# פיזיקה 1 מכניקה

## פרק 3 - קינמטיקה -

### תוכן העניינים


1. תנועה בקו ישר (מימד אחד) ..... 1
2. תנועה במישור וזריקה משופעת (בליסטיקה) ..... 12
3. משוואת מסלול ..... 16
4. תאוצה נורמלית ומשיקית ורדיוס עקמומיות ..... 17
5. תרגילים נוספים ..... 20

# תנועה בקו ישר (מימד אחד):

## רקע:

הגדרות:

מהירות רגעית - $v_{(t)} = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$.

מהירות ממוצעת - $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$

תאוצה רגעית - $a = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x}$

תאוצה ממוצעת - $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$

קשרים הפוכים:

$$x(t) = \int v(t)\,\mathrm{d}t$$

$$v(t) = \int a(t)\,\mathrm{d}t$$

את האינטגרל אפשר לעשות לא מסוים (בלי גבולות) ואז צריך להוסיף קבוע או מסוים (עם גבולות)

מיקום ומהירות כתלות בזמן בתאוצה קבועה:

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2}at^2$$
$$v(t) = v_0 + at$$

שטח מתחת לגרף הפונקציה:
- השטח מתחת לגרף הפונקציה של המהירות (כתלות בזמן) שווה להעתק (כאשר שטח מתח לציר הזמן מחושב כשלילי, אם מחשבים אותו כחיובי אז מקבלים את הדרך)
- השטח מתחת לגרף של התאוצה (כתלות בזמן) הוא שינוי המהירות (שטח מתחת לציר הזמן מחושב כשלילי)

## שאלות:

**1) דני ודנה רצים זה לקראת זו**

דני ודנה רצים זה לקראת זו.
שניהם מתחילים לרוץ ממנוחה.
דני רץ בתאוצה של 0.5 מטר לשנייה בריבוע ודנה בתאוצה של 1 מטר לשנייה בריבוע.
המרחק ההתחלתי ביניהם הוא 50 מטר.

א. מתי והיכן יפגשו דני ודנה?

ב. מה מהירות כל אחד מהם ברגע המפגש?

**2) דני שכח את הפלאפון**

דני רץ בקו ישר במהירות קבועה שגודלה 14 מטר לשנייה.
ברגע מסוים מבחין יוסי כי דני שכח את הפלאפון שלו.
באותו הרגע נמצא דני כבר במרחק של 64 מטר מיוסי.
יוסי מתחיל לרוץ אחר דני ממנוחה בתאוצה קבועה של 8 מטר לשנייה בריבוע.

א. מצא ביטוי למהירות כתלות בזמן עבור דני ויוסי.
שרטט גרפים עבור שני הביטויים שמצאת על אותה מערכת צירים.

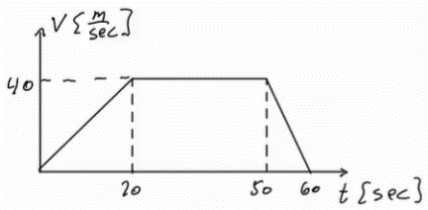
ב. מתי מהירותו של יוסי שווה לזו של דני? האם הוא משיג את דני ברגע זה?

ג. מצא ביטוי למיקום כתלות בזמן עבור דני ויוסי.
שרטט גרפים עבור שני הביטויים שמצאת על אותה מערכת צירים.

ד. מתי ישיג יוסי את דני? כמה מרחק עבר יוסי עד אז?

**3) גרף של מהירות אופנוע בזמן**

בגרף הבא נתונה מהירותו של אופנוע כתלות בזמן. האופנוע נע על קו ישר.
קבע את ראשית הצירים במיקום ההתחלתי של האופנוע.




א. תאר את סוג התנועה של האופנוע בכל אחד מקטעי התנועה.

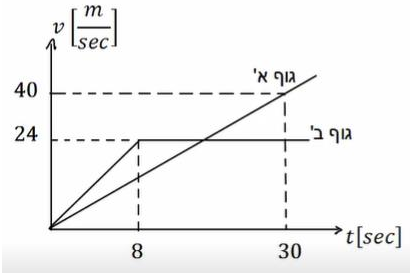
ב. מצא את תאוצת האופנוע כתלות בזמן.

ג. מהי מהירות האופנוע ברגעים: $t=15\ ,\ 40\ ,\ 55$?

ד. מצא את מיקום האופנוע באותם רגעים של סעיף ג'.

**4) גרף מהירויות של שני גופים**

בגרף הבא מתוארות המהירויות של שני גופים כתלות בזמן.
הנח ששני הגופים נעים לאורך קו ישר ויוצאים מהראשית.




א. תאר את תנועתו של כל גוף.

ב. רשום נוסחת מקום זמן לכל גוף.

ג. מצא את המרחק בין הגופים ברגעים: $t=3s\ ,\ 24s$ וציין מי מקדים את מי.

ד. מתי מהירויות שני הגופים שוות?

ה. מתי מיקום שני הגופים זהה?

**5) תרגיל עם הכל**

הגרף הבא מתאר את מהירותו של גוף הנע בקו ישר.
הנח שהגוף מתחיל את תנועתו מהראשית. הגוף נע במשך 10 שניות ונעצר.

א. תאר את התנועה של הגוף במילים.

ב. שרטט גרף של התאוצה כתלות בזמן של הגוף.

ג. מתי נמצא הגוף במרחק הגדול ביותר (בכיוון החיובי) מהראשית?
מהו מרחק זה?

ד. מהו המרחק הכולל שעבר הגוף?

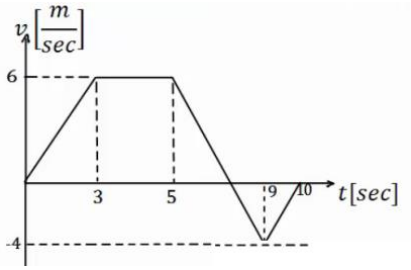
ה. מהו ההעתק הכולל שעשה הגוף?

ו. מהי המהירות הממוצעת של הגוף בתנועה?

ז. מהו מרחק הגוף מהראשית ב- $t=6\sec$?

ח. מתי נמצא הגוף במרחק 12 מטרים מהראשית?

ט. שרטט גרף של מיקומו של הגוף כתלות בזמן, אין צורך לסמן ערכים בציר האנכי של הגרף.



**6) תפוח עץ**

תפוח נופל מעץ בגובה 15 מטרים.
(הנח שהתפוח נופל ממנוחה והזנח את התנגדות האוויר).

א. מצא את המהירות בה יפגע התפוח בקרקע.

ב. מצא את המהירות בה יפגע התפוח בראשו של ניטון היושב מתחת לעץ.
הנח שגובה הראש של ניטון בישיבה הוא אחד מטר.

**7) חסידה מביאה חבילה**

חסידה מרחפת במנוחה באוויר ומפילה חבילה מגובה של 320 מטרים.

א. מצא את ההעתק שמבצעת החבילה בשנייה הרביעית של תנועתה.

ב. מצא את ההעתק שמבצעת החבילה בשנייה האחרונה של תנועתה.

**8) דני זורק כדור מחלון גבוה**

דני זורק כדור כלפי מעלה מחלון בביתו הנמצא בגובה 105 מטרים מעל הקרקע (בניין גבוה). מהירות הכדור ישר אחרי הזריקה היא 20 מטר לשנייה.
סמן את כיוון הציר החיובי כלפי מעלה ואת ראשית הצירים בנקודת הזריקה.

א. רשום נוסחאות מקום זמן ומהירות זמן עבור הכדור.

ב. הכן טבלה ורשום בטבלה את הערכים של המיקום והמהירות ב-6 השניות הראשונות.

ג. צייר את מיקום הכדור בכל שנייה ב-6 השניות.

ד. מתי יפגע הכדור בקרקע?

ה. חזור על סעיפים א' ו-ד' במקרה שבו ראשית הצירים בקרקע.

**9) גוף נזרק אנכית מגג בניין**

גוף נזרק אנכית כלפי מעלה מגג בניין שגובהו 40 מטר.
מהירותו ההתחלתית של הגוף היא 30 מטר לשנייה.
בחר ציר $y$ שראשיתו בקרקע וכיוונו החיובי כלפי מעלה.

א. רשום את פונקציית המקום-זמן, מהירות-זמן ותאוצה-זמן של הגוף.

ב. ערוך טבלה של מהירותו ומיקומו בזמנים: $t=0\ ,\ 1\ ,\ 2\ ,\ 3\ ,\ 4\ ,\ 5\text{sec}$.

ג. שרטט גרפים עבור שלושת הפונקציות שחישבת בסעיף א'.

**10) כדור נזרק מלמעלה וגוף נזרק מלמטה**

כדור נזרק כלפי מטה מראש בניין שגובהו 80 מטר.
מהירותו ההתחלתית של הכדור היא 15 מטר לשנייה.
באותו הרגע נזרק גוף שני מתחתית הבניין כלפי מעלה.
מהירותו ההתחלתית של הגוף השני היא 40 מטר לשנייה.

א. רשום נוסחת מקום-זמן עבור כל גוף.

ב. האם הגוף השני יעבור את גובה הבניין?

ג. היכן ביחס לרצפת הבניין יחלפו הגופים אחד ליד השני?

ד. רשום נוסחת מהירות-זמן לכל גוף.

ה. מה תהיה מהירות כל גוף ברגע המפגש?

ו. מהי מהירות הפגיעה בקרקע של כל גוף?

ז. שרטט גרף מהירות-זמן וגרף מיקום זמן לכל גוף.

**11) מהירות כנגזרת של פולינום**

גוף נע בקו ישר ומיקומו כתלות בזמן נתון לפי: $x(t)=2t^3-12t+30$
כאשר הזמן בשניות והמיקום במטרים.

א. מצאו את המהירות כתלות בזמן.

ב. מתי הגוף נעצר?

**12) תנועה בקו ישר, מהירות כנגזרת**

מיקומו של גוף הנע בקו ישר נתון לפי: $x(t)=32te^{-t}$.

א. מצא את הזמן בו הגוף נעצר.

ב. מצא את מרחק הגוף ברגע זה מהראשית.

**13) תנועה בקו ישר, מהירות כנגזרת ותאוצה**

גוף נע בקו ישר ומיקומו כתלות בזמן נתון לפי: $x(t)=-2t^3+6t+3$
כאשר הזמן בשניות והמיקום במטרים.

א. מצאו את המהירות כתלות בזמן ואת הרגע בו הגוף נעצר.

ב. מהו המרחק המקסימאלי אליו הגיע הגוף?

ג. מהי תאוצת הגוף?

**14) תאוצה מפוצלת**

גוף נקודתי מתחיל לנוע ממנוחה ונע בקו ישר.

תאוצת הגוף תלויה בזמן ונתונה לפי: $a(t)=\begin{cases} t\left[\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right] & ,\ 0\le t\le 3[\text{sec}] \\ 5-t\left[\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}\right] & ,\ 3<t[\text{sec}] \end{cases}$.

תנועת הגוף נמשכת עד לרגע בו הוא עוצר.

א. מהי מהירות הגוף בזמן?

ב. מהי המהירות המרבית של הגוף במהלך התנועה?

ג. מתי עוצר הגוף?

ד. איזה מרחק (העתק) הוא עובר עד לעצירה?

**15) מהירות מינימלית**

גוף נע בקו ישר ומיקומו כתלות בזמן נתון לפי: $x(t)=\alpha t^3-\beta t^2+\gamma t$.

כל היחידות סטנדרטיות (מיקום במטר וזמן בשניות).

א. מהן היחידות של $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$?

ב. מהו מיקום הגוף ב- $t=0$?

ג. מצאו את המהירות ההתחלתית של הגוף.

ד. מצאו מהי התאוצה ההתחלתית של הגוף.

ה. חשבו את המהירות המינימלית של הגוף כפונקציה של הקבועים בבעיה ומצאו מה התנאי שצריכים למלא הקבועים על מנת שאכן תהיה מהירות מינימלית.

**16) ילד זורק כדור בקפיצה***

ילד מנסה לזרוק כדור לתקרה של הכיתה אך אינו מצליח להגיע עד לתקרה.
המורה לפיזיקה שהבחין בניסיונותיו של הילד הציע לו שיזרוק את הכדור תוך כדי קפיצה בכיוון מעלה.

א. האם המורה צודק? לאיזה גובה יגיע הכדור אם הילד קופץ ומיד זורק את הכדור כלפי מעלה? הניחו שמהירות הקפיצה של הילד היא $v_1$ ומהירות הזריקה של הכדור $v_2$ ביחס לילד היא אותו הדבר.
הניחו שזריקת הכדור לא משפיעה על הילד.

ב. בטאו את ההעתק של הילד ושל הכדור כפונקציה של הזמן בו הילד זורק את הכדור.

**17) זמן מינימלי לסיים מסלול***

מכונית יכולה להאיץ מאפס ל-100 קמ״ש תוך 10 שניות, כאשר ניתן להניח שקצב ההאצה קבוע. אותה מכונית יכולה לבלום בקצב של 0.5g.
מהו הזמן המינימלי לעבור מסלול של 3 ק״מ אם המכונית מתחילה ממנוחה ומסיימת בעצירה מוחלטת? (רמז: השתמש בגרף מהירות זמן).

**18) כמה זמן הרכבת נסעה במהירות קבועה***

רכבת יוצאת מיישוב א׳ אל יישוב ב׳.
בשליש הראשון של הדרך הרכבת מאיצה בתאוצה קבועה.
בשליש השני של הדרך הרכבת נוסעת במהירות קבועה.
בשליש האחרון של הדרך הרכבת מאטה בקצב קבוע עד לעצירתה ביישוב ב׳.
זמן הנסיעה הכולל הוא $T$.
כמה זמן נסעה הרכבת במהירות קבועה?

**19) אדם משחרר כדור מתוך מעלית***

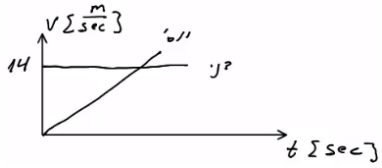
מעלית עולה מגובה הקרקע במהירות קבועה.
בזמן $T_1$, אדם הנמצא במעלית משחרר כדור מתוך המעלית דרך חור שברצפת המעלית.
הכדור מגיע לקרקע כעבור $T_2$ שניות.
מצאו את גובה המעלית $h$ בזמן $T_1$.
נתונים $T_1$ ו- $T_2$.

## תשובות סופיות:

**1)** א. הזמן: $t=8.16\sec$ , המיקום: $16.65\text{m}$.

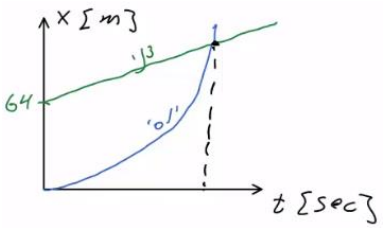
ב. $V_{Dani}\left(t=8.16\right)=4.08\frac{\text{m}}{\sec}$ , $V_{Dana}\left(t=8.16\right)=-8.16\frac{\text{m}}{\sec}$

**2)** א. דני - $V\left(t\right)=14\frac{\text{m}}{\sec}$ , יוסי - $V\left(t\right)=8t$. גרף:




ב. $t=1.75\sec$ , לא.

ג. דני - $x\left(t\right)=64+14t$ , יוסי - $x\left(t\right)=4t^2$. גרף:




ד. ב- $t=6.12$ , המרחק: $149.82\text{m}$.

**3)** א. כאשר $0\le t\le 20$ (חלק I), התאוצה חיובית וקבועה, והמיקום הולך וגדל.
כאשר $20\le t\le 50$ (חלק II), המהירות קבועה (אין תאוצה) והמיקום גדל.
כאשר $50\le t\le 60$ (חלק III), התאוצה קבועה ושלילית והמיקום הולך וגדל.

ב. $$a=\begin{cases}2\frac{\text{m}}{\sec^2} & 0<t<20\\ 0 & 20<t<50\\ -4\frac{\text{m}}{\sec^2} & 50<t<60\end{cases}$$

ג. $V\left(t=55\right)=20\frac{\text{m}}{\sec}$ , $V\left(t=40\right)=40\frac{\text{m}}{\sec}$ , $V\left(t=15\right)=30\frac{\text{m}}{\sec}$

ד. $x\left(t=55\right)=1,750\text{m}$ , $x\left(t=40\right)=1,200\text{m}$ , $x\left(t=15\right)=225\text{m}$

**4)** א. גוף א': תנועה בתאוצה קבועה, האצה. ההתקדמות בכיוון חיובי.
גוף ב': כאשר $0<t<8$ , כמו גוף א'. כאשר $8\le t$ ,
תנועה במהירות קבועה בכיוון חיובי.

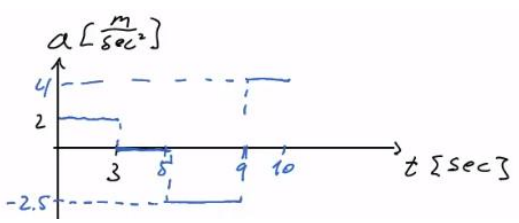
ב. גוף א': $\frac{2}{3}t^2$ , גוף ב': כאשר $0\le t\le 8$ , כמו גוף א'.
כאשר $8\le t\le\infty$ , $x\left(t\right)=96+24\left(t-8\right)$.

ג. כש- $\Delta x\left(t=3\right)=7.5\text{m}$ , וכש- $\Delta x\left(t=24\right)=96\text{m}$. גוף ב' מקדים את א'.

ד. $t=18\sec$ ה. כש- $t=31.42\sec$.

**5)** א. כאשר $0 \le t \le 3$ (חלק I), תאוצה קבועה, האצה והתקדמות בכיוון החיובי.
כאשר $3 \le t \le 5$ (חלק II), תנועה במהירות קבועה, התקדמות בכיוון החיובי.
כאשר $5 \le t \le 9$ (חלק III), תאוצה קבועה שלילית.
תאוצה עד אשר המהירות מתאפסת, ואז מתחילה האצה בכיוון הנגדי.
התקדמות בכיוון החיובי עד שהמהירות מתאפסת ואז מתחילים לחזור בכיוון הנגדי.
כאשר $9 \le t \le 10$, תאוצה קבועה חיובית, תאוטה. התקדמות בכיוון הנגדי.

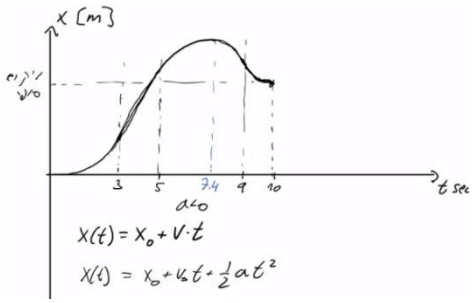
ב. $a=\begin{cases} 2\frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 0<t<3 \\ 0 & 3<t<5 \\ -2.5\frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 5<t<9 \\ 4\frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 9<t<10 \end{cases}$ גרף:




ג. בזמן: $7.4\text{sec}$, המרחק: $28.2\text{m}$. ד. $S=33.4\text{m}$ ה. $\Delta x=23\text{m}$

ו. $\bar{V}=2.3\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ז. $\Delta x=x(t=6)25.75\text{m}$ ח. $t=3.5\text{sec}$

ט.




**6)** א. $17.32\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ב. $V_F \approx 16.73$

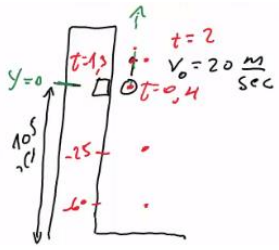
**7)** א. $80\text{m}$ ב. $40\frac{\text{m}}{\text{sec}}$

**8)** א. מקום-זמן: $y(t)=20t-5t^2$ , $V(t)=20-10t$

ב.

| זמן (שניות) | מיקום (מטר) | מהירות (מטר לשנייה) |
|---|---|---|
| 1 | 15 | 10 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 15 | -10 |
| 4 | 0 | -20 |
| 5 | -25 | -30 |
| 6 | -60 | -40 |

ג. ד. $7\text{sec}$




ה. (א) מקום-זמן: $y(t)=105+20t-5t^2$. מהירות-זמן: $V(t)=20-10t$.
(ד) $7\text{sec}$

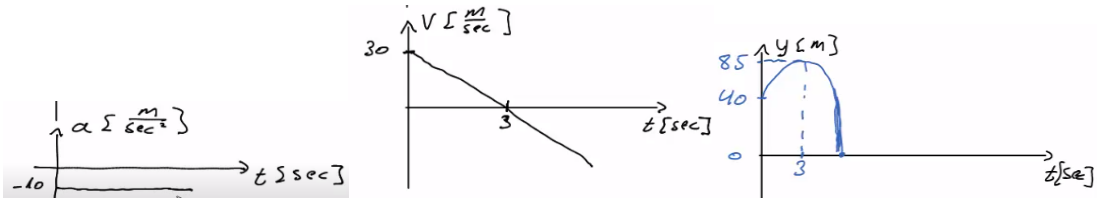
**9)** א. מקום-זמן: $y(t)=40+30t-5t^2$ , מהירות-זמן: $v(t)=30-10t$ ,

תאוצה-זמן: $a=-10$

ב.

| זמן (שניות) | מקום (מטר) | מהירות (מטר לשנייה) |
|---|---|---|
| 0 | 40 | 30 |
| 1 | 65 | 20 |
| 2 | 80 | 10 |
| 3 | 85 | 0 |
| 4 | 80 | -10 |
| 5 | 65 | -20 |

ג. מקום-זמן: מהירות-זמן: תאוצה-זמן:



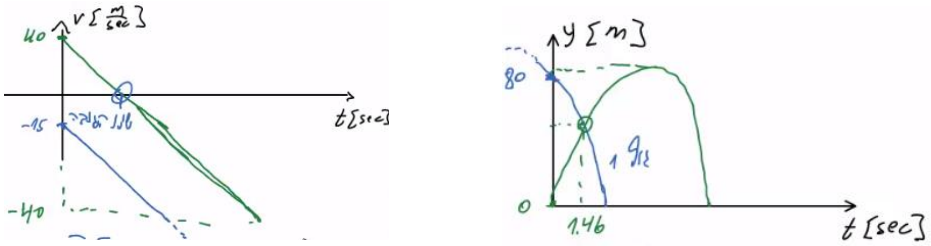

**10)** א. גוף 1 - כדור: $y_1(t)80+(-15)t-5t^2$ , גוף 2 - ריבוע: $y_2(t)=40t-5t^2$ .

ב. יגיע בדיוק לגובהו. ג. $47.74m$ ד. גוף 1: $v_1(t)-15-10t$ ,

גוף 2: $v_2(t)=40-10t$ ה. גוף 1: $-29.6\frac{m}{sec}$ , גוף 2: $25.4\frac{m}{sec}$

ו. גוף 1: $-42.72\frac{m}{sec}$ , גוף 2: $-40\frac{m}{sec}$ .

ז. מיקום-זמן: (גוף 1 בכחול, גוף 2 בירוק) מהירות-זמן:




**11)** א. $v=6t^2-12$ ב. $t=\sqrt{2}\,sec$

**12)** א. $t=1sec$ ב. $x(t=1)=\frac{32}{e}$

**13)** א. $t=1sec$ , $v(t)=-6t^2+6$ ב. $X\max=7m$ ג. $a=-12t$

**14)** א. $V(t)=\begin{cases}\frac{t^2}{2}\left(\frac{m}{sec}\right) & 0\le t\le 3\\ \left(5t-\frac{t^2}{2}-6\right)\left(\frac{m}{sec}\right) & 3\le t\end{cases}$ ב. $V_{max}=6.5\frac{m}{sec}$

ג. $t_2\approx 8.61$ ד. $\Delta x\approx 31.79m$

**15)** א. $[\gamma]=\frac{m}{sec}$ , $[\beta]=\frac{m}{sec^2}$ , $[\alpha]=\frac{m}{sec^3}$ ב. 0 ג. $\gamma$

ד. $-2\beta$ ה. $\alpha>0$ , $-\frac{\beta^2}{3\alpha}+\gamma$

**16)** א. $\frac{(v_1+v_2)^2}{2g}$ המורה צודק ב. ילד: $\frac{v_1^2}{2g}$ , כדור: $\frac{(v_1+v_2)^2}{2g}-v_2t_0$

**17)** $T\approx 58sec$

**18)** $t_2=\frac{T}{5}$

**19)** $h=\frac{gT_2^2}{2\left(1+\frac{T_2}{T_1}\right)}$

# תנועה במישור וזריקה משופעת:

## רקע:

וקטור המיקום - $\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$ .

וקטור ההעתק - $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ .

וקטור המהירות הממוצעת (velocity) - $\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ .

וקטור המהירות הרגעית (velocity) - $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ .

וקטור התאוצה הממוצעת - $\bar{\vec{a}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ .

וקטור התאוצה הרגעית - $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}$ .

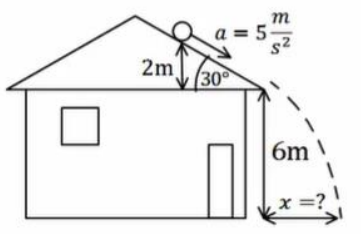
גודל המהירות (Speed) - $|\vec{v}| = \frac{dS}{dt}$ , כאשר S זה הדרך.

## שאלות:

**1) דוגמה - דן יורה חץ על עץ**

דן יורה חץ מגובה של 2 מטרים לעבר עץ הנמצא במרחק של 8 מטרים.
מהירות היציאה של החץ מהקשת היא 30 מטר לשנייה.
מצא באיזה גובה יפגע החץ בעץ אם הזווית שבה יורה דן את החץ היא 15 מעלות?

**2) כדור מתגלגל מגג משופע**




כדור מתגלגל מגג בניין משופע.
הכדור מתחיל תנועתו ממנוחה מגובה של 2 מטרים מקצה הגג.
שיפוע הגג הוא 30 מעלות מתחת לאופק.
נתון כי תאוצת הכדור בכיוון תנועתו על הגג היא 5 מטרים לשנייה בריבוע.
גובה קצה הגג מעל הקרקע הוא 6 מטרים.
מצא את המרחק האופקי מקצה הגג בו יפגע הכדור בקרקע.

**3) תנועת כדור עם רוח נגדית**

כדור נבעט מהקרקע במהירות של 20 מטרים לשנייה ובזווית של 45 מעלות מהקרקע.
רוח נגדית גורמת לכדור תאוצה בכיוון האופקי של 2 מטרים לשנייה בריבוע (בנוסף לתאוצת הכובד).

א. מצא את מיקום הכדור ומהירותו ב- $t = 2\sec$.
ב. מהו המרחק בו פוגע הכדור בקרקע?
ג. מהו הגובה המקסימאלי אליו הגיע הכדור?
ד. מהו המרחק האופקי המקסימאלי אליו הגיע הכדור?

**4) מסירה בפוטבול**

במשחק הפוטבול הרכז האחורי זורק כדור בזווית של 45 מעלות ביחס לקרקע ובמהירות של 30 מטרים לשנייה. שחקן הקבוצה הנמצא 15 מטרים קדימה מהרכז האחורי רץ במהירות של 5 מטרים לשנייה. השחקן רואה את הכדור ומתחיל להאיץ בתאוצה קבועה.
מהי התאוצה הדרושה לשחקן כך שיוכל לתפוס את הכדור בדיוק בגובה בו הוא נזרק?
האם סימן התאוצה יכול להיות שלילי?
מה המשמעות של תאוצה זו?

**5) דוגמה מהירות ממוצעת**

מיקומו של גוף כתלות בזמן הוא: $\vec{r}(t)=3t^2x+(2t+1)y$.

מצא את המהירות הממוצעת ב-5 השניות הראשונות של התנועה.

**6) דוגמה - מהירות רגעית**

מיקומו של גוף כתלות בזמן הוא: $\vec{r}(t)=3t^3x+(4t-5)y$.

א. מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן.

ב. מהי מהירות הגוף ב-$t=2$?

**7) דוגמה - תאוצה**

מהירותו של גוף כתלות בזמן היא: $\vec{v}(t)=2t^3x+(6t-5)y$.

א. מצא את תאוצת הגוף כתלות בזמן.

ב. מהי התאוצה הממוצעת בחמש השניות הראשונות של התנועה?

**8) דרך והעתק**

מיקומו של גוף לפי הזמן נתון לפי: $\vec{r}(t)=2t^3x+(t^3-2)y$.

א. מצא את המהירות הרגעית (velocity) והתאוצה הרגעית כפונקציה של הזמן.

ב. מצא את גודל המהירות (speed) כתלות בזמן.

ג. מצא את הדרך שעשה הגוף בחמש השניות הראשונות.

ד. מצא את המהירות הממוצעת (average velocity) ב-5 השניות הראשונות של התנועה.

ה. מצא את ה-speed הממוצע של הגוף בחמש השניות הראשונות.

## תשובות סופיות:

1) $3.78\text{m}$

2) $4.49\text{m}$

3) א. $x=24.28\text{m}\ ,\ y=8.28\text{m}\ ,\ \mathrm{V}_x=10.14\frac{\text{m}}{\text{sec}}\ ,\ \mathrm{V}_y=-5.86\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ב. $32.01\text{m}$

ג. $10\text{m}$ ד. $x_{\max}=32.01$

4) $a=5.99\frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ , יכול לצאת שלילי, המשמעות שהשחקן צריך להאט בשביל להגיע לנקודה הזאת בדיוק יחד עם הכדור.

5) $\vec{\mathrm{V}}=(15,2)$

6) א. $\vec{\mathrm{V}}=9t^2\hat{x}+4\hat{y}$ ב. $\vec{\mathrm{V}}(t=2)=(36,4)$

7) א. $\vec{a}(t)=6t^2\hat{x}+6\hat{y}$ ב. $\vec{a}=50\hat{x}+6\hat{y}$

8) א. $\vec{\mathrm{V}}_{(t)}=6t^2\hat{x}+3t^2\hat{y}$ ב. $\left|\vec{\mathrm{V}}\right|=\sqrt{45}t^2$ ג. $S\approx 279.5\text{m}$

ד. $\vec{\mathrm{V}}=50\hat{x}+25\hat{y}$ ה. $\left|\vec{\mathrm{V}}\right|\approx 55.9\frac{\text{m}}{\text{sec}}$

# משוואת מסלול:

## רקע:

משוואת מסלול היא פונקציה מהצורה $y(x)$ , סרטוט של הפונקציה הוא המסלול של הגוף במישור. ניתן למצא את המשוואה באמצעות בידוד משתנה הזמן מהפונקציה x(t) והצבה ב y(t).

## שאלות:

**1) דוגמה-משוואת מסלול**

מצא את משוואת המסלול ושרטט את המסלול על מערכת צירים עבור המסלול הבא: $y(t)=\sqrt{7-t^2}$ , $x(t)=\sqrt{3+t^2}$.

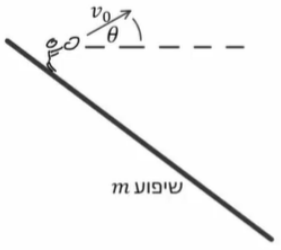
הנח ש- $x$ ו- $y$ תמיד חיוביים.

**2) זריקה משופעת על מישור משופע**

איתי עומד על מישור משופע בעל שיפוע m , איתי זורק כדור לכיוון מורד המישור במהירות התחלתית $v_0$ ובזווית $\theta$ ביחס לאופק.

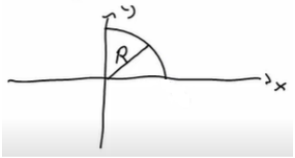
א. מצא מה המרחק מאיתי שבו יפגע הכדור? (התעלם מהגובה של איתי).

ב. מהי הזווית $\theta$ עבורה מרחק זה יהיה מקסימאלי?




## תשובות סופיות:

**1)** $y(x)=\sqrt{10-x^2}$




א. $x=\frac{2v_0^2\cos^2\theta(\tan\theta+m)}{g}$ ב. $\tan 2\theta=\frac{1}{m}$

# תאוצה נורמלית ומשיקית ורדיוס עקמומיות:

## רקע:

תאוצה משיקית:

$$|\vec{a}_t| = \frac{\vec{a}\cdot\vec{v}}{|\vec{v}|}\ ,\ \vec{a}_t = \frac{(\vec{a}\cdot\vec{v})}{|\vec{v}|^2}\vec{v}$$

התאוצה המשיקית היא ההרכיב של התאוצה שמשיק למהירות (או למסלול) והיא משנה רק את גודל המהירות.

$$|\vec{a}_t| = \frac{\mathrm{d}|\vec{v}|}{\mathrm{d}t}$$

תאוצה נורמלית:

$$|\vec{a}_n| = |\vec{a} - \vec{a}_t| = \frac{|\vec{a}\times\vec{v}|}{|v|},\ \ \vec{a}_n = \vec{a} - \vec{a}_t$$

התאוצה הנורמאלית היא ההרכיב של התאוצה שמאונך למהירות (או למסלול) והיא משנה רק את כיוון המהירות.

רדיוס עקמומיות:

$$R = \frac{|\vec{v}|^2}{|\vec{a}_n|}$$

## שאלות:

**1) תאוצה משיקית ונורמאלית**

מיקומו של גוף כתלות בזמן נתון לפי: $y(t)=(1-t)^2,\ x(t)=2t^2$

כאשר הצבה של הזמן בשניות תיתן מיקום במטרים.

א. מצא מתי מהירות הגוף מינימלית?

ב. מצא את מיקום הגוף כאשר מהירותו היא: $6\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sec}}$.

ג. חשב את התאוצה המשיקית והנורמאלית ב- $t=2\,\mathrm{sec}$.

**2) חישוב תאוצה משיקית ונורמלית גודל וכיוון**

וקטור המיקום של גוף מסוים נתון ע"י המשוואה: $\vec{r}(t)=t^2x+4tx-5t^2\hat{z}$.

א. חשב את וקטור המהירות של הגוף כתלות בזמן.

ב. חשב את וקטור התאוצה של הגוף כתלות בזמן.

ג. חשב את גודל התאוצה המשיקית כתלות בזמן.

ד. חשב את גודל התאוצה הנורמלית כתלות בזמן.

ה. חשב את וקטור התאוצה המשיקית כתלות בזמן.

ו. חשב את וקטור התאוצה הנורמלית כתלות בזמן.

**3) תאוצה משיקית ונורמאלית בציקלואידה**

המסלול שמשרטטת נקודה על ההיקף של גלגל בעת שזה מתגלגל (ללא החלקה) על משטח אופקי נקרא ציקלואידה. מיקום הנקודה בכל רגע נתון על ידי הביטוי:

$\vec{r}(t)=(\mathrm{R}\sin\omega t+\mathrm{R}\omega t)\hat{x}+(\mathrm{R}\cos\omega t+\mathrm{R})\hat{y}$. R ו- $\omega$ הם קבועים נתונים.

א. חשב את וקטור המהירות של הנקודה בכל רגע.

ב. מצא את הרגע בו הנקודה נמצאת בשיא הגובה (בציר ה- $y$) ואת הרגע בו הגובה מינימלי (קיימים אינסוף רגעים כי התנועה מחזורית, רשום בצורה כללית).

ג. מצא את תאוצת החלקיק בכל רגע.

ד. חשב את התאוצה המשיקית והנורמאלית כאשר הנקודה מגיעה לגובה מקסימלי ומינימלי.

ה. חשב את התאוצה המשיקית והנורמאלית ברגע שבו רכיב ה- $x$ של המהירות מתאפס.

**4) חרוז נע על טבעת אליפטית**

חרוז נע על פני טבעת אליפטית, כך שמיקומו בכל רגע כתלות בזמן הוא:

$\vec{r}(t)=a\cos(\omega t)\hat{x}+b\sin(\omega t)\hat{y}$. $a$ , $b$ , $\omega$ קבועים נתונים.

א. מצא את התאוצה המשיקית כתלות בזמן.

ב. מצא את התאוצה הנורמלית כתלות בזמן.

ג. כאשר $|a|=|b|$ האליפסה הופכת למעגל.

במקרה זה, האם גודל המהירות במשך התנועה גדל, קטן, לפעמים גדל ולפעמים קטן או נשאר קבוע?

## תשובות סופיות:

**1)** א. $t=0.2\sec$ ב. $\vec{r}=(4.38,0.23)$

ג. $\vec{a}_b=(4.24,1.06)\frac{\mathrm{m}}{\sec^2}$ , $\vec{a}_n=(-0.24,0.94)\frac{\mathrm{m}}{\sec^2}$

**2)** א. $\vec{V}_{(t)}=\dot{\vec{r}}=2t\hat{x}+4\hat{y}-10t\hat{z}$ ב. $\vec{a}=\dot{\vec{V}}=2\hat{x}-10\hat{z}$

ג. $|a_t|=\frac{52t}{\sqrt{26t^2+4}}$ ד. $|a_n|=\sqrt{\frac{208}{13t^2+2}}$

ה. $\vec{a}_t=\frac{52t}{26t^2+4}(t,2,-5t)$ ו. $\vec{a}=\frac{4}{13t^2+2}(1,-13t,-5)$

**3)** א. $\vec{V}=\dot{\vec{r}}=\left(\mathrm{R}\omega\cdot\cos(\omega t)+\mathrm{R}\omega\right)\hat{x}+\left(-\mathrm{R}\omega\sin(\omega t)\right)\hat{y}$

ב. $t_{\max}=\frac{2\pi}{\omega}k$ , $t_{\min}=\frac{\pi}{\omega}+\frac{2\pi}{\omega}k$ ג. $\vec{a}=\dot{\vec{V}}=-\omega^2\mathrm{R}\sin(\omega t)\hat{x}-\omega^2\mathrm{R}\cos(\omega t)\hat{y}$

ד. $\vec{a}_t=0$ , $\vec{a}_n=\vec{a}=-\omega^2\mathrm{R}\hat{y}$ ה. אי אפשר להגדיר.

**4)** א. $a_t=\frac{\omega^2\sin(2\omega t)\left(a^2-b^2\right)}{2\sqrt{a^2\sin^2(\omega t)+b^2\cos^2(\omega t)}}$

ב. $a_n=\sqrt{\omega^4a^2\cos^2(\omega t)+\omega^4b^2\sin^2(\omega t)+\left(-\frac{\omega^4\sin^2(2\omega t)\left(a^2-b^2\right)}{4\left(a^2\sin^2(\omega t)+b^2\cos^2(\omega t)\right)}\right)}$

ג. $|\vec{V}|=\mathrm{const}$ , הגודל נשאר קבוע.

# תרגילים נוספים:

## שאלות:

**1) גודל מהירות מינימלי**

וקטור המיקום של גוף מסוים כתלות בזמן נתון על ידי: $\vec{r}(t)=2t^2\hat{i}-6j+(t-5)^2k$.

א. מהו וקטור המהירות של הגוף כתלות בזמן?

ב. מהו וקטור התאוצה של הגוף כתלות בזמן?

ג. מתי גודל מהירות הגוף מינימלי?

ד. מהו וקטור המיקום כאשר גודל מהירותו הוא: $\sqrt{160}\,\frac{\text{m}}{\text{sec}}$?

**2) וקטורים בזריקה משופעת**

גוף נזרק מראשית הצירים במהירות התחלתית $v_0$ ובזווית $\theta$ ביחס לציר ה-$x$.

א. מצאו את וקטור המיקום של הגוף כתלות בזמן.

ב. מצאו את וקטור המהירות והתאוצה של הגוף כתלות בזמן.

ג. חשבו את הזווית בין וקטור המהירות לוקטור התאוצה כתלות בזמן.

**3) וקטור מיקום ומסלול**

וקטור המיקום של גוף הנע במישור $xy$ נתון לפי: $\hat{r}(t)=A\sin(\omega t)\hat{x}+B\cos(\omega t)\hat{y}$.

א. מצאו את וקטור המהירות והתאוצה של הגוף.

ב. חשבו את הזווית בין וקטור המהירות לוקטור התאוצה ב-$t=0$.

ג. הראו שוקטור התאוצה ווקטור המיקום הפוכים בכיוון.

ד. מצאו את מסלול התנועה של הגוף, כלומר את $y(x)$.

**4) וקטור מיקום ומסלול עם זמן בריבוע**

וקטור המיקום של גוף הנע במישור $x-y$ נתון לפי: $\vec{r}(t)=A\sin(\alpha t^2)\hat{x}+B\cos(\alpha t^2)\hat{y}$.

א. מצאו את וקטור המהירות והתאוצה של הגוף.

ב. מצאו את מסלול התנועה של הגוף, כלומר את $y(x)$.

ג. מה ההבדל בין המסלול בתרגיל זה לבין המסלול בתרגיל הקודם?

**5) רובין הוד יורה ותופס חץ**

רובין הוד יורה חץ במהירות $v_0$ וזווית $\theta$ ביחס לקרקע.

ברגע שחרור החץ מתחיל רובין הוד לרוץ בקו ישר ובתאוצה $a(t)=Ae^{-kt}$.

רובין הוד רוצה לתפוס את החץ ברגע פגיעתו בקרקע.

מצאו משוואה עם הפרמטרים $A$ , $\theta$ , $v_0$ והמשתנה $k$ ממנה ניתן לחלץ את $k$ כך שרובין יצליח לתפוס את החץ. אין צורך לפתור את המשוואה.

**6) תנועה במעגל***

גוף נקודתי נע במישור אופקי $xy$.

בזמן $t=0$ מהירות הגוף הייתה: $\vec{v}(0)=15\pi\hat{i}\ \frac{m}{sec}$ יחד עם וקטור המצב: $\vec{r}(0)=5\hat{J}m$.

תאוצת הגוף כפונקציית זמן החל מרגע זה היא:

$\vec{a}(t)=-45\pi^2\sin(3\pi t)\hat{i}-45\pi^2\cos(3\pi t)\hat{J}\ \frac{m}{sec^2}$.

א. מצא את וקטור המהירות של הגוף בזמן.

ב. מצא את וקטור המצב של הגוף בזמן.

ג. מצא את הזווית בין וקטור המצב לוקטור התאוצה בזמן.

ד. מצא את משוואת המסלול של הגוף.

**7) תנועה על אליפסה***

מיקום של גוף נקודתי נתון במשוואה: $\vec{r}=4\sin(\pi t)\hat{i}+3\cos(\pi t)\hat{J}$.

(המיקום במטרים, הזמן בשניות).

א. מצא את משוואת המסלול של הגוף.

ב. מצא את רגעי הזמן שבהם המהירות ורדיוס הוקטור מאונכים.

ג. מצא את תאוצת התנועה והראה שהיא מכוונת כלי ראשית הצירים.

ד. מצא באיזה רגעי זמן גודל התאוצה הוא: $\frac{v^2}{r}$.

ה. חשבו את המרחק המינימלי של הגוף מראשית הצירים.

כמה פעמים, במשך מחזור תנועה אחד, מגיע הגוף למרחק מינימלי מהראשית?

**8) מהירות לפי גזירה תרגיל פשוט**

נתון וקטור $r$ של חלקיק מסוים: $\vec{r}=\left(8t,-5t^2\right)$.

א. מהו רכיב ה-$x$ של הווקטור בזמן?

ב. מהו רכיב ה-$y$ של הווקטור בזמן?

ג. מהי מהירותו בציר $x$?

ד. מהי מהירותו בציר $y$?

ה. האם מהירויות אלו קבועות בזמן?

ו. מהו מרחק החלקיק מהראשית לאחר שעברו 3 שניות?

**9) גזירת מיקום למציאת מהירות**

מיקומו של חלקיק נתון ע"י הווקטור $r$: $\vec{r}=5\sin\left(\pi t\right)\ ,\ 4t^3+t^2\ ,\ 8e^t$.

א. מצאו את ווקטור המהירות כפונקציה של הזמן.

ב. מהי מהירות החלקיק ב-$t=2$?

**10) העתק לפי גזירה**

וקטור $r$ מתאר מיקומו של חלקיק בזמן: $\vec{r}=\left(5t,10+t^2\right)$.

א. מהו מיקום החלקיק בזמן $t=0$?

ב. מהו מיקום החלקיק בזמן $t=5$?

ג. מהו ההעתק בחמש השניות הראשונות?

ד. מהי מהירות החלקיק בזמן $t=5$ (בהצגת גודל וכיוון)?

## תשובות סופיות:

**1)** א. $\vec{v}=\dot{\vec{r}}=4t\hat{i}+2(t-5)\hat{k}$ ב. $\vec{a}=\dot{\vec{v}}=4\hat{i}+2\hat{k}$ ג. $t_{min}=1\sec$

ד. $\vec{r}(t_1)=18\hat{i}-6\hat{J}+4\hat{k}$

**2)** א. $\vec{r}(t)=v_0\cos\theta\cdot t\hat{x}+(v_0\sin\theta\cdot t-5t^2)\hat{y}$ ב. $\vec{v}=v_0\cos\theta\hat{x}+(v_0\sin\theta-10t)\hat{y}$

ג. $\cos\alpha=\dfrac{10t-v_0\sin\theta}{\sqrt{(v_0\cos\theta)^2+(v_0\sin\theta-10t)^2}}$

**3)** א. $\vec{v}=\omega A\cos(\omega t)\hat{x}-\omega B\sin(\omega t)\hat{y}$ , $\vec{a}=-\omega^2 A\sin(\omega t)\hat{x}-\omega^2 B\cos(\omega t)\hat{y}$

ב. $90°$ ג. הוכחה. ד. $\left(\dfrac{y}{B}\right)^2+\left(\dfrac{x}{A}\right)^2=1$

**4)** א. $\vec{v}=A\cos(\alpha t^2)2\alpha t\cdot\hat{x}-B\sin(\alpha t^2)(2\alpha t)\hat{y}$ ,

$$\vec{a}=\left[-A\sin(\alpha t^2)(2\alpha t)^2+2\alpha A\cos(\alpha t^2)\right]\hat{x}-\left[B\cos(\alpha t^2)(2\alpha t)^2+2\alpha B\sin(\alpha t^2)\right]\hat{y}$$

ב. $\left(\dfrac{y}{B}\right)^2+\left(\dfrac{x}{A}\right)^2=1$ ג. אין הבדל

**5)** $\dfrac{v_0^2\sin 2\theta}{g}=\dfrac{A}{k}\dfrac{2v_0\sin\theta}{g}+\dfrac{A}{k^2}\left(e^{-k\frac{2v_0\sin\theta}{g}}-1\right)$

**6)** א. $\vec{v}(t=0)=15\pi\cos(3\pi t)\hat{i}-15\pi\sin(3\pi t)\hat{J}$ ב. $\vec{r}(t)=5\sin(3\pi t)\hat{i}+5\cos(3\pi t)\hat{J}$

ג. $\alpha=180°$ ד. $x^2+y^2=25$

**7)** א. $\left(\dfrac{x}{4}\right)^2+\left(\dfrac{y}{3}\right)^2=1$ ב. $t_1=0$ , $t_2=1$ , $t_3=\dfrac{1}{2}$ , $t_4=\dfrac{3}{2}$

ג. $\vec{a}=\dot{\vec{v}}=-4\pi^2\sin(\pi t)\hat{i}-3\pi^2\cos(\pi t)\hat{J}$

ד. $t_1=\dfrac{1}{4}\sec$ , $t_2=\dfrac{5}{4}\sec$ , $t_3=\dfrac{3}{4}\sec$ , $t_4=\dfrac{7}{4}\sec$ ה. $|\vec{r}|(t=1)=3$ , פעמיים.

**8)** א. $r_x=8t$ ב. $r_y=-5t^2$ ג. $v_x=\dot{r}_x=8$ ד. $v_y=\dot{r}_y=-10t$

ה. המהירות על $x$ קבועה בזמן, המהירות על $y$ לא קבועה בזמן.

ו. $|r_{t=3}|=\sqrt{2601}$

**9)** א. $\vec{v}=\dot{\vec{r}}5\pi\cos(\pi t)$ , $12t^2+2t$ , $8e^t$

ב. $\vec{v}_{t=2}=5\pi\cos(2\pi)$ , $4.2^3+2^2$ , $8e^2=5\pi$ , $36$ , $8e^2$

**10)** א. $\vec{r}_{t=0}=(0,10)$ ב. $\vec{r}_{t=5}=(25,35)$ ג. $|\vec{r}_{t=5}-\vec{r}_{t=0}|=\sqrt{1250}$

ד. $|v_{(t=5)}|=\sqrt{125}$