

## גלים עומדים במיתר

### א. מטרת הניסוי

1. לחקור את הגלים העומדים, וללמוד כיצד לייצר אותם ומהם התנאים הדרושים לקבלת גלים אלה.
2. למדוד מהירות הגלים במיתר מתוח.

### ב. רקע תיאורטי

#### גל מכני מחזורי

גל מכני הוא התפשטות (או התקדמות) של הפרעה בתווך חומרי מסוים. לדוגמה, גל במים הוא הפרעה בגובה המים, גל קול הוא הפרעה בצפיפות האוויר. ההפרעה שיוצרת את הגל היא תנודות בחלקיקי התווך הנוצרת כתוצאה מהשפעת כוח חיצוני. תנודות אלה מועברות מחלקיק אחד לחלקיק אחר של התווך על ידי האינטראקציה בין חלקיקי החומר. כתוצאה מהמנגנון שבו הגל מתקדם, הגל מעביר תנועה (אנרגיה) ממקום אחד לאחר, אך אינו מעביר מסה. אם להפרעה או לתנועת התנודות של חלקיקי החומר שבגל יש תבנית קבועה שחוזרת על עצמה, הגל נקרא גל מחזורי.

#### מאפייני גל מחזורי

(1) **מחזור:** לגל המחזורי יש תבנית החוזרת על עצמה. תבנית זו נקראת מחזור. המחזור נוצר מהתנועה שמבצע החלקיק שבגל מנקודה מסוימת ועד חזרתו לאותה נקודה ובאותו כיוון. תנועה זו של החלקיק מתפשטת בתווך ויוצרת תבנית הגל שהיא המחזור של הגל.

(2) **זמן מחזור:** זהו הזמן הדרוש לגל (או לחלקיק) להשלים מחזור שלם. זמן זה מסומן באות  $T$ .

(3) **תדירות:** היא מספר המחזורים שהגל משלים ביחידת זמן אחת. התדירות מסומנת באות  $f$ . מתקיים:

$$(1) \quad f = 1/T$$

(4) **משרעת הגל:** היא התזוזה המקסימלית של חלקיקי החומר בתנועתם המחזורית שבגל, וזאת ביחס לנקודות שיווי המשקל שלהם. המשרעת מסומנת באות  $A$ .

(5) **אורך הגל:** הוא המרחק שעובר אותו הגל במהלך זמן מחזור. אורך הגל מסומן באות  $\lambda$ .

(6) **מהירות הגל:** היא המהירות שבה ההפרעה מתקדמת בתווך. מהירות הגל מסומנת באות  $v$ . מתקיים:

$$(2) \quad v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

ראוי לציין שמהירות הגל היא תכונה של התווך שבו מתקדם הגל בלבד. מהירות זו אינה תלויה בתדירות הגל, במשרעת שלו או בזמן המחזור שלו. לדוגמה, מהירות הגל במיתר מתוח תלויה במתיחות  $S$  במיתר ובצפיפות המיתר ליחידת אורך (מסת יחידת אורך של המיתר) שמסומנת ב- $\mu$ . מהירות זו נתונה על ידי:

$$(3) \quad v = \sqrt{\frac{S}{\mu}}$$

**הגדרה:** גל חד ממדי הוא גל שמתקדם בכיוון אחד, כמו הגל במיתר. גלי המים מתקדמים בשני ממדים (פני המים) לכן גלי המים הם גלים דו ממדיים. גלי קול הם גלים תלת ממדיים.

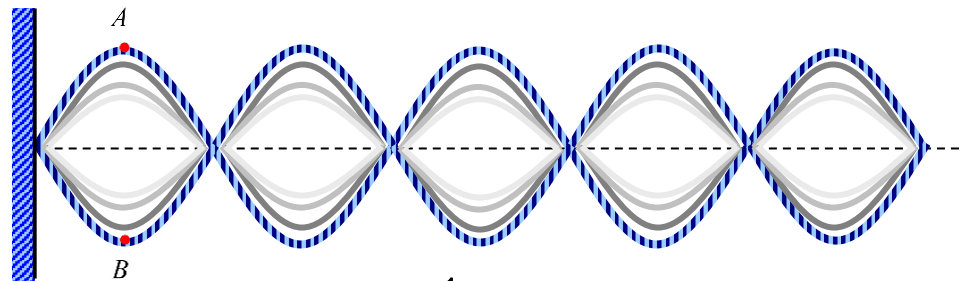
**התאבכות גלים חד ממדיים**

ההתאבכות היא התופעה הנוצרת כאשר שני גלים נפגשים. במקרה זה נוצרת תבנית חדשה שהיא הרכבה (סופרפוזיציה) של תבניות שני הגלים שנפגשו. ההתאבכות יכולה להיות בונה, או הורסת. בונה כאשר כיווני התנודות של חלקיקי החומר שבשני הגלים הם זהים, והורסת כאשר כיווני התנודות של חלקיקי החומר מנוגדים.

על מנת שתיווצר התאבכות גלים במיתר על הגלים להתקדם בכיוונים מנוגדים. אם שני גלים מתקדמים במיתר באותו כיוון לא תיווצר התאבכות כי לשניהם תמיד יש אותה מהירות.

**גלים עומדים במיתר**

כאשר שני גלים זהים מתקדמים זה לקראת זה במיתר, נוצרת התאבכות בין שני הגלים שיש לה מאפיינים מיוחדים. תבנית זו מורכבת מנקודות קבועות הנקראות נקודות צומת שביניהן המיתר מתנדנד כלפי מעלה ומטה כפי שמתואר באיור 1. גל זה נקרא גל עומד, כי מהירותו (מהירות התקדמותו בתווך) היא אפס.



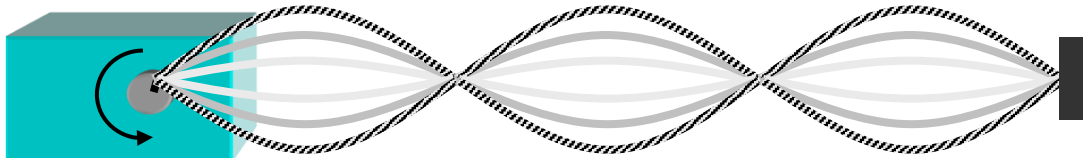
איור 1

הנקודות שבהן מתרחשת התנודה המקסימלית נקראות נקודות טבור. בתבנית המתקבלת במקרה זה שהיא גל עומד, תמיד המרחק בין כל שתי נקודות צומת קרובות הוא חצי אורך גל ( $\lambda/2$ ).

**כיצד ליצור גלים עומדים במיתר מתוח**

על מנת ליצור גלים עומדים במיתר מתוח עלינו לגרום לכך ששני גלים מחזוריים זהים מתקדמים בכיוונים הפוכים במיתר.

הדרך הקלה ביותר לעשות זאת היא לקשור קצה אחד של המיתר בנקודה קבועה, ולקשור את הקצה השני שלו למנוע המייצר גלים כפי שמתואר באיור 2. כשהגל מתקדם במיתר ומגיע לקצה הקשור הוא מוחזר ממנו כגל זהה לגל הנכנס. הגל הנכנס והגל המוחזר מתאבכים ויוצרים גל עומד.

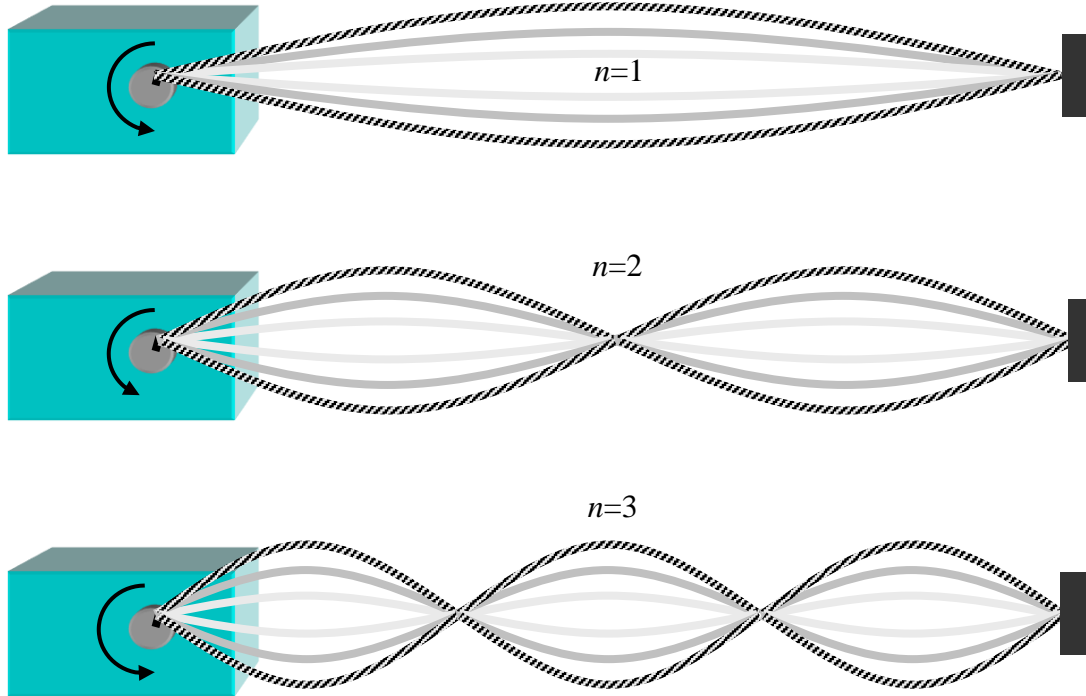


איור 2

המפגש של שני גלים זהים המתקדמים במיתר בכיוונים הפוכים הוא תנאי הכרחי להיווצרות גל עומד, אבל תנאי זה אינו תנאי מספיק. צריך להתקיים בנוסף, שהמיתר מכיל מספר שלם של חצאי אורך גל, כלומר:

(4) 
$$\ell = n \left( \frac{\lambda}{2} \right)$$

כאשר  $n$  הוא מספר שלם ו- $\ell$  הוא אורך המיתר. באיור 3 מתוארים גלים עומדים במיתר עם  $n=1$ ,  $n=2$ , ו- $n=3$ .



איור 3

מספר חצאי הגל ( $n$  המספר) שבמיתר נקבע על ידי תדירות הגל. ניתן למצוא את הקשר בין  $n$  והתדירות על ידי הצבת  $\lambda = v/f$  בקשר (4). אם נציב נקבל:

(5) 
$$\ell = n \left( \frac{v/f}{2} \right)$$

מהקשר האחרון נקבל:

(6) 
$$n = \left( \frac{2\ell}{v} \right) f_n$$



### ג. מכשור וציוד

- (1) מנוע המייצר תנודות.
- (2) מיתר.
- (3) ספק מתח חילופין עם תדירות משתנה (אוסצילוסקופ).
- (4) גלגלת.
- (5) משקולת.

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

- (1) שקול את המשקולת ורשום את המשקל שלה.
- (2) קבע את הגלגלת בקצה השולחן (או המסילה אם הניסוי נערך על מסילה).
- (3) קשור קצה אחד של המיתר למנוע ואת הקצה השני שלו למשקולת.

- (4) העבר את המיתר דרך הגלגלת ושחרר את המשקולת באוויר (ראה איור 4).  
 (5) קבע אורך החלק של המיתר הנמצא בין הגלגלת למנוע להיות 100 ס"מ (אפשר גם יותר או פחות).  
 (6) חבר את המנוע לאוסצילוסקופ (מקור מתח חילופין עם אפשרות לשלוט בתדר).



איור 4

- (7) הפעל את מקור המתח, ושנה בהדרגה את תדירות התנודות של המנוע (על ידי שינוי תדירות האוסצילוסקופ כי תדירות התנודות שווה לתדירות האוסצילוסקופ) עד לקבלת גל עומד עם טבור אחד ( $n=1$ ). רשום את התדירות  $f_1$ . לאחר מכן המשך להעלות את תדירות מקור המתח עד לקבלת גל עומד עם שני טבורים ( $n=2$ ). רשום את התדר במקרה זה ( $f_2$ ), וכך הלאה עד לקבלת 5 או 6 מדידות. באיור 5 מתוארים הגלים העומדים הנוצרים בניסוי.  
 (8) קבץ את התוצאות בטבלה המתארת את  $n$  כפונקציה של  $f$ .



איור 5

### ה. עיבוד וניתוח התוצאות

- (1) שרטט גרף המתאר את  $n$  כפונקציה של  $f$ .  
 (2) חשב את שיפוע הגרף וחשב באמצעותו את מהירות הגל במיתר.  
 (3) העזר במשוואה (3) וחשב את צפיפות המסה ליחידת אורך של המיתר. שים לב שהמתיחות בחוט שווה למשקל של המשקולת.

**ו. שאלות הכנה**

- (1) הגדר מהירות גל.
- (2) הגדר, תדירות, זמן מחזור, אורך גל.
- (3) חשב את מהירות הגלים במיתר מתוח אם נתון שצפיפותו ליחידת אורך היא  $10^{-3} \text{ kg/m}$  והמתיחות בו  $2 \text{ N}$ .
- (4) מהיא תדירות המנוע המייצר גלים עומדים במיתר שבשאלה הקודמת אם נתון שאורך המיתר  $120 \text{ cm}$  ומספר הטבורים בגל העומד הוא 4.

## גלים עומדים (גרסה ב)

- אם אין ברשותך במעבדה מחולל מתח חילופין שניתן לשנות בו את תדירות המתח (אוסצילוסקופ), ניתן לבצע את הניסוי בדרך אחרת באמצעות רשם זמן באופן הבא:
- (1) החלף את המנוע המייצר גלים ברשם זמן ואת המחולל בספק מתח חילופין רגיל. קשור את קצה החוט למוט המתכתי המתנדנד ברשם הזמן.
  - (2) בנה אותה מערכת המתוארת באיור 4.
  - (3) הפעל את מקור המתח, כתוצאה מכך נוצרים במיתר גלים בתדירות קבועה השווה לתדירות התנודות של רשם הזמן (50Hz).
  - (4) התחל להגדיל בהדרגה אל אורך הקטע של המיתר הנמצא בין הגלגלת לרשם הזמן, וזאת על ידי הרחקת רשם הזמן מהגלגלת בהדרגה החל מ- $\ell = 0$  ועד לקבלת גל עומד עם טבור אחד ( $n=1$ ). רשום את אורך המיתר  $\ell_1$  במצב זה.
  - (5) חזור על הפעולה הקודמת מספר פעמים כך שבכל פעם מרחיקים בהדרגה את רשם הזמן עד לקבלת הגל העומד הבא. בכל פעם רושמים את  $n$  ואת  $\ell$ .

### ניתוח התוצאות:

- (1) שרטט גרף המתאר את  $n$  כפונקציה של  $\ell$ .
- (2) חשב את שיפוע הגרף.
- (4) העזר במשוואה (6) ובשיפוע שחישבת, ומצא את מהירות הגל במיתר.
- (5) העזר במשוואה (3) וחשב את צפיפות המסה ליחידת אורך של המיתר. שים לב שהמתיחות בחוט שווה למשקל של המשקולת.