

Оптичні методи і засоби в галузі

Пройдення випромінювання через оптичне середовище

Загальні положення

У **загальному** випадку має місце:

- 1) часткове відбиття потоку на межі двох середовищ, яке може мати дзеркальний або дифузійний характер;
- 2) розсіяння потоку середовищем, тобто зміна просторового розподілу спрямованого випромінювання, яке в результаті поширення у середовищі відхиляється у різних напрямках;
- 3) часткове поглинання потоку випромінювання середовищем, супроводжуване переходом енергії випромінювання в інші види енергії;
- 4) часткове пропускання потоку випромінювання через середовище та ряд інших явищ.

Загальні положення

Зв'язок між монохроматичними (чи повними) потоками:

$$d\Phi_{\lambda} = d\Phi_{\rho\lambda} + d\Phi_{\alpha\lambda} + d\Phi_{\tau\lambda}, \quad (1)$$

$d\Phi_{\lambda}$ – падаючий потік; $d\Phi_{\rho\lambda}$ – відбитий потік; $d\Phi_{\alpha\lambda}$ – поглинутий потік; $d\Phi_{\tau\lambda}$ – потік, що пройшов.

Поділивши (1) на $d\Phi_{\lambda}$, отримаємо:

$$\rho_{\lambda} + \alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1, \quad (2)$$

де $\rho_{\lambda} = \frac{d\Phi_{\rho\lambda}}{d\Phi_{\lambda}}$ – спектральний коефіцієнт відбиття;

$\alpha_{\lambda} = \frac{d\Phi_{\alpha\lambda}}{d\Phi_{\lambda}}$ – спектральний коефіцієнт поглинання;

$\tau_{\lambda} = \frac{d\Phi_{\tau\lambda}}{d\Phi_{\lambda}}$ – спектральний коефіцієнт пропускання (передачі).

Загальні положення

Для **повного потоку** (складного випромінювання), після інтегрування виразу (2), маємо:

$$\rho + \alpha + \tau = 1,$$

де $\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi}$ — коефіцієнт відбиття;

$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi}$ — коефіцієнт поглинання;

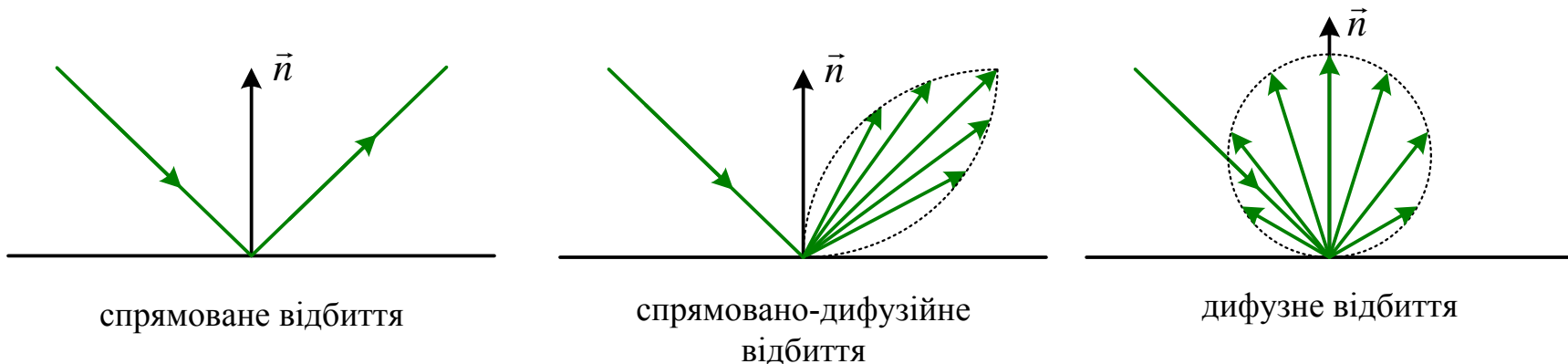
$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi}$ — коефіцієнт пропускання (передачі).

Види відбиття

Характер відбиття випромінювання залежить від стану поверхні розподілу та матеріалу двох середовищ:

- 1) **спрямоване** відбиття – дзеркальне відбиття, коли має місце рівність за абсолютною величиною кутів падіння та відбиття);
- 2) **спрямовано-розсіяне** відбиття (дифузійне відбиття) – максимум сили світла збігається з напрямком дзеркального відбиття;
- 3) **дифузне відбиття** у просторовому куті 2π , яке дають, наприклад, ідеально розсіюючі матові поверхні.

Індикатриси цих видів відбиття – рисунок.



Види відбиття

Для плоских поверхонь, дзеркальне відбиття:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} = \frac{I_\rho \Omega_\rho}{I \Omega} = \frac{L_\rho dA_\rho}{L dA} = \frac{L_\rho}{L},$$

де L_ρ – яскравість джерела, що спостерігається після відбиття;
 L – яскравість самого джерела.

Для дифузійного відбиття енергетична яскравість поверхні однакова у всіх напрямках, тобто виконується закон Ламберта. Оскільки у цьому випадку $I_e(\theta) = I_e^0 \cos \theta$, а відбитий нормально до поверхні потік $\Phi_\rho = \pi I_e^0 A$, то:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} = \frac{\pi I_e^0 A}{E_e A} = \frac{\pi L A}{E_e A} = \frac{\pi L}{E_e},$$

де E_e – енергетична освітленість відбиваючої поверхні.

Види відбиття

Коефіцієнт відбиття заломлюючої поверхні залежить від кута падіння випромінювання на поверхню та показників заломлення середовищ $n_{1,2}$. Для випадку нормального падіння на границю розподілу двох середовищ значення коефіцієнта відбиття обчислюють за формулою Френеля:

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

Якщо одним із середовищ є повітря, то:

$$\rho = \frac{(n_2 - 1)^2}{(n_2 + 1)^2}.$$

Цей вираз справедливий як для входу, так і для виходу променя.

Приклад. На границі повітря-скло втрати за рахунок відбиття становлять до 4 %.

Послаблення випромінювання

Послаблення монохроматичного випромінювання під час проходження паралельного потоку через однорідне середовище товщиною l підпорядковується **закону Бугера**:

$$d\Phi_{\tau\lambda} = d\Phi_{\lambda} e^{-L_{\lambda} dl},$$

де $d\Phi_{\tau\lambda}$ – потік, що пройшов крізь середовище;

$d\Phi_{\lambda}$ – потік на вході середовища;

L_{λ} – показник послаблення випромінювання за рахунок поглинання та розсіяння в елементарному шарі товщиною dl .

Враховуючи, що $\tau_{\lambda} = d\Phi_{\tau\lambda} / d\Phi_{\lambda}$, отримаємо:

$$\tau_{\lambda} = e^{-L_{\lambda} l}.$$

Послаблення випромінювання

У ряді випадків пропускання випромінювання характеризують **оптичною густиною** D , яка пов'язана з τ залежністю:

$$D = \lg \frac{1}{\tau} = -\lg \tau.$$

Для середовищ із коефіцієнтами пропускання $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ сумарний (загальний) коефіцієнт пропускання:

$$\tau_{\Sigma} = \prod_{j=1}^n \tau_j,$$

а сумарна оптична густина середовищ

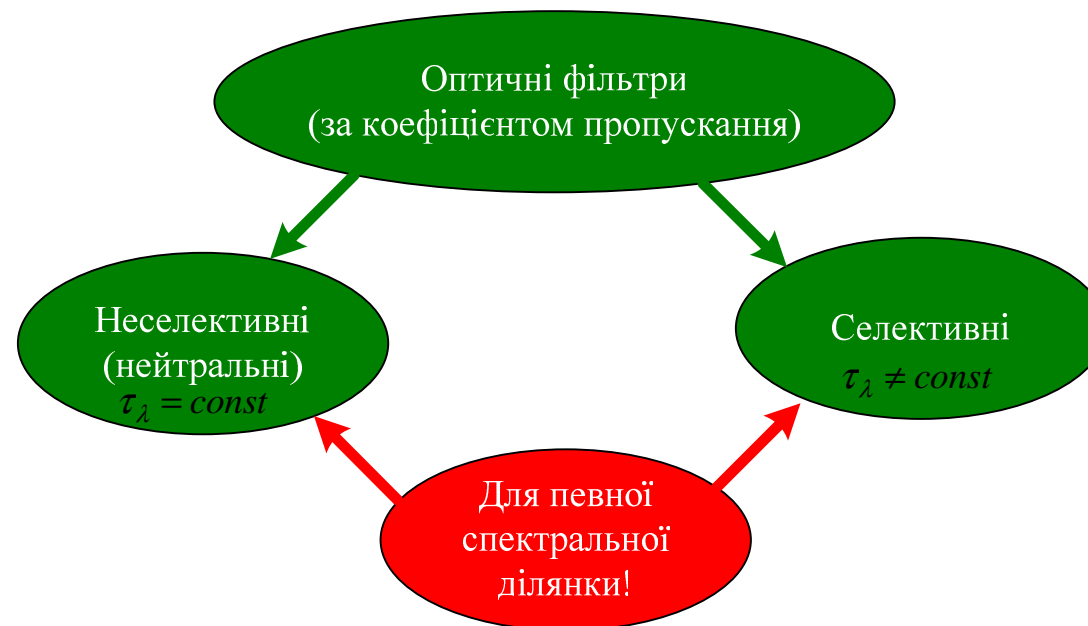
$$D_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n D_i.$$

Оптичні фільтри

Оптичний фільтр – середовище, оптичні властивості якого використовують для зміни значення потоку випромінювання або його спектрального складу.

Принципи дії таких фільтрів:

- вибіркоче поглинання;
- відбиття;
- розсіювання;
- інтерференція у твердих, рідких і газоподібних середовищах.



Оптичні фільтри

Нейтральні фільтри зменшують світловий потік, не змінюючи його спектрального складу.

Якщо функція τ_λ відома, а для випромінювання, що потрапило на фільтр, відома функція розподілу спектральної густини потоку випромінювання Φ_λ , то значення потоку $\Phi_{\lambda_1-\lambda_2}$, що пройшов через фільтр, у деякому спектральному інтервалі $\lambda_1 - \lambda_2$:

$$\Phi_{\lambda_1-\lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_\lambda \tau_\lambda d\lambda.$$

За спектральними характеристиками селективні фільтри поділяють на групи:

- **короткохвильові** – пропускають випромінювання з довжинами хвиль, **меншими (коротшими)** за граничне значення;
- **довгохвильові** – пропускають випромінювання з довжинами хвиль, **більшими** за граничне значення;
- **смугові** – пропускають випромінювання у вузькій смугі довжин хвиль.

Оптичні фільтри

Граничною зазвичай **вважають довжину хвилі** на якій $\tau_{\min} = 0,1\tau_{\max}$.

Ширину смуги пропускання визначають на половинному рівні $0,5\tau_{\max}$.

Приклад: інтерференційні фільтри є вузькосмуговими. τ_{\max} буде на тій довжині хвилі, для якої оптична товщина діелектричного шару кратна $\lambda/2$. їхня будова: прозорий шар діелектрика, покритий напівпрозорими металевими шарами.

У багатошарових інтерференційних фільтрах напівпрозорі металеві плівки замінено кількома шарами діелектричних плівок. Вони мають краще пропускання ($\tau_{\max} > 0,8$) і ступінь монохроматичності ($\leq 10^{-2}$).