

# Spektrometer

---

Tadej Strah

13. maj 2022

Izvedeno ..... 19. marec

## 1 Uvod

Spektrometer je priprava za merjenje porazdelitve svetlobnega toka po frekvenci ali valovni dolžini. V tej vaji bomo delali s klasičnim optičnim spektrometrom na prizmo. S prizmo lahko svetlobo razklo-nimo na posamezne barvne komponente, saj imajo različen valovne dolžine različne lomne količnike. Detektor pri vaji je kar človeško oko, zato smo precej omejeni z občutljivostjo (torej le na vidni spekter).

Odvisnost lomnega količnika od valovne dolžine lahko opišemo s Sellmeierjevo formulo

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

kjer je  $A$  t.i. moč oscilatorja in  $\lambda_0$  valovna dolžina, ki ustreza njegovi resonanci.

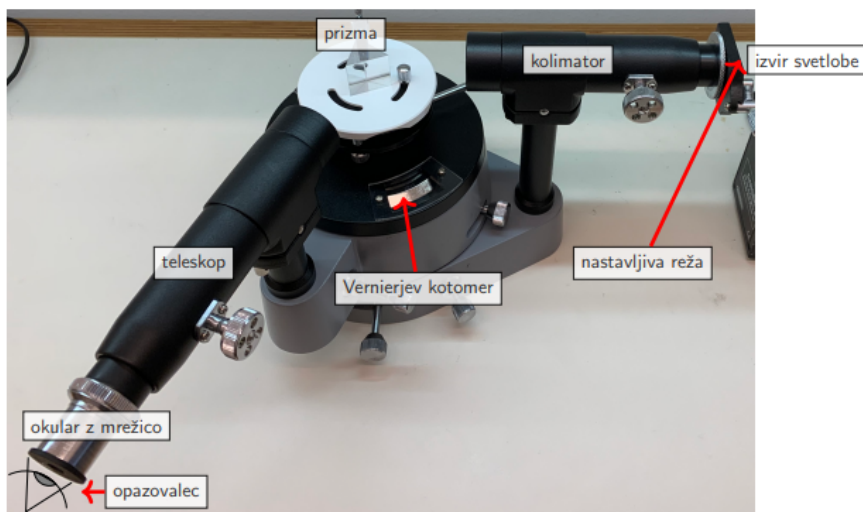
Širina reže določa minimalno širino slike, saj se vsaka točka v reži preslika v ustrezno točko slike. Ožja reža tako da ostrejšo sliko, vendar na račun manjše intenzitete prepuščene svetlobe.

### 1.1 Vrste spektrov

Emisijske spektre opazujemo, če izvor sam oddaja svetlobo. Pri omejeni ločljivosti, kakršno lahko dosežemo z našim spektrometrom, delimo te spektre na zvezne in črtaste. Pri dovolj veliki ločljivosti pa ugotovimo, da je vsak spekter zvezen. Zvezne spektre sevajo razžarjene trdne snovi, moč izsevanega svetlobnega toka določa Stefanov zakon. Porazdelitev izsevane svetlobe je odvisna od temperature telesa.

Črtaste spektre sevajo plini. Valovna dolžina spektralnih črt je določena z energijo elektronskih prehodov v atomih plina ali z vibracijskimi oz. rotacijskimi prehodi v molekulah. Slednji so predvsem dobro zaznavni v infrardečem območju. Nekatere črte so tako blizu skupaj, da so pri dani ločljivosti sistema praktično nerazločljive ter tako tvorijo spektralne pasove.

Poleg merske (ne)natančnosti na širino črt vpliva še nekaj dejavnikov. Eden od njih je Heisenbergovo načelo nedoločenosti, po katerem ima porazdelitev izsevne intenzitete po frekvencah  $P(\nu)$  za



Slika 1: Slika in shematični prikaz optičnega spektroskopa na prizmo. Skozi teleskop vidimo na prizmi po valovnih dolžinah razcepljeno svetlobo izvora. Za dobro delovanje spektrometra moramo pravilno izbrati osvetlitev vhodne zaslonke, zato da kolimirani snop svetlobe napolni prizmo. Takrat je ločljivost spektroskopa odvisna od velikosti prizme in njene optične disperzije.

dano spektralno črto pri frekvenci  $\nu_0$  obliko Lorentzove funkcije

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

kjer je v idealnem vakuumu polovična širina črte v enotah frekvence  $\alpha_L = h/(2\tau)$  določena s časom prehoda  $\tau$  iz energijsko višjega v nižje stanje. Zaradi trkov z okoliškimi molekulami plina pa postane širina temperaturno  $T$  in tlačno  $p$  odvisna, zato je

$$\alpha_L(T, p) = \alpha_0 \frac{p}{p_0} \left( \frac{T_0}{T} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

kjer je  $\alpha_0$  polovična širina pri standardnih pogojih.

Zaradi gibanja delcev v plinu je emisija podvržena tudi Doplerjevemu efektu. Gibanje delcev je naključno in recimo, da delci v lastnem sistemu sevajo valovanje s frekvenco  $\nu_1$ . Zaradi Doplerjevega efekta ima v laboratorijskem sistemu intenziteta te emisije Gaussovo porazdelitev

$$P_D(\nu) = \frac{1}{\alpha_D \sqrt{\pi}} \exp \left[ - \left( \frac{\nu - \nu_0}{\alpha_D} \right)^2 \right], \quad (3)$$

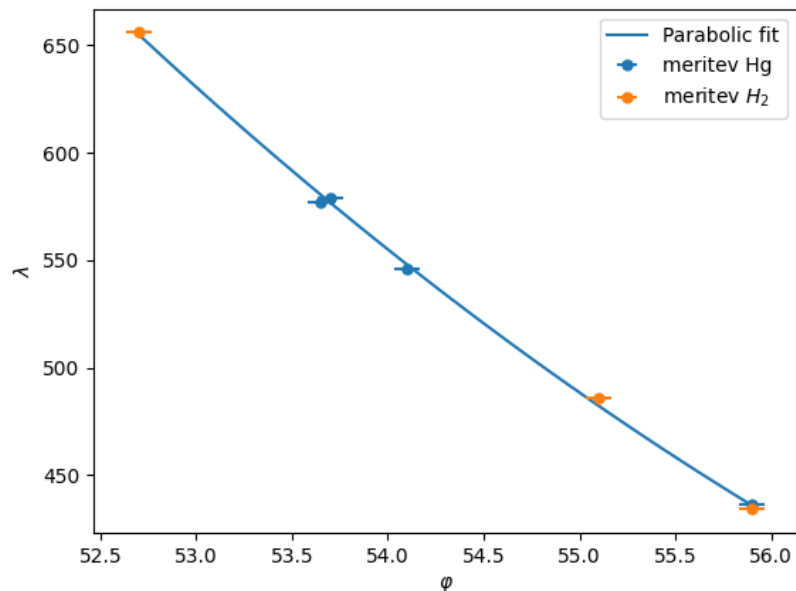
pri čemer je širina  $\alpha_D = \nu_0 \sqrt{2k_B T / (mc^2)}$  in je  $m$  masa delca. Oba efekta nastopata istočasno, zato je dejanska porazdelitev konvolucija obeh porazdelitev.

Pri vaji teh vplivov ne opazimo zares, saj je že ločljivost zaradi velikosti reže preslaba.

Opazujemo lahko tudi emisijske spektre, če med svetilo in merjenec postavimo snov, ki bo absorbirala ravno pri tistih frekvencah, kjer bi sicer sevala.

## 2 Potrebščine

- Optični spektroskop: prizma iz kremenastega stekla



Slika 2: Umeritvena krivulja s prilagojenim modelom  $\lambda = c_1 + c_2\varphi + c_3\sqrt{\varphi}$

- visokonapetostni izvor in ampule s plini
- varčna žarnica, LED diode, volframova žarnica, cevka z  $NO_2$

### 3 Naloga

1. Umerite kotno skalo spektrometra s spektralnimi črtami  $Hg$  in  $H_2$ .
2. Izmerite valovne dolžine spektralnih črt v spektru varčne žarnice. Primerjajte spekter s tistim, izmerjenim v  $Hg$
3. Izmerite centralno valovno dolžino in ocenite spektralno širino rdeče, rumene, zelene in modre svetleče diode.
4. Opazujte zvezni spekter volframove žarnice in ocenite valovno dolžino najsvetlejšega (rumenega) dela in zapišite intervale, ki jih pokrivajo posamezne barve.
5. Opazuje absorpcijski spekter  $NO_2$
6. Izmerite valovne dolžine črt v spektru  $He$  in  $Ne$ .

### 4 Meritve, obdelava podatkov in rezultati

Spektre plinov merimo tako, da jih najprej ioniziramo, ob relaksaciji pa potem izmerimo izsevano svetlobo. Za to imamo pline zaprte v posebnih steklenih ampulah, ki jih priključimo na izvor visoke napetosti. Ob dovolj visoki napetosti se plin segreje in ionizira, pri čemer nastane plazma.

Najprej si s pomočjo znanih valovnih dolžin v spektrih živega srebra in vodika umerimo spektrometer za našo postavitev prizme. Tabelo, ki povezuje barve in valovne dolžine najdemo v navodilih vaje,

Barva	kot [°]	$\lambda$ [nm]	opomba	ref
rdeča	52.4	663		667.8
oranžna	53.5	591	močna črta	587.5
zelena	54.9	494		501
modra	55.7	447		447
vijolična	56.4	409		402

Tabela 1: Spekter helija



Slika 3: Spekter neona; fotografija

izmerimo pa kote, pri katerih opazimo te spektralne črte. Rezultate prikazuje umeritvena krivulja na sliki 2.

Skozi točke prilagodimo model  $\lambda = c_1 + c_2\varphi + c_2\sqrt{\varphi}$ , ki ga uporabimo za ekstrapolacijo pri določanju valovnih dolžin v odvisnosti od izmerjenih kotov. Sedaj imamo umerjen spektrometer.

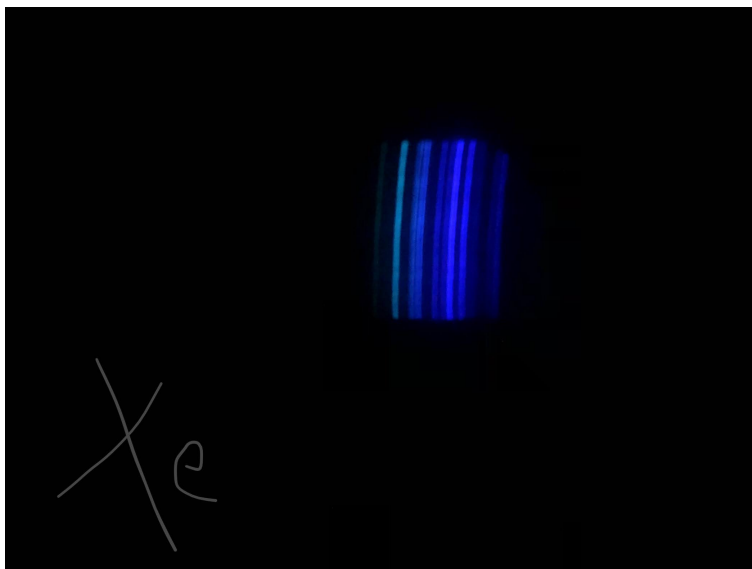
Na tem mestu še opomba: pri meritvi vodikovega spektra opazimo, da je precejšen del spektra zvezen oz. razmazan, kar si razložimo s tem, da v ampuli verjetno ni več samo čisti vodik, temveč tudi doberšen del drugih plinov iz ozračja.

#### 4.1 Spekter helija, neona in ksenona

Izmerimo spektra helija  $He$  in neona  $Ne$ . Rezultate za helij prikazuje tabela 1. Stolpec 'ref' prikazuje referenčne vrednosti, najdene v bazi ameriškega Nacionalnega inštituta za standarde in tehnologijo (dostopno na [https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines\\_form.html](https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html)).

Neonov spekter je bistveno bolj populiran kot helijev, spektralne črte so blizu ena druge oz. se ponekod že prekrivajo, tako da bi z našo postavitevjo spektroskopa težko dobro pomerili celoten spekter. Zato spekter raje kar fotografiramo; rezultat vidimo na sliki 3. Po pričakovanjih vidimo veliko intenzivnih spektralnih črt v območju med 550nm in 680nm (rdeča, oranžna, rumena barva), opazimo pa tudi valovne dolžine okoli 500nm (zelena) in 460nm (modra), vendar bistveno nižje intenzitete.

Na voljo je bila še ampula s ksenonom; na sliki 4 vidimo pričakovan spekter z intenzivnimi modrimi barvami.



Slika 4: Spekter ksenona; fotografija

## 4.2 LED diode

Pomerimo spektre štirih LED diod (modre, zelene, rdeče in oranžne). LED diode delujejo na principu elektroluminiscence - ob rekombinaciji elektronov in vrzeli se izseva foton, katerega energija je odvisna od širine energijske reže v polprevodniku. Za izdelavo različnih barv diod tako potrebujemo različne polprevodniške materiale. Spekter diode za razliko od laserja ni tako oster, niti se ne obnaša kot koherenten vir svetlobe.

Pri tej vaji si pogledamo spektralno širino 4ih različnih diod, rezultate prikazujejo slike 5 do 6 in tabela 2.

barva	razpon $\varphi$ [°]	razpon $\lambda$ [nm]
modra	55.5 - 53.0	459 - 631
zelena	54.1 - 52.8	550 - 643
oranžna	54.0 - 52.8	558 - 644
rdeča	54.5 - 52.4	596 - 677

Tabela 2: Tabela meritev spektralnih širin 4ih LED diod.

## 4.3 Varčna žarnica

Varčna žarnica vsebuje živo-srebrove hlape, ki najmočnejše sevajo v ultravijoličnem. Ta svetloba nato zadane fosforjev premaz v žarnici, ki preko luminiscence potem seva v vidnem spektru. Del spektra pa prispeva tudi direktno živo srebro, zato je spekter podoben tistemu od čistega živega srebra.

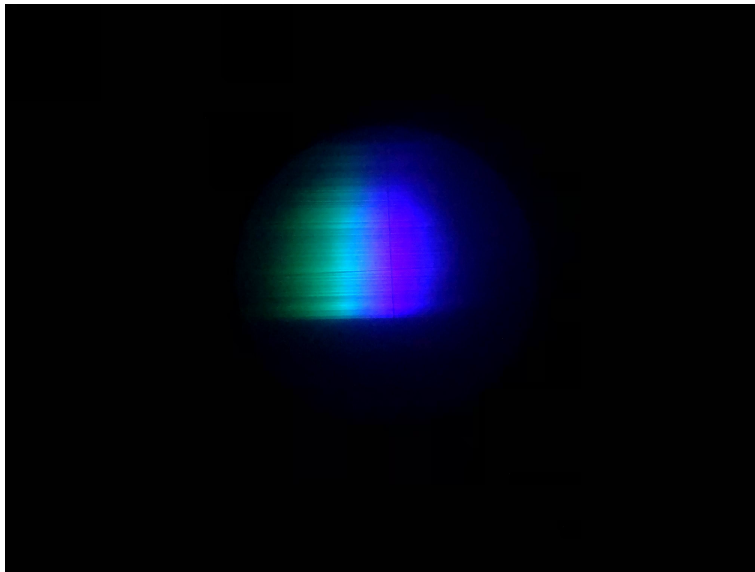
Meritve prikazuje tabela 3.

## 4.4 Žarnica z Wolframsko nitko

Spekter wolframske žarnice lahko dobro opišemo s spektrom črnega telesa pri temperaturi okoli 3000K.

Sestavo spektra naše žarnice prikazuje tabela 4.

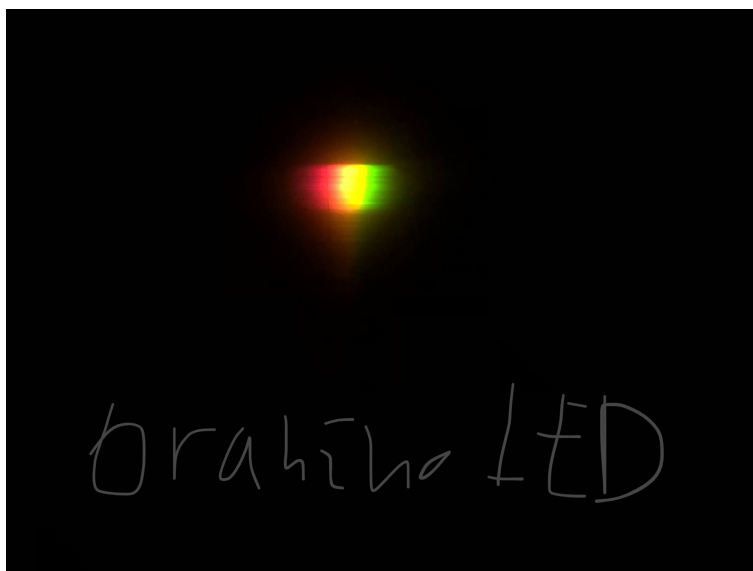
Meritve prikazuje tabela 3.



Slika 5: Spekter modre LED; fotografija



Slika 6: Spekter zelene LED; fotografija



Slika 7: Spekter oranžne LED; fotografija

barva	$\varphi$ [°]	$\lambda$ [nm]
rdeča	52.5	671
oranžna	52.7	655
zelena	53.3	606
svetlo modra	54.5	521
vijolična	55.9	435

Tabela 3: Najbolj izrazite spektralne črte varčne žarnice.

barva	razpon $\lambda$ [nm]
rdeča	691 - 643
oranžna	642 - 613
rumena	613 - 584
zelena	579 - 509
svetlo modra	509 - 475
temno modra	475 - 435
vijolična	435 - 383

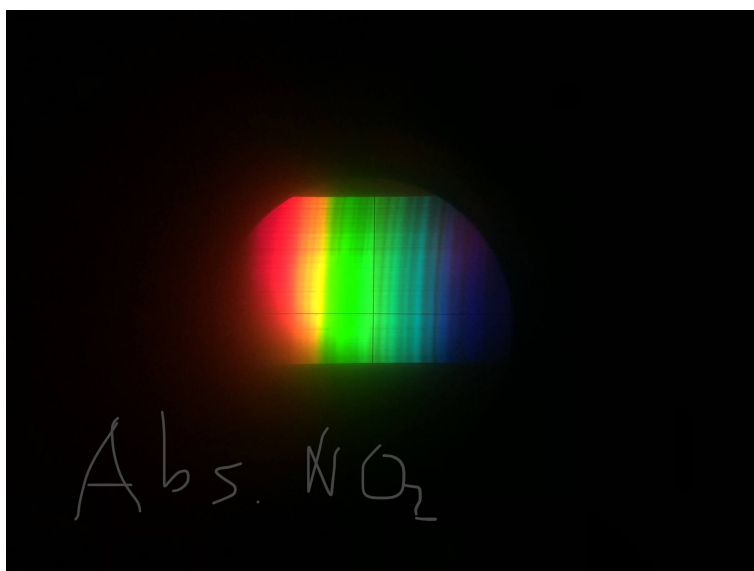
Tabela 4: Komponente zveznega spektra navadne wolframske žarnice.

## 4.5 Absorpcija v NO<sub>2</sub>

Podobno kot deluje emisija, deluje tudi absorpcija, le v obratni smeri. Plin absorbira svetlobo pri frekvencah, kjer bi jo sicer izseval. Na spektru tako namesto svetlih črt iščemo potemnitve.

Meritev izvedemo tako, da za absorpcijski plin postavimo vir svetlobe z širokim zveznim spektrom.

NO<sub>2</sub> absorbira pri mnogo valovnih dolžinah, spekter vidimo na sliki 8. Nekatere absorpcijske frekvence pa preberemo v sledečem seznamu: [630.5, 622, 599, 576, 569, 555, 541, 507, 588, 452, 441].



Slika 8: Absorpcijski spekter  $\text{NO}_2$ ; fotografija