

תנועה לאורך קו ישר

תרגול: מבוא לקינמטיקה
וייצוגי מקום-זמן



Image courtesy of Jon Whiles / freeDigitalPhotos.net

תנועה לאורך קו ישר יכולה להיות מתוארת על ידי ציר מקום.
שלושה מאפיינים לציר זה:

1. **נקודת ראשית** (נקודת האפס), המשמשת כנקודת ייחוס, שביחס אליה קובעים את מיקומו של הגוף.
2. **כיוון הציר** שייחשב ככיוון חיובי.
3. **יחידת האורך**, לפיה נקבע מיקומו של גוף ביחס לנקודת הראשית.



◀ **הגדרה: מקומו** של גוף הנע לאורך קו ישר הוא השיעור x_A של הנקודה, שבה נמצא הגוף על פני ציר מקום.

◀ **הגדר: המרחק בין שתי נקודות A ו-B** הוא הערך המוחלט של הפרש השיעורים של שתי הנקודות:

$$d_{AB} = |x_A - x_B|$$

◀ **הגדרה: ההעתק** שגוף עובר בין שני זמנים t_1 ו- t_2 הוא הפרש השיעורים של מיקום הגוף בשני זמנים אלה:

$$\Delta x_{1 \rightarrow 2} = x_2 - x_1$$

◀ **דרך** שעבר גוף נע שווה לסכום הערכים המוחלטים של כל העתקיו:

$$s = |\Delta x_{0 \rightarrow 1}| + |\Delta x_{1 \rightarrow 2}| + |\Delta x_{2 \rightarrow 3}| \dots$$

◀ ניתן להציג את **פונקציית מקום-זמן** בשלוש דרכים לפחות: טבלה, גרף וביטוי מתמטי.

תזכורת: ייצוגים שונים לפונקצית מקום – זמן

טבלה	דיאגרמת פיזור	פונקציה מתמטית
יתרון: מציגה ערכים מדויקים	חיסרון: אינו מציג ערכים מדויקים	יתרון: מאפשר לדעת כל ערך בצורה מדויקת
חיסרון: אינה מציגה תמונה כוללת של התנועה	יתרון: מציג תמונה כוללת של התנועה	חיסרון: אינו מציג תמונה כוללת של התנועה
חיסרון: אינה מאפשרת לדעת כל ערך	חיסרון: אינו מאפשר לדעת כל ערך בצורה מדויקת	חיסרון: לצורך קבלת הערכים יש לבצע חישוב

▶ **תנועה שוות מהירות היא תנועה שבה גוף עובר העתקים שווים בפרקי זמן שווים.**

▶ **היחס המבטא את העתק הגוף ביחידת זמן מוגדר כמהירות הגוף v :**

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

▶ **פונקצית מקום זמן בתנועה שוות מהירות:**

$$x(t) = x_0 + v \cdot t$$

▶ **הגרף המתאר את מקומו של גוף הנע במהירות קבועה כפונקציה של הזמן הוא קו ישר, שיפועו מייצג את מהירות הגוף, ונקודת החיתוך עם הציר האנכי (x) מייצגת את מקום הגוף ברגע $t_0=0$.**

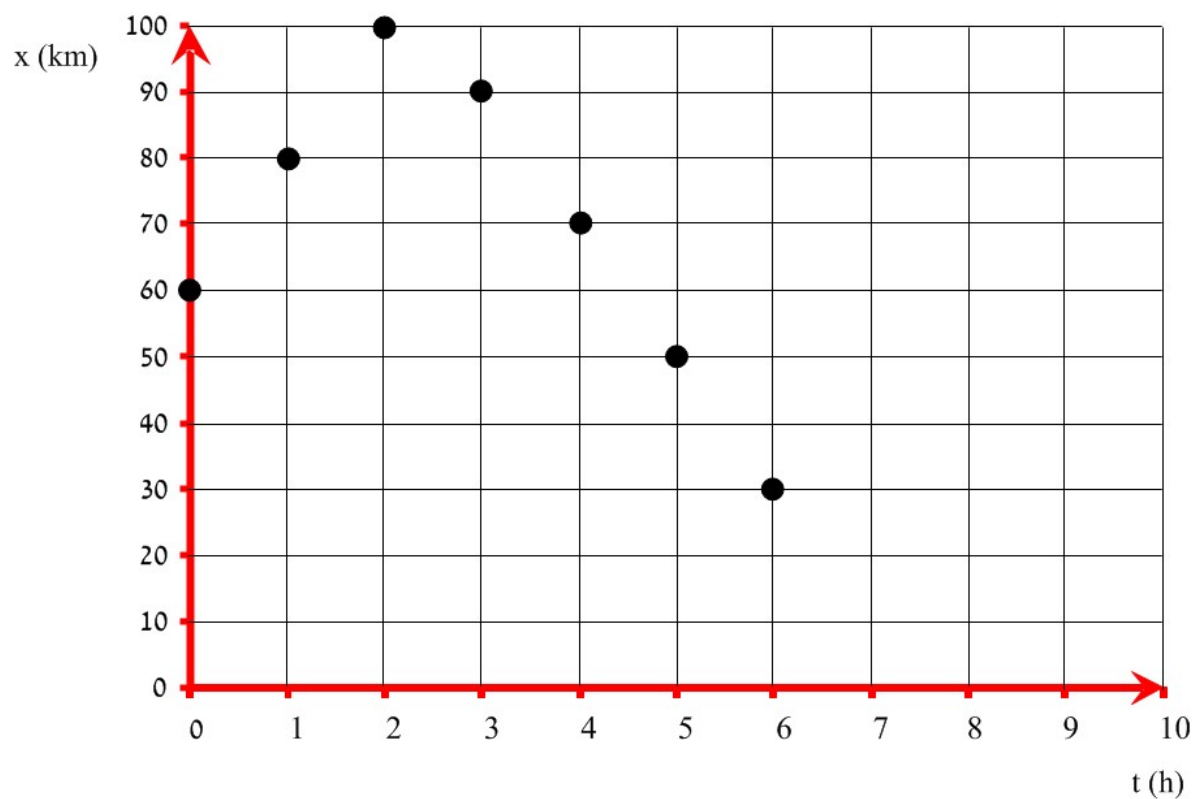
נתונה טבלה ובה ערכים של מקום וזמן של גוף הנע על קו ישר:

א- שרטטו גרף מקום-זמן עבור הגוף הנתון.

ב- בהנחה שהגוף החל בתנועתו לכיוון צפון, ציינו על הגרף את כיוון תנועתו בכל רגע.

מקום (ק"מ)	זמן (שעה)
60	0
80	1
100	2
90	3
70	4
50	5
30	6

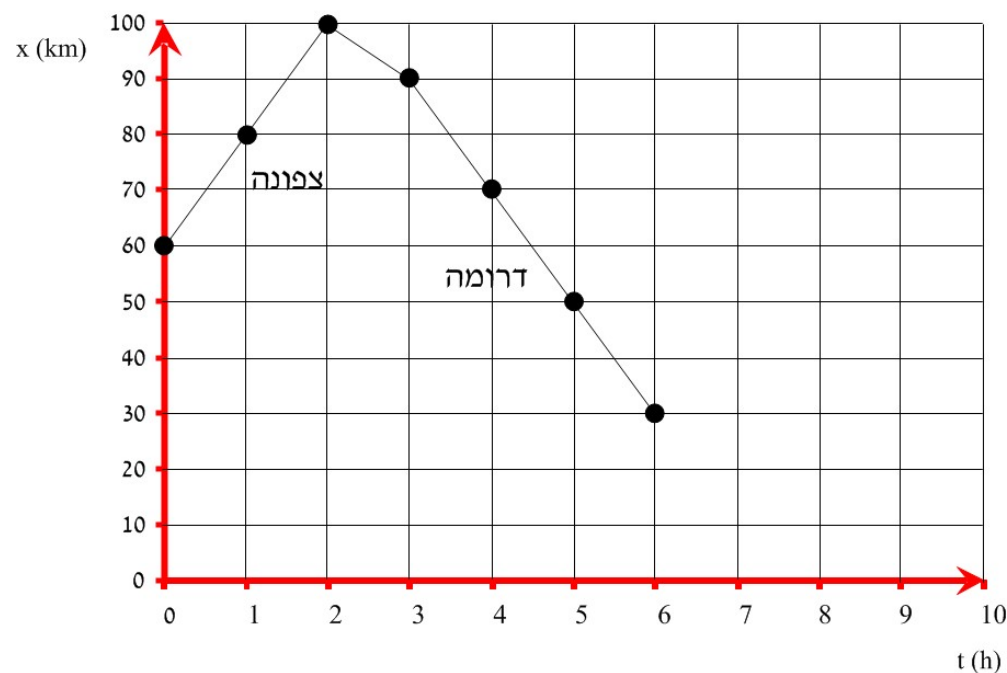
א- גרף מקום זמן עבור הגוף הנתון.



ב- בהנחה שהגוף החל בתנועתו לכיוון צפון, ציינו על הגרף את כיוונו תנועתו בכל רגע.

◀ מתוך הגרף ניתן לראות שהגוף משנה את כיוון תנועתו בשעה השנייה, ומתחיל לנוע בניגוד לכיוון המקורי, כלומר דרומה.

◀ הואיל והגוף החל את תנועתו לכיוון צפון, והוא נע בקו ישר, כשהוא מחליף כיוון פניו מועדות דרומה.



לפניכם תרשים עקבות, המתאר את מיקומו של גוף בפרקי זמן של שניה אחת. הגוף נע שמאלה.

א- מה ניתן ללמוד על מהירות הגוף?

ב- מהי מהירות הגוף?

ג- היכן ימצא הגוף לאחר 10 שניות מתחילת תנועתו?



א- מהירות הגוף היא קבועה. מדוע?

◀ המהירות קבועה, מכיוון שהגוף עובר מרחקים קבועים בפרקי זמן שווים.

על פי התרשים נוכל לומר כי הגוף עובר שניים וחצי מטרים בכל שנייה.



פתרון 2 (ב)

ב- מהי מהירות הגוף?

◀ הגוף עובר 2.5 מטרים בכל שניה, ולכן מהירותו היא:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-2.5[m]}{1[s]} = -2.5 \left[\frac{m}{s} \right]$$



ג- היכן ימצא הגוף לאחר 10 שניות מתחילת תנועתו?

◀ במשך 10 שניות הגוף יעבור העתק של $-25[m]$:

$$\Delta x = vt = -2.5 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot 10[s] = -25[m]$$

◀ הגוף החל את תנועתו במרחק 7.5 מטר בכיוון החיובי של ציר X,

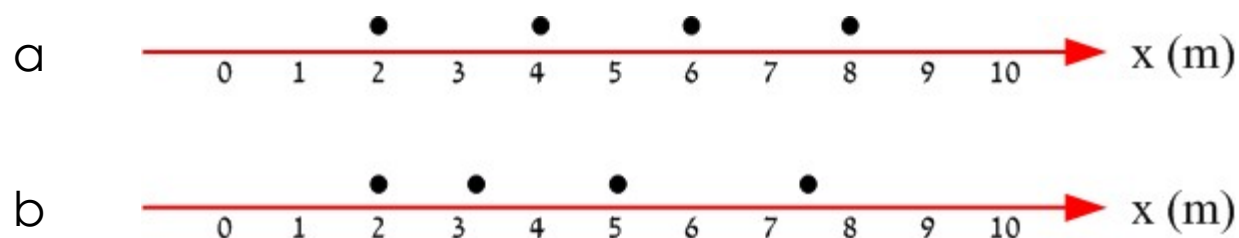
והתקדם שמאלה. כעבור 10 שניות ימצא הגוף בנקודה :

$$x = 7.5[m] - 25[m] = -17.5[m]$$

נקודה זו היא משמאל לראשית הציר.



◀ לפניכם שני תרשימי עקבות של צב הנע ימינה. מרווח הזמן בין כל שתי עקבות הוא 4 שניות.



א- איזה תרשים מתאר מהירות קצובה? נמקו.

ב- איזה סוג, תנועה מתאר התרשים השני?

ג- חשבו את מהירות התנועה עבור התרשים המתאר תנועה קצובה.

ד- שרטטו גרף מקום-זמן עבור התנועה במהירות קצובה. הניחו כי

בזמן $t=0$ הצב מצוי בנקודה $x=2[m]$.



א- תרשים a מתאר מהירות קצובה משום שהצב עובר העתקים קבועים בפרקי זמן קבועים.

ב- תרשים b מתאר מהירות הולכת וגדלה : הצב עובר מרחקים גדולים יותר ויותר בפרקי זמן קבועים.

ג- נחשב את מהירות התנועה של הצב הנע במהירות קצובה :

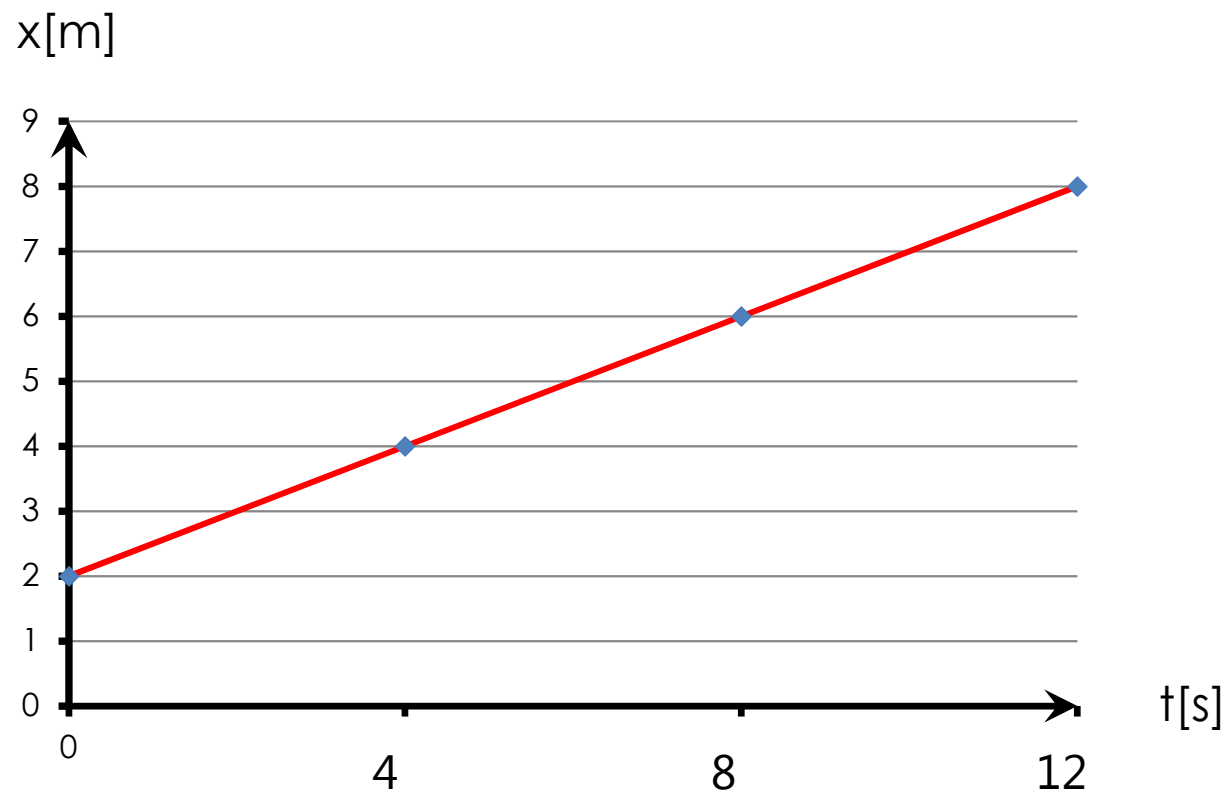
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{4[m] - 2[m]}{4[s] - 0[s]} = \frac{2}{4}[m/s] = 0.5[m/s]$$

הערות :

◀ אם נחשב את המהירות על פי העקבות האחרות בתרשים, נקבל אותה תוצאה, משום שמהירות הצב קבועה, כפי שנראה בתרשים.

◀ נשים לב כי בין פרקי הזמן הנתונים לא התבצעה מדידה של מקום הצב. בפרקי זמן אלה הצב יכול להגביר ו/או להאט את מהירותו, מבלי שיהיה לנו מידע על כך. כל שאנו יודעים הוא שכל שניה הצב מתקדם מחצית המטר בכיוון חיובי של ציר ה-x.

ד- גרף מקום זמן עבור הצב בעל המהירות הקבועה.



מכונית נוסעת על כביש ישר במהירות קבועה. לאחר 10 דקות היא מצויה במרחק של 10 ק"מ מנקודת המוצא שלה.

א- שרטטו תרשים עקבות (ציר) המייצג את מיקום המכונית בכל 10 דקות.

ב- סמנו על הציר את מיקום המכונית לאחר 10 דקות, ולאחר 25 דקות נוספות.

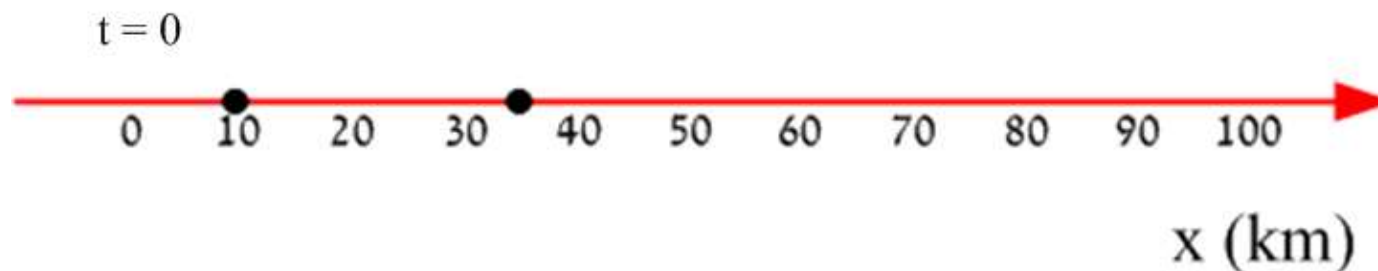
ג- מהי מהירות המכונית בק"מ לשעה ובמטרים לשנייה?

א- שרטטו תרשים עקבות המייצג את מיקום המכונית בכל 10 דקות.

◀ הואיל והמכונית נעה במהירות קבועה של 10 ק"מ ב-10 דקות, נוכל לשרטט את תרשים העקבות כך שמרווח הזמן בין כל שתי עקבות הוא 10 דקות.

ב- סמנו על הציר את מיקום המכונית לאחר 10 דקות, ולאחר 25 דקות נוספות.

◀ הואיל והמכונית עוברת 10 ק"מ בכל 10 דקות, בדקה ה-35 היא תימצא במרחק של 35 ק"מ מנקודת מוצאה.



ג- מהי מהירות המכונית בק"מ לשעה ובמטרים לשנייה?

◀ מהירות המכונית היא 10 ק"מ ב- 10 דקות. על מנת לחשב את המהירות בק"מ לשעה, נהפוך את הדקות לשעות (10 דקות הן $\frac{1}{6}$ שעה):

$$v = \frac{10[\text{km}]}{10[\text{min}]} = \frac{10[\text{km}]}{\frac{1}{6}[\text{h}]} = 60 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$$

◀ על מנת לחשב את המהירות במטר לשנייה, נהפוך את הק"מ למטרים, ואת הדקות לשניות:

$$v = \frac{10[\text{km}]}{10[\text{min}]} = \frac{10,000[\text{m}]}{600[\text{s}]} = 16.67 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

הגרף הנתון מתאר את מיקומו של גוף כתלות בזמן. הנקודה B מצויה צפונית לנקודה A.

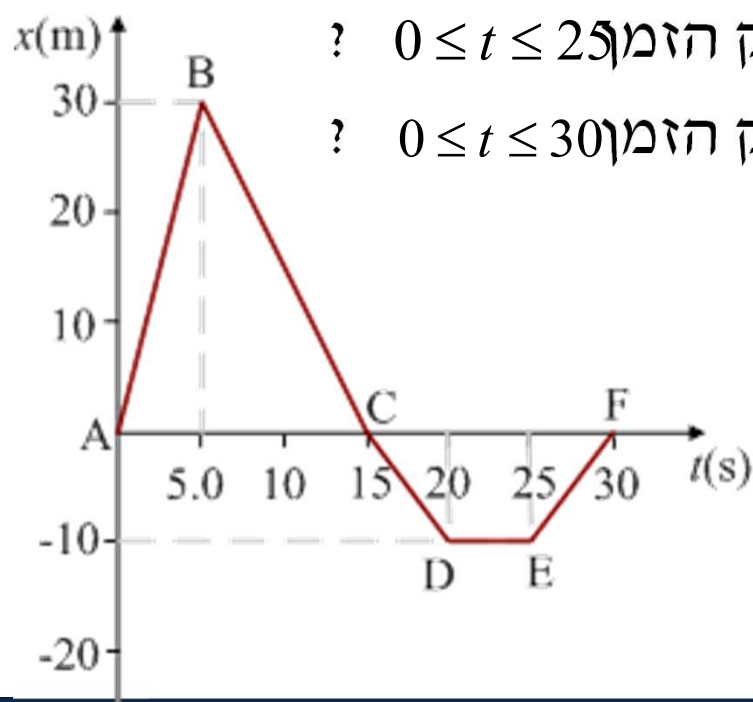
א- תארו במילים את תנועתו של הגוף, תוך התייחסות לזמן שחלף מרגע תחילת התנועה.

ב- מהו העתק הגוף מ- $t = 0$ עד $t = 20[s]$?

ג- מהי הדרך שעבר הגוף בפרק הזמן $0 \leq t \leq 20$?

ד- מהי המהירות הממוצעת של הגוף בפרק הזמן $0 \leq t \leq 25$?

ה- מהי המהירות הממוצעת של הגוף בפרק הזמן $0 \leq t \leq 30$?



פתרון 5 (א)

א- תארו במילים את תנועתו של הגוף, תוך התייחסות לזמן שחלף מרגע תחילת התנועה.

◀ הכיוון החיובי של ציר X מצביע בכיוון צפון.

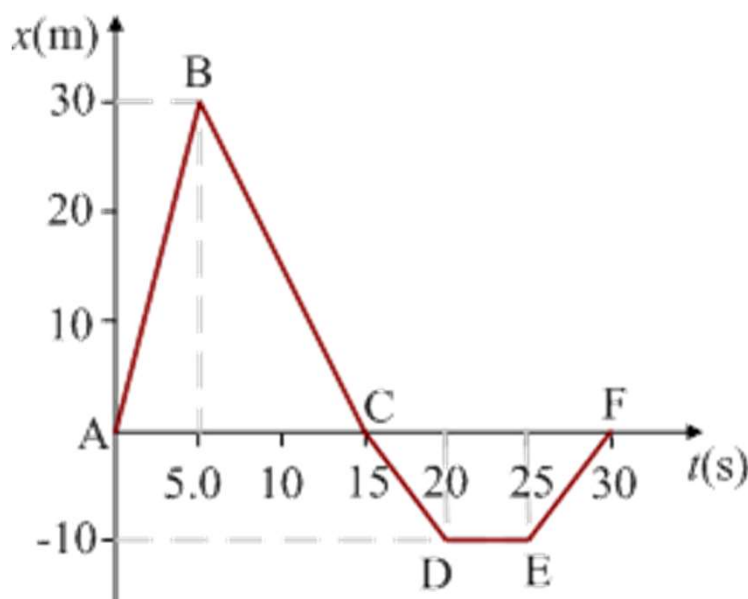
משנייה 0 לשנייה 5, $0 \leq t \leq 5$ הגוף נע צפונה והגיע ל-B.

◀ מהשנייה 5 ועד השנייה 15 הגוף נע דרומה עד שהגיע בחזרה לנקודת המוצא, $x=0$.
(הנקודה מסומנת כ- C כי הגוף מתאר גם את הזמן שחלף).

◀ $15 \leq t \leq 20$: הגוף ממשיך לנוע דרומה, מעבר לנקודת המוצא, ומתרחק ממנה ב- 10 מטר
(אל $x=-10[m]$).

◀ $20 \leq t \leq 25$: הגוף מצוי במנוחה (הזמן חולף, אך המיקום של הגוף לא משתנה ($x=-10[m]$)).

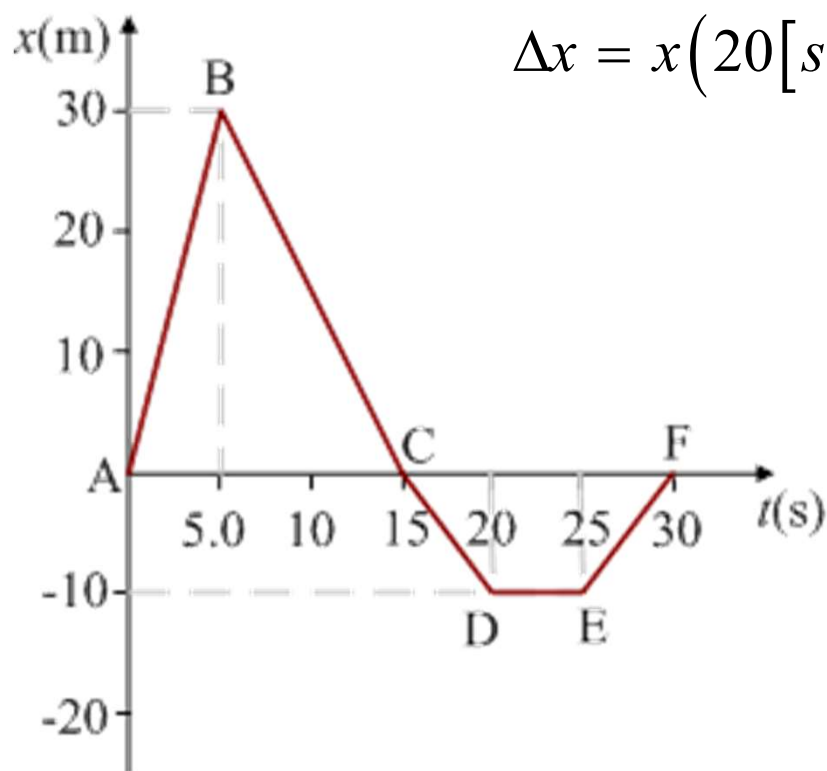
◀ $25 \leq t \leq 30$: הגוף מתחיל לנוע צפונה ומגיע שוב לנקודת המוצא ($x=0[m]$). מיקומו בזמן 30 שניות מסומן באות F.



ב- מהו העתק הגוף מ- $t = 0$ עד $t = 20[s]$?

העתק הגוף הוא מיקומו של הגוף יחסית לנקודת המוצא. הואיל וב- $t = 20[s]$ הגוף מצוי ב- $x = -10[m]$ אפשר לומר כי העתקו של הגוף הוא 10 מטרים דרומית לנקודת המוצא. ובחישוב:

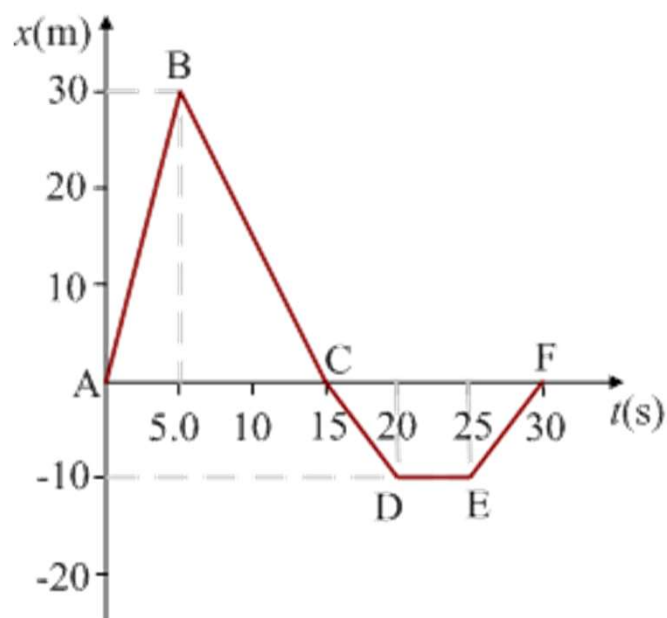
$$\Delta x = x(20[s]) - x(0) = -10[m] - 0 = -10[m]$$



ג- מהי הדרך שעבר הגוף בפרק הזמן $0 < t < 20$?

הדרך היא סך כל הערכים המוחלטים של ההעתקים של הגוף, מבלי להתייחס לכיוון התנועה.

מהנקודה A לנקודה B הגוף עבר 30 מטרים,
בחזרה לנקודה C עוד 30 מטרים,
ואח"כ המשיך עוד 10 מטרים מעבר לנקודת המוצא.
לכן, בסה"כ עבר הגוף דרך של:

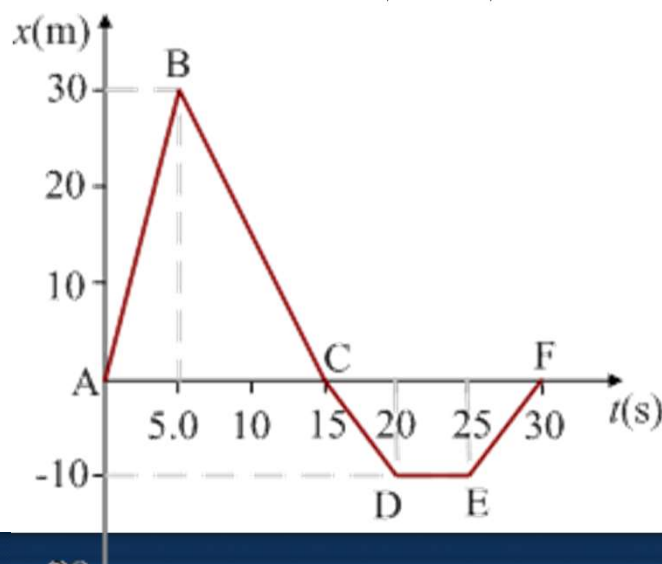


$$30 + 30 + 10 = 70 \text{ [m]}$$

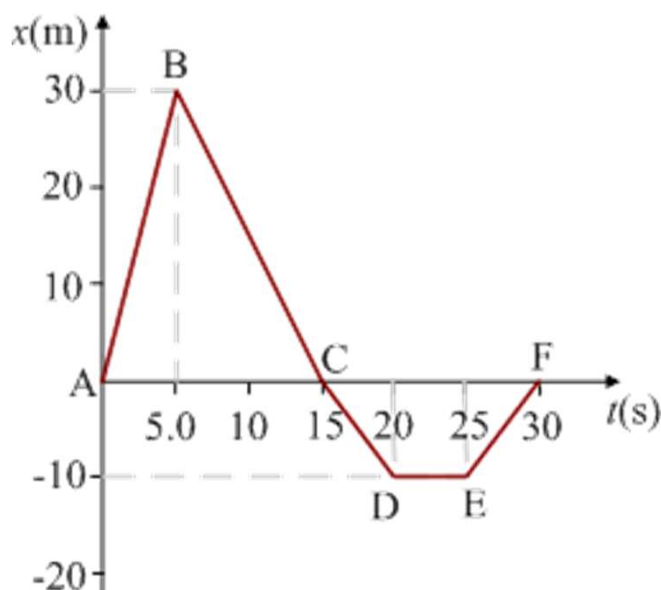
ד- מהי המהירות הממוצעת של הגוף בפרק הזמן $0 \leq t \leq 25[s]$?
 ◀ המהירות הממוצעת היא היחס בין ההעתק לזמן שחלף. ההעתק עד השנייה ה- 25 הוא $-10[m]$, ולכן :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-10[m]}{25[s]} = -0.4 \left[\frac{m}{s} \right]$$

◀ מכך ניתן לומר שאם הגוף היה נע במשך כל 25 השניות במהירות של $0.4[m/s]$ דרומה הוא היה מגיע בדיוק לנקודה $x = -10[m]$.



ה- מהי המהירות הממוצעת של הגוף בפרק הזמן $0 \leq t \leq 30$?
 ◀ ההעתק עד השנייה ה- 30 הוא 0 (הגוף חזר למקומו ההתחלתי), ולכן :



$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0[m]}{30[s]} = 0 \left[\frac{m}{s} \right]$$

◀ המשמעות של התוצאה היא שלאחר 30 שניות הגוף נמצא במיקומו ההתחלתי.

אין אנו יכולים לומר מכך דבר על מהירותו של הגוף בזמן מסוים בין 0 ל-30 שניות. כל שאנו יודעים מכך הוא שלאחר 30 שניות הגוף נמצא במקום בו היה בראשית התנועה.

חלקיק **כחול** מתחיל לנוע בכיוון מסוים, ולאחר 10 שניות מתחיל לנוע חלקיק **ירוק**, בכיוון הנגדי. מקומו ההתחלתי של החלקיק **הירוק** נמצא במרחק 80 מ' ממקומו ההתחלתי של **הכחול**.

◀ לאחר 20 שניות מגיע **הכחול** למרחק של 50 מטר מנקודת המוצא, עוצר למשך 40 שניות, וממשיך בכיוון מנוגד לכיוון תנועתו ההתחלתי.

◀ **הכחול** חוזר לנקודת מוצאו לאחר 20 שניות נוספות. **הירוק** מגיע לנקודת המוצא של **הכחול** לאחר 70 שניות מראשית תנועתו של **הירוק**. לאחר מכן ממשיכים שני החלקיקים בתנועתם.

א- שרטטו במדויק על נייר משובץ גרף מקום זמן עבור שני החלקיקים, והיעזרו בו על מנת לענות על השאלות הבאות.

ב- מהי הדרך שעברו שני החלקיקים ב- 80 השניות הראשונות של תנועתם?

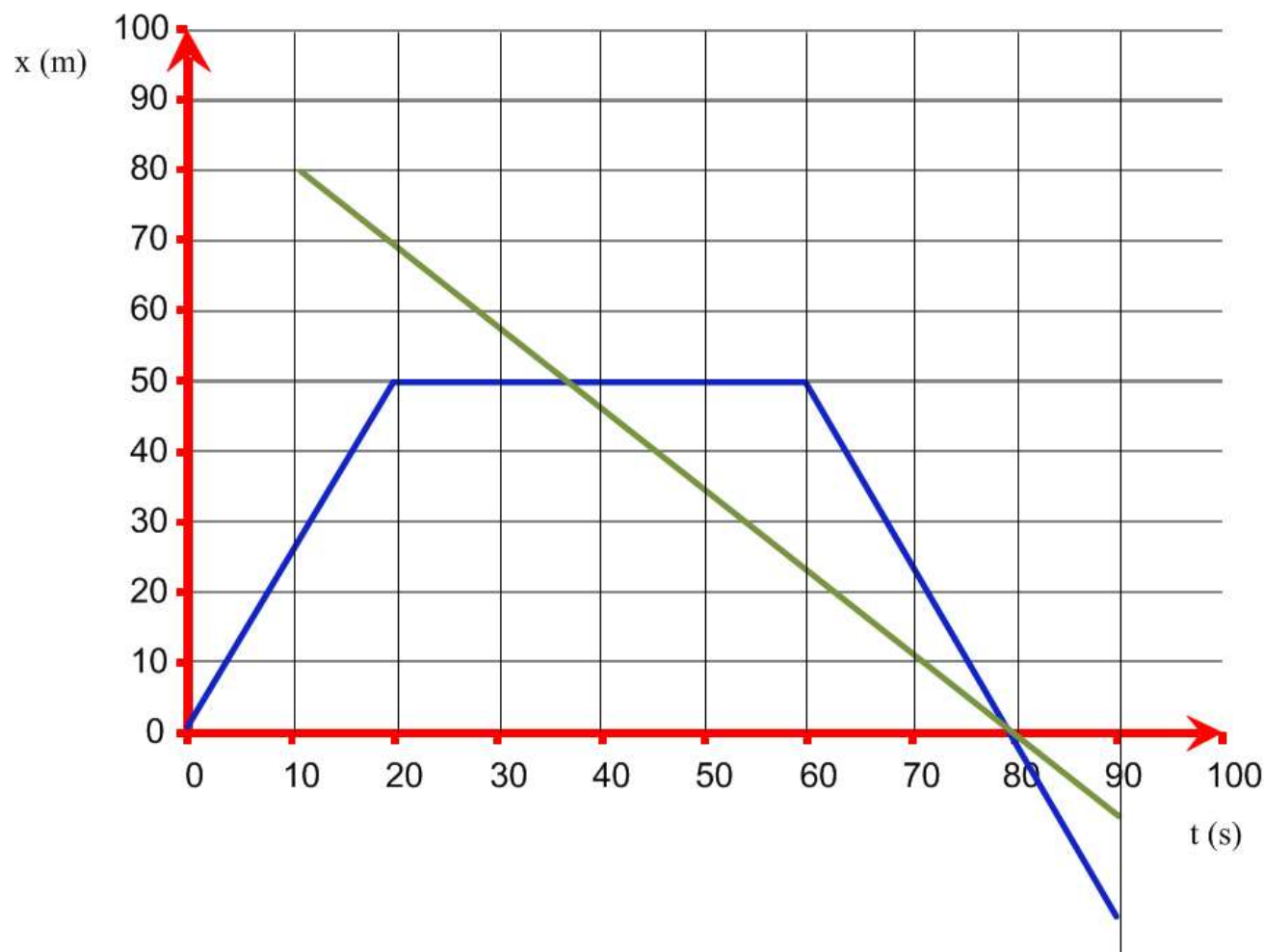
ג- מהו ההעתק של שני החלקיקים באותו פרק זמן?

ד- מהי מהירותם הממוצעת באותו פרק זמן?

ה- כמה פעמים יפגשו החלקיקים, מתי והיכן?

ו- מה המרחק בין החלקיקים בשנייה ה- 90?

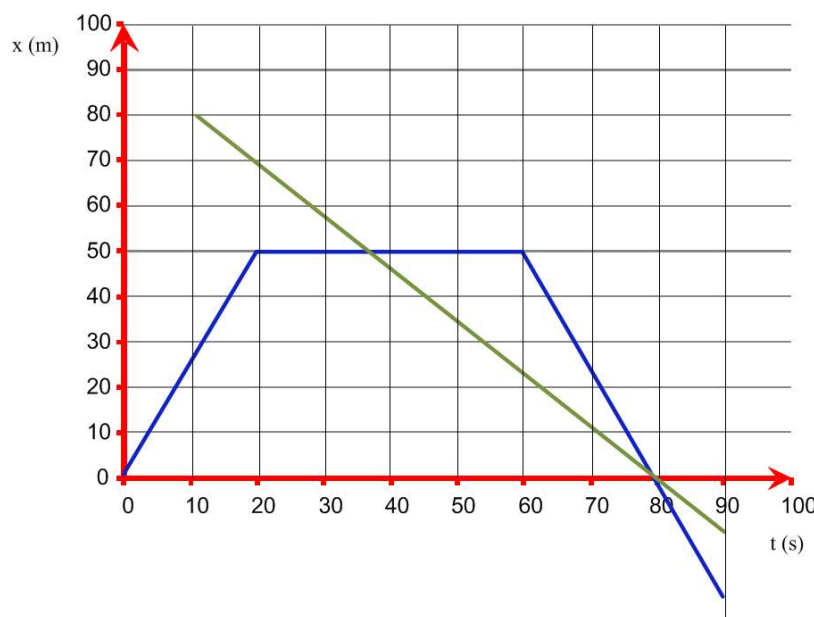
א- שרטטו במדויק על נייר משובץ גרף מקום-זמן עבור שני החלקיקים.



ב- מהי הדרך שעברו שני החלקיקים ב- 80 השניות הראשונות של תנועתם?

◀ החלקיק הירוק התחיל את תנועתו ב- $x=80[m]$ וסיים אותה ב- $x=-10[m]$ (ניתן להסיק זאת מכך שמהירותו קבועה). בסה"כ עבר החלקיק $90[m]$.

◀ החלקיק הכחול התחיל את תנועתו ב- $x=0$, עבר 50 מטרים, ואחר כך חזר שוב 50 מטרים עד $x=0$. בסה"כ עבר החלקיק הכחול $100[m]$.



פתרון 6 (ג)

ג- מהו ההעתק של שני החלקיקים באותו פרק זמן?

◀ החלקיק הירוק התחיל את תנועתו ב- $x=80[m]$ וסיים אותה ב-

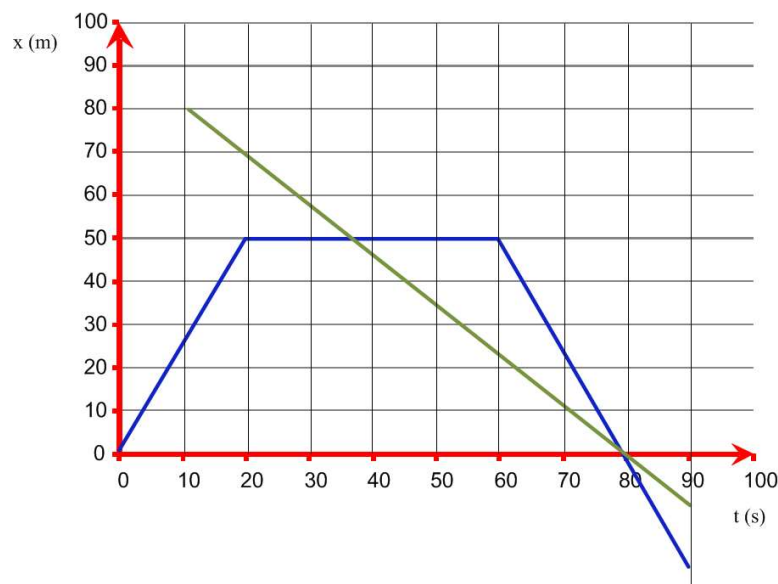
$x=-10$. ההעתק הכולל שלו הוא:

$$\Delta x = x - x_0 = -10[m] - 80[m] = -90[m]$$

◀ החלקיק הכחול התחיל את תנועתו ב- $x=0$ וסיים אותה ב- $x=0$.

ההעתק הכולל שלו הוא:

$$\Delta x = x - x_0 = 0 - 0 = 0[m]$$

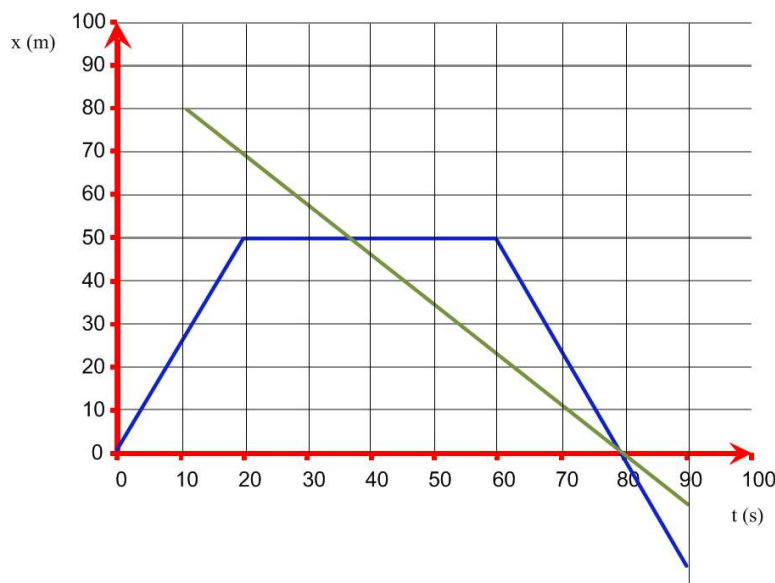


ד- מהי מהירותם הממוצעת של שני החלקיקים באותו פרק זמן?
המהירות הממוצעת של החלקיק הירוק היא:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-90[m]}{80[s]} = -1.125 \left[\frac{m}{s} \right]$$

המהירות הממוצעת של החלקיק הכחול היא:

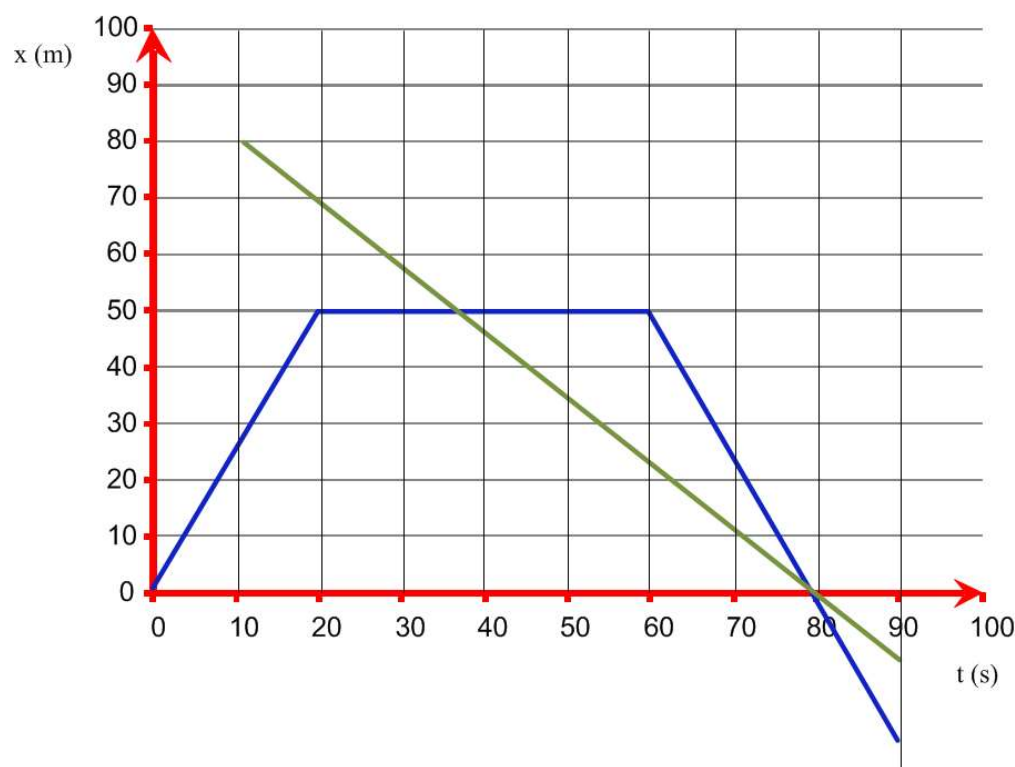
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0[m]}{80[s]} = 0 \left[\frac{m}{s} \right]$$



ה- כמה פעמים יפגשו החלקיקים, מתי והיכן?

מתוך הגרף רואים כי החלקיקים יפגשו פעמיים. זאת כי קיימות שתי נקודות בהן באותו הזמן שני החלקיקים נמצאים באותו המקום.

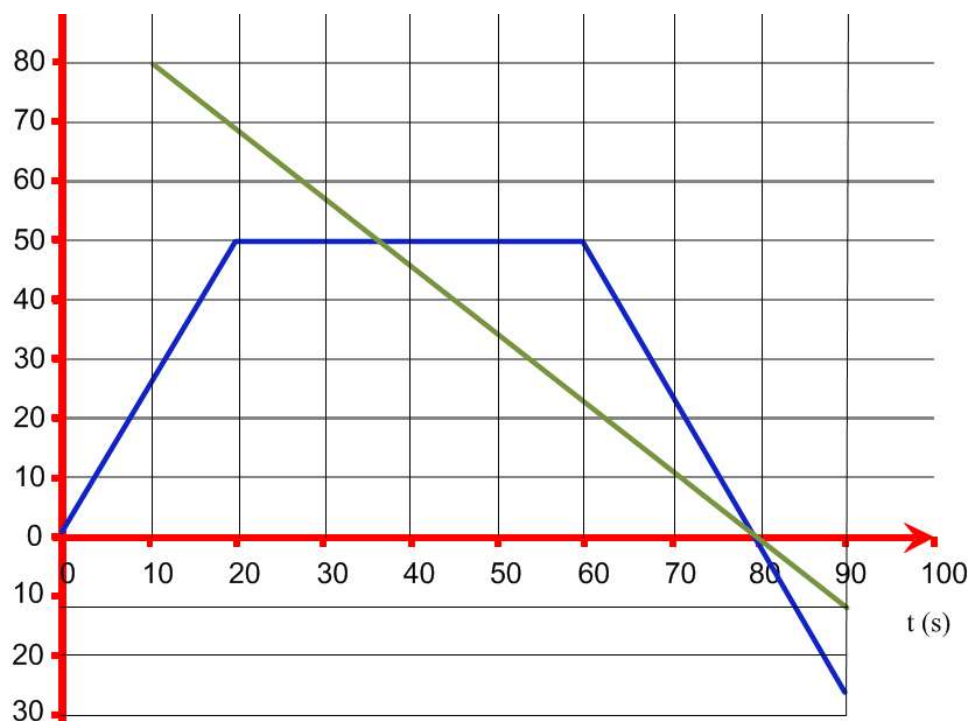
פעם אחת הם יפגשו ב- $x=50[m]$ ו- $t \sim 37[s]$, ופעם שנייה ב- $x=0$ ו- $t=80[s]$.



ו- מה המרחק בין החלקיקים בשנייה ה-90?

◀ לצורך זה נאריך את ציר Y (ראו תרשים), ונסמן את מיקום החלקיקים ב- $t=90[s]$.

◀ מיקומו של החלקיק הירוק הוא $x=-10[m]$ ושל הכחול הוא $x=-25[m]$. לכן המרחק ביניהם בשנייה זו הוא $15[m]$.



$$|-25[m]| - |-10[m]| = 15[m]$$