

האולימפיאדה הארצית ה- 28 לפיזיקה תשע"ז - תשע"ח שלב ב' פתרון

כל הזכויות שמורות © 2017

מפעל התחרויות בפיזיקה לנוער נתמך ע"י:

- משרד החינוך, המנהל למדע ולטכנולוגיה.
- הטכניון, מכון טכנולוגי לישראל.
- אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.
- מכון ויצמן למדע ברחובות.

מפעל האולימפיאדה לפיזיקה מתקיים בשיתוף עם הפיקוח הארצי על הוראת הפיזיקה.

צוות מחברי השאלות בשלב ב':

ד"ר אלי רז -	יו"ר צוות המחברים וראש פרויקט האולימפיאדה לפיזיקה, המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה כרמיאל, הטכניון, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה.
מר איגור ליסנקר -	ביה"ס תיכון צפית כפר מנחם.
מר דני גלאובך -	ביה"ס הריאלי חיפה, הטכניון, המרכז לחינוך קדם אקדמי.
מר אלכס וינברג -	ביה"ס אורט ע"ש נעמי שמר גן יבנה.

פתרון שלב ב': ד"ר אלי רז

פתרון שאלה מס' 1, התשובה הנכונה היא ד'

נסמן את המסה של כל כדור ב- m . כאשר המערכת בשווי משקל, הרכיב האנכי של מתיחות החוט הוא $2mg$ זאת כדי לאזן את משקל הכדורים (גומייה 1 היא אופקית). הואיל והחוט נטוי בזווית 45° לאופק, גם הרכיב האופקי של מתיחות החוט שווה ל- $2mg$.

כאשר חותכים את החוט (המסומן ב- 2), כדור A כבר לא בשווי משקל, שקול הכוחות הפועלים על הכדור מיד לאחר חיתוכו שווה ומנוגד למתיחות החוט 2 לפני החיתוך, זאת מאחר ונדרש זמן כדי שכדור A ישנה את מיקומו, כך שמיד לאחר החיתוך, שני הכדורים טרם הספיקו לשנות את מיקומם ולכן המתיחויות בגומיות מיד לאחר החיתוך לא הספיקו להשתנות.

מכאן על כדור A פועל כוח $2mg$ שמאלה ו- $2mg$ מטה, כך שגודל שקול הכוחות עליו הוא $2mg\sqrt{2}$ ולכן התאוצה היא $2g\sqrt{2}$. הואיל וכדור A טרם הספיק לזוז מיד לאחר החיתוך, כדור B נותר רגעית בשווי משקל ותאוצתו היא אפס.

פתרון שאלה מס' 2, התשובה הנכונה היא ג'

כל עוד מהירות הגוף חיובית, מרחקו מנקודת המוצא גדל. הואיל והגוף החל לנוע ממנוחה, מהירותו הרגעית מתקבלת מחישוב "השטח" מתחת לגרף התאוצה מתחילת התנועה ועד לרגע המבוקש (לדוגמה, ברגע $t = 6\text{Sec}$ מהירות הגוף היא 3m/Sec). מהירות הגוף מתאפסת לראשונה ב- $t = 9\text{Sec}$ אולם מיד אחריה היא שוב חיובית. היא מתאפסת שוב ב- $t = 12\text{Sec}$ ולאחר זמן זה מהירותו שלילית (מלבד ברגע $t = 15\text{Sec}$ בו הגוף נעצר רגעית ואחריו מהירות שוב שלילית) החל מהרגע $t = 12\text{Sec}$ הגוף נע לעבר הראשית לכן מרחקו מִרְבֵּי ברגע $t = 12\text{Sec}$.

פתרון שאלה מס' 3, התשובה הנכונה היא ב'

כדאי לדון בבעיה מהקצה השני (משמאל לימין), כאשר בקצה השמאלי יש לנו גלגלת שמתחתיה אין חוט. המתיחות בחוט הכרוך על גלגלת זו בשווי משקל הוא $2T_1 - mg = 0$ מכאן $T_1 = 0.5mg$.

כעת נראה כי אם $T_n < mg$ גם $T_{n+1} < mg$, כמו כן נראה כי $T_{n+1} > T_n$.

הואיל וכל הגלגלות בשווי משקל נקבל עבור הגלגלת ה- $n+1$ כי $2T_{n+1} - mg - T_n = 0$ ולכן

$2T_{n+1} = mg + T_n$. אם $T_n < mg$ נקבל $2T_{n+1} < mg + mg = 2mg$ ולכן $T_{n+1} < mg$.

כמו כן אם $T_n < mg$ נקבל גם $2T_{n+1} > T_n + T_n = 2T_n$ ולכן $T_{n+1} > T_n$.

מאחר ו- $T_1 = 0.5mg < mg$ מקבלים כי סדרת המתיחויות $\{T_n\}$ היא סדרה עולה וחסומה ולכן חייב להיות לה גבול. בגבול כאשר $n \rightarrow \infty$ נקבל $T_{n+1} = T_n = T$ מכאן $2T - mg - T = 0$ ומכאן $T = mg$.

הערה: בפתרון הוכחנו כי הגבול קיים. אם מניחים כי הגבול קיים כל שיש לעשות כדי למצא את קריאת הדינמומטר היא לרשום משוואת שווי משקל עבור הגלגלת התלויה על הדינמומטר (המשוואה האחרונה בפיתוח).

פתרון שאלה מס' 4, התשובה הנכונה היא ב'

הרוכב יכול להגדיל את מהירותו כל עוד פועל עליו חיכוך סטטי. ברגע בו החיכוך הופך קינטי, האופנוע מחליק ואין באפשרותו להמשיך ולנוע במסלול מעגלי. לחיכוך הסטטי שני רכיבים: רכיב בכוון המהירות שגודלו $m0.24g$ המאפשר לו להאיץ ולהגדיל את מהירות האופנוע, ורכיב

המכוון אל מרכז המעגל וגודלו $m\frac{V^2}{R}$ המאפשר לו לנוע במסלול מעגלי. ממשפט פיתגורס גודלו

של כוח החיכוך הסטטי השקול הוא: $f_s = \sqrt{\left(m\frac{V^2}{R}\right)^2 + (m0.24g)^2}$, גודל זה צריך לקיים

$f_s \leq \mu_s N = \mu_s mg$. נציב נקבל: $\sqrt{\left(m\frac{V^2}{R}\right)^2 + (m0.24g)^2} \leq \mu_s mg$ מכאן

$$m\frac{V^2}{R} \leq \sqrt{0.74^2 m^2 g^2 - 0.24^2 m^2 g^2} = \sqrt{0.49 m^2 g^2} = 0.7mg$$

ולכן $V \leq \sqrt{0.7gR} = \sqrt{0.7 \cdot 10 \cdot 175} = 35\text{m/sec}$

פתרון שאלה מס' 5, התשובה הנכונה היא ד'

אנו דנים בבעיה מנקודת מבטו של צופה הנמצא על הקרקע. כאשר פועל A מקנה לתיבה מהירות במטרה שתגיע לפועל B, מהירותה ביחס לקרקע קטנה ממהירות המשאית וכשהתיבה מגיעה לרגלי פועל B, מהירותה משתווה למהירות המשאית. בכל זמן ההחלקה מהירותה גדלה, כל שאפשרות א' אינה נכונה.

כאשר התיבה מחליקה מפועל A לפועל B, כוח החיכוך הקינטי על התיבה הוא בכוון התנועה של התיבה ולכן העבודה של כוח החיכוך היא חיובית. כאשר התיבה מחליקה מפועל B לפועל A, כוח החיכוך מנוגד לכוון התנועה ולכן עבודת כוח החיכוך היא שלילית. היות וכל גודל חיובי גדול מגודל שלילי עבודת כוח החיכוך בהחלקה מפועל A לפועל B גדולה יותר (אפשרות ג' אינה נכונה). הסימן של עבודת כוח החיכוך שונה, כך שאין שוויון (אפשרות ב' אינה נכונה). יתרה מזו, אין שוויון גם בגודל העבודה. המרחק שהתיבה עוברת כאשר היא מחליקה מפועל A לפועל B, שווה למרחק שעברה המשאית פחות מרחק המרחק שבין רגלי הפועלים. כאשר התיבה מחליקה מפועל B לפועל A, המרחק שעברה התיבה שווה למרחק שעברה המשאית + המרחק שבין רגלי הפועלים. מאחר וזמן ההחלקה שווה בשני המקרים, לכן המרחק שעברה המשאית בזמן ההחלקה שווה בשני המקרים. מכאן המרחק (ביחס לצופה) שעברה התיבה בתנועתה מפועל B לפועל A גדול יותר ולכן עבודת כוח החיכוך גם אינה שווה בגודלה בשני המקרים. אפשרות ב' אינה נכונה.

כדי לדון בסעיף ד' נניח כי המשאית נעה במהירות 20 m/sec על משטח חסר חיכוך. הכוחות בין הפועלים לתיבה בזמן הדיפת התיבה ובין התיבה והמשאית הם כוחות פנימיים שאינם משפיעים על מהירות מרכז המסה (הם כן משפיעים על מהירות המשאית) לאחר שהתיבה חזרה למצבה הראשוני כל הגופים חזרו לנוע במהירות 20 m/sec . ברור מכאן כי בסך הכל אין כל צורך שהמנוע ישקיע עבודה בסך הכל כדי לשמור על מהירות המשאית כי מהירות זו נשמרת אף בהעדר חיכוך עם הכביש. לכן תשובה ד' נכונה.

פתרון שאלה מס' 6, התשובה הנכונה היא ד'

נחלק את תנועת הצב וכן את תנועת הנמלה לפרקי זמן קצרים מאוד שכל אחד מהם נמשך זמן Δt . מהירות הנמלה ביחס לחוט היא V לכן בפרק זמן קצר זה הנמלה מתקדמת ביחס לחוט מרחק השווה ל- $V\Delta t$. אורך החוט לאחר n פרקי זמן אלה הוא $L_0 + n\Delta t \cdot 3V$ ולכן החלק

מאורך הגומייה שעברה הנמלה בפרק זמן זה הוא $\frac{V\Delta t}{L_0 + 3Vn\Delta t}$ אשר ניתן לרשום אותו באופן:

$$\frac{1}{3} \frac{1}{\frac{L_0}{3V\Delta t} + n} \text{ והחלק הכולל אותו עברה הנמלה לאחר } N \text{ שלבים הוא:}$$

$$\frac{1}{3} \left\{ \frac{1}{\frac{L_0}{3V\Delta t} + 1} + \frac{1}{\frac{L_0}{3V\Delta t} + 2} + \frac{1}{\frac{L_0}{3V\Delta t} + 3} + \dots + \frac{1}{\frac{L_0}{3V\Delta t} + N} \right\}$$

גדול יכול להגיע לכל ערך רצוי ולכן הוא גם יגיע לערך 1 שמשמעותו היא כי הנמלה גמעה את כל אורך הגומייה.

פתרון שאלה מס' 7, התשובה הנכונה היא ג'

מאחר ובכוון האופקי לא קיימים כוחות חיצוניים (אין חיכוך בין העגלה לרצפה, כוחות הכובד והכוח הנורמלי על העגלה הם אנכיים) מרכז המסה חייב לשמור על מהירותו האופקית. מהירותו האופקית ברגע השחרור היא אפס, לכן מיקומו האופקי של מרכז המסה לא יכול להשתנות.

אם נניח כי העגלה זזה מרחק x מטרים, יחד איתה המשקולות A ו- C זזו אף הן מרחק אופקי x מטרים ואילו המשקולת B זזה מרחק $x+1$ מטרים. השינוי במיקום האופקי של מרכז המסה

$$\text{הוא אפס לכן: } \frac{3mx + m(x+1)}{4m} = 0 \text{ מפתרון המשוואה נקבל } x = -\frac{1}{4} \text{ m.}$$

פתרון שאלה מס' 8, התשובה הנכונה היא א'

שאלה זו דנה בכוחות עילוי הפועלים על גופים השרויים בנוזל ובכוחות הפועלים במערכות מואצות. על גוף השרוי בנוזל פועל כוח עילוי השווה למשקל הנוזל בנפח השווה לנפח הגוף השקוע בנוזל, דהיינו $F_{\text{עילוי}} = V\rho_L g$ היכן ש- ρ_L היא צפיפות הנוזל, V הנפח השקוע ו- g תאוצת הכובד.

עבור גופים שוקעים כוח הכובד גדול מכוח העילוי, ועבור גופים צפים המוחזקים במלואם בתוך הנוזל, כוח העילוי גדול מכוח הכובד. אם נסמן ב- T את מתיחות החוט נקבל:

עבור גוף שוקע:

$$m - V\rho_L > 0 \text{ כאשר } T + V\rho_L g - mg = 0 \Rightarrow T = mg - V\rho_L g = (m - V\rho_L)g$$

עבור גוף צף הקשור לקרקעית:

$$V\rho_L - m > 0 \text{ כאשר } V\rho_L g - mg - T = 0 \Rightarrow T = V\rho_L g - mg = (V\rho_L - m)g$$

כאשר מאיצים את המכל בתאוצה מעלה, הדבר שקול להגדלה של תאוצת הכובד, דהיינו g גדל ולכן המתיחות בחוט תגדל בשני המקרים.

פתרון שאלה מס' 9, התשובה הנכונה היא ב'

השאלה מבוססת על חוק הגרביטציה של ניוטון. כוח המשיכה בין בין גוף כדורי אחיד למשקולת

קטנה שנמצאת מחוץ לגוף הכדורי הוא $F = -G \frac{Mm}{r^2}$ כאשר G הוא קבוע הגרביטציה, M מסת

הכדור האחד, m מסת המשקולת, r המרחק בין מרכז הכדור למשקולת והסימן (-) מצייין כי מדובר בכוח משיכה ולא דחייה. הנוסחה נכונה לכל זוג מסות נקודתיות, ניוטון הראה כי ניתן להתייחס לכדור אחיד כחלקיק נקודתי שמסתו ממוקמת במרכז הכדור.

כדי לחשב את כוח המשיכה בנקודות A ו- B, נמלא את החלל הכדורי בחומר ונקבל כדור אחיד

שרדיוסו R . כוח המשיכה של כדור מלא שווה בגודלו בנקודות A ו- B דהיינו שווה $G \frac{Mm}{R^2}$

$$\text{כוח המשיכה של האסטרואיד} + \text{כוח המשיכה של חומר המילוי} = G \frac{Mm}{R^2}$$

לחומר המילוי מחצית הרדיוס ומכאן שמינית הנפח ולכן גם שמינית המסה.

$$\text{כוח המשיכה של חומר המילוי בנקודה A הוא } F_{\text{מילוי A}} = G \frac{1}{8} \frac{Mm}{(0.5R)^2} = G \frac{Mm}{2R^2}$$

$$\text{ואילו בנקודה B כוח המשיכה של חומר המילוי הוא } F_{\text{מילוי B}} = G \frac{1}{8} \frac{Mm}{(1.5R)^2} = G \frac{Mm}{18R^2}$$

$$\text{מכאן המשיכה של האסטרואיד בנקודה A הוא } F_{\text{astroid A}} = G \frac{Mm}{R^2} - G \frac{Mm}{2R^2} = G \frac{Mm}{2R^2}$$

$$F_{astroidB} = G \frac{Mm}{R^2} - G \frac{Mm}{18R^2} = \frac{17}{18} G \frac{Mm}{R^2} \quad \text{כוח המשיכה של האסטרואיד בנקודה B הוא}$$

$$F_{astroidB} = 17 \text{ N} \quad \text{נקבל} \quad F_{astroidA} = 9 \text{ N} \quad \text{נשתמש בנתון} \quad \frac{F_{astroidB}}{F_{astroidA}} = \frac{17}{9}$$

פתרון שאלה מס' 10, התשובה הנכונה היא ד'

נסמן את מהירות מרכז הגלילים ב- V , את מהירותם הזוויתית ב- ω ואת רדיוס הגלילים ב- r נשים לב כי $2r = b - a$. מאחר והגלילים מתגלגלים על הטבעות ללא החלקה, מהירות

$$\text{נקודות הגליל הנושקות לטבעת החיצונית היא } V + \omega r = \omega_2 b$$

$$\text{נקודות הגליל הנושקות לטבעת הפנימית היא } V - \omega r = \omega_1 a$$

מחיסור המשוואות נקבל: $2\omega r = \omega_2 b - \omega_1 a$. נציב $2r = b - a$ נקבל $(b - a)\omega = \omega_2 b - \omega_1 a$

$$\text{מכאן } \omega = \frac{\omega_2 b - \omega_1 a}{b - a} \quad \text{על יד חלוקה ב- } 2\pi \quad (\omega = 2\pi f) \quad \text{נקבל:}$$

$$f = \frac{f_2 b - f_1 a}{b - a} = \frac{40 \cdot 5.5 - 20 \cdot 5}{5.5 - 5} = 240 \text{ Hz}$$

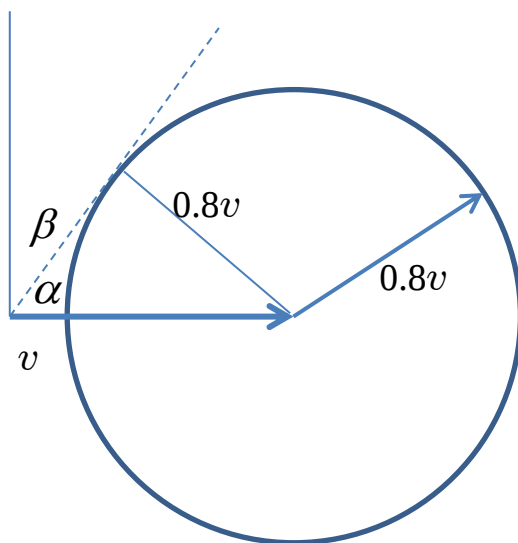
פתרון שאלה מס' 11, התשובה הנכונה היא ב'

כידוע גודלו של כוח החיכוך הקינטי אינו תלוי בגודל המהירות של הגוף המחליק אולם כן תלוי בכוון המהירות (מנוגד לכוון ההחלקה).

כאשר מהירות מרכז הטבעת היא אפס, כוח החיכוך הקינטי הכולל הפועל על הטבעת הוא אפס, נעין בשני אלמנטי מסה הנמצאים בקצות קוטר של הטבעת. כנגד כל אלמנט מסה הנע בכוון מסוים, יש בקצהו השני של הקוטר אלמנט מסה שווה (אחידות הטבעת) נע בכוון הפוך ולכן סכום הכוחות הפועלים על שני האלמנטים הוא אפס. התוצאה היא כי הטבעת תחליק על המשטח כאילו היה חלק, דהיינו בתאוצה של $0.5g$ בכוון מורד המדרון.

תאוצה זו תמשך כל עוד מהירות מרכז המסה זניחה ביחס למהירות ההיקפית של הטבעת כך שכוון המהירות של אלמנט מסה כמעט ואינו מושפע ממהירות מרכז המסה.

עם הזמן מהירות מרכז המסה כבר לא זניחה ואופן התנועה ישתנה.



פתרון שאלה מס' 12, התשובה הנכונה היא ג'

כדי לדעת את ווקטור המהירות של הסירה ביחס לחוף יש לבצע חיבור ווקטורי של מהירות הזרימה של מי הנהר למהירות הסירה ביחס למים. מהירות הזרימה של מי הנהר היא v

ואילו גודלה של מהירות הסירה הוא $0.8v$. התרשים מתאר את אופן חיבור המהירויות. קצות ווקטור מהירות הסירה ביחס למים מיוצג ע"י המעגל בתרשים. הואיל ומהירות הסירה קטנה ממהירות הזרם, לא ניתן לחצות את הנהר במאונך לזרם. הכוון הקרוב ביותר לכוון האנך לזרם מתקבל ע"י העברת משיק מראשית ווקטור מהירות הזרם אל המעגל.

משיק זה יוצר זווית β עם האנך לכוון הזרם. מעיון בתרשים, $\sin \alpha = 0.8$ לכן $\sin \beta = 0.6$. המרחק הקרוב ביותר בין נקודת ההגעה של הסירה לגדה ממול לנקודת החצייה הרצויה הוא:

$$d \tan \beta = d \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = d \frac{0.6}{0.8} = 0.75d$$

פתרון שאלה מס' 13, בשאלה נפלה טעות בניסוח ולכן השאלה נפסלה. הניסוח הנכון מופיע בגרסה המעודכנת המופיעה באתר.

התשובה הנכונה לניסוח המתוקן היא ב'

על הדסקה פועל כוח חיכוך קינטי המנוגד למהירות הדסקה ומאט את מהירות הדסקה. בנוסף, פועל על הדסקה כוח המאונך למהירות הדסקה והגורם לשינוי כוון של תנועת הדסקה. כוח המאונך למהירות אינו משנה את גודל המהירות.

אם נעניין בקטע קטן של מסלול הדסקה המהווה קשת של מעגל בעל רדיוס רגעי R , נקבל מהחוק

השני של ניוטון כי הכוח המאונך למהירות מקיים: $\beta m V = m \frac{V^2}{R}$ מכאן $\beta = \frac{V}{R}$. אולם $\frac{V}{R}$ היא

המהירות הזוויתית של הדסקה. קיבלנו כי למרות שמהירותה הקווית של הדסקה לא קבועה,

מהירותה הזוויתית קבועה ושווה β . ווקטור המהירות משלים בכוונו סיבוב לאחר זמן t

המקיים $\beta t = 2\pi$. גודל המהירות מושפע מכוח החיכוך. קצב שינוי גודל המהירות (התאוצה

המשיקית) הינו $-\mu g$ ולכן גודל המהירות ניתן ע"י הביטוי: $V(t) = V_0 - \mu g t$. מהשוואת גודל

המהירות ל- אפס נקבל את הזמן עד העצירה $V_0 - \mu g t = 0 \Rightarrow t = \frac{V_0}{\mu g}$. נשווה זמן זה לזמן

השלמת סיבוב נקבל $\frac{2\pi}{\beta} = \frac{V_0}{\mu g}$ ומכאן $\beta = \frac{2\pi \mu g}{V_0}$. לאחר הצבת μ נקבל $\beta = \frac{2\pi}{5} \frac{g}{V_0}$.

פתרון שאלה מס' 14, התשובה הנכונה היא ג'

מאחר ומרכז הגליל נותר במקומו, שקול הכוחות הפועל על היויו חייב להתאפס.

$T - Mg = 0 \Rightarrow T = Mg$. הכוח היחיד התורם למומנט הכוח הוא כוח המתיחות בחוט (כוח

הכובד לא תורם למומנט מאחר והוא פועל באופן ממוצע על מרכז המסה. ממשוואת מומנטים

נקבל $TR = I\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{TR}{I} = \frac{MgR}{0.5MR^2} = \frac{2g}{R}$. $R\alpha = 2g$. זו התאוצה

בה החוט משתחרר, זו גם התאוצה שעל הילד למשוך את החוט מעלה כדי שהיו-יו יישאר במקום.

פתרון שאלה מס' 15, התשובה הנכונה היא ד'

מאחר והרוכב הצליח לנוע בשתי המגמות מבלי להחליק, משתמע כי במצב עמידה על הקרוסלה

הרוכב לא היה מחליק. מבלי לפגוע בכלליות נניח שהרוכב נע במהירות V_1 כאשר הרוכב נע עם

כוון הקרוסלה. מהירותו ביחס לקרקע היא $V_1 + \omega R$. תאוצתו (המכוונת אל מרכז המעגל היא:

$$\frac{(V_1 + \omega R)^2}{R^2} = \mu_s mg : m$$

בתנועה נגד מגמת הסיבוב מהירותו V_2 ביחס לקרוסלה מקיימת $V_2 > 2\omega R$ זאת כדי שמהירות ביחס לקרקע תהיה גדולה יותר מהמהירות ביחס לקרקע במצב עמידה על הקרוסלה. בתנועה נגד מגמת הסיבוב מהירותו ביחס לקרקע היא $V_2 - \omega R$ ותאוצתו $\frac{(V_2 - \omega R)^2}{R}$. על סף החלקה

נקבל: $\frac{(V_2 - \omega R)^2}{R} = \mu_s mg$. מהשוויון $m \frac{(V_1 + \omega R)^2}{R^2} = m \frac{(V_2 - \omega R)^2}{R}$ נקבל $V_2 - V_1 = 2\omega R$ ומכאן $V_2 - \omega R = V_1 + \omega R$.