



פתרון הבחינה

פיזיקה – מכניקה

קיץ תשפ"ה, 2025, שאלון 36361
מוגש ע"י צוות מורי הפיזיקה של "יואל גבע"

הערות:

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 1

א.

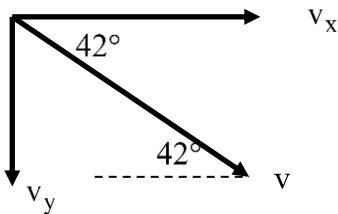
בציר האופקי הכידון נע בתנועה שוות מהירות מאחר ואין אף רכיב כוח בכיוון האופקי.

בציר האנכי הכידון נע בנפילה חופשית, המתחילה ממנוחה בציר זה.

ב.

זווית הפגיעה בקרקע היא זווית של 42° .

זוהי הזווית שבין הרכיב האופקי של המהירות לבין וקטור המהירות



$$v_x = v \cdot \cos 42^\circ$$

$$\text{נתון: } v_x = 74 \text{ km/h} = 20.55 \text{ m/s}$$

$$\text{מחישוב: } v = \frac{v_x}{\cos 42^\circ} = 27.66 \text{ m/s}$$

ג.

$$\text{נחשב את המהירות בציר האנכי: } v_y = v \cdot \sin 42^\circ = 18.5 \text{ m/s}$$

$$\text{מהירות זו מקיימת } v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta y \text{ כאשר } v_0 = 0 \text{ בציר האנכי ו- } a = -g = -10 \text{ m/s}^2.$$

$$\text{נקבל משוואה } 18.5^2 = 0^2 - 20 \cdot H \text{ שתוצאתה } \boxed{H = 17.1 \text{ m}}.$$

$$\text{יכולנו גם לחשב את זמן הנפילה, לפי } v = v_0 + a \cdot t \text{ ולקבל } t = 1.85 \text{ sec ומהעתק לפי } H = \Delta y = \frac{1}{2} g \cdot t^2.$$

ד.

$$\text{המרחק האופקי בהטלה הראשונה הוא } \Delta x = v_x \cdot t \text{ . נציב } v_x = 20.55 \text{ m/s , } t = 1.85 \text{ sec . נקבל } 38.0 \text{ m}.$$

$$\text{בהטלה שנייה הכידון בשיא גובה } y_0 = 16.1 \text{ m . הזמן לפגיעה בקרקע יחושב לפי } \Delta y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$16.1 = 5 \cdot t^2 \text{ . מתקבלת התוצאה } t = 1.79 \text{ . בזמן זה ההעתק הוא } \Delta x = v_x \cdot t = 38.0 \text{ m}$$

$$\text{ומכאן מתקבלת המהירות האופקית בשיא הגובה } \boxed{v_x = 21.2 \text{ m/s}}.$$



ה.

בהטלה השנייה זווית הפגיעה בקרקע הייתה קטנה יותר.

המרחק האופקי הוא אותו מרחק בשתי ההטלות ושיא הגובה נמוך יותר, כך יוצא שהמסלול הכולל של הכידון, מנקודת ההטלה ועד נקודת הפגיעה בקרקע הוא מסלול שטוח יותר, נמוך יותר ובאותו אורך. זווית הזריקה וזווית הפגיעה הן זהות (כל עוד התנגדות האוויר ניתנת להזנחה) והן קטנות יותר מאשר בהטלה הראשונה.

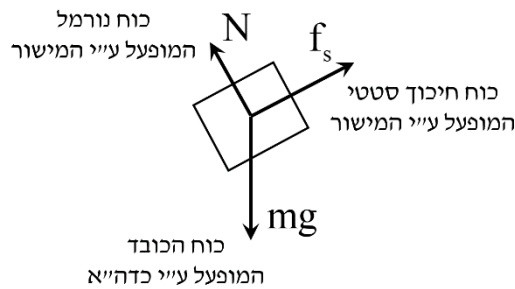
הסבר נוסף:

בהטלה השנייה, בפגיעה בקרקע, המהירות האנכית נמוכה יותר והמהירות האופקית גבוהה יותר, מאשר בהטלה הראשונה. המהירות האנכית נמוכה יותר כי שיא הגובה יותר נמוך וכך יש פחות העתק להאצה בתאוצת הכובד. המהירות האופקית גבוהה יותר כדי להשיג אותו העתק אופקי בזמן יותר קצר. כתוצאה מכך, זווית הפגיעה תהיה קטנה יותר, נוטה יותר לכיוון האופקי מאשר לכיוון האנכי.

שאלה 2

א.

תרשים הכוחות הפועלים על הגוף:



ב.

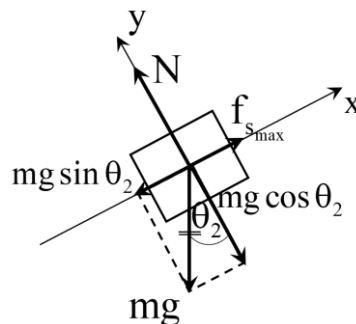
לאחר הקטנת הזווית גודלו של כוח החיכוך הפועל על הגוף קטן.

לפי תנאי הבעיה, הגוף נמצא במנוחה, שהיא מצב של התמדה. לפי חוק ה-I של ניוטון, הרכיב של כוח הכובד במורד המישור המשופע שווה בגודלו לכוח החיכוך הסטטי.

מתקיים הקשר: $f_s = mg \sin \alpha_1$. לפי תכונות פונקציית הסינוס, בהקטנת הזווית, הסינוס קטן.

- הערה: במצב הקיצון של זווית של 0° לא יתפתח כוח חיכוך כלל (זהו ערך מינימלי לגודל כוח החיכוך).

ג. (1)



המסה במנוחה.

לפי חוק I של ניוטון $\sum F = 0$.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \Rightarrow f_{s_{max}} - mg \sin \alpha_2 = 0 \Rightarrow f_{s_{max}} = mg \sin \alpha_2 \xRightarrow{f_{s_{max}} = \mu_s N} \boxed{\mu_s N = mg \sin \alpha_2} \\ \sum F_y = 0 \Rightarrow N - mg \cos \alpha_2 = 0 \Rightarrow \boxed{N = mg \cos \alpha_2} \end{cases}$$

ג. (2)

נחלק בין המשוואות ונשתמש בזהות טריגונומטרית על מנת לקבל את הקשר:

$$\boxed{\mu_s = \tan \alpha_2}$$

ד.

שקול הכוחות בכיוון מקביל למישור (כוח החיכוך הקינטי פועל במעלה המישור): $\sum F = mg \sin \alpha_3 - f_k$.

נציב את הביטוי לכוח החיכוך הקינטי ואת הביטוי לנורמל אותו פיתחנו בסעיף קודם: $f_k = \mu_k N = \mu_k mg \cos \alpha_3$.

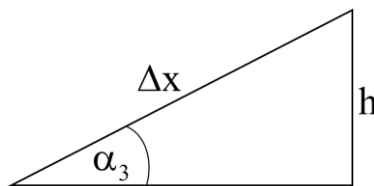
$$\sum F = mg \sin \alpha_3 - \mu_k mg \cos \alpha_3 = (\sin \alpha_3 - \mu_k \cos \alpha_3) mg$$

כעת נשתמש בחוק II של ניוטון על מנת להביע את התאוצה במורד המישור: $\sum F = ma$.

$$(\sin \alpha_3 - \mu_k \cos \alpha_3) mg = ma \Rightarrow a = (\sin \alpha_3 - \mu_k \cos \alpha_3) g$$

תאוצה זו הינה תאוצה קבועה.

נוכל להשתמש בקשר לתנועה שוות תאוצה: $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$.



$$\sin \alpha_3 = \frac{h}{\Delta x} \Rightarrow \Delta x = \frac{h}{\sin \alpha_3}$$

נציב בנוסחה לעיל:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$v^2 = 0^2 + 2 \cdot (\sin \alpha_3 - \mu_k \cos \alpha_3) g \cdot \frac{h}{\sin \alpha_3}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \left(1 - \mu_k \frac{\cos \alpha_3}{\sin \alpha_3}\right) g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot \left(1 - 0.24 \cdot \frac{\cos 22^\circ}{\sin 22^\circ}\right) \cdot 10 \cdot 0.3}$$

$$v \approx 1.56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ה.

תרשים 3 מתאר נכון את גודל תאוצות הגוף בעלייה ובירידה.

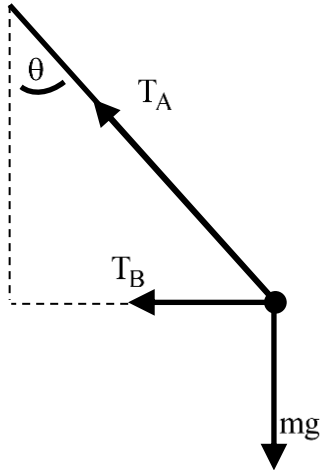
בעלייה, גודל התאוצה גדול יותר מבירידה. שכן בעלייה, כוח החיכוך הקינטי פועל כלפי מטה ובירידה כוח החיכוך הקינטי פועל כלפי מעלה. בעוד רכיב כוח הכובד במורד המישור וקבוע בשני המקרים ($mg \sin \alpha$).

לכן, ומחוק II של ניוטון והקשרים הקינמטיים, נוכל אף להסיק כי משך זמן העלייה קצר ממשך זמן הירידה (עבור העתקים זהים בגודלם).

שאלה 3

א.

תרשים הכוחות הפועלים על הכדור במהלך התנועה המעגלית:



ב.

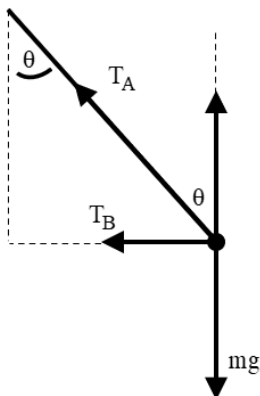
בציר האנכי מתקיים $\Sigma F_y = 0$ ומכאן נובע:

$$T_A \cdot \cos \theta = mg$$

$$T_A = \frac{mg}{\cos \theta}$$

נציב את הערכים הנתונים, $m = 0.2\text{kg}$, $\theta = 37^\circ$

המתיחות החוט A היא $T_A = 2.504\text{ N}$.



ג.

ממשוואת חוק שני של ניוטון, בציר הרדיאלי: $\Sigma F_r = m \cdot a_r$.

נציב את הכוחות ואת הביטוי לתאוצה כתלות בתדירות $a_r = \omega^2 R = (2\pi \cdot f)^2 \cdot R = 4\pi^2 \cdot f^2 \cdot R$

$$T_B + T_A \sin \theta = m \cdot 4\pi^2 f^2 \cdot R \quad \text{מהחוק השני נקבל}$$

$$f = \sqrt{\frac{T_B + T_A \sin 37^\circ}{4\pi^2 \cdot m \cdot R}} \quad \text{ונבודד את התדירות}$$

נציב $R = 0.3 \cdot \tan 37^\circ = 0.226\text{ m}$ ואת שאר הנתונים ונקבל את תדירות הסיבוב $f = 1.59\text{ Hz}$

ד.

המתיחות לא מבצעת עבודה.

האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית אינה משתנה כיוון שהסיבוב הוא במישור האופקי. האנרגיה הקינטית אינה משתנה כיוון שזו תנועה מעגלית קצובה. לכן אין שינוי באנרגיה המכאנית הכוללת ולא נעשתה שום עבודה על הגוף.

ה.

יש להקטין את תדירות הסיבוב.

נימוק: לפי הביטוי שפיתחנו בסעיף ג', ניתן לראות שהקטנת המתיחות T_B מתאימה להקטנה בתדירות הסיבוב.

ו.

גודל המתיחות T_A לא משתנה.

נימוק: בכל מהירות, הרכיב האנכי של המתיחות בחוט A שווה למשקל הכדור. אם התנועה היא באותו המסלול ובאותה הזווית, מתקיים אותו יחס בין הרכיב האנכי של המתיחות לבין גודל המתיחות ולכן גודל המתיחות בחוט A היה זהה גם כן לכל המהירויות.



שאלה 4

א.

בהיעדר כוח חיכוך וכך שהכוחות האנכיים על מערכת שני הגופים והקפיץ מתקזזים זה עם זה, הכוח החיצוני השקול הפועל על המערכת שווה לאפס. משמע, מערכת הגופים מהווה מערכת סגורה, אין מתקף חיצוני שפועל על חלקי המערכת.

ב.

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A u_A + m_B u_B \quad \text{משימור תנע:}$$

נגדיר ציר x שכיוונו החיובי בכיוון ימין (כיוון תנועתם המשותפת של גופים A ו-B).

$$0.1 \cdot 0.6 + 0.2 \cdot 0.6 = 0.1 \cdot 0 + 0.2 \cdot u_B \quad \text{נציב נתונים:}$$

$$0.2 \cdot u_B = 0.18 \Rightarrow \boxed{u_B = 0.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad \text{נחשב:}$$

כיוון המהירות: בכיוון התנועה המקורי של גופים A ו-B.

ג.

נשתמש במשפט עבודה-אנרגיה: $W_{\text{tot}} = \Delta E_k$.

$$W_{\text{tot}} = 0 - \frac{1}{2} m_A v_A^2 = -\frac{1}{2} \cdot 0.1 \cdot 0.6^2 \Rightarrow \boxed{W_{\text{tot}} = -0.018 \text{J}}$$

ד.

כיוון המהירות היחסית בהתנגשות אלסטית לחלוטין מתהפך: $v_B - v_C = -(u_B - u_C)$.

נציב בנייל את הידוע לנו עד כה תוך התייחסות לציר ה-x שהגדרנו:

$$0.9 - 0 = -\left(-\frac{1}{2} \cdot 0.9 - u_C\right)$$

$$0.9 = 0.45 + u_C \Rightarrow \boxed{u_C = 0.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad \text{נחשב את } u_C$$



ה.

$$m_B v_B + m_C v_C = m_B u_B + m_C u_C : \text{משימור תנע}$$

נציב את הידוע לנו עד פה בהתייחס לציר שהגדרנו.

$$0.2 \cdot 0.9 + m_C \cdot 0 = 0.2 \cdot (-0.45) + m_C \cdot (0.45)$$

נחשב את ערך המסה של גוף C :

$$0.2 \cdot 0.9 = 0.2 \cdot (-0.45) + m_C \cdot (0.45) \xRightarrow{:0.45} 0.4 = -0.2 + m_C \Rightarrow \boxed{m_C = 0.6\text{kg}}$$

שאלה 5

א.

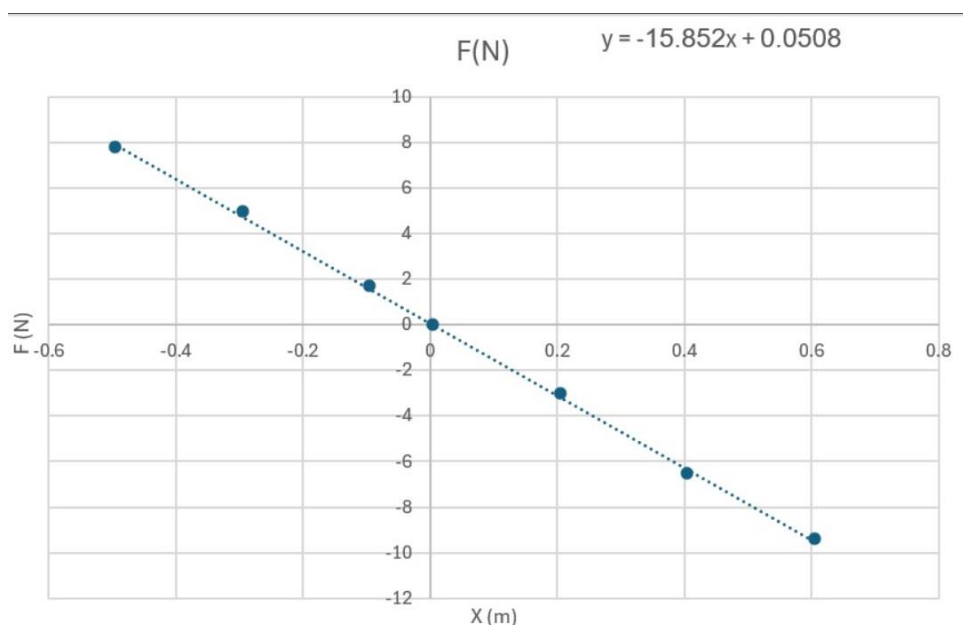
לא. לא כל תנועה מחזורית היא תנועה הרמונית פשוטה.

נימוק: רק תנועות בהן הכוח המחזיר פרופורציוני למרחק מנקודת שיווי המשקל הן תנועות הרמוניות פשוטות.

דוגמאות תנועה לתנועה מחזורית שאינה תנועה הרמונית פשוטה:

תנועת הירח סביב כדור"א, מטוטלת בזוויות גדולות, ריקוד המקרנה ועוד...

ב(1) + ב(2).



ג.

משוואת הכוח בתה"פ $\Sigma F = -c \cdot x$

שיפוע הגרף הוא $S = -c$ ומכאן שקבוע הקפיץ הוא $c = k = 15.85 \text{ N/m}$.

נציב בביטוי למהירות הזוויתית $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{15.85}{0.5}}$

$$\omega = 5.63 \text{ rad/sec}$$



ד.

מהירות הגוף מירבית בנקודת שיווי המשקל $x = 0$.

נחשב: $|v_{\max}| = \omega \cdot \sqrt{A^2 - x^2}$ ומהצבת הערכים נקבל מהירות מירבית $v_{\max} = 3.378 \text{ m/s}$.

ה.

התדירות תהיה זהה לתדירות בניסוי הראשון.

נימוק: התדירות הפכית לזמן המחזור ולפי הביטוי $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{c}}$ זמן המחזור והתדירות תלויים רק במסה m וקבוע

הקפיץ c הנתרים זהים למצב הקודם.



שאלה 6

- א. כאשר הלוויין עובר בנקודה A גודל מהירותו **קטן יותר** מאשר בנקודה B. נימוק א': הלוויין נע רק בהשפעת כוח הכבידה שהינו כוח משמר, ולכן מתקיים שימור אנרגיה מכנית כוללת. משימור אנרגיה נובע כי כאשר הלוויין רחוק יותר מכדור"א והאנרגיה הפוטנציאלית שלו גדולה יותר, האנרגיה הקינטית שלו תהיה קטנה יותר.
- נימוק ב': לפי החוק השני של קפלר מהירותו קטנה יותר כאשר הוא רחוק יותר כיוון שהישר המחבר את הלוויין לכדור"א מכסה שטחים שווים בפרקי זמן שווים.
- ב. כן. במהלך תנועתו של הלוויין בין נקודה A לנקודה B אכן מתבצעת עבודה על ידי כוח הכבידה. נימוק א': כיוון שצורת מסלול הלוויין היא אליפסה ולא מעגל, וכיוון כוח הכבידה הוא על הישר המחבר את הלוויין לכדור"א, נקבל זווית שונה מ 90 מעלות בין כיוון הכוח לכיוון התנועה, ולכן עבודת כוח הכובד לא תתאפס. נימוק ב': עבודת כוח הכובד היא זו שמשנה את האנרגיה הקינטית. לפי סעיף א' יש שינוי באנרגיה הקינטית ולכן לפי משפט עבודה אנרגיה יש עבודה של כוח הכובד.

ג. התאוצה הרדיאלית כתלות בזמן המחזור: $a_r = \omega^2 r = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r = \frac{4\pi^2 \cdot r}{T^2}$

נציב בחוק השני של ניוטון ונבודד את רדיוס הסיבוב: $\Sigma F_r = m \cdot a_r$

$$\frac{GMm}{r^2} = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot r$$

$$r^3 = \frac{G \cdot M \cdot T^2}{4\pi^2}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M \cdot T^2}{4\pi^2}}$$

נציב את הערכים $T = 100 \times 60 = 6000 \text{ sec}$, $M = 5.974 \times 10^{24} \text{ kg}$

ונקבל $r = 7.136 \times 10^6 \text{ m}$

ד. אנרגיה מכנית כוללת של לוויין היא: $E = -\frac{GMm}{2 \cdot r}$

העבודה הדרושה שווה להפרש באנרגיה הכוללת של הלוויין: $W = E_2 - E_1 = -\frac{GMm}{2 \cdot r_2} - \left(-\frac{GMm}{2 \cdot r_1}\right)$

ולכן נדרשת עבודה בשיעור: $W = 48.04 \times 10^6 \text{ J}$

- ה. זמן המחזור של הלוויין במסלול האחר ארוך מ 100 דקות. נימוק: לפי החוק השלישי של קפלר זמן המחזור בריבוע פרופורציוני לרדיוס בחזקת 3, ולכן עבור רדיוס גדול יותר סביב אותו הכוכב נקבל זמן מחזור ארוך יותר.