

מדידת מקדם השבירה של המים על ידי החזרה גמורה

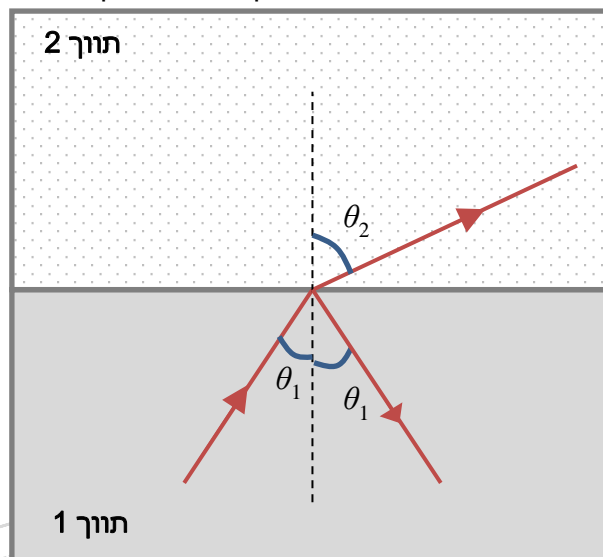
א. מטרת הניסוי

למדוד את מקדם השבירה של המים על ידי החזרה גמורה.

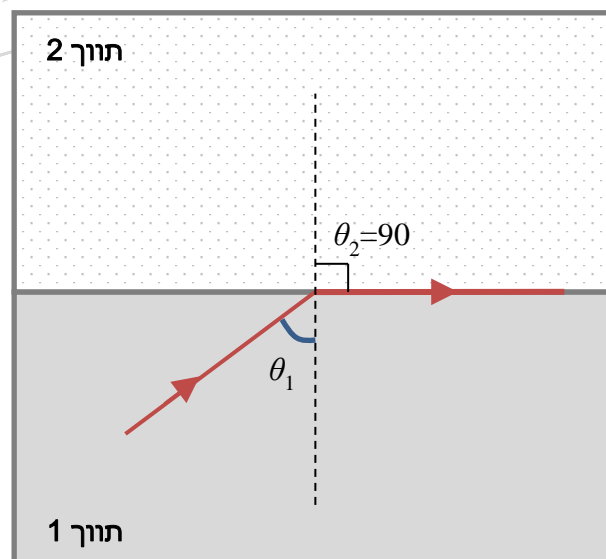
ב. רקע תיאורטי

זווית קריטית והחזרה גמורה

כאשר קרן אור עוברת מתווך 1 אל תווך 2 היא מתפצלת לשתי קרניים: קרן אחת מוחזרת משכבת הגבול שבין שני התווכים, והקרן השנייה נשברת הממשיכה לנוע בתווך 2 (ראה איור 1). אם מתקיים שמקדם השבירה של התווך 1 גדול יותר ממקדם השבירה של התווך 2 ($n_1 > n_2$), נקבל שזווית השבירה (הזווית θ_2) תהיה גדולה יותר מזווית הפגיעה θ_1 (ראה איור 1). במצב זה, אם נגדיל את הזווית θ_1 בהדרגה, גם θ_2 תגדל, ומכיוון שמתקיים $\theta_2 > \theta_1$, אם נמשיך להגדיל את הזווית θ_1 , נגיע לערך מסוים של הזווית θ_1 שעבורו זווית השבירה $\theta_2 = 90^\circ$ (ראה איור 2). זווית פגיעה זו שעבורה זווית השבירה היא 90° נקראת זווית קריטית ומסומנת ב- θ_c .



איור 1



איור 2

ניתן, על סמך חוק סנל, למצוא ביטוי עבור הזווית הקריטית וזאת על ידי ההצבה: $\theta_1 = \theta_c$ ו-
 $\theta_2 = 90^\circ$

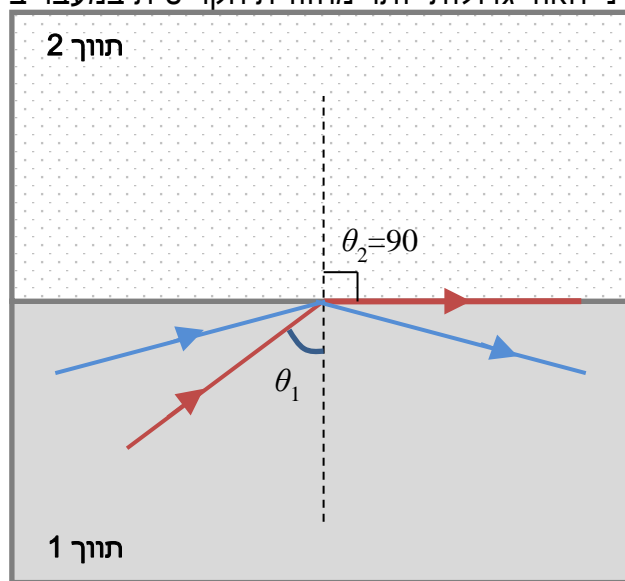
$$(1) \quad n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90 \Rightarrow \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

ברור שעל מנת שתהיה זווית כזו, על האור לעבור מתווך בעל מקדם שבירה גדול אל תווך בעל מקדם שבירה קטן ($n_1 > n_2$).

אם האור נופל על שכבת הגבול שבין שני התווכים בזווית גדולה יותר מהזווית הקריטית הוא מוחזר במלואו (החזרה גמורה של האור - ראה איור 3). במקרה זה שכבת הגבול שבין שני התווכים נהפכת למראה.

הנאים לקבלת החזרה גמורה הם:

- (1) האור עובר מתווך בעל מקדם שבירה גדול אל תווך אחר בעל מקדם שבירה נמוך יותר.
- (2) זוויות הפגיעה של קרני האור גדולות יותר מהזווית הקריטית במעבר בין שני תווכים אלה.



איור 3

מקור אור נקודתי בקרקעית כלי המכיל מים או נוזל אחר

באיור 4 מתואר מקור אור נקודתי הנמצא בנקודה A הנמצאת על קרקעית כלי המכיל מים עד לגובה h. האור הנופל ממקור האור על פני המים בזוויות קטנות מהזווית הקריטית נשבר ויוצא אל האוויר. האור הנופל ממקור האור על פני המים בזווית השווה לזווית הקריטית גם נשבר ויוצא אל האוויר בזווית שבירה שהיא 90 מעלות. האור הנופל ממקור האור על פני המים בזוויות גדולות יותר מהזווית הקריטית מוחזר במלואו אל המים.

לפי זה, האור שמקורו במקור האור הנקודתי, יוצא מהמים אל האוויר דרך משטח מעגלי שקוטרו BC באיור 4, כאשר הנקודות B ו-C הן הנקודות בחתך הדיף שבהן זווית הפגיעה של האור שווה לזווית הקריטית במעבר האור מהמים אל האוויר. כלומר מתקיים $\angle ACD = \angle ABE = \theta_c$. לכן רדיוס המעגל ממנו האור יוצא מהמים אל האוויר נתון על ידי:

$$(2) \quad R = OB = h \tan \theta_c$$

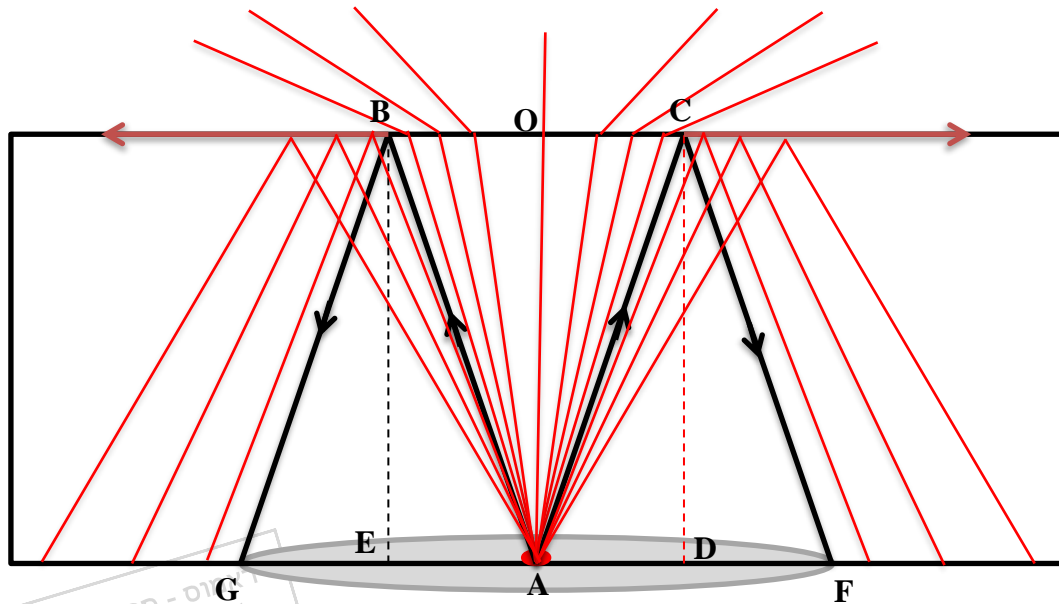
האור המוחזר מפני המים החזרה גמורה, נופל על קרקעית הכלי ומאיר אותה כשהוא תוחם משטח מעגלי מוצל שלא מוחזר אליו אור (ראה איור 4). רדיוסו של המעגל המוצל הוא AF. אם נסמן גודל זה ב-r, נקבל:

$$(3) \quad r = 2h \tan \theta_c$$

מהמשוואה האחרונה ניתן לקבל את הביטי הבא עבור רדיוס המעגל המוצל:

$$(4) \quad r = \left(\frac{2}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) h$$

כאשר h הוא עומק המים ו- n הוא מקדם השבירה של המים.



איור 4

ג. מכשור וציוד

מכשיר לייזר קטן.

(1) סטנד עם זרוע אחיזה על מנת לתפוס את מכשיר הלייזר.

(2) צלחת מעבדתית גלילית שקופה עם קרקעית שטוחה. רדיוס הצלחת צריך להיות לפחות 6cm ועומקה 3cm לפחות.



(3) מחוגה וסרגל.

(4) נייר.

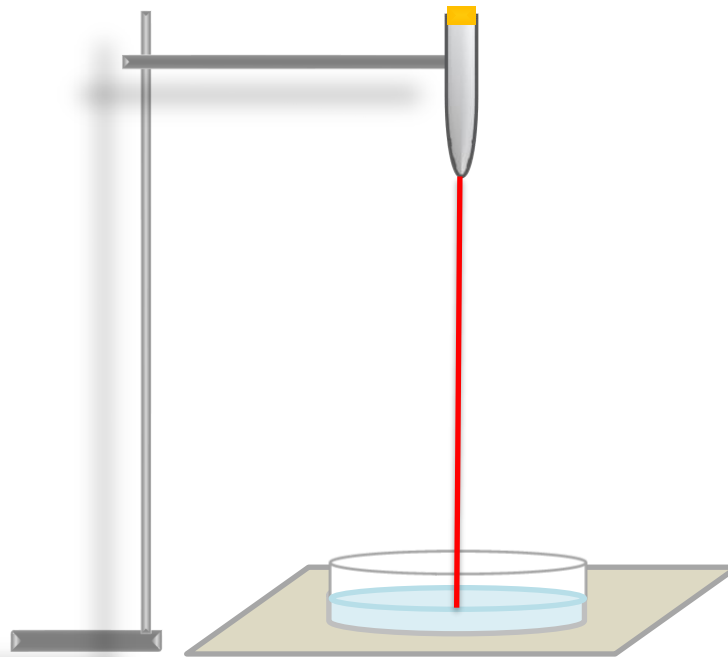
(5) מים.

(6) מזרק המאפשר למדוד נפח מים בדיוק רב.



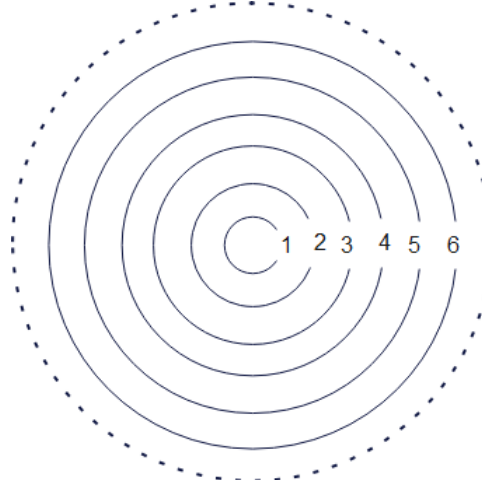
ד. מהלך הניסוי (הרכבת המערכת, וביצוע הניסוי)

(1) תפוס את מכשיר הלייזר באמצעות הזרוע המוחזקת במעמד, וכוון את הלייזר כך שהאלומה שלו תהיה מאונכת לשולחן כלפי מטה כפי שמתואר באיור 5.



איור 5

(2) מדוד את הרדיוס הפנימי של הצלחת ורשום את התוצאה במחברתך.
 (3) שרטט על נייר לבן 6 מעגלים קונצנטריים (בעלי מרכז משותף) שהרדיוסים שלהם: 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 סנטימטרים. ולבסוף סרטט מעגל שביעי שרדיוסו שווה לרדיוס הפנימי של הצלחת, ולאחר מכן גזור את הנייר בצורת עיגול לאורך היקף המעגל האחרון.



(4) הדבק את הנייר עם העיגולים על קרקעית הצלחת.
 (5) שים את הצלחת על השולחן מתחת ללייזר, כך שאלומת הלייזר פוגעת במרכז המשותף של המעגלים (ראה איור 5).
 (6) מלא את המזרק במים עד לנפח מקסימלי. והתחל להזריק את המים לתוך הצלחת. אור הלייזר נכנס אל המים, נופל על הנייר במרכז העיגולים ומוחזר משם לכל הכיוונים אל פני המים. המרכז המשותף שממנו מוחזר האור נהפך למקור אור נקודתי. בגלל ההחזרה הגמורה של אור הלייזר מפני המים, נוצר על הנייר הלבן שבקרקעית הצלחת אזור מואר התוחם מעגל מוצל שמרכזו

נמצא במרכז המשותף של המעגלים הקונצנטריים. ככל שגובה המים גדל, יגדל רדיוס המעגל המוצל. ממשיכים להזריק מים לתוך הצלחת עד שהמעגל המוצל מתלכד עם המעגל הראשון. במצב זה רדיוס המעגל המוצל הוא 1cm. רושמים את r_1 ואת נפח המים שהזרקנו לתוך הכלי (V_1) .

(7) מוסיפים עוד כמות מים באמצעות המזרק עד שרדיוס המעגל המוצל מתלכד עם רדיוס המעגל השני על נייר שהוא $r_2 = 1.5\text{cm}$. הנפח הכולל של המים בצלחת שווה לנפח המים שהיו מקודם בתוספת נפח המים שהוספו אותם במדידה השנייה. רושמים את r_2 ונפח המים בכלי V_2 .

(8) חוזרים על הפעולות הקודמות עבור שאר המעגלים ורושמים את התוצאות בטבלה הבאה:

מספר המדידה	הרדיוס (cm)	נפח המים (V) (cm^3)
1 <input type="checkbox"/>	1.0 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 <input type="checkbox"/>	1.5 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 <input type="checkbox"/>	2.0 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 <input type="checkbox"/>	2.5 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 <input type="checkbox"/>	3.0 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 <input type="checkbox"/>	3.5 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ה. עיבוד וניתוח המדידות

(1) על מנת שנוכל להיעזר בקשר (4) בעיבוד תוצאות הניסוי, נצטרך להכין טבלה המתארת את r כפונקציה של גובה המים בכלי, h . מכיוון שקשה מאוד למדוד את גובה המים באופן ישיר, נחשב את גובה המים על פי הקשר $V = \pi R^2 h$, כאשר V הוא נפח המים בכלי, R הוא הרדיוס הפנימי של הכלי ו- h הוא גובה המים בכלי. מקשר זה נקבל:

$$(5) \quad h = \frac{V}{\pi R^2}$$

(2) חשב את גובה המים בכל אחת מהמדידות וזאת על ידי שימוש בקשר (5), והכן טבלה המתארת את רדיוס המעגל המוצל, r , כפונקציה של גובה המים h .

(3) שרטט גרף המתאר את r כפונקציה של h .

(4) חשב את שיפוע הגרף ששרטטת וחשב באמצעותו את מקדם השבירה של המים.

ו. שאלות הכנה

(1) הגדר זווית קריטית ובטא את גודלה באמצעות מקדם השבירה של התווך ממנו האור עובר, ומקדם השבירה של התווך אליו האור עובר.

(2) הגדר החזרה גמורה וציין מהם התנאים לקבלת החזרה גמורה משכבת הגבול בין שני תווכים שונים.

(3) חשב את הזווית הקריטית במעבר האור מהמים אל האוויר. נתון שמקדם השבירה של המים הוא 1.33.

(4) מקור אור נקודתי נמצא בקרקעית בריכת מים. עומק המים בבריכה 60cm.

א. חשב את שטח המעגל שעל פני המים שממנו האור הנפלט ממקור האור יוצא אל האוויר.

ב. חשב את שטח המעגל המוצל הנוצר על קרקעית הבריכה בגלל החזרה הגמורה של האור מפני המים.

(5) הוכח את הקשר (4).