

20.9.2012

13. Úloha

I. Zadání

Light bulb

What is the ratio between the thermal energy and light energy emitted from a small electric bulb depending on the voltage applied to a bulb?

II. Úvod

Naším úkolem je zjistit závislost poměru světelné a tepelné energie vzhledem k různému napětí. V práci budeme postupovat od teorie k experimentům a závěrečné diskuzi s výsledky. Jak je známo, elektrická žárovka přeměňuje pouze malé množství energie na elektromagnetické záření v rozmezí 400 – 700 nm, tedy ve viditelné části spektra. Velká část energie je přeměněna na formu tepla. Tento poměr se budeme snažit zjistit ze spektrální analýzy záření emitovaného žárovkou a vyšetřit, jak se mění v závislosti na napětí na žárovce.

K získání výsledku bude použito kombinace naměřených hodnot a výpočtu. V závěru zaneseme výslednou závislost do grafu a budeme diskutovat další možné formy ztrát energie.

III. Teorie

Wolframové vlákno žárovky se po zapojení obvodu zahřeje na velmi vysokou teplotu (2000-3000K). Při takto vysokých teplotách začne vlákno zářit. V ideálním případě můžeme vlákno aproximovat na černé těleso, které vyzařuje elektromagnetické spektrum. Množství takto vyzářené energie závisí na teplotě tělesa a je tím větší, čím vyšší je teplota. Vzhledem k teplotě tělesa se ale také mění vlnová délka, na které těleso vyzařuje maximum energie. Ta se naopak s rostoucí teplotou snižuje. Podle Wienova posunovacího zákona,

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (1)$$

$$W_{\lambda} = \text{konst} \cdot T$$

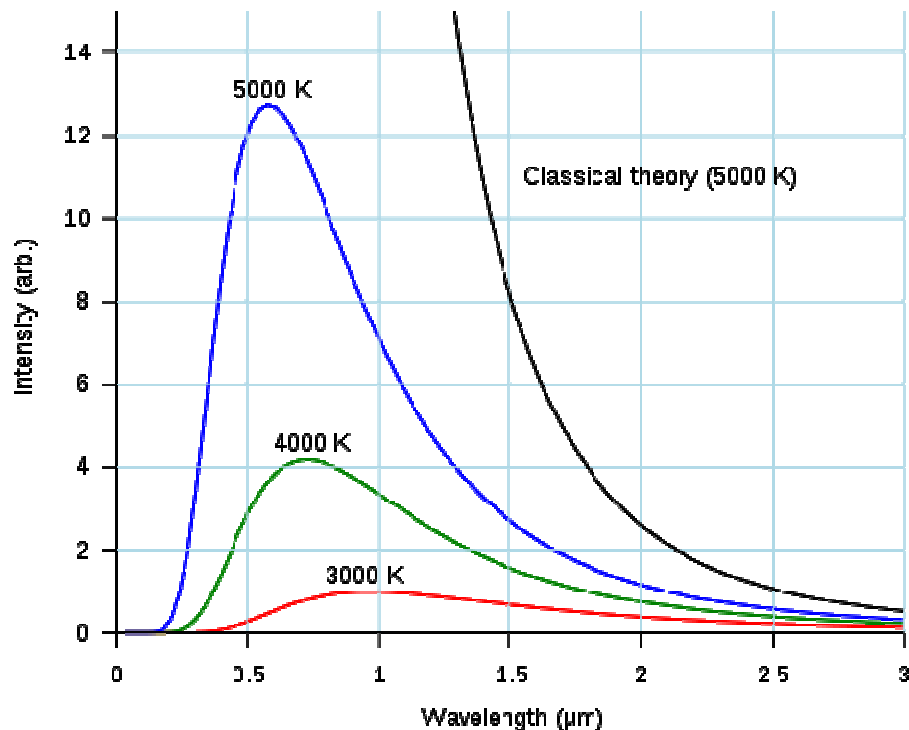
kde λ_{max} je vlnová délka maxima vyzařování, T je teplota tělesa a b je tzv. Wienova konstanta, jejíž hodnota je přibližně $b = 2,898 \text{ mm} \cdot \text{K}$. Spektrální hustota záření v tomto maximumu je přitom úměrná páté mocnině teploty,

(2)

Protože nás zajímá, jak vypadá intenzitní spektrum žárovky vzhledem k napětí, které je na ní, budeme potřebovat vztah pro intenzitu vyzářenou žárovkou při různých teplotách. K tomu využijeme Planckova vyzařovacího zákona. Ten říká, že záření absolutně černého tělesa má intenzitu v závislosti na vlnové délce a teplotě,

$$I(\lambda)d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda \quad (3)$$

kde T je teplota tělesa, h je Planckova konstanta, c je rychlost světla a k je Boltzmannova konstanta. Graf pro danou teplotu můžeme zakreslit jako závislost intenzity záření na určité vlnové délce:



Obrázek 6: S rostoucí teplotou tělesa se vrchol intenzity záření posouvá ke kratším vlnovým délkám

Takto, pokud známe teplotu rozžhaveného vlákna, můžeme získat graf spektra a poté udělat poměr ploch nad $\lambda = 400\text{-}750\text{ nm}$ ku $\lambda = 760\text{ nm} - 1\text{ mm}$. Bohužel ale nejsme schopni přímo naměřit teplotu vlákna a proto budeme pokračovat opačným směrem.

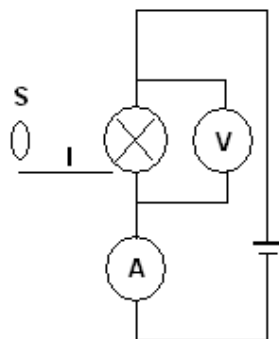
Jsme schopni naměřit vyzářené spektrum. To nám nedá sice celkovou vyzářenou intenzitu, ale vzhledem k tomu, že zářivý výkon, který přejde na plochu o velikosti S ve vzdálenosti l od zdroje záření je,

$$P_1 = S \frac{P}{4\pi l^2} \quad (4)$$

pro dané l a S konstantní a intenzita je zářivý tok, čili zářivý výkon na steradián, můžeme z grafu získat poměr záření v oblasti viditelného a infračerveného spektra. Ten pak budeme zkoumat pro různá napětí na žárovce.

Budeme měřit spektrum žárovky vzhledem k tomu, jaké napětí na ní bylo. K tomu využijeme kompaktní high resolution spektrometr HR 2000+ 200-1100nm od Ocean Optics. K měření použijeme klasickou 100 W žárovku.

Spektrometr umístíme v pevné vzdálenosti od žárovky. Budeme měřit v místnosti, kde je tma. K žárovce připojíme voltmetr a ampérmetr, budeme měřit napětí, proud i účinnost. Do tabulky budeme zaznamenávat sobě si odpovídající napětí, proud, účinnost a spektrum. Schéma experimentu vyjadřuje následující obrázek.

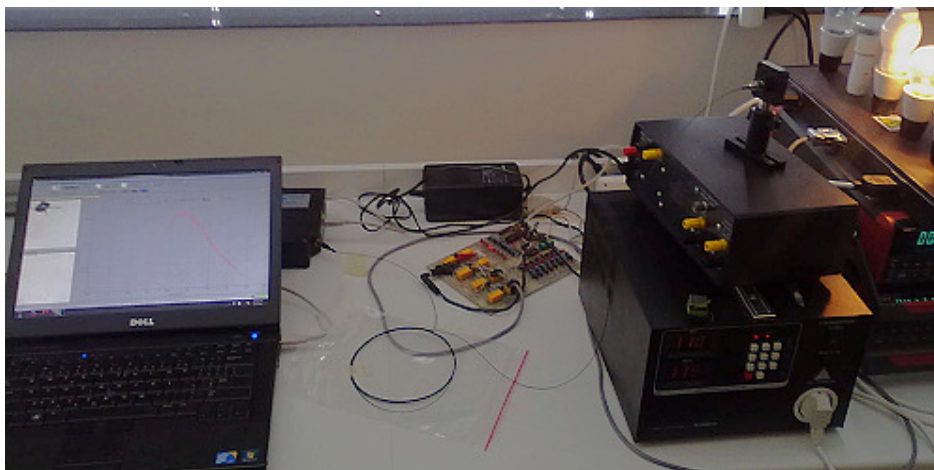


Obrázek 7: Schéma obvodu se žárovkou, voltmetrem, ampérmetrem a spektrometrem umístěným ve vzdálenosti l od žárovky

IV. Experimenty

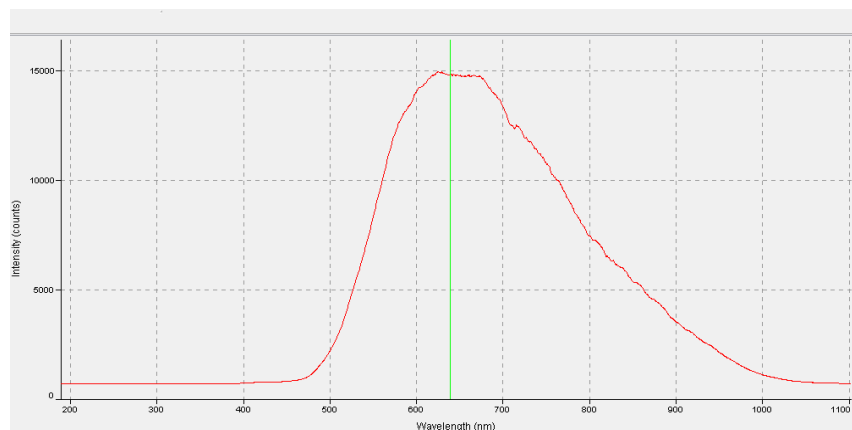


Obrázek 8: Spektrometr a zapnutá žárovka



Obrázek 9: Na počítači se vykresluje naměřené spektrum

Naměřili jsme 12 spekter pro různá napětí. Příklad:

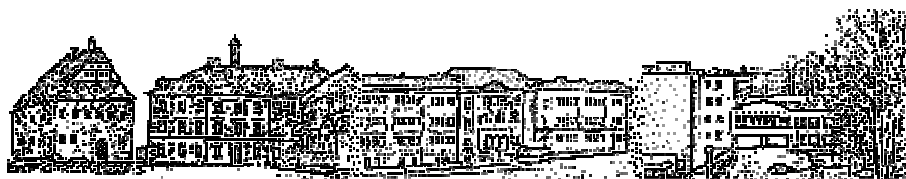


Obrázek 10: $U=184,3V$; $I=0,15A$; $\cos\varphi=0,49$

Pro daný graf je výsledkem poměr ploch pod grafem. Pro energii ve formě světla 400-750nm, pro energii ve formě tepla 760nm-1mm. Měření zaneseme do tabulky,

Měření	$\frac{U}{V}$	$\frac{P}{W}$	Poměr E
1	54,4	4,00	0,31
2	76,5	8,26	0,33
3	97,4	13,09	0,35
4	119,8	20,11	0,37
5	141,3	28,29	0,42
6	162,8	37,38	0,47
7	184,3	45,89	0,51
8	205,6	59,21	0,54
9	226,9	67,39	0,58
10	237,4	72,64	0,62
11	248,8	80,98	0,65
12	258,9	84,82	0,7

kde každý řádek reprezentuje jednotlivé měření, číselné hodnoty pak napětí, výkon a poměr energií vyzářených ve formě světla a tepla.



20.9.2012

V. Závěr

V tabulce si můžeme povšimnout, že výsledné hodnoty poměru energie vyzářené ve formě světla a tepla se neshodují s obecně známým předpokladem, že pouze 4% energie dodané žárovce je využito ve formě světla. Naše hodnoty ovšem nezohledňují energii využitou na ohřev plynu v žárovce, na ohřev skla, okolního vzduchu apod. Zohledňují pouze energii emitovanou ve formě elektromagnetického záření.

Je zde ovšem další problém. Náš spektrometr měl rozmezí pouze 200-1100 nm vlnové délky. Spektrometry mají tendenci intenzitu značně zkreslovat, když se vlnová délka blíží k jejich limitující hodnotě. Proto druhá část spektra – tudíž plocha, která znázorňuje energii emitovanou jako IR záření, může být značně ovlivněna tímto technickým parametrem. Ten bude v budoucnu odstraněn tak, že na první polovinu křivky, která je nezakreslená, nafitujeme teoreticky vypočítanou křivku, z které pak určíme podíl.

Z naměřených hodnot, ale můžeme tvrdit, že poměr energie vyzářené malou elektrickou žárovkou ve formě světla a tepla exponenciálně roste vzhledem k teplotě i napětí na žárovce.

LITERATURA

- http://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb
- http://en.wikipedia.org/wiki/Planck%27s_law
- http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
- http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_radiation
- http://en.wikipedia.org/wiki/Black_body
- HALLIDAY, RESNICK, WALKER; Fyzika část 4. – Elektromagnetické vlny, optika, relativita (Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTIUM / Prometheus, Brno /Praha 2001 ISBN 80-214-1869-9)