

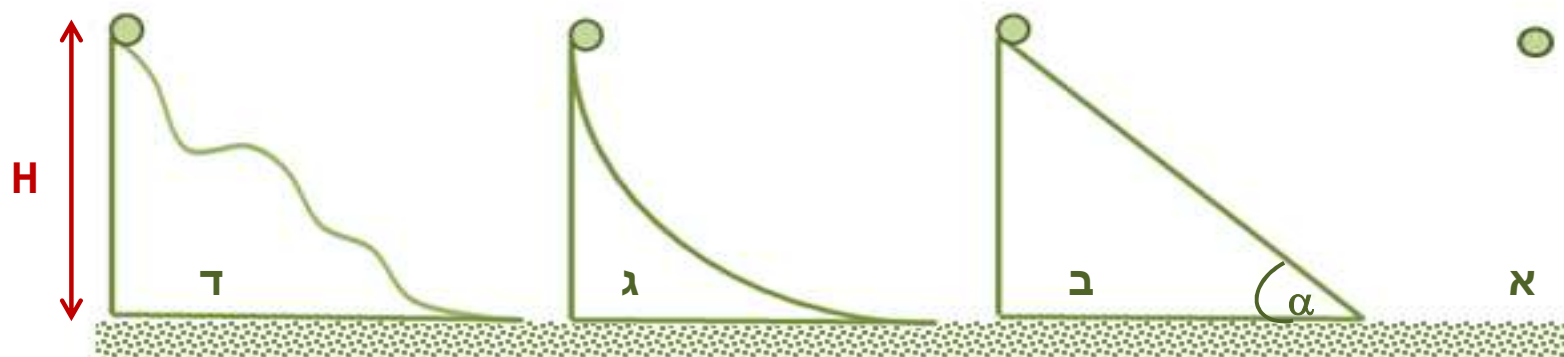
עבודה ואנרגיה



- ◀ הגדרת המושג עבודה עבור כוח קבוע
- ◀ אנרגיה קינטית
- ◀ הקשר בין עבודה לאנרגיה הקינטית
- ◀ גרף של כוח קבוע כפונקציה של ההעתק
- ◀ עבודה של כוח קבוע היוצר זווית α עם כיוון התנועה
- ◀ עבודת הכוח השקול
- ◀ משפט עבודה-אנרגיה
- ◀ עבודה של כוח משתנה

תנועה במסלולים שונים

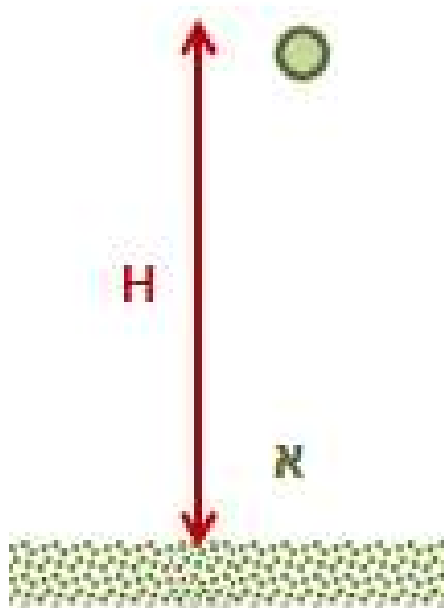
בכל אחד מהתרשימים הבאים מתואר גוף המשוחרר ממנוחה מגובה H , במסלולים ללא חיכוך.
האם חוקי הקינמטיקה או חוקי ניוטון מספיקים בכדי לחשב, בכל אחד מהמצבים, את זמן ההגעה לקרקע, ואת מהירות הגוף בהגיעו לקרקע?



מהירות נפילת גוף- מקרה א'

מקרה זה ניתן לפתור בעזרת חוקי קינמטיקה (נפילה חופשית).

עם זאת, ניזכר גם בפתרון דרך חוקי ניוטון.



$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$mg = ma$$

$$a = g$$

$$y_t = y_0 + v_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$H = \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$$

$$v_t = v_0 + a \cdot t$$

$$v_t = g \cdot t = g \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

מהירות במישור משופע חלק (מקרה ב')

חוק שני של ניוטון:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$mg \cdot \sin \alpha = m \cdot a$$

$$a = g \cdot \sin \alpha$$

משוואת מקום-זמן בתאוצה קבועה:

$$x_t = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

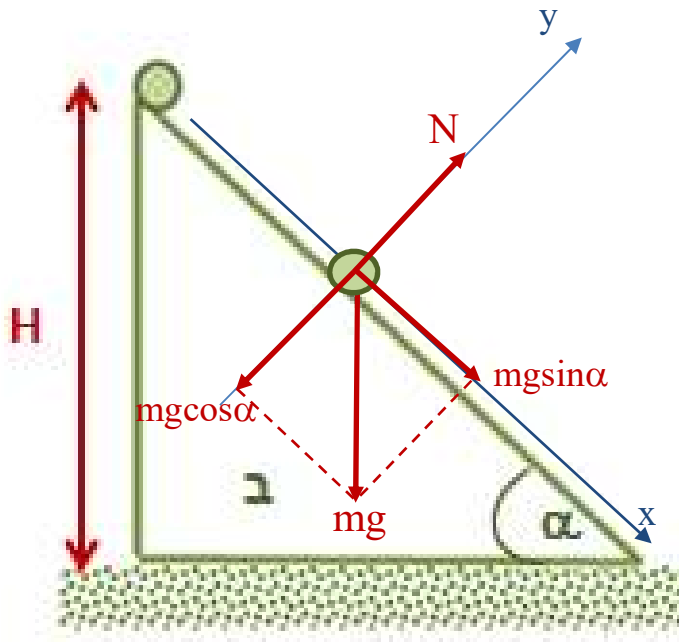
ומכיוון ש $v_0=0$, $x_0=0$ מתקיים:

$$\frac{H}{\sin \alpha} = \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g \cdot \sin^2 \alpha}}$$

את המהירות בתחתית המישור נמצא דרך משוואת מהירות-זמן:

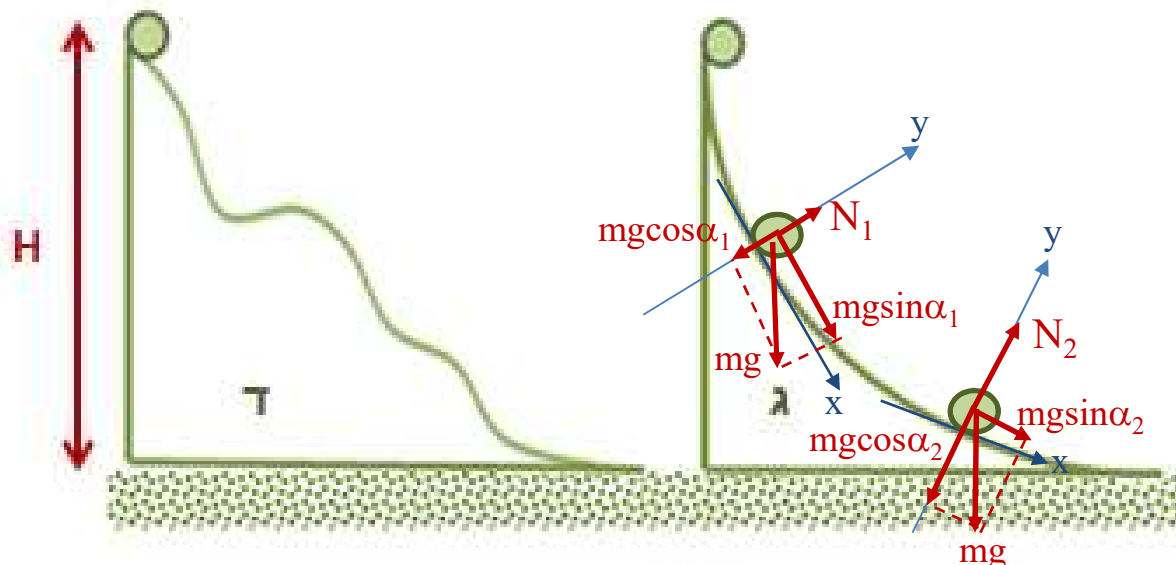
$$v_t = v_0 + a \cdot t$$

$$v_t = g \sin \alpha \cdot t = g \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{2H}{g \cdot \sin^2 \alpha}} = g \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{2gH}$$



מהירות במסלול כלשהו

מצבים ג' + ד' האם למישהו יש רעיונות איך לפתור את מצבים ג' ו ד'?



עקרונית, שני המצבים האלו דומים למצב ב', כלומר הגוף מחליק על מסילה, שניתן להתייחס אליה כמורכבת מרצף של מישורים משופעים.

מידעת הכוח, הפועל על הגוף כפונקציה של הזמן, ניתן לחשב את התאוצה ואת המהירות של הגוף כפונקציה של הזמן וכמובן גם את המקום בכל רגע.

אך לא קל לפתור את הבעיה הזו בעזרת חוקי ניוטון, משום שהכוח השקול הפועל על הגוף כפונקציה של הזמן לא ידוע, ואם גם ידוע, לא בטוח שניתן לחשב את המהירות.

במדע הטבע בכלל ובפיזיקה בפרט מקובל מאוד להשתמש **בחוקי שימור**, המאפשרים לעקוף את הצורך לדעת מה מצבה של מערכת בכל רגע ורגע. ישנם גדלים פיזיקליים שנשמרים קבועים במערכת. למשל, בתהליכים כימיים מתקיים **חוק שימור המסה** (החומר), המאפשר לנו לדעת את המסה של התוצרים בסוף התהליך, על סמך ידיעת המסה של המגיבים לפני התהליך, ללא הצורך לדעת כיצד משתנה מסת החומרים בכל רגע בתהליך.

לדוגמא: פירוק מים לחמצן ומימן

$$\boxed{\text{מסת המימן}} + \boxed{\text{מסת החמצן}} = \boxed{\text{מסת המים}}$$

לפני תחילת התהליך

בסוף התהליך

חוקי שימור קובעים, כי בתנאים מסוימים גודל פיסיקלי מסוים נשמר (כלומר אינו משתנה בזמן) תוך כדי התרחשותם של תהליכים מסוימים.

בשיעורים הקרובים נעסוק בחוק שימור האנרגיה, ונראה כי בעזרתו קל מאוד לפתור את הבעיה שהוצגה. בהמשך נכיר חוקי שימור נוספים.

בטרם נעסוק בשימור אנרגיה נכיר שני מושגים חדשים- "עבודה" ו"אנרגיה קינטית". בעזרתם ננסח בצורה מעט שונה את הקשר בין כוח, מהירות והעתק.

הקשר בין כוח, העתק ומהירות

בהרבה מן המקרים שהכרנו, פעלו כוחות לאורך דרך.

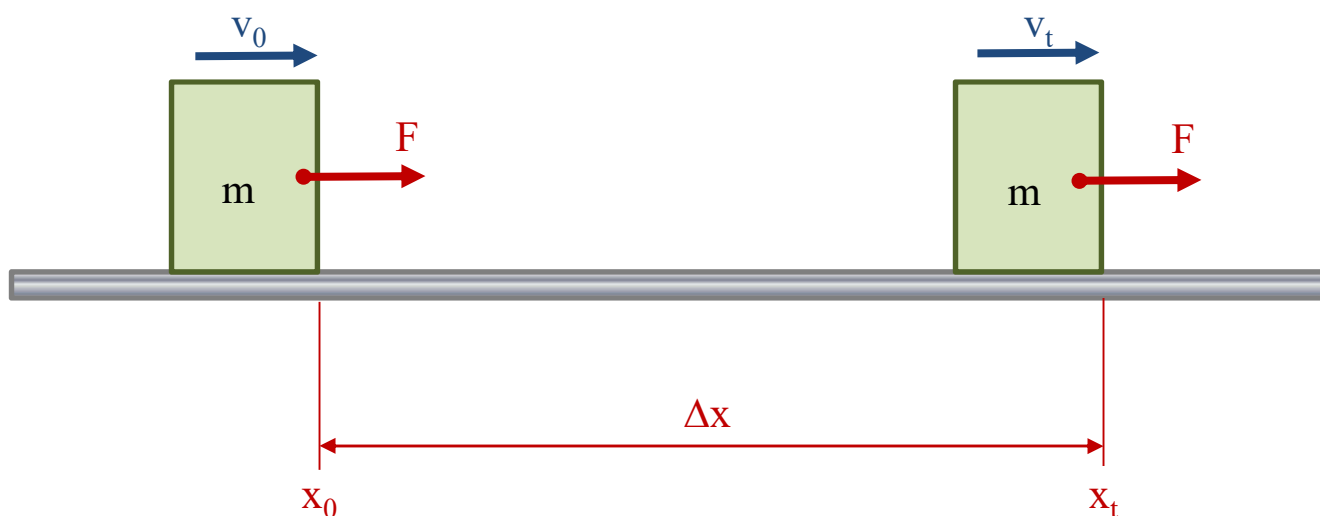
נבדוק אם נוכל לנסח קשר מתמטי בין הכוח, ההעתק, המהירות או התאוצה.

נעשה זאת בעזרת החוק השני של ניוטון.

נתחיל את הדיון במקרה פשוט, בו גוף נקודתי (או גוף לא נקודתי, שניתן לייצג את תנועת חלקיקיו על ידי

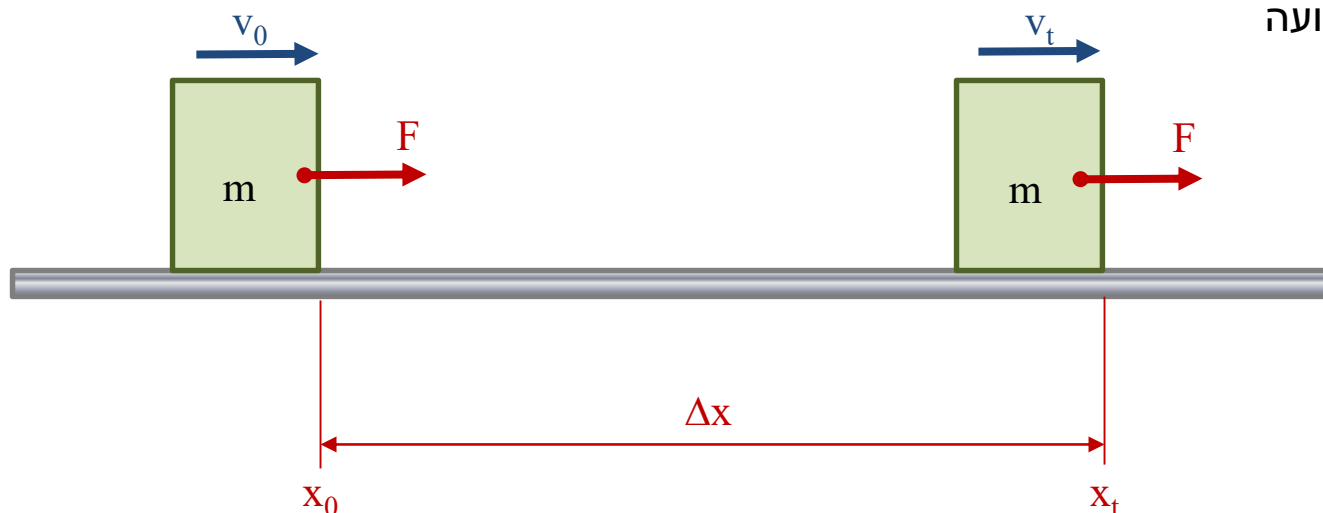
תנועה של נקודה אחת), נח (או נע במהירות קבועה v_0).

ברגע מסוים מתחיל לפעול עליו כוח קבוע בכיוון התנועה.



הקשר בין כוח, העתק ומהירות (המשך)

◀ ניתוח התנועה



$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot (x_t - x_0) \Rightarrow a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2 \cdot (x_t - x_0)} = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2 \cdot \Delta x}$$

$$F = m \cdot \frac{v_t^2 - v_0^2}{2 \cdot \Delta x}$$

$$F \cdot \Delta x = \frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

קיבלנו:

$$F \cdot \Delta x = \frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

את הגודל $F \cdot \Delta x$, המופיע באגף השמאלי של המשוואה, נגדיר כ"עבודה", של הכוח F , כאשר הוא פועל על הגוף לאורך ההעתק (הדרך) Δx .

$$W = F \cdot \Delta x$$

נשים לב: גם כוח וגם העתק הם **ווקטורים**. אמנם מתבצעת מכפלה בין וקטורים, אבל מדובר במכפלה **סקלרית**, כלומר מכפלה של וקטורים שתוצאתה סקלר.

העבודה היא גודל סקלרי.

$$F \cdot \Delta x = \frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}, \text{ באגף השני של המשוואה,}$$

מופיע ההפרש

$$\frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

ניתן לומר: בתהליך, בו פועל כוח לאורך ההעתק בכיוון הכוח, נעשית עבודה W , השווה להפרש של שני גדלים, הקשורים במצב המערכת בהתחלה ובסוף בלבד!

גודל זה נקרא האנרגיה הקינטית של הגוף, ומקובל לסמן אותו ב- E_k .

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

m [kg] - מסת הגוף

v [m/sec] - מהירות הגוף

E_k [J] - אנרגיית הגוף (נמדדת בג'ול).

הממדים הפיזיקליים והיחידות של האנרגיה זהים לאלו של העבודה (נוכיח זאת בהמשך).

האנרגיה הקינטית היא גודל סקלרי. ולכן אין היא תלויה בכיוון מהירותו של הגוף.

ניתן לסכם: העבודה שווה להפרש האנרגיות הקינטיות בסוף התהליך ובתחילתו.

$$W = F \cdot \Delta x$$

$$W = \Delta E_k$$

$$F \cdot \Delta x = E_{k(t)} - E_{k(0)}$$

השינוי באנרגיה הקינטית של גוף שווה לעבודת הכוח, שפעל על הגוף.

מסקנות:

1. כאשר הכוח הוא בכיוון ההעתק, הגוף מאיץ, כלומר מהירותו גדלה ועמה גדלה גם האנרגיה הקינטית שלו.
2. כאשר כוח פועל ללא העתק (ההעתק=0), העבודה (מבחינה הפיזיקלית) שווה לאפס! במקרה זה, אין שינוי באנרגיה הקינטית ובמהירות.



$$W = F \cdot \Delta x = 0$$

3. כאשר לא פועל כוח על גוף נע, האנרגיה הקינטית של הגוף נשמרת.

$$W = F \cdot \Delta x = \Delta E_k = 0$$

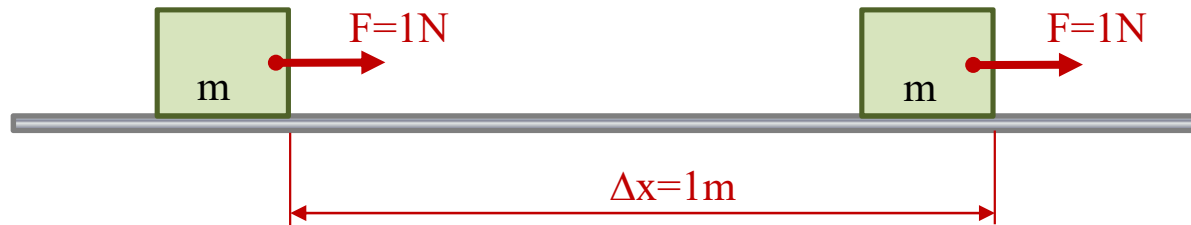
הגדרנו שני גדלים חדשים חשובים מאוד: עבודה ואנרגיה קינטית.

העבודה שווה ל: $W = F \cdot \Delta x$

מכאן, יחידות העבודה הן : ג'ול (Joule) $[j] = [N] \cdot [m]$

עבודה של 1 ג'אול מתבצעת על ידי כוח של 1 ניוטון

כאשר הוא פועל על גוף ומזיז אותו 1 מטר בכיוון פעולת הכוח.



האנרגיה הקינטית שווה ל: $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$

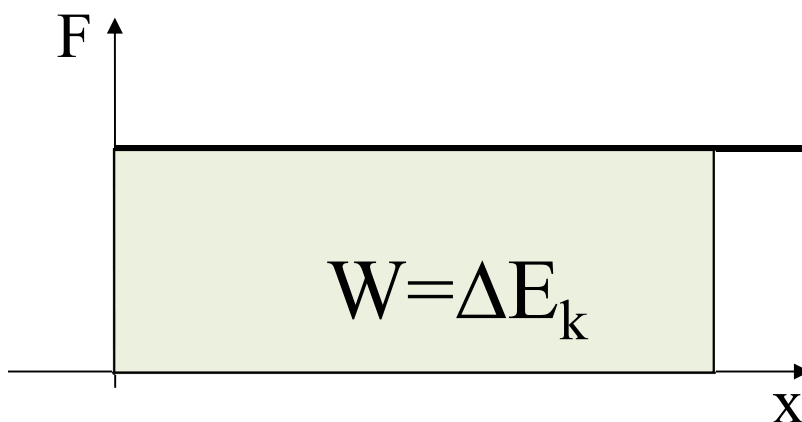
יחידות האנרגיה הקינטית גם הן : ג'ול (Joule)

$$[j] = [kg] \cdot \left[\left(\frac{m}{\text{sec}} \right)^2 \right] = \left[\frac{kg \cdot m}{\text{sec}^2} \right] \cdot [m] = [N] \cdot [m] = [j]$$

גרף כוח קבוע כפונקציה של ההעתק

כדי להקל עלינו בהמשך את חישוב העבודה, הנעשית על ידי כוח משתנה, נציג דרך גיאומטרית לחישוב גודל העבודה. נתחיל במקרה של כוח קבוע.

הערך של שטח המלבן, המתקבל ממכפלת הכוח בהעתק, שווה לעבודה של הכוח וגם כמובן לשינוי באנרגיה הקינטית.



גודל ה"שטח" הכלוא בין עקום הכוח וציר המקום שווה

גם לעבודת הכוח הפועל על הגוף, וגם לשינוי באנרגיה הקינטית של הגוף

כדור נופל ממנוחה מגובה של 45m מעל לרצפה . מצאו , משיקולי עבודה-אנרגיה:

א. כמה עבודה נעשית על ידי כוח הכובד במהלך כל נפילתו?

ב. מה תהיה מהירות פגיעת הכדור ברצפה?



א.

$$W = F \cdot \Delta y$$

$$W = mg \cdot \Delta y$$

$$W = 2 \cdot 10 \cdot 45 = 900 J$$

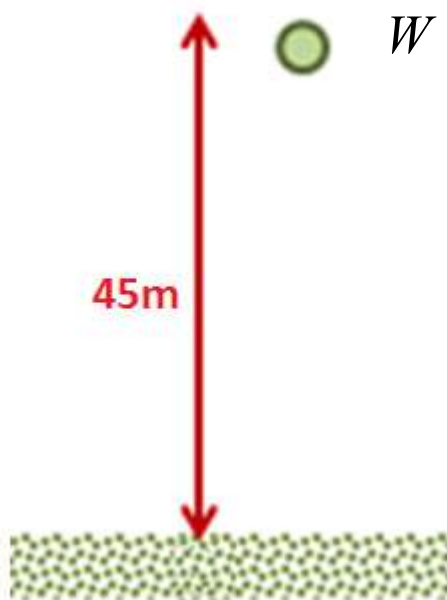
ב.

$$W = \Delta E_k$$

$$W = \frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

$$900 = \frac{2 \cdot v_t^2}{2} - \frac{2 \cdot 0^2}{2}$$

$$v_t = 30 \frac{m}{sec}$$



נתון, שכדי לשנות את מהירותו של גוף ממנוחה למהירות V יש לבצע עבודה השווה ל- W .

אם נרצה להגדיל את מהירות הגוף מ- V למהירות $2V$, יש לבצע עבודה השווה ל:

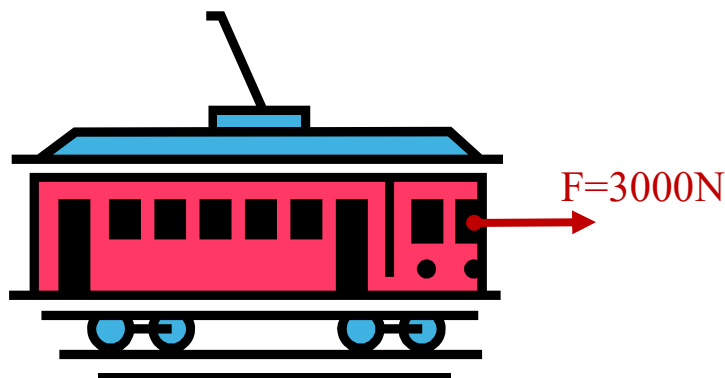
א. $2W$

ב. $3W$

ג. $4W$

ד. W

כוח קבוע השווה ל- 3000 ניוטון מאיץ קרון הנמצא במנוחה למהירות של 36km/h.
מסת הקרון היא 10 טון.



- א. כמה עבודה נעשתה על ידי הכוח הקבוע?
- ב. כמה מטרים עבר הקרון עד שהגיע למהירות זו?

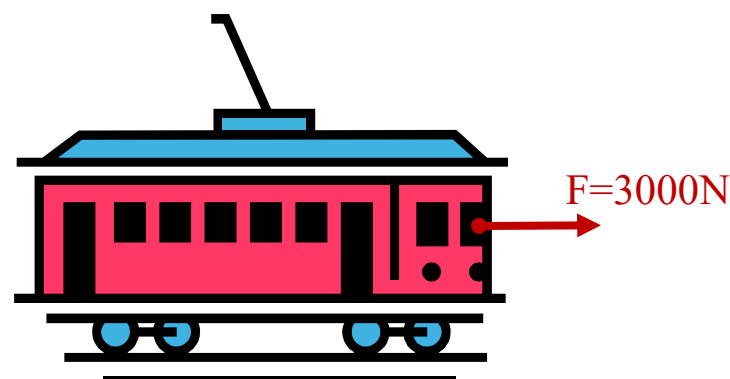
א. העבודה שנעשתה על ידי הכוח הקבוע שווה לשינוי באנרגיה הקינטית של הקרון:

$$W = \Delta E_k$$

$$W = \frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

$$W = \frac{10000 \cdot 10^2}{2} - \frac{10000 \cdot 0^2}{2}$$

$$W = 500000J$$



ב.

$$W = F \cdot \Delta x$$

$$W = mg \cdot \Delta x$$

$$1000000 = 3000 \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{500000}{3000} = 166.67m$$

עבודת כוח קבוע היוצר זווית α עם כיוון התנועה (1)

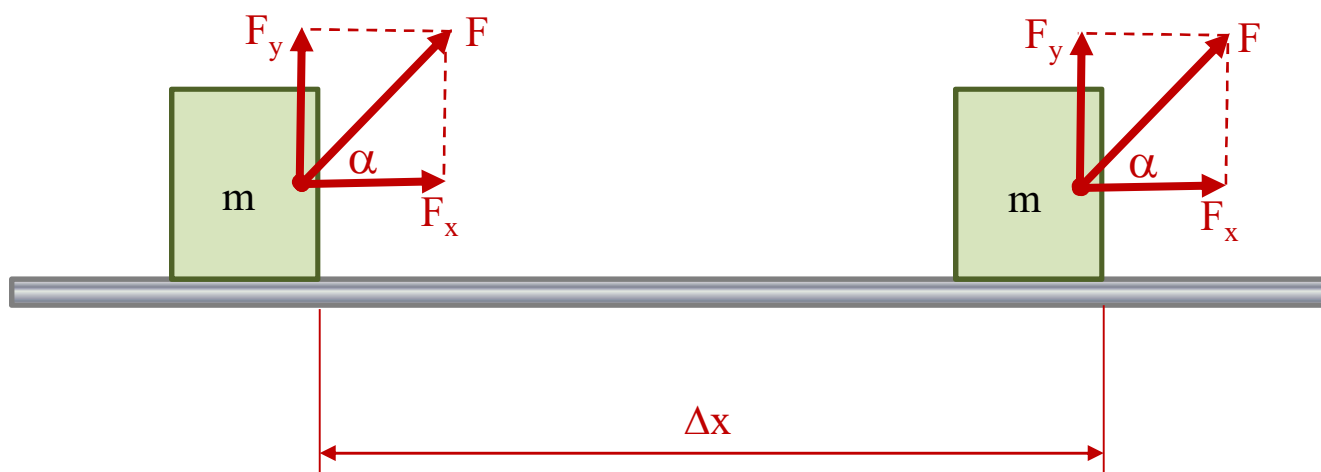
עד כה עסקנו בכוח הפועל בכיוון התקדמות הגוף.

מה יהיה גודל העבודה, אם הכוח יפעל בזווית כלשהי ביחס לכיוון התנועה?

בדוגמא הבאה נתון, שהגוף נע על המשטח האופקי בלבד (אינו מתרומם).

במקרה זה נפרק את הכוח לשני רכיבים ניצבים, האחד בכיוון התנועה והשני בכיוון ניצב לה.

שקול הכוחות בכיוון הניצב שווה לאפס (מכיוון שהגוף נשאר במישור התנועה), לכן רק הרכיב בכיוון התנועה יגרום לשינוי במהירות הגוף ובאנרגיה הקינטית.



נבדוק זאת על ידי פירוק הכוח לרכיביו הקרטזיים (במערכת ישרת זווית).

עבודת כוח קבוע היוצר זווית α עם כיוון התנועה (2)

מכאן,

$$W = F_x \cdot \Delta x$$

או

$$W = |F| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha$$

עבודה של כוח קבוע שווה ל:

מכפלת גודל רכיב הכוח הפועל לאורך מסלול התנועה בגודל ההעתק.

F_x - רכיב הכוח הפועל לאורך מסלול התנועה, (יכול להיות חיובי, שלילי או אפס).

Δx - ההעתק, (יכול להיות חיובי, שלילי או אפס).

W - העבודה (יכולה להיות חיובית, שלילית או אפס).

$|F|$ - גודל הכוח (תמיד חיובי).

$|\Delta x|$ - ההעתק (תמיד חיובי).

כאשר α היא הזווית בין F לבין כיוון התנועה ($0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$).

נקודות חשובות (1)

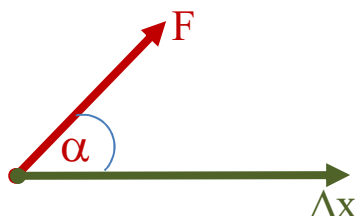
$$W = |F| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha$$

נציין מספר נקודות חשובות:

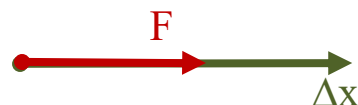
❖ כאשר α היא זווית חדה, עבודתו של הכוח היא חיובית.

במקרה שזהו גם הכוח היחיד, מהירותו של הגוף תגדל, מכאן שגם האנרגיה הקינטית שלו תגדל.

$$0^\circ < \alpha < 90^\circ \Rightarrow 0 < \cos \alpha < 1$$



$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow \cos \alpha = 1$$



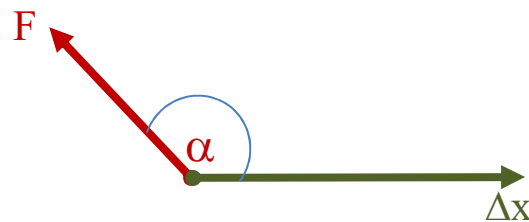
❖ כאשר α היא זווית קהה, עבודתו של הכוח היא שלילית. במקרה שזהו הכוח היחיד, מהירותו של הגוף

תקטן, ומכאן שגם האנרגיה הקינטית שלו תקטן. לדוגמא: כוח החיכוך.

$$\alpha = 180^\circ \Rightarrow \cos \alpha = -1$$

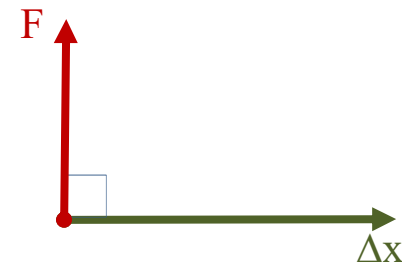
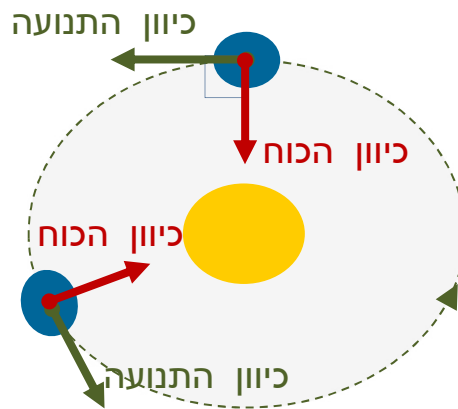


$$90^\circ < \alpha < 180^\circ \Rightarrow -1 < \cos \alpha < 0$$



מתי עבודה של כוח שווה 0?

- ❖ כאשר הכוח מופעל במאונך לכיוון התנועה של הגוף, עבודתו שווה לאפס.
- ❖ במקרה שזהו גם הכוח היחיד הפועל על הגוף, מהירותו של הגוף לא תשתנה, מכאן שגם האנרגיה הקינטית שלו לא תשתנה, אך כיוון תנועתו של הגוף ישתנה.



$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow \cos \alpha = 0$$

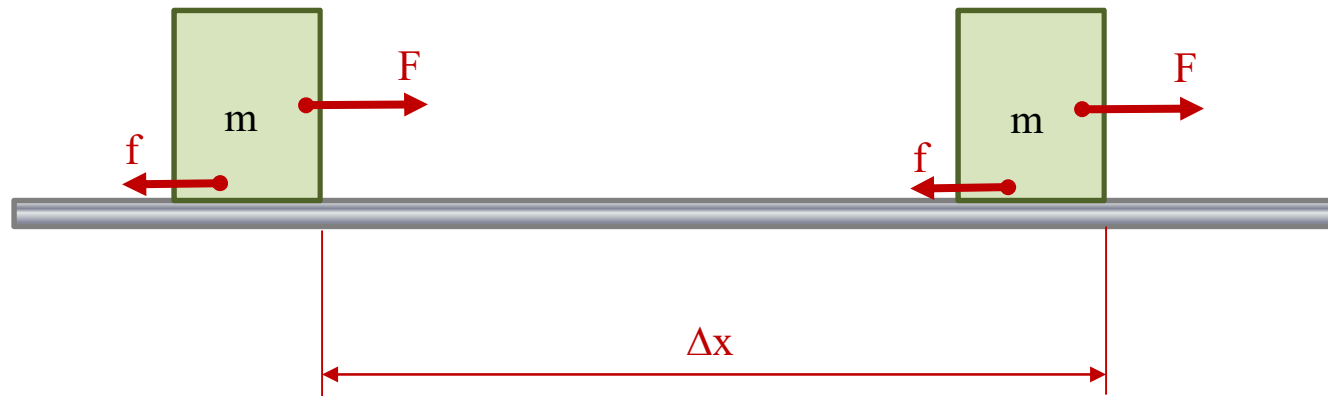
לדוגמה: סיבוב כוכב לכת סביב השמש, בקירוב מעגלי, האנרגיה הקינטית לא משתנה במהלך מיליארדי שנים, מכיוון שלא נעשית עבודה, אך כיוון המהירות משתנה ללא הרף.



- ❖ גם כאשר כוח מופעל על גוף, אבל הוא ממשיך להישאר במנוחה, עבודתו של הכוח שווה לאפס ($x=0\Delta$).

עבודת הכוח השקול

במקרה שפועלים על גוף מספר כוחות, נשארת בתוקף הגדרת העבודה לגבי כל אחד ואחד מהכוחות בנפרד. העבודה הכללית של כל הכוחות, כלומר, **העבודה של הכוח השקול**, שווה לסכום האלגברי של העבודות, שנעשו על ידי כל אחד מהכוחות, מכיוון שהם גדלים סקלריים.



לדוגמא: כאשר מופעלים על גוף שני כוחות אופקיים בכיוונים מנוגדים (גרירה וחיכוך למשל), תהיה העבודה

של שניהם יחד ניתנת ע"י ביטוי:

$$W_{\Sigma F} = (F - f) \cdot \Delta x = F \cdot \Delta x - f \cdot \Delta x$$

$$W_{\Sigma F} = \sum F \cdot \Delta x \quad \text{וגם} \quad W_{\Sigma F} = W_F + (-W_f) \quad \text{ובהתאם:}$$

$$W_{\Sigma F} = W_F + W_{f_k} + W_{mg} + W_N + W_{sp} + \dots$$

אנו רואים שלגבי העבודות מתקיים:

העבודה של שקול הכוחות שווה לסכום האלגברי של העבודות של כל אחד מהכוחות, מהם מורכב השקול.

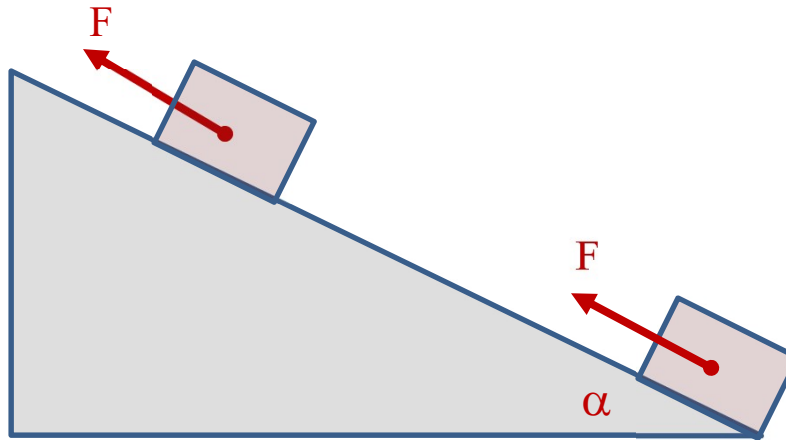
מכאן שגם מתקיים:

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_K$$

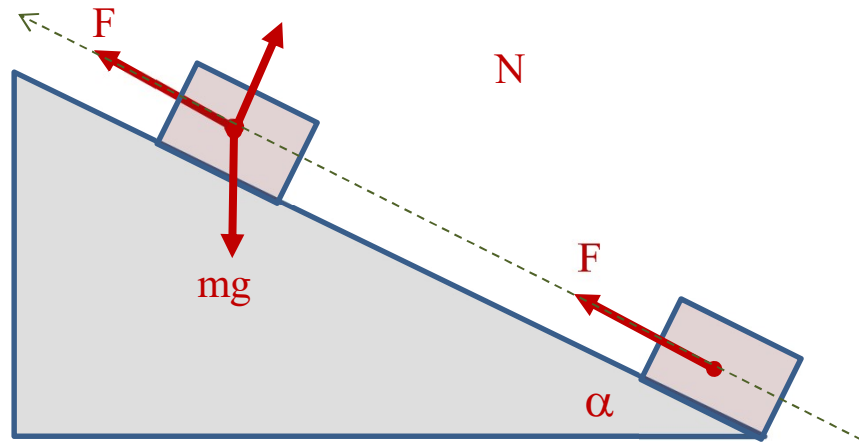
העבודה הכוללת (של מספר כוחות) הנעשית על גוף שווה לשינוי באנרגיה הקינטית של הגוף

❖ משפט זה נכון לא רק כאשר התנועה היא לאורך קו ישר, אלא גם כשהתנועה היא במסלול כלשהו.

כוח קבוע $F=30\text{N}$ גורר גוף שמסתו 2kg במעלה מישור משופע חלק, שזוויתו 30° . הכוח פועל במקביל למישור המשופע. ברגע התחלת הפעלת הכוח הגוף נמצא במנוחה.



- מהי עבודת הכוח המושך F לאורך דרך של 2m ?
- מהי עבודת כוח הכובד לאורך דרך של 2m ?
- מהי עבודת הכוח הנורמלי?
- מהי עבודת שקול הכוחות?
- מהו השינוי באנרגיה הקינטית?
- מהי מהירות הגוף לאחר שעבר 2m ?



$$W_F = |F| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha = 30 \cdot 2 \cdot \cos 0^\circ = 60J \quad \text{א.}$$

$$W_{mg} = |mg| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha = 20 \cdot 2 \cdot \cos 120^\circ = -20J \quad \text{ב.}$$

$$W_N = |N| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha = |N| \cdot |\Delta x| \cdot \cos 90^\circ = 0J \quad \text{ג.}$$

$$W_{\Sigma F} = W_F + W_{mg} + W_N = 60 - 20 + 0 = 40J \quad \text{ד.}$$

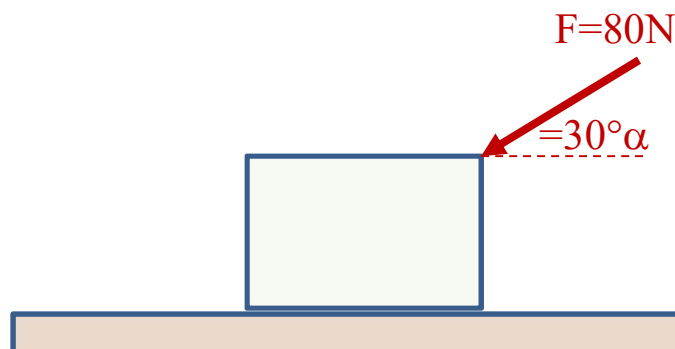
$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k = 40J \quad \text{ה.}$$

$$\Delta E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 40 = \frac{2 \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = 6.324 \frac{m}{sec} \quad \text{ו.}$$

תיבה שמסתה 8 ק"ג מונחת על משטח אופקי ונדחפת ע"י כוח שגודלו 80 ניוטון בזווית של 30° מתחת לאופק. מקדם החיכוך הקינטי בין התיבה למשטח הוא 0.2. התיבה מתחילה לנוע ממנוחה.

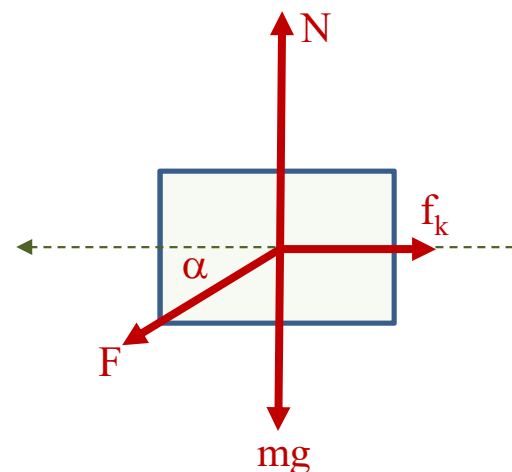
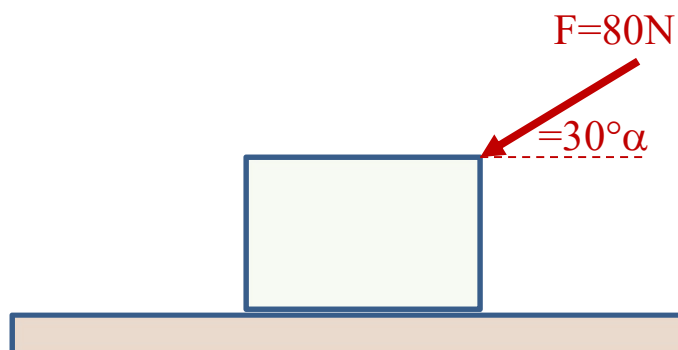
א. איזו עבודה נעשתה ע"י כל אחד מן הכוחות הפועלים על התיבה עד הגיעה למרחק של 2 מטר מנקודת ההתחלה?

ב. מצאו, משיקולי עבודה-אנרגיה, מה תהיה מהירותה עם הגיעה למרחק זה.



פתרון תרגיל 4

א. ננתח תחילה את הכוחות הפועלים על הגוף:



$$W_F = |F| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha = 80 \cdot 2 \cdot \cos 30^\circ = 138.56J$$

$$W_{f_k} = |f_k| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha = |N \cdot \mu_k| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha$$

$$W_{f_k} = |120 \cdot 0.2| \cdot 2 \cdot \cos 180^\circ = -48J$$

$$W_N = |N| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha = |N| \cdot |\Delta x| \cdot \cos 90^\circ = 0J$$

$$W_{mg} = |mg| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha = |mg| \cdot |\Delta x| \cdot \cos 90^\circ = 0J$$

$$W_{\Sigma F} = W_F + W_{f_k} + W_{mg} + W_N = 138.56 - 48 + 0 + 0 = 90.56J$$

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k = 90.56J$$

$$\Delta E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 90.56 = \frac{8 \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = 4.758 \frac{m}{sec}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - mg - F \sin \alpha = 0$$

$$N = mg + F \sin \alpha$$

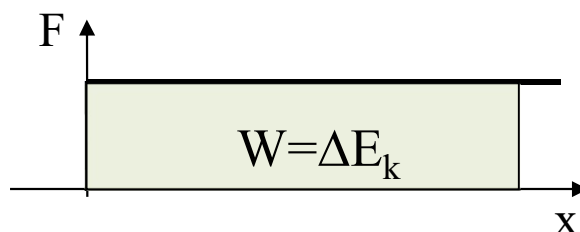
$$N = (8 \cdot 10 + 80 \cdot \sin 30^\circ) = 120N$$

ב.

העבודה של כוח משתנה

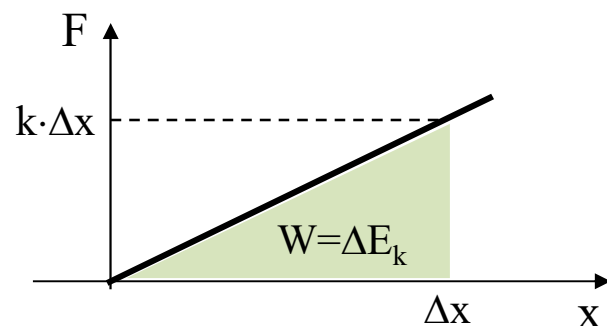
הקשר בין עבודה לאנרגיה קינטית שימושי במיוחד כאשר הכוח הפועל אינו קבוע. זהו המצב בדרך כלל. כיצד במקרה זה נחשב את גודל העבודה?

נזכיר שבמקרה של כוח קבוע, ה"שטח" הכלוא בין עקום הכוח וציר המקום שווה (מספרית) גם לעבודת הכוח הפועל על הגוף, וגם לשינוי באנרגיה הקינטית של הגוף.



קשר זה נכון גם במקרה של כוח משתנה. נבחין בין שני מקרים, פשוט ומסובך יותר לחישוב.

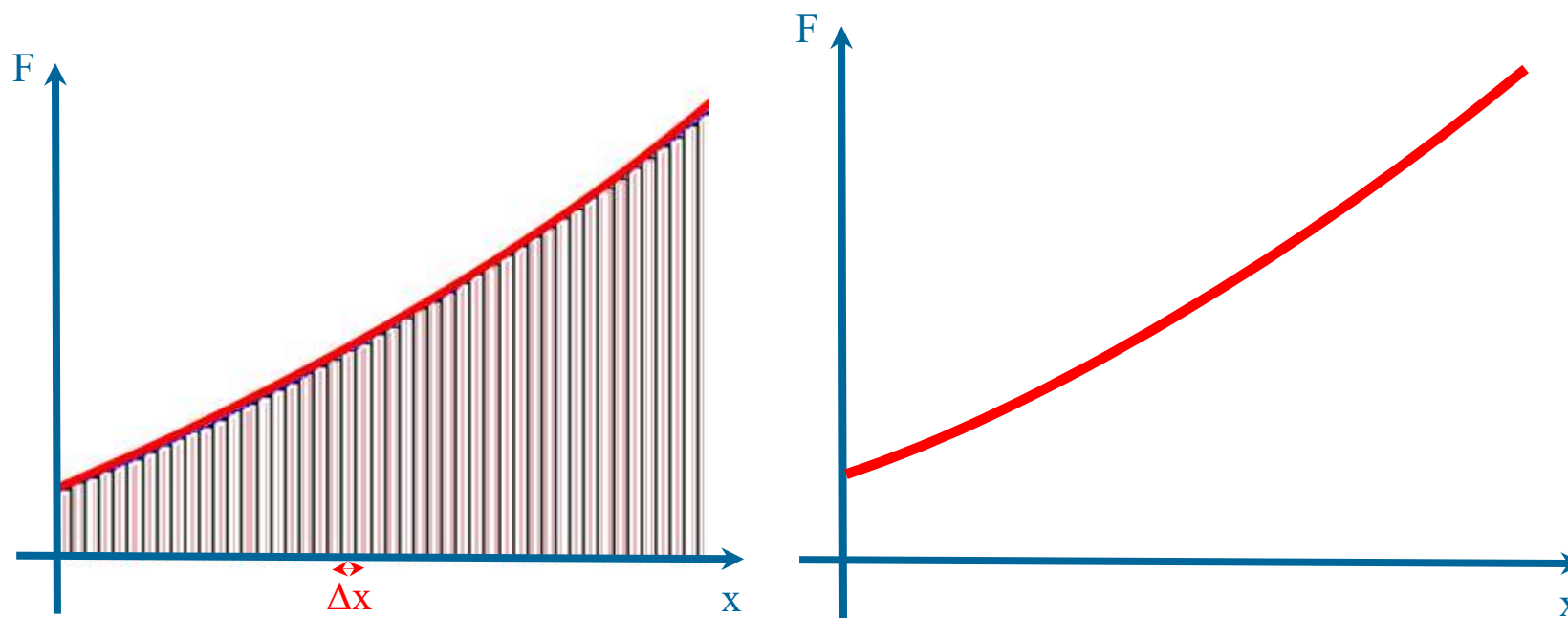
I. כאשר הכוח משתנה, אך נמצא ביחס ישר להעתק הגוף (למשל כשאנו מותחים קפיץ $(F=k \cdot \Delta x)$), הגודל הגרפי שמבטא את העבודה כנגד הכוח האלסטי הוא שטח המשולש, הכלוא בין עקום הכוח וציר המקום.



$$W_F = \frac{k \cdot \Delta x \cdot \Delta x}{2} = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2}$$

העבודה של כוח משתנה

II. נניח שיש לנו כוח המשתנה באופן הבא:



במקרים בהם הפונקציה המתמטית המתארת את הכוח כפונקציה של הזמן, לא ידועה, נוכל להעריך את העבודה על ידי חלוקת ההעתק לקטעים מאוד קטנים, בהם הכוח הוא בקירוב קבוע. ספירת כמות הקטעים, והכפלת מספר זה בערך של העבודה שמייצג כל קטע, תאפשר לנו להעריך את השטח השווה לעבודת הכוח.

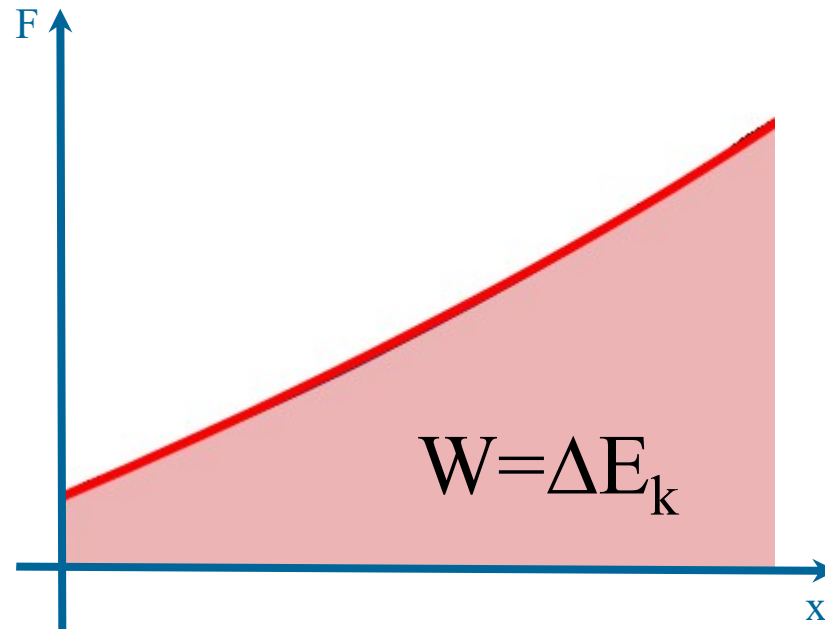
השטח התחום בין העקומה לציר ההעתק

מכאן: ◀

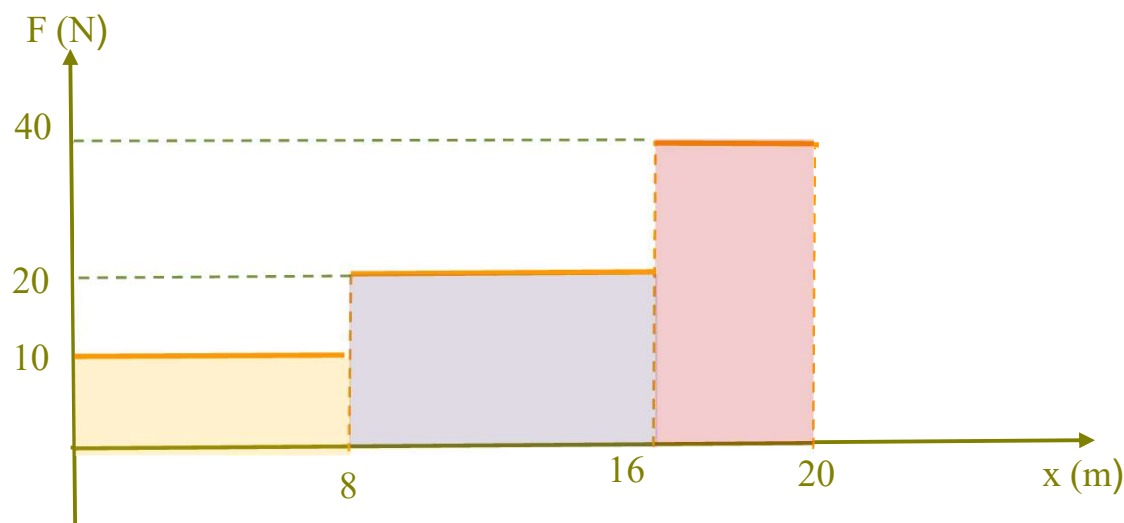
השטח התחום בין עקומת כוח-מקום כלשהי לבין ציר המקום

מבטא את העבודה שנעשית על ידי הכוח.

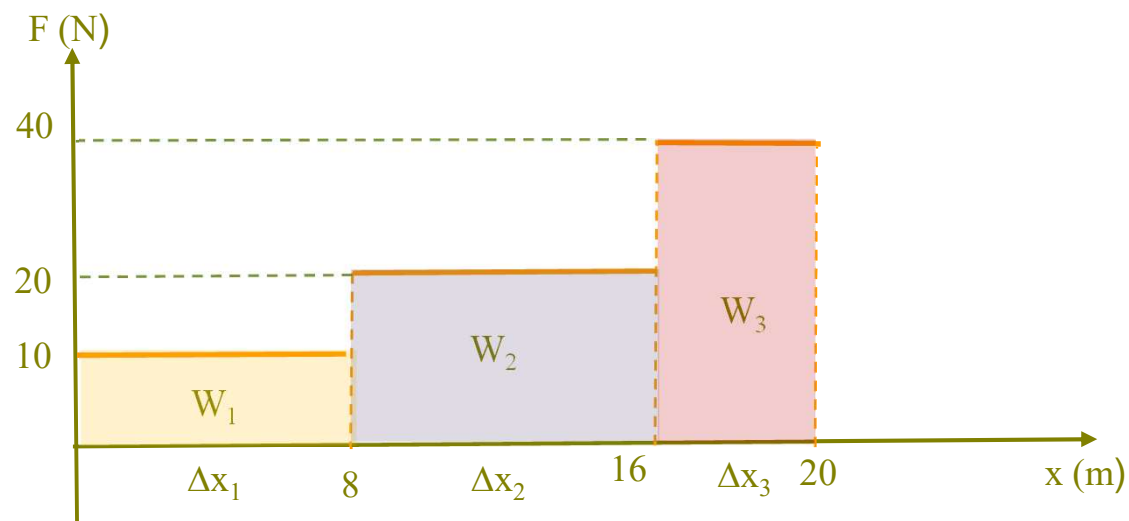
העבודה שווה, כמובן, לשינוי באנרגיה הקינטית של הגוף.



לפניכם גרף המתאר את הכוח הפועל על גוף שמסתו 10kg כפונקציה של המקום.
ברגע $t=0$ כלי הגוף היה במנוחה. הכוח פועל בכיוון ההתקדמות של הגוף.



- חשבו את עבודת הכוח הפועל על הגוף במעבר מ- $x=0$ ל- $x=20\text{m}$.
- חשבו את האנרגיה הקינטית ואת המהירות שהייתה לגוף בהגיעו ל- $x=20\text{m}$.



$$W_T = \Delta E_k = 400J \quad \text{ב.}$$

$$W_T = \frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

$$400 = \frac{10 \cdot v_t^2}{2} - \frac{10 \cdot 0^2}{2}$$

$$v_t^2 = 80 \Rightarrow v_t = 8.94 \frac{m}{sec}$$

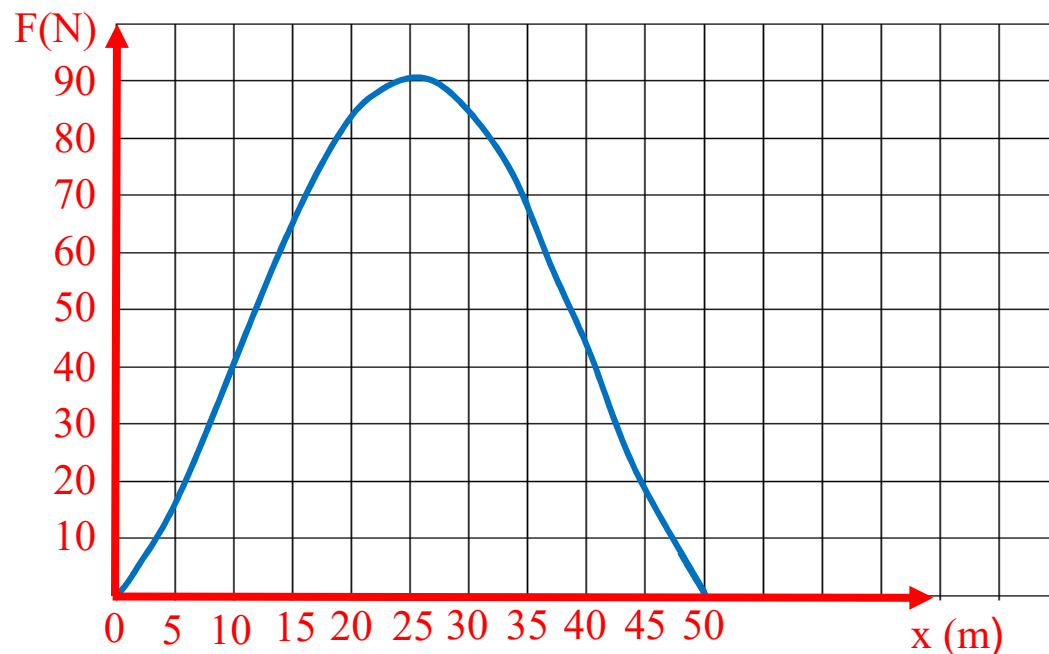
$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 \quad \text{א.}$$

$$W = F_1 \cdot \Delta x_1 + F_2 \cdot \Delta x_2 + F_3 \cdot \Delta x_3$$

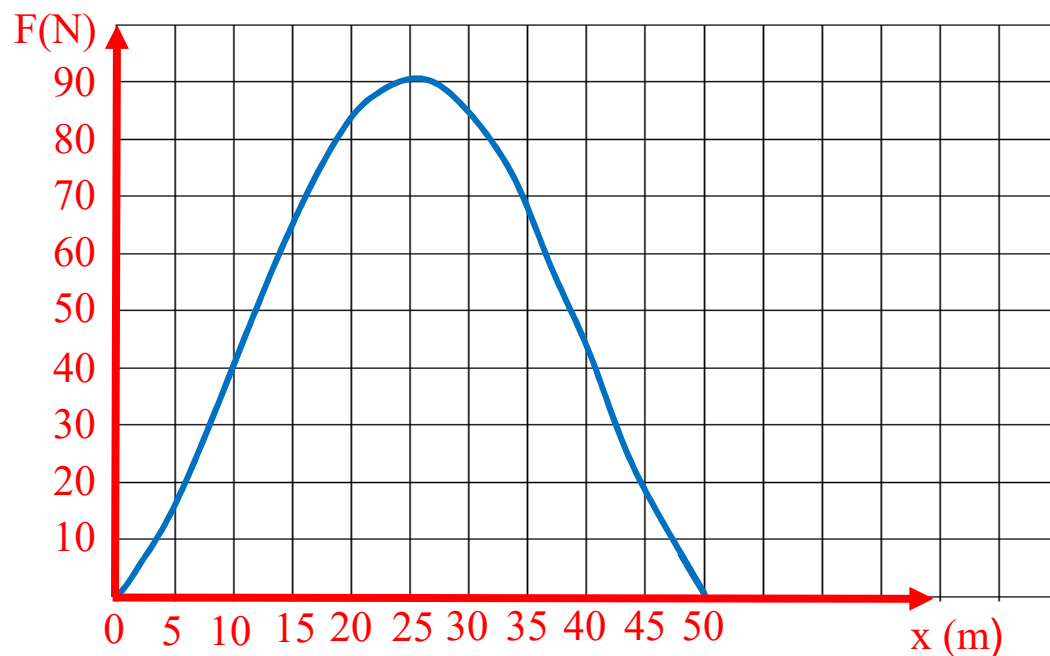
$$W_T = 10 \cdot 8 + 20 \cdot 8 + 40 \cdot 4$$

$$W_T = 400J$$

לפניכם גרף המתאר את הכוח הפועל על כלי רכב שמסתו 500kg כפונקציה של המיקום.
ברגע $t=0$ כלי הרכב היה במנוחה. הכוח פועל בכיוון ההתקדמות של כלי הרכב.



- א. העריכו את עבודת הכוח הפועל על הגוף במעבר מ- $x=0$ ל- $x=50\text{m}$.
- ב. על פי הערכתכם בסעיף א, חשבו את האנרגיה הקינטית ואת המהירות שהייתה לכלי הרכב בהגיעו ל- $x=50\text{m}$.
- ג. מתי היה השינוי באנרגיה הקינטית גדול יותר: במעבר מ- $x=10\text{s}$ ל- $x=15\text{m}$ או במעבר מ- $x=20\text{m}$ ל- $x=25\text{m}$? העריכו את ההפרש בין השינויים.



$$W = \Delta E_k = 2250J \quad \text{ב.}$$

$$W = \frac{m \cdot v_t^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

$$2250 = \frac{500 \cdot v_t^2}{2} - \frac{500 \cdot 0^2}{2}$$

$$v_t^2 = 9 \Rightarrow v_t = 3 \frac{m}{sec}$$

$$W = \frac{50 \cdot 90}{2} = 2250J \quad \text{א.}$$

ג. במעבר מ- $x=20m$ ל- $x=25m$, $440-270=170J$.

❖ הגודל $F \cdot \Delta x$, הוגדר כ"עבודה", הנעשית על ידי הכוח F לאורך ההעתק (הדרך) Δx , שלאורכו פעל הכוח. יחידות העבודה הן: ג'אול והיא גודל סקלרי.

❖ הביטוי: $E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}$ נקרא האנרגיה הקינטית של הגוף. יחידות האנרגיה הן: ג'אול והיא גודל סקלרי.

❖ עבודה של כוח קבוע שווה למכפלת גודל רכיב הכוח הפועל לאורך מסלול התנועה בגודל ההעתק.

$$W = F_x \cdot \Delta x$$

$$W = |F| \cdot |\Delta x| \cdot \cos \alpha$$

❖ העבודה של שקול הכוחות שווה לסכום האלגברי של העבודות של כל אחד מהכוחות מהם מורכב השקול.

$$W_{\Sigma F} = W_{F_1} + W_{F_2} + \dots W_{F_N}$$

❖ העבודה הכוללת הנעשית על גוף שווה לשינוי באנרגיה הקינטית של הגוף $W_{\Sigma F} = \Delta E_K$.

❖ השטח התחום בין עקומת כוח-מקום כלשהי לבין ציר המקום מבטא את העבודה שנעשית על ידי הכוח.