

Spektrometer

Gregor Žunič

7.3.2020

1 Uvod

Spektrometer meri porazdelitev svetlobnega toka. Uporabljali bomo optični spektroskop na prizmo. Deluje tako, da prizma razcepi svetlobo na več barv. Detektor je kar naše oko - merimo samo vidni spekter. Najbolj občutljivo je pri 555 nm, kjer je razmerje 683 lm/W.

Osnovne komponente spektroskopa so:

1. Vstopna reža in kolimator - divergentni snop pretvori v vzporednega
2. Na sredini nje prizma iz treh zljepljenih prizm z različnimi koeficienti.
3. Teleskop, ki zbere sliko v gorišče

Ker opazovani spekter ni monokromatski dobimo veliko barv. Disperzija je odvisna od valovne dolžine in je podana z Sellmeijevo formulo:

$$n(\lambda)^2 = 1 + \frac{A\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_0^2},$$

kjer je A moč oscilatorja in λ_0 valovna dolžina pri resonanci.

Čim manjša je reža, ostrejša je slika, vendar je pri tem opazovanje toka težje. To pomeni, da je nastavitev kompromis med ločljivostjo ($\Delta\lambda/\lambda$) in svetlostjo. Ločljivost manjšajo tudi uklonski efekti na optičnih elementih. Izognemo se jim, z dobro določeno valovno dolžino. Iz tega sledi, da je velikost slike omejena navzdol in je podana kot

$$\Delta D \approx f \frac{\lambda}{B},$$

kjer je B širina izhodnega snopa in f goriščna razdalja teleskopske leče. Torej lahko ločljivost označimo kot,

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx (S \frac{dn}{d\lambda})^{-1}$$

Vrste spektrov. Spektri so zvezni in diskretni. Zvezni prihajajo iz trdnih snovi (volfram). Barva je odvisna od materiala. Črtasti sevajo plini. Odvisna je od energije fotonov med prehodi v orbitalah. Razporeditev po frekvencah ima pri teoretičnih spektralnih črtah obliko Lorentzove funkcije:

$$P_L(\nu) = \frac{\alpha_L/\pi}{(\nu - \nu_0)^2 + \alpha_L^2}$$

kjer je v vakumu $\alpha_L = h/(2\tau)$, kjer je τ čas prehoda sevanja. Zaradi trkov je α_L odvisna od T in P :

$$\alpha_L(T, P) = \alpha_0 \frac{P}{P_0} \left(\frac{T_0}{T} \right)^{1/2}$$

α_0 pa je polovična širina pri standardnih pogojih.

Odvisen je tudi od Dopplerja in tako dobimo

$$P_D(\nu) = \frac{1}{\alpha_D \sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{\nu - \nu_0}{\alpha_D} \right)^2 \right]$$

$\alpha_D = \nu_0 \sqrt{2k_b T / (mc^2)}$ in m masa delca.

Prisotna sta oba efekta, zato je razporeditev konvolucija - Voigtov profil.

Vsaka snov absorbira prav tisto svetlobo, ki jo lahko tudi absorbira. Z merjenjem absorbirane svetlobe je mogoče ugotoviti zgradbo. Sprektri v vesolju so najbolj odvisni od Dopplerja, kar nam pomaga ugotoviti njihovo hitrost.

2 Naloga

1. Umerite kotno skalo spektroskopa s spektralnimi črtami Hg in H₂.
2. Izmerite valovne dolžine spektralnih črt v spektru varčne žarnice. Primerjajte spekter s tistim, izmerjenim v Hg pod točko 1.
3. Izmerite centralno valovno dolžino in ocenite spektralno širino rdeče, rumene, zelene in modre svetleče diode (LED).
4. Opazujte zvezni spekter volframove žarnice in oceni valovno dolžino najsvetlejšega (rumenega) dela in zapišite intervale, ki jih pokrivajo posamezne barve.
5. Opazujte absorpcijski spekter NO₂ tako, da cevko s plinom preseivate z belo svetlobo.
6. Izmerite valovne dolžine črt v spektru He in Ne.

3 Meritve

Meritve so direktno prepisane iz datoteke meritev.

Tabela 1: Ampula Hg

Barva	ϕ [°]	Tablična λ [nm]
Modrovijolična	169°25'	436
Zelena	173°35'	546
Rumena	174°15'	577
Rumena	174°20'	579

Tabela 2: Ampula H₂

Barva	ϕ [°]	Tablična λ [nm]
Svetlomodra	171°45'	486
Rdeča	175°50'	656
Modrovijolična	169°25'	

Tabela 3: Varčna žarnica

Barva	ϕ [°]
Vijolična	169°25'
Modrozelen	171°35'
Zelena	173°40'
Rumena	174°20'
Rumena	174°25'
Rdeča	175°20'

Tabela 4: Absorbacijski spekter NO₂

[°]
172°20'
172°10'
171°45'
171°25'
171°10'
170°45'
170°40'

Tabela 5: Ampula Ne

Barva	ϕ [°]	Tablična λ [nm]
Rdeča	175°10'	618.3
Rdeča	175°30'	640.2
Oranžna	174°50'	594.3
Rumena	174°30'	585.2
Zelena	173°20'	540

Tabela 6: Ampula Helij

Barva	ϕ [°]	Tablična λ [nm]
Rumena	174°30'	587.6
Rdeča	175°55'	667.8
Zelena	172°10'	501.6
Zelena	171°50'	492.2
Modra	171°	471.3
Vijolična	169°55'	447.1

Tabela 7: Volframska žarnica

Barva	ϕ_1 [°]	ϕ_2 [°]
Vijolična	167°30'	170°20'
Modra	170°20'	171°40'
Zelena	171°40'	173°20'
Rumena	173°20'	174°30'
Oranžna	174°30'	175°25'
Rdeča	175°25'	176°10'

Tabela 8: Led dioda

Barva	ϕ_1 [°]	ϕ_2 [°]	ϕ_{\max} [°]
Modra	168°5'	175°5'	171°5'
Rumena	173°5'	175°35'	174°5'

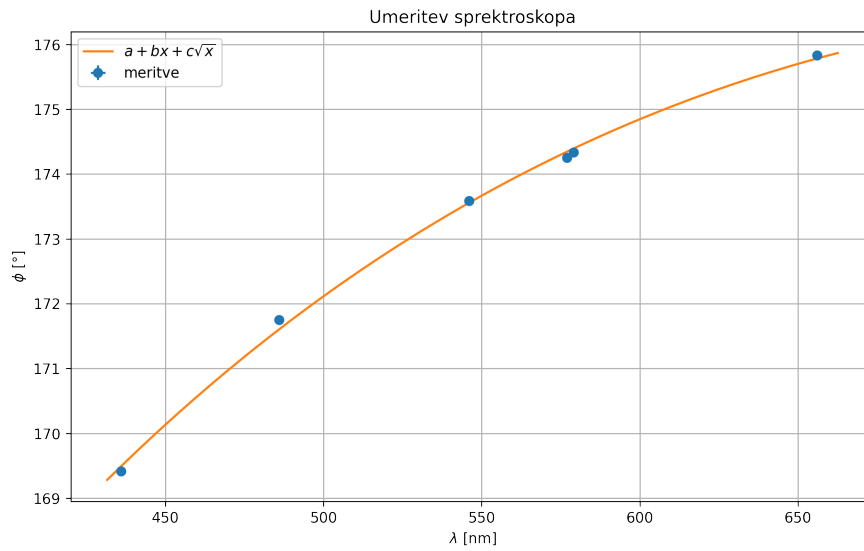
4 Rezultati in izračuni

Najprej je potrebno umeriti spektrometer. To storimo, z meritvijo (tabelne vrednosti) pri Hg in H₂. Vrednosti umerimo z fit-om na funkcijo oblike:

$$\phi = c_1 + c_2\lambda + c_3\sqrt{\lambda} \quad (1)$$

Če to funkcijo podamo na tabele 3 in 3, dobimo graf

Slika 1: Umeritev sprektrometra



Vrednosti parametrov pa so (v enote kota).

$$\begin{aligned} c_1 &= 68,9 \pm 11,1 \\ c_2 &= (-0,136 \pm 0,021) \text{ nm}^{-1} \\ c_3 &= (7,66 \pm 0,97) \text{ nm}^{-1/2} \end{aligned}$$

Zdaj, ko so znani parametri lahko enačbi (1) priredimo inverz (kvadratna enačba s pozitivno rešitvijo - negativna ni pravilna):

$$\lambda = \left(\frac{-c_3 + \sqrt{c_3^2 - 4c_2(c_1 - \phi)}}{2c_2} \right)^2 \quad (2)$$

Napaka, ki jo inverz poda, je seveda odvisna od velikosti ϕ vendar je očitno kar precej velika, ker so natančnosti c_2 in c_3 zgolj na 10%. Če jo poskusimo oceniti, dobimo, da je napaka okoli 12% (za ne premajhne vrednosti kota).

4.1 Spekter varčne žarnice

Sedaj lahko nalogo (2) izračunamo tako, da za vsako vrednost kota uporabimo inverz funkcije 2. Za izmerjen spekter varčne žarnice dobimo

Barva	ϕ [°]	λ [nm]
Vijolična	169°25'	434
Modrozelen	171°35'	485
Zelena	173°40'	550
Rumena	174°20'	576
Rumena	174°25'	580
Rdeča	175°20'	626

Bolj pravilno bi bilo, da bi pri vsakem rezultatu napisal še napako (10%), vendar je problem, da je ta napaka očitno zelo precejšena, ker model deluje kar v redu. Spekter je izjemno podoben spektru Hg. Vendar je malo bolj obsežen kot v naših navodilih.

4.2 Spekter LED diode

Barva	ϕ_1 [°]	ϕ_2 [°]	ϕ_{\max} [°]	λ_{\max} [nm]	λ_1 [nm]	λ_2 [nm]
Modra	168°05'	175°05'	171°05'	473	408	612
Rumena	173°05'	175°35'	174°05'	566	530	642

4.3 Volframska žarnica

Naloga je, da ocenimo valovne dolžine intervalov. Za ocenitev najsvetlejšega dela ni podatkov.

Barva	ϕ_1 [°]	ϕ_2 [°]	λ_1 [nm]	λ_2 [nm]
Vijolična	167°30'	170°20'	397	455
Modra	170°20'	171°40'	455	488
Zelena	171°40'	173°20'	488	538
Rumena	173°20'	174°30'	538	584
Oranžna	174°30'	175°25'	584	631
Rdeča	175°25'	176°10'	631	689

4.4 Spekter N0₂

Iz prejšnjega računa, lahko zdaj še ocenim barve v spektru N0₂.

ϕ_1 [°]	λ_1 [nm]	Barva
172°20'	506	Zelena
172°10'	502	Zelena
171°45'	490	Zelena
171°25'	481	Modra
171°10'	475	Modra
170°45'	464	Modra
170°40'	462	Modra

4.5 Valovne dolžine pri He in Ne

Najprej sem izračunal spekter za Helij:

Barva	ϕ [°]	Tablična λ [nm]	λ [nm]
Rumena	174°30'	588	584
Rdeča	175°55'	668	667
Zelena	172°10'	502	502
Zelena	171°50'	492	492
Modra	171°0	471	471
Vijolična	169°55'	447	445

Nato še za Neon.

Barva	ϕ [°]	Tablična λ [nm]	λ [nm]
Rdeča	175°10'	618	617
Rdeča	175°30'	640	637
Oranžna	174°50'	594	599
Rumena	174°30'	585	584
Zelena	173°20'	540	538

Kot vidimo, se rezultati zelo prikrivajo.

5 Zaključek

V celoti so v vaji meritve zelo blizu dejanski sliki, ki jo zelo lahko preverimo, tudi napake so precej majhne.