
Література для вивчення дисципліни	<i>Основна література:</i> 1. Computational and experimental analysis of functional materials // eds.: O. V. Reshetnyak, G. E. Zaikov. – Toronto: Apple Academic Press, 2017. – 510 p. http://www.appleacademicpress.com/computational-and-experimental-analysis-of-functional-materials-/9781771883429 2. Heeger A. J. Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials / A. J. Heeger // Synth. Met. – 2001. – Vol. 125. – P. 23–42. https://doi.org/10.1021/jp011611w 3. MacDiarmid A. “Synthetic metals”: a novel role for organic polymers/ A. MacDiarmid // Curr. Appl. Phys. – 2001. – Vol. 1. – P. 269–79. <a href="https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010716)40:14<2581::AID-ANIE2581>3.0.CO;2-2">https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010716)40:14<2581::AID-ANIE2581>3.0.CO;2-2 4. Аксіментьєва О. І. Електрохімічні методи синтезу і провідність спряжених полімерів. – Львів: Світ, 1998. – 154 с. 5. Мамуня С.П., Юрженко М.В., Лебедев С.В. та ін. Електроактивні полімерні матеріали. – Київ, 2013. – 397 с.

	<p>6. Аксіментьєва О. І., Ціж Б. Р., Чохань М. І. Сенсори контролю газових середовищ у харчовій промисловості та довкіллі. – Львів : Піраміда, 2018. – 282 с.</p> <p>7. • Skotheim T. A. Handbook of Conducting Polymers / T. A. Skotheim, J. Reynolds. – CRC Press: New York, 2007. https://doi.org/10.1201/b12346</p> <p><i>Додаткова література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Progress in Materials Science 2. Nature Materials 3. Advanced Materials 4. Progress in Polymer Science 5. Nanoscale Research Letters 6. Journal of Alloys and Compounds 7. Materials Today 9. Applied Electronic Materials 10. Molecular Crystals and Liquid Crystals 11. Sensors and Actuators B: Chemical 12. Acta Physica Polonica A <p><i>Інформаційні ресурси:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. www.elsevier.com 2. www.wiley.com 3. http://pubs.acs.org/ 4. http://chemetal-journal.org/ 5. http://chem.lnu.edu.ua/visnykk/index.htm 6. http://nbuv.gov.ua/ 7. http://www.sciencedirect.com/ 8. https://www.scopus.com/ 9. http://webofknowledge.com/ 10. https://www.researchgate.net/ 11. https://mon.gov.ua
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Навчальний курс охоплює 4 кредити (120 год). Курс складається з 16 год лекційних занять, 32 год лабораторних занять та 72 год самостійної роботи</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>знати:</p> <p>основні класи спряжених полімерних систем, методи синтезу електропровідних полімерів та механізми хімічних реакцій, за якими вони перебігають, основні положення зонної теорії провідності, стрибковий та тунельний механізм провідності, теоретичні моделі для опису електропровідності π-спряжених полімерів, основні поняття про структуру полімерів та її взаємозв'язок із властивостями, області застосування електроактивних та електропровідних полімерів.</p> <p>вміти:</p> <p>синтезувати електропровідні полімери методами поліконденсації та полімеризації, визначати величину електропровідності синтетичних полімерів та їхню електроактивність, встановити будову та структуру макромолекул електропровідних полімерів методами УФ-, ІЧ-спектроскопії, встановлювати зв'язок склад–структура–властивості для цілеспрямованої зміни електропровідних властивостей полімерів в ході синтезу.</p>

	<p>У результаті успішного вивчення курсу студент набуде <i>загальних компетентностей</i>:</p> <p>ЗК 1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК 2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК 3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p>ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК 6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</p> <p>ЗК 8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.</p> <p>ЗК 14. Здатність до пошуку, критичного аналізу та обробки інформації з різних джерел;</p> <p>та <i>спеціальних (фахових) компетентностей</i>:</p> <p>СК 2. Здатність будувати адекватні моделі хімічних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, в тому числі з використанням методів молекулярного, математичного і комп'ютерного моделювання.</p> <p>СК 3. Здатність організовувати, планувати та реалізовувати хімічний експеримент.</p> <p>СК 4. Здатність інтерпретувати, об'єктивно оцінювати і презентувати результати свого дослідження.</p> <p>СК 6. Здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними.</p> <p>СК 7. Здатність дотримуватися етичних стандартів досліджень і професійної діяльності в галузі хімії (академічна доброчесність, ризики для людей і довкілля тощо).</p> <p>Програмні результати навчання:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ПРН 3. Застосовувати отримані знання і розуміння для вирішення нових якісних та кількісних задач хімії. - ПРН 4. Синтезувати хімічні сполуки із заданими властивостями, аналізувати їх і оцінювати відповідність заданим вимогам. - ПРН 6. Знати методологію та організації наукового дослідження. - ПРН 8. Вміти ясно і однозначно донести результати власного дослідження до фахової аудиторії та/або нефакхівців - ПРН 9. Збирати, оцінювати та аналізувати дані, необхідні для розв'язання складних задач хімії, використовуючи необхідні методи та інструменти роботи з даними. - ПРН 10. Планувати, організовувати та здійснювати експериментальні дослідження з хімії з використанням сучасного обладнання, грамотно обробляти їх результати та робити обґрунтовані висновки.
Ключові слова	Спряжені полімери, допування, оптичні властивості, сенсори
Формат курсу	Очний. Проведення лекцій, лабораторних занять та консультацій
Теми	Наведені у Таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці семестру на основі результатів поточного контролю та усного опитування
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін “Фізична хімія”, “Хімія високомолекулярних сполук”, “Фізика”, “Органічна хімія”
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під	Використання таких методів навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу таблицями, схемами та

<p>час викладання курсу</p>	<p>графіками; в) <i>практичні</i> – виконання лабораторних робіт (індивідуальні та групові завдання), спрямованих на застосування набутих знань у розв'язанні практичних завдань, презентації, творче індивідуальне завдання</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Мультимедійне обладнання, персональний комп'ютер, прилади та лабораторне обладнання кафедри фізичної та колоїдної хімії (спектрофотометри, потенціостати, електрохімічні комірки, оптичний мікроскоп)</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Нарахування балів здійснюється за таким співвідношенням: 40 % – виконання лабораторних робіт; 10 % – творче індивідуальне завдання (реферат); 50 % – письмовий іспит по всьому теоретичному матеріалу</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають письмову роботу (реферат). Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні 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 письмових робіт, передбачених курсом. Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі 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 заняттях, за написання реферату та бали підсумкового опитування (іспиту). При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до заліку чи екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. До якого класу провідників найбільше наближаються спряжені електропровідні полімери? 2. В якому діапазоні S/m (См/м) може змінюватись питома електропровідність спряжених полімерів? 3. Кому і коли, в якій галузі була присуджена Нобелівська премія за відкриття електропровідних полімерів? 4. Наведіть приклади електропровідних полімерів, ланцюг яких складається тільки з карбону і водню. 5. Наведіть приклади гетероциклічних електропровідних полімерів, що містять атоми нітрогену. 6. Які електропровідні полімери належать до поліаміноаренів?

	<ol style="list-style-type: none"> 7. Що таке спряження? Тип гібридизації у спряженому полімерному ланцюзі. 8. Що є носіями заряду в спряжених полімерах? 9. Поліацетилен. Будова і властивості. Ізомери поліацетилену. 10. Які методи синтезу спряжених полімерів Ви знаєте? 11. Як можна здійснити каталітичний синтез спряжених полімерів упорядкованої структури? 12. Синтез поліацетилену за методом Ширакави. 13. Будова і методи синтезу полі-пара-фенілену. 14. Механізм окиснювальної полімеризації аміноаренів (аніліну та його похідних). 15. Що таке електрохімічна полімеризація і для чого її застосовують? Режими здійснення процесу. Переваги електрохімічної полімеризації з циклічною розгорткою потенціалу. 16. Електрохімічна анодна полімеризація аміноаренів. Основні стадії. 17. Схема процесу полімеризації п'ятичленних гетероциклів (тіофен, пірол, та ін.). 18. Що таке ПЕДОТ і як його отримують? 19. В чому полягає легування (допування) спряжених полімерів? 20. Донорне і акцепторне легування за допомогою хімічних чинників. Протонне (кислотне) легування. 21. Електрохімічне легування спряжених полімерів (анодне і катодне). 22. Окисно-відновні (redox) стани поліаніліну в залежності від ступеня легування. 23. Особливості структури спряжених полімерів. 24. Які моделі провідності застосовують для спряжених полімерів? 25. Як утворюються полярони і біполярони? 26. Температурна залежність питомого опору електропровідних полімерів. 27. Як визначити енергію активації провідності? 28. Стрибкова модель провідності. Рівняння Мотта. 29. В чому полягає електрохромний ефект у спряжених полімерних системах. 30. Які відкриття лягли в основу становлення електрохромізму? 31. За якими принципами застосовуються електрохромні пристрої? 32. Як визначити електрохромну ефективність та швидкість електрохромного відгуку? 33. За якими показниками можна визначити перехідний час дифузії в електрохромній плівці? 34. Приклади застосування електрохромних матеріалів. 35. Органічна електроніка. Переваги і недоліки. 36. Газохромний ефект і оптичні газові сенсори з використанням електропровідних полімерів.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Таблиця 1. Схема курсу

Таблиця 1. Схема курсу

Тижень	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності	Література. ***Ресурси в інтернеті	Завдання	Термін виконання
1-2	Тема 1. Вступ. Сучасний стан розвитку органічної електроніки. Хімічна та електронна будова спряжених полімерів. Типи полімерів з чергуванням кратних зв'язків. Історичний аспект розвитку уявлень про електропровідні полімери.	Лекція	Базова: 1. Computational and experimental analysis of functional materials // eds.: O. V. Reshetnyak, G. E. Zaikov. – Toronto: Apple Academic Press, 2017. – 510 p. http://www.appleacademicpress.com/computational-and-experimental-analysis-of-functional-materials-/9781771883429 2. Heeger A. J. Semiconducting and metallic polymers: the fourth generation of polymeric materials / A. J. Heeger // Synth. Met. – 2001. – Vol. 125. – P. 23–42. https://doi.org/10.1021/jp011611w 3. MacDiarmid A. "Synthetic metals": a novel role for organic polymers/ A. MacDiarmid // Curr. Appl. Phys. – 2001. – Vol. 1. – P. 269–79. <a href="https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010716)40:14<2581::AI-D-ANIE2581>3.0.CO;2-2">https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010716)40:14<2581::AI-D-ANIE2581>3.0.CO;2-2 4. Аксіментьєва О. І. Електрохімічні методи синтезу і провідність спряжених полімерів. – Львів: Світ, 1998. – 154 с. 5. Мамуня Є.П., Юрженко М.В., Лебедєв Є.В. та ін. Електроактивні полімерні матеріали. – Київ, 2013. – 397 с. 6. Аксіментьєва О. І., Ціж Б. Р., Чохань М. І. Сенсори контролю газових середовищ у харчовій промисловості та довіклі. – Львів : Піраміда, 2018. – 282 с. 7. Skotheim T. A. Handbook of Conducting Polymers / T. A. Skotheim, J. Reynolds. – CRC Press: New York, 2007. https://doi.org/10.1201/b12346	Самостійна робота. Класифікація спряжених полімерних систем. Вивчення хімічної будови представників в різних класів спряжених електропровідних полімерів.	Вересень
	Електрохімічний синтез спряжених поліаміноаренів на поверхні оптично-прозорих електродів в умовах циклічної розгортки потенціалу. Визначення товщини і морфології плівок.	Лабораторна робота			
3-4	Тема 2. Методи синтезу спряжених полімерів: хімічний синтез поліацетилену, поліпіролу, політіофену, поліпарафенілену, поліаніліну. Механізм електрохімічного синтезу спряжених полімерів. Анодна (окислювальна) і катодна (відновлювальна) полімеризація. Фотополімеризація. Термоліз прекурсорів.	Лекція		Самостійна робота. Квантово-хімічні підходи до трактування електронної структури спряжених систем. Методи хімічного та електрохімічного синтезу спряжених полімерів. Сучасні підходи.	Вересень
	Хімічний синтез спряжених поліаміноаренів методом окиснювальної полімеризації. Визначення впливу хімічного легування на структуру і електропровідність зразків.	Лабораторна робота			
5-6	Тема 3. Механізм легування спряжених полімерів. Донорне і акцепторне легування за допомогою хімічних чинників. Протонне легування. Електрохімічне легування спряжених полімерів (анодне і катодне). Фотолегування.	Лекція		Самостійна робота. Механізми електрохімічного синтезу спряжених полімерів.	Жовтень
	Електрохімічне легування спряжених полімерів. Визначення параметрів перенесення заряду в тонких плівках.	Лабораторна робота			
7-8	Тема 4. Типи носіїв заряду та механізм провідності спряжених полімерів. Зонна теорія, стрибковий механізм. Теорія Су-Шриффера-Хігера. Модель Ківельсона. Доменна теорія провідності.	Лекція		Самостійна робота. Ензимний синтез спряжених полімерів.	Жовтень
	Температурна залежність провідності спряжених полімерів. Визначення активаційних параметрів	Лабораторна робота	Допоміжна: Періодичні видання		

	провідності.		1. <i>Progress in Materials Science</i> 2. <i>Nature Materials</i> 3. <i>Advanced Materials</i> 4. <i>Progress in Polymer Science</i> 5. <i>Nanoscale Research Letters</i> 6. <i>Journal of Alloys and Compounds</i> 7. <i>Materials Today</i> 9. <i>Applied Electronic Materials</i> 10. <i>Molecular Crystals and Liquid Crystals</i> 11. <i>Sensors and Actuators B: Chemical</i> 12. <i>Acta Physica Polonica A</i>		
9-10	Тема 5. Особливості структури спряжених полімерів у тонкому шарі. Спряжені полімери як неупорядковані системи. Структура спряжених полімерів та методи її дослідження. ІЧ, УФ, ЕПР, ЯМР спектроскопія та рентгенівський фазовий аналіз Електронні властивості спряжених полімерів.	Лекція	Інформаційні ресурси: 1. https://www.scopus.com/ 2. www.sciencedirect.com . 3. http://onlinelibrary.wiley.com .	Самостійна робота. Структура спряжених полімерів та методи її дослідження. Аналіз спектрів оптичного поглинання спряжених полімерів в ІЧ та УФ діапазоні (індивідуальні завдання).	Листопад
	Вимірювання і аналіз спектрів пропускання і поглинання поліаміноаренів різної природи на оптично-прозорих поверхнях.	Лабораторна робота			
11-12	Тема 6. Оптичні властивості спряжених полімерних систем. Класифікація оптичних явищ. Електрохромність як зміна оптичних властивостей речовини при накладанні електричного поля. Розвиток уявлень про електрохромізм органічних речовин. Праці Деба, Плата, ефекти Штарка, Керра, електрооптичні явища Фарадея.	Лекція		Самостійна робота. Класифікація оптичних явищ. Електрохромність. Метод електроелектрохімічних досліджень.	Листопад
	Дослідження електрохромного ефекту в спряжених полімерах. Вплив прикладеного потенціалу на спектри поглинання, морфологію і забарвлення плівок.	Лабораторна робота			
13-14	Тема 7. Застосування спряжених електропровідних полімерів. перетворювачів світлової енергії. Застосування електрохромних пристроїв. Будова і типи електрохромних комірок. Невипромінюючі дисплеї. Розумні вікна. Дзеркала з керованим відбиванням. Нанотехнологічні підходи для покращення характеристик оптоелектронних пристроїв.	Лекція		Самостійна робота Принципи застосування електрохромних пристроїв. Будова і типи електрохромних комірок. Газохромний, іонохромний, термохромний і ефекти та їх застосування в сенсорах.	Грудень
	Застосування плівок спряжених полімерів в оптичних сенсорах рН. Побудова калібрувальних кривих за зміною оптичної густини та зсуву положення максимуму поглинання.	Лабораторна робота			
15-16	Теми 8. Оптичні сенсори на основі спряжених полімерів і композитів. Типи і переваги оптичних сенсорів. Газохромний, іонохромний та термохромний ефекти в спряжених	Лекція		Самостійна робота. Принципи роботи і архітектура	Грудень

	<p><i>системах. Інтелектуальні сенсорні середовища. Основні принципи побудови оптичних сенсорів на основі спряжених полімерів.</i></p>			<p><i>перетворювачів світлової енергії. Нанотехнологічні підходи для покращення характеристик</i></p>	
	<p><i>Газохромний ефект в спряжених полімерних системах та його застосування в оптичних газових сенсорах.</i></p>	<p><i>Лабораторна робота</i></p>		<p><i>ик оптоелектронних пристроїв.</i></p>	