
Refleksiona difrakciona rešetka kao priručno nastavno sredstvo

Ivana Krulj¹, Ljubiša Nešić², Dragan Radivojević²

¹Visoka škola primenjenih strukovnih studija, Vranje, Srbija

²Prirodno-matematički fakultet, Niš, Srbija

Sažetak. Difrakciona rešetka je relativno skupo nastavno sredstvo koje mnoge škole ne poseduju zbog čega je najčešće zastupljen samo teorijski pristup obradi sadržaja koji se odnose na difrakciju svetlosti. Stoga je od velikog interesa ovladati korišćenjem jeftinijih i jednostavnijih priručnih sredstava kao zamenama za difrakcione rešetke, i pripremiti odgovarajuće školske eksperimente. Korišćenje refleksionih rešetki u nastavi i tumačenje principa njihovog funkcionisanja značajno je i sa aspekta razumevanja talasne prirode svetlosti. U radu su dati osnovni principi rada refleksione rešetke i analizirana mogućnost njene primene u nastavi.

Cljučne riječi: svetlosni talasi, difrakcija svetlosti, interferencija svetlosti

UVOD

U slučaju nailaska snopa svetlosti na prepreku, čije su dimenzije znatno veće od talasne dužine svetlosti, u prostoru iza prepreke formira se tzv. geometrijska senka koja se nalazi u delu prostora kroz koji se svetlost ne prostire. Veličina senke na zaklonu iza prepreke srazmerna je veličini prepreke. Ova saznanja učenika u okviru časova fizike posvećenih geometrijskoj optici u skladu su i sa njihovim čulnim opažanjem svetlosnih pojava. Uočavanje da se u slučaju manje prepreke dešava odstupanje od prvobitnog pravca prostiranja svetlosti tj. da se i u oblasti geometrijske senke prostire svetlost može biti značajno kao motivacioni faktor za potrebu za razumevanjem talasne optike. Svakodnevne pojave kao što su vidljivi sjajan prsten oko svetlosnih izvora, dobijanje spektara boja svetlosti reflektovanih sa površine kompakt diskova, prelivanje boja na paunovom peru ili paukovoj mreži mogu biti interesantni objekti za proučavanje i pobuđivanje interesovanja za tumačenje fizičkih pojava [1]. Eksperiment koji prati sadržaje talasne optike takođe treba biti prilagođen saznavnim mogućnostima učenika da objašnjenje pojave razumeju.

Prema aktuelnom programu nastave fizike u trećem razredu gimnazije prirodno-matematičkog smera i gimnazije opšteg tipa u Srbiji u okviru talasne optike obrađuju se nastavne jedinice *Interferencija i difrakcija svetlosti*, *Polarizacija svetlosti*, *Razlaganje bele svetlosti na spektar* i izvodi se laboratorijska vežba *Merenje talasne dužine svetlosti difrakcionom rešetkom* [2].

HUYGENSOV PRINCIP

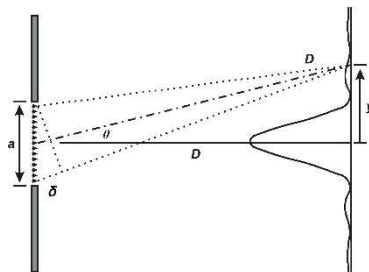
Pojava promene prvobitnog pravca prostiranja svetlosti kroz homogenu i izotropnu sredinu pri nailasku na neku prepreku pod određenim uslovima karakteristična je i za mehaničke i za elektromagnetne talase. Istorijski put razvoja objašnjenja ove pojave kada je reč o svetlosti vodi preko Konkursa Francuske akademije nauka 1817. godine, kojim se trebalo doći do objašnjenja prirode svetlosti. U to vreme postojale su dve grupe naučnika, jedna koja je okupila sledbenike Huygensa u stavu da je svetlost talasne prirode i druga koja je okupila sledbenike Newtonove teorije po kojoj je svetlost čestične prirode. Fresnel je predstavio jednačine kojima se objašnjava

„savijanje“ svetlosti iza kružne neprovidne prepreke i raspodelu intenziteta svetlosti u različitim pravcima. Poisson je rešavajući Fresnelove jednačine došao do rešenja koje dozvoljava da se maksimalno osvetljena tačka nalazi iza prepreke. Po njemu to rešenje bilo je nemoguće i time dovoljno da se odbaci talasna priroda svetlosti. Međutim, eksperiment kojim je trebalo potvrditi ili odbaciti Poissonov zaključak, pokazao je da je centar kružne senke bio osvetljen, odnosno da je svetlost skretala u odnosu na prvobitni pravac prostiranja. Na zaklonu iza prepreke naizmenično su bila raspoređena svetla i tamna polja, odnosno došlo je do pravilne preraspodele intenziteta svetlosti [3].

Po Huygensovom principu svaka tačka sredine do koje je došao talasni front postaje izvor sekundarnih talasa. Pojava difrakcije svetlosti potvrđuje talasne prirode svetlosti. Ona bitno zavisi od odnosa talasne dužine i dimenzija prepreke, odnosno otvora. Istorijski pregled naučne misli o svetlosti može poslužiti kao polazna osnova za osmišljavanje eksperimenta, a u cilju povećanja zainteresovanosti za razumevanje talasne optike [4,5].

Difrakcija i difrakcione rešetke

Za demonstraciju difrakcije svetlosti neophodni su izvor svetlosti, objekat na kome će se desiti



SLIKA 1. Difrakcija svetlosti na jednom otvoru i raspodela intenziteta svetlosti na ekranu.

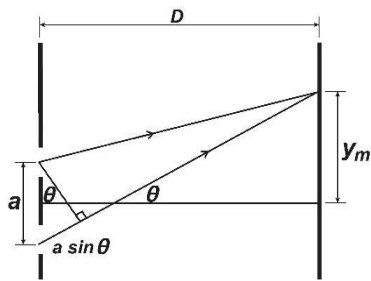
odstupanje svetlosti od prvobitnog pravca prostiranja i ekran na kome će se formirati difrakciona slika. Osim na uskim otvorima, i preprekama uporedivim sa talasnom dužinom svetlosti, difrakcija se dešava i na rešetkama koje se sastoje od niza uzanih zarezata raspoređenih paralelno jedan pored drugog na malim i podjednakim rastojanjima. Prema tome da li se svetlost prelama ili odbija sa površina između zarezata rešetke mogu biti transmise i refleksione. Uslov za pojavu difrakcije je da su dimenzije prepreke ili otvora reda veličine talasne dužine svetlosti. Ukoliko su izvor i ekran na relativno velikoj udaljenosti reč je o Fraunhoferovoj difrakciji dok je za slučaj njihovog relativno malog međusobnog rastojanja reč o Fresnelovoj difrakciji [6].

Položaji difrakcionih maksimuma za difrakciju na jednom otvoru određeni su jednačinom

$$\sin \theta = \frac{(2m+1)\lambda}{2a}, \quad m = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

gde je θ ugao skretanja svetlosnih zraka u odnosu na prvobitni pravac prostiranja, λ – talasna dužina svetlosti, a – širina otvora [7].

U slučaju difrakcije svetlosti na dva proreza difrakciona slika predstavlja kombinaciju interferencije na prorezima i difrakcije na svakom pojedinačnom prorezu [5]. Unutar centralnog i sekundarnih difrakcionih maksimuma prisutni su interferencioni minimumi.

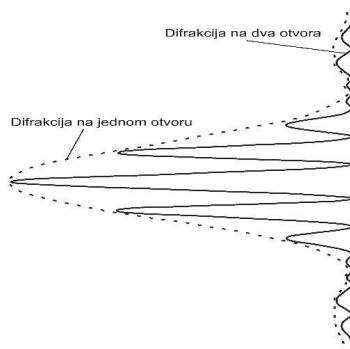


SLIKA 2. Difrakcija svetlosti na dva otvora

Uslov za nastajanje maksimuma osvetljenosti pri difrakciji na dva otvora je

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{a}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2. \quad (2)$$

Ako se izuzmu prirodne strukture sa sposobnošću difrakcije svetlosti, prvu difrakcionu rešetku sa 53 proreza na 1,27 cm, napravio je astronom D. Rittenhouse 1785. godine [8].



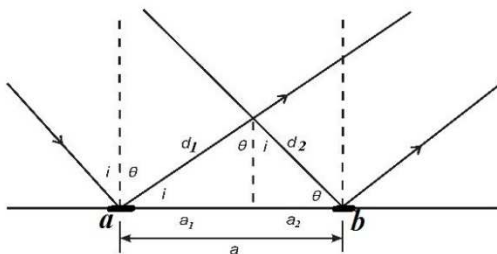
SLIKA 3. Raspodela intenziteta svetlosti pri difrakciji na dva otvora

Nakon skoro jednog veka zahvaljujući radovima J. Fraunhofera, F. A. Noberta i L. M. Rutherforda, H. A. Rowlanda difrakcione rešetke postaju primarni element u spektroskopskoj tehnologiji. Prvu komercijalnu difrakcionu rešetku visokog kvaliteta izradili su oko 1950. godine G. R. Harrison, D. Richardson i R. Wiley. Moderne difrakcione rešetke izrađuju se u širokom rasponu veličina i rastojanja između proreza (preko 10800 proreza na 1 mm dužine) [8].

U slučaju difrakcione rešetke, kada svetlost pada na N otvora, difrakciona slika se znatno razlikuje u odnosu na slučaj prolaska svetlosti kroz dva otvora. Između jasno izraženih glavnih maksimuma javlja se $N-2$ sekundarnih maksimuma znatno manjeg intenziteta. Putni uslov za maksimum intenziteta svetlosti pri difrakciji na rešetki isti je kao i uslov pri difrakciji na dva otvora [5].

Refleksione rešetke su uglačane površine na kojima postoji niz uskih zarezova na jednakim rastojanjima, pri čemu se svetlost na zarezima apsorbira ili rasejava a na uglačanim delovima reflektuje. Svaki deo uske reflektujuće površine, označen na slici 4, postaje tačkasti izvor sekundarnih talasa koji dalje konstruktivno ili destruktivno interferiraju.

Neka monohromatski snop svetlosti pada na refleksionu rešetku, kao što je prikazano na slici 4.



SLIKA 4. Difrakcija svetlosti na refleksionoj difrakcionoj rešetki pri čemu su a i b uske reflektujuće oblasti

Paralelni svetlosni zraci padaju na rešetku pod upadnim uglom i . Posmatrajući reflektovane zrake može se doći do izraza za putnu razliku ovih zraka uzimajući da je

$$a = a_1 + a_2 \quad (3)$$

pri čemu je a konstanta rešetke, koja predstavlja zbir širine zarezata i širine reflektujuće površine između dva susedna zarezata.

Upadni i odbojni ugao nisu obavezno jednaki, međutim važi:

$$i + \theta \approx 90^\circ. \quad (4)$$

Sledi da je

$$d_1 = a \sin \theta \quad (5)$$

$$d_2 = a \sin i \quad (6)$$

Putna razlika je, prema tome:

$$\Delta = d_2 - d_1 = a(\sin i - \sin \theta). \quad (7)$$

Kada je putna razlika jednaka celobrojnom umnošku talasne dužine svetlosti

$$(\sin i - \sin \theta) = \frac{m\lambda}{a}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (8)$$

talasi reflektovani sa susednih reflektujućih površina su u fazi i dolazi do konstruktivne interferencije te se na zaklonu dobija svetla mrlja. Naime, ukoliko svetlost pada na uglačane površine sekundarni talasi interferiraju destruktivno u svim pravcima izuzev u pravcu koji odgovara geometrijski reflektovanom zraku, dok sekundarni talasi sa zarezata konstruktivno interferiraju i u određenim pravcima koji se ne podudaraju s pravcima geometrijski reflektovanih zraka [5].

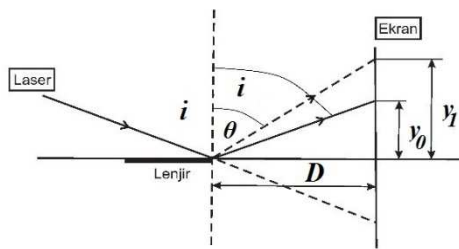
Kod refleksione rešetke maksimalan intenzitet reflektovane svetlosti je u pravcu interferencije nultog reda, odnosno u pravcu reflektovanja zraka koji na rešetku padaju bez putne razlike.

Značaj priručnih refleksionih rešetki za nastavu fizike istaknut je u radu Nobelovca A. L. Schawlowa koji je osmislio jednostavan eksperiment sa laserom i lenjirom sa polumilimetarskom podelom koji igra ulogu refleksione rešetke [9].

Na slici 5 prikazani su položaji glavnog ($m = 0$) i maksimuma osvetljenosti prvog reda ($m = 1$), u ovom slučaju. Svetlost pada na lenjir pod velikim upadnim uglom. Sledi da je

$$\sin \theta = \frac{D}{\sqrt{D^2 + y_1^2}}, \quad (9)$$

gde su D – rastojanje između rešetke i ekrana, y_1 – položaj maksimuma osvetljenosti prvog reda.



SLIKA 5. Difrakcija na lenjiru-refleksionoj rešetki

Sa slike 5 se uočava da je i

$$\sin i = \frac{D}{\sqrt{D^2 + y_0^2}} \quad (10)$$

Iz (9) i (10) uzimajući da je $y_1 \ll D$ važe aproksimativni izrazi

$$\sin \theta \approx 1 - \frac{y_1^2}{2D^2} \quad (11)$$

$$\sin i \approx 1 - \frac{y_0^2}{2D^2} \quad (12)$$

[10].

ODREĐIVANJE TALASNE DUŽINE SVETLOSTI REFLEKSIONOM REŠETKOM

Radi obezbeđivanja mogućnosti realizacije laboratorijske vežbe *Određivanje talasne dužine svetlosti difrakcionom rešetkom* korisno je razviti primer vežbe uz pomoć lenjira sa milimetarskom ili polumilimetarskom podelom kao refleksione difrakcione rešetke. Dati primer vežbe može se upotrebiti i za časove obrade, utvrđivanja i proveravanja. Potrebnu aparaturu, pored lenjira čine izvor monohromatske svetlosti, laser, postavljen tako da svetlost pada na površinu lenjira pod velikim upadnim uglom, i ekran sa lenjirom na kome će se formirati difrakciona slika.



SLIKA 6. Sredstva korišćena u eksperimentu određivanja talasnih dužina svetlosti i difrakciona slika zelene svetlosti.

Određivanjem položaja glavnog i maksimuma osvetljenosti prvog reda i merenjem rastojanja od rešetke do zaklona jednostavno se dobija odnos talasne dužine difraktovane svetlosti i konstante rešetke, što znači da se sa poznatom vrednošću konstante rešetke može odrediti talasna dužina difraktovane svetlosti¹. Iako učenici mogu primeniti date formule, meriti i računati potrebne veličine, sam proces merenja i računanja veličina kroz uočavanje efekata pojave vodi ka potrebi njenog razumevanja, a potom i lakše interpretacije sadržaja na osnovu ostvarenog iskustva. Dostupnost lasera crvene i zelene ali i drugih boja, dozvoljava da zadatak vežbe bude

¹ Moguće je, takođe, realizovati vežbu kojom bi se određivala konstanta rešetke na osnovu poznate talasne dužine upotrebljene monohromatske svetlosti.

upoređivanje difrakcionih slika dobijenih refleksionim difrakcionim rešetkama, odnosno eksperimentalna provera formule za određene položaje prvih maksimuma osvetljenosti difrakcione slike:

$$\lambda = a \frac{y_1^2 - y_0^2}{2D^2}, \quad (13)$$

koja sledi iz izraza (8), (11) i (12), za $m = 1$ [11].

Ekperimentom u okviru koga na lenjiru sa polumilimetarskom podelom kao refleksionoj difrakcionoj rešetki poznate konstante određene talasne dužine crvene i zelene laserske svetlosti dobijene su vrednosti koje odgovaraju deklarisanim talasnim dužinama svetlosti upotrebljenih lasera², što opravdava korišćenje priručnih refleksionih rešetki u nastavi fizike.

ZAKLJUČAK

Vodeći se postavljenim ciljevima nastave fizike u gimnaziji, posebnu pažnju treba posvećivati laboratorijskom radu, te tako u uslovima nedovoljne opremljenosti laboratorija treba pronaći načina da se planirani sadržaji eksperimentalnog rada realizuju. U tom smislu uputno je razmatrati izbor i kvalitet priručnih nastavnih sredstava. Kada je reč o izučavanju prirode svetlosti planiranje nastave može obuhvatiti i priručna nastavna sredstva, poput kompakt diska ili lenjira sa milimetarskom ili polumilimetarskom podelom, koji su jednostavni za upotrebu tokom laboratorijskih vežbi a ujedno pouzdani kada su u pitanju difrakcione slike koje ostvaruju. Osim povećanja stepena motivacije za rad i ostvarenja principa očiglednosti korišćenjem lenjira sa polumilimetraskom podelom, kao refleksione rešetke, u cilju određivanja talasne dužine svetlosti, ostvaruje se i temeljnije izučavanje talasne optike, odnosno pojava difrakcije.

ZAHVALA

Rad jednog od autora (Lj. N.) delimično je finansiran sredstvima projekata 174020 i 176021 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, i ICTP-SEENET-MTP projekta PRJ09 Cosmology and Strings u okviru SEENET-MTP Mreže.

LITERATURA

1. J. Walker, *The Flying Circus of Physics by Jearl Walker*, John Wiley&Sons, New York, 2007.
2. *Pravilnik o nastavnom planu i programu za gimnazije*, Sl. glasnik RS-Prosvetni glasnik, br. 3/91, 3/92, 17/93, 2/94, 2/95, 8/95, 23/97, 2/2002, 5/2003, 10/2003, 11/2004, 18/2004, 24/2004, 3/2005, 11/2005, 2/2006, 6/2006, 12/2006, 17/2006, 1/2008, 8/2008, 1/2009, 3/2009, 10/2009, 5/2010 i 7/2011
3. M. Mladenović, *Razvoj fizike-optika*, Građevinska knjiga, Beograd, 1985.
4. Lj. Nešić, *Osnovi fizike*, Prirodno-matematički fakultet u Nišu, Niš, 2011.
5. P. P. Urone, *College physics*, Brooks Cole, Salt Lake City, 2000.
6. E. Hecht, *Optics, 4th ed*, Addison-Wesley, San Francisco, 2002.
7. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentals of physics*, Wiley, 2005.
8. C. Palmer, E. Loewen, *Diffraction grating handbook*, Richardson Grating Laboratory, New York, 1996.
9. A. L. Schawlow, *American Journal of Physics* 33 922, 1965.
10. D. Radivojević, *Priručna sredstva kao difrakcione rešetke u nastavi fizike*, diplomski rad, Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Niš, 2013.
11. D. Nikolić, Lj. Nešić, *European Journal of physics* 33, 1677-1685 (2012)

² Srednja vrednost talasne dužine crvene laserske svetlosti iznosila je $\bar{\lambda} = 679,4$ nm; srednja vrednost talasne dužine zelene laserske svetlosti iznosila je $\bar{\lambda} = 521,8$ nm .