

מתקף ותנע

הקשר בין מתקף לתנע

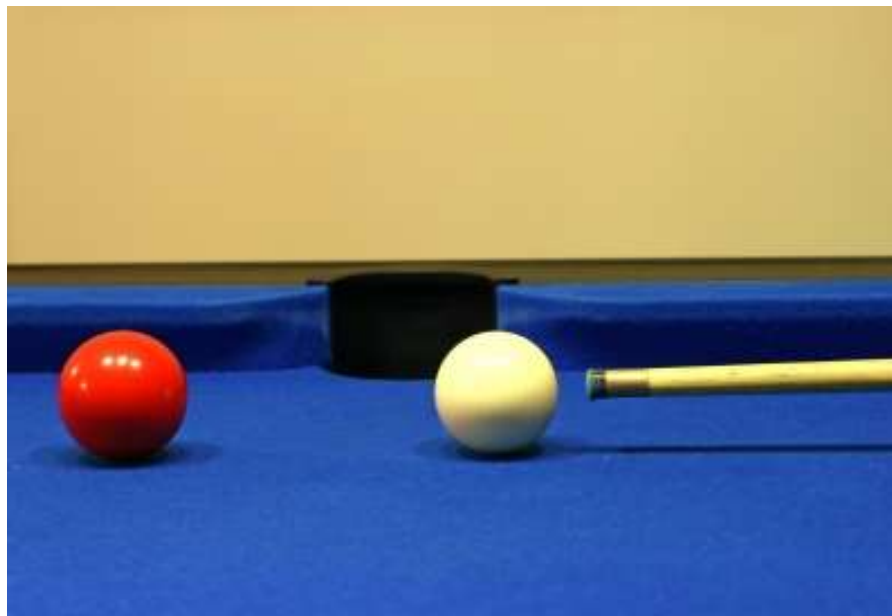


Image courtesy of James Barker at FreeDigitalPhotos.net

❖ מתקף מוגדר כמכפלת הכוח הפועל על הגוף במשך זמן פעולתו.

$$\vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

❖ תנע מוגדר כמכפלת המסה של הגוף במהירות הגוף:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

❖ המתקף של שקול הכוחות שווה לסכום הוקטורי של המתקפים של כל אחד מהכוחות הפועלים.

$$\vec{J}_{\Sigma F} = \vec{J}_{F_1} + \vec{J}_{F_2} + \dots \vec{J}_{F_N}$$

❖ המתקף הכולל שפעל על גוף שווה לשינוי בתנע של הגוף.

$$\vec{J}_{\Sigma F} = \Delta \vec{p}$$

❖ השטח התחום בין עקומת כוח-זמן כלשהי לבין ציר הזמן מבטא את המתקף שפעל על ידי הכוח, ולכן

גם את השינוי בתנע

תרגיל 1

- כדור טניס פוגע במחבט במהירות של 30 מטר לשנייה. מסת הכדור היא 0.2 ק"ג
1. מהו השינוי בתנע של הכדור אם הוא נהדף לכיוון השני במהירות של 50 מטר לשנייה?
 2. מהו המתקף הפועל על הכדור?
 3. אם משך המגע בין הכדור למחבט הוא 0.002 שניות, מהו הכוח הממוצע שפעל על הכדור?



1. מהו השינוי בתנע של הכדור אם הוא נהדף לכיוון השני במהירות של 50 מטר לשנייה?
 ◀ ניקח את הכיוון המקורי של התנועה כחיובי

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

$$\Delta p = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

$$\Delta p = 0.2(-50 - 30) = -16N \cdot s$$

◀ השינוי בתנע הוא שלילי משום שהכדור נהדף בכיוון ההפוך לתנועתו המקורית.

פתרון 1 המשך

2. מהו המתקף הפועל על הכדור?

◀ המתקף שווה לשינוי בתנע, ולכן נעזר בתוצאה של הסעיף הקודם:

$$\dot{J} = \Delta p^r$$

$$J = -16N \cdot s$$

פתרון 1 המשך

3. אם משך המגע בין הכדור למחבט הוא 0.002 שניות, מהו הכוח הממוצע שפעל על הכדור?
 ◀ נעזר בתוצאה של הסעיף הקודם:

$$\vec{J} = F \Delta t$$

$$J = -16 N \cdot s$$

$$\bar{F} = \frac{-16}{0.002} = 8000 N$$

◀ כוח של 8000 ניוטון שקול ל- 800 ק"ג. הסיבה שהחובט מצליח להפיק כוח עצום כזה היא העובדה שמשך פעולתו הוא קצר מאוד.

מכונית שמסתה 1,000 ק"ג מאיצה ממנוחה למהירות של 100 קמ"ש תוך 8 שניות.

1. מהו המתקף שפועל על המכונית?
2. מהו הכוח הממוצע שמפעיל המנוע?
3. כוח הבלימה המקסימלי של מכונית זו הוא 5000 ניוטון. תוך כמה זמן תיעצר המכונית ממהירות זו?

1. מהו המתקף שפועל על המכונית?

◀ המתקף שווה לשינוי בתנע. במכונית מתחילה לנוע ממנוחה, ולכן:

$$\vec{J} = \Delta \vec{p}$$

$$J = p_2 - p_1$$

$$J = p_2 - 0$$

$$J = p_2 = mv_2$$

$$J = 1000 \cdot 27.77 = 27,777 \text{ N} \cdot \text{s}$$

פתרון 2 המשך

2. מהו הכוח הממוצע שמפעיל המנוע?

◀ נעזר בתוצאה של הסעיף הקודם:

$$\vec{J} = F \Delta t$$

$$F \Delta t = 27,777.77$$

$$\bar{F} = \frac{27,777.77}{8} = 3471.25 N$$

3. כוח הבלימה המקסימלי של המכונית הוא 5000 ניוטון. תוך כמה זמן תיעצר המכונית ממהירות זו? ◀
 ניעצר שוב בשוויון בין המתקף לשינוי בתנע, ונזכור כי המהירות הסופית היא 0, ולכן כוח הבלימה שלילי:

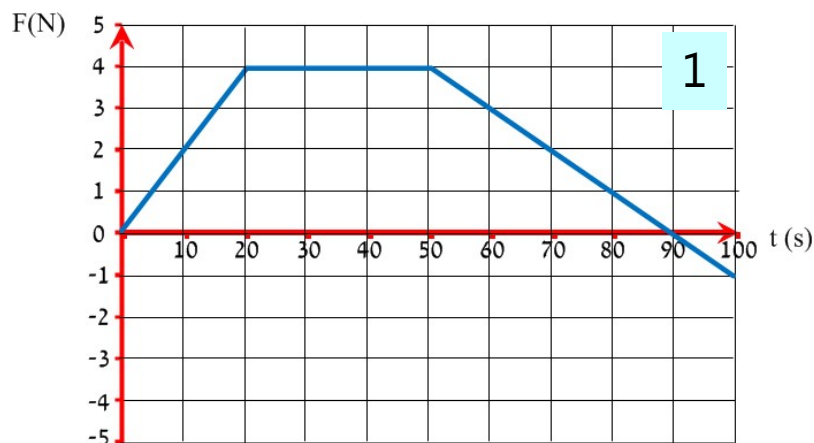
$$\dot{J} = \Delta p^r$$

$$F \Delta t = p_2 - p_1$$

$$p_2 = 0$$

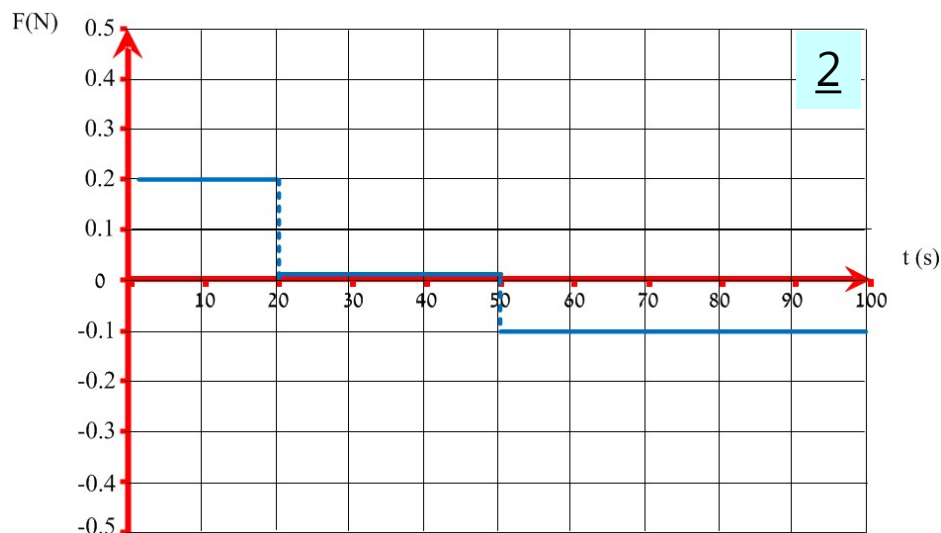
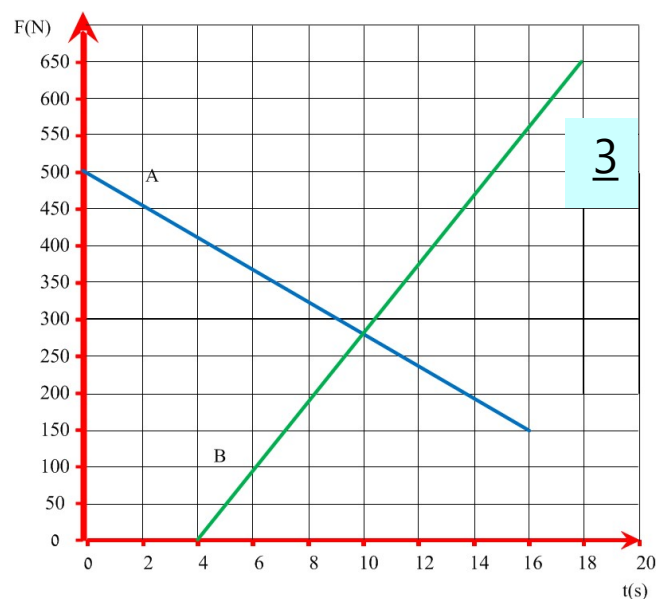
$$F \Delta t = -p_1$$

$$\Delta t = \frac{-27,777.77}{-5000} = 5.55 \text{ sec}$$



הגרפים הבאים מתארים פעולה של כוח F במשך זמן t . הכוח פועל בכיוון ימין על מסה הנמצאת ברגע $t=0$ במנוחה.

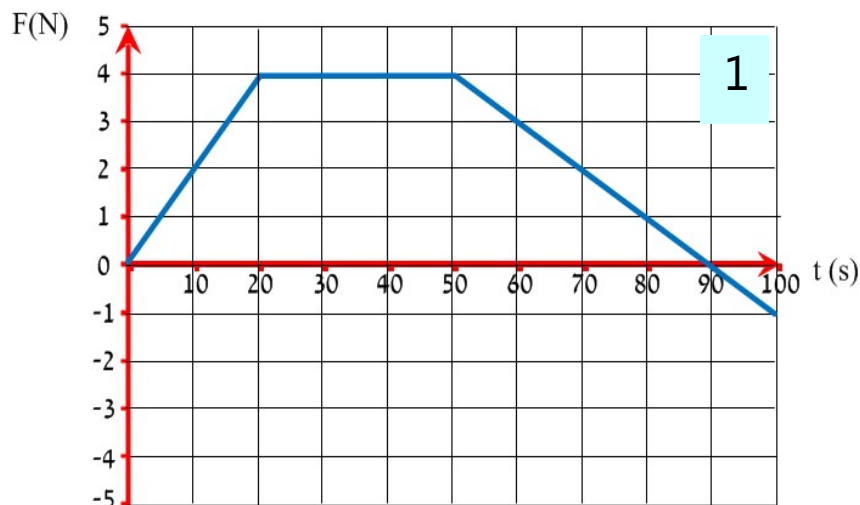
1. חשבו את גודל המתקף ואת כיוונו במקרה 1.
2. חשבו את גודל המתקף ואת כיוונו במקרה 2.
3. בגרף 3, איזה כוח גורם לשינוי גדול יותר בתנע? הניחו כי מסות הגופים שוות ונמצאות לפני הפעלת הכוח במנוחה.
4. בגרף 3 מה ההבדל בין פעולת כוח A לפעולת כוח B?



1. חשבו את גודל המתקף ואת כיוונו – מקרה 1

◀ גודל המתקף שווה לשטח שמתחת לגרף, וכיוונו תלוי בכיוון הכוח.

◀ עד לשנייה ה-90 גודלו של הכוח חיובי, ולכן מתקיים:



$$J = F \Delta t$$

$$J = \frac{(30 + 90)4}{2} = 240 N \cdot s$$

◀ בין השנייה ה-90 לשנייה ה-100 כיוון הכוח שלילי:

$$J = \frac{10(-1)}{2} = -5 N \cdot s$$

◀ ולכן, המתקף הכללי של הכוח הוא: $240 - 5 = 235 Ns$ וכיוונו ימינה .

פתרון 3 המשך

2. חשבו את גודל המתקף ואת כיוונו – מקרה 2

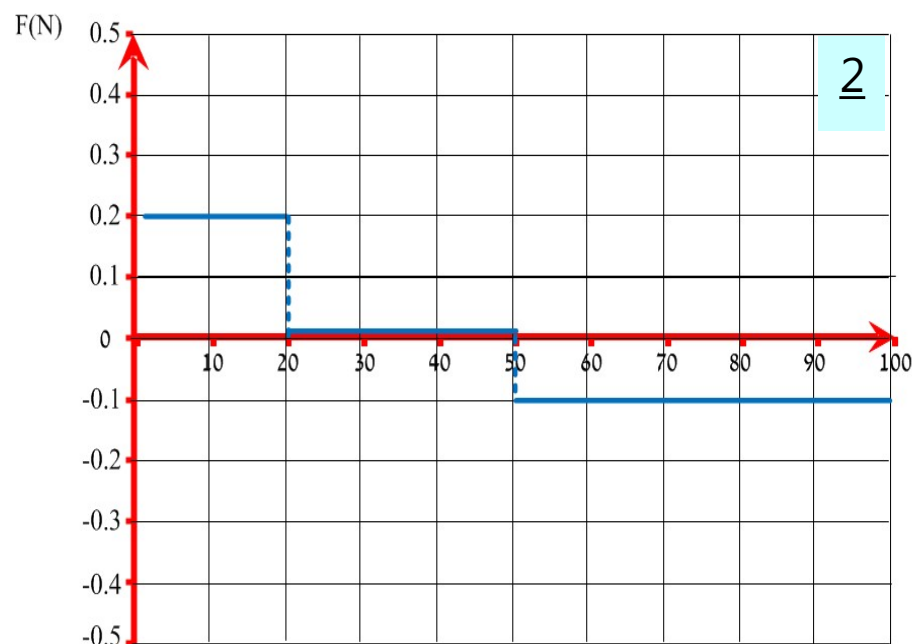
◀ כמו במקרה הקודם, נחשב את השטח הכולל שבין הגרף לציר הזמן.

◀ יש לזכור כי לכוח חיובי יש מתקף חיובי – ולהפך.

$$J = 0.2 \cdot 20 + 0 + (-0.1 \cdot 50)$$

$$J = -1N \cdot s$$

◀ גודלו הכולל של המתקף הוא 1 ניוטון-שנייה, וכיוונו שמאלה



פתרון 3 המשך

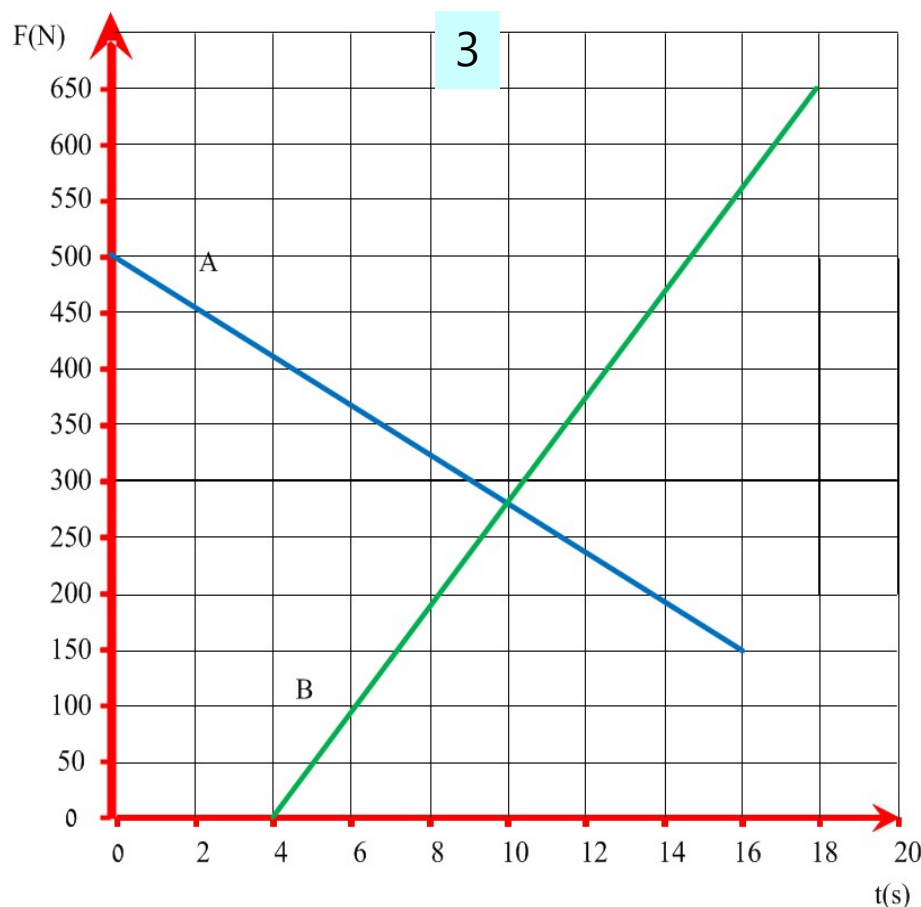
3. בגרף 3, איזה כוח גורם לשינוי גדול יותר בתנע? הניחו כי מסות הגופים שוות ונמצאות לפני הפעלת הכוח במנוחה.

◀ נחשב את המתקפים של שני הכוחות.

$$J_A = \frac{350 \cdot 16}{2} = 2800 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$J_B = \frac{650 \cdot 14}{2} = 4550 \text{ N} \cdot \text{s}$$

◀ לכן הכוח A יוצר שינוי גדול יותר בתנע של הגוף.



4. מה ההבדל בין פעולת כוח A לפעולת כוח B?

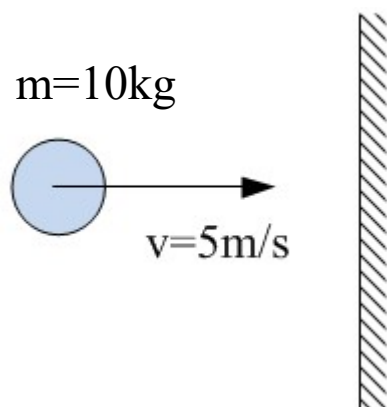
- ◀ המתקף של שני הכוחות הוא חיובי, ולכן השינוי בתנע חיובי גם כן.
- ◀ המשמעות היא שבשני המקרים ישנה תוספת במהירות של המסה (המסה לא משתנה).
- ◀ ההבדל הוא שכוח A מגביר את המהירות במידה קטנה יותר מאשר הכוח B.

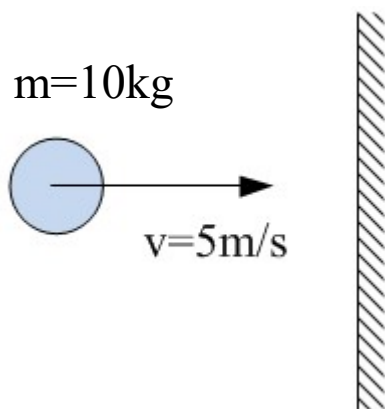
הערה: שימו לב כי הכוח A אינו שלילי. הוא אמנם קטן עם הזמן, אך עדיין מגביר את מהירות המסה, ולכן מגדיל את התנע שלה.

◀ כדור שמסתו 10 ק"ג נע ימינה (כיוון חיובי) במהירות של 5 מ/ש ופוגע בקיר. הקיר אינו נרתע כתוצאה מההתנגשות.

חשבו את המתקף שמפעיל הקיר על הכדור, בכל אחד מהמקרים הבאים.

1. הכדור מוחזר שמאלה במהירות של 5 מ/ש.
2. הכדור מוחזר שמאלה במהירות של 2 מ/ש.
3. מה משמעות ההבדל בין התשובות של סעיפים 1+2?
4. הכדור נדבק לקיר. השוו את התנע הסופי לתנע ההתחלתי והסבירו את התוצאה.





1. הכדור מוחזר שמאלה במהירות של 5 מ/ש.

◀ נעזר בשוויון בין השינוי בתנע למתקף:

$$\Delta \vec{p} = \vec{J}$$

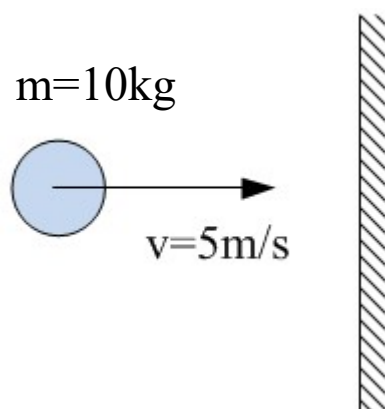
$$\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \vec{J}$$

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{J}$$

$$10 \cdot (-5) - 10 \cdot (5) = J$$

$$J = -100 \text{ N} \cdot \text{s}$$

2. הכדור מוחזר שמאלה במהירות של 2 מ/ש.



$$\Delta \vec{p} = \vec{J}$$

$$p_2 - p_1 = \vec{J}$$

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{J}$$

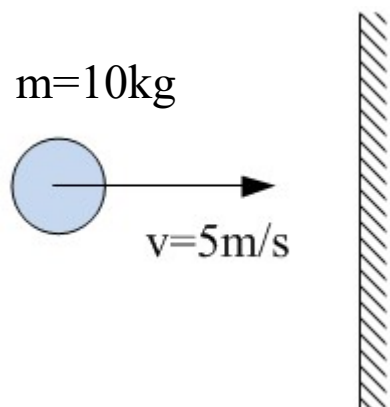
$$10 \cdot (-2) - 10 \cdot (5) = J$$

$$J = -70 \text{ N} \cdot \text{s}$$

3. מה משמעות ההבדל בין התשובות של סעיפים 1+2?
- ◀ שני המתקפים פעלו על הגוף בכיוון שמאלה, אולם המתקף בסעיף 1 היה גדול יותר, משום שהוא החזיר את הכדור שמאלה במהירות גדולה יותר מאשר המתקף שבסעיף 2.

פתרון 4 המשך

4. הכדור נדבק לקיר. השוו את התנע הסופי לתנע ההתחלתי והסבירו את התוצאה.

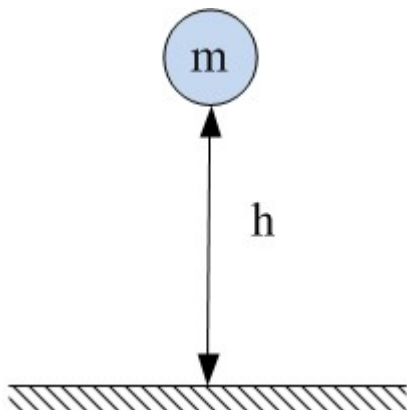


$$\begin{aligned}\Delta \vec{p} &= \vec{J} \\ p_2 - p_1 &= \vec{J} \\ 0 - m\vec{v}_1 &= \vec{J} \\ -10 \cdot (5) &= J \\ J &= -50 \text{ N} \cdot \text{s}\end{aligned}$$

- ◀ המתקף שמפעיל הקיר שווה בגודלו לתנע ההתחלתי של הגוף רק בסימן הפוך.
- ◀ התוצאה – השינוי הכולל בתנע הוא 0, ולכן הכדור נבלם.

מסה m נופלת מגובה h .

1. מהו המתקף שפועל על המסה מתחילת הנפילה ועד למחצית גובה הנפילה?
2. מהו גודלו של תנע המסה במחצית גובה הנפילה?
3. הראו כי השוויון בין המתקף לשינוי בתנע מתקיים במחצית הגובה.
4. הראו כי השוויון בין המתקף לשינוי בתנע מתקיים בכל רגע במהלך הנפילה.



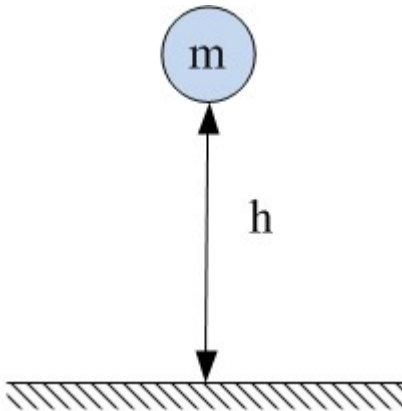
1. מהו המתקף שפועל על המסה מתחילת הנפילה ועד למחצית גובה הנפילה?

◀ המתקף הוא:

$$J = F \cdot \Delta t$$

◀ הכוח היחידי שפועל על הגוף במהלך הנפילה הוא mg .

◀ את משך הנפילה נחשב על פי ידיעת התאוצה g (הכיוון מעלה נלקח חיובי).



$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\frac{1}{2} h = h - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} h$$

$$t = \sqrt{\frac{h}{g}}$$

◀ לכן, גודלו של המתקף הוא:

$$J = F \Delta t = mg \cdot \sqrt{\frac{h}{g}} = m\sqrt{gh}$$

◀ וכיוונו מטה.

פתרון 5 המשך

2. מהו גודלו של תנע המסה במחצית גובה הנפילה?

◀ התנע הוא

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

◀ נחשב את מהירות הגוף m במחצית גובה הנפילה:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2ay$$

$$v_t^2 = 0 + 2g \frac{h}{2}$$

$$v_t = \sqrt{gh}$$

◀ ולכן גודלו של התנע הוא:

$$p = m \cdot v = m\sqrt{gh}$$

3. הראו כי השוויון בין המתקף לשינוי בתנע מתקיים במחצית הגובה.
 ◀ במקרה שלנו $v_1=0$, ולכן השינוי בתנע הוא

$$\Delta \vec{p} = p_2 - p_1$$

$$v_1 = 0 \Rightarrow p_1 = 0$$

$$\Delta \vec{p} = p_2$$

◀ לכן, בהתאם לתשובות בסעיפים 1+2 :

$$J = \Delta P = p_2 = m\sqrt{gh}$$

4. הראו כי השוויון בין המתקף לשינוי בתנע מתקיים בכל רגע במהלך הנפילה.

◀ בכל נקודת זמן t לאורך מסלול הנפילה מתקיים $F=mg$. לכן, המתקף בכל רגע הוא:

$$J = F \Delta t$$

$$J = mg \cdot t$$

◀ מהירות הגוף משתנה, ולכן ברגע t מסוים מתקיים:

$$v_t = v_0 + at$$

$$v_t = 0 + gt$$

$$v_t = gt$$

◀ ולכן, מבחינת השינוי בתנע כעבור זמן t:

$$\Delta p = m \Delta v = m(v_t - v_0)$$

$$v_0 = 0$$

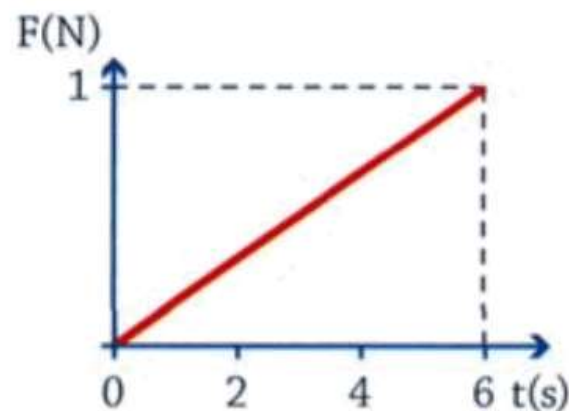
$$\Delta p = mv_t$$

$$\Delta p = mvt$$

◀ כלומר $J = \Delta p$

מכניקה ניוטונית, כרך ב' עמוד 39

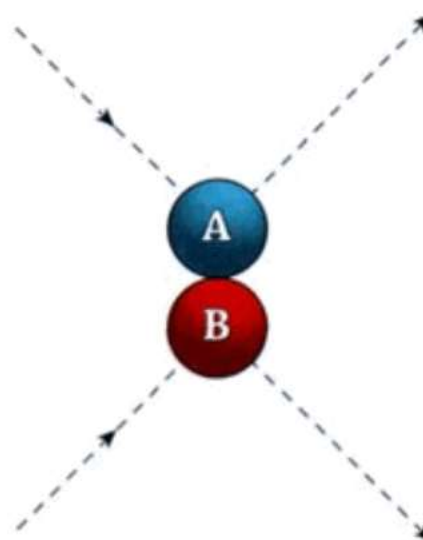
5. קרונית שמסתה 0.4 ק"ג נעה על מסילה ישרה, אופקית וחסרת חיכוך במהירות שגודלה 6 מ'ש' וכיוונה שמאלה. מרגע $t = 0$ פעל על הקרונית כוח שגודלו כפונקציה של הזמן מתואר באיור, וכיוונו ימינה.



חשבו את מהירות (גודל וכיוון) הקרונית ברגע $t = 6$ s.

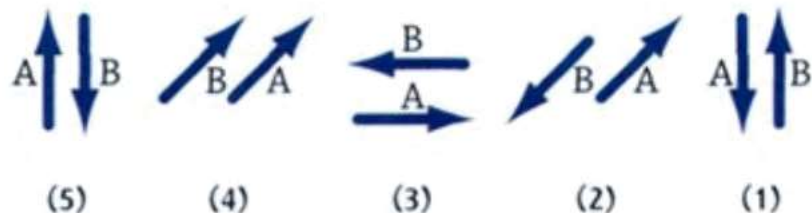
מכניקה ניוטונית, כרך ב' עמוד 39

11. באיור מוצגים מסלוליהם של שני כדורים A ו-B המתנגשים.



גודלי המהירויות של כל כדור, לפני התנגשותו ואחריה, שווים.

א. איזה זוג וקטורים מייצג את שינויי התנע של הכדורים? נמק.



ב. איזה וקטור מייצג את כיוון המתקף שכדור B מפעיל על כדור A? נמק.



תרגילים נוספים מהספר:

◀ פרק ו' עמוד 39: תרגילים 4, 6, 8, 9, 10