



Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Денна/змішана
Рік підготовки, семестр	II курс, весняний семестр (осінній семестр для студентів, які навчаються за інтегрованим планом)
Обсяг дисципліни	4,5 кредити ECTS/135 годин; лекції – 54 год., практичні заняття – 10 год., лабораторні роботи – 8 год., СРС – 63 год.
Семестровий контроль / контрольні заходи	Екзамен / модульна контрольна робота, розрахунково-графічна робота
Розклад занять	згідно www.rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доцент, канд. тех. наук Романенко Віктор Васильович, romvvv@gmail.com Практичні / Лабораторні: ст.. викл. Козирев Олексій Сергійович, kozyriev.oleksii@iit.kpi.ua
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/NjU0NDg4ODAxOTE1?cjc=tjtidt6b

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Взаємодія з речовиною концентрованих потоків енергії, таких, як лазерне випромінювання, електронний промінь, плазмовий струмінь або зварювальна дуга - один з найважливіших наукових напрямів сучасної техніки і технологій. Вивчення дисципліни дозволяє розвинути уявлення про фундаментальні фізичні процеси, що відбуваються в речовині при впливі інтенсивних світлових та інших матеріальних потоків. Цей курс також дозволяє розробити фізичні основи численних прикладних технологічних напрямків. Тому знання основних механізмів і закономірностей високоенергетичного впливу потужних джерел на речовину необхідні для повноцінної інженерної освіти з лазерної та інших фізико-технічних технологій.

Мета дисципліни: формування у студентів уявлень про взаємодію концентрованих потоків енергії з речовиною для подальшого освоєння технологічних і конструкторських розділів освітньої програми «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій».

Завдання дисципліни - дати студентам сучасні спеціальні знання в області взаємодії з речовиною зварювальних, лазерних, плазмових, електронно-променевих та інших потужних джерел з урахуванням останніх наукових досягнень.

Предмет дисципліни: фізичні процеси, які мають місце при взаємодії названих джерел енергії з речовиною, їх кількісний та якісний опис.

Вивчення освітнього компонента передбачає формування та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій», яка розроблена з урахуванням Стандарту вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 13 – Механічна інженерія, спеціальність 131 – Прикладна механіка. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2019 р. № 865.

Загальні компетентності

ЗК 1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК 3 Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК 4 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Фахові компетентності

ФК 1 Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.

ФК 3 Здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів.

ФК 5 Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин.

ФК 10 Здатність описувати та класифікувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

ФК 12 Здатність оцінювати та контролювати параметри концентрованих джерел енергії під час генерації та при взаємодії випромінювання з речовинами та розробляти рішення для забезпечення їх стабільності.

ФК 13 Здатність застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи щодо характеру та особливостей фізичних процесів при взаємодії концентрованого випромінювання з речовиною, оцінювати коефіцієнт поглинання, знаходити способи його підвищення.

Результати вивчення дисципліни деталізують такі програмні результати навчання, передбачені освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»:

РН 8 Знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень.

РН 9 Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми.

РН 19 Розраховувати, оцінювати та вимірювати енергетичні, часові та просторові параметри впливу лазерного випромінювання та концентрованих потоків енергії на речовину для здійснення технологічних операцій.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх освітніх компонентах: «Вища математика», «Загальна фізика», «Теоретичні основи теплотехніки».

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступних курсів за навчальними планами підготовки бакалаврів: «Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів. Частина 1. Технології та устаткування зварювання плавленням та споріднених процесів», «Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів. Частина 2. Технології та устаткування лазерних процесів», а також в переддипломній практиці та дипломному проектуванні для бакалавра.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Основні характеристики концентрованих потоків енергії

Розділ 1. Основні характеристики лазерного випромінювання

Тема 1.1 Основні положення класичної електродинаміки.

Тема 1.2 Рівняння Максвелла. Властивості електромагнітної хвилі.

Тема 1.3 Вирішення рівнянь Максвелла для непоглинаючого діелектрика.

Тема 1.4 Основи лазерної генерації

Тема 1.5 Властивості лазерного випромінювання

Тема 1.6 Основні промислові лазери та режими їх роботи

Тема 1.7 Часові, енергетичні та просторові параметри лазерного випромінювання

Тема 1.8 Фокусування лазерного випромінювання

Розділ 2. Поглинання лазерного випромінювання. Характеристики лазерного джерела

Тема 2.1 Поглинання лазерного випромінювання

Тема 2.2 Відбиття та переломлення електромагнітних хвиль

Тема 2.3 Закон Бугера-Ламберта-Бера. Коефіцієнт поглинання. Керування процесом поглинання

Тема 2.4 Оптичні характеристики провідних середовищ

Тема 2.5 Поглинання випромінювання металами та їх оптичні властивості

Тема 2.6 Поглинання світла та передача енергії у напівпровідниках

Розділ 3. Нагрівання під дією лазерного випромінювання

Тема 3.1 Постановка задач нагріву лазерним випромінюванням

Тема 3.2 Особливості задач нагріву лазерним випромінюванням.

Тема 3.3 Диференційне рівняння теплопровідності, граничні умови.

Тема 3.4 Окремі рішення задачі теплопровідності.

Тема 3.5 Критична густина потужності

Тема 3.6 Рухоме джерело теплоти. Швидко рухоме джерело теплоти

Розділ 4. Плавлення під дією лазерного випромінювання

Тема 4.1 Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання

Тема 4.2 Умова Стефана

Тема 4.3 Моделі лазерного плавлення

Розділ 5. Процеси лазерного руйнування

Тема 5.1 Лазерне руйнування поглинаючих матеріалів

Тема 5.2 Загальна характеристика механізмів лазерного руйнування

Тема 5.3 Лазерне випаровування

Тема 5.4 Загальні характеристики лазерного різання матеріалів

Тема 5.5 Основні поняття та властивості плазми. Фізичні характеристики плазми

Розділ 6. Основні характеристики електронного променя

Тема 6.1 Рух заряджених часток в електричному і магнітному полі

Тема 6.2 Основні характеристики електронного променя. Параметри електронного променя

Тема 6.3 Термоелектронна емісія

Тема 6.4 Формування електронних пучків. Електронна оптика. Магнітні лінзи.

Тема 6.5 Фізичні процеси при дії електронного променя на матеріали

Тема 6.6 Теплові процеси в зоні електронно-променевого впливу

Розділ 7. Основні характеристики плазмового струменя

Тема 7.1 Плазма та газові розряди. Класифікація газового розряду. Вольт-амперна характеристика розряду

Тема 7.2 Електрична дуга. Збудження дугового розряду. Катодна та анодна області. Стовп дуги. Вольтамперна характеристика дуги

Тема 7.3 Плазмотрони

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Котляров В.П. Технологія лазерної розмірної обробки. Навчальний наочний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», - 2015. – 195 с.
2. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання. / Л.Ф. Головка., К.: Вістка, 2017. – 389 с.
3. В.М. Коперсак. Теорія зварювання – ч.1., Київ: НТУУ КПІ, 2016. -384 с.

Додаткова література

4. Головка Л.Ф., Салій С.С., Романенко В.В., Блощицин М.С.. Виготовлення біметалів з використанням ливарного процесу і лазерної обробки. – К. : КПІ, 2022. – с. 235.
5. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання: Навч. посібник. — Миколаїв: УДМТУ, 2003. — 437 с.
6. Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною. Ч.1. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів до вивчення кредитного модуля для студентів спеціалізації «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки» спец. 131 Прикладна механіка. Уклад. В.В. Романенко, О.С. Козирев, – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 13 с.
7. Mark C. Gower. Laser Interaction with Matter .- CRC Press, 2019. – 257 с..
8. Claude R. Phipps. Laser Ablation and its Applications. - Springer, 2017. – 318 с.
9. Куцова В.З., Аюпова Т.А., Котова Т.В., Погребна Н.Е., Ковзель М.О. Основи теорії твердого тіла (Фізика твердого тіла): Навчальний посібник.–Дніпро: НМетАУ, 2018. – 89 с.
10. Біленко І.І. Фізичний словник /За ред. О.З.Жмудського. –К.: Вища школа, 2019. – 349 с.
11. Величко С.П., Костенко Л.Д. Вивчення основ квантової фізики: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів.– Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка, 2002.– 274с.

Інформаційні ресурси

1. <http://ltft.kpi.ua/ua/studentam/sylabusy.html> (сайт кафедри ЛТФТТ).
2. library.kpi.ua (сайт науково–технічної бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»).
3. Методичні матеріали також доступні в КАМПУС - campus.kpi.ua.
4. [Google Classroom: https://classroom.google.com/c/NjU0NDg4ODAxOTE1?cjc=tjtdt6b](https://classroom.google.com/c/NjU0NDg4ODAxOTE1?cjc=tjtdt6b)

5. Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальний матеріал освітнього компоненту викладається на заняттях згідно зі наступною структурою (табл. 1).

Табл. 1. Структура викладання освітнього компоненту

Назви розділів та тем	Кількість годин				
	Усього	Лекції	Практ. заняття	Лаб. роб.	СРС
Вступ. Основні характеристики концентрованих потоків енергії					
Розділ 1. Основні характеристики лазерного випромінювання	1	1			
Тема 1.1 Основні положення класичної електродинаміки.					
Тема 1.2 Рівняння Максвелла. Властивості електромагнітної хвилі.	1	1			
Тема 1.3 Вирішення рівнянь Максвелла для непоглинаючого діелектрика.					
Тема 1.4 Основи лазерної генерації	6	2	2	2	
Тема 1.5 Властивості лазерного випромінювання	2				2
Тема 1.6 Основні промислові лазери та режими їх роботи	4				4
Тема 1.7 Часові, енергетичні та просторові параметри лазерного випромінювання	2	2			
Тема 1.8 Фокусування лазерного випромінювання	6	2	2	2	
Разом за розділом 1	22	8	4	4	6
Розділ 2. Поглинання лазерного випромінювання. Характеристики лазерного джерела	1	1			
Тема 2.1 Поглинання лазерного випромінювання					
Тема 2.2 Відбиття та переломлення електромагнітних хвиль	1	1			
Тема 2.3 Закон Бугера-Ламберта-Бера. Коефіцієнт поглинання. Керування процесом поглинання	2	2			
Тема 2.4 Оптичні характеристики провідних середовищ	1	1			
Тема 2.5 Поглинання випромінювання металами та їх оптичні властивості	7	3		2	2

Тема 2.6 Поглинання світла та передача енергії у напівпровідниках	2	2			
Разом за розділом 2	14	10	0	2	2
Розділ 3. Нагрівання під дією лазерного випромінювання					
Тема 3.1 Постановка задач нагріву лазерним випромінюванням	1	1			
Тема 3.2 Особливості задач нагріву лазерним випромінюванням.	1	1			
Тема 3.3 Диференційне рівняння теплопровідності, граничні умови.	2	2			
Тема 3.4 Окремі рішення задачі теплопровідності.	12	4	4		4
Тема 3.5 Критична густина потужності	2	2			
Тема 3.6 Рухоме джерело теплоти. Швидко рухоме джерело теплоти	2	2			
Разом за розділом 3	20	12	4	0	4
Модульна КР - 1	3		1		2
Розділ 4. Плавлення під дією лазерного випромінювання					
Тема 4.1 Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання	1	1			
Тема 4.2 Умова Стефана	1	1			
Тема 4.3 Моделі лазерного плавлення	2				2
Разом за розділом 4	4	2	0	0	2
Розділ 5. Процеси лазерного руйнування					
Тема 5.1 Лазерне руйнування поглинаючих матеріалів	2	2			
Тема 5.2 Загальна характеристика механізмів лазерного руйнування	1	1			
Тема 5.3 Лазерне випаровування	1	1			
Тема 5.4 Загальні характеристики лазерного різання матеріалів	2	2			
Тема 5.5 Основні поняття та властивості плазми. Фізичні характеристики плазми	2	2			
Разом за розділом 5	8	8	0	0	0

Розділ 6. Основні характеристики електронного променя Тема 6.1 Рух заряджених часток в електричному і магнітному полі	1	1			
Тема 6.2 Основні характеристики електронного променя. Параметри електронного променя	1	1			
Тема 6.3 Термоелектронна емісія	6	2		2	2
Тема 6.4 Формування електронних пучків. Електронна оптика. Магнітні лінзи.	2	2			
Тема 6.5 Фізичні процеси при дії електронного променя на матеріали	1	1			
Тема 6.6 Теплові процеси в зоні електронно-променевого впливу	1	1			
Разом за розділом 6	12	8	0	2	2
Розділ 7. Основні характеристики електронного променя Тема 7.1 Плазма та газові розряди. Класифікація газового розряду. Вольтамперна характеристика розряду	2	2			
Тема 7.2 Електрична дуга. Збудження дугового розряду. Катодна та анодна області. Стовп дуги. Вольтамперна характеристика дуги	2	2			
Тема 7.3 Плазмотрони	2	2			
Разом за розділом 7	6	6	0	0	0
Модульна КР - 2	3		1		2
РГР	13				13
Екзамен	30				30
Всього годин	135	54	10	8	63

5.1 Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Вступ. Основні характеристики концентрованих потоків енергії. Основні положення класичної електродинаміки. Рівняння Максвелла. Властивості електромагнітної хвилі. Література: основна – [1,3]; додаткова –[5,7, 10].

2	<p>Основи лазерної генерації.</p> <p>Квантомеханічна система, збудження квантомеханічної системи, типи переходів, коефіцієнти Ейнштейна, розподіл Больцмана, інверсія заселеності.</p> <p>Література: основна – [1]; додаткова –[8, 11].</p>
3	<p>Часові, енергетичні та просторові параметри лазерного випромінювання</p> <p>Залежність часових та енергетичних параметрів випромінювання від режиму роботи лазера. Часовий та просторовий розподіли інтенсивності. Модовий склад випромінювання. Гауссівський розподіл.</p> <p>Література: основна – [1, 2]; додаткова –[6, 7].</p> <p>Завдання на СРС: Характерні форми і структури лазерних імпульсів. Коефіцієнт зосередженості.</p>
4	<p>Фокусування лазерного випромінювання</p> <p>Схема фокусування, залежність від параметрів оптичної системи, фокусування одно- та багатомодового випромінювання. Глибина фокусу. Хвильові аберації та способи їх зменшення. Складові куту розбіжності. Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7].</p> <p>Завдання на СРС: Чому ? Які властивості лазерного випромінювання дозволяють його „гостре” фокусування?</p>
5	<p>Поглинання лазерного випромінювання. Відбиття та переломлення електромагнітних хвиль</p> <p>Поширення електромагнітних хвиль. Фазова поверхня. Вектор Пойнтінга. Коефіцієнти поглинання, відбиття і прозорості. Зв'язок оптичних характеристик матеріалів з електричними.</p> <p>Література: основна – [2]; додаткова –[1, 7, 8, 10].</p> <p>Завдання на СРС: Фазова поверхня в геометричному та хвильовому наближеннях. Виведення закону Снеліуса.</p>
6	<p>Закон Бугера-Ламберта-Бера. Поглинальна здатність.. Керування процесом поглинання</p> <p>Ослаблення паралельного монохроматичного променя при поширенні в речовині. Скіншар та поглинальна здатність. Температурна залежність коефіцієнту поглинання.</p> <p>Діелектричні поглинаючі покриття, способи їх нанесення.</p> <p>Література: основна – [2]; додаткова –[1, 8, 10].</p> <p>Завдання на СРС: Яким чином можна збільшити коефіцієнт поглинання? Чому?</p>
7-8	<p>Оптичні характеристики провідних середовищ. Поглинання лазерного випромінювання металами</p> <p>Класична модель вільних електронів. Теорія Друде-Лоренца. Частота релаксації. Взаємодія підсистем в металі. Теплопровідність в металі, її зв'язок з електричними властивостями.</p> <p>Література: основна – [2]; додаткова –[7, 8].</p> <p>Завдання на СРС: Причини та межі використання рівномірного розподілу в теплових задачах. Відмінність закону Бугера для різних типів матеріалів. Причини існування нерівності (2).</p>
9	<p>Поглинання лазерного випромінювання напівпровідниками та діелектриками</p> <p>Відмінності напівпровідників від металів. Їх структура. Механізми поглинання в напівпровіднику, випадки, коли один з механізмів є превалюючим. Відмінність і схожість напівпровідників та діелектриків. Література: основна – [2]; додаткова –[1, 8].</p> <p>Завдання на СРС: Змінність оптичних властивостей напівпровідника в залежності від температури.</p>

10	<p>Постановка задач нагріву лазерним випромінюванням. Особливості задач нагріву лазерним випромінюванням.</p> <p>Фізичні процеси, що лежать в основі формування лазерного джерела теплоти, параметри, що його характеризують. Розподіл густини теплового потоку і його зв'язок з густиною потужності..</p> <p>Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8].</p>
11	<p>Диференційне рівняння теплопровідності, граничні умови. Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8].</p>
12-13	<p>Окремі рішення задачі теплопровідності.</p> <p>Завдання на СРС: Зміна рівняння теплопровідності для тіл згаданої форми. Межа придатності одномірної моделі. Умови досягнення стаціонарної температури.</p> <p>Відмінність поняття тонкої пластини від напівнескінченного тіла.</p> <p>Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8, 10].</p>
14	<p>Критична густина потужності</p> <p>Завдання на СРС: в чому принципова різниця між критичними густинами потужності по плавленню та випаровуванню?</p> <p>Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8].</p>
15	<p>Рухоме джерело теплоти. Швидко рухоме джерело теплоти</p> <p>Завдання на СРС: Вираз для критичної густини потужності за плавленням. Вираз для визначення перехідного часу за відомої густини потужності. Залежність критичної густини потужності при випаровуванні від часових характеристик джерела теплоти та теплофізичних характеристик матеріалу. Порівняння розрахунків для рухомого та швидко рухомого джерел теплоти за однакових умов нагріву. Література: основна - [2, 3, 5] ; додаткова – [4, 7, 8]</p>
16	<p>Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання. Умова Стефана</p> <p>Завдання на СРС: Зміна динаміки кордону рідкої фази в залежності від знаку балансу в умові Стефана. Залежність від параметрів обробки форми ванни розплаву. Залежність максимальної глибини проплавлення від параметрів обробки. Формування „кинджального” проплавлення.</p> <p>Література: основна - [2, 3, 5] ; додаткова – [4, 7, 8]</p>
17	<p>Лазерне руйнування поглинаючих матеріалів</p> <p>Види лазерного руйнування та способи їх досягнення.</p> <p>Література: основна - [1] ; додаткова – [8, 11]</p>
18	<p>Загальна характеристика механізмів лазерного руйнування. Лазерне випаровування</p> <p>Завдання на СРС: Фізичні процеси на які витрачається перехідний час. Зміна з часом питомої частки рідкої та парової фаз під час руйнування. Чому висока пікова інтенсивність випромінювання не є оптимальною для процесів руйнування? Механізм іонізації металевого пару має місце при лазерному руйнуванні. Вплив плазми на лазерне випромінювання. Стабільні параметри руйнування в режимі квазістаціонарного руйнування.</p> <p>Література: основна - [1] ; додаткова – [8]</p>

19	<p>Загальні характеристики лазерного різання матеріалів</p> <p>Загальні характеристики лазерної різки матеріалів. Можливі процеси при лазерному розділенні матеріалів. Фізичний та хімічний механізми різки. Схеми подачі технологічного газу. Функції кисню. Некерована різка. Грат. Стаціонарне та нестаціонарне руйнування. Кінетика формування різку за високих та низьких швидкостей.</p> <p>Завдання на СРС: Відмінність термосколювання та скрайбування. Фізичних процесів за рахунок яких відбувається руйнування при лазерній різці безперервним випромінюванням та імпульсно-періодичним випромінюванням. Література: основна - [1, 2] ; додаткова – [7, 8]</p>
20	<p>Основні поняття та властивості плазми. Фізичні характеристики плазми Література: основна - [2]</p>
21	<p>Рух заряджених часток в електричному і магнітному полі. Основні характеристики електронного променя. Параметри електронного променя Література: додаткова –[7].</p>
22	<p>Термоелектронна емісія</p> <p>Література: додаткова –[7, 11].</p> <p>Завдання на СРС: Вплив параметрів електронного променя на його геометрію. Характеристики електронно-променевого джерела, його відмінність від лазерного джерела.</p>
23	<p>Формування електронних пучків. Електронна оптика. Магнітні лінзи. Література: додаткова –[8].</p>
24	<p>Фізичні процеси при дії електронного променя на матеріали. Теплові процеси в зоні електронно-променевого впливу Література: додаткова –[8].</p>
25	<p>Плазма та газові розряди. Класифікація газового розряду.</p> <p>Вольт-амперна характеристика розряду Література: додаткова –[8, 11].</p> <p>Завдання на СРС: Схожість та відмінність характеристик плазми та характеристик провідника та газу. Прямі та зворотні процеси в плазмі Порівняння плазми як джерела енергії з електронним променем.</p>
26	<p>Електрична дуга. Збудження дугового розряду. Катодна та анодна області. Стовп дуги. Вольтамперна характеристика дуги Література: додаткова –[8].</p>
27	<p>Плазмотрони.</p> <p>Література: додаткова –[8].</p>

5.2 Практичні заняття

Цикл практичних занять має ціллю закріплення головних тем освітнього компоненту, які засвоєно теоретично. Оскільки предметом дисципліни є фізичні процеси, які мають місце при взаємодії лазерного випромінювання, електронного променя або плазмового струменя з речовиною та їх кількісний опис, основними завданнями циклу практичних занять є засвоєння конкретних питань, отримання навичок та умінь у фізичних та інженерних розрахунках.

№ з/п	Назва теми заняття	Кількість ауд. Годин
1	<p>Властивості лазерного випромінювання. Часові, енергетичні та просторові параметри лазерного випромінювання. Фокусування лазерного випромінювання.</p> <p>Довжина хвилі неодимового лазера мкм. Знайти показник монохроматичності</p> <p>Інтенсивність випромінювання на відстані гаусівського радіусу складає Вт/см². Знайти максимальну інтенсивність.</p> <p>Знайдіть значення сферичної аберації лінзи з KCl (K=0,235) фокусною відстанню 100 мм. Лінза розташована на відстані 1 метр від вихідного дзеркала резонатора. Діаметр променя на вихідному дзеркалі 10 мм. Половинний кут розбіжності 5 мрад.</p> <p>Література: основна – [1, 2]; додаткова –[4, 6, 10].</p>	2
2	<p>Поглинання випромінювання металами та напівпровідниками.</p> <p>Знайдіть частоту електрон-фотонної релаксації, якщо на метал діє імпульс неодимового лазера з такими параметрами: Дж, мсек, мрад. Лінза з мм, Коефіцієнт поглинання = 0.5. Кількість електронів, що поглинають на см³. Ширина забороненої зони германію дорівнює 0,67 Ев. Знайти переважаючий механізм поглинання випромінювання та лазерів.</p> <p>Література: основна – [2]; додаткова –[4, 8].</p>	2
3	МКР - 1	1
4	<p>Окремі рішення задачі теплопровідності.</p> <p>Знайдіть критичні густини потужності по плавленню. Знайдіть критичні густини потужності по випаровуванню. Знайдіть час нагрівання до температури випаровування, якщо імпульс має параметри.</p> <p>Література: основна – [1,2]; додаткова –[6,7].</p>	4
5	МКР - 2	1

5.3 Лабораторні заняття

Цикл лабораторних робіт має ціллю практичного закріплення головних тем освітнього компоненту, які вивчено теоретично.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	<p>Конструкція та основні елементи твердотільних і газових лазерів</p> <p>Ціль роботи: ознайомитись з принципом роботи, складом, конструкцією і блок схемою лазерів; вивчити конструкції випромінювачів твердотільного та газового лазерів; ознайомитись з основними елементами лазерних випромінювачів; отримати практичних навичок по обслуговуванню та догляду за елементами випромінювача лазера.</p> <p>Література: основна – [1]; додаткова –[6].</p>	2

2	<p>Вивчення поглинальної здатності матеріалів</p> <p>Ціль роботи: Вивчити загальні закономірності процесу поглинання лазерного випромінювання матеріалами; ознайомитися з методикою визначення відбитого сигналу від поверхні, що опромінюється; визначити значення коефіцієнтів поглинання різними матеріалами та поглинальними покриттями; визначити зміну коефіцієнта відбивання в залежності від кута падіння.</p> <p>Література: основна – [2]; додаткова –[4, 6, 8].</p>	2
3	<p>Вимірювання діаметра фокусування лазерного випромінювання та розподілу інтенсивності в ньому</p> <p>Ціль роботи: Вивчити характеристики лазерного джерела, нормальний та рівномірний розподіл інтенсивності в сфокусованому промені; ознайомитися з методикою виміру розподілення інтенсивності по діаметру променя; виміряти інтенсивність у сфокусованому та розфокусованому променях; підібрати теоретичний закон розподілення та оцінити середню густину потужності у кожному випадку.</p> <p>Література: основна – [1,2]; додаткова –[4,6, 7, 8].</p>	2
4	<p>Визначення роботи виходу електронів із металу</p> <p>Ціль роботи: побудова та вивчення вольт-амперної характеристики; дослідження залежності щільності струму насичення термоелектронної емісії від температури катода та визначення роботи виходу електрона методом прямих Річардсона.</p> <p>Література: основна – [3]; додаткова –[9, 11].</p>	2

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота займає 63 годин, включаючи і підготовку до екзамену – 30 годин, МКР -4 годин, виконання РГР - 13 годин, підготовку до занять і самостійне вивчення окремих тем - 16 год. Головне завдання самостійної роботи студентів – це опанування та розширення знань за темами, що вивчаються.

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	<p>Тема 1.5 Властивості лазерного випромінювання.</p> <p>Завдання на СРС: Відмінності лазерного випромінювання від звичайного світла. Причини когерентності та монохроматичності лазерного випромінювання. Вплив когерентності та монохроматичності на процеси взаємодії з речовиною.</p> <p>Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8, 10].</p>	2
2	<p>Тема 1.6 Основні промислові лазери та режими їх роботи</p> <p>Твердотільні лазери на Nd³⁺. Газові лазери He-Ne та CO₂. Волоконні лазери. Особливості та технологічні можливості різних лазерів. Режим модуляції добротності. Модулятори.</p> <p>Література: основна – [1, 2]; додаткова –[6, 8].</p> <p>Завдання на СРС: Порівняти технологічні можливості різних лазерів за кожним режимом роботи.</p>	4

3	Тема 4.3 Моделі лазерного плавлення Завдання на СРС: Правило фаз Гіббса. Передплавлення. Модель (схема) Тіллера. Кластерна модель. Задача Стефана. Література: основна – [2, 3]; додаткова – [9].	2
---	--	---

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Згідно Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського, студенти мають право на вільне відвідування лекційних занять (п. 3.5 PCO 2022

https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Pologennia_RSO_2022.pdf).

Відвідування лекцій, практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Для студентів, які беруть на себе відповідальність за організацію і планування свого часу для навчання, є можливість опанувати дисципліну у змішаному режимі: ознайомлення з теоретичним матеріалом лекцій і розв'язування практичних завдань – самостійно, за необхідності проведення консультацій викладачем згідно графіку консультацій і відведеного на них часу, у відповідності до педагогічного навантаження викладача.

Лабораторні роботи виконуються у груповому режимі під керівництвом відповідального викладача.

Правила поведінки на заняттях

Активність студентів на лекційних, практичних та лабораторних заняттях всіляко заохочується. Проведення занять базується на засадах доброзичливого партнерства задля досягнення мети вивчення дисципліни. Разом з тим, проведення занять має відповідати Дисциплінарним правилам, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Правила захисту лабораторних робіт

Після представлення готового протоколу лабораторної роботи, який має містити всі необхідні компоненти (тема, ціль роботи, короткі теоретичні відомості, методи та результати вимірювання та обробки результатів, графічні ілюстрації, висновок) студент (або група студентів, якщо таке передбачено) надають пояснення, яким чином було досягнуто ціль роботи і відповідають на додаткові запитання, якщо в них виникне потреба.

Правила захисту індивідуальних завдань

Робочий навчальний план передбачає виконання розрахунково-графічної роботи, завдання на яку індивідуальне для кожного студента. Після представлення оформленої роботи з усіма необхідними розрахунками, РГР оцінюється за критерієм правильності отриманих результатів.

Політика дедлайнів та перескладань

Дана політика регулюється Положенням про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положенням про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положенням про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Політика щодо академічної доброчесності

Академічна недоброчесність неприпустима. Система індивідуальних завдань на лабораторні та РГР дозволяє максимально уникнути списування, а унікальність завдань дозволяє уникнути плагіату.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

1. Рейтинг студента з освітнього компоненту розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них **60 балів складає стартова шкала**. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- роботу на практичних заняттях (**5 занять**);
- виконання лабораторних робіт (**4 роботи**);
- модульна контрольна робота (**1 робота з двох частин**); – розрахунково-графічна робота.

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

- активна творча робота – **3 бали × 5 = 15**;
- робота з позитивним результатом – **1,5 бал × 5 = 7,5**; – пасивна робота – **0 балів**.

2.2. Виконання лабораторних робіт:

- бездоганна робота – **3 бали × 4 = 12**;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – **1,5 бал × 4 = 6**; – робота не виконана або не захищена – **0 балів**.

2.3. Модульна контрольна робота МКР - 20 балів (по 10 балів за кожну частину):

- повна, змістовна та аргументована відповідь – **20 балів**;
- відповідь з несуттєвими помилками (< 3) – **10 балів**;
- неправильна відповідь – **0 балів** примітка: За кожний тиждень запізнення з поданням МКР на перевірку нараховується **штрафний $r_{ш} = -1$ бал** (усього **не більше -3 балів**).

2.4. Розрахунково-графічна робота РГР - 13 балів:

- правильне рішення всіх завдань – **13 балів**;
- частково правильне - **5-7 балів**; - невірні/відсутні рішення - **0 балів**.

3. Умовою позитивного I-го календарного контролю (на 8-му тижні) є отримання не менше **15 балів** та виконання першої лабораторної роботи (на час атестації).

4. Умовою позитивного II-го календарного контролю (на 14-му тижні) – отримання не менше **30 балів**, виконання двох лабораторних робіт та першої частини МКР.

5. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт, МКР і РГР та стартовий рейтинг **не менше 30 балів**.

6. На екзамені студенти повинні виконати *письмову контрольну роботу* або дати *усну відповідь*. Кожне завдання включає два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне завдання складено з Переліку запитань до екзамену з освітнього компоненту, наведеному у Додатку А. Кожне теоретичне запитання оцінюється **у 12 балів та практичне – 16 балів** за такими критеріями:

7. «**відмінно**», повна відповідь, не менше **95%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове вирішення завдання) - **12 (теоретичне) та 16 балів (практичне)**;

8. «**дуже добре**» майже повна відповідь, не менше **85%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове вирішення завдання) - **10 (теоретичне) та 14 балів (практичне)** ;

9. «**добре**», достатньо повна відповідь, не менше **75%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне вирішення завдання з незначними неточностями) - **9 (теоретичне) та 12 балів (практичне)** ;

10. «**задовільно**», неповна відповідь, не менше **65%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) - **8 (теоретичне) та 11 балів (практичне)**;

11. «достатньо», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) - 7 (теоретичне) та 10 балів(практичне) ;

12. «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «достатньо», менше 60% – 0 балів.

7. Розрахунок шкали семестрового рейтингу: $r_c = \sum(r_{пр} + r_{лр} + r_{мкр} + r_{рзр}) =$

$$15 + 12 + 20 + 13) = 60 \text{ балів}$$

$$RD = r_c + r_E = (r_{пр} + r_{лр} + r_{мкр}) + r_E$$

8. * Для допуску студенти повинні захистити лабораторні роботи та виконати і захистити МКР та РГР і мати стартовий рейтинг не менше, ніж 0,5 r_c (30 балів).

Робочий навчальний план передбачає виконання розрахунково-графічної роботи, завдання на яку індивідуальне для кожного студента. Після представлення оформленої роботи з усіма необхідними розрахунками РГР оцінюється за критерієм правильності отриманих результатів.

9. Студенти, що з поважних причин несвоєчасно захистили лабораторні роботи або несвоєчасно виконали індивідуальні семестрові завдання допускаються до здавання робіт лише за наявності медичної довідки.

10. Штрафні та заохочувальні бали (не більше 10% від r_c для кожної групи) нараховуються за:

- несвоєчасний захист лабораторної роботи без поважної причини - (-)1 бал;
- несвоєчасне (пізніше ніж на тиждень) подання МКР та РГР - (-) 3 бали;
- участь у інститутській олімпіаді з дисципліни, модернізації лабораторних робіт, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається до +6 (не більше 10% від стартового рейтингу) заохочувальних балів. **В умовах воєнного стану штрафні бали не нараховуються.**

11. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску та/або стартовий рейтинг < 30 б.	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Додаток А

Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Основні положення класичної електродинаміки.
2. Рівняння Максвелла.
3. Властивості електромагнітної хвилі.
4. Вирішення рівнянь Максвелла для непоглинаючого діелектрика.
5. Основи лазерної генерації
6. Властивості лазерного випромінювання

7. Основні промислові лазери та режими їх роботи
8. Часові параметри лазерного випромінювання
9. Енергетичні параметри лазерного випромінювання
10. Просторові параметри лазерного випромінювання
11. Фокусування лазерного випромінювання
12. Лінзові аберації
13. Поглинання лазерного випромінювання
14. Відбиття та переломлення електромагнітних хвиль 15. Бугера-Ламберта-Бера.
16. Коефіцієнт поглинання. Керування процесом поглинання
17. Оптичні характеристики провідних середовищ
18. Поглинання випромінювання металами та їх оптичні властивості
19. Поглинання світла та передача енергії у напівпровідниках та діелектриках
20. Постановка задач нагріву лазерним випромінюванням 21. Особливості задач нагріву лазерним випромінюванням.
22. Диференціальне рівняння теплопровідності,
23. Граничні умови ДР теплопровідності 24. Окремі рішення задачі теплопровідності.
25. Критична густина потужності
26. Рухоме джерело теплоти
27. Швидко рухоме джерело теплоти
28. Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання 29. Умова Стефана
30. Моделі лазерного плавлення
31. Лазерне руйнування поглинаючих матеріалів
32. Загальна характеристика механізмів лазерного руйнування
33. Лазерне випаровування
34. Загальні характеристики лазерного різання матеріалів
35. Основні поняття та властивості плазми. Фізичні характеристики плазми
36. Рух заряджених часток в електричному і магнітному полі
37. Основні характеристики електронного променя
38. Параметри електронного променя
39. Термоелектронна емісія
40. Формування електронних пучків
41. Електронна оптика. Магнітні лінзи
42. Фізичні процеси при дії електронного променя на матеріали
43. Теплові процеси в зоні електронно-променевого впливу
44. Плазма та газові розряди
45. Класифікація газового розряду
46. Вольт-амперна характеристика газового розряду
47. Електрична дуга. Збудження дугового розряду.
48. Електрична дуга. Катодна та анодна області. Стовп дуги.
49. Вольтамперна характеристика електричної дуги

50. Плазмотрони

Перелік питань для підготовки до МКР і тематика завдань для виконання РГР

<https://classroom.google.com/c/NjU0NDg4ODAxOTE1?cjc=tjidt6b>

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доц.. Романенко В.В., ст. викл. Козирев О.С.

Ухвалено: кафедрою ЛТФТТ (протокол №14 від 12.06.2024)

Погоджено: Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №12/24 від 28.06.2024).