פתרון הבחינה
בפיזיקה – מכניקה

קיץ תשפ"ו, 2026, שאלון 36361:

מוגש ע"י צוות מורי הפיזיקה של "יואל גבע"

<u>הערות</u>:

1. התשובות המוצגות כאן הן בגדר הצעה לפתרון השאלון.
2. תיתכנה תשובות נוספות, שאינן מוזכרות כאן, לחלק מהשאלות.

הנבחנים נדרשו לענות על שלוש מהשאלות 1-6

שאלה מספר 1:

סעיף א׳

גודל המהירות שווה בקירוב טוב למהירות הממוצעת בין שתי נקודות המדידה הסמוכות לרגע t=0.08s.

את כיוון המהירות נקבע מסימן המהירות שנחשב ביחס לציר הנתון שכיוונו החיובי מעלה.

$$v(t=0.08s)=\frac{\Delta y}{\Delta t}=\frac{0.29-0.11}{0.12-0.04}\Rightarrow \boxed{v(t=0.08s)=2.25\frac{m}{s}}$$

וכיוונה כלפי מעלה

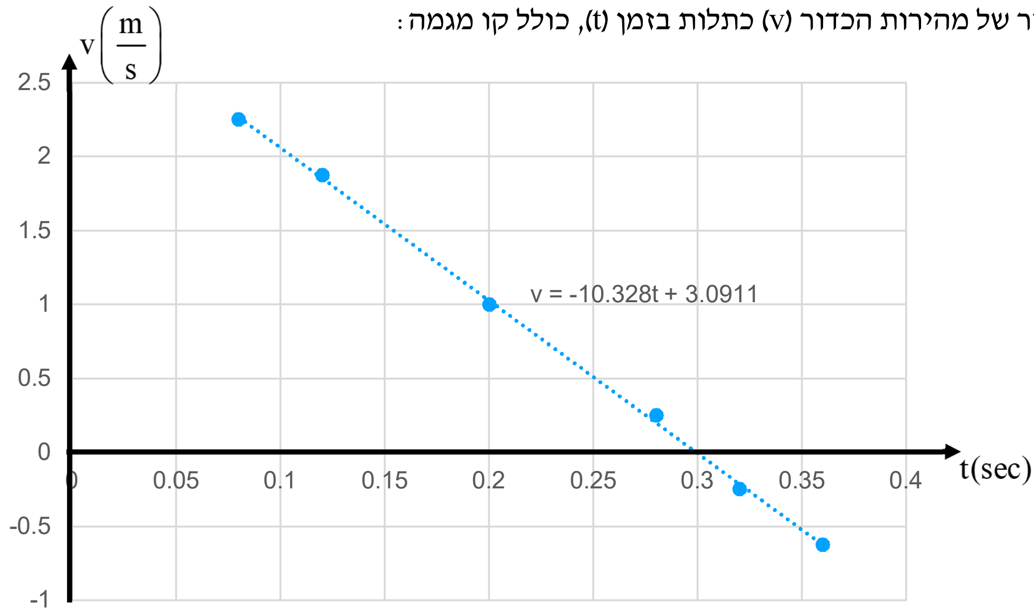
סעיף ב׳

טבלה ב

t(s)	0.08	0.12	0.20	0.28	0.32	0.36
y(m)	2.250	1.875	1.000	0.250	-0.250	-0.625

סעיף ג׳

דיאגרמת פיזור של מהירות הכדור (v) כתלות בזמן (t), כולל קו מגמה:



סעיף ד'

(1)

מכיוון שהתנגדות האוויר ניתנת להזנחה, מדובר בנפילה חופשית – תנועת הכדור תחת השפעת כוח הכובד של כדה"א בלבד.

נשתמש במשוואות לתנועה שוות תאוצה על מנת לפתח קשר תאורטי בין המשתנים t ו-v :

$$v = v_0 + at \Rightarrow \boxed{v = at + v_0}$$

נשווה את המקדמים מהקשר התאורטי למקדמים המתאימים המתקבלים מהגרף.

המהירות ההתחלתית, היא המקדם החופשי בקשר הלינארי הנ"ל ובגרף באה לידי ביטוי בנקודת החיתוך עם ציר המהירות.

מכאן : $\boxed{v_0 = 3.1\frac{m}{s}}$ בקירוב.

(2)

לפי הכתוב לעיל, תאוצת הכדור שווה לשיפוע הגרף : $\boxed{|a| = 10.33\frac{m}{s^2}}$ וכיוונה **כלפי מטה**.

כיוון התאוצה בא לידי ביטוי בגרף מהירות-זמן בסימן המקדם של t שהינו שלילי

(הפוך לכיוון החיובי של ציר המקום המכוון מעלה).

סעיף ה'

תרשים 1 מתאר נכון את מהירות הכדור.

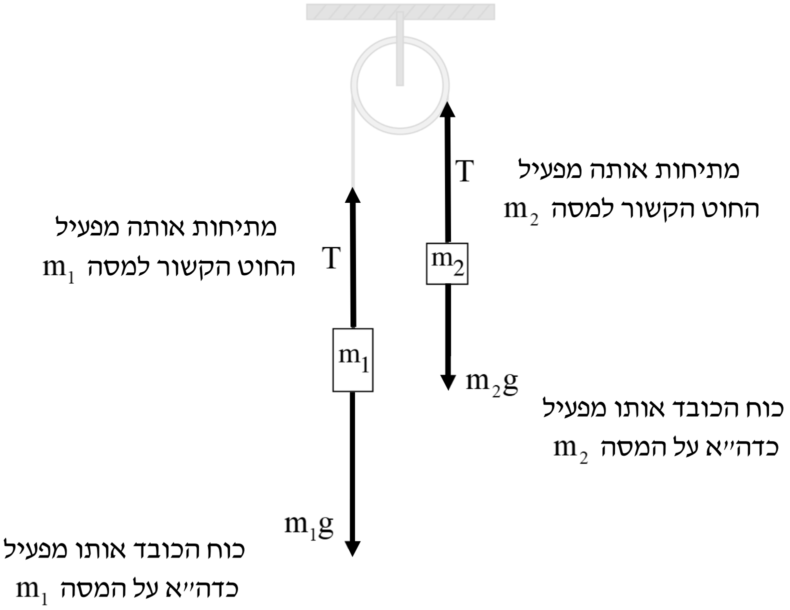
תאוצת הכדור מתבטאת בשיפוע גרף מהירות-זמן.

עד לשיא הגובה, התנגדות האוויר בכיוון כוח הכובד, לכן ומחוק II של ניוטון התאוצה השקולה של הכדור גדולה יותר מטַה.

בתנועת הכדור משיא הגובה מטה, התנגדות האוויר פועלת כלפי מעלה – בכיוון מנוגד לכוח הכובד, ולכן גודל תאוצת הכדור קטן יותר. בכל שלבי התנועה תאוצת הכדור השקולה מכוונת מטה, הדבר מתבטא בגרף בשיפוע שלילי בכל שלבי התנועה.

שאלה מספר 2:

סעיף א'



סעיף ב'

(1) יש לפסול את ביטוי (i) על פי חוק II של ניוטון. על כל אחד מהגופים פועל כוח הכובד וכן כוח מתיחות המנוגד לכוח הכובד.
לכן תאוצת כל אחד מהגופים (השווה בגודלה לתאוצת המערכת) לא יותר גדולה מתאוצת הכובד g.
נתון בשאלה כי $m_2 < m_1$ לכן הביטוי לתאוצה במקרה זה גדול מ-g דבר הסותר את הנכתב לעיל.

(2) יש לפסול את ביטוי (ii) מפני שהיחידות של הביטוי הפיזיקלי אינן יחידות של תאוצה. כי המקדם $\frac{m_1}{m_2^2}$ אינו מספר טהור.

סעיף ג'

מתרשימי הכוחות על כל אחד מהגופים וחוק II של ניוטון: $\Sigma F = ma$.

ומיחס המסות, m_1 מאיצה מטה ו- m_2 מאיצה מעלה.

$$\begin{cases} T - m_2g = m_2a \\ m_1g - T = m_1a \end{cases} \Rightarrow m_1g - m_2g = m_1a + m_2a \Rightarrow (m_1 - m_2)g = (m_1 + m_2)a \Rightarrow \boxed{a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot g}$$

סעיף ד'

מניתוח הכוחות בסעיף קודם תאוצת המסה קבועה.

נשתמש במשוואות לתנועה שוות תאוצה: $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$.

נקבע ציר מקום שראשיתו המיקום ההתחלתי של m_1 וכיוונו החיובי מטה. לפיכך, משוואת התנועה: $x = \frac{1}{2}at^2$.

נציב את ערכי המקום והזמן ונקבל: $a = 2\frac{m}{s^2}$.

נשווה לביטוי שפיתחנו בסעיף הקודם, נציב $g = 10\frac{m}{s^2}$:

$$2 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot 10 \Rightarrow m_1 + m_2 = 5m_1 - 5m_2 \Rightarrow 6m_2 = 4m_1 \Rightarrow \boxed{\frac{m_1}{m_2} = \frac{3}{2}}$$

סעיף ה'

שתי המסות מחוברות בחוט שאורכו קבוע ומסתו ניתנת להזנחה.

מכך בפרקי זמן שווים גדלי העתקיהם שווים. ולכן בכל רגע גודל מהירותם זהה. ולכן קצב שינוי המהירות, כלומר גדלי תאוצותיהם שווים.

שאלה מספר 3:

סעיף א'

המסילה חלקה ולכן יש שימור אנרגיה :

$$E_1 = E_E$$

$$mgH = mgh + \frac{1}{2}mv_E^2$$

$$H = h + \frac{V_E^2}{2g}$$

גובה נקודה A מעל הקרקע היא $$H = 0.3 + \frac{4^2}{2 \cdot 10} = 1.1m$$

סעיף ב'

בתרשים 3 מתאר נכון את כיוון וקטור התאוצה של הגוף בעברו בנקודה C. נימוק: לפי חוק שני של ניוטון התאוצה בכיוון הכח השקול. השקול של mg המציע אנכית מטה, יחד עם הנורמל המצביע בכיוון הרדיאלי כלפי 0 יצביע בניהם.

סעיף ג'

משימור אנרגיה נמצא את גודל מהירות הפגיעה בקרקע:

$$E_A = E_f$$

$$mgH = \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$V_f = \sqrt{2gH}$$

גודל מהירות הפגיעה בקרקע :

$$V_A = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1.1} = \sqrt{22}\,\frac{m}{s} = 4.69\,\frac{m}{s}$$

רכיב אופקי של המהירות ההתחלתית :

$$V_{OX} = V_E \cdot \cos\alpha$$

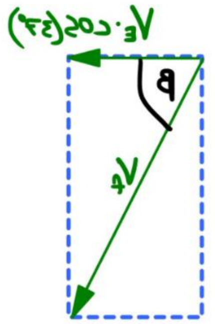
$$V_{OX} = 4 \cdot \cos(37°) = 3.195\,\frac{m}{s}$$

בכיוון אופקי יש התמדה .

בכיוון האופקי י התמדה ולכן גם ברגע הפגיעה בקרקע זה הרכיב האופקי.

נסמן β זווית הפגיעה מתחת לאופק.

נחשב:



$$\cos(\beta) = \frac{V_E \cdot \cos(\alpha)}{V_f}$$

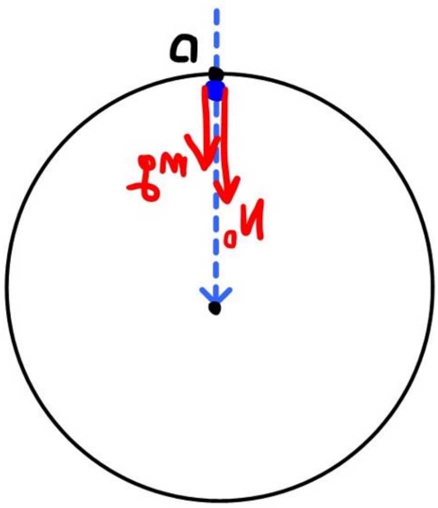
$$\cos(\beta) = \frac{3.195}{4.69}$$

$$\beta = 47.07°$$

הגוף יפגע בקרקע במהירות שגדלה $4.69\frac{m}{s}$ בכיוון $47.07°$ מתחת לאופק.

סעיף ד'

(1) תרשים כוחות בנקודה D:



(2) במקרה הגבול נורמל נקודה D מתאפס רגעית ל $N_D = 0$

משוואת חוק שני של ניוטון בציר רציונלי

בנקודה D: $\Sigma F_R = ma_R$

$$N_D + mg = m\frac{V_D^2}{r}$$

נציב מקרה גבולי $N_D = 0$: $mg = m\frac{V_D^2}{r}$

$$V_D^2 = gr$$

נציב תוצאה זו במשוואת שימור האנרגיה:

$$mgH_1 = mg2r + \frac{1}{2}mv_D^2$$

$$H_1 = 2r + \frac{V_D^2}{2g}$$

נציב $V_D^2 = gr$:

$$H_1 = 2r + \frac{gr}{2g}$$

$$H_1 = 2.5 \cdot r$$

$$H_1 = 2.5 \cdot 0.1$$

הגובה המינימלי ממנו יש לשחרר את הגוף כדי שלא יתנתק מהמסילה :

$$H_1 = 0.25m$$

סעיף ה׳

הגובה המירבי מעל הקרקע שאליו הגיע גוף במהלך תנועתו , אחרי הנקדה E , קטן מ- H . נימוק : בשיא הגובה בזריקה שופעת , חלק מהאנרגיה המכנית הכוללת הוא בצורת אנרגיה קינטית , זאת בגלל הרכיב האופקי של מהירות שלא מתאפס . לכן האנרגיה הפוטנציאלית כבדית בנקודה זו קטנה יותר מאר בנקודה A בגובה H . שם הגוף שוחרר ממנוחה ולכן כל האנרגיה מכנית היא אנרגיה פונטציאלית כבדית .

שאלה מספר 4:

סעיף א'

כאשר מישור המסילה חלקה מתקיים שימור :

נבחר מישור יחוס בגובה המישור BC

$$E_A = E_C$$

כאשר הגובה במהירות מתאפסת :

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$$

בשיר הגובה המהירות מתאפסת :

$$h = \frac{V_0^2}{2g}$$

גובה מירבי כאשר אין חיכוך :

$$h = \frac{4^2}{2\cdot 10} = 0.8m$$

סעיף ב'

עבודת הכוחות הלא משמרים שווה שלינויי באנרגי מכנית הכוללת : $W_f = \Delta E$

$$W_f = E_A - E_e$$

$$W_f = mg\cdot 0.8\cdot h - \frac{1}{2}mV_0^2$$

$$W_f = 0.1\cdot 10\cdot 0.8\cdot 0.8 - \frac{1}{2}\cdot 0.1\cdot 4^2 = -\frac{4}{25}[J]$$

עבודת כח החיתוך במהלך תנועת הגוף בניסוי השני מנקודה C לנקודה A ו $\underset{C\to A}{W_f} = -0.16[J]$

סעיף ג'

כח החיכוך יבצע עודה בשיעור $-0.16[J]$ גם בדרך חזור מנקודה A ולכן העבודה הכוללת של כח החיכוך בדרך הלוך ושוב :

$$W = \underset{C\to A}{W} + \underset{A\to C}{W} = -0.16 + (-0.16) = -0.32[J]$$

נציב בעבודת הכוחות הלא משמרים ונבודד מהירות V_C בנקודה C ו 11:

$$\Delta E = W$$

$$\frac{1}{2}mV_C^2 - \frac{1}{2}mV_C^2 = W$$

$$\frac{1}{2}mV_C^2 = \frac{1}{2}mV_0^2 + W$$

$$V_C^2 = \sqrt{V_0^2 + \frac{2}{m}W}$$

$$V_C^2 = \sqrt{4^2 + \frac{2}{0.1}(-0.32)}$$

גודל מהירותו של הגוף בחלפו שוב בנקודה C

$$V_C = 3.098\frac{m}{s} \approx 3.1\frac{m}{s}$$

סעיף ד'

עבודת הכוחות הלא משמרים היא סכום עבודת הכח F יחד עם עבודת כח החיכוך: $W = W_F + W_f$

עבודת הכוחות הלא משמרים:

$$W = \Delta E$$

$$W = E_{A_1} - E_C$$

$$W = mg \cdot 0.8 \cdot h + \frac{1}{2}mV_0^2 - (0 + \frac{1}{2}mV_0^2)$$

$$W = 0.8 \cdot mgh$$

$$W_F + W_f = 0.8mgh$$

עבודת כח החיכוך בניסוי השלישי זהה לעבודתו בניסוי השני כיוון שהכל F אני משנה את גודל החיכוך ונורמל וההעתקים זהים. $W_f = -0.16[J]$

נבודד את עבודת F 222 2 2

$$W_F + W_f = 0.8mgh$$

$$W = 0.8 \cdot mgh$$

עבודת הכח החיצוני F **במהלך התנועה מנקודה** C **עד לנקודה** A

$$W_F = 0.1 \cdot 10 \cdot 0.8 \cdot 0.8 - (-0.16) = 0.8[J]$$

סעיף ה'

בסעיף זה יתכנו 2 אפשרויות כתלות בערכים שונים של מקדם החיכוך, זווית השיפוע וגודל הכוח F:

1. אם הגוף מגדיל את מהירותו במישור האופקי ואז מקטין את מהירותו במעלה המישור המשופע, הגובה בו יגיע חזרה למהירות ההתחלתית הוא נמוך מA1. נימוק: כאשר הכוח F נשאר בכיוון האופקי במהלך העלייה, רכיב קטן יותר ממנו פועל בכיוון התנועה, גם הנורמל נעשה חזק יותר ולכן החיכוך גדל. מכאן נקבל תאוצה גדולה יותר נגד כיוון התנועה וידרש העתק קטן יותר לחזור למהירות ההתחלתית.

2. אם הגוף מקטין את מהירותו במישור האופקי ואז מגדיל את מהירותו במעלה המישור המשופע, הגובה בו יגיע חזרה למהירות ההתחלתית הוא גבוה מA1. נימוק: לפי משפט עבודה - אנרגיה, כדי לקבל את אותו שינוי באנרגיה הקינטית דרושה אותה עבודה כוללת. מכאן נובע שעבור כוח שקול קטן יותר המצביע בכיוון מעלה המישור נקבל שדרוש העתק גדול יותר במעלה המישור.

שאלה 5

א. לא התקיים שימור אנרגיה מכאנית.

הקליע ננעץ בגוף וזוהי התנגשות פלסטית ובהתנגשות פלסטית אין שימור אנרגיה מכאנית.

ב. אין מתקף חיצוני על הגופים במהלך ההתנגשות

ולכן יש שימור תנע $m_A v_A + m_B v_B = m_A u_A + m_B u_B$

נציב $m_A = M$, $v_A = 0$, $u_A = u_B = u$ ונקבל $M \cdot 0 + m_B v_B = (M + m_B) \cdot u$

ונבודד את u המהירות המשותפת $u = \frac{m_B v_B}{M + m_B}$

במקרה הראשון $\boxed{u = \frac{mv}{M+m}}$

במקרה השני $\boxed{u = \frac{mv}{M+2m}}$

במקרה שלישי $\boxed{u = \frac{mv}{M+0.5m}}$

ג. לפי החוק השני של ניוטון בתנועה מעגלית,

כאשר המתיחות היא רכיב הכוח הצנטריפטלי היחיד, ורדיוס הסיבוב הוא L

$$\Sigma F_r = \frac{m v^2}{r} \Rightarrow T = \frac{(M + m_B) u^2}{r} = \frac{m^2 v^2}{L \cdot (M + m_B)}$$

ונציב את המהירויות לכל מקרה

במקרה הראשון $\boxed{T = \frac{m^2 v^2}{L \cdot (M+m)}}$

במקרה השני $\boxed{T = \frac{m^2 v^2}{L \cdot (M+2m)}}$

במקרה השלישי $\boxed{T = \frac{m^2 v^2}{L \cdot (M+0.5m)}}$

ד. במקרה השלישי. בביטוי של המקרה השלישי המכנה קטן יותר ולכן המתיחות היא הגדולה ביותר מבין שלושת המקרים ולכן הסיכוי של החוט להיקרע הוא גדול יותר.

ה. לא מתקיים שימור תנע. תנע הוא וקטור ובתנועה מעגלית כיוונו משתנה לכן אינו נשמר.

שאלה 6

א. כוכב הלכת הדמיוני **ממוקם בנקודה P** .

על פי החוק הראשון של קפלר התנועה האליפטית היא ביחס לאחד ממוקדי האליפסה (לכן הכוכב אינו בנקודה O). על פי החוק השני של קפלר, במרווחי זמן שווים השטחים שווים ($S_{APB} = S_{BPC}$) ומכיוון שהקשת BC קטנה יותר מהקשת AB ניתן להסיק שהלווין מתרחק מהכוכב, בתנועתו מ- A ל- B ואז ל- C . לכן הלווין בנקודה P.

הסבר נוסף: הקשת BC קטנה מהקשת AB ומרווחי הזמן שווים, לכן מהירות הלווין בקטע BC קטנה מאשר בקטע AB . הקטנת המהירות מעידה על רכיב תאוצה שמנוגד לכיוון המהירות, התאוצה היא בכיוון הכוח השקול- לכיוון הכוכב, לכן הכוכב בנקודה P.

ב. (1) שגוי

האנרגיה הקינטית של לווין נתונה במשוואה $E_k = \frac{GMm}{2r}$ ועבור מסות שוות של שני הלווינים ורדיוסי מסלול שונים האנרגיה הקינטית שלהם אינה זהה.

(2) נכון

האנרגיה הכוללת של לווין נתונה במשוואה $E = -\frac{GMm}{2r}$ והיא הולכת וגדלה (שלילית ושואפת לאפס) ככל שהמרחק מהכוכב גדל.

(3) שגוי

כוח הכבידה הולך ופוחת ככל שהמרחק מהכוכב גדל, לפי $F = \frac{GMm}{r^2}$ לכן הכוח שפועל על הלווין שרדיוסו גדול יותר יהיה קטן יותר ולא גדול יותר.

ג. את המסה M נחשב מתוך שיפוע הגרף.

$$m g^* = \frac{GMm}{r^2} \quad \Rightarrow \quad g^* = GM\frac{1}{r^2} \quad \Rightarrow \quad \text{Slope} = G \cdot M$$

חישוב שיפוע הגרף
$$\text{Slope} = \frac{(9.5-0.0)\frac{N}{kg}}{(2.4-0.0)\cdot 10^{-14}\ \frac{1}{m^2}} = 3.958\cdot 10^{14}\ \frac{N m^2}{kg}$$

נחלק בקבוע הכבידה $G = 6.67\cdot 10^{-11}\ \frac{N m^2}{kg^2}$ ונקבל $\boxed{M = 5.935\cdot 10^{24}\ kg}$

ד. מהירות המילוט מפני הכוכב מקיימת את המשוואה

$$\frac{1}{2}m v^2 - \frac{GMm}{R} = 0 \quad \Rightarrow \quad E_{total} = 0$$ ומכאן $$\boxed{v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}}$$

ה. מכיוון שהגרף הוא עבור $r \geq R$ הנקודה המקסימלית של הגרף מתאימה לרדיוס הכוכב.

$$\frac{1}{R^2} = 2.4\cdot 10^{-14}\ \frac{1}{m^2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R = 6.45\cdot 10^{6}\ m}$$