

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

приладобудівний
(назва факультету (інституту))

виробництва приладів
(назва кафедри)

**КОМПЛЕКТ
ЗАВДАНЬ ДЛЯ ПРОВДЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ**

для студентів IV курсу спеціальності (напряму)

(код спеціальності)

Медичні прилади та системи
(назва спеціальності)

Лазерні технології та обладнання
назва дисципліни)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

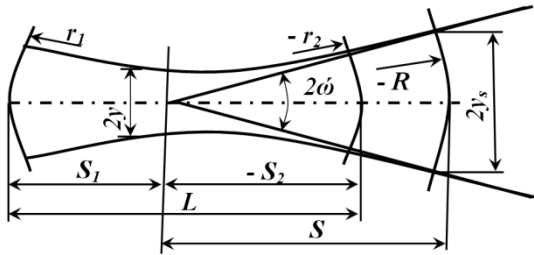
(підпис)

Тимчик Г.С.
(прізвище та ініціали)

Завдання №1

Лазерний пучок виходить з резонатора, що складається з двох сферичних дзеркал $r_1=11\text{м}$ та $r_2=-15\text{м}$. Відстань між дзеркалами $L=1\text{м}$. Визначити положення мінімального розміру $2y$ (перетяжки), де хвильовий фронт вироджується в площину.

Розв'язок:



Положення перетяжки $2y$ відносно вершин дзеркал резонатора визначають за формулами:

$$s_1 = L(r_2 + L)/(2L - r_1 + r_2) = -14/(2 - 26) = 0,58\text{м};$$

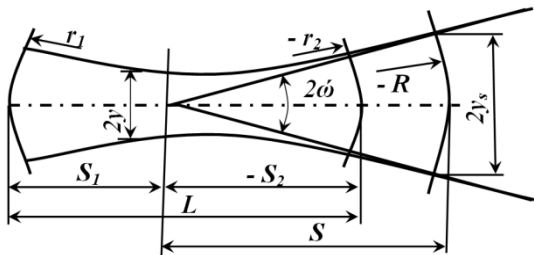
$$s_2 = L(r_1 - L)/(2L - r_1 + r_2) = 10/(2 - 26) = 0,42\text{м}$$

Відповідь: $s_1 = 0,58\text{м}$ $s_2 = 0,42\text{м}$

Завдання №2

Лазерний пучок довжиною хвилі $\lambda=632\text{Нм}$ виходить з резонатора, що складається з двох сферичних дзеркал $r_1=6\text{м}$ та $r_2=-3\text{м}$. Відстань між дзеркалами $L=4\text{м}$. Визначити мінімальний розмір $2y$ (перетяжки), де хвильовий фронт вироджується в площину.

Розв'язок:



Діаметр мінімальної перетяжки визначається за формулою:

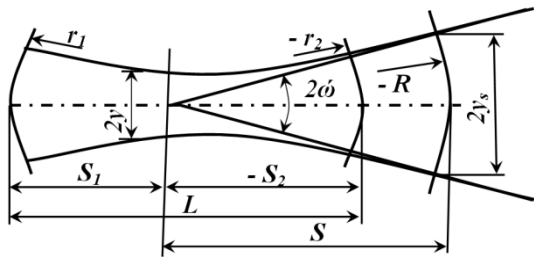
$$, \text{ де } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ - хвильове число}$$

Відповідь:

Завдання №3

В He-Ne лазері, який працює на довжині хвилі $\lambda=632\text{Нм}$, використовується конфокальний резонатор довжиною $L=1\text{м}$. Визначити розмір мінімальної перетяжки $2y$ та розмір перетяжки на дзеркалах $2y_s$.

Розв'язок:



Діаметри перетяжок $2y$ та $2y_s$ для конфокального резонатору має вигляд:

де $R_3 = L$ - конфокальний параметр. Тоді:

Відповідь;

.

Завдання №4

Резонатор з сферичними дзеркалами з радіусами кривизни $R_1 = 1\text{м}$ та $R_2 = \infty$, розміщеними на відстані $L = 0,5\text{м}$ один від одного. Визначити узагальнені параметри резонатора та тип резонатора.

Розв'язок:

Узагальнені параметри резонатора визначаються за формулами:

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} = 1 - 0.5 = 0.5$$

$$g_2 = 1 - \frac{L}{R_2} = 1$$

Відповідь: Тип резонатора
напівконфокальний.

Завдання №5

Визначити дифракційні втрати на дзеркалах резонатора з сферичними дзеркалами з радіусами кривизни $R_1 = 1\text{ м}$ та $R_2 = -0.25$, які розміщені на відстані $L = 1$ один від одного.

Розв'язок:

Дифракційні втрати на дзеркалах можна оцінити за узагальненими параметрами g_1 і g_2 .

Параметри резонатора визначаються за формами:

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1} = 1 - \frac{0.5}{1} = 0.5$$

$$g_2 = 1 - \frac{L}{R_2} = 1 + \frac{0.5}{0.25} = 3$$

$$g_1 g_2 = 0.5 \cdot 3 = 1.5 > 1$$

Відповідь: Оскільки $g_1 g_2 > 1$, то втрати на дзеркалах великі.

Завдання №6

Визначити дифракційні втрати на дзеркалах резонатора із плоскими дзеркалами, розміщеними на відстані $L = 1\text{ м}$ один від одного.

Розв'язок:

Дифракційні втрати на дзеркалах можна оцінити за узагальненими

параметрами g_1 і g_2 .

Параметри резонатора визначаються за формулами:

$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1}; \quad g_2 = 1 - \frac{L}{R_2}$$

Оскільки в даному випадку, то відношення $L/R \rightarrow 0$, а $g_1 = g_2 = 1$.

Тоді $g_1 g_2 = 1$

Відповідь: Оскільки попадає в межі $0 \leq g_1 g_2 \leq 1$, то втрати на дзеркалах малі.

Завдання №7

Оцінити дифракційні втрати на дзеркалах резонатора за узагальненими параметрами g_1 і g_2 , якщо $g_1 g_2 < 0$.

Розв'язок:

Оскільки $g_1 g_2 < 0$, то втрати на дзеркалах великі.

Відповідь: Великі

Завдання №8

Нехай резонатор складається з двох ідеально відбиваючих дзеркал. Визначити відстань між цими дзеркалами L , на якій розміщується $n = 2 \cdot 10^6$ хвиль довжиною $\lambda = 500 \text{ нм}$ та відстань між резонансними частотами $\Delta \nu$.

Розв'язок:

Оскільки при ідеально відбиваючих дзеркалах амплітуда коливань на дзеркалах дорівнює нулю, а фаза відбитої хвилі співпадає з фазою падаючої в тому випадку, коли між дзеркалами поміщається ціле число напівхвиль, то

довжину можна визначити з формули:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \Rightarrow L = \frac{\lambda n}{2} = \frac{500 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^6}{2} = 0,5 \text{ м}$$

Відповідь: $L = 0,5 \text{ м}$;

$\Delta\nu = 300 \text{ МГц}$.

Завдання №9

Визначити добротність та спектральні характеристики (відстань між резонансними частотами та ширину спектральної резонансної кривої) відкритого оптичного резонатора, якщо відома відстань між дзеркалами $L=100 \text{ см}$, сумарні витрати $\beta_{\Sigma}=0,01$ та $\lambda_0=0,63 \cdot 10^{-4} \text{ см}$.

Розв'язок:

Добротність розраховують за наступною формулою:

$$Q = \frac{2\pi L}{\beta_{\Sigma} \lambda_0} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 100}{0,1 \cdot 0,63 \cdot 10^{-4}} = 10^8$$

Відстань між резонансними частотами:

Ширина спектральної резонансної кривої:

Відповідь: $Q=10^8$; $\Delta\nu=150 \text{ МГц}$;

$\Delta\nu_p=0,5 \text{ МГц}$.

Завдання №10

Визначити сумарні витрати β_{Σ} відкритого оптичного резонатора, який

використовує для генерації випромінювання довжину хвилі $\lambda_0=0,63 \cdot 10^{-4}$ см, а його добротність становить $Q=10^8$. Відстань між резонансними частотами $\Delta\nu=150$ МГц,.

Розв'язок:

Для визначення сумарних витрат скористаємося наступною формулою:

$$Q = \frac{2\pi L}{\beta_z \lambda_0} \Rightarrow \beta_z = \frac{2\pi L}{Q \lambda_0}$$

Відстань між дзеркалами можна визначити з формули, яка визначає відстань між резонансними частотами:

Визначимо сумарні витрати:

$$\beta_z = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 100}{10^8 \cdot 0,63 \cdot 10^{-4}} = 1 \cdot 10^{-2}$$

Відповідь: $\beta_z = 1 \cdot 10^{-2}$

Завдання №11

Визначити потужність та енергію імпульсів випромінювання N_2 -лазера при тривалості $\tau=10^{-8}$ с, необхідні для досягнення щільності потужності випромінювання у фокусі $q_0 = 10^7$ Вт/см², якщо розходження пучка 1 мрад, а фокусна відстань оптичної системи 3 см

Розв'язок:

Потужність імпульсів лазерного випромінювання визначається за формулою:

$$P_0 = q_0 S$$

де $S = \pi d_0^2 / 4$ - площа плями у фокальній площині.

Визначимо, чому дорівнює діаметр плями у фокусі, за наступною формулою:

$$d_0 = \theta f = 30 \text{ мкм.}$$

Вичислимо потужність імпульсів випромінювання:

$$P_0 = q_0 \pi d_0^2 / 4 = 70 \text{ Вт},$$

та енергію імпульсів випромінювання, яка дорівнює $W = P \cdot \tau = 7 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$.

Відповідь: $P_0 = 70 \text{ Вт}$,

$$W = 7 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}.$$

Завдання №12

Визначити щільність потужності випромінювання q_0 у фокусі N_2 -лазера при тривалості $\tau = 10^{-8} \text{ с}$, якщо потужність імпульсів випромінювання $P_0 = 80 \text{ Вт}$, розходження пучка 1 мрад, а фокусна відстань оптичної системи 3 см.

Розв'язок:

Щільність потужності лазерного випромінювання визначається з формули потужності імпульсів лазерного випромінювання:

$$P_0 = q_0 \cdot S \Rightarrow q_0 = \frac{P_0}{S}$$

де $S = \frac{\pi d_0^2}{4}$ - площа плями у фокальній площині.

Визначимо, чому дорівнює діаметр плями у фокусі, за наступною формулою:

$$d_0 = \theta \cdot f = 3 \cdot 10^{-3} \text{ см}.$$

Вичислимо щільність потужності випромінювання:

$$q_0 = \frac{P_0}{S} = \frac{4 \cdot P_0}{\pi d_0^2} = \frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 3^2 \cdot 10^{-6}} = 1,1 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$$

Відповідь: $q_0 = 1,1 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$.

Завдання №13

Для обробки металів використовують безперервний лазер з вихідною

потужністю >1кВт. Який лазер задовольняє цю умову?

Відповідь: Лазери CO₂.

Завдання №14

Яка мінімальна кількість дзеркал використовується в резонаторі?

Відповідь: 2 дзеркала.

Завдання №15

Назвіть основні властивості лазерного променя.

Відповідь: Монохроматичність, когерентність (просторова та часова), направленість та яскравість.

Завдання №16

Визначити спектр власних частот оптичного резонатора He -Ne лазера ЛГН 303, якщо відомо, що довжина резонатора $L = 0,23$ м і довжина хвилі $\lambda = 0,6328$ мкм.

Розв'язок:

Визначимо число півхвиль (ціле в сенсі «не дробове») He -Ne лазера, які укладаються на оптичній довжині резонатора не міняють своєї фази і внаслідок інтерференції підсилюють один одного підсилюючи

$$N = \frac{2L}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,23}{0,6328 \cdot 10^{-6}} = 726927$$

Всі інші, близько розташовані хвилі, поступово гасять один одного. Таким чином спектр власних частот оптичного резонатора визначається співвідношенням:

$$\nu_n = \frac{c}{2L} \cdot N = \frac{299\,792\,458}{2 \cdot 0,23} \cdot 726927 = 473 \cdot 10^{12} \text{ Гц} = 473 \text{ ТГц},$$

де c — швидкість світла в вакуумі.

Відповідь: $\nu_n = 473 \text{ ТГц}$

Завдання №17

Визначити швидкість світла V при поширенні через алмаз, знаючи, що його показник заломлення $n = 2,41$

Розв'язок:

Знаючи, що значення показника заломлення визначають за формулою:

$$n = \frac{c}{V};$$

де c — швидкість світла в вакуумі, V - швидкість світла в середовищі,

визначимо $V = \frac{c}{n} = \frac{299\,792\,458}{2,41} = 124395210 \text{ м/с} .$

Відповідь: $V = 124395210 \text{ м/с}$

Завдання №18

Знайти діаметр плями розсіювання на поверхні Місяця, освітлюваної іонно-аргоновим лазером з довжиною хвилі $514,5 \text{ нм}$ і кутом розходження 1 мрад , враховуючи, що відстань до місяця $L = 400\,000 \text{ км}$.

Розв'язок:

Теоритично кут розходження визначається по формулі:

$\Theta = \lambda/D$, де λ -довжина хвилі випромінювання лазера, D -діаметр пучка на виході лазера.

Враховуючи відстань до Місяця знайдемо діаметр плями розсіювання:

$$D = \lambda L / \Theta = 514,5 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 400 \cdot 10^6 \text{ м} / 10^{-3} \text{ рад} = 205,8 \text{ м}$$

Відповідь: $D = 205,8 \text{ м}$

Завдання №19

Визначити кут розходження рубінового лазера з $\lambda = 694,3 \text{ Нм}$ і апертурним діаметром 1 см .

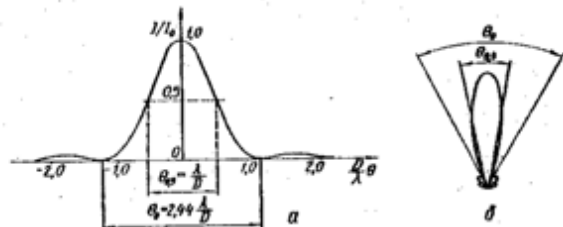
Розв'язок:

Використовуючи зображення індикатриси випромінювання круглої площадки через вираз функції Бесселя першого роду J_1 , який відповідає $D \frac{\Theta}{\lambda} = 1,22$, звідки,

$\Theta = 2,44 \frac{\lambda}{D}$, де λ -довжина хвилі випромінювання лазера; Θ - кут розходження;

D - апертурний діаметр.

$$\Theta = 2,44 \frac{0,6943}{10000} = 0,000169 = 15'' = 2,95 \text{ рад}$$



Індикатриса випромінювання круглої провідки:
а - декартова система координат,
б - полярна система координат.

Відповідь: $\Theta = 15'' = 2,950 \text{ рад}$

Завдання №20

Визначити розходження He-Ne лазера ЛГН-208 при $\lambda = 0,6328 \text{ мкм}$, довжина резонатора $31,5 \text{ см}$, радіус дзеркала резонатора 56 мм , апертурний діаметр 1 см .

Розв'язок:

Якщо в даному типі лазера використовується сферичні дзеркала резонатора, то розбіжність для TEM₀₀ можна визначити за формулою Бойда–Гордона:

$$\Theta / 2 = 0,939 \sqrt{\frac{\lambda}{L}}$$

З урахуванням дифракційної складової розходження :

$$\Theta / 2 = 0,939 \sqrt{\frac{\lambda}{L}} + 1,22 \frac{\lambda}{D} = 0,939 \cdot 0,447 + 0,0077 = 0,497 \text{ рад}$$

Відповідь: $\Theta/2 = 0,497$ рад

Завдання №21

Визначити на скільки збільшиться розмір плями розсіювання лазерної указки ($\lambda = 740$ Нм) на відстані $L = 10$ м (довжина кабінету) і діаметрі променя при виході з указки $D = 3$ мм.

Розв'язок:

Теоретично кут розходження визначається по формулі:

$$\Theta = \frac{\lambda}{D} = \frac{740 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-3}} = 0,25 \cdot 10^{-3}$$

З урахуванням віддалення від указки на 10 метрів отримаємо розмір плями розсіювання: $D_{\text{п}} = 10 \text{ м} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,5 \text{ мм}$.

Відповідь: $D_{\text{п}} = 2,5$ мм

Завдання №22

Визначити спектральну щільність для резонансної частоти ($\omega \approx \omega_0$)

рубінового лазера з урахуванням тривалості життя верхнього метастабільного рівня $\tau=10^{-3}$ с.

Розв'язок:

Швидкість затухання інтенсивності можемо знайти з формули:

$$\frac{\sigma}{2} = \frac{1}{\tau}$$

і підставити в формулу визначення спектральної платності, яка визначається з використанням функції Лоренца:

$$|E(\omega)|^2 \approx [(\omega - \omega_0)^2 + (\frac{\sigma}{2})^2]^{-1} \approx 1 \cdot 10^{-6}$$

Відповідь: $|E(\omega)|^2 \approx 1 \cdot 10^{-6}$

Завдання №23

Розрахувати число мод, що генерує лазер на рубіні з показником заломлення $n=1,77$, довжиною хвилі $\lambda=694,3$ нм, довжина рубінового стержня $L=80$ мм.

Розв'язок:

$$m = \frac{2Ln}{\lambda} = \frac{2 \cdot 80000 \cdot 1,77}{0,6943} = 407892$$

Відповідь: $m=407892$

Завдання №24

Визначити частоту моди випромінювання лазера на рубіні з показником заломлення $n=1,77$, модовим числом $m=407892$ та довжиною рубінового стержня $L=80$ мм.

Розв'язок:

$$f_m = \frac{c \cdot m}{2L \cdot n} = \frac{299792458 \cdot 407892}{2 \cdot 0,08 \cdot 1,77} = 43 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

Відповідь: $f_m = 43 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$

Завдання №25

Що таке когерентність?

Відповідь: Когерентність хвилі означає, що в різних точках хвилі осциляції відбуваються синхронно, тобто різниця фаз між двома точками не залежить від часу. Відсутність когерентності - ситуація, коли різниця фаз між двома точками не постійна, а змінюється з часом.

Завдання №26

Які види когерентності існують?

Відповідь: Існує поняття часової та просторової когерентності.

Завдання №27

Що таке розходження ЛВ?

Відповідь: Збільшення розмірів поперечно-обмеженого світлового пучка при його поширенні.

Завдання №28

За рахунок чого розходиться лазерний пучок?

Відповідь: Розходження лазерного пучка виникає в результаті дифракційних обмежень розповсюдження.

Завдання №29

Що визначає високу спектральну щільність енергії ЛВ?

Відповідь: Високий ступінь монохроматичності лазерного випромінювання визначає високу спектральну щільність енергії - високий ступінь концентрації світлової енергії в дуже малому спектральному інтервалі.

Завдання №30

Що таке довжина хвилі?

Відповідь: Довжина хвилі - відстань, на яку поширюється хвиля за період, що дорівнює відстані між двома найближчими точками середовища, що хитаються в одній фазі.

Завдання №31

Що таке потужність випромінювання лазера?

Відповідь: Потужність випромінювання - середня потужність електромагнітного випромінювання, що переноситься через будь-яку поверхню. Одиниця вимірювання в СІ - Ватт (Вт). Щільність потужності випромінювання - відношення потоку випромінювання до площі поверхні, перпендикулярної до напрямку поширення випромінювання. Одиниця вимірювання в СІ - Вт/см².

Завдання №32

Що таке частота імпульсів лазера?

Відповідь: Частота коливань (імпульсів) - фізична величина, що дорівнює числу коливань (імпульсів), що здійснюються за одиницю часу. Одиниця

виміру в СІ - герц (Гц). 1 Гц - ця частота, при якій 1 коливання відбувається за одну секунду.

Завдання №33

Що таке поляризація?

Відповідь: Поляризація - фіксована орієнтація векторів електромагнітного випромінювання в просторі щодо напрямлення його поширення.