

---

## DEMONSTRATION EXPERIMENTS WITH CONVENIENT DIFFRACTION GRATINGS

Ivana Krulj

College of Applied Professional Studies, Vranje, Serbia, ivana.krulj@visokaskola.edu.rs

**Abstract:** Researching understanding wave optics it was noticed that students often aren't sure whether it is right to use concepts of geometrical, wave optics or WAVE-PARTICLE light model. Also, alternative conceptions regarding concept of PHASE and PHASE DIFFERENCE, were identified. The significance of understanding wave optics reflects on forming the basis of understanding fields of modern physics. Habilitation students to chose the approach to solving certain optics problems leads to increasing their physics competencies. By choosing light diffraction experiments, adapted to students' learning capabilities, a sensory perception would be accomplished, valuable as basis for scientific explaining the phenomenon; choosing right experiments also provides basis for mathematical formulating of diffraction phenomenon, in order of better understanding wave nature of light, and light effects. Accepting wave optics itself is demanding process for student. Therefore, several approaches to wave optics were developed, and which one shall be favorized most often depends on school books' authors', and teachers' affinities. In the article, those approaches are described. Because of diffraction gratings' high market value, processing content regarding light diffraction is possible only in a theoretical way. Hence it is of a great significance to master using cheaper and simpler tools to replace diffraction gratings, and prepare appropriate experiments. Using reflective gratings and explaining the principle of their functioning is significant from the aspect of understanding the wave nature of light as well. In the article, ways of visualizing light diffraction are given. Also, the possibility of implementing convenient diffraction gratings in teaching via demonstrative experiment using compact disc and via demonstration experiment using metal ruler with millimeter markings is analyzed.

**Keywords:** diffraction of light, diffraction gratings, demonstration experiment

## DEMONSTRACIONI EKSPERIMENTI SA PRIRUČNIM DIFRAKCIJONIM REŠETKAMA

Ivana Krulj

Visoka škola primenjenih strukovnih studija, Vranje, Srbija, ivana.krulj@visokaskola.edu.rs

**Pežime:** U istraživanjima o razumevanju talasne optike između ostalog zapaženo je da studenti često nisu sigurni da li se za objašnjenje odgovarajućih fenomena treba koristiti konceptima geometrijske, konceptima talasne optike ili konceptima talasno-čestičnog modela svetlosti. Takođe kod su studenata identifikovane, između ostalih, alternativne koncepcije kada je u pitanju koncept faze i fazne razlike. Značaj razumevanja talasne optike ogleda se u formiranju osnove za razumevanje savremenih oblasti fizike. Osposobljavanje učenika za izbor pristupa kojim će se rešavati određeni optički problemi vodi razvoju njihovih kompetencija u fizici. Izborom ogleda i eksperimenata, prilagođenih saznavnim mogućnostima studenata kojim bi se uočavala difrakcija svetlosti, ostvarilo bi se čulno opažanje značajno kao osnova za kasnije naučno tumačenje pojave; izborom odgovarajućih eksperimenata obezbeđuje se osnova za matematičko formulisanje zakonitosti pojave difrakcije u cilju dubljeg razumevanja talasne prirode svetlosti, i svetlosnih efekata. Usvajanje i same talasne optike je zahtevan postupak za studenta. Stoga je razvijeno više pristupa talasnoj optici a koji će biti favorizovan najčešće zavisi od afiniteta autora udžbenika odnosno predavača. U radi su opisani pristupi proučavanju talasnoj prirodi svetlosti. Zbog visoke tržišne cene difrakcione rešetke kao nastavnog sredstva u nastavi 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 eksperimente. Korišćenje refleksionih rešetki u nastavi i tumačenje principa njihovog funkcionisanja značajno je i sa aspekta razumevanja talasne prirode svetlosti. U radu su dati načini vizuelizacije difrakcije svetlosti i analizirana mogućnost primene priručnih difrakcionih rešetki u nastavi nastavi kroz demonstracioni ogled korišćenjem kompakt diska i kroz demonstracioni eksperiment odnosno laboratorijsku vežbu pomoću metalnog enjira sa milimetarkom podelom.

**Ključne reči:** difrakcija svetlosti, difrakcione rešetke, demonstracioni eksperiment

## 1. 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 studenata u okviru časova fizike posvećenih geometrijskoj optici u skladu su i sa njihovim čulnim opažanjem svetlosnih pojava. Izučavanjem geometrijske optike učvršćuju se uverenja i znanja o pravolinijskom prostiranju svetlosti

Ukoliko svetlost naiđe na prepreku dimenzija reda veličine talasne dužine svetlosti dešava se odstupanje od prvobitnog pravca prostiranja svetlosti tj. dolazi do toga da se i u oblasti geometrijske senke prostire svetlost. 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. Upravo te svakodnevne pojave kod studenata mogu se iskoristiti za stvaranje predstave o tome da se ne mogu svi optički fenomeni objasniti zakonima geometrijske optike. Neki autori ističu da čak ne postoji koherentna veza između geometrijske i talasne optike u izučavanju optike. U nastavi je neophodan što prirodniji prelaz između ova dva različita koncepta u optici radi stvaranja uslova za njihovo usvajanje.

Izučavanje Talasne optike uglavnom obuhvata teme Interferencija i difrakcija svetlosti, Polarizacija svetlosti. Korisno je izvoditi laboratorijsku vežbu Merenje talasne dužine svetlosti difrakcionom rešetkom, ili bar demonstraciju u okviru predavanja.

V. Mešić, E. Hajder, K. Neumann i N. Erceg u *Comparing different approaches to visualizing light waves: An experimental study on teaching wave optics* predstavljaju rezultate istraživanja o tome koliko različiti pristupi vizuelizacije svetlosnih talasa utiču na razumevanje talasne optike. Pored vizuelizacije vektora jačine električnog polja, pravca prostiranja talasa, pravca konstruktivne odnosno destruktivne interferencije, veoma je važna vizuelizacija fazne razlike. Pregledom udžbeničke literature identifikovana su tri različita pristupa vizuelizaciji svetlosnih talasa u objašnjavanju optičkih fenomena kao što su interferencija i difrakcija. U konvencionalnom pristupu svetlosni talasi predstavljaju se sinusoidalnim krivama, koje predstavljaju promenu vektora električnog polja u funkciji vremena u jednoj tački prostora, a u slučajevima interferencije više talasa u odgovarajućim tačkama interferentne slike. U drugom pristupu vizuelizacija se ostvaruje nizom statičnih slika vektora električnog polja (svetlosnih vektora) u određenim karakterističnim trenucima vremena u odgovarajućoj tački prostora. Trećim pristupom vizuelizacija se ostvaruje korišćenjem rotirajućih vektora, fazora. U fazorskim dijagramima trenutna vrednost jačine električnog polja predstavljena je projekcijom vektora jačine električnog polja na jednu od osa pravouglog koordinatnog sistema. Dužina vektora jačine električnog polja odgovara amplitudi odgovarajućeg svetlosnog talasa. Ovaj vektor rotira konstantnom ugaonom brzinom  $\omega$ . Fazorski pristup omogućava uočavanje kontinuiranog povećanja fazne razlike koje se odnosi na kontinuirano povećanje razlike puteva talasa duž određenog pravca što rezultira kontinuiranim smanjenjem amplitude rezultujućeg talasa.

## 2. DIFRAKCIJA I DIFRAKCIONE REŠETKE

Osim na uskim otvorima, i preprekama uporedivim sa talasnom dužinom svetlosti, difrakcija se dešava i na rešetkama koje se sastoje od niza uzanih zareza raspoređenih paralelno jedan pored drugog na malim i podjednanim rastojanjima. Prema tome da li se svetlost prelama ili odbija sa površina između zareza rešetke mogu biti transmisiona i refleksiona. Empirijski podaci govore da se difrakcija dešava u slučajevima kada je dimenzija otvora ili prepreka dva reda veličine veća od talasne dužine svetlosti, odnosno ukoliko su dimenzije otvora ili prepreka reda veličine 0,1 mm.

Talasnici sekundarnih sfernih talasa koji se na dovoljno velikim rastojanjima od izvora smatraju ravnim talasima. Prema Huygensovom principu ukoliko je širina talasnog fronta koji dospeva do otvora dovoljno velika za svaku tačku na otvoru iz koje kreće jedan talas može se naći druga tačka iz koje polazi talas koji u datoj tački poništava prvi talas. Ukoliko je pak širina talasnog fronta takva da postoje tačke za koje ne postoje parovi iz kojih bi kretali talasi koji bi u datu tačku stizali u protivfazi u odnosu na prvobitne onda je izvesno da će u tu tačku dospevati talasi koji neće biti poništeni.

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. 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).

Nakon skoro jednog veka zahvaljujući radovima J. Fraunhofera, F. A. Noberta i L. M. Rutherforda, H. A. Rowlanda difrakcione rešetke postaju primarni element u spektroskopskim istraživanjima.

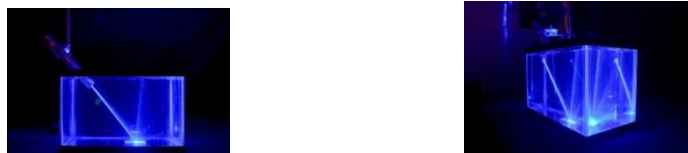
U svakodnevnom okruženju dostupne su strukture koje prirodno predstavljaju difrakcione rešetke. Njihova dostupnost i jednostavno korišćenje mogu biti polazna tačka za razmatranje njihove upotrebe u nastavi fizike. M.P.

Aji, J. Karunawan, W. R. Chasanah, P. I. Nursuhud, P. A. Wiguna i Sulhadi pokazali su da je moguće upotrebiti tanak sloj stabljike banane kao difrakcionu rešetku.

Od veštačkih objekata na kojima je moguće realizovati difrakciju a primarno nisu konstruisani sa tom namenom, vredi pomenuti kompakt diskove koji mogu da se koriste kao difrakcione rešetke i to transimisione ukoliko su im odstranjeni etiketa, akrilni i reflektujući sloj, ili refleksione ukoliko se koriste celoviti površinom koja nosi informacije, a koja je izrađena od polikarbonata, kao i lenjire sa milimetarskom i polumilimetarskom podelom.

### 3. DEMONSTRACIONI OGLEDI SA REFLEKSIONOM DIFRAKSIONOM REŠETKOM

Proveru zakona odbijanja svetlosti moguće je realizovati pomoću aparature prikazane na slici 1. Aparaturu čine staklena posuda na čijem je dnu postavljeno ogledalo sa reflektujućom površinom orijentisanom naviše. U posudu se do određene visine nasepe koloidni rastvor. U slučaju prikazanom na slici korišćen je bistri sok od jabuke. Koloidni rastvori su rastvori u kojima je rastvorena supstanca dispergovana u rastvaraču u obliku agregacija molekula, atoma ili jona, čije su dimenzije reda veličine 1-100 nm. Polimerni makromolekuli pektina, skroba, proteina i bojenih materija, su koloidno disperzione čestice u bistrom soku jabuke. Laserska svetlost se rasejava na česticama koloidnog rastvora te se može uočiti snop upadnih i odbijenih zraka. Ukoliko se na dno posude postavi, umesto ogledala, kompakt disk tada se usmeravanjem laserske svetlosti na površinu kompakt diska može ostvariti vizuelizacija difrakcije, odnosno moguće je dobiti efekat prikazan na slici 1b.



SLIKA 1. Demonstracija refleksije na ogledalu (a) i difrakcionoj rešetki (b)

Ogled je moguće izvesti korišćenjem posude ispunjene dimom i prašinom ili u takvoj prostoriji.

Izvodjenje oglada laserima različitih boja omogućava da se u vezi sa njima uoče pravci reflektovanih zraka i zavisnost uglova reflektovanih zraka od talasnih dužina svetlosti.

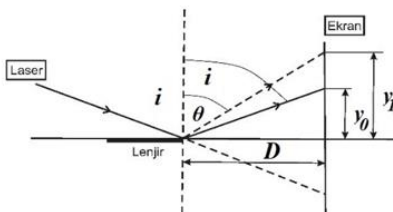
### 4. ODREĐIVANJE TALASNE DUŽINE SVETLOSTI POMOĆU REFLEKSIONE DIFRAKCIONE REŠETKE

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

Geometrijskim razmatranjem položaja maksimuma nultog i prvog reda dolazi se do izraza:

$$\sin \theta = \frac{D}{\sqrt{D^2 + y_1^2}} \quad (1)$$

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



SLIKA 2. Difrakcija na lenjiru-refleksionnoj rešetki

Sa slike 2 se uočava da je  $i$

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

Uzimajući da je  $y_1 \ll D$  važe aproksimativni izrazi

$$\sin \theta \approx 1 - \frac{y_1^2}{2D^2} \quad (3)$$

$$\sin i \approx 1 - \frac{y_0^2}{2D^2} \quad (4)$$

Dati primer demonstracionog eksperimenta može se upotrebiti i za časove obrade i računskih vežbi. 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.

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 svetlosti. Iako studenti 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 eksperimenta bude upoređivanje difrakcionih slika dobijenih refleksionim difrakcionim rešetkama, odnosno eksperimentalna provera formule za određene položaje prvih maksimuma osvetljenosti difrakcione slike:

$$\lambda = a \frac{y_1^2 - y_0^2}{2D^2} \quad (5)$$

za  $m=1$ . Za vrednosti  $m \neq 1$  važi:

$$\lambda = a \frac{y_m^2 - y_0^2}{2D^2} \quad (6)$$

Eksperimentom u okviru koga je, na lenjiru sa polumilimetarskom podelom kao refleksionoj difrakcionoj rešetki poznate konstante, određena talasna dužina laserske svetlosti dobijena je vrednost, prikazana u Tabeli 1, koja odgovara deklarisanom talasnoj dužini svetlosti upotrebljenog lasera, što opravdava korišćenje priručnih refleksionih rešetki u nastavi fizike.

Tabela 1. Određivanje talasne laserske svetlosti refleksionom difrakcionom rešetkom

$m$	$D$ [m]	$y_m$ [m]	$y_0$ [m]	$a$ [m]	$\lambda_m$ [nm]	$\lambda_{sr}$ [nm]
1	6,5	0,631	0,555	$0,5 \cdot 10^{-3}$	525,2	521,8
2		0,698			530,1	
3		0,755			516,8	
4		0,815			522,1	
5		0,862			515,0	

#### 4. ZAKLJUČAK

Vodeći se postavljenim ciljevima nastave uvodnih kurseva fizike posebnu pažnju treba posvećivati eksperimentalnom 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 demonstracionih eksperimenata a ujedno pouzdani kada su u pitanju difrakcione slike koje ostvaruju. Osim povećanja stepena motivacije za rad i ostvarenja principa očišćenosti korišćenjem lenjira sa polumilimetarskom podelom, kao refleksione rešetke, u cilju određivanja talasne dužine svetlosti, ostvaruje se i temeljnije izučavanje talasne optike, odnosno pojava difrakcije.

**ЛИТЕРАТУРА**

- Walker, J. (2007). *The Flying Circus of Physics* by Jearl Walker. John Wiley&Sons.
- Colin, P. Viennot, L. (2001). *American Journal of Physics*, 69 S36.
- Ambrose, B.S., Heron, P.R.L., Vokos, S., & McDermott, L.C. (1999b). Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena. *American Journal of Physics*, 67, 891-898.
- Mešić, V., Hajder, E., Neumann, K., Erceg, N. (2016). Comparing different approaches to visualizing light waves: An experimental study on teaching wave optics *Physical Review Physics education research* 12, 010135.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2014). *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics: Technology Update*. NJ: Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2005). *Fundamentals of physics*, 7th Edition, Wiley.
- Mazur, E. (2015). *Principles Practice of Physics*, Pearson Education Limited.
- Hecht, E. (2002). *Optics*, 4th ed, Addison-Wesley.
- Palmer, C., & Loewen, E. (1996). *Diffraction grating handbook*, Richardson Grating Laboratory.
- Urone, P. P. (2000). *College physics*, Brooks Cole.
- Aji, M. P., Karunawan, J., Chasanah, W. R., Nursuhud, P. I., Wiguna, P.A. & Sulhadi. (2017). *Phys. Educ.* 52, 025009.
- Rodrigues, M., & Carvalho, S. (2014). *Phys. Educ.* 49(6), 671-677.
- Schawlow, A. L. (1965). *American Journal of Physics* 33, 922-923.
- Nikolić, D., Nešić Lj., (2012). Determination of surface tension coefficient of liquids by diffraction of light on capillary waves. *European Journal of Physics* 33, 1677-1685
- Krulj, I., & Nešić, Lj. (2018). Convenient Reflective Diffraction Gratings in Physics Teaching. *The Physics Education*. 54, 025015.