

המרות אנרגיה – ניתוח כמותי

1. "כלי העבודה" העומדים לרשותנו

בשלב זה של לימודינו יש בידינו כלים לפתרון בעיות כמותיות באמצעות חוק שימור האנרגיה. קודם שניגש לפתרון בעיות כמותיות, נציין את הכלים הפיסיקליים בהם נשתמש.

(1) חוק שימור האנרגיה – הכמות הכוללת של האנרגיה בטבע נשמרת קבועה. לכן:

בכל תהליך שבו **נעלמת** כמות מסוימת של אנרגיה מסוג מסוים, **מופיעה תחתיה** אנרגיה (או אנרגיות) מסוג אחר **ובאותה הכמות**.

כמו כן, בכל תהליך שבו **נוצרת** כמות מסוימת של אנרגיה מסוג מסוים, **נעלמת תחתיה** אנרגיה (או אנרגיות), מסוג אחר **ובאותה הכמות**.

(2) ביטוי מתמטי לאנרגיה הקינטית:

$$E_K = \frac{1}{2} mv^2$$

(3) ביטוי מתמטי לאנרגיה הפוטנציאלית כובדית (אנרגיה כובדית):

$$U_G = mgh$$

2. פתרון בעיות כמותיות באמצעות חוק שימור האנרגיה

2.1 שאלת דוגמה מפורטת

גולית מחזיק סלע שמסתו 10kg בגובה של 2m מעל הארץ, ומשמיט אותו מידו. נתעלם מהחיכוך של הסלע עם האוויר במהלך הנפילה, ונחשב באיזו מהירות מגיע הסלע אל פני-הארץ.

2. פתרון בעיות כמותיות באמצעות חוק שימור האנרגיה

2.1 שאלת דוגמה מפורטת

פתרון:

תחילה עלינו לחשב את מהירות הסלע ברגע שהוא מגיע אל פני־הארץ, אך לפני שהוא פוגע בארץ (הרף עין לפני פגיעתו בקרקע).

שלב א – נגדיר "מצב התחלתי" ו"מצב סופי".

את האנרגיה המכנית הכוללת במצב ההתחלתי נסמל כ- E_{T1} .

ואת האנרגיה המכנית הכוללת במצב הסופי נסמל כ- E_{T2} .

"מצב התחלתי" – המצב בו הסלע מוחזק בידו של גולית ויש לו רק אנרגיה כובדית (אין לו אנרגיה קינטית כי הוא במנוחה).

"מצב סופי" – המצב שבו יש לחשב את המהירות. הרף עין לפני פגיעתו של הסלע בקרקע. במצב זה יש לסלע רק אנרגיה קינטית.



2. פתרון בעיות כמותיות באמצעות חוק שימור האנרגיה

2.1 שאלת דוגמה מפורטת

שלב ב – נחשב את האנרגיה המכנית הכוללת של הסלע במצב ההתחלתי E_{T1} .

במקרה שלנו האנרגיה המכנית הכוללת במצב ההתחלתי היא אנרגיה כובדית בלבד. אפשר לחשב את ערכה של אנרגיה זו, כי כל הפרמטרים ידועים. לכן האנרגיה הכוללת במצב ההתחלתי E_{T1} היא:

$$E_{T1} = U_G = mgh = 10 \cdot 9.8 \cdot 2 = 196(J)$$

שלב ג – נרשום ביטוי לאנרגיה המכנית הכוללת במצב הסופי E_{T2} . במקרה שלנו האנרגיה המכנית במצב הסופי היא אנרגיה קינטית בלבד.

בביטוי של האנרגיה הקינטית קיים גודל לא ידוע והוא המהירות v שאותה אנו רוצים לחשב. לכן נקבל נוסחה לאנרגיה הקינטית, הכוללת את הנעלם v .

$$E_{T2} = E_K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot v^2 = 5v^2 \quad \text{הוא: } E_{T2}$$

שלב ד – כיוון שהאנרגיה נשמרת (חוק שימור האנרגיה), מתקיים שוויון בין האנרגיה הכוללת במצב ההתחלתי לבין האנרגיה הכוללת במצב הסופי $E_{T1} = E_{T2}$.

$$E_{T1} = E_{T2} \longrightarrow 196 = 5v^2 \quad \text{לכן אנו יכולים לרשום את המשוואה הבאה:}$$

2. פתרון בעיות כמותיות באמצעות חוק שימור האנרגיה

2.1 שאלת דוגמה מפורטת

שלב ה – פתרון המשוואה (חישוב המהירות v):

$$196 = 5v^2 \quad / : 5$$

$$39.2 = v^2 \quad / \sqrt{}$$

$$v = 6.26 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

הסלע מגיע אל הקרקע במהירות של $6.26 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$.

2. פתרון בעיות כמותיות באמצעות חוק שימור האנרגיה

2.2 הליך לפתרון בעיות – סיכום

שלב א – זיהוי "המצב ההתחלתי" ו"המצב הסופי" **בשאלה**:
ככלל "המצב ההתחלתי" **שבשאלה** אינו בהכרח תחילת התהליך. באופן דומה "המצב הסופי" **שבשאלה** אינו בהכרח סוף התהליך.
מוטל **עלינו** להפעיל שיקול דעת ולקבוע מהו "המצב ההתחלתי" ומהו "המצב הסופי", **לפי נתוני השאלה**, ולפי מה **שעלינו לחשב בשאלה**.

שלב ב – רישמו ביטוי (או חשבו ערך מספרי) לאנרגיה הכוללת ב"מצב ההתחלתי" E_{T1} .

שלב ג – רישמו ביטוי (או חשבו ערך מספרי) לאנרגיה הכוללת ב"מצב הסופי" E_{T2} .

שלב ד – השוו בין האנרגיה הכוללת ב"מצב ההתחלתי" לבין האנרגיה הכוללת ב"מצב הסופי" (חוק שימור האנרגיה).

שלב ה – פיתרו את המשוואה (חשבו את הגודל הנעלם).

2. פתרון בעיות כמותיות באמצעות חוק שימור האנרגיה

2.2 הליר לפתרון בעיות – סיכום



שימו לב:

(1) את שלב א' (קביעת המצב ההתחלתי והמצב הסופי) אינכם נדרשים לרשום. תוכלו להסתפק

בזיהוי המצב ההתחלתי והמצב הסופי בראשכם, ולעבור מיד לשלב ב'.

(2) לאחר שתבינו היטב את הרעיון ואת הגישה, תוכלו לפתור את הבעיות ע"י איחוד כל שלבי

הפתרון הנ"ל, אם נתייחס לשאלת הדוגמה (סעיף 2.1) נוכל להציג את הפתרון באופן הבא:

$$E_{T1} = E_{T12} \longrightarrow U_G = E_K \longrightarrow mgh = \frac{1}{2} mv^2$$

$$10 \cdot 9.8 \cdot 2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot v^2$$

$$196 = 5v^2 \quad / : 5$$

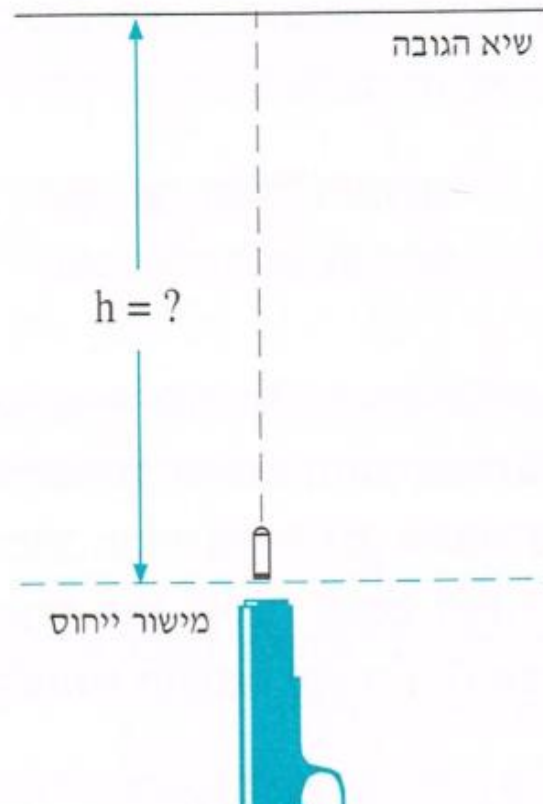
$$39.2 = v^2 \quad / \sqrt{}$$

$$v = 6.26 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

צו"מ 1

במהלך אימוניו מחזיק שוטר אקדח בידו. הוא מכוון אותו אנכית מעלה ויורה קליע. מסת הקליע 0.01 (kg) ומהירות הלוע היא $200 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$. נתעלם מהתנגדות האוויר לתנועת הקליע ונחשב, לאיזה גובה מקסימלי (מעל לוע האקדח) יגיע הקליע?



3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 1

פתרון:

מישור הייחוס לחישוב האנרגיה הכובדית, יהיה בגובה לוע קנה האקדח. בנקודה זו, שהיא המצב ההתחלתי של השאלה, יש לקליע רק אנרגיה קינטית (אין לו אנרגיה כובדית כי הגבהתו היא אפס ביחס למישור הייחוס).

• מצב התחלתי – רגע יציאת הקליע מהקנה:

$$E_{T1} = E_K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.01 \cdot 200^2 \longrightarrow E_{T1} = 200(J)$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 1

- "נפעיל" את חוק שימור האנרגיה:

$$E_{T1} = E_{T2} \longrightarrow 200 = 0.098 \cdot h \quad / : 0.098$$

$$h = 2,040.8(\text{m})$$

הקליע יעלה לגובה 2,040.8(m) מטר מעל קנה האקדח.
ובקצרה:

$$E_{T1} = E_{T2} \longrightarrow \frac{1}{2} mv^2 = mgh$$

$$\frac{1}{2} \cdot 0.01 \cdot 200^2 = 0.01 \cdot 9.8 \cdot h$$

$$200 = 0.098h \quad / : 0.098$$

$$h = 2,040.8(\text{m})$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 2

נשר זקן שמסתו $24(\text{kg})$ עף להנאתו בגובה של $200(\text{m})$ מעל פני-הקרקע במהירות $18\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$. לפתע נדם לבו של הנשר והוא צנח מטה. נתעלם מהתנגדות האוויר לתנועת הנשר ונמצא – באיזו מהירות יגיע הנשר אל הקרקע.

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 2

פתרון:



שימו לב:

אילו נתקל הנשר בקיר "ונפח נשמתו", הוא היה נופל מטה במהירות התחלתית – אפס. במקרה שלנו האירוע שונה. לבו של הנשר נדם בהיותו בתנועה במהירות של $18 \left(\frac{m}{s}\right)$. מהירות זו היא המהירות של הנשר ברגע התחלת הנפילה. לכן, ברגע בו הוא מתחיל ליפול, יש לו גם אנרגיה כובדית וגם אנרגיה קינטית.

- נחשב את האנרגיה הכוללת ברגע הנפילה (אנרגיה במצב "ההתחלתי" – E_{T1}).

$$E_{T1} = E_K + U_G = mgh + \frac{1}{2} mv^2 = 24 \cdot 9.8 \cdot 200 + \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot 18^2 \longrightarrow E_{T1} = 50,928(J)$$

- נרשום ביטוי לאנרגיה הכוללת ברגע הפגיעה בקרקע (אנרגיה במצב "סופי" – E_{T2}):

$$E_{T2} = E_K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot v^2 \longrightarrow E_{T2} = 12v^2$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 2

• נחשב את המהירות v באמצעות חוק שימור האנרגיה:

$$E_{T1} = E_{T2} \longrightarrow 50,928 = 12v^2 / : 12$$

$$4244 = v^2 / : \sqrt{}$$

$$v = 65.14 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות



שימו לב:

בכל אחת מהשאלות הבאות ננתח את מצבו של גוף בנקודות שונות (של מסלול תנועתו). כדי להקל את הדיון – נקבע מראש את הסימונים הבאים:

E_A = אנרגיה מכנית כוללת של גוף בנקודה A.

E_C = אנרגיה מכנית כוללת של גוף בנקודה C, וכיו"ב.

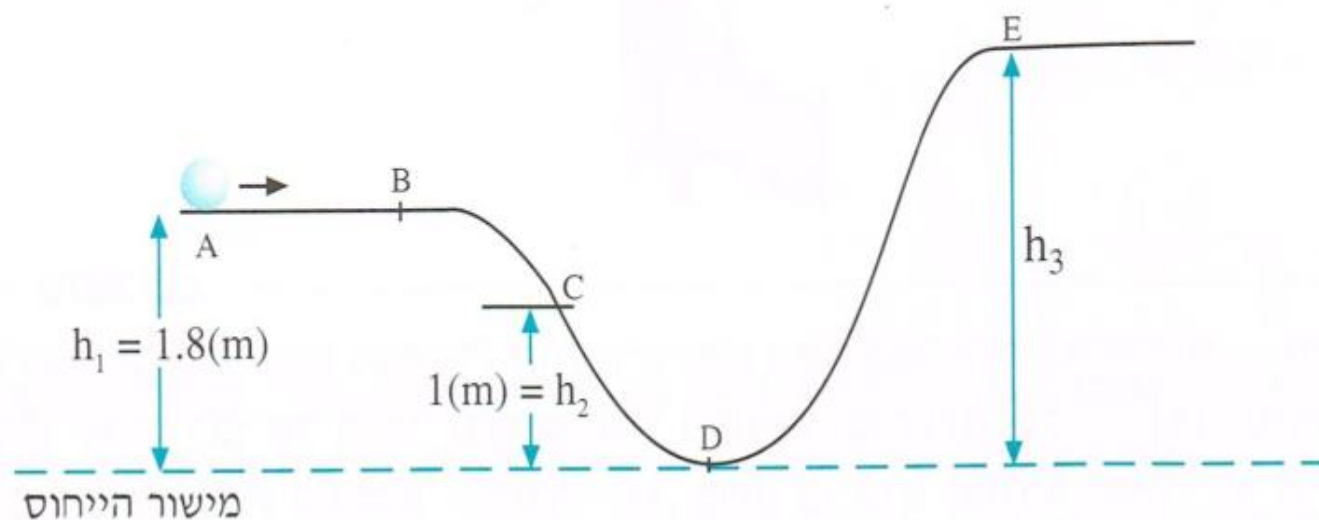
באופן דומה:

v_A = מהירותו של הגוף בנקודה A.

v_C = מהירותו של הגוף בנקודה C, וכיו"ב.

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 3



- מסת הכדור המתואר בתרשים היא $2(\text{kg})$. מהירותו בנקודה A היא $v_A = 4\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$. הגבהת הנקודה A היא $h_1 = 1.8(\text{m})$. המסלול נטול חיכוך.
- (א) נחשב את מהירות הכדור בנקודה B.
- (ב) נחשב את מהירות הכדור בנקודה C, אם $h_2 = 1(\text{m})$.
- (ג) (1) היכן מהירות הכדור מקסימלית?
(2) נחשב את המהירות המקסימלית של הכדור.
- (ד) הנקודה E היא הנקודה הגבוהה ביותר אליה מגיע הכדור (גובה מקסימלי). נחשב את h_3 .

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

פתרון:

(א) **בין A ל-B** – אין כל המרת אנרגיה. כיוון שהאנרגיה הכוללת נשמרת (חוק שימור האנרגיה), חייבת להיות לכדור בנקודה B אותה אנרגיה קינטית כמו בנקודה A. לכן, מהירות הכדור בנקודה B שווה למהירותו בנקודה A.

$$V_B = V_A = 4 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

(ב) נחשב את האנרגיה הכוללת **בנקודה A** – E_A : $E_A = E_K + U_G = \frac{1}{2} m v_A^2 + m g h_1$

$$E_A = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4^2 + 2 \cdot 9.8 \cdot 1.8 \longrightarrow E_A = 51.28(\text{J})$$

• נרשום נוסחה לאנרגיה הכוללת בנקודה C:

$$E_C = E_K + U_G = m g h_2 + \frac{1}{2} m v_C^2 = 2 \cdot 9.8 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_C^2 \longrightarrow E_C = 19.6 + v_C^2$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

• נשווה בין האנרגיות בשתי הנקודות ונחשב את v_c .

$$E_A = E_C \longrightarrow 51.28 = 19.6 + v_c^2 / -19.6$$

$$31.68 = v_c^2 / \sqrt{\quad}$$

$$v_c = 5.63 \left(\frac{m}{s} \right)$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות



שימו לב:

מהירות הכדור בנקודה C גדולה מזו שבנקודה A, כיוון שחלק מהאנרגיה הכובדית הומר לאנרגיה קינטית.

(ג) (1) **בנקודה D** – יש לכדור רק אנרגיה קינטית, כלומר, **כל** האנרגיה הכובדית שלו בנקודה A הומרה בנקודה D לאנרגיה קינטית. לכן, מהירותו בנקודה D מקסימלית.

$$(2) \quad E_A = 51.28 \text{ (J)} \text{ ידוע מסעיף א'}$$

$$E_D = E_K = \frac{1}{2} m v_D^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_D^2 = v_D^2 \quad : (E_D) \text{ בנקודה D אנרגיה}$$

$$E_A = E_D \longrightarrow 51.28 = v_D^2 / \sqrt{\quad} \quad \text{"נפעיל" את חוק שימור האנרגיה:}$$

$$v_D = 7.16 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

(ד) אם הנקודה E היא הנקודה הגבוהה ביותר שאליה הגיע הכדור, אז יש לו שם רק אנרגיה כובדית (הכדור נעצר שם רגעית). לכן:
 $E_A = 51.28(J) -$ ידוע מסעיף א'.

נרשום ביטוי לאנרגיה בנקודה E (E_E):

$$E_E = mgh_3 = 2 \cdot 9.8 \cdot h_3 \rightarrow E_E = 19.6 \cdot h_3$$

$$E_A = E_E \xrightarrow{19.6} 51.28 = 19.6 \cdot h_3 / :19.6$$

לפי חוק שימור האנרגיה:

$$h_3 = 2.62(m)$$

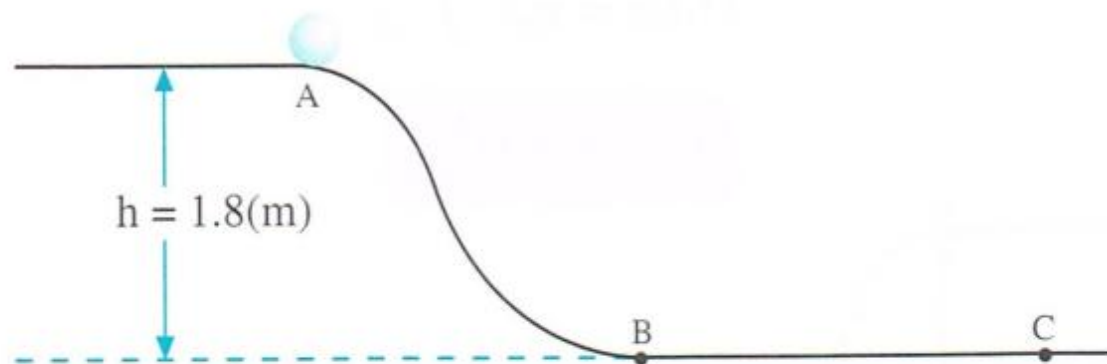
שימו לב:



בנקודה E, כל האנרגיה של הכדור הומרה לאנרגיה כובדית. לכן, הכדור הגיע להגבהה גדולה מזו שהייתה לו במצב ההתחלתי (בנקודה A).

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 4 אירוע הכולל היווצרות אנרגיית חום.



מסת הכדור המתואר בתרשים היא 2kg . מניחים אותו בנקודה A הנמצאת בגובה $h = 1.8\text{m}$, ומרפים ממנו.

(א) נחשב את מהירות הכדור בנקודה B, בהנחה שהמסלול נטול חיכוך.

(ב) כאשר מדדו את מהירות הכדור בנקודה B, קיבלו שערכה $5\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$.

(1) האם המהירות שנמדדה שווה למהירות שחישבנו בסעיף א', גדולה ממנה או שווה לה?

(2) כיצד נסביר את התשובה לסעיף ב' 1?

(ג) מהי כמות החום הנוצרת במהלך תנועת הכדור מ-A עד B?

(ד) הכדור נעצר בנקודה C:

מהי כמות החום שנוצרת במהלך תנועת הכדור מ-A ל-C? נמכר

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

פתרון:

(א)

$$E_A = U_G = mgh = 2 \cdot 9.8 \cdot 1.8 = 35.28(\text{J})$$

$$E_B = E_K = \frac{1}{2} m v_B^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_B^2 = v_B^2$$

$$E_A = E_B \longrightarrow 35.28 = v_B^2 \quad / \quad \sqrt{\quad}$$

$$v_B = 5.94 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

(ב) אם האנרגיה הכובדית הייתה מומרת רק לאנרגיה קינטית, אז מהירות הכדור בנקודה B הייתה צריכה להיות $5.94 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$. העובדה שהמהירות הנמדדת היא רק $5 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$ מעידה, שקיים חיכוך במהלך התנועה. כתוצאה מכך, חלק מהאנרגיה ההתחלתית של הכדור הומרה במהלך תנועתו לאנרגיית חום. כלומר, יש עוד סוג אנרגיה המשתתף בתהליך.

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

(ג) נסמן ב- $Q_{A \rightarrow B}$ את אנרגיית החום הנוצרת במהלך תנועת הכדור מ-A ל-B.
לפי חוק שימור האנרגיה:

החום שנוצר במהלך התנועה
מ-A ל-B

+

האנרגיה בנקודה B

=

האנרגיה בנקודה A

$$E_A = E_B + Q_{A \rightarrow B}$$

בניסוח מתמטי:

$$35.28 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 + Q_{A \rightarrow B}$$

$$35.28 = 25 + Q_{A \rightarrow B} \quad / -25$$

$$Q_{A \rightarrow B} = 10.28(\text{J})$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

(ד) הכדור נעצר ב-C. מכך נוכל להסיק כי כל האנרגיה הכובדית שהייתה אצורה בו ב-A הומרה לחום. (זכרו! אנרגיה אינה נעלמת!)

$$E_A = Q_{A \rightarrow C} \quad \text{לכן:}$$

$$Q_{A \rightarrow C} = 35.28(\text{J})$$

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

דוגמה 5

- מסתו של קטנוע מסוג "קואלה" היא $60(\text{kg})$, ומסת רוכבו $60(\text{kg})$. הקטנוע מאיץ ממצב מנוחה ומגיע למהירות של $14\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$ תוך שתי דקות.
- קצב המרת האנרגיה הכימית (לאנרגיה של האופנוע ולאנרגיות אחרות) במהלך ההאצה של הקטנוע הוא $500(\text{w})$.
- (א) חשבו את האנרגיה הקינטית שרכשו הקטנוע ורוכבו במהלך ההאצה.
- (ב) חשבו את כמות האנרגיה הכימית ש"שרף" מנוע הקטנוע במהלך ההאצה.
- (ג) מה הסיבה להפרש שבין כמות האנרגיה הכימית ש"שרף" הקטנוע, לבין כמות האנרגיה הקינטית שהקטנוע ורוכבו רכשו?

3. פתרון בעיות באמצעות חוק שימור האנרגיה – דוגמאות נוספות

פתרון:

$$E_K = ? \quad v = 14 \left(\frac{m}{s} \right) \quad m = 60 + 60 = 120(kg)$$

(א)

$$E_K = \frac{1}{2} mv^2 \longrightarrow E_K = \frac{1}{2} \cdot 120 \cdot 14^2 = 11,760(J)$$

$$t = 2(min) \cdot 60 = 120(s) \quad P = 500(w) \quad E = ?$$

(ב)

$$E = P \cdot t \longrightarrow E = 500 \cdot 120 = 60,000(J)$$

(ג) לא כל האנרגיה הכימית המושקעת במנוע הקטנוע, מומרת לאנרגיה קינטית. חלקה הגדול מומר לאנרגיית חום. אנרגיית החום נוצרת משתי סיבות:

(1) כל מנוע פולט אנרגיית חום בעת פעולתו.

(2) הקטנוע ורוכבו מתחככים עם האוויר תוך כדי תנועתם. כתוצאה מכך נוצרת אנרגיית חום.

4. נפילה חופשית (מעשירה ומאושרת) עם פרופסור זריזי

4.1 למסה אין "משקל" – מקלפים קליפה ראשונה

דן נקלע לחנות הידועה של פרופסור זריזי (החנות לתרפיה פיסיקלית). זו הייתה שעת אחר-הצהריים מאוחרת. הפרופסור החביב הבחין שזו הפעם הראשונה שהנער הגיע לחנות. הוא לא רצה "להלחיץ" אותו, לכן, המתין בסבלנות עד שיקבל "איתות" מדן. דן התלבט באיזו חידה לנסות את כוחו. לאחר שהזין את עיניו ברוב המוצגים שבחנות, הבחין בפינת החנות בשני כדורים, התלויים בקצות שני חוטים דקים המשתלשלים מתקרת החנות.

"כדורים נעים מתגלגלים או מתנוודדים מוכרים לי מלימודי הפיסיקה. אולי כדאי לי לבחור בניסוי זה," חכך דן בדעתו. הוא הסב את ראשו אל הפרופסור והלה קם וצעד לעברו בחיוך. כשהגיע, פנה אליו דן ואמר: "בחרתי בחידת הכדורים".

"חידת הכדורים הנופלים", תיקן זריזי והמשיך: "לפניך שני כדורי ברזל תלויים בקצות שני

4. נפילה חופשית (מעשירה ומאושרת) עם פרופסור זריזי

4.1 למסה אין "משקל" – מקלפים קליפה ראשונה

חוטים. מסת הכדור האחד $m_1 = 50(\text{kg})$ ומסת האחר $m_2 = 10(\text{kg})$. ההגבהה של כל אחד מהכדורים מעל הרצפה היא $h = 1(\text{m})$. השאלה היא –

אם נגזור את שני החוטים באותו הזמן, כך שהכדורים יחלילו אפילו מטה בו-זמנית, מהם יזדזזו במהירות גבוהה יותר אל הקרקע?

דן השתהה קלות ואחר-כך ניסה את כוחו: "אדוני הפרופסור, זה פשוט. למדתי שהאנרגיה הכובדית נתונה בנוסחה – $U_G = mgh$. לכדור m_2 יש מסה גדולה יותר. לכן, יש לו אנרגיה כובדית גדולה מזו של הכדור שמסתו m_1 . לכן, הוא ימיר במהלך נפילתו כמות אנרגיה גדולה יותר לאנרגיה קינטית. מכאן, שבהגיעו לארץ תהיה לו מהירות גדולה יותר." הפרופסור חיך ואמר: "נפלת בפח נער חביב, לא 'קילפת את כל הקליפות' (לא ירדת לשורש העניין). פרס לא תקבל, אך לפחות אסביר לך היכן טעית."



"אבל איך זה ייתכן?" תהה דן בקול: "הרי לכדור שמסתו m_2 אנרגיה כובדית גדולה יותר." "אכן צדקת בנקודה זו," ענה זריזי והוסיף: "אך עובדה זו אינה מובילה למסקנה שהסקת." "מדוע זה כך?" שאל דן.

4. נפילה חופשית (מעשירה ומאושרת) עם פרופסור זריזי

4.1 למסה אין "משקל" – מקלפים קליפה ראשונה

הפרופסור ענה: "ובכן, שכחת נער חביב, כי גם האנרגיה הקינטית תלויה במסה, שהרי $E_K = \frac{1}{2} m v^2$ ". באותו הרגע אורו פניו של דן והוא אמר: "אהה, הבנתי את הטעות".
"נו, הסבר לי אותה", ביקש הפרופסור מדן. דן נטל מהפרופסור את הנייר והעט ואמר: "נתייחס לכדור m_1 .

לפי חוק שימור האנרגיה נרשום: $E_{T1} = E_{T2} \longrightarrow m_1 g h = \frac{1}{2} m_1 v^2$
כיוון שהמסה m_1 מופיעה בשני אגפי המשוואה, נוכל לחלק את המשוואה ב- m_1
נקבל: $m_1 g h = m_1 v^2 \quad / : m_1$

ואם נבודד את v נקבל: $g h = v^2 / \cdot 2$

$$2 g h = v^2 \quad / \sqrt{}$$

$$v = \sqrt{2 g h}$$

4. נפילה חופשית (מעשירה ומאושרת) עם פרופסור זריזי

4.1 למסה אין "משקל" – מקלפים קליפה ראשונה

"אנו רואים כי מהירות הכדור אינה תלויה במסתו. המסה מופיעה בשני אגפי המשוואה ולכן היא מצטמצמת. המהירות בה יגיע הכדור לקרקע תלויה בעוצמת הגרביטציה g ובהגבהה h בלבד".
"יפה אמרת," אמר הפרופסור והביט בחיוך אבהי אל דן. "בכל גובה זהה בו מצויים הכדורים במהלך הנפילה, תהיה להם אותה מהירות. לכן הם יגיעו אל הקרקע באותו הרגע בדיוק. "אתה יודע שראשון שגילה תגלית זו הוא גלילאו גליליי?" שאל הפרופסור. "לא," ענה דן.
"ובכן דע לך כי גלילאו גליליי היה אשף הניסויים המחשבתיים." אמר הפרופסור:
"ניסויים מחשבתיים? לא שמעתי על זה אף פעם," אמר דן.

"ניסוי מחשבתי ענה הפרופסור. הנו ניסוי שאינו דורש כלים וחומרים אלא מחשבה מעמיקה. כדי להמחיש לך מהו ניסוי מחשבתי, אספר לך כיצד הסיק גלילאו, שגופים הנופלים מאותו הגובה יגיעו לקרקע באותו זמן ובאותה מהירות, ללא תלות במסתם.

4. נפילה חופשית (מעשירה ומאושרת) עם פרופסור זריזי

4.1 למסה אין "משקל" – מקלפים קליפה ראשונה

"גלילאו אמר שאם מפילים בו־זמנית שני גופים בעלי אותה מסה m ובעלי אותה הגבהה h , ברור כי בעת הנפילה תהיה להם בכל רגע אותה מהירות, מאחר שהם זהים. כתוצאה מכך, הגופים גם נמצאים בכל רגע ורגע (במהלך הנפילה), באותה הגבהה. נוכל להסיק מכך, שאם נצמיד את הגופים ונרפה מהם, הם יהיו בכל רגע ורגע באותו מקום וגם תהיה להם אותה מהירות. כיוון שהגופים צמודים, נוכל להתייחס אליהם כאל גוף אחד בעל מסה של $2 \cdot m$ הנופל מטה. נוכל לסכם ולקבוע, כי גוף שמסתו $2 \cdot m$ נופל באותו זמן בדיוק כמו גוף שמסתו m . מכאן, שכל הגופים – ללא תלות במסתם, הנופלים מאותו הגובה – מגיעים באותו הזמן אל הקרקע."

דן חייך ואמר: "עתה הבנתי מהו ניסוי מחשבתי. זוהי באמת דרך גילוי חכמה ומופלאה."

הפרופסור הוסיף: "פיסיקאים כמו גלילאו מצליחים לקלף את הקליפות החיצוניות ולהביט לעומק המציאות, ולהתנתק מהאינטואיציה החושית. הם המאורות הגדולים של המדע."

4. נפילה חופשית (מעשירה ומאושרת) עם פרופסור זריזי

4.2 השפעת האוויר על הנפילה – "מקלפים קליפה נוספת"

כשסיים זריזי את דבריו נטל דן פיסת נייר וגולת מתכת שהיו מונחים על השולחן הסמוך. הוא פנה אל זריזי: "האם שני הגופים יגיעו באותו רגע אל הקרקע?"

באותו הרגע הוא עזב את שני הגופים. כשהגולה הגיעה אל הקרקע, הנייר התעופף עדיין זמן־מה באוויר. דן הביט אל הפרופסור כשחיוך של ניצחון על פניו.

גם הפרופסור חייך ואמר: "אני שמח שאתה מאלץ אותי לקלף קליפה נוספת".

הוא נטל את דף הנייר, קיפל ומעך אותו כך שהוא הפך קטן מאוד. אחר־כך הרים את הנייר ואת גולת־המתכת לגובה זהה והרפה מהם. השניים הגיעו אל הקרקע בדיוק באותו רגע.

זריזי פנה אל דן: "חביבי, כאשר גוף נופל, קיים גורם נוסף המשפיע על תנועתו. גורם זה הנו התנגדות האוויר לתנועה. כאשר דף נייר וכדור נופלים, התנגדות האוויר לתנועת דף נייר גדולה מהתנגדות האוויר לתנועת גולת מתכת. לכן, דף הנייר נופל באטיות ובפרק זמן ארוך יותר. כאשר קיפלתי את דף הנייר, הקטנתי את שטח המגע שלו עם האוויר. במצב זה התנגדות האוויר לתנועתו קטנה ושווה בקירוב להתנגדות האוויר לתנועת גולת המתכת. לכן, כפי שראינו, מהירות שני הגופים שווה בכל רגע ורגע של תנועתם. לכן הם גם מגיעים באותו רגע אל הקרקע".

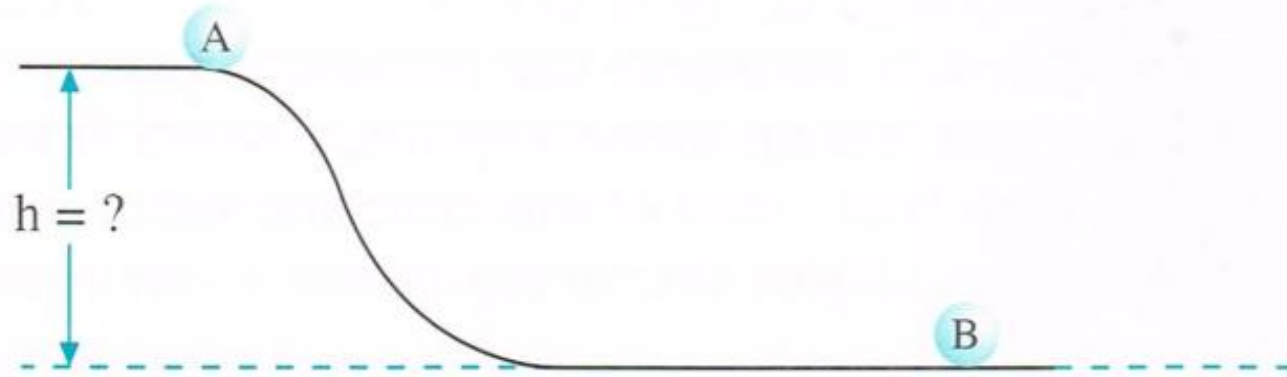
הפרופסור טפח על כתפיו של דן בחביבות והוסיף:

"בשנת 1969 נחתו לראשונה אסטרונאוטים על פני הירח. הם הפילו שם נוצה ופטיש מאותו הגובה. כיוון שבירח אין אוויר, הגיעו הנוצה והפטיש בדיוק באותו הרגע אל פני הירח. אירוע מפורסם זה שודר בכל רשתות הטלוויזיה בעולם. באותו הרגע חשתי כאילו רוחו של גלילאו

6. חזרה נא לנו חידה



נתון מסלול החלקה (ראו תרשים). אין חיכוך בין הגופים הנעים על המסלול לבין המסלול.



מניחים את כדור A שמסתו 1 (kg) בשיאו של המסלול, ומרפים ממנו.
כדור B נע ימינה במהירות של $10\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$ על פני מישור אופקי אינסופי.
מה צריך להיות ערכו המינימלי של h כדי שכדור A ישיג את כדור B ויתנגש בו.

פתרון:

10. $\left(\frac{m}{2}\right)$ יש חלוצה המיוחסת ל-B. כל

מחשבים $\left| \frac{m}{2} \right| 01$ שם מזהה המצב A - המצב A הוא שווה, מציג

- אנשים זוכים לשווי שווה $E_{IT} = U_G = mgh = 1 \cdot 8.9 = 8.9$

- $E_{T5} = E_k = \frac{1}{2} m v_s = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 10^5 = 50 \text{ (J)}$

- $E_{IT} = E_{IT} \leftarrow 0.8h = 20 \mid 0.8 : \text{חזרתה חזרה של חזרה "נפילה"}$

$$(m)I.2 = N$$

7. עיקרי פרק י"א

- **"כלי העבודה" העומדים לרשותינו הם:**

$$U_G = wh = mgh = \text{הביטוי לאנרגיה כובדית}$$

$$E_K = \frac{1}{2} mv^2 = \text{הביטוי לאנרגיה קינטית}$$

- **חוק שימור האנרגיה – הכמות הכוללת של האנרגיה בטבע נשמרת קבועה. לכן:**

בכל תהליך שבו נעלמת כמות מסוימת של אנרגיה מסוג מסוים, מופיעה תחתיה אנרגיה (או אנרגיות) מסוג אחר ובאותה הכמות.

כמו כן, בכל תהליך שבו נוצרת כמות מסוימת של אנרגיה מסוג מסוים, נעלמת אנרגיה (או אנרגיות) מסוג אחר ובאותה הכמות.

- **פתרון אירועים שבהם לא נוצרת אנרגיית חום:**

שלב א – נקבע "מצב התחלתי" ו"מצב סופי" לפי נתוני השאלה ולפי מה שעלינו לחשב.

שלב ב – נרשום ביטוי (או נחשב ערך מספרי) לאנרגיה הכוללת במצב ההתחלתי E_{T1} .

שלב ג – נרשום ביטוי (או נחשב ערך מספרי) לאנרגיה הכוללת במצב הסופי E_{T2} .

שלב ד – נשווה בין האנרגיה הכוללת במצב ההתחלתי לבין האנרגיה הכוללת במצב הסופי (חוק שימור האנרגיה).

שלב ה – נפתור את המשוואה העולה מחוק שימור האנרגיה (נחשב את הגודל הנעלם).

7. עיקרי פרק י"א

- **פתרון אירועים שבהם נוצרת אנרגיית חום:**

- שלב א – נקבע "מצב התחלתי" ו"מצב סופי" לפי נתוני השאלה ולפי מה שעלינו לחשב.
- שלב ב – נרשום ביטוי (או נחשב ערך מספרי) לאנרגיה הכוללת במצב ההתחלתי E_{T1} .
- שלב ג – נרשום ביטוי (או נחשב ערך מספרי) לאנרגיה הכוללת במצב הסופי E_{T2} .
- שלב ד – על סמך חוק שימור האנרגיה, נוכל לרשום את המשוואה הבאה:

$$E_{T1} = E_{T2} + Q_{1 \rightarrow 2}$$

- כאשר $Q_{1 \rightarrow 2}$ מייצג את כמות אנרגיית החום שנוצרה במהלך תנועת הגוף מהמצב ההתחלתי (נקודה 1) אל המצב הסופי (נקודה 2).
- שלב ה – נפתור את המשוואה (נחשב את הגודל הנעלם).

8. שאלות לפרק י"א

שאלות ברמה רגילה

(1) חתול שמסתו 30kg מטפס על עץ ברוש. בהיותו בגובה 8m הוא ניתלה על ענף. לפתע נשבר הענף והחתול צנח היישר על הקרקע. מיצאו את המהירות בה מגיע החתול אל פני-הקרקע.

(2) גוף שמסתו 10kg נזרק מפני הקרקע אנכית מעלה במהירות $10\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$. לאיזה גובה מקסימלי מגיע הגוף?

שימו לב: בגובה המקסימלי מהירותו של הגוף היא אפס, לכן אין לו בנקודה זו אנרגיה קינטית.

(3) דנה עומדת על מגדל שגובהו 100m (נקודה A). היא מחזיקה בידה כדור שמסתו 2kg . הכדור נשמט מידה ונופל מטה. (התעלמו מהחיכוך עם האוויר)

(א) חשבו את מהירות הכדור בנקודה:

(1) B הנמצאת בגובה של 75m מעל פני-הקרקע.

שימו לב: בנקודה B יש לכדור גם אנרגיה קינטית וגם אנרגיה כובדית.

(2) C הנמצאת בגובה של 50m מעל פני-הקרקע.

(3) D הנמצאת בגובה פני-הקרקע (מהירות הפגיעה בקרקע).

(ב) תארו את המרות האנרגיה של הכדור במהלך נפילתו.

8. שאלות לפרק י"א

- (4) מטוס שמסתו $2,000 \text{ (kg)}$ טס בגובה 1 (km) . בהיותו במהירות $1,080 \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right)$ חדלו מנועי המטוס לפעול. באיזו מהירות יגיע המטוס אל הקרקע?

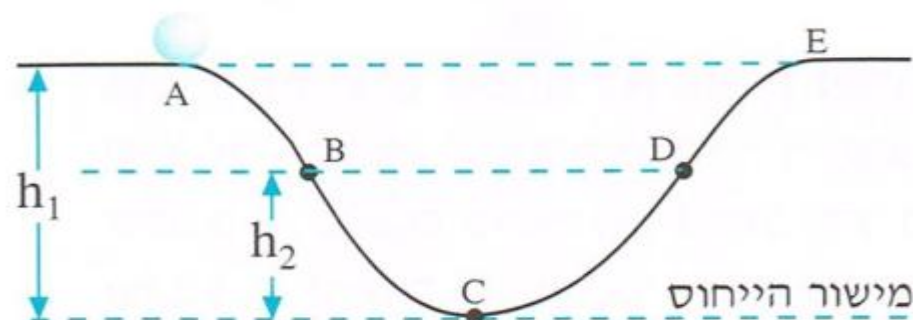


שימו לב:

מהירות המטוס ברגע שהמנועים חדלו לפעול היא $1,080 \left(\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right)$.

- המירו את יחידת המהירות מ- $\left(\frac{\text{km}}{\text{hr}} \right)$ ל- $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$ ואת יחידת ההגבהה מ- (km) ל- (m) .

- (5) מניחים כדור שמסתו 1 (kg) בנקודה A, הנמצאת בגובה $h_1 = 2 \text{ (m)}$. מרפים מהכדור (מהירותו ההתחלתית שווה ל-0).



- (א) חשבו את האנרגיה הכוללת של הכדור בנקודה A.

- (ב) חשבו, על-סמך חוק שימור האנרגיה, את מהירות הכדור בנקודה B, הנמצאת בגובה $h_2 = 1 \text{ (m)}$.

- (ג) (1) באיזו נקודה תהייה לכדור מהירות מקסימלית? נמקו.

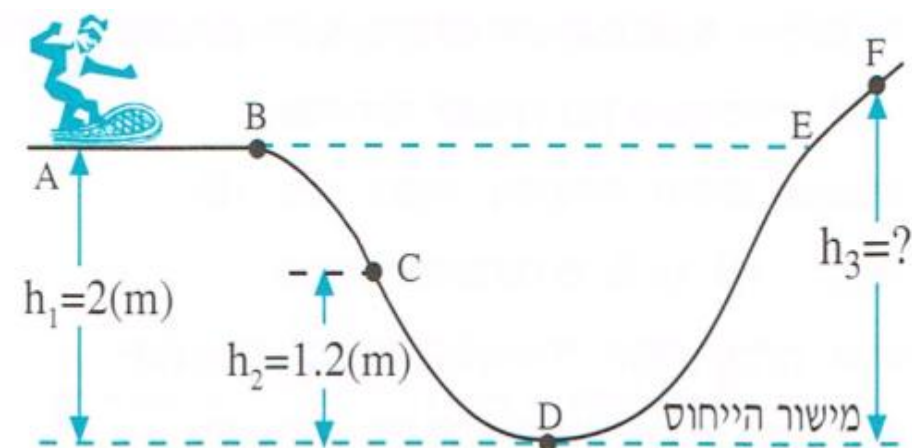
- (2) חשבו את המהירות המקסימלית של הכדור.

- (ד) (1) מהי מהירות הכדור בנקודה D? נמקו (ללא חישוב).

- (2) מהי מהירות הכדור בנקודה E? נמקו (ללא חישוב).

- (ה) העתיקו את הטבלה הבאה למחברת ומלאו אותה.

8. שאלות לפירק י"א



הנקודה	מהירות $\left(\frac{m}{s}\right)$	אנרגיה קינטית (J)	הגבהה (m)	אנרגיה כובדית (J)	אנרגיה כללית (J)
A					
B					
C					
D					
E					

(א) מהי מהירות הנער בנקודה B? נמקו.

(ב) חשבו את האנרגיה הכוללת של הנער והמזחלת בנקודה A.

(ג) חשבו על סמך חוק שימור האנרגיה את מהירות הנער והמזחלת בנקודה C.

(ד) (1) באיזו נקודה מהירות המזחלת והנער מקסימלית? נמקו.

(2) חשבו את המהירות בנקודה זו (המהירות המקסימלית).

(6) נער יושב בתוך מזחלת. מסת הנער והמזחלת

שווה ל- $50(kg)$. אמו של הנער מעניקה למזחלת מהירות התחלתית של $6\left(\frac{m}{s}\right)$ בנקודה A. הניחו שהמסלול נטול חיכוך.

8. שאלות לפרק י"א

(ז) העתיקו את הטבלה הבאה למחברת והשלימו אותה.

הנקודה	מהירות $\left(\frac{m}{s}\right)$	אנרגיה קינטית (J)	הגבהה (m)	אנרגיה כובדית (J)	אנרגיה כללית (J)
A					
B					
C					
D					
E					
F					

(ה) הנקודה E נמצאת באותה הגבהה (מעל מישור הייחוס) כמו נקודות A ו-B.

(1) הסבירו (משיקולי אנרגיה) מדוע עובר הנער את הנקודה E וממשיך מעלה?

(2) מה מהירות הנער בנקודה E? (הסבירו על סמך שיקולי אנרגיה ללא חישוב).

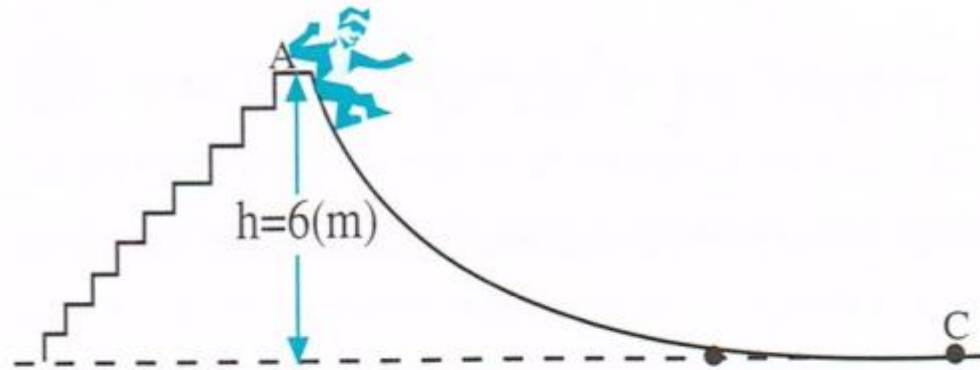
(ו) הנקודה F היא הנקודה הגבוהה ביותר אליה מגיע הנער. חשבו את ההגבהה h_3 .



שימו לב:

בגובה המקסימלי – המהירות הרגעית היא אפס. לכן, בנקודה זו האנרגיה הקינטית של הנער והמזחלת שווה ל-0.

8. שאלות לפרק י"א



(7) קליע רובה שמסתו 15(gr) נע במהירות $400 \left(\frac{m}{s} \right)$. הוא חודר דרך קיר עץ ויוצא מעברו השני במהירות 100.

(א) מהי כמות האנרגיה הקינטית של הקליע לפני הפגיעה בקיר?

(ב) מהי כמות האנרגיה הקינטית של הקליע לאחר שיצא מתוך קיר העץ?

(ג) חשבו את הפְּחַת באנרגיה הקינטית של הקליע.

(ד) מה קרה לאנרגיה הקינטית החסרה? הסבירו.

(א) חשבו את מהירותו של פאזי בנקודה B, **בהנחה** שהמסלול נטול חיכוך.

(ב) מהירותו של פאזי נמדדה, ונמצא כי ערכה בנקודה B הוא רק $7.5 \left(\frac{m}{s} \right)$.

(1) מהי מסקנתכם מתוצאת המדידה? נמקו.

(2) חשבו את כמות אנרגיית החום הנוצרת במהלך החלקתו בקטע A-B.

(ג) פאזי נעצר בנקודה C. מהי כמות אנרגיית החום שנוצרה במהלך תנועתו מ-A ל-C? הסבירו.

(8) לפניכם איור של מסלול החלקה במגרש שעשועים. פאזי עולה במדרגות אל הנקודה A, ומשם הוא מחליק ממנוחה במסלול המתואר בציור. מסתו של פאזי 60(kg) והגבתו בנקודה A היא $h = 6(m)$.

8. שאלות לפרק י"א

שאלות ברמה גבוהה

(9)

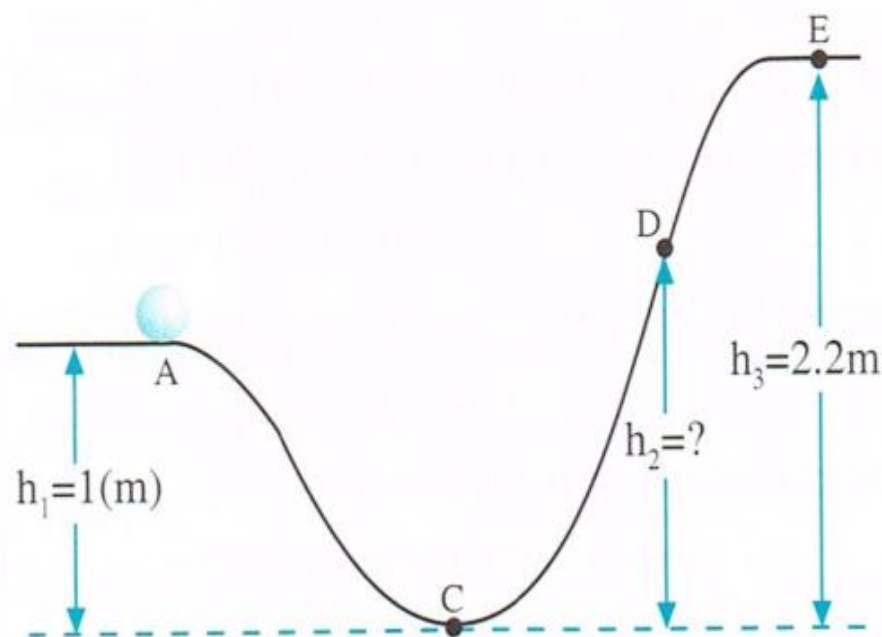
- (א) מיצאו את מסתו של הכדור.
(ב) חשבו את מהירותו המקסימלית של הכדור וציינו היכן היא מתקבלת.
(ג) ידוע כי הגובה המקסימלי אליו מגיע הכדור הוא h_2 (נקודה D). חשבו את h_2 .
(ד) רוצים שהכדור יגיע לנקודה E שהגבהה היא $h_3 = 2.2(m)$. חשבו איזו מהירות

עלינו להעניק לכדור בנקודה A כך שיגיע לנקודה E?

שימו לב:



בסעיף זה הנעלם הוא – $v_A = ?$.



משקלו של הגוף שבציור הוא $w = 100(N)$.
מהירותו בנקודה A $4\left(\frac{m}{s}\right)$, והגבהתו בנקודה זו היא $h_1 = 1(m)$.

8. שאלות לפרק י"א

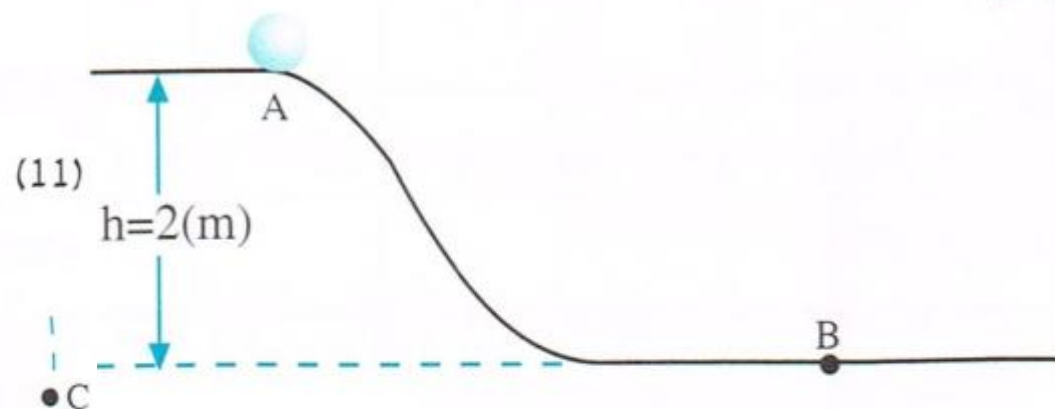
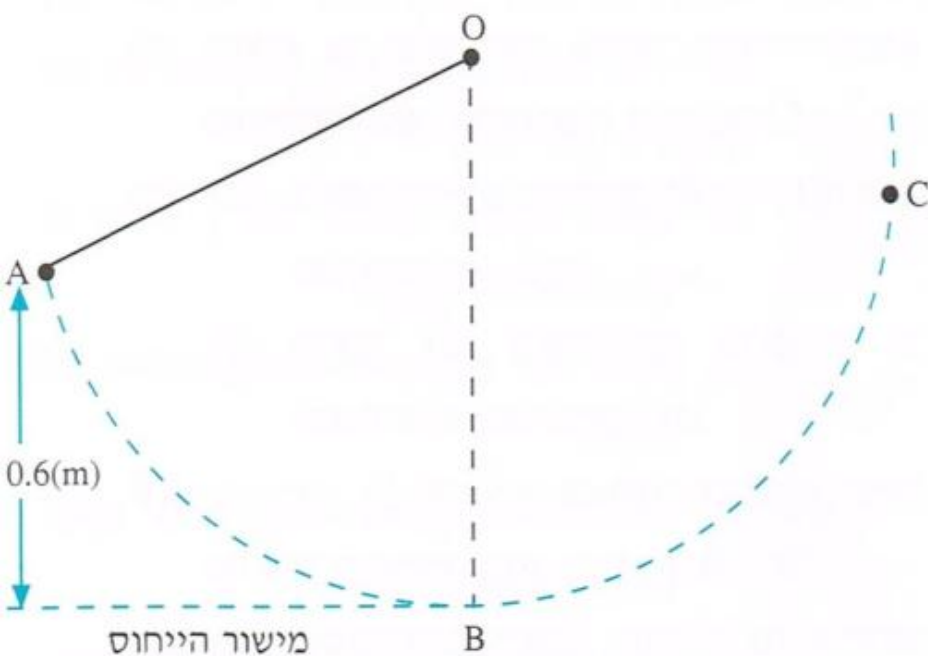
(10)

(ב) מהי כמות האנרגיה המינימלית שיש

להשקיע, כדי להשיב את הכדור לנקודה A

כשהוא צמוד למשטח? (מזיזים את הכדור

על המשטח מ-B בחזרה ל-A).



(11)

מסת הכדור שבציור $2(kg)$. הכדור מחליק

ממצב מנוחה מנקודה A, הנמצאת בגובה של

$h = 2(m)$. ידוע כי הכדור נעצר בנקודה B.

(א) (1) לאן "נעלמה" האנרגיה הכובדית

שהייתה אצורה בכדור בנקודה A?

(2) מהי כמות אנרגיית החום שנוצרת

במהלך התנועה מ-A עד B?

בציור מתוארת מטוטלת פשוטה. המטוטלת

מורכבת מחוט, שלקצהו האחד קשור גוף

שמסתו $m = 1.5(kg)$, וקצהו השני מחובר

לתקרה (נקודה O). מסת החבל ניתנת להזנחה.

8. שאלות לפירק י"א

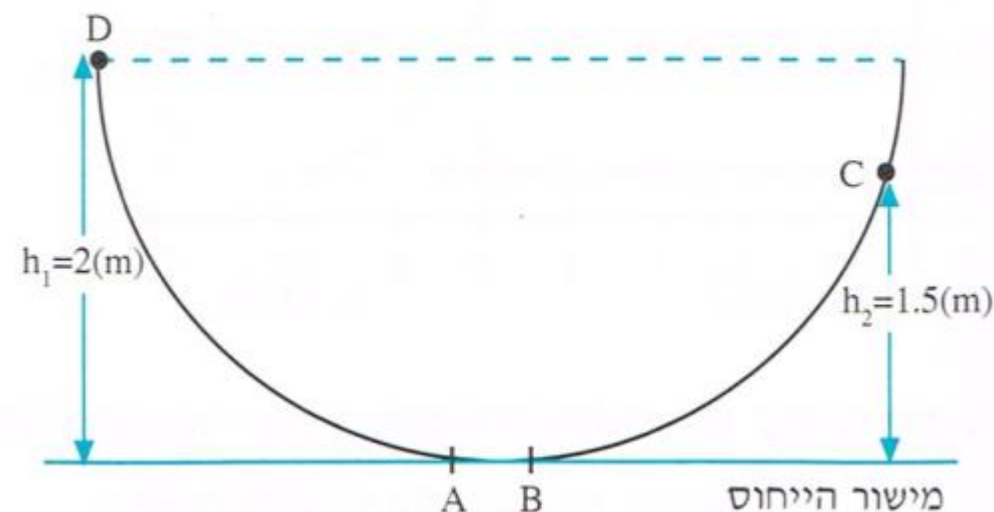
כמו כן התעלמו מהחיכוך.

מסיטים את המטוטלת מהאנך (OB) הצידה עד לנקודה A, כך שהיא מתרוממת לגובה של $h = 0.6(m)$ ביחס למקומה ההתחלתי. לאחר שהסיטו את המטוטלת מרפים ממנה.

(א) חשבו את המהירות המקסימלית של המטוטלת, וציינו היכן היא מתקבלת.

(ב) המטוטלת מגיעה מצידו השני של האנך עד לנקודה C. מהו גובה הנקודה C מעל מישור הייחוס? נמקו (הסתמכו על חוק שימור האנרגיה).

(12)



8. שאלות לפרק י"א

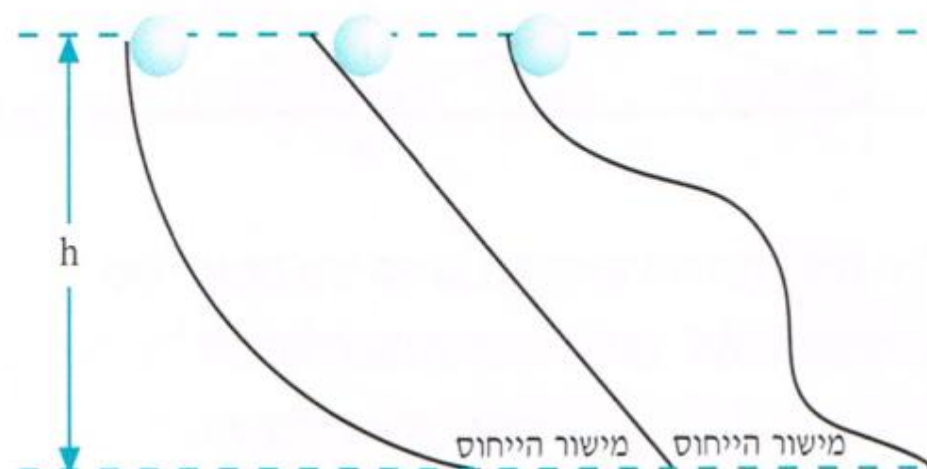
לפניכם מסלול החלקה שצורתו קשת חצי מעגלית. משני צדי הקטע AB אין חיכוך, ואילו בקטע AB (בלבד) קיים חיכוך. משחררים גוף שמסתו $m = 0.5(\text{kg})$ מגובה $h_1 = 2(\text{m})$ (נקודה D). ידוע כי בפעם הראשונה כשהגוף עובר את הקטע AB, הוא מגיע לגובה מקסימלי $h_2 = 1.5(\text{m})$ (נקודה C).

- (א) (1) מהי כמות האנרגיה הכובדית שיש לגוף במצב ההתחלתי (נקודה D)?
- (2) מהי כמות האנרגיה הכובדית שיש לגוף לאחר שעבר בפעם הראשונה את הקטע AB (בנקודה C)?

(13)

- (3) חשבו מהי כמות אנרגיית החום הנוצרת בכל פעם שהגוף עובר את הקטע AB?

- (ב) (1) הסבירו מדוע הגוף יעבור את הקטע AB מספר פעמים ולבסוף ייעצר?
- (2) חשבו כמה פעמים יעבור הכדור את הקטע AB לפני שייעצר?



8. שאלות לפרק י"א

בתרשים מתוארים שלושה מסלולי החלקה בעלי הגבהה שווה (h).

מניחים בראש כל אחד מהמסלולים כדורים בעלי מסות שונות (m , $2m$ ו- $3m$). האם יגיעו הכדורים אל פני הקרקע באותה המהירות?

אם כן, הסבירו מדוע. אם לא, דרגו את הכדורים לפי סדר עולה של מהירות הגעתם אל הקרקע.

הערה: היעזרו במידע המופיע בסעיף 4.

* (14) למכונית צעצוע בעלת מנוע חשמלי מסה כוללת של 2 (kg) . כאשר מפעילים את המנוע, קצב המרת האנרגיה החשמלית (הספק מושקע) הוא 8 (W) . כעבור 9 שניות נעה המכונית במהירות של $3\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$.
(א) חשבו את כמות האנרגיה החשמלית שסופקה למנוע.

(ב) מהי האנרגיה הקינטית הסופית של המכונית?

(ג) כיצד תסבירו את ההבדל בין האנרגיה שסופקה למנוע לבין האנרגיה הקינטית שרכשה המכונית?

הדרכה: בסעיף א' עליכם להשתמש בנוסחת ההספק – $E = P \cdot t$.

8. שאלות לפרק י"א

(15)* אריאל משליך מפני הקרקע כדור שמסתו

$m = 2(\text{kg})$ אנכית כלפי מעלה. אחד מהגרפים (ב)

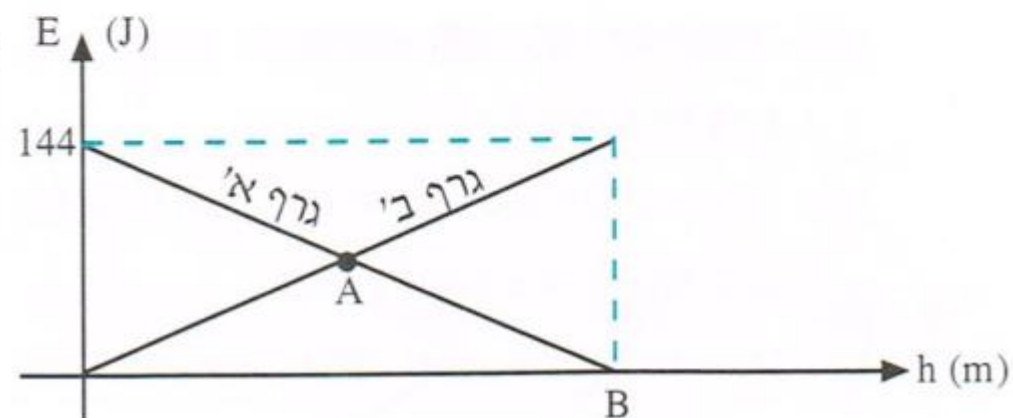
שבאיור מתאר את האנרגיה הקינטית של

הכדור, והאחר מתאר את האנרגיה הכובדית (ג)

שלו כפונקציה של ההגבהה (h).

(ד)

(ה)



(ד)

(ה)

(א) איזה גרף מייצג את האנרגיה הקינטית של

הכדור ואיזה גרף מייצג את האנרגיה
הכובדית שלו? נמקו.

מהי כמות האנרגיה הקינטית שהעניק
אריאל לכדור?

(1) מה מייצגת הנקודה A שבשרטוט?

(2) מה מייצגת הנקודה B שבשרטוט?

חשבו את ההגבהה המקסימלית של הכדור.

העתיקו את הגרפים למחברת והוסיפו גרף

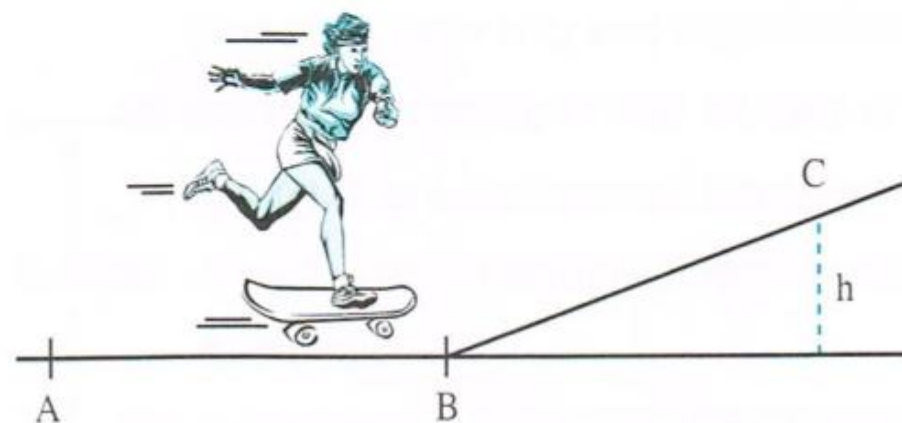
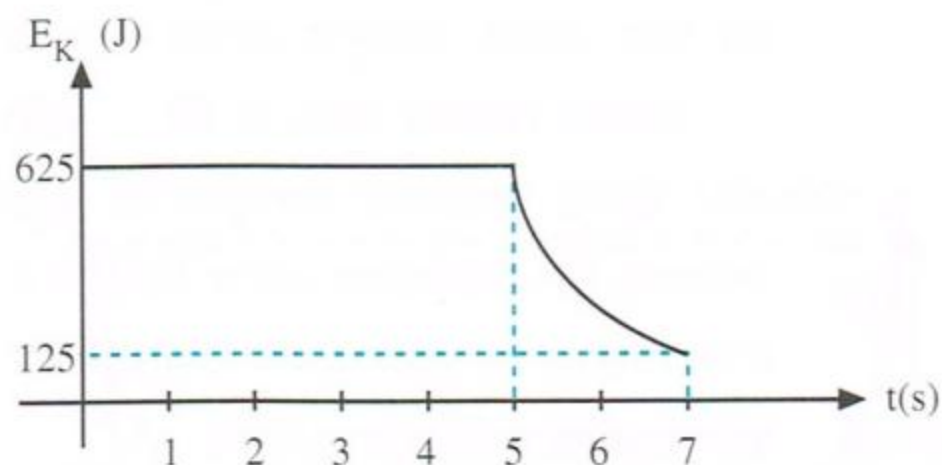
שיתאר את האנרגיה המכנית הכוללת של

הכדור. הסבירו.

8. שאלות לפרק י"א

(16)* נערה נעה באמצעות גלגליות – תחיל על משטח אופקי, ולאחר מכן על משטח ישר ומשופע. הזניחו את החיכוך שבין הגלגליות לבין המשטח. מסת הנערה יחד עם הגלגליות $m = 50(\text{kg})$.

הגרף שבציור מתאר את כמות האנרגיה הקינטית של הנערה כפונקציה של הזמן – מהנקודה A ועד לנקודה C. (ברגע $t = 0$ הייתה הנערה בנקודה A, וברגע $t = 7(\text{s})$ הייתה הנערה בנקודה C).



8. שאלות לפרק י"א

היעזרו בגרף, ובמידת הצורך גם בחוק שימור האנרגיה, וענו על השאלות הבאות:

(א) מהי כמות האנרגיה הקינטית שהייתה לנערה בנקודה A?

(ב) (1) מדוע עד לרגע $t = 5(s)$ האנרגיה הקינטית של הנערה קבועה?

(2) באיזה רגע הגיעה הנערה לנקודה B? הסבירו.

(ג) האם בנקודה C הנערה עדיין נעה? נמקו.

(ד) היעזרו בגרף ובחוק שימור האנרגיה וחשבו את ההגבהה של הנקודה C ($h = ?$).

תשובות לחלק מהשאלות

$$12.52 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \quad (1)$$

$$5.1(\text{m}) \quad (2)$$

$$22.13 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .\text{א} \quad 31.3 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .\text{ב} \quad 44.27 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .\text{ג} \quad (3)$$

$$1,192 \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right) \approx 331 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \quad (4)$$

$$0 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .(2)\text{ד} \quad 4.43 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .(1)\text{ה} \quad 6.26 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .(2)\text{ו} \quad 4.43 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .\text{ז} \quad 19.6(\text{J}) .\text{ח} \quad (5)$$

$$8.67 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .\text{ט} \quad 7.19 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .\text{י} \quad 1,880(\text{J}) .\text{יא} \quad 6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) .\text{יב} \quad (6)$$

$$3.84(\text{m}) .\text{יג} \quad 6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (2).\text{יד} \quad (7)$$

$$1,200(\text{J}) .\text{יז} \quad 75(\text{J}) .\text{יח} \quad 1,125(\text{J}) .\text{יט} \quad \text{ד. חום} \quad (7)$$

$$10.84 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \text{ א.} \quad (8)$$

$$1,840.5(\text{J}) \text{ ב. (2)}$$

$$3,528(\text{J}) \text{ ג.}$$

$$10.2(\text{kg}) \text{ א.} \quad (9)$$

$$5.96 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \text{ ב.}$$

$$1.82(\text{m}) \text{ ג.}$$

$$4.85 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \text{ ד.}$$

$$39.2(\text{J}) \text{ א. (2)} \quad (10)$$

$$78.4(\text{J}) \text{ ב.}$$

ג. נמוך מגובה הנקודה C.

$$3.42 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \text{ א.} \quad (11)$$

$$9.8(\text{J}) \text{ א. (1)} \quad (12)$$

$$7.35(\text{J}) \text{ א. (2)}$$

$$2.45(\text{J}) \text{ א. (2)}$$

$$4 \text{ ב. (2)}$$

(13) מגיעים באותה מהירות

$$72(\text{J}) \text{ א.} \quad (14)$$

$$9(\text{J}) \text{ ב.}$$

ג. חיכוך בין...

(15) א. גרף א' - אנרגיה קינטית

$$144(\text{J}) \text{ ב.}$$

$$h = 7.34(\text{m}) \text{ ד.}$$

—

$$625(\text{J}) \text{ א.} \quad (16)$$

$$t = 5(\text{s}) \text{ ב. (2)}$$

ג. נעה כי....

$$h = 1.02(\text{m}) \text{ ד.}$$