

# גלים אור ואופטיקה

פרק 3 - מבוא לגלים

תוכן העניינים

- 1.....  
1. הרצאות ותרגילים.....

## הרצאות ותרגילים – מבוא לגלים

### סוגי גלים ותיאור גלים

רקע:

**גל - הפרעה** שמתקדמת במרחב

**גלים רוחביים** - גלים שבהם ההפרעה היא בכיוון ניצב לתקדמות הגל (מייתר מים)

**גלים אורכיים** - גלים שבהם ההפרעה היא בכיוון מקביל לתקדמות הגל (קויל)

**תוויך** - החומר שבו מתקדמת ההפרעה

**פונקציית הגל** - פונקציה שמתארת את ההפרעה כתלות בזמן ובמרחב. פונקציית הגל

צריכה להיות פונקציה מהצורה  $f(x \pm vt)$ , כאשר  $v$  היא מהירות הגל.

יש להבחין בין מהירות התקדמות הגל למהירות של החלקיקים בחומר!

**אמפליטודה (משרעת)** - הערך המרבי של ההפרעה בגל (בדר'יך מסומנת באות A).

$$\text{אנרגייה של גל} - E \propto A^2$$

### משוואות הגלים

רקע:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}$$

משוואת הגלים במרחב אחד:

כל פונקציה מהצורה  $f(x \pm vt)$  היא פתרון של משוואת הגלים. סכום של שני פתרונות מהוויה גם פתרון אם לשני הפתרונות אותן מהירות גל.

### שאלות

1) **תרגיל - קוסינוס בשלישית**

האם הפונקציה  $y(x,t) = A \cos^3(ax + bt)$  מהויה פתרון של משוואת הגלים?  
במידה וקיים תנאי, פרטו את התנאי, מצאו את מהירות הגל ואת כיוון תנועתו.

2) **תרגיל - סכום של שתי פונקציות**

האם הפונקציה  $y(x,t) = f(x - at) + g(x + bt)$  מהויה פתרון למשוואת הגלים?  
במידה וקיים תנאי, פרטו את התנאי, מצאו את מהירות הגל ואת כיוון תנועתו.

(3) האם הפונקציות הבאות הן פתרון של משוואת הגלים?

א.  $y(x,t) = 0.005 \sin(20x - 660t) + 0.009 e^{(x+33t)}$

ב.  $y(x,t) = 0.005 \sin(20x - 660t) + 0.005 \cos(x + 32t)$

#### 4) תרגיל - חקירת פונקציה

נתונה הפונקציה  $f(x) = \frac{4}{3x^2 + 1}$

א. שרטטו איקוותית את צורתה הפונקציה.

ב. רשמו ביטוי לגל בעל פרופיל זה, אשר נע בכיוון השלילי של ציר ה- $x$ ,

במהירות  $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , בהנחה שהרגע  $t = 0$  מתקיים  $f(x) = \psi(x,0)$ .

ג. חשבו, ישירות מהביטוי שמצאתם בסעיף הקודם, היכן נמצא

המקסימום של הגל ברגע  $t_1 = 4 \text{ sec}$  וברגע  $t_2 = 5 \text{ sec}$ .

ד. שרטטו איקוותית את צורת הגל ברגע  $t = 2$ .

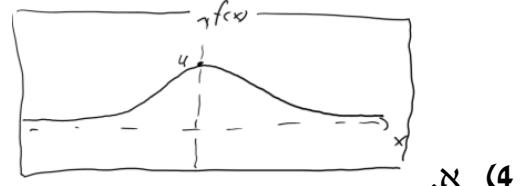
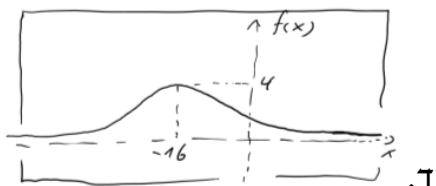
#### תשובות סופיות

1)  $\frac{b}{a}$ , בכיוון השלילי של ציר ה- $x$ .

2)  $Y(x,t)$  מהויה פתרון רק אם  $a = \pm b$  ואז מהירות הגל היא  $a$ .

لتנאים ראו בסרטון.

3) א. כן.      ב. לא.



4) ב.  $\frac{4}{3(x+4t)^2+1} = 4(x,t)$

## תכונות ותופעות בגלים

רקע:

**התאבכות** - סכימה של גלים שנפגשים  
**חזית גל** - אוסף הנקודות המגיעות לשיא באותו זמן

## גלים הרמוניים

רקע:

**גל מחזורי** - גל שמכיל מקטע שחזור על עצמו  
**אורך הגל** - אורך הקטע שחזור, מסומן ב- $\lambda$  (בדר"כ נמדד ע"י המרחק בין שיא לשיא)  
**זמן המחזור** - הזמן שלוקח לגל לעשות מחזורשלם, מסומן ב- $T$ ,  $\lambda = v \cdot T$ .

$$\cdot f = \frac{1}{T} \quad \text{מספר המחזוריים בשניה, מסומנת ב-} f, \quad f = \frac{2\pi}{T}$$

**גל הרמוני** - פונקציית קוסינוס או סינוס,

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$\cdot k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad k - \text{מספר הגל}$$

$$\omega = v \cdot k$$

## גל עומד

מאפיינים:

1. נקודות צומת - נקודות שלא זזות - node
2. אין מהירות גל
3. נקודת טבור - נקודות שבהן האמפליטודה מקסימלית - antinode
4. מורכב משני גלים נעים זהים הנעים בכיוונים מנוגדים

משוואת גל עומד היא מהצורה

$$y(x,t) = A \sin(kx) \cos(\omega t + \varphi) = \frac{A}{2} \sin(kx - (\omega t + \varphi)) + \frac{A}{2} \sin(kx + (\omega t + \varphi))$$

## שאלות

**1) תרגיל - חישוב ערכיהם בסיסיים בגל במיiter**  
במיiter נע גל  $y(x,t) = 2\cos(500t - 0.2x)$ .

א. חשבו את האמפליטודה, התדר הזרוייתי ( $\omega$ ), התדר ( $f$ ), מספר הגל ( $k$ ), אורך הגל ( $\lambda$ ) ומהירות הגלים.

ב. באותו מיטר קיים גל  $y(x,t) = 2\sin(500t - 0.2x + 0.6) + 2\sin(500t - 0.2x + 0.6)$ . על ידי שימוש בזיהות של סכום סינוסים, קבלו את הגל השקול. מה מתאר גל זה?

**2) תרגיל - חישוב תדיירות ואורך גל של גל א"ם**  
אורך הגל של אור בתחום הוא  $\lambda = 605\text{nm}$ .

א. כמה מחזוריים של הגל ניתן להכניס לעובי של נייר ( $D = 0.08\text{mm}$ )?  
ב. איזה מרחק יכסו אותו מספר מחזוריים שמצאים בסעיף א, אם מדובר בגלי מיקרו בעלי תדיירות של  $f = 10^{10}\text{Hz}$ ?

$$\text{גלי מיקרו נעים במהירות האור, } c = 310^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

ג. מהי מהירות הקול בגוש ברזל, אם מתפשט בו גל בתדיירות  $f = 5 \cdot 10^7\text{Hz}$ ?  
עם אורך גל של  $\lambda = 9 \cdot 10^{-5}\text{m}$ ?

**3) תרגיל – סכום של N גלים עם הפרשי פאזה ומספרים מורכבים\*\***  
נתבונן ב-  $N$  גלים מהצורה  $A \cos(kx - \omega t)$ , כאשר בין גל לגל הפרש פאזה  $\Delta\phi$ ,  
כלומר הגל ה-  $n$  הינו  $A \cos(kx - \omega t + n\Delta\phi)$ .

א. הראו שסכום הגלים,  $\sum_{n=1}^N A \cos(kx - \omega t + n\Delta\phi)$ , שקול לגל יחיד עם אותם ערכי  $\omega$  ו-  $k$ , ומצאו את האמפליטודה והפאזה שלו. הייערו בכתב מרוכב.

ב. עבור אילו ערכי  $\Delta\phi$  מתקבלת אמפליטודה מקסימלית ומינימלית?

**4) תרגיל – סכום גלים עם הפרשי תדיירות**  
נתונים  $N$  גלים תלויים בזמן כך שקיים הפרש תדיירות קבוע בין כל שני גלים  $\delta\omega$ . כלומר הגל ה-  $n$  הוא מהצורה:  $A \cos(\omega_0 t + n\delta\omega t)$ .

א. השתמשו בתוצאה של התרגיל הקודם ומצאו את סכום הגלים מ-  $n=0$  ועד  $n=N-1$ .

ב. הראו שעבור  $n=2$  מתקבלת התוצאה של חיבור שני גלים שראינו בסרטון ההרצאה.

## תשובות סופיות

(1) א.  $A = 2m, \omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, f = 79.6 \text{ Hz}, k = 0.2 \frac{1}{m}, \lambda = 10\pi m, v = 2500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

ב. גל סינוס עם פאזה של  $\pi$  בתדרות כפולת ואורך גל כפול ואמפליטודה של 3.3.

(2) א. 130. ב.  $\frac{3}{9} \text{ m}$ .

(3) א. אמפליטודה  $\tilde{A} = A \frac{\sin\left(\frac{N\Delta\phi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}$ ; פאזה  $\tilde{\phi} = \frac{N+1}{2} \Delta\phi$ .

ב. האמפליטודה המינימלית היא A ויהי מתකבלת כ-2.

האםפליטודה המינימלית היא אפס ויהי מתකבלת עבור

כאשר  $\frac{k}{N}$  לא שלם.

ב. ראו בסרטון. (4) א.  $A \frac{\sin\left(N \frac{\delta\omega t}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\delta\omega t}{2}\right)} \cos\left(\omega_0 t + \frac{N-1}{2} \delta\omega t\right)$