

# Korištenje ultrazvuka u nastavi fizike za nadarene učenike

---

Vlaše, Tea

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:633801>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet

**KORIŠTENJE ULTRAZVUKA U NASTAVI  
FIZIKE ZA NADARENE UČENIKE**

Diplomski rad / Master thesis

Tea Vlaše

Split, lipanj 2024.

## Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Odjel za fiziku  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

Diplomski rad

### Korištenje ultrazvuka u nastavi fizike za nadarene učenike

Tea Vlaše

Sveučilišni diplomski studij Matematika i fizika; smjer: nastavnički

#### Sažetak:

Ultrazvuk je longitudinalni mehanički val čija je frekvencija iznad 20 000 Hz. Iako se nalaze izvan čovjekovog slušnog opsega, ultrazvučni valovi imaju široku primjenu u različitim područjima čovjekovog djelovanja poput medicine, industrije, tehnologije, ali i obrazovanja. U ovom diplomskom radu predstaviti će se jedan primjer korištenja ultrazvuka u nastavi fizike za nadarene učenike. Opisati će se i analizirati eksperiment u kojem se pomoću ultrazvučnih valova određuje nepoznata koncentracija šećera otopljenog u destiliranoj vodi. Za razumijevanje ovog eksperimenta potrebno je poznavati Debye-Searsov učinak koji opisuje ogib svjetlosti na optičkoj rešetki nastaloj djelovanjem ultrazvuka u destiliranoj vodi (otopini). Može se zaključiti da se povećanjem koncentracije šećera povećava brzina zvuka u otopini dok se razmak između ogibnih maksimuma istog reda smanjuje. Pomoću kalibracijske krivulje koja predstavlja ovisnost masenog udjela šećera o razmaku među maksimumima istog reda i izmjerenog razmaka određuje se nepoznata koncentracija šećera. Na kraju rada priložen je kurikulum kako bi se navedeni eksperiment mogao ostvariti kao istraživački projekt koji nadarenim učenicima omogućuje jačanje postojećih i razvijanje novih vještina i interesa.

- Ključne riječi:** ultrazvuk, nastava fizike, nadareni učenici, šećer, koncentracija, optička rešetka, ogib
- Rad sadrži:** 32 stranice, 8 slika, 10 tablica, 6 grafova, 7 literaturnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku
- Mentor:** prof. dr. sc. Mile Dželalija
- Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Mile Dželalija  
doc. dr. sc. Ivana Weber  
Josipa Šćurla, mag. phys.
- Rad prihvaćen:** 10. 6. 2024.

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu.

## Basic documentation card

University of Split  
Faculty of Science  
Department of Physics  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

Master thesis

### The use of ultrasound in physics teaching for gifted students

Tea Vlaše

University graduate study Mathematics and Physics, specialization in Education

#### Abstract:

Ultrasound is a longitudinal mechanical wave whose frequency is above 20 000 Hz. Although they are outside the range of human hearing, ultrasonic waves are widely used in various fields of human activities such as medicine, industry, technology, and education. This thesis will present one example of the use of ultrasound in physics teaching for gifted students. An experiment in which the unknown concentration of sugar dissolved in distilled water is determined using ultrasonic waves will be described and analyzed. To understand this experiment, it is necessary to know the Debye-Sears effect, which describes the diffraction of light on an optical grating created by the action of ultrasound in distilled water (solution). It can be concluded that increasing the concentration of sugar increases the speed of sound in the solution, while the distance between the diffraction maxima of the same order decreases. Using the calibration curve, which represents the dependence of the mass fraction of sugar on the distance between the maxima of the same order and the measured distance, the unknown sugar concentration is determined. At the end of the paper there is a curriculum so that the mentioned experiment can be realized as a research project that enables gifted students to strengthen existing and develop new skills and interests.

**Keywords:** ultrasound, physics teaching, gifted students, sugar, concentration, optical grating, diffraction

**Thesis consists of:** 32 pages, 8 figures, 10 tables, 6 graphs, 7 references. Original language: Croatian

**Supervisor:** Prof. Dr. Mile Dželalija

**Reviewers:** Prof. Dr. Mile Dželalija  
Assist. Prof. Dr. Ivana Weber  
Josipa Šćurla, MSc. Phys

**Thesis accepted:** June 10, 2024.

Thesis is deposited in the library of the Faculty of Science, University of Split.

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Mili Dželaliji na strpljenju, savjetima i uputama koje su bile korisne u izradi ovog završnog rada. Zahvaljujem svojoj obitelji na potpori i ljubavi. Naposljetku, hvala Tebi dragi Bože na svemu darovanom.

## Sadržaj

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Uvod .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Debye-Searsov učinak.....</b>   | <b>2</b>  |
| 2.1      | Titranje.....  | 2         |
| 2.2      | Valovi .....   | 3         |
| 2.3      | Debye-Searsov učinak .....   | 6         |
| <b>3</b> | <b>Eksperiment: Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi.....</b>               | <b>8</b>  |
| 3.1      | Mjerni uređaj .....  | 9         |
| 3.2      | Opis izvođenja eksperimenta.....   | 11        |
| 3.2.1    | Prvi dio zadatka .....   | 12        |
| 3.2.2    | Drugi dio zadatka .....  | 13        |
| 3.3      | Rezultati mjerenja .....   | 14        |
| 3.3.1    | Rezultati mjerenja za prvi dio zadatka .....   | 14        |
| 3.3.2    | Rezultati mjerenja za drugi dio zadatka .....  | 15        |
| 3.4      | Obrada podataka i diskusija.....   | 16        |
| 3.4.1    | Obrada podataka i diskusija za prvi dio zadatka .....  | 16        |
| 3.4.2    | Obrada podataka i diskusija za drugi dio zadatka. ....   | 23        |
| <b>4</b> | <b>Istraživački projekt: „Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi“.....</b>    | <b>25</b> |
| 4.1      | Kurikul za istraživački projekt: „Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi..... | 26        |
| 4.2      | Vrednovanje istraživačkog projekta .....   | 30        |
| <b>5</b> | <b>Zaključak.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>6</b> | <b>Literatura.....</b>   | <b>32</b> |

# 1 Uvod

Valovi su poremećaji koji se šire kroz prostor i vrijeme te pritom gotovo uvijek prenose energiju. Većinu informacija o svijetu dobivamo valovima: čovjek čuje vrstu mehaničkog vala, a vidi vrstu elektromagnetskog vala.

Ljudsko uho može percipirati longitudinalne mehaničke valove s frekvencijom između otprilike 20 Hz i 20 000 Hz. Ti valovi sastavni su dio svakodnevnog života te omogućuju komunikaciju i percepciju okoline, a nazivaju se zvukom.

Postoje i longitudinalni mehanički valovi čija je frekvencija iznad 20 000 Hz koji su nazvani ultrazvuk. Iako je izvan ljudskog slušnog opsega, tj. ne može se čuti, ultrazvuk ima široku primjenu u različitim područjima čovjekova djelovanja poput medicine, industrije, tehnologije. No, ultrazvuk se može primijeniti i u obrazovanju, posebice u nastavi fizike čime se obogaćuje nastavni proces. Eksperimenti s ultrazvukom uz upotrebu odgovarajućih tehnika potiču učenike na aktivno sudjelovanje u nastavi, samostalno istraživanje te omogućuju bolje razumijevanje složenih fizičkih koncepata. Na taj se način pobuđuje interes učenika za nastavni predmet Fizika, a posebno interes nadarenih učenika.

Nadareni učenici su učenici kojima je utvrđena iznadprosječna sposobnost u jednom ili više područja. To su učenici iznadprosječnih intelektualnih, akademskih, stvaralačkih ili psihomotornih sposobnosti. Oni trajno postižu natprosječne rezultate koji su uvjetovani ne samo visokim stupnjem razvijenosti pojedinih sposobnosti, već i osobnom motivacijom i izvanjskim poticanjem u jednom ili više područja [1]. Takvim učenicima potrebna je posebna odgojno-obrazovna podrška koja se može ostvariti dodatnim, složenijim zadacima, projektima, prilagođenim odgojno-obrazovnim metodama kako bi se njihov potencijal razvijao u potpunosti.

Cilj ovog diplomskog rada jest prikazati korištenje ultrazvuka u nastavi fizike za nadarene učenike provodeći istraživački projekt u kojem se pomoću ultrazvuka određuje nepoznata koncentracija šećera u destiliranoj vodi. Projekt se temelji na poznavanju Debye-Searsovog učinka.

Rad započinje definiranjem i opisivanjem osnovnih pojmova vezanih uz titranje i valove koji su bitni za razumijevanje Debye-Searsovog učinka. Nadalje, opisuje se mjerni uređaj, izvođenje eksperimenta, donose rezultati mjerenja te se uz diskusiju obrađuju podaci. Budući da je naglasak na korištenju ultrazvuka u nastavi fizike za nadarene učenike, u daljnjem poglavlju slijedi izvedbeni kurikulum za navedeni istraživački projekt. Naposljetku, dan je zaključak kao osvrt na cjelokupni diplomski rad te slijedi popis literature koja se koristila za izradu diplomskog rada.

## 2 Debye-Searsov učinak

### 2.1 Titranje

Tijela se općenito gibaju na različite načine. Najčešće su to nejednolika gibanja koja je i najteže opisati. Međutim, u prirodi postoje gibanja koja se periodički ponavljaju. Takva vrsta gibanja naziva se titranjem ili osciliranjem, a tijelo koje titra oscilatorom. Primjer titranja jest jednoliko gibanje po kružnici.

Dio gibanja koje se pri titranju ponavlja zove se titrajem dok se pola titraja naziva njihajem. Vremenski interval nakon kojeg se gibanje ponavlja je period  $T$ . Recipročna vrijednost perioda je frekvencija  $f$ , tj.

$$f = \frac{1}{T}. \quad (2.1.1)$$

Mjerna jedinica za period je sekunda (s) dok je za frekvenciju herc (Hz).

Za matematički opis titranja korisno je definirati kružnu frekvenciju  $\omega$  kao umnožak frekvencije  $f$  i punog kuta izraženog u radijanima, tj.  $2\pi$ . Vrijedi:

$$\omega = 2\pi f. \quad (2.2.2)$$

Mjerna jedinica za kružnu frekvenciju je radijan po sekundi (rad/s).

Pri titranju tijelo se približava ravnotežnom položaju (položaj tijela kada su sile na tijelo u ravnoteži) i od njega se udaljava. Pomak tijela u nekom trenutku od ravnotežnog položaja naziva se elongacijom dok se najveća udaljenost tijela od ravnotežnog položaja zove amplitudom. Tijelo koje titra harmonijski, odnosno pod utjecajem harmonijske sile naziva se harmonijski oscilator. Matematički opis harmonijskog oscilatora osnova je svih titrajnih sustava. Elongacija harmonijskog oscilatora dana je izrazom

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (2.3.3)$$

pri čemu je  $A$  amplituda,  $\omega$  kutna frekvencija,  $\varphi_0$  početna faza.

Razumijevanje titranja bitno je za razumijevanje valova, tj. njihovog nastanka i širenja.



## 2.2 Valovi

Val je poremećaj koji se širi kroz prostor i vrijeme pri čemu gotovo uvijek prenosi energiju. To je zapravo titranje koje se širi prostorom. Valno se gibanje može definirati kao prijenos energije kroz niz oscilatora, pri čemu oscilatori ne putuju, već samo titraju oko svojih ravnotežnih položaja.

Prema svojim svojstvima valovi se dijele na različite načine.

S obzirom na smjer titranja oscilatora postoje transversalni (čestice sredstva, tj. oscilatori, titraju isključivo okomito na smjer širenja vala) i longitudinalni val (čestice sredstva, odnosno oscilatori, titraju u smjeru širenja vala). Također, val može biti linijski, površinski ili prostorni. Valovi se razlikuju i oblikom pa se dijele na kružne ili kuglaste te ravne valove. Val koji se širi u određenom smjeru pri čemu se energija prenosi s čestice na česticu naziva se progresivni val. S druge strane, stojni val jest val kod kojeg neke čestice titraju, a neke stalno miruju te se energija ne prenosi prostorom. Prema prirodi, odnosno, energiji koju prenose, valovi mogu biti mehanički (mehanička energija) ili elektromagnetski valovi (energija električnog i magnetskog polja). Za širenje mehaničkih valova potrebno je određeno sredstvo (ne mogu se širiti vakuumom) dok se elektromagnetski valovi mogu širiti i bez sredstva, tj. vakuumom.

Kod transversalnih valova uočavaju se izbočine i udubine, odnosno brijeg i dol, a kod longitudinalnih valova zgušnjavanja i razrjeđavanja. Brijeg vala dio je vala koji oblikuju oscilatori s pozitivnom elongacijom dok je dol vala dio vala koji oblikuju oscilatori s negativnom elongacijom.

Udaljenost između dva susjedna brijega ili dola, odnosno udaljenost dviju točaka vala koje su u fazi naziva se valna duljina i označava s  $\lambda$ . Mjerna jedinica za valnu duljinu jest metar (m). Vrijeme koje protekne dok se val ne pomakne za jednu valnu duljinu jest period vala  $T$ , a frekvencija  $f$  je veličina recipročna periodu. Veličina koja je proporcionalna recipročnoj vrijednosti valne duljine naziva se valni broj i označava s  $k$ . Vrijedi:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (2.2.1)$$

Valovi se šire prostorom određenom brzinom koja se naziva brzina širenja vala. Brzina širenja vala  $v$  jednaka je umnošku valne duljine i frekvencije, tj.

$$v = \lambda f . \quad (2.2.2)$$

Mjerna jedinica za brzinu vala je m/s.

Brzina vala ovisi o svojstvima sredstva kroz koje val prolazi. Za transversalne valove kroz napeto užu brzina vala dana je izrazom

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} , \quad (2.2.3)$$

pri čemu je  $F$  sila napetosti užeta i  $\mu$  masa po jedinici duljine.

S druge strane, za brzinu širenja longitudinalnih valova vrijedi

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} , \quad (2.2.4)$$

gdje je  $E$  Youngov modul elastičnosti, a  $\rho$  volumna gustoća tvari.

Zamijeni li se Youngov modul elastičnosti s volumnim modulom elastičnosti  $B$ , pri čemu je

$$B = \frac{1}{K} , \quad (2.2.5)$$

a  $K$  koeficijent stlačivosti fluida, (2.2.4) postaje izraz za brzinu širenja longitudinalnog vala kroz fluid.

Najvažniji primjer longitudinalnog mehaničkog vala jest zvuk [2]. U širem smislu zvuk obuhvaća sve longitudinalne elastične valove u čvrstim tijelima, tekućinama i plinovima. Mehanički valovi koje čuje ljudsko uho nazivaju se zvuk u užem smislu, a to su longitudinalni valovi čija je frekvencija od 20 Hz do 20 000 Hz. Zvučni valovi frekvencije niže od 20 Hz nazivaju se infrazvuk, a više od 20 000 Hz ultrazvuk. Ultrazvuk i infrazvuk su izvan čovjekovog slušnog opsega.

Ultrazvuk se može dobiti pomoću piezoelektričnog učinka te magnetostrikcijom. Takvi valovi prenose mnogo veću energiju nego zvuk. Njihove valne duljine izrazito su malene pa pri širenju nije potrebno uzimati ogib u obzir. Ultrazvuk se širi gotovo pravocrtno, što je povoljno za detekciju položaja prepreke. Primjena ultrazvuka izrazito je velika, npr. u medicini, industriji, tehnologiji i dr.

Vrlo značajan primjer vala je i svjetlost. Svjetlost je elektromagnetski val koji prenosi energiju zračenja. Ljudsko oko u prosjeku može vidjeti svjetlost valne duljine u rasponu od 0.0004 mm do 0.0008 mm te ih razlikuje kao boje, od ljubičaste s najmanjom do crvene s najvećom valnom duljinom. Postoje razni izvori svjetlosti koji se mogu podijeliti na prirodne (nalazimo ih u prirodi) i umjetne (stvorio ih je čovjek) te na primarne (sami stvaraju svjetlo) i sekundarne (svijetle jer se svjetlost od njih odbija). Jedan od umjetnih primarnih izvora svjetlosti je i laser - uređaj koji stvara i pojačava elektromagnetsko zračenje procesom stimulirane emisije. Laserska svjetlost ima značajne karakteristike: monokromatska je, koherentna i usnopljena u uzak snop.

Svjetlost se odlikuje čestičnim i valnim svojstvima. Valnu prirodu svjetlosti potkrepljuju refleksija, refrakcija, interferencija, ogib i polarizacija svjetlosti.

Ogib ili difrakcija pojava je skretanja vala na zapreci. Tada valovi s jedne strane prepreke interferiraju s valovima koji su prošli s druge strane pri čemu nastaje odgovarajući uzorak. Propusti li se svjetlost kroz usku pukotinu, na zastoru će se uočiti tamne i svijetle pruge. Tamne pruge ili minimumi rezultat su destruktivne interferencije (poništanje koherentnih valova) dok su svijetle pruge ili maksimumi rezultat konstruktivne interferencije (pojačavanje koherentnih valova). U središtu interferencijske slike nulti je maksimum, prvi maksimum je svijetla pruga najbliža središnjoj, drugi je druga svijetla pruga od središnje itd. Za maksimum koji je  $n$ -ti po redu od središnjeg maksimuma kažemo da je maksimum  $n$ -tog reda.

Uređaj, tj. optički instrument s nizom jednakih ekvidistantnih pukotina na kojima se svjetlost ogiba naziva se optička rešetka. Kada svjetlost padne na optičku rešetku, svaka od njezinih pukotina postaje novi izvor svjetlosnih valova pri čemu nastaje interferencija valova koji dolaze od različitih pukotina. Uvjet za nastajanje maksimuma na optičkoj rešetci dan je izrazom

$$d \sin \Theta = n\lambda \quad (2.2.6)$$

gdje je  $\lambda$  valna duljina upadne svjetlosti,  $n$  redni broj ogibnog maksimuma,  $\Theta$  kut između okomice na rešetku i smjera  $n$ -tog maksimuma,  $d$  konstanta optičke rešetke ili udaljenost između dviju susjednih pukotina koja se računa kao broj pukotina (zareza)  $N$  na 1 cm, tj.

$$d = \frac{1 \text{ cm}}{N}. \quad (2.2.7)$$

Optičkom rešetkom postiže se i ispituje ogib, mjeri valna duljina svjetlosti a služi i za fino razdvajanje spektralnih linija.

Prvu optičku rešetku izradio je Joseph von Fraunhofer u 19. st. [2].

## 2.3 Debye-Searsov učinak

Godine 1922. francuski fizičar Leon Brillouin pretpostavio je ogib svjetlosti pomoću ultrazvučnih valova u tekućinama.

Njegovu tvrdnju eksperimentalno su potvrdili 1932.g. Peter Debye, nizozemsko-američki fizičar i fizikalni kemičar, te Francis Sears, američki fizičar, kao i R. Lucas, i P. Biquard.

Prolaskom kroz tekućinu ultrazvučni valovi uzrokuju promjenu njezine gustoće pri čemu su neki slojevi tekućine gušći, a neki rjeđi. Takva tekućina djeluje kao optička rešetka. Konstanta te optičke rešetke ovisi o valnoj duljini ultrazvuka, a time i o njegovoj frekvenciji i brzini zvuka u mediju. Optička rešetka u tekućini pomiče se ovisno o brzini zvuka, što se može zanemariti ukoliko se učinak promatra s velike udaljenosti.

Svjetlosna zraka koja upada okomito na novonastalu optičku rešetku ogiba se pa se na zastoru može uočiti nekoliko ogibnih minimuma i maksimuma. Na taj se način ultrazvuk može učiniti vidljivim.

Debye-Searsov učinak može se koristiti za određivanje brzine zvuka u tekućini kroz koju zvuk prolazi i to s visokim stupnjem točnosti.

Tada za brzinu zvuka vrijedi

$$c = \lambda_s f, \quad (2.3.1)$$

pri čemu je  $\lambda_s$  valna duljina ultrazvuka, a  $f$  frekvencija ultrazvuka.

Valna duljina ultrazvuka određuje se pomoću kuta  $\alpha_n$  pod kojim se vidi ogibni maksimum  $n$ -tog reda.

Kut  $\alpha_n$  definiran je relacijom

$$\operatorname{tg} \alpha_n = n \cdot \frac{\lambda_L}{\lambda_s}, \quad (2.3.2)$$

gdje je  $n$  redni broj ogibnog maksimuma,  $\lambda_L$  valna duljina upadne svjetlosne zrake,  $\lambda_s$  valna duljina ultrazvuka.

Nadalje, vrijedi i izraz

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{x}{2s}. \quad (2.3.3)$$

$x$  predstavlja udaljenost između  $-n$ -tog i  $+n$ -tog ogibnog maksimuma, a  $s$  je udaljenost ultrazvučne sonde koja generira ultrazvučne valove i zastora na kojem se uočavaju ogibni maksimumi (slika 1).  $-n$ -ti i  $+n$ -ti ogibni maksimum jesu ogibni maksimumi reda  $n$  s lijeve i desne strane središnjeg maksimuma.

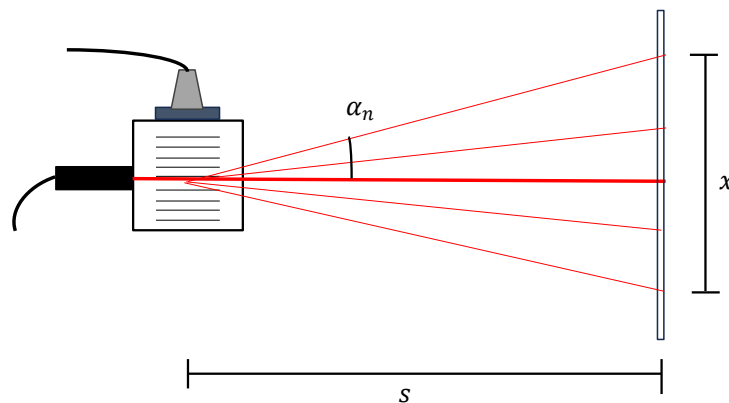
Sada je valna duljina ultrazvuka određena relacijom

$$\lambda_s = 2N \cdot \lambda_L \frac{s}{x}. \quad (2.3.4)$$

Uvrštavajući izraz (2.3.4) u (2.3.1) dobiva se brzina zvuka u tekućinama kroz koje zvuk prolazi

$$c = 2N \cdot \lambda_L \frac{s}{x} \cdot f. \quad (2.3.5)$$

Literaturna vrijednost brzine zvuka u vodi na temperaturi 20°C iznosi 1480 m/s.



**Slika 1.** Ogib svjetlosti na optičkoj rešetki koja je nastala djelovanjem ultrazvučnih valova (Debye-Searsov učinak).

### 3 Eksperiment: Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi

Prolaskom kroz destiliranu vodu ultrazvučni valovi uzrokuju promjenu gustoće slojeva vode pri čemu nastaje optička rešetka. Svjetlosna zraka koja upada okomito na takvu optičku rešetku ogiba se pa se na zastoru uočavaju ogibni maksimumi.

Cilj ovog eksperimenta jest odrediti nepoznatu koncentraciju šećera u destiliranoj vodi pomoću ultrazvuka.

U prvom dijelu zadatka potrebno je izraditi kalibracijsku krivulju koja prikazuje ovisnost masenog udjela šećera i razmaka između maksimuma  $n$ -tog reda.

U drugom dijelu zadatka treba odrediti nepoznati maseni udio šećera u destiliranoj vodi koristeći dobivenu kalibracijsku krivulju.

Maseni udio šećera u destiliranoj vodi,  $w(\text{šećer})$ , računa se prema izrazu

$$w(\text{šećer}) = \frac{m(\text{šećer})}{m(\text{otopina})}, \quad (3.1)$$

gdje je  $m(\text{šećer})$  masa šećera,  $m(\text{otopina})$  masa otopine koja je jednaka zbroju mase šećera i mase destilirane vode,

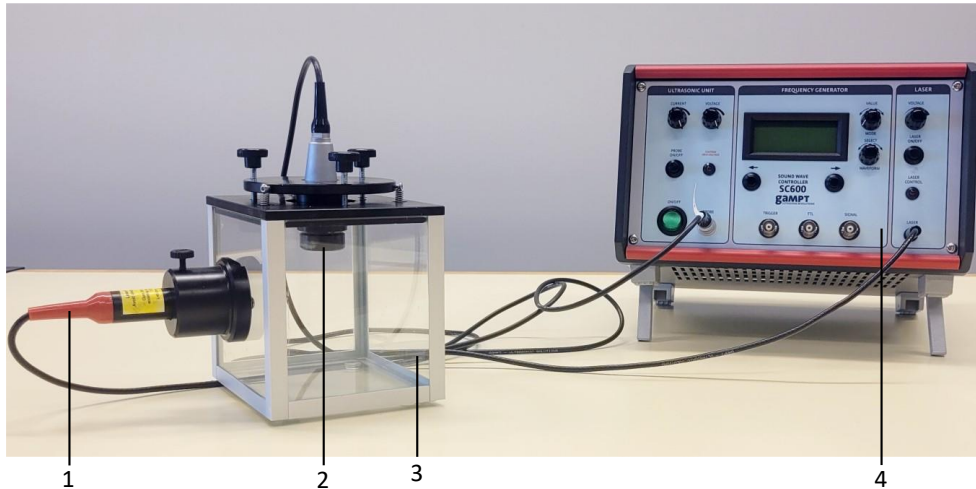
$$m(\text{otopina}) = m(\text{šećer}) + m(\text{destilirana voda}). \quad (3.2)$$

Masa šećera potrebna za pripremu otopine poznatog udjela određuje se iz (3.1) kao

$$m(\text{šećer}) = \frac{w(\text{šećer}) \cdot m(\text{otopina})}{1 - w(\text{šećer})}. \quad (3.3)$$

### 3.1 Mjerni uređaj

Za izvođenje ovog eksperimenta potreban je komplet uređaja koji se sastoji od ultrazvučnog generatora, ultrazvučne sonde, spremnika za uzorak (otopinu) koji ima prilagodljivi nosač za laser te laser, što je prikazano na slici 2.



*Slika 2. Komplet uređaja koji se sastoji od lasera (1), ultrazvučne sonde (2), spremnika za uzorak koji ima prilagodljiv nosač (3), ultrazvučnog generatora (4).*

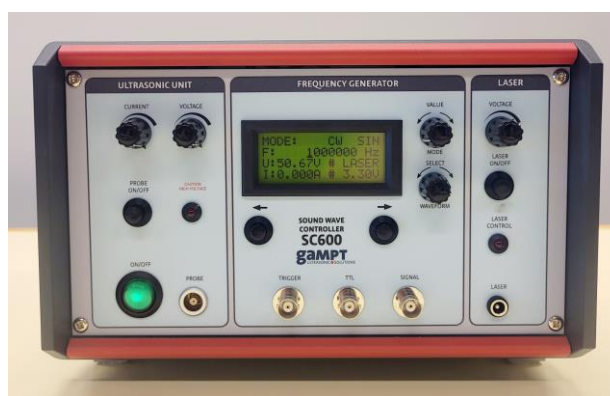
Koristeći komplet uređaja može se pokazati ovisnost o frekvenciji i valna duljina ultrazvuka u različitim tekućinama, a time i brzina zvuka specifična za pojedini uzorak.

Nadalje, moguće je postaviti i optičku plankoveksnu leću između lasera i ultrazvučnog vala pa se na taj način stojni ultrazvučni val može projicirati na zastor pri čemu se uočavaju svijetle i tamne ogibne pruge.

Ultrazvučni generator može generirati kontinuirane zvučne valove velike snage, ali i posebne signale te pulseve. Pomoću njega upravlja se radom ultrazvučne sonde, lasera i frekvencijom ultrazvuka. Moguće je mijenjati struju i napon za ultrazvučnu sondu i laser te oblik vala. Vrijednosti pojedinih parametara kao i način rada ultrazvučnog generatora prikazani su na malenom LCD zaslonu. Tipkama ispod LCD zaslona mijenja se frekvencija ultrazvuka koja se može postaviti do 20 MHz uz korak od 1 Hz. Slika 3 i slika 4 prikazuju ultrazvučni generator.

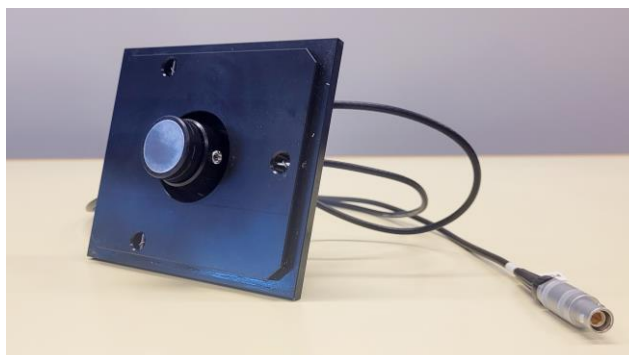


*Slika 3. Ultrazvučni generator.*



*Slika 4. Ultrazvučni generator.*

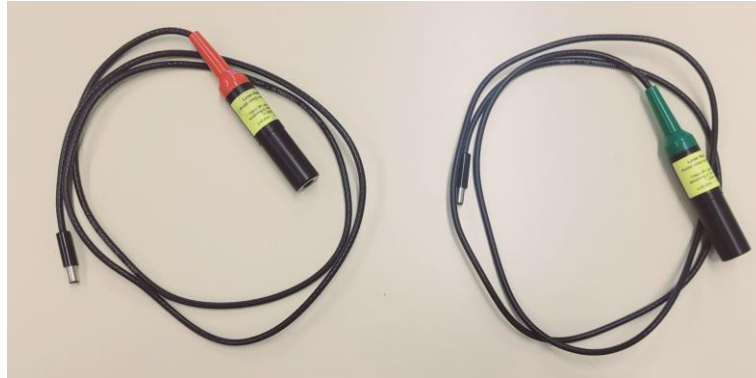
Ultrazvučna sonda odlikuje se vrlo dobrim karakteristikama proizvodnje zvuka u rasponu od 1 do 10 MHz. Sastoji se od metalnog kućišta te površine za emitiranje ultrazvučnih valova koja je vodonepropusna. Izravno je spojena na ultrazvučni generator. Preko nosača na poklopcu kojim je prekriven spremnik sa uzorkom (otopinom), ultrazvučna se sonda uranja u uzorak, tj. tekućinu (slika 5). Os zvuka ultrazvučne sonde može se točno pomaknuti okomito na dno spremnika zbog čega se upadni val i zvučni val odbijen od dna posude mogu se precizno preklapati, stvarajući tako stojeći ultrazvučni val. Ultrazvučna sonda treba uvijek biti u tekućini kako se ne bi pregrijala a time i uništila.



*Slika 5. Ultrazvučna sonda povezana s poklopcem spremnika za uzorak.*



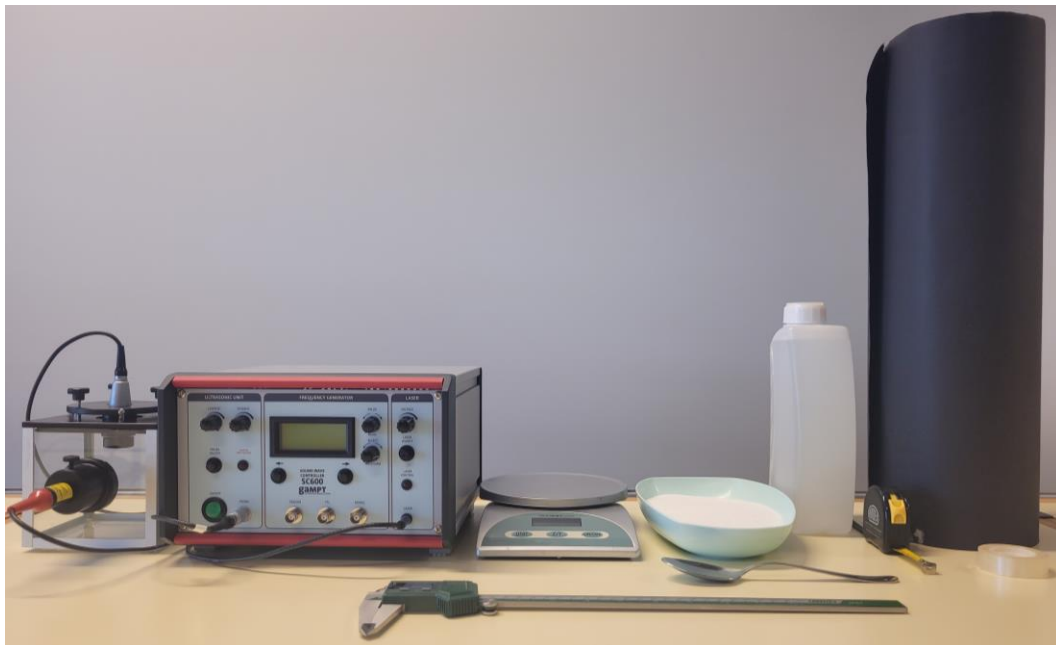
Nadalje, laserske diode mogu biti crvene, zelene ili plave te se pričvršćuju na nosač lasera koji je na spremniku sa uzorkom. Laseri se također priključuju izravno na ultrazvučni generator. Slika 6 prikazuje crvenu i zelenu lasersku diodu.



*Slika 6. Laserske diode - crvena i zelena.*

### **3.2 Opis izvođenja eksperimenta**

Na slici 7 prikazan je pribor potreban za izvođenje eksperimenta. Potrebni su: komplet uređaja (ultrazvučni generator, ultrazvučna sonda, spremnik za uzorak, laser), vaga, šećer, destilirana voda, žlica, pomična mjerka, metar, crni papir, ljepljiva traka.



*Slika 7. Pribor potreban za izvođenje eksperimenta.*

### 3.2.1 Prvi dio zadatka

U prvom dijelu zadatka najprije je potrebno pripremiti otopinu poznatog masenog udjela šećera u destiliranoj vodi. Vagom izmjerimo masu spremnika u kojem će se nalaziti otopina. Masa spremnika iznosi 657 g. Ulijemo destiliranu vodu u spremnik tako da ultrazvučna sonda bude većim dijelom uronjena. Vagom izmjerimo masu vode i spremnika i izračunamo masu vode. Nakon toga, postavljamo spremnik s destiliranom vodom na što veću udaljenost od zastora kako bi se povećali razmaci ogibnih maksimuma i minimizirale pogreške mjerenja. Tu udaljenost izmjerimo metrom. Sada poklopimo spremnik na kojem je pričvršćena ultrazvučna sonda i priključimo ju na ultrazvučni generator. Pazimo da nema mjehurića na sondi kako ne bismo dobili nepouzdana mjerenja. Zatim, umetnemo crveni laser ( $\lambda_L = 650 \text{ nm}$ ) u nosač na spremniku i također ga priključimo na ultrazvučni generator. Upalimo generator te sondu i laser i uočavamo ogibne maksimume na zastoru. U tom trenutku prostorija u kojoj se izvodi eksperiment trebala bi biti zamračena kako bi se ogibna slika što bolje uočila. Zastor također treba biti taman, zbog čega smo koristili crni papir. Na ultrazvučnom generatoru podešavamo struju i napon sonde i lasera, ali i frekvenciju ultrazvučnih valova tako da se što jasnije mogu uočiti ogibni maksimumi. Nakon toga, pomičnom mjerkom izmjerimo razmak između  $-n$ -tog i  $+n$ -tog maksimuma. Pomična mjerka koju koristimo točnosti je jedne stotinke milimetra. Da bismo dobili što preciznije rezultate, razmak između  $-n$ -tog i  $+n$ -tog maksimuma mjerimo još dva puta. Zapišemo sve izmjerene i postavljene vrijednosti kao što su masa posude, masa vode, razmak između ogibnih maksimuma istog reda, redni broj promatranih ogibnih maksimuma, udaljenost sonde do zastora, frekvenciju ultrazvuka, valnu duljinu laserske svjetlosti. Ugasimo sondu i laser dok ne započnemo drugo mjerenje kako ne bi došlo do pregrijavanja.

Mjerenje u kojem je maseni udio šećera u destiliranoj vodi jednak nuli (promatramo samo destiliranu vodu) izrazito je važno jer predstavlja osnovu za izradu kalibracijske krivulje.

Nakon toga slijede mjerenja s poznatim masenim udjelom šećera u vodi.

Prema izrazu (3.3) dobije se masa šećera za taj poznati maseni udio. Ponovno koristimo vagu kako bismo izmjerili masu šećera. Uspemo šećer u destiliranu vodu te miješamo kako bi se što brže otopio. Poklopimo spremnik s otopinom ponovno pazeći da ne nastanu mjehurići na sondi. Uključimo ultrazvučnu sondu i laser te podesimo frekvenciju kao u prvom mjerenju kada smo promatrali samo destiliranu vodu. Pomičnom mjerkom izmjerimo razmak između ogibnih maksimuma koji također trebaju biti istog reda kao i ogibni maksimumi u prvom mjerenju. Razmak mjerimo tri puta. Zatim, ugasimo sondu i laser, a rezultate mjerenja zapišemo.

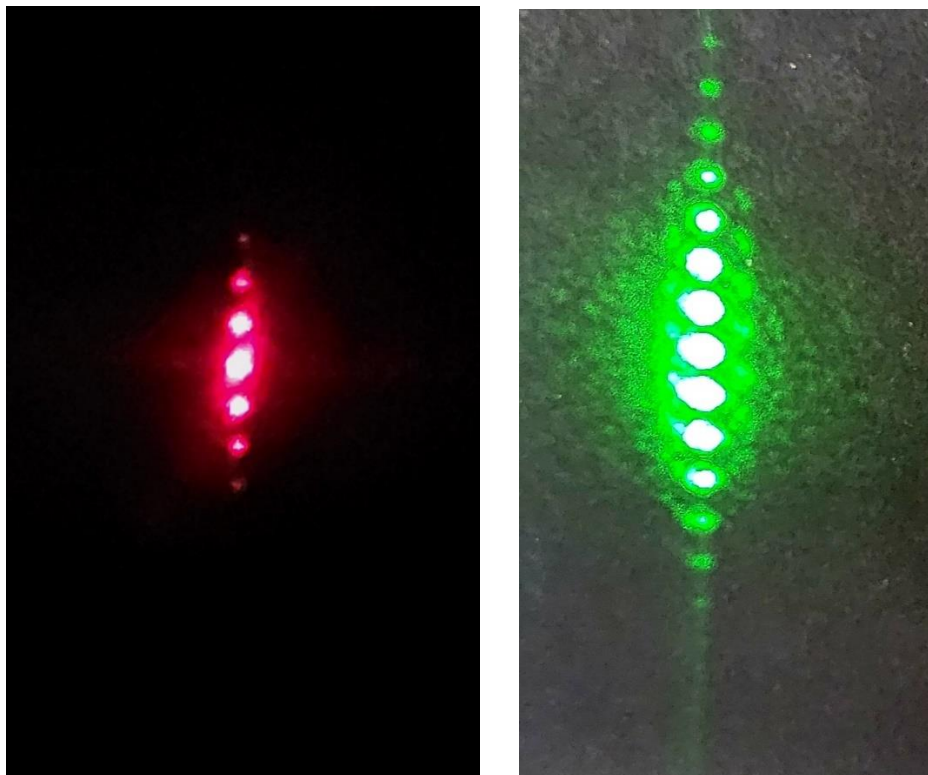
Analogno, postupak ponovimo za još nekoliko različitih masenih udjela šećera u otopini kao i za laser zelene svjetlosti ( $\lambda_L = 532 \text{ nm}$ ).

U svim mjerenjima konstantna je udaljenost ultrazvučne sonde do zastora,  $s$ , frekvencija ultrazvuka te red ogibnih maksimuma čiji razmak mjerimo, a mijenja se maseni udio šećera u destiliranoj vodi. Zbog toga je dobivena kalibracijska krivulja određena samo za poseban slučaj.

Postoje još neke opće upute za eksperiment preuzete iz [3].

U eksperimentu potrebno je koristiti negaziranu vodu kako mjehurići zraka ne bi ometali zvučno polje i tijekom laserskog svjetla. Nadalje, potrebno je koristiti destiliranu vodu jer ona ne sadrži otopljene tvari koje bi mogle utjecati na brzinu zvuka pa tako izmjereni učinci potječu isključivo od prisutnosti šećera u otopini. Zvučna sonda ne smije se koristiti na ljudima ili životinjama, a laserska zraka ne smije biti usmjerena na ljude ili životinje.

Na slici 8 prikazan je dobiveni ogibni uzorak za crvenu te zelenu lasersku svjetlost.



*Slika 8. Ogibni uzorak: a) crvene laserske svjetlosti, b) zelene laserske svjetlosti.*

### 3.2.2 Drugi dio zadatka

U drugom dijelu zadatka postavimo eksperiment kao u prvom mjerenju te uspemo nepoznatu količinu šećera u destiliranu vodu. Izmjerimo razmak među ogibnim maksimumima na način koji je opisan u prvom dijelu zadatka. Udaljenost ultrazvučne sonde do zastora, frekvencija ultrazvuka, redni broj maksimuma ne mijenjaju svoje vrijednosti u odnosu na prvi dio zadatka.

Budući da kalibracijska krivulja predstavlja ovisnost masenog udjela šećera u destiliranoj vodi i razmaka među ogibnim maksimumima istog reda, iz kalibracijske krivulje očitavamo maseni udio za izmjereni razmak.

Postupak ponovimo za još nekoliko različitih, proizvoljnih količina šećera te za laser zelene svjetlosti.

### 3.3 Rezultati mjerenja

#### 3.3.1 Rezultati mjerenja za prvi dio zadatka

U tablici 1 prikazani su rezultati mjerenja za prvi dio zadatka za crvenu lasersku svjetlost.

*Tablica 1. Rezultati mjerenja za prvi dio zadatka za crvenu lasersku svjetlost.*

|  | Maseni udio<br>šećera u<br>destiliranoj<br>vodi, $w$<br>(%) | Razmak između ogibnih maksimuma, $x$ (m) |            |            |
|--|---|--|------------|------------|
|  |   | Mjerenje 1                               | Mjerenje 2 | Mjerenje 3 |
| $m_{posuda} = 0,657$ kg<br>$m_{d.voda} = 0,929$ kg<br>$s = 3,145$ m<br>$f = 4,8 \times 10^6$ Hz<br>$\lambda_L = 650$ nm<br>$N = 3$ | 0   | 0,04041                                  | 0,04040    | 0,04045    |
|  | 5   | 0,03995                                  | 0,04005    | 0,03997    |
|  | 10  | 0,03952                                  | 0,03955    | 0,03949    |
|  | 15  | 0,03938                                  | 0,03940    | 0,03939    |
|  | 20  | 0,03920                                  | 0,03923    | 0,03920    |
|  | 25  | 0,03909                                  | 0,03907    | 0,03911    |

U tablici 2 prikazani su rezultati mjerenja za prvi dio zadatka za zelenu lasersku svjetlost.

**Tablica 2.** Rezultati mjerenja za prvi dio zadatka za zelenu lasersku svjetlost.

| $m_{posuda} = 0,657 \text{ kg}$<br>$m_{d.voda} = 0,929 \text{ kg}$<br>$s = 3,145 \text{ m}$<br>$f = 4,8 \times 10^6 \text{ Hz}$<br>$\lambda_L = 532 \text{ nm}$<br>$N = 4$ | Maseni udio šećera u destiliranoj vodi, $w$ (%) | Razmak između ogibnih maksimuma, $x$ (m) |            |            |
|--|---|--|------------|------------|
|  |   | Mjerenje 1                               | Mjerenje 2 | Mjerenje 3 |
|  | 0   | 0,04375                                  | 0,04374    | 0,04370    |
|  | 5   | 0,04350                                  | 0,04350    | 0,04353    |
|  | 10  | 0,04312                                  | 0,04313    | 0,04311    |
|  | 15  | 0,04299                                  | 0,04303    | 0,04298    |
|  | 20  | 0,04285                                  | 0,04284    | 0,04289    |
|  | 25  | 0,04271                                  | 0,04272    | 0,04273    |

### 3.3.2 Rezultati mjerenja za drugi dio zadatka

U tablici 3 prikazani su rezultati mjerenja za drugi dio zadatka za crvenu lasersku svjetlost.

**Tablica 3.** Rezultati mjerenja za drugi dio zadatka za crvenu lasersku svjetlost.

| $m_{posuda} = 0,657 \text{ kg}$<br>$m_{d.voda} = 0,929 \text{ kg}$<br>$s = 3,145 \text{ m}$<br>$f = 4,8 \times 10^6 \text{ Hz}$<br>$\lambda_L = 650 \text{ nm}$<br>$N = 3$ | Razmak između ogibnih maksimuma, $x$ (m) |
|--|--|
|  | 0,03945                                  |
|  | 0,03927                                  |
|  | 0,03917                                  |

U tablici 4 prikazani su rezultati mjerenja za drugi dio zadatka za zelenu lasersku svjetlost.

**Tablica 4.** Rezultati mjerenja za drugi dio zadatka za zelenu lasersku svjetlost.

|  |  |
|--|--|
| $m_{posuda} = 0,657 \text{ kg}$<br>$m_{d.voda} = 0,929 \text{ kg}$<br>$s = 3,145 \text{ m}$<br>$f = 4,8 \times 10^6 \text{ Hz}$<br>$\lambda_L = 532 \text{ nm}$<br>$N = 4$ | <b>Razmak između ogibnih maksimuma, <math>x</math><br/>(m)</b> |
|  | 0,04362  |
|  | 0,04334  |
|  | 0,04295  |

### 3.4 Obrada podataka i diskusija

#### 3.4.1 Obrada podataka i diskusija za prvi dio zadatka

U prvom dijelu zadatka potrebno je odrediti kalibracijsku krivulju koja predstavlja ovisnost masenog udjela šećera u destiliranoj vodi i razmaka između ogibnih maksimuma istog reda.

Budući da mjerenje 1, mjerenje 2 i mjerenje 3 daju slične rezultate, za svaki maseni udio šećera otopljenog u destiliranoj vodi izračuna se srednja vrijednost razmaka između  $-n$ -tog i  $+n$ -tog maksimuma prema izrazu

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.4.1.1)$$

i pripadna greška kao

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (3.4.1.2)$$

gdje je  $n = 3$ .

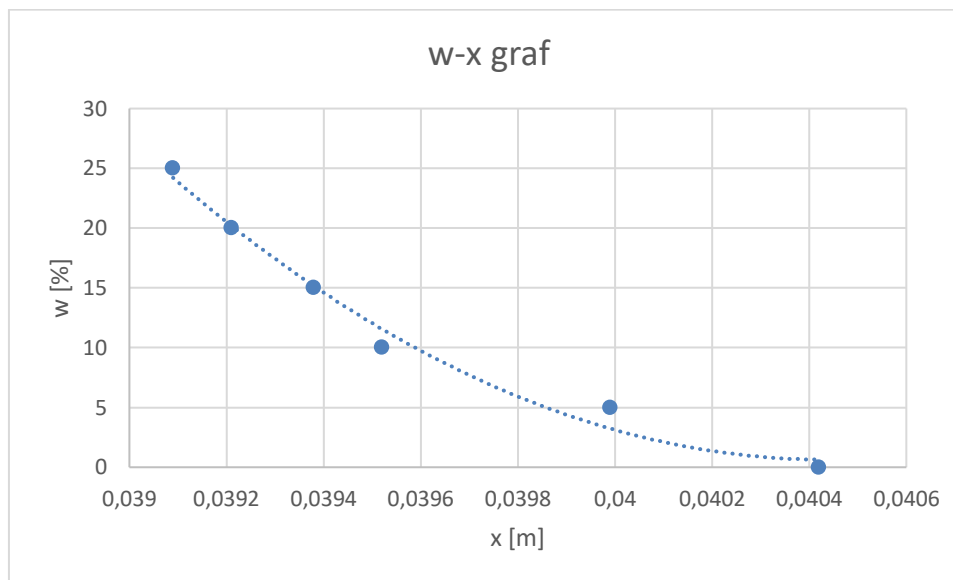
Izračunate srednje vrijednosti razmaka između ogibnih maksimuma reda 3 za laser crvene svjetlosti dane su u tablici 5.

**Tablica 5.** Izračunate srednje vrijednosti razmaka između ogibnih maksimuma reda 3 za prvi dio zadatka za crvenu lasersku svjetlost.

| $m_{posuda} = ,657 \text{ kg}$<br>$m_{d.voda} = 0,929 \text{ kg}$<br>$s = 3,145 \text{ m}$<br>$f = 4,8 \times 10^6 \text{ Hz}$<br>$\lambda_L = 650 \text{ nm}$<br>$N = 3$ | Maseni udio šećera u destiliranoj vodi, $w$ (%) | Razmak između ogibnih maksimuma, $\bar{x}$ (m) |
|---|---|--|
|   | 0   | $0,04042 \pm 0,00002$                          |
|   | 5   | $0,03999 \pm 0,00003$                          |
|   | 10  | $0,03952 \pm 0,00002$                          |
|   | 15  | $0,03938 \pm 0,00001$                          |
|   | 20  | $0,03921 \pm 0,00001$                          |
|   | 25  | $0,03909 \pm 0,00001$                          |

Prema dobivenim rezultatima za crveni laser može se uočiti da porastom masenog udjela šećera opada razmak između promatranih ogibnih maksimuma.

Krivulja koja najbolje opisuje takvu ovisnost prikazana je na grafu 1 pa je to ujedno i tražena kalibracijska krivulja.



**Graf 1.** Kalibracijska krivulja koja predstavlja ovisnost masenog udjela šećera u destiliranoj vodi i razmaka ogibnih maksimuma trećeg reda za lasersku svjetlost crvene boje. Na x-osi prikazane su srednje vrijednosti razmaka, a na y-osi maseni udjeli šećera u destiliranoj vodi.

Međutim, dobivena kalibracijska krivulja vrijedi samo za poseban slučaj crvene laserske svjetlosti u kojem promatramo ultrazvuk frekvencije  $f = 4,8 \times 10^6$  Hz kao i ogibne maksimume reda 3. Za promjenu samo jednog od navedenih parametara dobije se druga kalibracijska krivulja.

Brzina zvuka u otopini izvedena je veličina jer se nije mjerila izravno, stoga za svaki maseni udio šećera u otopini brzina zvuka računa se prema izrazu (2.3.5), uz pripadnu pogrešku za izvedene veličine  $\sigma_c$  danu s

$$\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)^2 \cdot \sigma_x^2}, \quad (3.4.1.3)$$

tj.

$$\sigma_c = \sqrt{\left(-2N \cdot \lambda_L \cdot s \cdot f \cdot \frac{1}{x^2}\right)^2 \cdot \sigma_x^2}. \quad (3.4.1.4)$$

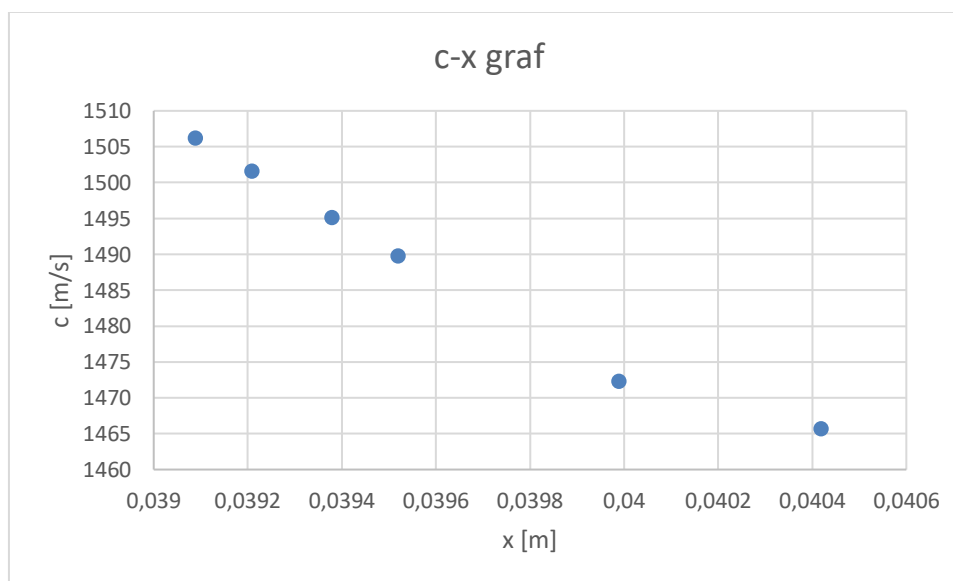
Izračunate vrijednosti za brzinu zvuka u otopini za crvenu lasersku svjetlost dane su u tablici 6.



**Tablica 6.** Brzina zvuka u otopini za crvenu lasersku svjetlost.

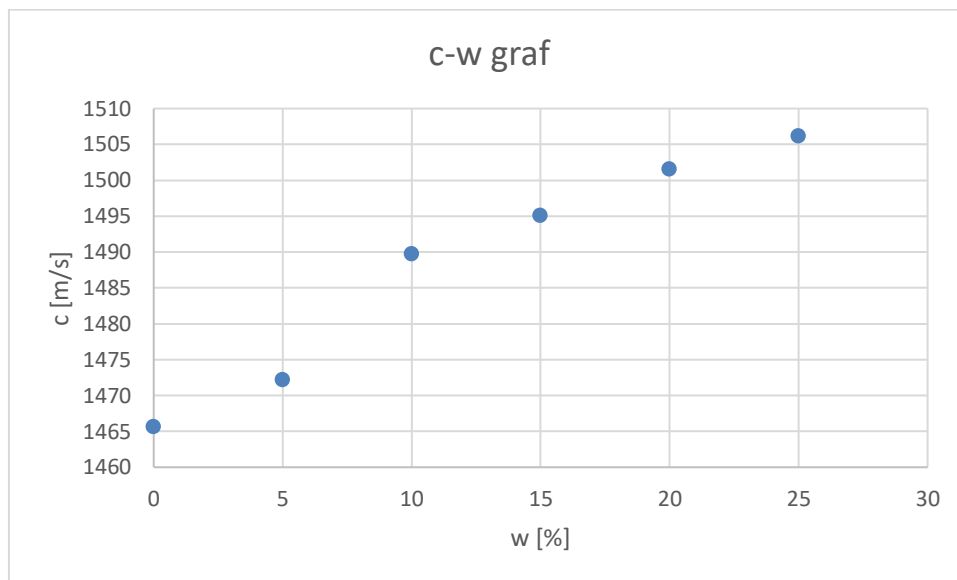
| $m_{posuda} = 0,657 \text{ kg}$<br>$m_{d.voda} = 0,929 \text{ kg}$<br>$s = 3,145 \text{ m}$<br>$f = 4,8 \times 10^6 \text{ Hz}$<br>$\lambda_L = 650 \text{ nm}$<br>$N = 3$ | Maseni udio šećera u destiliranoj vodi, $w$ (%) | Razmak između ogibnih maksimuma, $\bar{x}$ (m) | Brzina zvuka u otopini, $c$ (m/s) |
|--|---|--|-----------------------------------|
|  | 0   | $0,04042 \pm 0,00002$                          | $1456,6 \pm 0,4$                  |
|  | 5   | $0,03999 \pm 0,00003$                          | $1472,2 \pm 1,1$                  |
|  | 10  | $0,03952 \pm 0,00002$                          | $1489,7 \pm 0,8$                  |
|  | 15  | $0,03938 \pm 0,00001$                          | $1495,0 \pm 0,4$                  |
|  | 20  | $0,03921 \pm 0,00001$                          | $1501,5 \pm 0,4$                  |
|  | 25  | $0,03909 \pm 0,00001$                          | $1506,1 \pm 0,4$                  |

Graf 2 prikazuje ovisnost brzine zvuka u otopini i razmaka među ogibnim maksimumima reda 3 za crvenu lasersku svjetlost. Brzina zvuka u otopini obrnuto je proporcionalna razmaku među ogibnim maksimumima istog reda.



**Graf 2.** Ovisnost brzine zvuka u otopini o razmaku između ogibnih maksimuma trećeg reda za lasersku svjetlost crvene boje. Na  $x$ -osi prikazana je srednja vrijednost razmaka između ogibnih maksimuma trećeg reda dok je na  $y$ -osi prikazana brzina zvuka u otopini.

Iz tablice 6 uočljivo je da se povećanjem masenog udjela šećera u otopini povećava i brzina zvuka u otopini, što je prikazano na grafu 3.



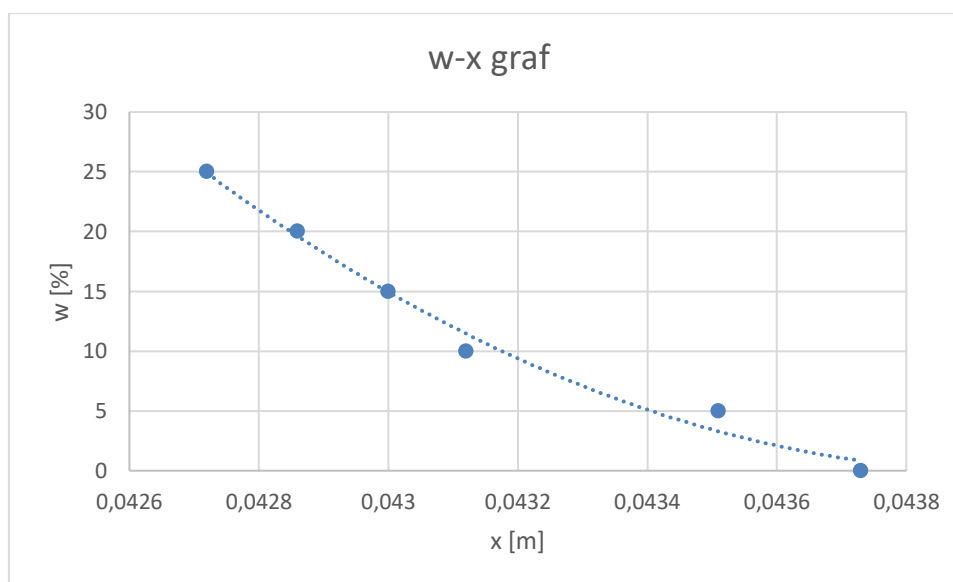
**Graf 3.** Ovisnost brzine zvuka u otopini o masenom udjelu šećera u destiliranoj vodi, crveni laser. Porastom masenog udjela šećera, raste i brzina zvuka u otopini. Na x-osi prikazan je maseni udio šećera, a na y-osi prikazana je brzina zvuka u otopini.

Analogna obrada i diskusija vrijedi i za laser zelene svjetlosti. Izračunate vrijednosti prikazane su u tablici 7.

**Tablica 7.** Srednja vrijednost razmaka između ogibnih maksimuma reda 4 i brzina zvuka u otopini za prvi dio zadatka za zelenu lasersku svjetlost.

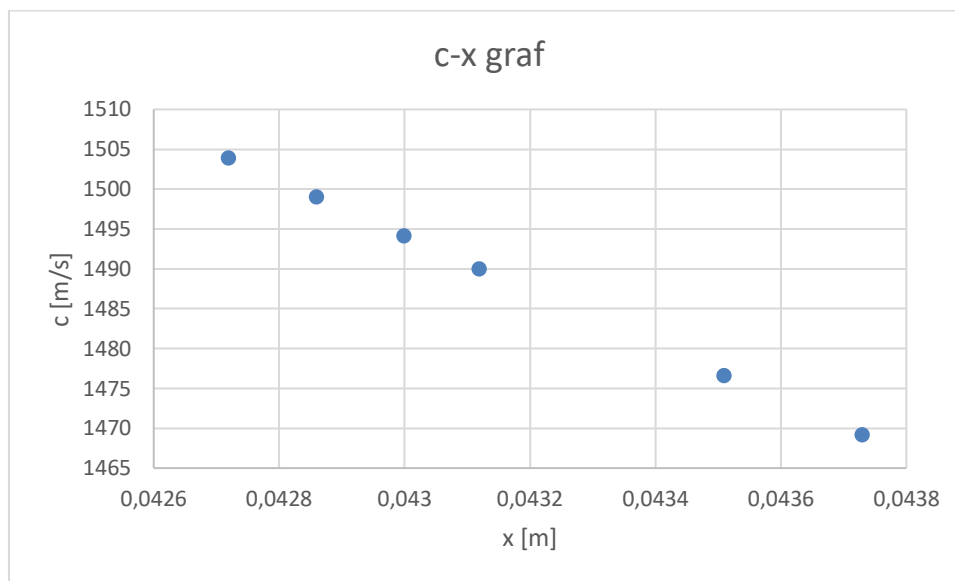
|  | Maseni udio šećera u destiliranoj vodi, $w$ (%) | Razmak između ogibnih maksimuma, $x$ (m) | Brzina zvuka u otopini, $c$ (m/s) |
|--|---|--|-----------------------------------|
| $m_{posuda} = 0,657$ kg<br>$m_{d.voda} = 0,929$ kg<br>$s = 3,145$ m<br>$f = 4,8 \times 10^6$ Hz<br>$\lambda_L = 532$ nm<br>$N = 4$ | 0   | $0,04373 \pm 0,00002$                    | $1469,2 \pm 0,7$                  |
|  | 5   | $0,04351 \pm 0,00001$                    | $1476,1 \pm 10,4$                 |
|  | 10  | $0,04312 \pm 0,00001$                    | $1490,0 \pm 0,4$                  |
|  | 15  | $0,04300 \pm 0,00002$                    | $1494,2 \pm 0,7$                  |
|  | 20  | $0,04286 \pm 0,00002$                    | $1499,0 \pm 0,7$                  |
|  | 25  | $0,04272 \pm 0,00001$                    | $1503,9 \pm 0,4$                  |

Kalibracijska krivulja određena dobivenim rezultatima mjerenja prikazana je na grafikonu 4.

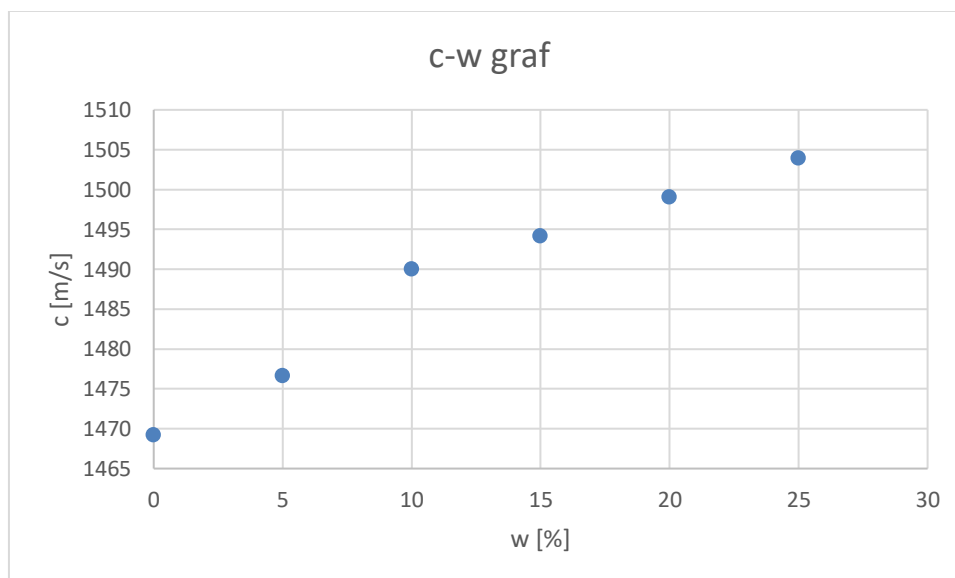


**Graf 4.** Kalibracijska krivulja koja predstavlja ovisnost masenog udjela šećera u destiliranoj vodi i razmaka ogibnih maksimuma četvrtog reda za lasersku svjetlost zelene boje. Na  $x$ -osi prikazana je srednja vrijednost razmaka, a na  $y$ -osi maseni udjeli šećera u destiliranoj vodi.

Na grafu 5 prikaz je ovisnosti brzine zvuka u otopini i razmaka među ogibnim maksimumima reda 4, dok graf 6 predstavlja ovisnost brzine zvuka u otopini i masenog udjela šećera za zeleni laser.



**Graf 5.** Ovisnost brzine zvuka u otopini o razmaku između ogibnih maksimuma četvrtog reda za lasersku svjetlost zelene boje. Na x- osi prikazana je srednja vrijednost razmaka između ogibnih maksimuma trećeg reda dok je na y-osi prikazana brzina zvuka u otopini.



**Graf 6.** Ovisnost brzine zvuka u otopini o masenom udjelu šećera u destiliranoj vodi, zeleni laser. Porastom masenog udjela šećera, raste i brzina zvuka u otopini. Na x-osi prikazan je maseni udio šećera, a na y-osi prikazana je brzina zvuka u otopini.

Tijekom mjerenja primijetilo se da za ultrazvuk čija je frekvencija veća od 8 MHz ne proizvodi jasno oblikovan val.

Mala odstupanja mogu biti posljedica prisutnosti mjehurića na ultrazvučnoj sondi te smanjene preciznosti prilikom očitavanja razmaka među ogibnim maksimumima istog reda. Za određivanje funkcija čiji je su grafovi dobivene kalibracijske krivulje potrebno je provesti još dodatnih mjerenja.

### 3.4.2 Obrada podataka i diskusija za drugi dio zadatka.

U drugom dijelu zadatka treba odrediti nepoznati maseni udio šećera u destiliranoj vodi koristeći dobivenu kalibracijsku krivulju.

Na temelju srednjih vrijednosti razmaka među ogibnim maksimumima reda 3 za crveni laser iz grafa 1 mogu se očitati pripadni maseni udjeli šećera.

Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 8.

**Tablica 8.** Maseni udio šećera u destiliranoj vodi za crvenu lasersku svjetlost, drugi dio zadatka.

| $m_{posuda} = 0,657 \text{ kg}$<br>$m_{d.voda} = 0,929 \text{ kg}$<br>$s = 3,145 \text{ m}$<br>$f = 4,8 \times 10^6 \text{ Hz}$<br>$\lambda_L = 650 \text{ nm}$<br>$N = 3$ | Razmak između ogibnih maksimuma, $x$ (m) | Maseni udio šećera u destiliranoj vodi, $w$ (%) |
|--|--|---|
|  | 0,03945                                  | 13  |
|  | 0,03927                                  | 17  |
|  | 0,03917                                  | 22  |

Analogna obrada podataka i diskusija vrijedi i za zelenu lasersku svjetlost.

Maseni udjeli šećera očitaju se iz grafa 4 za svaki izmjereni razmak između ogibnih maksimuma reda 4.

Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 9.

**Tablica 9.** Maseni udio šećera u destiliranoj vodi za zelenu lasersku svjetlost, drugi dio zadatka.

| $m_{posuda} = 0,657 \text{ kg}$<br>$m_{d.voda} = 0,929 \text{ kg}$<br>$s = 3,145 \text{ m}$<br>$f = 4,8 \times 10^6 \text{ Hz}$<br>$\lambda_L = 532 \text{ nm}$<br>$N = 4$ | <b>Razmak između ogibnih<br/>maksimuma, <math>x</math> (m)</b> | <b>Maseni udio šećera u<br/>destiliranoj vodi, <math>w</math><br/>(%)</b> |
|--|--|---|
|  | 0,04362  | 3   |
|  | 0,04334  | 7   |
|  | 0,04295  | 16  |

Moguća odstupanja posljedica su nesavršenosti ljudskog osjeta vida prilikom očitavanja odgovarajućeg masenog udjela šećera u destiliranoj vodi.

## **4 Istraživački projekt: „Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi“**

Kao što je spomenuto u uvodom dijelu, ultrazvuk ima brojne primjene u različitim područjima čovjekovog djelovanja kao što je medicina, industrija, tehnologija, ali i obrazovanje.

Cilj ovog diplomskog rada jest prikazati primjenu ultrazvuka u nastavi fizike za nadarene učenike.

Nadareni učenici su učenici čiji sklop osobina omogućuje trajno postignuće natprosječnih rezultata u jednom ili više područja ljudske djelatnosti, a uvjetovano je visokim stupnjem razvijenosti pojedinih sposobnosti, osobnom motivacijom i izvanjskim poticanjem [1]. Podrška nadarenim učenicima sastoji se u prilagođavanju odgojno-obrazovnih postupaka i djelovanja, a škola, tj. nastavnici imaju značajnu ulogu. Za nadarene učenike trebali bi se osmisliti i provoditi dodatni programi koji će biti didaktički i metodički bogati i raznoliki, usmjereni višem stupnju razmišljanja i zaključivanja, kreativnosti i budućnosti.

Jedan od načina na koji se to može ostvariti je i provođenje istraživačkih projekata. Projekti, općenito imaju vrlo korisnu ulogu u nastavi. Potiču učenike na rješavanje problema pri čemu učenici jačaju postojeće vještine, razvijaju nove vještine i interese. Nadalje, omogućuju povezivanje nastavnih sadržaja te ostvaruju korelaciju s drugim predmetima. Teme projekata trebaju biti aktualne i u području interesa učenika.

U ovom poglavlju bit će predstavljen izvedbeni kurikulum za istraživački projekt na temu „Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi“.

Projekt je zamišljen tako da se provodi u grupama. Na taj način ostvaruje se suradnja među učenicima, bolja komunikacija u vidu razvijanja i iznošenja kritičkog mišljenja, razmjene ideja, donošenje odluka, ali i međusobnog razumijevanja. Za vrijeme provedbe projekta nastavnik savjetuje učenike, potiče na razmišljanje i rad, postavlja pitanja s ciljem da učenici samostalno dođu do točnog odgovora, predlaže ideje te naravno, nadgleda. Na kraju projekta, svaka grupa prezentirat će svoj rad, rezultate, zaključke. Konačan zaključak donosi se uz razrednu diskusiju i nastavnikovo usmjeravanje.

#### 4.1 Kurikul za istraživački projekt: „Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi

U tablici 10 prikazan je izvedbeni kurikul za istraživački projekt na temu „Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi“.

Kurikul je osmišljen za buduće i sadašnje nastavnike fizike koji će raditi ili već rade s nadarenim učenicima. Navedeni istraživački projekt može se ostvariti u osnovnim ili srednjim školama u sklopu izborne ili fakultativne nastave fizike koja predstavlja dodatan program prilagođen nadarenim učenicima. Ovaj kurikul prilagođen je potrebama nadarenih učenika pružajući im dodatne resurse i izazove. Za provođenje projekta predviđeno je 40 školskih sati, a u tablici je opisan tijek izvođenja projekta, odgojno-obrazovni ishodi koji se pritom ostvaruju te korelacija s ostalim nastavnim predmetima, ako postoji.

Predloženi kurikul predstavlja samo jedan način na koji se projekt može provesti. Nastavnici ga mogu prilagoditi specifičnim uvjetima i potrebama svoje škole kao i interesima i sposobnostima učenika.

**Tablica 10.** Kurikul za istraživački projekt: „Korištenje ultrazvuka za određivanje nepoznate koncentracije šećera u destiliranoj vodi.

| Redni broj nastavnog sata | Nastavna tema   | Odgojno-obrazovni ishodi                          | Ishod/očekivanje korelacije |
|---------------------------|---|---|-----------------------------|
| 1.                        | Upoznavanje učenika sa značajkama istraživačkog projekta  |   |                             |
| 2.                        | Opis titranja i harmonijske sile                          | FIZ SŠ CD.3.4.<br>Analizira harmonijsko titranje. | Matematika                  |
| 3.                        | Opis titranja i harmonijske sile                          |   |                             |
| 4.                        | Primjeri titranja (matematičko njihalo, tijelo na opruzi) |   |                             |



|     |  |   |                                 |
|-----|--|---|---------------------------------|
| 5.  | Eksperimenti s jednostavnim oscilatorom                              | FIZ SŠ CD. 3.9.<br>Istražuje fizičke pojave   |                                 |
| 6.  | Nastanak i vrste valova  | FIZ SŠ CD. 3.5.<br>Objašnjava nastanak vala i analizira valna svojstva.<br><br>FIZ SŠ CD. 3.5.<br>Istražuje fizičke pojave. | Geografija                      |
| 7.  | Brzina širenja vala  |   |                                 |
| 8.  | Refleksija, lom, ogib, interferencija vala                           |   |                                 |
| 9.  | Refleksija, lom, ogib, interferencija vala                           |   |                                 |
| 10. | Stojni valovi  |   |                                 |
| 11. | Eksperimenti-<br>Valovi  |   |                                 |
| 12. | Zvuk   | FIZ SŠ CD. 3.6.<br>Analizira valna svojstva zvuka.<br>FIZ SŠ CD. 3.5.<br>Istražuje fizičke pojave.                          | Biologija<br>Glazbena umjetnost |
| 13. | Ultrazvuk i primjene   |   |                                 |
| 14. | Vizualizacija ultrazvučnih valova                                    |   |                                 |
| 15. | Elektromagnetski val i spektar elektromagnetskog zračenja, svjetlost | FIZ SŠ CD.4.2.<br>Objašnjava nastanak, svojstva i primjene elektromagnetskih valova.  | Kemija                          |
| 16. | Interferencija svjetlosti, Youngov pokus                             |   |                                 |
| 17. | Ogib svjetlosti  |   |                                 |

|     |  |   |             |
|-----|--|---|-------------|
| 18. | Optička rešetka  | FIZ SŠ CD.4.1.<br>Analizira valnu prirodu svjetlosti.<br>FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave. | Biologija   |
| 19. | Eksperiment s laserskom svjetlosti i optičkom rešetkom                           |   | Informatika |
| 20. | Debye-Searsov učinak   |   |             |
| 21. | Koncepti koncentracije i masenog udjela  | KEM SŠ D.2.1.<br>Povezuje rezultate pokusa s konceptualnim spoznajama.                                | Kemija      |
| 22. | Eksperiment-priprema standardnih otopina   |   |             |
| 23. | Upoznavanje učenika s priborom za istraživački projekt                           | FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave.  |             |
| 24. | Eksperiment istraživačkog projekta- Ultrazvuk i određivanje koncentracije šećera |   |             |
| 25. | Eksperiment istraživačkog projekta- Ultrazvuk i određivanje koncentracije šećera |   |             |
| 26. | Eksperiment istraživačkog projekta- Ultrazvuk i određivanje koncentracije šećera |   |             |
| 27. | Eksperiment istraživačkog projekta- Ultrazvuk i                                  |   |             |

|     |  |  |             |
|-----|--|--|-------------|
|     | određivanje koncentracije šećera   |  |             |
| 28. | Eksperiment istraživačkog projekta- Ultrazvuk i određivanje koncentracije šećera |  |             |
| 29. | Eksperiment istraživačkog projekta- Ultrazvuk i određivanje koncentracije šećera |  |             |
| 30. | Osnove analize podataka, stvaranje kalibracijske krivulje                        | FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave. | Informatika |
| 31. | Osnove analize podataka, stvaranje kalibracijske krivulje                        |  |             |
| 32. | Obrada prikupljenih podataka   | FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave. | Informatika |
| 33. | Obrada prikupljenih podataka   |  |             |
| 34. | Obrada prikupljenih podataka   |  |             |
| 35. | Pisanje laboratorijskih izvještaja- upute  | FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave. |             |
| 36. | Predstavljanje rezultata i diskusija   | FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave. |             |
| 37. | Predstavljanje rezultata i diskusija   |  |             |

|     |  |  |  |
|-----|--|--|--|
| 38. | Primjena ultrazvuka i optike u različitim znanstvenim disciplinama | FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave. |  |
| 39. | Planiranje istraživačkih projekata koji koriste ultrazvuk i optiku | FIZ SŠ CD.4.10.<br>Istražuje fizičke pojave. |  |
| 40. | Planiranje istraživačkih projekata koji koriste ultrazvuk i optiku |  |  |

## 4.2 Vrednovanje istraživačkog projekta

Na početku projekta treba upoznati učenike s načinom rada, njihovim obvezama i vrednovanjem projekta.

Ostvarenost odgojno-obrazovnih ishoda provjerava se ponavljanjem na kraju sata te domaćom zadaćom. Cilj domaće zadaće jest da učenici primjene stečeno znanje te razvijaju samostalnost i odgovornost u ispunjavanju svojih obveza. Primjer domaće zadaće jest pisanje laboratorijskih izvještaja kojima se procjenjuje sposobnost izvođenja eksperimenta i analize podataka. Zatim, domaća zadaća može biti izrada prezentacije, plakata, postera gdje učenici na jasan, sažet, kreativan način predstavljaju svoj rad.

Osim domaće zadaće, evaluirati se mogu i praktične vježbe, pri čemu se provjeravaju eksperimentalne vještine učenika kao i točnost mjerenja, ali i sudjelovanje u diskusijama, tj. njihovo kritičko mišljenje i sposobnost povezivanja teorijskog znanja s praktičnom primjenom.

Također, učenicima je korisno dati i pitanja za samovrednovanje te vršnjačko vrednovanje što im omogućuje razvoj kritičkog odnosa prema svom radu i njegovo unapređenje.

## 5 Zaključak

U ovom diplomskom radu predstavljen je jedan primjer korištenja ultrazvuka u nastavi fizike za nadarene učenike. Pomoću ultrazvučnih valova može se odrediti nepoznata koncentracija šećera u destiliranoj vodi. Za razumijevanje ovog eksperimenta potrebno je poznavati Debye-Searsov učinak u kojem se svjetlost ogiba na optičkoj rešetki nastaloj djelovanjem ultrazvuka u destiliranoj vodi (otopini).

U prvom dijelu eksperimenta izradili smo kalibracijsku krivulju koja predstavlja ovisnost masenog udjela šećera o razmaku među maksimumima istog reda. Uočili smo da se povećanjem koncentracije šećera povećava brzina zvuka u otopini dok se razmak između ogibnih maksimuma istog reda smanjuje.

U drugom dijelu eksperimenta otopili smo nepoznatu količinu šećera u destiliranoj vodi te izmjerili razmak među maksimumima istog reda. Za izmjereni razmak, iz kalibracijske krivulje očitani smo traženi maseni udio šećera. Treba napomenuti da dobivena kalibracijska krivulja vrijedi samo za uvjete u kojima smo izvodili eksperiment. Za neke druge vrijednosti udaljenosti sonde od zastora, frekvencije ultrazvuka, reda ogibnog maksimuma, valne duljine lasera dobili bismo drugačiju kalibracijsku krivulju.

U sklopu nastave fizike navedeni eksperiment može se ostvariti kao istraživački projekt koji nadarenim učenicima omogućuje jačanje postojećih i razvijanje novih vještina i interesa.

Kako bi projekt unaprijedili moguće je koristiti alkohol ili različite vrste ulja umjesto destilirane vode, ali i sol ili proteine umjesto šećera, što ima značajne primjene u biomedicini i bio tehnologiji.

Spomenuta unapređenja pružila bi značajne doprinose znanstvenoj zajednici potičući daljnja istraživanja i inovacije u području ultrazvučnih mjerenja i njihove primjene.

Također, obogatilo bi i obrazovno iskustvo nadarenih učenika, što je od izrazitih značajka jer „...darovita i talentirana djeca i mladež predstavljaju golem nacionalni resurs (potencijal) te je zadaća svakog naprednog društvenog sustava odgajati svoje buduće vođe i talente u različitim profesijama.“(Gardner, 1983; Clarc, 1988; Feldhusen, 1989; Davis i Rimm, 1989; prema Cvetković-Lay, 1999).

## 6 Literatura

- [1] Nacionalni dokument okvira za poticanje iskustava učenja i vrednovanje postignuća darovite djece i učenika  
URL: <https://mzom.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Obrazovanje/NacionalniKurikulum/Okviri/Okvir%20za%20poticanje%20iskustava%20u%C4%8Denja%20i%20vrednovanje%20postignu%C4%87a%20darovite%20djece%20i%20u%C4%8Denika.pdf>  
(14.6.2024.)
- [2] V. Henč-Bartolić i P. Kulišić: Valovi i optika, Školska knjiga, Zagreb 2004.
- [3] SOUND WAVE CONTROLLER SC600, SC610,  
URL: [http://donporco.free.fr/lamartine/upload/63459SC600\\_SC610\\_manual\\_v2.1.0](http://donporco.free.fr/lamartine/upload/63459SC600_SC610_manual_v2.1.0)  
(14.6.2024.)
- [4] Narodne novine,  
URL: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_10\\_210.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html) (14.6.2024.)
- [5] Narodne novine,  
URL: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_10\\_208.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_208.html) (14.6.2024.)
- [6] Debye-Sears effect,  
URL: <https://advlabs.aapt.org/items/detail.cfm?ID=15101> (14.6.2024.)
- [7] Hrvatska enciklopedija,  
URL: <https://enciklopedija.hr/> (14.6.2024.)