

# פתח דבר

לתלמידים ולמורים

ספר זה מיועד לתלמידי פיזיקה אינטרניים ואקסטרניים, המתכוננים לגשת לבחינת הבגרות במכניקה 2024, שאלון מספר 036361, וכן למורים הזקוקים למאגר של בחינות מתכונת מעודכנות.

תוכן הספר מעודכן לתוכנית הלימודים של משרד החינוך בהתאם למיקוד החומר לבחינה כפי שהתפרסם בנובמבר 2023, וכולל את עיקרי חומר הלימוד לפי הפרקים השונים, כולל דוגמאות והסברים המוגשים לקורא באופן נוח ללימוד עצמי. כמו כן בספר בחינות מתכונת מעודכנות, בהתאם למיקוד החומר לבחינה. לכל אחת מהשאלות שבבחינות המתכונת ניתן פתרון מלא ומנומק בהתאם לדרישות הפיקוח על הוראת הפיזיקה ובהתאם למחווים של הערכת הבחינות בשנים האחרונות.

השאלות פונות אל כל רמות החשיבה הנדרשות מהתלמידים, החל ברמה של ידע וכלה ברמות חשיבה והבנה גבוהות. רוב השאלות מתאפיינות ברמת קושי מדורגת מהקלה לקשה. השאלות שבבחינות נכתבו במהלך השנים הרבות שבהן כתבתי בחינות לתלמידיי, ושופרו במשך השנים בעקבות בדיקת התשובות של התלמידים.

תודות:

- לשוקי זכאי על הערותיו החכמות.
- לאשתי מיכל וילדיי על הסבלנות.
- לתלמידיי במשך השנים שמהם למדתי יותר מכולם.

רון הדר



## מיפוי שאלות לפי נושא

מבחן 2		
1	קינמטיקה	גרף תאוצה זמן
2	דינמיקה	מישור משופע
3	דינמיקה	ניסוי חוק שני של ניוטון
4	תנועה מעגלית	כוח אלסטי
5	תנועה מעגלית	מד תאוצה
6	כבידה	מפגש לוויינים

מבחן 1		
1	קינמטיקה	גרף מהירות זמן
2	דינמיקה	מישור משופע
3	דינמיקה	תנועת מעלית
4	אנרגיה	עבודה ואנרגיה
5	תנועה מעגלית	מעגל אופקי
6	כבידה	לוויינים

מבחן 4		
1	דינמיקה	שרשרת נופלת משולחן
2	דינמיקה	גלגלות
3	דינמיקה	משקולות
4	תנועה מעגלית	קרוסלה
5	תנועה מעגלית	שני גופים
6	כבידה	לוויינים

מבחן 3		
1	קינמטיקה	זריקה אנכית
2	דינמיקה	מישור משופע
3	דינמיקה	חוקי ניוטון
4	אנרגיה	עבודה ואנרגיה
5	תנועה מעגלית	מעגל אופקי
6	כבידה	לוויינים

מבחן 6		
1	קינמטיקה	זריקה אנכית
2	אנרגיה	עבודה ואנרגיה
3	קינמטיקה	גרף מקום זמן
4	תנועה מעגלית	ניסוי ניוטון
5	תנועה מעגלית	כביש מעגלי
6	כבידה	לוויינים

מבחן 5		
1	קינמטיקה	נפילה חופשית
2	קינמטיקה	כדור מקפץ
3	דינמיקה	מישור משופע
4	תנועה מעגלית	מעגל אופקי
5	תנועה מעגלית	קצובה
6	כבידה	לוויינים

מבחן 8		
1	קינמטיקה	שני גופים
2	דינמיקה	גרף
3	אנרגיה	גרף כוח מהירות
4	תנועה מעגלית	שני גופים
5	תנועה מעגלית	לונה פארק
6	כבידה	צפיפות

מבחן 7		
1	קינמטיקה	טבלת מקום זמן
2	דינמיקה	כולל כוח אלסטי
3	אנרגיה	עבודה ואנרגיה
4	תנועה מעגלית	חרוט
5	תנועה מעגלית	חישוק
6	כבידה	טבעות שבתאי



## פרק 1 - וקטורים

**המושגים** שאנחנו נתקלים בהם בלימוד הפיזיקה נחלקים לשתי קבוצות.

- סקלרים: מושגים המתארים כמות בלבד, כמו מסה, זמן, טמפרטורה ואנרגיה.
- וקטורים: מושגים שאפשר לייחס להם כמות וכיוון, כמו כוח, מהירות, תאוצה וכדומה.

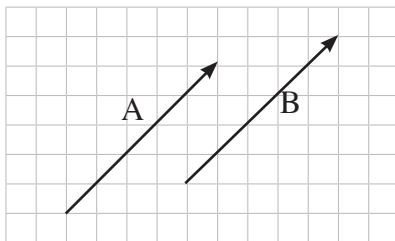
הדרך הפשוטה ביותר לתאר וקטור היא בחץ. אורך החץ מסמל את הכמות, וכיוון החץ מסמל את כיוון הווקטור. למשל מהירות של 8 מטרים לשנייה ימינה תתואר כך:

$$\xrightarrow{8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

הסימון המקובל לווקטור הוא האות המתאימה עם חץ מעליה, או באות מודגשת. לדוגמה: הווקטור  $\vec{A}$  או  $\mathbf{A}$ .

### פעולות חשבון בווקטורים

#### שוויון וקטורים

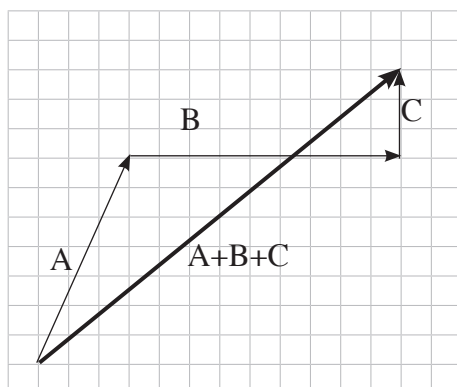


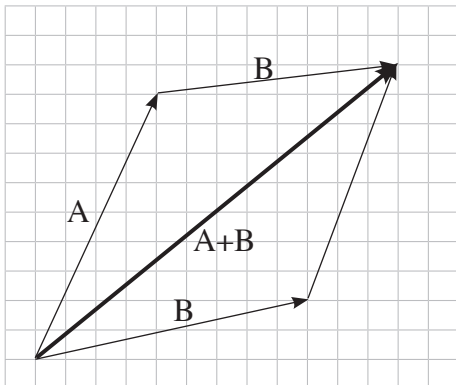
שני וקטורים שווים אם הם שווים בגודלם ובכיוונם. בתרשים שלהלן  $\vec{A} = \vec{B}$ . כלומר, מותר להעתיק וקטור "העתקה מקבילה".

#### חיבור וקטורים

חיבור וקטורים יכול להיעשות בשתי דרכים.

1. חיבור וקטורים **בשיטת השרשרת** (הנקראת גם שיטת המצולע). כדי לחבר מספר וקטורים, מעתיקים אותם העתקה מקבילה בשרשרת, כך שראשיתו של וקטור מתלכדת עם סופו של הווקטור הקודם לו. לסדר החיבור אין חשיבות. ראו בתרשים שלפניכם:

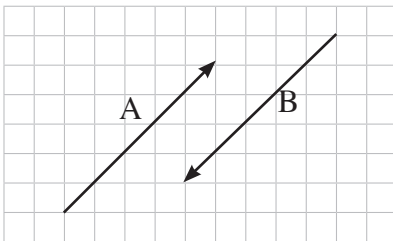




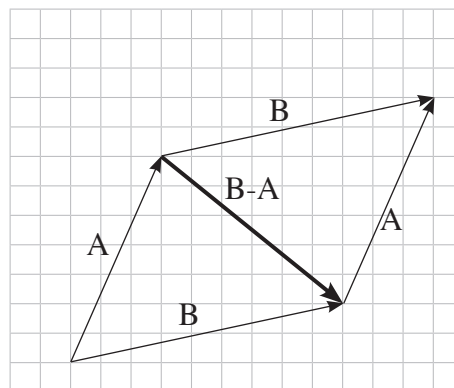
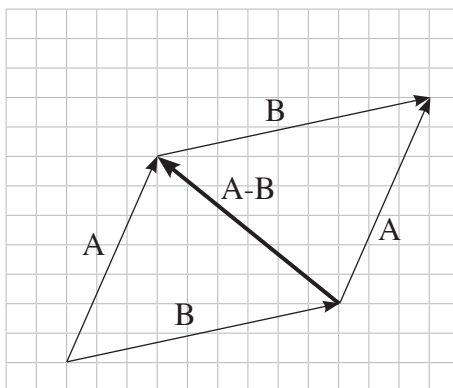
2. חיבור שני וקטורים בשיטת המקבילית.  
 מעתיקים את שני הווקטורים לראשית משותפת,  
 כך שנוצרת מקבילית. תוצאת החיבור היא אלכסון  
 המקבילית, היוצא מהראשית המשותפת. ראו בתרשים  
 שלפניכם:

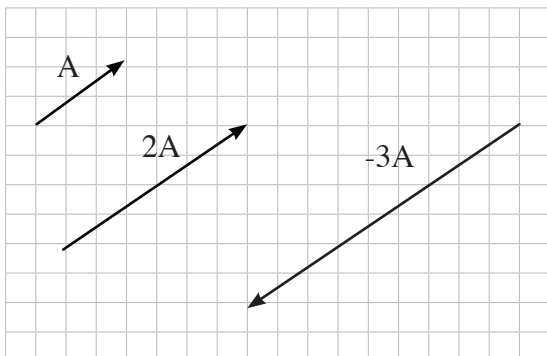
### חיסור וקטורים

**וקטור נגדי:** וקטור נגדי הוא וקטור השווה בגודלו לווקטור הנתון ומנוגד לו בכיוונו. ראו בתרשים  
 שלפניכם:



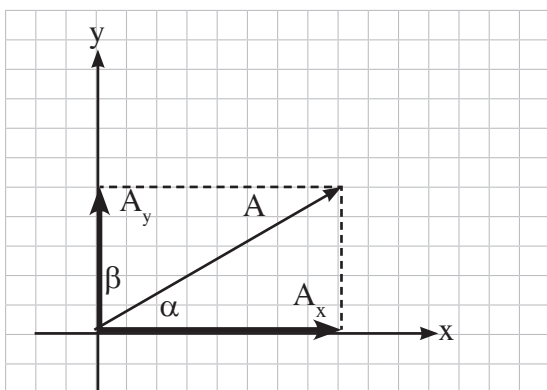
חיסור וקטור הוא חיבור הווקטור הנגדי  $\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$ . בדרך כלל קל יותר לחסר וקטורים בשיטת  
**המקבילית**. הפרש הווקטורים הוא האלכסון השני של המקבילית: ראו בתרשים שלפניכם:





### כפל וקטור בסקלר

כאשר מכפילים וקטור בסקלר חיובי, יש להכפיל בסקלר את אורך הווקטור בלי לשנות את כיוונו. כאשר מכפילים וקטור בסקלר שלילי, יש להכפיל בסקלר את אורך הווקטור ולהפוך את כיוונו.



### הפרדה ישרת זווית - פירוק וקטור לרכיבים

ברוב המקרים קל יותר לבצע פעולות חשבון בווקטורים על ידי פירוקם לרכיבים במערכת צירים.

רכיב ה-x של וקטור A יסומן ב- $A_x$ , ורכיב ה-y של וקטור A יסומן ב- $A_y$ .

אם  $\alpha$  היא הזווית בין הווקטור לבין ציר ה-x, אז

$$A_x = A \cos \alpha$$

$$A_y = A \sin \alpha$$

ואם  $\beta$  היא הזווית בין הווקטור לבין ציר ה-y, אז

$$A_y = A \cos \beta$$

$$A_x = A \sin \beta$$

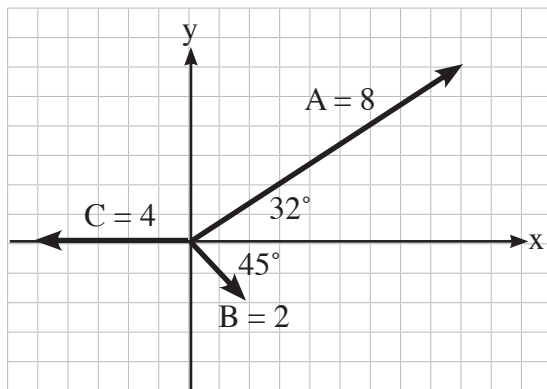
### חיבור מספר וקטורים ומציאת הווקטור השקול

כאשר מחברים מספר וקטורים באותה מערכת צירים, מפרקים כל אחד מהם לשני רכיבים, האחד בכיוון ציר ה-x, והאחר בכיוון ציר ה-y. לאחר מכן מחברים בנפרד את כל רכיבי ה-x ובנפרד את כל רכיבי ה-y. כך מתקבלים רכיבי וקטור הסכום - "רכיב הסכום הוא סכום הרכיבים".

כדי לבנות את וקטור הסכום לאחר שמצאנו את רכיביו, משתמשים במשפט פיתגורס כדי למצוא את

$$|\vec{U}| = \sqrt{U_x^2 + U_y^2} : |\vec{U}| \text{ אורך הווקטור השקול}$$

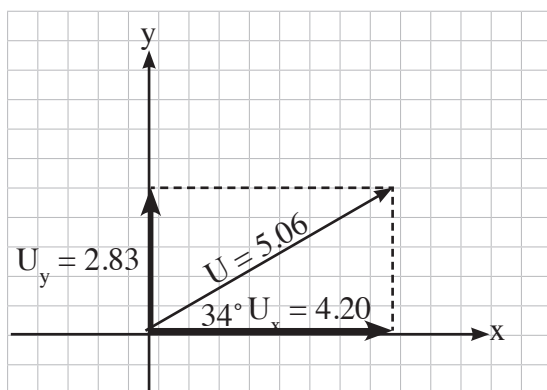
ומשתמשים בהגדרת הטנגנס  $\tan \alpha = \frac{U_y}{U_x}$  כדי למצוא את הזווית בין הווקטור השקול לבין ציר ה-x. כך יוצרים את וקטור הסכום. לדוגמה: נחבר את שלושת הווקטורים A, B, C ביחידות שרירותיות.



$$U_x = A_x + B_x + C_x = 8\cos 32^\circ + 2\cos 45^\circ - 4 = 4.20$$

$$U_y = A_y + B_y + C_y = 8\sin 32^\circ - 2\sin 45^\circ + 0 = 2.83$$

מצאנו את רכיבי וקטור הסכום U, וכעת נוכל ליצור אותו.



$$|\vec{U}| = \sqrt{U_x^2 + U_y^2} = \sqrt{4.2^2 + 2.83^2} = 5.06$$

$$\tan \alpha = \frac{U_y}{U_x} = \frac{2.83}{4.2} \Rightarrow \alpha = 34^\circ$$

העתקה ו/או צילום מספר זה הם מעשה לא חינוכי, המהווה עברה פלילית.



## פרק 2 - קינמטיקה

### חלק א: תנועה בקו ישר

#### הגדרות

#### מקום

כדי לתאר מקום בקו הישר, יש להקצות עליו ציר מספרים. בדרך כלל ציר  $x$  לישר אופקי, וציר  $y$  לישר אנכי. היחידה הסטנדרטית של מקום היא מטר -  $m$ . עלינו לבחור בציר נקודת ראשית  $x_0$  ולבחור כיוון חיובי. למשל,  $x = -5m$  היא נקודה הנמצאת 5 מטרים מנקודת הראשית בכיוון השלילי. השימוש בסימנים פלוס ומינוס חוסך את הצורך להשתמש בווקטורים.

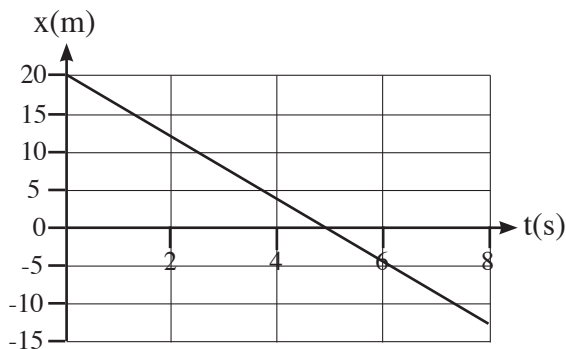
#### זמן

הזמן מסומן באות  $t$ . יחידת המידה הסטנדרטית של הזמן היא שנייה, וסימנה  $s$ .

#### העתק: $\Delta x$

העתק הוא שינוי המקום. כאשר גוף נע מנקודה  $x_1$  לנקודה  $x_2$ , ההעתק שהוא מבצע הוא  $\Delta x = x_2 - x_1$  (המקום בסוף, מינוס המקום בהתחלה, לכן הוא יכול להיות חיובי, שלילי או אפס). הסימן  $s$  מסמל הפרש.

**תנועה של גוף** היא למעשה מקום הגוף כפונקציה של הזמן. אפשר לתאר את התנועה במספר דרכים (בכל המקרים מדובר באותו קשר בין המקום לזמן):



#### • גרף מקום-זמן

• טבלה

t(s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
x(m)	20	16	12	8	4	0	-4	-8	-12

• נוסחה:  $x = 20 - 4t$  ביחידות של מטרים ושניות.

**מרחק:** גודל ההעתק (המרחק תמיד חיובי):  $d = |\Delta x|$ .

**דרך:** אורך המסלול.

**מהירות ממוצעת:**  $\bar{v}$  (קו עליון, גג, מסמל ממוצע) מהירות ממוצעת היא ההעתק חלקי פרק הזמן. יחידות המהירות הסטנדרטיות הן מטרים לשנייה -  $\frac{m}{s}$ . יש לשים לב שלא מדובר בדרך חלקי הזמן, כפי שלומדים במתמטיקה.

למשל, אדם שהולך 10 מטרים ימינה, ואחר כך חוזר למקום מוצאו, עובר דרך של 20 מטרים, אבל מבצע העתק 0. לכן המהירות הממוצעת שלו היא 0.

**המרת יחידות של קילומטר לשעה ליחידות של מטר לשנייה:**

בקילומטר יש 1,000 מטרים, ובשעה יש 3,600 שניות. לכן:

$$\frac{km}{h} = \frac{1000m}{3600s} = \frac{1}{3.6} \frac{m}{s}$$

לכן כדי להמיר יחידות של קילומטר לשעה ליחידות של מטר לשנייה יש לחלק ב-3.6.

$$9 \text{ ק"מ לשעה הם } 2.5 \frac{m}{s} = 9 : 3.6$$

חישוב המהירות הממוצעת נעשה על פי ההגדרה:  $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ . את המהירות הממוצעת בגרף

**מקום-זמן מייצג שיפוע הגרף.**

העתקה ו/או צילום מספר זה הם מעשה לא חינוכי, המהווה עברה פלילית.

## מהירות רגעית

הגדרה פורמלית של המהירות הרגעית היא  $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ . אבל הגדרה זו אינה שימושית. יש דרכים פשוטות יותר לחישוב המהירות הרגעית, לדוגמה: בגרף מקום-זמן בעזרת ערך שיפוע המשיק לגרף. בטבלה יש למצוא שתי נקודות זמן סמוכות לרגע המבוקש, לפניו ואחריו, ולחשב מהירות ממוצעת בקטע

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

קטן (יש להשתמש בנוסחה).

## תאוצה a

התאוצה היא קצב שינוי המהירות, והגדרתה היא:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ . יחידות התאוצה הסטנדרטיות הן

$\frac{m}{s^2}$ . ההגדרות של תאוצה ממוצעת ורגעית דומות להגדרות של המהירות.

## גרפים

## גרף מקום-זמן

בגרף מקום-זמן שיפוע הגרף מייצג את המהירות. גרף של קטע ישר מייצג מהירות קבועה. גרף עקום מייצג מהירות משתנה.

בדוגמה שלפנינו יש מערכת צירים אחת, ונראים בה שלושה גרפים מקום-זמן המתארים תנועה של שלושה גופים.

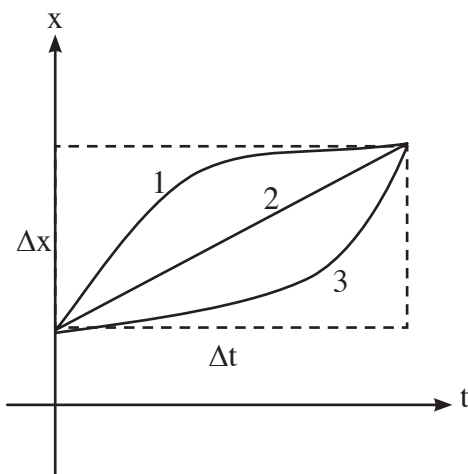
גוף 1 נע במהירות הולכת וקטנה, כי שיפוע הגרף הולך וקטן.

גוף 2 נע במהירות קבועה, כי שיפוע הגרף קבוע.

גוף 3 נע במהירות הולכת וגדלה, כי שיפוע הגרף הולך וגדל.

לשלושת הגופים מהירות ממוצעת זהה, כי הם עוברים את

אותו העתק  $\Delta x$  באותו פרק זמן  $\Delta t$ .

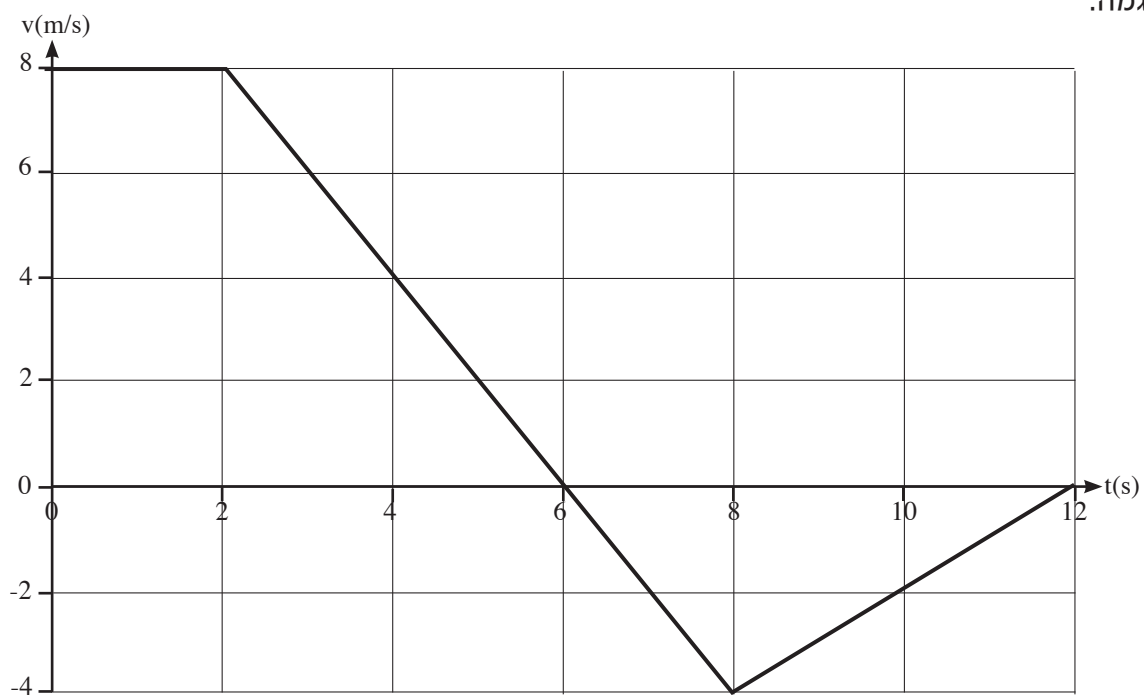


## גרף מהירות-זמן

בגרף מהירות-זמן שיפוע הגרף מייצג את התאוצה. וההעתק מייצג את השטח הכלוא בין הגרף לציר האופקי. למעשה, לא מדובר בשטח ממשי כי הוא נמדד במטרים ולא במטר מרובע, והוא יכול להיות גם שלילי, כאשר הגרף מתחת לציר האופקי.

כלומר: כאשר הגרף מעל הציר האופקי, הגוף נע קדימה, לכיוון החיובי של ציר ה-x. כאשר הגרף מתחת לציר האופקי, הגוף נע לכיוון השלילי של ציר ה-x.

דוגמה:



- בפרק הזמן  $0 \leq t \leq 2$  s הגוף נע לכיוון החיובי במהירות קבועה של  $8 = \frac{m}{s}$ . התאוצה היא 0, כי השיפוע 0.
- בפרק הזמן  $2s \leq t \leq 6s$  הגוף נע לכיוון החיובי במהירות הולכת קטנה. התאוצה היא שיפוע הקטע  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0-8}{6-2} = -2 \frac{m}{s^2}$ .
- בזמן  $t = 6s$  המהירות הרגעית היא 0. הגוף משנה את כיוון תנועתו, ומתחיל לנוע לכיוון השלילי של ציר ה-x.
- בפרק הזמן  $6s \leq t \leq 8s$  המהירות יורדת מ-0 ל- $-4 \frac{m}{s}$ . זאת אומרת שהגוף נע לכיוון השלילי

העתקה ו/או צילום מספר זה הם מעשה לא חינוכי, המהווה עברה פלילית.

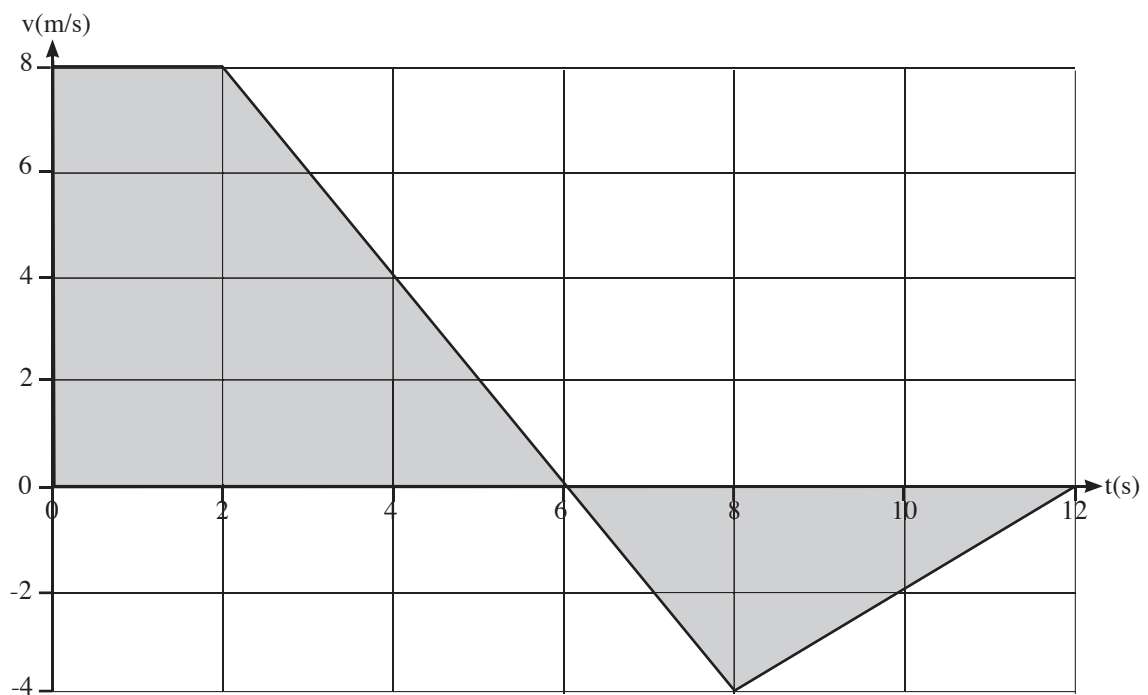
במהירות ההולכת וגדלה. התאוצה נשארת כמו בקטע הקודם, כי השיפוע לא השתנה

$$. a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-4 - 0}{8 - 6} = -2 \frac{m}{s^2}$$

• בפרק הזמן  $8s \leq t \leq 12s$  המהירות עולה מ-  $4 \frac{m}{s}$  ל-0. זאת אומרת שהגוף נע לכיוון השלילי

במהירות ההולכת וקטנה. התאוצה חיובית, כי שיפוע הגרף חיובי  $. a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - (-4)}{12 - 8} = 1 \frac{m}{s^2}$

לחישוב הדרך שבה עבר הגוף או לחישוב ההעתק, יש לחשב את השטח הכלוא בין הגרף לציר האופקי. נחלק את השטח בדוגמה לטרפז הנמצא מעל הציר האופקי, ולמשולש הנמצא מתחתיו.



שטח הטרפז:  $S = \frac{2+6}{2} \cdot 8 = 32m$ . הגוף נע במשך  $t = 6s$ , כלומר 32 מטרים לכיוון החיובי. שטח

המשולש:  $S = \frac{6 \cdot 4}{2} = 12m$ . הגוף נע מ- $t = 6s$ , כלומר, 12 מטרים לכיוון השלילי. יש לשים לב שהדרך

בקטע זה היא חיובית, אבל ההעתק שלילי, כי הגרף נמצא מתחת לציר האופקי:  $\Delta x = -12m$ .

ההעתק הכולל שעבר הגוף הוא  $32 - 12 = 20m$ , והדרך הכוללת היא  $32 + 12 = 44m$ .

## גרף תאוצה-זמן

בגרף תאוצה זמן השטח שמתחת לגרף מייצג את שינוי המהירות  $\Delta v$ .

## נוסחאות התאוצה הקבועה

בעיות הקשורות בגוף או במספר גופים הנעים בתאוצה קבועה אפשר לפתור בעזרת נוסחאות המופיעות בדף נוסחאות ונתונים בפיזיקה, הניתן בבחינה.

סימונים מוסכמים:

$x$  - מקום הגוף בזמן  $t$ .

$x_0$  - מקום הגוף בזמן  $t = 0$ .

$v$  - מהירות הגוף בזמן  $t$ .

$v_0$  - מהירות הגוף בזמן  $t = 0$ .

$t$  - פרק הזמן שעבר מהרגע  $t = 0$ .

$a$  - התאוצה.

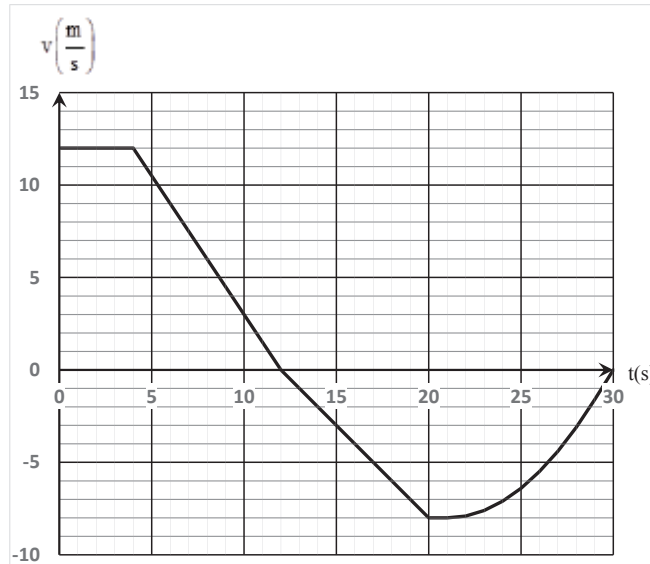
1. פונקציית מהירות-זמן:  $v = v_0 + at$

2. פונקציית מקום-זמן:  $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

3. ההעתק על פי המהירות הממוצעת:  $\Delta x = \frac{v_0 + v}{2} t$

4. נוסחת ריבועי המהירויות:  $\Delta x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$

1. בגרף שלפניכם מתוארת מהירותה של מכונית, כאשר הכיוון החיובי נחשב ימינה.



- א. מצאו את מרחקה של הנקודה הימנית ביותר שאליה הגיעה המכונית מהראשית.
- ב. מצאו את תאוצת המכונית בזמן  $t = 8\text{s}$ .
- ג. חשבו את המהירות הממוצעת של המכונית בפרק הזמן  $0 \leq t \leq 20\text{s}$ .
- ד. השאלות הבאות מתייחסות לפרק הזמן  $20\text{s} \leq t \leq 30\text{s}$ .
- (1) האם המכונית נוסעת ימינה או שמאלה?
- (2) האם נהג המכונית לוחץ על דוושת הבלם או על דוושת הגז?
- (3) האם תאוצת המכונית גדלה או קטנה?

### הפתרון

1. א. עד לזמן  $t = 12\text{s}$  המכונית נעה קדימה, כי המהירות חיובית. לכן יש למצוא את ההעתק שעברה המכונית עד לנקודה זו. העתק זה מיוצג בשטח הטרפז הכלוא בין הגרף לבין הצירים.

$$x = \frac{12+4}{2} \cdot 12 = 96\text{m}$$

ב. שיפוע הגרף מייצג את התאוצה. התאוצה קבועה בפרק הזמן  $4\text{s} \leq t \leq 12\text{s}$ . לכן נמצא את

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{0 - 12}{12 - 4} = \frac{-12}{8} = -1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad : 4\text{s} \leq t \leq 12\text{s}$$

תאוצת המכונית בזמן  $t = 8\text{s}$  היא  $-1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

ג. יש לשים לב בסעיף זה! המהירות הממוצעת היא ההעתק חלקי הזמן, ולא הדרך חלקי הזמן. עלינו להפחית מההעתק שמצאנו בסעיף א את שטח המשולש הכלוא בין הגרף לציר האופקי בתחום  $12s \leq t \leq 20s$  כלומר יש להחשיב את השטח כשלילי  $x_2 = \frac{8 \cdot 8}{2} = -32m$ . ההעתק הכולל בפרק הזמן

ד. פרק הזמן  $20s \leq t \leq 30s$ .  $0 \leq t \leq 20s$  הוא  $\Delta x = 96 - 32 = 64m$ , והמהירות הממוצעת היא  $\bar{v} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{64}{20} = 3.2 \frac{m}{s}$ .

(1) המכונית נוסעת שמאלה כי המהירות שלילית והכיוון החיובי ימינה. לכן הכיוון השלילי הוא שמאלה.

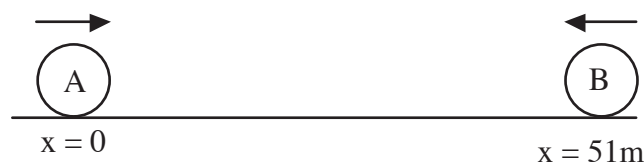
(2) נהג המכונית לוחץ על דוושת הבלם, כי גודל המהירות הולך וקטן.

(3) תאוצת המכונית גדלה, כי השיפוע המשיק לגרף הולך וגדל.

2. שני כדורים מתגלגלים זה אל זה לאורך קו ישר. כדור A מתחיל לנוע ממנוחה, ימינה, בתאוצה

קבועה

של  $2 \frac{m}{s^2}$ , מהנקודה  $x = 0$ . כדור B מתחיל לנוע בו בזמן עם כדור A, מהנקודה  $x = 51m$  שמאלה, במהירות קבועה של  $2.5 m/s$  כמתואר בתרשים שלפניכם:



א. בטאו את מקומו של כל אחד מהכדורים כפונקציה של הזמן (כתבו

את הפונקציה מקום-זמן), כאשר הכיוון החיובי נחשב ימינה.

ב. כעבור כמה זמן ייפגשו הכדורים?

ג. במערכת צירים אחת שרטטו גרפים שיציינו את מקומם של כל אחד מהכדורים כפונקציה של הזמן.