

## חוקי שימור 1

# עבודה ואנרגיה קינטית



Image courtesy of xedos4 at FreeDigitalPhotos.net

◀ 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.

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

◀ הביטוי:  $E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}$  נקרא האנרגיה הקינטית של הגוף.

◀ משפט עבודה-אנרגיה: העבודה הכוללת הנעשית על גוף נקודתי שווה לשינוי באנרגיה הקינטית של הגוף.

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

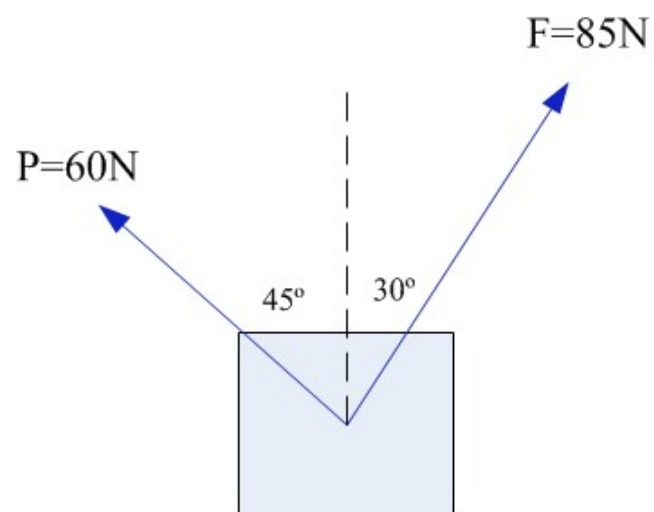
◀ השטח התחום בין עקומת כוח-מקום כלשהי לבין ציר המקום מבטא את העבודה שנעשית על ידי הכוח.

# תרגיל 1

שני כוחות פועלים על גוף לאורך דרך של 70 ס"מ, כמוראה בתרשים

1. מהי העבודה שמבצע כל כוח לאורך הקו המרוסק?

2. מהי עבודת הכוח השקול?

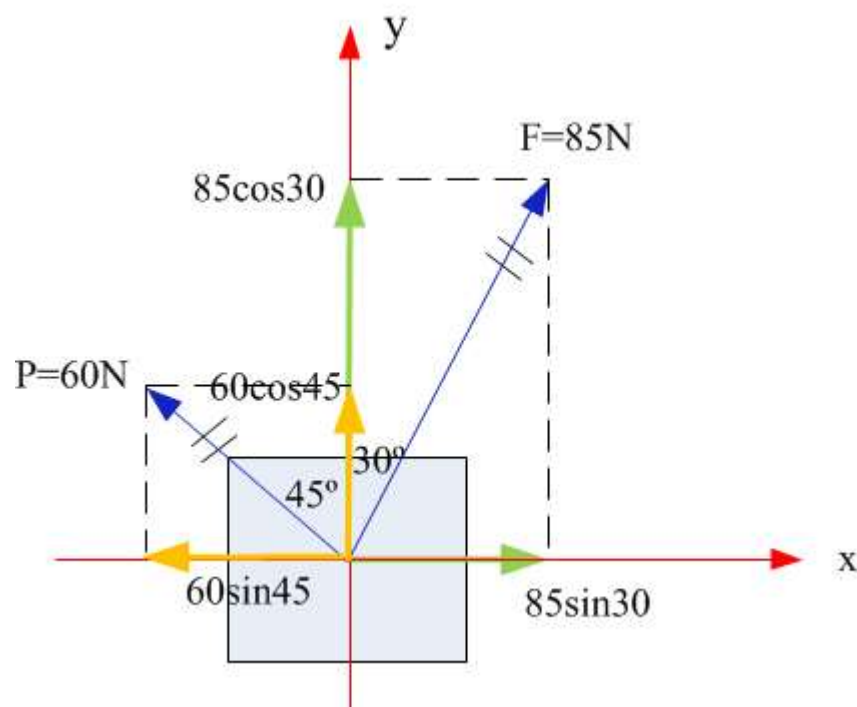


# פתרון 1

1. מה העבודה שמבצע כל כוח לאורך הקו המרוסק?  
 ◀ נפרק את שני הכוחות לרכיבים, ונתמקד ברכיבים הפועלים בכיוון הדרך (ציר x).

$$W_F = 85 \cos 30 \cdot 0.7 = 51.52 J$$

$$W_P = 60 \cos 45 \cdot 0.7 = 29.7 J$$



2. מהי עבודת הכוח השקול?

◀ עבודת הכוח השקול שווה לסכום העבודות של כל אחד מהכוחות הפועלים על הגוף:

$$W_{\Sigma F} = W_F + W_P = 51.52 + 29.7 = 81.22J$$

1. ילד דוחף תיבה המונחת על משטח לא חלק, למרחק של 4 מטר. הילד מפעיל כוח של 6N כלפי מטה בזווית של 37 מעלות, כמראה בתרשים השמאלי. התיבה נעה במהירות קבועה. מהי העבודה שביצע הילד?
2. הילד מושך את התיבה בכוח F ובאותה הזווית, הפעם כלפי מעלה (תרשים ימני), כך שהתיבה נעה במהירות קבועה. האם הכוח F גדול, קטן או שווה לכוח שבסעיף 1?
3. הילד מפעיל כוח  $6N = F$  בתנאים של סעיף 2. האם העבודה שיבצע כעת גדולה, קטנה או שווה לעבודה שבסעיף 1?
4. האם המהירות הסופית של הגוף בסעיף 3 תהיה גדולה, קטנה או שווה לזו שבה הגוף נע בסעיף 1?



## פתרון 2

1. מהי העבודה שביצע הילד?

נציג את הכוחות הפועלים, ונפרק לרכיבים.

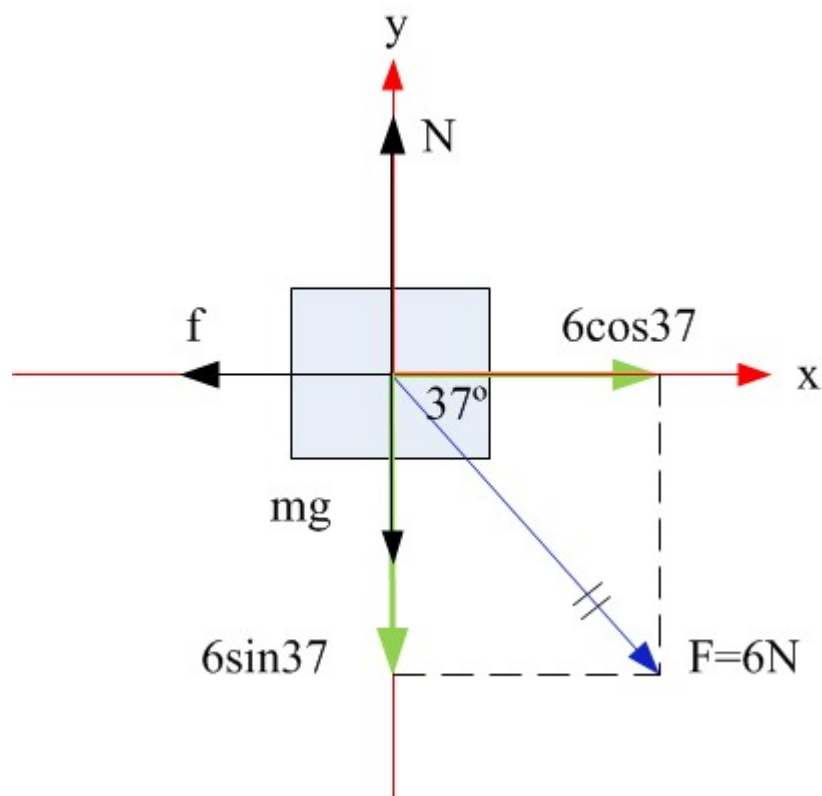
עבור עבודת הכוח  $F$  נקבל:

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

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

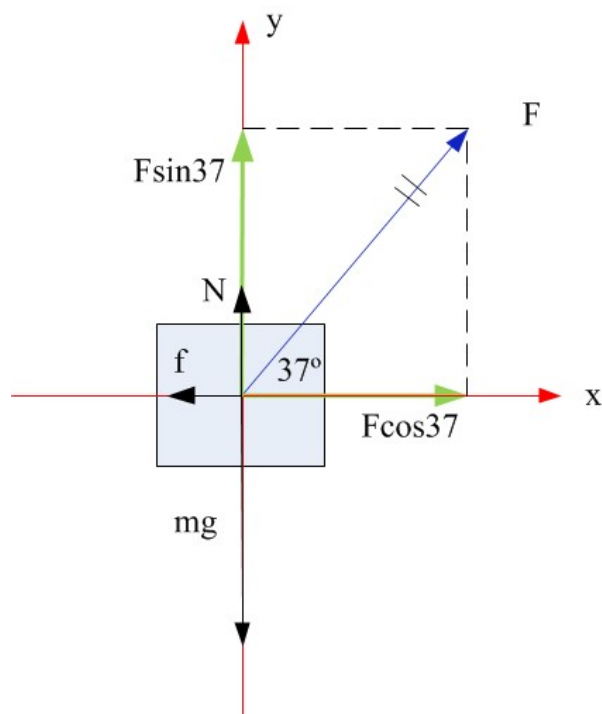
$$W = 6 \cdot 4 \cdot \cos 37$$

$$W = 19.16J$$



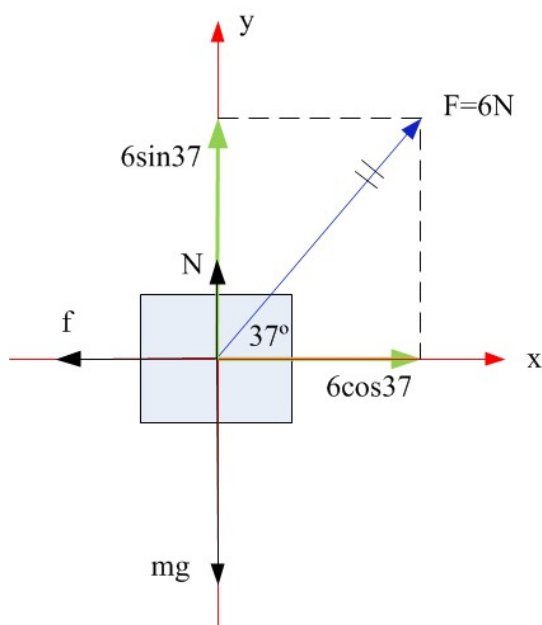
## פתרון 2 המשך

2. הילד מושך את התיבה במהירות קבועה, בכוח  $F$  ובאותה הזווית, הפעם כלפי מעלה. האם הכוח  $F$  גדול, קטן או שווה ל-  $6\text{N}$ ?  
 נציג את הכוחות הפועלים ונפרק לרכיבים.  
 הפעם הכוח הנורמלי קטן יותר, מה שיגרום לכוח החיכוך  $f$  להיות קטן יותר, כי  $f = \mu N$ .  
 לכן, הכוח  $F$  הדרוש להניע את התיבה במהירות קבועה יהיה קטן מ-  $6\text{N}$ .



## פתרון 2 המשך

3. ילד מפעיל את אותו הכוח (6N) בתנאים של סעיף 2.  
האם העבודה שיבצע כעת תהיה גדולה, קטנה או שווה לעבודה שבסעיף 1?  
אם הכוח מופנה כלפי מעלה באותה הזווית, הרכיב בכיוון הדרך יהיה באותו הגודל, ולכן העבודה שיבצע הילד תהייה שווה לזו שהתקבלה בסעיף 1:



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

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

$$W = 6 \cdot 4 \cdot \cos 37$$

$$W = 19.16J$$

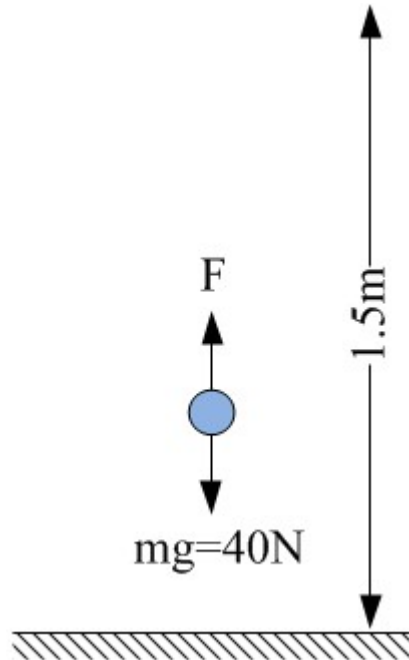
4. האם המהירות הסופית של הגוף בסעיף 3 תהייה גדולה, קטנה או שווה לזו שבה נע הגוף בסעיף 1?

▲ גדולה יותר.

▲ הסיבה: עבודת הילד שווה בשני המקרים, אך עבודת החיכוך בסעיף 1 גדולה יותר.

גוף שמסתו 4 ק"ג מורם במהירות קבועה לגובה של 1.5 מטר.

1. מה העבודה שנעשית ע"י הכוח המרים את הגוף?
2. אם הגוף מורד באותה מהירות ומאותו הגובה, מה העבודה שנעשית ע"י הכוח המחזיק את הגוף?
3. מהי עבודת כוח הכובד בשני המקרים?
4. מה המשמעות של התוצאות שקיבלתם בשלושת הסעיפים הקודמים מבחינת השינוי באנרגיה הקינטית של הגוף?



גוף שמסתו 4 ק"ג מורם במהירות קבועה לגובה של 1.5 מטר.

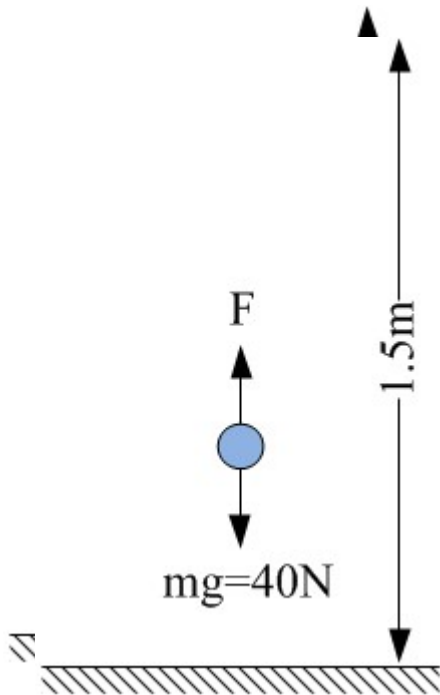
1. מה העבודה שנעשית ע"י הכוח המרים את הגוף?

◀ הגוף מורם במהירות קבועה, ולכן מתקיים:

$$F = mg = 40N$$

◀ כיוון הכוח המרים הוא בכיוון הדרך, ולכן העבודה היא:

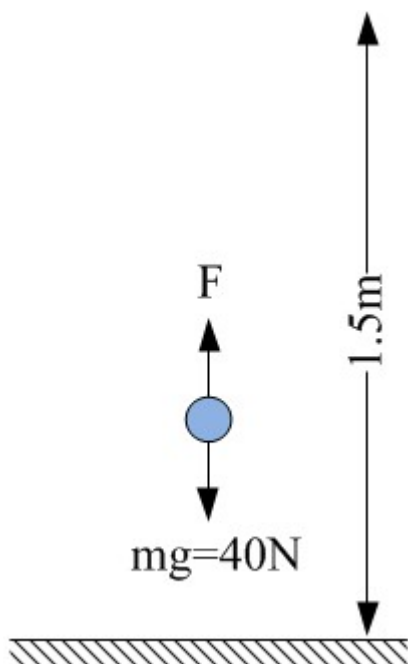
$$W = F \cdot h = 40 \cdot 1.5 = 60J$$



## פתרון 3 המשך

2. אם הגוף מורד באותה מהירות ומאותו הגובה, מה העבודה שנעשית ע"י הכוח המחזיק את הגוף? ▶  
 במקרה זה גודלו של הכוח זהה, אך כיוונו מנוגד לכיוון הדרך (כיוון התנועה של הגוף). ▶  
 לכן: ▶

$$W = F \cdot h = -40 \cdot 1.5 = -60J$$



3. מהי עבודת כוח הכובד בשני המקרים?

◀ במקרה הראשון כוח הכובד פועל בניגוד לכיוון התנועה (ההעתק), ולכן:

$$W = F \cdot \Delta x = mg \cdot (-h)$$

$$W = 40 \cdot (-1.5) = -60J$$

◀ במקרה השני כוח הכובד פועל בכיוון התנועה (ההעתק), ולכן:

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

$$W = 40 \cdot 1.5 = 60J$$

4. מה המשמעות של התוצאות שקיבלתם בשלושת הסעיפים הקודמים מבחינת השינוי באנרגיה הקינטית של הגוף?

גם במהלך עלייתו וגם במהלך ירידתו של הגוף, העבודה הכוללת שנעשתה עליו ע"י הכוח  $F$  והכוח  $mg$  שווה ל-0:

$$60J + (-60J) = 0$$

מכאן שבשני המקרים לא היה שינוי באנרגיה הקינטית של הגוף, כלומר לא היה שינוי במהירותו, וזאת בהתאמה לנתוני השאלה.

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_K = 0$$

גוף נזרק כלפי מעלה במהירות התחלתית של 30 מ/ש. ניתן להזניח חיכוך עם האוויר.

1. מהו הגובה המרבי אליו יגיע הגוף?

2. אותו הגוף נופל מהגובה שמצאתם ב-סעיף 1. מהי מהירותו כשיגיע לקרקע?

חשבו **בשתי דרכים**: בעזרת שיקולים קינמטיים ובעזרת משפט עבודה אנרגיה.

גוף נזרק כלפי מעלה במהירות התחלתית של 30 מ/ש. ניתן להזניח חיכוך עם האוויר.

1. מהו הגובה המרבי אליו יגיע הגוף?

◀ משיקולים קינמטיים:

נבחר את כיוון "מעלה" כחיובי.

$$v_t^2 = v_0^2 + 2gy$$

$$0 = 900 + 2 \cdot (-10)y$$

$$y = 45m$$

◀ בעזרת משפט עבודה אנרגיה:

אין חיכוך באוויר, מהירות סופית = 0, כוח הכובד פועל נגד כיוון התנועה:

$$\Delta E_k = W_{mg}$$

$$0 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh \cos 180$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = mgh$$

$$h = \frac{30^2}{2 \cdot 10} = 45m$$

2. אותו הגוף נופל מהגובה שמצאתם ב-סעיף 1. מהי מהירותו כשיגיע לקרקע?  
 ◀ משיקולים קינמטיים (כיוון מטה הוא שלילי):

$$v_t^2 = v_0^2 + 2gy$$

$$v_t^2 = 0 + 2 \cdot (-10)(-45)$$

$$v_t = \pm \sqrt{900} = -30m / s$$

(בחרנו את הפתרון השלישי מכיוון שהכיוון החיובי הוא כלפי מעלה)

◀ בעזרת משפט עבודה אנרגיה:

מזניחים חיכוך באוויר, מהירות התחלתית = 0, כוח הכובד פועל בכיוון התנועה:

$$\Delta E_k = W_{mg}$$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - 0 = mgh \cos 0$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = mgh$$

$$v_1 = \pm \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 45} = -30m / s$$

תיבה שמסתה 50 ק"ג מחליקה ממנוחה למרחק 10 מטר במורד מדרון, ששיפועו 30 מעלות, בתאוצה של 2 מ/ש<sup>2</sup>.

1. מהו השינוי באנרגיה הקינטית של התיבה, בהגיעה לתחתית המדרון?
2. כמה עבודה נעשתה על ידי כוח החיכוך?
3. מהו גודלו של כוח החיכוך בין התיבה למדרון?

תיבה שמסתה 50 ק"ג מחליקה ממנוחה למרחק 10 מטר במורד מדרון, ששיפועו 30 מעלות, בתאוצה של 2 מ/ש<sup>2</sup>.

1. מהו השינוי באנרגיה הקינטית של התיבה בהגיעה לתחתית המדרון?  
 ◀ תאוצת הגוף היא 2 מ/ש<sup>2</sup>, והוא מחליק למרחק של 10 מטרים. נמצא את מהירותו בתחתית המדרון:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2ax$$

$$v_t^2 = 0 + 2 \cdot 2 \cdot 10 = 40 (m / s)^2$$

◀ ולכן:

$$\Delta E_K = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}50 \cdot 40 - 0 = 1000J$$

## פתרון 5 המשך

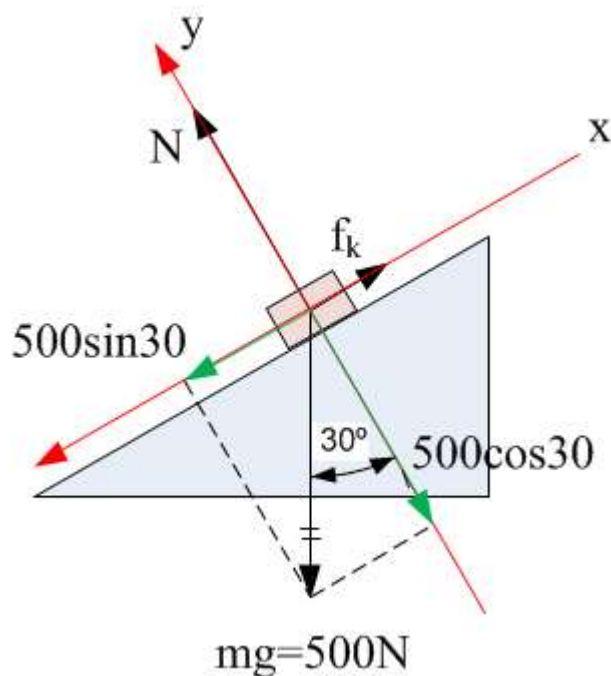
תיבה שמסתה 50 ק"ג מחליקה ממנוחה למרחק 10 מטר במורד מדרון, ששיפועו 30 מעלות, בתאוצה של 2 מ/ש<sup>2</sup>.

2. כמה עבודה נעשתה על ידי כוח החיכוך?

◀ השינוי באנרגיה הקינטית שווה לסכום עבודת הכוחות הפועלים על הגוף:

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

◀ בכיוון y הכוח השקול הוא 0, ולכן הכוחות המבצעים עבודה על הגוף הם רק אלו הפועלים בכיוון x:



$$W_{\Sigma F_x} = W_{mg_x} + W_f = \Delta E_K$$

$$500 \sin 30 \cdot 10 + W_f = 1000$$

$$W_f = 1000 - 2500 = -1500J$$

## פתרון 5 המשך

3. מהו גודלו של כוח החיכוך בין התיבה למדרון? מהו גודלו של מקדם החיכוך הקינטי?

◀ מתוך גודלה של עבודת החיכוך נקבל:

$$W_f = f_K \cdot x$$

$$-1500 = f_K \cdot 10$$

$$f_K = -150N$$

◀ הסימן מינוס מצביע על כך שכוח החיכוך מנוגד לכיוון התנועה (הוא מבצע עבודה שלילית)

◀ את גודלו של מקדם החיכוך נחשב מתוך תנאי ש"מ בכיוון y:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - 500 \cos 30 = 0$$

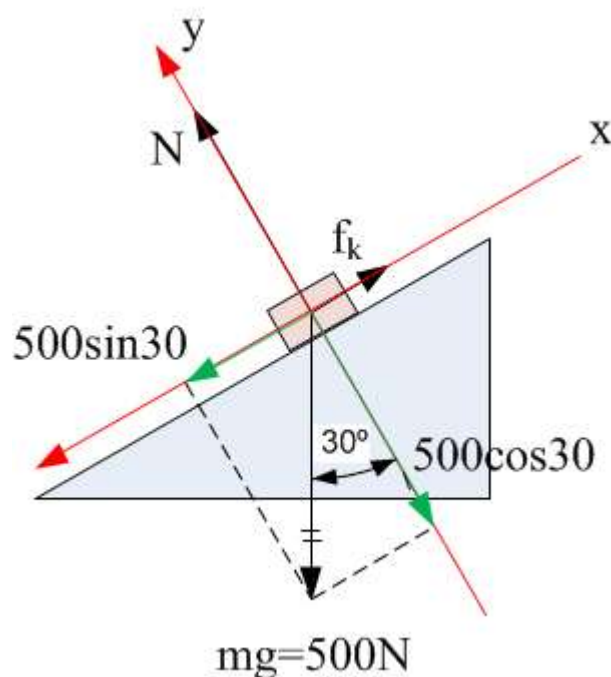
$$N = 433N$$

◀ כלומר:

$$f_k = \mu_k N$$

$$\mu_k = \frac{|f_k|}{N} = \frac{150}{433} = 0.346$$

הערה: לחישוב המקדם אין צורך בסימן של f.



קליע רובה נורה ישירות כלפי מעלה במהירות מסוימת. לאחר זמן מה הכדור חוזר לנקודת מוצאו. הסתמכו על משפט עבודה-אנרגיה וקבעו:

האם המהירות הסופית של הכדור שווה, גדולה או קטנה למהירותו ההתחלתית.

1. בהזנחת החיכוך

2. ללא הזנחת החיכוך

פרטו את חישוביכם.

בקליע רובה נורה ישירות כלפי מעלה במהירות מסוימת. לאחר זמן מה הכדור חוזר לנקודת מוצאו. הסתמכו על משפט עבודה-אנרגיה וקבעו:  
האם המהירות הסופית של הכדור שווה, גדולה או קטנה למהירותו ההתחלתית.

1. בהזנחת החיכוך, הכוח היחידי הפועל על הכדור הוא כוח הכובד

◀ נסמן:

מהירות הכדור בתחילת התנועה  $v_1$   
מהירותו בסופה (כלומר בחזרתו לנקודת המוצא)  $v_2$ ,  
שיא גובהו  $h$

◀ עבודת כוח הכובד בעלייה היא שלילית, מכיוון שהיא מנוגדת לכיוון התנועה של הגוף, ובירידה – חיובית:

$$\Delta E_k = W_{mg}$$

$$\Delta E_k = mgh \cos 180 + mgh \cos 0$$

$$\Delta E_k = -mgh + mgh$$

$$\Delta E_k = 0$$

◀ אין שינוי באנרגיה הקינטית, כלומר  $v_1 = v_2$ , המהירות ההתחלתית שווה למהירות הסופית.

1. ללא הזנחת החיכוך

◀ נסמן: מהירות הכדור בתחילת התנועה  $v_1$ , מהירותו בסופה (כלומר בנקודת המוצא)  $v_2$ , ושיא גובהו  $y$ .

◀ עבודת כוח הכובד בעלייה היא שלילית כי היא מנוגדת לכיוון התנועה של הגוף, ובירידה – חיובית.

◀ עבודת כוח החיכוך שלילית בשני המקרים

$$\Delta E_k = W_{mg} + W_f$$

$$\Delta E_k = mgy \cos 180 + mgy \cos 0 + fy \cos 180 + fy \cos 180$$

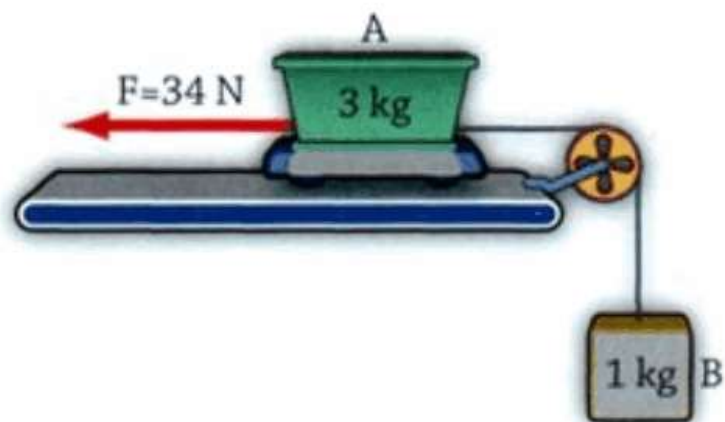
$$\Delta E_k = -mgy + mgy - f_K - f_K$$

$$\Delta E_k = -2f_K$$

◀ השינוי באנרגיה הקינטית הוא שלילי, כלומר המהירות הסופית של הכדור קטנה מהמהירות ההתחלתית שלו:  $v_2 < v_1$

## מכניקה ניוטונית, כרך ב' עמוד 112

10. במערכת המתוארת באיור, ניתן להזניח את החיכוך בין הקרונית A לבין השולחן. הקרונית A נעה שמאלה.



\*א. האם הנתון בשאלה "הקרונית A נעה שמאלה" אינו מיותר? האם לא נובע מהנתונים המופיעים באיור שהקרונית בהכרח נעה שמאלה? הסבירו.

ב. ציינו מהם הכוחות הפועלים על קרונית A.

ג. חשבו את העבודה שעושה כל אחד מן הכוחות הפועלים על קרונית A בעת תנועתה שמאלה לאורך 40 cm.

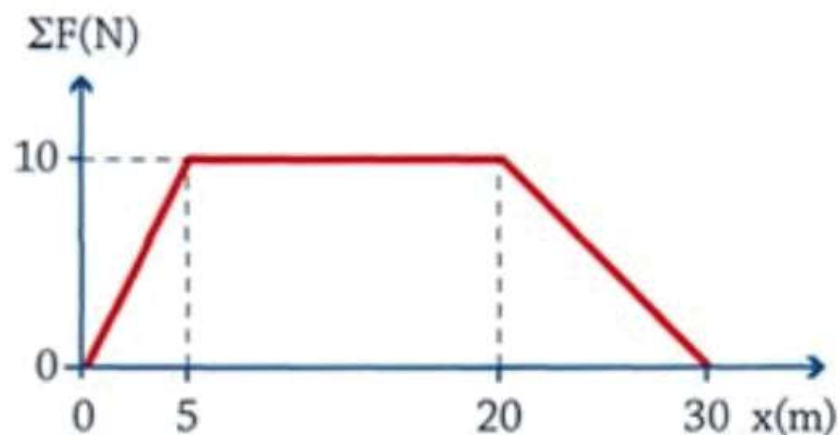
ד. חשבו את עבודת הכוח השקול הנעשית על קרונית A לאורך 40 cm.

## מכניקה ניוטונית, כרך ב' עמוד 113

18. חלקיק קטן ("נקודתי") שמסתו 2 ק"ג נמצא במנוחה בנקודה ששיעורה  $x = 0$ . החל מרגע מסוים מופעלים על החלקיק כוחות, והוא נע לאורך ציר ה- $x$ . הגרף מתאר את שקול הכוחות הפועלים על החלקיק כפונקציה של מקומו.

א. היכן, בקטע  $0 \leq x \leq 30$  m, היתה מהירות הגוף מרבית? נמקו.

ב. חשבו את מהירות הגוף ב-  $x = 30$  m.



# תרגילים מומלצים נוספים מהספר (כרך ב'):

◀ פרק ז' עמוד 112: תרגילים: 5, 9, 14