

Sóoldatok törésmutató-gradiensének és diffúziós együtthatójának meghatározása lézersugár eltérüléséből

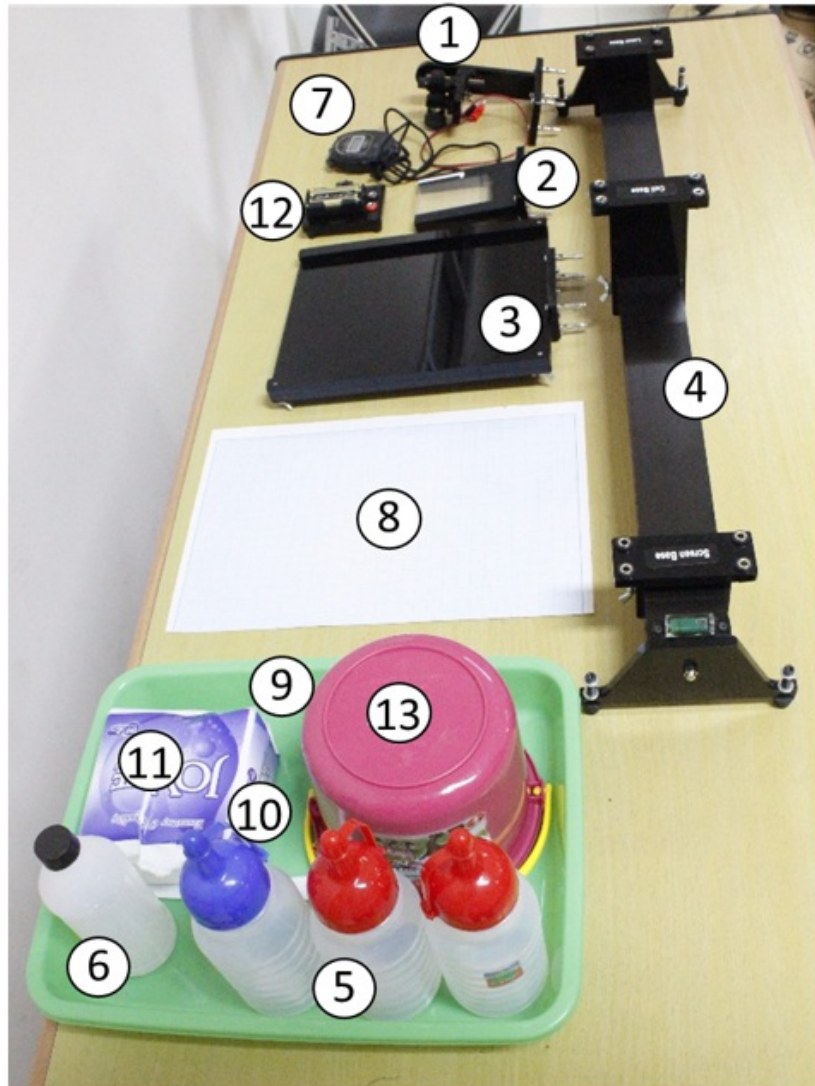
I. Bevezetés

Diffúzió során atomok vagy molekulák véletlen mozgásán keresztül jut egy rendszer termodinamikai egyensúlyba. Például, ha egy edény vizet és sóoldatot tartalmaz, akkor diffúzió indul a magasabb sókoncentrációjú helyekről az alacsonyabb koncentrációjúak felé. A diffúzió sebességét a D diffúziós együttható jellemzi. A diffúzió fontos szerepet játszik egy sor különböző folyamatban a biofizikától az asztrofizikáig. A mostani kísérleti feladatban sóoldat diffúzióját vizsgáljuk. A sórészecskék diffúzióval mozognak a sóoldatból a desztillált vízbe, és így egy átmeneti réteg jön létre, amelyben a sókoncentráció változik. Az oldat optikai törésmutatója függ a koncentrációtól, ezért a diffúziós jelenséget optikai módszerrel, lézersugár eltérülése segítségével tanulmányozhatjuk.

II. Célkitűzések

1. Az oldott só vízben való diffúziós együtthatójának meghatározása az optikai törésmutató gradiensének mérésével.
2. A diffúziós együttható sókoncentrációtól való függésének meghatározása.

III. Eszközök



1. ábra Kísérleti eszközök.

1. Síkban szórt fényt adó lézeregység (lézergyő és hengerlencse, hullámhossz: $\lambda = 632 \text{ nm}$)
2. Diffúziós cella (6,5 cm x 0,8 cm x 9,5 cm) állvánnyal
3. Ernyő állvánnyal
4. Optikai sín hossz-skálával
5. Sóoldatok (salt-water solution)
6. Desztillált víz (Aquadest)
7. Stopperóra
8. Milliméterpapír
9. Pipetta (cseppentő)
10. Műanyag kés + papírzsebkendő a törléshez

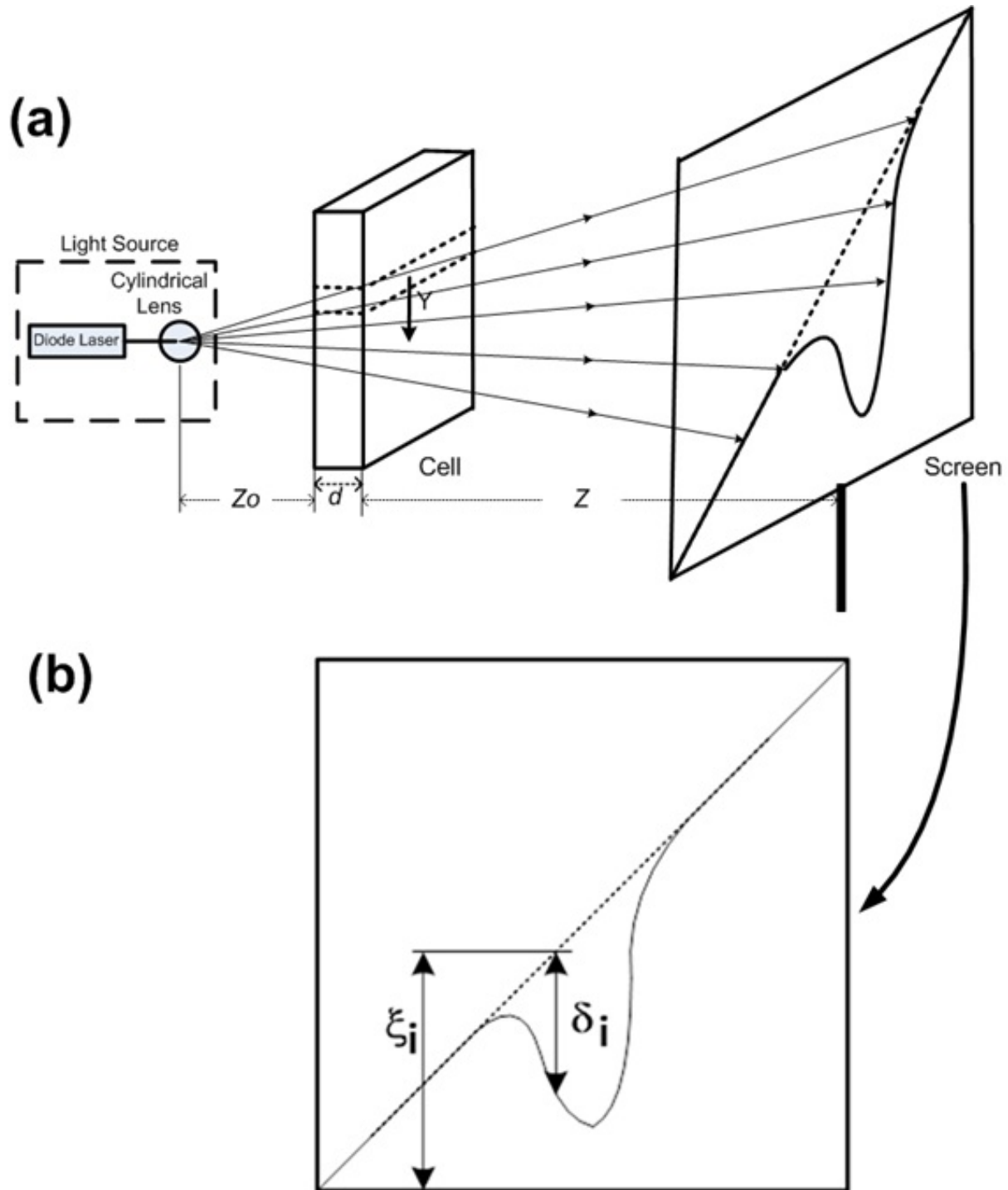
Experiment

Hungary

E1

11. Papírzsebkendő
12. Elem
13. Vödör az elhasznált sóoldathoz

A kísérleti elrendezés a 2. ábrán látható.



2. ábra (a) A kísérleti elrendezés. A diffúziós cella sóoldatot tartalmaz, melynek tetejére desztillált víz van rétegezve. (b) Az ernyőn megjelenő tipikus eltérülési kép, amely a diffúzió megindulása után létrejön.

Ahhoz, hogy megkapjuk az oldatban a törésmutató-gradienst a függőleges helyzet függvényében, kapcsolatot kell találni az ernyőn mért ξ függőleges helyzet és a cellában levő Y magasság között, valamint a fénysugár δ függőleges eltérése és a dn/dY törésmutató-gradiens között. A kísérleti elrendezés geometriájából (2. ábra) megkapható, hogy

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

ahol Z , Z_0 és d rendre a fényforrás és a cella közti távolságot, a diffúziós cella és az ernyő közti távolságot illetve a cella vastagságát jelöli, a 2(a) ábrán látható módon. **A lézeregység állványán levő vonal a hengerlencse helyzetét jelöli, ami a Z_0 távolság méréséhez szükséges.**

Mind a cella d vastagsága, mind pedig a törésmutató-gradiens olyan kicsiny, hogy a fénytörés hatására a cellában a fénysugár függőleges elmozdulása elhanyagolható. Ebben a közelítésben a fénysugarak függőleges magassága a cellában közel állandó, és a fénysugarak eltérülési szögét az ehhez a magassághoz tartozó törésmutató-gradiens határozza meg.

Megmutatható, hogy

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

Kísérleti eljárások:

- Ahhoz, hogy a lézernyaláb kirajzolja a 2b ábrán látható eltérülési képet, az 1. ábrán látható eszközöket össze kell raknod a 2(a) ábrán látható vázlat szerint.

- Bizonyosodj meg arról, hogy a lézer be van kapcsolva, és a diffúziós cellán merőlegesen áthaladó fénysugarak nyoma a cellán és az ernyőn is átós egyenes. A Z , Z_0 távolságok és a lézer fókusz távolságának állításával (a lézer hátsó részének tekerésével) hozz létre az ernyőn egy fényes, jól fókuszált vonalat! Az átlós vonal irányát is állíthatod a lézer egészének forgatásával (ehhez lazítsd ki a lézer tetején levő csavart). Üres cella esetén egyenes, átlós vonalat látsz.
- A lézersugár akkor térül el, ha két különböző oldat diffúzióval keveredik. Először sóoldattal töltsd fel a cellát a fehér vonallal jelzett magasságig! Ezután a cella oldalán található csatornán keresztül pipettával lassan csepegtess a cellába körülbelül 40 csepp vizet. Ekkor indítsd el a stopperórát, amivel diffúziós profil időfejlődését méred. Ha Z , Z_0 és a lézer magassága optimálisan van beállítva, akkor az eltérült lézersugár nyoma az ernyő közepére esik, tiszta, és a görbén az esés mélysége a lehető legnagyobb. A mérési hiba minimalizálása érdekében ezt az optimális beállítást kell megtalálnod.
- Harminc perces diffúzió után az ernyőre rögzített milliméterpapírra ceruzával átrajzolhatod a lézersugár nyomát! Ebben a kísérletben a mérést három különböző koncentrációjú sóoldattal kell majd elvégezned ($C_0 = 23$ g/150 ml, $C_0 = 28$ g/150 ml és $C_0 = 33$ g/150 ml), így többször kell kicserélned a milliméterpapírt. A milliméterpapír az ernyő sarkánál levő csavar segítségével rögzíthető az ernyőre.
- Ellenőrzd, hogy ráírtad a kódodat (student code) és az oldat koncentrációját a milliméterpapírra.

IV. Kísérletek és feladatok

A: Sóoldat törésmutató-gradiensének mérése (4.5 points)

A következő lépéseket mindhárom koncentrációjú sóoldatra el kell végezned. Hibaszámítást nem kell végezned.

A.1	Hozd létre az eltérülő lézer-nyomot az ernyőn! Ceruzával másold át a nyomot az ernyőhöz csatolt milliméterpapírra, 30 perces diffúziós idő (t) elteltével.	1.2 pt.
A.2	A milliméterpapíron 30 perces diffúziós idő elteltével kialakult lézernyomból mérd meg a Z , d , Z_0 , ξ_i és δ_i távolságokat centiméterben (ahol $i = 1, \dots, 20$, a különböző vízszintes helyeknél felvett adatok száma). A Z , d , és Z_0 távolságok mindegyik mérésre azonosak. A mérési adatokat rögzítsd az 1. táblázatban.	1.5 pt.
A.3	$t = 30$ perces diffúziós időnél számold ki Y_i -t és $\left(\frac{dn}{dY}\right)_i$ -t (az $i = 1, \dots, 20$ mérési pontokra). A Z , d és Z_0 távolságok mindegyik mérésre azonosak. A mérési adatokat rögzítsd a 2. táblázatban. Ábrázold a $\left(\frac{dn}{dY}\right)_i$ -t Y_i függvényében $t = 30$ percnél.	1.5 pt.
A.4	Határozd meg a maximális $\left(\frac{dn}{dY}\right)_i$ -hez tartozó Y_i -t! Ezt tekintsd h -nak!	pt.

B: A diffúziós együttható meghatározása (4.2 points)

Az A.3 kérdésben kapott görbékre a következő egyenletek illeszthetők:

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

$$\left(\frac{dC}{dY}\right)_i \approx \frac{C_0}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{(h-Y_i)^2}{4Dt}} \quad (4)$$

ahol C , C_0 , D , t , h rendre a koncentrációt, a kezdeti sóoldat koncentrációját, a diffúziós együtthatót, a diffúzió idejét és a (dn/dY) törésmutató-gradiens maximumához tartozó Y_i értéket jelöli. Megjegyezzük, hogy (dn/dC) állandónak tekinthető. A diffúziós együttható úgy kapható meg, hogy a (3) és (4) egyenletek segítségével egy lineáris összefüggést adunk meg $(dn/dY)_i$ és Y_i között.

B.1	A (3) és (4) egyenlet alapján adj meg olyan $f\left(\frac{dn}{dY}\right)$ és $g(Y)$ függvényeket, hogy az $f\left(\frac{dn}{dY}\right)$ és $g(Y)$ közti kapcsolat lineáris legyen!	0.9 pt.
B.2	Készíts táblázatot (3. táblázat a válaszlapon), amely az adatpontokat valamint a B1 feladatból nyert lineáris összefüggés abszcissza és ordináta-értékeit tartalmazza. Az adatokat az A részből vedd! Ábrázold a táblázat adatait!	1.8 pt.
B.3	Határozd meg a D diffúziós együtthatót abból a B2 feladatban kapott lineáris grafikonból, amely a $t = 30$ perc adatsorhoz tartozik. Figyelj arra, hogy a lineáris függés esetleg csak a mért adatsor egy részében teljesül.	1.5 pt.

C. Nemlineáris diffúzió (1.3 points)

C.1	A fenti analízis azon a feltételezésen alapul, hogy D független C -től. Ha ez nem igaz, akkor úgynevezett nemlineáris diffúzióról beszélünk. Azonban $\frac{dn}{dY}$ maximumának közelében ezt is úgy tekinthetjük, mint egy közönséges diffúziót, azzal a diffúziós állandóval, amely a konkrét koncentrációhoz tartozik. Határozd meg grafikusán a B rész adataiból a diffúziós együttható változásának mértékét a sókoncentráció változás mértékének függvényében.	1.3 pt.
------------	---	---------