

18 Определяне интензитета на нажежаема лампа

Теоретична обосновка

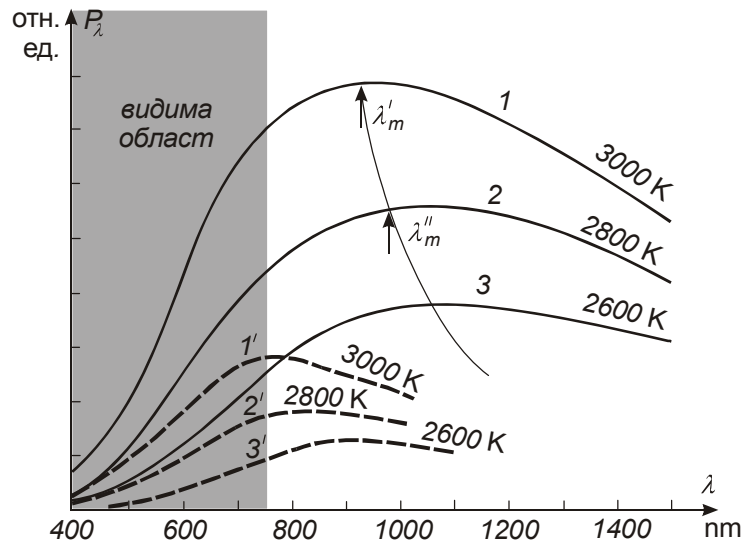
Всички тела, които виждаме, излъчват светлина – собствена или отразена. Но в тесния смисъл на думата *източници на светлина* са физическите тела или системи, които преобразуват различни видове енергия в енергия на електромагнитно лъчение от *оптичния диапазон* (с дължина на вълната $\sim 10 \text{ nm} \dots 1 \text{ mm}$), а в частност – в светлина ($380 \dots 760 \text{ nm}$).

Естествени източници са звездите, вкл. Слънцето, електрическите разряди в атмосферата, луминесциращите животински организми и др., а *изкуствени* – нажежаемите лампи, дъговите електроразрядни излъчватели, излъчвателите с газово нагряване, луминесцентните лампи, лазерите и пр. Поради това, че са евтини, удобни за ползване и с разнообразни технически параметри, най-широко разпространени са *нажежаемите лампи*. При тях тънка волфрамова жичка, навита на единична или двойна спирала, поместена в евакуиран или пълен с подходящ газ стъклен балон (колба) се нажежава до $2400 \dots 3300 \text{ K}$, когато през нея протича номинален електричен ток.

Поради двойствената ѝ природа светлината може да се разглежда или като разпространяващи се *електромагнитни вълни*, или – при излъчването и поглъщането ѝ от веществото – като *дискретни количества енергия* (наричани *фотони* или *кванти*) с големина $W_\phi = h \nu$, където h е константа на Планк, а ν – честотата на съответната вълна. (Произведението на честотата ν и дължината на вълната λ е равно на скоростта на светлината c , $\lambda \nu = c$.) Докато излъчената от лазер светлина е с точно определена честота и е много тясно насочена – в почти успореден сноп (лъч), то емисията от обикновена нажежаема лампа съдържа електромагнитни вълни с непрекъснат набор от честоти, а се разпространява в почти всички посоки и само поради нуждата от захранване и закрепване относително малка част от пространството не се осветява пряко от лъчението ѝ.

При определена температура на волфрамовата жичка излъчената от нея светлина е малка част от пълната ѝ емисия, защото тя излъчва електромагнитни вълни и с дължини, по-малки от тази на виолетовия край ($\lambda_v = 380 \text{ nm}$) и с по-големи от тази на червения край ($\lambda_r = 760 \text{ nm}$) на видимата област на спектъра. Нажежената жичка излъчва подобно на *абсолютно черно тяло*, но значително по-слабо. (Сравни прекъснатите и плътните криви за една и същ температура, представени на фиг. 26.1.) С увеличаване на температурата *излъчваната мощност (енергията за единица време)* P_λ във всеки произволно малък, но определен интервал ($\lambda, \lambda + d\lambda$)

нараства значително, а максимумът на зависимостта се отмества към по-късите дължини на вълните.

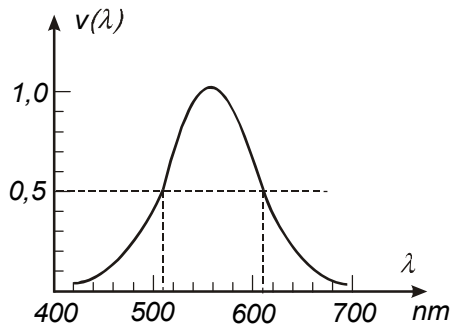


Фиг. 26.1.

Енергията (във вид на лъчение), която за единица време се *излъчва* от, *пренася* през или *попада* върху някаква повърхност, определя величината *лъчист поток* (Φ_e) за нея. От тази дефиниция следва, че *лъчистият поток през затворена повърхност, която обхваща някакъв излъчвател, е равен на неговата мощност*.

Когато лъчистият поток не се измерва от обективно определящи го уреди, а се оценява според зрителното усещане, което той предизвиква у човека, получава се информация за т. нар. *светлинен поток*. В този смисъл *светлинен поток* е онази част Φ_v от лъчистия поток Φ_e , която зрението възприема като светлина. Човешкото зрение е *селективно*, т. е. то *не получава еднакво усещане* за светлина, когато в окото за едно и също време попаднат *еднакви количества енергия*, но от светлина с *различна λ* . (Светлината с различна λ се възприема от зрението като различни цветове.) Величината, с която може да се представи тази зависимост, се нарича *относителна спектрална светлинна ефективност*, $V(\lambda)$, и е отношението на светлинния поток Φ_v , към лъчистия поток Φ_e , в който той се съдържа, като стойността ѝ при $\lambda = 555 \text{ nm}$, където е нейният максимум, се приема

за единица (фиг. 26.2). Тази зависимост е определена опитно. При дължини на вълните 510 nm и 610 nm, например, $V(\lambda) = 0,5$. Това означава, че



Фиг. 26.2.

светлината с която и да е от тези дължини на вълната трябва да бъде два пъти по-мощна от светлина с 555 nm, за да се възприемат лъченията като еднакво ярки, т. е. със същото зрително усещане, независимо от цвета на светлината.

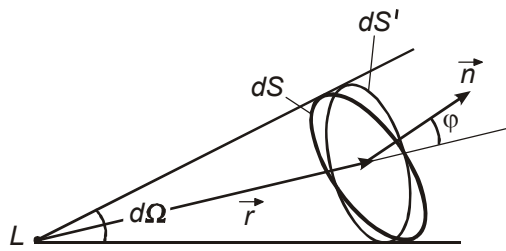
Излъчваната от произволен източник L в определена посока светлина може да се характеризира с отношението на светлинния поток $d\Phi_v$ и големината на произволно малкия пространствен

ъгъл $d\Omega$, в който този поток се разпространява; ъгълът $d\Omega$, естествено, съдържа разглежданата посока. Така определената величина

$$J = d\Phi_v / d\Omega \quad (26.1)$$

се нарича *интензитет на светлината*. Ако източник излъчва еднакво във всички посоки, светлинният му поток според (26.1) е

$$\Phi_v = \int_0^{4\pi} J d\Omega = 4\pi J$$



Фиг. 26.3.

Такъв излъчвател при определени условия може да се приема за *точков*. На достатъчно големи разстояния от тях, някои нажежаеми лампи може да се разглеждат като точкови източници.

Когато светлинен поток $d\Phi_v$ пада *перпендикулярно* върху повърхнината с лице dS , отношението

$$E = \frac{d\Phi_v}{dS} \quad (26.2)$$

представлява енергията, която светлината за единица време пренася до единица площ от тази повърхнината, и се нарича нейна *осветеност*. В общия случай (фиг. 26.3), когато нормалата \vec{n} към повърхнината dS и посоката

на разпространение \vec{r} сключват ъгъл φ , пространственият ъгъл

$$d\Omega = \frac{dS'}{r^2} = \frac{dS \cos \varphi}{r^2}, \text{ следователно } dS = \frac{r^2 d\Omega}{\cos \varphi}, \text{ а}$$

$$E = \frac{d\Phi_V}{dS} = \frac{J d\Omega}{\frac{r^2 d\Omega}{\cos \varphi}} = \frac{J \cos \varphi}{r^2}.$$

Когато потокът пада перпендикулярно върху повърхнината ($\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$),

$$E = \frac{J}{r^2}. \quad (26.3)$$

Тази зависимост е известна като *закон за обратните квадрати*.

Измерителната единица за интензитет на светлината в SI е *основна* и се нарича *кандела* (cd). Чрез нея може да се въведе единицата за светлинен поток $[\Phi_V] = [J \Omega] = [J][\Omega] = \text{cd} \cdot \text{sr} = \text{lm}$ (**лumen**). Предвид (26.2) единицата за осветеност $[E] = [\Phi_V / S] = [\Phi_V] / [S] = \text{lm}/\text{m}^2 = \text{lx}$ (**люкс**), но ако се ползва (26.3) $[E] = [J] / [r^2] = [J] / [r]^2 = \text{cd}/\text{m}^2$. Противоречие между последните два резултата няма, тъй като пространственият ъгъл е безразмерна величина и умножаването на кандела постерадиан само подсказва, че става дума за пространствен ъгъл.

Техническите *приемници на светлина* преобразуват нейната енергия в други видове – топлинна, електрична, механична и т. п., които са подходящи за непосредствено измерване. Най-широко разпространени са *фотоелектрическите* приемници, а от тях – тези, чието действие се основава на вътрешния фотоефект в полупроводниците – фоторезисторите и фотодиодите (фотоелементите). *Фоторезисторите* и *фотодиодите* се включват в електрическа верига с източник на напрежение. А във *фотоелементите* при осветяване възниква *фотоелектродвижещо напрежение, пропорционално на осветеността им*. За да бъдат коректни фотометричните измервания, спектралната чувствителност на фотоприемника трябва да съвпада с относителната спектрална ефективност $V(\lambda)$ (фиг. 26.2). Това се постига, като според спектралната чувствителност на веществото на приемника се подбира подходящ *светофилтър*. На такъв принцип са конструирани съвременните *люксметри* – уреди за измерване на осветеност, при които във веригата на фотоелемента последователно е свързан микроамперметър, градуиран в люксове.

Използваните в бита и техниката източници на светлина (лампи, осветителни тела) *не излъчват еднакво във всички посоки*. Напротив, при

някои от тях като фарове на автомобили, прожектори, настолни лампи и пр. се желае излъченият поток да бъде насочен само в определен неголям пространствен ъгъл. В светотехниката е наложително за всеки източник (осветително тяло) да се познава стойността на интензитета на светлината във всички посоки на пространството. Най-често се изследва и представя **зависимостта на интензитета от ъгъла θ** , който в хоризонтална или друга равнина, минаваща през оста на симетрия на източника, произволна посока сключва с друга, условно приета за нулева ($\theta_0 = 0$). Тази зависимост, $J(\theta)$, се нарича **светлоразпределителна крива**. При произволен, несветлинен излъчвател, аналогичната зависимост е известна като **диаграма на насочеността**. Тя се представя в **полярни координати** и при наличието на симетрия може да се даде само за $\theta = 0^\circ \dots 180^\circ$.

Опитна постановка

Върху **оптичестката релса $00'$** (фиг. 26.4. и 26.5.), снабдена със скала за отчитане на разстояния, могат да се поставят **стативи**, които в горния си край имат приспособления за закрепване на лампи или уреди според предназначението им, а в основата си имат показалци за отчитане на положението им върху същата релса.

Захранването на лампите става или чрез **стабилизатор** на мрежовото напрежение, или от **автотрансформатор** – в случаите, когато е необходимо то да се променя. Напрежението, приложено върху лампата, се измерва с волтметър, който се включва по схемата на фиг. 26.4, а.

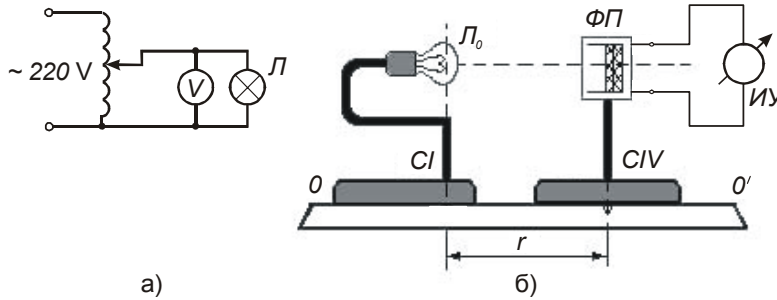
Фотоприемникът $\Phi\P$ обединява в един корпус фотоелемента и светофилтъра, а **измервателният уред ИУ** е микроамперметър или галванометър. Когато се ползва луксметър, необходимо е предварително да се прочетат указанията за работа с него.

Стативът **CI** (фиг. 26.4, б и 26.5) е с хоризонтално разположена фасунга и служи за поставяне на лампата L_0 с познат интензитет J_0 . Ако тази стойност (при номинално напрежение) е била определена в стандартизационна лаборатория, L_0 може да се нарича **еталонна лампа**. Стативът **CII** (фиг. 26.5) има неподвижно закрепен диск със скала за отчитане ъглите на завъртане, които друга хоризонтално разположена фасунга може да описва около ос, минаваща през пръта на статива и центъра на диска. Когато поставената във фасунгата лампа стои така, че същата ос минава през жичката на лампата, вместо **$\Phi\P$** да се върти около лампата, то тя може да се върти около тази ос. В горния край на статив **$CIII$** (фиг. 26.5) има поставка за фотометъра на Жоли (**ΦM**), а статив **CIV** (фиг. 26.4, б) е с гнездо за поставяне на **$\Phi\P$** , свързан с **ИУ** .

Задачи и указания за изпълнението им

Задача 1. Да се потвърди законът за обратните квадрати (26.3).

Върху оптична релса се поставят стативите CI и CIV (фиг. 26.4). Във фасунгата на CI се закрепва лампата Λ или Λ_0 , след което от автотрансформатор се подава номиналното захранващо напрежение (220 V). Стативът CIV с $\Phi\Pi$ се поставя на произволно, достатъчно голямо разстояние, при което показанията на $ИУ$ да съвпадат точно с някое деление от скалата му. Така се постъпва 4 или 5 пъти, като се подбират разстояния r_i между лампата и $\Phi\Pi$ при различни показания n_i на $ИУ$.



Фиг. 26.4, а, б.

Резултатите се записват в таблица. В друга таблица се записват стойностите на отношенията $\frac{n_i}{n_k}$ и $\frac{r_k^2}{r_i^2}$ ($i \neq k$) съответно. (Колко независими комбинации на такива отношения могат да се съставят при 4 и при 5 измервания?)

Предварително да се докаже, че от (26.3) следва $\frac{n_i}{n_k} = \left(\frac{r_k}{r_i}\right)^2$. Като се

сравнят съответните стойности на двете отношения, да се направи извод за потвърждаването на (26.3). Ако има съществени отклонения от тази зависимост, да се посочат вероятните причини.

Когато измерванията се извършват с луксметър, чрез отчетената при r_i осветеност E_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) се изчислява по (26.3) интензитетът на лампата. Ако получените стойности не са достатъчно близки, да се построи графически и да се анализира зависимостта $J(r)$.

Задача 2. Да се определи интензитетът на нажежаема лампа:

а) с фотометър на Жоли.

Фотометърът на Жоли $\Phi\Pi$ е най-простият фотометричен уред. Той се състои от две еднакви блокчета с форма на правоъгълен паралелепипед,

изготвени от парафин, плътно долепени с широкоплощните си стени до разделящо ги *непрозрачно* фолио. След като се постави върху оптичната релса, от двете му страни (обикновено – близо до краищата и) и

на еднаква височина с него, (*)

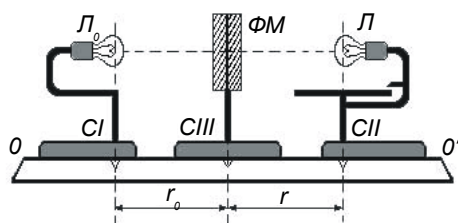
се закрепват чрез стативите си лампите Λ_0 и Λ (фиг. 26.5). Когато се подаде номиналното за лампите напрежение, всяка една от тях осветява една от външните широкоплощни стени на ΦM , а $CIII$ се придвижва наляво или надясно, докато двете блокчета на ΦM , наблюдавани напречно на релсата, не добият *еднаква яркост*. (Човешкото зрение усеща много малки разлики в яркостта на съседни еднородни повърхности.) Тогава се измерват разстоянията r_0 и r , съответно между $\Lambda_0 - \Phi M$ и $\Phi M - \Lambda$. Тъй като при условието (*) светлината от лампите пада перпендикулярно върху външните стени на ΦM , според (26.3) равенството в осветеностите им може да се запише като

$$\frac{J}{r^2} = \frac{J_0}{r_0^2}, \quad (26.4)$$

откъдето се определя неизвестният интензитет J на лампата Λ .

Измерванията се повтарят при поне 5 различни положения на стативите $C I$ и $C II$, след което се определя средната аритметична стойност на J .

б) с фотоприемник и измервателен уред.



Фиг. 26.5.

Вместо с фотометър на Жоли, аналогични измервания могат да бъдат извършени, като се постига *еднаква осветеност* на ΦP (фиг. 26.4), облъчван последователно от лампата Λ_0 (с известен интензитет J_0) и лампата Λ , чиито интензитет J трябва да се определи. След като

на Λ_0 се подаде номинално напрежение, разстоянието r_0 между Λ_0 и ΦP (фиг. 26.4) се нагласява така, че показанията на *ИУ* да бъдат около 2/3 или 3/4 от обхвата му (тъй като аналоговите уреди измерват относително най-точно в десния край на скалата си). След това Λ_0 се заменя с Λ , а стативът $C I$ се поставя на разстояние r , при което *ИУ* има *същото показание*, т. е. ΦP има *същата осветеност*. Следователно, изпълнено е (26.4), чрез което се определя J .

Аналогични измервания се извършват и при други осветености, за които показанията на *ИУ* са върху други деления от десния край на скалата му. Изчислява се средната аритметична стойност на J .

в) с луксметър.

Чрез луксметър неизвестният интензитет J на лампа L се определя както в задача 1.

Задача 3. Да се изследва зависимостта на интензитета на нажежаема лампа от захранващото напрежение.

Промените на захранващото напрежение са причина за изменение на електрическата мощност, а поради това – и на температурата на нажежаемата жичка. Това от своя страна (вж. фиг. 26.1) е причина за промяна на спектралния състав на излъчената от лампата светлина и прави подобни измервания в недостатъчна степен съпоставими, а задачата – недостатъчно коректна. Затова промените на напрежението не бива да са големи.

Определянето на интензитета J става като в задача 2, резултатът от която може да се използва. Чрез автотрансформатора подаваното на лампата L напрежение се променя през 2, 4 или 5 V в интервала от 200...220 V. Данните се записват в таблица, а зависимостта $J(U)$ се представя графично.

Задача 4. Да се построи светлоразпределителна крива на нажежаема лампа в равнина, минаваща през оста на симетрия на колбата и.

В единия край на оптичната релса OO' се поставя фотоприемника $\Phi П$, а в другия – стативът $С II$ (както на фиг. 26.4, но $С I$ се заменя с $С II$). Най-подходящо е двата статива да бъдат един от друг на разстояние 1,000 m, особено когато измерванията се правят с луксметър. Но те могат да се извършват и при друго, по-голямо разстояние. Положението, при което лампата е обърната към $\Phi П$, а фасунгата ѝ – в противоположна посока, се избира за $\theta_0 = 0$, след което статива се фиксира в носача си. На лампата се подава номиналното напрежение и се отчита показанието n_0 на ИУ (E_0 на луксметъра). Лампата се завърта около оста на статива през 5° , 10° или 15° , а съответните показания на ИУ (луксметъра) се отчитат и записват в таблица.

Когато измерванията са с луксметър при $r = 1,000$ m от (26.3) следва, че същите числени стойности в кандели има и J . Но ако измерванията са при $r \neq 1,000$ m, то J се получава чрез изчисляване или данните се нормират – отчетените от уреда стойности се делят на най-голямата от тях, а светлоразпределителната крива се представя в *относителни единици*. Тогава най-голямата получена стойност е 1,00, а всички останали – по-малки от единица. Резултатите $J = J(\theta)$ или $\frac{E(\theta)}{E_{max}}$ се нанасят в *полярна координатна система*, след което по тях се изчертава светлоразпределителната крива.