נושא 7 מתוך 8 • מכניקה

תנועה הרמונית פשוטה: 15 תרגילים

אינסוף
פיזיקה • מכניקה

גרפים ומעגל הייחוס, קפיצים, מטוטלות, אנרגיה ושאלות משולבות • מהבסיס ועד שאלות אתגר

כיתה י״א | 5 יח״ל | מכינה קדם־אקדמית

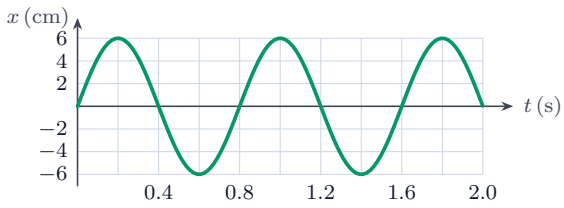
איך עובדים עם הקובץ?

השאלות מסודרות לפי תתי־נושאים, ובכל תת־נושא מהקל לקשה: תיאור התנועה בגרפים ובמעגל הייחוס (שאלות 1 עד 4), גוף על קפיץ (5 עד 8), מטוטלת פשוטה (9 עד 11), אנרגיה ושאלות משולבות (12 עד 14) ומנהרה דרך כדור הארץ (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, אלא אם נאמר אחרת: $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$, המשטחים חלקים, הקפיצים והחוטים קלים, והתנגדות האוויר זניחה. קבוע הכבידה: $G = 6.67 \times 10^{-11}\,\mathrm{N \cdot m^2/kg^2}$. T מסמן זמן מחזור, ו־x את המקום ביחס לנקודת שיווי המשקל.

שאלה 1



קרונית שקשורה לקפיץ מתנודדת על מסילה אופקית. חיישן מודד את מקומה x ביחס לנקודת שיווי המשקל. הגרף מתאר את המקום כפונקציה של הזמן.

א. מה המשרעת, מה זמן המחזור ומה התדירות של התנודות?

ב. כתבו את המקום של הקרונית כפונקציה של הזמן.

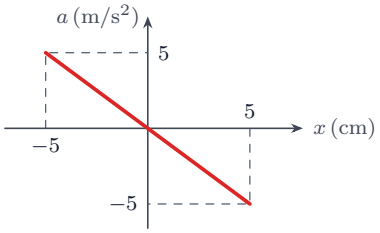
ג. מה גודל המהירות המרבית של הקרונית, ומה גודל התאוצה המרבית שלה?

ד. באילו רגעים בתחום $0 < t < 1.2\,\mathrm{s}$ מהירות הקרונית אפס? באילו רגעים בתחום הזה גודל המהירות שלה מרבי?

ה. מה כיוון הכוח השקול על הקרונית ברגע $t = 0.5\,\mathrm{s}$? האם הקרונית מאיצה או מאטה באותו רגע? הסבירו. חשיבה

ו. מסת הקרונית $0.4\,\mathrm{kg}$. מה קבוע הקפיץ?

שאלה 2



הגרף מתאר את התאוצה של גוף שמסתו $0.25\,\mathrm{kg}$ כפונקציה של מקומו. ברגע $t = 0$ הגוף נח במקום $x = -5\,\mathrm{cm}$.

א. הסבירו מדוע תנועת הגוף היא תנועה הרמונית פשוטה. חשיבה

ב. מה התדירות הזוויתית ומה זמן המחזור?

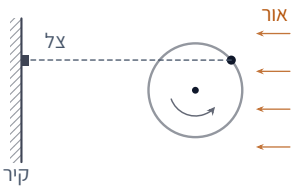
ג. מה הכוח השקול על הגוף (גודל וכיוון) כשהוא במקום $x = 3\,\mathrm{cm}$?

ד. כמה זמן עובר מ־$t = 0$ עד שהגוף מגיע לראשונה לנקודה $x = 0$? כמה זמן עובר מ־$t = 0$ עד שהוא מגיע לראשונה לנקודה $x = 2.5\,\mathrm{cm}$?

ה. מה גודל המהירות של הגוף בנקודה $x = 0$, ומה גודלה בנקודה $x = 3\,\mathrm{cm}$?

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 3



גלגל אנכי שרדיוסו $10\,\text{cm}$ מסתובב בקצב קבוע סביב ציר אופקי, ומשלים 60 סיבובים בדקה. על שפת הגלגל מחובר מוט קצר, ניצב למישור הגלגל. מאירים את הגלגל באור אופקי ומקביל למישור הגלגל, והצל של המוט נע על הקיר למעלה ולמטה. ליד הצל תלויה משקולת על קפיץ, והיא נעה יחד עם הצל, כגוף אחד.

א. מה המשרעת ומה זמן המחזור של תנועת הצל?

ב. מה גודל המהירות של המוט? מה גודל המהירות המרבית של הצל, ובאיזה מקום היא מתקבלת?

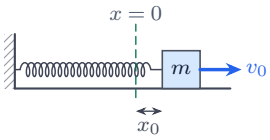
ג. מה גודל התאוצה של הצל כשהוא בנקודה העליונה, ומה כיוונה? מה הקשר בינה לבין התאוצה של המוט?

ד. כמה זמן לוקח לצל לעלות מנקודת שיווי המשקל עד גובה $5\,\text{cm}$ מעליה? כמה זמן לוקח לו להמשיך משם עד הנקודה העליונה? השוו בין שני הזמנים, והסבירו את התוצאה בעזרת הגלגל.

ה. מסת המשקולת $0.5\,\text{kg}$. מה קבוע הקפיץ?

ו. מחליפים את המשקולת במשקולת כבדה פי 4, שתלויה על אותו קפיץ, ומשאירים את אותה משרעת. כמה סיבובים בדקה צריך הגלגל להשלים, כדי שהצל והמשקולת ימשיכו לנוע יחד?

שאלה 4 אתגר



גוף שמסתו $0.2\,\text{kg}$ קשור לקפיץ אופקי שקבועו $20\,\text{N/m}$, על משטח חלק. ברגע $t=0$ הגוף נמצא במקום $x_0=3\,\text{cm}$, ומהירותו $0.4\,\text{m/s}$ בכיוון החיובי.

א. מה התדירות הזוויתית ומה זמן המחזור?

ב. מה המשרעת של התנודות, ומה גודל המהירות המרבית?

ג. כמה זמן עובר מ־$t=0$ עד שהגוף נעצר לראשונה?

ד. כמה זמן עובר מ־$t=0$ עד שהגוף עובר לראשונה בנקודת שיווי המשקל?

ה. כתבו את המקום של הגוף כפונקציה של הזמן.

ו. חזרו על סעיפים ב ו־ד, בהנחה שברגע $t=0$ מהירות הגוף היא $0.4\,\text{m/s}$ בכיוון השלילי.

שאלה 5

גוף שמסתו $0.2\,\text{kg}$ קשור לקפיץ שקבועו $80\,\text{N/m}$, ומתנודד על משטח אופקי חלק במשרעת $5\,\text{cm}$.

א. מה זמן המחזור, ומה התדירות?

ב. מה גודל המהירות המרבית, ומה גודל התאוצה המרבית?

ג. מה האנרגיה המכנית של המערכת?

ד. מה גודל המהירות של הגוף כשהוא במרחק $3\,\text{cm}$ מנקודת שיווי המשקל?

ה. באיזה מרחק מנקודת שיווי המשקל האנרגיה הקינטית שווה לאנרגיה האלסטית?

ו. מגדילים את המשרעת ל־$10\,\text{cm}$. מה יהיו זמן המחזור, גודל המהירות המרבית והאנרגיה המכנית?

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 6

בתחנת חלל מודדים את המסה של אסטרונאוטים בעזרת כיסא שקשור לקפיץ. הכיסא נע הלוך ושוב לאורך מסילה חלקה, וקבוע הקפיץ הוא $800\,\mathrm{N/m}$. כשהכיסא ריק, זמן המחזור של התנודות הוא $0.70\,\mathrm{s}$. כשאסטרונאוטית יושבת בו, זמן המחזור הוא $2.00\,\mathrm{s}$.

א. מאזני אמבטיה בתחנה מראים אפס. מדוע? ומדוע המדידה בעזרת הקפיץ כן עובדת? (חשיבה)

ב. מה המסה של הכיסא?

ג. מה המסה של האסטרונאוטית?

ד. כעבור חודש, זמן המחזור עם אותה אסטרונאוטית הוא $1.98\,\mathrm{s}$. האם המסה שלה גדלה או קטנה, ובכמה?

ה. אסטרונאוט אחר הביא מכדור הארץ שעון שהקצב שלו נקבע בעזרת גוף קטן שמתנודד על קפיץ. האם השעון ימשיך לפעול בתחנה בקצב הנכון? הסבירו. (חשיבה)

שאלה 7

גוף שמסתו $0.3\,\mathrm{kg}$ תלוי על קפיץ אנכי, ובשיווי משקל הקפיץ מתוח ב־$7.5\,\mathrm{cm}$. מרימים את הגוף עד הגובה שבו הקפיץ רפוי, ומשחררים אותו ממנוחה.

א. מה קבוע הקפיץ, ומה זמן המחזור של התנודות?

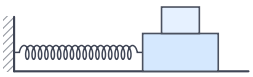
ב. מה המשרעת? מה ההתארכות של הקפיץ כשהגוף בנקודה הנמוכה ביותר?

ג. מה גודל המהירות המרבית? חשבו אותה פעם בעזרת ωA, ופעם בשימור אנרגיה, עם אנרגיה כובדית ואנרגיה אלסטית בנפרד.

ד. מה גודל הכוח שהקפיץ מפעיל על הגוף בנקודה הנמוכה ביותר, ומה גודלו כשהגוף עובר בנקודת שיווי המשקל?

ה. באיזה מקום התאוצה של הגוף היא $5\,\mathrm{m/s^2}$ כלפי מטה?

שאלה 8 (אתגר)



גוף שמסתו $1.5\,\mathrm{kg}$ קשור לקפיץ אופקי שקבועו $100\,\mathrm{N/m}$, ונע על שולחן חלק. על הגוף מונח גוף קטן שמסתו $0.5\,\mathrm{kg}$, ומקדם החיכוך הסטטי בין שני הגופים הוא 0.4. שני הגופים מתנודדים יחד, בלי החלקה.

א. מה זמן המחזור?

ב. המשרעת היא $5\,\mathrm{cm}$. מה גודל כוח החיכוך על הגוף הקטן, ומה כיוונו, כששני הגופים בקצה? מה גודל כוח החיכוך כשהם עוברים בנקודת שיווי המשקל? (מכינה)

ג. מה המשרעת הגדולה ביותר שבה הגוף הקטן לא מחליק? (מכינה)

ד. במערכת אחרת, מטבע מונח על משטח אופקי שמתנודד למעלה ולמטה בתנועה הרמונית, בתדירות $2.5\,\mathrm{Hz}$. מה המשרעת הגדולה ביותר שבה המטבע לא מתנתק מהמשטח? אם המשרעת גדולה יותר, באיזה חלק של התנודה המטבע יתנתק? (חשיבה)

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 9

תלמידים מדדו את משך הזמן של 10 תנודות של מטוטלת פשוטה, באורכים שונים של החוט. הזווית ההתחלתית הייתה קטנה בכל המדידות.

אורך החוט $L\,(\mathrm{m})$	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
משך 10 תנודות (s)	9.0	12.6	15.6	17.9	20.1

א. מדוע כדאי למדוד את משך הזמן של 10 תנודות, ולא של תנודה אחת? (חשיבה)

ב. חשבו לכל אורך את זמן המחזור ואת ריבועו.

ג. שרטטו גרף של T^2 כפונקציה של L, והעבירו קו מגמה. הסבירו מדוע הגרף צפוי להיות קו ישר.

ד. היעזרו בשיפוע הקו, ומצאו את תאוצת הנפילה במעבדה.

ה. לפי התוצאה שלכם, מה צריך להיות אורך החוט כדי שזמן המחזור יהיה $1\,\mathrm{s}$?

ו. תלמיד טוען שאם יחליפו את המשקולת במשקולת כבדה פי 2, הגרף ישתנה. האם הוא צודק? הסבירו. (חשיבה)

שאלה 10

מטוטלת פשוטה שאורכה $0.9\,\mathrm{m}$ תלויה מתקרת מעלית.

א. מה זמן המחזור כשהמעלית נחה?

ב. מה זמן המחזור כשהמעלית מאיצה כלפי מעלה בתאוצה של $2.5\,\mathrm{m/s^2}$?

ג. מה זמן המחזור כשהמעלית נעה כלפי מעלה ומאטה, בתאוצה שגודלה $2.5\,\mathrm{m/s^2}$?

ד. הכבל של המעלית נקרע, והמעלית נופלת חופשית. מה יקרה לתנודות של המטוטלת? (חשיבה)

ה. את אותה מטוטלת לוקחים למאדים. מסת מאדים $6.4\times10^{23}\,\mathrm{kg}$, ורדיוסו $3.4\times10^{6}\,\mathrm{m}$. מה זמן המחזור שם?

ו. שעון מטוטלת, שמכוון לפעול נכון על כדור הארץ, מועבר למאדים. כמה זמן ימדוד השעון במשך שעה אמיתית אחת?

שאלה 11 (אתגר)

כדור קטן שמסתו $0.1\,\mathrm{kg}$ תלוי על חוט קל שאורכו $0.4\,\mathrm{m}$.

א. מה זמן המחזור של תנודות קטנות?

ב. מסיטים את המטוטלת בזווית של 6°, ומשחררים אותה ממנוחה. חשבו את גודל המהירות של הכדור בנקודה הנמוכה בשתי דרכים: בעזרת $v_{\max}=\omega A$, כש־A נמדד לאורך הקשת, ובעזרת שימור אנרגיה. השוו בין התוצאות.

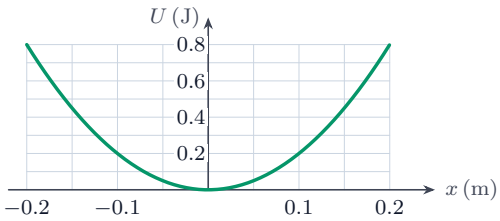
ג. חזרו על החישוב של סעיף ב בזווית של 60°. מה מתקבל בכל דרך? איזו תוצאה נכונה, ומדוע? (חשיבה)

ד. מה המתיחות בחוט כשהכדור עובר בנקודה הנמוכה, אחרי שחרור מזווית של 60°?

ה. כשמשחררים את המטוטלת מזווית של 60°, האם זמן המחזור ארוך מזה שמצאתם בסעיף א, או קצר ממנו? הסבירו בעזרת הכוח המחזיר. (חשיבה)

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 12



הגרף מתאר את האנרגיה האלסטית של מערכת גוף–קפיץ אופקית, כפונקציה של המקום של הגוף. מסת הגוף $0.4\,\mathrm{kg}$, והאנרגיה המכנית של המערכת היא $0.45\,\mathrm{J}$.

א. מה קבוע הקפיץ?

ב. מה המשרעת של התנודות?

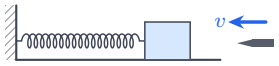
ג. מה גודל המהירות המרבית? מה גודל המהירות של הגוף במקום $x = 9\,\mathrm{cm}$?

ד. מה זמן המחזור?

ה. באילו מקומות האנרגיה הקינטית גדולה פי 3 מהאנרגיה האלסטית?

ו. מה זמן המחזור של השינויים באנרגיה הקינטית? (חשיבה)

שאלה 13



גוש שמסתו $0.98\,\mathrm{kg}$ נח על משטח אופקי חלק. הגוש קשור לקפיץ שקבועו $400\,\mathrm{N/m}$, שהקצה האחר שלו מחובר לקיר, והקפיץ רפוי. קליע שמסתו $20\,\mathrm{g}$ נע אופקית לכיוון הקיר במהירות $200\,\mathrm{m/s}$, פוגע בגוש ונתקע בו.

א. מה גודל המהירות של הגוש מיד אחרי הפגיעה? באיזה חוק שימור השתמשתם, ומדוע מותר להשתמש בו אף על פי שהגוש קשור לקפיץ? (חשיבה)

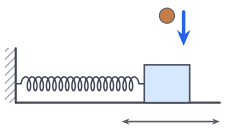
ב. מה המשרעת, ומה זמן המחזור של התנודות?

ג. כמה זמן אחרי הפגיעה הכיווץ של הקפיץ מרבי לראשונה? מה גודל הכוח שהקפיץ מפעיל על הגוש ברגע הזה?

ד. כמה אנרגיה מכנית הפכה לאנרגיה פנימית בפגיעה?

ה. בניסוי אחר הקליע פוגע בגוש באותה מהירות, עובר דרכו ויוצא ממנו במהירות $100\,\mathrm{m/s}$. מה המשרעת של התנודות במקרה הזה? (אתגר)

שאלה 14 (אתגר)



גוף שמסתו $0.6\,\mathrm{kg}$ קשור לקפיץ אופקי שקבועו $60\,\mathrm{N/m}$, ומתנודד על משטח חלק במשרעת $10\,\mathrm{cm}$. גוש פלסטלינה שמסתו $0.2\,\mathrm{kg}$ נופל אנכית מגובה קטן על הגוף, ונדבק אליו.

א. מה זמן המחזור ומה האנרגיה המכנית של המערכת לפני שהפלסטלינה נופלת?

ב. הפלסטלינה פוגעת בגוף כשהוא עובר בנקודת שיווי המשקל. מה גודל המהירות מיד אחרי הפגיעה? מה יהיו המשרעת, זמן המחזור והאנרגיה המכנית?

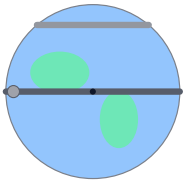
ג. במקרה אחר, הפלסטלינה פוגעת בגוף כשהוא בקצה. מה יהיו המשרעת, זמן המחזור והאנרגיה המכנית?

ד. במקרה שלישי, הפלסטלינה פוגעת בגוף כשהוא במרחק $6\,\mathrm{cm}$ מנקודת שיווי המשקל. מה תהיה המשרעת?

ה. באיזה מבין שלושת המקרים אנרגיית התנודות קטנה במידה הרבה ביותר? הסבירו. (חשיבה)

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 15 מכינה


השרטוט אינו בקנה מידה

דמיינו מנהרה ישרה שעוברת דרך מרכז כדור הארץ, מצד לצד. גוף משוחרר ממנוחה בפתח המנהרה, ונע בה בלי חיכוך ובלי התנגדות אוויר. הניחו שהצפיפות של כדור הארץ אחידה. במקרה כזה, בתוך כדור הארץ, במרחק r מהמרכז, תאוצת הנפילה היא $g(r)=g_0\frac{r}{R}$, והיא מכוונת אל המרכז. כאן $g_0=9.8\,\mathrm{m/s^2}$ ו־$R=6.4\times10^6\,\mathrm{m}$.

א. הראו שהכוח השקול על הגוף הוא מהצורה $F=-cx$, כאשר x המרחק מהמרכז לאורך המנהרה, כלומר שהתנועה הרמונית פשוטה. בטאו את c בעזרת m, g_0 ו־R.

ב. כמה זמן לוקח לגוף להגיע לצד השני של כדור הארץ?

ג. מה גודל המהירות של הגוף כשהוא עובר במרכז?

ד. השוו את זמן המחזור ואת המהירות במרכז לזמן המחזור ולמהירות של לוויין שמקיף את כדור הארץ ממש מעל פני הקרקע (נושא 6). חשבו את נתוני הלוויין בעזרת אותם g_0 ו־R. הסבירו את התוצאה בעזרת מעגל הייחוס. חשיבה

ה. מנהרה ישרה אחרת, שלא עוברת דרך המרכז, מחברת שתי ערים שהמרחק ביניהן בקו ישר הוא $2000\,\mathrm{km}$. גוף משוחרר בה ממנוחה באחת הערים, ונע בלי חיכוך. הראו שזמן הנסיעה מעיר לעיר שווה לזמן שמצאתם בסעיף ב. מה גודל המהירות המרבית של הגוף? אתגר

© אור בן שטרית · אינסוף

תשובות סופיות

התשובות מעוגלות. הכיוונים מתוארים ביחס לשרטוט או לתיאור שבשאלה.

שאלה 1

א. $A = 6\,\text{cm}$, $T = 0.8\,\text{s}$, $f = 1.25\,\text{Hz}$.

ב. $x = 0.06\sin(2.5\pi t)$ במטרים, עם $\omega = 2.5\pi \approx 7.85\,\text{rad/s}$.

ג. $v_{\max} \approx 0.471\,\text{m/s}$, $a_{\max} \approx 3.70\,\text{m/s}^2$.

ד. $v = 0$ ב־$t = 0.2,\ 0.6,\ 1.0\,\text{s}$. המהירות מרבית ב־$t = 0.4$ וב־$0.8\,\text{s}$.

ה. $x \approx -4.2\,\text{cm}$, ולכן הכוח בכיוון החיובי, אל נקודת שיווי המשקל. המהירות בכיוון השלילי ($v \approx -0.33\,\text{m/s}$), כלומר הכוח מנוגד בכיוונו למהירות, והקרונית מאטה.

ו. $k = m\omega^2 \approx 24.7\,\text{N/m}$.

שאלה 2

א. התאוצה פרופורציונית למקום והפוכה לו בסימן (קו ישר דרך הראשית עם שיפוע שלילי), ולכן $F = ma = -cx$.

ב. $\omega = 10\,\text{rad/s}$, $T \approx 0.628\,\text{s}$.

ג. $0.75\,\text{N}$ בכיוון השלילי, אל נקודת שיווי המשקל.

ד. $\frac{T}{4} \approx 0.157\,\text{s}$. עד $x = 2.5\,\text{cm}$: $\frac{T}{4} + \frac{T}{12} = \frac{T}{3} \approx 0.209\,\text{s}$.

ה. $0.5\,\text{m/s}$ ו־$0.4\,\text{m/s}$.

שאלה 3

א. $A = 10\,\text{cm}$, $T = 1\,\text{s}$.

ב. המוט: $2\pi \cdot 0.1 \approx 0.628\,\text{m/s}$. המהירות המרבית של הצל זהה, כ־$0.628\,\text{m/s}$, והיא מתקבלת בנקודת שיווי המשקל.

ג. $\omega^2 A \approx 3.95\,\text{m/s}^2$, כלפי מטה. זו התאוצה הרדיאלית של המוט, שבנקודה העליונה מכוונת כולה כלפי מטה.

ד. $\frac{T}{12} \approx 0.083\,\text{s}$, ומשם $\frac{T}{6} \approx 0.167\,\text{s}$. בחלק הראשון המוט עובר $30°$ על הגלגל, ובשני $60°$. ליד הנקודה העליונה המהירות של המוט כמעט אופקית, ולכן הצל איטי.

ה. $k = m\omega^2 \approx 19.7\,\text{N/m}$.

ו. זמן המחזור גדל פי 2, ולכן 30 סיבובים בדקה.

שאלה 4

א. $\omega = 10\,\text{rad/s}$, $T \approx 0.628\,\text{s}$.

ב. $A = \sqrt{x_0^2 + (v_0/\omega)^2} = 5\,\text{cm}$, $v_{\max} = 0.5\,\text{m/s}$.

ג. $t \approx 0.093\,\text{s}$.

ד. $t \approx 0.250\,\text{s}$.

ה. $x = 0.05\cos(10t - 0.927)$ (במטרים).

ו. המשרעת והמהירות המרבית לא משתנות ($5\,\text{cm}$ ו־$0.5\,\text{m/s}$). עד המעבר הראשון בנקודת שיווי המשקל: $t \approx 0.064\,\text{s}$.

שאלה 5

א. $T \approx 0.314\,\text{s}$, $f \approx 3.18\,\text{Hz}$.

ב. $v_{\max} = 1\,\text{m/s}$, $a_{\max} = 20\,\text{m/s}^2$.

ג. $0.1\,\text{J}$.

ד. $0.8\,\text{m/s}$.

ה. $\frac{A}{\sqrt{2}} \approx 3.54\,\text{cm}$.

ו. $T \approx 0.314\,\text{s}$ (לא משתנה), $v_{\max} = 2\,\text{m/s}$, $E = 0.4\,\text{J}$.

שאלה 6

א. המאזניים והאסטרונאוטית נופלים יחד, ולכן אין ביניהם כוח (״חוסר משקל״). זמן המחזור של קפיץ תלוי במסה ובקבוע הקפיץ, ולא ב־g.

ב. $m = \frac{kT^2}{4\pi^2} \approx 9.93\,\text{kg}$.

ג. מסה כוללת כ־$81.06\,\text{kg}$, ולכן $81.06 - 9.93 \approx 71.1\,\text{kg}$.

ד. מסה כוללת כ־$79.44\,\text{kg}$, ולכן המסה שלה קטנה בכ־$1.6\,\text{kg}$.

ה. כן. זמן המחזור של קפיץ תלוי במסה ובקבוע הקפיץ, ולא ב־g, ולכן הקצב לא משתנה. שעון מטוטלת, לעומת זאת, לא היה פועל בתחנה.

שאלה 7

א. $k = 40\,\text{N/m}$, $T \approx 0.544\,\text{s}$.

ב. $A = 7.5\,\text{cm}$. בנקודה הנמוכה הקפיץ מתוח ב־$15\,\text{cm}$.

ג. $v_{\max} \approx 0.866\,\text{m/s}$ בשתי הדרכים: $\frac{1}{2}mv^2 = mg \cdot 0.075 - \frac{1}{2}k \cdot 0.075^2 = 0.1125\,\text{J}$.

ד. $6\,\text{N}$ בנקודה הנמוכה ($2mg$), ו־$3\,\text{N}$ בנקודת שיווי המשקל (mg).

ה. $3.75\,\text{cm}$ מעל נקודת שיווי המשקל, באמצע הדרך בין נקודת השחרור לנקודת שיווי המשקל.

שאלה 8

א. $T = 2\pi\sqrt{\frac{2}{100}} \approx 0.889\,\text{s}$.

ב. בקצה: $m\omega^2 A = 1.25\,\text{N}$, אל נקודת שיווי המשקל. בנקודת שיווי המשקל: אפס.

ג. $A_{\max} = \frac{\mu_s g}{\omega^2} = 8\,\text{cm}$.

ד. $A_{\max} = \frac{g}{\omega^2} \approx 4.1\,\text{cm}$. אם המשרעת גדולה יותר, המטבע יתנתק בחלק העליון של התנודה, ברגע שהתאוצה של המשטח כלפי מטה עוברת את g.

שאלה 9

א. שגיאת התגובה בהפעלת שעון העצר ובעצירתו זהה, אבל היא מתחלקת על 10 תנודות, ולכן השגיאה בזמן המחזור קטנה פי 10.

ב. T: $0.90,\ 1.26,\ 1.56,\ 1.79,\ 2.01\,\mathrm{s}$.
T^2: $0.81,\ 1.59,\ 2.43,\ 3.20,\ 4.04\,\mathrm{s}^2$.

ג. $T^2 = \frac{4\pi^2}{g}\,L$: פרופורציה ישרה, ולכן קו ישר דרך הראשית.

ד. השיפוע כ־$4.03\,\mathrm{s}^2/\mathrm{m}$, ולכן $g = \frac{4\pi^2}{4.03} \approx 9.8\,\mathrm{m/s}^2$ (תחום מקובל: 9.6 עד $10.0\,\mathrm{m/s}^2$).

ה. $L = \frac{gT^2}{4\pi^2} \approx 0.25\,\mathrm{m}$.

ו. לא. זמן המחזור לא תלוי במסה, ולכן הגרף לא ישתנה.

שאלה 10

א. $T \approx 1.88\,\mathrm{s}$.

ב. $g_{\text{eff}} = 12.5\,\mathrm{m/s}^2$, $T \approx 1.69\,\mathrm{s}$.

ג. $g_{\text{eff}} = 7.5\,\mathrm{m/s}^2$, $T \approx 2.18\,\mathrm{s}$.

ד. אין כוח מחזיר ($g_{\text{eff}} = 0$), ולכן אין תנודות. ביחס למעלית, אם הכדור נע הוא ממשיך לנוע במעגל סביב נקודת התלייה, ואם הוא נח בקצה הוא נשאר במקום.

ה. $g \approx 3.69\,\mathrm{m/s}^2$, $T \approx 3.10\,\mathrm{s}$.

ו. השעון סופר תנודות, וכל תנודה נחשבת אצלו $1.88\,\mathrm{s}$. במשך שעה אמיתית הוא ימדוד $60\sqrt{3.69/10}$ דקות, כלומר כ־36.5 דקות.

שאלה 11

א. $T \approx 1.26\,\mathrm{s}$.

ב. $\omega L\theta_0 \approx 0.2094\,\mathrm{m/s}$, ובשימור אנרגיה כ־$0.2093\,\mathrm{m/s}$: כמעט זהות.

ג. בשימור אנרגיה $2.00\,\mathrm{m/s}$, ובנוסחה ωA מתקבל כ־$2.09\,\mathrm{m/s}$. שימור האנרגיה נכון בכל זווית. הנוסחה ωA נכונה רק בתנועה הרמונית, ובזווית של 60° הקירוב $\sin\theta \approx \theta$ כבר לא טוב.

ד. $F_T = mg + \frac{mv^2}{L} = 2.0\,\mathrm{N}$.

ה. ארוך יותר. הכוח המחזיר $mg\sin\theta$ קטן מ־$mg\theta$, ולכן הכדור מאיץ חזרה לאט יותר מאשר בתנועה הרמונית.

שאלה 12

א. $k = \frac{2U}{x^2} = 40\,\mathrm{N/m}$.

ב. $A = 0.15\,\mathrm{m}$.

ג. $v_{\max} = 1.5\,\mathrm{m/s}$. ב־$x = 9\,\mathrm{cm}$: $1.2\,\mathrm{m/s}$.

ד. $T \approx 0.628\,\mathrm{s}$.

ה. $x = \pm\frac{A}{2} = \pm 7.5\,\mathrm{cm}$.

ו. $\frac{T}{2} \approx 0.314\,\mathrm{s}$: האנרגיה הקינטית מגיעה לשיא בכל מעבר בנקודת שיווי המשקל, פעמיים בכל מחזור.

שאלה 13

א. $4\,\mathrm{m/s}$, לפי שימור תנע. הפגיעה קצרה מאוד, והגוש עוד בנקודת שיווי המשקל, ולכן כוח הקפיץ והמתקף שלו בזמן הפגיעה זניחים.

ב. $A = 0.2\,\mathrm{m}$, $T \approx 0.314\,\mathrm{s}$.

ג. $\frac{T}{4} \approx 0.079\,\mathrm{s}$, ו־$kA = 80\,\mathrm{N}$.

ד. $392\,\mathrm{J}$.

ה. מהירות הגוש כ־$2.04\,\mathrm{m/s}$, ו־$\omega \approx 20.2\,\mathrm{rad/s}$, ולכן $A \approx 10.1\,\mathrm{cm}$.

שאלה 14

א. $T \approx 0.628\,\mathrm{s}$, $E = 0.3\,\mathrm{J}$.

ב. התנע האופקי נשמר: $v' = 0.75\,\mathrm{m/s}$. $A \approx 8.66\,\mathrm{cm}$, $T \approx 0.726\,\mathrm{s}$, $E = 0.225\,\mathrm{J}$.

ג. $A = 10\,\mathrm{cm}$, $T \approx 0.726\,\mathrm{s}$, $E = 0.3\,\mathrm{J}$.

ד. מהירות לפני הפגיעה $0.8\,\mathrm{m/s}$, אחריה $0.6\,\mathrm{m/s}$, ו־$A \approx 9.17\,\mathrm{cm}$.

ה. בנקודת שיווי המשקל. בפגיעה הפלסטית אובד חלק קבוע, $\frac{0.2}{0.6+0.2} = \frac{1}{4}$, מהאנרגיה הקינטית של הגוף רגע לפני הפגיעה, והאנרגיה האלסטית לא משתנה. האנרגיה הקינטית מרבית בנקודת שיווי המשקל ואפס בקצה.

שאלה 15

א. $F = -\frac{mg_0}{R}\,x$, כלומר $c = \frac{mg_0}{R}$.

ב. $\frac{T}{2} = \pi\sqrt{\frac{R}{g_0}} \approx 2540\,\mathrm{s}$, כ־$42$ דקות.

ג. $\omega R = \sqrt{g_0 R} \approx 7.9\,\mathrm{km/s}$.

ד. זהים: זמן המחזור כ־85 דקות, והמהירות $7.9\,\mathrm{km/s}$. ההיטל של הלוויין על קו המנהרה נע בדיוק כמו הגוף, והלוויין הוא "הנקודה על מעגל הייחוס".

ה. רכיב הכבידה לאורך המנהרה הוא $g_0\frac{x}{R}$, כאשר x המרחק מאמצע המנהרה. לכן c זהה, וגם הזמן, כ־42 דקות. המהירות המרבית: $v_{\max} = \omega\cdot(10^6\,\mathrm{m}) \approx 1.24\,\mathrm{km/s}$.

© 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.