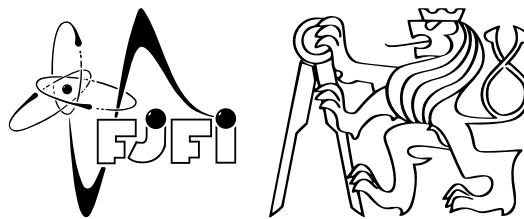


5 Měření teploty wolframového vlákna



Jméno: Michaela Mašková
 Datum měření: 19. 3. 2018
 Skupina: SK 2 - Pondělí
 Kolega: Jiří Tuháček
 Klasifikace:

1 Pracovní úkoly

1. DŮ: Z Planckova vyzařovacího zákona odvoďte Stefan-Bolzmannův zákon a určete tvar konstanty σ pomocí c , k , a \hbar .
2. Ocejchujte referenční žárovku pomocí měření odporu. Diskutujte, zda α v rovnici (6) je konstanta. Výsledky zpracujte graficky. Ověřte správnost výsledků pomocí závislosti výkonu na čtvrté mocnině teploty. Pomocí fitu určete konstantu β .
3. Ověřte Stefan-Bolzmannův zákon (4), výsledky vynesete do grafu a určete konstantu ϵ .
4. Zjistěte teplotu žárovky připojené k neznámému zdroji (alespoň 6 měření) pomocí závislosti transmise na vlnové délce. Graficky zpracujte a teplotu získejte pomocí aritmetického průměru z fitů závislosti intenzity na vlnové délce $I = I(\lambda)$.

2 Pomůcky

Pulfrichův fotometr, zdroj namětí 0-30 V, wolframová vlákna (dvě světelné žárovky), multimetr, ohmmetr, zdroj referenčního napětí.

3 Teorie

Ve fotometrii zkoumáme viditelné světlo a jeho působení na oko. Těleso při zvyšování teploty vydává záření, nejdříve jen neviditelné tepelné, při vyšších teplotách se těleso zbarvuje do tmavoruda a přechází ve žlutou až při několika tisících stupních je vyzařené světlo téměř totožné s barvou slunečního světla.

Pro energii jednoho kvanta vyzařené elektromagnetické energie platí

$$e = h\omega = \frac{\hbar c}{\lambda} \quad (1)$$

Vyzařené světlo se řídí Planckovým vyzařovacím zákonem, kde pro intenzitu záření I_ω v závislosti na frekvenci platí

$$dI_\omega = \frac{\hbar}{4\pi^3 c^2} \frac{\omega^3}{\exp(\frac{\hbar\omega}{kT}) - 1} d\omega, \quad (2)$$

kde T je teplota absolutně černého tělesa, c rychlost světla ve vakuu a k Boltzmannova konstanta. Vezmeme-li ω jako funkci vlnové délky λ ze vztahu (1), dostaneme z (2) vztah

$$dI_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1} d\lambda. \quad (3)$$

Integrujeme-li (2) přes všechny vlnové délky, získáme Stefan-Bolzmannův zákon

$$I = \sigma T^4, \quad \text{resp.} \quad I = \epsilon \sigma T^4, \quad (4)$$

kde σ je Stefan-Bolzmanna konstanta a ϵ emisivita povrchu tělesa – ta vyjadřuje korekci na skutečnost, že nepracujeme s absolutně černým tělesem. Přepíšeme-li (4) pomocí výkonu, dostaneme

$$P = UI = \beta T^4, \quad (5)$$

kde β je konstanta.

Teplotu wolframového vlákna je možno získat ze závislosti odporu vlákna na jeho teplotě, kde pro vodiče platí vztah

$$R = R_0(\alpha \Delta T + 1), \quad (6)$$

kde α je teplotní součinitel elektrického odporu, pro wolfram konkrétně $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}$. Tento koeficient je však konstantní pouze pro malé změny teploty, proto budeme používat jinou závislost.

Pro velikost odporu vodiče platí vztah

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (7)$$

kde ρ je rezistivita, l délka a S průřez vodiče.

Teplotu wolframového vlákna pak můžeme určit z teplotní závislosti rezistivity wolframu, pro kterou v rozmezí teplot 750-3600 K platí

$$\rho = -1,73573 + 2,14350 \cdot 10^{-2}T + 5,74811 \cdot 10^{-6}T^2 - 1,13698 \cdot 10^{-9}T^3 + 1,1167 \cdot 10^{-13}T^4. \quad (8)$$

V tomto vztahu je již zahrnuta korekce na teplotní roztažnost a $\frac{l}{S}$ je konstantní.

Při porovnávání záření dvou žárovek (neznámé a referenční) měříme transmissi τ (pro větší přehlednost značím transmissi nikoli T , jak je uvedeno v návodu [1], ale τ , aby nedošlo k záměně s termodynamickou teplotou T). Transmise je poměr světelných intenzit před a po absorpci tělesem. Spočítat ji můžeme jako

$$\tau = \frac{I_\lambda}{I_{0\lambda}}. \quad (9)$$

4 Postup měření

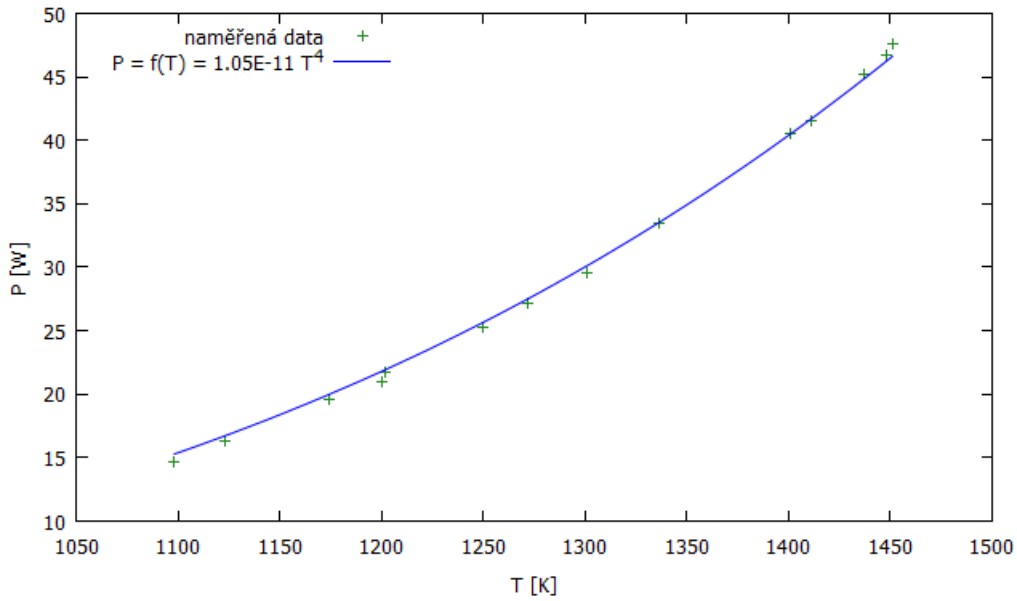
Při cejchování žárovky nejdříve ještě před zapojením změříme její odpor R_0 při pokojové teplotě. Poté žárovku připojíme ke zdroji a měříme V-A charakteristiku, ze které poté získáme elektrický odpor a následně teplotu vlákna. Tuto žárovku poté bereme jako referenční.

Pro druhé měření připojíme druhou žárovku k neznámému zdroji. Pro referenční žárovku volíme takové hodnoty U a I , aby referenční žárovka 3x zářila více a 3x méně než žárovka měřená. Clonku u více svítící žárovky vždy nastavíme na 100 a druhou nastavujeme tak, aby byly barvy viděné ve fotometru stejné. Postupně měníme filtry od 1 do 10 a nastavujeme clonku, zaznamenáváme hodnoty nastavených transmisí.

5 Vypracování

5.1 Cejchování žárovky

Žárovku jsme ocejšovali proměřením VA charakteristiky. Naměřené hodnoty U , I a vypočítané hodnoty R , P a T jsou uvedeny v příloze v Tab. 2.



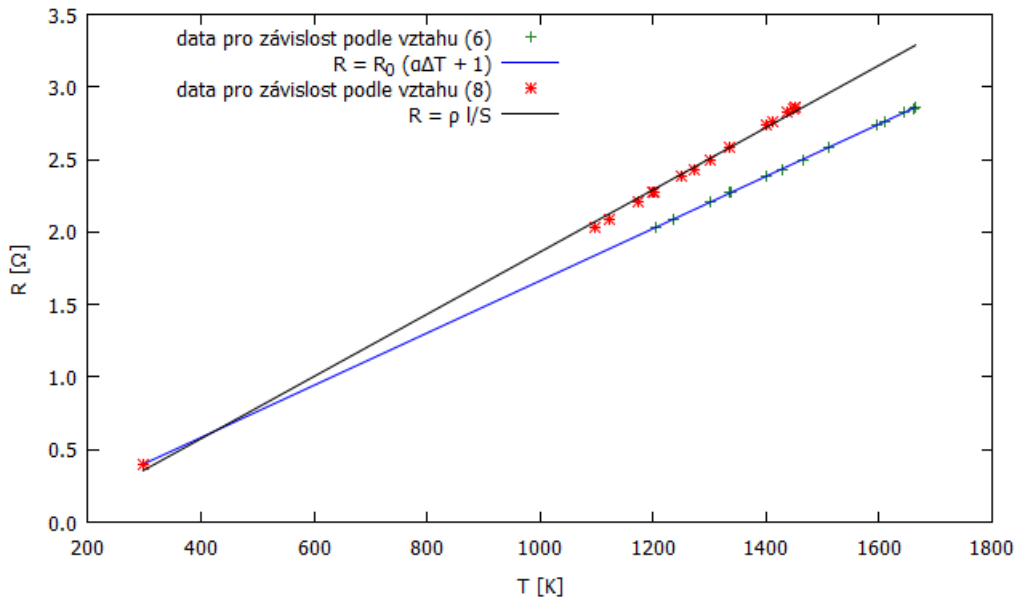
Obr. 1: Graf závislosti výkonu P na čtvrté mocnině teploty T podle vztahu (5).

Dále jsem vypracovala graf závislosti výkonu na čtvrté mocnině teploty podle vztahu (5). Výsledek je na Obr. 1. Tím jsme získali závislost teploty na výkonu žárovky.

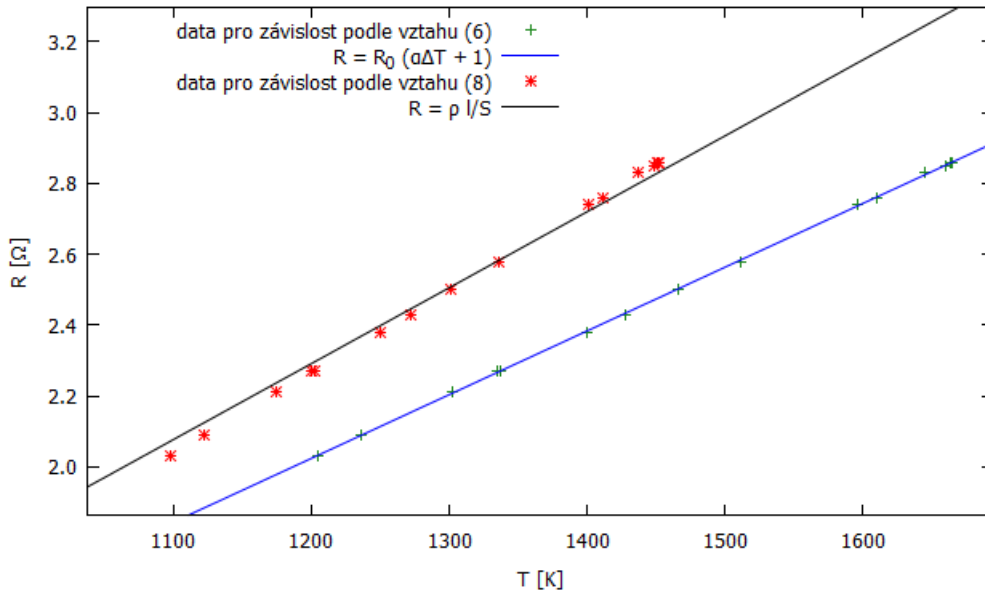
Hodnota koeficientu β byla určena

$$\beta = (1,052 \pm 0,004) \cdot 10^{-11}.$$

Pro zajímavost jsem vypracovala i graf závislosti odporu vodiče na teplotě pro vztahy (6) a (7), kterou je možno vidět na Obr. 2. Na Obr. 3 je pak vidět detail závislostí pro hodnoty naměřené při svítící žárovce. Je možné si všimnout, že polynommická závislost rezistivity na teplotě (8) lépe prokládá data, pokud bereme v potaz nulový bod – tedy bod, ve kterém žárovka nesvítí.



Obr. 2: Porovnání závislostí (6) a (7).



Obr. 3: Porovnání závislostí (6) a (7), detail bodů naměřených pro svítící žárovku.

5.2 Ověření Stefan-Bolzmannova zákona

Nebylo mi z návodu jasné, jak ověřit Stefan-Bolzmannův zákon. Tento zákon udává závislost intenzity záření na teplotě. My jsme však byli schopni spočítat pouze intenzitu záření určitých pevně daných vlnových délek, nikoli celého spektra. Proto si myslím, že v našem měření nelze Stefan-Bolzmannův zákon ověřit.

5.3 Teplota neznámé žárovky

Měřením a následnými výpočty jsem získala hodnoty uvedené v Tab. 3. Výkon P byl počítán ze vztahu (5), teplota referenční žárovky T_{ref} podle výsledku cejchování této žárovky. Hodnoty transmise jsou hodnoty naměřené přímo fotometrem pomocí nastavení clonek.

Dále jsem použila vztah (3) pro výpočet intenzity záření při vlnových délkách daných propustností jednotlivých filtrů a získala tak intenzitu záření referenční žárovky. Porovnáním transmisí τ_n a τ_r a vztahu (9) jsem pak získala intenzitu záření neznámé žárovky.

Intenzitu záření neznámé žárovky jsem dále fitovala závislostí (3) v programu gnuplot, cílem bylo určit teplotu neznámé žárovky T . Celkem jsem fitovala danou závislost 6x a získala tak hodnoty teplot uvedené v Tab. 1.

Teplotu neznámé žárovky jsem tak určila statisticky

$$T = (1260 \pm 50) \text{ K.}$$

6 Diskuze

V prvním úkolu jsme ocejšovali referenční žárovku. Pro další počítání jsem použila hodnoty vypočítané pomocí vztahů (7) a (8). Jak je vidět na Obr. 2 a 3, vybraná závislost lépe prokládá data a je přesnějším přiblížením reálné závislosti. Potvrdil se tak předpoklad, že koeficient α ve vztahu (6) není možné považovat za konstantu při větších rozdílech teplot.

T [K]	ΔT [K]
1190,62	1,128
1095,82	0,8693
1141,61	1,68
1336,16	0,3157
1375,55	0,7421
1407,85	1,173

Tab. 1: Tabulka fitem získaných hodnot pro teplotu neznámé žárovky T s absolutní chybou fitu.

Výsledky byly ověřeny grafickým zpracováním vztahu (5), viz. Obr. 1. Koeficient β byl fitem určen $\beta = (1,052 \pm 0,004) \cdot 10^{-11}$. Chyba u tohoto měření mohla nastat například při výpočtu teploty. Přestože vztah (8) obsahuje korekci na délkovou roztažnost vodiče, poměr $\frac{l}{S}$ nemusí být přesně konstantní a mohl tak do výpočtu zanést chybu.

Bohužel se nám nepodařilo ověřit Stefan-Boltzmannův zákon, jelikož jsme uznali, že z námi naměřených dat nemůžeme získat potřebnou závislost. Planckův zákon (3) je totiž potřeba integrovat přes všechny vlnové délky, nám se bohužel nepodařila určit celková intenzita záření, a proto jsme tento zákon nemohli pro výpočet použít.

Teplota neznámé žárovky byla určena $T = (1260 \pm 50)$ K. Největší chyba byla způsobena citlivostí oka. Cílem bylo zjistit transmisi, při které obě žárovky vyzařují stejně, tato hodnota je ovšem velmi subjektivní. Při výpočtu jsme navíc počítali se střední hodnotou vlnové délky, kterou propouští daný filtr, což také mohlo do výpočtu zanést chybu. Z rozptylu spočítaných teplot neznámé žárovky (viz. Tab. 1) je vidět, že odchylky jednotlivých měření od výsledného průměru se lišily až v řádu stovek kelvinů. Toto měření se tak nedá považovat za příliš přesné.

7 Závěr

Ocejchovali jsme referenční žárovku a správnost výsledků ověřili graficky, výsledek je možno vidět na Obr. 1. Koeficient β byl určen $\beta = (1,052 \pm 0,004) \cdot 10^{-11}$

Nepodařilo se nám ověřit Stefan-Boltzmannův zákon a zjistit hodnotu emisivity ϵ .

Teplota neznámé žárovky byla určena $T = (1260 \pm 50)$ K.

Literatura

- [1] FJFI ČVUT, Fyzikální praktikum 2, 5 Měření wolframového vlákna, citace [25.3.2018], dostupné z https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/3964/mod_resource/content/20/wolfram180220.pdf.

8 Příloha

U [V]	I [A]	R [Ω]	P [W]	T [K]
0	0	0,40	0	298
5,83	2,79	2,09	16,27	1123
7,02	3,09	2,27	21,69	1202
8,13	3,34	2,43	27,15	1272
9,61	3,36	2,86	32,29	1452
11,66	4,08	2,86	47,57	1451
10,72	3,88	2,76	41,59	1411
8,61	3,44	2,50	29,62	1301
6,89	3,04	2,27	20,95	1200
5,45	2,68	2,03	14,61	1098
6,58	2,98	2,21	19,61	1174
7,77	3,26	2,38	25,33	1250
9,30	3,60	2,58	33,48	1336
10,54	3,85	2,74	40,58	1401
11,30	4,00	2,83	45,20	1437
11,55	4,05	2,85	46,78	1448

Tab. 2: Naměřené hodnoty U , I a vypočítané hodnoty R , P a T pro měření referenční žárovky.

U [V]	7,64	6,47	7,04	9,29	10,11	11,37
I [A]	3,23	2,95	3,09	3,59	3,76	4,01
P [W]	24,68	19,09	21,75	33,35	38,01	45,59
T_{ref} [K]	1238	1161	1200	1335	1379	1444
filtr	τ_n^1	τ_n^2	τ_n^3	τ_r^1	τ_r^2	T_r^3
1	64	34	48	66	62	38
2	91	43	52	49	39	25
3	74	36	58	57	43	27
4	73	41	52	65	45	32
5	69	34	50	70	51	38
6	64	36	45	80	68	42
7	58	36	44	92	76	57
8	56	36	48	99	90	61
9	48	32	42	98	94	72
10	50	33	39	97	95	72

Tab. 3: Tabulka naměřených hodnot U , I na referenční žárovce a spočítané odpovídající hodnoty výkonu P a teploty T_{ref} . Dále hodnoty transmisí pro dané filtry. τ_n^i jsou transmise odpovídající clonce na neznámé žárovce při nastavené transmisi u referenční žárovky na 100, u τ_r^i naopak (i je pořadí měření).