



האולימפיאדה הארצית ה- 29 לפיזיקה תשע"ח – תשע"ט ©

אנו שמחים על השתתפותכם בשלב א' של האולימפיאדה הארצית ה- 29 לפיזיקה.

צוות מחברי השאלות בשלב א':

- ד"ר אלי רז - יו"ר צוות המחברים וראש פרויקט האולימפיאדה לפיזיקה, המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה, כרמיאל,
- מר דני גלאובך - ביה"ס הריאלי חיפה, הטכניון, המרכז לחינוך קדם קדמי.

פתרון שלב א': ד"ר אלי רז

פתרון שלב א'
כל הזכויות שמורות
© 2018

פתרון שאלה מס' 1 התשובה הנכונה היא ג'

התנועה האנכית אינה מושפעת מהתנועה האופקית. הרכיב האנכי של מהירות סילון המים שווה בשני המקרים, מכאן גם זמן המעוף של טיפות סילון המים שווה בשני המקרים. הטווח האופקי של טיפות המים מתקבל מהכפלת זמן המעוף ברכיב האופקי של המהירות. רכיב זה שונה בשתי הכבאיות וההפרש בטווחים הוא המכפלה של V (הפרש ברכיב האופקי של מהירות הסילון) בזמן המעוף. מאידך הכבאית הנעה התקדמה בדיוק מרחק השווה למכפלה של V בזמן המעוף. לכן ההפרש באותו רגע בין מיקום פגיעת הסילון למיקום הכבאית אינו תלוי ב- V ומכאן עבור שתי הכבאיות נקבל תוצאה שווה.

פתרון שאלה מס' 2 התשובה הנכונה היא ד'

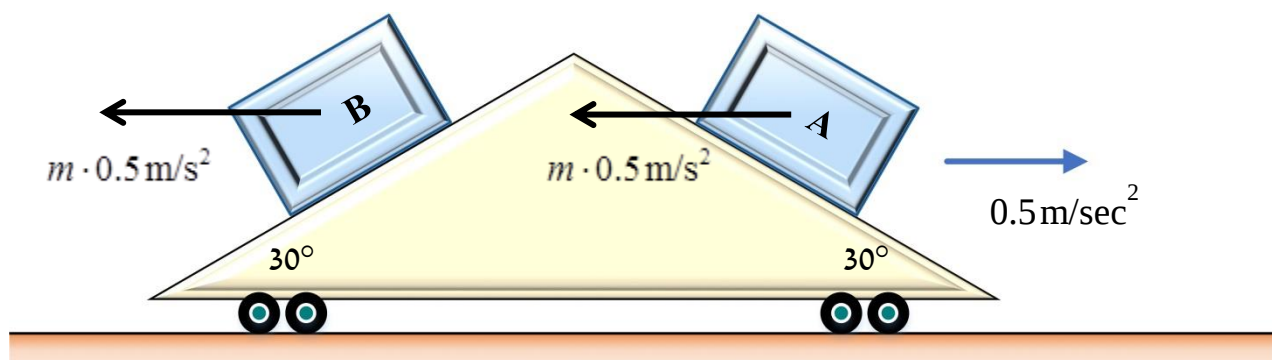
גודל המתיחות T בחוט הקשור למשקולת מקיים $T = mg$ כי המערכת במנוחה. נסמן את גודל המתיחות בחלק התחתון של הקפיץ ב- F . בחלק התחתון של הקפיץ המתיחות אופקית. הכוחות שמפעילים שני חלקי הקפיץ זה על זה בנקודה התחתונה אופקיים שווים בגודלם ל- F ומנוגדים בכוונם. כדי שהחלק של הקפיץ מהנקודה התחתונה ועד לנקודת החיבור של הקפיץ עם החוט יימצא בשווי משקל, הרכיב האופקי של מתיחות החוט חייב להיות F .

המתיחות בשני החוטים שוות ($T = mg$) והרכיב האופקי שלהן אף הוא שווה בגודל ומנוגד בסימן. מכאן הרכיבים האנכיים של מתיחות החוטים שווים בגודלם. יחד הם שווים למשקל הקפיץ דהיינו mg ולכן הרכיב האנכי של מתיחות החוט מקיים $T_{\perp} = \frac{1}{2}mg$. מכאן, הרכיב האופקי $T_{\parallel}$ לפי משפט

$$T_{\parallel} = \frac{\sqrt{3}}{2}mg \quad \text{מכאן} \quad T_{\parallel}^2 = T^2 - T_{\perp}^2 = (mg)^2 - \left(\frac{1}{2}mg\right)^2 = \frac{3}{4}(mg)^2$$

פתרון שאלה מס' 3 התשובה הנכונה היא ב'

נוח לדון בבעיה ממערכת המנסרה. בשל תאוצת המנסרה, בנוסף לכוחות הפועלים על התיבות במערכת המעבדה, על כל תיבה יפעל כוח אופקי שמאלה שגודלו $m \cdot 0.5 \text{ m/s}^2$.



בשל כוחות אלה, כדי שהתיבות תשארנה במנוחה במערכת המנסרה, כוח החיכוך על תיבה B חייב לגדול, לשם איזון תוספת הכוח הנובע מתאוצת המנסרה (יש לו רכיב בכיוון מורד המדרון). מאותו נימוק כוח החיכוך על A קטן (לכוח הנוסף רכיב בכיוון מעלה המדרון המקטין את החיכוך הסטטי. יש לשים לב כי הכוח הנורמלי על תיבה A גדל ועל B קטן, אולם במצב סטטי גודל כוח החיכוך לא תלוי בכוח הנורמלי אף כי הסף שלו כן תלוי בכוח הנורמלי. למרות שסף ההחלקה עבור תיבה A קטן, כוח החיכוך עליה במצב של חיכוך סטטי גדל.

פתרון שאלה מס' 4 התשובה הנכונה היא א'

כאשר הארגז נע במהירות קבועה (בשל המשאית שגוררת אותו), הכוח השקול הפועל עליו שווה אפס. $kx - \mu mg = 0$ מכאן $kx = \mu mg$. כאשר נשמת חלק ממסת הארגז (חמישית המסה) הכוח של הקפיץ גדול מכוח החיכוך והארגז מואץ תחילה לכיוון המשאית. לשם ניתוח הבעיה, נדון בבעיה דומה. נניח כי משקולת תלויה על קפיץ במצב שווי משקל. אם נמשוך מעט מטה את המשקולת ממצבה בשווי משקל היא תתנווד. תנודות אלה לא ידעכו (אם מזניחים התנגדות אוויר או אבדן אנרגיה בקפיץ עצמו). קיומו של כוח הכובד לא יגרום לדעיכה של התנודות. כעת במקום למשוך את המשקולת מטה, נוסיף משקולת, נקודת שווי משקל תמצא בנקודה נמוכה יותר. אם נשמיט את המשקולת שהוספנו, נחזור שוב למצב תנודות שלא דועכות.

וכעת לבעיה שלנו. כוח החיכוך לאחר נפילת המשקולת מהארגז נותר קבוע והוא אנלוגי מנקודת ראות של צופה הנמצא על המשאית, לכוח הכובד שפעל על המשקולת התלויה. נקבל מנקודת ראות

של צופה הנמצא על המשאית כי הארגז מבצע תנודות סביב נקודת שווי משקל חדשה הנמצאת במרחק מסוים מהמשאית. מנקודות ראות של צופה במעבדה אין תנודה מחזורית במיקום כי הארגז מתקדם, אולם יש תנודות במהירות סביב מהירות המשאית.

פתרון שאלה מס' 5 התשובה הנכונה היא ד'

בנקודה הנמוכה ביותר גודלו של הכוח הנורמלי הוא הגדול ביותר והוא מכוון אל מרכז מהעגל, לכן הכוח בנקודה הנמוכה ביותר הוא שלילי ומכאן הוא N_{min} . הכוח המכסימלי N_{max} מתקבל בנקודה הגבוהה ביותר הוא יכול להיות שלילי אם המהירות מספיק גדולה, או חיובי אם היא קטנה.

נסמן את המהירות בתחתית ב- V_D , את המהירות בפסגה ב- V_{UP} ואת רדיוס החישוק ב- R .

מחוקי ניוטון נקבל:

$$1) \quad -mg + N_{max} = -\frac{mV_{UP}^2}{R} \quad \text{בנקודה העליונה:}$$

$$2) \quad mg + N_{min} = -\frac{mV_D^2}{R} \quad \text{בנקודה התחתונה:}$$

$$3) \quad N_{max} - N_{min} - 2mg = \frac{1}{R}(mV_D^2 - mV_{UP}^2) \quad \text{מחיסור המשוואות נקבל:}$$

$$mV_D^2 - mV_{UP}^2 = 4mgR : \text{משימור אנרגיה: } \frac{m}{2}V_D^2 = \frac{m}{2}V_{UP}^2 + 2mgR, \text{ הכפלה ב- 2 והעברת אגף: } mV_D^2 - mV_{UP}^2 = 4mgR.$$

$$N_{max} - N_{min} - 2mg = \frac{1}{R}4mgr = 4mg \quad \text{נציב זאת במשוואה 3 נקבל}$$

$$N_{max} - N_{min} = 6mg \quad \text{מכאן}$$

פתרון שאלה מס' 6 התשובה הנכונה היא ג'

נסמן $P = |\vec{P}|$. הרגע t_A בו תיבה A תחל להחליק מקיים $\beta t_A = \mu m_A g$. הרגע t_B בו תיבה B תחל

להחליק מקיים $\beta t_B - \mu m_A g = \mu(m_A + m_B)g$ דהיינו $\beta t_B = \mu m_A g + \mu(m_A + m_B)g$.

מכאן מסיקים כי $t_B - t_A > t_A$.

כל עוד תיבה A לא החלה להחליק, הכוחות הפועלים על תיבה B מקיימים $P(t) - P(t) + f_s = 0$

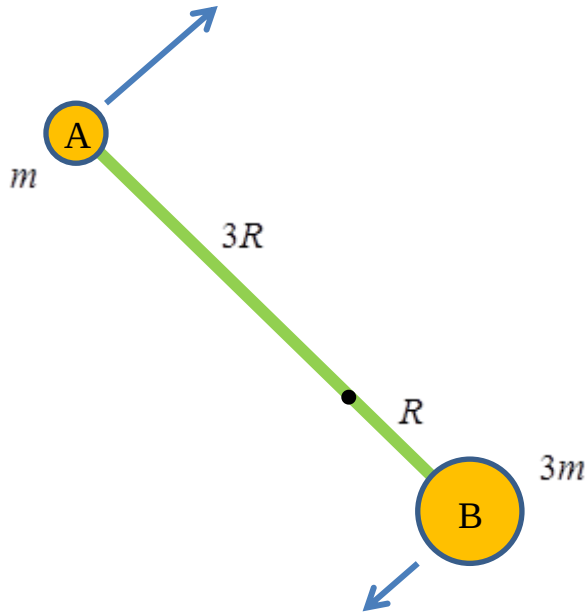
כאשר f_s הוא החיכוך הסטטי בין תיבה B לרצפה. מכאן עד שתיבה A מתחילה להחליק נקבל

$f_s = 0$. לאחר שתיבה B מחליקה החיכוך בינה לרצפה הוא קינטי והוא קבוע בגודלו.

מבין האפשרויות שהוצגו, אפשרות א' נפסלת כי לא קיים פרק זמן בו החיכוך עם הרצפה הוא אפס (עד לתחילת החלקה של A). אפשרות ב' נפסלת כי אין פרק זמן בין ההחלקה של A להחלקה של B.

אפשרות ד' נפסלת כי $t_A > t_B - t_A$. האפשרות הנותרת המקיימת את תנאי הבעיה היא אפשרות ג'.

פתרון שאלה מס' 7 התשובה הנכונה היא ד'



התנועה של מרכז המסה של המוט היא תנועה בליסטית (זריקה בזווית). המשקולות מסתובבות סביב מרכז המסה במהירות זוויתית קבועה. בשל יחס המסות של המשקולות, יחס הרדיוסים של התנועה הסיבובית סביב מרכז המסה עומד ביחס הפוך ליחס המסות. המשקולת B חגה סביב מרכז המסה במהירות זוויתית ω וברדיוס R ואילו המשקולת A חגה באותה מהירות זוויתית אולם ברדיוס $3R$. אם נסמן ב- U_x את הרכיב האופקי של מהירות מרכז המסה של המוט, הרכיב האופקי של מהירות המשקולת B יקיים:

$$0 = U_x - \omega R \leq V_{Bx} \leq U_x + \omega R = V$$

$$U_x = \omega R = \frac{V}{2} \quad \text{מכאן:}$$

עבור משקולת A מתקיים:

$$U_x - \omega 3R \leq V_{Ax} \leq U_x + \omega 3R$$

$$\text{נציב } U_x = \omega R = \frac{V}{2} \text{ נקבל: } \frac{V}{2} - 3\frac{V}{2} \leq V_{Ax} \leq \frac{V}{2} + 3\frac{V}{2} \quad \text{דהיינו } -V \leq V_{Ax} \leq 2V.$$

פתרון שאלה מס' 8 התשובה הנכונה היא א'

בתנועה מעגלית במהירות זוויתית קבועה ω (או במהירות משיקית קבועה V) התאוצה מכוונת אל המרכז וגודלה $\omega^2 R$ (או $\frac{V^2}{R}$). תאוצה זו בבעיה המוצגת מושגת בעזרת כוח החיכוך הסטטי. לפיכך,

$$\text{לקיום התנועה המעגלית, חייב להתקיים } \omega^2 R \leq \mu mg \quad \left(\frac{V^2}{R} \leq \mu mg \right) \text{ (או)}$$

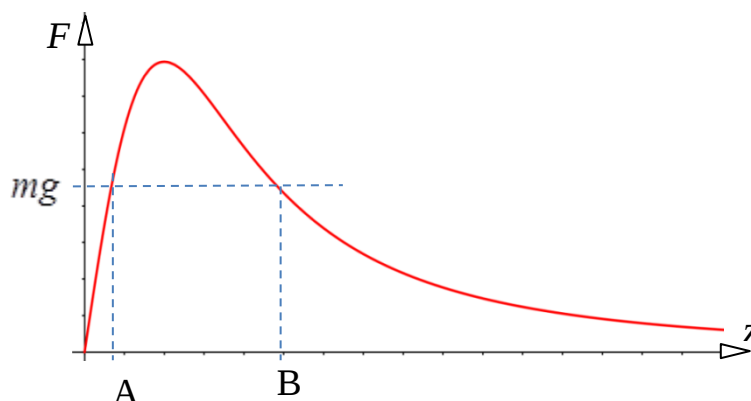
גלגלי השיניים A ו-B נעים באותה מהירות זוויתית ω , אולם רדיוס הסיבוב של גלגל A גדול יותר. כאשר מגדילים באיטיות את ω , התנאי $\omega^2 R \leq \mu mg$ יופר קודם לגלגל השיניים A ולכן במטבעות על היקף גלגל A יחליקו לפני המטבעות שעל גלגל B.

בשל מערכת התמסורת בין גלגלי שיניים B ו-C, גודל המהירות של הנקודות בהיקפים של גלגלי שיניים B ו-C יהיה שווה. כאשר מגדילים בהדרגה את V , התנאי $\frac{V^2}{R} \leq \mu mg$ יופר בגלגל השיניים B לפני שהוא יופר בגלגל C כי רדיוס גלגל B קטן יותר. לכן המטבעות בגלגל B יחליקו לפני המטבעות בגלגל C.

מהאמור לעיל משתמע כי המטבעות יחליקו קודם מגלגל A, אח"כ מגלגל B ולבסוף מגלגל C.

פתרון שאלה מס' 9 התשובה הנכונה היא ב'

ליצירת מצב של שווי משקל, כוח הדחיה החשמלי חייב להשתוות לכוח הכובד mg .
בתרשים השוויון מתקבל בשתי נקודות A ו-B, שתי נקודות אלה עשויות להיות נקודות שווי משקל.



בנקודה A תזוזה קטנה של החרוז מעלה תגדיל את כוח הדחיה והחרוז ימשיך לנוע מעלה. תזוזה קטנה מטה תקטין את כוח הדחיה והחרוז ימשיך לנוע מטה, לכן נקודה A היא נקודת שווי משקל רופף.

בנקודה B, תזוזה קטנה של החרוז מעלה תקטין את כוח הדחיה ואז החרוז יחזור מטה. תזוזה קטנה מטה כוח הדחיה יגדל ואז החרוז יחזור מעלה. נקודה B היא נקודת שווי משקל יציב.

פתרון שאלה מס' 10 התשובה הנכונה היא א'

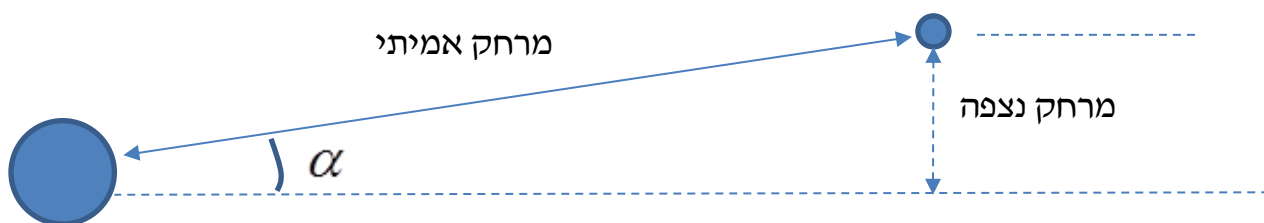
כאשר מצלמים עצמים רחוקים לא ניתן להבחין בממד עומק אלא רק במרווח בזוויתי בין העצמים. למעשה, אנו צופים בהיטל של העצמים על מישור המאונך לכיוון ההסתכלות.

מעיון בתצלום, המרחק הנצפה בין הארץ לירח הוא מעט יותר משני רדיוסי ארץ.

אולם המרחק האמיתי בין הארץ לירח הוא בקירוב 60 רדיוסי ארץ.

מעיון בתרשים הזווית α ירח – ארץ – מצלמה מקיימת :

היחס בין המרחק הנצפה למרחק האמיתי $\sin \alpha =$



$$\text{מכאן } \sin \alpha = \frac{2}{60} \text{ לכן } \alpha \approx 2^\circ$$

הערה, מאחר ולא ניתן להבחין מי קרוב יותר לחללית, ייתכן כי הזווית היא הזווית המשלימה ל- 180° דהיינו $\alpha \approx 178^\circ$.

פתרון שאלה מס' 11 התשובה הנכונה היא ג'

המזחלת של הילד הראשון שהתנתקה קודם בנקודה A, מהירותה ב A היא הגדולה ביותר, התנאי להנתקות לא תלוי במסה אלא במהירות, בעקמומיות המשטח ובכוון הנורמל של המשטח.

בתנועה לאורך המדרון, השינויים במהירות המזחלת תלויים בצורת המדרון, בתאוצת הכובד ובמקדם החיכוך הקינטי. היא אינה תלויה במסת המזחלת. לכן המזחלת של הילד הראשון איבדה פחות ממהירותה בשל כוח החיכוך, ולכן מקדם החיכוך עבורה הוא הקטן ביותר. מאוה סיבה מקדם החיכוך בין השלג למזחלת הילד השלישי הוא הגדול ביותר.

פתרון שאלה מס' 12 התשובה הנכונה היא ד'

מאחר והקפיץ חסר מסה, הכוח שהקפיץ מפעיל על שמקולת B שווה למתיחות בחוט. הואיל והמשקולות זהות, יוצא איפא כי הכוח השקול הפועל על משקולת A שווה בכל רגע לכוח השקול הפועל על משקולת B. שתי המשקולות שוחררו ממנוחה, לכן שתיהן תתנוודנה יחדיו כגוף אחד.

פתרון שאלה מס' 13 התשובה הנכונה היא ג'

כאשר מביטים מהאוויר על עצם הנמצא בנוזל העומק h מפני הנוזל, הוא ייראה לצופה מבחוץ בעומק $\frac{h}{n}$ כאשר n הוא מקדם השבירה של הנוזל. מאידך עם מביטים מתוך הנוזל על עצם הנמצא במרחק h מעל פני הנוזל, הוא ייראה במרחק של nh .

בבעיה שלנו במצב I, הדג באקווריום A יראה את הדג באקווריום B נמצא במרחק $nL + D$. במצב II מרחק הדג באקווריום B ייראה מנקודה באוויר הסמוכה לדופן אקווריום A כאילו הוא נמצא במרחק $L + \frac{D}{n}$. אולם הדג באקווריום A נמצא בתוך המים ולכן יש להכפיל את הביטוי $L + \frac{D}{n}$ במקדם השבירה n נקבל כי במצב II הדג באקווריום B יראה לדג באקווריום A במרחק: $n(L + \frac{D}{n}) = nL + D$. גישה אחרת:

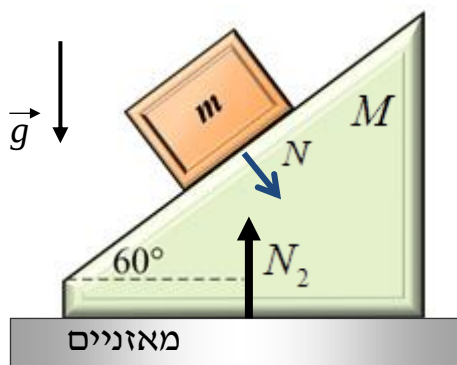
בשני המצבים האור עבר אותו מרחק באוויר ובמים, מאחר ומשטחי השבירה מישוריים לא נקבל הבדל בגודל הדמות.

פתרון שאלה מס' 14 התשובה הנכונה היא ב'

מכדור הארץ, התנועה הזוויתית הנצפית של השמש ברקיע משלימה סיבוב במשך יממה. הקוטר הזוויתי של השמש הוא בקירוב חצי מעלה. היחס בין הקוטר הזוויתי של השמש ל- 360° שווה ליחס בין זמן השקיעה לזמן של יממה. מיחס זה נקבל כי זמן השקיעה הוא בקירוב 2 דקות.

בפועל, זמן השקיעה ארוך יותר בשל השבירה של האור באטמוספירה. הזמן תלוי גם במיקום על כדור"א .

מנקודת מבט של הירח, השמש נראית מקיפה את הירח במשך חודש (זה משך יממה מנקודת ראות שעל הירח) כי הירח מפנה כל הזמן את אותו צד אל הארץ במהלך הקפתו. מכאן גם משך השקיעה יתארך באותו יחס דהיינו בקירוב פי 30 ולכן זמן השקיעה עבור צופה על הירח הוא בקירוב $2 \cdot 30 \approx 60$ דקות, דהיינו שעה אחת.



פתרון שאלה מס' 15 התשובה הנכונה היא ב'

גודלו של הכוח הנורמלי $\vec{N}$ שהתיבה מפעילה על המנסרה הוא $N = mg \cos 60^\circ = 0.5mg$. הרכיב האנכי של הכוח $\vec{N}$ הוא $-N \cos 60^\circ = -0.5mg \cdot 0.5 = -0.25mg$. נסמן ב- N_2 את הכוח הנורמלי שהמאזניים מפעילים על המנסרה. מסיכום כוחות על המנסרה בכוון האנכי נקבל $N_2 - Mg - 0.25mg = 0$: מכאן $N_2 = (M + 0.25m)g$.

פתרון שאלה מס' 16 התשובה הנכונה היא ד'

בכל אחד מהתרשימים א', ב' ו- ג' המים הפוגעים בעגלה מקבלים את מהירות העגלה ויוצאים ממנה במהירות אופקית השווה למהירות העגלה. העגלה אם כך מסרה תנע אופקי לטיפות המים שפגעו בה. תנע זה חייב לבוא על חשבון תנע העגלה ולכן מהירות העגלה תקטן בזמן. בתרשים ד' למים היוצאים מהפתח האחורי יש מהירות אופקית שלילית ביחס לעגלה. אם מהירות המים היוצאים שווה אפס במערכת המעבדה וקצב יציאת המים שווה לקצב בו מסת טיפות הגשם פוגעות בעגלה, התנע של העגלה לא משתנה והיא תנוע במהירות קבועה.

פתרון שאלה מס' 17 התשובה הנכונה היא ב'

נסמן ב- I את עוצמת האור היוצא מהמקור ופוגע במפצל האלומה. הואיל ורק מחצית מהעוצמה עוברת דרך המפצל, העוצמה שתגיע לגלאי A היא $0.5I$.

עוצמת האור המגיע לקוצץ האופטי היא $0.5I$ בשל המפצל המחזיר רק מחצית העוצמה.

החסימה של הקוצץ האופטי חוסמת במוצע 60% מהאור הפוגע במפצל והמרווחים מעבירים 40%, כך שאחרי הקוצץ העוצמה של האור היא $0.5I \cdot 0.4 = 0.2I$, ההחזרה מהמראה האידיאלית לא מפחיתה את העוצמה. בדרכו חזרה האור עובר שוב דרך הקוצץ האופטי, אלא שהפעם כל האור עובר (ולא 40% כפי שניתן להניח) הסיבה לכך היא כי הזמן הדרוש לאור להגיע למראה ולחזור ממנה הוא

כל כך קצר (בשל מהירותו הגדולה של האור $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$), כך שתזוזת הכנפיים זניחה ולכן האור חוזר דרך אותם מרווחים דרכן חלף בדרכו אל המראה. לכן עוצמת האור המוחזר מהמראה והמגיע למפצל נותרת $0.2I$. אור זה עובר דרך המפצל אל גלאי B. מאחר ורק מחצית העוצמה עוברת דרך המפצל, העוצמה המגיעה לגלאי B היא : $0.5 \cdot 0.2I = 0.1I$

היחס בין עוצמת האור המגיע לגלאי A לעוצמת האור המגיע לגלאי B היא : $\frac{0.5I}{0.1I} = 5$

פתרון שאלה מס' 18 התשובה הנכונה היא א'

כל עוד למשקולת התלויה יש רכיב מהירות בכוון המסילה, המתיחות בחוט תקנה מהירות לעגלה וזו האחרונה תרוסן בשל ההתנגדות הקטנה של האוויר. כאשר מתנודות המשקולת יישאר רק הרכיב המאונך למסילה, העגלה תמצא במנוחה והמשקולת תמשיך להתנודד במישור המאונך למסילה.

פתרון שאלה מס' 19 התשובה הנכונה היא ד'

ייתכן כי המרחק בין שני גופים מינימלי גם אם המהירויות של הגופים שונות, לדוגמה המרחק בין מכונית הנוסעת על הכביש להולך רגל המהלך על המדרכה הוא מינימלי ברגע מסוים אף כי המהירויות שונות, כך ששוויון של מהירויות אינו תנאי הכרחי. מנקודת ראותה של הזבובה, כאשר המרחק בין הזבובים מינימלי, מהירות ההתקרבות של הזבוב היא אפס ואם הזבוב נע ביחס לזבובה, מהירותו היחסית היא בכוון הניצב ללקו המחבר ביניהם. אולם יש לציין כי אם המהירות היחסית היא אפס, ייתכן כי המרחק מינימלי, כך שהתנאי ב' ד' אינו בהכרח הכרחי וכדי שהוא יהיה הכרחי יש לדרוש מהירויות שונות של הזבובים בכל רגע. התשובה הנכונה א' או ד' אולם אפשרות כזו לא הוצגה, לפיכך התשובות א' ו- ד' תתקבלנה כנכונות.

פתרון שאלה מס' 20 התשובה הנכונה היא ג'

דמות במראה מישורית היא שיקוף של העצם ביחס למישור המראה. אם מראה נמצאת במישור $z = 0$, ועצם נקודתי ממוקם בנקודה (x, y, z) , דמותו תמצא בנקודה $(x, y, -z)$.
התרשים מציג את העצמים והדמויות.

דמויות	WAV	BED	SUM	TOT
מראה				
עצמים	WAY	BED	SUM	TOT

מהתרשים אנו רואים כי רק דמותה של המילה BED זהה לעצם המקורי.

פתרון שאלה מס' 21 התשובה הנכונה היא ב'

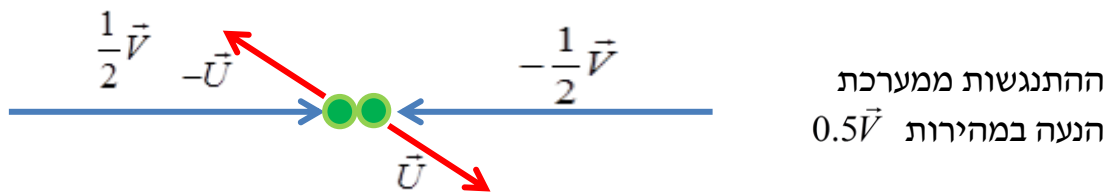
אם הקרונית תנוע ימינה בתאוצה קבועה שגודלה $g \sin \alpha$, עבור צופה הנמצא על הקרונית גופים באוויר ינוע בתאוצה שלה רכיב אנכי מטה שגודלו g ורכיב אופקי שמאלה שגודלו $g \sin \alpha$.
לכן מנקודת מבטו של הצופה על הקרונית, כדור הפלדה הנורה מהצינור ינוע בתאוצה המקבילה ומנוגדת לכוון הצינור ולכן הכדור ינוע בקו ישר, יעצור ויחזור לאורך אותו קו חזרה אל הצינור.
בכל יתר האפשרויות הכדור לא יחזור לקרונית.

פתרון שאלה מס' 22 התשובה הנכונה היא א'

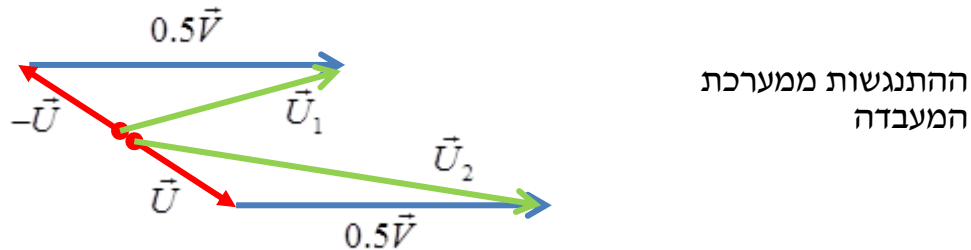
נסמן את מהירות הכדור הנע ב- $\vec{V}$. נביט בהתנגשות ממערכת הנעה במהירות $\frac{1}{2}\vec{V}$. במערכת זו שני

הכדורים נעים זה לקראת זה במהירויות $\frac{1}{2}\vec{V}$ ו- $-\frac{1}{2}\vec{V}$. התנע הכולל שלהם הוא אפס. התנע בהתנגשות נשמר. מהירויותיהם לאחר ההתנגשות חייבות להיות שוות ומנוגדות, אולם הן יכולות להיות קטנות מ- $\frac{1}{2}V$ כי ההתנגשות לא בהכרח אלסטית.

תרשים ההתנגשות ממערכת זו מתואר בתרשים



כדי לקבל את המהירות במערכת המעבדה, יש להוסיף לכל מהירות $0.5\vec{V}$. התרשים הבא מציג את המהירויות $\vec{U}_1$ ו- $\vec{U}_2$ במערכת המעבדה.



ככל ש- U קטן יותר הזווית בין $\vec{U}_1$ ו- $\vec{U}_2$ קטנה יותר. קיים U עבורו גודל הזווית שווה 30° .

כאשר $U = 0.5V$ (שימור אנרגיה) הזווית בין $\vec{U}_1$ ו- $\vec{U}_2$ תהיה 90° (משפט התיכון ליתר במשולש ישר זווית). U אינו יכול להיות גדול מ- $0.5V$ (יצירת אנרגיה יש מאין) ולכן הזווית בין $\vec{U}_1$ ו- $\vec{U}_2$ אינה יכולה להיות גדולה מ- 90° .