

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ФІЗИКА (ДОДАТКОВИЙ КУРС)  
Методичні вказівки  
до виконання модульної контрольної роботи  
для студентів спеціальності 6.051003

Затверджено на засіданні кафедри  
наукових, аналітичних  
та екологічних приладів і систем

Протокол №\_\_\_\_ від 21.12.2011 р.

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	5
РОЗДІЛ І ВАРІАНТИ ЗАДАЧ МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ .....	6
Задача 1.....	6
Задача 2.....	6
Задача 3.....	7
Задача 4.....	7
Задача 5.....	8
Задача 6.....	8
Задача 7.....	9
Задача 8.....	10
Задача 9.....	10
Задача 10.....	10
Задача 11.....	11
Задача 12.....	11
Задача 13.....	12
Задача 14.....	12
Задача 15.....	13
Задача 16.....	13
Задача 17.....	13
Задача 18.....	14
Задача 19.....	14
Задача 20.....	15
Задача 21.....	15
Задача 22.....	15
Задача 23.....	16
Задача 24.....	16
Задача 25.....	16
Задача 26.....	16
Задача 27.....	17
Задача 28.....	18
Задача 29.....	19
Задача 30.....	19
Задача 31.....	19
Задача 32.....	20
Задача 33.....	20
Задача 34.....	21
Задача 35.....	21
Задача 36.....	21
Задача 37.....	21
Задача 38.....	22
Задача 39.....	22

Задача 40.....	23
Задача 41.....	23
Задача 42.....	24
Задача 43.....	24
Задача 44.....	25
Задача 45.....	25
Задача 46.....	26
<b>РОЗДІЛ 2. ВАРІАНТИ МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ .....</b>	<b>27</b>
Варіант №1 .....	27
Варіант №2 .....	27
Варіант №3 .....	27
Варіант №4 .....	27
Варіант №5 .....	27
Варіант №6 .....	27
Варіант №7 .....	27
Варіант №8 .....	27
Варіант №9 .....	28
Варіант №10.....	28
Варіант №11 .....	28
Варіант №12 .....	28
Варіант №13 .....	28
Варіант №14.....	28
Варіант №15 .....	28
Варіант №16.....	28
Варіант №17 .....	28
Варіант №18 .....	29
Варіант №19.....	29
Варіант №20.....	29
Варіант №21 .....	29
Варіант №22.....	29
Варіант №23 .....	29
Варіант №24.....	29
Варіант №25.....	29
Варіант №26.....	30
Варіант №27 .....	30
Варіант №28.....	30
Варіант №29.....	30
Варіант №30 .....	30
<b>РОЗДІЛ 3. ДОДАТКОВІ ПИТАННЯ .....</b>	<b>31</b>
<b>РОЗДІЛ 4. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ .....</b>	<b>32</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>33</b>

ДОДАТОК А. ТИТУЛЬНА СТОРІНКА МКР ..... 37

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

У третьому семестрі з навчальної дисципліни "Фізика. Додатковий курс" проводиться модульний контроль у вигляді модульної контрольної роботи, підготовка до якої здійснюється за рахунок практичних занять з курсу та часу, відведеного на самостійну роботу студента.

Модульну контрольну роботу виконують на аркушах формату А4, скріплених між собою. Титульний аркуш модульної контрольної роботи наведено в Додатку А.

Варіант виконання модульної контрольної роботи для кожного студента призначає викладач.

При підготовці до модульної контрольної роботи кожному студенту необхідно ознайомитись з переліком питань, що виносяться на модульний контроль, переглянути конспект лекцій, повторити поняття та зміст лекційного матеріалу тощо. Критерії оцінок модульної контрольної роботи наведено в Додатку Б.

Студенти, які отримали оцінку "незадовільно" обов'язково повинні переписати модульну контрольну роботу в час, відведений для консультацій з навчальної дисципліни. Повторне написання модульної контрольної роботи допускається при відсутності студента на попередньому написанні цієї контрольної роботи з поважної причини, а також у випадку отримання ним при першому написанні оцінок  $F_x$  (2) або  $F$  (2). Якщо студент не написав модульної контрольної роботи до початку екзаменаційної сесії або отримав незадовільну оцінку при складанні заліку ( $F$ ,  $F_x$ ), то він буде відрахований з НТУУ "КПІ", за невиконання навчальної програми.

Модульна контрольна робота з дисципліни включає теоретичний матеріал та задачі. Варіанти задач МКР з прикладами вирішення наведено в Розділі I. Варіанти модульних контрольних робіт наведено в Розділі II.

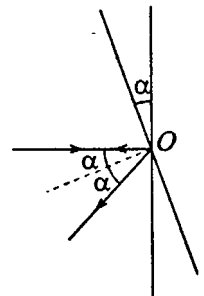
## РОЗДІЛ І ВАРІАНТИ ЗАДАЧ МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

**Задача 1**

Горизонтальний промінь світла падає на дзеркало, що розташовано вертикально. Дзеркало обертається на кут  $\alpha$  навколо вертикальної вісі. На який кут  $\theta$  повернеться відображений промінь?

**Рішення:**

При обертанні дзеркала на кут  $\alpha$  перпендикуляр до дзеркала, встановлений у точці  $O$  падіння променя, також повернеться на кут  $\alpha$ . Тому кут падіння також буде рівний  $\alpha$ , а кут між променем, що падає та променем, що відображається дорівнює  $2\alpha$ .

**Задача 2**

Радіус кривизни увігнутого дзеркала  $R = 20$  см. На відстані  $a_1 = 30$  см від дзеркала встановлено предмет висотою  $y_1 = 1$  см. Знайти положення та висоту  $y_2$  зображення. Надати креслення.

**Рішення:**

Фокусна відстань дзеркала  $F = \frac{R}{2} = 10$  см. Підставимо значення  $a_1$  та  $F$  до формули увігнутого дзеркала  $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{F}$ ; звідси  $a_2 = \frac{Fa_1}{a_1 - F} = 15$  см. Так як стрижень розташовано за центром дзеркала, то його зображення дійсне ( $f > 0$ ), обернене, зменшене. Збільшення  $k = \frac{a_2}{a_1} = 0,5$ . Отже, висота зображення  $y_2 = ky_1 = 0,5$  см.

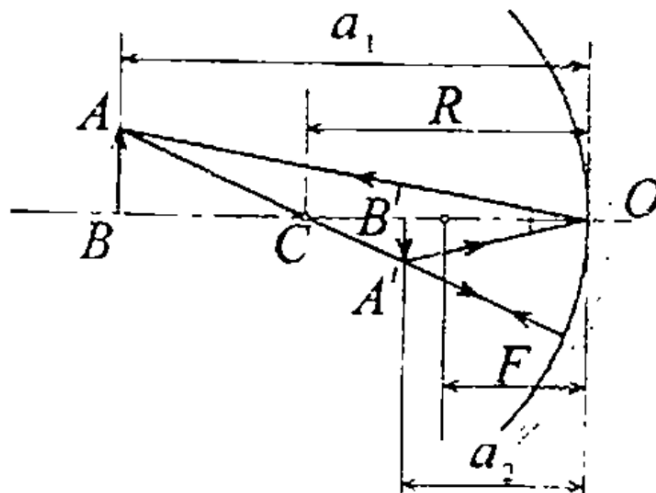


Рис. до задачі 2

**Задача 3**

На якій відстані  $a_2$  від дзеркала вийде зображення предмета у випуклому дзеркалі з радіусом кривизни  $R = 40$  см, якщо предмет розміщено на відстані  $a_1 = 30$  см від дзеркала? Яка буде висота  $y_2$  зображення, якщо предмет має висоту  $y_1 = 2$  см?

**Рішення:**

Зображення  $A'B'$  предмета  $AB$  удаване, пряме, зменшене. Фокусна відстань дзеркала  $F = -\frac{R}{2} = -20$  см. Використовуючи формулу дзеркала, маємо  $\frac{1}{a_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{a_1} = -\frac{1}{12}$ , звідки  $a_2 = -12$  см. Збільшення  $k = \frac{|a_2|}{a_1} = 0,4$ . Висота зображення  $y_2 = ky_1 = 0,8$  см.

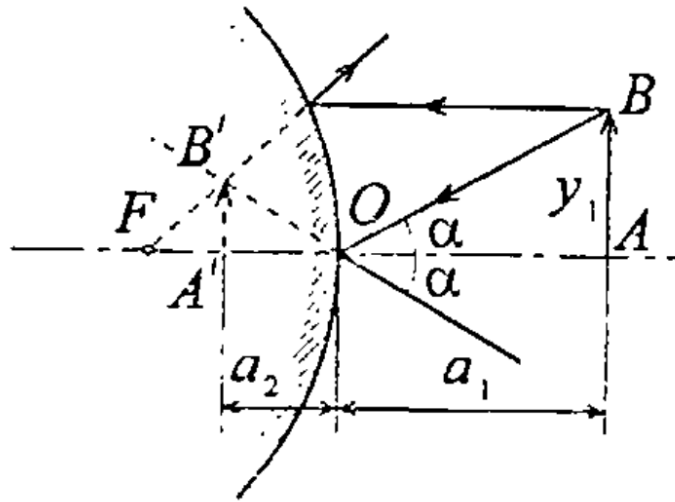


Рис. до задачі 3

**Задача 4**

Промінь світла падає під кутом  $i = 30^\circ$  на плоскопаралельну скляну пластинку і виходить з неї паралельно початковому променю. Показник заломлення скла  $n = 1,5$ . Яка буде товщина  $d$  пластинки, якщо відстань між променями  $l = 1,94$  см?

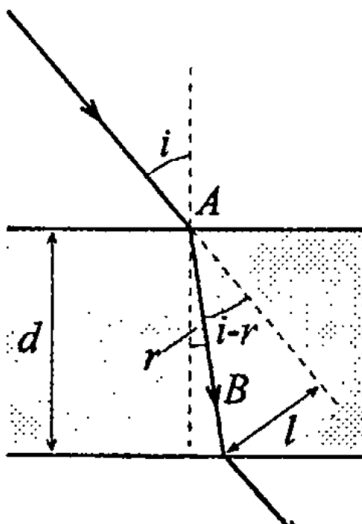


Рис. до задачі 4

**Рішення:**

Зміщення променя  $l = AB \sin(i - r)$ , де  $r$  – кут заломлення променя у склі. Товщина пластинки  $d$  пов'язана зі зміщенням променя наступним співвідношенням

$$d = AB \cos r = \frac{l \cos r}{\sin i \cdot \cos r - \cos i \cdot \sin r}$$

Відповідно до закону заломлення  $\sin r = \frac{\sin i}{n}$ , отже  $\cos r = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}}$ , тому  $d = \frac{l\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\sin i (\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \cos i)}$ . Підставимо числові дані, отримаємо  $d = 0,1$  м.

### Задача 5

При падінні білого світла під кутом  $i = 45^\circ$  на скляну пластинку отримано наступні кути заломлення  $\beta$  променів, в залежності від різних довжин хвилі:

$\alpha$ , нм	759	687	589	486	397
$\beta$	24°2'	23°57'	23°47'	23°27'	22°57'

Побудувати графік залежності показника заломлення  $n$  матеріалу пластинки від довжини хвилі  $\alpha$ .

#### Рішення:

Показник заломлення визначається за формулою  $n = \frac{\sin i}{\sin \beta}$ . Так як  $\sin i = \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$ , то  $n = \frac{\sqrt{2}}{2 \sin \beta}$ . Підставивши числові значення, доповнюємо таблицю значеннями  $n$  та будуємо графік залежності  $n = f(\alpha)$ .

$\alpha$ , нм	759	687	589	486	397
$\beta$	24°2'	23°57'	23°47'	23°27'	22°57'
$n$	1,74	1,74	1,75	1,78	1,81

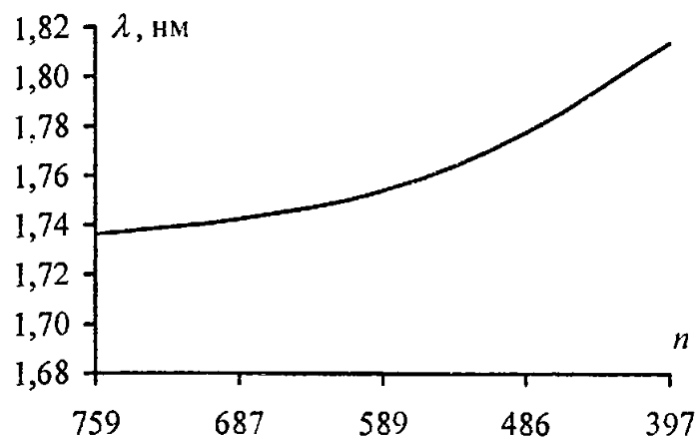


Рис. до задачі 5

### Задача 6

Знайти фокусну відстань  $F$  для наступних лінз:

- лінза двоопукла:  $R_1 = 15$  см та  $R_2 = -25$  см;
- лінза плоско-опукла:  $R_1 = 15$  см та  $R_2 = \infty$  см;
- лінза увігнуто-опукла (додатній меніск):  $R_1 = 15$  см та  $R_2 = 25$  см;
- лінза двоввігнута:  $R_1 = -15$  см та  $R_2 = -25$  см;
- лінза плоско-увігнута:  $R_1 = \infty$  см та  $R_2 = -15$  см;



е) лінза опукло-увігнута (від'ємний меніск):  $R_1 = 25$  см та  $R_2 = 15$  см.  
Показник заломлення матеріалу лінзи  $n = 1,5$ .

**Рішення:**

Формула лінзи

$$(n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{F}$$

Звідки

$$F = \frac{R_1 R_2}{(n - 1)(R_2 - R_1)}$$

У випадку плоско-опуклої лінзи ( $R_2 = \infty$ ) перше рівняння матиме наступний вигляд  $(n - 1) \left( \frac{1}{R_1} \right) = \frac{1}{F}$ , звідки  $F = \frac{R_1}{(n-1)}$ .

У випадку плоско-увігнута лінзи ( $R_1 = \infty$ ) перше рівняння матиме наступний вигляд  $-(n - 1) \left( \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{F}$ , звідки  $F = -\frac{R_2}{(n-1)}$ .

Отримаємо числові значення

$$\text{а) } F = \frac{0,15 \cdot (-0,25)}{0,5 \cdot (0,25 - 0,15)} = 0,188 \text{ м;}$$

$$\text{б) } F = \frac{0,15}{0,5} = 0,3 \text{ м;}$$

$$\text{в) } F = \frac{0,15 \cdot 0,25}{0,5 \cdot (0,25 - 0,15)} = 0,75 \text{ м;}$$

$$\text{г) } F = \frac{-0,15 \cdot 0,25}{0,5 \cdot (0,25 + 0,15)} = -0,188 \text{ м;}$$

$$\text{д) } F = \frac{-0,15}{0,5} = 0,3 \text{ м;}$$

$$\text{е) } F = \frac{0,25 \cdot 0,15}{0,5 \cdot (0,15 - 0,25)} = -0,75 \text{ м.}$$

### Задача 7

Показник заломлення скла  $n = 1,52$ . Знайти граничний кут повного внутрішнього відображення  $\beta$  для поверхні розділу: а) скло – повітря; б) вода – повітря; в) скло – вода.

**Рішення:**

Повне внутрішнє відображення відбувається, якщо значення переломленого кута  $r \geq 90^\circ$ . При  $r = 90^\circ$  із закону переломлення маємо  $\sin\beta \geq \frac{n_2}{n_1}$ . Підставивши значення  $n_1$  та  $n_2$  для різних поверхонь розділу,

отримаємо: а)  $\sin\beta = \frac{1}{1,52} = 0,65$ ;  $\beta \approx 41^\circ$ ; б)  $\sin\beta = \frac{1}{1,33} = 0,75$ ;  $\beta \approx 49^\circ$ ; в)

$\sin\beta = \frac{1,33}{1,52} = 0,88$ ;  $\beta \approx 61^\circ$ .

### Задача 8

Показники переломлення деяких сортів скла для червоного та фіолетового променів дорівнюють  $n_{кр} = 1,51$  та  $n_{\phi} = 1,53$ . Знайти граничні кути повного внутрішнього відображення  $\beta_{кр}$  та  $\beta_{\phi}$  при падінні цих променів на поверхню розділу скло – повітря.

#### Рішення:

Повне внутрішнє відображення відбувається, якщо значення переломленого кута  $r \geq 90^\circ$ . При  $r = 90^\circ$  із закону переломлення маємо  $\sin\beta \geq \frac{1}{n}$ . Підставивши значення  $n_{кр}$  та  $n_{\phi}$ , отримаємо  $\sin\beta_{кр} = \frac{1}{1,51} = 0,66$ ;  $\beta_{кр} \approx 41,5^\circ$ ;  $\sin\beta_{\phi} = \frac{1}{1,53} = 0,65$ ;  $\beta_{\phi} \approx 40,8^\circ$ .

### Задача 9

Монохроматичний промінь падає нормально на бокову поверхню призми, кут заломлення якої  $\gamma = 40^\circ$ . Показник заломлення матеріалу призми для цього променя  $n = 1,5$ . Знайти кут відхилення  $\delta$  променя, що виходить з призми, від початкового напрямку.

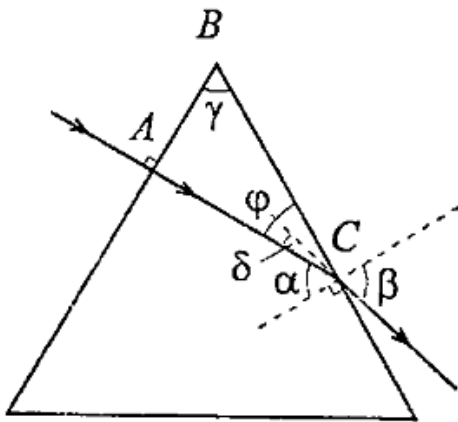


Рис. до задачі 9

#### Рішення:

Так як промінь падає по нормалі, то на першій поверхні він зазнає заломлення. Позначимо  $\alpha$  та  $\beta$  кути падіння та заломлення на другій поверхні.  $\delta$  – кут між променем, що входить та продовженням променя, що виходить з призми. Кут  $\varphi = \delta + (90^\circ - \beta)$  (1). Із трикутника  $\triangle ABC$ :  $90^\circ + \gamma + \varphi = 180^\circ$ ;  $\gamma + \varphi = 90^\circ$  (2). Підставивши другий вираз у перший, отримаємо:  $\gamma + \varphi + 90^\circ - \beta = 90^\circ$ .

Звідси  $\delta = \beta - \gamma$ . Кут  $\alpha = 90^\circ - \varphi$ . Із виразу (2)  $\varphi = 90^\circ - \gamma$ , тому  $\alpha = \gamma = 40^\circ$ . Кут  $\beta$  знайдемо із закону заломлення  $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n}$ , звідки  $\sin\beta = n\sin\alpha = n\sin\gamma$ ;  $\sin\beta = 1,5 \cdot 0,64 = 0,96$ . Таким чином  $\beta \approx 74^\circ$ . Тоді, за формулою (2),  $\delta \approx 74^\circ - 40^\circ = 34^\circ$ .

### Задача 10

Монохроматичний промінь падає нормально на бокову поверхню призми та виходить з неї відхиленням на кут  $\delta = 25^\circ$ . Показник заломлення матеріалу призми для цього кута  $n = 1,7$ . Знайти заломлюючий кут призми  $\gamma$ .

**Рішення:**

Так як промінь падає по нормалі, то на першій поверхні він зазнає заломлення. Позначимо  $\alpha$  та  $\beta$  кути падіння та заломлення на другій поверхні.  $\delta$  – кут між променем, що входить та продовженням променя, що виходить з призми. Кут  $\varphi = \delta + (90^\circ - \beta)$  (1). Із трикутника  $\triangle ABC$ :  $90^\circ + \gamma + \varphi = 180^\circ$ ;

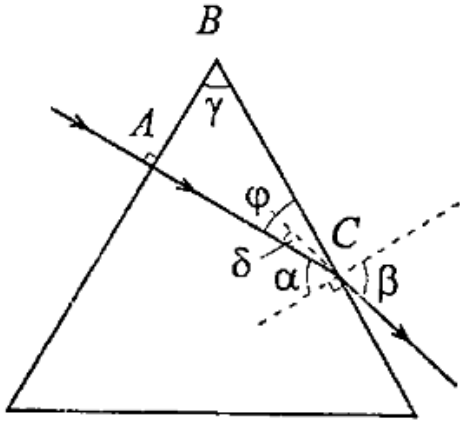


Рис. до задачі 10

$\gamma + \varphi = 90^\circ$  (2). Підставивши другий вираз у перший, отримаємо:  $\gamma + \varphi + 90^\circ - \beta = 90^\circ$ . Звідси  $\delta = \beta - \gamma$  (3). Кут  $\alpha = 90^\circ - \varphi$ . Із виразу (2)  $\varphi = 90^\circ - \gamma$ , тому  $\alpha = \gamma = 40^\circ$ .

З виразу (3)  $\beta = \delta + \gamma$ . За законом заломлення  $n \sin \alpha = \sin \beta$ ;  $\sin \beta = \sin(\delta + \gamma) = \sin \delta \cos \gamma + \cos \delta \sin \gamma$ . Але  $\alpha = \gamma$ , звідки  $\sin \alpha = \sin \gamma$ ;  $n \sin \gamma = \sin \delta \cos \gamma + \cos \delta \sin \gamma$ ;

$$t g \gamma = \frac{\sin \delta}{n - \cos \delta}; t g \gamma = \frac{0,42}{1,7 - 0,9} = 0,53; \gamma \approx 28^\circ.$$

**Задача 11**

Двоопукла лінза з радіусами кривизни поверхонь  $R_1 = R_2 = 12$  см поставлена на такій відстані від предмету, що зображення на екрані вийшло у  $k$  разів більше предмета. Знайти відстань  $a_1 + a_2$  від предмету до екрану, якщо: а)  $k = 1$ ; б)  $k = 20$ ; в)  $k = 0,2$ . Показник заломлення матеріалу лінзи  $n = 1,5$ .

**Рішення:**

Лінійне збільшення лінзи знаходиться за формулою  $k = \frac{a_2}{a_1}$  (1). За формулою лінзи  $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ , або, при  $R_1 = R_2 = R$ ,  $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2(n-1)}{R}$  (2). З першого (1) виразу маємо  $a_2 = k a_1$  (3). Підставивши (3) у (2), отримаємо  $\frac{1+k}{k a_1} = \frac{2(n-1)}{R}$ , звідки  $a_1 = \frac{R(1+k)}{2k(n-1)}$ . Підставляючи числові значення, отримаємо:

а)  $a_1 = 0,24$  м;  $a_2 = k a_1 = 0,24$  м;  $a_1 + a_2 = 0,48$  м.

б)  $a_1 = 0,126$  м;  $a_2 = k a_1 = 2,52$  м;  $a_1 + a_2 = 2,65$  м.

в)  $a_1 = 0,72$  м;  $a_2 = k a_1 = 0,144$  м;  $a_1 + a_2 = 0,864$  м.

**Задача 12**

Мікроскоп складається з об'єктиву з фокусною відстанню  $F_1 = 2$  мм та окуляру з фокусною відстанню  $F_2 = 40$  мм. Відстань між фокусами об'єктиву та окуляру  $d = 18$  см. Знайти збільшення  $k$  мікроскопа.

**Рішення:**

Оскільки зображення, що створює об'єктив лежить у фокальній площині окуляру, то  $\frac{aF_1}{a-F_1} + F_2 = d$  (1), де  $a$  – відстань від предмета, що розглядається, до об'єктиву. Об'єктив дає зображення у фокальній площині окуляра, лінійне збільшення об'єктиву  $k_1 = \frac{F_1}{a-F_1}$ . Окуляр працює як лупа, тому кутове збільшення окуляра  $k_2 = \frac{L}{F_2}$ , де  $L = 0,25$  м - відстань найкращого зору нормального ока. Звідси знайдемо збільшення мікроскопу  $k = k_1 k_2 = \frac{F_1 L}{F_2(a-F_1)}$  (2). З формули (1) знайдемо  $a = \frac{F_1(L-F_2)}{L-(F_2+F_1)} = 2,022 \cdot 10^{-3}$  м. Підставивши числові значення у формулу (2), отримаємо  $k = 568$ .

**Задача 13**

Картину площею  $S = 2 \times 2$  м<sup>2</sup> знімають фотоапаратом, що встановлено від неї на відстані  $a = 4,5$  м. Зображення отримано розміром  $s = 5 \times 5$  см<sup>2</sup>. Знайти фокусну відстань  $F$  об'єктиву апарату. Відстань від картини до об'єктиву вважати великим, у порівнянні з фокусною відстанню.

**Рішення:**

Поперечне збільшення об'єктиву  $k = \frac{a_2}{a_1} = \frac{\sqrt{s}}{\sqrt{S}} = \frac{1}{40}$ . Звідки  $a_2 = \frac{a_1}{40}$  (1). За формулою лінзи  $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{F}$ , звідки  $F = \frac{a_1 a_2}{a_1 - a_2}$  (2). Підставивши (1) в (2), отримаємо  $F = \frac{a_1}{39} = 0,115$  м.

**Задача 14**

Світло від електричної лампочки з силою світла  $I = 200$  кд падає під кутом  $\alpha = 45^\circ$  на робоче місце та створює освітленість  $E = 141$  лк. На якій відстані  $r$  від робочого місця знаходиться лампочка? На якій висоті  $h$  від робочого місця вона висить?

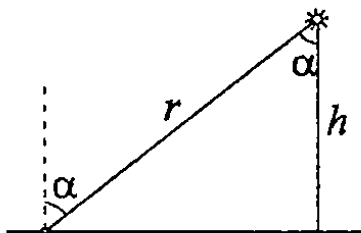


Рис. до задачі 14

**Рішення:**

Освітленість, що створюється лампочкою, дорівнює  $E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ . Звідки  $r = \sqrt{\frac{I \cos \alpha}{E}} = 1$  м.  
Висота  $h = r \cos \alpha = 0,7$  м.

**Задача 15**

Лампа, що закріплена під стелею, дає у горизонтальному напрямі силу світла  $I = 60$  кд. Який світловий потік  $\Phi$  падає на картину площею  $S = 0,5 \text{ м}^2$ , що висить на стіні на відстані  $r = 2$  м від лампи?

**Рішення:**

Лампа створює на площі  $S$  картини освітленість  $E = \frac{I}{r^2} \cos\alpha$  або, оскільки  $\cos\alpha = 1$ ,  $E = \frac{I}{r^2}$ . Крім того,  $E = \frac{\Phi}{S}$ , звідки  $\Phi = ES = \frac{IS}{r^2}$ . Підставивши числові дані, отримаємо  $\Phi = 7,5$  лм.

**Задача 16**

Лампа, що закріплена під стелею, дає у горизонтальному напрямі силу світла  $I = 60$  кд. Який світловий потік  $\Phi$  падає на картину площею  $S = 0,5 \text{ м}^2$ , що висить на стіні на відстані  $r = 2$  м від лампи, якщо на протилежній стіні знаходиться велике дзеркало на відстані  $a = 2$  м від лампи?

**Рішення:**

Лампа створює на площі  $S$  картини освітленість  $E_1 = \frac{I}{r^2} \cos\alpha$  або, оскільки  $\cos\alpha = 1$ ,  $E_1 = \frac{I}{r^2}$ . Зображення лампи у дзеркалі, що знаходиться на відстані  $r + 2a$  від картини, створює освітленість  $E_2 = \frac{I}{(r+2a)^2}$ . Результируюча освітленість  $E = E_1 + E_2 = I \left( \frac{1}{r^2} + \frac{1}{(r+2a)^2} \right)$ . Крім того,  $E = \frac{\Phi}{S}$ , звідки  $\Phi = ES = IS \left( \frac{1}{r^2} + \frac{1}{(r+2a)^2} \right)$ . Підставивши числові дані, отримаємо  $\Phi = 8,3$  лм.

**Задача 17**

Конденсор з фокусною відстанню  $f'$  та відстанню між головними точками  $HH'$  повинен забезпечити дійсне зображення спіралі лампи розжарювання. Лампа та її зображення знаходяться на мінімально можливій відстані один від одного. За якого лінійного збільшення  $\beta'$  відстань мінімальна? Чому дорівнює ця відстань?

**Рішення:**

Відстань між площинами предмету та зображення в загальному випадку дорівнює  $OO' = a' - a + HH'$  (рис. 17). З формул  $a = \bar{f} \left( 1 - \frac{1}{\beta'} \right)$ ,  $a' = f'(1 - \beta')$  для площини предмету, або  $z = -\frac{\bar{f}}{\beta'}$ ,  $z' = -f'\beta'$  для площини зображення при  $f = -f'$  отримаємо  $OO' = f' \left( 2 - \beta' - \frac{1}{\beta'} \right) + HH'$ .

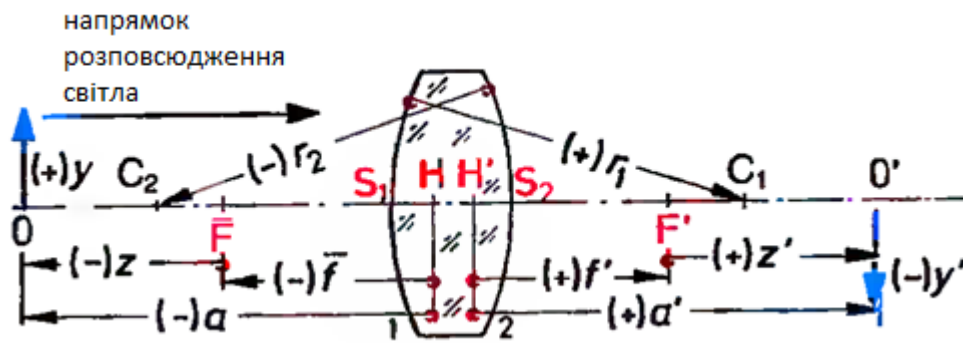


Рис. до задачі 17

Так як

$$\frac{d(a' - a)}{d\beta'} = -f' + \frac{f'}{(\beta')^2}.$$

Тому максимум та мінімум для відстані  $a' - a$  отримується при  $\beta' = \pm 1$ . Подальше дослідження показує, що при  $\beta' = +1$  і відповідному йому значенні  $a' - a = 0$  має місце максимум, так як поблизу цього значення  $a' - a < 0$ . Для  $\beta' = -1$  отримуємо мінімум, якому відповідає значення  $a' - a = 4f'$ . Для дійсного зображення при  $\beta' = -1$  досягається мінімальна відстань між площиною предмету та площиною зображення. Вона дорівнює  $OO' = 4f' + HH'$ .

### Задача 18

Проекційний об'єктив з фокусною відстанню  $f' = 125$  см відображає на екрані ділянку слайду  $23 \times 34$  мм зі збільшенням  $50^{\times}$ . Екран пересувають на 60 см ближче до проектора. На яку відстань і в якому напрямку треба пересунути об'єктив для отримання різкого зображення на екрані? Чому дорівнює лінійне збільшення та розміри зображення при новому положенні екрану?

#### Рішення:

Скористаємося формулою для поздовжнього збільшення  $\frac{da'}{da} = (\beta')^2$ . Отримаємо при  $\beta' = -50$   $da = -0,24$  мм, що є тільки приблизним значенням із-за великого зсуву  $da' = -600$  мм. За визначенням зсувати об'єктив потрібно від діапозитива.

Лінійне збільшення буде дорівнювати  $\beta' = -45,2$ , таким чином, розмір зображення  $1,04 \times 1,54$  м.

### Задача 19

Знайти фокусну відстань  $f'$  скляної кулі діаметром 40 мм при коефіцієнті заломлення матеріалу  $n = 1,5$ . Де знаходиться задня фокальна точка  $F'$ ?

**Рішення:**

Скляна куля являє собою лінзу з концентричними поверхнями радіусами  $r_1 = -r_2 = 20$  мм. Таким чином,  $f' = 30$  мм ( $f' = \frac{r_1}{2} + \frac{r_2}{2}$ ). Так як точки  $H$  та  $H'$  співпадають з центром кулі, то точка  $F'$  лежить на відстані 10 мм від вершини другої поверхні.

**Задача 20**

Для двоопуклої лінзи з наступними параметрами  $f' = 150$  мм,  $\frac{r_1}{r_2} = -\frac{1}{6}$ ,  $d = 10$  мм,  $n = 1,519$ , визначити радіуси  $r_1$  та  $r_2$ .

**Рішення:**

За формулою для «товстої» лінзи

$$f' = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{nr_1r_2}{(n-1)d + n(r_2 - r_1)}$$

отримуємо наступні значення  $r_1 = 90,33$  мм,  $r_2 = -542$  мм.

**Задача 21**

Відомі наступні параметри тонкої лінзи:  $r_1 = 45$  мм,  $r_2 = -272,5$  мм,  $n = 1,519$ . Лінза з того самого скла, но з товщиною  $d = 10$  мм повинна мати фокусну відстань, яка дорівнює фокусній відстані тонкої лінзи. Якої величини повинні бути радіуси?

**Рішення:**

Зі вказаними значеннями  $r_1$  та  $r_2$  для тонкої лінзи за формулою  $f' = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{r_1r_2}{r_2 - r_1}$  знаходимо значення  $f'_0 = 74,98$  мм. За формулою для «товстої» лінзи знаходимо значення  $f'_d = 75,80$  мм. Таким чином, потрібно змінити радіуси у  $\frac{f'_0}{f'_d} = 0,989$  рази. Тоді для «товстої» лінзи  $r_1 = 44,9$  мм,  $r_2 = -269,5$  мм.

**Задача 22**

У результаті вимірювань для лінзи визначені наступні параметри:  $r_1 = r_2 = 19,0$  мм, товщина  $d = 6,0$  мм,  $f' = 300$  мм. Чому дорівнює показник заломлення скла лінзи?

**Рішення:**

Використаємо формулу для «товстої» лінзи

$$f' = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{nr_1r_2}{(n-1)d + n(r_2 - r_1)}$$

Отримаємо  $n = 1,559$ .

**Задача 23**

З висоти 2 м від спокійної водної поверхні треба сфотографувати предмет, який знаходиться на глибині 4 м. На яку відстань треба сфокусувати фотокамеру?

**Рішення:**

У даному випадку  $n = 1,33$ ;  $n' = 1$ ;  $s = -4$  м. Таким чином,  $s' = 3$  м (уявне зображення знаходиться на відстані 3 м від поверхні води). Камеру потрібно сфокусувати на відстань 5 м.

**Задача 24**

Пучок паралельних променів падає на плоскопаралельну пластину з наступними параметрами:  $d = 20$  мм,  $n = 1,5$ . У початковому положенні пластина перпендикулярна пучку, потім її повертають на  $5^\circ$ . Чому дорівнює поперечне зміщення променів пучка  $v$ ?

**Рішення:**

Використаємо формулу для параксіальної області (кут менше  $15^\circ$ )  

$$v = d \frac{n-1}{n} = 0,58 \text{ мм.}$$

**Задача 25**

К мікроскопі видно різке зображення предмету (наприклад, міри). Якщо між мірою та об'єктивом мікроскопу ввести плоскопаралельну площину товщиною  $d = 3,0$  мм, для отримання різкого зображення потрібно пересунути предметний столик на 1,16 мм. Чому дорівнює показник заломлення  $n$  плоскопаралельної площини?

**Рішення:**

За формулою для плоскопаралельної площини поздовжнє зміщення зображення  $OO' = d \frac{n-1}{n}$ . Таким чином знаємо значення  $n = 1,63$ .

**Задача 26**

У пристрої охоронної сигналізації (світловий бар'єр) нитка лампи розжарювання розміром 3 x 3 мм повинна за допомогою двох тонких плоскоциліндричних лінз різко проеціюватися на прямокутний отвір шириною 9 мм та висотою 21 мм. При цьому необхідно, щоб зображення нитки розжарювання повністю заповнювало отвір. Отвір знаходиться на відстані 200 мм від нитки лампи. Потрібно розрахувати фокусні відстані та положення обох



лінз, а також радіуси кривизни поверхонь лінз при використанні скла ВК 7 ( $n_{F'} = 1,52283$ ,  $n_e = 1,51872$ ,  $n_{C'} = 1,51472$ ,  $v_e = 63,96$ ).

**Рішення:**

Якщо лінзи тонкі, тобто можна знехтувати їх товщиною, то  $a'_y - a_y = 200$  мм;  $\frac{a'_y}{a_y} = \beta'_y = -7$ ;  $a'_x - a_x = 200$  мм;  $\frac{a'_x}{a_x} = \beta'_x = -3$ .

Тоді  $a_y = -25$  мм;  $a'_y = 175$  мм;  $a_x = -50$  мм;  $a'_x = 150$  мм.

За умови однакових середовищ з обох боків використовуємо наступну формулу  $\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$ . Отримаємо  $f'_y = 21,88$  мм,  $f'_x = 37,5$  мм. При  $r_1 = \infty$  за формулою для тонкої лінзи  $f' = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{r_1 r_2}{(r_2 - r_1)}$  знаходимо радіуси других поверхонь лінз  $r_{2y} = -11,35$  мм,  $r_{2x} = -19,45$  мм. Лінзи віддалені від лампи розжарювання на відстані 25 та 50 мм відповідно. Розміщення лінз зображено на рис. до задачі 26.

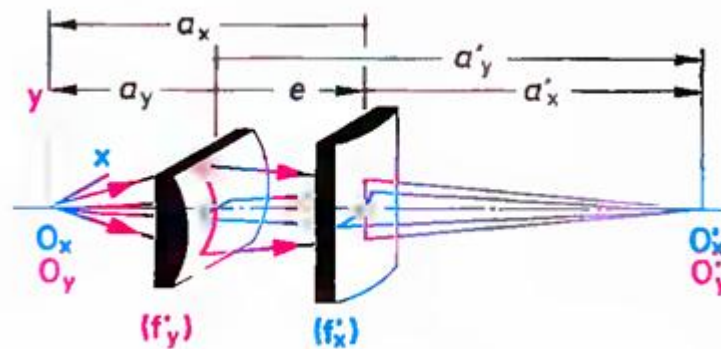


Рис. до задачі 26. Система з двох циліндричних лінз

**Задача 27**

Тонка лінза будує зображення предмету з лінійним збільшенням  $\beta' = -0,5$ . Площина зображення знаходиться на відстані 150 мм від предметної площини. Для п'яти діафрагм вказані діаметри  $D$  та відстані  $l$  від предметної площини до площини діафрагми.

Діафрагма 1:  $l_1 = 0$  мм,  $D_1 = 80$  мм;

Діафрагма 1:  $l_2 = 90$  мм,  $D_2 = 10$  мм;

Діафрагма 1:  $l_3 = 100$  мм,  $D_3 = 25$  мм;

Діафрагма 1:  $l_4 = 120$  мм,  $D_4 = 30$  мм;

Діафрагма 1:  $l_5 = 150$  мм,  $D_5 = 30$  мм.

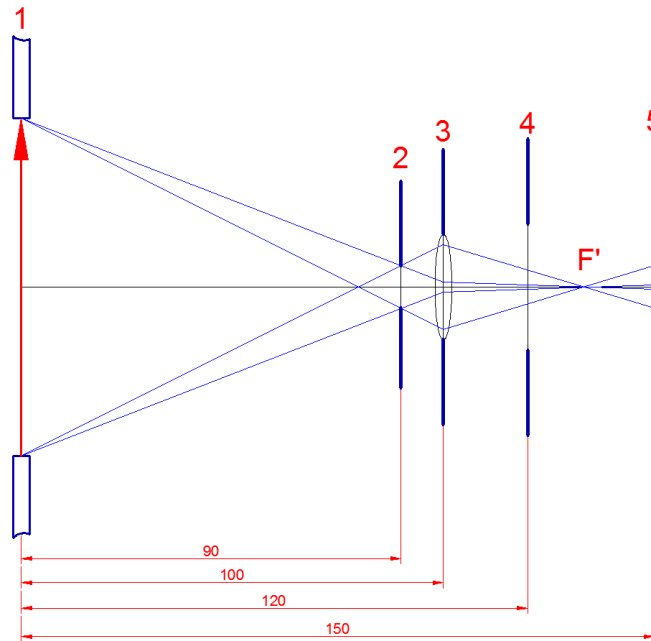


Рис. до задачі 27

**Завдання:** а) визначити положення лінзи та її фокусну відстань; б) яка діафрагма є польовою та яка є апертурною; в) де розташовані зрачки та лючки; г) які діафрагми не обмежують пучок променів?

**Рішення:**

а) З формули  $\frac{f'}{a'} + \frac{\bar{f}}{a} = 1$  випливає, що лінза розташована у площині діафрагми 3 та має фокусну відстань  $f' = 33,3$  мм. Діафрагма 3 є оправою лінзи.

б) Діафрагма 5 є польовою діафрагмою та вихідним лючком; діафрагма 2 є апертурною діафрагмою та вхідним зрачком.

в) Вхідний люк є дійсним зображенням діафрагми 5 у площині діафрагми 1 (у зворотному ході). Вхідний зрачок є уявним зображенням діафрагми 2. Так як  $a_{д2} = -10$  мм, то  $a'_{д2} = -14,3$  мм. Діаметр вихідного зрачка дорівнює 14,3 мм.

г) Не обмежують пучок променів діафрагми 1 та 4.

### Задача 28

На відстані 30 мм за головною площиною  $H'$  об'єктиву з параметрами  $f' = 100$  мм,  $NN' = 10$  мм знаходиться апертурна діафрагма діаметром 20 мм. Чи є ця діафрагма вхідним чи вихідним зрачком? Розрахувати положення та діаметр зображення діафрагми.

**Рішення:**

Ця діафрагма є вихідним зрачком. Вхідний зрачок тут слід розглядати як уявний предмет, дійсне зображення якого є вихідним зрачком. Так як задано  $a' = 30$  мм, то за формулою  $\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$  вхідний зрачок знаходиться на відстані 42,86 мм від площини  $H$ . Оскільки  $a > 0$ , то вхідний зрачок уявний. Лінійне збільшення у зрачках дорівнює  $\beta' = \frac{a'}{a}$ . Тоді  $D_{\text{вх.зр.}} = 28,57$  мм.

### Задача 29

Тонка лінза ( $f' = 600$  мм,  $k = 10$ ), яка виконує роль об'єктиву зорової труби, створює зображення нескінченно віддаленого предмету. Друга тонка лінза ( $f' = 100$  мм) виконує роль гласної лінзи окуляра. Вона забезпечує отримання нескінченно віддаленого зображення. Чому дорівнює відстань між лінзами? Яку фокусну відстань повинна мати тонка польова лінза, якщо вона розташована у площині проміжного зображення між лінзами? Який найменший світловий діаметр повинна мати друга лінза?

#### Рішення:

Відстані між лінзами дорівнює 700 мм. Польова лінза повинна будувати зображення площини, де знаходиться перша лінза на місці другої лінзи. Лінійне збільшення при цьому складатиме  $\beta' = -1/6$ . З формули  $a' = f'(1 - \beta')$  знаходимо  $f' = 85,7$  мм. Так як діаметр першої лінзи дорівнює  $D_{\text{вх.зр.}} = 60$  мм, то світловий діаметр другої лінзи не може бути менше 10 мм.

### Задача 30

Майже точкове джерело світла з просторово рівномірним розподілом випромінювання (сила світла однакова по всіх напрямках) на відстані 8 м створює освітленість 100 лк. Чому дорівнює величина сили світла  $I$  в канделах? Чому дорівнює весь вихідний від джерела світловий потік?

#### Рішення:

Використовуємо для розрахунку формули для сили світла  $I = \frac{\Phi}{\Omega}$  та освітленості  $E = \frac{\Phi}{A}$ , а також визначення тілесного кута  $\Omega = \frac{A}{r^2}$ . Отримаємо наступне співвідношення  $I = Er^2$ , де  $r$  – відстань. Тоді  $I = 6,4 \cdot 10^3$  кд. Так як сила світла у всьому просторі є постійною, то у повному тілесному куті  $\Omega = 4\pi$  ср світловий потік дорівнює  $\Phi = 8,042 \cdot 10^4$  лм.

### Задача 31

Лампа розжарювання з площею спіралі  $A_1 = 4$  мм<sup>2</sup> та яскравістю 720 кд/см<sup>2</sup> освітлює площадку приймача, що знаходиться на відстані 30 см від неї.

Площа площадки приймача  $dA_2 = 1,5 \text{ см}^2$ . Нормалі до поверхонь площадок складають кути  $\varepsilon_1 = 45^\circ$  та  $\varepsilon_2 = 60^\circ$  з прямою, яка з'єднує центри площадок (див. рис.). Знайти світловий потік  $d\Phi$  та освітленість  $E$ .

**Рішення:**

За формулою знаходження світлового потоку  $d\Phi = L \frac{A_1 \cos \varepsilon_1 dA_2 \cos \varepsilon_2}{r^2} \Omega_0 = 0,0170 \text{ кд} \cdot \text{ср}$  ( $= \text{лм}$ ). Освітленість в такому випадку  $E = \frac{d\Phi}{dA_2} = 113,3 \text{ лм/м}^2$  ( $= \text{лк}$ ).

### Задача 32

Чому дорівнюють світловий потік  $\Phi$  та освітленість  $E$ , якщо об'єктив ( $f' = 200 \text{ мм}$ ,  $k = 2,8$ ,  $\tau = 0,9$ ) створює зображення малої площадки ( $A_{\text{вх.люк}} = 1,53 \text{ мм}^2$ ,  $L = 550 \text{ кд/см}^2$ ) з лінійним збільшенням  $\beta' = -0,2$ ?

**Рішення:**

При заданих величинах  $\beta'$  та  $f'$  за формулою  $a = \bar{f} \left(1 - \frac{1}{\beta'}\right) = -1200 \text{ мм}$ . За діафрагментарним числом  $k$  та фокусній відстані  $f'$  можна визначити діаметр вхідного зрачка  $k = \frac{f'}{D_{\text{вх.зр.}}}$ .  $D_{\text{вх.зр.}} = 71,43 \text{ мм}$ . Таким чином,  $|\sin u| = 0,02975$ . Остаточно  $\Phi = 0,02340 \text{ лм}$ ,  $E = 3,441 \cdot 10^5 \text{ лк}$ .

### Задача 33

При довжині хвилі  $\lambda_0 = 555 \text{ нм}$  фільтр має максимум коефіцієнту пропускання  $\tau_{\text{max}}(\lambda_0) = 0,4$ . Напівширина складає  $10 \text{ нм}$ . Приблизно при  $550$  та  $560 \text{ нм}$   $\tau(\lambda)$  знижується до  $0,2$ . Побудуйте графік залежності коефіцієнту пропускання від довжини хвилі.

**Рішення:**

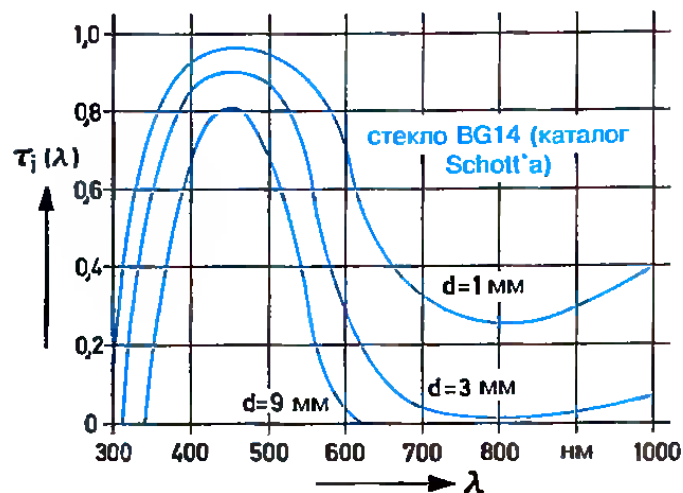


Рис. до задачі 33

**Задача 34**

Частково пропускаючі металеві шари інтерференційного фільтру мають наступні параметри  $\tau = 0,08$ ;  $\rho = 0,89$ . Знайти коефіцієнт поглинання та максимальний коефіцієнт пропускання інтерференційного фільтру.

**Рішення:**

Коефіцієнт поглинання  $\alpha = 1 - \tau - \rho = 0,03$ . Максимальний коефіцієнт пропускання  $\tau_{max} = \left(\frac{\tau}{1-\rho}\right)^2 = 0,529$ .

**Задача 35**

Інтерференційний фільтр має наступні параметри  $\tau = 0,08$ ;  $\rho = 0,89$ . Довжина хвилі, що відповідає максимуму пропускання фільтру, дорівнює  $\lambda_0 = 546$  нм. Підрахувати товщину шару при  $n = 1,45$  та  $m = 1$  (різницею ходу  $\Gamma_p$  можна знехтувати). Знайти напівширину полоси пропускання  $\Delta\lambda_{0,5}$  та коли коефіцієнт пропускання знижується до значення  $\frac{\tau_{max}}{2} \approx 0,26$ .

**Рішення:**

Максимальний коефіцієнт пропускання  $\tau_{max} = \left(\frac{\tau}{1-\rho}\right)^2 = 0,529$ . Товщина шару  $d = \frac{m \cdot \lambda_0 - \Gamma_p}{2n} = 188$  нм. Для такого фільтру напівширина полоси пропускання  $\Delta\lambda_{0,5} = \lambda_0 \frac{1-\rho}{m\pi\sqrt{\rho}} = 20$  нм. Таким чином при  $\lambda = 536$  нм та  $\lambda = 556$  нм коефіцієнт пропускання знижується до  $\frac{\tau_{max}}{2} \approx 0,26$ .

**Задача 36**

Для малоформатного фотоапарату відомі наступні параметри  $f'_{(1)} = 50$  мм,  $a = -10$  м,  $\beta'_{(2)} = -72$  (визначається фокусною відстанню об'єктиву проєкційного апарату та відстанню до екрану),  $a_A = -6$  м (відстань між екраном та глазом).

**Рішення:**

Знаходимо видиме збільшення фотоапарату за формулою  $\Gamma' = \frac{f'_{(1)} \cdot \beta'_{(2)}}{a_A} = 0,6$ . В цьому випадку зображення предметів на екрані видно під меншим кутом зору, ніж сам предмет при безпосередньому спостереженні з точки зйомки.

**Задача 37**

Зйомка проводиться мініатюрним фотоапаратом ( $f' = 15$  мм, формат кадру 8 x 11 мм). До якого формату потрібно збільшити зображення на плівці,

якщо необхідно забезпечити правильну передачу перспективи при розглядуванні фотознімку з відстані 25 см (відстань найкращого зору)?

**Рішення:**

З формули  $\Gamma' = \frac{f'_{(1)} \cdot \beta'_{(2)}}{a_A}$  виходить, що лінійне збільшення кадру повинно дорівнювати  $\beta'_{(2)} = -250 \text{ мм} / 15 \text{ мм}$ . Отже  $\beta'_{(2)} = -16,67$ . Формат фотознімка при цьому дорівнює 133 x 183 мм.

**Задача 38**

Розрахувати енергетичну світимість лабораторної моделі чорного тіла, яка використовується для градуювання інформаційно-вимірювальних систем при температурі  $T = 127 \text{ }^\circ\text{C}$ , якщо коефіцієнт чорноти  $\varepsilon = 0,98$ .

**Рішення:**

Визначимо температуру чорного тіла в Кельвінах

$$T = 127 + 273 = 400 \text{ К.}$$

Використаємо формулу Стефана-Больцмана для отримання значення енергетичної світимості лабораторної моделі чорного тіла

$$M(T) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4,$$

$$\text{де } \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}.$$

Підставимо числові значення:

$$M(T) = 0.98 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 400^4 = 1422 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

**Відповідь:** Енергетична світимість даної лабораторної моделі чорного тіла дорівнює  $1422 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

**Задача 39**

Розрахувати енергетичну світимість лабораторної моделі чорного тіла, яка використовується для градуювання інформаційно-вимірювальних систем при температурі  $T = 720 \text{ К}$ , якщо коефіцієнт чорноти  $\varepsilon = 0,98$ .

**Рішення:**

Використаємо формулу Стефана-Больцмана для отримання значення енергетичної світимості лабораторної моделі чорного тіла

$$M(T) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4,$$

$$\text{де } \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}.$$

Підставимо числові значення

$$M(T) = 0,98 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 720^4 = 14933 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

**Відповідь:** Енергетична світимість даної лабораторної моделі чорного тіла дорівнює  $14933 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

#### Задача 40

Розрахувати спектральну щільність енергетичної світимості лабораторної моделі чорного тіла, яка використовується для градування інформаційно-вимірювальних систем при температурі  $T = 720 \text{ К}$  на довжині хвилі  $\lambda = 4 \text{ мкм}$ , якщо коефіцієнт випромінювальної здатності  $\varepsilon = 0,98$ .

#### Рішення:

Згідно умов задачі  $\lambda \cdot T < 3000 \text{ мкм} \cdot \text{К}$ . Отже для розрахунку можна використати формулу Планка в наближенні Віна

$$M(\lambda, T) = \varepsilon \cdot \frac{C_1}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda \cdot T}\right),$$

де  $C_1 = 3,74 \cdot 10^8 \frac{\text{Вт} \cdot \text{мкм}^4}{\text{м}^2}$ ,

$$C_2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{К}.$$

Підставимо чисельні значення до формули

$$M(\lambda, T) = 0,98 \cdot \frac{3,74 \cdot 10^8}{4^5} \exp\left(-\frac{1,44 \cdot 10^4}{4 \cdot 720}\right) = 2412 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{мкм}}.$$

**Відповідь:** Спектральна щільність енергетичної світимості даної лабораторної моделі чорного тіла дорівнює  $2412 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{мкм}}$ .

#### Задача 41

Інформаційно-вимірювальна система екологічного моніторингу поверхні моря знаходиться на борту літака. Поверхня моря ламбертівська ( $\rho = 1$ ). Середня освітленість поверхні  $E_\phi = 1 \text{ Вт/м}^2$ . Відносний отвір об'єктиву –  $\left(\frac{D}{f'}\right) = 1:2$ , коефіцієнт пропускання об'єктиву  $\tau_o = 0,8$ . Визначити середню освітленість пікселя, якщо коефіцієнт пропускання середовища  $\tau_c = 0,1$ .

#### Рішення:

Середня освітленість пікселя визначається за формулою

$$E_n = \frac{\pi}{4} \tau_o \tau_c \left(\frac{D}{f'}\right)^2 \Phi_\phi,$$

де яскравість ділянки поверхні моря

$$\Phi_{\phi} = \frac{E_{\phi} \rho_{\phi}}{\pi}.$$

Отже, підставивши, отримаємо

$$E_n = \frac{1}{4} \tau_0 \tau_c \left( \frac{D}{f'} \right)^2 E_{\phi} \rho_{\phi}.$$

Підставимо відомі значення в формулу для знаходження середньої освітленості матриці

$$E_n = \frac{1}{4} 0,8 \cdot 0,1 \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 1 = 0,005 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

**Відповідь:** Середня освітленість пікселя дорівнює  $0,005 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

### Задача 42

Розрахувати контраст зображення морської поверхні при наявності на поверхні моря значного фрагменту забруднення. Коефіцієнт відбиття морської води -  $\rho_m = 0,8$ , фрагменту забруднення -  $\rho_n = 0,4$ .

**Рішення:**

Контраст визначаємо за формулою

$$k = \frac{\rho_m - \rho_n}{\rho_m + \rho_n}.$$

Отже

$$k = \frac{0,8 - 0,4}{0,8 + 0,4} = 0,33.$$

**Відповідь:** Контраст зображення морської поверхні – 0,33.

### Задача 43

Інформаційно-вимірювальна система використовується для контролю технології зонної плавки, температура рідкої фази кристалу кремнію змінюється в процесі плавки від  $T_1 = 1685 \text{ К}$  до  $T_2 = 1715 \text{ К}$ . Розрахувати зміщення максимуму довжини хвилі випромінювання поверхні рідкої фази.

**Рішення:**

Залежність максимуму довжини хвилі випромінювання  $\lambda_m$  від температури  $T$  поверхні тіла визначається законом Віна

$$\lambda_m \cdot T = 3000 \text{ мкм К}.$$

Для температури  $T_1 = 1685 \text{ К}$

$$\lambda_{m1} = \frac{3000}{1685} = 1,78 \text{ (мкм)}.$$

Для температури  $T_2 = 1715 \text{ К}$

$$\lambda_{m8} = \frac{3000}{1715} = 1,75 \text{ (мкм)}.$$



Зміщення максимуму довжини хвилі випромінювання поверхні рідкої фази

$$\Delta\lambda_m = \lambda_{m1} - \lambda_{m2} = 1,78 - 1,75 = 0,03 \text{ мкм.}$$

**Відповідь:** Зміщення максимуму довжини хвилі випромінювання поверхні рідкої фази – 0,03 мкм.

#### Задача 44

Визначити діаметр  $D$  апертурної діафрагми об'єктиву телевізійної Інформаційно-вимірювальної системи, якщо відносний отвір має значення 1:2, а фокусна відстань  $f' = 52$  мм.

**Рішення:**

Відносний отвір  $\frac{D}{f'} = \frac{1}{2}$ , отже,  $2D = f'$ , або  $D = \frac{f'}{2} = 26$  мм.

**Відповідь:** Діаметр апертурної діафрагми об'єктиву телевізійної системи – 26 мм.

#### Задача 45

Розрахувати контраст зображення аварійної ділянки теплотраси вночі, якщо температура земної поверхні  $T_3 = -23$  °С, а температура теплоносія  $T_T = 75$  °С.

**Рішення:**

Визначимо температуру в Кельвінах: температура земної поверхні  $T_3 = -23$  °С + 273 = 250 К; температура теплоносія  $T_T = 75 + 273 = 300$  К.

Контраст в даній задачі утворюється за рахунок різниці енергетичних світимостей ділянок.

Енергетичні світимості земної поверхні  $M_3$  та аварійної  $M_T$  ділянок визначимо, базуючись на законі Стефана-Больцмана та враховуючи ту обставину, що коефіцієнти випромінювальної здатності сухої ділянки  $\varepsilon_3$  і аварійної ділянки  $\varepsilon_T$  практично однакові, тобто  $\varepsilon_3 \approx \varepsilon_T$ .

$$M_T = \varepsilon_T \sigma T_T^4;$$

$$M_3 = \varepsilon_3 \sigma T_3^4.$$

Контраст визначається за формулою:

$$k = \frac{M_T - M_3}{M_T + M_3} = \frac{T_T^4 - T_3^4}{T_T^4 + T_3^4}.$$

Отже

$$k = \frac{300^4 - 250^4}{300^4 + 250^4} = 0,35.$$

**Відповідь:** Контраст зображення аварійної ділянки теплотраси – 0,35.

**Задача 46**

Температура скломаси при виготовленні електричних ізоляторів, змінюється в процесі плавки від  $T_1 = 1700$  К до  $T_2 = 1722$  К. Розрахувати зміщення максимуму довжини хвилі випромінювання поверхні скломаси.

**Рішення:**

Залежність максимуму довжини хвилі випромінювання  $\lambda_m$  від температури  $T$  поверхні тіла визначається законом Віна

$$\lambda_m \cdot T = 3000 \text{ мкм К.}$$

Для температури  $T_1 = 1685$  К

$$\lambda_{m1} = \frac{3000}{1700} = 1,765 \text{ (мкм).}$$

Для температури  $T_2 = 1715$  К

$$\lambda_{m2} = \frac{3000}{1722} = 1,742 \text{ (мкм).}$$

Зміщення максимуму довжини хвилі випромінювання поверхні скломаси

$$\Delta\lambda_m = \lambda_{m1} - \lambda_{m2} = 1,765 - 1,742 = 0,023 \text{ мкм.}$$

**Відповідь:** Зміщення максимуму довжини хвилі випромінювання поверхні – 0,023 мкм.

## РОЗДІЛ 2. ВАРІАНТИ МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

### **Варіант №1**

1. Оптичне випромінювання.
2. Закон Стефана – Больцмана.
3. Задача №1.

### **Варіант №2**

1. Довжина хвилі.
2. Закон Віна.
3. Задача №2.

### **Варіант №3**

1. Дифракція.
2. Закон Планка.
3. Задача №3.

### **Варіант №4**

1. Показник заломлення.
2. Оптичне випромінювання.
3. Задача №4.

### **Варіант №5**

1. Закон заломлення.
2. Контраст.
3. Задача №5.

### **Варіант №6**

1. Гомоцентричний пучок променів
2. Роздільна здатність.
3. Задача №6.

### **Варіант №7**

1. Правила знаків.
2. Просторова частота.
3. Задача №7.

### **Варіант №8**

1. Передня фокальна точка.
2. Порогова (фінітна) частота.
3. Задача №8.

**Варіант №9**

1. Задня фокальна точка.
2. Пороговий контраст.
3. Задача №9.

**Варіант №10**

1. Передня фокусна відстань.
2. Функція передачі модуляції.
3. Задача №10.

**Варіант №11**

1. Задня фокусна відстань.
2. Зв'язок між одиницями різних систем характеристик випромінювання.
3. Задача №11.

**Варіант №12**

1. Лінійне збільшення.
2. Системи характеристик випромінювання (фотометрична, енергетична).
3. Задача №12.

**Варіант №13**

1. Параксіальна область.
2. Закони випромінювання.
3. Задача №13.

**Варіант №14**

1. Закон заломлення променів для параксіальної області.
2. Зв'язок між температурою АЧТ та характеристиками випромінювання.
3. Задача №14.

**Варіант №15**

1. Основна характеристика сорту оптичного скла.
2. Постулати пірометрії реального тіла.
3. Задача №15.

**Варіант №16**

1. Фокусні відстані сферичної поверхні.
2. Коефіцієнт випромінювальної здатності.
3. Задача №16.

**Варіант №17**

1. Фокусні відстані дзеркала.
2. Умовні температури.
3. Задача №17.

### **Варіант №18**

1. Лінза. Види лінз.
2. Яскравісна пірометрія.
3. Задача №18.

### **Варіант №19**

1. Плоска оптична пластина.
2. Ефективна довжина хвилі.
3. Задача №19.

### **Варіант №20**

1. Плоскопаралельна оптична пластина.
2. Фізичні основи роботи термокондуктометричних газоаналізаторів.
3. Задача №20.

### **Варіант №21**

1. Аберації.
2. Фізичні основи роботи термохімічних газоаналізаторів.
3. Задача №21.

### **Варіант №22**

1. Діафрагма.
2. Фізичні основи роботи магнітомеханічних газоаналізаторів.
3. Задача №22.

### **Варіант №23**

1. Спектральний коефіцієнт пропускання.
2. Фізичні основи роботи адсорбційних газоаналізаторів.
3. Задача №23.

### **Варіант №24**

1. Спектральний коефіцієнт відбиття.
2. Фізичні основи роботи абсорбційних газоаналізаторів.
3. Задача №24.

### **Варіант №25**

1. Спектральна оптична щільність.
2. Фізичні основи роботи люмінесцентних газоаналізаторів.

3. Задача №25.

### **Варіант №26**

1. Класифікація оптичних систем.
2. Фізичні основи роботи хроматографічних газоаналізаторів.
3. Задача №26.

### **Варіант №27**

1. Фактори, що обумовлюють впровадження оптичних систем в екологічне приладобудування.
2. Фізичні основи роботи електрохімічних газоаналізаторів.
3. Задача №27.

### **Варіант №28**

1. Оптичні компоненти аналітичних екологічних приладів.
2. Фізичні основи роботи полярографічних газоаналізаторів.
3. Задача №28.

### **Варіант №29**

1. Фокус.
2. Фізичні механізми екологічних процесів. Основні поняття. Класифікація.
3. Задача №29.

### **Варіант №30**

1. Фокусна відстань.
2. ПЗЗ – прилади в задачах екологічного моніторингу.
3. Задача №30.

### РОЗДІЛ 3. ДОДАТКОВІ ПИТАННЯ

1. Апертурна діафрагма.
2. Польова діафрагма.
3. Основні "оптичні" елементи ока.
4. Діаметр зіниці ока.
5. Акомодація.
6. Відстань найкращого зору.
7. Як розподілені по поверхні сітківки ока палички та ковбочки?
8. Де більша концентрація паличок?
9. Де більша концентрація ковбочок?
10. За який зір відповідають ковбочки?
11. За який зір відповідають палички?
12. Видиме збільшення?
13. Сучасний стан розвитку оптичних систем.
14. Закони відбиття і заломлення.
15. Оптична система.
16. Оптична деталь.
17. Ідеальна оптична система.
18. Кардинальні елементи.
19. Фокальна площина.
20. Головна площина.
21. Фокусна відстань.
22. Хід променів через ідеальну оптичну систему.
23. Оптична сила системи.
24. Оптичні матеріали.
25. Сферична поверхня.
26. Світловолокно.
27. Око як оптична система.
28. Освітлювальна система.
29. Конденсор.
30. Мікроскоп.
31. Фотографічний об'єктив. Основні характеристики.
32. ПЗЗ – прилади в задачах екологічного моніторингу.

## РОЗДІЛ 4. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Таблиця 1 - Критерії оцінок модульної контрольної роботи

Оцінка	Критерії
Відмінно А (5)	Студент повністю, якісно і об'єктивно розкрив теоретичні питання, дав правильні відповіді на контрольні питання, правильно вирішив задачі.
Дуже добре В (4) Добре С (4)	Студент не повністю, але якісно і об'єктивно розкрив теоретичні питання, дав правильні, але не повноцінні відповіді на контрольні питання, допустив незначну помилку (кількісну і методичну) при вирішенні завдань.
Задовільно D (3) Достатньо Е (3)	Студент не повністю і не якісно розкрив теоретичні питання, дав неправильні (до 50%) відповіді на контрольні питання, неправильно кількісно але правильно методично вирішив завдання.
Незадовільно F, Fx (2)	Студент не розкрив теоретичні питання, дав неправильні відповіді на контрольні питання (понад 50%), неправильно (кількісно і методично) вирішив завдання або не виконав поставлені завдання взагалі.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

### Основна література:

1. В.А. Порєв, О.А. Дашковський, Я.Л. Миндюк, В.П. Приміський Аналітичні екологічні прилади та системи: Монографія / Під заг. ред. Порєва В.А.— Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009 — 336 с.
2. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. - М. : Сов. радио, 1978. - 400 с., ил.
3. Г. Шрёдер, Х. Трайбер. Техническая оптика. - М.: Техносфера, 2006. - 424 с.
4. Маркін М.О. Вплив еквівалентної довжини хвилі на точність біспектрального телевізійного пірометра / М.О.Маркін, В.А.Порєв, О.М.Маркіна // Наукові праці ДонНТУ, Серія "Обчислювальна техніка та автоматизація". – 2007. – Вип. 14 (129). – С. 196-200.
5. Маркін М.О. Біспектральний телевізійний засіб вимірювання параметрів безтигельної зонної плавки: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13; захищена 22.03.11; затв. 31.05.11 / Маркін Максим Олександрович. – К., 2011. – 161 с.
6. Маркін М.О. Біспектральний телевізійний засіб вимірювання параметрів безтигельної зонної плавки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / Маркін Максим Олександрович; НТУУ «КПІ». – К., 2011. – 20 с.
7. Порєв В.А. Телевізійна пірометрія / В.А.Порєв. – К. : АБЕРС, 2002. – 196 с.
8. Порєв В.А. Концептуальні аспекти використання приладів з електронним розгортанням зображення для аналізу оптичних полів / В.А.Порєв, Г.В.Порєв // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2001. – №1. – С.56-61
9. Бегунов Б.Н. Теория оптических систем: учеб. пособие для вузов /., Б.Н.Бегунов, Н.П.Заказнов – М.: Машиностроение, 1973. – 488 с.
10. Рыфтин Я.А. Телевизионная система. Теория / Я.А.Рыфтин. – М.: Сов. радио, 1967. – 271 с.
11. Свет Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур / Д.Я.Свет – М. : Наука, 1982. – 296 с.
12. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: учеб. пособие для приборостроительных вузов / М.М.Мирошников. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 696 с.
13. Якушенков Ю.Г. Теория и расчёт оптико-электронных приборов : учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов /

- Ю.Г.Якушенков. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с.
- 14.Брацлавец П.Ф. Космическое телевидение / П.Ф.Брацлавец, И.А.Росселевич, Л.И.Хромов. – М.: Связь, 1973. – 245 с.
- 15.Кононов В.И. Оптические системы построения изображения / В.И.Кононов, А.Д.Федоровский, Г.П.Дубинский. - К.: Техніка, 1981. -134 с.
- 16.Бытько Н.Д. Физика. Ч.3 и 4. Электричество. Оптика и строение атома. Изд. 4-е, испр. и доп. Учеб. пособие для техникумов, М., «Высш. школа», 1972.
- 17.Задачи по физике для поступающих в вузы: Учебное пособие / Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б., Керженцев В.В., Мякишев Г.Я. – 5-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 400 с.

#### **Додаткова література:**

1. Щербань А.Н. Примак А.В., Копейкин В.И. Автоматизированные системы контроля запыленности воздуха. — К.: Техника, 1978. — 158 с.
2. Дашковский А.А., Раллев И.Н., Микитченко В.Ф. Автоматизированные системы газового анализа для АСУТП.—М.—1983.—49с. (Обзор информ./ЦНИТЭИприборостроения.ТС-4; Вып.4)
3. Приміський В.П. Багатоканальний газоаналітичний комплекс для оптимізації процесу горіння і екологічного моніторингу сміттєспалювального виробництва// Вісник НТУУ —КПІ Приладобудування К.— 2002.—№ 24.—С. 93-98.
4. Дашковський О.А., Ворбйов С.С., Нагородний А.О.,Приміський В.П., Шаталов М.Г. Багатоканальний газоаналітичний технологічний комплекс. Патент України № 58419А. Опубл. 2003—Бюл.№7.
5. Бородавка В.П., Дашковський О.А., Воробйов С.С., Нагородний А.О., Приміський В.П., Цвєлих Ю.М., Шаталов М.Г. Еколого-технологічний газоаналітичний комплекс. Патент України № 64586. Опубл. 2003.— Бюл.№2.
6. Приміський В.Ф. Еколого-технологічна комп'ютеризована газоаналітична система контролю промислових об'єктів // Технологические системы. К.:— 2003.— №3.—С. 84-91.
7. Максименко Ю. Н., Цвєлих Ю. М. Система контроля выбросов токсичных газов на теплоэлектростанции//Вопросы приборостроения. — 2006.—№ 6.—С. 24-27.

8. Примиский В.Ф. Инструментальный контроль дымовых газов // Экотехнологии и ресурсосбережение., Институт газа НАНУ, К.:—2004, – № 1—С.57- 70.
9. Безрук З.Д., Визнюк А.А., Приміський В.П. Створення систем технологічного моніторингу забруднення атмосфери // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. К.:— 2004.—№ 2.—С. 66-71.
- 10.Приміський В.П. Багатоканальний газоаналітичний комплекс для оптимізації процесу горіння і екологічного моніторингу сміттєспалювального виробництва // Вісник НТУУ —КПІІ —Приладобудування К.—2002.— № 24, С. 93-98.
- 11.Безрук З.Д., Порев В.А., Приміський В.П. Экспериментальные исследования выбросов мусоросжигательного производства //Восточно-европейский журнал передовых технологий. Харьков.—2005.—4/2 (16).— С. 150-154.
- 12.Безрук З.Д., Дашковский А.А. Порев В.А. Примиский В.Ф. Перспективы использования аналитических приборов в мусоро-сжигательном производстве // Тезисы доклада международной НТК « Метрологічне забезпечення фізико-хімічних та оптико-фізичних вимірювань – ХІММЕТ-2005» .—К.—2005.—С.38-40.
- 13.Василенко В.С., Гончар В.М., Кривоший В.І., Цокало В,Ф.. Стационарный цирконієвий аналізатор кисню у димових газах// Вісник НТУУ —КПІІ —Приладобудування К.— 2004.— № 28.—С.64-70.
- 14.Визнюк А.А., Примиский В.Ф. Компьютерные технологии в многоканальных инфракрасных газоанализаторах эколого-технологического мониторинга // Экотехнологии и ресурсосбережения (Институт газа НАНУ). —К.: —2000.— №2.—С.77-81
- 15.Богданов В.В, А.А. Візнюк, В.П. Приміський, Чемерис І.В. Багатоканальний автоматизований інфрачервоний газоаналізатор. Патент України № 65504. Опубл. Бюл. —№6, 2005.
- 16.Богданов В.В., Приміський В.П., Чемерис І.В. Багатоканальний інфрачервоний газоаналізатор. Патент України № 72629, Опубл. Бюл. — №3, 2005.
- 17.Богданов В.В., Приміський В.П., Чемерис І.В. Автоматичний інфрачервоний газоаналізатор. Патент України № 72630. Опубл. Бюл. — №3, 2005.
- 18.Бородавка В.П., Візнюк А.А., Приміський В.П., Юрова Є.С. Організація системного інтерфейсу комплексу екологічного моніторингу

- промислових підприємств // Вісник НТУУ —КПІ —Приладобудування К.— 2004.— № 28.—С.85-90.
- 19.Безрук З.Д., Порев В.А, Приміський В.П. Вимірювальний газо-аналітичний комплекс паливно-мастильних матеріалів // Вісник НТУУ —КПІ —Приладобудування К.— 2006.— № 31.—С.63- 69.
- 20.Приміський В.П. Сучасні засоби інструментального контролю (газоаналізатори і газоаналітичні системи) відпрацьованих газів автомобілів // Автошляховик України К.: —2003.—Окремий випуск. Жовтень.—С. 53-57.
- 21.Нешадін С.І., Маресова Т.А., Приміський В.П. Вимірювальний комплекс екологічного контролю вуглеводнів у викидах автотранспорту // Электроника и связь. Научно-технический сборник. Тематический выпуск. Проблемы электроники. Часть2. НТУУ КПИ.— К.:— 2007.— С.89-92.
- 22.Положення про Державну систему моніторингу довкілля. Постанова КМУ від 30.03.1998 р. — №391, м. Київ.
- 23.Маркін М.О. Мультиспектральні телевізійні прилади контролю високотемпературних технологій / М.О.Маркін, Г.М.Згуровський, В.А.Порєв, Є.О.Белорусов, І.В.Бойко // Восточно-европейский журн. передовых технологий. – 2006. – №4/2 (22). – С. 24-26.
- 24.Маркін М.О. Оцінка похибки вимірювання геометричних параметрів за допомогою телевізійних інформаційно-вимірювальних систем / М.О.Маркін, О.М.Маркіна // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування, – 2009. – Вип. 38. – С. 102-106.
- 25.Маркін М.О. Біспектральний телевізійний прилад контролю високотемпературних технологій / М.О.Маркін, В.А.Порєв // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – №23. – С. 102-105.
- 26.Маркін М.О. Похибки вимірювання температури в біспектральній пірометрії / М.О.Маркін, В.А.Порєв // Наукові праці ДонНТУ, Серія "Обчислювальна техніка та автоматизація", – 2010. – Вип. 20 (135), – С. 199-205.
- 27.Маркін М.О. Підвищення точності вимірювання лінійних параметрів температурних фрагментів зони плавки / М.О.Маркін, О.М.Маркіна, А.М.Драган // Восточно-европейский журн. передовых технологий. – 2011. – №4/9 (52). – С. 41-44.

## ДОДАТОК А. ТИТУЛЬНА СТОРІНКА МКР

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
 НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
 "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

КАФЕДРА  
 НАУКОВИХ, АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ

МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА № \_\_\_\_  
 з дисципліни "ФІЗИКА (ДОДАТКОВИЙ КУРС)"  
 варіант №

Виконав

Студент групи \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_

(підпис)

Перевірив

Оцінка

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_

(підпис)

Київ -201\_\_