

Laboratórna úloha č. 27

Infračervené žiarenie

-
- Úlohy:** A Určiť pomer integrálnych emisívít rôznych povrchov.
B Pre mierne zvýšené teploty preveriť platnosť Stefanovho-Boltzmannovho zákona.
-

Teoretický úvod

Ak na teleso dopadá elektromagnetické žiarenie, tak vo všeobecnom prípade časť žiarenia sa od jeho povrchu odráža, časť telesom prechádza a časť sa v ňom pohlcuje (absorbuje). Špeciálnym prípadom by bolo teleso, ktoré by všetko dopadajúce žiarenie pohlcovalo, neodrážalo by, ani neprepúšťalo. Takéto fiktívne teleso sa nazýva *absolútne čierne teleso*. Jeho najlepšou realizáciou je malý otvor v telese s dutinou. Žiarenie ktoré otvorom vojde do dutiny, sa iba s veľmi malou pravdepodobnosťou dostane otvorom von, takže akoby sa otvorom úplne absorbovalo.

Podiel energie žiarenia absorbovaného telesom a energie žiarenia ktoré na teleso dopadlo, sa nazýva *absorptancia* (značka α). Absorptancia absolútne čierneho telesa $\alpha_0 = 1$. Absorptancia reálnych telies (látok) je menšia ako 1, pričom závisí od zloženia, štruktúry a opracovania povrchu telesa. V stave termodynamickej rovnováhy, keď sa teplota telesa nemení (nemení sa vtedy ani jeho vnútorná energia), teleso musí vyžarovať toľko energie, koľko pohlcuje. Vyžarovanie telies sa charakterizuje pomocou veličiny *intenzita vyžarovania* (značka M), ktorá predstavuje energiu vyžiarenú za jednu sekundu z plochy s veľkosťou 1 m^2 . Jednotkou intenzity vyžarovania je preto W/m^2 . Pri danej teplote musí absolútne čierne teleso (v porovnaní s inými telesami) vyžarovať najviac, lebo aj najviac absorbuje. Pomer intenzity vyžarovania reálneho telesa a intenzity vyžarovania absolútne čierneho telesa (pri rovnakej teplote) sa nazýva *emisivita* (značka ε). Emisivita absolútne čierneho telesa $\varepsilon_0 = 1$, rovnako ako jeho absorptancia $\alpha_0 = 1$. Rovnosť emisivity a absorptancie platí aj pre všetky ostatné telesá, pravdaže iba v stave termodynamickej rovnováhy: $\varepsilon_t = \alpha_t$. Podľa Kirchhoffovho zákona o žiarení takáto rovnosť platí nielen pre veličiny charakterizujúce celkové vyžarovanie telies (úhrn na všetkých vlnových dĺžkach), ale aj pri jednotlivých vlnových dĺžkach (frekvenciách) elektromagnetického žiarenia. Na opis tejto skutočnosti boli zavedené veličiny *spektrálna absorptancia* (α_λ), ďalej *spektrálna intenzita vyžarovania* (M_λ) a *spektrálna emisivita* (ε_λ), vyjadrujúce príslušné veličiny pripadajúce na jednotkový interval vlnových dĺžok (resp. frekvencií).

Spektrálna intenzita vyžarovania absolútne čierneho telesa, ako funkcia termodynamickej teploty a vlnovej dĺžky (resp. frekvencie), je opísaná Planckovým zákonom žiarenia.

Príslušná závislosť má maximum, ktoré sa s rastúcou teplotou posúva ku kratším vlnovým dĺžkam (t.j. vyšším frekvenciám). Celkový výkon vyžarovaný telesom (t.j. výkon spolu na všetkých vlnových dĺžkach) rastie v súlade s týmto zákonom so štvrtou mocninou termodynamickkej teploty. Planckov zákon vystihuje skutočnosť, že pri rozžeravených vláknach žiaroviek podstatná časť vyžarovaného výkonu spadá do infračervenej oblasti vlnových dĺžok, a iba menšia do viditeľnej oblasti. Telesá s teplotami iba mierne vyššími od izbovej teploty vyžarujú v podstate iba v infračervenej oblasti. Napríklad teleso s teplotou ľudského tela vyžaruje najviac v okolí vlnovej dĺžky $9,3 \mu\text{m}$, teleso s teplotou 100°C už pri $9,3 \mu\text{m}$, pritom oblasť viditeľného svetla zodpovedá intervalu od $0,4 \mu\text{m}$ do $0,75 \mu\text{m}$.

Pre absolútne čierne teleso je celková intenzita vyžarovania vyjadrená Stefanovým – Boltzmannovým zákonom

$$M = \sigma T^4 \quad (1)$$

kde T je termodynamická teplota a $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ je Stefanova-Boltzmannova konštanta.

Intenzita vyžarovania reálneho telesa je menšia, čo sa vyjadruje pridaním emisivity telesa do Stefanovho-Boltzmannovho zákona:

$$M = \varepsilon_t \sigma T^4 \quad (2)$$

Telesá by sa vyžarovaním veľmi rýchlo ochladzovali, ale od okolia s nižšou teplotou T_{ok} prijímajú energiu naspäť. Preto výsledná bilancia energie, ktorú teleso stráca, sa vyjadruje vzťahom

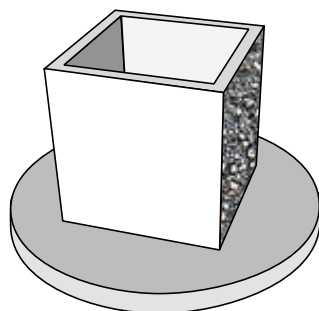
$$M = \varepsilon_t \sigma (T^4 - T_{\text{ok}}^4) \quad (3)$$

Treba poznamenať, že pri vyžarovaní telies s teplotou vyššou ako 930 K , má pre izbovú teplotu okolia druhý člen v porovnaní s prvým členom hodnotu nižšiu ako 1% , čiže hodnotu menšiu ako býva relatívna neistota merania.

Opis aparatury a metóda merania

Meranie sa uskutoční na tzv. Leslieho kocke. Je to uzavretá nádoba s tvarom kocky na otočnom podstavci, ktorej štyri bočné steny (čierna, biela, matná kovová a lesklá kovová) majú rôzne emisivity. Kocka je vyhrievaná wolfrámovou žiarovkou umiestnenou vnútri kocky. Zohriata kocka je zdrojom infračerveného žiarenia, pričom steny s rôznou emisivitou majú odlišné intenzity vyžarovania. Tie sa merajú špeciálnym fotometrom – termočlánkovým senzorom žiarenia, a to jeho priblížením k stene kocky. Fotometer sa pri každom jednotlivom meraní uvedie do činnosti stlačením mechanickej clony, ktorá mimo merania chráni termočlánok fotometra pred nežiaducim ohriatím. Jednotlivé merania nemajú trvať viac ako 5 sekúnd.

Elektrické napätie ktoré na senzore vzniká, sa meria citlivým voltmetrom. Nastavenie nuly na voltmetri pred každým meraním sa robí otáčaním červeného gombíka, ktorý je umiestnený na bočnej stene senzora. Treba však poznamenať, že údaj na voltmetri nevyjadruje intenzitu vyžarovania, ale je tejto veličine priamoúmerný, je teda jej násobkom. Násobiaci koeficient však nepoznáme.



Obr. 1: Leslieho kocka má povrchy jednotlivých stien vyrobené z rôznych materiálov. Kvôli lepšej manipulácii pri meraní je umiestnená na otočnom podstavci.

Teplota kocky sa ovplyvňuje regulátorom príkonu žiarovky, umiestneným na podstavci kocky. Teplota sa určuje meraním elektrického odporu termistora zabudovaného v kocke, pomocou ohmmetra. Využíva sa na to kalibračná krivka termistora, alebo tabuľka závislosti teploty od elektrického odporu termistora.

Počas laboratórneho cvičenia sa uskutočnia dva druhy merania. Pri prvom sa zmerajú intenzity vyžarovania jednotlivých stien kocky. Kocka sa vyhreje na teplotu približne 60 až 70 °C a pri konštantnej teplote sa zisťujú intenzity vyžarovania rôznych povrchov kocky. Potom sa tieto namerané intenzity vyjadrujú percentuálne vzhľadom na intenzitu vyžarovania čierneho povrchu kocky.

V druhom prípade sa meria iba vyžarovanie čierneho povrchu kocky. Keď je kocka zohriata na približne 80 až 90 °C, celkom sa vypne vyhrievanie, kocka sa pomaly ochladzuje a pritom sa zisťuje intenzita vyžarovania pri rôznych teplotách kocky. Potom treba vyniesť grafickú závislosť údajov odčítaných na voltmetri ako funkciu rozdielu štvrtých mocnín teploty kocky a teploty okolia ($T^4 - T_{ok}^4$). Treba si overiť, či je táto závislosť lineárna. Keby údaj meracieho voltmetra vyjadroval priamo intenzitu vyžarovania, smernicou závislosti by mal byť súčin ($\varepsilon_t \cdot \sigma$), ako to vyplýva zo vzťahu (3). Smernica je však ovplyvnená neznámym prevodným koeficientom medzi údajom voltmetra a skutočnou hodnotou intenzity vyžarovania.

Orientačne sa môže zisťovať aj pohlcovanie infračerveného žiarenia niektorými materiálmi (sklom, polystyrénom, kovom, ...), keď sa medzi kocku a fotometer vloží tenká platnička zo skúmaného materiálu.

Postup pri meraní a vyhodnotenie merania

Na teplomeri umiestnenom v laboratóriu odčítame teplotu t_{ok} v miestnosti. K fotometru pripojíme voltmeter, k tranzistoru zabudovanom v kocke ohmmeter. Prístroje zapneme. Fotometer oprieme dištančnými opierkami o čiernu plastovú platničku, ktorá má teplotu okolia a otáčaním červeného gombíka umiestneného na fotometri nastavíme na voltmetri nulovú hodnotu. Nastavenie nuly počas merania častejšie kontrolujeme.

Leslieho kocku pripojíme na sieť a zapneme vypínač umiestnený na jej podstavci. Regulátor dáme do polohy s najvyšším príkonom, aby sa kocka rýchlejšie zohriala a po dosiahnutí

teploty 60 až 70 °C ho dáme do polohy „3“, aby sa teplota udržiavala na stálej hodnote. Udržiavanú ustálenú teplotu zapíšeme do prvej tabuľky. Fotometer oprieme o stred čiernej steny kocky, odčítame napätie U_1 na voltmetri a zapíšeme do tabuľky. Potom kocku otáčame postupne po 90°, pričom odčítame napätia U_i po opretí fotometra o ďalšie tri steny kocky. Všetky hodnoty zapíšeme do tabuľky a vypočítame pomer emisívít pre jednotlivé povrchy kocky vzhľadom na jej čierny povrch, získané ako podiel príslušných elektrických napätí odčítaných na voltmetri:

$$\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_1} = \frac{U_i}{U_1} \Rightarrow \varepsilon_i \text{ v percentách: } \frac{U_i}{U_1} \cdot 100 \quad (4)$$

Pri druhom meraní kocku zohrejeme približne na 80 až 90 °C. Potom stiahneme regulátor a vyhrievanie vypneme. Pri chladnutí kocky odčítavame napätie fotometra a odpor termistora vždy pri poklese teploty približne o 5 °C. Hodnoty zapisujeme do druhej tabuľky. Teplotu miestnosti t_{ok} vyjadrenú v Celziovej stupnici prepočítame na termodynamickú teplotu pomocou približného vzťahu $T_{\text{ok}} = t_{\text{ok}} + 273$. Vypočítame a do tabuľky zapíšeme hodnoty T^4 a $(T^4 - T_{\text{ok}}^4)$. Predpokladáme, že v intervale teplôt v ktorom sme merali, sa emisivita čierneho povrchu nemenila. Zostrojíme graf, v ktorom na vodorovnú os vynášame $(T^4 - T_{\text{ok}}^4)$ a na zvislú os elektrické napätia U_i . Nameranou a vynesenu závislosťou preložíme priamku (použijeme kalkulačku s programom na lineárnu regresiu alebo vhodný softvér na spracovanie experimentálnych dát). Pomocou týchto prostriedkov získame aj koeficient determinovanosti \mathcal{R} , ktorý je mierou presnosti merania. Čím lepšie sa nameraná závislosť blíži ideálnej lineárnej závislosti, tým je hodnota regresného koeficientu determinovanosti bližšia číslu 1.

Upozornenie: Kocka je horúca!

Meno:

Kružok:

Dátum merania:

Protokol laboratórnej úlohy č. 27

Infračervené žiarenie

Stručný opis metódy merania

Vzťahy, ktoré sa používajú pri meraní

Prístroje a pomôcky

Záznam merania, výpočty a výsledky

Tabuľky z priebehu meraní

Teplota kocky: $R =$ k Ω , $t =$ °C, $T =$ K				
Meranie	Povrch	U_i (V)	U_i/U_1	$\varepsilon_i/\varepsilon_1$ (%)
1	čierny		1	100
2	matný kovový			
3	biely			
4	lesklý kovový			

Teplota okolia $t_{ok} =$ °C, $T_{ok} =$ K, $T_{ok}^4 =$ K ⁴						
Meranie	R (k Ω)	t (°C)	T (K)	T^4 (10 ¹⁰ K ⁴)	$(T^4 - T_{ok}^4)$ (10 ¹⁰ K ⁴)	U (V)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Štvorec koeficientu determinovanosti $\mathcal{R}^2 =$

Prílohy

- Graf závislosti napätia na detektore od rozdielu štvrtých mocnín teplôt ($T^4 - T_{\text{ok}}^4$).

Zhodnotenie výsledkov

Dátum odovzdania protokolu:

Podpis študenta:

Hodnotenie a podpis učiteľa: