Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЛТФТ
Лазерна техніка та фізико-технічні технології

Кафедра лазерної техніки та фізико-технічних технологій

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	*Очна (денна)*
Рік підготовки, семестр	*III курс, весняний семестр*
Обсяг дисципліни	*5,0 кредити ECTS/150 годин; лекції – 54 год., практичні заняття – 9 год., лабораторні роботи – 9 год., СРС – 78 год.*
Семестровий контроль / контрольні заходи	*Екзамен / модульна контрольна робота, розрахунково-графічна робота*
Розклад занять	***https://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. Козирєв Олексій Сергійович, kozyriev.oleksii@lll.kpi.ua*
Розміщення курсу	***https://classroom.google.com/c/NzEyNTAyMjQxMjU1***.

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.

Предмет навчальної дисципліни є 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. Дисципліна вивчає 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.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей у відповідності до ОПП, а саме:

Загальні компетентності (ЗК)	
ЗК 02	Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
ЗК 03	Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
ЗК 13	Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
Фахові компетентності спеціальності (ФК)	
ФК 03	Здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів.
ФК 04	Здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації.
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.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння кредитного модулю мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

ПРН 19	Розраховувати, оцінювати та вимірювати енергетичні, часові та просторові параметри впливу лазерного випромінювання та концентрованих потоків енергії на речовину для здійснення технологічних операцій.
ПРН 23	Оптимально обирати, застосовувати, компонувати і перевіряти технічний стан та ресурс технологічного обладнання для лазерних та фізико-технічних технологій.

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 заряжених 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

(усі видання наявні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського або в електронному вигляді за посиланням *https://classroom.google.com/c/NzEyNTAyMjQxMjU1).*

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. Головко., К.: Вістка, 2017. – 389 с.
3. В.М. Коперсак. Теорія зварювання – ч.1., Київ: НТУУ КПІ, 2016. -384 с.

Додаткова література

4. Головко 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. Козирєв, – 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.http://ltft.kpi.ua/ua/studentam/sylabusy.html (сайт кафедри ЛТФТТ).
12. library.kpi.ua (сайт науково–технічної бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»).
13. Методичні матеріали також доступні в КАМПУС - campus.kpi.ua. та Google Classroom: https://classroom.google.com/c/NzEyNTAyMjQxMjU1.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

	Кількість годин				
Назви розділів та тем	**Усього**	**Лекції**	**Практ. заняття**	**Лаб. роб.**	**СРС**
Вступ. Основні характеристики концентрованих потоків енергії **Розділ 1. Основні характеристики лазерного випромінювання** Тема 1.1 Основні положення класичної електродинаміки.	1	1			

Тема 1.2 Рівняння Максвелла. Властивості електромагнітної хвилі. Тема 1.3 Вирішення рівнянь Максвелла для непоглинаючого діелектрика.	1	1			
Тема 1.4 Основи лазерної генерації	7	2	2	3	
Тема 1.5 Властивості лазерного випромінювання	4				4
Тема 1.6 Основні промислові лазери та режими їх роботи	5				5
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	**26**	**8**	**4**	**5**	**9**
Розділ 2. Поглинання лазерного випромінювання. Характеристики лазерного джерела Тема 2.1 Поглинання лазерного випромінювання	1	1			
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	9	3		2	4
Тема 2.6 Поглинання світла та передача енергії у напівпровідниках	2	2			
Разом за розділом 2	**16**	**10**	**0**	**2**	**4**
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	3		5

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**	**3**	**0**	**5**
Модульна КР - 1	**5**		**1**		**4**
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	4				4
Разом за розділом 4	**6**	**2**	**0**	**0**	**4**
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 заряжених 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	8	2		2	4
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	**14**	**8**	**0**	**2**	**4**

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	**5**		**1**		**4**
РГР	**14**				**14**
Екзамен	**30**				**30**
Всього годин	**150**	**54**	**9**	**9**	**78**

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	Основи лазерної генерації. Квантомеханічна система, збудження квантомеханічної системи, типи переходів, коефіцієнти Ейнштейна, розподіл Больцмана, інверсія заселеності. Література: основна – [1]; додаткова –[8, 11].
3	Часові, енергетичні та просторові параметри лазерного випромінювання Залежність часових та енергетичних параметрів випромінювання від режиму роботи лазера. Часовий та просторовий розподіли інтенсивності. Модовий склад випромінювання. Гауссівський розподіл. Література: основна – [1, 2]; додаткова –[6, 7]. Завдання на СРС: Характерні форми і структури лазерних імпульсів. Коефіцієнт зосередженості.
4	Фокусування лазерного випромінювання 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]. Завдання на СРС: Чому ? Які властивості лазерного випромінювання дозволяють його „гостре” фокусування?

5	Поглинання лазерного випромінювання. Відбиття та переломлення електромагнітних хвиль Поширення електромагнітних хвиль. Фазова поверхня. Вектор Пойнтінга. Коефіцієнти поглинання, відбиття і прозорості. Зв‘язок оптичних характеристик матеріалів з електричними. Література: основна – [2]; додаткова –[1, 7, 8, 10]. Завдання на СРС: Фазова поверхня в геометричному та хвильовому наближеннях. Виведення закону Снеліуса.
6	Закон Бугера-Ламберта-Бера. Поглинальна здатність.. Керування процесом поглинання Ослаблення паралельного монохроматичного променя при поширенні в речовині. Скіншар та поглинальна здатність. Температурна залежність коефіцієнту поглинання. Діелектричні поглинаючи покриття, способи їх нанесення. Література: основна – [2]; додаткова –[1, 8, 10]. Завдання на СРС: Яким чином можна збільшити коефіцієнт поглинання? Чому?
7-8	Оптичні характеристики провідних середовищ. Поглинання лазерного випромінювання металами Класична модель вільних електронів. Теорія Друде-Лоренца. Частота релаксації. Взаємодія підсистем в металі. Теплопровідність в металі, її зв‘язок з електричними властивостями. Література: основна – [2]; додаткова –[7, 8]. Завдання на СРС: Причини та межі використання рівномірного розподілу в теплових задачах. Відмінність закону Бугера для різних типів матеріалів. Причини існування нерівності (2).

9	Поглинання лазерного випромінювання напівпровідниками та діелектриками 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]. Завдання на СРС: Змінність оптичних властивостей напівпровідника в залежності від температури.
10	Постановка задач нагріву лазерним випромінюванням. Особливості задач нагріву лазерним випромінюванням. 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.. Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8].
11	Диференційне рівняння теплопровідності, граничні умови. Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8].
12-13	Окремі рішення задачі теплопровідності. Завдання на СРС: Зміна рівняння теплопровідності для тіл згаданої форми. Межа придатності одномірної моделі. Умови досягнення стаціонарної температури. Відмінність поняття тонкої пластини від напівнескінченного тіла. Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8, 10].
14	Критична густина потужності Завдання на СРС: в чому принципова різниця між критичними густинами потужності по плавленню та випаровуванню? Література: основна – [1,2]; додаткова –[4, 7, 8].

15	Рухоме джерело теплоти. Швидко рухоме джерело теплоти 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]
16	Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання. Умова Стефана 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. Література: основна - [2, 3, 5] ; додаткова – [4, 7, 8]
17	Лазерне руйнування поглинаючих матеріалів Види лазерного руйнування та способи їх досягнення. Література: основна - [1] ; додаткова – [8, 11]
18	Загальна характеристика механізмів лазерного руйнування. Лазерне випаровування 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. Література: основна - [1] ; додаткова – [8]
19	Загальні характеристики лазерного різання матеріалів 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 різу за високих та низьких швидкостей. Література: основна - [1, 2] ; додаткова – [7, 8] Завдання на СРС: Відмінність термосколювання та скрайбування. Фізичних процесів за рахунок яких відбувається руйнування при лазерній різці безперервним випромінюванням та імпульсно-періодчним випромінюванням
20	Основні поняття та властивості плазми. Фізичні характеристики плазми. Література: основна - [2]
21	Рух заряджених часток в електричному і магнітному полі. Основні характеристики електронного променя. Параметри електронного променя. Література: додаткова –[7].
22	Термоелектронна емісія. Література: додаткова –[7, 11]. Завдання на СРС: Вплив параметрів електронного променя на його геометрію. Характеристики електронно-променевого джерела, його відмінність від лазерного джерела.
23	Формування електронних пучків. Електронна оптика. Магнітні лінзи. Література: додаткова –[8].

24	Фізичні процеси при дії електронного променя на матеріали. Теплові процеси в зоні електронно-променевого впливу. Література: додаткова –[8].
25	Плазма та газові розряди. Класифікація газового розряду. Вольт-амперна характеристика розряду. Література: додаткова – [8, 11]. 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.
26	Електрична дуга. Збудження дугового розряду. Катодна та анодна області. Стовп дуги. Вольтамперна характеристика дуги. Література: додаткова –[8].
27	Плазмотрони. Література: додаткова –[8].

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 променю 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	**Властивості лазерного випромінювання. Часові, енергетичні та просторові параметри лазерного випромінювання. Фокусування лазерного випромінювання.** Мета роботи: Вивчити залежність часових та енергетичних параметрів випромінювання від режиму роботи лазера; ознайомитися з схемами фокусування, їх залежністю від параметрів оптичної системи; фокусування одно- та багатомодового випромінювання; глибина фокусу. Завдання на СРС: Довжина хвилі неодимового лазеру 1,06 мкм. Знайти показник монохроматичності. Інтенсивність випромінювання на відстані гаусівського радіусу складає 10^6 Вт/см^2. Знайти максимальну інтенсивність. Знайдіть значення сферичної аберації лінзи з KCl (К=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. Література: основна – [1, 2]; додаткова –[4, 6, 10].	2
2	**Поглинання випромінювання металами та напівпровідниками.** Мета роботи: Зрозуміти суть закона Бугера-Ламберта-Бера; поглинальна здатність; керування процесом поглинання; температурна залежність коефіцієнту поглинання; діелектричні поглинаючи покриття, способи їх нанесення. Завдання на СРС: 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 см^3. Ширина забороненої зони германію дорівнює 0,67 Ев. Знайти переважаючий механізм поглинання випромінювання та лазерів. Література: основна – [2]; додаткова –[4, 8].	2

3	**МКР - 1**	1
4	**Окремі рішення задачі теплопровідності.** Мета роботи: вивчити постановку та рішення диференційного рівняння теплопровідності; граничні умови; зміна рівняння теплопровідності для тіл різної форми; межа придатності одномірної моделі. Умови досягнення стаціонарної температури; відмінність поняття тонкої пластини від напівбезскінечного тіла. Завдання на СРС: Знайдіть критичні густини потужності по плавленню. Знайдіть критичні густини потужності по випаровуванню. Знайдіть час нагрівання до температури випаровування, якщо імпульс має параметри. Література: основна – [1,2]; додаткова –[6,7].	3
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	**Конструкція та основні елементи твердотільних і газових лазерів** Мета роботи: Ознайомитись з принципом роботи, складом, конструкцією і блок схемою лазерів; вивчити конструкції випромінювачів твердотільного та газового лазерів. Завдання на СРС: Ознайомлення з основними елементами лазерних випромінювачів; ознайомлення з методами регламентного обслуговування лазерних випромінювачів та отримання практичних навичок по обслуговуванню та догляду за елементами випромінювача лазера. Література: основна – [1]; додаткова –[6].	3
2	**Вивчення поглинальної здатності матеріалів** Мета роботи: Вивчити загальні закономірності процесу поглинання лазерного випромінювання матеріалами; ознайомитися з методикою визначення відбитого сигналу від поверхні, що опромінюється; Завдання на СРС: Визначення значення коефіцієнтів поглинання різними матеріалами та поглинальними покриттями; визначити зміну коефіцієнта відбивання в залежності від кута падіння. Література: основна – [2]; додаткова –[4, 6, 8].	2
3	**Вимірювання діаметра фокусування лазерного випромінювання та розподілу інтенсивності в ньому** Мета роботи: Вивчити характеристики лазерного джерела, нормальний та рівномірний розподіл інтенсивності в сфокусованому промені. Завдання на СРС: Ознайомлення з методикою виміру розподілення інтенсивності по діаметру променя; суть методики вимірювання інтенсивність у сфокусованому та розфокусованому променях; розрахункові схеми при підбиранні теоретичний закон розподілення та оцінка середню густину потужності у кожному випадку. Література: основна – [1,2]; додаткова –[4,6, 7, 8].	2

4	**Визначення роботи виходу електронів із металу** Мета роботи: Ознайомлення з методами побудови та вивчення вольт-амперної характеристики електронно-променевого променя. Завдання на СРС: Вивчення способів дослідження залежності щільності струму насичення термоелектронної емісії від температури катода та визначення роботи виходу електрона методом прямих Річардсона. Література: основна – [3]; додаткова –[9, 11].	2

6. Самостійна робота студента

Вид самостійної роботи студента	Кількість годин	Норма часу на підготовку, год.	Термін часу, год.
Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань	14	0,3	14
Підготовка до практичних робіт	6	0,65	6
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	6	0,65	6
Підготовка до МКР-1	4	4	4
Підготовка до МКР-2	4	4	4
Виконання РГР	14	14	14
Підготовка до екзамену	30	30	30
		Всього	**78**

Самостійна робота студента (78 год.) полягає у підготовці до лекційних, лабораторних і практичних занять (26 год.), 2-ох модульних контрольних робіт (8 год.), виконання завдання по РГР (14 год.), а також підготовці до екзамену (30 год.) шляхом опрацювання рекомендованої літератури, підготовці відповідей на контрольні запитання і розв'язуванні задач.

Модульні контрольні роботи та завдання на РГР.

Основною ціллю контрольних модульних робіт є перевірка якості засвоєння теоретичного матеріалу та практичних навичок, які необхідні для виконання фахових обов'язків по самостійному проектуванню систем лазерної оптики та розрахунків, конструюванню та проектуванню оптичних систем ЛТО. Модульна контрольна робота розділена на дві частини і проводиться під час практичних занять. Завдання на РГР дають можливість практичного засвоєння теоретичного курсу. Результати МКР та РГР враховуються при проведенні календарного контролю.

Перелік питань для підготовки до МКР розміщений в наведенному нижче додатку А.

Зміст завдань на кожну РГР наведено у додатку Б.

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 РСО 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 опановувати 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 модульної контрольної роботи, яка розділена на дві частини та завдання на яку індивідуальне для кожного студента. Теми для МКР викладені за посиланням ***https://classroom.google.com/c/NzEyNTAyMjQxMjU1***, а система оцінювання наведена в РСО освітнього компоненту.

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 (РСО).

Контрольні заходи:

1. Поточний контроль: виконання практичних завдань, МКР та РГР.

2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

3. Семестровий контроль: екзамен.

Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання практичних завдань	9	2	18
Виконання лабораторних робіт	9	2	18
МКР	2	6	12
РГР	1		12
Екзамен	1	40	40
		Всього	**100**

Оцінювання виконання практичних завдань:

Критерії	Бали
до виконаного завдання немає зауважень, дані правильні відповіді при перевірці	2
є не принципові зауваження до виконаного завдання та/або дані відповіді з помилками при перевірці	1
є принципові зауваження до виконаного завдання та/або не дані відповіді (дані неправильні) при перевірці	робота не здана

Оцінювання виконання лабораторних робіт:

Критерії	Бали
до виконаної лабораторної роботи немає зауважень, дані правильні відповіді при перевірці	2
є не принципові зауваження до виконаної лабораторної роботи та/або дані відповіді з помилками при перевірці	1
є принципові зауваження до виконаної лабораторної роботи та/або не дані відповіді (дані неправильні) при перевірці	робота не здана

МКР поділена на 2 частини та відбувається у вигляді проходження тестів. Кожна частина МКР складається з 3 питань. За кожну правильну відповідь студент отримує 2 бала. Якщо сумарна кількість правильних відповідей менше 2,5 балів, то ця частина МКР вважається не зданою, при цьому бали не нараховуються. Максимально можлива оцінка за одну частину МКР складає 6 балів. За всі 2 частини – 12 балів. За виконану РГР студент отримує максимальну оцінку - 12 балів. Якщо якість виконання РГР оцінена менше, ніж на 5,5 балів, то РГР вважається не виконаною та бали не зараховуються.

Умовою допуску до екзамену є виконання всіх практичних та лабораторних робіт, здані 2 частини МКР та РГР. а сумарний семестровий рейтинг більше 35 балів. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 6) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач).

На екзамені слухачу необхідно дати розгорнуті відповіді на 3 питання, кожне з яких оцінюється за наступними критеріями:

Критерії	Бали
правильна відповідь, можливо з несуттєвими зауваженнями, повнота відповіді більша 90%	12-13
є не принципові зауваження, повнота відповіді більша 75%	9-11
є принципові зауваження, але можна вважати що суть питання розкрита, повнота відповіді не менша 60%	7-8
суть питання не розкрита та/або повнота відповіді менша 60%	0

У випадку, коли сумарна оцінка за екзамен менше 24 балів, екзамен вважається не зданим, при цьому бали не нараховуються. Для перескладання екзамену є дві додаткові спроби.

Отриманні слухачем рейтингові бали переводять в університетські оцінки за шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Приблизний перелік питань, які виносяться на екзамен приведений в Додатку В.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Додаток А

Приблизний перелік питаньдля підготовки до МКР-1 та МКР-2.

1. Лазерне випромінювання це:
2. Властивості, що відрізняють лазерне випромінювання від звичайного світла:
3. Монохроматичність лазерного випромінювання пояснюється:
4. Монохроматичність лазерного випромінювання дозволяє уникнути:
5. Когерентність лазерного випромінення це:
6. Інтенсивність лазерного випромінення е:
7. Добротність резонатора це:
8. Розташуйте засоби отримання лазерного імпульса за збільшенням тривалості імпульса:
9. Який закон розподілу інтенсивності в основній (гаусівській) моді:
10. Ефективний (гауссівській) радіус, це:
11. Залежність між глибиною фокусу та фокусною відстанню:
12. Рівномірна кривизна поверхні лінзи призводить до появи:
13. Яка оптична аберація загалом невластива для лазерного випромінення:
14. Лінзи з якого матеріалу використовують для фокусування випромінення Nd-лазерів
15. Лінзи з якого матеріалу використовують для фокусування випромінення CO2-лазерів
16. Яка залежність коефіцієнту поглинання в металах від електропровідності:
17. Яка залежність коефіцієнту поглинання в металах від температури:
18. Що описує закон Бугера:
19. Вкажіть правильний запис закону Бугера:
20. У відповідності до моделі Лоренца при поглинанні лазерного випромінювання металами:
21. Яке співвідношення частот релаксації має місце в металі на початковій стадії поглинання:
22. Яке співвідношення температур має місце в металі на початковій стадії поглинання:
23. Від чого залежить частота електрон-фотонної релаксації при поглинанні в металі:
24. Від чого залежить частота електрон-електронної релаксації при поглинанні в металі:
25. Від чого залежить частота електрон-іонної релаксації при поглинанні в металі:
26. Від чого залежить частота іон-іонної релаксації при поглинанні в металі:
27. З якого приблизно моменту після початку поглинання метал може характеризуватися спільною температурою:
28. Для яких механізмів поглинання в напівпровіднику є характерним слабе поглинання на електронно-діркових парах:
29. Для яких механізмів поглинання в напівпровіднику є характерним сильне поглинання на електронно-діркових парах:
30. Яка залежність коефіцієнту поглинання в напівпровідниках від температури:
31. Який механізм теплопровідності притаманний напівпровідникам, але не металам:
32. Механізм теплопровідності в металах, характерний для діапазону температур, притаманних лазерним технологіям:

33. Для яких матеріалів є характерним формування поверхневого джерела теплоти:

34. Для яких матеріалів є характерним формування об‘ємного джерела теплоти:

35. Які граничні умови притаманні задачі лазерного нагріву:

36. Вкажіть умову, при якій є коректною одномірна постановка теплової задачі:

37. Стаціонарна температура при лазерному нагріванні знаходиться з умови:

38. Що таке "критична густина потужності":

39. Задача нагрівання об‘ємним джерелом теплоти характерна для:

40. Для задачі нагріву "тонкої пластини" характерне:

41. При нагріванні металу до температури плавлення в умовах стаціонарного нагрівання, температура:

42. При плавленні металу імпульсним лазерним випроміненням, характерна форма ванни розплаву

43. При плавленні металу безперервним лазерним випроміненням, характерна форма ванни розплаву

44. При перевищенні критичної швидкості лазерного зварювання

45. Так зване "глибоке проплавлення" виникає через

46. На початковій стадії руйнування металу імпульсом вільної генерації продукти лазерної ерозії

47. На кінцевій стадії руйнування металу імпульсом вільної генерації продукти лазерної ерозії

48. Як впливає збільшення пікової густини потужності на процес лазерного імпульсного руйнування

49. Пічкова структура лазерного імпульсу:

50. Квазистаціонарний режим руйнування це:

51. Від чого залежить швидкість руху границі руйнування при дії лазерного імпульса

52. Оптимальний режим лазерного випаровування досягається, коли:

53. Лазерне різання безперервним випромінюванням засновано на:

54. Лазерне різання імпульсно-періодичним випромінюванням засновано на

55. Під час ГЛР сталей кисень сприяє утворенню оксидної плівки, і це:

56. Під час ГЛР сталей хімічний механізм різання має місце при використанні

57. Під час ГЛР сталей фізичний механізм різання має місце при використанні

58. Автогенний режим ГЛР означає

Додаток Б

Перелік завдань для РГР

Завдання 1.

1. Диференційне рівняння теплопровідності, граничні умови. Записати рівняння теплопровідності в лінійній і нелінійній формі для випадків лазерного і не лазерного нагрівання. Способи отримання диференційного рівняння теплопровідності. Чому для металів $W_{PV} = 0$?

   2. Характеристики лазерного різання металів імпульсно-періодичним випромінюванням. Відмінність термосколування та скрайбування. За рахунок яких фізичних процесів відбувається руйнування при лазерній різці імпульсно-періодчним випромінюванням?

Завдання 2.

1. Окремі рішення задачі теплопровідності. Межа придатності одномірної моделі. За яких умов досягається стаціонарна температура? Чим тонка пластина відрізняється від напівбескінечного тіла?
2. Тонка пластина з алюмінію (λ=2,09; a=0,87; c=0,89) товщиною 1 мм нагрівається імпульсом з параметрами: $E=10$ Дж, $\tau=2$ мсек, $\Theta=6$ мрад. Лінза з $F=100$ мм. Коефіцієнт поглинання A=0.3. Знайдіть температуру, до якої нагріється поверхня пластини через 0.2 мсек.

Завдання 3.

1. Критична густина потужності. На основі якої моделі отримано вираз для критичної густини потужності за плавленням? Вивести вираз для визначення перехідного часу за відомої густини потужності. Знайти залежність критичної густини потужності за випаровуванням від часових характеристик джерела теплоти та теплофізичних характеристик матеріалу.
2. Феноменологічна модель руйнування. За рахунок яких процесів відбувається руйнування по глибині? За рахунок яких процесів відбувається руйнування по діаметру? Що означають складові балансу енергії? Чому залежність питомого виносу маси від густини енергії не є монотонною?

Завдання 4.

1. Рухоме джерело теплоти. Швидко рухоме джерело теплоти. Завдання на СРС: Порівняти розрахунки для рухомого та швидко рухомого джерел теплоти за однакових умов нагріву.
2. Тонка пластина з алюмінію (λ=2,09; a=0,87; c=0,89) товщиною 1 мм нагрівається імпульсом з параметрами: $E=10$ Дж, $\tau=2$ мсек, $\Theta=6$ мрад. Лінза з $F=100$ мм. Коефіцієнт поглинання A=0.3. Знайдіть температуру, до якої нагріється поверхня пластини через 0.2 мсек.

Завдання 5.

1. Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання. Як змінюється динаміка кордону рідкої фази в залежності від знаку балансу в умові Стефана? Від яких параметрів залежить форма ванни розплаву? Від чого залежить максимальна глибина проплавлення? Як формується „кинджальне" проплавлення?
2. Срібна мішень (λ=4,2; a=1,71), що має форму напівбескінечного тіла, нагрівається імпульсом з параметрами: $E=10$ Дж, $\tau=4$ мсек, $\Theta=2$ мрад. Лінза з $F=100$ мм. Коефіцієнт поглинання A=0.25. Знайдіть температуру, до якої нагріється поверхня тіла через 0.2 мсек.

Завдання 6.

1. Характеристики лазерного різання металів імпульсно-періодичним випромінюванням. Відмінність термосколування та скрайбування. За рахунок яких фізичних процесів відбувається руйнування при лазерній різці імпульсно-періодчним випромінюванням?
2. Знайдіть критичні густини потужності по плавленню для заліза (λ=0,51; a=0,15; T_m=1535). Довжина імпульсу 1 мсек. Знайдіть критичні густини потужності по випаровуванню для заліза(λ=0,51; a=0,15; T_b=2900). Довжина імпульсу 1 мсек.

Завдання 7.

1. Характеристики лазерного різання металів безперервним випромінюванням. Чим визначається швидкість стаціонарного руйнування? Чим відрізняється різка на високих та низьких швидкостях? В чому полягає межа між високими та низькими швидкостями? Чим визначаються кути нахилу кордонів періодичного та безперервного руйнування? В чому полягає некерований режим різки?
2. Поверхнею алюмінію (λ=2,09; a=0,87; c=0,89; A=0.3) рухається промінь з параметрами: P=250 Вт, r_f=0,125 мм. Розрахувати швидкість, за якої матеріал починає плавитись, за

допомогою моделей для рухомого та швидко рухомого джерел теплоти. Результати порівняти, знайти похибку наближення для швидко рухомого джерела.

Завдання 8.

1. Феноменологічна модель руйнування. За рахунок яких процесів відбувається руйнування по глибині? За рахунок яких процесів відбувається руйнування по діаметру? Що означають складові балансу енергії? Чому залежність питомого виносу маси від густини енергії не є монотонною?
2. Знайти максимальну глибину зварювання сталі (T_m=1535; T_b=2900) джерелом теплоти радіусом 3 мм.

Завдання 9.

1. Тепловий механізм руйнування. Від чого залежить швидкість стаціонарного руйнування? Відмінності теплових задач в рухомих і нерухомих координатах. Складові, що впливають на швидкість стаціонарного руйнування при різних значеннях густини потужності. Як змінюється швидкість стаціонарного руйнування на протязі перехідного періоду. Які критерії „оптимального" руйнування існують? Що можна віднести до недоліків теплової моделі руйнування?
2. Знайти час затримки квазистаціонарного руйнування в рамках теплової моделі руйнування, якщо на мідну мішень (ρ=8,96; L_b=4813; a=1,12) діє лазерний імпульс: $E = 4$ Дж, $\tau = 1$ мсек, $\Theta = 2$ мрад. Лінза з $F = 50$ мм. Коефіцієнт поглинання A=0.39. Температуру поверхні руйнування прийняти рівній температурі випаровування (T_0=2580).

Завдання 10.

1. Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання. Як змінюється динаміка кордону рідкої фази в залежності від знаку балансу в умові Стефана? Від яких параметрів залежить форма ванни розплаву? Від чого залежить максимальна глибина проплавлення? Як формується „кинджальне" проплавлення?
2. Знайти діаметр полості, якщо на стальну мішень (ρ=7,87; L_m=275; L_b=7140) діє лазерний імпульс: $E = 6$ Дж, $\tau = 1$ мсек, $\Theta = 2$ мрад. Лінза з $F = 150$ мм. Коефіцієнт поглинання A=0.5. Діаметр випромінювання на лінзі – 12мм.

Завдання 11.

1. Рухоме джерело теплоти. Швидко рухоме джерело теплоти. Порівняти розрахунки для рухомого та швидко рухомого джерел теплоти за однакових умов нагріву.
2. Сталь (λ=0,51; a=0,15; T_m=1535) ріжуть безперервним лазерним випромінюванням з густиною потужності $W_p = 5 \cdot 10^5$ Вт/см^2 із швидкістю 1 м/хв. Знайти шорсткість бокової поверхні різа. Температуру поверхні прийняти T_0=1,2* T_m=1842. Початкову температуру не враховувати. Потужність безперервного випромінювання при газолазерній різці сталі (λ=0,51; a=0,15; c=0,43; ρ=7,87; T_m=1535; L_m=275) є 1000 Вт. Ширина різу складає 150 мкм. Швидкість різання – 1,2 м/хв. Знайти сумарну потужність випромінювання та реакції окислення. Сумарний ККД прийняти = 0.5.

Завдання 12.

1. Критична густина потужності. Моделі для отримано вираз для критичної густини потужності за плавленнямта випаровуванням. Визначення перехідного часу за відомої густини потужності. Залежність критичної густини потужності за випаровуванням від часових характеристик джерела теплоти та теплофізичних характеристик матеріалу.
2. Потужність безперервного випромінювання при газолазерній різці сталі (λ=0,51; a=0,15; c=0,43; ρ=7,87; T_m=1535; L_m=275) є 1000 Вт. Ширина різу складає 150 мкм.

Швидкість різання – 1,2 м/хв. Знайти тиск кисню, за якого глибина різа перестане зростати.

Завдання 13.

1. Характеристики лазерного різання металів безперервним випромінюванням. Чим визначається швидкість стаціонарного руйнування? Чим відрізняється різка на високих та низьких швидкостях? В чому полягає межа між високими та низькими швидкостями? Чим визначаються кути нахилу кордонів періодичного та безперервного руйнування? В чому полягає некерований режим різки?
2. Сталь (λ=0,51; a=0,15; ρ=0,43; ρ=7,87; T_m=1535; L_b=8100Дж/г) ріжуть імпульсно-періодичним лазерним випромінюванням з параметрами: $\bar{p} = 100$ Вт, $f = 1$ кГц. $F = 100$ мм, $D = 10$ мм. Знайти: ширину та глибину різу, максимальну швидкість обробки.

Завдання 14.

1. Характеристики лазерного різання металів імпульсно-періодичним випромінюванням. Відмінність термосколування та скрайбування. За рахунок яких фізичних процесів відбувається руйнування при лазерній різці імпульсно-періодчним випромінюванням?
2. Латунна мішень (λ=3,2; a=1,61), що має форму пластини, нагрівається імпульсом з параметрами: $E = 10$ Дж, $\tau = 4$ мсек, $\Theta = 2$ мрад. Лінза з $F = 100$ мм. Коефіцієнт поглинання A=0.25. Знайдіть температуру, до якої нагріється поверхня тіла через 0.2 мсек.

Завдання 15.

1. Феноменологічна модель руйнування. За рахунок яких процесів відбувається руйнування по глибині? За рахунок яких процесів відбувається руйнування по діаметру? Що означають складові балансу енергії? Чому залежність питомого виносу маси від густини енергії не є монотонною?
2. Знайдіть критичні густини потужності по плавленню для титану (λ=0,61; a=0,25; T_m=735^{0}C). Довжина імпульсу 5 мсек. Знайдіть критичні густини потужності випаровування.

Додаток В

Приблизний перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

(Питання для проведення екзаменаційної письмової роботи сформовані в білети по 3 запитання з різних розділів).

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.
15. Коефіцієнт поглинання. Керування процесом поглинання
16. Оптичні характеристики провідних середовищ
17. Поглинання випромінювання металами та їх оптичні властивості
18. Поглинання світла та передача енергії у напівпровідниках та діелектриках
19. Постановка задач нагріву лазерним випромінюванням 21. Особливості задач нагріву лазерним випромінюванням.
20. Диференційне рівняння теплопровідності,
21. Граничні умови ДР теплопровідності 24. Окремі рішення задачі теплопровідності.
22. Критична густина потужності
23. Рухоме джерело теплоти
24. Швидко рухоме джерело теплоти
25. Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання 29. Умова Стефана
26. Моделі лазерного плавлення
27. Лазерне руйнування поглинаючих матеріалів
28. Загальна характеристика механізмів лазерного руйнування
29. Лазерне випаровування
30. Загальні характеристики лазерного різання матеріалів
31. Основні поняття та властивості плазми. Фізичні характеристики плазми
32. Рух заряжених часток в електричному і магнітному полі
33. Основні характеристики електронного променя
34. Параметри електронного променя
35. Термоелектронна емісія
36. Формування електронних пучків
37. Електронна оптика. Магнітні лінзи
38. Фізичні процеси при дії електронного променя на матеріали
39. Теплові процеси в зоні електронно-променевого впливу
40. Плазма та газові розряди
41. Класифікація газового розряду
42. Вольт-амперна характеристика газового розряду
43. Електрична дуга. Збудження дугового розряду.
44. Електрична дуга. Катодна та анодна області. Стовп дуги.
45. Вольтамперна характеристика електричної дуги
46. Плазмотрони
47. Сформулювати загальні характеристики лазерного різання матеріалів
48. Сформулювати загальна характеристика механізмів лазерного руйнування. Лазерне випаровування.
49. Сформулювати загальна характеристика механізмів лазерного руйнування. Лазерне плавлення.
50. Сформулювати загальна характеристика механізмів лазерного руйнування. Лазерний нагрів без фазових переходів.

51. Можливі процеси при лазерному розділенні матеріалів. Фізичний та хімічний механізми різки.
52. Особливості кінетика формування різу за високих та низьких швидкостей.
53. В чому особливість фізичних процесів при дії електронного променя на матеріали.Особливість теплові процеси в зоні електронно-променевого впливу.
54. Особливості плавлення металів під дією лазерного випромінювання. Вирішення теплових задач з урахуванням умови Стефана.
55. Основні відмінності плазмового нагріву.Види плазмових джерел енергії.
56. Особливості теплових задач при використанні електричної дуга. Моделювання процесів електро-дугового зварювання.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою лазерної техніки та фізико-технічних технологій
(протокол № 3 від 08.10.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
(протокол № 2/26 від 20.02.2026 р.)