

Sevanje črnega telesa

Bor Kokovnik

Maj 2024

1 Uvod

Gostota energije elektromagnetnega valovanja z neko frekvenco ν v votlini pri konstantni temperaturi T je podana s Planckovo formulo

$$w(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}, \quad (1)$$

ker je ν frekvenca valovanja, h Planckova konstanta in c hitrost svetlobe v vakuumu. Iz take votline izhaja skozi majhno luknjo najboljši približek sevanja črnega telesa. Gostota energijskega toka skozi luknjico z neko frekvenco je

$$j(\nu, T) = \frac{1}{4} c w(\nu, T) \quad (2)$$

Iz luknjice svetloba seva v prostor po Lambertovem cosinusnem zakonu. Tudi volframska nitka v žarnici je dober približek. Za primerjavo, sončna radiacija je približno črno telo pri približno 5800 K. S to vajo bomo merili sevanje volframske nitke v halogeni žarnici, ki ji lahko spreminjamo temperaturo v zelo širokem obsegu. Z absolutnim merilnikom sevanja bomo določili celoten energijski tok, ki ga seva žarnica in ga primerjali z močjo, ki jo troši.

Če predpostavimo, da žarilna nitka seva v vse smeri enakomerno, lahko upoštevamo Stefanov zakon

$$\frac{P}{S} = \sigma T^4 \quad (3)$$

Za moč, prepuščeno skozi Si steklo, velja približek

$$\frac{P(T)}{P} = 1 - \frac{15}{\pi^4} [-y^3 \log(1 - e^{-y}) + (6 + 6y + 3y^2)e^{-y}] + O(e^{-y}), \quad y = \frac{1,1\text{eV}}{kT} \quad (4)$$

Upoštevati moramo še, da steklo del vpadnega sevanja odbije, zveza med lomnim količnikom, ki je za Si steklo pri $\lambda = 1100$ nm $n = 3,54$, in prepustnostjo je

$$T_{\text{plošča}} = \frac{2n}{1 + n^2} \quad (5)$$

2 Potrebščine

- merilec moči – wattmeter in električni multimeter
- halogena žarnica nazivne moči 30 W z nazivno barvno temperaturo 2700 K

- nastavljivi transformator – variac
- merilnik sevanja
- plošča iz kristalnega silicija

3 Naloga

1. zmerite odvisnost svetlobnega toka halogene žarnice v razponu od rahlega žarenja do maksimalne moči. Pri tem merite tudi moč, ki se troši na žarnici.
2. Narišite graf celotne izsevane moči kot funkcijo električne moči.
3. Določite električno upornost žarnice kot funkcijo temperature.
4. Narišite graf razmerja med – skozi Si okno – prepuščenim in nemotenim svetlobnim tokom kot funkcijo temperature žarilne nitke.

4 Obdelava meritev

Za začetek sem pomeril skupno izsevano moč žarnice v odvisnosti od električne moči na njej. Vrednost celotne moči sem izračunal na podlagi znane površine senzorja, 1 cm^2 in razdalje do njega, $(36 \pm 1)\text{ cm}$. Ta meritev je prikazana na sliki 1.

Za določitev upornosti žičke v odvisnosti od njene temperature upoštevamo meritve toka in napetosti skozi žičko, katera povežemo z Ohmovim zakonom $U = RI$. S temperaturo imamo nekoliko več težav, saj ne poznamo površine nitke. Tega se rešimo tako, da uporabimo znano vrednost temperature 2700 K pri moči 30 W . Tako pridemo do enačbe

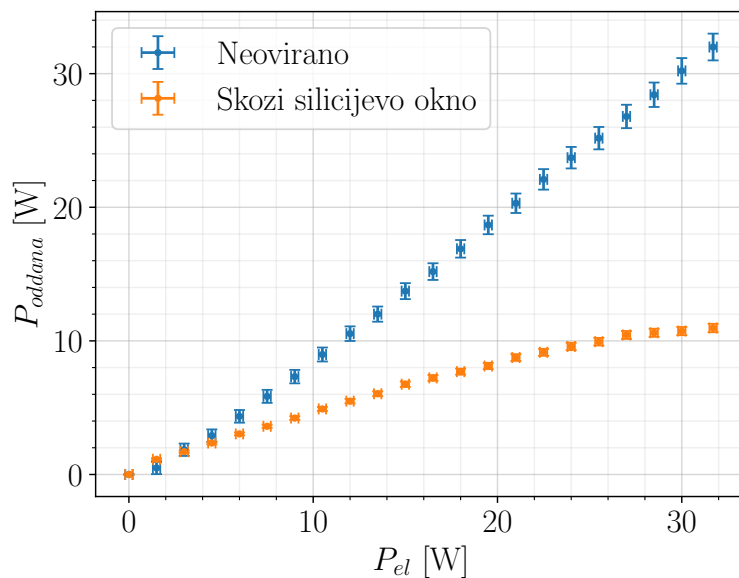
$$T = \sqrt[4]{\frac{T_0^4 P}{P_0}}$$

Tako pridemo do vrednoti, ki so prikazane na grafu 2

Iz naklona fitane premice na grafu 2 lahko določimo, da narašča upornost z $(0,6352 \pm 0,0007)\frac{\Omega}{\text{K}}$.

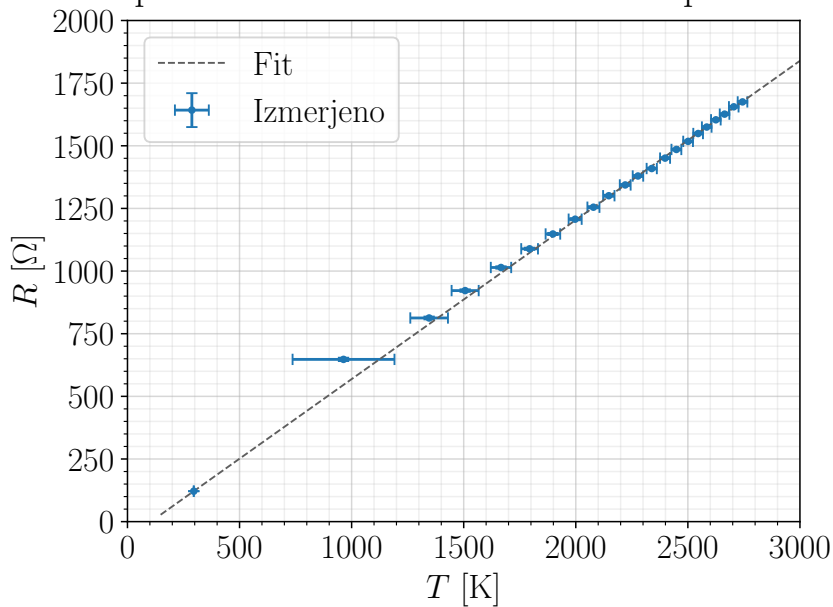
Za konec sem si pogledal še odvisnost deleža moči, prepuščene skozi Si okno od temperature žičke. To naj bi opisala enačba (4), skupaj z upoštevanjem prepustnosti, opisane v enačbi (5). Graf, skupaj z modelom je prikazan na sliki 3.

Oddana moč žarnice v odvisnosti od električne moči



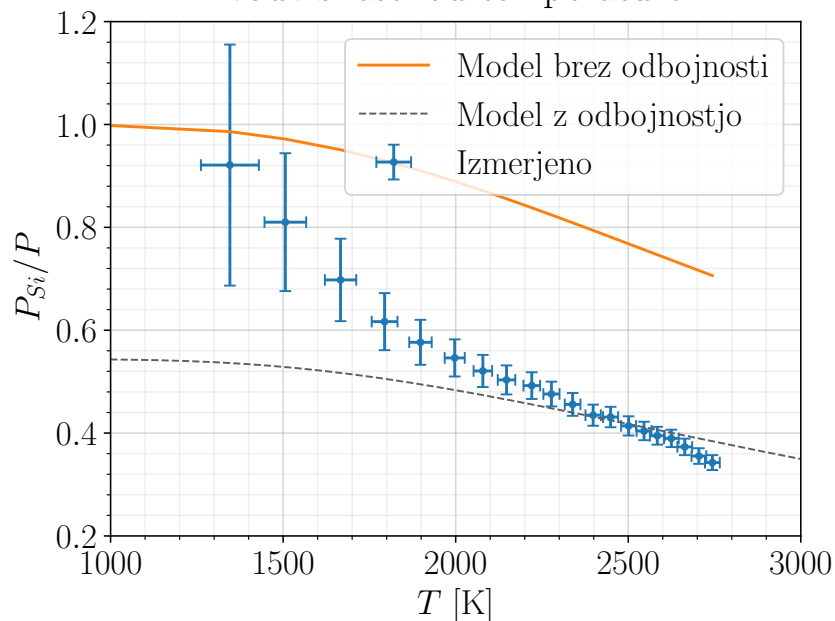
Slika 1: Celotna izsevna moč v odvisnosti od električne moči. Zraven je prikazana še celotna moč, ki pride skozi Si okno.

Upornost nitke v odvisnosti od temperature



Slika 2: Upornost žarnice v odvisnosti od njene temperature. Na dnu je točka, pomejena pri sobni temperaturi, da preverimo linearnost zveze.

Delež prepuščene moči skozi silicijevo steklo v odvisnosti od temperature



Slika 3: Delež moči, prepuščene skozi Si okno, v odvisnosti od temperature žarilne nitke. Prikazana sta še teoretični napovedi, enkrat brez in enkrat z upoštevanjem tranzitivnosti.

5 Zaključek

Pri prvih dveh delih vaje se rezultati skladajo s teorijo, pri zadnjem pa opazimo večje odstopanje od obeh modelov. Lahko, da gre za napako med merjenjem, npr. če se je v tem času osvetlila soba, a je, kljub višji negotovosti pri nižjih temperaturah, viden trend navzgor, katerega ne znam pojasniti.