

## התאבכות ועקיפה של גלי אור

### א. מטרת הניסוי

- (1) לחקור את תופעת עקיפת האור מסדק יחיד ומסריג.
- (2) לחקור את תופעת התאבכות האור משני סדקים.
- (3) למדוד את אורך הגל של אור הלייזר באמצעות תבניות העקיפה מסדק בודד ומסריג וגם באמצעות תבנית ההתאבכות משני סדקים.

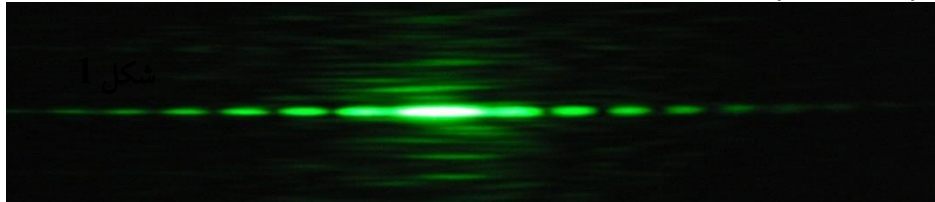
### ב. רקע תיאורטי

כאשר אור מונוכרומטי וקוהרנטי עובר דרך סדק בודד, או דרך סריג, נוצרת על המסך תבנית הנקראת תבנית עקיפה. תבנית העקיפה הוא מונח המשמש לתיאור תבנית התאבכות האור הנוצרת ממספר גדול מאוד של מקורות אור נקודתיים. בסריג יש מספר גדול מאוד של סדקים. כשהאור נופל על הסריג, כל סדק נהפך למקור אור "נקודתי". גם כאשר האור עובר דרך סדק, ניתן להתייחס אל הסדק כאוסף אינסופי של מקורות אור נקודתיים צמודים.

התבנית המתקבלת על המסך כתוצאה ממעבר אור קוהרנטי ומונוכרומטי דרך שני סדקים צרים נקראת תבנית התאבכות.

### תבנית עקיפה מסדק צר

כאשר מעבירים אור קוהרנטי ומונוכרומטי (כמו אור הלייזר) דרך סדק צר, מתקבלת על המסך מאחורי הסדק תבנית עקיפה המתוארת באיור 1.



איור 1

באיור 2 מוצגת מערכת הניסוי של עקיפת האור מסדק צר במבט מלמעלה. תבנית זו מורכבת מכתם אור מרכזי המוקף משני הצדדים בכתמים דומים אבל עוצמתם דועכת עם המרחק ממרכז התבנית. בין כתמי האור מפריד חושך (ראה איור 2). כתמי האור נוצרים מהתאבכות מלאה (וגם חלקית) של האור, והחושך המפריד בין הכתמים המוארים נוצר מהתאבכות הורסת של האור בנקודות אלה.

ניתן לחשב את הזוויות שבהן מתקבלות נקודות התאבכות ההורסת על המסך על פי הקשר הבא:

$$(1) \quad \sin \theta_n = \frac{\lambda}{w} n$$

כאשר הזווית מוגדרת כזוויות שבין האנך לסדק העובר במרכזו לבין הקו המחבר את מרכז הסדק עם נקודת ההתאבכות ההורסת (ראה איור 2). בקשר האחרון  $n$  הוא מספר שלם:  $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  ו- $w$  הוא רוחב הסדק.

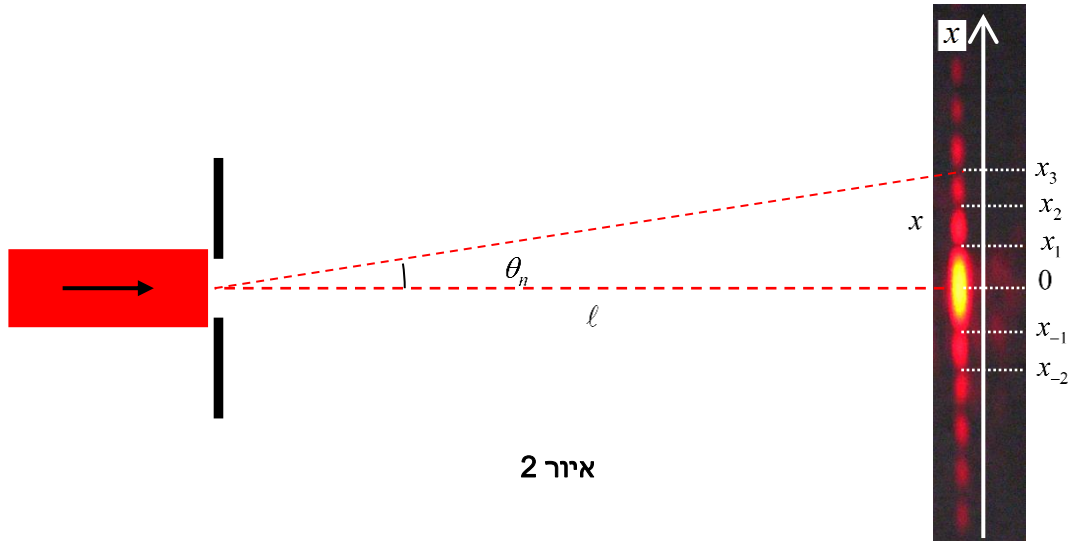
**קירוב יאנג:** מכיוון שאורכי הגל של האור הנראה הם קטנים מאוד, הזוויות המתקבלות מהקשר האחרון קטנות מאוד. לכן עבור זוויות אלה ניתן להשתמש בקשר הבא:

$$(2) \quad \sin \theta_n \approx \tan \theta_n = \frac{x_n}{\ell}$$

כאשר  $\ell$  הוא המרחק בין המסך לסדק ו- $x_n$  הוא מרחקה של נקודת ההתאבכות ההורסת מספר  $n$  ממרכז הכתם המרכזי שמשומן ב- $x = 0$  (ראה איור 2). משני הקשרים האחרונים מתקבל:

$$(3) \quad x_n = \frac{\lambda \ell}{w} n$$

שים לב ש- $x_n$  נקבע לפי ציר  $x$  הנמתח לאורך תבנית העקיפה שבו  $x = 0$  הוא מרכז הכתם המרכזי. הקשר האחרון נקרא קירוב יאנג.



איור 2

**תבנית ההתאבכות משני סדקים צרים וצמודים:**

כאשר מעבירים אור קוהרנטי ומונוכרומטי (כמו אור לייזר) דרך שני סדקים צרים מקבילים וצמודים, מתקבלת על המסך מאחורי הסדקים תבנית התאבכות של האור המתוארת באיור 3.



איור 3

באיור 4 מוצגת מערכת הניסוי של התאבכות האור משני סדקים במבט מלמעלה. תבנית זו מורכבת מכתמי אור זהים הצמודים זה לזה שמפריד ביניהם קווי חושך. כתמי האור נוצרים מהתאבכות מלאה (וגם חלקית) של האור, והחושך המפריד שבין הכתמים נוצר מהתאבכות הורסת של האור בנקודות אלה.

ניתן להראות שהזוויות שבהן מתקבלות נקודות ההתאבכות ההורסת במקרה זה ניתנות על ידי הקשר:

$$(4) \quad \sin \theta_n = \frac{\lambda}{d} \left( n - \frac{1}{2} \right)$$

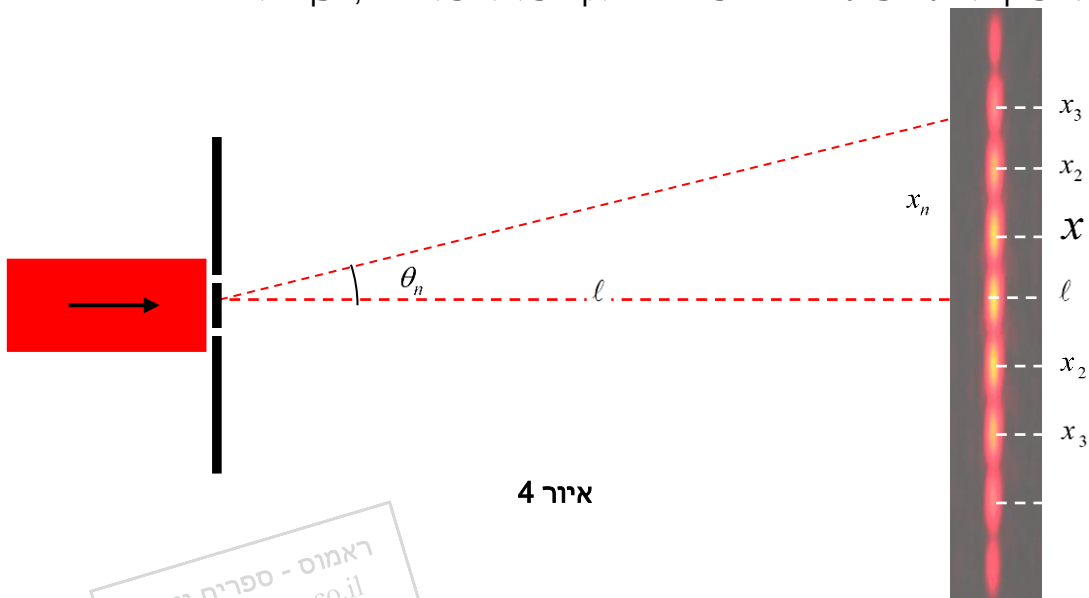
כאשר  $n$  הוא מספר שלם:  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  ו- $d$  הוא המרחק בין שני הסדקים. שים לב לכן ש- $n = 1$  שייך להתאבכות ההורסת הראשונה בצד החיובי של הציר, ו- $n = 0$  שייך להתאבכות

ההורסת הראשונה בצד השלילי של הציר.  $n = 2$  שייך להתאבכות ההורסת השנייה בצד החיובי של הציר, ו- $n = -1$  שייך להתאבכות ההורסת השנייה בצד השלילי של הציר, וכך הלאה.

הזוויות שבהן מתקבלות נקודות התאבכות בונה מלאה (הזוויות אל נקודות המרכז של כתמי האור) מתקבלות על ידי הקשר:

$$(5) \quad \sin \theta_n = \frac{\lambda}{d} n$$

כאשר  $n$  הוא מספר שלם:  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ . כאן  $n = 0$  שייך להתאבכות המרכזית  $x = 0$ ,  $n = 1$  שייך להתאבכות הבונה הראשונה בצד החיובי של הציר, ו- $n = -1$  שייך להתאבכות הבונה הראשונה בחלק השלילי של הציר.  $n = 2$  שייך להתאבכות הבונה השנייה בצד החיובי של הציר, ו- $n = -2$  שייך להתאבכות הבונה השנייה בחלק השלילי של הציר, וכך הלאה.



איור 4

**קירוב יאנג:** מקירוב יאנג נקבל עבור תבנית ההתאבכות משני סדקים שנקודות החושך מתקבלות במקומות הבאים:

$$(6) \quad x_n = \frac{\lambda \ell}{d} \left( n - \frac{1}{2} \right)$$

ומרכזי כתמי ההתאבכויות הבונות מתקבלים במקומות:

$$(7) \quad x_n = \frac{\lambda \ell}{d} n$$

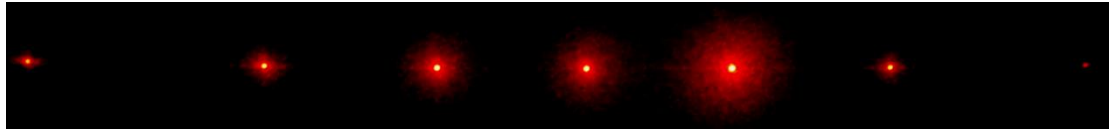
**תבנית העקיפה מסריג:**

סריג הוא לוחית דקה מאוד שמכיל מספר גדול מאוד של סדקים צרים מקבילים וצמודים זה לזה. הסריג מתאפיין במספר הסדקים שבו ליחידת אורך. לדוגמה, אם רשום על הסריג  $400 / \text{mm}$ , נבין מכך שבסריג זה קיימים 400 סדקים בכל מילימטר אחד. על כן המרחק בין כל שני סדקים צמודים הוא:

$$(8) \quad d = \frac{1 \text{ mm}}{400} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ mm} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

גודל זה נקרא קבוע הסריג.

תבנית העקיפה של אור הלייזר (שהוא אור מונוכרומטי וקוהרנטי) המתקבלת על המסך כאשר הלייזר עובר דרך הסריג מורכבת מנקודות אור המרוחקות זו מזו במרחקים גדולים יחסית כפי שמתואר באיור 5.



איור 5

הזוויות שבהן מתקבלות נקודות ההתאבכות הבונה בסריג, ביחס לנקודה המרכזית מתקבלות על ידי הקשר:

$$(9) \quad \sin \theta_n = \frac{\lambda \ell}{d} n \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

מכיוון שהזווית המתקבלות עבור הסריג הן גדולות יחסית, לא ניתן להשתמש כאן בקירוב יאנג.

### ג. מכשור וציד

- (1) מכשיר לייזר.
- (2) סריג.
- (3) לוחיות אטומות הכוללות סדק ושני סדקים.
- (4) מסך.
- (5) נייר לבן וסרגל.

### ד. הניסוי (בניית המערכת וביצוע הניסוי)

#### חלק ראשון: עקיפה מסדק צר

- (1) כוון את קרן הלייזר בכיוון הניצב לסדק, ובמרחק מסוים מהסדק שים את המסך (ראה איור 6).
- (2) הדבק על המסך נייר לבן.
- (3) מדוד את המרחק בין המסך לסדק ( $\ell$ ) ורשום את התוצאה במחברתך. רשום גם את רוחב הסדק.
- (4) סמן על הנייר, באמצעות עיפרון, את המקומות שבהם יש התאבכויות הורסות. סמן גם על הנייר את מיקום מרכזו של הכתם המרכזי בתבנית העקיפה.
- (5) כבה את הלייזר, ונתק את הנייר מהמסך. סמן את הנקודה המרכזית ב- $C$ , את הנקודה הראשונה מצד ימין ב-1 ואת הראשונה מצד שמאל ב-1-, את השנייה מצד ימין ב-2 ואת הנקודה השנייה מצד שמאל ב-2-, וכך הלאה.
- (6) מדוד את מרחקי נקודות ההתאבכות ההורסות מהנקודה המרכזית והכן טבלה המתארת את  $x_n$  כפונקציה של  $n$ .

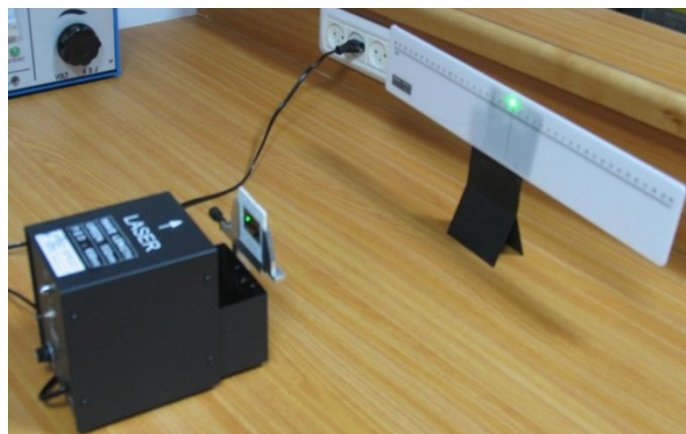
#### חלק שני: התאבכות משני סדקים

- (1) כוון את קרן הלייזר במאונך לשני הסדקים, ובמרחק מסוים מהסדקים שים את המסך (ראה איור 6).
- (2) הדבק על המסך נייר לבן.
- (3) מדוד את המרחק בין המסך לשני הסדקים ( $\ell$ ) ורשום את התוצאה במחברתך. רשום גם את המרחק שבין שני הסדקים.
- (4) סמן על הנייר, באמצעות עיפרון, את המקומות שבהם יש התאבכויות הורסות (נקודות חושך).

- סמן גם על הנייר את מיקום מרכזו של הכתם המרכזי בתבנית ההתאבכות.
- (5) כבה את הלייזר ונתק את הנייר מהמסך. סמן את הנקודה המרכזית ב-C, את הנקודה הראשונה מצד ימין סמן ב-1 ואת הנקודה הראשונה מצד שמאל סמן ב-0. את הנקודה השנייה מצד ימין סמן ב-2 ואת הנקודה השנייה מצד שמאל סמן ב-(-1). את הנקודה השלישית מצד ימין סמן ב-3 ואת הנקודה השלישית מצד שמאל סמן ב-(-2), וכך הלאה.
- (6) מדוד את מרחק נקודות ההתאבכות ההורסת מנקודת המרכז C, והכן טבלה המתארת את  $x_n$  כפונקציה של  $n$ .

### חלק שלישי: עקיפת אור בסריג

- (1) כוון את קרן הלייזר בכיוון ניצב לסריג עקיפה, ובמרחק מסוים ממנו שים את המסך (ראה איור 6).
- (2) הדבק על המסך נייר לבן.
- (3) מדוד את המרחק בין המסך לסריג ( $\ell$ ) ורשום את התוצאה במחברתך. רשום גם את המרחק שבין שני סדקים צמודים בסריג (קבוע הסריג).
- (4) סמן על הנייר, באמצעות עיפרון, את המקומות שבהם התקבלו על המסך נקודות אור, וסמן גם על הנייר גם את מיקום ההתאבכות הבונה המרכזית.
- (7) כבה את הלייזר, ונתק את הנייר מהמסך. סמן את הנקודה המרכזית ב-0, את הנקודה הראשונה מצד ימין ב-1 ואת הראשונה מצד שמאל ב-1-, את הנקודה השנייה מצד ימין ב-2 ואת הנקודה השנייה מצד שמאל ב-2-, וכך הלאה.
- (5) מדוד את מרחקי נקודות ההתאבכות הבונות מהנקודה המרכזית והכן טבלה המתארת את  $x_n$  כפונקציה של  $n$ .



איור 6

### ה. עיבוד התוצאות

#### עקיפה מסדק צר

- (1) סרטט על סמך התוצאות בחלק זה של הניסוי גרף המתאר את  $x_n$  כפונקציה של  $n$ .
- (2) חשב את שיפוע הגרף.
- (3) התבסס על משוואה (3) וחשב את אורך הגל של אור הלייזר.

**התאבכות משני סדקים**

- 1) על סמך הטבלה שקיבלת בסעיף זה, הכן טבלה חדשה המתארת את  $x_n$  כפונקציה של  $(n - \frac{1}{2})$  (ראה משוואה (6)).
- 2) סרטט על סמך הטבלה שהכנת, גרף המתאר את  $x_n$  כפונקציה של  $n - \frac{1}{2}$ .
- 3) חשב את שיפוע הגרף.
- 4) התבסס על משוואה (6) וחשב את אורך הגל של אור הלייזר.

**עקיפה מסריג**

- 1) מכיוון שהזוויות המתקבלות בתבנית העקיפה מסריג, אינן קטנות, לא ניתן להשתמש בקירוב יאנג. לכן בחלק זה של הניסוי, עלינו לשרטט גרף המתאר את  $\sin \theta$  כפונקציה של  $n$  [ראה משוואה (9)].
- לכו יש להכין טבלה חדשה, על סמך הטבלה הקודמת, טבלה זו מתארת את  $\sin \theta_n$  כפונקציה של  $n$ . את הזוויות ניתן לחשב על פי הקשר:  $\tan \theta_n = x_n / \ell$ . לכן עליך להשלים את הטבלה הבאה:

$n$					
$x_n$					
$\theta_n = \tan^{-1}(x_n / \ell)$					
$\sin \theta_n$					

- 2) סרטט על סמך הטבלה שהכנת גרף המתאר את  $\sin \theta_n$  כפונקציה של  $n$ .
- 3) חשב את שיפוע הגרף.
- 4) התבסס על משוואה (9) וחשב את אורך הגל של אור הלייזר.

**ו. שאלות הכנה**

- 1) הגדר מקור אור מונוכרומטי.
- 2) הגדר מקור אור קוהרנטי.