### Міністерство освіти і науки України

### Національний Університет

#### ***“Львівська Політехніка”***

##### Кафедра ІВТ

### Курсова робота

*на тему: “Світлотехнічні вимірювання: одиниці і величини”.*

###### Виконала:

студентка гр.МВ-31

Петрусь Х. Б.

Перевірив:

Поліщук Є.С.

###### Львів 2001

**Зміст**

***1. Випромінювання.***

***2. Потік випромінювання.***

***3. Світловий потік.***

***4. Сила випромінювання і сила світла.***

***5. Енергетична світність і світність.***

***6. Енергетична яскравість (променистість) і яскравість.***

## *7. Коефіцієнт яскравості.*

***8.Енергетичні і світлові величини, що характеризують спалах.***

1. **Випромінювання**

*Випромінювання* – поняття, однаково застосовуване до різних областей електромагнітних полів (гама –, рентгенівське, оптичне, радіовипромінювання). До оптичної області спектра відноситься частина електромагнітного спектра з довжинами хвиль від =0,01мкм до =1000 мкм. Випромінювання оптичної області спектра широко застосовуються для штучного освітлення, для опромінення тварин, рослин, насіння.

Випромінювання оптичної області спектра утворюється в результаті електронного збудження атомів, коливального й обертального руху молекул.

*Енергія випромінювання* може бути вимірювана в джоулях (Дж) у системі СІ чи інших одиницях енергії.

**2. Потік випромінювання**

У світлотехніці прийнято користуватися потужністю випромінювання, що називається потоком випромінювання (чи променистим потоком). Одиницею виміру потоку випромінювання служить ват (Вт).

Якщо джерело енергії випромінювання за час *dt* випромінює енергію *dQe*, то миттєве значення потоку випромінювання цього джерела  дорівнює:



Часто користуються поняттям середнього значення потоку випромінювання за кінцевий інтервал часу *t*

Ф*е*ср

де Ф*е*ср– середнє значення потоку випромінювання; *Q е*– енергія, випромінювана джерелом за час *t.*

Потік випромінювання характеризується розподілом за часом, спектром, у просторі.

У більшості випадків, коли говорять про розподіл потоку випромінювання за часом, не враховують квантового характеру виникнення випромінювання, а розуміють під цим функцію, що дає зміну в часі миттєвих значень потоку випромінювання Фе(*t*). Це допустимо, оскільки число фотонів, випромінюваних джерелом в одиницю часу, дуже велике. Наприклад, лампа накалювання потужністю 100 Вт у секунду випромінює біля 5\*1020 фотонів. Коли розглядаються явища генерування і поглинання потоку випромінювання, доводиться враховувати його квантову природу .

*Розподіл потоку випромінювання за спектром.*

За спектральним розподілом потоку випромінювання джерела розбивають на три класи: з лінійчатим, смугастим і суцільним спектрами.

1. У джерел з лінійчатим спектром випромінювання відбувається в межах вузьких ділянок спектра – ліній. Прийнято потік випромінювання однієї лінії вважати монохроматичним. Надалі під монохроматичним потоком випромінювання будемо розуміти потік, випромінюваний у межах дуже вузької ділянки (довжин чи хвиль частот), який можна охарактеризувати одним значенням довжини чи хвилі частоти.

Потік випромінювання джерела з лінійчатим спектром складається з монохроматичних потоків окремих ліній:



де  – потік випромінювання джерела з лінійчатим спектром; , ,): – монохроматичні потоки випромінювання окремих ліній.

*Лінійчатий спектр* мають газорозрядні джерела випромінювання, у яких розряд відбувається в атмосфері інертного чи газу випарів металу.

2. У джерел зі смугастим спектром випромінювання відбувається в межах досить широких ділянок спектра – смуг, відділених одна від іншої темними проміжками. Випромінювання однієї смуги вже не можна вважати однорідним, тому що ширина смуги може бути значною.

*Смугасті спектри* утворюються від злиття в смуги близько розташованих один до одного спектральних ліній.

3. Джерела теплового випромінювання і випромінювання люмінесценції рідких і твердих тіл мають суцільні спектри. Суцільний спектр можна представити у вигляді окремих монохроматичних потоків, що прилягають безпосередньо один до одного.

Для характеристики спектрального розподілу потоку випромінювання джерел із суцільним і смугастим спектрами користуються величиною, що називається спектральною щільністю потоку випромінювання 



де  і  відповідно потоки випромінювання вузьких ділянок спектра шириною  і 

Одиниця спектральної щільності потоку випромінювання Вт\*мкм-1.

*Розподіл потоку випромінювання за спектром* можна охарактеризувати функцією .

Знаючи функцію , легко визначити потік випромінювання будь-якої ділянки спектра:



Якщо математичного виразу немає чи інтегрувати цю функцію важко, то інтеграл заміняють сумою добутків 



Відношення спектральної щільності потоку випромінювання і площі *А* випромінюючої поверхні джерела називається *спектральною щільністю енергетичної світності* випромінювання:



Одиниця спектральної щільності енергетичної світності Вт\*мкм-1\*м-2

**3.Світловий потік**

*Світловий потік* – ефективний потік у системі, де зразковим приймачем є приймач, відносна спектральна чутливість якого визначається нормалізованою функцією відносної спектральної світлової ефективності випромінювання V( ) для яскравості адаптації L 10 кд\*м-2 *(денний зір)* і V'( ) для L  0,01 кд\* м-2 *(нічний зір).*

Якщо немає особливих вказівок, світловий потік визначиться співвідношенням, прийнятим МКО в 1948 р.:



де  монохроматичний світловий потік;  -монохроматичний потік випромінювання;  – відносна спектральна чутливість органа зору до монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі  .

За одиницю світлового потоку прийнятий люмен (лм). Один люмен - це світловий потік, випромінюваний в одиничному тілесному куті (стерадіан) рівномірним точковим джерелом із силою світла в одну канделу.

*Максимальною спектральною чутливістю*  володіє при денному зорі фотометричний спостерігач МКО до монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі  =555 нм. Чисельно  =680 лм/Вт.

Для переходу від монохроматичного потоку випромінювання до монохроматичного світлового потоку з тією же довжиною хвилі користаються співвідношенням



Світловий потік джерела з лінійчатим спектром



де - потік випромінювання лінії, Вт; *n* - число ліній.

Світловий потік джерела із суцільним спектром



Якщо функції *V()* і *()* задані таблицями чи графіками, потік визначається так:



де *n* – число ділянок, на які розбита видима область спектра;  значення спектральної щільності потоку випромінювання для середини *i*-ї ділянки;  –значення відносної спектральної чутливості ока для середини *i*-ї ділянки.

Нижче приводяться потужності, напруги і світлові потоки деяких джерел світла:

Лампа накалювання нормальна 40 Вт, 220 В 415 лм

Лампа накалювання біспіральна з криптоновим наповненням 40 Вт, 220 В 460 лм

Люмінесцентна лампа типу ЛБ 40 Вт, 220 В 3000 лм

Трубчаста ксенонова лампа "Сиріус" 100 кВт, 380 В 5\*106лм

# 4. Сила випромінювання і сила світла

*Сила випромінювання* точкового джерела – це просторова щільність потоку випромінювання в межах елементарного тілесного кута тобто відношення потоку випромінювання в заданому напрямку до цьому елементарному тілесного куту:



де  – сила випромінювання у напрямку ; потік випромінювання, що поширюється в межах елементарного тілесного кута .

За одиницю сили випромінювання прийнята сила випромінювання такого джерела, у якого в межах тілесного кута в 1ср рівномірно поширюється потік випромінювання в 1 Вт,

Вт\*ср-1.

Незважаючи на те що всі реальні джерела випромінювання мають обмежені розміри, дуже часто користуються поняттям точкового джерела випромінювання.

Точковим джерелом випромінювання (світла) називають таке джерело, розміри якого настільки малі в порівнянні з відстанню до приймача, що ними можна знехтувати в обчисленнях при використанні закону квадратів відстаней. Для точкового джерела з заданою точністю дійсний закон квадратів відстаней. Для рівнояскравих джерел випромінювання, відношення відстані *b*  до найбільшого розміру джерела *а* може служити критерієм, за яким оцінюється точковість джерела випромінювання. Якщо це відношення *b/a*=1, то при використанні закону квадратів відстаней похибка складає 100 %, при *b/a*=3,3 і *b/a*=5відповідно 9 і 4 %. За напрямок сили випромінювання приймають вісь тілесного кута  , у межах якого поширюється і рівномірно розподіляється потік випромінювання.

Якщо з точки, у якій розташований точкове джерело випромінювання, у різних напрямках простору відкласти значення сили випромінювання цього джерела і через кінці векторів провести площину, то ми отримаємо *фотометричне тіло* сили випромінювання джерела, що цілком характеризує розподіл потоку випромінювання даного джерела в його навколишньому просторі.

За характером розподілу сили випромінювання точкові джерела поділяються на 2 групи:

1) із симетричним щодо деякої осі розподілом сили випромінювання. Таке джерело називається круглосиметричним

2) з несиметричним розподілом сили випромінювання – несиметричне джерело, у якого тіло розподілу сили випромінювання не має осі симетрії.

Якщо джерело круглосиметричне, то його фотометричне тіло є тілом обертання і може бути цілком охарактеризоване половиною кривої (до ), котра є перетином фотометричного тіла площиною, що проходить через вісь симетрії. Така крива називається *поздовжнью кривою сили випромінювання.*

Розподіл у просторі потоку випромінювань круглосимметричного джерела може бути охарактеризоване і поперечними кривими, що утворюються шляхом перетину фотометричного тіла джерела площинами, перпендикулярними осі симетрії. Ці криві менш поширені, тому що тільки їх сімейство достатнє повно характеризує розподіл у просторі потоку випромінювання джерела.

Для круглосимметричного джерела сила випромінювання в будь-якому напрямку простору однозначно визначається кутом , котрий прийнято відраховувати від вертикалі. Таким чином, маючи графічне чи аналітичне вираження функції , ми одержуємо повне уявлення про розподіл потоку випромінювання в просторі круглосимметричного джерела випромінювання.

Несиметричне джерело випромінювання можна охарактеризувати сімейством подовжніх кривих сили випромінювання чи . Значення сили випромінювання, що відповідає визначеному напрямку в просторі, однозначно визначається вже не одним кутом , а двома  і  чи  і . Кут  характеризує ту площину, у якій розташована цікавляча нас сила випромінювання: його відлік звичайно ведеться від площин чи симетрії, якщо така, отсутствует, від довільно обраної пласкости.

Часто доводиться за заданим розподілом в просторі сили випромінювання визначати потік випромінювання джерела. Ця задача легко вирішується для симетричного джерела за відомою подовжньою кривою його сили випромінювання .

Маючи аналітичне вираження функції , легко підрахувати потік випромінювання такого джерела:

,

де  – потік випромінювання джерела; кути, що визначають ту частину простору, у межах якої джерело випромінює потік. Нехай ми маємо плоский равнояскравий тонкий диск, сила випромінювання якого =0cos У цьому випадку потік, випромінюваний однією стороною цього диска,

,

Якщо розподіл сили випромінювання в просторі задано подовжньою кривою і математичного виразу цієї кривої немає, то визначення потоку випромінювання проводиться шляхом підсумовування потоків випромінювання, укладених в окремих зональних тілесних кутах. Область кутів  від 0 до 180 ° розбиваємо на 10-градусні чи 5-градусні зони.

У межах кожної зони визначаємо потік випромінювання, приймаючи за силу випромінювання зони середнє значення сил випромінювань, що відповідають її краям.

Таким чином, потік випромінювання джерела, для якого відома подовжня крива сили випромінювання, легко визначається по наступній формулі:



Для несиметричних джерел користуються набором кривих сили випромінювання для площин, обумовлених різними кутами  і .

*Сила світла* - просторова щільність світлового потоку точкового джерела в межах елементарного тілесного кута. Сила світла чисельно дорівнює відношенню світлового потоку до тілесного кута, у межах якого цей світловий потік поширюється і рівномірно розподіляється:



де  – сила світла під кутом ; світловий потік, що поширюється в межах тілесного кута .

Кандела – сила світла, випромінювана в перпендикулярному напрямку з 1/600000 квадратного метра поверхні повного випромінювача при температурі затвердіння платини і тиску 101325 паскалей (Па). Скорочене позначення кд, розмірність лм\*ср-1.

Усі раніше отримані співвідношення, що зв'язують силу випромінювання з потоком випромінювання, справедливі і для сили світла і світлового потоку, якщо в них силу випромінювання замінити силою світла, а потік випромінювання – світловим потоком.

## 5. Енергетична світність (випромінюваність) і світність

*Енергетична світність* – щільність потоку випромінювання по поверхні елементарної ділянки випромінюючого (відбиваючого чи проникного) тіла. Енергетична світність чисельно дорівнює відношенню потоку випромінювання до площі ділянки поверхні, що випромінює цей потік:

; *Мeср*

де *Me* і *Мeср* – енергетична світність елемента поверхні *d* і середня енергетична світність поверхні *А*, *dФе* і *Фе* – потоки випромінювання, випромінювані з поверхонь *dA*  і *A*.

Одиниця енергетичної світності – ват з квадратного метра, (Вт\*м-2), назви не має.

*Світність* - щільність світлового потоку по поверхні елементарної ділянки випромінюючого ( відбиваючого чи проникного) світло тіла.

Світність чисельно дорівнює відношенню світлового потоку до площі ділянки поверхні, що випромінює цей потік:

; *Мср*

де *М* – oсвітність елемента поверхні *d*; *Мeср* – середня світність поверхні *A*; *dФ* і *Ф* световые потоки, випромінювані цими поверхнями,

Одиниці світності лм\*м-2. Раніш ця одиниця називалася радлюксом, рлк. Нижче приводяться енергетичні світності і світності деяких поверхонь.

**6.** **Енергетична яскравість (променистість) і яскравість**

Джерело випромінювання прийняте характеризувати енергетичною яскравістю, а джерело світла – яскравістю.

*Енергетична яскравість*. Під енергетичною яскравістю ділянки поверхні розуміють відношення сили випромінювання цієї ділянки в даному напрямку до площі його проекції на площину, перпендикулярну даному напрямку. Якщо джерело випромінювання точкове, то його середня енергетична яскравість у даному напрямку дорівнює відношенню його сили світла в цьому напрямку до проекції його випромінюючої поверхні на площину, перпендикулярну даному напрямку:

; 

(де  і *Lе*ср – енергетична яскравість ділянки поверхні і поверхні *А* у напрямку ;  і  – сили випромінювання елемента поверхні *d* і поверхні *A* в напрямку ;  і  – проекція ділянки поверхні *d* і поверхні *А* на площину, перпендикулярну напрямку .

За одиницю енергетичної яскравості (Вт\*ср-1м-2) приймають енергетичну яскравість плоскої поверхні площею 1м2, що у перпендикулярному напрямку має силу випромінювання 1 Вт\*ср-1.

Якщо випромінююча поверхня *А* плоска, то її проекція на площину, перпендикулярну будь-якому напрямку , . Енергетична яскравість плоскої поверхні, яку можна вважати точковим джерелом,



Яскравість у системі світлових величина – величина, аналогічна енергетичної яскравості в системі енергетичних величин.

Під яскравістю ділянки поверхні в даному напрямку розуміється відношення сили світла, випромінюваної ділянкою поверхні в даному напрямку, до проекції ділянки поверхні, що світить, на площину, перпендикулярну даному напрямку

Якщо на мал. 1.17,а,б силу випромінювання замінити силою світла, то одержимо співвідношення, що зв'язують яскравість і силу світла:

; =

де  і сили світла, випромінювані ділянкою поверхні *d* і поверхнею *A* в напрямку ;



Вираз вірний, якщо поверхня *A –* точкове джерело світла, а якщо *A* плоска поверхня. Яскравість – дуже важлива величина, тому що око безпосередньо реагує на яскравість. За одиницю яскравості (кд\*м-2) прийнята яскравість такої плоскої поверхні, що у перпендикулярному напрямку випромінює силу світла в одну канделу (1 кд) з 1 м2 випромінюючої поверхні. Ця одиниця називається також ніт, нт.

## 7. Коефіцієнт яскравості

Для характеристики розподілу в просторі яскравості ділянки поверхні, що світить, користуються безрозмірною величиною –коефіцієнтом яскравості.

Коефіцієнтом яскравості називається відношення яскравості даної поверхні в даному напрямку до яскравості диффузно відбиваючої поверхні з коефіцієнтом відображення =1 (ідеально відбиває світло поверхні), що знаходиться в таких же умовах освітлення, що і дана поверхня:



де  коефіцієнт яскравості в напрямку простору, обумовленому кутом ;  – яскравість поверхні в цьому напрямку; *Li –* яскравість рівнояскравої поверхні з =1 , поставленої в ті ж умови висвітлення; *Е*– освітленість зразка, розташованого в околицях точки *Б.*

Неважко показати, що коефіцієнт яскравості дифузійної поверхні дорівнює її коефіцієнту відображення, , а коефіцієнт яскравості дзеркальної поверхні



де  – коефіцієнт дзеркального відображення; *L*– яскравість джерела світла, що висвітлює зразок; *Е* – освітленість поверхні зразка.

*Коефіцієнт яскравості поверхні з направленно-розсіянным відображенням*. Якщо направлена поверхня, що розсіює світло, має хаотично розташовані поглиблення й опуклості, то фотометричне тіло ділянки такої поверхні можна апроксимувати витягнутим еліпсоїдом обертання, параметричне рівняння якого має вигляд:

*y2/a2+z2/b2=1*.

Використовувавши це припущення, одержали вираз, що описує коефіцієнт яскравості такої поверхні при висвітленні її крапковим джерелом світла, що має вигляд:

, (1)

де 

Кути, що входять у ці вирази, і півосі фотометричного тіла показані на мал. 1, де *а* і *b* - велика і мала півосі фотометричного тіла;  – кут падіння світла на поверхню зразка;  – кут, що визначає напрямок, у якому розраховується коефіцієнт яскравості;  – кут, що визначає положення вертикальної площини, у якій розташований кут 

Значення *ak* і *р* визначаються розрахунково-експериментальним методом. Висвітлюємо зразок крапковим джерелом світла і вимірюємо його яскравість у двох напрямках *а1а*і *aa*, що лежать у площині падіння світла .

Мал.1

Напрямок, у яких вимірюємо яскравість зразка, вибираємо наступними:

1. , , для цього напрямку вираз (1)спрощується і приймає вигляд:

 (2)

а яскравість у цьому напрямку

 (3)

де *Е* - освітленість зразка, що виміряється.

З (3) знаходимо:

 (4)

2. , , у цьому випадку (1) спрощується і після нескладних перетворень приводиться до виду

 (5)

Підставляємо в (1)  з (5) і *2ak* з (4) і після перетворень одержуємо

. (6)

З (6) визначаємо:



**8.Енергетичні і світлові величини, що характеризують спалах**

В даний час широке поширення одержали імпульсні джерела світла, енергетичні і світлові характеристики яких швидко змінюються в часі. На мал. 2 показана характерна крива зміни миттєвих значень сили світла імпульсного джерела за час одного спалаху. Для характеристики імпульсного джерела використовуються величини, відмінні від тих, котрими характеризуються джерела постійної дії. Так, сила світла імпульсного джерела в обраному напрямку характеризується фронтами наростання і зменшення миттєвих значень сили світла, максимальним значенням сили світла, що часто називають амплітудним, і інтегральною характеристикою, що називається освічуванням, кд\*с:

мал. 2



де – освічування; *t*сп- тривалість спалаху; – миттєві значення сили світла в обраному напрямку .

Під тривалістю спалаху *t*сп розуміють час, протягом якого світлова чи енергетична величина, що характеризує спалах, буває рівною чи більшою визначеної частини її амплітудного значення. Стосовно до освічування *t*сп - це час, протягом якого миттєве значення сили світла

 , де 0<n<1.

Дотепер немає однонозначності у визначенні тривалості спалаху. Під тривалістю спалаху розуміють час, протягом якого сила світла задовольняє одну з нерівностей:

; ; .



Тому, користуючись освічуванням і іншими інтегральними характеристиками спалаху, слід домовитися , для якої тривалості спалаху вони визначаються.

*Енергетичне освічування*, Дж\*ср-1:



Для оцінки впливу імпульсного джерела на приймач користаються поняттями *експозиція* (кількість висвітлення), лк\*с, і *енергетична експозиція* (кількість опромінення), Дж \*м-2

 

*Яскравість спалаху* в обраному напрямку  характеризується амплітудним значенням *L*max (за період спалаху) і інтегральним значенням, що називають інтегралом імпульсу яскравості кд\*с\*м-2;



де *L(t)* - миттєві значення яскравості.

*Енергетична яскравість спалаху* в обраному напрямку простору визначається аналогічно і характеризується інтегралом імпульсу енергетичної яскравості, Дж\*ср-1\*м-2:



де *Le(t)* - миттєві значення енергетичної яскравості.

*Світлова енергія спалаху*, лм\*с. випромінювана за час спалаху:



де *Ф(t)* - миттєві значення світлового потоку спалаху.

Величину *Q* раніше називали світлосумою спалаху.

*Енергія випромінювання спалаху*, Дж:



де *Фе(t)* - миттєві значення потоку випромінювання спалаху, Вт.

Для живлення імпульсного джерела звичайно використовується схема з конденсатором. Це найбільш розповсюджене і зручне джерело живлення імпульсної лампи.

Знаючи ємність конденсатора і напруги, до котрої він заряджається, легко визначити світлову й енергетичну ефективність спалаху імпульсного джерела,

 

де *Ксп*і *Кесп* - світлова й енергетична ефективність спалаху; *С –* ємність живильного конденсатора, *U* – напруга на обкладках конденсатора на початку спалаху.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величини | | Одиниці | | | | **Вираження через основні і допоміжні одиниці СІ** |
| Назва | Розмірність | Назва | Позначення | | |
| міжнародні | | українські |
| Енергія випромінювання | L2MT-2 | джоуль | J | Дж | | m2\*kg\*s-2 |
| Потік випромінювання | L2MT-3 | ват | W | Вт | | m2\*kg\*s-3 |
| Світловий потік | J | люмен | lm | лм | | cd\*sr |
| Яскравість | L-2J | Кандела на квадратний метер | cd/m2 | кд/м2 | |  |