Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності

“**ЗАТВЕРДЖУЮ**”

Проректор з науково-педагогічної роботи Пантелеймонов А.В.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

“\_\_\_\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2020\_\_ р.

# Робоча програма навчальної дисципліни

**КРІОТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти магістр\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

/

галузь знань \_\_\_\_\_\_10 природничі науки\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

спеціальність \_\_\_\_\_105 Прикладна фізика та наноматеріали\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

освітня програма \_\_Прикладна фізика енергетичних систем\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціалізація\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

вид дисципліни \_\_\_\_за вибором\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(обов’язкова / за вибором)

ННІ \_\_\_\_\_\_\_\_\_комп’ютерної фізики та енергетики\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

2020/2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою ННІ КФЕ

“30” червня 2020 року, протокол №6-2/20

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: Чаговець В.К., доктор фіз.-мат. наук, старший науковий

співробітник, професор кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енеогоефективності

Програму схвалено на засіданні кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності

Протокол від “30” червня 2020 року № 7/20

Завідувач кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енеогоефективності

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_(Мацевитий Ю. М.) (підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією ННІ КФЕ

Протокол від “30” червня 2020 року № 6/20

Голова методичної комісії

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_Лісіна О.Ю.\_\_\_\_\_

(підпис) (прізвище та ініціали)

**Вступ**

Програма навчальної дисципліни “Кріотехнології в енергетиці” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки магістрів, спеціальності 105 — прикладна фізика та наноматеріали, спеціалізації теплофізика та молекулярна фізика.

### **1. Опис навчальної дисципліни**

**1.1. Мета викладання навчальної дисципліни**: підготовка студентів зі спеціальності „прикладна фізика” до роботи з кріогенними рідинами в енергетичній галузі, ознайомлення з сучасним та перспективними методами збереження енергії з використанням низьких температур. Метою практичних занять є ознайомлення з кріогенним обладнанням, що використовується в енергетиці, промисловості та наукових дослідженнях.

**1.2. Основні завдання вивчення дисципліни**: забезпечення знаннями основ скраплення газів і одержання низьких температур, фізичних властивостей речовин при низьких температурах, методам отримання, збереження та використання скрапленого водню, кисню та інших природних газів в енергетиці, промисловості, транспорті, електроніці та ракетно-космічній галузі.

**1.3. Кількість кредитів 4.**

**1.4. Загальна кількість годин 120.**

|  |  |
| --- | --- |
| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | |
| Вибіркова | |
| Денна форма навчання | Заочна (дистанційна) форма навчання |
| Рік підготовки | |
| 1-й | -й |
| Семестр | |
| 1-й | -й |
| Лекції | |
| 15 год. | год. |
| Практичні, семінарські заняття | |
| 15 год. | год. |
| Лабораторні заняття | |
| Не передбачено | год. |
| Самостійна робота | |
| 90 год. | год. |
| Індивідуальні завдання | |
| Не передбачено | |

**1.6. Заплановані результати навчання**

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

**знати:** термодинамічні основи і загальні принципи одержання скраплення газів та їх використання, сучасні та перспективні методи збереження та перетворення енергії з використанням низьких температур, фізичні властивості конденсованих систем при низьких температурах, зокрема, нормальних металів та надпровідників, рідких та твердих гелію, кисню та водню.

**вміти:** застосовувати отримані знання на практиці при роботі з кріогенними рідинами і пристроями, що використовуються в сучасній енергетиці, промисловості та електроніці.

**2. Тематичний план навчальної дисципліни**

**Вступ.** Низькі температури і енергетика*.* *.*

Обмеження, характерні різноманітним методам глибокого охолодження. Сучасний стан методів охолодження. Низькі температури в енергетиці.

**Розділ 1. Тверді тіла при низьких температурах**.

Тема 1. Властивості твердих тіл при низьких температурах.

Механічні властивості. Теплова енергія твердого тіла. Фонони. Теплоємність та теплопровідність твердих тіл при низьких температурах.

**Розділ 2. Надпровідність.**

Тема 2. Електроопір*.*

Відкриття надпровідності. Ефект Мейснера-Оксенфельда. Теплові властивості надпровідності. Надпровідність елементів, деяких сплавів та з'єднань.

Тема 3. Теорія надпровідності*.*

Ізотопічний ефект. Теорія Бардіна – Купера – Шриффера. Електрон-фононна взаємодія. Утворення електронної пари. Енергетична щілина. Надпровідники I-го і II-го роду.

Тема 4. Високотемпературна надпровідність.

Проблема підвищення критичної температури.Високотемпературна надпровідність. Отримання та основні властивості купратних ВТНП. ВТНП на основі заліза.

Тема 5. Надпровідна кріогеника.

Отримання сильних магнітних полів за допомогою надпровідникових соленоїдів.: кріогенні ЛЕП, двигуни, трансформатори та обмежувачи току.

**Розділ 3. Термометрія низьких температур. Вакуумна техніка.**

Тема 6. Термометрія низьких температур

Температурні шкали. Основні типи термометрів. Газовий термометр. Термометри опору. Магнітні термометри. Термометр, заснований на кривій плавлення3He (кристалізаційний термометр). Шумова термометрія.

Тема 7. Вакуумна техніка.

Елементи вакуумної техніки. Кріогенні методи отримання глибокого вакууму.

Теплові ключі.

**Розділ 4. Енергетика, ресурси та екологія.**

Тема 8. Основні проблеми енергетики та кріогеніка.

Теплотворна здатність палива. Викопні палива. Атомна енергія і реакції термоядерного синтезу. Воднева енергетика, зріджений природний газ. Гідроенергія, сонячна енергія та інші альтернативні джерела енергії. Основні напрямки і завдання фізики низьких температур в енергетиці.

Тема 9. Воднева енергетика.

Властивості водню. Проблеми застосування водню в енергетиці. Методи виробництва водню. Фізичні та хімічні методи зберігання та транспортування водню.

Тема 10. Кріогеніка і місячний 3Не.

Термоядерний синтез D - 3Не. Ресурси 3Не на Місяці, реголіт. Установка для отримання 3Не з реголіту: принципова схема, блок очищення та охолодження, блок розділення ізотопів. Перспективи освоєння Місяця.

**Розділ 5. Низькі температури в енергетиці, машинобудуванні та електроніці.**

Тема 11. Кріогенні транспортні засоби.

Особливості водню як моторного палива. Водень і ДВС. Паливні елементи. Азотний кріомобіль. Водневе паливо в авіації. Магнітні підвіски.

Тема 12. Надпровідність в енергетиці та машинобудуванні.

Надпровідні індукційні накопичувачі енергії. Кріогенні турбогенератори та електричні машини. Конструкції з нерухомим кріостатом. Конструкції з обертовим кріостатом.

Тема 13. Кріоелектроніка.

Кріоелектроніка - завдання та області застосування. Кріотрон. Стаціонарний і нестаціонарний ефекти Джозефсона. СКВІДи. Приймачі ІЧ випромінювання. Використання ефекту Пельтьє.

Тема 14. Кріогеніка в ракетній та космічній техніці.

Кріогенні рідини в ракетній техніці. Схема кріогенного РРД. Стартові кріогенні заправні системи. Специфіка космічної кріогеніки. Імітація умов космічного простору. Сублімаційні акумулятори холоду.

**Розділ 6. Низькі температури і проблеми життєдіяльності людини.**

Тема 15. Раціональне використання енергії.

Теплові насоси. Зберігання продовольства. Проблеми екології, очищення та утилізації викидів. Кріогенний бластінг. Кріомедицина і кріобіологія.

**3. Структура навчальної дисципліни**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Назви розділів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
| денна форма | | | | | | заочна форма | | | | | |
| усього | у тому числі | | | | | усього | у тому числі | | | | |
| л | п | лаб. | інд. | с. р. | л | п | лаб. | інд. | с. р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| **Вступ**. Низькі температури і енергетика | | | | | | | | | | | | |
| Сучасний стан низьких температур і енергетика. | 5 | 1 |  |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом | 5 | 1 |  |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| **Розділ 1.** Тверді тіла при низьких температурах | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Властивості твердих тіл при низьких температурах | 6 | 1 | 1 |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом1 | 6 | 1 | 1 |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| **Розділ 2.** Надпровідність | | | | | | | | | | | | |
| Тема 2 *.* Електроопір та надпровідність | 12 | 1 | 1 |  |  | 10 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 3. Теорія надпровідності | 10 | 1 | 1 |  |  | 8 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 4 Високотемпературна надпровідність | 10 | 1 | 1 |  |  | 8 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 5. Надпровідна кріогеника | 10 | 1 | 1 |  |  | 8 |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом2 | 42 | 4 | 4 |  |  | 34 |  |  |  |  |  |  |
| **Розділ 3.** Термометрія низьких температур. Вакуумна техніка. | | | | | | | | | | | | |
| Тема 6. Термометрія низьких температур | 6 | 1 | 1 |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 7. Вакуумна техніка | 6 | 1 | 1 |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 3 | 12 | 2 | 2 |  |  | 8 |  |  |  |  |  |  |
| **Розділ 4.** Енергетика, ресурси та екологія | | | | | | | | | | | | |
| Тема 8. Основні проблеми енергетики та кріогеніка | 8 | 1 | 1 |  |  | 6 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 9.Воднева енергетика. | 8 | 1 | 1 |  |  | 6 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 10. Кріогеніка і місячний 3Не | 8 | 1 | 1 |  |  | 6 |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 4 | 24 | 3 | 3 |  |  | 18 |  |  |  |  |  |  |
| **Розділ 5.** Низькі температури в енергетиці, машинобудуванні та електроніці | | | | | | | | | | | | |
| Тема 11. Кріогенні транспортні засоби | 6 | 1 | 1 |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 12. Надпровідність в енергетиці та машинобудуванні | 6 | 1 | 1 |  |  | 5 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 13. Кріоелектроніка. | 6 | 1 | 1 |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 14. Кріогеніка в ракетній та космічній техніці | 6 | 1 | 1 |  |  | 4 |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 5 | 24 | 4 | 4 |  |  | 17 |  |  |  |  |  |  |
| **Розділ 6*.*** Низькі температури і проблеми життєдіяльності людини***.*** | | | | | | | | | | | | |
| Тема 15. Раціональне використання енергії | 6 |  | 1 |  |  | 5 |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 6 | 6 |  | 1 |  |  | 5 |  |  |  |  |  |  |
| Усього годин | **120** | **15** | **15** |  |  | **90** |  |  |  |  |  |  |

**4. Теми практичних занять**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва теми | Кількість  годин |
| 1 | Низькі температури і енергетика | 2 |
| 2 | Тверді тіла при низьких температурах | 2 |
| 3 | Надпровідність | 2 |
| 4 | Термометрія низьких температур. Вакуумна техніка. | 2 |
| 5 | Енергетика, ресурси та екологія | 3 |
| 6 | Низькі температури в енергетиці, машинобудуванні та електроніці | 2 |
| 7 | Низькі температури і проблеми життєдіяльності людини. | 2 |
|  | Разом | 15 |

**5. Завдання для самостійної робота**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  з/п | Види, зміст самостійної роботи | Кількість  годин |
| 1 | Вивчити засоби використання низьких температур в енергетиці | 4 |
| 2 | Розглянути властивості твердих тіл при низьких температурах | 4 |
| 3 | Розглянути електроопір | 4 |
| 4 | Вивчити надпровідники i-го і ii-го роду | 4 |
| 5 | Вивчити теорію надпровідності | 8 |
| 6 | Вивчити високотемпературну надпровідність | 8 |
| 7 | Вивчити надпровідну кріогенику | 8 |
| 8 | Розглянути термометрію низьких температур | 8 |
| 9 | Розглянути вакуумну техніку | 4 |
| 10 | Вивчити основні проблеми енергетики та кріогеніка | 4 |
| 11 | Розглянути водневу енергетика | 4 |
| 12 | Розглянути кріогеніку і місячний 3не | 4 |
| 13 | Розглянути кріогенні транспортні засоби | 4 |
| 14 | Вивчити надпровідність в енергетиці та машинобудуванні | 5 |
| 15 | Розглянути кріоелектроніку | 4 |
| 16 | Розглянути кріогенікаув ракетній та космічній техніці | 4 |
| 17 | Розглянути раціональне використання енергії | 5 |
| 18 | Вивчити проблеми отримання та очищення скраплених газів | 4 |
|  | Разом | **90** |

**6. Індивідуальні завдання**

Індивідуальні завдання не передбачено

**7. Методи контролю**

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

1. Експрес-контроль (ваговий бал - 20) проводиться з метою перевірки якості роботи студента на практичних заняттях в аудиторії. Тривалість експрес-контролю 5-10 хвилин. Кожен експрес-контроль включає 2 простих завдання, за кожну правильну відповідь студент отримує 1 бал. Відсутність студента на занятті або невиконання експрес-контролю приносить студенту 0 балів.
2. Модульний контроль (ваговий бал - 10) проводиться у вигляді двох модульних контрольних робіт тривалістю 2 академічні години кожна.. Максимальна кількість балів за МКР5\*2=10 балів.
3. Екзаменаційна робота (ваговий бал - 40). Необхідною умовою допуску студента до екзамену з дисципліни є позитивний рейтинг з усіх форм семестрової атестації (позитивний рейтинг з МКР та експрес-контролю), але не менше 30 балів.

Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання і одну задачу.

Критерії оцінювання:

* Теоретичні питання оцінюються в 10 балів кожен, при неповній або частково помилковій відповіді – 5 балів, при відсутності відповіді – 0 балів.
* Повністю розв’язана задача оцінюється в 20 балів;
* Задача розв’язана з несуттєвими помилками оцінюється в 15 бали (незначні помилки в арифметичних розрахунках);
* Частково розв’язана задача оцінюється в 10 балів (правильно обрана логіка рішення та формули але грубі помилки в розрахунках);
* Часткове розв’язана задача оцінюється в 5 балів (правильно обрана логіка рішення, зовсім відсутні розрахунки);
* Нерозв’язана задача оцінюється в 0 балів.

Форма підсумкового контролю знань – залікова робота.

**8. Схема нарахування балів**

Приклад для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену або залікової роботи

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | Сума |
| Вступ, Розділ 1-Розділ 6 | Контрольна робота, передбачена навчальним планом | залікова робота |
| 50 | 10 | 40 | 100 |

**Шкала оцінювання**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка | |
| для екзамену | для заліку |
| 90 – 100 | відмінно | зараховано |
| 70-89 | добре |
| 50-69 | задовільно |
| 1-49 | незадовільно | не зараховано |

**9. Рекомендована література**

**Основна література**

1. Физика низких температур. Под редакцией А.И. Шальникова. - М.: Иностранная литература, 1959.
2. Практикум із фізики низьких температур. Ч.1 Видавництво ХНУ ім. В.Н. Каразіна.
3. Скотт, Р.Б. Техника низких температур. М.: Иностранная литература, 1959.
4. Мендельсон К. На пути к абсолютному нулю. - М.: Атомиздат, 1971.
5. Мендельсон К. Физика низких температур. - М.: Иностранная литература,, 1963.
6. Лоунасмаа О.В. Принципы и методы получения температур ниже 1 К. - М.: Мир, 1977.
7. И. С. Житомирский, В. А. Михеев, Э. Я. Рудавский. Анализ криогенных проблем получения лунного гелия-3, Физика низких температур, т. 18, №8, с. 813-818 (1992).
8. Різак В.М., Різак І.М., Рудавський Е.Я. Кріогенна фізика і техніка. - К.: Наукова думка, 2006.
9. Методы получения и измерения низких и сверхнизких температур. Под редакцией Б.И. Веркина. – К.: Наукова думка, 1987.
10. Криогенная техника. Под редакцией Б.И. Веркина. – К.: Наукова думка, 1985.
11. Микулин Е.И. Криогенная техника. – М.: Машиностроение, 1969.
12. Грачев А.Б. Получение и использование низких температур. – М.: Машиностроение, 1981.
13. Справочник. “Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение”. Москва “Химия” - 1989 г.
14. Пономарев-Степной Н.Н., Столяревский А.Я.  Атомно-водородная  энергетика  // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», № 3 (11), 2004, стр. 5–10.

**Допоміжна література**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика т. III.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика т. V.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика т. VI.
4. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика - М.: ГИФМЛ, 1963.
5. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – М.: Наука. 1977.
6. Тилли Д.Р., Тилли Дж., Сверхтекучесть и сверхпроводимость. – М.: Мир, 1977.
7. Роуз-Инс А. Техника низкотемпературного эксперимента. - М.: Мир, 1966.
8. Pobell F. Matter and methods at low temperatures. Springer-Verlag, 1992.
9. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость: позавчера, вчера, сегодня, завтра. УФН, т.170, в.6, с.619-630 (2000).

**10. Посиланная на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення**

1. Мережа Internet.

2. Бібліотеки ХНУ ім. В.Н.Каразіна та ФТІНТ НАН України.

3. Електронний конспект лекцій.