

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ



_____ 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: Валерій ЧАГОВЕЦЬ, доктор фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник, професор кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності

Програму схвалено на засіданні кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності

Протокол від "30" червня 2020 року № 7/20

Завідувач кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності


Юрій МАЦЕВИТИЙ

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) Прикладна фізика енергетичних систем
назва освітньої програми

Гарант освітньої програми Прикладна фізика енергетичних систем


Микола ПЕЛІХАТИЙ

Програму погоджено методичною комісією ННІ КФЕ

Протокол від "30" червня 2020 року № 6/20

Голова методичної комісії


Ольга ЛІСНА

ВСТУП

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

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. |
| у тому числі 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 криогенними 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 криогеніка.

Отримання сильних магнітних полів за допомогою надпровідникових соленоїдів.: криогенні ЛЕП, двигуни, трансформатори та обмежувачі 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 плавлення ^3He (кристалізаційний термометр). Шумова термометрія.

Тема 7. Вакуумна техніка.

Елементи вакуумної техніки. Криогенні методи отримання глибокого вакууму. Теплові ключі.

Розділ 4. Енергетика, ресурси та екологія.

Тема 8. Основні проблеми енергетики та криогеніка.

Теплотворна здатність палива. Високотемпературні 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 ^3He .

Термоядерний синтез D - ^3He . Ресурси ^3He на Місяці, реголіт. Установка для отримання ^3He 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 нестационарний ефекти Джозефсона. СКВІДи. Приймачі ГЧ 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. Сублимаційні 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 бластинг. 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 розділом 1 | 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 криогеніка | 10 | 1 | 1 | | | 8 | | | | | | | |
| Разом за розділом 2 | 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 криогеніка | 8 | 1 | 1 | | | 6 | | | | | | | |
| Тема 9. Воднева енергетика. | 8 | 1 | 1 | | | 6 | | | | | | | |
| Тема 10. Криогеніка і місячний ^3He | 8 | 1 | 1 | | | 6 | | | | | | | |
| Разом за розділом 4 | 24 | 3 | 3 | | | 18 | | | | | | | |
| Розділ 5. Низькі температури в енергетиці, машинобудуванні та електроніці | | | | | | | | | | | | | |
| Тема 11. Криогенні 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. Криогеніка 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 роботи

| № 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 криогеніку | 8 |
| 8 | Розглянути термометрію низьких температур | 8 |
| 9 | Розглянути вакуумну техніку | 4 |
| 10 | Вивчити основні проблеми енергетики та криогеніка | 4 |
| 11 | Розглянути водневу енергетику | 4 |
| 12 | Розглянути криогеніку і місячний ³ He | 4 |
| 13 | Розглянути криогенні транспортні засоби | 4 |
| 14 | Вивчити надпровідність в енергетиці та машинобудуванні | 5 |
| 15 | Розглянути криоелектроніку | 4 |
| 16 | Розглянути криогенікаув 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 навчання

Пояснювально-ілюстративний метод.
Пояснення педагога. Самостійна робота.

8. Методи контролю

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

1. Експрес-контроль (ваговий бал - 10) 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. Контрольна робота, передбачена навчальним планом (ваговий бал - 20) проводиться на заняттях в аудиторії з метою перевірки якості практичних знань студента тривалістю 2 академічні години.

Форма підсумкового контролю знань – залік.

9. Схема нарахування балів

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | | | | | Сума |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|--|------------------------|------|
| Розділ 1 | Розділ 2 | Розділ 3 | Розділ 4 | Розділ 5 | Розділ 6 | Контрольна робота, передбачена навчальним планом | Індивідуальне завдання | |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 2*10 | – | 100 |

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Загальні критерії оцінювання

I рівень оцінювання (задовільно). Відповідь студента при відтворенні навчального матеріалу елементарна, зумовлюється початковими уявленнями про предмет вивчення. Студент відтворює основний навчальний матеріал, здатний виконувати завдання за зразком, володіє елементарними вміннями навчальної діяльності.

II рівень - достатній (добре). Студент знає істотні ознаки понять, явищ, закономірностей, зв'язків між ними, а також самостійно застосовує знання в стандартних ситуаціях, володіє розумовими операціями, вміє робити висновки, виправляти допущені помилки. Відповідь повна, правильна, логічна, обґрунтована.

III рівень - високий (відмінно). Студент здатний самостійно здійснювати основні види навчальної діяльності. Знання студента є глибокими, міцними, узагальненими; студент вміє застосовувати знання творчо, його навчальна діяльність позначена вмінням самостійно оцінювати різноманітні життєві ситуації, явища, факти, виявляти і відстоювати особисту позицію.

Вивчення дисципліни у вищих навчальних закладах I-II рівнів акредитації повинно дати не тільки певну суму знань, а й підготувати студентів для освоєння обраної професії та допомоги формувати світогляд.

Складовими навчальних досягнень студентів є вміння відтворювати отриману інформацію, знаходити нову, оцінювати її та застосовувати в стандартних і не стандартних ситуаціях.

Тому потрібно оцінювати:

- 1) рівень володіння теоретичними знаннями;
- 2) рівень вмінь використовувати теоретичні знання під час розв'язування задач;
- 3) рівень володіння практичними уміннями та навичками, які виявляються під час виконання практичних робіт;
- 4) оцінювання творчих робіт студентів (рефератів, експериментальних робіт, особливо пов'язаних з майбутньою професією).

I Оцінювання рівня теоретичних знань.

Відповідь з теорії може складатися:

- 1) з викладу теоретичного матеріалу;

2) формування правил, законів, закономірностей;

3) із завдань на вибір правильної відповіді

При оцінюванні відповідей з теорії враховується:

1) обсяг відтвореної інформації та її співвідношення до обсягу повної інформації з даного питання;

2) обсяг додаткової інформації, здобутої студентом, та доцільність її використання;

3) частота допомоги викладача;

4) кількість похибок (помилки, недоліків, неточностей) у відповіді;

5) логічний зв'язок відтвореної інформації.

II Оцінювання рівня вмінь використовувати знання при розв'язанні практичних задач

У процесі оцінювання задача розбивається на окремі логічні кроки та операції; кожному з яких залежно від їх складності та значущості дається певна кількість балів або їх частина.

При оцінюванні вмінь та знань студента треба користуватися такими критеріями та характеристиками рівнів.

Середній рівень (задовільно) передбачає вміння розв'язувати задачі репродуктивного характеру, тобто за готовою логічною схемою знайти вірне рішення.

Достатній рівень (добре) передбачає розв'язання задач на 4-6 логічних кроків репродуктивного характеру, розв'язання яких потребує практичного застосування набутих знань з обґрунтуванням процесу міркувань без допомоги викладача.

Високий рівень (відмінно) передбачає розв'язання стандартних задач оригінальним способом або самостійне розв'язання нестандартних задач на 4 та більше кроків.

Критерії оцінювання знань студентів на заліку

| Характеристики критеріїв оцінювання знань | За державною (національною) шкалою | За 100 бальною шкалою |
|---|--|-----------------------|
| Характеризується знаннями суттєвих ознак, понять, явищ, закономірностей, зв'язків між ними. Студент самостійно засвоює знання у стандартних ситуаціях, володіє розумовими операціями (аналізом, синтезом, узагальненням, порівнянням, абстрагуванням), уміє робити висновки, виправляти допущені помилки. навчальна діяльність позначена уміннями самостійно оцінювати різноманітні життєві ситуації, явища, факти, виявляти і відстоювати особистісну позицію. | Зараховано | 50-100 |
| Незнання значної частини навчального матеріалу, суттєві помилки у відповідях на питання, невміння застосувати теоретичні положення при розв'язанні практичних задач. | Не зараховано з можливістю повторного складання заліку | 25-49 |
| Незнання значної частини навчального матеріалу, суттєві помилки у відповідях на питання, невміння орієнтуватися при розв'язанні практичних задач, незнання основних фундаментальних положень. | Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням навчальної дисципліни | 1-24 |

Шкала оцінювання

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

10. 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. Рудаковский. Анализ криогенных проблем получения лунного гелия-3, Физика низких температур, т. 18, №8, с. 813-818 (1992).
8. Різак В.М., Різак І.М., Рудацький Е.Я. Криогенна 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).

11. Посилання 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.