

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра
світлотехніки

Методичний посібник
для проведення практичних занять
з курсу «Основи світлотехніки»
частина 1

Тернопіль 2016

Методичні вказівки (з виправленнями та доповненнями) розроблені у відповідності з навчальними планами.

Укладач: ст. викл. Чубатий Ю.О.

Рецензенти: проф., д.т.н. Андрійчук В.А.

проф., д.т.н. Тарасенко М.Г.

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри світлотехніки.

Протокол № ____ від „____” _____ 2016 р.

Схвалено і рекомендовано до друку методичною радою електромеханічного факультету Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя.

Протокол № ____ від „____” _____ 2016 р.

Вказівки складені за матеріалами літературних джерел приведених у списку.

Основні поняття та характеристики випромінювання

Енергія фотона $Q_1 = h\nu$ (Дж).

Фотонна енергія (число фотонів) $Q_{\text{фот}} = N$.

Потік фотонів $\Phi_{\text{фот}} = \frac{dN}{dt}$ (c^{-1}).

Фотонна опроміненість $E_{\text{е фот}} = \frac{dN_{\text{е}}}{dA}$ ($c^{-2} \cdot m^{-2}$), де $dN_{\text{е}}$ - число фотонів променевого потоку.

Фотонна освітленість $E_{\text{фот}} = \frac{dN}{dA}$ ($c^{-2} \cdot m^{-2}$), де dN - число фотонів світлового потоку.

Фотонна експозиція $H_{\text{фот}} = \frac{dQ_{\text{фот}}}{dA}$, $H_{\text{фот}} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\text{фот}}(t) dt$ (m^{-2}).

Сила фотонного випромінювання $I_{\text{фот}} = \frac{d\Phi_{\text{фот}}}{d\Omega}$ ($c^{-1} \cdot cp^{-1}$).

Фотонна яскравість $L_{\text{фот}} = \frac{dI_{\text{фот}}}{dA \cos \alpha}$ ($c^{-1} \cdot cp^{-1} \cdot m^{-2}$)

Променева енергія (енергія випромінювання) Q_e (Дж).

Енергетичний (променевий) потік $\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$ (Вт).

Спектральна густина променевого потоку $\varphi_e(\lambda) = \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ ($Bm \cdot mkm^{-1}$).

Сила випромінювання $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$ ($Bm \cdot cp^{-1}$).

Енергетична яскравість ділянки поверхні в напрямку кута α

$$L_e(\alpha) = \frac{dI_e(\alpha)}{dA \cos \alpha} (Bm \cdot cp^{-1} \cdot m^{-2})$$

Енергетична світимість $M_e = \frac{d\Phi_e}{dA}$ ($Bm \cdot m^{-2}$).

Енергетична освітленість поверхні Р в точці Б, яку створює точкове джерело випромінювання $E_{eBP} = \frac{I_e(\alpha)\cos\beta}{l^2}$ ($Вт \cdot м^{-2}$), де

$I_e(\alpha)$ - сила випромінювання в напрямку точки Б;

l - відстань від точки Б до точкового джерела випромінювання;

β - кут падіння випромінювання до точки Б.

Енергетична експозиція $H_e = \int_{t_1}^{t_2} E_e(t) dt$ ($Дж \cdot м^{-2}$).

Закон Кірхгофа

$$\frac{M_{e1}(T)}{\alpha_{e1}(T)} = \frac{M_{e2}(T)}{\alpha_{e2}(T)} = \dots = \frac{M_{en}(T)}{\alpha_{en}(T)} = M_{es}(T)$$

$$\frac{m_{e1}(\lambda; T)}{\alpha_{e1}(\lambda; T)} = \frac{m_{e2}(\lambda; T)}{\alpha_{e2}(\lambda; T)} = \dots = \frac{m_{en}(\lambda; T)}{\alpha_{en}(\lambda; T)} = m_{es}(\lambda; T)$$

де $M_{ei}(T)$ - енергетична світимість і-го тіла;

$\alpha_{ei}(T)$ - інтегральний коефіцієнт поглинання і-го тіла;

$M_{es}(T)$ - енергетична світимість абсолютно чорного тіла;

$m_{ei}(\lambda; T)$ - спектральна енергетична світимість і-го тіла;

$\alpha_{ei}(\lambda; T)$ - спектральний коефіцієнт поглинання і-го тіла;

$m_{es}(\lambda; T)$ - спектральна енергетична світимість абсолютно чорного тіла.

Закон Планка:

$$m_{es}(\lambda; T) = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)}$$

Закон Віна:

$$m_{es}(\lambda; T) = \frac{c_1}{\lambda^5 e^{\frac{c_2}{\lambda T}}}$$

Закон Релея-Джінса:

$$m_{es}(\lambda; T) = \frac{c_1 T}{c_2 \lambda^4}, \text{ де}$$

$$c_1 = 2\pi h c^2 \approx 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ (Вт} \cdot \text{м}^2\text{)},$$

$$c_2 = \frac{hc}{k} \approx 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ (м} \cdot \text{К)}.$$

Закон Стефана-Больцмана:

$$M_{es}(T) = \sigma T^4, \text{ де } \sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}\text{)}$$

Максимум функції $m_{es}(\lambda T)$:

$m_{es}(\lambda; T)_{max} = c_3 \cdot T^5$, де $c_3 \approx 1,3 \cdot 10^{-11}$ ($Вт \cdot м^{-2} \cdot мкм^{-1} \cdot К^{-4}$) (за даними М.А.Брансона «Инфракрасное излучение нагретых тел», М., 1964).

Закон зміщення Віна:

$$\lambda_{max} \cdot T = b \text{ де } b \approx 2896 \text{ (мкм} \cdot \text{К)}.$$

Функція Планка у відносних координатах:

$$\eta(\xi) = \frac{142.3}{\xi^5 \left(e^{\frac{4.965}{\xi}} - 1 \right)}, \text{ де } \xi = \frac{\lambda}{\lambda_{max}}; \eta = \frac{m_{es}(\lambda; T)}{m_{es}(\lambda; T)_{max}}$$

Доля енергетичного потоку, який припадає на ділянку спектра з межами від λ_i до λ_j :

$$n = \frac{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} m_{es}(\lambda; T) d\lambda}{\int_{\lambda_k}^{\lambda_p} m_{es}(\lambda; T) d\lambda} = \frac{\int_{\xi_i}^{\xi_j} \eta(\xi) d\xi}{\int_{\xi_k}^{\xi_p} \eta(\xi) d\xi} = \psi(\xi_j) - \psi(\xi_i)$$

$\lambda_k - \lambda_p$ - оптичний інтервал спектра;

$$\psi(\xi_j) \text{ і } \psi(\xi_i) - \text{функції } \psi(\xi) = \frac{\int_{\xi_k}^{\xi} \eta(\xi) d\xi}{\int_{\xi_k}^{\xi_p} \eta(\xi) d\xi}$$

Графік функції $\psi(\xi)$ наведений у літературі (2).

Коефіцієнт випромінювання реальних тіл:

- інтегральний:

$$\varepsilon_e(T) = \frac{M_e(T)}{M_{es}(T)} = \alpha_e(T) \gamma_e(T);$$

- спектральний:

$$\varepsilon_e(\lambda; T) = \frac{M_e(\lambda; T)}{M_{es}(\lambda; T)} = \alpha_e(\lambda; T) \gamma_e(\lambda; T);$$

де $\gamma_e(T)$ і $\gamma_e(\lambda; T)$ - відповідно інтегральний та спектральний коефіцієнти почорніння реального тіла.

Коефіцієнт напрямленого випромінювання реального тіла:

$$\varepsilon(\varphi; \Theta; T) = \frac{L_e(\varphi; \Theta)}{L_{es}(\varphi; \Theta)},$$

де $L_e(\varphi; \Theta)$ і $L_{e_s}(\varphi; \Theta)$ - відповідно енергетична яскравість реального і абсолютно чорного тіла в напрямку кутів φ і Θ при температурі реального і абсолютно чорного тіла T .

Закони теплового випромінювання для реальних тіл аналогічні законам теплового випромінювання абсолютно чорного тіла із врахуванням коефіцієнтів випромінювання реальних тіл. Наприклад, закон Планка:

$$m_e(\lambda; T) = \varepsilon_e(\lambda; T) \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)}$$

Еквівалентні температури випромінювання реальних тіл:

- радіаційна:

$$T = T_p [\varepsilon(T)]^{-\frac{1}{4}} (K);$$

- яскравісна:

$$T = \frac{c_2}{\lambda} \cdot \frac{1}{\frac{c_2}{\lambda T_p} + \ln \varepsilon(\lambda; T)} (K);$$

- кольорова:

$$T = \left(\frac{1}{T_k} - \frac{\ln \frac{\varepsilon(\lambda_1; T)}{\varepsilon(\lambda_2; T)}}{c_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)} \right)^{-1} (K),$$

де T - істинна температура (К).

Ефективний потік приймача:

$$\Phi_{e\phi} = \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \Phi_e(\lambda) K_{\pi}(\lambda) d\lambda = K_{\pi \max} \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e(\lambda) V_{\pi}(\lambda) d\lambda,$$

де $K_{\pi}(\lambda)$ і $K_{\pi \max}$ - функція спектральної чутливості та максимальна спектральна чутливість приймача.

$$K_{\pi} = C\alpha(\lambda)\eta_e(\lambda); V_{\pi} = \frac{K_{\pi}(\lambda)}{K_{\pi \max}},$$

де $\alpha(\lambda)$ - спектральний коефіцієнт поглинання приймачем однорідного потоку випромінювання;

$\eta_e(\lambda)$ - енергетичний вихід перетвореного приймачем однорідного потоку випромінювання.

Активність випромінювання:

$$A = \frac{\Phi_{\text{эф}}}{\Phi_{\text{эф.ет.}}} = \frac{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e K_{\text{п}}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e K_{\text{п.ет.}}(\lambda) d\lambda'}$$

де $\Phi_{\text{эф.ет.}}$ - ефективний потік еталонного приймача;

$K_{\text{п.ет.}}(\lambda)$ - спектральна чутливість еталонного приймача.

Відносна актинічність випромінювання:

$$a = \frac{A}{A_{\text{ет.}}} = \frac{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e V_{\text{п}}(\lambda) d\lambda \cdot \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_{\text{ет.}} V_{\text{ет.}}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_{\text{ет.}} V_{\text{п}}(\lambda) d\lambda \cdot \int_{\lambda_i}^{\lambda_j} \varphi_e V_{\text{ет.}}(\lambda) d\lambda'}$$

де $A_{\text{ет.}}$ - актинічність еталонного джерела випромінювання (найчастіше за еталонне приймають джерело випромінювання з $T_{\text{к}} \approx 5000 \text{ K}$);

$\varphi_{\text{ет.}}(\lambda)$ - спектральна густина енергетичного потоку еталонного джерела випромінювання;

$V_{\text{ет.}}(\lambda)$ - відносна спектральна чутливість еталонного приймача.

Функція відносної спектральної чутливості середньостатистичного нормального людського ока для денного бачення та бачення в сутінках відповідно (відносна спектральна світлова ефективність):

$V(\lambda)$ і $V'(\lambda)$.

Світловий потік:

$$\Phi = 680 \int_{\lambda_1=0,38 \text{ мкм}}^{\lambda_2=0,78 \text{ мкм}} \varphi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \text{ (лм)}$$

(за визначенням В.В.Мешкова «Основы светотехники», М., 1979).

Для випромінювання з лінійчатим спектром:

$$\Phi = 680 \sum_{i=1}^n V(\lambda_i) \Phi_e(\lambda_i) \text{ (лм)}$$

Світлові характеристики випромінювання аналогічні енергетичним.

Наприклад:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \text{ (кд)}; I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega},$$

Яскравість пучка променів:

$$L_{12} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta G} \text{ (кд} \cdot \text{м}^{-2}\text{)},$$

де $\Delta\Phi$ - світловий потік пучка променів;

ΔG - міра множини пучка променів (геометричний фактор):

$$\Delta G = \frac{\Delta A_1 \cos \alpha_1 \Delta A_2 \cos \alpha_2}{I_{12}^2}$$

Міра множини променів елементарного пучка:

$$d^2 G = \frac{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 dA_1 dA_2}{I_{12}^2} = \cos \alpha_1 dA_1 d\Omega_1 = \cos \alpha_2 dA_2 d\Omega_2 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Функція відносної спектральної бактеріцидної ефективності $V_{БК}(\lambda)$ ($\text{бк} \cdot \text{Вт}^{-1}$). Бактеріцидний потік:

$$\Phi_{БК} = \int_{\lambda_1=200 \text{ нм}}^{\lambda_2=480 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) V_{БК}(\lambda) d\lambda \text{ (бк)},$$

Бактеріцидні характеристики випромінювання аналогічні енергетичним і світловим. Наприклад:

$$L_{БК} = \frac{dI_{БК}}{dA \cos \alpha} \text{ (бк} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}\text{)}; L_e = \frac{dI_e}{dA \cos \alpha}$$

Функція відносної спектральної вітальної (ерітемної) ефективності:

$$V_{ВІТ}(\lambda) \text{ (віт} \cdot \text{Вт}^{-1} = \text{ер} \cdot \text{Вт}^{-1}\text{)}$$

Вітальний (ерітемний) потік:

$$\Phi_{ВІТ} = \int_{\lambda_1=280 \text{ нм}}^{\lambda_2=400 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) V_{ВІТ}(\lambda) d\lambda \text{ (віт} = \text{ер)}$$

Вітальні характеристики випромінювання аналогічні енергетичним (світловим, бактеріцидним). Наприклад:

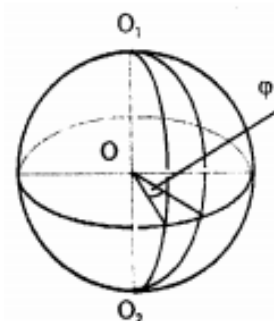
$$E_{ВІТ} = \frac{d\Phi_{ВІТ}}{dA} \text{ (віт} \cdot \text{м}^{-2}\text{)}; E_e = \frac{d\Phi_e}{dA}$$

Контрольні роботи

Номер варіанту	Номери задач				
1	1	46	47	92	93
2	2	45	48	91	94
3	3	44	49	90	95
4	4	43	50	89	96
5	5	42	51	88	97
6	6	41	52	87	98
7	7	40	53	86	99
8	8	39	54	85	100
9	9	38	55	84	93
10	10	37	56	83	94
11	11	36	57	82	95
12	12	35	58	81	96
13	13	34	59	80	97
14	14	33	60	79	98
15	15	32	61	78	99
16	16	31	62	77	100
17	17	30	63	76	93
18	18	29	64	75	94
19	19	28	65	74	95
20	20	27	66	73	96
21	21	26	67	72	97
22	22	25	68	71	98
23	23	24	69	70	99
24	1	24	49	75	100
25	2	25	50	74	100

ЗАДАЧІ

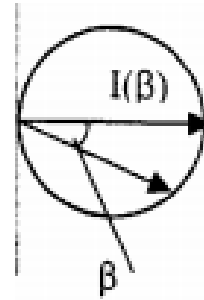
1. Визначити відношення енергій фотонів з довжинами хвиль 280 і 600 нм і назвати, до яких ділянок спектру відносяться ці фотони.
2. Монохроматичний променевий потік 15 Вт; $\lambda=550$ нм. Визначити фотонний потік.
3. Фотонний потік джерела 10^6 фотон з $\lambda=0,41$ мкм. Визначити час, на протязі якого енергія, що випроміниться цим джерелом, буде 1 Дж та фотонну енергію, що випроміниться джерелом протягом години.
4. Визначити фотонну опроміненість пластинки, якщо її опромінюють монохроматичним потоком з $\lambda=0,45$ мкм. і вона має опроміненість 2 Вт/м^2 .
5. Чорна пластинка, яка поглинає 90 % падаючої на неї енергії, отримує 100 кал тепла за секунду. Площа пластинки 1 м^2 , вона опромінюється монохроматичним потоком: $\lambda_1=500$ нм; $\lambda_2=2000$ нм. Визначити опроміненість пластинки.
6. Визначити фотонну експозицію, яку створює монохроматичний потік з довжиною хвилі 400 нм, коли енергетична експозиція 10 Дж/м^2 .
7. Фотонна експозиція $52 \cdot 10^{20} \text{ Дж/м}^2$ створюється фотонами з довжиною хвилі 520 нм. Визначити експозицію, що створюється цим вимірюванням.
8. Визначити фотонну яскравість монохроматичного випромінювання, якщо його яскравість $I(\lambda)=1000 \text{ кд/м}^2$, а $\lambda=700$ нм.
9. Джерело з лінійчатим спектром випромінює за хвилину 10^{20} фотонів з довжинами хвиль: $\lambda_1=200$ нм, $\lambda_2=300$ нм, $\lambda_3=555$ нм, $\lambda_4=2000$ нм, $\lambda_5=3000$ нм. Визначити променеві потоки, що випромінюються цим джерелом в УФ, видимій та ІЧ областях спектру.
10. Визначити значення тілесних кутів:
 - 1) найбільшого;
 - 2) який спирається на півсферу і має вершину в центрі сфери;
 - 3) який спирається на ділянку сфери, обмежену двома вертикальними півплощинами, зміщеними на кут $=10^\circ$ і які перетинаються по діаметру O_1O_2 (див. рис.)



11. Поздовжні криві сили випромінювання джерела:

а) $I_e(\alpha) = 100 \cos^2(\alpha) \left(\frac{Вт}{ср}\right)$; б) $I_e(\alpha) = 150 \cos(\alpha) \left(\frac{Вт}{ср}\right)$ Визначити

потоки випромінювання цих джерел.



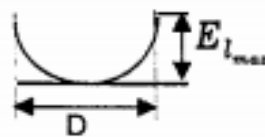
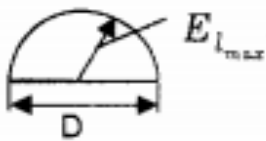
12. Бокова поверхня випромінює променевий потік і має поздовжню криву сили випромінювання показану на рисунку, що описується $I_e(\beta) = 150 \cos \beta$. Визначити енергетичний потік цього джерела.

13. Сферичне джерело випромінює променевий потік 1257 Вт. Визначити енергетичні потоки цього джерела в межах кутів α $0 \div 10^\circ$ та $80 \div 90^\circ$. В яких ще десятиградусних зонах випромінюється такі ж променеві потоки.

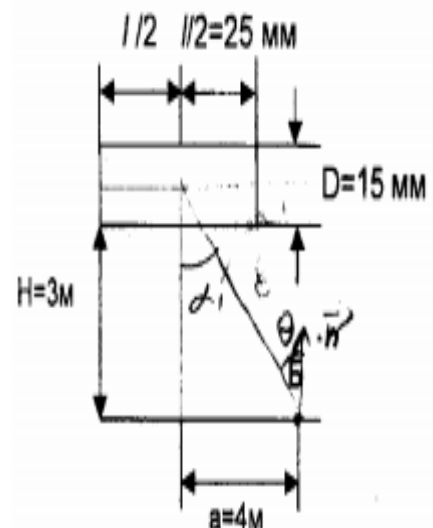
14. На дві плоскі однакові за площею поверхні падають однакові променеві потоки (див. рис.). На I поверхню енергетичний потік падає нормально, а на II - під кутом 60° . Визначити співвідношення опроміненостей цих поверхонь.



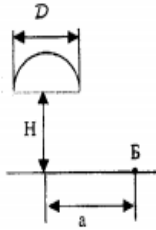
15. По круглій пластинці, що має діаметр 10 см, опроміненість розподіляється, як показано на рис. $i_{max} = 3$ Вт/см². Визначити променеві потоки, що падають на пластинки в обох випадках.



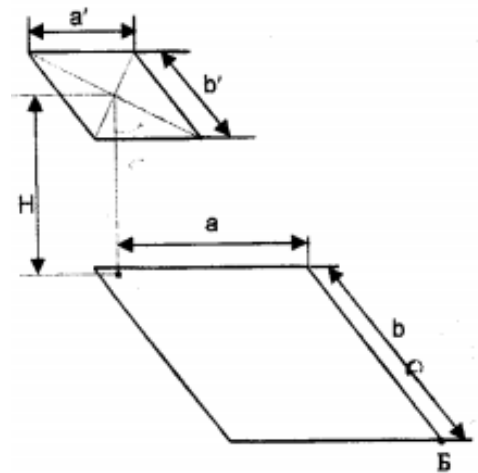
16. У рівнояскравого циліндра (див. рис.) випромінює вся поверхня. Енергетична яскравість його $4,63 \cdot 10^4$ (Вт/м²*ср). Визначити опроміненість горизонтальної площини в т.Б, яку створює таке джерело.



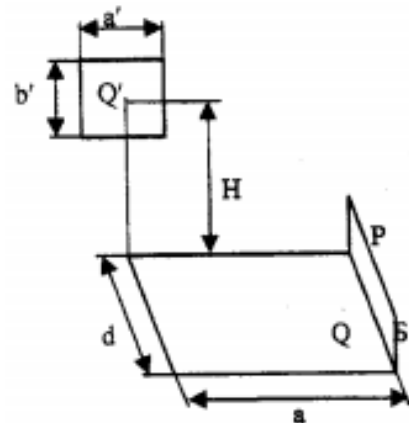
17. Внутрішня поверхня рівноскравої півсфери з внутрішнім діаметром 10 мм має енергетичну світимість $112,9 \text{ Вт/см}^2$. Визначити горизонтальну опроміненість, яку створює дане джерело в т.Б ($H=4\text{м}$; $a=3\text{м}$),



18. Рівноскравий прямокутник $a'b'$ ($a'=1,5\text{см}$; $b'=3\text{см}$) має енергетичну яскравість $140 \text{ (Вт/см}^2 \cdot \text{ср)}$. Визначити максимальну і горизонтальну опроміненість в т.Б ($a=1\text{м}$; $b=2\text{м}$; $H=3\text{м}$), яку створює таке джерело.



19. Площина рівноскравого випромінюючого прямокутника a розташована перпендикулярно горизонтальній площині O . Визначити опроміненість, що створює цей прямокутник в т.Б горизонтальної площини O і вертикальної площини P , якщо $a'=1,5 \text{ см}$; $b'=3 \text{ см}$; $a=1\text{м}$; $b=2\text{м}$; $H=3\text{м}$. Енергетична яскравість прямокутника $140 \text{ Вт/см}^2/\text{ср}$.



20. Визначити енергетичний потік стандартного джерела E на ділянці спектру від 350 до 750 нм, якщо його спектральна густина енергетичного потоку 2 Вт/мкм.

21. Сонце за хвилину випромінює $5 \cdot 10^{24}$ ккал тепла. Його радіус $0,7 \cdot 10^6$ км. Відстань від Сонця до Землі $1,5 \cdot 10^8$ км. Приймаючи для атмосфери коефіцієнт поглинання 0,18 і відбивання 0,34, визначити опроміненість поверхні Землі при перпендикулярному падінні сонячного проміння і енергетичну яскравість поверхні Сонця.

22. Визначити променевий потік, що, випромінюється абсолютно чорним тілом з площі вихідного отвору $A=0,5305$ мм² при температурі 2042 К.

23. Абсолютно чорне тіло випромінює за хвилину 0,13 кал. тепла з поверхні 1 см². Визначити температуру його і поверхневу густина його випромінювання.

24. В результаті коливання напруги в мережі температура вольфрамової нитки розжарення змінюється на ± 100 К. Визначити у скільки раз зміниться потік випромінювання її. При нормальній напрузі $T=2400$ К.

25. Визначити істинну температуру вольфрамової поверхні, якщо вона має енергетичну світлість 14,22 Вт/см².

26. Абсолютне чорне тіло нагріто до 6000 К. Визначити променевий потік, що випромінюється з площі поверхні цього тіла 10 см² у видимій області спектру.

27. Абсолютне чорне тіло нагріто до 1500 К. Визначити поверхневу густина випромінювання цього тіла в УФ (0,01-0,38 мкм), видимій (0,38-0,78 мкм) та ІЧ (0,78-350 мкм) частинах спектру.

28. Визначити променевий потік, що випромінює бокова поверхня вольфрамового циліндра діаметром 0,2 мм і довжиною 20 см, який має яскравісну температуру 2207 К ($A=0,665$ мкм).

29. Яскравісна температура, як правило, вимірюється з червоним світлофільтром ($\lambda_1=665$ нм). Визначити яскравісну температуру вольфрамового циліндра (див. задачу 28) при її вимірюванні з голубим світлофільтром ($\lambda_2=467$ нм).

30. Вольфрамовий куб зі стороною 1 мм має кольорову температуру 2874 К. Визначити мінімальну і максимальну сили випромінювання, що створюється цим кубом в площині, перпендикулярній грані куба.

31. Вольфрамова сфера діаметром 2 см створює на горизонтальній площині в т.Б опроміненість $E_e(\lambda)_{\text{гор}}=0,173 \text{ Вт/м}^2$. Визначити істинну температуру сфери. Висота розташування сфери над горизонтальною поверхнею 3 м. Випромінювання падає в т.Б під кутом 60° .

32. Визначити силу випромінювання плоского рівнояскравого вольфрамового диска під кутом 45° , якщо діаметр диска 10 мм, а його температура 2327°C . Кут відраховується від перпендикуляру до поверхні диска. У скільки разів зміниться сила випромінювання в напрямку $\alpha=45^\circ$, якщо діаметр диска збільшити в 10 раз не змінюючи його температуру та товщину. Товщиною диска знехтувати.

33. Вольфрамовий рівнояскравий циліндр діаметром 88 мкм і довжиною 5 см нагрітий до 2800 К. Визначити енергетичну яскравість циліндра і силу випромінювання в напрямку, перпендикулярному до осі циліндра.

34. Визначити значення спектральної густини енергетичної світимості випромінювання вольфраму для довжини хвиль 0,555 мкм і 1 мкм, якщо температура вольфрама 1800 К.

35. Променевий потік монохроматичного випромінювання 10 Вт. Визначити світловий потік цього випромінювання, якщо $\lambda=700 \text{ нм}$.

36. Променеві потоки монохроматичного випромінювання по 100 Вт кожен з довжинами хвиль 400; 555 і 740 нм випромінює джерело з лінійчатим спектром. Визначити світлові потоки цих випромінювань.

37. Дві плоскі білі пластини, що мають однакові площі і однаковий коефіцієнт відбивання, опромінюються потоком з довжиною хвилі 0,46 мкм і потоком з довжиною хвилі 0,55 мкм. Яким повинно бути співвідношення променевих потоків, що падають на пластини, для рівносвітлого сприйняття їх в умовах денного бачення і в умовах бачення в сутінках? Значення відносних спектральних світлових ефективностей для споглядання у сутінках $V'_{\lambda_1}=0,42$, $V'_{\lambda_2}=0,5$.

38. Дві однакові грані білої призми, що опромінюються однорідними променевими потоками, мають однакові яскравості в умовах денного бачення. Якщо $\Phi_e(\lambda_1)=10$ Вт; $\lambda_1=0,5$ мкм; $\lambda_2=0,45$ мкм, то яким є $\Phi_e(\lambda_2)$?

39. Дано монохроматичні світлові потоки $\Phi(\lambda_1)=\Phi(\lambda_2)=\Phi(\lambda_3)=680$ лм. Визначити променеві потоки цього випромінювання, коли $\lambda_1=0,39$ мкм; $\lambda_2=0,555$ мкм; $\lambda_3=0,76$ мкм.

40. Джерело монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі 680 нм випромінює постійний за значенням світловий потік. Визначити, які монохроматичні джерела з якими довжинами хвиль будуть випромінювати такі ж світлові потоки, а променеві потоки - в 10 раз більші за значенням.

41. Два монохроматичні джерела випромінюють однакові світлові потоки з довжинами хвиль 0,555 мкм і 0,65 мкм. Визначити співвідношення енергетичних потоків цих джерел.

42. Визначити світловий потік, що випромінюється абсолютно чорним тілом в інтервалі довжин хвиль 0,525 мкм і 0,575 мкм. Площа поверхні випромінювача $0,5$ см², а його температура 2400 К.

43. Визначити світловий потік, що випромінюється вольфрамовим циліндром в інтервалі довжин хвиль 525-575 нм. Поверхня випромінювача $0,5$ см², а його температура 2400 К.

44. Абсолютно чорне тіло при температурі 6000 К має світлову віддачу випромінювання 12,6%. Визначити його яскравість при цій температурі.

45. Рівнояскравий циліндр випромінює монохроматичний світловий потік 6830 лм з довжиною хвилі 0,59 мкм. Діаметр циліндра 20 см, а його довжина 50 см. Визначити енергетичну яскравість циліндра, якщо випромінює лише його бокова поверхня.

46. Рівнояскрава сфера випромінює світловий потік 1257 лм. Визначити яскравість такої кулі, якщо її діаметр 10 см.

47. Визначити світимість рівнояскравого круга з площею поверхні 10 см², що випромінює в напрямку, перпендикулярному до своєї поверхні, силу світла 100 кд.

48. Визначити тілесний кут, в межах якого розташована половина світлового потоку, що випромінюється рівнояскравим кругом.

49. Рівнояскравий диск діаметром 2 см випромінює світловий потік 41,7 лм в межах тілесного кута 1 ср. Вісь тілесного кута співпадає з перпендикуляром до поверхні диска, проведеним через його центр. Визначити яскравість диска і світловий потік, що випромінюється однією стороною диска. Товщиною диска знехтувати.

50. Точкове джерело світла, розташоване в центрі порожнистої сфери з діаметром 1 м, створює на ділянці її поверхні площею 4 см² освітленість 400 лк. Визначити силу світла джерела в напрямку центру цієї ділянки і яскравість внутрішньої поверхні сфери. Її коефіцієнт відбивання 0,78.

51. Сферичне точкове джерело світла випромінює монохроматичний світловий потік 1360 лм з довжиною хвилі 500 нм. Визначити енергетичну яскравість, силу випромінювання цього джерела і напрямок в просторі, якому відповідає знайдена сила випромінювання.

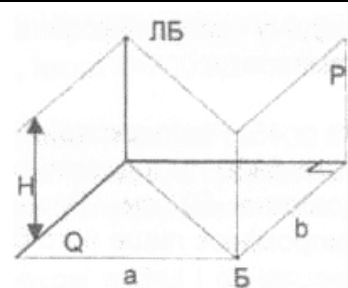
52. Світильник з лампою 1000 лм має нищевказаний світлорозподіл:

α (град)	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85
$I(\alpha)$ (кд)	263	269	259	237	215	179	91	30	12	1

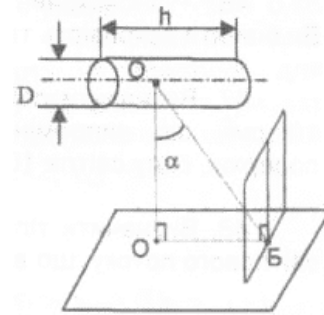
Визначити світловий потік світильника.

53. Люмінесцентна лампа потужністю 30 Вт ЛДЦ 30 має світловий потік 1450 лм. Частина лампи, що світиться - циліндр діаметром 2,5 см і довжиною 88 см. Вважаючи випромінюючу поверхню лампи рівнояскравою в повздовжніх площинах, визначити поверхневу густину світлового потоку, яскравість і силу світла, що випромінює лампа в напрямку, перпендикулярному до її осі.

54. Люмінесцентна лампа ЛД 30 має світловий потік 1640 лм. Вважаючи лампу рівнояскравим джерелом, визначити освітленості в т.Б горизонтальної Q і вертикальної P площин. Розміри та форми лампи див. задачу 53. $H=3$ м; $a=2$ м; $b=2$ м.



55. Рівнояскравий циліндр, у якого випромінює лише бокова частина, створює в т.Б горизонтальну освітленість 62,5 лк. Визначити вертикальну освітленість площини Р в т.Б. Якою буде горизонтальна освітленість т.Б, якщо даний циліндр повернути навколо т.О' в площині рисунка на 90° . $h=0,5$; $D=25$ мм; $H=3$ м; $\alpha=60^\circ$.

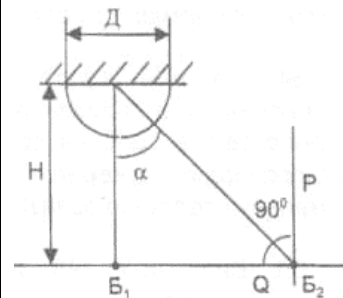


56. Лампа потужністю 1 кВт має світловий потік $\Phi=5 \cdot 10^5$ лм. Тіло лампи, що світиться – циліндр, у якого випромінює лише бокова поверхня, довжиною 30 см і діаметром 1,1 см. Визначити яскравість лампи, вважаючи її рівнояскравим джерелом, та світлову віддачу лампи.

57. Визначити освітленість горизонтальної площини в т.Б, розташованій під центром рівнояскравого круга на відстані 1 м від нього, якщо яскравість круга 100 кд/м², а радіуси в одному випадку $r_1=0,1$ м; в іншому – $r_2=1$ м. Площина круга горизонтальна.

58. Яскравість внутрішньої поверхні порожнистої півсфери L. Визначити горизонтальну і вертикальну освітленості в т.Б – центрі основи півсфери. Основа півсфери лежить на горизонтальній площині. Чи зміниться горизонтальна освітленість т.Б, якщо її переміщувати по вертикалі в напрямку до поверхні півсфери.

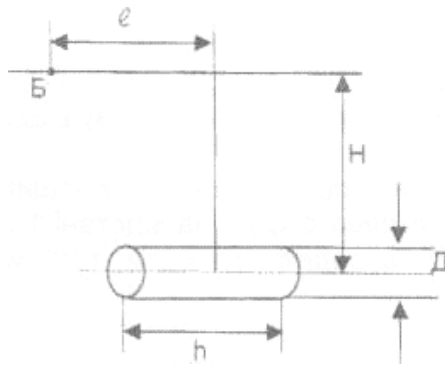
59. Рівнояскрава півкуля діаметром 0,2 м створює в т.Б₁ площини, що паралельна основі півсфери, освітленість 31,4 лк. Визначити яскравість півсфери, горизонтальну і вертикальну освітленості в т.Б₂ площин Q і P ($H=1$ м; $\alpha=45^\circ$).



60. Рівнояскрава вольфрамова півсфера (основа також світиться), нагріта до 3000 К, має яскравість $1257 \text{ кд/м}^2 \cdot \text{ср}$. Діаметр основи півсфери 10 мм. Визначити світловий потік і світлову ефективність випромінювання цього тіла.

61. Рівнояскравий циліндр, в якого світиться бокова поверхня і обидві основи, має розміри $H=2 \cdot D=10 \text{ см}$ і яскравість 10^4 кд/м^2 . Визначити: 1) силу світла, яка випромінюється циліндром під кутом 45° від повздовжньої осі циліндра; 2) світловий потік, що випромінює бокова поверхня циліндра; 3) світловий потік, що випромінюють основи циліндра.

62. У рівнояскравого циліндра бокова поверхня випромінює променевий монохроматичний потік з $\lambda_1=0,55 \text{ мкм}$, а основа - з $\lambda_2=0,65 \text{ мкм}$. Визначити горизонтальну освітленість в т.Б, якщо $H=2 \text{ м}$; $l=3 \text{ м}$; $D=0,5 \text{ см}$; $h=5 \text{ см}$. Променеві потоки $\Phi_1(\lambda_1)=153 \text{ Вт}$; $\Phi_1(\lambda_2)=789 \text{ Вт}$.



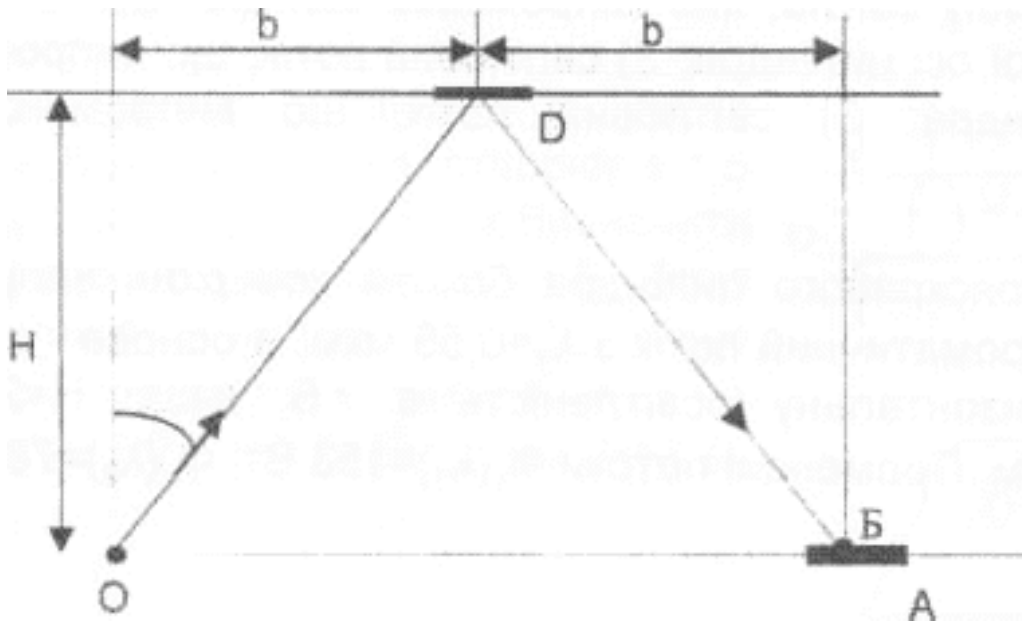
63. На якій відстані над центром круга діаметром 20 см потрібно розмістити джерело світла з постійною силою світла у всіх напрямках 20 кд, щоб на круг падав світловий потік 10 лм? Визначте при цій відстані максимальну, мінімальну і середню освітленості круга. Чи зміниться рівномірність освітлення круга при $I_2=200 \text{ кд}$?

64. На якій відстані над центром круга діаметром 30 см і розташованого в горизонтальній площині потрібно розмістити точкове джерело світла, щоб на поверхню круга падав світловий потік 20 лм? Світлорозподіл джерел $I(\alpha)=10 \cdot \cos(\alpha)$ (кд). Знайти максимальну, мінімальну і середню освітленості круга.

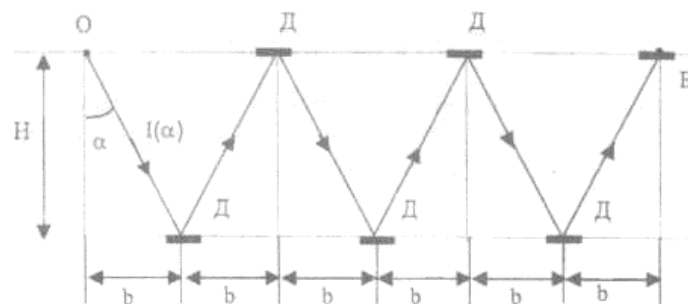
65. Визначити світловий потік, що випромінюється основою і поверхнею півсфери, значення сили світла по напрямках а рівним $0; 45;$

90; 135; 180°. Півсфера рівноякравна, діаметр основи 0,4 м. Світимість поверхні півсфери і основи 31,4 лм/м². Відлік кутів див. рис. до задачі 59.

66. Точкове джерело O освітлює площадку A відбитим від дзеркала D світлом. Сила світла по напрямку до центра дзеркала 2000 кд. Зображення джерела повністю вписується в межі дзеркала $H=2$ м; $b=1$ м. При коефіцієнті відбивання дзеркала 0,7 визначити горизонтальну освітленість площадки A в точці B .



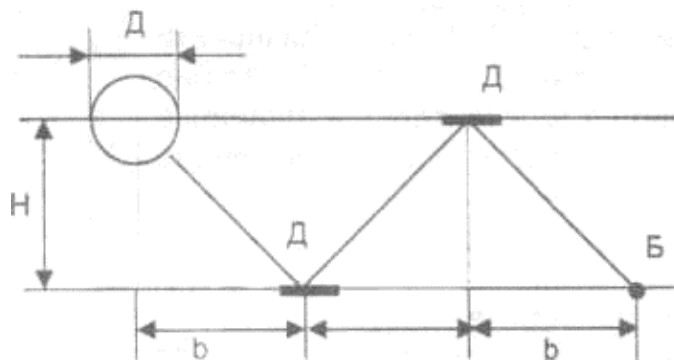
67. Визначити горизонтальну освітленість в т.Б білої гіпсової пластинки з коефіцієнтом відбивання 0,65. Світловий потік попадає на цю пластинку від джерела O після п'яти відбивань від дзеркал D , $\rho_d=0,8$; $H=3$ м; $b=4$ м; $I(\alpha)=10^7$ кд; $\alpha=30^\circ$.



68. Визначити горизонтальну освітленість в т.Б білої гіпсової пластинки (див. задачу 67), якщо п'яте дзеркало від джерела O замінити

дифузною пластинкою площею $A=100 \text{ см}^2$ з $\rho_q=0,9$. Джерело світла - рівнояскрава куля з $I(\alpha)=10^4 \text{ кд}$.

69. Рівнояскрава куля створює в т.Б горизонтальної площини освітленість 50 лк. Визначити яскравість кулі, якщо її діаметр 8 см, коефіцієнт відбивання кожного дзеркала $\rho_d=0,8$; $H=3 \text{ м}$; $b=1 \text{ м}$. Як зміниться освітленість т.Б горизонтальної площини, якщо кулю замінити рівнояскравим диском, що має таку ж яскравість і діаметр, як і куля, і площину диска розташувати паралельно горизонтальній площині.

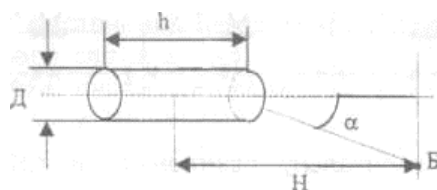


70. Визначити відношення коефіцієнта відбивання ρ до коефіцієнта яскравості β дзеркала в напрямку дзеркального відбивання. Джерело світла має яскравість 10^6 кд/м^2 . Кут падіння світлового променя в центр дзеркала 45° . Сила світла дзеркала в цьому напрямку 100 кд. Відстань від джерела світла до дзеркала 5 м, а яскравість відбитого пучка $L_p=7 \cdot 10^5 \text{ кд/м}^2$.

71. Визначити положення максимуму освітленості горизонтальної площини, яка освітлюється джерелом з силою світла $I(\alpha)=I_{90} \cdot \sin(\alpha)$ (кд). Джерело розташоване на відстані 3 м від освітлювальної поверхні. Відлік кутів α ведеться від вертикалі.

72. Задача №71. Світизорподіл $I(\alpha)=I_0 \cdot \cos(\alpha)$.

73. Визначити значення і напрямок максимальної сили світла рівнояскравого циліндра, світимість якого M (випромінює вся поверхня циліндра), а діаметр рівний його висоті h (див. рис.).

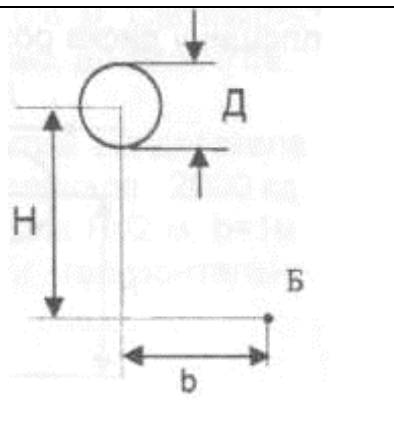


74. Задача 73. $k \cdot D = h$; $k = \text{const}$.

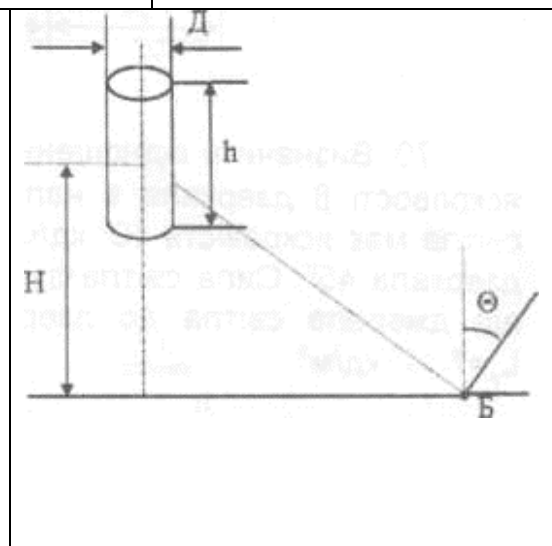
75. При якому співвідношенні $D:h$ максимальна сила світла, що випромінюється рівнояскравим циліндром, буде направлена під кутом $\alpha = 30^\circ$ (див. рис. до задачі 73).

76. Задача 75: $\alpha = 60^\circ$.

77. Рівнояскава сфера діаметром 4 см випромінює світловий потік 3140 лм. Визначити яскравість сфери і відстань, на якій потрібно розташувати сферу, щоб на горизонтальній площині в т.Б отримати максимальну горизонтальну освітленість при $b = 1,41$ м.

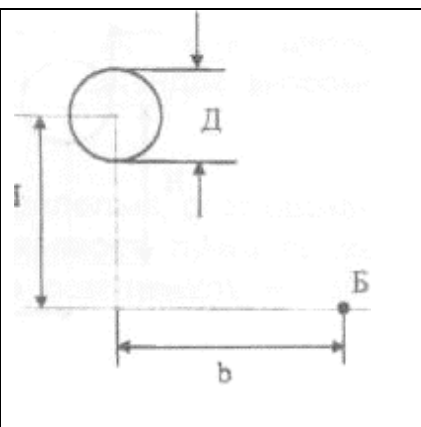


78. Рівнояскравий циліндр, в якого світиться вся поверхня, має яскравість 10^5 кд/м² і розташований, як показано на рисунку. Визначити коефіцієнт яскравості в напрямку Θ ділянки горизонтальної поверхні в околі т.Б, якщо його яскравість $L_\Theta = 0,5$ кс/м²; $H = 1$ м; $b = 2$ м; $D = 2,5$ см; $h = 6$ см.

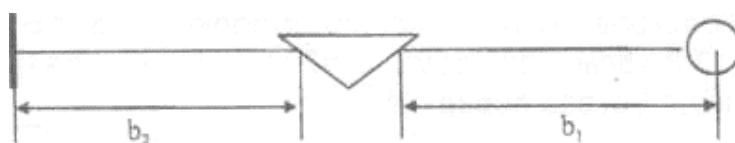


79. Задана 78. Циліндр розташовано в площині малюнку, а його вісь паралельна горизонталі.

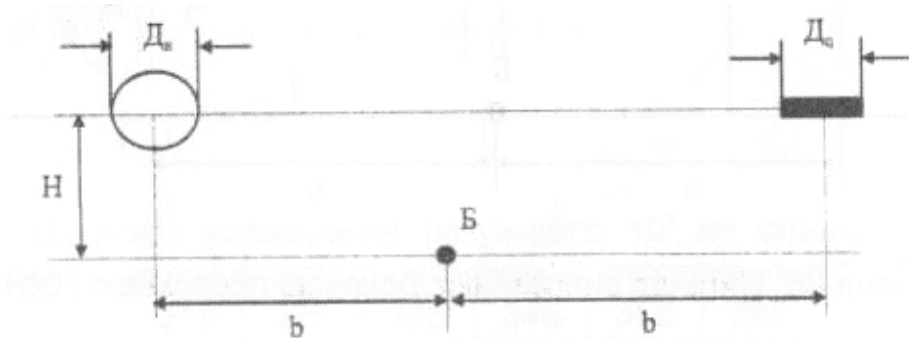
80. Рівнояскрава куля діаметром 80 см освітлює дзеркало, розташоване горизонтально в т.Б. Визначити коефіцієнт яскравості в напрямку дзеркального відбивання, якщо яскравість дзеркала в цьому напрямку 800 кд/м^2 ; $\rho_{\text{дз}}=0,6$; $H=3 \text{ м}$; $b=2 \text{ м}$.



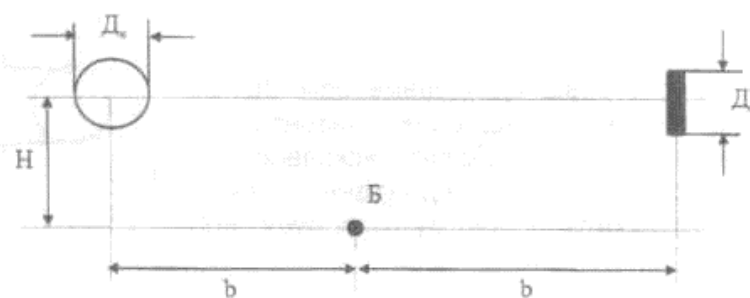
81. Точкові джерела світла, куля і диск, освітлюють дві грані рівносторонньої тригранної призми. Джерела випромінюють однакові за значенням світлові потоки 1256 лм . Куля розташована на відстані $b_1=2 \text{ м}$ від середини освітлюваної грані. На якій відстані b_2 від середини другої грані потрібно розташувати диск, щоб грані мали однакову яскравість? Визначити яскравість грані, коли коефіцієнт відбивання її поверхні $0,8$. Товщиною диска знехтувати.



82. Рівнояскраві куля і диск випромінюють однакові світлові потоки 6280 лм . Визначити горизонтальну освітленість, яка створюється цими джерелами в т.Б, якщо $H=b=2 \text{ м}$. Обидва джерела відносно т.Б можна рахувати точковими. Товщиною диска знехтувати.



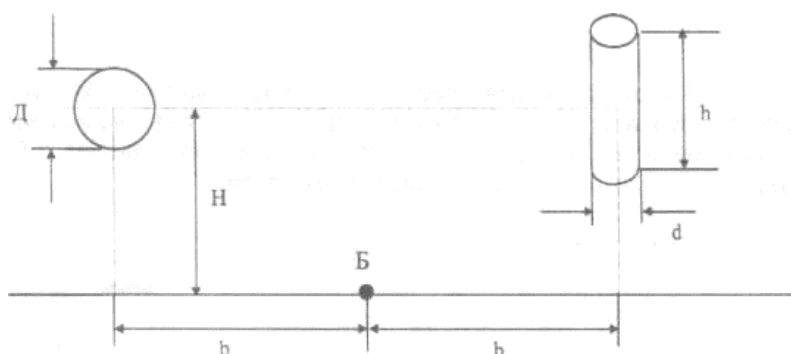
83. Задача 82. Диск повернутий навколо його центру до вертикального положення.



84. Рівнояскраві куля і диск створюють в т.Б горизонтальну освітленість 100 лк. Яскравості кулі і диску однакові, діаметри також. Визначити світлові потоки, що випромінюються кулею і диском. Відносно т.Б обидва джерела точкові $H=2\text{м}$, $b=1\text{м}$ (див. рис. до задачі 82). Товщиною диска знехтувати.

85. Задача 84. Рис. До задачі 83.

86. Рівнояскраві куля і циліндр створюють в т.Б горизонтальну освітленість $D=h=5\text{см}$; $d=2,5\text{см}$; $L_{\text{ц}}=2*L_{\text{к}}$; $H=3\text{м}$; $b=4\text{м}$. В циліндра випромінює лише бокова поверхня.



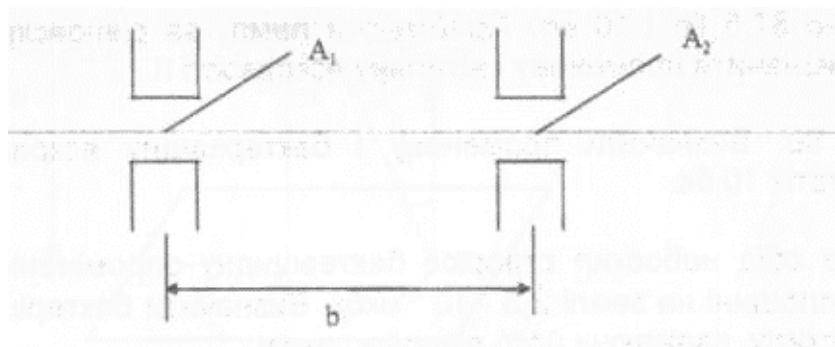
87. Задача 86. Циліндр випромінює боковою поверхнею і основами.

88. Рівнояскраві куля і диск випромінюють однакові за значенням монохроматичні світлові потоки $\Phi(\lambda_1) = \Phi(\lambda_2) = 6280$ лм. Сфера випромінює на $\lambda_1 = 0,42$ мкм, а диск - $\lambda_2 = 0,6$ мкм. Визначити горизонтальну опроміненість т.Б, яку створюють ці джерела. Обидва джерела відносно т.Б. можна вважати точковими. $H = b = 1$ м. Див. рис. До задачі 82.

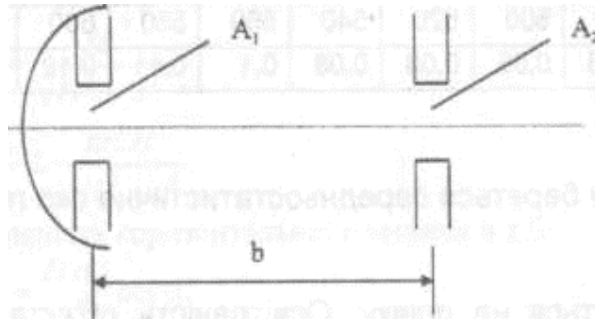
89. Задача 88, рис. до задачі 83.

90. Рівнояскраві куля і циліндр створюють в т.Б горизонтальну опроміненість $0,913$ Вт/м². Куля випромінює монохроматичний потік з $\lambda_1 = 0,5$ мкм, а циліндр - $\lambda_2 = 0,6$ мкм. Визначити яскравості кулі і циліндра, якщо $D = h = 5$ см; $d = 2,5$ см; $L_{\text{ци}} = 2 * L_{\text{СК}}$; $H = 3$ м; $b = 4$ м. В циліндра випромінює лише бокова поверхня (рис. до задачі 86).

91. Дві плоскі діафрагми, площини яких паралельні, розташовані на відстані $b = 10$ см одна від одної. Визначити яскравості пучка променів, якщо площі діафрагм $A_1 = 0,5$ см²; $A_2 = 0,25$ см², а освітленість в площині другої діафрагми 100 лк.



92. Вихідний отвір півсфери перекрито діафрагмою з площею отвору 20 см². Визначити світловий потік, що падає на другу діафрагму з отвором 20 см², якщо площини діафрагм паралельні, яскравість внутрішньої поверхні півсфери $5 * 10^4$ кд/м²; $b = 2$ м.



93. Лампа розжарення потужністю 10^3 Вт створює в т. Б деякої поверхні наступні спектральні значення опроміненості:

λ , нм	315	325	335	345	355	365	375	385	395
$E_e(\lambda)$, Вт/(м ² *нм)	0,08	0,27	0,5	0,73	1,0	1,3	1,65	2,04	2,5

Визначити бактеріцидну опроміненість цієї поверхні в т.Б

94. Визначити бактеріцидний потік, що випромінюється лампою на ділянці спектру $\lambda_1 = 248,3$ нм; $\lambda_2 = 269,2$ нм. На цій ділянці лампа має лінійчатий спектр. Монохроматичні променеві потоки цієї ділянки наведені:

λ (нм)	248,3	253,7	265,2	265,2
$\Phi_e(\lambda)$ (Вт)	7,2	12,4	3,75	3,75

95. Визначити вітальний потік лампи (задача 94).

96. Випромінююча частина поверхні лампи має форму циліндра діаметром 20 мм і довжиною 100 мм. Променевий і вітальний потоки цієї лампи відповідно 87,5 Вт і 10 віт. Приймаючи лампу за рівнояскравий випромінювач визначити променеву і вітальну яскравості її.

97. Задача 96. Визначити променеву і бактеріцидну яскравості. Бактеріцидний потік 10 бк.

98. Літом в обід небосхил створює бактеріцидну опроміненість в горизонтальній площині на землі $2,3 \cdot 10^{-4}$ мкбк. Визначити бактеріцидну яскравість небосхилу, вважаючи його рівнояскравим.

99. Визначити актинічність та відносну актинічність випромінювання чорного тіла з $T=2600$ К для плівки, відносна спектральна ефективність якої:

λ (нм)	420	440	460	480	500	520	540	560
$V_{\text{п}}(\lambda)$	0,84	1,0	0,8	0,18	0,05	0,08	0,08	0,1
λ (нм)	580	600	620	640	660	680	700	
$V_{\text{п}}(\lambda)$	0,11	0,12	0,13	0,1	0,08	0,06	0,02	

За зразковий приймач береться середньостатистичне око людини в умовах денного бачення.

100. Кінозйомка ведеться на плівку. Освітленість об'єкта зйомки 1000 лк при освітленні лампами розжарення із світловіддачею 21 лм/Вт. Визначте необхідну освітленість при освітленні об'єкта зйомки ртутними лампами з світловіддачею 37 лм/Вт, якщо відносні актинічності відповідно рівні $a_1 = 0,76$; $a_2 = 2,49$.