

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ім. Б. І. ВЕРКІНА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. Директора  
ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна  
НАН України



М. І. Глушук

« 7 » 07. 2020 р.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

Сучасна фізика низьких температур

(назва навчальної дисципліни)

з галузі знань «10 Природничі науки»  
за спеціальністю «104 Фізика та астрономія»

РОЗРОБНИК/-И:

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу фізики квантових рідин і кристалів ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Майданов Володимир Андрійович

підпис

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу фізики квантових рідин і кристалів ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Чаговець Валерій Костянтинович

підпис

Погоджено Науковою радою з проблеми «Молекулярна фізика, фізика кріогенних рідин та кристалів» ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України 11 серпня 2020 р., протокол № 481

Голова Ради

/ С. С. Соколов /

Вчений секретар Ради

/ В. Л. Вакула /

Затверджено Вченою радою Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України, 07.07. 2020 р., протокол № 5.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ім. Б.І. ВЕРКІНА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

СИЛАБУС  
навчальної дисципліни  
СУЧАСНА ФІЗИКА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР  
2020-2021 навчальний рік

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
<b>Назва</b>	<b>Сучасна фізика низьких температур</b>
<b>Адреса викладання</b>	м. Харків, пр. Науки, 47
<b>Рівень вищої освіти</b>	Третій освітньо-науковий рівень
<b>Галузі знань</b>	10 «Природничі науки»;
<b>Шифр та назва спеціальності</b>	104 Фізика та астрономія
<b>Викладач /-чі/</b>	д.ф.-м-н., с.н.с. Майданов Володимир Андрійович д.ф.-м-н., с.н.с. Чаговець Валерій Костянтинович
<b>Контактна інформація викладача (-ів)</b>	Тел. +38 067 648 8947- Майданов В.А. <a href="mailto:maidanov@ilt.kharkov.ua">maidanov@ilt.kharkov.ua</a> +38 063 021 23 43 – Чаговець В.К. <a href="mailto:chagovets@ilt.kharkov.ua">chagovets@ilt.kharkov.ua</a>
<b>Графік занять</b>	За розкладом
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	П'ятниця 16.00-17.00. пр. Науки, 47, он-лайн консультації через Skype або Wiber (для узгодження часу писати на електронну пошту <a href="mailto:maidanov@ilt.kharkov.ua">maidanov@ilt.kharkov.ua</a> , <a href="mailto:chagovets@ilt.kharkov.ua">chagovets@ilt.kharkov.ua</a> )
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://">https://</a>

<i>Назва n/n</i>	<i>Коротка інформація</i>
<b>Інформація про навчальну дисципліну</b>	Дисципліна «Сучасна фізика низьких температур» є нормативною навчальною дисципліною, яка входить до циклу підготовки за вибором здобувача за спеціальностями 104 «Фізика та астрономія» на третьому /освітньо-науковому/ рівні підготовки доктора філософії з фізики. Дана дисципліна викладається у 3-4 семестрах підготовки в обсязі 4 кредитів за Європейською кредитно-трансферною системою /ECTS/.
<b>Анотація</b>	Курс «Сучасна фізика низьких температур» є курсом зі спеціалізації, який узагальнює та систематизує знання аспірантів, отримані у інших курсах, а також знайомить з новими низькотемпературними системами і явищами, фізичними методами їх створення, дослідження властивостей в умовах низьких температур.
<b>Мета та цілі</b>	Метою вивчення дисципліни “ Сучасна фізика низьких температур ” є формування у майбутнього науковця поняття про властивості низькотемпературних систем, ознайомити аспірантів з сучасним станом фізики низьких температур, надати інформацію про сучасні методи отримання і експериментального дослідження низькотемпературних систем і явищ, а також сформулювати уявлення про проблеми і перспективи розвитку фізики низьких температур. Освітньою ціллю курсу є формування вміння у аспірантів самостійно вибирати і обґрунтовувати свій вибір щодо оптимального методу дослідження властивостей 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; пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи досліджень у самостійній науковій роботі.
<b>Загальний обсяг у кредитах Європейської кредитно-трансферної системи /ECTS/</b>	4 кредити
<b>Загальна кількість годин</b>	120 годин
<b>Структура</b>	36 годин аудиторних. З них 30 годин лекцій, 6 годин семінарських занять, 84 години самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	У результаті вивчення курсу аспірант повинен <b>Знати:</b> - термінологію в галузі низьких температур; - термодинамічні основи охолодження та зрідження реальних газів; - основні положення теорії надплинності гелію Ландау;

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- фізичні властивості кріогенних рідин та особливості роботи з ними;</li> <li>- властивості речовин при низьких температурах та основні методи їх дослідження;</li> <li>- методи та елементи низькотемпературної термометрії;</li> <li>- сучасні дослідження гідродинамічних та хвильових процесів в надплинному <math>^4\text{He}</math> та розчинах <math>^3\text{He}</math>-<math>^4\text{He}</math>;</li> <li>- принципи роботи сучасного кріогенного обладнання та елементи кріоелектроніки.</li> <li>- фізичні основи конструювання кріогенного устаткування;</li> <li>-</li> </ul> <p><b>Вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обґрунтовано вирішувати фізичні задачі в рамках своєї спеціальності, використовуючи різнобічні міждисциплінарні знання з низьких температур;</li> <li>- використовувати довідкову і навчальну літературу в галузі низьких температур, знаходити інші необхідні джерела інформації і працювати з ними.</li> <li>- пояснювати основні принципи та використовувати вивчені експериментальні методи у самостійній науковій роботі.</li> </ul> <p>Інтегральний результат навчання полягає у тому, що аспірант повинен</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вільно орієнтуватися у термінології та сучасних методах фізики низьких температур, науковій літературі зі спеціальності.</li> <li>• Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та діяти відповідно норм академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.</li> <li>• Працювати над власним розвитком та вдосконалюванням, виявляти прагнення до підвищення професійної кваліфікації та критично оцінювати власні здобутки, бачити обмеження та вміти визначати перспективи подальшого професійного вдосконалення.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Низькі температури, кріогенні рідини, надплинний гелій, кріостат
<b>Програма навчальної дисципліни</b>	<p>Тема 1. Вступ. Основні напрямки фізики низьких температур.</p> <p>Тема 2. Фізичні основи зрідження реальних газів.</p> <p>Тема 3. Кріогенні конструкції та аналіз теплоприпливів.</p> <p>Тема 4. Незвичайні властивості рідкого гелію.</p> <p>Тема 5. Основи теорії надплинності гелію Ландау. Хвильові процеси у надплинному гелії.</p> <p>Тема 6. <math>^3\text{He}</math> - Фермі-рідина. Розчини ізотопів гелію <math>^3\text{He}</math> - <math>^4\text{He}</math>.</p> <p>Тема 7. Квантова турбулентність надплинного гелію.</p>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<p>Тема 8. Надплинність та бозе-ейнштейнівська конденсація. Лазерне охолодження.</p> <p>Тема 9. Гелієві кріостати для фізичних досліджень. Кріостати випаровування.</p> <p>Тема 10. Рефрижераторі розчинення <math>^3\text{He}</math> в <math>^4\text{He}</math>.</p> <p>Тема 11. Експериментальні методи одержання наднизьких температур.</p> <p>Тема 12. Термометрія низьких та наднизьких температур. Температурні шкали.</p> <p>Тема 13. Основні первинні термометри.</p> <p>Тема 14. Загальні відомості про твердий гелій та його квантові властивості.</p> <p>Тема 15. Квантова дифузія <math>^3\text{He}</math> в твердих розчинах <math>^3\text{He}</math> в <math>^3\text{He}</math>.</p>
<b>Короткий опис змісту тем</b>	<p><b>Тема 1.</b> Вступ. Основні напрямки фізики низьких температур Історична довідка виникнення низьких температур. Основні розділи фізики і техніки низьких температур. Розвиток низьких температур в Україні і Харкові.</p> <p><b>Тема 2.</b> Фізичні основи зрідження реальних газів. Рівняння стану ідеального і реального газу. Рівняння Ван-Дер-Ваальса. Ефект Джоуля-Томсона. Адіабатичне розширення газу з здійсненням зовнішньої роботи.</p> <p><b>Тема 3.</b> Кріогенні конструкції та аналіз теплоприпливів. Рефрижератор компресійного типу. Зріджувачі Гемпсона, Лінде і Клода. Теплоприпливи по тепловому зв'язку, тепловому випромінюванню та залишковому газу</p> <p><b>Тема 4.</b> Незвичайні властивості рідкого гелію Щільність і теплоємність рідкого гелію. Фазова діаграма рідкого гелію, <math>\lambda</math> - аномалія. Теплопровідність і в'язкість гелію. Експерименти Капіці та відкриття надплинності</p> <p><b>Тема 5.</b> Основи теорії надплинності гелію Ландау. Хвильові процеси у надплинному гелії Основні ідеї теорії надплинності. Концепція квазічастинок і енергетичний спектр надплинного гелію. Дворідинна модель - нормальна і надплинна компоненти. Критична швидкість надплинності. Дворідинна гідродинаміка і акустичні моди. Методи збудження і фізична природа різних звуків.</p> <p><b>Тема 6.</b> <math>^3\text{He}</math> - Фермі-рідина. Розчини ізотопів гелію <math>^3\text{He}</math>-<math>^4\text{He}</math>. Одержання <math>^3\text{He}</math>. Основи теорії фермі-рідини Ландау. Спостереження надплинності <math>^3\text{He}</math> при наднизьких температурах та властивості його надплинних фаз. Фазова діаграма розчинів <math>^3\text{He}</math>-<math>^4\text{He}</math>. Надплинність розчинів. Елементарні збудження та енергетичний спектр надплинних розчинів.</p> <p><b>Тема 7.</b> Квантова турбулентність надплинного гелію. Перехід від ламінарного до турбулентного потоку у рідкому гелії. Порівняння класичної та квантової турбулентності. Механізми дисипації турбулентних потоків. Методи експериментального дослідження</p>

Назва п/п	Коротка інформація
	<p>турбулентного стану.</p> <p><b>Тема 8.</b> Надплинність та бозе-ейнштейнівська конденсація. Лазерне охолодження. Лазерне охолодження атомних пучків. Зупинка атомів. Магнітна відкачка атомів.</p> <p><b>Тема 9.</b> Гелієві кріостати для фізичних досліджень. Кріостати випаровування. Кріостати випаровування з <math>^4\text{He}</math> одноразові та безперервної роботи. Градусна камера та кріостати випаровування з <math>^3\text{He}</math>. Застосування адсорбційних насосів</p> <p><b>Тема 10.</b> Рефрижератори розчинення <math>^3\text{He}</math> в <math>^4\text{He}</math>. Фізичні основи методу та принципова схема рефрижератора розчинення. Конструктивні особливості камери розчинення та камери випаровування. Низькотемпературні теплообмінники. Види та приклади сучасних рефрижераторів розчинення.</p> <p><b>Тема 11.</b> Експериментальні методи одержання наднизьких температур. Метод адіабатичної кристалізації <math>^3\text{He}</math>. Ентропійна діаграма <math>^3\text{He}</math>. Конструкції комірки Померанчука. Метод адіабатичного розмагнічування парамагнітної солі. Охолодження за допомогою адіабатичного ядерного розмагнічування. Сучасні рефрижератори ядерного розмагнічування.</p> <p><b>Тема 12.</b> Термометрія низьких та наднизьких температур. Температурні шкали. Фізичні основи температурних вимірювань та загальні положення термометрії. Температурні шкали. Термометри опору та їх різновидність.</p> <p><b>Тема 13.</b> Основні первинні термометри. Кристалізаційні термометри з <math>^3\text{He}</math> за кривою плавлення. Газовий термометр. Шумовий термометр.</p> <p><b>Тема 14.</b> Загальні відомості про твердий гелій та його квантові властивості. Методи одержання твердого гелію. Фазові P-T діаграми твердого <math>^4\text{He}</math>, <math>^3\text{He}</math>, та розчинів <math>^3\text{He}</math>-<math>^4\text{He}</math>. Інтенсивність нульових коливань та параметр Де-Бура. Основи квантової теорії А. Андреєва та І. Ліфшиця.</p> <p><b>Тема 15.</b> Квантова дифузія <math>^3\text{He}</math> в твердих розчинах <math>^3\text{He}</math> в <math>^4\text{He}</math>. Використання ядерного магнітного резонансу для спостереження квантової дифузії. основні фізичні механізми квантової дифузії. Аномально швидкий масоперенос при гомогенізації розшарованого розчину.</p>
<b>Теми лекційних занять</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вступ. Основні напрямки фізики низьких температур.</li> <li>- Фізичні основи зрідження реальних газів.</li> <li>- Кріогенні конструкції та аналіз теплоприпливів.</li> </ul>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Незвичайні властивості рідкого гелію.</li> <li>- Основи теорії надплинності гелію Ландау. Хвильові процеси у надплинному гелії.</li> <li>- <math>^3\text{He}</math> - Фермі-рідина. Розчини ізотопів гелію <math>^3\text{He}</math>-<math>^4\text{He}</math>.</li> <li>- Квантова турбулентність надплинного гелію.</li> <li>- Надплинність та бозе-ейнштейнівська конденсація. Лазерне охолодження.</li> <li>- Гелієві кріостати для фізичних досліджень. Кріостати випаровування.</li> <li>- Рефрижераторі розчинення <math>^3\text{He}</math> в <math>^4\text{He}</math>.</li> <li>- Експериментальні методи одержання наднизьких температур.</li> <li>- Термометрія низьких та наднизьких температур. Температурні шкали.</li> <li>- Основні первинні термометри.</li> <li>- Загальні відомості про твердий гелій та його квантові властивості.</li> <li>- Квантова дифузія <math>^3\text{He}</math> в твердих розчинах <math>^3\text{He}</math> в <math>^3\text{He}</math>.</li> </ul>
<b>Теми семінарських занять</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Квантові рідини та надплинність</li> <li>- Фізичні методи одержання низьких та наднизьких температур</li> <li>- Квантові кристали.</li> </ul>
<b>Теми для самостійної роботи</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Основні напрямки фізики низьких температур.</li> <li>- Фізичні основи зрідження реальних газів.</li> <li>- Кріогенні конструкції та аналіз теплоприпливів.</li> <li>- Незвичайні властивості рідкого гелію.</li> <li>- Основи теорії надплинності гелію Ландау. Хвильові процеси у надплинному гелії.</li> <li>- <math>^3\text{He}</math> - Фермі-рідина. Розчини ізотопів гелію <math>^3\text{He}</math>-<math>^4\text{He}</math>.</li> <li>- Квантова турбулентність надплинного гелію.</li> <li>- Підготовка до семінарського заняття «Квантові рідини та надплинність»</li> <li>- Надплинність та бозе-ейнштейнівська конденсація. Лазерне охолодження.</li> <li>- Гелієві кріостати для фізичних досліджень. Кріостати випаровування.</li> <li>- Рефрижераторі розчинення <math>^3\text{He}</math> в <math>^4\text{He}</math>.</li> <li>- Експериментальні методи одержання наднизьких температур.</li> <li>- Підготовка до семінарського заняття «Фізичні методи одержання низьких та наднизьких температур».</li> <li>- Термометрія низьких та наднизьких температур. Температурні шкали.</li> <li>- Основні первинні термометри.</li> <li>- Загальні відомості про твердий гелій та його квантові властивості.</li> <li>- Квантова дифузія <math>^3\text{He}</math> в твердих розчинах <math>^3\text{He}</math> в <math>^3\text{He}</math>.</li> <li>- Підготовка до семінарського заняття . «Квантові кристали».</li> </ul>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>			
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік			
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу необхідні знання з молекулярної фізики, термодинаміки, квантової механіки, гідродинаміки, фізики твердого тіла.			
<b>Постреквізити</b>	Основні положення навчальної дисципліни мають застосовуватися при виконанні аспірантом власних наукових досліджень та інтерпретації їх результатів.			
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	В процесі навчання використовуються лекції, презентації, методичні матеріали та спеціальна література.			
<b>Необхідне обладнання</b>	Технічні засоби, необхідні для демонстрації презентацій, загально вживані програми і операційні системи.			
<b>Шкала оцінювання</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою:			
	СУМА БАЛІВ	ОЦІНКА ЄКТС	ОЦІНКА ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ	
			екзамен	залік
	90-100	A	відмінно	зараховано
	82-89	B	добре	
	75-81	C		
	64-74	D		
	60-63	E	задовільно	не зараховано
	35-59	FX	незадовільно	
	1-34	F		
<b>Критерії оцінювання</b>	<b>Кількість балів</b>	<b>Критерії оцінювання</b>		



Назва п/п	Коротка інформація
	<p>90-100 У відповіді повністю розкрито зміст питання. Матеріал викладено логічно, аргументовано, мова є грамотною, науковий стиль викладення матеріалу, вільне володіння термінологічним апаратом дисципліни. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що входить до навчальної програми, та продемонстровано високі практичні навички.</p> <p>75-89 Відповідь досить повно розкриває зміст питання або розкриває основні (найважливіші) аспекти у запитанні, слухач володіє термінологічним апаратом дисципліни. У викладеному матеріалі слухач має помилки із аргументацією відповіді, недостатня логічність та послідовність викладення матеріалу. У відповіді продемонстровано високий рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, та середній рівень володіння практичним матеріалом.</p> <p>60-74 Відповідь на контрольне питання є неповною, розкриває тільки деякі аспекти навчального матеріалу. Слухач припускається помилок у використанні термінології навчальної дисципліни. Рівень володіння матеріалом, що було викладено на лекціях, додатковим та практичним матеріалом матеріалом є середнім.</p> <p>35-59 У відповіді допущено суттєві помилки, які свідчать про незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; слухач слабо володіє термінологією дисципліни.</p> <p>1-34 Відповідь практично відсутня, слухач демонструє незнання лекційного матеріалу або обов'язкової літератури; не володіє термінологією</p>
Питання до іспиту/заліку	<p style="text-align: center;"><b>Фізика низьких температур</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поняття температури і градуса. Шкали температур.</li> <li>2. Рівняння стану і ізотерми газу Ван-дер-Ваальса.</li> <li>3. Умови зрідження газів і критичні параметри. Ефект Джоуля-Томсона. Температура інверсії. Розширення газу із здійсненням роботи.</li> <li>4. Особливості фізичних властивостей твердого тіла при низьких температурах.</li> <li>5. Основні властивості криогенних рідин.</li> <li>6. Фазова діаграма, теплоємність і теплопровідність рідкого гелію.</li> <li>7. Досліди Капіці і відкриття надтекучості.</li> <li>8. Енергетичний спектр He II. Критерій надтекучості Ландау.</li> <li>9. Дворідинна модель He II.</li> <li>10. Термомеханічний і механо-калоричний ефекти.</li> <li>11. Квантова турбулентність надплинного гелію.</li> <li>12. Фазові <math>P - T</math> діаграми <math>^4\text{He}</math>, <math>^3\text{He}</math> і <math>T - x</math> діаграми розчинів <math>^3\text{He} - ^4\text{He}</math>.</li> <li>13. Інтенсивність нульових коливань та параметр Де-Бура.</li> <li>14. Спостереження квантової дифузії. Основні фізичні механізми квантової дифузії.</li> </ol>

Назва п/п	Коротка інформація
	<p style="text-align: center;"><b>Техніка низьких температур</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поняття температури і градуса. Шкали температур</li> <li>2. Рефрижератор компресійного типу. Принцип роботи побутового холодильника.</li> <li>3. Каскадний метод зрідження газів. Зріджувач Гемпсона. Зріджувач Лінде. Зріджувач Клода.</li> <li>4. Охолодження газів за рахунок здійснення роботи. Детандери.</li> <li>5. Турбодетандери. Турбодетандерний зріджувач Капіци. Дросельні зріджувачі водню і гелію.</li> <li>6. Теплообмінники і дроселі.</li> <li>7. Гелієві і азотні дьюари. Види теплової ізоляції.</li> <li>8. Гелієвий криостат для фізичних досліджень і його основні елементи.</li> <li>9. Види теплопритоків в низькотемпературних конструкціях. Розрахунок теплопритоку за рахунок теплового випромінювання, по залишковому газу, по тепловому зв'язку.</li> <li>10. Дросельні зріджувачі водню і гелію.</li> <li>11. Криостати випаровування з <math>^4\text{He}</math>, одноразові та безперервної роботи.</li> <li>12. Фізичні основи методу та принципова схема рефрижератора розчинення. Градусна камера.</li> <li>13. Метод адіабатичної кристалізації <math>^3\text{He}</math>.</li> <li>14. Метод адіабатичного розмагнічування парамагнітної солі.</li> <li>15. Охолодження за допомогою адіабатичного ядерного розмагнічування.</li> <li>16. Термометри опору та їх різновидності.</li> <li>17. Кристалізаційні термометри з <math>^3\text{He}</math> за кривою плавлення.</li> <li>18. Лазерне охолодження.</li> </ol>
<p><b>Література для вивчення дисципліни:</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика, т. III.</li> <li>2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, т. V.</li> <li>3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, т. VI.</li> <li>4. Физика низких температур. Под редакцией А.И. Шальникова. - М.: Иностранная литература, 1959.</li> <li>5. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика - М.: ГИФМЛ, 1963.</li> <li>6. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – М.: Наука. 1977.</li> <li>7. Практикум із фізики низьких температур. Ч.1 Видавництво ХНУ ім. В.Н. Каразіна.</li> <li>8. Різак В.М., Різак І.М., Рудавський Е.Я. Криогенна фізика і техніка. - К.: Наукова думка, 2006.</li> <li>9. Методы получения и измерения низких и сверхнизких температур. Под редакцией Б.И. Веркина. – К.: Наукова думка, 1987.</li> <li>10. Халатников И.М. Теория сверхтекучести. -. М.: Наука. 1971.</li> <li>11. Паттерман С. Гидродинамика сверхтекучей жидкости. - М.: Мир, 1978.</li> </ol>

<i>Назва п/п</i>	<i>Коротка інформація</i>
	12. Вентура Г., Ризегари Л. Искусство криогеники. – И.Д. «Интеллект», 2011.
<b>Додаткова література</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. К. Мендельсон На пути к абсолютному нулю. - М.: Атомиздат, 1971.</li> <li>2. Мендельсон К. Физика низких температур. - М.: Иностранная литература, 1963.</li> <li>3. Скотт, Р.Б. Техника низких температур. М.: Иностранная литература, 1959.</li> <li>4. Лоунасмаа О.В. Принципы и методы получения температур ниже 1 К. - М.: Мир, 1977.</li> <li>5. Роуз-Инс А. Техника низкотемпературного эксперимента. - М.: Мир, 1966.</li> <li>6. Pobell F. Matter and methods at low temperatures. Springer-Verlag, 1992.</li> <li>7. Микулин Е.И. Криогенная техника. – М.: Машиностроение, 1969.</li> <li>8. Тилли Д.Р., Тилли Дж., Сверхтекучесть и сверхпроводимость. – М.: Мир, 1977.</li> </ol>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.