

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

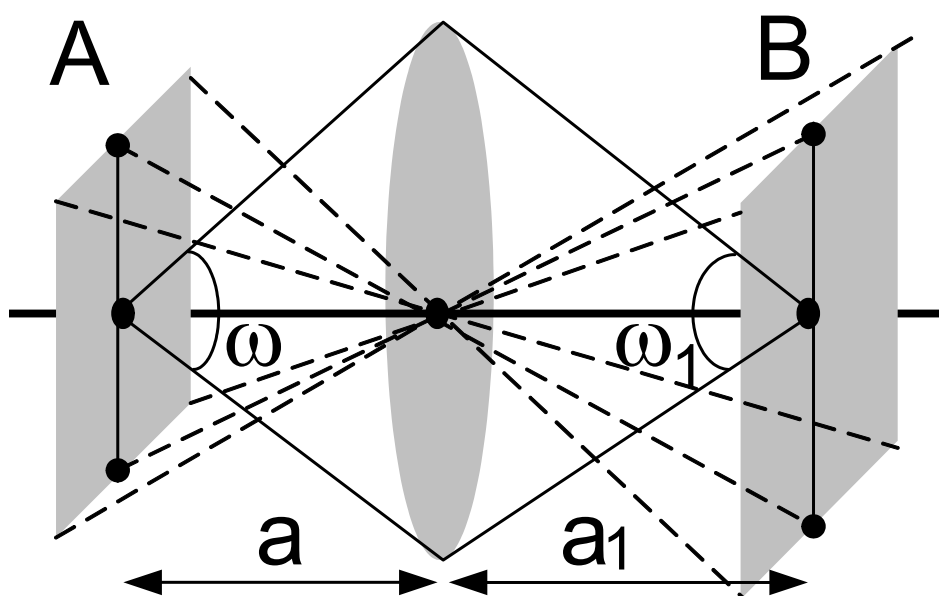
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних і лабораторних робіт, самостійної роботи та
курсівих і контрольних робіт із навчальної дисципліни

«ОСНОВИ СВІТЛОТЕХНІКИ»

*(для студентів денної та заочної форм навчання
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

Методичні рекомендації до виконання практичних і лабораторних робіт, самостійної роботи та курсових і контрольних робіт із навчальної дисципліни «Основи світлотехніки» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. С. Овчинников, В. М. Поліщук, Г. О. Петченко, Л. Д. Гуракова, О. М. Діденко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 80 с.

Укладачі: С. С. Овчинников,

В. М. Поліщук,

Г. О. Петченко,

Л. Д. Гуракова,

О. М. Діденко

Рецензент

А. С. Литвиненко, кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки і джерел світла Харківського національного Університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла, протокол № 7 від 26.04.2019.

ЗМІСТ

1 ОСНОВИ СВІТЛОТЕХНІКИ.....	5
1.1 Основні визначення і системи величин. Оптичне випромінювання.....	6
1.2 Енергетичні величини.....	6
1.3 Світлові величини.....	9
1.4 Інші світлові величини.....	10
1.5 Вітальні і бактерицидні величини.....	11
1.6 Інші вітальні і бактерицидні величини.....	13
1.7 Оптичні характеристики тіл.....	15
1.8 Основні співвідношення.....	16
1.9 Колориметричні співвідношення.....	19
1.9.1 Основні колориметричні системи.....	20
1.10 Теплове випромінювання.....	21
1.11 Проходження випромінювання крізь середовище.....	23
1.12 Багаторазове відбиття.....	25
1.13 Світлове поле.....	25
1.13.1 Інтегральні характеристики світлового поля.....	26
2 ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ І КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	28
2.1 Розрахунково-графічна робота за темою «Розрахунок фотометричних характеристик освітлювальної установки».....	28
2.2 Курсова робота.....	30
2.2.1 Вихідні данні до виконання роботи.....	30
2.2.2 Завдання до основних структурних частин роботи.....	31
3 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ Й ЗАКОНИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОПТИКИ..	32
3.1 Оптичні системи.....	35
3.2 Складні оптичні системи.....	39
3.3 Приклади графічної побудови зображень.....	40
3.4 Об'єднання двох оптичних систем в одну систему із загальною віссю симетрії.....	43
3.5 Діафрагми.....	44
3.6 Апертурна та польова діафрагми.....	45
3.7 Зв'язок між оптичними і світлотехнічними параметрами.....	46

4 ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНИХ ЗАНЯТЬ СТУДЕНТІВ.....	48
5 ЗАДАЧІ ДЛЯ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ НА АУДИТОРНИХ ЗАНЯТТЯХ.....	50
6 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ.....	53
7 ВАРІАНТИ ДОМАШНІХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ.....	59
8 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	62
Лабораторна робота № 1.....	62
Лабораторна робота № 2.....	63
Лабораторна робота № 3.....	63
Лабораторна робота № 4.....	64
Лабораторна робота № 5.....	65
Лабораторна робота № 6.....	66
Лабораторна робота № 7.....	67
Лабораторна робота № 8.....	67
Лабораторна робота № 9.....	69
Лабораторна робота № 10.....	70
Лабораторна робота № 11.....	71
Лабораторна робота № 12.....	72
ДОДАТКИ.....	75

ВСТУП

Курс «Основи світлотехніки» є базовим теоретичним курсом за для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (для світлотехніків). Без усвідомлення матеріалу, що викладається у рамках цього курсу, неможливе подальше освоєння студентами-світлотехніками спеціальних дисциплін.

Основою для створення цих методичних рекомендацій є матеріал, що викладався на лекціях д-ра техн. наук, проф. С. С. Овчинникова.

Увага акцентується на основних положеннях курсу, теоретичному матеріалі для самостійної роботи студентів, сформульовано теми для самостійних занять студентів і завдання до курсових робіт та наведена довідкова інформація, необхідна для їх виконання, розглянуто приклади розв'язання задач і розроблено низку варіантів домашніх контрольних робіт і підбірку задач для поточного контролю знань в академічних групах, розглянуто 12 лабораторних робіт, що охоплюють всі основні теми курсу.

Наведений у рекомендаціях матеріал є основою для проведення лабораторних і практичних занять, виконання курсових робіт і домашніх контрольних завдань і висвітлює основні теоретичні положення курсу.

Деякі рисунки до теоретичної частини рекомендацій виконані шляхом сканування оригінальних ілюстрацій д-ра техн. наук, проф. С. С. Овчинникова для максимального відтворення атмосфери його лекцій.

1 ОСНОВИ СВІЛОТЕХНІКИ

1.1 Основні визначення і системи величин. Оптичне випромінювання

Оптична область спектра $10\text{--}10^6$ нм (рис. 1.1).

Видима область спектра 380–780 нм.

Ультрафіолетова (УФ) область спектра 10–380 нм. Інфрачервона (ІЧ) область спектра 780– 10^6 нм.

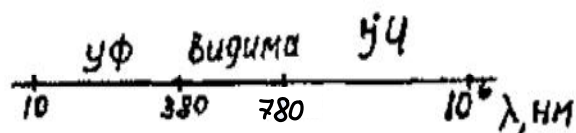


Рисунок 1.1 – Оптична область спектра випромінювання

Енергія фотона:

$$Q_e = h\nu = 1,986 \cdot \lambda^{-1} \text{ Дж} = \frac{1241}{\lambda} \text{ eV},$$

де λ – довжина хвилі випромінювання, нм.

ν – частота випромінювання, Гц.

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}, 1 \text{ Дж} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}, 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

1.2 Енергетичні величини

Енергія випромінювання (енергія випромінювання оптичної області спектра), Q_e , Дж.

Потік випромінювання (потужність випромінювання оптичної області спектра) $\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$, Вт.

Енергетична світимість (поверхнева густина випромінювання) в точці К (рис. 1.2).

$$M_{ek} = \frac{d\Phi_e}{dA}, \text{ Вт/м}^2,$$

де $d\Phi_e$ – потік випромінювання, який випромінюється ділянками поверхні dA .

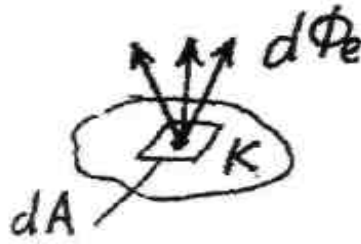


Рисунок 1.2 – До розрахунку енергетичної світимості

Опромінення (енергетична освітленість) поверхні в точці К (рис. 1.3):

$$E_{ek} = \frac{d\Phi_e}{dA}, \text{ Вт/м}^2,$$

де $d\Phi_e$ – потік випромінювання, який падає на ділянку поверхні dA .

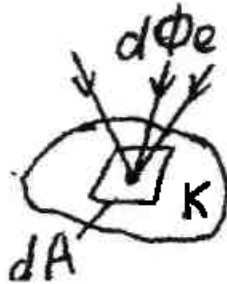


Рисунок 1.3 – Енергетична освітленість поверхні в точці К

Сила випромінювання (енергетична сила світла) в напрямі ℓ (рис. 1.4):

$$I_{el} = \frac{d\Phi_e}{d\omega}, \text{ Вт/ср},$$

де $d\Phi_e$ – потік випромінювання, який випромінюється джерелом в межах тілесного кута $d\omega$.

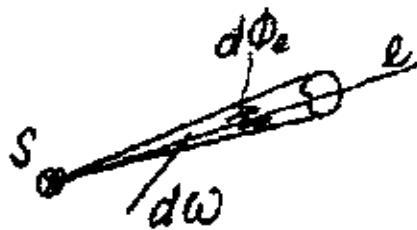


Рисунок 1.4 – Сила випромінювання в напрямку ℓ

Енергетична яскравість поверхні в точці К в напрямі ℓ (рис. 1.5)

$$L_{ekl} = \frac{d^2\Phi_e}{d\omega dA_{np.}} = \frac{dI_e}{dA_{np.}}, \text{ Вт/ м}^2\text{ср.}$$

$$dA_{np.} = dA \cdot \cos\alpha$$

де $dA_{np.}$ – проекція ділянки поверхні dA на площину, перпендикулярну напрямку ℓ ;

$d\Phi_e$ – потік випромінювання, який випромінюється ділянкою поверхні dA в межах тілесного кута $d\omega$.

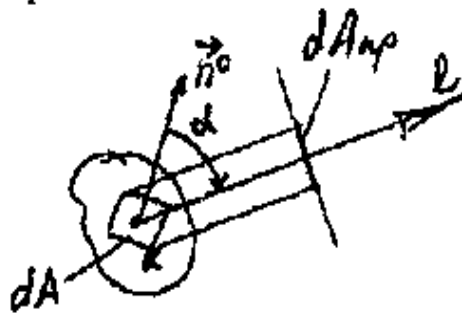


Рисунок 1.5 – Енергетична яскравість ділянки поверхні, що містить точку К в напрямку ℓ

Енергетична експозиція в точці К

$$H_{ek} = \int_0^{\tau} E_e(t) dt = \frac{dQ_e}{dA}, \text{ Дж/м}^2,$$

де τ – час дії випромінювання.

Спектральна густина енергії випромінювання

$$q_e(\lambda) = \frac{dQ_{e\lambda}}{d\lambda}, \text{ Дж/нм.}$$

Спектральна густина енергетичної яскравості

$$l_e(\lambda) = \frac{dL_{e\lambda}}{d\lambda}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{нм).}$$

Спектральна густина потоку випромінювання на довжині хвилі λ (рис. 1.6)

$$\varphi_e(\lambda) = \frac{d\Phi_{e\lambda}}{d\lambda}, \text{ Вт/нм},$$

де $d\Phi_{e\lambda}$ – потік випромінювання, який міститься в інтервалі довжин хвиль $d\lambda$.

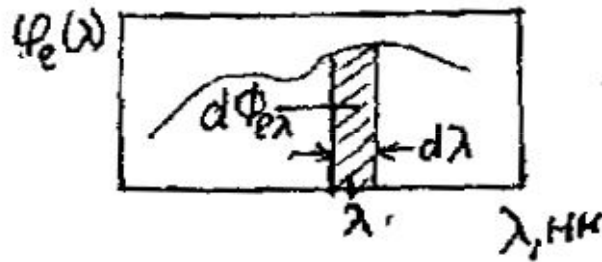


Рисунок 1.6 – Спектральна густина потоку випромінювання

Спектральна густина будь-якої енергетичної величини A_e

$$a_e(\lambda) = \frac{dA_{e\lambda}}{d\lambda}.$$

1.3 Світлові величини

Світловий потік

Світловий потік – це ефективний потік, за яким оцінюється випромінювання по його дії на зразковий приймач – світлоадаптоване око людини, максимальна чутливість K_m якого складає 683 лм/Вт, а відносна спектральна чутливість визначається нормалізованою функцією відносної спектральної світлової ефективності випромінювання V_λ .

1 люмен рівний світловому потоку однорідного випромінювання на довжині хвилі 555 нм потужністю 1/683 Вт

1 люмен є мірою світлового потоку від точкового джерела в границях тілесного кута 1 ср при силі світла 1 кд.

Світловий потік однорідних випромінювань

$$\Phi = K_m \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i} \cdot V_{\lambda_i}.$$

Світловий потік випромінювань із суцільним спектром

$$\Phi = K_m \cdot \int_{\lambda=380}^{780} \varphi_{ei}(\lambda) V(\lambda) d\lambda = K_m \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_{\lambda i} \cdot V_{\lambda i} \cdot \Delta\lambda_i, \text{ лм.}$$

де $K_m = 683 \text{ лм/Вт}$ – максимальна спектральна чутливість середнього світлоадаптованого ока людина (на довжині хвилі випромінення 555 нм (рис. 1.7));

$V(\lambda)$ – нормалізована функція відносної спектральної світлової ефективності випромінювання (додатку 4).

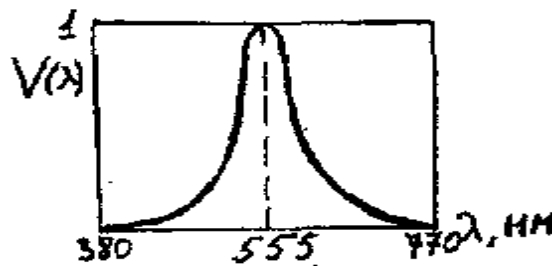


Рисунок 1.7 – Нормалізована функція відносної спектральної світлової ефективності випромінювання

1.4 Інші світлові величини

Світлова енергія

$$Q = \int_0^{\tau} \Phi_e(t) dt, \text{ лм}\cdot\text{с.}$$

Світимість поверхні в точці К

$$M = \frac{d\Phi}{dA_{\text{тіла}}}, \text{ лм/м}^2.$$

Сила світла в напрямку ℓ

$$I_\ell = \frac{d\Phi}{d\omega}, \text{ кд (кандела).}$$

1 кандела є мірою сили світла монохроматичного випромінювання на довжині хвилі 555 нм, енергетична сила світла якого складає 1/683 Вт/ср. Кандела входить до переліку основних одиниць системи СИ.

Освітленість в точці К

$$E_k = \frac{d\Phi}{dA_{\text{пов.}}}, \text{ лк (люкс)}.$$

Яскравість поверхні в точці К в напрямку ℓ

$$L_{kl} = \frac{d^2\Phi}{d\omega dA_{\text{пр.}}} = \frac{dI}{dA_{\text{пр.}}}, \text{ кд/м}^2.$$

Світлова віддача випромінювання

$$H_e = \frac{\Phi}{\Phi_e} = \frac{I}{I_e} = \frac{E}{E_e} = \frac{M}{M_e} = \frac{L}{L_e}, \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}.$$

Світлова віддача джерела світла

$$H_{\text{дж}} = \frac{\Phi}{P}, \frac{\text{лм}}{\text{Вт}},$$

де P – потужність джерела світла.

1.5 Вітальні і бактерицидні величини

Вітальний і бактерицидний потоки

Вітальний потік – це ефективний потік, за яким оцінюється випромінювання по його загальнобіологічній дії на організм людини.

Бактерицидний потік – це ефективний потік, за яким оцінюється випромінювання по його згубній дії на бактерії.

Вітальний потік випромінювання з суцільним спектром

$$\Phi_{віт} = K_{m_{віт}} \cdot \int_{280}^{400} \varphi_e(\lambda) V_{віт}(\lambda) d\lambda, \text{ віт.}$$

Вітальний потік однорідних випромінювань

$$\Phi_{віт} = K_{m_{віт}} \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_{\lambda i} \cdot V_{віт\lambda i}, \text{ віт.}$$

Бактерицидний потік випромінювання з суцільним спектром

$$\Phi_{бакт} = K_{m_{бакт}} \cdot \int_{220}^{400} \varphi_e(\lambda) V_{бакт}(\lambda) d\lambda, \text{ бакт.}$$

Бактерицидний потік однорідних випромінювань

$$\Phi_{бакт} = K_{m_{бакт}} \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_{\lambda i} \cdot V_{бакт\lambda i}, \text{ бакт.}$$

де $V_{віт}(\lambda)$ і $V_{бакт}(\lambda)$ – відносна вітальна і, відповідно, бактерицидна чутливість зразкового приймача випромінювання відповідної системи величин

$$K_{m_{віт}} = 1 \frac{\text{віт}}{\text{Вт}} \text{ для } \lambda = 297 \text{ нм, } K_{m_{бакт}} = 1 \frac{\text{бакт}}{\text{Вт}} \text{ для } \lambda = 254 \text{ нм. (рис. 1.8)}$$

1 віт рівний вітальному потоку однорідного випромінювання на довжині хвилі 297 нм потужністю 1Вт.

1 бакт рівний бактерицидному потоку однорідного випромінювання на довжині хвилі 254 нм потужністю 1Вт.

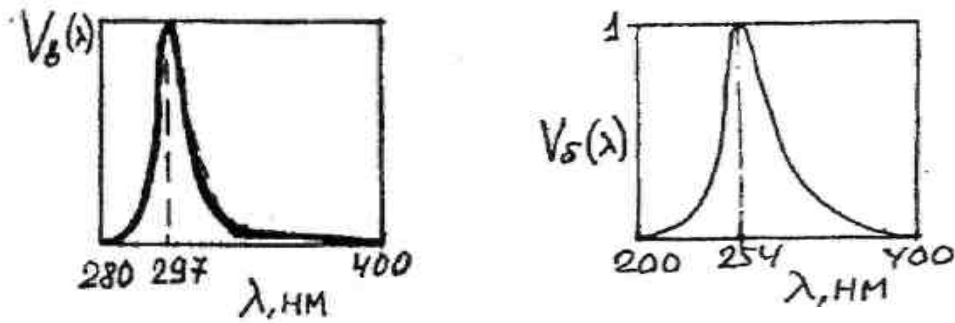


Рисунок 1.8 – Нормалізовані функції відносної спектральної вітальної і, відповідно, бактерицидної ефективності випромінювання

1.6 Інші вітальні і бактерицидні величини

Вітальна енергія

$$Q_{vit} = K_{m_{vit}} \int q_e(\lambda) V_{vit}(\lambda) d\lambda, \text{ віт} \cdot \text{с.}$$

Бактерицидна енергія,

$$Q_{бакт} = K_{m_{бакт}} \int q_e(\lambda) V_{бакт}(\lambda) d\lambda \text{ бакт} \cdot \text{с.}$$

Вітальна світимість

$$M_{vit} = \frac{d\Phi_{vit}}{dA}, \text{ віт/м}^2.$$

Бактерицидна світимість

$$M_{бакт} = \frac{d\Phi_{бакт}}{dA_{тіла}}, \text{ бакт/м}^2.$$

Вітальна сила випромінювання

$$I_{vit} = \frac{d\Phi_{vit}}{d\omega}, \text{ віт/р.}$$

Бактерицидна сила випромінювання

$$I_{бакт} = \frac{d\Phi_{бакт}}{d\omega}, \text{ бакт/ср.}$$

Вітальне опромінення

$$E_{\text{віт}} = \frac{d\Phi_{\text{віт}}}{dA_{\text{пов.}}}, \text{ віт/м}^2.$$

Бактерицидне опромінення

$$E_{\text{бакт}} = \frac{d\Phi_{\text{бакт}}}{dA_{\text{пов.}}}, \text{ бакт/м}^2.$$

Вітальна яскравість

$$L_{\text{віт}} = \frac{d^2\Phi_{\text{віт}}}{d\omega dA_{\text{пр.}}} = \frac{dI_{\text{віт}}}{dA_{\text{пр.}}}, \text{ віт/м}^2\text{ср.}$$

Бактерицидна яскравість

$$L_{\text{бакт}} = \frac{d^2\Phi_{\text{бакт}}}{d\omega dA_{\text{пр.}}} = \frac{dI_{\text{бакт}}}{dA_{\text{пр.}}}, \text{ бакт/м}^2\text{ср.}$$

Вітальна віддача випромінювання

$$H_{\text{віт}} = \frac{\Phi_{\text{віт}}}{\Phi_e} = \frac{I_{\text{віт}}}{I_e} = \frac{E_{\text{віт}}}{E_e} = \frac{M_{\text{віт}}}{M_e} = \frac{L_{\text{віт}}}{L_e}, \frac{\text{віт}}{\text{Вт}}.$$

Вітальна віддача джерела світла

$$H_{\text{джвіт}} = \frac{\Phi_{\text{віт}}}{P}, \frac{\text{віт}}{\text{Вт}},$$

де P – потужність джерела світла.

Бактерицидна віддача випромінювання

$$H_{\text{бакт}} = \frac{\Phi_{\text{бакт}}}{\Phi_e} = \frac{I_{\text{бакт}}}{I_e} = \frac{E_{\text{бакт}}}{E_e} = \frac{M_{\text{бакт}}}{M_e} = \frac{L_{\text{бакт}}}{L_e}, \frac{\text{бакт}}{\text{Вт}}.$$

Бактерицидна віддача джерела світла

$$H_{\text{джбакт}} = \frac{\Phi_{\text{бакт}}}{P}, \frac{\text{бакт}}{\text{Вт}},$$

Вітальна експозиція

$$H_{\text{віт}} = \int_0^{\tau} E_{\text{віт}}(t) dt = \frac{dQ_{\text{віт}}}{dA}, \text{ віт} \cdot \text{с} / \text{м}^2,$$

де τ – час дії випромінювання. **1 біодоза = 300 віт·с/м².**

Бактерицидна експозиція

$$H_{\text{бакт}} = \int_0^{\tau} E_{\text{бакт}}(t) dt = \frac{dQ_{\text{бакт}}}{dA}, \text{ бакт} \cdot \text{с} / \text{м}^2,$$

де τ – час дії випромінювання.

1.7 Оптичні характеристики тіл

Спектральні коефіцієнти відбиття, поглинання і пропущення

$$\rho_{e\lambda} = \frac{\Phi_{e\lambda\rho}}{\Phi_{e\lambda 0}}; \alpha_{e\lambda} = \frac{\Phi_{e\lambda\alpha}}{\Phi_{e\lambda 0}}; \tau_{e\lambda} = \frac{\Phi_{e\lambda\tau}}{\Phi_{e\lambda 0}},$$

де $\Phi_{e\lambda 0}$ – однорідний потік випромінювання, що падає на зразок;

$\Phi_{e\lambda\rho}$ – однорідний потік випромінювання, відбитого зразком;

$\Phi_{e\lambda\alpha}$ – однорідний потік випромінювання, що поглинається зразком;

$\Phi_{e\lambda\tau}$ – однорідний потік випромінювання, що проходить крізь зразок.

Інтегральні оптичні коефіцієнти

$$\rho_e = \frac{\Phi_{e\rho}}{\Phi_{e0}} = \frac{\int \varphi_{e0}(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{\int \varphi_{e0}(\lambda) d\lambda}; \alpha_e = \frac{\Phi_{e\alpha}}{\Phi_{e0}} = \frac{\int \varphi_{e0}(\lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{\int \varphi_{e0}(\lambda) d\lambda};$$

$$\tau_e = \frac{\Phi_{e\tau}}{\Phi_{e0}} = \frac{\int \varphi_{e0}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int \varphi_{e0}(\lambda) d\lambda}$$

Ефективні коефіцієнти відбиття, поглинання і пропущення світлового потоку

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_0} = \frac{\int \varphi_{e0}(\lambda) V(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{\int \varphi_{e0}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}; \quad \alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_0} = \frac{\int \varphi_{e0}(\lambda) V(\lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{\int \varphi_{e0}(\lambda) V(\lambda) d\lambda};$$

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_0} = \frac{\int \varphi_{e0}(\lambda) V(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int \varphi_{e0}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

Яскравість дифузно-розсіювальної поверхні

$$L_\tau = \frac{E \cdot \tau}{\pi}; \quad L_\rho = \frac{E \cdot \rho}{\pi}.$$

1.8 Основні співвідношення

Тілесний кут (рис. 1.9)

$$\omega = \frac{A_{сф}}{r^2}, \text{ ср (стерадіан)}$$

при $A_{сф} = r_{сф}^2$ тілесний кут дорівнює 1 стерадіану.

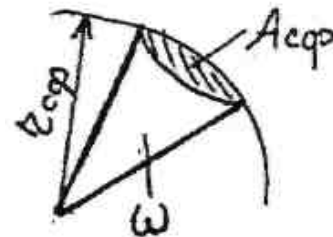


Рисунок 1.9 – Тілесний кут ω

Елементарний тілесний кут, що спирається на елемент поверхні dA (рис.1.10)

$$\omega = \frac{dA \cos \alpha}{l^2}.$$

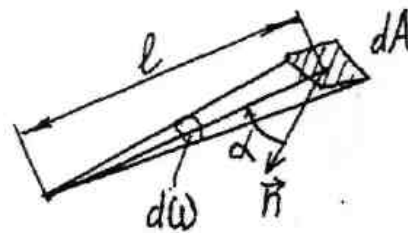


Рисунок 1.10 – Елементарний тілесний кут, що спирається на елемент поверхні dA

Елементарний тілесний кут у сферичній системі координат (рис.1.11)

$$d^2\omega = \sin\alpha d\alpha d\beta.$$

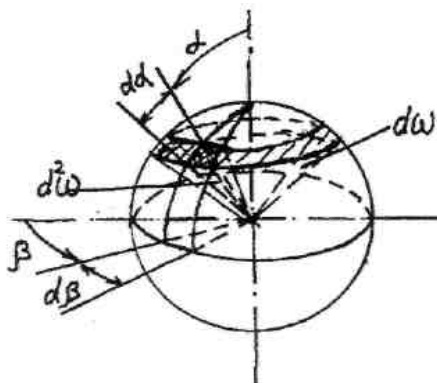


Рисунок 1.11 – Елементарний тілесний кут у сферичній системі координат

Елементарний зональний тілесний кут (рис.1.12)

$$d\omega = 2\pi \sin\alpha d\alpha.$$

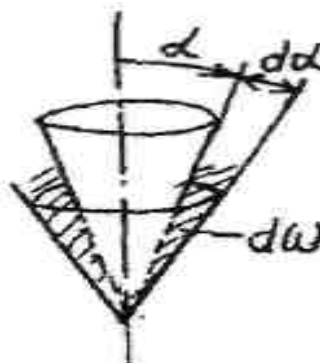


Рисунок 1.12 – Елементарний зональний тілесний кут

Зональний тілесний кут (рис.1.13)

$$\Delta\omega = 2\pi(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2).$$

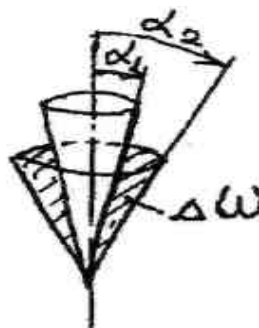


Рисунок 1.13 – Зональний тілесний кут

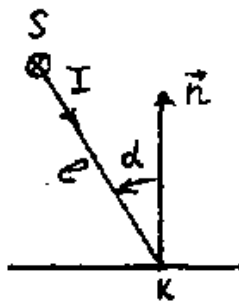
Світловий потік джерела

$$\Phi = \int_{4\pi} I(\alpha) d\omega = 2\pi \int_{\alpha=0}^{\pi} I(\alpha) \sin \alpha d\alpha.$$

$$\Phi = \sum_{i=1}^n I_{\alpha_i} \cdot \Delta\omega_i = 2\pi \sum_{i=1}^n I_{\alpha_i} (\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i+1}).$$

$\Delta\omega_i$ для десятиградусних зон наведені в таблиці додатку 7.

Освітлюваність, створювана точковим джерелом (закон зворотних квадратів) (рис. 1.14)

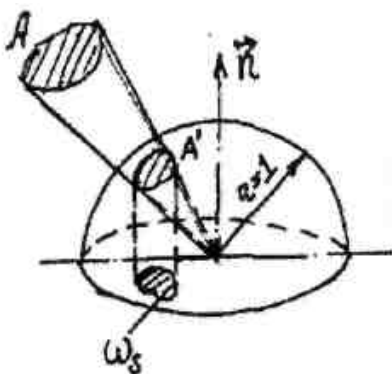


$$E_k = \frac{I}{l^2} \cdot \cos \alpha.$$

Рисунок 1.14 – Освітлюваність, створювана точковим джерелом

Освітлюваність, створювана джерелом кінцевих розмірів (рис. 1.15)

$$E_k = \int_A \frac{L dA \cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2}{\ell^2},$$



де A – поверхня, що світить,
 dA – її ділянка,
 α_1 – кут між нормаллю до dA і напрямком випромінювання у т. K ,
 α_2 – кут між нормаллю до поверхні у т. K і напрямком випромінювання.

Рисунок 1.15 – Освітлюваність, створювана джерелом кінцевих розмірів

$$E = L \int_{\omega} d\omega \cdot \cos \alpha = L \cdot \omega_s.$$

Рівнояскравий випромінювач

$$dI_{\alpha} = L \cdot dA \cdot \cos \alpha; \quad M = \pi \cdot L; \quad L_{\alpha, \beta} = \text{const};$$

Світловий потік рівнояскравої плоскої поверхні

$$\Phi = \pi LA.$$

Світловий потік бічної поверхні рівнояскравого циліндру

$$\Phi_{\text{цил.}} = \pi^2 I$$

Сила світла рівнояскравого джерела довільної форми

$$I = L \cdot A_{np.}$$

де $A_{np.}$ – площа проекції поверхні A на площину, перпендикулярну напрямку випромінювання.

1.9 Колориметричні співвідношення

Рівняння кольору

$$P = a'A + v'B + c'C,$$

де P – колір випромінювання;
 a', v', c' – координати кольору;
 A, B, C – основні кольори колориметричної системи;
 $m = a' + v' + c'$ – модуль кольору;
 $a = a' / m, v = v' / m, c = c' / m$ – координати кольоровості.

Координати кольору випромінювань з суцільним спектром:

$$a' = \int \varphi_e(\lambda) \bar{a}(\lambda) d\lambda; \quad b' = \int \varphi_e(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda; \quad c' = \int \varphi_e(\lambda) \bar{c}(\lambda) d\lambda.$$

$$\bar{a}(\lambda) = \frac{a_{\lambda}'}{\Phi_{e\lambda}}; \quad \bar{b}(\lambda) = \frac{b_{\lambda}'}{\Phi_{e\lambda}}; \quad \bar{c}(\lambda) = \frac{c_{\lambda}'}{\Phi_{e\lambda}}.$$

де $\bar{a}(\lambda), \bar{b}(\lambda), \bar{c}(\lambda)$ – питомі координати кольору.

Координати кольору однорідних випромінювань:

$$a' = \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i} \cdot \overline{a_{\lambda_i}}; \quad b' = \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i} \cdot \overline{b_{\lambda_i}}; \quad c' = \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i} \cdot \overline{c_{\lambda_i}}.$$

Яскравість кольору

$$L_p = 683 \Lambda_p = 683 \cdot (\Lambda_a \cdot a' + \Lambda_b \cdot b' + \Lambda_c \cdot c'),$$

де Λ_p і $\Lambda_a, \Lambda_b, \Lambda_c$ - яскравості коефіцієнти кольору P і основних кольорів колориметричної системи A, B, C.

Координати кольору випромінювань відбитих і пропущених зразком:

$$a_{\rho}' = \int \varphi_e(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda; \quad a_{\tau}' = \int \varphi_e(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda.$$

1.9.1 Основні колориметричні системи

Система RGB

$$\mathbf{R}: \lambda_R = 700 \text{ нм}, \quad \Lambda_R = 1;$$

$$\mathbf{G}: \lambda_G = 546,1 \text{ нм}, \quad \Lambda_G = 4,591;$$

$$\mathbf{B}: \lambda_B = 435,8 \text{ нм}, \quad \Lambda_B = 0,0601;$$

$$\Phi_R = 683 \text{ лм}, \quad \Phi_G = 3135 \text{ лм}, \quad \Phi_B = 41 \text{ лм}.$$

Система XYZ

$$X = 0,4185R - 0,092 G + 0,0009 B$$

$$Y = -0,1588R + 0,2524G + 0,0025 B$$

$$Z = 0,0829R + 0,0157 G + 0,1786 B$$

$$\Lambda_X = 0; \quad \Lambda_Y = 1; \quad \Lambda_Z = 0. \quad \Phi_X = 0; \quad \Phi_Y = 683 \text{ лм}; \quad \Phi_Z = 0.$$

$$x' = 2,17 r' + 1,75 g' + 1,13 b'$$

$$y' = r' + 4,591 g' + 0,0601 b'$$

$$z' = 0,0565 g' + 5,594 b'$$

Система КЗС

$$k' = 2,96x' + 1,04;$$

$$z' = -2,174x'$$

$$c' = 0,217x' + 1,02$$

$$\Lambda_k = 1; \Lambda_3 = 0; \Lambda_c = 0. \Phi_k = 683 \text{ лм}; \Phi_3 = 0; \Phi_c = 0.$$

Система Φ, λ, P

$\Phi = \Phi_\lambda + \Phi_\sigma$ - світловий потік даного кольору. Φ_λ і Φ_σ – світлові потоки випромінювання на довжині хвилі λ і стандартного білого кольору. λ називають колірним тоном випромінювання.

Чистоту кольору можна визначити за формулою:

$$P = \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_\lambda + \Phi_\sigma} = \frac{y_\lambda(x - x_\sigma)}{y(x_\lambda - x_\sigma)} = \frac{y_\lambda(y - y_\sigma)}{y(y_\lambda - y_\sigma)}.$$

Параметри стандартних джерел білого кольору:

Тип джерела	Е	А	В	С	D ₆₅
Колірна температура, T _k , К	5000	2856	4874	6774	6504
Координата x	0,333	0,4476	0,3484	0,3101	0,3127
Кольоровості y	0,333	0,4075	0,3516	0,3162	0,3290

1.10 Теплове випромінювання

Закон Кірхгофа

$$\frac{M_{eT1}}{\alpha_{eT1}} = \frac{M_{eT2}}{\alpha_{eT2}} = \dots = \frac{M_{eTn}}{\alpha_{eTn}} = M_{eS}(T).$$

індекс “s” означає, що розглядається абсолютно чорне тіло з $\alpha_{eT} = 1$.

Рівняння Планка

$$m_{es}(\lambda, T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} \cdot 10^{-9} [\text{Вт/м}^2 \text{ нм}].$$

Рівняння Віна

$$m_{es}(\lambda, T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} [\text{Вт/м}^3].$$

$$m_{es}(\lambda, T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} \cdot 10^{-9} \text{ [Вт/м}^2\text{нм]}.$$

Закони Віна

$$\lambda_{(\max)} = \frac{C'}{T}; \quad m_{eST(\max)} = C'' \cdot T^5.$$

Закон Стефана-Больцмана:

- для чорного тіла

$$M_{eST} = \sigma \cdot T^4.$$

- для реального тіла

$$M_{eT} = \varepsilon_T \cdot \sigma \cdot T^4; \quad m_e(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) \cdot m_{eS}(\lambda, T),$$

де ε_T і $\varepsilon(\lambda, T)$ - відповідно інтегральний і спектральний коефіцієнти випромінювання реального тіла

Необхідні для розрахунків фізичні константи:

$$C_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2; \quad C_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

$$C' = 2896 \cdot 10^3 \text{ нм} \cdot \text{К}.$$

$$C'' = 1,31 \cdot 10^{-14} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ нм К}^5).$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К}^4).$$

Функція Планка у відносних координатах

$$m_{es}(\lambda) = y \cdot m_{es(\max)}; \quad x = \frac{\lambda}{\lambda_{(\max)}}; \quad y = \frac{m_{es}(\lambda)}{m_{es(\max)}}.$$

де $\lambda_{(\max)}$ і $m_{es(\max)}$ розраховуємо за законами Віна.

Функція $y=f(x)$ наведена у таблиці в додатках.

Частку потоку, що приходиться на спектральну ділянку $\lambda_1 - \lambda_2$ можна розрахувати як $n = Z(x_2) - Z(x_1)$. Функція $Z(x)$ наведена в додатках.

Еквівалентні температури

$$T = T_e \cdot \sqrt[4]{\varepsilon_T}; \quad T_J = \frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{C_2}{\lambda T} + \ln \varepsilon_{\lambda T} \right)^{-1}; \quad \frac{1}{T} = \frac{1}{T_k} - \frac{\ln \frac{\varepsilon_{\lambda_1 T}}{\varepsilon_{\lambda_2 T}}}{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}.$$

де T – істинна температура;

T_e – енергетична (радіаційна) температура;

T_J – яскравісна температура;

T_K – колірна температура.

1.11 Проходження випромінювання крізь середовище

Коефіцієнт пропущення прошарку середовища (закон Бугера)

$$\tau = e^{-kl} = 10^{-k_{10}l}.$$

де $k = k_{\Pi} + k_p$ – показник ослаблення світла середовищем;

де k_{Π} і k_p – показники поглинання і розсіювання світла відповідно,

k_{10} – десятковий показник ослаблення,

l – шлях випромінювання у середовищі (товщина прошарку середовища).

Оптична густина середовища

$$D = \lg \frac{1}{\tau} = d \cdot l.$$

де $d = k_{10}$ – питома оптична густина.

Прозорість світлофільтра

$$\tau' = e^{-k} = 10^{-k_{10}}; \quad \tau = (\tau')^l.$$

Кратність світлофільтра

$$\beta = \frac{1}{\tau}; \quad D = \lg \beta.$$

Формули Френеля

- для нормального падіння світла

$$\rho = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}.$$

- для падіння світла під кутом до поверхні границі розділу 2-х середовищ

$$\rho = \frac{\rho' + \rho''}{2}; \quad \rho' = \frac{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad \rho'' = \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha_1 - \alpha_2)}{\operatorname{tg}^2(\alpha_1 + \alpha_2)}.$$

де n_1 і n_2 – показники заломлення 1-го і 2-го середовища;

α_1 і α_2 – кути падіння і заломлення відповідно;

ρ - коефіцієнт відбиття;

ρ' і ρ'' - коефіцієнти відбиття випромінювань, поляризованих у площині падіння.

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2.$$

Ступень поляризації відбитого світла

$$\Delta = \frac{\rho' - \rho''}{\rho' + \rho''}.$$

Кут Брюстера

(кут, при якому $\rho'' = 0$ і відбитий від границі розділу 2 середовищ промінь є повністю поляризованим)

$$\alpha_B = \operatorname{arctg} \frac{n_2}{n_1}.$$

Кут повного внутрішнього відбиття

(граничний кут, починаючи з якого падаючий на границю розділу 2 середовищ промінь є повністю відбитим)

$$\alpha_{\text{неб}} = \operatorname{arcsin} \frac{n_2}{n_1}.$$

Товщина просвітлювального покриття

$$\delta = \frac{1}{n}(2N-1) \cdot \frac{\lambda}{4}; \quad n = \sqrt{n_1 + n_2}; \quad N \in Z.$$

Проходження світла крізь плоскопаралельний шар речовини

$$\tau = (1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_2) \cdot e^{-kl},$$

де ρ_1 і ρ_2 – коефіцієнти відбиття від 1-ї і 2-ї границь розділу 2-х середовищ відповідно.

1.12 Багаторазове відбиття

Яскравість дифузної поверхні у відбитих і пропущених промінях

$$L_{\text{внутр.}} = \frac{E_A \cdot \rho}{\pi}; \quad L_{\text{зовн.}} = \frac{E_A \cdot \tau}{\pi},$$

де $E_A = \frac{\Phi_A}{A}$ – освітленість, що створюється на робочій поверхні А через багаторазові відбиття;

$$\Phi_A = \frac{\Phi'}{1 - \rho(1 - U_{Aa})} \quad \text{– потік, що утворюється на робочій поверхні А}$$

внаслідок багаторазових відбивань;

А – робоча поверхня світильника;

Φ' – потік від джерела, який падає на поверхню А;

$U_{Aa} = a/A$ – коефіцієнт використання світлового потоку світильника відносно вихідного отвору;

а – площа вихідного отвору.

1.13 Світлове поле

Міра множини променів фізичного пучка

$$G = \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{dA_1 \cos \alpha_1 dA_2 \cos \alpha_2}{l^2} = \int_{A_1} \int_{\omega_2} dA_1 \cos \alpha_1 d\omega_2 = \int_{A_2} \int_{\omega_1} dA_2 \cos \alpha_2 d\omega_1.$$

Яскравість пучка променів:

$$L = \frac{d^2\Phi}{d^2G},$$

де $d^2\Phi$ – світловий потік, що переноситься елементарним пучком променів;
 d^2G – міра множин елементарного пучка променів.

1.13.1 Інтегральні характеристики світлового поля Середня сферична освітленість

$$E_{4\pi} = \lim_{r_{c\phi} \rightarrow 0} \frac{\Phi_{c\phi}}{A_{c\phi}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n E_{ni} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{l_i^2} = \frac{1}{4} \int_{4\pi} L d\omega.$$

Середня напівсферична освітленість

$$E_{2\pi} = \lim_{r_{nc\phi} \rightarrow 0} \frac{\Phi_{nc\phi}}{A_{nc\phi}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{l_i^2} (1 + \cos\alpha) = \frac{1}{4} \int_{4\pi} L (1 + \cos\alpha) d\omega.$$

Середня циліндрична освітленість

$$E_{\pi} = \lim_{r_y \rightarrow 0} \frac{\Phi_y}{A_y} = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{l_i^2} \sin\alpha = \frac{1}{\pi} \int_{4\pi} L \sin\alpha d\omega.$$

Світловий вектор

$$\vec{\omega} = \frac{1}{4} \int_{4\pi} L d\vec{\omega} = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{l_i^2} \vec{l}_i^0 = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{l_i^3} \vec{l}_i.$$

Проекції світлового вектора

$$\varepsilon_x = \sum_{i=1}^n \frac{I_i(-x_i)}{(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{3/2}}; \varepsilon_y = \sum_{i=1}^n \frac{I_i(-y_i)}{(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{3/2}};$$

$$\varepsilon_z = \sum_{i=1}^n \frac{I_i(-z_i)}{(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{3/2}},$$

де x_i, y_i, z_i – координати точкових джерел.

Модуль світлового вектора

$$\varepsilon \equiv \left| \vec{\varepsilon} \right| = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2}.$$

Направляючі косинуси

$$\cos(\vec{\varepsilon} \wedge x) = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon}; \cos(\vec{\varepsilon} \wedge y) = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon}; \cos(\vec{\varepsilon} \wedge z) = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon}.$$

Світловий вектор рівнояскравого багатокутника

$$\varepsilon_x = \frac{L}{2} \sum_{i=1}^n \alpha_i \cos \beta_{xi}; \varepsilon_y = \frac{L}{2} \sum_{i=1}^n \alpha_i \cos \beta_{yi}; \varepsilon_z = \frac{L}{2} \sum_{i=1}^n \alpha_i \cos \beta_{zi},$$

де α_i – плоский кут i -ї грані тілесного кута, що спирається на багатокутник,

β_i – кут між зовнішньою нормаллю до i -ї грані і відповідною віссю координат.

2 ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ І КУРСОВОЇ РОБОТИ

2.1 Розрахунково-графічна робота за темою «Розрахунок фотометричних характеристик освітлювальної установки»

Освітлювальна установка включає в себе три джерела випромінювання S_1 , S_2 , S_3 , розташованих в різних точках стелі та рівнояскравій світній частині стелі (рис. 2.1). Поверхні стелі й підлоги розділені на 10 квадратів площею $a^2 = 2 \times 2 \text{ м}^2$. Висота розташування стелі $H = 3 \text{ м}$. Вершини квадратів стелі позначені точками 1–18 та підлоги, відповідно 1–18'. Джерело S_1 – точкове, з однорідним випромінюванням (розподіл сили випромінювання наведено у індивідуальному завданні). Джерело S_2 – однорідного випромінювання, рівнояскраве, геометрія наведена у індивідуальному завданні. Джерело S_3 – точкове, сила випромінювання однакова за всіма напрямками, спектр випромінювання безперервний спектральна густина випромінювання наведена у додатку. Розташування джерел задається викладачем у індивідуальному завданні. Геометрія світної частини стелі також задається викладачем.

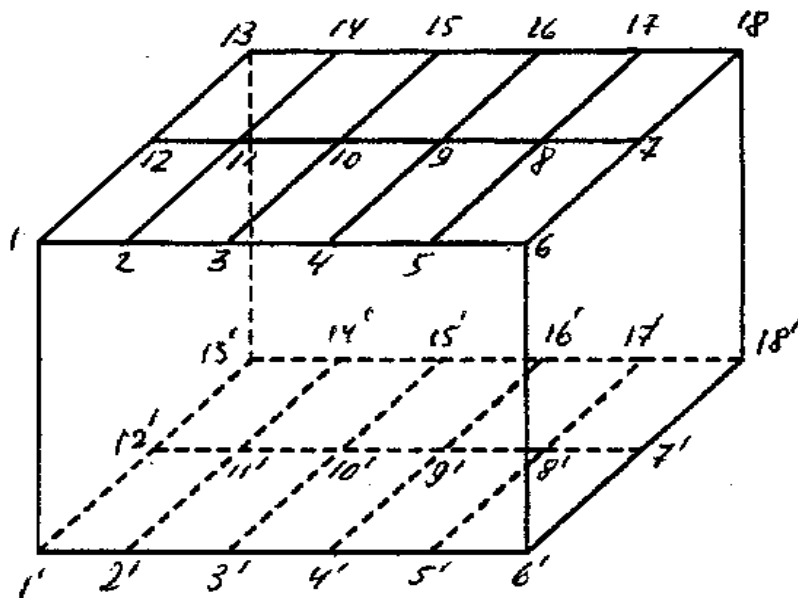


Рисунок 2.1 – Модель приміщення

Завдання 1

1. Визначити енергію фотонів з довжинами хвиль λ_1 та λ_2 .
2. Визначити кількість фотонів, що випромінює джерело S_2 за 1с.

3. Визначити час, за який джерело S_2 випромінює 10^{10} фотонів, $N = 10^{10}$ фт.

4. Знайти кількість фотонів, що випромінює джерело S_2 з 1 см^2 поверхні за 1 с.

5. Визначити кількість фотонів, що випромінює за 1с в межах тілесного кута 1sr . джерело S_2 , за умов, що воно випромінює за всіма напрямками рівномірно.

Завдання 2

1. Побудувати повздожню криву сили випромінювання джерела S_1 .

2. Визначити тілесні кути, обмежені конусами з кутами розкриття α_1 та α_2

3. Визначити зональний тілесний кут $\Delta\omega$, заточений між конусами з кутами розкриття α_1 та α_2 .

4. Визначити (за кривою) силу випромінювання джерела S_1 в напрямках α_1 та α_2 , та її середнє значення.

5. Визначити потік випромінювання, заточений в межах тілесного кута $\Delta\omega$.

6. Визначити потік випромінювання Φ_{e1} джерела S_1 (методом зональних тілесних кутів).

7. Визначити енергетичну світимість M_{e2} джерела S_2 .

8. Визначити енергетичну яскравість джерела S_2 .

9. Визначити силу випромінювання джерела S_2 за різними напрямками.

Завдання 3

1. Побудувати криву спектральної щільності випромінювання $\varphi_e(\lambda)$ джерела S_3 . Розрахувати потік випромінювання Φ_{e3} , заточений в інтервалі довжин хвиль $\lambda_3-\lambda_4$.

2. Визначити сумарний потік випромінювання джерел S_1, S_2, S_3 .

3. Визначити силу випромінювання I_{e3} джерела S_3 , що випромінює однаково у всіх напрямках.

4. Розрахувати опромінення площини Q в точках $7'-12'$, створене джерелом S_2 .

5. Побудувати криву розподілення опромінення вздовж лінії $7'-12'$.

Завдання 4

1. Розрахувати світлові потоки Φ_1, Φ_2, Φ_3 джерел S_1, S_2, S_3 .

2. Визначити світлову віддачу випромінювання джерел S_1, S_2, S_3 .

3. Визначити світимість M_2 джерела S_2 .

4. Визначити яскравість L_2 джерела S_2 .

5. Визначити силу світла джерела S_2 за різними напрямками $I_{2,1}-I_{2,6}$.

6. Визначити силу світла джерела S_3 .
7. Визначити сумарну освітленість, створену джерелами S_1, S_2, S_3 в точці $1'$.
8. Те саме в точці $9'$.

Завдання 5

1. Знайти освітленість, створену джерелом S_2 на горизонтальній площині, розташованій на вісі джерела на відстані h , рівній максимальному розміру джерела, методом Ондрачека.
2. Те ж точечним методом (за законом зворотних квадратів).
3. Визначити відносну похибку розрахунку точечним методом.

Завдання 6

Розрахувати освітленість, створюємою світящею рівнояскравою ($L = 2 \cdot 10^3$ кд/м²) частиною стелі за методом Ондрачека в точці $9'$.

Завдання 7

Визначити яскравість дифузійно-розсіювальної ділянки стелі в т. 18, освітлюваної випромінюванням джерел S_1, S_2, S_3 , відбитого площиною Q (дзеркальною). Коефіцієнт відбиття дорівнює $\rho_Q = 0.9, \rho_p = 0.7$.

Завдання 8

1. Розрахувати вітальний та бактерицидний потоки джерела S_3 .
2. Визначити вітальну та бактерицидну віддачу випромінювання джерела S_3 .
3. Розрахувати вітальну та бактерицидне опромінення в т. $6'$ площини Q .
4. Визначити час, впродовж якого вітальна експозиція в т. $6'$ буде дорівнювати одній біодозі.

2.2 Курсова робота

Основою для виконання даної роботи є індивідуальне завдання викладача і матеріал експериментальних досліджень лабораторної роботи № 8.

Робота складається з 3 частин. Перша частина спрямована на проведення розрахунків оптичних характеристик світлофільтрів.

Друга і третя частини є зв'язаними поміж собою і являють задачу розрахунку і побудови кривої сили світла світильника з дифузним розсіювачем і подальше його застосування для освітлення певного приміщення.

2.2.1 Вихідні данні до виконання роботи

1. Фільтр – за даними вимірювань у лабораторній роботі № 8, сила світла джерела $I_{дж}$, радіус сфери R , радіус отвору r , коефіцієнт відбиття ρ , коефіцієнт

пропущення τ , положення світильників (номер точки), розрахункова точка світлового поля (номер точки), контур світлової частини стелі, яскравість світлої частини стелі, розрахункові параметри світлового поля

2.2.2 Завдання до основних структурних частин роботи

Розрахунок оптичних і світлових характеристик

1. Розрахувати інтегральний коефіцієнт пропущення випромінювання джерела типу А для заданого фільтра. Визначити оптичну густину d .
2. Розрахувати ефективний коефіцієнт пропущення світлового потоку джерела типу А заданого фільтра.

Розрахунок КСС світильника

1. Розрахувати яскравість зовнішньої і внутрішньої поверхні світильника з молочного скла у вигляді сфери з отвором, в центрі якої розташована лампа розжарювання з рівномірним розподілом сили світла $I_{дж}$.
2. Розрахувати силу світла світильника за різними напрямками і побудувати КСС.

Розрахунок інтегральних характеристик світлового поля

Розрахувати інтегральні характеристики і світловий вектор, створюваний декількома світильниками в заданій точці. Розташування світильників зазначене в завданні.

3 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ Й ЗАКОНИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОПТИКИ

Частина оптики, яка стосується задач розповсюдження світла у середовищі за умов, коли довжина хвилі випромінювання суттєво переважає розмір перешкоди, називається **геометричною оптикою**. Тут вважається, що світлові проміні не взаємодіють, і явища дифракції та інтерференції відсутні. Під **світловим променем** розуміють геометричну лінію, що не має розмірів у поперечному перерізі, тобто одномірний об'єкт. Сукупність світлових проміней називають **світловим пучком, збіжним** (рис. 3.1), або **розбіжним** (рис. 3.2).

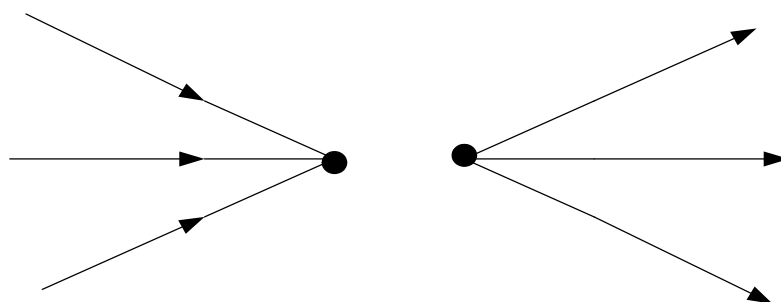


Рисунок 3.1 – Збіжний пучок

Рисунок 3.2 – Розбіжний пучок

Якщо світлові проміні мають спільний центр (так, як це показано на рис. 3.1, 3.2), їх називають **гомоцентричними**. Центр гомоцентричного пучка промінів, що входять до оптичної системи, називають **точкою предмету**, а тих, що виходять зі такої – **точкою зображення**. Простір, що охоплює точки предметів або зображень називається **простором предметів** або **простором зображень** відповідно. Якщо після проходження оптичної системи пучки промінів зберігають свою гомоцентричність, зображення називають **стигматичними** (точковими). Пучок, проміні якого після виходу з оптичної системи не перетинаються у одній точці, називається **астигматичним**.

Якщо після виходу з оптичної системи проміні перетинаються у спільній точці, зображення називають **дійсним**. Таке зображення можна побачити на екрані, або на фотографічній пластині. Якщо ж у спільній точці перетинаються продовження промінів розбіжного пучка, зображення називають **уявним**. Прикладом такого є зображення від плоского дзеркала. На рисунку 3.3 наведено схеми одержання дійсного і уявного зображень. Як т. А позначено точку предмета, а т. В – точку зображення.

Дія оптичних систем базується на основних положеннях геометричної оптики.

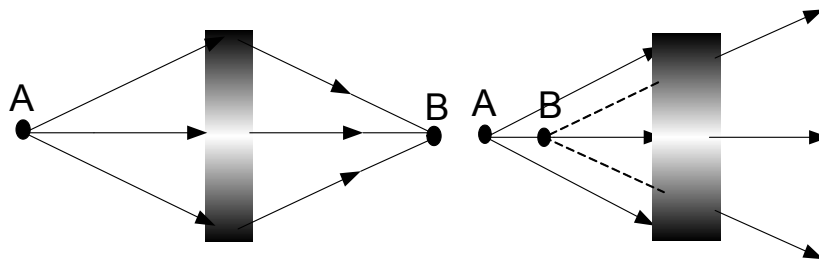


Рисунок 3.3 – Дійсне та уявне зображення

Нагадаємо ці положення.

1. Принцип Ферма: світло розповсюджується по оптичному шляху, подолання якого потребує мінімуму часу – по прямій в однорідному середовищі. Цей принцип є наслідком принципу невзаємодії світлових промінів. Для однорідного середовища оптична довжина шляху $L_{\text{опт}}$ зв'язана з геометричною довжиною шляху ℓ простим співвідношенням: $L_{\text{опт}} = n \cdot \ell$, де n – показник заломлення середовища.

У випадку проходження світлом границі розділу двох середовищ принцип Ферма дає закони заломлення і відбиття.

2. Закон заломлення: $n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$ (рис. 3.4), де n_1 і n_2 – показники заломлення двох середовищ (в нашому випадку $n_1 < n_2$), α і β – кути, що відраховуються від нормалі до границі розділу двох середовищ до первісного та заломленого променя відповідно.

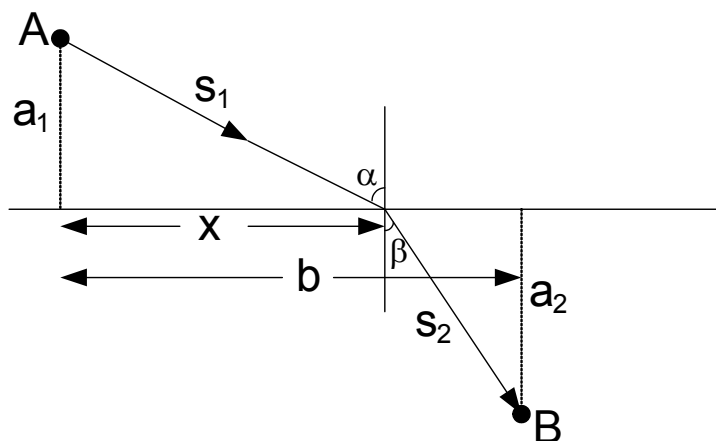


Рисунок 3.4 – Схема заломлення світлового променя

Оптична довжина шляху променя (з т. А до т. В) $L_{\text{опт}} = n_1 \cdot \ell_1 + n_2 \cdot \ell_2$. Згідно з рисунку 3.4:

$$L_{\text{опт}} = n_1 \cdot \sqrt{a_1^2 + x^2} + n_2 \cdot \sqrt{a_2^2 + (b-x)^2} .$$

Згідно з принципом Ферма, за умови прямолінійності траєкторії розповсюдження світла, $\frac{dL_{onm}}{dx} = 0$, тому

$$\begin{aligned} \frac{dL_{onm}}{dx} &= \frac{n_1 \cdot x}{\sqrt{a_1^2 + x^2}} - \frac{n_2 \cdot (b-x)}{\sqrt{a_2^2 + (b-x)^2}} = n_1 \cdot \frac{x}{S_1} - n_2 \cdot \frac{b-x}{S_2} = \\ &= n_1 \cdot \sin \alpha - n_2 \cdot \sin \beta = 0 \Rightarrow n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta. \end{aligned}$$

3. Закон відбиття: первісний і відбитий проміні лежать у одній площині з границею розділу двох середовищ, а кут падіння і відбиття однакові за абсолютною величиною ($\alpha = \beta$). Цей закон витікає з закону заломлення, який фактично записаний за умов віддзеркалення $n_1 = n_2$.

4. Закон повного внутрішнього відбиття. Починаючи з певного кута падіння α на границю розділу двох середовищ, світловий промінь становиться повністю відбитим $\beta = 90^\circ$ і становить $\alpha = \arcsin(n_2/n_1)$, що також є наслідком закону заломлення. Виконується у випадку, коли світло прямує з оптично більш щільного середовища в оптично менш щільне: $n_1 > n_2$.

Приклад. Світло проходить через рівнобічну призму (рис. 3.5). Відомо, що $\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$, $n_1 = 1$ (повітря), $n_2 = 1,5$ (скло). Перевірити, чи виконується умова повного внутрішнього відбиття.

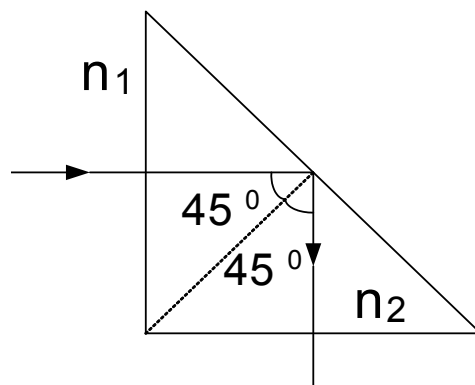


Рисунок 3.5 – Повне внутрішнє відбиття у рівнобічній призмі

Повне внутрішнє відбиття буде виконуватись починаючи з падіння проміня під кутом $\alpha = \arcsin(1/1,5) \approx 42^\circ$ і більше, тому в нашому випадку світловий промінь є повністю відбитий ($\rho = 1$, $\tau = 0$, $\alpha = 0$).

Перелічені закони справедливі і при зворотньому ході промінів (**принцип оборотності** (або **взаємності**) світлових промінів).

Окремо відзначимо випадок, коли на границю розділу двох середовищ падає світловий пучок, що складається з випромінювань різних довжин хвиль (приклад – соняшний промінь). Як відомо, такий пучок розщеплюється на спектральні складові. Цю залежність показника заломлення речовини від довжини хвилі падаючого на неї випромінювання називають **дисперсією**. **Дисперсією** також називають різницю $n_{\lambda_1} - n_{\lambda_N}$ (рис. 3.6).

Зі збільшенням довжини хвилі показник заломлення збільшується: $n \sim \lambda^{-1}$.

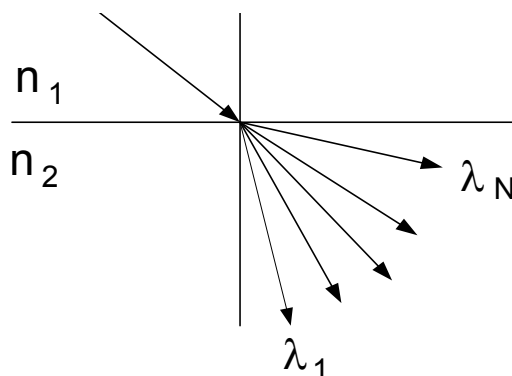


Рисунок 3.6 – Дисперсія

3.1 Оптичні системи

Оптичною системою є будь-яка з оптичних деталей (линз, призм, дзеркал) або їх сукупність, призначена для формування пучків світлових променів.

Оптична система характеризується такими конструктивними елементами (рис. 3.7):

- радіусами кривини поверхонь, що обмежують систему (АС і ВД);
- кількістю поверхонь m (в нашому випадку $m = 2$);
- відстанню між вершинами сферичних поверхонь (ВС);
- показниками заломлення усіх середовищ, що розділяються поверхнями.

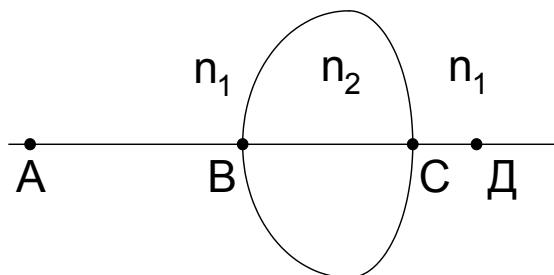


Рисунок 3.7 – Конструктивні елементи оптичної системи

Розглянемо деякі прості оптичні системи, а потім перейдемо до складних.

1. ЛІНЗИ. Лінза – це звичайне скляне тіло, обмежене двома сферичними поверхнями. Іноді одна з поверхонь плоска, але і тут її вважають сферичною поверхнею нескінченно великого радіусу.

Якщо відстані OO_1 і OO_2 незначні у порівнянні з OA і OA_1 (рис. 3.8), точки O_1 і O_2 прямують до т. O , і лінза вважається **нескінченно тонкою**.

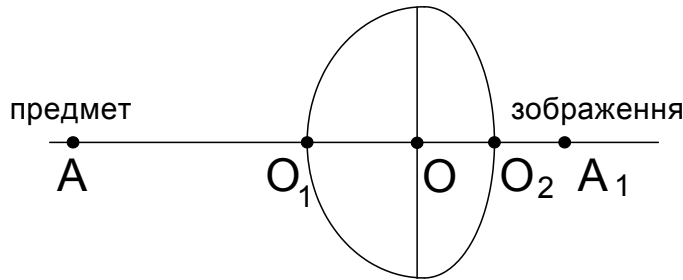


Рисунок 3.8 – Основні елементи лінзи

Точка O називається **оптичним центром лінзи**. Будь – яка пряма, що проходить через оптичний центр, називається **оптичною віссю лінзи**. Якщо оптична вісь проходить також через центри заломлювальних поверхонь O_1 і O_2 , її називають **головною оптичною віссю**.

Якщо на лінзу спрямувати вузький паралельний головній оптичній осі пучок промінів, то на виході з лінзи вони зберуться у точці F_1 , яку називають **заднім фокусом лінзи**. Відстань OF_1 (рис. 3.9) називають **задньою фокусною відстанню** f_1 . Якщо ж пучок паралельних промінів спрямувати навпаки (рис 3.9), з простору зображень, легко отримати F – **передній фокус лінзи**, і OF – **передньою фокусну відстань** f .

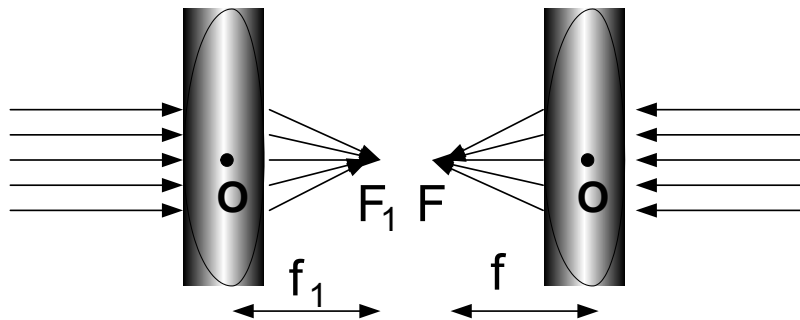


Рисунок 3.9 – Задній фокус лінзи

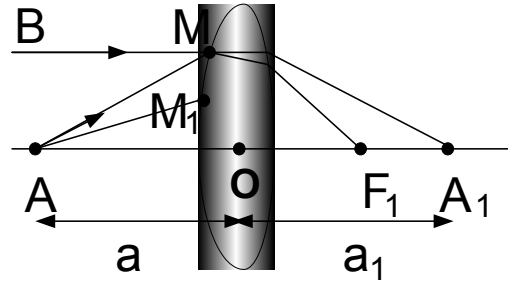
Рисунок 3.10 – Передній фокус лінзи

Видно, що для знаходження фокусних відстаней лінзи необхідно знати показник заломлення матеріалу, з якого вона виготовлена, і радіуси кривини r_1 і r_2 її поверхонь (при $n = 2$). Таким чином, знаючи паспортні дані лінзи, можна

знайти її фокус, помістити до нього джерело випромінювання і на виході отримати пучок паралельних промінів.

Для **параксимальних промінів** (тобто таких, що прямують під незначними кутами до головної оптичної вісі, і утворюють на всіх поверхнях незначні кути падіння) виконується основна формула тонкої лінзи.

Побудуємо зображення точки А (рис. 3.11).



Риснок 3.11 – До основної формули тонкої лінзи

Застосовуючи закон заломлення стосовно до кожної границі розділу легко одержати т. А₁ – зображення т. А. Точки А і А₁ називають **спряженими**. Тепер визначимо задню фокусну відстань. Для цього з т. В спрямовуємо промінь ВМ, паралельний головній оптичній осі, який на виході з лінзи перетне цю вісь у т. F₁. Фокусна відстань $f_1 = OF_1$, відстані від точки предмету $a = AO$ і точки зображення $a_1 = OA_1$ до оптичного центру лінзи зв'язані простим співвідношенням (**основною формулою тонкої лінзи**):

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} = \frac{1}{f_1}.$$

Знаючи f_1 і a , легко одержати a_1 . Дуже важливим у цій формулі є незалежність величин a і a_1 від кута падіння світлового променя на лінзу. Геометрично можна довести, що промінь АМ₁ як і АМ після заломлень попаде у точку А₁. Щоправда, ця інваріантність точки зображення від кута падіння променя на лінзу справедлива тільки для малих кутів падіння. При відхиленні промінів від параксимальності зображення стає нечітким.

2. ДЗЕРКАЛА. Задача відбиття світлових промінів має найпростіший розв'язок для плоского дзеркала (сферичного дзеркала з радіусом кривини $r \rightarrow \infty$), а саме: розв'язок цієї задачі є типовим прикладом утворення уявних зображень.

Для побудови зображення певного предмета (рис. 3.12, 3.13) завжди розглядають хід двох довільно взятих світлових промінів, що прямують від джерела.

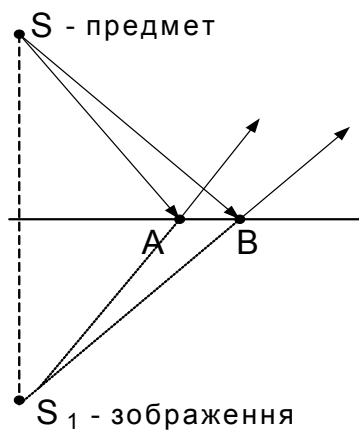


Рисунок 3.12 – Побудова зображення точки

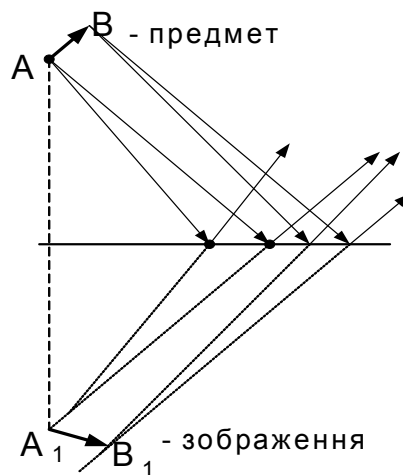


Рисунок 3.13 – Побудова зображення відрізка

СФЕРИЧНІ ДЗЕРКАЛА. Відзначимо два суттєвих моменту.

По-перше, доведено, що для сферичного дзеркала є справедливою формула тонкої лінзи:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a_1} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r},$$

яка в даному записі називається **основною формулою сферичного дзеркала**.

По-друге, сферичні дзеркала не завжди дають уявні зображення. А саме, опуклі дзеркала – завжди, а вгнуті – лише в одному випадку.

Розглянемо вгнуті дзеркала більш детально.

Нехай P – центр сферичного дзеркала (так званий **полюс дзеркала**),

$R = r$ – радіус сферичної поверхні, F – фокус, S – предмет, S_1 – зображення.

Розглянемо чотири випадки (рис. 3.14):

- 1) $SP > r > FP = f$ (дійсне зображення);
- 2) $SP = r = S_1P$ (дійсне зображення);
- 3) $r > SP > f$ (дійсне зображення);
- 4) $r > f > SP$ (уявне зображення).

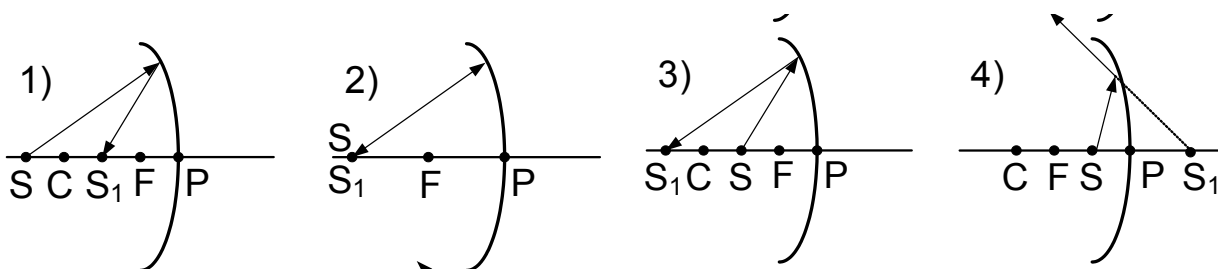


Рисунок 3.14 – Побудова зображень від вгнутих дзеркал

Матеріалом для виготовлення лінз є оптичне скло (однорідність, ізотропність), яке визначається високою механічною і хімічною стійкістю. Точність обробки скла досягає 10^{-2} мкм.

Дзеркала виготовляють катодним розпиленням срібла у вакуумі, причому відбиваюче покриття наносять на зворотний бік скляної пластинки. Таке покриття спереду захищене власне склом, а ззаду – прошарком лаку та оправою: деревом чи картоном.

3.2 Складні оптичні системи

Дія оптичних приладів аналогічна дії тонкої лінзи. Вже відзначалось, що чітке зображення лінза дає за умов параксіальних одноколірних промінів. Зрозуміло, що на практиці така умова виконується не завжди. Тому розглядають сукупність оптичних деталей, розташованих таким чином, що похибки від них взаємно компенсуються. Деяка сукупність оптичних деталей, кількість яких залежить від призначення оптичної системи і називається **складною оптичною системою**.

Для зручності подальшого розглядання складних оптичних систем будемо вважати їх **ідеальними** і **центрованими**. Це означає, що виконується умова стигматичності зображення і те, що оптичні осі окремих деталей системи збігаються з її головною оптичною віссю.

Розглянемо складну оптичну систему (рис. 3.15).

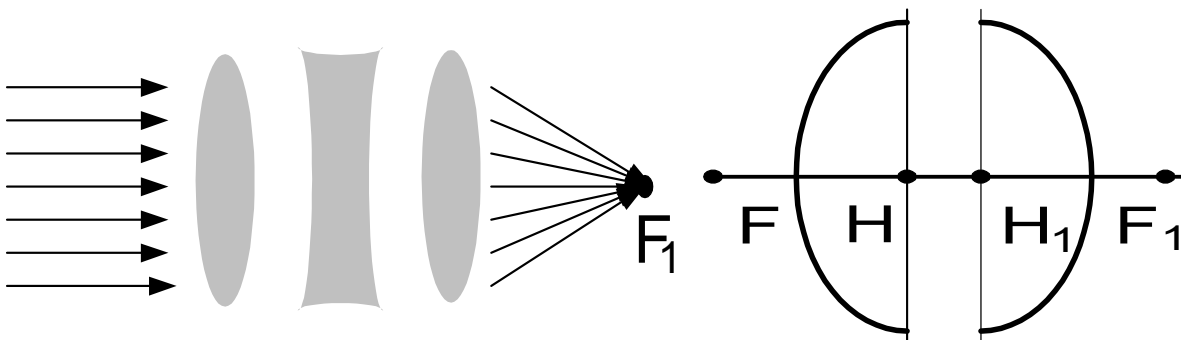


Рисунок 3.15 – Складна оптична система

Спрямував на неї пучок промінів, переконаємось, що на виході з системи проміні перетнуться у задньому фокусі. Якщо для тонкої лінзи ми відраховували фокусну відстань як OF (рис. 3.8, 3.9), тут ситуація складніша.

Однак є справедливим підхід, застосований для тонкої лінзи, за яким лінзу замінити **головною площиною** (тобто площиною, що перетинає головну оптичну вісь у оптичному центрі). Для складної оптичної системи задають дві головні площини (рис. 3.15). Точки перетину цих площин з оптичною віссю (H і H_1) і визначають точки відліку фокусних відстаней. Їх називають **головними точками**. Головні точки і точки фокусів називають **кардинальними точками** оптичної системи. Точки у площинах H і H_1 , що знаходяться на однаковій відстані від оптичної осі, є спряженими. Це значить, що площини H і H_1 є спряженими і зображаються із збільшенням, рівним $+1$. Площина H зображається на площині H_1 прямо і у натуральну величину. При розрахунках і побудові хода променів ці площини можуть бути суміщені. Знаючи кардинальні точки, ми можемо побудувати зображення у системі без урахування її конкретних властивостей: кількості заломлюючих поверхонь, їх положення, кривини тощо.

3.3 Приклади графічної побудови зображень

1. Побудова зображення поперечного відрізка, заданого в просторі предметів (рис. 3.16).

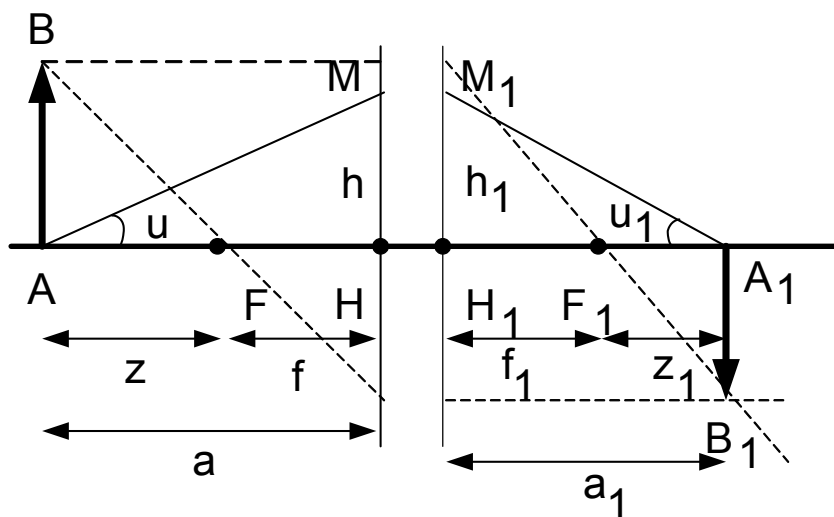


Рисунок 3.16 – Поперечне (лінійне) збільшення системи

Лінійним (або **поперечним**) **збільшенням** β **оптичної системи** називають співвідношення

$$\beta = \frac{A_1 B_1}{AB}.$$

У головних площин (рис. 3.16) системи є важлива властивість: промінь, що входить у систему, перетинає першу головну площину на тій самій висоті, на якій вихідний промінь перетинає другу головну площину (тобто, $h_1 = h$). Через це проміні AM і A_1M_1 відповідають один одному.

Разом з лінійним збільшенням для характеристики дії оптичної системи використовують **кутове збільшення γ** . Як видно з рисунку 3.16:

$$\gamma = \operatorname{tg} \frac{U}{U_1}; \operatorname{tg} U_1 = \frac{h_1}{a_1}; \operatorname{tg} U = \frac{h}{a} \Rightarrow \gamma = \frac{a}{a_1} = \frac{f + Z}{f_1 + Z_1}.$$

Згідно до формули Ньютона: $\frac{Z}{f} = \frac{f_1}{Z_1}$.

Отже, якщо нам відомі фокусні відстані системи, можна, фіксуючи Z (розташовуючи предмет на певній відстані від фокуса), визначити Z_1 – положення зображення. Знаючи всі чотири параметри, що входять до формули Ньютона, завжди можна оцінити кутове і лінійне збільшення оптичної системи.

$$\beta = \frac{A_1B_1}{AB} = -\frac{f}{Z} = -\frac{Z_1}{f_1} \Rightarrow \gamma = -\frac{f}{f_1} \cdot \frac{1}{\beta}.$$

Остання формула характеризує зв'язок між лінійним і кутовим збільшенням оптичної системи.

Видно, що при $-f = f$ і $\gamma = 1$, $\beta = 1$, тобто зображення відноситься до предмета як 1:1. Точки на оптичній осі, для яких $\gamma = 1$, називаються **вузловими**.

2. Побудова зображення поздовжнього відрізка, заданого у просторі предметів.

На практиці крім поперечного та кутового збільшення системи має місце і **поздовжнє збільшення α** . Воно з'являється, коли відрізок у просторі предметів орієнтований паралельно оптичній осі (рис. 3.17), тобто його окремі точки лежать на різних відстанях від **фокальної площини** (площини, що перетинає оптичну вісь у фокусі системи).

Поздовжнім збільшенням оптичної системи називають співвідношення:

$$\alpha = \frac{z_{22} - z_{21}}{z_2 - z_1} = \frac{\Delta z_1}{\Delta z}.$$

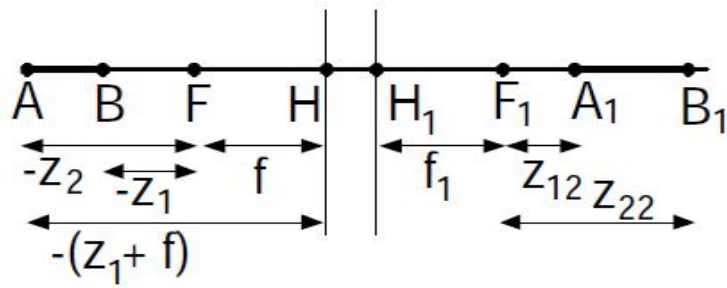


Рисунок 3.17 – Поздовжнє збільшення системи

За формулою Ньютона $z_{21} = \frac{ff_1}{z_1}$; $z_{22} = \frac{ff_1}{z_2} \Rightarrow$

$$z_{22} - z_{21} = ff_1 \left(\frac{1}{z_2} - \frac{1}{z_1} \right) = \frac{ff_1(z_1 - z_2)}{z_1 z_2},$$

тому $\alpha = \frac{\Delta z_1}{\Delta z} = \frac{ff_1(z_1 - z_2)}{z_1 z_2 (z_2 - z_1)} = -\frac{ff_1}{z_1 z_2}.$

Домножимо чисельник і знаменник на f , і одержимо, з урахуванням того, що $\frac{f}{z_2} = \beta_2$; $\frac{f}{z_1} = \beta_1$, $\alpha = -\frac{f \cdot ff_1}{z_1 z_2 \cdot f} = -\frac{f_1}{f} \beta_1 \beta_2,$

де β_1 і β_2 – лінійні збільшення оптичної системи для площин, перпендикулярних головній оптичній осі, проведених через точки A і A_1 , і B і B_1 відповідно. Якщо відрізки AB і $A_1 B_1$ вважати нескінченно малими, то т. A збігається з т. B , а т. A_1 збігається з т. B_1 , отже $\beta_1 = \beta_2 = \beta$, унаслідок чого кінцеву формулу для поздовжнього збільшення оптичної системи можна записати так: $\alpha = -\frac{f_1}{f} \beta^2,$

або (з урахуванням $\gamma = -\frac{f}{f_1 \beta}$) $\alpha = \frac{\beta}{\gamma}.$

Остання формула дає зв'язок між збільшеннями оптичної системи усіх видів. Оптичні прилади складаються з окремих частин, кожна з яких є оптичною системою. Тому важливо навчитися заміняти декілька оптичних систем одною еквівалентною за дією.

3.4 Об'єднання двох оптичних систем в одну систему із загальною віссю симетрії

Нехай є дві оптичні системи (рис. 3.18). Побудуємо еквівалентну до них систему.

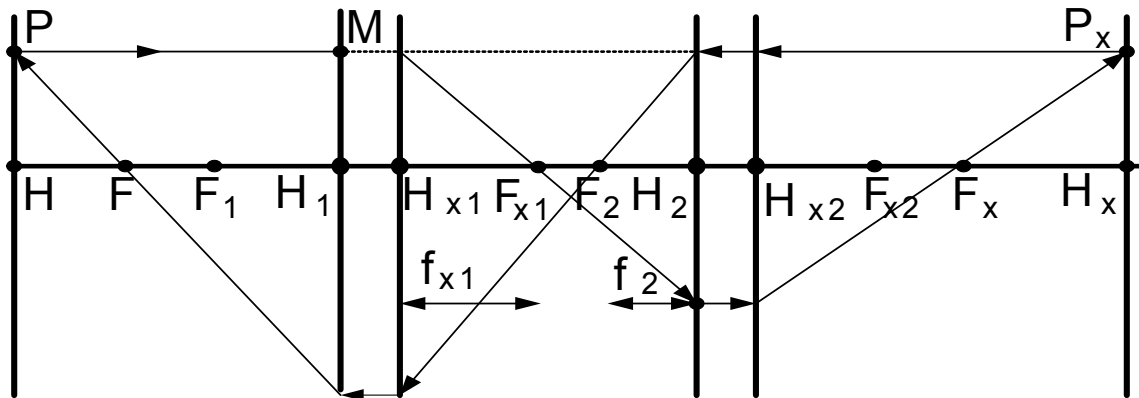


Рисунок 3.18 – Об'єднання двох складних систем в одну

Проведемо (рис. 3.18) довільний промінь PM , паралельний головній оптичній осі. Він пройде першу оптичну систему (ОС-1), і на виході через задній фокус F_{x2} ОС-1 попаде до другої оптичної системи (ОС-2).

Після проходження ОС-2 промінь перетне головну оптичну вісь у т. F_x – **задньому фокусі еквівалентної системи**. Перетин цього променя з продовженням відрізка PM дасть точку P_x . Проводячи з цієї точки перпендикуляр до головної оптичної осі, одержимо точку H_x – **задню головну точку еквівалентної системи**.

Якщо з т. P_x спрямувати промінь, паралельний головній оптичній осі, він, після проходження ОС-2, вийде через передній фокус F_2 ОС-2, пройде ОС-1, і, через **передній фокус F еквівалентної системи** попаде у т. P .

Опустивши перпендикуляр з т. P на головну оптичну вісь, одержимо т. H – **передню головну точку еквівалентної системи**. Площини, що перетинають під прямим кутом головну оптичну вісь у точках H і H_x називаються відповідно **передньою і задньою головними площинами еквівалентної системи**. Точки H , H_x , F , F_x називають **кардинальними точками еквівалентної системи**.

Уже зазначалося, що будь-яка система повністю задається її кардинальними точками. Для еквівалентної системи необхідно знати також її **оптичний інтервал $\Delta = F_{x1}F_2$** або відрізок $H_{x1}H_2 = \Delta + f_{x1} + f_2$.

Для кардинальних точок еквівалентної системи:

$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$ – передня фокусна відстань (відрізок HF);

$f_x = -\frac{f_{x1} f_{x2}}{\Delta}$ – задня фокусна відстань (відрізок H_xF_x). Знак «-» означає

перехід у простір по інший бік головної площини;

$F_1 H = \frac{f_1 (f_{x1} - f_2)}{\Delta}$ – відстань від передньої головної точки еквівалентної

системи до переднього фокуса ОС-1;

$F_{x2} H_x = \frac{f_{x2} (f_{x1} - f_2)}{\Delta}$ – відстань від задньої головної точки еквівалентної

системи до заднього фокуса ОС-2;

Зрозуміло, що інформації по двом старим системам повністю вистачає для описання нової системи.

Запишемо формулу для лінійного збільшення еквівалентної системи:

$$\beta = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_{x1} \cdot f_1 - x \cdot \Delta},$$

де x – відстань від поперечного об'єкту у просторі предметів до переднього фокуса ОС-1. Ця величина є відомою (задається експериментатором).

Існують так звані **телескопічні системи**, тобто такі, що $\Delta = 0$. Вони зручні тим, що їх лінійне збільшення не залежить від координати предмету на головній оптичній осі і задається фіксованими значеннями фокусів старих систем:

$$\Delta = 0 \Rightarrow \beta = \frac{f_2}{f_{x1}} = const.$$

Наведений нами алгоритм побудови еквівалентної системи працює для будь-якої кількості складних систем.

3.5 Діафрагми

Коли оптична система на виході дає зображення тривимірного об'єкту на площині, спряжені точки предметів і зображень лежать у різних спряжених площинах (рис. 3.19).

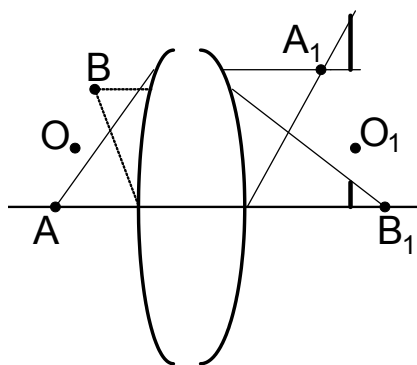


Рисунок 3.19 – Нечіткість зображення об'єкту

Результуюче плоске зображення тривимірного об'єкта є проекціями точок зображення різних площин на одну фіксовану площину. Ці проекції точок зображень, однак, на площині відображаються у вигляді плям, в результаті чого зображення є нечітким (рис. 3.19).

Роль діафрагм як раз і полягає у тому, щоб наблизити до точкових проекції точок зображення.

Чим менший діаметр діафрагми, тим ближче проекції точок зображень до точкових. Звуження пучків промінів, що виходять з точок предметів призводить до підвищення різкості зображення і глибини різкості, але із зниженням світлосили приладу.

3.6 Апертурна та польова діафрагми

Апертурна діафрагма – це пристрій для обмеження пучка промінів, що виходять з точки предмету, розташованій на оптичній осі системи.

Польова діафрагма – пристрій для обмеження поля зору, що знаходиться в площині зображення.

Нехай наша оптична система є такою як на рисунку 20. Фізична діафрагма, яка у найбільшій мірі обмежує пучок променів, що виходять з точки предмету, розташованої на оптичній осі системи, називається **апертурною діафрагмою**. Її роль можуть виконувати і оправы лінз. Зображення діафрагми у просторі предметів, що створюється попередніми елементами оптичної системи, називають **вхідною зіницею оптичної системи**. Зображення діафрагми у просторі зображень, що створюється подальшими елементами оптичної системи, називають **вихідною зіницею оптичної системи**.

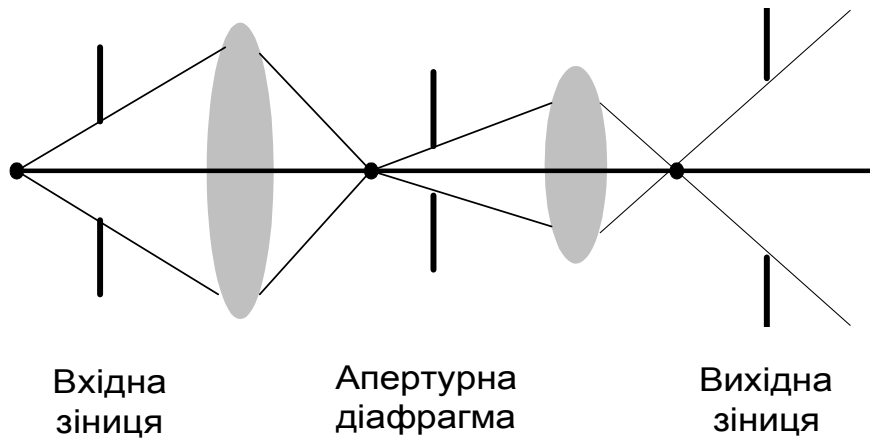


Рисунок 3.20 – Одержання чіткого зображення осьової точки предмету

Вхідна і вихідна зіниця є спряженими елементами оптичної системи. Діафрагма, що розташовується у площині зображення (проміжного або кінцевого) називається **польовою діафрагмою**. Вона обмежує поле зору оптичної системи. Зображення польової діафрагми у просторі предметів називається **вхідним вікном** (або **вхідним люком**) **оптичної системи**, а у просторі зображень – **вихідним вікном** (або **вихідним люком**) **оптичної системи**.

3.7 Зв'язок між оптичними і світлотехнічними параметрами

На практиці важливо знати, як залежить освітленість і яскравість зображення від характеристики лінзи.

Нехай є (рис. 3.21) поверхня А, що формує потік випромінювання, лінза і поверхня відображення В.

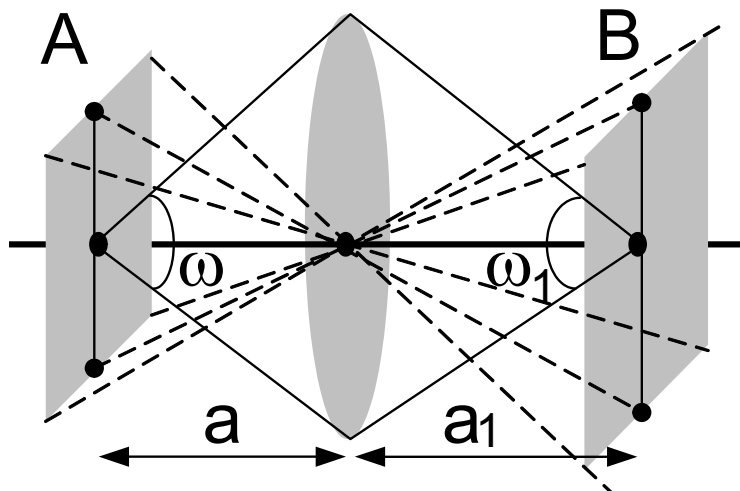


Рисунок 3.21 – Побудова зображення предмету

За відомим визначенням: $E_K = \frac{\Phi}{B}$, де Φ – потік випромінення від поверхні A , що пройшов лінзу. Якісно зрозуміло, що $\Phi \sim d^2$, де d – діаметр вхідної зіниці (чим більший потік пропускається лінзою, тим більше його йде на формування зображення). Крім того площа зображення $A_B \sim a_1^2$ (з визначення тілесного кута, який у нашому випадку вважається незначним). Якщо предмет усунути на нескінченність (що справедливо для умов, коли джерело знаходиться на достатньо далекій відстані від лінзи), проміні, що формують зображення джерела, будуть збиратися у фокусі. Для цього випадку якісна оцінка площі зображення змінюється: $B \sim f^2$. Отже, остаточно для цих умов розташування елементів оптичної системи можна записати:

$$E_K = \frac{\Phi}{A_B} \sim \frac{d^2}{f^2}.$$

У оптиці відношення d^2 / f^2 називають світлосилою лінзи. Видно, що за умов вузького пучка промінів зменшується потік через діафрагму і знижується освітленість зображення. Але, з іншого боку, при цьому покращується якість зображення (зменшення астигматизму). Вважається, що оптична система побудована вдало, коли достатня освітленість зображення поєднується з його високою якістю.

Для визначення освітленості площини зображення користуємось такими формулами.

$$E_B = \frac{\Phi \cdot \tau_{oc}}{A_B} = \frac{L \cdot A \cdot A_3 \cdot \tau_{oc}}{a^2 \cdot A_B}; \quad \Phi = G \cdot L; \quad G = \frac{A \cdot A_3}{a^2}$$

де G – міра множин пучка променів, що проходить через оптичну систему;

τ_{oc} – коефіцієнт пропущення оптичної системи;

A_3 – площа вхідної зіниці.

4 ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Тема 1 Шкала електромагнітних хвиль і оптичне випромінювання.

Тема 2 Система енергетичних величин.

Тема 3 Приймачі оптичного випромінювання. Принцип побудови систем ефективних величин. Око як приймач випромінювання. Функції зору і їх характеристики.

Тема 4 Система світлових величин. Поняття і визначення світлової системи величин.

Тема 5 Вітальна система величин. Бактерицидна система величин. Оптичні характеристики об'єктів.

Тема 6 Види джерел світла. Точкові джерела випромінювання. Розрахунок елементарного тілесного кута в сферичній системі координат. Зональний тілесний кут.

Тема 7 Розрахунок потоку випромінювання точкових джерел. Метод зональних тілесних кутів. Розрахунок опромінюваності (освітленості), створюваної точковими джерелами. Закон зворотних квадратів відстаней.

Тема 8 Випромінювачі кінцевих розмірів. Розрахунок світлових потоків, падаючих від однієї поверхні на іншу (формула Ламберта). Розрахунок освітленості, створюваної випромінювачами кінцевих розмірів.

Тема 9 Рівнояскраві випромінювачі. Співвідношення між фотометричними величинами рівнояскравих випромінювачів різної форми.

Тема 10 Розрахунок освітленості, створюваної рівнояскравими випромінювачами. Метод Ондрачека. Розрахунок освітленості, створюваної рівнояскравим диском. Аналіз погрішності точкового наближення (на прикладі рівнояскравого диска). Розрахунок освітленості, створюваною рівнояскравою сферою.

Тема 11 Розрахунок освітленості, створюваної рівнояскравим трикутником. Розрахунок освітленості, створюваної рівнояскравим, горизонтально розташованим прямокутником.

Тема 12 Оптичні характеристики і властивості матеріалів. Коефіцієнт яскравості. Теплове випромінювання. Закони теплового випромінювання. Оптична пірометрія.

Тема 13 Колориметрія. Аддитивне (сумарне) змішення кольорів. Закон Грассмана. Основні співвідношення для колориметричних розрахунків.

Тема 14 Міжнародні колориметричні системи RGB та XYZ.

Тема 15 Теорія світлового поля. Фізичний пучок проміння.

Тема 16 Міра безлічі пучка проміння. Яскравість пучка проміння. Міра безлічі яскравості пучка проміння при направленому відбитті. Міра множини і

яскравість пучка променів в неоднорідному середовищі. Теорема Штраубеля та інваріант Гершуна.

Тема 17 Проходження випромінювання крізь шар речовини. Закон Бугера. Закон Бугера в різних формах запису.

Тема 18 Розсіяння випромінювання в речовині. Закони Релея. Розподіл розсіяного випромінювання в просторі. Розрахунок характеристик поля в розсіюючих середовищах.

Тема 19 Відбиття від межі розділу діелектриків. Формули Френеля. Відбиття від металів. Елементарні відображення.

Тема 20 Багатократні відбиття на вогнутій дифузно-розсіюючій поверхні. Багатократні відбиття між безліччю поверхонь.

Тема 21 Інтегральні характеристики світлового поля. Середня сферична освітленість. Зв'язок середньої сферичної освітленості з об'ємною густиною світлової енергії. Просторова освітленість.

Тема 22 Середня півсферична освітленість. Середня циліндрова освітленість. Середня напівциліндрова освітленість. Узагальнена інтегральна характеристика світлового поля.

Тема 23 Вектор радіації і світловий вектор. Розрахунок інтегральних характеристик світлового поля точкових джерел.

Тема 24 Лінійні джерела випромінювання. Їх параметри. Розрахунок характеристик світлового поля лінійних джерел.

Тема 25 Світлове поле випромінювача кінцевих розмірів. Розрахунок світлового вектора, створюваного рівнояскравими випромінювачами.

Тема 26 Дивергенція світлового вектора. Світлові лінії і світлові трубки.

Тема 27 Геометрична оптика. Ідеальна оптична система. Побудова зображень. Складні оптичні системи. Обмеження пучків проміння. Габаритний і світлоенергетичний розрахунок оптичних систем.

Тема 28 Перетворення випромінювання в інші види енергії. Потенційні криві молекули. Принцип Франка-Кондона. Основні закони перетворення оптичного випромінювання.

Тема 29 Теплове перетворення оптичного випромінювання. Фотохімічне перетворення випромінювання. Закон Бунзена-Росько. Оборотної фотохімічні реакції і зорові сприйняття. Фотографічний процес. Сенсibiliзація фотографічних емульсій.

Тема 30 Люмінесценція. Основні закони і види люмінесценції. Фотолюмінесценція і її застосування. Світлодіодні випромінювачі.

Тема 31 Фотоелектричне перетворення випромінювання. Закон Столетова.

5. ЗАДАЧІ ДЛЯ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ НА АУДИТОРНИХ ЗАНЯТТЯХ

1. Визначити світловий потік від поверхні рівнояскравої сфери $d = 0.2$ м., її яскравість і силу світла.

2. Світимість поверхні становить 500 лм/м^2 . Визначити світловий потік від поверхні прямокутника $20 \cdot 10 \text{ см}^2$, його яскравість і силу світла у перпендикулярному напрямку.

3. Світимість поверхні складає 200 лм/м^2 . Визначити світловий потік від поверхні кола $d = 10 \text{ см}$, його яскравість і силу світла у перпендикулярному напрямку.

4. Визначити світловий потік від такого джерела, що рівномірно випромінює по всім напрямкам у межах кінцевої поверхні з кутом розкриття $\alpha = 30^\circ$ $I = 100 \text{ кд}$.

5. Визначити світловий потік від поверхні сфери $d = 0,2 \text{ м}$, світність поверхні і силу світла. Яскравість поверхні складає 300 кд/м^2 .

6. Визначити світловий потік, що падає на поверхню дифузної випромінюючого кола діаметром $d = 10 \text{ см}$. Визначити яскравість його поверхні у відбитих променях і силу світла у перпендикулярному напрямку. Коефіцієнт відбиття поверхні складає $\rho = 0,7$. Освітленість поверхні складає 500 лк .

7. Спектральна густина потоку випромінювання джерела складає $\varphi_e(\lambda) = 10^{-5} \lambda^2, \text{ Вт/нм}$. Визначити потік випромінювання.

8. Освітленість розрахункової точки К складає $E_k = 100 \text{ лк}$. Геометрія ходу променів наведена на рисунку 5.1. Визначити силу світла джерела .

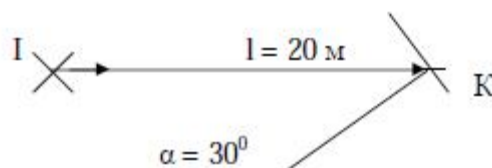


Рисунок 5.1 – Геометрія ходу променів

9. Сила світла джерела складає 100 кд . Визначити освітленість у розрахунковій точці К. Геометрія ходу променів наведена на рисунку 5.2.

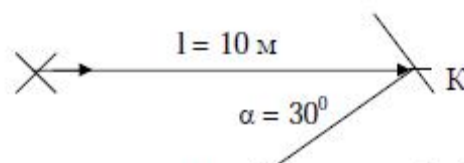


Рисунок 5.2 – Геометрія ходу променів

10. Визначити сумарний світловий потік і потік випромінювання 3-х однорідних випромінювань:

$$\begin{array}{lll} \lambda_1 = 340 \text{ нм}, & \lambda_2 = 555 \text{ нм}, & \lambda_3 = 520 \text{ нм}, \\ \Phi_{e1} = 200 \text{ Вт}, & \Phi_{e2} = 50 \text{ Вт}, & \Phi_{e3} = 100 \text{ Вт}. \end{array}$$

Визначити світлову віддачу суміші випромінювань.

11. Проходячи через систему з 2 нейтральних світлофільтрів сила світла випромінювання змінюється від величини $I_0 = 10^3$ кд до $I_\tau = 1$ кд. Коефіцієнт пропускання першого світлофільтра складає $\tau_1 = 0,1$. Визначити τ_2 .

12. Визначити світловий потік і силу світла джерела рівноскравого циліндра у напрямку, перпендикулярному до його осі. $M = 1000$ лм/м², $l = 20$ см, $d = 2$ см.

13. Визначити світловий потік, світимість і яскравість циліндра, сила світла якого у перпендикулярному до осі напрямку складає $I = 100$ кд, $l = 20$ см, $d = 2$ см. Світить бічна поверхня.

14. Визначити світловий потік, світимість і яскравість циліндра, сила світла якого у перпендикулярному до осі напрямку складає $I = 100$ кд, $l = 20$ см, $d = 2$ см. Вся поверхня циліндра є світньою.

15. Визначити яскравість дифузно-розсіювальної поверхні, що освітлюється лампою розжарювання потужністю 100 Вт, що розташована на висоті 1 м від вказаної поверхні. Світлова віддача лампи розжарювання складає $N = 15$ лм/Вт, коефіцієнт відбиття поверхні складає $\rho = 0,8$.

16. Яскравість дифузно-розсіювальної поверхні, що освітлюється лампою розжарювання потужністю 60 Вт, розташованої на висоті 1 м від вказаної поверхні складає 15 кд/м². Світлова віддача лампи розжарювання складає $N = 12,5$ лм/Вт. Визначити коефіцієнт відбиття поверхні ρ .

17. Випромінювання від джерела з $I = 100$ кд, проходить крізь три однакових нейтральних світлофільтри. Сила світла пропущеного системою світлофільтрів випромінювання складає $I_\tau = 0,1$ кд. Визначити коефіцієнти пропускання кожного з фільтрів.

18. Визначити силу випромінювання рівноскравої вольфрамової півсфери діаметром 10 см у заданому напрямку $\alpha = 45^\circ$ при температурі 2800 К (інтегральний коефіцієнт випромінювання становить 0,334).

19. Рівноскравий циліндр, розташований вертикально, має діаметр 0,1 м і висоту 0,2 м. Він створює в крапці В освітленість 100 лк. Визначте яскравість циліндра і його світловий потік, якщо відстань АВ = 2 м, кут $\alpha = 30^\circ$.

20. Рівноскрава сфера має діаметр 0,1 м. Її світловий потік 10^3 лм. Визначте середню сферичну, циліндричну і напівсферичну освітленість у крапці В, якщо відстань АВ = 3 м, кут $\alpha = 45^\circ$. Визначте яскравість сфери.

21. Рівнояскрава півсфера, розташована площиною вниз, має діаметр 0,2 м. Її світловий потік 10^4 лм. Визначите середню сферичну, циліндричну і напівсферичну освітленість у крапці В, якщо відстань $AB = 2$ м, кут $\alpha = 30^\circ$. Визначите яскравість півсфери.

22. Рівнояскравий циліндр, розташований горизонтально, має діаметр 0,1 м і висоту 0,2 м. Він створює в крапці В освітленість 100 лк. Визначите яскравість циліндра і його світловий потік, якщо відстань $AB = 4$ м, кут $\alpha = 30^\circ$.

23. Рівнояскрава півсфера, розташована площиною нагору, має діаметр 0,1 м. Її світловий потік 10^3 лм. Визначите середню сферичну, циліндричну і напівсферичну освітленість у крапці В, якщо відстань $AB = 3$ м, кут $\alpha = 45^\circ$. Визначите яскравість півсфери.

24. Крапкове джерело світла випромінює із силою світла $10^3 \cos \alpha$. Визначите середню сферичну, циліндричну і напівсферичну освітленість у крапці В, якщо відстань $AB = 4$ м, кут $\alpha = 30^\circ$. Визначите світловий потік джерела.

25. Рівнояскрава півсфера, розташована площиною нагору, має діаметр 0,1 м. Яскравість півсфери 10^5 кд/м². Визначите освітленість у крапці В й світловий потік півсфери, якщо відстань $AB = 5$ м, кут $\alpha = 30^\circ$.

26. Рівнояскрава сфера має діаметр 0,1 м. Яскравість сфери 10^5 кд/м². Визначите освітленість у крапці В и світловий потік сфери, якщо відстань $AB = 5$ м, кут $\alpha = 30^\circ$.

27. Крапкове джерело світла випромінює із силою світла $10^3 \cos \alpha$. Визначите освітленість створювану в крапці В, якщо відстань $AB = 4$ м, кут $\alpha = 30^\circ$. Визначите світловий потік джерела. Побудуйте КСС.

28. Рівнояскравий циліндр, розташований горизонтально, має діаметр 0,2 м і висоту 0,1 м. Яскравість циліндра 10^4 кд/м². Торці циліндра світяться. Визначите освітленість у крапці В и його світловий потік, якщо відстань $AB = 2$ м, кут $\alpha = 30^\circ$.

29. Рівнояскрава півсфера, розташована площиною вниз має діаметр 0,2 м. Яскравість півсфери 10^3 кд/м². Визначите освітленість у крапці В і світловий потік півсфери, якщо відстань $AB = 2$ м, кут $\alpha = 60^\circ$.

30. Рівнояскравий циліндр, розташований вертикально, має діаметр 0,1 м і висоту 0,2 м. Яскравість циліндра 10^4 кд/м². Світиться весь циліндр. Визначите освітленість у крапці В и його світловий потік, якщо відстань $AB = 2$ м, кут $\alpha = 30^\circ$.

6 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

ЗАДАЧА № 1

Розрахувати світловий потік і світлову віддачу випромінювання заданого спектрального складу із спектральною густиною потоку випромінювання

$$\varphi_{e\lambda}(\lambda) = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda.$$

Розв'язок

1. Розрахуємо світловий потік випромінювання за формулою:

$$\Phi = 683 \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_{e\lambda_i} \cdot V_{\lambda_i} \cdot \Delta\lambda; \quad \Delta\lambda = 20_{\text{нм}}$$

i	λ , нм	$\varphi_{e\lambda}$, Вт/нм	V_{λ_i}	$\varphi_{e\lambda} \cdot V_{\lambda_i}$
1	390	7,8	0,00012	0,00094
2	410	8,2	0,0012	0,00984
.
.
.
.
.
.
20	770	15,4	0,00003	0,00046
				$\Sigma =$

Рисонок 6.1 – Розрахункові значення

2. Обчислимо потік випромінювання:

$$\Phi_e = \int_{\lambda=10_{\text{нм}}}^{10^6} \varphi_{e\lambda_i} d\lambda = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (10^{12} - 10^2) \approx 10^{10} \text{ Вт.}$$

3. Визначаємо світлову віддачу випромінювання: $H = \frac{\Phi}{\Phi_e}$.

ЗАДАЧА № 2

Задано півсферу з молочного скла діаметром d з відомими оптичними коефіцієнтами ρ і τ . У центрі півсфери міститься точкове джерело з відомою

силою світла $I_{дж}$. Знайти яскравості внутрішньої і зовнішньої поверхонь, розрахувати і побудувати КСС джерела світла, зовнішньої і внутрішньої поверхонь та загальну КСС світильника.

Розв'язок

1. Знаходимо яскравості внутрішньої і зовнішньої поверхонь:

$$L_{внутр.} = \frac{E_A \cdot \rho}{\pi}; \quad L_{зовн.} = \frac{E_A \cdot \tau}{\pi}.$$

де E_A – освітленість, що створюється на робочій поверхні А через багаторазові відбиття.

Тобто, розрахунок яскравості поверхонь зводиться до обчислення E_A . За визначенням освітленості: $E_A = \frac{\Phi_A}{A}$, де Φ_A – потік, що утворюється на робочій поверхні А внаслідок багаторазових відбивань, А – робоча поверхня світильника (півсфера).

Потік Φ_A можна розрахувати за формулою: $\Phi_A = \frac{\Phi'}{1 - \rho(1 - U_{Аа})}$.

Потік від джерела Φ' можна розрахувати як $\Phi' = I_{дж} \cdot \Delta\omega$, де $\Delta\omega$ - зональний тілесний кут, в межах якого розповсюджується випромінювання, що попадає на робочу поверхню. Коефіцієнт використання світлового потоку $U_{Аа}$ можна розрахувати як $U_{Аа} = a/A$, де а – площа вихідного отвору відбивача.

2. Розрахуємо та побудуємо криві сили світла.

КСС світильника складається з трьох складових - КСС джерела світла, зовнішньої і внутрішньої поверхонь.

Тобто $I_{св.}(\alpha) = I_{внутр.}(\alpha) + I_{зовн.}(\alpha) + I_{дж.}(\alpha)$.

Сила світла від джерела наведена у завданні, тому її треба просто побудувати. Джерело точкове, тому в інтервалі кутів $0^0 - 90^0$ вона однакова по всім напрямкам.

Внутрішня поверхня є дифузно-розсіювальна, тому сила світла в інтервалі кутів $0^0 - 90^0$ описується виразом:

$$I_{внутр.}(\alpha) = L_{внутр.} \cdot a \cdot \cos \alpha.$$

Для зовнішньої поверхні площа проекції обчислюється за формулою:

$$A_{\text{пр.}}(\alpha) = \frac{\pi d^2}{8}(1 - \cos \alpha).$$

Отже, для зовнішньої поверхні сила світла для різних кутів спостереження становитиме:

- для $\alpha = 0^0$ $I_{\text{зовн.}}(\alpha) = L_{\text{зовн.}} \cdot \frac{\pi d^2}{8}(1 - 1) = 0$;
- для $\alpha = 90^0$ $I_{\text{зовн.}}(\alpha) = L_{\text{зовн.}} \cdot \frac{\pi d^2}{8}(1 - 0) = L_{\text{зовн.}} \cdot \frac{\pi d^2}{8}$;
- для $\alpha = 180^0$ $I_{\text{зовн.}}(\alpha) = L_{\text{зовн.}} \cdot \frac{\pi d^2}{8}(1 - (-1)) = L_{\text{зовн.}} \cdot \frac{\pi d^2}{4}$.

3. Одержані розрахункові значення сила світла світильника для різних кутів спостереження наносяться на полярну координатну сітку.

ЗАДАЧА № 3

Визначити світловий потік джерела за заданою КСС методом зональних тілесних кутів. Крива сили світла джерела наведена на рисунку.

Розв'язок

Нехай у завданні наведена КСС у полярних координатах, наприклад, така, як на рисунку 6.2

Наведена КСС є типовою для вуличних круглосиметричних СП з дзеркальними відбивачами.

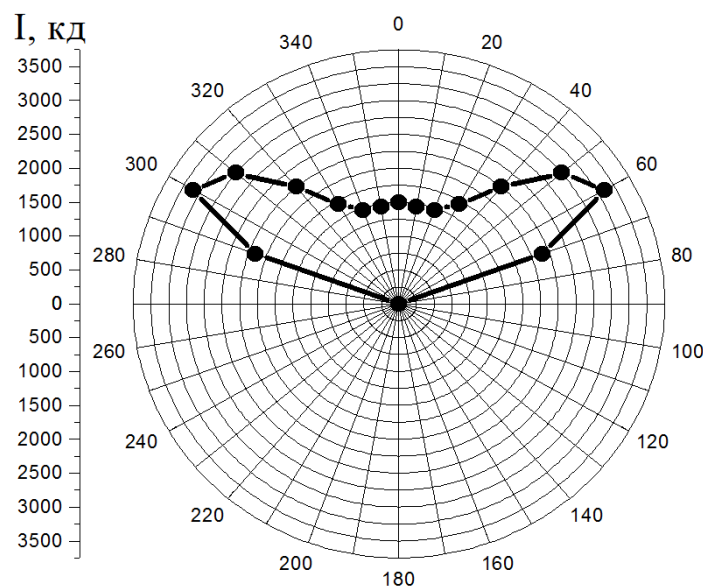


Рисунок 6.2 – КСС джерела

Розділимо простір, у якому сила світла світильника має ненульові значення на зони. Видно, що задана КСС має ненульові значення ліворуч і праворуч у інтервалі кутів $0^\circ - 70^\circ$. Ділимо цей тілесний кут на сім 10-градусних зон. Потік, що розповсюджується розраховується за формулою:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n I_{\text{сеп.}i} \cdot \Delta\omega_i,$$

де $n = 7$ (в даному випадку) – кількість зон, в межах яких силу світла можна вважати сталою;

$I_{\text{сеп.}i}$ – середнє значення сили світла у кожній зоні;

$\Delta\omega_1 = 2\pi(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$ – зональний тілесний кут;

α_1 і α_2 – граничні кути, що обмежують кожну зону. Сумуючи всі множники, ми сумуємо всі потоки по всім зонам.

ЗАДАЧА № 4

Розрахувати горизонтальну і середньосферичну освітленість у точці $1'$, що створюється (рис. 6.3) трьома світильниками з силами світла $I_1(\alpha) = \text{const} = 1\,000$ кд (точка 1 на стелі), $I_2(\alpha) = 10^3 \cdot \cos\alpha$ (точка 5 на стелі), $I_3(\alpha) = 10^3 \cdot \alpha$ (точка 7 на стелі). Висота кімнати $H = 3$ м, розмір ділянки стелі $a^2 = 2.2$ м².

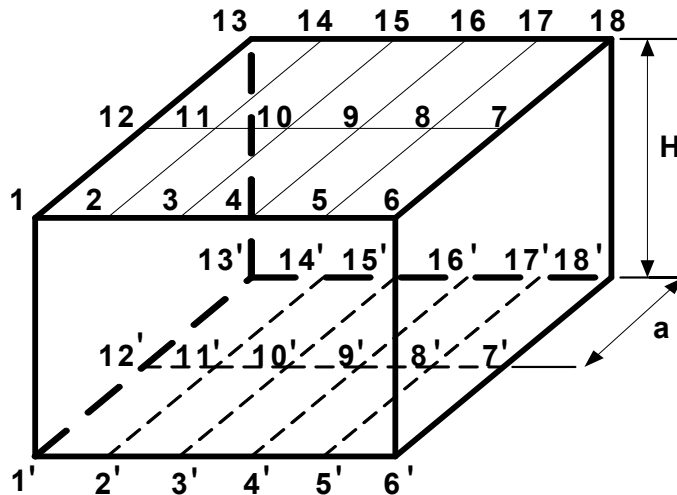


Рисунок 6.3 – Схема приміщення

Розв'язок

Горизонтальна освітленість від трьох світильників визначається за очевидною формулою $E = E_1 + E_2 + E_3$, де E_1, E_2, E_3 – освітленості, що створюються в точці $1'$ кожним світильником.

Величини E_1, E_2, E_3 розраховуються за законом зворотніх квадратів.

$$E_1 = \frac{I_1}{H^2}; E_2 = \frac{I_2}{H^2 + (4a)^2} \cos \alpha_2; E_3 = \frac{I_3}{H^2 + a^2 + (5a)^2} \cos \alpha_3,$$

де α_2 і α_3 – кути випромінення світильників 2 і 3 в точку 1'; кут α_1 в цьому разі нульовий, що й відображено у формулі для E_1 .

При цьому $\cos \alpha_i = \frac{H}{l_i}$, де l_i – відстань між будь-яким світильником і

розрахунковою точкою.

Підставляючи наведені у завданні сили світла у формули, можна одержати $E = E_1 + E_2 + E_3$.

Середньосферична освітленість у точці 1' розраховується за формулою

$$E_{4\pi} = 0,25 \sum_{i=1}^3 E_{ni},$$

де E_{ni} – нормальні освітленості від кожного зі світильників.

$$E_{n1} = \frac{I_1}{H^2}; E_{n2} = \frac{I_2}{H^2 + (4a)^2}; E_{n3} = \frac{I_3}{H^2 + a^2 + (5a)^2}.$$

Аналогічно можна розрахувати о наведеними вище формулами й інші інтегральні характеристики світлового поля і проекції світлового вектора.

ЗАДАЧА № 5

Розрахувати координати кольору і кольоровості світлодіода, зі спектральною густиною потоку випромінювання $\varphi_{e\lambda}(\lambda)$ (графік наведено в завданні) у колориметричній системі X Y Z. Визначити координати кольоровості в системі Ф λ Р.

Розв'язок

Координати кольору джерела із суцільним спектром визначаються за формулами:

$$x' = \Delta\lambda \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_{e\lambda_i} \cdot \overline{x_{\lambda_i}}; \quad y' = \Delta\lambda \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_{e\lambda_i} \cdot \overline{y_{\lambda_i}}; \quad z' = \Delta\lambda \cdot \sum_{i=1}^n \varphi_{e\lambda_i} \cdot \overline{z_{\lambda_i}}.$$

При цьому $\Delta\lambda = 20$ нм.

Координати кольоровості розраховуються за формулами:

$$x = \frac{x'}{m}; y = \frac{y'}{m}; z = \frac{z'}{m},$$

де $m = x' + y' + z'$ – модуль кольору.

i	$\lambda,$ нм	$\Phi_{\text{ел}},$ Вт/нм	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}	$\Phi_{\text{ел}} \cdot \bar{x}$	$\Phi_{\text{ел}} \cdot \bar{y}$	$\Phi_{\text{ел}} \cdot \bar{z}$
1	390	.	0,0042	0,0001	0,0201	.	.	.
2	410	.	0,0435	0,0012	0,2074	.	.	.
.
.
.
20	770	.	0,0001	0	0	.	.	.
						$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$

Рисунок 6.4 – Розрахункові значення

Світловий потік складає для системи X Y Z : $\Phi = 683 \cdot y'$.

Домінантна довжина хвилі λ і чистота кольору P визначаються за діаграмами кольоровості за відомими координатами кольоровості x і y.

7 ВАРІАНТИ ДОМАШНІХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

1. Скляна пластинка завтовшки ℓ , прозорістю τ' (див. табл.1) має показник заломлення $n = 1,5$. Визначити коефіцієнт пропускання τ , якщо світло падає на пластинку по нормалі до неї.

2. Система складається з 3 нейтральних світлофільтрів. Відомо, що питома оптична густина першого і другого світлофільтрів відповідно d_1 і d_2 , а товщина відповідно ℓ_1 і ℓ_2 (табл. 7.1). Визначити коефіцієнт пропускання третього світлофільтра, коли відомо, що всі три світлофільтри разом послаблюють силу світла з 200 до 2 кд.

3. У центрі сфери (для парних варіантів) або півсфери (для непарних варіантів) розташовано точкове джерело з світловим потоком Φ_d . Відомо ρ , τ , D (діаметр). Розрахувати яскравість внутрішньої і зовнішньої поверхні.

Таблиця 7.1 – Варіанти завдання

номер варіанта	Задача 1		Задача 2				Задача 3			
	ℓ , см	τ' , см ⁻¹	d_1 , мм ⁻¹	d_2 , мм ⁻¹	ℓ_1 , мм	ℓ_2 , мм	Φ_d , 10 ³ лм	ρ	τ	D, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,1	0,4	0,3	0,5	2,0	1,0	1,1	0,4	0,35	0,1
2	1,2	0,41	0,305	0,495	2,05	1,05	1,2	0,405	0,345	0,12
3	1,3	0,42	0,31	0,49	2,1	1,1	1,3	0,41	0,34	0,14
4	1,4	0,43	0,315	0,485	2,15	1,15	1,4	0,415	0,335	0,16
5	1,5	0,44	0,32	0,48	2,2	1,2	1,5	0,42	0,33	0,18
6	1,6	0,45	0,325	0,475	2,25	1,25	1,6	0,425	0,325	0,2
7	1,7	0,46	0,33	0,47	2,3	1,3	1,7	0,43	0,32	0,22
8	1,8	0,47	0,335	0,465	2,35	1,35	1,8	0,435	0,315	0,24
9	1,9	0,48	0,34	0,46	2,4	1,4	1,9	0,44	0,335	0,26
10	2,07	0,49	0,345	0,455	2,45	1,45	2,0	0,445	0,33	0,28
11	2,12	0,5	0,35	0,45	2,5	1,5	2,1	0,45	0,325	0,3
12	2,27	0,51	0,355	0,445	2,55	1,55	2,2	0,455	0,32	0,32
13	2,39	0,52	0,36	0,44	2,6	1,6	2,3	0,46	0,315	0,34
14	2,42	0,53	0,365	0,435	2,65	1,65	2,4	0,465	0,31	0,36
15	2,55	0,54	0,37	0,43	2,7	1,7	2,5	0,47	0,305	0,38
16	2,97	0,55	0,375	0,425	2,75	1,75	2,6	0,475	0,30	0,4
17	3,05	0,56	0,38	0,42	2,8	1,8	2,7	0,48	0,295	0,42
18	3,11	0,57	0,385	0,415	2,85	1,85	2,8	0,485	0,29	0,44

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	3,17	0,58	0,39	0,41	2,9	1,9	2,9	0,49	0,285	0,46
20	3,21	0,59	0,395	0,405	2,95	1,95	3,0	0,495	0,28	0,48
21	3,26	0,6	0,4	0,4	1,0	2,0	3,1	0,50	0,275	0,5
22	3,29	0,61	0,405	0,395	1,05	2,05	3,2	0,505	0,27	0,52
23	3,32	0,62	0,41	0,39	1,1	2,1	3,3	0,51	0,265	0,54
24	3,38	0,63	0,415	0,385	1,15	2,15	3,4	0,515	0,26	0,56
25	3,45	0,64	0,42	0,38	1,2	2,2	3,5	0,52	0,255	0,58
26	3,5	0,65	0,425	0,375	1,25	2,25	3,6	0,525	0,25	0,6
27	3,57	0,66	0,43	0,37	1,3	2,3	3,7	0,53	0,245	0,62
28	3,6	0,67	0,435	0,365	1,35	2,35	3,8	0,535	0,24	0,64
29	3,64	0,68	0,44	0,36	1,4	2,4	3,9	0,54	0,235	0,66
30	3,69	0,69	0,445	0,355	1,45	2,45	4,0	0,545	0,23	0,68
31	3,72	0,7	0,45	0,35	1,5	2,5	4,1	0,55	0,225	0,7
32	3,77	0,71	0,455	0,345	1,55	2,55	4,2	0,555	0,22	0,72
33	3,84	0,72	0,46	0,34	1,6	2,6	4,3	0,56	0,215	0,74
34	3,89	0,73	0,465	0,335	1,65	2,65	4,4	0,565	0,21	0,76
35	3,93	0,74	0,47	0,33	1,7	2,7	4,5	0,57	0,205	0,78
36	3,95	0,75	0,475	0,325	1,75	2,75	4,6	0,575	0,20	0,8

4. Два світильники різної форми (рис. 7.2) однакової яскравості $L = 10^3$ кд/м² створюють освітленість у точці К. Десятичний показник ослаблення світла атмосферою складає $k_{10} = 0,1\text{м}^{-1}$. Розрахувати інтегральні характеристики світлового поля $E_{4\pi}$, $E_{2\pi}$, $E_{2\pi(-x)}$ (для парних варіантів), і $E_{\text{цх}}$, $E_{2\pi x}$, E_y , E_z , $|\vec{E}|$ (для непарних), якщо геометрія розташування світильників, їх форма й розміри відомі (табл. 7.1 відповідно до номера варіанта).

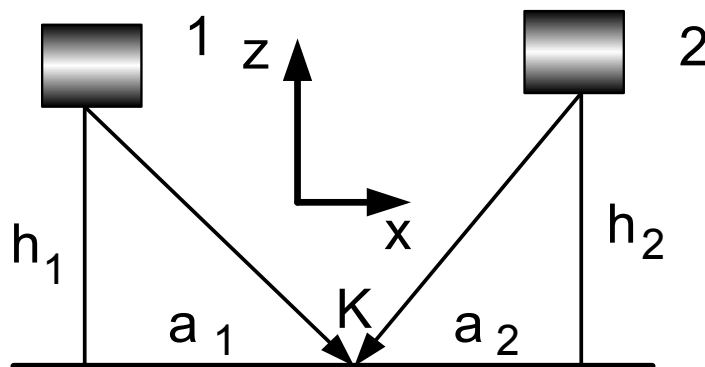


Рисунок 7.2 – Схема розташування світильників довільної форми

Таблиця 2. – Варіанти завдання

№ варіанта	Форма і розміри світильників							
	Парні варіанти				Непарні варіанти			
	Світильник ліворуч – диск ($r = 0,1$ м)		Світильник праворуч- сфера ($r = 0,2$ м)		Світильник ліворуч– півсфера ($r = 0,15$ м)		Світильник праворуч – куб ($a = 0,2$ м)	
	h_1 , м	h_2 , м	a_1 , м	a_2 , м	h_1 , м	h_2 , м	a_1 , м	a_2 , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,0	0,9	1,6	1,5	1,0	0,9	1,2	1,1
2	1,1	1,0	1,7	1,6	1,1	1,0	1,3	1,2
3	1,2	1,1	1,8	1,7	1,2	1,1	1,5	1,0
4	1,3	1,2	1,9	1,8	1,3	1,2	1,6	1,1
5	1,4	1,3	1,9	1,8	1,4	1,3	1,7	1,2
6	1,5	1,4	2,0	1,9	1,5	1,4	1,8	1,3
7	1,6	1,5	2,1	2,0	1,6	1,5	1,8	1,4
8	1,7	1,6	2,2	2,1	1,7	1,6	1,5	2,1
9	1,8	1,7	2,3	2,2	1,8	1,7	1,6	2,2
10	1,9	1,8	1,4	1,3	1,9	1,8	1,7	2,3
11	2,0	1,9	1,5	1,4	2,0	1,9	1,8	1,4
12	2,1	2,0	1,6	1,5	2,1	2,0	1,9	1,5
13	2,2	2,1	1,2	1,9	2,2	2,1	2,5	1,6
14	2,3	2,2	1,3	1,9	2,3	2,2	2,6	1,7
15	2,4	2,3	1,4	2,0	2,4	2,3	2,7	2,1
16	2,5	2,4	1,5	2,1	2,5	2,4	2,8	2,2
17	2,6	2,5	1,6	2,2	2,6	2,5	2,0	1,9
18	2,7	2,6	1,7	2,3	2,7	2,6	2,1	2,0
19	2,8	2,7	2,1	1,2	2,8	2,7	2,2	2,1
20	2,9	2,8	2,2	1,3	2,9	2,8	2,3	2,2
21	3,0	2,9	2,3	1,4	3,0	2,9	1,2	1,9
22	3,1	3,0	2,4	1,5	3,1	3,0	2,6	2,5
23	1,3	1,2	1,2	1,9	2,1	2,0	1,5	2,1
24	1,4	1,3	1,3	1,9	2,2	2,1	1,6	2,2
25	1,5	1,4	1,4	2,0	2,3	2,2	1,7	2,3
26	1,6	1,5	1,5	2,1	2,4	2,3	1,8	1,4
27	1,7	1,6	1,6	2,2	2,5	2,4	1,9	1,5
28	1,8	1,7	1,7	2,3	2,6	2,5	2,0	1,6
29	1,9	1,8	2,1	1,2	2,7	2,6	2,2	1,8
30	2,4	2,3	2,2	1,3	2,8	2,7	1,3	1,9
31	2,5	2,4	2,3	1,4	1,5	1,4	1,4	2,0
32	2,6	2,5	2,4	1,5	1,6	1,5	1,5	2,1
33	2,7	2,6	2,3	2,6	1,7	1,6	1,9	2,2
34	2,9	2,8	1,2	2,7	1,8	1,7	1,9	2,3
35	3,0	2,9	1,3	2,8	1,9	1,8	2,0	2,4
36	3,1	3,0	2,4	2,3	2,0	1,9	2,1	2,5

8 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИМІРЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ГУСТИНИ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Мета роботи: одержати вихідні дані – спектральну густина випромінювання джерела.

Обладнання:

- монохроматор з блоком живлення;
- ФЕП з блоком живлення;
- лампа розжарювання з випромінюванням типу А;
- цифровий вольтметр.

Порядок виконання роботи:

1. Візуальне спостереження спектрів випромінювання джерел світла з лінійчастими й суцільними спектрами. Відзначити довжини хвиль інтенсивних ліній спектра в різних областях.

2. Визначити довжини хвиль границь розділу різних кольорів.

3. Виміряти сигнали ФЕП для джерела типу А.

4. Виміряти сигнали ФЕП для джерел з різним спектром випромінювання (для кожного студента джерело персональне).

5. Розрахувати спектральну густина випромінювання джерела, користуючись таким рівнянням:

$$\varphi_{e\lambda} = \frac{i_{X\lambda}}{i_{A\lambda}} \cdot \varphi_{eA\lambda}$$

6. Розрахувати світлову віддачу випромінювання.

7. Побудувати залежність спектральної густини випромінювання як функції довжини хвилі.

8. Скласти таблицю даних границь областей різних кольорів за результатами досліджень усієї групи.

9. Одержані дані використовувати при виконанні КР.

10. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Подати визначення спектральної густини випромінювання.

2. Світловий потік, його розмірність.

3. Світлова віддача випромінювання та джерел світла.

4. Границі різних областей спектра.

5. Потік випромінювання, його розмірність.

6. Як розраховується потік випромінювання за певною спектральною густиною випромінювання?

7. Як розраховується світловий потік однорідних і складних випромінювань?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СВІТЛА Й ОСВІТЛЕНОСТІ

Мета роботи: вивчити закон обернених квадратів.

Обладнання:

- люксметр;
- лампа розжарювання;
- світильник (настільна лампа тощо);
- лінійка чи рулетка.

Порядок виконання роботи:

1. Виміряти нормальну освітленість, створену джерелом випромінювання (за вказівкою керівника) на різних відстанях.

2. Виміряти освітленість площини, нахиленої під певним кутом (за вказівкою керівника) до лінії випромінювання.

3. Розрахувати силу світла джерела за результатами вимірювань нормальної освітленості, визначити середнє значення останньої і СКП.

4. За одержаним значенням сили світла розрахувати освітленість як функцію відстані.

5. Побудувати залежності освітлення від відстані.

6. Порівняти залежність, дати пояснення.

7. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Сила світла, її визначення та одиниці виміру.

2. Тілесний кут, визначення та одиниці його виміру.

3. Розрахунок тілесних кутів.

4. Освітленість, визначення та одиниці її виміру.

5. Розрахунок освітленості, створеної точковими джерелами світла.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

РІВНОЯСКРАВІ ВИПРОМІНЮВАЧІ

Мета роботи: вивчити співвідношення між світловими величинами рівнояскравих випромінювачів різної форми.

Обладнання:

- люксметр;
- яскравомір;
- рівнояскравий прямокутний випромінювач;
- люмінесцентна лампа.

Порядок виконання роботи:

1. Виміряти яскравість визначеного випромінювача.
2. Виміряти освітленість, створену випромінювачем на різних відстанях.
3. Розрахувати яскравість і силу світла джерела за результатами вимірювання освітленості.
4. Розрахувати силу світла випромінювачей за результатами вимірювання яскравості. Порівняти із попереднім результатом. Пояснити розбіг.
5. Розрахувати світловий потік випромінювача.
6. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Дати визначення яскравості, одиниці її виміру.
2. Освітленість. Визначення. Одиниці виміру.
3. Що таке рівнояскравий випромінювач?
4. Співвідношення між величинами для рівнояскравих випромінювачів.
5. Сила світла. Визначення. Одиниці виміру.
6. Зв'язок між яскравістю та світністю для рівнояскравих випромінювачів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4**РІВНОЯСКРАВІ ВИПРОМІНЮВАЧІ РІЗНОЇ ФОРМИ**

Мета роботи: експериментально перевірити метод Ондрачека і встановити критеріїв можливості точкового наближення.

Обладнання:

- люксметр;
- яскравомір;
- набір рівнояскравих випромінювачів різної форми;
- лінійка чи рулетка.

Порядок виконання роботи:

1. Виміряти розміри запропонованих випромінювачів.
2. Виміряти яскравість випромінювачів.
3. Виміряти освітленість, створену випромінювачем на різних відстанях.

4. Побудувати графік залежності освітленості від відстані.
5. Розрахувати силу світла випромінювача за значенням яскравості і значенням сили світла на великій відстані.
6. За значенням яскравості розрахувати залежність освітленості методом Ондрачека і точковим методом, нанести дані на графік.
7. Порівняти одержані залежності й пояснити розбіг.
8. Оформити звіт

ЗАПИТАННЯ

1. Закон обернених квадратів.
2. Метод Ондрачека.
3. Визначення яскравості, сили світла, освітленості.
4. Чим визначається припустимість застосування точкового методу.
5. Що таке рівнояскравий випромінювач?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСЛІДОВНИХ ОБРАЗІВ

Мета роботи: дослідити послідовні образи (позитивні й негативні) післядії на зоровий аналізатор спалаху випромінювання.

Обладнання:

- установка для живлення імпульсних ламп “Спіннінг”;
- імпульсний фотометр;
- матове скло;
- набір фігурних діафрагм;
- темний і світлий екрани;
- люксметр.

Порядок виконання роботи:

1. Установити матове скло і одну з діафрагм перед імпульсною лампою.
2. Виміряти освітленість на поверхні екранів.
3. На відстані 2-3 м від імпульсної установки здійснити спалах світла.
4. Спостерігаючи по черзі за світлим і темним екранами, визначити тривалість позитивних і негативних образів. Дослідження виконуються за різних умов адаптації.
5. Узагальнити результати спостережень усіх виконавців роботи.
6. Побудувати залежності тривалостей послідовних образів як функцій яскравості адаптації.
7. Пояснити одержані результати.
8. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Що називають послідовним образом?
2. Причини виникнення послідовного образу.
3. Що таке ефективна яскравість?
4. Світлова й темнова адаптації.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 ПОБУДОВА КОЛОРИМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Мета роботи: дослідити принципи побудови колориметричних систем та виконати досліди щодо адитивного змішування кольорів.

Обладнання:

- проектори «Етюд»;
- набір кольорових фільтрів;
- люксметр;
- тест для проекторів;
- регульоване джерело живлення проекторів;

Порядок виконання роботи:

1. Установити в три проектори червоний, зелений і синій фільтри.
2. Увімкнути проектори й сумістити зображення кольорових кіл. Регулюючи яскравості кіл, створити біле зображення результуючого кола.
3. Виміряти освітленість екрана білим випромінюванням і випромінюванням кожного з кольорів.
4. Визначити коефіцієнти яскравості основних кольорів.
5. За допомогою тесту оцінити зорове відчуття кожного з кольорів.
6. До окремого проектору встановити досліджуваний фільтр й виміряти його координати кольору.
7. Порівняти результати кожного із спостерігачів, визначити середні значення та СКП.
8. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Закон Грассмана.
2. Принципи побудови колориметричних систем.
3. Коефіцієнти яскравості.
4. Координати кольору і кольоровості.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДБИТТЯ СВІТЛА ВІД ДІЕЛЕКТРИКІВ

Мета роботи: експериментально дослідити закони відбиття випромінювання від меж розділу діелектриків.

Обладнання:

- оптичний стіл;
- лазерний випромінювач;
- приймач випромінювання;
- цифровий вольтметр;
- обертовий стіл;
- закріплювачі оптичних елементів;
- освітлювач з лампою розжарювання.

Порядок виконання роботи:

1. За вказівкою викладача зібрати оптичну схему.
2. На обертовому столі закріпити діелектричний зразок (фільтр з оптичного скла).
3. Виміряти коефіцієнт відбиття при різних кутах падіння лазерного променя.
4. Побудувати залежності коефіцієнта відбиття від кута падіння при різних напрямках поляризації.
5. Визначити кут Брюстера і розрахувати показник заломлення зразка.
6. Виміряти ступінь поляризації відбитого променя.
7. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Що таке поляризація випромінювання?
2. Що таке ступінь поляризації?
3. Дати визначення коефіцієнта відбиття.
4. Що таке показник заломлення?
5. Формули Френеля?
6. Кут Брюстера? Кут повного внутрішнього відбиття?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ВИМІРЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЕФІЦІЄНТА ПРОПУЩЕННЯ І ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ КОЛЬОРОВОСТІ ФІЛЬТРІВ

Мета роботи: експериментально дослідити спектральний коефіцієнт пропускання селективних світлофільтрів і визначити їхні координати кольоровості.

Обладнання:

- оптичний стіл;
- освітлювач з лампою розжарювання;
- монохроматор МСД-1 з блоком живлення;
- приймач випромінювання (ФЕП);
- блок живлення ФЕП;
- конденсорні лінзи;
- цифровий вольтметр;
- набір світлофільтрів;
- компаратор кольору КМЦ.

Порядок виконання роботи:

1. Зарисувати схему експериментальної установки.
2. За вказівкою викладача зібрати оптичну схему.
3. Виміряти струм ФЕП при різних довжинах хвиль видимої області спектра без світлофільтра i_0 .
4. На рейтері оптичного стола закріпити досліджуваний світлофільтр.
5. Виміряти струм ФЕП при різних довжинах хвиль видимої області спектра з фільтром i_τ .
6. Побудувати залежність спектрального коефіцієнта пропускання від довжини хвилі, який визначити за співвідношенням $\tau(\lambda) = i_\tau / i_0$.
7. Розрахувати координати кольоровості фільтру в заданій викладачем колориметричній системі.
8. Виміряти координати кольоровості фільтру на компараторі кольору КМЦ.
9. Порівняти результати вимірювань двома методами.
10. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Що таке колориметрична система?
2. Види колориметричних систем і їх особливості.
3. Дати визначення основних кольорів, координат кольору і кольоровості.
4. Що таке питомі координати кольору?
5. Як розраховується координати кольору й кольоровості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: вивчити й експериментально дослідити характеристики імпульсного випромінювання.

Обладнання:

- лабораторний стіл;
- оптичний рельс і рейтери;
- світлодіоди;
- фотоелемент;
- блоки живлення;
- генератор імпульсів;
- конденсорні лінзи;
- осцилограф;
- цифровий вольтметр.

Порядок виконання роботи:

1. Зарисувати схему експериментальної установки.
2. За вказівкою викладача зібрати оптичну схему.
3. Підключити світлодіод до генератора імпульсів.
4. На рейтерах оптичного рельсу закріпити світлодіод і приймач випромінювання (фотоелемент).
5. Підключити фотоелемент до цифрового вольтметра.
6. Увімкнути генератор імпульсів і осцилограф.
7. На екрані осцилографа спостерігати форми імпульса струму приймача при різних значеннях частоти імпульсів, їх тривалості.
8. Зняти на кальку осцилограми за вказівкою викладача.
9. Визначити довжину імпульса, максимальне, інтегральне і середнє значення сили випромінювання світлодіода.
10. Визначити тривалість переднього й заднього фронтів імпульса.
11. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Якими параметрами характеризується імпульсне випромінювання?
2. Що таке освічування?
3. Дати визначення інтегральних параметрів імпульсного випромінювання.
4. Як визначається тривалість імпульса?
5. Що таке середнє значення фотометричної величини?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи: вивчити закони і експериментально дослідити характеристики теплового випромінювання.

Обладнання:

- лабораторний стіл;
- оптичний рельс і рейтери;
- лампа розжарювання;
- регулятор струму (ЛАТР);
- цифровий вольтметр;
- амперметр;
- люксметр;
- оптичний і фотоелектричний пірометри з блоками живлення;
- монохроматор з блоком керування;
- фотоелектронний помножувач (ФЕП);
- оптичні елементи.

Порядок виконання роботи:

1. Зарисувати схему експериментальної установки.
2. За вказівкою викладача зібрати оптичну схему.
3. Сфокусувати оптичний пірометр на тіло розжарювання лампи.
4. Установити за вказівкою викладача струм живлення лампи.
5. Регулюючи реостатом струм лампи оптичного пірометра, створити однакову яскравість тіла розжарювання лампи і нитки пірометра (зникнення нитки на фоні тіла розжарювання).
6. Виміряти струм оптичного пірометра.
7. За графіком градування визначити яскравісну температуру тіла розжарювання.
8. За графіком визначити істинну температуру тіла розжарювання.
9. Виміряти температуру тіла розжарювання фотоелектричним пірометром.
10. Виміряти струм і напругу лампи, визначити її потужність.
11. На заданій відстані виміряти освітленість, створену лампою розжарювання. Визначити силу світла, світловий потік і світлову віддачу лампи.
12. За допомогою конденсора сфокусувати тіло розжарювання лампи на вхідну щілину монохроматора.

13. Змінюючи довжину хвилі монохроматора, виміряти струм ФЕП $i_{\Phi}(\lambda)$.

14. Визначити відносну спектральну густину випромінювання за виразом $\varphi_e(\lambda) = i_{\Phi}(\lambda) \cdot k(\lambda)$, де $k(\lambda)$ – спектральна чутливість фотоелектронного помножувача монохроматора (наведено на лабораторному столі). Побудувати залежність $\varphi_e(\lambda)$, провести її аналіз.

15. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Закони теплового випромінювання.
2. Що таке спектральна густина випромінювання?
3. Якими параметрами характеризується теплове випромінювання?
4. Що таке яскравісна температура?
5. Що таке еквівалентні температури, їх види?
6. Що таке світлова віддача?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРАЗОВИХ ВІДБИВАНЬ

Мета роботи: вивчити особливості багаторазових відбивань на дифуздорозсіювальних угнутих поверхнях.

Обладнання:

- лабораторний стіл;
- лампа розжарювання;
- дифуздорозсіювальні поверхні;
- яскравомір;
- люксметр.

Порядок виконання роботи:

1. Зарисувати схему експериментальної установки.
2. За вказівкою викладача зібрати експериментальну схему.
3. За допомогою люксметра виміряти силу світла лампи.
4. Визначити світловий потік лампи.
5. Встановити до лампи дифузний відбивач.
6. Виміряти яскравість зовнішньої і внутрішньої поверхонь.
7. Визначити коефіцієнт пропускання відбивача.
8. Виміряти освітленість внутрішньої поверхні і визначити коефіцієнт відбиття.
9. Визначити пряму освітленість і освітленість, що створюється багаторазовими відбиттями.

10. Для заданої геометрії відбивача і положення лампи розрахувати потік багаторазових відбивань, освітленість і яскравість внутрішньої поверхні. Порівняти з результатами вимірювань.

11. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Що таке дифузовідбивальна поверхня?
2. Що таке багаторазові відбиття?
3. Коефіцієнти використання поверхонь?
4. Що таке потік багаторазових відбивань?
5. Як визначається яскравість дифузовідбивальних поверхонь у відбитих і пропущених променях?
6. Освітленості пряма і багаторазових відбивань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОВОГО ПОЛЯ

Мета роботи: виміряти інтегральні характеристики світлового поля.

Обладнання:

- фотометрична установка;
- люксметр;
- приймач випромінювання;
- цифровий вольтметр;
- фотоелектронний помножувач (ФЕП);
- блок живлення ФЕП.

Схема фотометричної установки

Вимір інтегральних характеристик світлового поля виконують на фотометричній установці об'єктивним методом шляхом виміру фотоструму, що виникає при висвітленні фотоелемента. Освітленість, створювана на робочій поверхні фотоелемента, пропорційна освітленості в досліджуваній точці. Схема установки для виміру інтегральних характеристик світлового поля наведена на рис. 8.1. Установка складається з макета приміщення 1, в якому розміщується лампа розжарювання 2. У нижній частині макета розміщений освітлювач 3, що містить у собі люмінесцентні лампи 4 і розсіювач 5. Для відключення ламп передбачені вимикачі S_1 і S_2 .

На верхній поверхні макета кріпиться світловод 8 з насадкою 9. Світловод підводиться до ФЕП. Перед ФЕП встановлюється молочне скло 11 і нейтральний 12 і корегуючий 13 світлофільтри. ФЕП через подільник напруги

14 підключається до високовольтного блоку 15. Живлення фотоелектронного помножувача відключається вимикачем S_3 . Вихід ФЕП приєднаний до цифрового мікроамперметра 16.

Якщо сигнал з ФЕП перевищує 1 в, перед приймачем треба помістити нейтральний світлофільтр, що знижує освітленість ФЕП.

За допомогою люксметра вимірюється яскравість світної поверхні. Для цього фотоелемент люксметра розташовують щільно до поверхні і вимірюють показники люксметра E , лк. Яскравість визначається за виразом $L = E / \pi$, бо у даному випадку $M = E = \pi \cdot L$. Для градуювання приймача його розташовують щільно до рівнояскравої поверхні і вимірюють струм приймача i . Коефіцієнт пропорційності визначають таким чином: $k = E / i$. При подальших вимірюваннях освітленість визначають за співвідношенням: $E = i \cdot k$.

Вимірювання інтегральних характеристик світлового поля рівнояскравої поверхні:

а) вольтметр увімкнути в режимі амперметра (кнопка « μA »). Перейти на відповідну межу виміру;

б) увімкнути прилад і блок живлення ФЕП;

в) розташувати екрани, що затінюють рівнояскраву поверхню, відповідно до поставленої викладачем задачі;

г) у досліджуваній точці закріпити приймач випромінювання з відповідною насадкою (при вимірі сферичної освітленості – сферична, при вимірі циліндричної освітленості – циліндрична, проекцій світлового вектора – без насадки);

д) значення інтегральної характеристики світлового поля визначити перемноженням показань мікроамперметра на коефіцієнт приведення, установлений при градуюванні;

Схема розташування екранів наведена на рисунку 8.2.

Порядок виконання роботи:

1. Провести градуювання приймача.
2. Виміряти проекції світлового вектора в заданій точці.
3. Виміряти інтегральні характеристики світлового поля (за вказівкою викладача).
4. Провести розрахунок проекцій світлового вектора.
5. Провести цей розрахунок точковим методом.
6. Порівняти розрахункові дані з експериментом.
7. Оформити звіт.

ЗАПИТАННЯ

1. Що таке рівнояскравий випромінювач?
2. Дати визначення світлового вектора.
3. Дати визначення інтегральних характеристик світлового поля.
4. Коли припустиме точкове наближення?
5. Основні співвідношення для рівнояскравих випромінювачів.

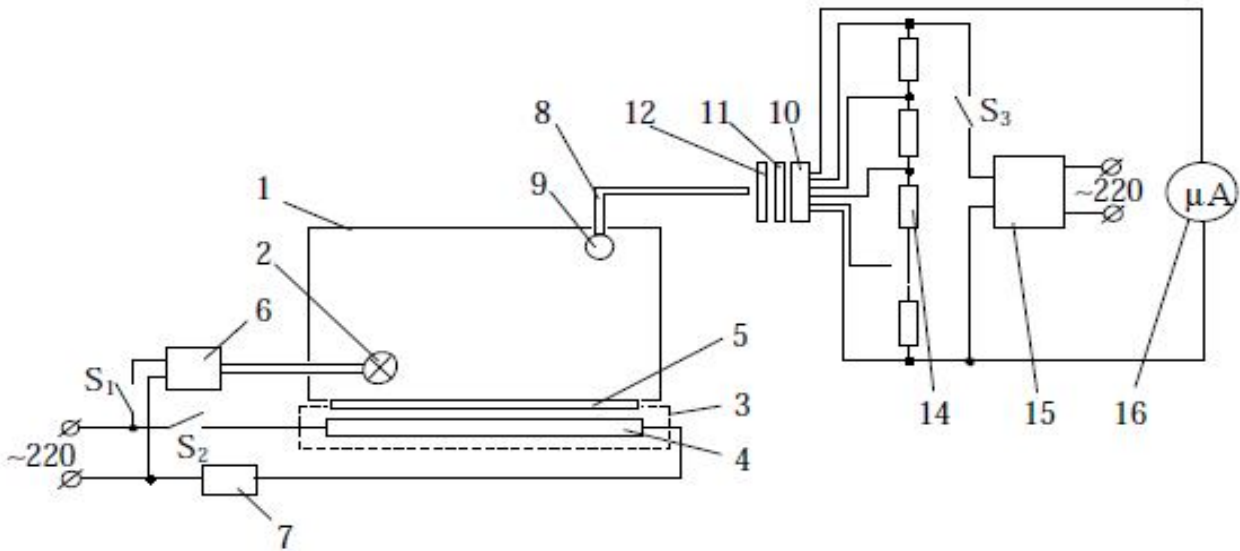


Рисунок 8.1 – Фотометрична установка

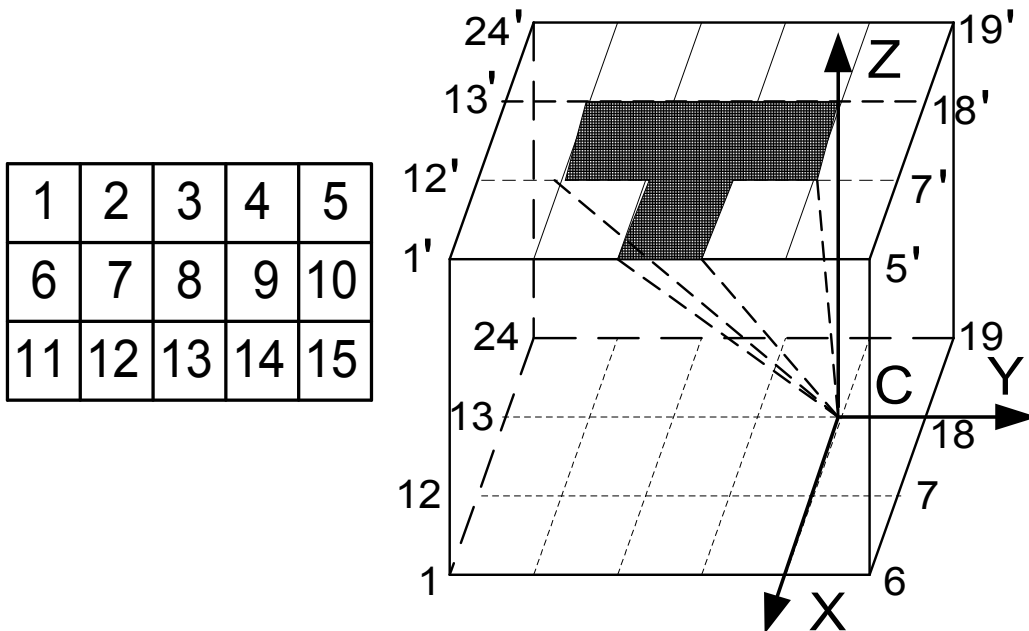


Рисунок 8.2 – Схеми розташування екранів і розрахунку характеристик світлового поля

ДОДАТОК А

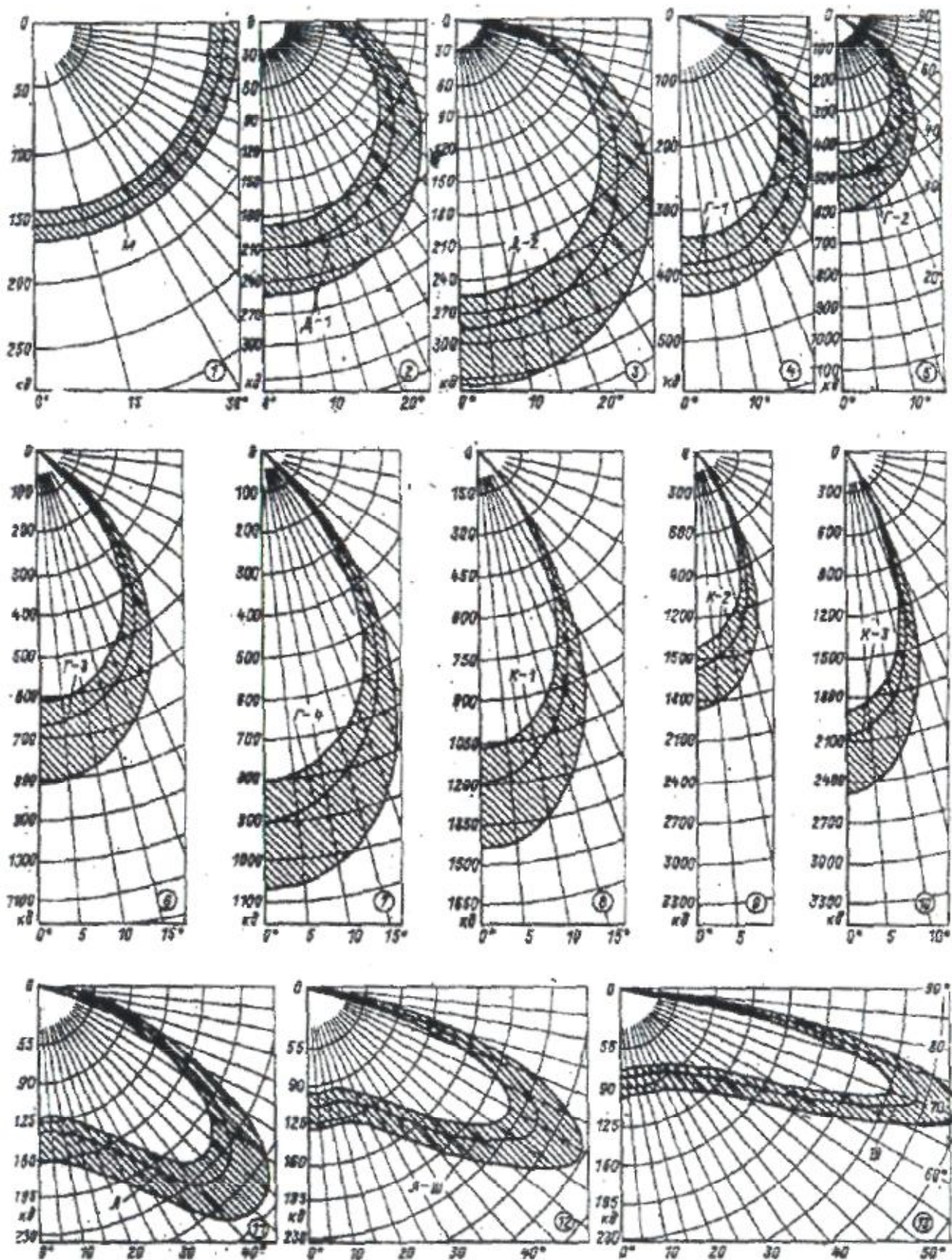
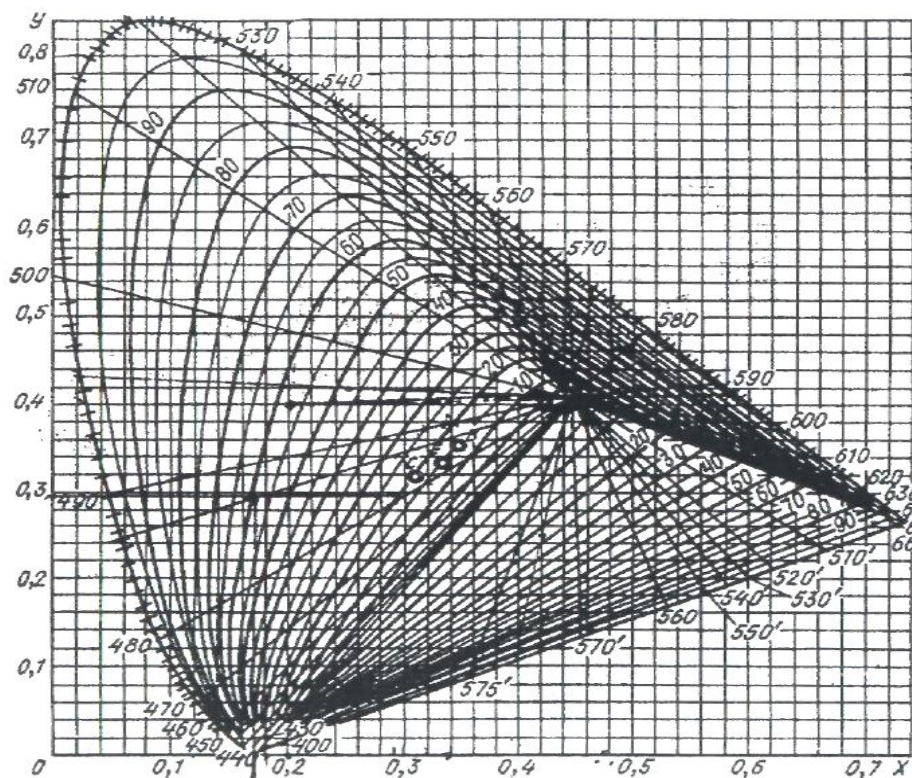
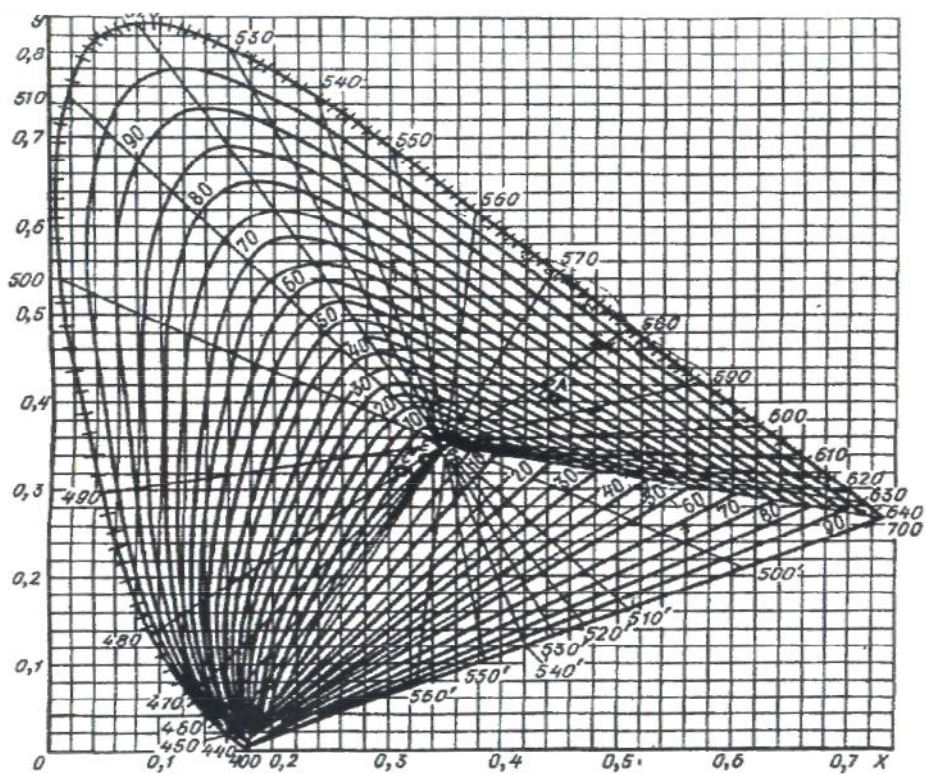


Рисунок А.1 – Кутові залежності сили випромінювання

ДОДАТОК Б

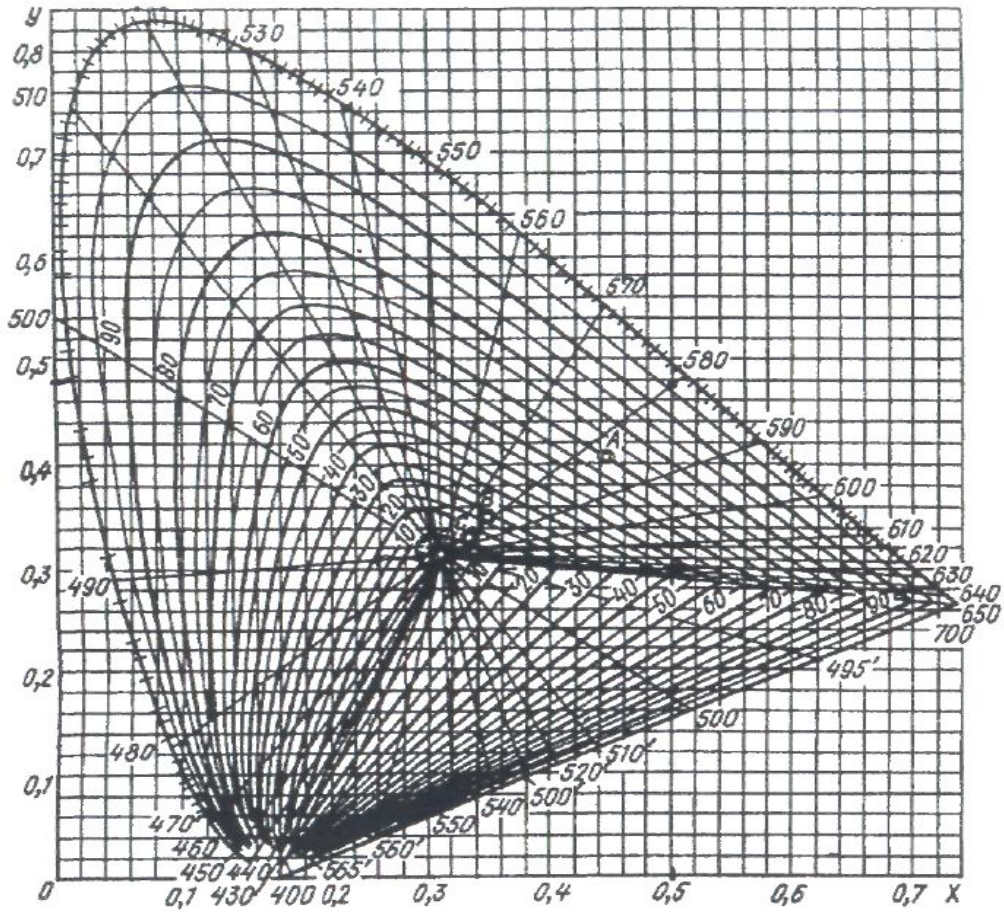


а



б

Рисунок Б.1 – Діаграми кольоровості джерел типу А,В,С:
а – джерело типу А; б – джерело типу В



Продовження рисунку Б.1:
с – джерело типу С

ДОДАТОК В

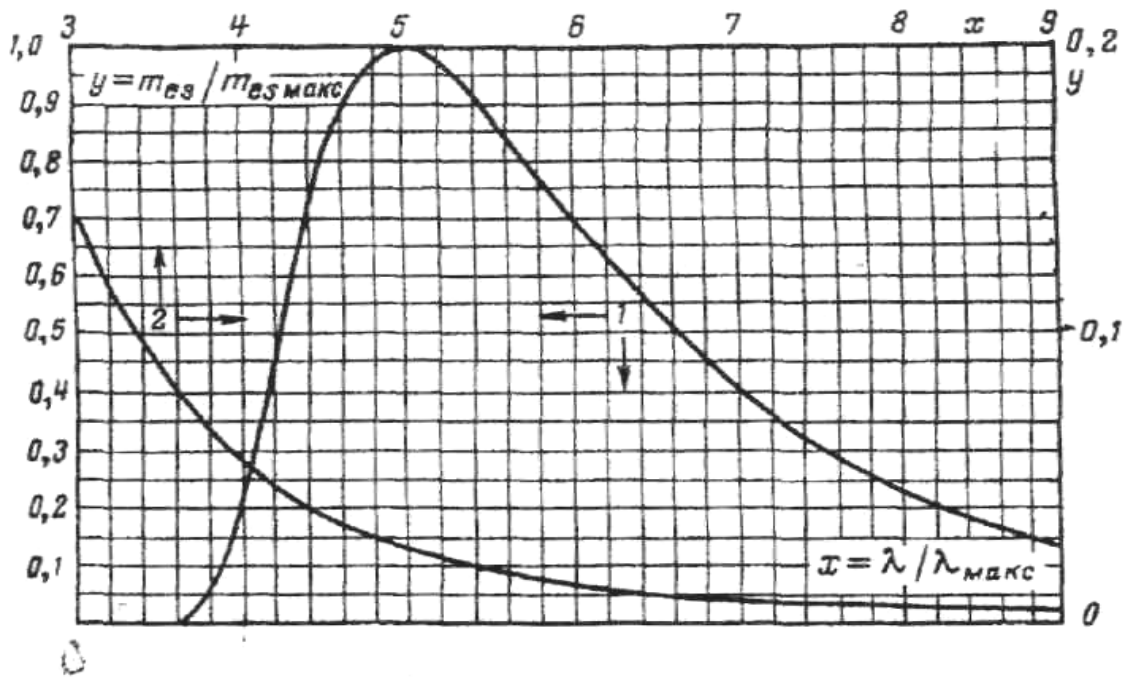


Рисунок В.1 – Універсальна крива випромінювання чорного тіла В

ДОДАТОК Г

Таблиця Г.1 – Оптична густина потоку випромінювання для джерел А, В, С і нормалізована функції відносної спектральної світлової ефективності випромінювання

λ	$\Phi_{e(\lambda)A}$	$\Phi_{e(\lambda)B}$	$\Phi_{e(\lambda)C}$	$V_{(\lambda)}$
380	9,79	22,40	33,00	0,000 04
390	12,09	31,30	47,40	0,000 12
400	14,71	41,30	63,30	0,000 4
410	17,68	52,10	80,60	0,001 2
420	21	63,20	98,10	0,004
430	24,67	73,10	112,40	0,011 6
440	28,7	80,80	121,50	0,023
450	33,09	85,40	124,00	0,038
460	37,82	88,30	123,10	0,06
470	42,87	92,00	123,80	0,091
480	48,25	95,20	123,90	0,139
490	53,91	96,50	120,70	0,208
500	59,86	94,20	112,10	0,323
510	66,06	90,70	102,30	0,503
520	72,5	89,50	96,90	0,71
530	79,13	92,20	98,00	0,862
540	85,95	96,90	102,10	0,954
550	92,91	101,00	105,20	0,995
560	100	102,80	105,30	0,995
570	107,18	102,60	102,30	0,952
580	114,44	101,00	97,80	0,87
590	121,73	99,20	93,20	0,757
600	129,04	98,00	89,70	0,631
610	136,34	99,50	88,40	0,503
620	143,62	99,70	88,10	0,381
630	150,83	101,00	88,00	0,265
640	157,98	102,20	87,80	0,175
650	165,03	103,90	88,20	0,107
660	171,96	105,00	87,90	0,061
670	178,77	104,90	86,30	0,032
680	185,43	103,90	84,00	0,17
690	191,93	101,60	80,20	0,008 2
700	198,26	99,10	76,30	0,004 1
710	204,41	96,20	72,40	0,002 1
720	210,36	92,90	68,30	0,001 05
730	216,12	89,40	64,40	0,000 52
740	221,66	86,90	61,50	0,000 25
750	227	85,20	59,20	0,000 12
760	232,11	84,70	58,10	0,000 06
770	237,01	85,40	59,20	0,000 03
780	241,67	87	59,10	0,000 03

ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Питомі координати кольору у системах RGB і XYZ

λ	\bar{r}	\bar{g}	\bar{b}	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}
380	0,000 03	0.000 01	0.001 17	0,0014	0,0000	0,0065
390	0,000 10	-0.00004	0,00359	0,0042	0,0001	0,0201
400	0,00030	-0,00014	0,01214	0,0143	0,0004	0,0679
410	0.00084	-0,00041	0,03707	0,0435	0,0012	0,2074
420	0.00211	-0,00110	0,11541	0,1344	0,0040	0,6456
430	0,00218	-0,00119	0,24769	0,2839	0,0116	1,3856
440	-0,00261	0,00149	0,31228	0,3483	0,0230	1,7471
450	-0.01213	0,00678	0,31670	0,3362	0,0380	1,7721
460	-0.02608	0,01485	0,29821	0,2908	0,0600	1,6692
470	-0.03933	0.02538	0,22991	0,1954	0,0910	1,2876
480	-0,04939	0.03914	0.14494	0,0956	0,1390	0,8130
490	-0.05814	0,05689	0.08257	0,0320	0,2080	0,4652
500	-0.07173	0,08536	0,04776	0,0049	0,3230	0,2720
510	-0,08901	0,12860	0,02698	0,0093	0,5030	0,1582
520	-0,09264	0,17468	0,01221	0,0633	0,7100	0,0782
530	-0,07101	0,20317	0,00549	0,1655	0,8620	0,0422
540	-0,03152	0,21456	0,00146	0,2904	0,9540	0,0203
550	0.02279	0.21178	-0,00058	0,4334	0,9950	0,0087
560	0,09060	0.19702	-0,00130	0,5945	0,9950	0,0039
570	0.16768	0,18087	-0,00135	0,7621	0,9520	0,0021
580	0,24526	0.13610	-0,00108	0,9163	0,8700	0,0017
590	0,3029	0,09754	-0,00079	1,0263	0,7570	0,0011
600	0.34429	0.06246	-0,00049	1,0622	0,6310	0,0008
610	0,39971	0.03557	-0,00030	1,0026	0,5030	0,0003
620	0,29708	0.01828	-0,00015	0,8544	0,3810	0,0002
630	0,22677	0.00833	-0,00008	0,6424	0,2650	0,0000
640	0,15968	0.00334	-0,00003	0,4479	0,1750	0,0000
650	0,10167	0.00116	-0,00001	0,2836	0,1070	0,0000
660	0.05932	0.00037	-0.00000	0,1649	0,0610	0,0000
670	0,04366	0,00021	-0,00000	0,0874	0,0320	0,0000
680	0,01687	0,00003	0,00000	0,0468	0,0170	0,0000
690	0,00819	0,00000	0,00000	0,0227	0,0082	0,0000
700	0,00410	0,00000	0,00000	0,0114	0,0041	0,0000
710	0,00210	0,00000	0,00000	0,0058	0,0021	0,0000
720	0.00105	0,00000	0.00000'	0,0029	0,0010	0,0000
730	0.00052	0,00000	0,00000	0,0014	0,0005	0,0000
740	0,00025	0,00000	0,00000	0,0007	0,0003	0,0000
750	0,00000	0,00000	0,00000	0,0003	0,0001	0,0000
760	0,00006	0,00000	0,00000	0,0002	0,0001	0,0000
770	0.00003	0,00000	0,00000	0,0001	0,0000	0,0000
780	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000

ДОДАТОК Е

Таблиця Е.1 – Відносні спектральні вітальна та бактерицидна ефективність випромінювання

λ	$V_{(\lambda)\text{ВИТ}}$	$V_{(\lambda)\text{БАКТ}}$
220	0	0,25
230	0	0,4
240	0	0,63
250	0	0,79
260	0	0,99
270	0	0,79
280	0	0,59
290	0,31	0,3
300	0,83	0,045
310	0,11	0,013
320	0,01	0,004
330	0,005	0,000 16
340	0,003	0,000 9
350	0,002	0,000 46
360	0,001 4	0,000 3
370	0,001 1	0,000 19
380	0,000 7	0,000 15
390	0,0003	0,000 12
400	0	0,000 1

Додаток Ж

Таблиця Ж.1 – Зональні тілесні кути

Інтервал кутової зміни		Зональний тілесний кут, ср
Нижній напівпростір	Верхній напівпростір	
0 – 10	170 – 180	0,096
10 – 20	160 – 170	0,284
20 – 30	150 – 160	0,463
30 – 40	140 – 150	0,628
40 – 50	130 – 140	0,774
50 – 60	120 – 130	0,897
60 – 70	110 – 120	0,992
70 – 80	100 – 110	1,057
80 – 90	90 – 100	1,092

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації

до виконання практичних і лабораторних робіт, самостійної роботи та курсових і контрольних робіт із навчальної дисципліни «Основи світлотехніки»

із навчальної дисципліни

«ОСНОВИ СВІТЛОТЕХНІКИ»

(для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

Укладачі: **ОВЧИННИКОВ** Станіслав Степанович,
ПОЛЩУК Валентина Миколаївна,
ПЕТЧЕНКО Гліб Олександрович,
ГУРАКОВА Лариса Дмитрівна,
ДІДЕНКО Олена Михайлівна.

Відповідальний за випуск *Ю. О. Васильєва*
Редактор *О. А. Норик*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *О. М. Діденко*

План 2019, поз. 212 М

Підп. до друку 2019	Формат 60 × 84/16.
Друк на ризографі	Ум. друк. арк. 1,1.
Тираж 50 пр.	Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.