

מכניקה - קינמטיקה

שבוע #1:

מבוא: מושגים וייצוגי מקום-זמן



Image courtesy of Zuzzuillo at FreeDigitalPhotos.net

- ◀ מבוא
- ◀ אפיון התנועה
- ◀ פונקציית מקום – זמן
- ◀ גדלים פיסיקליים בסיסיים
- ◀ זמן ואורך – יחידה ומדידה
- ◀ מערכת היחידות התקנית - SI
- ◀ הגדרת מקום
- ◀ הגדרת המרחק
- ◀ הגדרת ההעתק והדרך
- ◀ מדידת מקום כפונקציה של הזמן
- ◀ דרכים להצגת פונקציית מקום - זמן

המכניקה (mechanics) עוסקת **בכוחות** ההדדיים שמפעילים גופים זה על זה, ובקשרים שבין הכוחות הללו ובין **תנועת** הגופים.

קינמטיקה (kinematics) עוסקת בתיאור המתמטי של **תנועתו** של גוף ללא התייחסות לכוחות הפועלים עליו.

אומרים שעצם כלשהו נע, אם הוא **משנה את המקום שלו** במהלך הזמן.



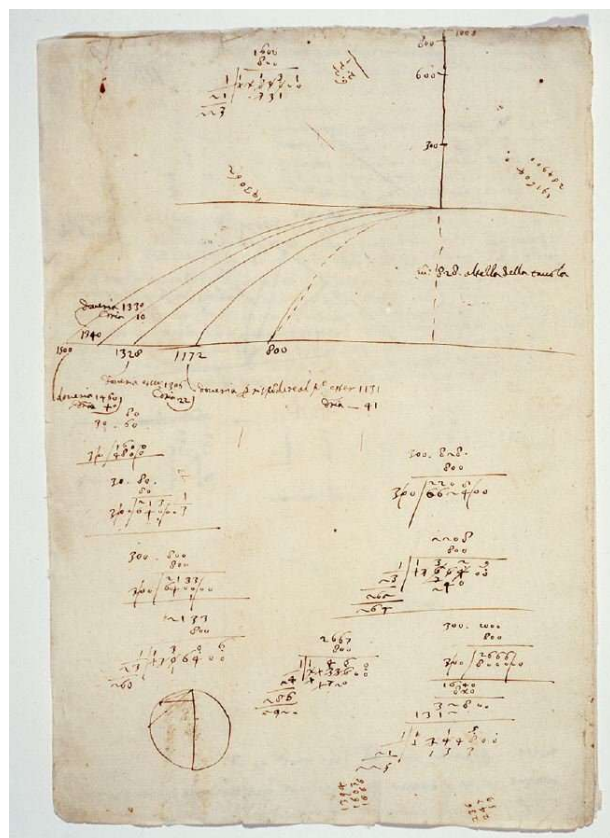
Image courtesy of Idea go at FreeDigitalPhotos.net

גלילאו גליליי שחי במאות ה-16 וה-17 באיטליה, היה אחד מגדולי המדע, למעשה אבי המדע הפיזיקאלי המודרני.

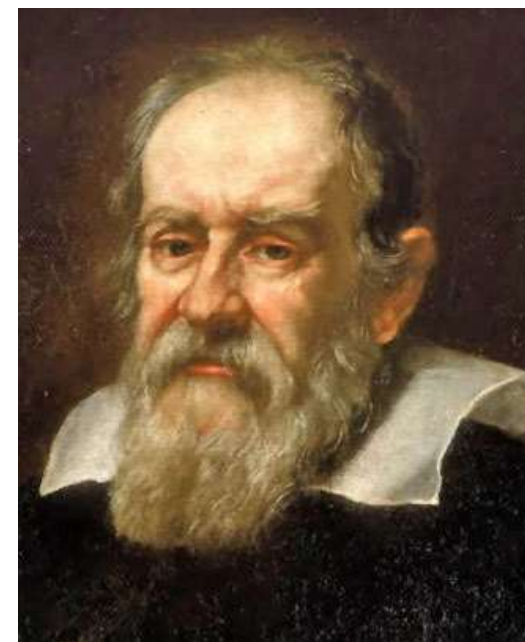
ידועה האמרה שלו:

"*azelarutan al ignora ,otneimivom le El que ignora*"

פירושה, המתעלם מתנועה כאילו התעלם מהטבע כולו.
משפט זה מעיד על חשיבות התנועה בעיניו.

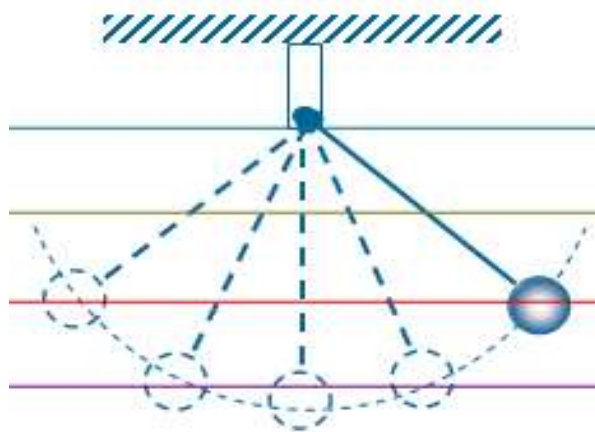


רשומות מעבדה
של גלילאו גליליי
(1608)



דוגמה לתנועה – מטוטלת

נתבונן בתנועת מטוטלת. מה מאפיין את התנועה?



בכל רגע ורגע המטוטלת נמצאת במקום אחר. כלומר:
יש שינוי במיקום של המטוטלת עם הזמן.

אנו אומרים כי מיקום המטוטלת משתנה כפונקציה של הזמן.

פיסיקה הינה מדע מדויק, מדע של מדידה, לכן על מנת לאפיין את תנועת המטוטלת יש לדעת איך למדוד מקום וזמן, ומהן יחידות המידה שלהם.

גדלים פיסיקליים בסיסיים

גודל פיזיקלי הינו תכונה פיזיקלית של עצם או תופעה הניתנים למדידה.

בפיסיקה קיימים גדלים פיסיקליים בסיסיים, שאותם לא מגדירים באמצעות מושגים אחרים, בסיסיים יותר, אלא על ידי תיאור אופן מדידתם. הגדרה זו נקראת **הגדרה אופרטיבית**.

כאשר הגודל הפיסיקלי אינו בסיסי, הוא מוגדר על ידי **תיאור הדרך לחישובו** על ידי גדלים פיסיקליים בסיסיים.

הזמן והאורך הינם מושגי היסוד בתיאור תנועתו של גוף. כל יתר הגדלים הקשורים לתנועה נגזרים מהם.



Image courtesy of Felixco, Inc.
at FreeDigitalPhotos.net



Image courtesy of renjith krishnan
at FreeDigitalPhotos.net

השיקול המרכזי בבחירת יחידת מידה הוא היכולת לקשור אותה לתופעה ידועה, הניתנת לשחזור בכל זמן ובכל מקום.

במשך שנים רבות שימשה **היממה השמשית הממוצעת**, שהיא פרק הזמן הממוצע (על פני שנה) בין צהרי יום של ימים עוקבים, כיחידת זמן בסיסית.

$$1 \text{ יממה} = 24 \text{ שעות} = 1 \text{ שעה} = 60 \text{ דקות} \Leftarrow 1 \text{ דקה} = 60 \text{ שניות}$$

מכאן, מספר השניות ביממה הוא: $24 \times 60 \times 60 = 86400 \text{ s}$

יחידת הזמן התקנית היא **שנייה**, וסימונה הוא האות **s** או **sec**.

שנייה היא החלק ה- $1/86400$ של היממה השמשית הממוצעת.

***משנת 1967 מקובלת הגדרה חדשה ל"שנייה", אך הבנת הגדרה זו דורשת ידע מתקדם בפיסיקה, לכן לא נציג אותה.**

זמן – יחידות נוספות ומדידתן

יחידות מידה נוספות של זמן:

דקה (min): $1\text{min}=60\text{s}$

שעה (h): $1\text{h}=3600\text{s}$

יממה (d): $1\text{d}=86400\text{s}$

שנה (y): $1\text{y}\approx 365\text{d}$

המכשיר באמצעותו אנו מודדים את הזמן הוא שעון. הטכנולוגיה לבניית שעונים השתכללה עם השנים, ואיתן גדלה גם רמת הדיוק של מדידת הזמן.



שעון שמש
דיוק שעות



שעון חול
דיוק דקות



שעון מטוטלת
דיוק שניות



שעון קפיץ
דיוק עשיריות השנייה



שעון דיגיטלי
דיוק אלפיות
השנייה

פרק הזמן	משך פרק הזמן (s)
הזמן שחלף מן המפץ הגדול	$4 \cdot 10^{17}$
גילה של מערכת השמש	$1.4 \cdot 10^{17}$
הזמן שחלף מבריאת העולם לפי המקרא	$1.8 \cdot 10^{11}$
שנה	$3.2 \cdot 10^7$
יממה	$8.6 \cdot 10^4$
זמן מחצית חיים של נויטרון	$9.2 \cdot 10^2$
זמן מחצית חיים של חלקיקים קצרי חיים	$1 \cdot 10^{-24}$

מדידת מקום (1)

לשם הפשטות, נניח שגוף נע לאורך קו ישר.



נגדיר נקודה O ("הראשית"), שיחסית אליה נמדוד את מקום הגוף.



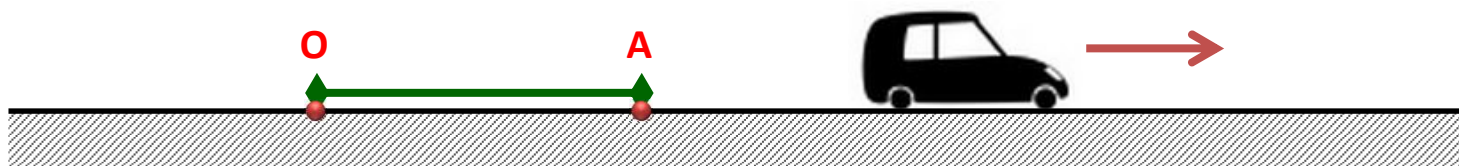
עתה עלינו להגדיר **אמת מידה** (כמו למשל ה"מטר", שתלוי במקום ציבורי ברחובות פריז):



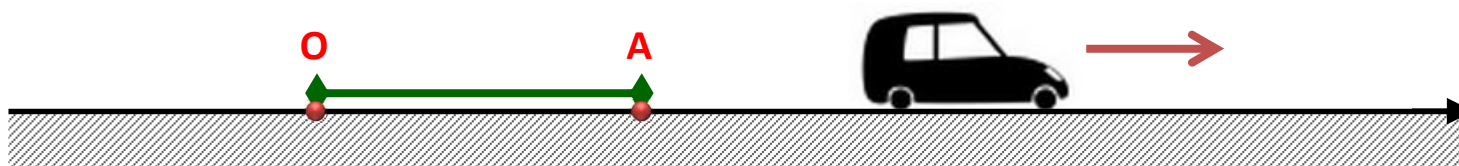
Wikimedia Commons: Airair

מדידת מקום (2)

מניחים את אמת המידה על הקו הישר (בכיוון כלשהו), כך שקצה אחד יתלכד עם הראשית O.

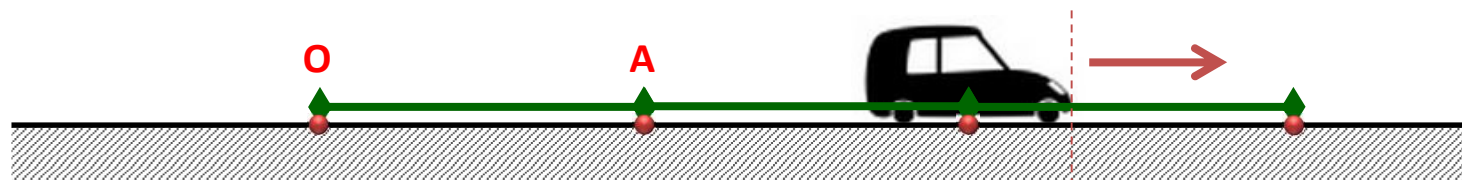


הקצה השני של אמת המידה מגדיר נקודה חדשה A. הכיוון מ-O ל-A מגדיר את הכיוון החיובי של ציר המקום שלנו, שאותו אנו מסמנים בחץ.

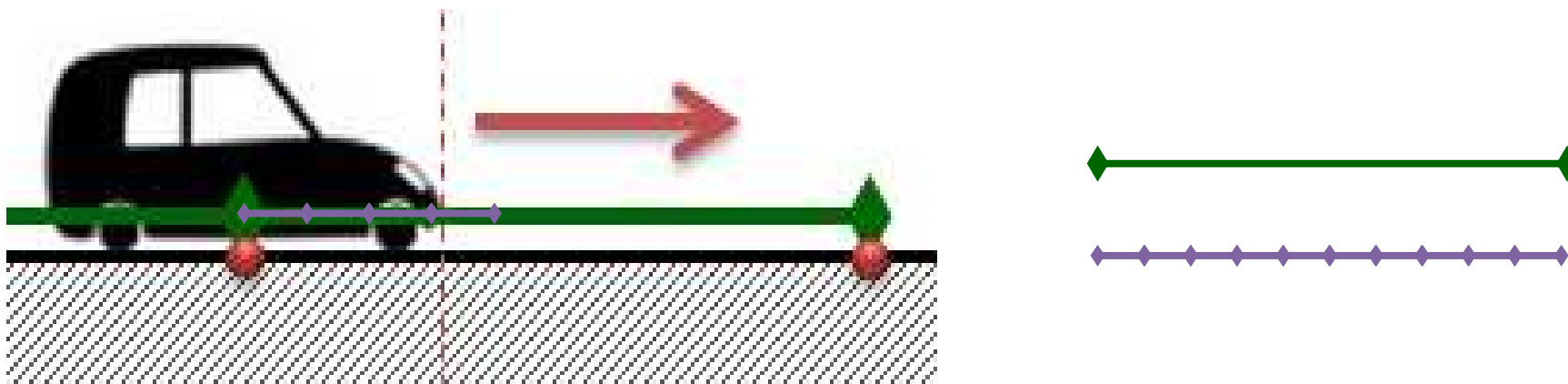


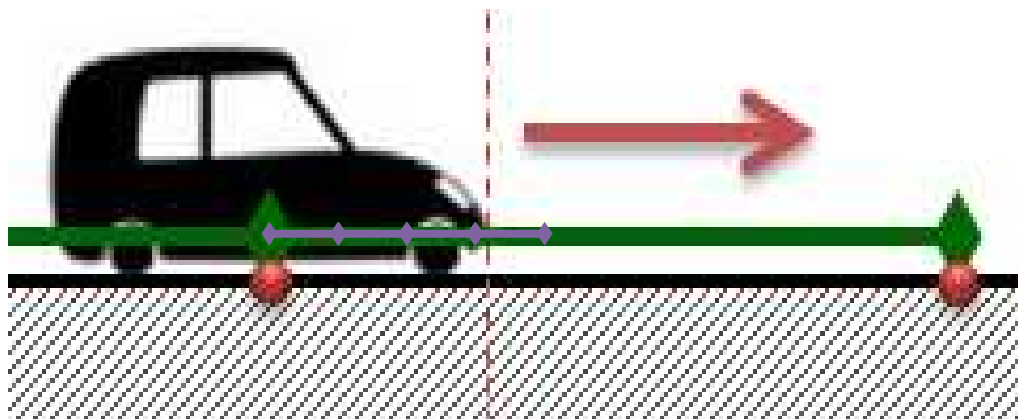
מדידת מקום (3)

על מנת למדוד את מיקומו של אף המכונית יחסית ל-O, מניחים את אמת המידה שוב ושוב על הקו הישר.



מכיוון ששתי אמות מידה קצרות מדי ושלוש ארוכות מדי, נחתוך את אמת המידה שלנו לעשרה חלקים שווים ונמדוד עם העשיריות.

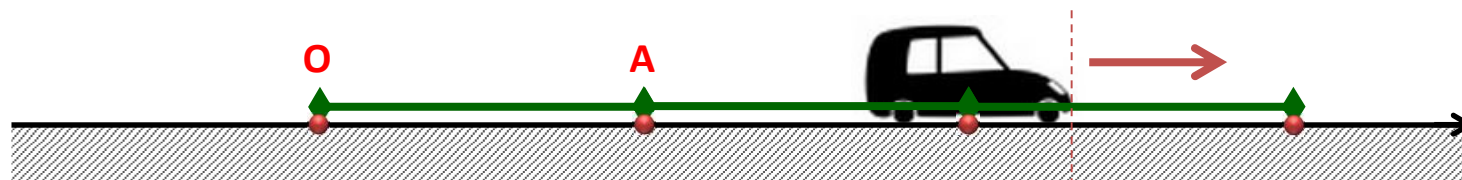




מסתבר ששלוש עשירות הן קצרות מדי, אך ארבע עשירות הן ארוכות מדי. לכן נמשיך ונחלק את עשירות אמת המידה לעשרה חלקים שווים (מאיות).

נמשיך בתהליך זה, עד נשיג התלכדות של חלקי אמת המידה שלנו עם אף המכונית, או עד שלא נוכל יותר להקטין את חלקי אמת המידה שלנו.

מדידת מקום (5)



בסוף נוכל לדווח על תוצאת המדידה שלנו בצורה הבאה:

$$x = 2.31$$

אין ספרה נוספת,
כי החלטנו לא
לדייק יותר
ממאיות. לכל
מכשיר מדידה
דיוק סופי.

ה"שיעור"
(ה"קואורדינטה") של
קצה המכונית יחסית
לראשית O

מספר אמות
המידה
השלמות
שהשתמשנו
בהן

מספר
העשירות
שהשתמשנו
בהן

מספר
המאיות
שהשתמשנו
בהן

מדידת מקום (6)

תוצאת המדידה שלנו חסרת משמעות, אם לא נציין באיזו אמת מידה השתמשנו.
לכן עלינו להוסיף יחידות לתוצאת המדידה המספרית:

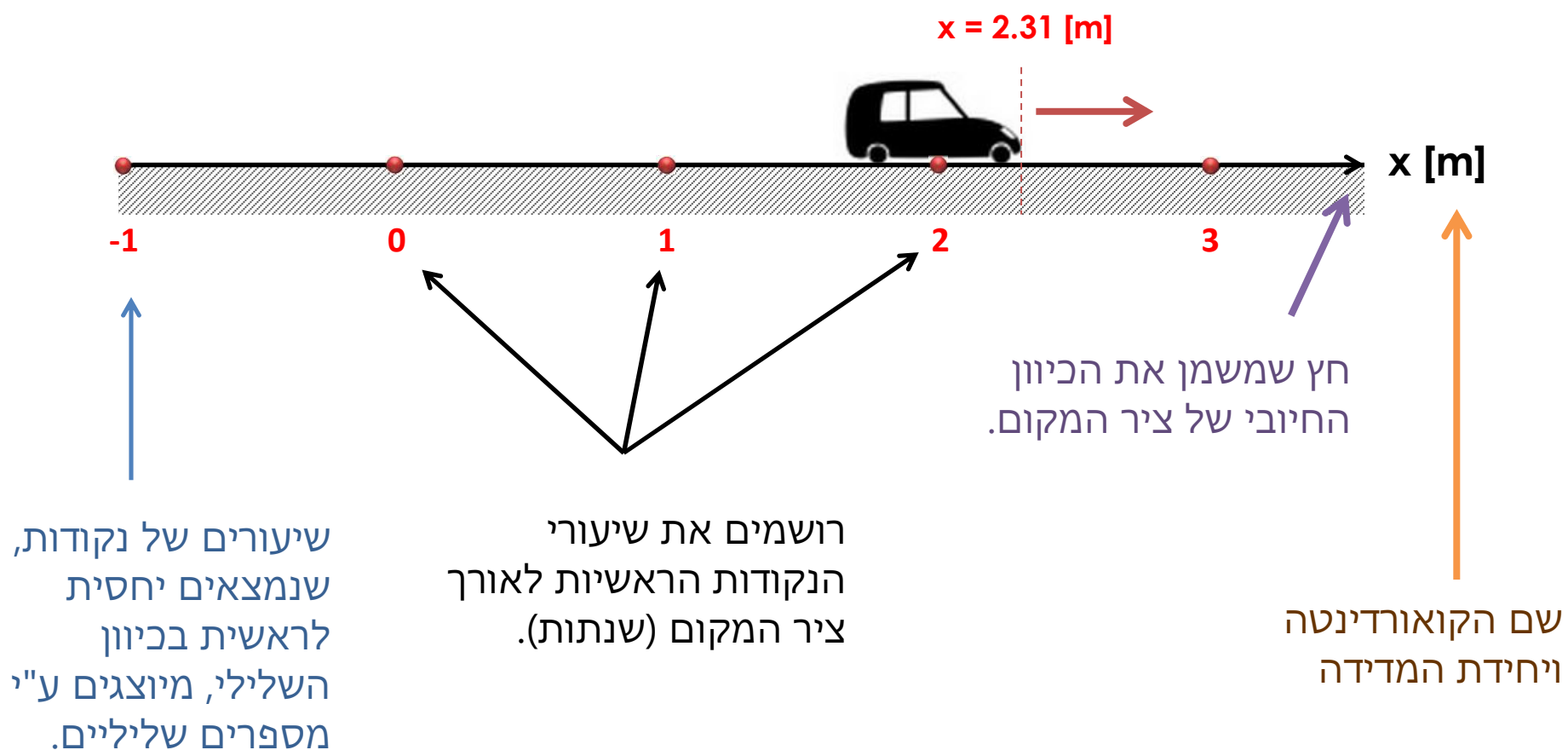
$$x = 2.31[m]$$

יחידות מוסיפים
לתוצאה
המספרית
בסוגריים
מרובעים!

סימן
שהשתמשנו
באמת מידה
שנקראת
"מטר"

מידת מקום (7)

תיאור מלא של ציר המקום שהגדרנו נראה כך:



אורך – יחידות ומדידה



Image courtesy of photostock
at FreeDigitalPhotos.net

יחידות מידה לאורך קיימות מימי קדם.
אמה, למשל, היא יחידת מידה לאורך המופיעה בתורה, המחייבת
הקפדה על מידות תקניות. יחידות אחרות שהיו בשימוש הן למשל: רגל, פרסה.

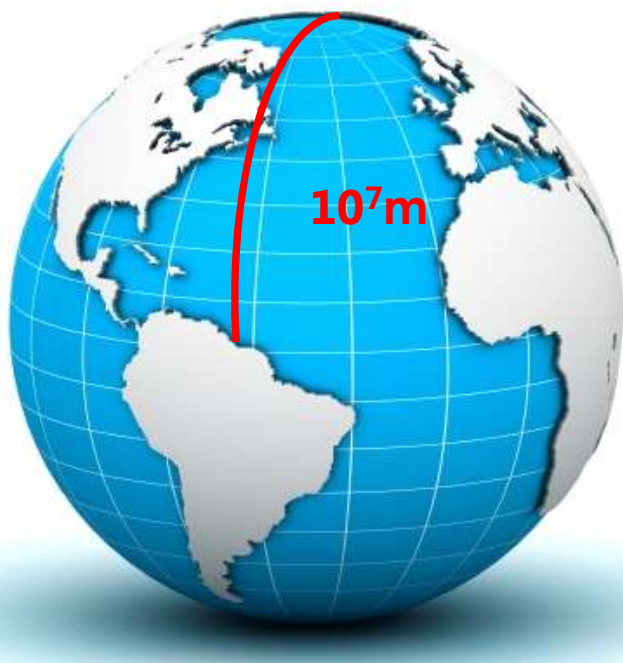


Image courtesy of Master isolated images at FreeDigitalPhotos.net

בשנת 1791 הוגדרה יחידת האורך **מטר** כיחידה האורך התקנית.
הסימון התקני של המטר הוא אות **m**.

ההגדרה נסמכת על המרחק מהקוטב עד לקו המשווה
(רבע היקף כדור הארץ).

המטר הוא החלק $1/10^7$ של רבע קו האורך, העובר בעיר פריז
מהקוטב הצפוני עד לקו המשווה.

יחידת האורך - הגדרה



Wikimedia commons, [link](#)

כעבור כ-100 שנה נקבע מוט עשוי מסגסוגת של פלטינה ואירידיום כאב טיפוס אשר אורכו מייצג את יחידת האורך "מטר".
המוט שמור עד היום בפריז במכון הבינלאומי למידות ומשקולות, ומשמש כמטר תקני בקביעת אורך סרגלים וכו'...

בשנת 1983 נוסחה הגדרה מדויקת של יחידת אורך מטר, המסתמכת על מדידות מדויקות של מהירות האור, לפיה:

המטר הוא המרחק שאור עובר בריק במשך $1/299,792,458$ [s]

יחידות מידה נוספות של אורך:

קילומטר: $1[\text{km}] = 1000[\text{m}]$

סנטימטר: $1[\text{cm}] = 10^{-2}[\text{m}]$

מילימטר: $1[\text{mm}] = 10^{-3}[\text{m}]$

אורך – סדרי גודל

האורך	ערכו של האורך [m]
רדיוס היקום הנראה	$1 \cdot 10^{26}$
קוטר הגלקסיה שביל החלב	$7.6 \cdot 10^{20}$
המרחק בין הארץ לשמש	$1.5 \cdot 10^{11}$
רדיוס השמש	$6.96 \cdot 10^9$
קוטר הארץ	$1.28 \cdot 10^7$
המרחק בין אלקטרון לגרעין באטום המימן	$5.28 \cdot 10^{-11}$
רדיוס הגרעין של אטום המימן (פרוטון)	$2 \cdot 10^{-15}$

כדי לדייק במדידות הכרחי שההגדרות של היחידות יהיו אחידות, ושחוקרים במקומות שונים יוכלו לשחזר אותן תוך הסכמה ביניהם.

היחידות הבסיסיות הוגדרו על ידי ארגון בינלאומי בשם "הוועידה הכללית למשקולות ולמידות" שבו משתתפים נציגים מכל הארצות הגדולות. מערכת היחידות המוגדרת על ידי ארגון זה היא SI (בצרפתית: *Système International d'Unités*; בקיצור: SI).

מערכת יחידות מידה זו נמצאת בשימוש נרחב בפיסיקה ובשאר ענפי המדע בכל העולם. במערכת SI יש שבע יחידות בסיסיות ומגוון יחידות שנגזרות מהיחידות הבסיסיות. בין היחידות הבסיסיות, יחידת המידה לאורך היא המטר; הזמן נמדד בשנייה, והמסה בקילוגרם.

פונקציית מקום - זמן

מקובל לתאר את מקומו של גוף באמצעות מערכת צירים. לשם כך, יש לדעת את מיקומו כל רגע ורגע. במקרה הכללי של גוף הנע במרחב, תיאור כזה אינו פשוט. כרגע נסתפק בדיון במקרה הפשוט ביותר, תנועה לאורך של קו ישר.

במקרה זה נשתמש בישר, שישמש כציר לקביעת מיקומו של הגוף (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, בה נקבע מיקומו של גוף ביחס לנקודת הראשית.



הגדרת המושג "מקום"

הגדרה: **מקומו של גוף** הנע לאורך קו ישר הוא שיעור הנקודה שבה נמצא הגוף על פי ציר מקום.

דוגמה: על ציר x שלהלן ניצבים שני גופים A ו-B.



מקומו של A הוא: $x_A = 6[m]$, מקומו של B הוא: $x_B = -8[m]$.

*המקום של גוף תלוי בכיוון שבו נבחר הציר, ובמקומה של נקודת הראשית.

הגדרת המושג "מרחק"

A ו B הן שתי נקודות על הציר, שהשיעורים שלהן הן: $x_A = 6[m]$, $x_B = -8[m]$.



הגדרה: המרחק בין שתי נקודות הוא הערך המוחלט של הפרש השיעורים

$$\text{שלהם: } d_{AB} = |x_A - x_B|$$

מסקנות מהגדרה זו:

▶ המרחק בין A ל- B שווה למרחק בין B ל- A.

▶ המרחק אינו תלוי בבחירה של נקודת הראשית או של כיוון הציר.

דוגמה: מהו המרחק בין שני הגופים, הנמצאים בשני המקומות A ו- B המצוינים באיור?

$$d_{AB} = |x_B - x_A| = |-8[m] - 6[m]| = 14[m] \quad \text{פתרון:}$$

הגדרת המושג "העתק"

גוף שנע נמצא בזמנים שונים במקומות שונים. על מנת לתאר את תנועתו נגדיר את המושג הבא:

הגדרה: ההעתק בין שתי נקודות הוא הפרש השיעורים של שתי הנקודות:

$$\Delta x_{A \rightarrow B} = x_B - x_A$$

ההעתק של גוף מ-A ל-B אינו שווה להעתק של הגוף מ-B ל-A.

$$\Delta x_{B \rightarrow A} = x_A - x_B = -\Delta x_{A \rightarrow B}$$

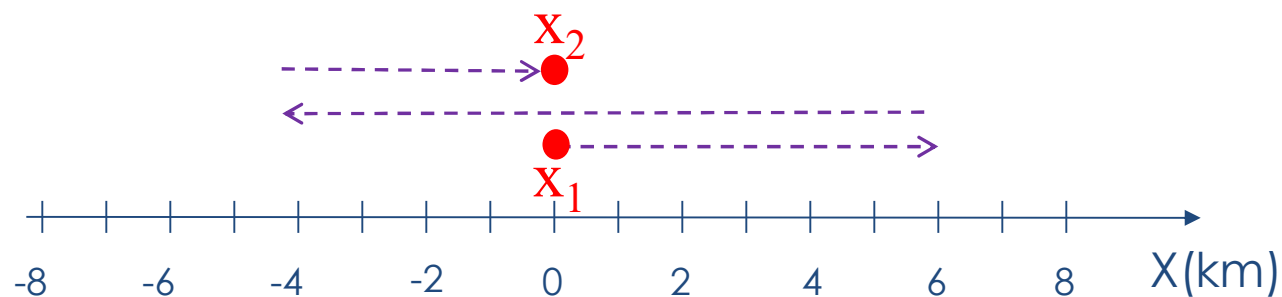
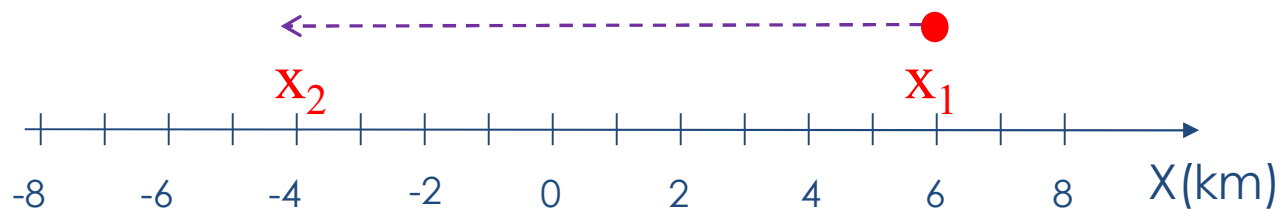
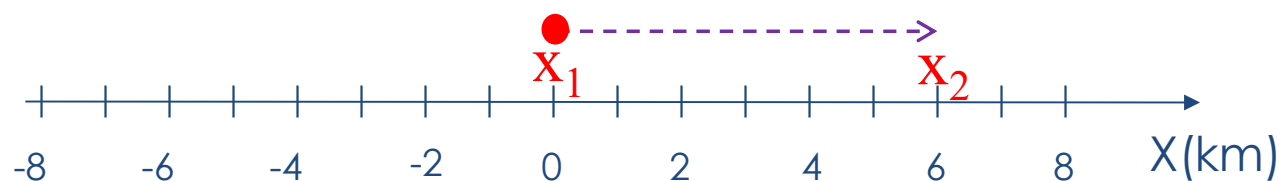
נשים לב כי העתק אינו תמיד שווה למרחק בין A ל-B.

הסימן של ההעתק נותן מידע על כיוון התנועה של הגוף.

יחידות ההעתק הן יחידות אורך.

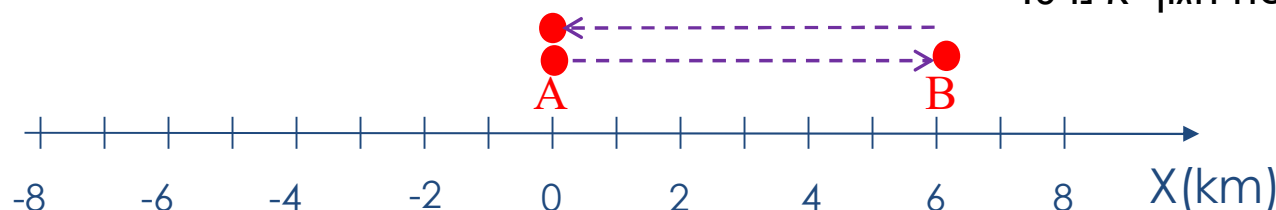
הסימון Δ (דלתא) הוא אות יוונית המשמשת כסימון מקובל לשינוי בגודל מסוים, ההפרש בין ערכו הסופי של הגודל לערכו ההתחלתי.

◀ ההעתק של גוף הנע לאורך קו ישר עשוי להיות חיובי, שלילי או אפס.



העתק של גוף אינו מכיל את כל המידע על תנועתו של הגוף.

לדוגמא: גוף נע מנקודה A לנקודה B וחוזר בחזרה לנקודה A. ההעתק שלו הוא כמובן 0, אבל אורך המסלול שעשה הגוף אינו 0.



הגדרה: מחשבים את **הדרך** שגוף עובר בין הזמנים t_i ו- t_f בצורה הבאה:

1 מחלקים את קטע הזמן $[t_i, t_f]$ לקטעי משנה $t_i < t_1 < t_2 < \dots < t_f$, כך שכל קטע קצר הגוף נע בכיוון אחד בלבד.

2 מהחרבים את ההעתקים בכל אחד מקטעי המשנה:

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

הערה: גודל ההעתק בתנועה אינו מעיד בהכרח על הדרך שהגוף עבר. העתק ודרך שווים כאשר הגוף נע בקו ישר בכיוון מסוים.

שאלה: העתק

אופנוען קורא את מד הקילומטר של האופנוע שלו בבוקר ובצהריים. ההפרש בין הקריאות:

א. מציין את הדרך שהוא עבר.

ב. יכול לייצג את ההעתק שלו.

ג. יכול לייצג גם את הדרך וגם את ההעתק.

ד. כל התשובות נכונות.



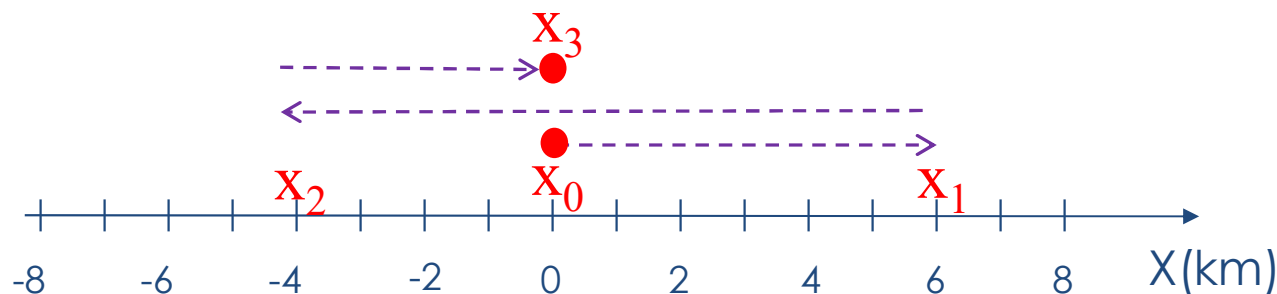
תרגיל: העתק ודרך

תלמיד יוצא מביתו ונוסע לבית הספר הנמצא במרחק 6 [ק"מ] מזרחית לביתו. בחוזרו הוא נוסע בכיוון הנגדי, ומתעכב במתנ"ס העירוני הנמצא 4 [ק"מ] מערבית לביתו, ואח"כ שב אל ביתו.

א. חשבו את ההעתק בכל אחד משלושת חלקי התנועה של התלמיד.

ב. חשבו את ההעתק הכולל של התלמיד.

ג. חשבו את הדרך שהתלמיד עבר.



תרגיל: העתק ודרך

תלמיד יוצא מביתו ונוסע לבית הספר הנמצא במרחק 6 [ק"מ] מזרחית לביתו. בחוזרו הוא נוסע בכיוון הנגדי, ומתעכב במתנ"ס העירוני הנמצא 4 [ק"מ] מערבית לביתו, ואח"כ שב אל ביתו.

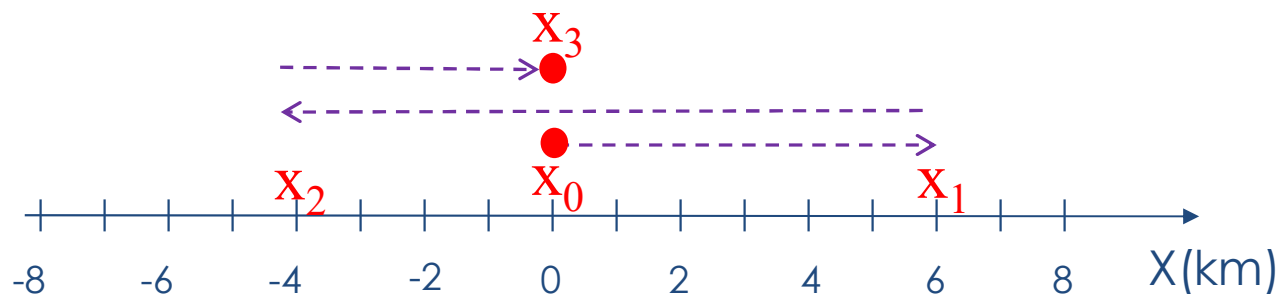
א. חשבו את ההעתק בכל אחד משלושת חלקי התנועה של התלמיד.

ב. חשבו את ההעתק הכולל של התלמיד.

ג. חשבו את הדרך שהתלמיד עבר.

פתרון:

נבחר את הכיוון החיובי של הציר x מזרחה, ואת הראשית שלו בביתו של התלמיד: $x_0=0$.



פתרון תרגיל: ההעתק ודרך

א. העתק התלמיד בתנועתו מביתו לבית הספר:

$$\Delta x_{0 \rightarrow 1} = x_1 - x_0 = 6[km] - 0 = 6[km]$$

העתק התלמיד בתנועתו מבית הספר למתנ"ס העירוני:

$$\Delta x_{1 \rightarrow 2} = x_2 - x_1 = -4[km] - 6[km] = -10[km]$$

העתק התלמיד בתנועתו מהמתנ"ס העירוני לביתו:

$$\Delta x_{2 \rightarrow 3} = x_3 - x_2 = 0 - (-4[km]) = 4[km]$$

ב. ההעתק הכולל של התלמיד:

$$\Delta x_{0 \rightarrow 3} = x_3 - x_0 = 0 - 0 = 0$$

נשים לב שההעתק הכולל שווה לסכום ההעתקים החלקיים:

$$\Delta x_{0 \rightarrow 3} = \Delta x_{0 \rightarrow 1} + \Delta x_{1 \rightarrow 2} + \Delta x_{2 \rightarrow 3} = 6[km] + (-10[km]) + 4[km] = 0$$

ג. הדרך שהתלמיד עבר שווה לסכום הערכים המוחלטים של ההעתקים:

$$s = |\Delta x_{0 \rightarrow 1}| + |\Delta x_{1 \rightarrow 2}| + |\Delta x_{2 \rightarrow 3}| = |6| + |(-10)| + |4| = 20[km]$$

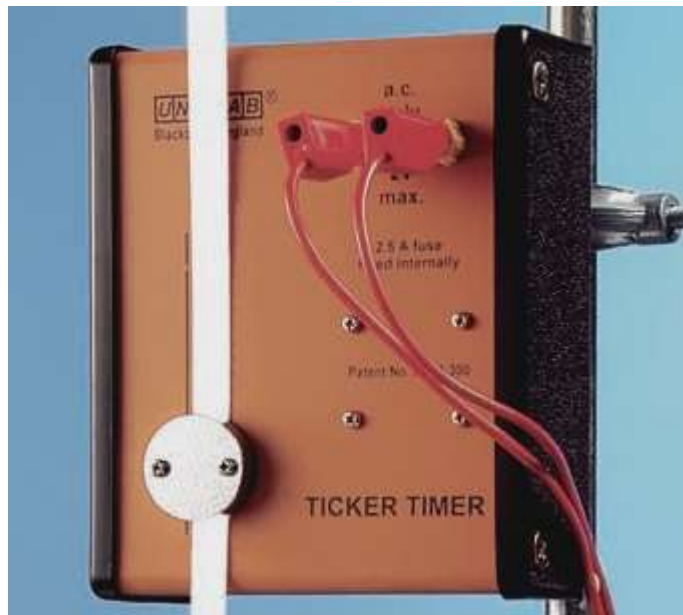
מדידת מקום כפונקציה של הזמן

כיצד ניתן למדוד ערכי מקום של גוף נע כפונקציה של הזמן?

אחת הדרכים לאפיין את תנועתו של גוף היא בעזרת רישום עקבותיו בפרקי זמן שווים.



באמצעות מכשיר הנקרא **רשם זמן** (ticker timer), בו יש מקוש המתנווד ומקיש במרווחי זמן שווים של $0.02[s]$ על גבי סרט נייר, שמחובר לגוף נע. על סרט הנייר מתקבלות סדרת נקודות שאותה מכנים: "**תרשים עקבות**" של תנועת הגוף.



מדידת מקום כפונקציה של הזמן (2)

כיצד ניתן למדוד ערכי מקום של גוף נע כפונקציה של הזמן?

אחת הדרכים לאפיין את תנועתו של גוף היא בעזרת רישום עקבותיו בפרקי זמן שווים.



באמצעות מכשיר הנקרא **רשם זמן**, בו יש מקוש המתנווד ומקיש במרווחי זמן שווים של $0.02[s]$ על גבי סרט נייר, שמחובר לגוף נע. על סרט הנייר מתקבלות סדרת נקודות שאותה מכנים: "**תרשים עקבות**" של תנועת הגוף.

תרשים עקבות: נקודות המייצגות את המקומות שבהם הגוף חלף במרווחי זמן שווים.

מתרשים העקבות של גוף נע אפשר לקבל את ערכי המקום, x , ביחס לראשית, בזמנים שונים. לשם כך נשתמש בשלושה ייצוגים שונים.

ייצוג א: טבלת מקום-זמן

באמצעות טבלה ניתן להציג את מקומו של הגוף בזמנים שונים.

בעמודה הראשונה תופיע סדרת ערכי הזמן, ובעמודה השנייה תופיע סדרת ערכי המקום המתאימים.

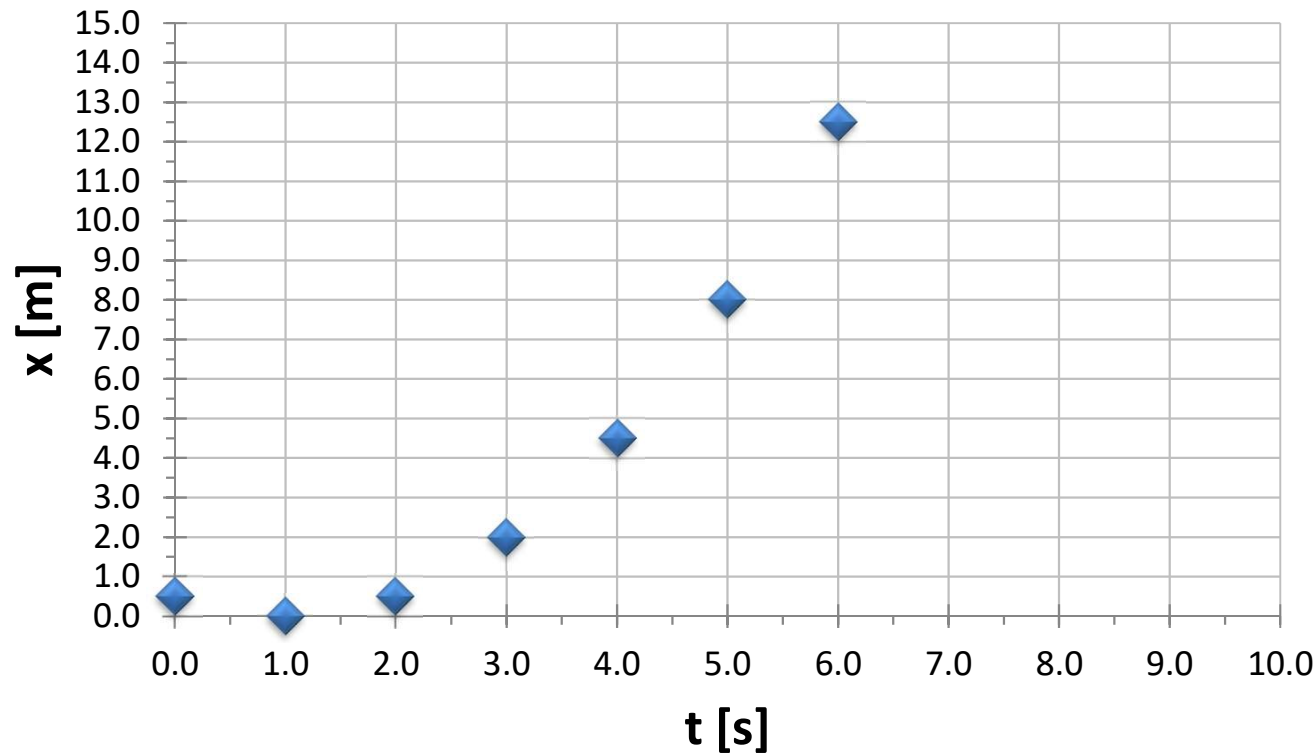
הטבלה נותנת מידע על מקומו של הגוף בנקודות הזמן המופיעות בה, אך אין בה מידע על שמתרחש ביניהן.

$x[m]$	$t[s]$
2.00	0.0
0.00	1.0
-0.25	1.5
0.00	2.0
2.00	3.0
6.00	4.0
12.00	5.0

ייצוג א: דיאגרמת פיזור מקום-זמן

דיאגרמת פיזור היא סדרה של נקודות, המסומנות במערכת צירים, שבה הציר האופקי הוא ציר הזמן t , והציר האנכי הוא ציר המקום x . כל נקודה מייצגת את המקום בו היה הגוף ברגע מסוים.

בתרשים מופיעה דיאגרמת הפיזור המתאימה לתנועה בטבלה מהסעיף הקודם. דיאגרמה זו מציגה את המידע בצורה וויזואלית נוחה יותר מטבלה, אך עדיין לא ידוע מה קורה בזמני הביניים.



שאלה: גרף מקום זמן

דיאגרמת הפיזור הבאה מתארת את מיקומו של גוף כתלות בזמן.

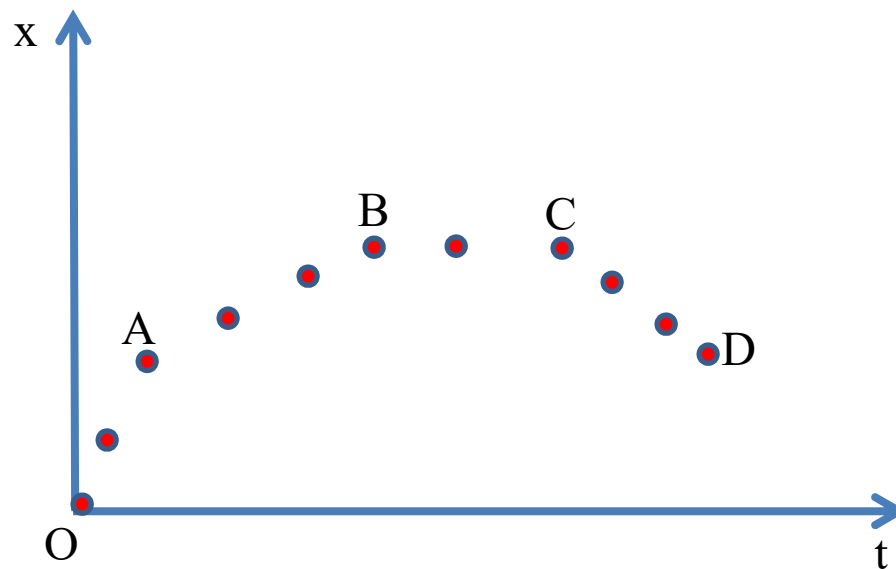
האם נכון כי:

א. בקטע AB ובקטע OA הגוף מתרחק מנקודת מוצאו?

ב. בקטע BC הגוף נשאר באותו המקום?

ג. בקטע CD הגוף חוזר לכיוון נקודת מוצאו?

ד. כל התשובות נכונות?



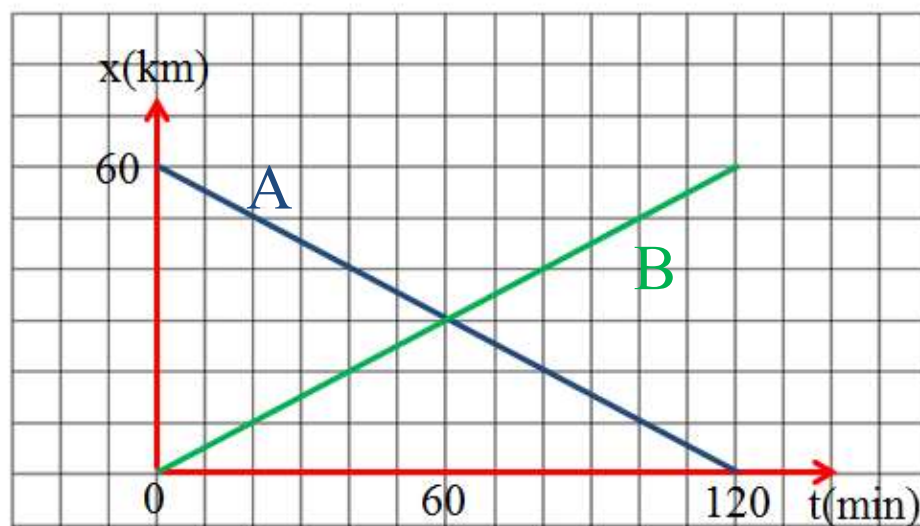
שאלה גרף מקום זמן

הגרף מתאר את תנועותיהם של שני כלי רכב הנעים על כביש ישר הנמתח מצפון לדרום. הכיוון החיובי של ציר ה- x הוא צפונה.

א. מה כיוון התנועה של כל אחד מכלי הרכב צפונה או דרומה? נמקו.

ב. מתי (באיזה רגע) חולפים כלי הרכב זה על פני זה?

ג. מתי (באילו רגעים) המרחק בין שני כלי הרכב הוא 40[km] ?



ייצוג III: ביטוי מתמטי (פונקציית מקום-זמן)

פונקציית מקום זמן היא ביטוי מתמטי, שבו המקום, x , נתון כפונקציה של הזמן, t .
לדוגמא: $x(t) = a \cdot t^3 - 2b \cdot t + c$, כאשר a, b, c הם קבועים כלשהם.

משהו לגבי הייצוג המתמטי של גדלים פיזיקליים:

בביטוי שלמעלה, האות t מייצגת את הזמן, האות x את המקום של גוף יחסית לציר מסוים. כאשר מציבים ערך עבור t או x , מצבים מספר עם יחידות.

דוגמא: $x=3[cm]$; $t=2.3[s]$

מכיוון שבתוך האות "מסתתרים" מספר יחד עם יחידות, אף פעם לא כותבים ביטויים כמו $x[m]$ או $t_{(s)}$, כאשר מצמידים יחידות לאותיות.

ייצוג III: ביטוי מתמטי (פונקציית מקום-זמן)

פונקציית מקום זמן היא ביטוי מתמטי, שבו המקום, x , נתון כפונקציה של הזמן, t .
לדוגמא: $x(t) = a \cdot t^3 - 2b \cdot t + c$, כאשר a, b, c הם קבועים כלשהם.

משהו לגבי הייצוג המתמטי של גדלים פיזיקליים:

בביטוי שלמעלה, האות t מייצגת את הזמן, האות x את המקום של גוף יחסית לציר מסוים. כאשר מציבים ערך עבור t או x , מצבים מספר עם יחידות.

דוגמא: $x=3[cm]$; $t=2.3[s]$

מכיוון שבתוך האות "מסתתרים" מספר יחד עם יחידות, אף פעם לא כותבים ביטויים כמו ~~$x[n]$~~ או ~~$t(s)$~~ , כאשר מצמידים יחידות לאותיות.

ייצוג III: ביטוי מתמטי (פונקציית מקום-זמן)

פונקציית מקום זמן היא ביטוי מתמטי, שבו המקום, x , נתון כפונקציה של הזמן, t .
לדוגמא: $x(t) = a \cdot t^3 - 2b \cdot t + c$, כאשר a, b, c הם קבועים כלשהם.

נציב בביטוי הנ"ל $t = 2[s]$ ונקבל

$$x(2[s]) = a \cdot (2[s])^3 - 2b \cdot 2[s] + c = a \cdot 8[s^3] - b \cdot 4[s] + c$$

נניח שהערך המספרי של הקבוע a הוא 0.5. על מנת ש- x יתקבל ביחידות $[m]$,

היחידות של a צריכות להיות

$$a = 0.5 \left[\frac{m}{s^3} \right]$$

כי אז

$$0.5 \left[\frac{m}{\cancel{s^3}} \right] \cdot 8 [\cancel{s^3}] = 4[m]$$

מקום הגוף
ברגע $t=2[s]$

ייצוג III: ביטוי מתמטי (פונקציית מקום-זמן)

פונקציית מקום זמן היא ביטוי מתמטי, שבו המקום, x , נתון כפונקציה של הזמן, t .
לדוגמא: $x(t) = a \cdot t^3 - 2b \cdot t + c$, כאשר a, b, c הם קבועים כלשהם.

מהן היחידות של b ושל c ?

ייצוג III: ביטוי מתמטי (פונקציית מקום-זמן)

פונקציית מקום זמן היא ביטוי מתמטי, שבו המקום, x , נתון כפונקציה של הזמן, t .
לדוגמא: $x(t) = a \cdot t^3 - 2b \cdot t + c$, כאשר a, b, c הם קבועים כלשהם.

מהן היחידות של b ושל c ?

$$[b] = \frac{m}{s}$$

$$[c] = m$$

היחידות של ...

ייצוג III: ביטוי מתמטי (פונקציית מקום-זמן)

תרגיל: תנועתו של גוף מתוארת על ידי פונקציית המקום-זמן הבאה: $x = t^2 - 3t + 2$.

$$x(t) = 1 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot t^2 - 3 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot t + 2 [m]$$

מתי הגוף עובר בנקודת הראשית?

ייעוץ III: ביטוי מתמטי (פונקציית מקום-זמן)

תרגיל: תנועתו של גוף מתוארת על ידי פונקציית המקום-זמן הבאה: $x = t^2 - 3t + 2$.

$$x(t) = 1 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot t^2 - 3 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot t + 2[m]$$

מתי הגוף עובר בנקודת הראשית?

פתרון: נדרש למצוא עבור אילו ערכים של t נקבל $x=0$, כלומר: $0 = t^2 - 3t + 2$.
מכאן מוצאים שהגוף עבר בראשית של ציר המקום ברגעים $t_1=1[s]$, $t_2=2[s]$.

השוואה בין הייצוגים השונים לקשר מקום – זמן

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

◀ הגדרת **המקום**: מקומו של גוף הנע לאורך קו ישר הוא שיעור הנקודה שבה נמצא הגוף על פי ציר מקום.

◀ הגדרת **המרחק**: הערך המוחלט של הפרש השיעורים של שתי הנקודות:

$$|x_A - x_B|$$

◀ הגדרת **העתק**: הפרש השיעורים של מיקום הגוף (בזמנים שונים):

$$\Delta x_{A \rightarrow B} = x_B - x_A$$

◀ אורך הדרך שגוף נע עבר 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** באמצעות שלוש דרכים: טבלה, גרף וביטוי מתמטי.