

**Силабус курсу «Кріогеніка»  
2020–2021 н.р.**

<b>Назва курсу</b>	Кріогеніка
<b>Адреса викладання курсу</b>	вул. Драгоманова 19, 79005 Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра загальної фізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	10 Природничі науки / спеціальність: <i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i> , спеціалізація: <i>Прикладна фізика</i> , освітньо-кваліфікаційний рівень: <i>доктор філософії</i>
<b>Викладачі курсу</b>	Професор, завідувач кафедри загальної фізики, д.ф.-м.н. Стадник Василь Йосифович
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:vasylstadnyk@ukr.net">vasylstadnyk@ukr.net</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/kriohenika-105d-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy-aspiranty-2-ho-r-n">https://physics.lnu.edu.ua/course/kriohenika-105d-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy-aspiranty-2-ho-r-n</a>
<b>Інформація про курс</b>	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам відповідні загальні та фахові компетентності засновані на розумінні закономірностей цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із процесами, які відбуваються у фізичній системі в разі квантування енергії речовини та фазових переходів типу газ–рідина і рідина–тверде тіло. Тому у курсі представлені відповідні теоретичні дані та передбачене проведення лабораторних занять.
<b>Коротка анотація курсу</b>	Дисципліна «Кріогеніка» є нормативною дисципліною для підготовки доктора філософії з природничих наук за спеціальністю 104 Фізика спеціалізації фізика напівпровідників і діелектриків, яка викладається в III семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Програма навчальної дисципліни складається з одного змістовного модуля. Розглядаються наступні проблеми: основні термодинамічні співвідношення у фізиці низьких температур; фазові перетворення і властивості гелію; основні термодинамічні процеси отримання низьких температур; процеси охолодження з використанням робочого середовища в твердому стані; кріогенні системи та установки; фізичні властивості кристалів за низьких температур та оптичні властивості кристалів за низьких температур.
<b>Мета та цілі курсу</b>	Метою і завданням навчальної дисципліни “Кріогеніки” є формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із процесами, які відбуваються у фізичній системі в разі квантування енергії речовини та фазових переходів типу газ–рідина і рідина–тверде тіло. З одного боку, – це наукові напрями, пов'язані з методами та технікою отримання низьких температур, а з іншого, – фізичні процеси, які відбуваються в конденсованих системах за низьких температур, що

	в подальшому стане цінним інструментом під час виконання дисертаційних робіт.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<p>Основна література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>А.В. Франів, В.Й. Стадник, В.Ю. Курляк.</i> Фізика низьких температур. – Львів: вид-во ЛНУ ім. І.Франка, 2017, 362 с.</li> <li>2. <i>Б.І. Веркін.</i> Кріогенна техніка. – К.: «Наукова думка», 1985, 195 с. (рос. мова).</li> <li>3. <i>Е.І. Мікулін.</i> Кріогенні системи. – М.: Мир, 1988, 267 с. (рос. мова).</li> <li>4. <i>І.А. Капіца.</i> Кріогенна техніка. – М.: Мир, 1992, 345 с. (рос. мова).</li> <li>5. <i>А.М. Архаров, І.В. Марфеніна, Е.І. Мікулін.</i> Теорія і розрахунок кріогенних систем. – М.: «Машинобудування», 1978, 415 с. (рос. мова).</li> </ol> <p>Додаткова література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>О.В. Луанасмаа.</i> Принципи і методи отримання температур нижче 1 К. – М.: Мир, 1977, 345 с. (рос. мова).</li> <li>2. <i>Б.Н. Єсельсон, В.Н. Грігор'єв, В.Г. Іванцов.</i> Властивості рідкого і твердого гелію. – М.: В-во стандартів, 1978, 128 с. (рос. мова).</li> <li>3. <i>Б.І. Веркін.</i> Методи вимірювання низьких та наднизьких температур. – К.: Наукова думка, 1987, 196 с. (рос. мова).</li> <li>4. <i>Ю.І. Уханов.</i> Оптичні властивості напівпровідників. – М.: Наука, 1977, 365 с. (рос. мова).</li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 48 години аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 16 годин практичних занять та 42 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>знати:</p> <p>основні поняття предмету; основні методи отримання низьких температур; особливості теплопередачі кріогенних матеріалів та холодоагентів; методи вимірювання температури; низькотемпературні властивості матеріалів..</p> <p>вміти:</p> <p>охолоджувати і зріджувати кріогенні гази з використанням циклу Карно; розділяти кріогенні гази на основі використання процесу розділення зрідженого повітря; засвоїти методику роботи азотних і гелієвих кріостатів та низькотемпературної системи УТРЕКС; градувати термодатчики в області низьких температур; оволодіти принципами роботи гелієвої станції; визначати енергію зв'язку та серіальну закономірність екситона за низькотемпературним спектром поглинання.</p>
<b>Ключові слова</b>	Низькі температури, Кельвін, рідкий азот, рідкий гелій, фазовий перехід, процеси кипіння
<b>Формат курсу</b>	Очний /заочний
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1
<b>Підсумковий</b>	іспит в кінці семестру

<b>контроль, форма</b>	усний
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін молекулярна фізика, фізика твердого тіла, кристалофізика, оптика, електромагнетизм.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції, дискусія, розв'язок задач, підготовка доповідей.
<b>Необхідне обладнання</b>	персональний комп'ютер, загальнонавчальні комп'ютерні програми і операційні системи, проектор
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> <li>• практичні/самостійні тощо: 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20</li> <li>• контрольні заміри (модулі): 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30</li> <li>• іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50</li> </ul> Підсумкова максимальна кількість балів 100
<b>Питання до екзамену</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Точка кипіння рівноважного водню.</li> <li>2. Основні модифікації водню. Відмінність між ними.</li> <li>3. Принцип недосяжності нуля абсолютної температури (абсолютного «нуля»):</li> <li>4. Що таке <math>\lambda</math>-перехід і за якої температури він відбувається у <math>^4\text{He}</math>?</li> <li>5. Відмінність між He I та He II?</li> <li>6. Ротони та другий звук у гелію.</li> <li>7. Поведінка суміші <math>^3\text{He}</math>-<math>^4\text{He}</math>.</li> <li>8. Дроселювання, тепловий (або ізотермічний) ефект дроселювання <math>\Delta_{i,T}</math>.</li> <li>9. Охолодження за допомогою адіабатного розмагнічення та термоелектричне охолодження?</li> <li>10. Ефект Померанчука.</li> <li>11. Охолодження за допомогою адіабатної кристалізації.</li> <li>12. Електрокалоричний ефект охолодження та термомагнітне охолодження.</li> <li>13. Зниження температури під час ізентальпійного та адіабатного процесів.</li> <li>14. Отримання низьких температур методом дроселювання.</li> <li>15. Теплообмінник, коефіцієнт корисної дії (ККД) теплообмінника:</li> <li>16. Як конструктивні параметри впливають на теплопровідність?</li> <li>17. Ректифікація та кріостатування.</li> <li>18. Групи кріогенних установок за призначенням.</li> <li>19. Зріджувач, коефіцієнт зрідження <math>\chi</math> зріджувального циклу.</li> <li>20. Будова та принцип дії детандера та газгольдера.</li> <li>21. Явище надпровідності.</li> </ol>
<b>Опитування</b>	

## Схема курсу «Кріогеніка»

Тиждень	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Додаткова література / ресурс для виконання завдань (за потреби)	Термін виконання
1,2	Основні термодинамічні співвідношення у фізиці низьких температур.	Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год		2 тижні
3,4	Фазові перетворення і властивості гелію.	Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год		2 тижні
5,6	Основні термодинамічні процеси отримання низьких температур.	Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 8 год		2 тижні
7,8	Процес охолодження з використанням робочого середовища в твердому стані.	Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 6 год		2 тижні
9,10	Кріогенні системи та установки.	Лекції – 4 год, практ. заняття – 2 год, самостійна робота – 6 год		2 тижні
11,12, 13	Фізичні властивості кристалів за низьких температур.	Лекції – 6 год, практ. заняття – 3 год, самостійна робота – 7 год		3 тижні
14,15, 16	Оптичні властивості кристалів за низьких температур.	Лекції – 6 год, практ. заняття – 3 год, самостійна робота – 7 год		3 тижні