עבודה ואנרגיה: 15 תרגילים

עבודה, שימור אנרגיה, חיכוך, מערכות גופים והספק • מהבסיס ועד שאלות אתגר

כיתה י״א | 5 יח״ל | מכינה קדם־אקדמית

אינסוף
פיזיקה • מכניקה

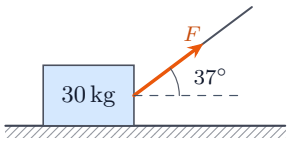
איך עובדים עם הקובץ?

השאלות מסודרות לפי תתי־נושאים, ובכל תת־נושא מהקל לקשה: עבודה ומשפט עבודה–אנרגיה (שאלות 1 עד 4), שימור אנרגיה מכנית (5 עד 9), חיכוך ומערכות גופים (10 עד 12), הספק ונצילות (13 ו־14), וכוח ואנרגיה פוטנציאלית (15). התשובות הסופיות נמצאות בסוף הקובץ. נסו לפתור לבד לפני שאתם מציצים!

אתגר קשה יותר מהרגיל בבגרות מכינה ברמה של המכינה הקדם־אקדמית חשיבה סעיף שעיקרו הסבר במילים

בכל השאלות $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$, $\sin 37^\circ = 0.6$ ו־$\cos 37^\circ = 0.8$. החוטים והגלגלות אידיאליים (חסרי מסה וחיכוך), והתנגדות האוויר זניחה, אלא אם נאמר אחרת.

שאלה 1



ארגז שמסתו $30\,\mathrm{kg}$ מונח במנוחה על רצפה אופקית. מושכים אותו בחבל בכוח של $150\,\mathrm{N}$, בזווית של 37° מעל האופק, והארגז נגרר לאורך $8\,\mathrm{m}$. מקדם החיכוך הקינטי בין הארגז לרצפה הוא 0.3.

א. סרטטו תרשים כוחות של הארגז, וחשבו את העבודה שעושה כל אחד מהכוחות לאורך 8 המטרים.

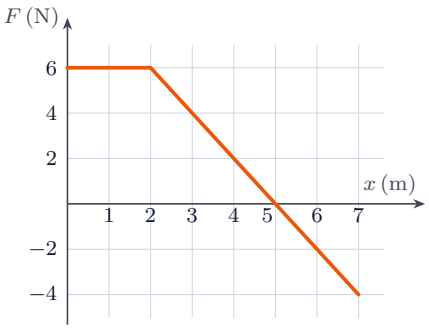
ב. חשבו את העבודה הכוללת, ובעזרתה את מהירות הארגז בסוף הדרך.

ג. כמה זמן נמשכה הגרירה?

ד. חשבו את ההספק הממוצע של כוח החבל בזמן הגרירה, ואת ההספק שלו בסוף הגרירה.

ה. השוו את העבודה של כוח החבל לאנרגיה הקינטית של הארגז בסוף הדרך, והסבירו את ההבדל. חשיבה

שאלה 2



עגלה שמסתה $2\,\mathrm{kg}$ נמצאת במנוחה על מסילה אופקית חלקה, בנקודה $x = 0$. מרגע מסוים פועל עליה כוח אופקי F לאורך המסילה. הגרף מתאר את F כפונקציה של המקום. כוח חיובי פועל בכיוון החיובי של ציר x.

א. חשבו את העבודה של הכוח מ־$x = 0$ עד $x = 2\,\mathrm{m}$, ומ־$x = 0$ עד $x = 5\,\mathrm{m}$.

ב. מה מהירות העגלה ב־$x = 5\,\mathrm{m}$?

ג. באיזה מקום מהירות העגלה מרבית? נמקו. חשיבה

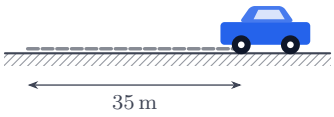
ד. מה מהירות העגלה ב־$x = 7\,\mathrm{m}$?

ה. מ־$x = 7\,\mathrm{m}$ והלאה הכוח נשאר $-4\,\mathrm{N}$. היכן תיעצר העגלה לרגע?

ו. מה תאוצת העגלה ב־$x = 3.5\,\mathrm{m}$?

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 3



מכונית שמסתה $1000\,\text{kg}$ בולמת בלימת חירום על כביש אופקי. הגלגלים ננעלים, והמכונית מחליקה עד שהיא נעצרת. אורך סימני הבלימה על הכביש הוא $35\,\text{m}$, ומקדם החיכוך הקינטי בין הצמיגים לכביש היבש הוא 0.7.

א. חשבו את מהירות המכונית בתחילת הבלימה, ב־m/s וב־km/h. המהירות המותרת בכביש היא $70\,\text{km/h}$. האם הנהג חרג ממנה?

ב. מה העבודה של כוח החיכוך בזמן הבלימה?

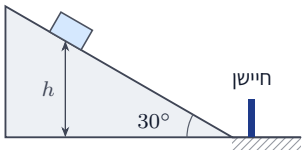
ג. האם התשובה לסעיף א תלויה במסת המכונית? הסבירו. (חשיבה)

ד. נהג אחר בולם באותו כביש, והמהירות שלו כפולה מזו שמצאתם בסעיף א. מה יהיה אורך סימני הבלימה שלו?

ה. מה יהיה אורך סימני הבלימה במהירות של סעיף א על כביש רטוב, שבו מקדם החיכוך הקינטי הוא 0.4?

ו. המכונית בולמת במהירות של סעיף א בירידה, על כביש יבש שמשופע בזווית θ שמקיימת $\sin\theta = 0.1$. מה יהיה אורך סימני הבלימה? (הניחו $\cos\theta \approx 1$.)

שאלה 4



בניסוי במעבדה משחררים גוש קטן ממנוחה על מסילה משופעת בזווית $\theta = 30°$ לאופק, מגבהים שונים h מעל תחתית המסילה. חיישן בתחתית המסילה מודד את מהירות הגוש v. מקדם החיכוך הקינטי בין הגוש למסילה, μ_k, אינו ידוע. אלה התוצאות:

h (cm)	50	40	30	20	10
v (m/s)	2.87	2.58	2.22	1.82	1.29

א. הראו בעזרת שיקולי אנרגיה שמתקיים $v^2 = 2gh\left(1 - \dfrac{\mu_k}{\tan\theta}\right)$.

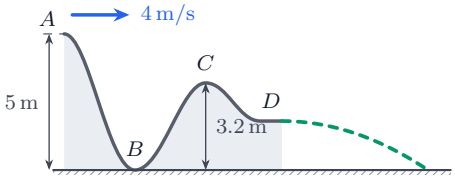
ב. הוסיפו לטבלה שורה של v^2, וסרטטו גרף של v^2 כפונקציה של h.

ג. מצאו את שיפוע הגרף, ובעזרתו את מקדם החיכוך הקינטי.

ד. סרטטו באותה מערכת צירים את הגרף שהיה מתקבל אילו המסילה הייתה חלקה.

ה. מה צריכה להיות זווית המסילה כדי שגוש שקיבל דחיפה קלה ינוע במורד במהירות קבועה? נמקו בעזרת שיקולי אנרגיה.

שאלה 5



גולש סקייטבורד שמסתו (עם הלוח) $50\,\text{kg}$ נע על מסלול חלק כמו באיור. בנקודה A, בגובה $5\,\text{m}$ מעל הקרקע, מהירותו $4\,\text{m/s}$. הנקודה B היא הנמוכה ביותר במסלול, בגובה הקרקע, ו־C היא ראש גבעה בגובה $3.2\,\text{m}$. המסלול נגמר בקטע אופקי D בגובה $1.8\,\text{m}$, ומשם הגולש עף באוויר עד שהוא נוחת על הקרקע. הגולש לא מתנתק מהמסלול לפני D, והאויר אינו בקנה מידה.

א. חשבו את מהירות הגולש בנקודות B ו־C.

ב. אילו המסלול אחרי B היה עולה גבוה מספיק, לאיזה גובה מרבי היה הגולש מגיע?

ג. חשבו את מהירות הגולש בנקודה D.

ד. כמה זמן הגולש באוויר, ובאיזה מרחק אופקי מקצה המסלול הוא נוחת?

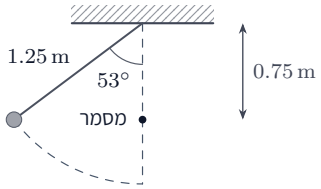
© אור בן שטרית · אינסוף

ה. באיזו מהירות הגולש פוגע בקרקע? פתרו בשתי דרכים: בעזרת שיקולי אנרגיה, ובעזרת פירוק המהירות לרכיבים.

ו. אילו הגולש היה מתחיל ממנוחה בנקודה A, מה הייתה מהירותו בנקודה C?

שאלה 6

מטוטלת עשויה מכדור קטן שמסתו $0.4\,\text{kg}$, התלוי בחוט שאורכו $1.25\,\text{m}$. מסיטים את הכדור עד שהחוט יוצר זווית של 53° עם האנך, ומשחררים אותו ממנוחה. ($\cos 53^\circ = 0.6$.)



א. חשבו את מהירות הכדור בנקודה הנמוכה ביותר.

ב. מה מהירות הכדור בדרכו מטה, כשהחוט יוצר זווית של 37° עם האנך?

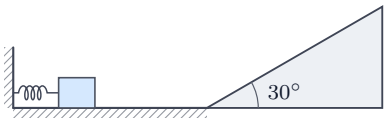
ג. הסבירו מדוע מתיחות החוט אינה עושה עבודה על הכדור, אף שגודלה משתנה כל הזמן. חשיבה

ד. מסמר קבוע במרחק $0.75\,\text{m}$ מתחת לנקודת התלייה, בדיוק על האנך. כשהכדור עובר בנקודה הנמוכה ביותר, החוט נתפס במסמר, והכדור ממשיך במעגל קטן יותר סביב המסמר. לאיזה גובה מעל הנקודה הנמוכה ביותר יעלה הכדור? מה הזווית בין החוט (מהמסמר לכדור) לבין האנך כשהכדור בגובה המרבי?

ה. חוזרים על הניסוי עם כדור שמסתו כפולה. האם התשובות לסעיפים א ו־ד ישתנו? הסבירו. חשיבה

שאלה 7

קפיץ אופקי, שקבוע הקפיץ שלו $800\,\text{N/m}$, מחובר לקיר. מצמידים אל הקפיץ גוש שמסתו $0.2\,\text{kg}$, מכווצים את הקפיץ ב־$10\,\text{cm}$ ומשחררים את הגוש. הרצפה חלקה, ובהמשכה יש מדרון ארוך בזווית של 30°. המעבר מהרצפה למדרון עגול, והוא לא משנה את גודל המהירות.



א. כמה אנרגיה אגורה בקפיץ המכווץ?

ב. מה מהירות הגוש אחרי שהוא עוזב את הקפיץ?

ג. המדרון חלק. איזה מרחק עובר הגוש במעלה המדרון עד שהוא נעצר לרגע?

ד. בכמה צריך לכווץ את הקפיץ כדי שהגוש יעלה במדרון החלק לגובה של $3\,\text{m}$?

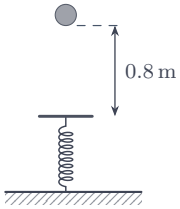
ה. מחליפים את המדרון במדרון מחוספס באותה זווית. מקדם החיכוך הקינטי בינו לבין הגוש הוא 0.25, ומקדם החיכוך הסטטי הוא 0.3. שוב מכווצים את הקפיץ ב־$10\,\text{cm}$ ומשחררים. איזה מרחק עובר הגוש במעלה המדרון?

ו. הראו שהגוש לא יישאר במנוחה במקום שבו נעצר, ומצאו באיזו מהירות יחזור לתחתית המדרון.

ז. מה יהיה הכיווץ המרבי של הקפיץ כשהגוש יחזור אליו?

שאלה 8 אתגר

כדור שמסתו $0.5\,\text{kg}$ נופל ממנוחה מגובה של $0.8\,\text{m}$ מעל הקצה העליון של קפיץ אנכי. הקצה התחתון של הקפיץ מחובר לרצפה, וקבוע הקפיץ הוא $500\,\text{N/m}$. הכדור נוחת על הקפיץ ומכווץ אותו. הזניחו את מסת הקפיץ, והתייחסו לכדור כאל גוף נקודתי.



א. באיזו מהירות הכדור פוגע בקפיץ?

ב. מהו הכיווץ המרבי של הקפיץ?

ג. תלמיד טוען שמהירות הכדור מרבית ברגע שהוא נוגע בקפיץ. הסבירו מדוע הטענה שגויה. חשיבה

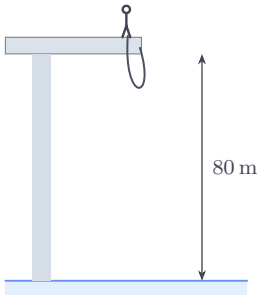
© אור בן שטרית · אינסוף

ד. מצאו את המקום שבו מהירות הכדור מרבית, ואת המהירות המרבית.

ה. מה התאוצה של הכדור (גודל וכיוון) בנקודה הנמוכה ביותר?

ו. סרטטו באותה מערכת צירים גרפים איכותיים של E_k, U_g ו־U_{el} כפונקציה של הדרך שהכדור עבר, מרגע השחרור ועד הכיווץ המרבי. בחרו את רמת האפס של U_g בנקודה הנמוכה ביותר.

שאלה 9 אתגר



קופצת באנג׳י שמסתה $60\,\text{kg}$ מתחילה ליפול ממנוחה מגשר שגובהו $80\,\text{m}$ מעל פני הנהר. החבל האלסטי קשור לגשר. אורכו הרפוי $20\,\text{m}$, וכשהוא מתוח הוא מתנהג כמו קפיץ שקבוע הקפיץ שלו $150\,\text{N/m}$. הזניחו את מסת החבל, והתייחסו לקופצת כאל גוף נקודתי.

א. מה מהירותה ברגע שהחבל מתחיל להימתח?

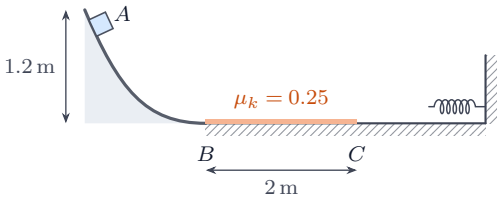
ב. מהי ההתארכות המרבית של החבל? באיזה גובה מעל הנהר נמצאת הקופצת בנקודה הנמוכה ביותר?

ג. באיזה מקום מהירותה מרבית, ומהי המהירות המרבית?

ד. מהו הכוח המרבי שהחבל מפעיל עליה? פי כמה הוא גדול ממשקלה?

ה. מהי המסה המרבית של אדם שיכול לקפוץ עם החבל הזה בלי לגעת במים? מה אפשר ללמוד מהתשובה על הבטיחות של החבל?

שאלה 10



גוש קטן שמסתו $0.5\,\text{kg}$ משוחרר ממנוחה בנקודה A, בגובה $1.2\,\text{m}$, על מסלול מעוקל חלק. בתחתית המסלול, בנקודה B, מתחיל משטח אופקי. בין B ל־C המשטח מחוספס: זו רצועה באורך $2\,\text{m}$, ומקדם החיכוך הקינטי בינה לבין הגוש הוא 0.25. שאר המשטח חלק. אחרי C מחובר לקיר קפיץ, שקבוע הקפיץ שלו $400\,\text{N/m}$.

א. מה האנרגיה המכנית של הגוש ב־A? בחרו את רמת האפס של הגובה במשטח האופקי.

ב. מה מהירות הגוש כשהוא יוצא מהרצועה, ב־C?

ג. מהו הכיווץ המרבי של הקפיץ?

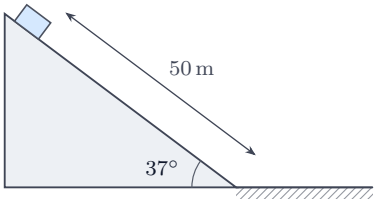
ד. הקפיץ הודף את הגוש חזרה, והגוש עובר שוב ברצועה. לאיזה גובה יעלה במסלול המעוקל?

ה. בסוף הגוש נעצר. היכן?

ו. כמה אנרגיה פנימית נוצרה בסך הכול?

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 11



גולשת סקי שמסתה $70\,\mathrm{kg}$ מתחילה ממנוחה בראש מדרון ישר שאורכו $50\,\mathrm{m}$, הנטוי בזווית של 37° לאופק. בתחתית המדרון מהירותה $20\,\mathrm{m/s}$.

א. מה גובה ראש המדרון מעל תחתיתו? כמה אנרגיה מכנית הפכה לאנרגיה פנימית בזמן הירידה?

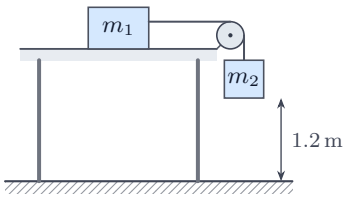
ב. חשבו את מקדם החיכוך הקינטי בין המגלשיים לשלג.

ג. מתחתית המדרון היא ממשיכה על שלג אופקי, עם אותו מקדם חיכוך. המעבר מהמדרון לשלג האופקי עגול, והוא לא משנה את גודל מהירותה. איזה מרחק תעבור עד שתיעצר?

ד. מה ההספק הממוצע של כוח החיכוך בזמן הירידה במדרון?

ה. חבר שלה רוצה לעלות במדרון בהחלקה בלבד, בלי להיעזר במקלות. באיזו מהירות מזערית עליו להתחיל בתחתית המדרון כדי להגיע לראשו? מקדם החיכוך זהה.

שאלה 12



גוש שמסתו $m_1 = 3\,\mathrm{kg}$ מונח על שולחן אופקי, ומקדם החיכוך הקינטי בינו לבין השולחן הוא 0.2. חוט שעובר על גלגלת בקצה השולחן מחבר אותו למשקולת תלויה שמסתה $m_2 = 2\,\mathrm{kg}$. משחררים את המערכת ממנוחה, והמשקולת יורדת $1.2\,\mathrm{m}$ עד שהיא פוגעת ברצפה.

א. כתבו מאזן אנרגיה לכל המערכת, ומצאו את מהירות המשקולת רגע לפני שהיא פוגעת ברצפה.

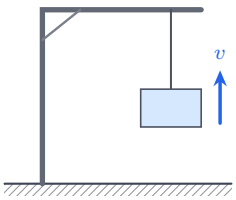
ב. כתבו משפט עבודה–אנרגיה למשקולת בלבד, ומצאו את מתיחות החוט.

ג. חשבו את העבודה של המתיחות על כל אחד מהגופים, ואת העבודה הכוללת שלה על המערכת.

ד. הראו שהעבודה של המתיחות על הגוש m_1 שווה לסכום של השינוי באנרגיה הקינטית שלו ושל האנרגיה הפנימית שנוצרה בחיכוך.

ה. אחרי שהמשקולת פוגעת ברצפה, הגוש ממשיך להחליק על השולחן (השולחן ארוך מספיק). איזה מרחק נוסף יעבור הגוש עד שייעצר?

שאלה 13



מנוף מרים מכולה שמסתה $500\,\mathrm{kg}$ במהירות קבועה של $0.8\,\mathrm{m/s}$ לגובה $24\,\mathrm{m}$. נצילות המנוע של המנוף היא 80%.

א. מה ההספק המועיל של המנוף? בטאו אותו גם בכוחות סוס ($1\,\mathrm{hp} \approx 746\,\mathrm{W}$).

ב. מה ההספק שהמנוע צורך מרשת החשמל?

ג. כמה זמן נמשכת ההרמה, וכמה אנרגיה חשמלית נצרכת? בטאו את האנרגיה גם בקילוואט־שעה, ומצאו את עלות ההרמה כשמחיר קילוואט־שעה הוא 0.6 ש״ח.

ד. ההספק המרבי שהמנוע יכול לצרוך הוא $7.5\,\mathrm{kW}$. מהי המהירות הקבועה המרבית שבה המנוף יכול להרים את המכולה?

ה. בהרמה אחרת המנוף מאיץ את המכולה ממנוחה כלפי מעלה, בתאוצה קבועה של $0.5\,\mathrm{m/s^2}$. מה ההספק המועיל שלו ברגע שמהירות המכולה $0.8\,\mathrm{m/s}$, כשהיא עדיין מאיצה?

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 14

למכונית שמסתה $1200\,\text{kg}$ יש מנוע שההספק המרבי שלו (בגלגלים) הוא $60\,\text{kW}$. כוחות ההתנגדות (התנגדות האוויר וחיכוך הגלגול) שווים יחד ל־$1500\,\text{N}$. הניחו שהם קבועים ולא תלויים במהירות.

א. מהי המהירות המרבית של המכונית בכביש אופקי, ב־m/s וב־km/h?

ב. מהי המהירות המרבית בעלייה בזווית θ שמקיימת $\sin\theta = 0.1$?

ג. המכונית נוסעת בכביש אופקי ב־$20\,\text{m/s}$, והמנוע מפיק את ההספק המרבי. מה התאוצה של המכונית?

ד. הסבירו מדוע כשהמכונית מאיצה בהספק המרבי, התאוצה שלה קטנה כל הזמן. (חשיבה)

ה. המכונית מטפסת באותה עלייה, במהירות המרבית שמצאתם בסעיף ב, עד ראש גבעה שגובהה $50\,\text{m}$. כמה זמן נמשך הטיפוס? כמה אנרגיה השקיע המנוע, ולאן היא הלכה?

שאלה 15 (מכינה)

גוף שמסתו $0.5\,\text{kg}$ נע לאורך ציר x. האנרגיה הפוטנציאלית שלו היא $U(x) = x^3 - 6x^2 + 9x$, כאשר U בג׳ול ו־x במטרים. כוחות אחרים לא עושים עליו עבודה.

א. מצאו את הכוח $F(x)$ שפועל על הגוף.

ב. מצאו את נקודות שיווי המשקל, וקבעו לכל אחת מהן אם היא יציבה. סרטטו את $U(x)$ בתחום $-0.5 \le x \le 4.5$.

ג. משחררים את הגוף ממנוחה ב־$x = 2\,\text{m}$. בין אילו נקודות ינוע?

ד. מהי המהירות המרבית של הגוף בתנועה זו, והיכן?

ה. מה יקרה לגוף אם ישחררו אותו ממנוחה ב־$x = 0.5\,\text{m}$? (חשיבה)

ו. הגוף נמצא במנוחה בנקודת שיווי המשקל היציבה. מהי המהירות המזערית שצריך לתת לו כדי שיתרחק ממנה ולא יחזור? באיזה כיוון?

© אור בן שטרית · אינסוף

תשובות סופיות

התשובות מעוגלות. כשלא נאמר אחרת, הכיוון החיובי הוא כיוון התנועה.

שאלה 1

א. משקל, כוח נורמלי, חיכוך קינטי וכוח החבל.
$N = 210\,\text{N}$ ו־$f = 63\,\text{N}$.
$W_F = 960\,\text{J}$, $W_f = -504\,\text{J}$, $W_{mg} = W_N = 0$.

ב. $v \approx 5.51\,\text{m/s}$, ולכן $456\,\text{J}$.

ג. $a = 1.9\,\text{m/s}^2$, ולכן $t \approx 2.90\,\text{s}$.

ד. ממוצע: $\approx 331\,\text{W}$. בסוף הגרירה: $\approx 662\,\text{W}$.

ה. $W_F = 960\,\text{J}$, אבל $E_k = 456\,\text{J}$. ההפרש, $504\,\text{J}$, הפך לאנרגיה פנימית בגלל החיכוך (הארגז והרצפה התחממו).

שאלה 2

א. $12\,\text{J}$ ו־$21\,\text{J}$.

ב. $\sqrt{21} \approx 4.58\,\text{m/s}$.

ג. ב־$x = 5\,\text{m}$: עד שם הכוח בכיוון התנועה, ואחר כך נגדה.

ד. $\sqrt{17} \approx 4.12\,\text{m/s}$.

ה. ב־$x = 11.25\,\text{m}$.

ו. $1.5\,\text{m/s}^2$ (שם $F = 3\,\text{N}$).

שאלה 3

א. $80\,\text{km/h} \approx 22.1\,\text{m/s}$. כן, הוא חרג מהמהירות המותרת.

ב. $-245\,000\,\text{J} = -245\,\text{kJ}$.

ג. לא. $\mu_k mg\,d = \frac{1}{2}mv^2$, והמסה מצטמצמת.

ד. $140\,\text{m}$ (פי 4).

ה. $\approx 61.3\,\text{m}$.

ו. $d = \dfrac{v^2}{2g(\mu_k - \sin\theta)}$, לפי $\approx 40.8\,\text{m}$.

שאלה 4

א. $mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \mu_k mg\cos\theta \cdot \dfrac{h}{\sin\theta}$.

ב. $v^2 \approx 1.66,\ 3.31,\ 4.93,\ 6.66,\ 8.24\,\text{m}^2/\text{s}^2$: קו ישר שעובר בראשית.

ג. שיפוע $\approx 16.5\,\text{m/s}^2$ (כש־h במטרים), ולכן $\mu_k \approx 0.10$. כל תשובה בין 0.09 ל־0.11 סבירה.

ד. קו ישר דרך הראשית, בשיפוע $2g = 20\,\text{m/s}^2$.

ה. $\tan\theta = \mu_k$, כלומר $\theta \approx 5.7°$: בכל קטע העבודה של הכובד שווה בגודלה לעבודה של החיכוך, והאנרגיה הקינטית לא משתנה.

שאלה 5

א. $v_B \approx 10.8\,\text{m/s}$, $v_C \approx 7.21\,\text{m/s}$.

ב. $5.8\,\text{m}$.

ג. $\approx 8.94\,\text{m/s}$.

ד. $0.6\,\text{s}$, ו־$\approx 5.37\,\text{m}$.

ה. $\approx 10.8\,\text{m/s}$ בשתי הדרכים ($v^2 = 116\,\text{m}^2/\text{s}^2$).

ו. $6\,\text{m/s}$.

שאלה 6

א. $\sqrt{10} \approx 3.16\,\text{m/s}$.

ב. $\sqrt{5} \approx 2.24\,\text{m/s}$.

ג. המתיחות ניצבת למהירות בכל רגע, ולכן העבודה שלה אפס בכל קטע קטן של המסלול.

ד. $0.5\,\text{m}$, הגובה שממנו שוחרר. זה בדיוק גובה המסמר, ולכן החוט אופקי: $90°$ עם האנך.

ה. לא. המהירות (א), הגובה והזווית (ד) לא תלויים במסה, כי היא מצטמצמת. האנרגיות ומתיחות החוט כפולות.

שאלה 7

א. $4\,\text{J}$.

ב. $\sqrt{40} \approx 6.32\,\text{m/s}$.

ג. $4\,\text{m}$ (לגובה $2\,\text{m}$).

ד. $\approx 12.2\,\text{cm}$.

ה. $\approx 2.79\,\text{m}$.

ו. $\mu_s = 0.3 > \tan 30° \approx 0.58$, ולכן הגוש מחליק חזרה. בתחתית מהירותו $\approx 3.98\,\text{m/s}$.

ז. $\approx 6.3\,\text{cm}$.

שאלה 8

א. $4\,\text{m/s}$.

ב. $\approx 13.7\,\text{cm}$.

ג. מיד אחרי המגע כוח הקפיץ עוד קטן מהמשקל. השקול עדיין כלפי מטה, והכדור ממשיך להאיץ.

ד. $1\,\text{cm}$ מתחת לנקודת המגע (שם $kx = mg$), $\approx 4.01\,\text{m/s}$.

ה. $\approx 127\,\text{m/s}^2$, כלפי מעלה.

ו. U_g יורדת בקו ישר לאורך כל הדרך. עד המגע $U_{el} = 0$ ו־E_k עולה בקו ישר. אחרי המגע U_{el} עולה כפרבולה, ו־E_k עולה מעט ואז יורדת לאפס. הסכום קבוע.

שאלה 9

א. $20\,\text{m/s}$.

ב. $17.3\,\text{m}$. הקופצת נמצאת $42.7\,\text{m}$ מעל הנהר.

ג. כשהתארכות החבל $4\,\text{m}$ ($24\,\text{m}$ מתחת לגשר): $21.0\,\text{m/s}$.

ד. $2590\,\text{N}$, פי 4.3 ממשקלה.

ה. $337.5\,\text{kg}$, הרבה יותר מהמסה של כל אדם: לחבל יש מרווח ביטחון גדול.

שאלה 10

א. $6\,\text{J}$.

ב. $3.74\,\text{m/s}$ (נשארו $3.5\,\text{J}$).

ג. $13.2\,\text{cm}$.

ד. $0.2\,\text{m}$.

ה. על הרצועה, $0.8\,\text{m}$ מ־B. הדרך הכוללת על הרצועה היא $4.8\,\text{m}$.

ו. $6\,\text{J}$: כל האנרגיה המכנית ההתחלתית.

שאלה 11

א. $30\,\text{m}$. $7000\,\text{J}$.

ב. 0.25.

ג. $80\,\text{m}$.

ד. $-1400\,\text{W}$ (הירידה נמשכת $5\,\text{s}$).

ה. $28.3\,\text{m/s}$.

שאלה 12

א. $m_2gh = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 + \mu_k m_1 g h$, ולכן $v \approx 2.59\,\text{m/s}$.

ב. $14.4\,\text{N}$.

ג. על m_1: $+17.28\,\text{J}$. על m_2: $-17.28\,\text{J}$. סך הכול: אפס.

ד. $10.08\,\text{J} + 7.2\,\text{J} = 17.28\,\text{J}$.

ה. $1.68\,\text{m}$.

שאלה 13

א. $4000\,\text{W}$, כלומר $5.4\,\text{hp}$.

ב. $5000\,\text{W}$.

ג. $30\,\text{s}$. $150\,\text{kJ} \approx 0.042\,\text{kWh}$, ועלות של 0.025 ש״ח (שתי אגורות וחצי).

ד. $1.2\,\text{m/s}$.

ה. $4200\,\text{W}$ (כוח המנוף $5250\,\text{N}$).

שאלה 14

א. $40\,\text{m/s} = 144\,\text{km/h}$.

ב. $22.2\,\text{m/s} = 80\,\text{km/h}$.

ג. $1.25\,\text{m/s}^2$.

ד. בהספק קבוע כוח המנוע הוא $F = \frac{P}{v}$. כשהמהירות גדלה הכוח קטן, וההתנגדות לא. לכן הכוח השקול והתאוצה קטנים, עד שבמהירות המרבית הם מתאפסים.

ה. $22.5\,\text{s}$. $1.35\,\text{MJ}$: $600\,\text{kJ}$ הפכו לאנרגיה פוטנציאלית כובדית, ו־$750\,\text{kJ}$ הלכו לעבודה נגד כוחות ההתנגדות.

שאלה 15

א. $F(x) = -3x^2 + 12x - 9$ (בניוטון).

ב. $x = 1\,\text{m}$: מקסימום של U ($4\,\text{J}$), שיווי משקל לא יציב. $x = 3\,\text{m}$: מינימום ($0\,\text{J}$), שיווי משקל יציב. הגרף: $U = x(x-3)^2$, עם $U(-0.5) \approx -6.1\,\text{J}$ ו־$U(4.5) \approx 10.1\,\text{J}$.

ג. בין $x = 2\,\text{m}$ ל־$x = 2 + \sqrt{3} \approx 3.73\,\text{m}$.

ד. ב־$x = 3\,\text{m}$: $\sqrt{8} \approx 2.83\,\text{m/s}$.

ה. הכוח שם בכיוון השלילי, ו־U יורדת בלי גבול כש־x קטן. הגוף מתרחק בכיוון השלילי ולא חוזר.

ו. כל מהירות גדולה מ־$4\,\text{m/s}$, בכיוון השלילי של x: כך הגוף עובר את ה״גבעה״ שב־$x = 1\,\text{m}$. ב־$4\,\text{m/s}$ בדיוק הוא רק מגיע לראש הגבעה. בכיוון החיובי U עולה בלי גבול.

© 2026 אור בן שטרית · אינסוף. כל הזכויות שמורות.
מותר להדפיס ולהפיץ את הקובץ בשלמותו ובחינם לצורכי לימוד. אסור להעתיק ממנו תרגילים או איורים לחומרים אחרים, לשנות אותו או להשתמש בו למטרות מסחריות בלי אישור בכתב.
הקובץ נכתב בידי אינסוף ואינו פרסום רשמי של משרד החינוך או של גוף אחר.