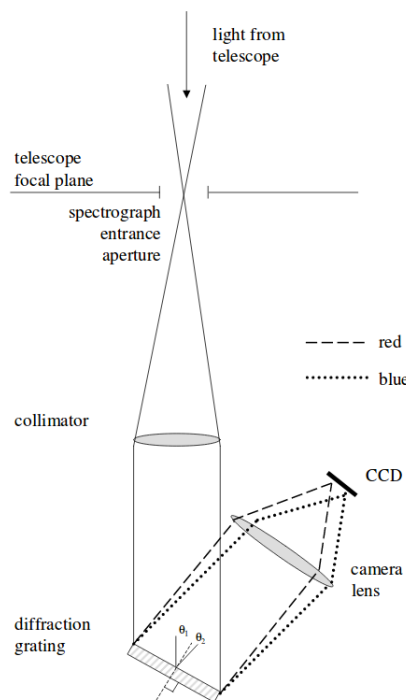


Procena spektralne rezolucije spektrografa

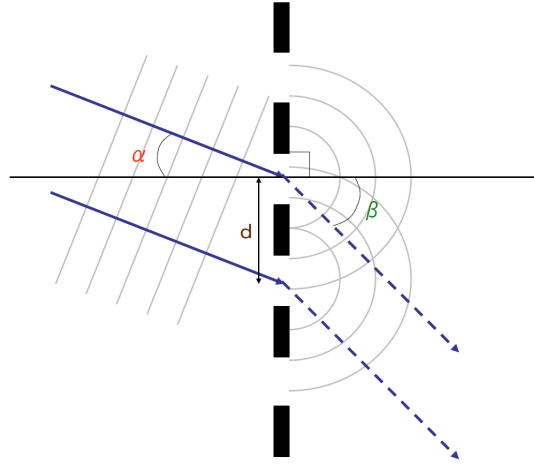
Napomena: Struktura vežbe se razlikuje od ranijh vežbi. Kroz tekst vežbe biće objašnjeni osnovni elementi problema, dok se sama vežba radi kroz usputne zadatke koji zahtevaju izvođenje određenih relacija među pomenutim veličinama u tekstu. Kroz celu vežbu će biti pretpostavljeno da su promene parametara male veličine, odnosno, da je $dx \approx \Delta x$ (uglovi nisu mali!).

Praktično sve informacija o nebeskim telima dobijamo izučavajući zračenje koje stiže sa njih, ali obilje informacija dobijamo analizirajući spektar datog objekta. Spektar predstavlja energetska raspodelu zračenja po talasnim dužinama. Uređaj pomoću kog možemo snimiti spektar nebeskog tela nazivamo spektrograf (vidi sliku 1).



Slika 1: Šematski prikaz jednostavne konstrukcije spektrografa. Isprekidanom i tačkastom linijom je predstavljeno prelamanje zraka dveju različitih talasnih dužina (crvene i plave, re-spektivno) kroz sistem. Dispersijski element u datom spektrografu čini refleksiona difrakciona rešetka.

Osnovni element spektrografa je dispersijski element koji razlaže polihromatsku svetlost sa nebeskog tela na monohromatsku svetlost. Dispersijski elementi su difrakciona rešetka i prizma. Takođe, u određenim spektrografima se javlja i kombinacija ova dva disperzijska elementa koju nazivamo grizma. Međutim, najčešće se u novijim instrumentima sreće difrakciona rešetka koja može biti transmisivna ili refleksivna. Na slici 2 predstavljeno je prelamanje monohromatske svetlosti na transmisivnoj difrakcionoj rešetci. Na prethodnoj slici zračenje upada pod određenim uglom α i nakon difrakcije izlazi pod uglom β u odnosu na normalu rešetke. Na zaklonu iza difrakcione rešetke dolazi do interferencije dva talasa koja su (istih talasnih dužina!) prošla kroz različite otvore na difrakcionoj rešetci. Do pojačanja signala, konstruktivne interferencije, na zaklonu dolazi ukoliko je putna razlika ova dva talasa jednaka celobrojnom umnošku talasne dužine talasa. Ovaj ceo broj n govori o redu spektra koji posmatramo na zaklonu (gde se u realnosti nalazi CCD pomoću kog snimamo spektar).



Slika 2: Difrakcija monohromatske svetlosti na transmisionalnoj difrakcionalj rešetki gde je prored između otvora d . Zračenje upada pod uglom α i nakon prolaska krzo rešetku biva difraktovan pod uglom β u odnosu na normalu rešetke.

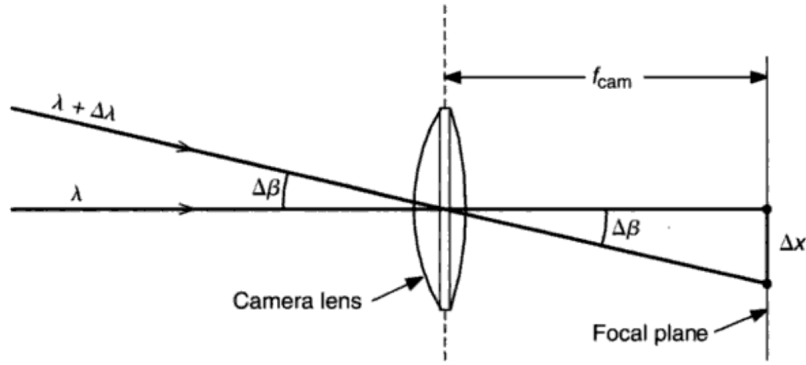
Zadatak 1: Razmatrajući sliku 2 izvesti jednačinu difrakcione rešetke koja zadovoljava uslov konstruktivne interferencije.

Pored disperzionog elementa u sklopu spektrografa se sreću i kolimatorsko sočivo i CCD kamera pomoću koje se snima posmatrani spektar. Kolimatorsko sočivo ima za cilj da divergentne zrake koji prođu otvor spektrografa usmeri normalno na difrakcionu rešetku (zraki su međusobno paralelni nakon prolaska kroz kolimaciono sočivo). Prorez spektrografa biramo tako da izolujemo objekat čiji spektar želimo da posmatramo od spektara ostalih nebeskih tela u vidnom polju teleskopa.

Iz spektra nekog nebeskog tela, recimo zvezde, možemo proceniti parametre kao što su: efektivna temperatura, pritisak u fotosferi, hemijski sastav, brzina rotacije i mnoge druge. Spektralna rezolucija utiče na to koliko jasno možemo primetiti uticaj pomenutih parametara na posmatrani spektar. Spektralna rezolucija definiše se kao $R = \lambda/\Delta\lambda$, gde je λ talasna dužina na kojoj posmatramo (ili centar datog spektralnog regiona od interesa), a $\Delta\lambda$ najmanji podeok na skali talasne dužine. Što je spektralna rezolucija veća možemo uočiti finije detalje u spektru, kao što su npr. slabe linije metala. U slučaju manje rezolucije možemo videti jedino jake spektralne linije, kao što su vodonikove linije ili u spektru Sunca Ca II K i H linije.

Kako bismo procenili spektralnu rezoluciju neophodno je da znamo kako zavisi $\Delta\lambda$ od karakteristika spektrografa (sočiva i otvora) i od karakteristika disperzionog elementa, difrakcione rešetke u ovom slučaju (rastojanje između proreda i red posmatranog spektra). Da bismo procenili $\Delta\lambda$ možemo krenuti od linearne disperzije spektrografa $d\lambda/dx$ koja opisuje koliko talasnih dužina staje na jedincu dužine CCD čipa. Ovde smo pretpostavili da je x koordinata usmerena duž CCD čipa.

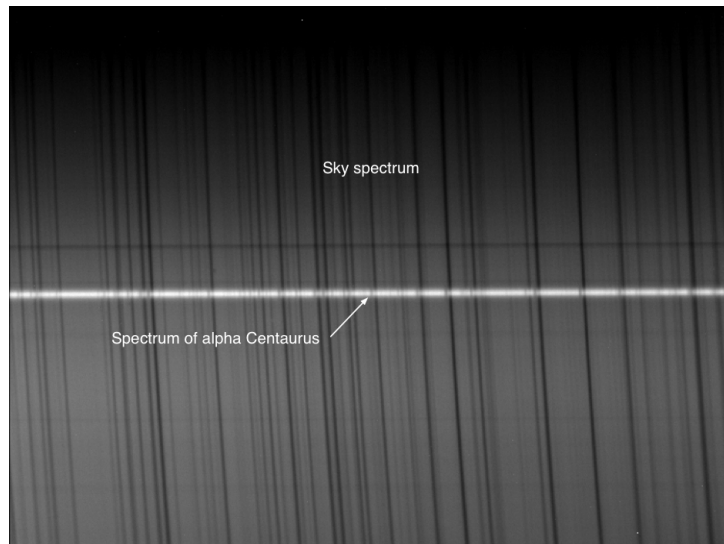
Zadatak 2: Razmotrite sliku 3. Izvesti jednačinu za linearnu disperziju spektrografa. Uместo diferenciranja po fizičkoj dimenziji preći na diferenciranje po uglovnoj vlićini lika na CCD čipu. Iskoristiti rezultat prethodnog zadatka.



Slika 3: Prelamanje dva monohromatska zraka koja se razlikuju za $\Delta\lambda$ kroz sočivo kamere čija je žižna daljina f_{cam} . U fokalnoj ravni, gde se nalazi CCD čip, zraci se nalaze na rastojanju Δx .

Zaključno sa prethodnim zadatkom smo dobili transformaciju talasnog dela zračenja od difrakcione rešetke do CCD čipa. Međutim, kako bismo procenili spektralnu rezoluciju, odnosno, $\Delta\lambda$, potrebno je da izračunamo kolika je slika ulaznog otvora spektrografa na CCD čipu, Δx .

Kada propustimo svetlost kroz otvor spektrografa ona prvo ide na kolimatorsko sočivo, potom na difrakcionu rešetku, zatim na sočivo kamere i na kraju svetlost pada na CCD čip (šematski prikazano na slici 1). Ovime se slika ulaza spektrografa projektuje na ravan CCD čipa i razlaže po talasnim dužinama. Posmatrani spektar u ravni CCD čipa je zapravo 2D spektar (slika 4). Horizontalna dimenzija na slici spektra na CCD čipu odgovara talasnim dužinama što je ujedno i slika širine otvora spektrografa, odnosno, Δx odgovara širini slike otvora spektrografa. Pravu širinu otvora spektrografa ćemo označavati kao W .



Slika 4: Spektar u ravni CCD čipa. Horizontalna dimenzija odgovara talasnim dužinama, odnosno, slici širine spektrografa. Sa slike se primećuje da je traženi spektar zvezde α Cen na sredini dok ostatak zračenja odgovara spektru neba. U gornjem delu slike se primećuje kako se tu nalazi manjak zračenja, što je posledica postojanja otvora spektrografa.

Zadatak 3: Posmatrajući monohromatsko prostiranje svetlosti izračunati veličinu slike otvora spektrografa Δx . Pretpostavite da je nakon prolaska kroz difrakcionu rešetku ugaona veličina otvora spektrografa $\Delta\beta$. Iskoristite jednačinu rešetke kako biste Δx predstavili preko parametara sistema i upadnog i izlaznog ugla α i β , repsektivno.

Znajući linearanu disperziju spektrografa i veličinu slike otvora spektrografa može se dobiti jednačina pomoću koje se procenjuje $\Delta\lambda$ na osnovu karakteristika komponenti spektrografa.

Zadatak 4: Procenite $\Delta\lambda$ za sledeće karakteristike: $d^{-1} = 600 \text{ 1/mm}$, $n = 2$, $W = 60 \text{ }\mu\text{m}$ i $f_{\text{coll}} = 200$. Da li je sa ovakvim spektrografom moguće razlučiti linije Na I D?

Zadatak 5: Prodiskutujte kako se menja $\Delta\lambda$ sa promenom određenih parametara. Šta su mane, a šta prednosti promene tih parametara?

Literatura

- [1] Gray, F. David, 2005. The Observation and Analysis of Stellar Photospheres, Cambridge, New York.
- [2] Kannappan, J. Sheila, Fabricant, G. Daniel, Hughes, B. Charles, 2002. Building a CCD Spectrograph for Educational or Amateur Astronomy, Publications of the Astornomical Society of the Pacific, **vol. 114:** 577-585. arXiv: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0202233>.