

# 18 Определяне интензитета на нажежаема лампа

## Теоретична обосновка

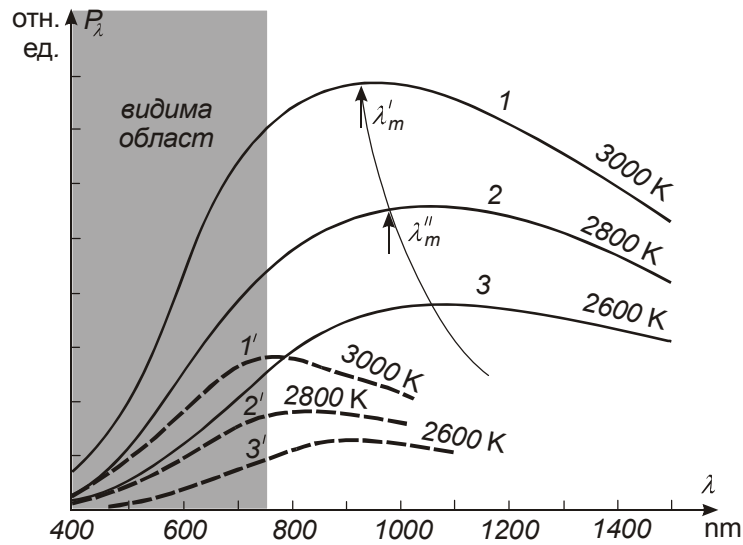
Всички тела, които виждаме, излъчват светлина – собствена или отразена. Но в тесния смисъл на думата *източници на светлина* са физическите тела или системи, които преобразуват различни видове енергия в енергия на електромагнитно лъчение от *оптичния диапазон* (с дължина на вълната  $\sim 10 \text{ nm} \dots 1 \text{ mm}$ ), 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  $\nu$  – честотата на съответната вълна. (Произведението на честотата  $\nu$  и дължината на вълната  $\lambda$  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)*  $P_\lambda$  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.

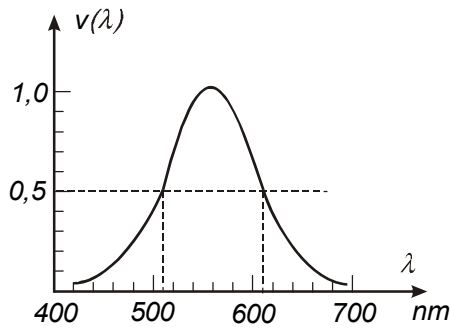


Фиг. 26.1.

Енергията (във вид на лъчение), която за единица време се *излъчва* от, *пренася* през или *попада* върху някаква повърхност, определя величината *лъчист поток* ( $\Phi_e$ ) 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  $\Phi_v$  от лъчистия поток  $\Phi_e$ , 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  $\lambda$* . (Светлината с различна  $\lambda$  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  $\Phi_v$ , към лъчистия поток  $\Phi_e$ , 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.

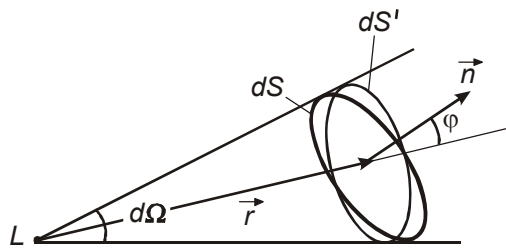
Излъчваната от произволен източник  $L$  в определена посока светлина може да се характеризира с отношението на светлинния поток  $d\Phi_v$  и големината на произволно малкия пространствен

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 повърхнина 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 повърхнина, 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  $\varphi$ , 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  $\theta$** , 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.

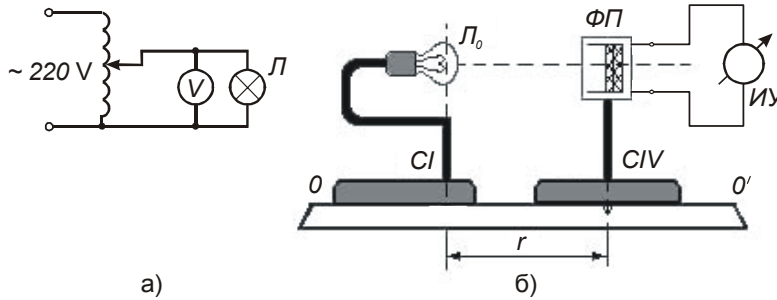
**Фотоприемникът  $\Phi\P$**  обединява в един корпус фотоелемента и светофилтъра, а **измервателният уред  $\text{ИУ}$**  е микроамперметър или галванометър. Когато се ползва луксметър, необходимо е предварително да се прочетат указанията за работа с него.

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 ( **$\Phi M$** ), а статив  **$CIV$**  (фиг. 26.4, б) е с гнездо за поставяне на  **$\Phi\P$** , свързан с  **$\text{ИУ}$** .

### 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). Върху фасунгата на  $CI$  се закрепва лампата  $\Lambda$  или  $\Lambda_0$ , след което от автотрансформатор се подава номиналното захранващо напрежение ( $220\text{ V}$ ). 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, (\*)

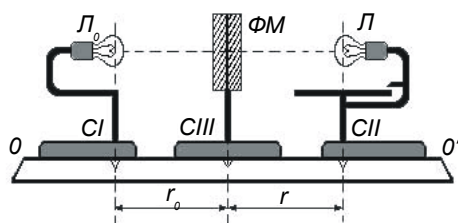
се закрепват чрез стативите си лампите  $\Lambda_0$  и  $\Lambda$  (фиг. 26.5). Когато се подаде номиналното за лампите напрежение, всяка една от тях осветява една от външните широкоплощни стени на  $\Phi M$ , а  $CIII$  се придвижва наляво или надясно, докато двете блокчета на  $\Phi M$ , наблюдавани 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  $\Phi M$ , 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  $\Lambda$ .

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  $\Phi P$  (фиг. 26.4), облъчван последователно от лампата  $\Lambda_0$  (с известен интензитет  $J_0$ ) и лампата  $\Lambda$ , чиито интензитет  $J$  трябва да се определи. След като

на  $\Lambda_0$  се подаде номинално напрежение, разстоянието  $r_0$  между  $\Lambda_0$  и  $\Phi P$  (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  $\Lambda_0$  се заменя с  $\Lambda$ , а стативът  $C I$  се поставя на разстояние  $r$ , при което  $ИУ$  има *същото показание*, т. е.  $\Phi P$  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  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  или  $15^\circ$ , 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.