

## Sāls šķīduma laušanas koeficienta gradienta un difūzijas koeficienta noteikšana no lāzera noviržu mērījumiem

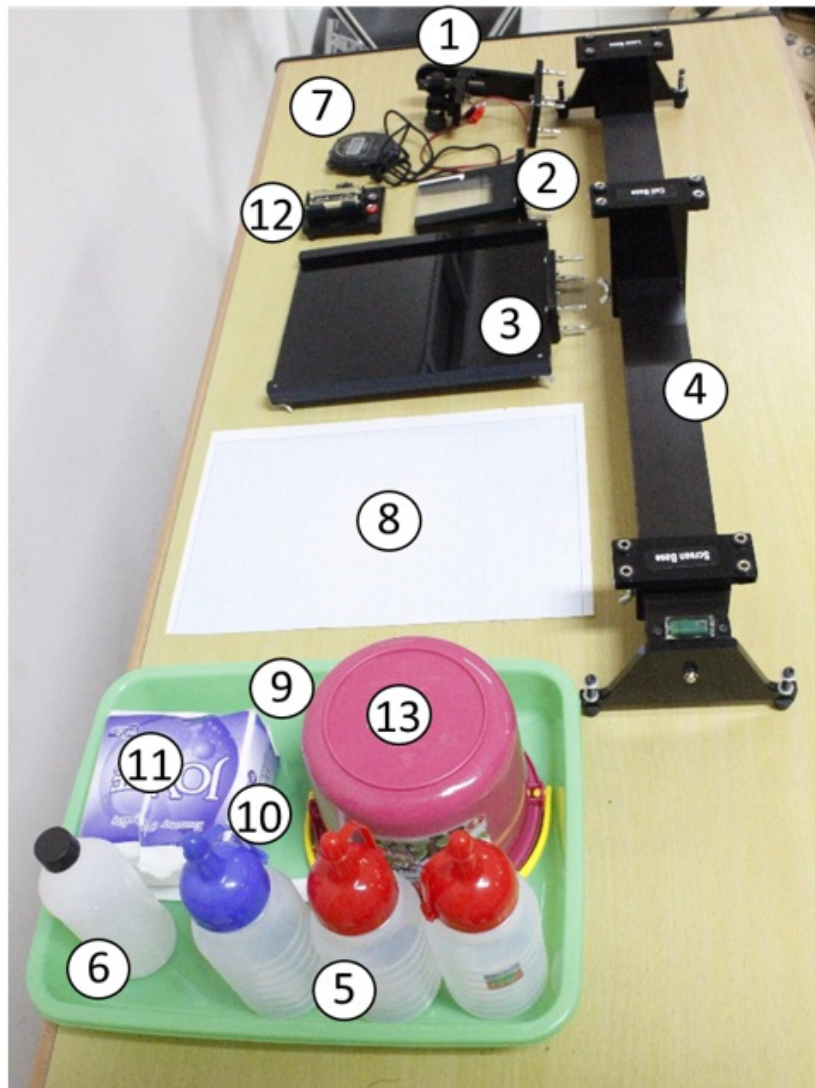
### I. Ievads

Difūzija ir process, kurā atomu vai molekulu gadījuma rakstura kustība tuvina sistēmu termodinamiskajam līdzsvaram. Piemēram, traukā, kurā ir sajaukts sālsūdens un tīrs ūdens, būs novērojama difūzijas izraisīta sāls jonu plūsma no apgabaliem ar augstu sāls koncentrāciju uz apgabaliem ar zemu sāls koncentrāciju. Difūzijas ātrumu raksturo difūzijas koeficients  $D$ . Difūzija spēlē lielu lomu daudzos dabas procesos, no bioloģijas līdz astrofizika. Šajā eksperimentālajā uzdevumā mēs pētīsim sāls jonu difūziju. Sāls joni difūzijas ceļā pārvietosies no koncentrētā sāls šķīduma (sālsūdens) uz apgabalu ar destilētu ūdeni, rezultātā izveidojot pārejas slāni ar mainīgu sāls koncentrāciju. Šī šķīduma laušanas koeficients ir atkarīgs no sāls koncentrācijas. Tādējādi mēs varam pētīt difūzijas procesu ar optisko metodi, eksperimentāli mērot lāzera stara noliekšanos.

### II. Darba mērķi

1. Noteikt difūzijas koeficientu sālsūdens izšķīšanai ūdenī, mērot gaismas laušanas koeficienta gradientu (izmaiņas ātrumu atkarībā no attāluma).
2. Noteikt difūzijas koeficienta izmaiņas ātrumu atkarībā no sālsūdens koncentrācijas.

## III. Piederumu saraksts

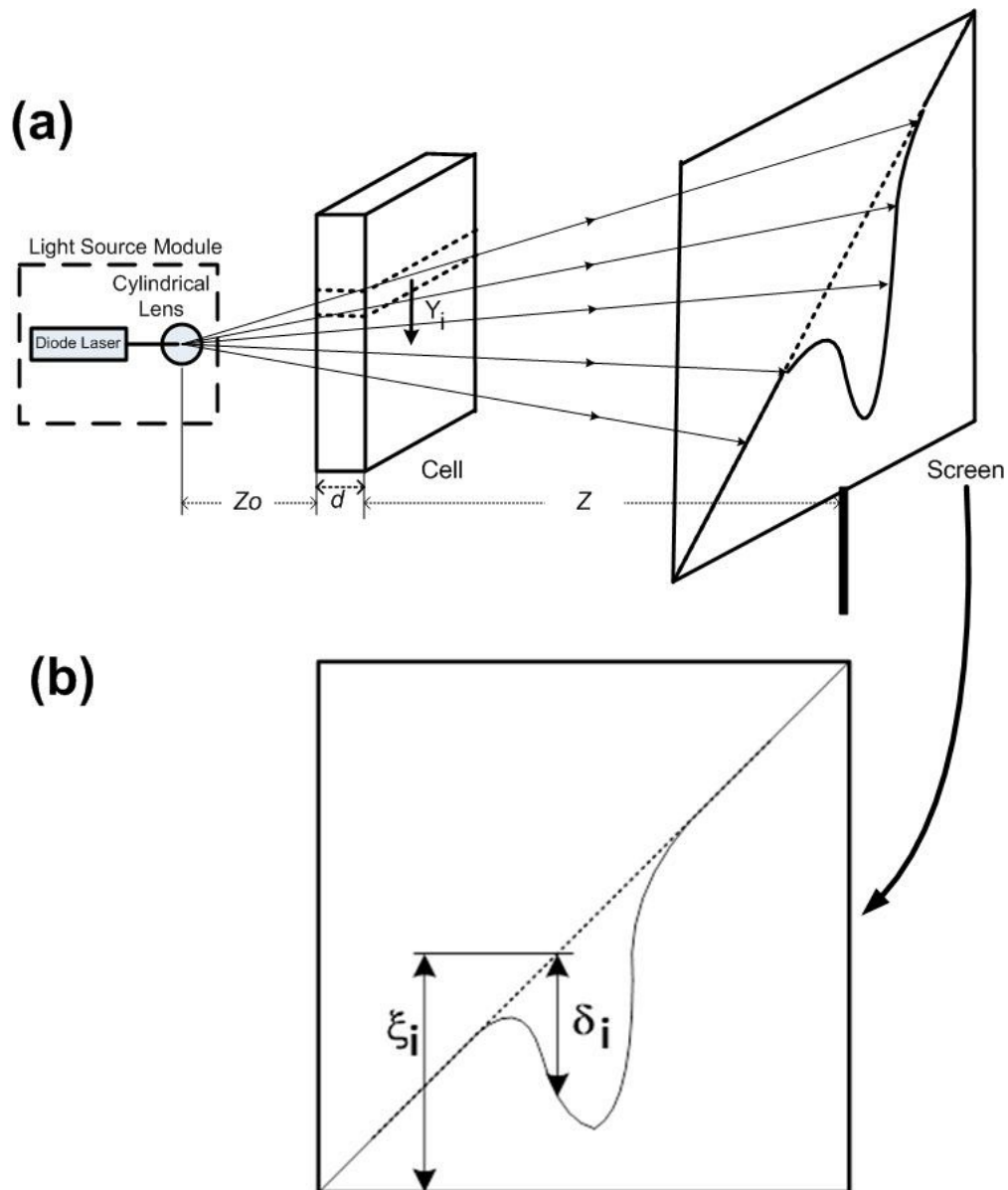


**Attēls 1.** Piederumi eksperimenta veikšanai.

1. Līnijlāzera modulis (diožu lāzeris ar  $\lambda = 632 \text{ nm}$  un cilindriskā lēca)
2. Difūzijas šūna (6.5 cm x 0.8 cm x 9.5 cm) ar stiprinājumu
3. Ekrāns ar stiprinājumu
4. Optiskais sols ar lineāla atzīmēm.
5. Dažādas koncentrācijas sāls šķīdumi
6. Destilētais ūdens (Aquadest)
7. Hronometrs
8. Milimetru papīrs
9. Pipete
10. Plastmasas nazis un salvetes tīrīšanai

11. Salvētes
12. Baterija
13. Spainītis izlietoto šķidrumu savākšanai

Eksperimentālās iekārtas shēma ir parādīta Attēlā 2.



**Figure 2. (a)** Eksperimentālās iekārtas shēma. Šūnā ir iepildīts sālsūdens ar destilētu ūdeni (aquadest) virs tā. **(b)** Raksturīga deflektogramma: novirzītais lāzera stars, kas redzams uz ekrāna, kad starp šķīdumu 1 un šķīdumu 2 notiek difūzija.

Lai iegūtu laušanas koeficienta gradienta atkarību no vertikālās koordinātes (augstuma) šķidrumā, mums ir jāzina sakarība starp vertikālo koordināti uz ekrāna ( $\xi$ ) un vertikālo koordināti šūnā ( $Y$ ), kā arī sakarība starp vertikālo novirzi ( $\delta$ ) un laušanas koeficienta gradientu ( $dn/dY$ ). No eksperimentālās iekārtas ģeometrijas (skat. Attēlu 2), mēs iegūstam:

$$Y_i = \frac{\xi_i Z_0}{Z_0 + d + Z} \quad (1)$$

kur  $Z_0$ ,  $Z$  un  $d$  ir atzīmēti attēlā 2(a) un apzīmē attiecīgi attālumu starp līnijlāzera moduli un difūzijas šūnu, attālumu starp difūzijas šūnu un ekrānu, un difūzijas šūnas biezumu. **Mērot  $Z_0$ , ievēro, ka bultiņa uz lāzera moduļa turētāja atbilst cilindriskās lēcas pozīcijai.**

Šūnas biezums ( $d$ ) un laušanas koeficienta gradients abi ir pieteikami mazi, lai gaismas laušanas izraisīto stara nobīdi šūnas ietvaros varētu neņemt vērā. Šajā tuvinājumā katrs stars iziet cauri šūnai praktiski nemainīgā augstumā un novirzās proporcionāli laušanas koeficienta gradientam, kas atbilst minētajam augstumam.

Var parādīt, ka:

$$\left( \frac{dn}{dY} \right)_i = \frac{\delta_i}{Zd} \quad (2)$$

## Eksperimenta gaita:

- Lai iegūtu lāzera staru noviržu grafiku uz ekrāna (tādu, kāds parādīts attēlā 2b), tev ir jāsaliek kopā visas iekārtas detaļas, kas ir uzskaitītas attēlā 1, atbilstoši shēmai, kas ir parādīta attēlā 2a.
- Pārlicinies, ka lāzeris ir ieslēgts, lāzera stari krīt perpendikulāri šūnai, un staru projekcijas uz ekrāna sakārtojas diagonālā līnijā. Tu drīksti regulēt  $Z$  un  $Z_0$ , kā arī lāzera fokusa attālumu (griežot lāzera aizmuguri) lai iegūtu spožu un asu līnijas attēlu. Tu drīksti arī regulēt diagonālās līnijas leņķi, pagriežot lāzeri kā vienu veselu (lāzeri var atbrīvot, griežot augšējo skrūvi). Stāvoklī, kad šūna ir tukša (tajā nav nedz ūdens, nedz sālsūdens), lāzera stariem ir jāsakārtojas taisnā diagonālā līnijā.
- Lāzera staru grafiks novirzīsies, diviem atšķirīgiem šķīdumiem sajaucoties difūzijas ceļā. Vispirms ielej sāls šķīdumu difūzijas šūnas traukā līdz līmenim, kas ir iezīmēts ar baltu atzīmi uz malas. Tad lēnām ar pipeti caur īpašu kanālu trauka malā iepilini aptuveni 40 pilienus ūdens, un tad palaid hronometru, lai mēritu difūzijas profila attīstības laiku. Ja iekārta jau ir optimizēta, mainot  $Z$ ,  $Z_0$  and lāzera augstumu, tad novirzīto staru grafiks būs centrēts, skaidrs un iekritiena dziļums būs pēc iespējas lielāks. Tev ir jāpiemeklē šie optimālie uzstādījumi lai minimizētu savu mērījumu kļūdu.
- Attīstības laikam sasniedzot 30 minūtes, apvelc ar zīmuli lāzera staru veidoto grafiku uz milimetru papīra, kas ir piestiprināts ekrānam. Ievēro, ka šajā uzdevumā Tev būs jāveic šāds mērījums 3 dažādu koncentrāciju šķīdumiem (t.i. pie  $C_0 = 23$  g/150 ml,  $C_0 = 28$  g/150 ml un  $C_0 = 33$  g/150 ml), tādēļ Tev būs vairākas reizes jānomaina milimetra papīra lapa. Milimetru papīru ievieto ekrānā un

piestiprina vai atlaiž, pagriežot skrūvi ekrāna stūrī.

- Pārliecinies, ka esi pierakstījis savu studenta numuru un atbilstošo šķīduma koncentrāciju uz katras milimetru papīra lapas.

## IV. Eksperimenti un uzdevumi

### A: Gaismas laušanas koeficienta mērījumi sālsūdens šķīdumam ūdenī. (4.5 punkti)

Zemāk uzskaitītie uzdevumi ir jāizpilda katram no trīs sāls koncentrācijām. Mērījumu kļūdas nav jārēķina.

<b>A.1</b>	Veic eksperimentu, lai iegūtu nolietu lāzera staru attēlu uz ekrāna. Pārzīmē attēlu ar zīmuli uz milimetru papīra, kas ir piestiprināts ekrānam, kad difūzijas laiks būs sasniedzis $t = 30$ minūtes.	1.2 pt.
<b>A.2</b>	Izmēri $Z$ , $d$ , $Z_0$ , $\xi_i$ un $\delta_i$ (kur $i = 1, \dots, 20$ ir mērījuma numurs atbilstoši dažādām vetrikālās koordinātes vērtībām), izmantojot lāzera staru grafiku uz milimetru papīra pie $t=30$ min. Lielumus $Z$ , $d$ , $Z_0$ , $\xi_i$ un $\delta_i$ norādi centimetros. Pievērs uzmanību tam, ka $Z$ , $d$ un $Z_0$ nav atkarīgi no mērījuma numura. Ieraksti rezultātus Tabulā 1.	1.5 pt.
<b>A.3</b>	Aprēķini $Y_i$ un $\left(\frac{dn}{dY}\right)_i$ (kur $i = 1, \dots, 20$ ir mērījuma numurs) pie $t=30$ min. Pievērs uzmanību tam, ka $Z$ , $d$ un $Z_0$ nav atkarīgi no mērījuma numura. Ieraksti rezultātus Tabulā 2. Uzzīmē $\left(\frac{dn}{dY}\right)_i$ atkarību no $Y_i$ difūzijas laikam $t = 30$ min.	1.5 pt.
<b>A.4</b>	Nosaki $Y_i$ pie $\left(\frac{dn}{dY}\right)_i$ maksimuma, kas iegūts no uzdevuma A.3. Apzīmē šo $Y_i$ vērtību ar $h$ .	0.3 pt.

## B: Difūzijas koeficienta noteikšana (4.2 punkti)

Līknes, kas ir iegūtas uzdevumā A.3, var tuvināti aprakstīt ar sekojošiem vienādojumiem:

$$\left(\frac{dn}{dY}\right)_i = \left(\frac{dn}{dC}\right) \left(\frac{dC}{dY}\right)_i \quad (3)$$

$$\left(\frac{dC}{dY}\right)_i \approx \frac{C_o}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{(h-Y_i)^2}{4Dt}} \quad (4)$$

kur  $C$ ,  $C_0$ ,  $D$ ,  $t$  un  $h$  apzīmē attiecīgi sāls koncentrāciju, sāls sākotnējo koncentrāciju, difūzijas koeficientu, difūzijas ilgumu (laiku), un  $Y_i$  vērtību pie laušanas koeficienta gradienta  $(dn/dY)$  maksimuma. Difūzijas koeficientu var iegūt no vienādojumiem (3) un (4), izveidojot no tiem lineāru sakarību starp  $(dn/dY)_i$  un  $Y_i$  funkcijām.

<b>B.1</b>	Balstoties uz vienādojumiem (3) un (4), atrodi funkcijas $f\left(\frac{dn}{dY}\right)$ un $g(Y)$ tādas, ka $f\left(\frac{dn}{dY}\right)$ atkarība no $g(Y)$ kļūst lineāra.	0.9 pt.
<b>B.2</b>	Izveido tabulu (Tabula 3 atbilst lapā), kurā ir aprēķinātas lineāru sakarību veidojošās funkcijas no uzdevuma punkta B.1, izmantojot savus datus, kas ir iegūti uzdevuma punktos A. Attēlo iegūto sakarību grafiski.	1.8 pt.
<b>B.3</b>	Nosaki koeficientu $D$ no lineārā grafika, kas ir iegūts uzdevuma punktā B.2 pie $t = 30$ min. Ievēro, ka lineārā sakarība var būt spēkā tikai tavu datu apakškopai.	1.5 pt.

## C. Nelineārā difūzija (1.3 punkti)

<b>C.1</b>	Iepriekšējā analīze izmanto pieņēmumu, ka $D$ nav atkarīgs no $C$ . Ja tas tā nav, tad difūzija tiek saukta par nelineāru. Tomēr $\frac{dn}{dY}$ maksimuma tuvumā to var uzskatīt par parasto difūziju, ar difūzijas koeficientu, kas atbilst konkrētajai koncentrācijas vērtībai. Nosaki difūzijas koeficienta izmaiņas ātrumu atkarībā no koncentrācijas ar grafisko metodi, izmantojot uzdevuma punktā B iegūtos rezultātus.	1.3 pt.
------------	---	---------