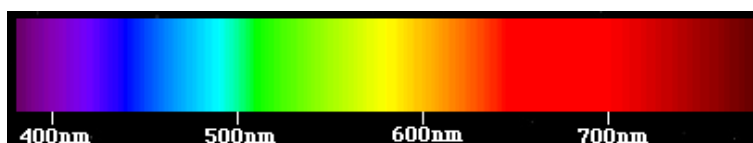


SPEKTROMETER

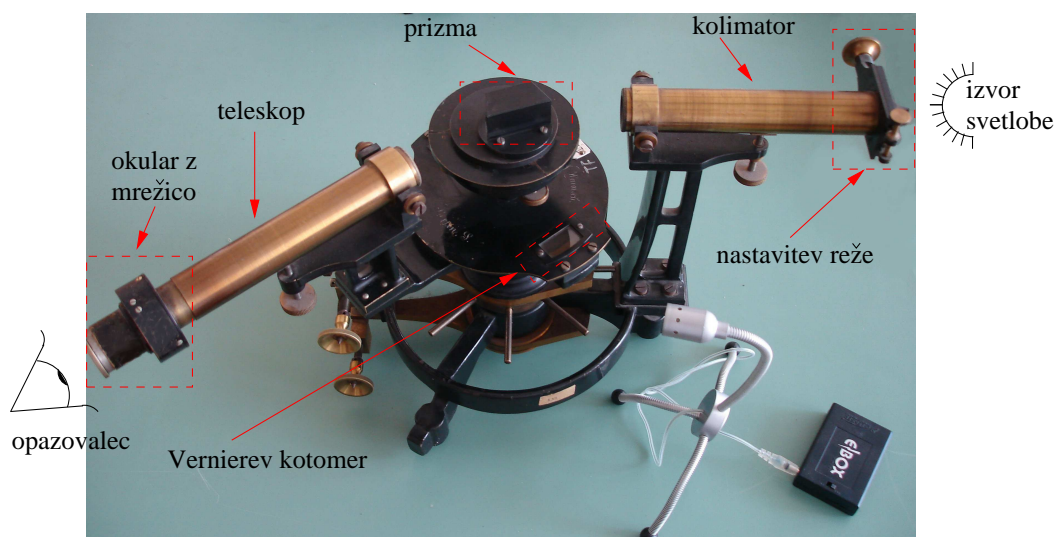
Uvod

Spektroskop je priprava za merjenje spektrov, to je porazdelitve svetlobnega toka po frekvenci ali valovni dolžini. Poznamo mnogo vrst spektroskopov prirejenih različnim potrebam glede spektralnega področja, ločljivosti, razpoložljivega svetlobnega toka itd. V naši vaji bomo uporabljali klasični optični spektroskop na prizmo. Njegovo delovanje temelji na principu, da se svetloba v prizmi iz stekla razcepi na raznobarvne komponente. Kot detektor valovanja uporabljamo človeško oko in tako smo omejeni na merjenje vidnega spektra, glej sliko 1. Osnovne komponente spektroskopa so kolimator z lečo in reža,



Slika 1: Približna reprezentacija vidnega spektra v barvah kot funkcija valovnih dolžin.

ki je postavljena v goriščno lego leče. Kolimator pretvori divergentni snop svetlobe iz reže v vzporednega (kolimiranega). Osrednji del spektroskopa je prizma iz stekla z disperzijo lomnega količnika $n(\lambda)$, ki razcepi snop kolimirane svetlobe na posamezne barvne komponente in te se razlikujejo po kotu širjenja. Tako vsako komponento svetlobe pričakujemo pri drugem kotu glede na vstopni kolimiran snop. Le-te s pomočjo zbiralne leče v teleskopu zberemo v svoji goriščni ravnini v slike rež. Shemo spektroskopa povzema slika 2. Če je opazovani spekter monokromatski, dobimo eno sliko reže, sicer pa



Slika 2: 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.

dobimo za vsako valovno dolžino svojo sliko. Curki svetlobe z različnimi valovnimi dolžinami se namreč na prizmi lomijo pod različnimi koti zaradi disperzije lomnega količnika

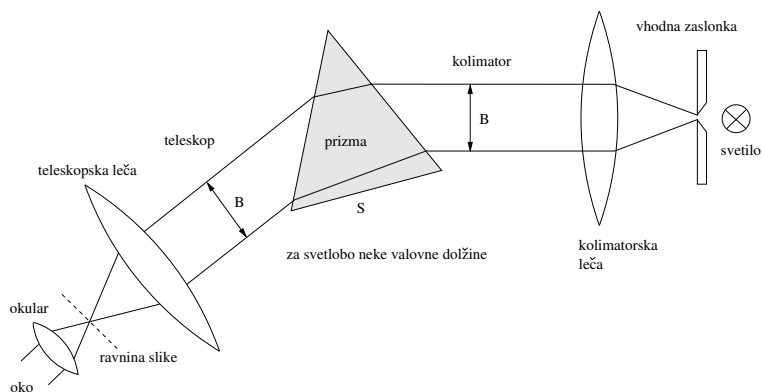
stekla, iz katerega je narejena prizma. Pri normalni disperziji, kakršno ima prizma, je lomni količnik za rdečo svetlobo manjši od tistega za modro svetlobo in se zato modra svetloba na prizmi lomi za večji kot.

Širina reže določa minimalno širino slike, saj se vsaka točka v reži preslika v ustrezno točko slike. Čim manjša je reža, ostrejša je slika, vendar je pri tem manj tudi celotnega svetlobnega toka in je s tem opazovanje šibkih spektralnih komponent težavneje. Zato je nastavev reže vedno kompromis med ločljivostjo, ki jo običajno podamo kot razmerje $\Delta\lambda/\lambda$, in svetlostjo. Ločljivost spektroskopa pa omejujejo tudi nezaželeni uklonski efekti na optičnih elementih - vstopni reži, prizmi in lečah. Uklonskim efektom se izognemo, če se optične poti v optičnem elementu za svetlobo z dobro določeno valovno dolžino razlikujejo bistveno manj kot ena valovna dolžina. Iz tega pogoja sledi, da je velikost slike oz. vstopne reže navzdol omejena in je njena minimalna vrednost podana kot

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

kjer je B širina izhodnega svetlobnega snopa in f goriščna razdalja kolimatorske oz. teleskopske leče. V primeru prizme pa pogoj odsotnosti uklonskih efektov prevedemo v ločljivost spektroskopa v primeru simetričnega loma na prizmi. Takrat je ločljivost odvisna le od velikosti prizme podane z dolžino osnovnega roba S in od disperzije lomnega količnika prizme $dn/d\lambda$ kot

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



Slika 3: Shematični prikaz poteka svetlobe skozi spektrometer.

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, npr. žarilna nitka v volframovi žarnici. Barva izsevane svetlobe je določena z absolutno temperaturo žarečega telesa in pa z lastnostmi površine, ki jih opišemo z albedom oziroma emisivnostjo. Merjenje izsevane svetlobe lahko uporabimo za merjenje temperature žarečih snovi s pirometrom, npr. v kovinski industriji.

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

Na teoretično širino spektralnih črt izven merilnega sistema vpliva v prvi vrsti Heisenbergovo načelo nadoločenosti [1] po katerem ima porazdelitev izsevane intenzitete po frekvencah $P(\nu)$ za dano spektralno črto pri frekvenci ν_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 $\alpha_L = h/(2\tau)$ in τ je čas prehoda iz energijsko višjega v nižje stanje. Zaradi okoliškega plina pa postane širina temperaturno T in tlačno P odvisna v obliki

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

kjer je α_0 polovična širina pri STP: $T_0 = 273K$ in $P_0 = 1013mB$. Zaradi gibanja delcev v plinu je emisija z delcev podvržena Dopplerjevemu efektu. Gibanje delcev je naključno in recimo, da delci v lastnem sistemu sevajo valovanje s frekvenco ν_1 . Zaradi Dopplerjevega efekta ima v laboratorijskem sistemu intenziteta te emisije Gaussovo porazdelitev

$$P_D(\nu) = \frac{1}{\alpha_D \sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{\nu - \nu_1}{\alpha_D} \right)^2 \right],$$

pri čemer je celotna širina $\alpha_D = \nu_1 \sqrt{2k_B T / (mc^2)}$. Oba efekta nastopata istočasno in zato je pravilna porazdelitev konvolucija obeh porazdelitev

$$P_V = P_L * P_D,$$

ki jo imenujemo Voigtov profil. Za nadaljne branje o lastnostih razelektritvenih spektrov v optičnem območju se priporoča [2]. V okviru vaje opisanih fizikalnih procesov širjenja spektralnih črt ne opazimo, saj je snop žarkov skozi režo tipično preširok.

Če postavimo med belo svetilo in spektrometer merjenec, se v spektru lahko pojavijo temna področja, ki frekvenčno ustrezajo črtam, ki bi jih merjenec izseval, če bi ga uporabili kot svetilo. Vsaka snov absorbira prav tisto komponento svetlobe, ki jo lahko tudi izseva. Z merjenjem absorpcije je mogoče ugotavljati npr. sestavo atmosfer oddaljenih zvezd ali vsebnost različnih primesi v razredčeni krvi. Absorpcijski spekter Sonca je pomeril nemški optik Fraunhofer že v začetku prejšnjega stoletja. Fraunhoferjeve črte solarnega spektra dokazujejo obstoj plinov v Sončevi atmosferi (natrij, kalcij,...). Spektri zvezd v vesolju so v primerjavi z ustreznimi spektri izmerjenimi v laboratoriju premaknjeni zaradi Dopplerjevega efekta proti manjšim frekvencam, iz česar je mogoče oceniti hitrost oddaljevanja posameznih zvezd.

Potrebščine

- spektroskop, transformator, induktor, stojalo za spektralne žarnice, spektralne žarnice He, Ne, in H₂

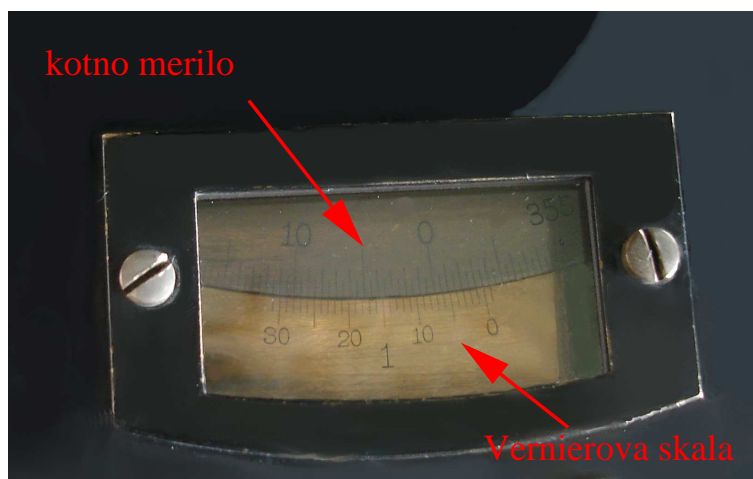
- živosrebrna svetilka s transformatorjem, varčna žarnica, LED diode, volframova žarnica, cevka z NO_2

Naloga

1. Umerite kotno skalo spektroskopa s spektralnimi črtami Hg svetilke.
2. Izmerite valovne dolžine spektralnih črt v spektru varčne žarnice. Primerjajte spekter s tistim, izmerjenim 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 NO_2 tako, da cevko s plinom preseivate z belo svetlobo.
6. Izmerite valovne dolžine črt v spektru He, Ne in H_2 .

Navodilo

Kotomer na spektroskopu meri ravninski kot teleskopa v stopinjah in je opremljen z Vernierovo skalo, glej sliko 4, ki jo opazujemo s povečevalom. Uporabimo jo za določitev kotnih minut zasuka teleskopa na identičen način kot skale na kljunastem merilu pri določitvi dimenzije na desetinko milimetra natančno. Če želimo iz kotov direktno izraziti valovno dolžino, moramo kotomer za dano lego prizme umeriti, kar storimo z opazovanjem izvorov z znanimi spektralnimi črtami. Okular nastavite tako, da je slika reže ostra, in reža naj bo čim bolj ozka. Pri spreminanju širine reže se premika le en rob slike, drugi pa ostaja pri miru. Pri meritvah opazuj vedno tisti rob reže, ki je fiksni.



Slika 4: Povečana slika Vernierovega kotomera na spektroskopu.

Najprej umerite skalo spektrometra s Hg svetilko. Živosrebrno svetilko priključite preko transformatorja na 220 V. Za vse močne črte zapišite lego na skali in v tabeli 1 poiščite

pripadajoče valovne dolžine. Narišite umeritveno krivuljo, kjer na absciso nanašate prebrane lege kotov in na ordinato valovne dolžine. Skozi točke potegnite najbolj smiselno gladko krivuljo, ki jo upoštevate pri nadaljnjih meritvah.

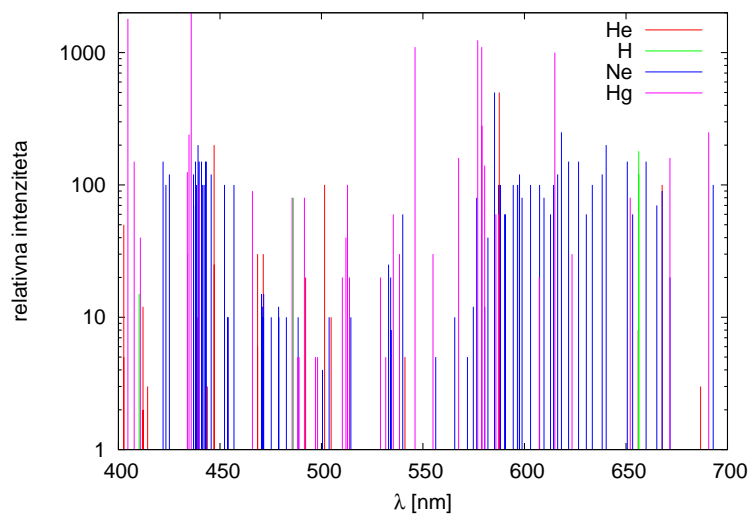
Oglejte si emisijske spektre svetlobe iz LED diod, varčne žarnice in volframske žarnice, kjer izmerite valovne dolžine pomembnejših črt ali sprememb v intenziteti zveznih spektrov. Na enak način diskutirajte emisijske spektre dobljene pri razelektritvi skozi ampule plinov He, Ne in H₂. To storite tako, da ampulo s plinom postavite v **neprižgan** namenski nosilec s kombiniranim samo-reguliranim visokonapetostnim izviro, kot je prikazan na sliki 5, in tako ga prižgete s stikalom na zadnji strani ohišja. Ob prižigu izvor samostojno



Slika 5: Nosilec za ampule s plinom, ki je kombiniran s samo-reguliranim izvorom visoke energetske napetosti do 6 kV in tokovi do 2 mA. Ampule plina so pri nizkem tlaku med 10 do 100 Pa.

zvišuje napetost med elektrodama na ampuli dokler ne steče ustrezen tok oz. dosežemo maksimalno napetost 6 kV. Ob dovolj visoki napetosti se elektroni v atomih plina osvobodijo in plin se ionizira ter tvori plazmo, ki pa ima bistveno manjšo upornost kot snov v plinskem stanju. Tako med elektrodama steče tok in pri vračanju elektronov v prazne orbite le-ti oddajajo svetlobo, ki jo nato mi vidimo. Tukaj delamo z visoko napetostjo, zato se **ne dotikajte ampule v nosilcu, ko je le-ta prižgan!** Meritve emispektrov si organizirajte tako, da navedite izmerjene vrednosti valovnih dolžin, barvo opazovane črte, popravljene vrednosti valovnih dolžin in za primerjavo še prave vrednosti iz tabele

1, če le-te obstajajo. Spektri vseh črt v teh elementih so grafično prikazan na sliki 6.



Slika 6: Grafični prikaz vseh znanih spektralnih črt v vidnem spektru elementov He, Hg, Ne, H z njihovimi intenzitetami, ko so le-ti v plinskem stanju.

Za opazovanje absorpcijskega spektra NO_2 pa postavite pred volframsko žarnico ampulo z merjencem in si zabeležite nekaj (~ 10) najbolj vidnih črt.

Literatura

- [1] J. Strnad, *Fizika, 3. del, Posebna teorija relativnosti, Atomi*, (DZS, Ljubljana 1980).
- [2] R. Payling, et.al. *Glow Discharge Optical Emission Spectrometry*, (John Wiley & Sons, 1997)
- [3] J. Reader, H. Ch. Corliss, *Line Spectra of the Elements* (CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, 1981).

Tabela 1: Valovne dolžine glavnih spektralnih črt Hg, H₂, Ne in He in njihove relativne jakosti v spektru elementa [3].

Plin	Barva	nm	Intenzit.	Plin	Barva	nm	Intenzit.
	Vijolična	404.7	1800		Sinje zelena	488.5	10
		407.5	150		Zelena	503.7	10
	Modra	433.9	125			514.0	10
		434.7	240			533.0	25
		435.8	2000			534.0	20
						540.0	60
Hg	Zelena	491.6	80	Ne			
		512.8	100				
		546.1	1100		Svetlo zelena	576.0	80
	Rumena	578.0	1240		Rumena	585.2	500
		580.0	1100				
		607.2	20		Oranžna	594.3	100
		614.9	1000		Rdeča	618.3	250
		623.4	30			640.2	200
	Vijolična	410.2	15		Vijolična	402.6	50
		434.0	30			447.1	200
						468.5	30
	Modro-zelena	486.1	80		Modra	471.3	30
H ₂				He	Zelena	492.2	20
	Rdeča	656.27	120			501.6	100
		656.28	180				
					Rumena	587.562	500
						587.597	100
					Rdeča	667.8	200
						706.6	30