

שבירת אור וחוק סנל

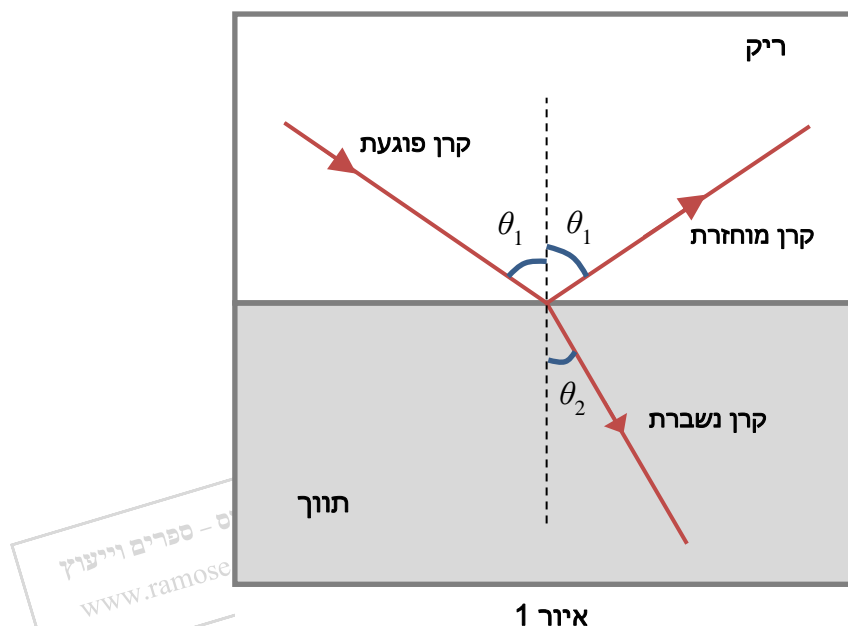
א. מטרת הניסוי

- (1) לחקור את תופעת השבירה.
- (2) לחקור את חוק סנל.
- (3) למדוד את מקדם השבירה של זכוכית.
- (4) לחקור את תופעת ההחזרה הגמורה ולמדוד את הזווית הקריטית במעבר אור מזכוכית אל האוויר.

ב. רקע תיאורטי

שבירת אור וחוק סנל

כאשר קרן אור המתקדמת באוויר ופוגעת בתווך שקוף, הקרן מתפצלת לשתיים. קרן אחת מוחזרת מפני התווך, והשנייה ממשיכה לנוע בתוך התווך כשהיא משנה את כיוון תנועתה ביחס לכיוון תנועת הקרן לפני הפגיעה בתווך (ראה איור 1). תופעה זו, של שינוי כיוון תנועת האור כשהוא עובר מריק אל תווך מסוים (או כפי שנראה בהמשך, מתווך שקוף אחד אל תווך שקוף אחר) נקראת שבירת אור.



הקרן המוחזרת משכבת הגבול שבין שני התווכים מקיימת את חוקי ההחזרה, לעומת זאת, הקרן הנשברת מקיימת את הקשר הבא, הנקרא חוק סנל:

$$(1) \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n$$

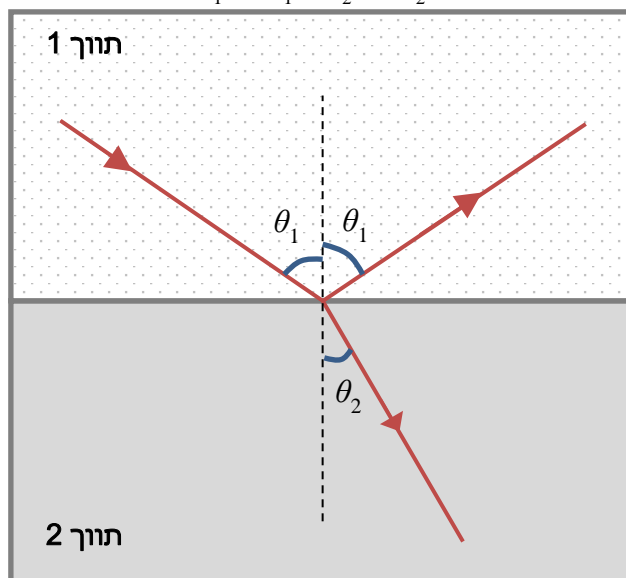
כאשר: θ_1 היא הזווית הפגיעה ו- θ_2 היא זווית השבירה. זוויות אלה נמדדות ביחס לאנך למישור המפריד בין הריק לתווך. n הוא קבוע התלוי בסוג החומר והנקרא מקדם השבירה של החומר. מקדם השבירה של החומר נמדד תמיד ביחס לריק (מעבר האור מהריק אל החומר). הניסויים מראים שהזווית בחומר תמיד קטנה מהזווית בריק ($\theta_1 > \theta_2$), לכן, מכיוון ששתי הזוויות θ_1 ו- θ_2 הן חדות, נקבל שמתקיים $\sin \theta_1 > \sin \theta_2$, כתוצאה מכך נקבל על פי חוק סנל שתמיד מתקיים $n > 1$. עבור הריק $n = 1$. עבור האוויר, מקדם השבירה קרוב מאוד לאחד. מקדם השבירה

של האוויר הוא 1.0003 בערך, ולרוב מציבים $n=1$ עבור האוויר, לכן ניתן בקירוב טוב מאוד להתייחס לאוויר כאל ריק במקרה של שבירת אור. ניתן להראות שמקדם השבירה n מבטא את היחס שבין מהירות האור בריק (c) לבין מהירותו בתוך התווך (v):

$$(2) \quad n = \frac{c}{v}$$

אם קרן האור עוברת מתווך 1 (שקוף) כלשהו אל תווך אחר 2, חלק מהקרן מוחזר משכבת הגבול שבין שני התווכים והחלק האחר נשבר (ראה איור 2). במקרה זה מתקיים הקשר הבא בין הזוויות θ_1 ו- θ_2 (הכללה של חוק סנל):

$$(3) \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



איור 2

כאשר θ_1 היא הזווית של הקרן בתווך 1, θ_2 היא הזווית של הקרן בתווך 2, n_1 הוא מקדם השבירה של התווך 1 ו- n_2 הוא מקדם השבירה של התווך 2. שוב, θ_1 ו- θ_2 נמדדות ביחס לאנך.

מסקנות מחוק סנל:

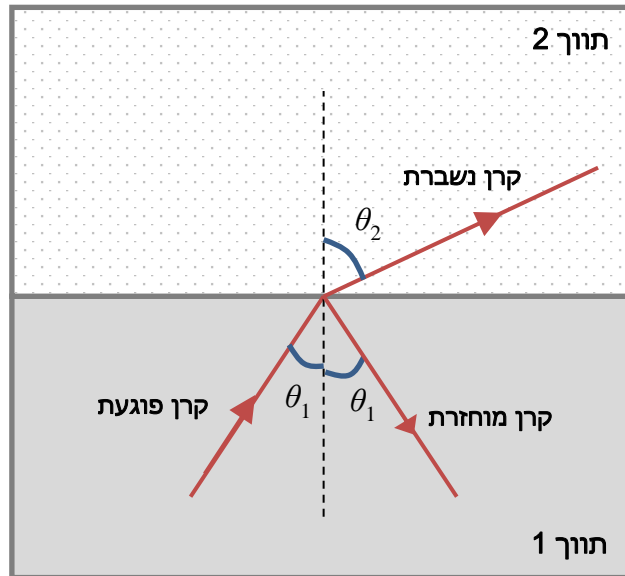
- כאשר $\theta_1 = 0$ (כלומר הקרן ניצבת למישור המפריד בין שני התווכים), מתקבל על פי חוק סנל שגם $\theta_2 = 0$. כלומר הקרן ממשיכה בקו ישר ולא נשברת.
- אם $n_1 > n_2$ נקבל ש- $\theta_1 < \theta_2$ וההפך נכון (ראה שאלת הכנה מס' 3). כלומר תמיד הזווית קטנה יותר בתווך שמקדם השבירה שלו גדול יותר.

הזווית הקריטית

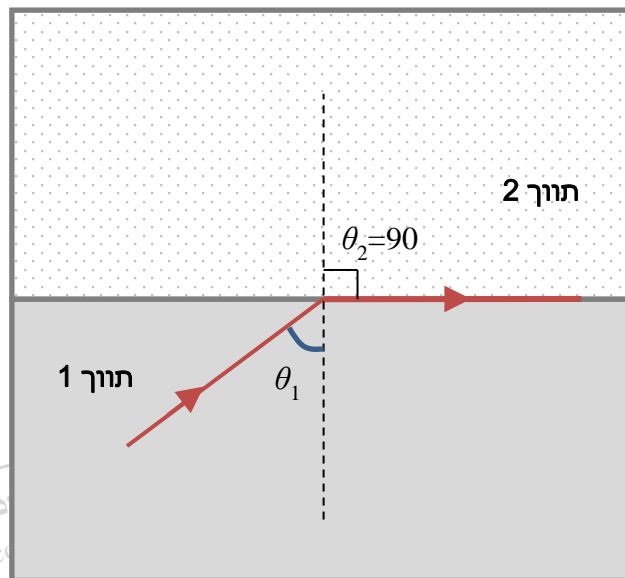
כאשר קרן אור נופלת על שכבית הגבול שבין שני תווכים 1 ו-2, כאמור, חלק ממנה מוחזר והחלק האחר נשבר (ראה איור 3). אם מתקיים ש- $n_1 > n_2$, נקבל שזווית השבירה (הזווית θ_2) תהיה גדולה יותר מזווית הפגיעה θ_1 (ראה איור 3).

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

(4). זווית פגיעה זו שעבורה זווית השבירה היא 90° נקראת זווית קריטית ומסומנת ב- θ_c .



איור 3



איור 4

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

$$(4) \quad n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90 \Rightarrow \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

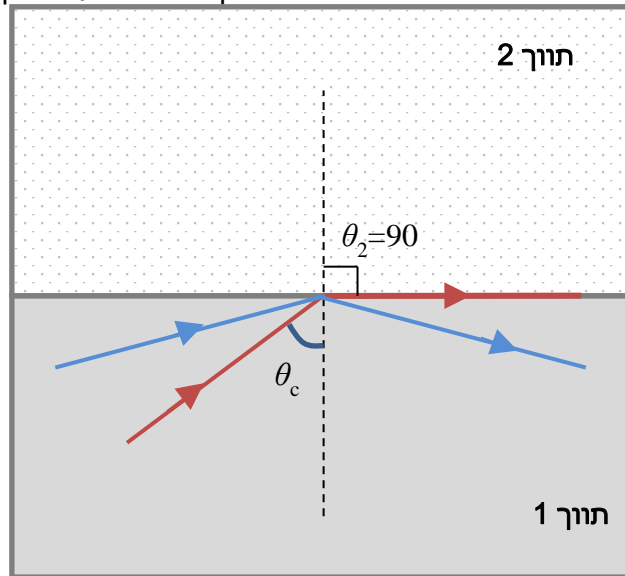
ברור שעל מנת שתהיה זווית כזו, צריך להתקיים $n_2 < n_1$, כלומר על האור לעבור מתווך בעל מקדם שבירה גדול אל תווך בעל מקדם שבירה קטן.

החזרה גמורה

כאשר האור עובר מתווך בעל מקדם שבירה גדול אל תווך אחר בעל מקדם שבירה נמוך יותר, ומתקיים שזווית הפגיעה של קרני האור גדולות יותר מהזווית הקריטית ($\theta_1 > \theta_c$), קרני האור מוחזרות מהמישור המפריד בין שני התווכים באופן מלא ולא חלקי (ראה איור 5). ההחזרה במקרה זה נקראת החזרה גמורה.

התנאים לקבלת החזרה גמורה הם:

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

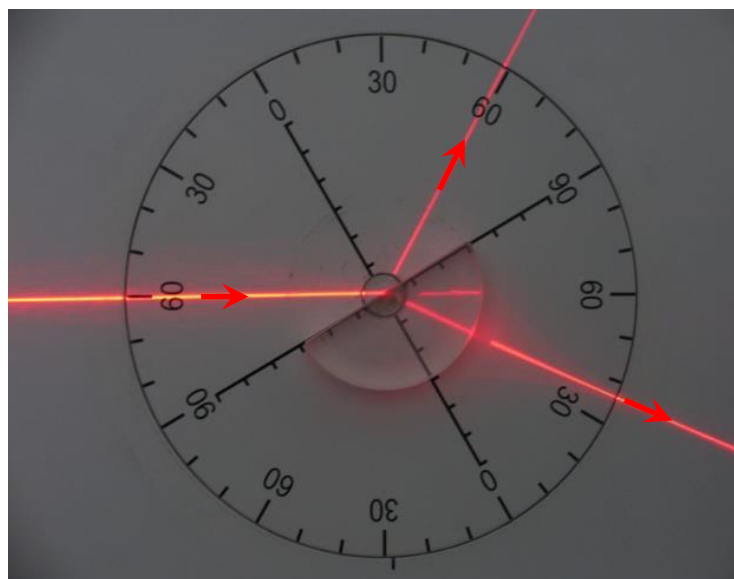


איור 5



ג. מכשור וציוד

- (1) מכשיר לייזר.
- (2) מתקן המורכב מבסיס משורטט עליו עיגול המחולק למעלות. מתקן זה מאפשר מדידת זוויות פגיעה ושבירה של אלומת הלייזר (ראה איור 6).
- (3) גוף חצי גלילי עשוי מפרספקס (או זכוכית - ראה איור 6). כאשר קרן אור נופלת על מרכז הגליל כפי שמתואר באיור 6, היא נשברת, וממשיכה לנוע בתוך הגוף. כשהיא נופלת על החלק הקמור של הגוף בצד השני (שהחתך שלו חצי מעגל), זווית הפגיעה שלה היא אפס (ראה שאלת הכנה מס' 6), לכן היא אינה נשברת כשהיא יוצאת שוב אל האוויר וממשיכה בקו ישר עד לשנתות של מד הזווית, ובכך ניתן למדוד את זווית השבירה במדויק.



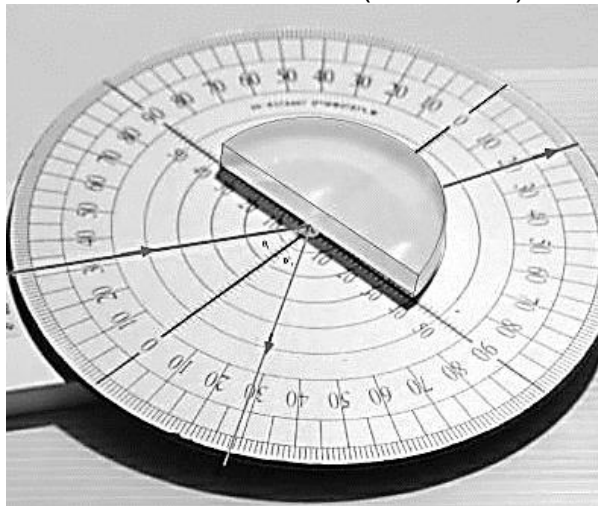
איור 6

ד. מהלך הניסוי (הרכבת המערכת, וביצוע הניסוי)

בניסוי זה קיימים שני חלקים

חלק ראשון: חוק סנל ומדידת מקדם השבירה של הזכוכית (או הפרספקס)

(1) מקם את המתקן הכולל את הבסיס עם העיגול המחולק לזוויות במרכז השולחן, ובמקום המיועד לכך שים את חצי הגליל העשוי מפרספקס כפי שמתואר באיור 7, וכך שמתקיים: (1) מרכז הגליל נמצא במרכז המעגל. (2) החתך הישר של חצי הגליל נמצא לאורך קו ה- 90° של מד הזווית (ראה איור 7). במצב זה קו האפס ניצב לחתך הישר של חצי הגליל. סידור זה מקל עלינו במדידת זוויות הפגיעה והשבירה, כי הזווית שלאורכה נעה הקרה הנופלת היא זווית הפגיעה וכך גם לגבי זווית השבירה (ראה איור 7).

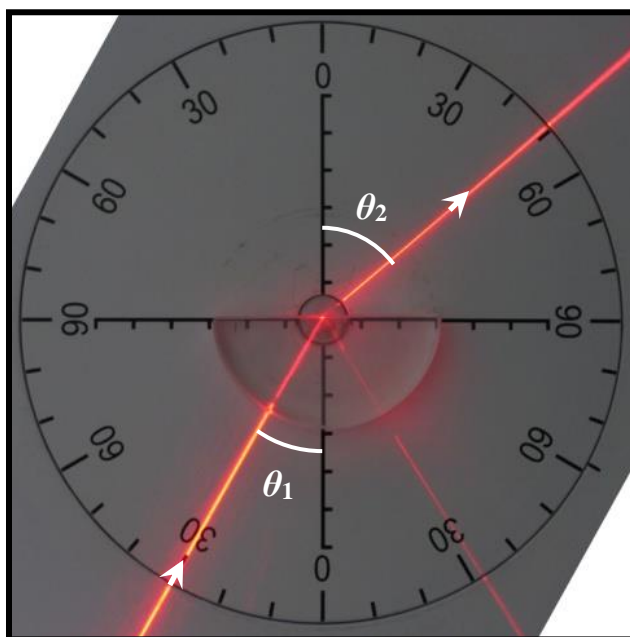


איור 7

(2) שנה מספר פעמים את זווית הפגיעה של קרן הלייזר, ולכל זווית פגיעה מדוד את זווית השבירה שלה.

(3) קבץ את המדידות בטבלה המתארת את זווית השבירה כפונקציה של זווית הפגיעה.

חלק שני: מדידת הזווית הקריטית במעבר אור מזכוכית לאוויר



איור 8

בחלק זה של הניסוי, על קרן האור לעבור מהזכוכית אל האוויר. על מנת שיהיה ניתן לבצע זאת, נשתמש באותה מערכת ניסוי שבחלק הקודם ונכוון את קרן הלייזר לכיוון מרכז חצי הגליל, אבל מהצד הקמור של חצי הגליל כפי שמתואר באיור 8. במקרה זה קרן האור הנכנסת אל הזכוכית אינה נשברת (ראה שאלת הכנה מס' 7). כשהקרן יוצאת מהזכוכית היא כן נשברת כך שזווית השבירה גדולה יותר מזווית הפגיעה ($\theta_2 > \theta_1$) באיור 8.

מגדילים בהדרגה את זווית הפגיעה, עד לקבלת הזווית הקריטית (עד שזווית השבירה מגיעה ל- 90°). רושמים את ערכה של הזווית הקריטית.

ה. עיבוד וניתוח המדידות

החלק הראשון:

- (1) הכן על סמך המדידות בחלק זה טבלה חדשה המתארת את סינוס זווית השבירה ($\sin \theta_2$) כפונקציה של סינוס זווית הפגיעה ($\sin \theta_1$).
- (2) שרטט על סמך הטבלה שהכנת, גרף המתאר את $\sin \theta_2$ כפונקציה של $\sin \theta_1$.
- (3) הסבר את צורת הגרף שקיבלת וחשב באמצעותו את מקדם השבירה של החומר ממנו עשוי חצי הגליל בניסוי זה (פרספקס בדרך כלל).

החלק השני.

- (1) חשב, על סמך משוואה (4), את הזווית הקריטית בניסוי זה, כאשר n הוא מקדם השבירה שמצאת בחלק הראשון של הניסוי.
- (2) השווה בין הערך שמדדת עבור הזווית הקריטית בחלק זה של הניסוי לבין הערך שחישבת אותו, וחשב את אחוז השגיאה.

ה. שאלות הכנה

- (1) הגדר מקדם השבירה והסבר את משמעותו.
- (2) הראה שבמעבר קרן אור מתווך אחד אל תווך אחר, הזווית תהיה גדולה יותר בתווך שמקדם השבירה שלו קטן יותר.
- (3) הגדר: זווית קריטית והחזרה גמורה.
- (4) מהו התנאי על מנת שיהיה ניתן לקבל זווית קריטית במעבר אור מתווך אחד לאחר?
- (5) מהם התנאים לקבלת החזרה גמורה במעבר אור מתווך אחד לאחר?
- (6) הסבר מדוע באיור 6, קרן הלייזר כשהיא יוצאת מהזכוכית אל האוויר אינה נשברת.
- (7) סבר מדוע באיור 8, קרן הלייזר כשהיא נכנסת מהאוויר אל הזכוכית אינה נשברת.
- (8) השלם את מהלך קרני האור בתרשימים הבאים:

