

פרק ד: גלים חד-ממדיים מחזוריים

1. א. הגלים המוצגים באיורים (1), (2) ו-(3) הם מחזוריים.
ב. אורך הגל של גל (1) הוא $\lambda_1 = 0.4 \text{ m}$, של גל (2) הוא $\lambda_2 = 0.45 \text{ m}$, ושל גל (3) הוא $\lambda_3 = 0.3 \text{ m}$.
2. א. אורך הגל הוא $\lambda = 20 \text{ cm}$.
ב. משרעת הגל היא $A = 25 \text{ cm}$.
3. א. אורך הגל הוא $\lambda = 0.5 \text{ m}$.
ב. משרעת הגל היא $A = 0.25 \text{ m}$.
4. א. זמן מחזור התנודות הוא $T = 0.2 \text{ s}$.
ב. תדירות הגל: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.2 \text{ s}} = 5 \text{ Hz}$.
ג. משרעת הגל היא $A = 0.25 \text{ m}$.
5. זמן המחזור, על פי הגרף, הוא $T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$. מכאן שהתדירות היא: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 500 \text{ Hz}$. כלומר התשובה היא (2).
6. $v = \lambda \cdot f \Rightarrow [v] = [\lambda] \cdot [f] = \text{m} \cdot \frac{1}{\text{min}} = \frac{\text{m}}{\text{min}}$.
כלומר יחידת המהירות שמתקבלת מהחישוב היא מטר לדקה.
7. גודל מהירות התפשטות הגל בקפיץ: $v = \lambda \cdot f = 0.4 \cdot 5 = 2 \text{ m/s}$.
8. א. מאיור א נובע כי $\lambda = 1.6 \text{ m}$. מאיור ב נובע כי $T = 0.4 \text{ s}$.
מכאן שגודל מהירות הגל בחבל: $v = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} = \frac{1.6}{0.4} = 4 \text{ m/s}$.
ב. משרעת הגל (על-פי איור א או איור ב): $A = 0.15 \text{ m}$.
9. אפשרות (3) היא הנכונה.
הסבר: **גודל מהירות התפשטותו של גל נקבעת על ידי התווך.** כיוון שמדובר באותו תווך - מהירות הגל אינה משתנה. עתה, מהקשר $v = \lambda \cdot f$ נובע כי אורך הגל קטן פי שניים כי v קבוע, ו- f גדל פי שניים.
10. א. גודל מהירות הגל: $v = \lambda \cdot f = 0.5 \cdot 5 = 2.5 \text{ m/s}$.
ב. מהירות הגל נשארת כפי שהיתה לכן אורך הגל בתדירות החדשה הוא:
 $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 2.5 = \lambda_2 \cdot 10 \Rightarrow \lambda_2 = 0.25 \text{ m}$
11. כאשר גל עובר מתווך אחד למשנהו מהירות ההתפשטות ואורך הגל משתנים. התדירות נקבעת על ידי מקור הגל ואינה מושפעת על ידי התווך.
12. נחשב את פרק הזמן שלוקח לפולס לעבור מרחק של 15 m : $\Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{15}{5} = 3 \text{ s}$.
מכאן שהעתק המקור היה $y = 4 \text{ cm}$ 3 שניות לפני כן.

13. הנוסחה הכללית לגל הרמוני חד-ממדי היא:

$$(1) \quad y = A \sin(\omega t - kx)$$

$$(2) \quad y = 0.05 \sin(30t - 4x)$$

נוסחת הגל הנתון:

מהשוואת המקדמים של t בשתי הנוסחאות (1) ו-(2):

$$\omega = 30 \text{ s}^{-1} \Rightarrow 2\pi f = 30 \Rightarrow f = 4.78 \text{ Hz}$$

תדירות הגל היא 4.78 הרץ.

מהשוואת המקדמים של x בשתי הנוסחאות (1) ו-(2):

$$k = 4 \text{ m}^{-1} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = 4 \Rightarrow \lambda = \frac{\pi}{2} = 1.57 \text{ m}$$

אורך הגל הוא 1.57 מטר.

מהשוואת המקדמים של שני האגפים הימניים של (1) ו-(2) נקבל כי משרעת הגל היא $A = 0.05 \text{ m}$.

$$v = \lambda f = 1.57 \cdot 4.78 = 7.5 \text{ m/s}$$

נחשב את מהירות התפשטות הגל:

מהירות התפשטות הגל היא 7.5 מטר לשנייה.

14. א. מהירות הגל:

$$v = \lambda f = 0.04 \cdot 5 = 0.2 \text{ m/s}$$

ב.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi}{0.04} = 50 \pi \text{ m}^{-1}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 5 = 10 \pi \text{ s}^{-1}$$

לכן לפי הנוסחה:

$$y = A \sin(\omega t - kx)$$

נקבל:

$$y = 0.02 \sin(10\pi t - 50\pi x)$$

15. נוסחת הגל

$$y = 0.3 \sin(4\pi t - \pi x)$$

א. על ידי השוואה בין מקדם ה- x של נוסחת הגל הנתונה לבין המקדם המתאים בנוסחה הכללית נקבל:

$$k = \pi \text{ m}^{-1} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = \pi \Rightarrow \lambda = 2 \text{ m}$$

אורך הגל הוא 2 מטר.

$$\omega = 4\pi \text{ s}^{-1} \Rightarrow \frac{2\pi}{T} = 4\pi \Rightarrow T = 0.5 \text{ s}$$

מהשוואת המקדמים של t :

זמן המחזור הוא חצי שנייה.

ב. תדירות הגל:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ Hz}$$

מהירות הגל:

$$v = \lambda f = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m/s}$$

תדירות הגל היא 2 הרץ, ומהירות התקדמותו היא 4 מטר לשנייה.

16. נוסחת הגל:

$$x = 6 \sin(4\pi t + 0.02x)$$

א. משרעת הגל היא 6 ס"מ (המקדם של הסינוס).

את אורך הגל נמצא על ידי השוואת המקדמים של x בנוסחה הנתונה ובנוסחה הכללית של גל מתקדם:

$$k = 0.02 \text{ cm}^{-1} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = 0.02 \text{ cm}^{-1} \Rightarrow \lambda \approx 314 \text{ cm}$$

נחשב את התדירות:

$$\omega = 4\pi \text{ s}^{-1} \Rightarrow 2\pi f = 4\pi \Rightarrow f = 2 \text{ Hz}$$

נחשב את המהירות:

$$v = \lambda f = 3.14 \cdot 2 = 6.28 \text{ m/s}$$

ב. הגל נע בכיוון השלילי של הציר x , כי הסימן האלגברי שלפני kx הוא חיובי.

17. א. התנאים הם: על שני הגלים להיות שווי תדירות ושווי משרעת.
 ב. משרעת הגל העומד היא כפליים המשרעת של כל אחד משני הגלים, דהיינו 0.4 מטר.
 ג. המרחק בין 2 נקודות צומת סמוכות הוא חצי אורך גל, דהיינו 0.25 מטר.
 ד. גם המרחק בין שתי נקודות קמר הוא חצי אורך גל, כלומר 0.25 מטר.
18. א. באיור א מתואר גל עומד (כי מעט לפני שיא ומעט אחריו כיווני התנועה של חלקיקי החבל שווים), ובאיור ב מתואר גל מתקדם.
 ב. הגל המתקדם (איור ב) מתפשט **ימינה**, כי חלקיקי החבל שנמצאים מעט מימין לשיא מתרחקים מקו שיווי המשקל, וחלקיקי החבל שנמצאים מעט משמאל לשיא מתקרבים לקו שיווי המשקל. לפיכך, אם נסרטט את צורת החבל זמן קצר אחרי הרגע הנתון בשאלה, נקבל צורה שמוזזת ימינה יחסית לצורה הנתונה.
19. א. **גובה צליל**: זו התדירות של הצליל. אם הצליל מורכב מטון יסודי ומטונים עיליים אז במונח "גובה הצליל" מתכוונים לתדירות הטון היסודי.
 ב. **עוצמת הצליל**: האנרגיה של הצליל. היא נקבעת על ידי משרעת הצליל.
 ג. **גוון צליל**: הרכב הטונים העיליים שמלווים את הטון היסודי.
20. נוסחת הגל העומד הנתון:

$$(1) \quad y = 0.1 \cos 2\pi x \cdot \sin 30\pi t$$

 הנוסחה הכללית של גל עומד:

$$(2) \quad y = 2A \cos kx \cdot \sin \omega t$$

 א. (1) על פי נוסחאות (1) ו-(2): $2A = 0.1 \text{ m}$, לכן משרעת הגל היא 5 ס"מ.
 (2) מהשוואת המקדמים של t :

$$\omega = 30\pi \text{ s}^{-1} \Rightarrow 2\pi f = 30\pi \Rightarrow f = 15 \text{ Hz}$$

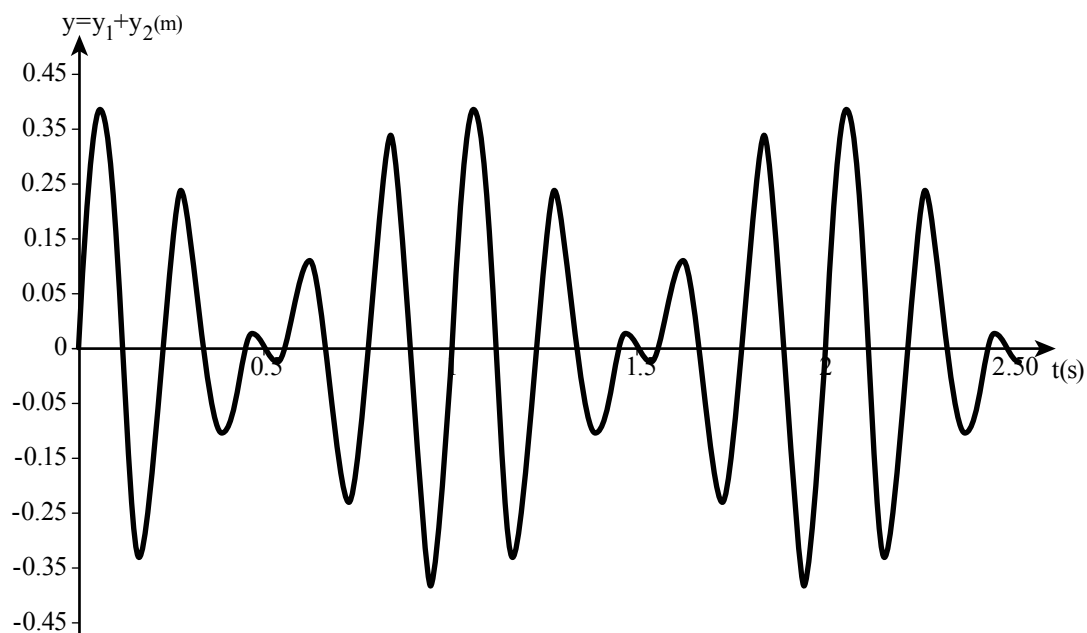
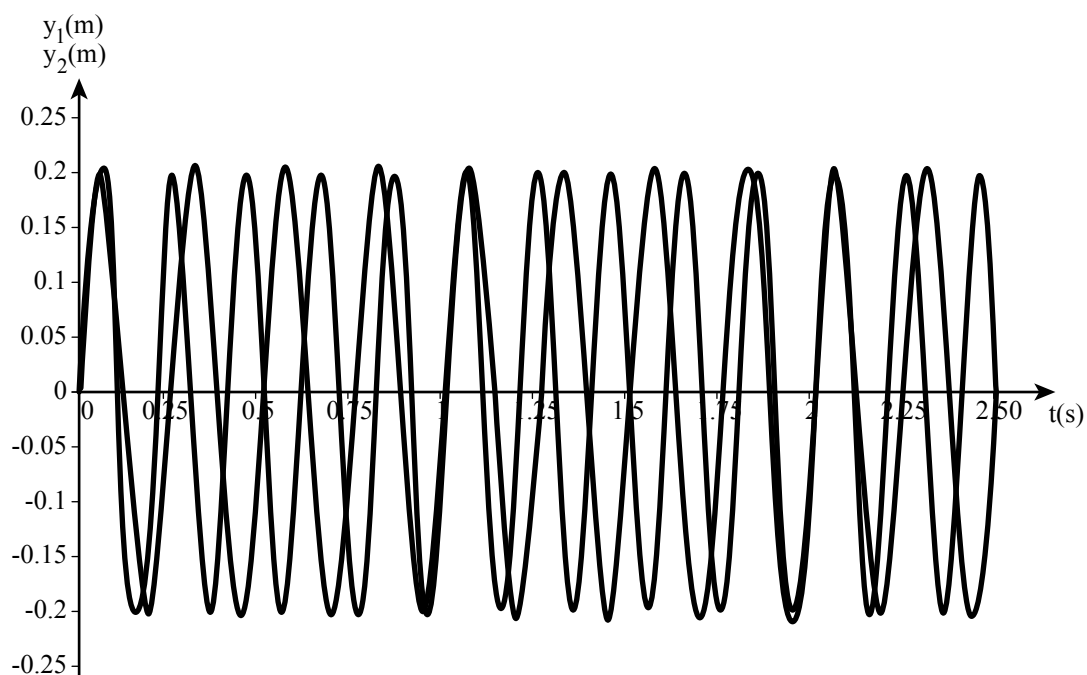
 (3) מהשוואת המקדמים של x :

$$k = 2\pi \text{ m}^{-1} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = 2\pi \Rightarrow \lambda = 1 \text{ m}$$

 (4)

$$v = \lambda f = 1 \cdot 15 = 15 \text{ m/s}$$

 ב. המרחק בין שתי נקודות צומת סמוכות הוא חצי אורך גל, כלומר 0.5 מטר.
21. ההעתקים ב- $x = 0$ כפונקציה של הזמן, והגל המתקבל ב- $x = 0$ כתוצאה מהתאבכות שני גלים אלה מתאימים לפונקציות $y_1(t) = 0.2 \sin 10\pi t$ ו- $y_2(t) = 0.25 \sin 8\pi t$



התקבלו פעימות.

22. א. לשני הגלים III ו-IV יש את אותה משרעת.

ב. לגלים I ו-III יש אותו אורך גל.

ג. כל הגלים נעים לאורך חבלים זהים, לכן יש להם אותה מהירות. מהקשר $v = \lambda \cdot f$ נובע כי הגל שתדירותו

מרבית הוא זה שאורך הגל שלו הקצר ביותר, ועל-פי האיור זהו גל IV.

ד. מהקשר $v = \frac{\lambda}{T}$ נובע כי הגל שזמן המחזור שלו מרבי הוא בעל אורך הגל המרבי (כי v קבוע), וזהו גל II.

23. א. מהאיור של השאלה עולה כי משרעת הגל היא $A = 0.15 \text{ m}$, ואורך הגל הוא $\lambda = 2 \text{ m}$.

ב. הגל עבר מרחק $\Delta x = 0.5 \text{ m}$ (מ- $x = 0.5 \text{ m}$ עד $x = 1 \text{ m}$) בפרק זמן $\Delta t = 0.025 \text{ s}$. מכאן שמהירות הגל:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0.5}{0.025} = +20 \text{ m/s} \quad (\text{הסימן + אומר שכיוון המהירות בכיוון החיובי של ציר המקום}).$$

ג. תדירות הגל: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{20}{2} = 10 \text{ Hz}$

24. א. אורך הגל בקפיץ ה"קל": $\lambda_1 = 0.8 \text{ m} \Rightarrow 4 = \lambda_1 \cdot 5 \Rightarrow v = \lambda \cdot f$

ב. תדירות הגל שווה בשני התווכים כי היא נקבעת על-פי תדירות מקור הגל.

ג. אורך הגל בקפיץ ה"כבד": $\lambda_2 = 0.6 \text{ m} \Rightarrow 3 = \lambda_2 \cdot 5 \Rightarrow v = \lambda \cdot f$

25. א. "גל מחזורי במקום" הוא גל שבתאיור העתק-מקום שלו קיים חלק, פולס, כך שכל הגל הוא חזרה נשנית של חלק זה.

ב. "תנודות מחזוריות בזמן של מקור גלים" הן תנודות של המקור שעבורן קיים פרק זמן כך שתנועת המקור יכולה להתקבל מחזרה נשנית של התנועה בפרק זמן זה.

26. א. "מחזור של גל מחזורי במקום" הוא הפולס הקצר ביותר שהגל ברגע מסוים הוא חזרה נשנית של פולס זה.

ב. "אורך גל של גל מחזורי במקום" הוא האורך של מחזור אחד של גל מחזורי במקום.

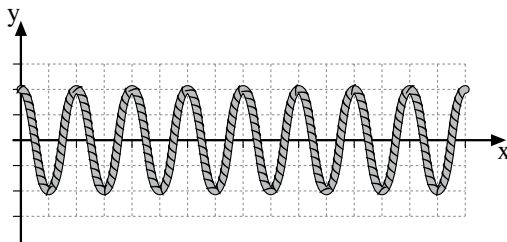
ג. "מחזור של תנודות מקור גלים מחזורי בזמן" הוא התנועה בפרק זמן הקצר ביותר, כך שתנועת המקור היא חזרה נשנית של תנועה זו.

ד. "זמן מחזור של גל מחזורי" הוא פרק הזמן הקצר ביותר אשר אחריו תנועת המקור חוזרת על עצמה, כלומר משך של מחזור אחד.

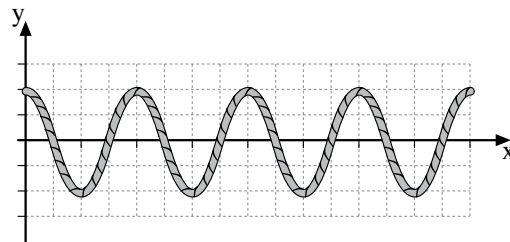
ה. "תדירות של גל מחזורי" היא מספר המחזורים שמקור הגלים יוצר ביחידת זמן.

27. א. אילו תדירות המקור היתה כפולה - אורך הגל היה קטן פי שניים (נובע מן הנוסחה $v = \lambda \cdot f$, כאשר לוקחים בחשבון ש- v קבוע). באיור א שלהלן מוצג הגרף המקורי, ובאיור ב מוצג הגרף במקרה הנדון.

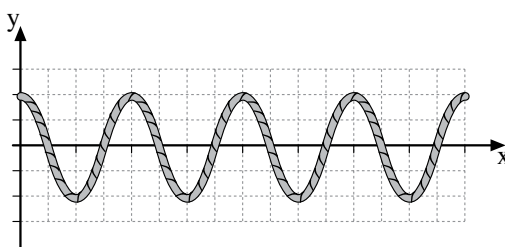
ב. במקרה שבו תדירות המקור כפולה מהתדירות המקורית f , והחבל מוחלף בחבל אחר שבו מהירות הגל כפולה מזו של הגל המקורי, אורך הגל היה שווה לזה של הגל המקורי (נובע מן הנוסחה $v = \lambda \cdot f$). באיור ג שלהלן מוצג גרף העתק-מקום שמתאר את הגל במקרה זה.



איור ב



איור א



איור ג

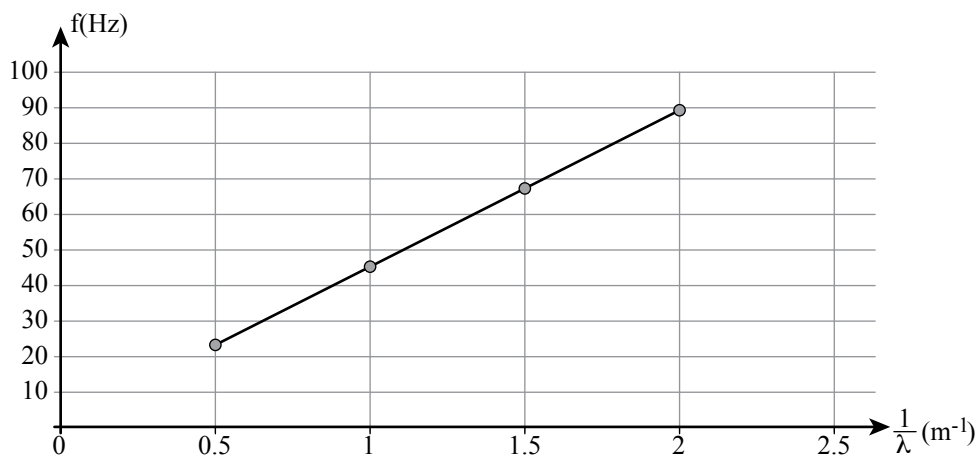
28. כיווני התנועה הרגועים של חלקיקי החבל השונים מוצגים נכון באיור (1) שבספר לתלמיד. אפשר להבין זאת אם מוסיפים לאיור הנתון את צורת הגל כעבור פרק זמן קצר.

29. באיור (א) q מייצג את אורך הגל, ובאיור (ב) p מייצג את זמן המחזור של תנודות מקור הגלים. לכן גודל מהירות הגל: $v = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} = \frac{q}{p}$. לכן ביטוי (3) מייצג את גודל מהירות ההתקדמות של הגל.

30. א. הטבלה:

$\frac{1}{\lambda} (m^{-1})$	$\lambda (m)$	צורת החוט	f – תדירות התנודות (Hz)
0.5	2		24
1	1		45
1.5	0.67		67
2	0.5		88

ב. הגרף (נקודות וקו מגמה):



ג. מהירות התפשטותו של הגל בחוט ניתן על ידי שיפוע הגרף שמופיע בתשובה לסעיף ב. המהירות היא

$$v = 44.5 \text{ m/s}$$

ד. בגל העומד הבא יהיו 5 נקודות קמר. לכן: $L = n \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 1 = 5 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 0.4 \text{ m}$

$$v = \lambda f \Rightarrow 44.5 = 0.4 \cdot f \Rightarrow f = 111.25 \text{ Hz}$$

הגל העומד יתקבל בתדירות 111.25 הרץ.

$$y = A \sin(kx - \omega t) = -A \sin(\omega t - kx) \quad \text{31. א.}$$

גל זה אינו מתאר את הגל הנתון.

$$y = A \sin k(x - vt) = A \sin\left(kx - \frac{\lambda f \cdot 2\pi}{\lambda} t\right) = A \sin(kx - \omega t) = -A \sin(\omega t - kx) \quad \text{ב.}$$

גל זה אינו מתאר את הגל הנתון.

$$y = -A \sin 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right) = -A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t\right) = -A \sin(kx - \omega t) = A \sin(\omega t - kx) \quad \text{ג.}$$

גל זה מתאר בדיוק את הגל הנתון.

$$y = A \cos\left(kx - \omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -A \sin(kx - \omega t) = A \sin(\omega t - kx) \quad \text{ד.}$$

גל זה מתאר בדיוק את הגל הנתון.

$$y = -A \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x - vt) = -A \sin(kx - \omega t) = A \sin(\omega t - kx) \quad \text{ה.}$$

גל זה מתאר בדיוק את הגל הנתון.

$$y = A \sin k(x + vt) = A \sin\left(kx + \frac{\lambda f \cdot 2\pi}{\lambda} t\right) = A \sin(kx + \omega t) = A \sin(\omega t + kx) \quad \text{ו.}$$

גל זה אינו מתאר את הגל הנתון, אלא גל דומה המתפשט בכיוון הנגדי.

$$\lambda = \frac{2L}{n} \Leftrightarrow L = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{32. א.} \quad \text{את אורכי הגל נחשב לפי התנאי}$$

$$\lambda = 1.345 \cdot 2 = 2.690 \text{ m} \quad \text{איור א: אופן תנודה ראשון:}$$

$$\lambda = 1.345 \text{ m} \quad \text{איור ב: אופן תנודה שני:}$$

$$\lambda = 0.897 \text{ m} \quad \text{איור ג: אופן תנודה שלישי:}$$

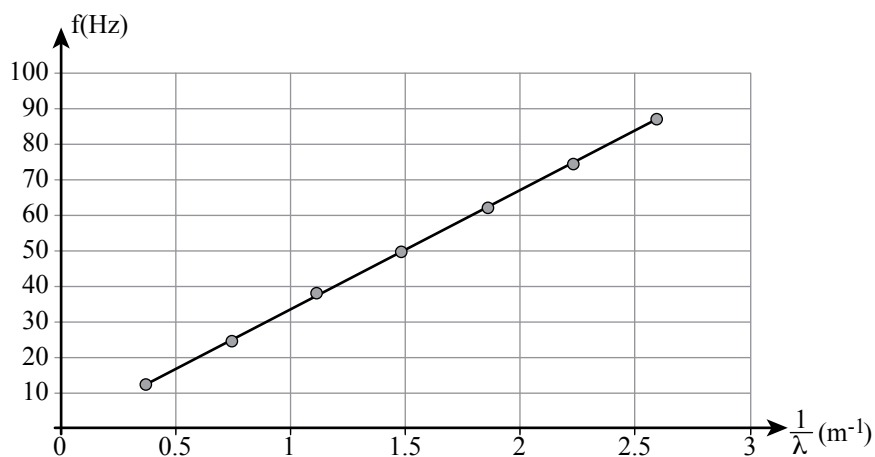
$$\lambda = 0.673 \text{ m} \quad \text{איור ד: אופן תנודה רביעי:}$$

$$\lambda = 0.538 \text{ m} \quad \text{איור ה: אופן תנודה חמישי:}$$

$$\lambda = 0.448 \text{ m} \quad \text{איור ו: אופן תנודה שישי:}$$

$$\lambda = 0.384 \text{ m} \quad \text{איור ז: אופן תנודה שביעי:}$$

ב. הגרף:



מהירות הגל שווה לשיפוע הגרף המתואר בתשובה לסעיף ב והיא 33 m/s .

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{mg}{\mu}} \Rightarrow 33 = \sqrt{\frac{0.2 \cdot 9.8}{\mu}} \quad \text{ג.} \quad \text{☀}$$

מכאן: $\mu = 1.80 \text{ gr/m}$. ערך זה קרוב מאוד לתוצאת המדידה.

ד. למדוד את המסה של חוט שממנו נגזר המיתר ושאוּרכו כמה מטרים (למשל 10 מטר), ואת תוצאת המדידה לחלק באורך המיתר המבוטא במטרים.

ה. באזורים שבהם המיתר נראה לבן מהירותו (האנכית) היתה קטנה.