

פיזיקה י"א, פתרון מתכונת ראשונה לתלמידי מחשבים

מכניקה ואופטיקה גאומטרית

פרק ראשון – מכניקה

שאלה 1

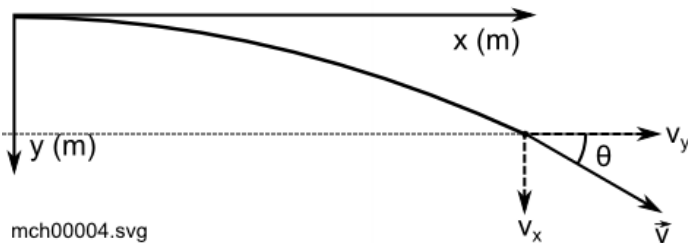
א. נתון שהתנגדות האוויר זניחה ולכן הפצצה נופלת בנפילה חופשית כי הכוח היחיד הפועל עליה הוא כוח הכבידה. נבחר את כוונת של הציר האנכי, y , כחיובי כלפי מטה ואת הראשית כגובה שחרור הפצצה. מהירות ההתחלתית של הפצצה בציר זה היא אפס לכן נחליץ את זמן הפגיעה ממשוואת המקום לתנועה שוות תאוצה:

$$y = y_0 + v_{0,y}t + \frac{1}{2}gt^2$$
$$y_0 = 0, \quad v_{0,y} = 0, \quad y = 1620_m$$
$$1620 = 5t^2 \Rightarrow t = 18_{sec}$$

הזמן שיעבור עד לפגיעתה של הפצצה בקרקע הוא 18 שניות.

ב. הפצצה נזרקת בזריקה אופקית. המרחק שתעבור אופקית תלוי בזמן הנפילה ובמהירות ההתחלתית ששווה למהירות המטוס ברגע שחרור הפצצה והיא נישאר קבועה לאורך כל הנפילה מאחר ונאמר שהחיכוך זניח. מכאן שהמרחק האופקי ניתן לחישוב על ידי משוואת המקום לגוף בעל מהירות קבועה:

$$x = x_0 + v_{0,x}t$$
$$x_0 = 0, \quad v_{0,x} = 360_{km/h} = 100_{m/s}$$
$$x = 0 + 100 \cdot 18 = 1800_m = 1.8_{km}$$



המרחק האופקי שתעבור הפצצה בנפילתה הוא 1.8 ק"מ והמסלול הוא פרבולי. ניתן לנמק באחת משתי הדרכים הבאות:

1. מדובר בתנועה במישור שבה הכוח קבוע ומאונך למהירות ההתחלתית ולכן המסלול פרבולי.
2. נבטא את y כפונקציה של x . נחליץ את הזמן מתוך משוואת מקום-זמן בציר ה- x ונציב אותו במשוואת מקום-זמן בציר ה- y :

$$x = v_0 t \quad y = \frac{1}{2}gt^2$$
$$t = \frac{x}{v_0}$$
$$y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$$

ניתן לראות שהקשר בין הערך בציר האנכי לערך בציר האופקי הוא ריבועי ולכן הפונקציה היא פרבולה.

ג. מהירותה של הפצצה ברגע פגיעתה בקרקע הוא השקול של מהירותה האופקית ומהירותה האנכית באותו רגע. מהירותה האופקית שווה למהירות ההתחלתית מכוח ההתמדה. מהירותה האנכית מושפעת רק מכוח הכבידה והמהירות ההתחלתית בציר זה שווה לאפס ולכן אחרי 18 שניות תהיה 180 מטר לשנייה בריבוע כלפי מטה על פי: $v_y = 10 \cdot 18 = 180_{m/s}$. שקול המהירות יהיה:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{100^2 + 180^2} \approx 206_{m/s}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_y}{v_x}\right) = \tan^{-1}(1.8) \approx 61^\circ$$

כלומר גודל המהירות יהיה כ-206 מטר לשניה וכוונה כ 61 מעלות מתחת לכוון החיובי של ציר ה x .

ד. מוצג בשרטוט לעיל.

ה. נחשב באיזו מהירות יש לשגר את הפגז על מנת שיפגע בפצצה. נמצא תחילה באיזה גובה תהייה הפצצה בעוברת בנקודה $x = 1000_m$. נמצא את הזמן שדרוש לפצצה להגיע למרחק זה. התנועה היא שוות מהירות ולכן מתקיים: $x = x_0 + v_{0,x} t$. המיקום ההתחלתי הוא אפס על פי ההגדרה והמהירות היא מהירותו של המטוס כמו בסעיפים הקודמים ולכן $1000 = 0 + 100 t$ כלומר הפצצה תגיע למרחק זה לאחר עשר שניות. במהלך פרק זמן זה תנועה הפצצה בציר האנכי בנפילה חופשית ולכן: $y = 5 t^2 = 5 \cdot 10^2 = 500_m$. נחשב באיזו מהירות יש לשגר את הפגז על מנת שיגיע לאותו גובה. מיקומו ההתחלתי של הפגז הוא $y = 1620_m$, מהירותו שלילית כי הוא נע בניגוד לכוון החיובי שהוגדרת התאוצה היא חיובית על פי מה שהוגדר והזמן הוא זמן הגעתה של הפצצה לנקודה מכאן:

$$y = y_0 + v_{0,y} t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$500 = 1620 - v_{0,y} t + \frac{1}{2} g t^2$$

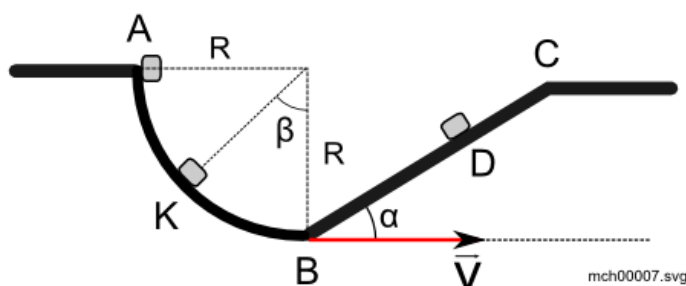
$$10 v_{0,y} = 1620$$

$$v = 162_{m/s}$$

כלומר הפגז שיצא במהירות $300_{m/s}$ לא יפגע בפצצה כי המהירות שתאפשר לו זאת היא מהירות של 162 מטר לשניה כלפי מעלה.

שאלה 2

א. נתון שרבע המעגל הוא חלק ולכן אין בו חיכוך והכוח היחיד הפועל על התיבה עבודה בתנועתה הוא כוח הכובד שהוא משמר, הנורמל מאונך לכיוון התנועה ואינו עושה עבודה. לכן ניתן לחשב את מהירותה של התיבה בנקודה B באמצעות חוק שימור האנרגיה המכנית הכוללת והעובדה שמהירותה של התיבה היא אפס בנקודה A. נבחר את מישור הייחוס להיות גובה הנקודה B.



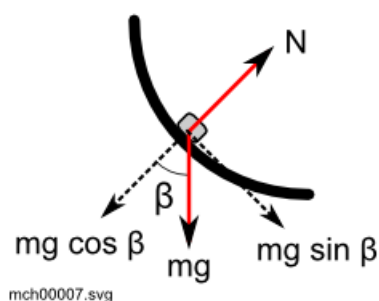
$$E_A = E_B$$

$$mgh_A = \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{2gR} = 30 \text{ m/s}$$

כלומר מהירותה של התיבה בנקודה B היא 30 מטר לשנייה אופקית כלפי ימין מאחר והמהירות במסלול מעגלי היא תמיד משיקה למעגל.

ב. בנקודה K נמצאת התיבה בתנועה מעגלי לכן היא מואצת בציר הרדיאלי. נפתח ביטוי לפי החוק השני של ניוטון:



$$\sum F_R = m a_R$$

נציב את הכוחות ואת הביטוי לתאוצה כפונקציה של המהירות המשקית:

$$a_R = \frac{v^2}{R}$$

$$N - mg \cos \beta = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow N = m \left(\frac{v^2}{R} + g \cos \beta \right)$$

נמצא את המהירות המשקית בדרך דומה לדרך בה מצאנו את המהירות בסעיף הקודם. לפי שימור האנרגיה המכנית המהירות בנקודה זו תהיה שווה ל:

$$E_K = E_A$$

$$\frac{1}{2} m v_K^2 + mgh_K = mgh_A$$

$$v_K^2 = 2g(h_A - h_K)$$

הגודל בסוגרים הוא למעשה הפרש הגבהים בין הנקודות. משיקולים טריגונומטריים קל לראות שההפרש שווה ל $R \cos \beta$. לכן הביטוי לנורמל ניתן על ידי:

$$N = m \left(\frac{2gR \cos \beta}{R} + g \cos \beta \right) = 3gm \cos \beta$$

$$N = 3gm \cos \beta$$

נציב את נתוני הבעיה ונקבל $N = 3 \cdot 10 \cdot 2 \cos 60 = 30_N$, כלומר 30 ניוטון כלפי פנים המעגל.

ג. החיכוך פועל רק על גבי המדרון המשופע. ממשפט עבודה אנרגיה נובע שהעבודה הנעשית על ידי כוח לא משמר, החיכוך, שווה להפרש באנרגיה המכנית הכללית בנקודות לכן: $W_{f_k} = E_D - E_A$. מהירות התיבה בשתי הנקודות היא אפס ולכן ההפרש נובע רק מהפרש הגבהים כלומר $W_{f_k} = mg(h_D - h_A)$. הגובה בנקודה D נתון על ידי: $\frac{h_D}{BD} = \sin \alpha \Rightarrow h_D = 50 \sin 30 = 25_m$.

$$\frac{h_D}{BD} = \sin \alpha \Rightarrow h_D = 50 \sin 30 = 25_m$$

ולכן $W_{f_k} = 2 \cdot 10 (25 - 45) = -400_J$. כלומר עבודת כוח החיכוך היא 400 ג'אול והוא פועל בניגוד לכיוון התנועה.

ד. כוח החיכוך נתון על ידי $f_k = N\mu$ ועבודתו ממשפט עבודה אנרגיה נתונה על ידי $W_{f_k} = f_k \Delta x \cos 180 = -N\mu \Delta x$.

$$W_{f_k} = -m g \cos \alpha \mu \Delta x = 2 \cdot 10 \cos 30 \mu \cdot 50$$

הנורמל לאורך המדרון המשופע ערכו $N = m g \cos \alpha$ ולכן

$$\mu = \frac{400}{866} = 0.46$$

ה. ערכו המרבי של הנורמל יהיה בנקודה B.

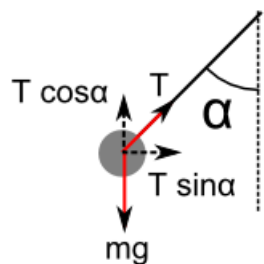
נבדוק תחילה את ערכו ביחס לנקודות השונות במסלול המעגלי. נשתמש בביטוי שקיבלנו לנורמל במהלך סעיף ג עבור נקודה K כלשהי:

$$N = m \left(\frac{v^2}{R} + g \cos \beta \right)$$

ביטוי זה תלוי במהירות המשקית ובזווית β . בנקודה B המהירות היא מרבית מאחר וזו הנקודה הנמוכה ביותר במסלול. מצד שני הזווית היא אפס כלומר ערך הקוסינוס הוא מרבי ולכן בהשוואה לכל הנקודות האחרות במסלול הנורמל בנקודה B הוא מרבי. נבדוק עתה את ערכו של הנורמל ב-B ביחס למדרון המשופע. ערכו של הנורמל במדרון הוא $N = m g \cos \alpha$ כלומר הוא קטן מכוח הכבידה על הגוף בעוד שבנקודה B הוא גדול מכוח זה כי נוסף לו גודל חיובי (המהירות בריבוע חלקי הרדיוס).
ו. הכוח הנורמלי מאונך לכוון התנועה לאורך כל המסלול ובפרט בקטע המשופע ולכן אינו עושה עבודה כלל במשך כל התנועה.

שאלה 3

א. הכדור אינו נמצא בשווי משקל בציר האופקי מאחר ופועל עליו שקול כוחות שונה מאפס. בציר האנכי לעומת זו הכדור בהתמדה. נרשום את משוואות הכוחות בהתאם. נבחר את הכיוון מעלה וימנה ככיוון החיובי של ציר התנועה.



mch00005.svg

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 & \sum F_y &= ma \\ T \cos \alpha &= mg & T \sin \alpha &= ma \end{aligned}$$

נחלק את המשוואות אחת בשנייה ונקבל את תאוצת הכדור: $a = g \tan \alpha$

מאחר והכדור נייח ביחס לקרונית, תאוצה זו מבטאת גם את תאוצתה של הקרונית.

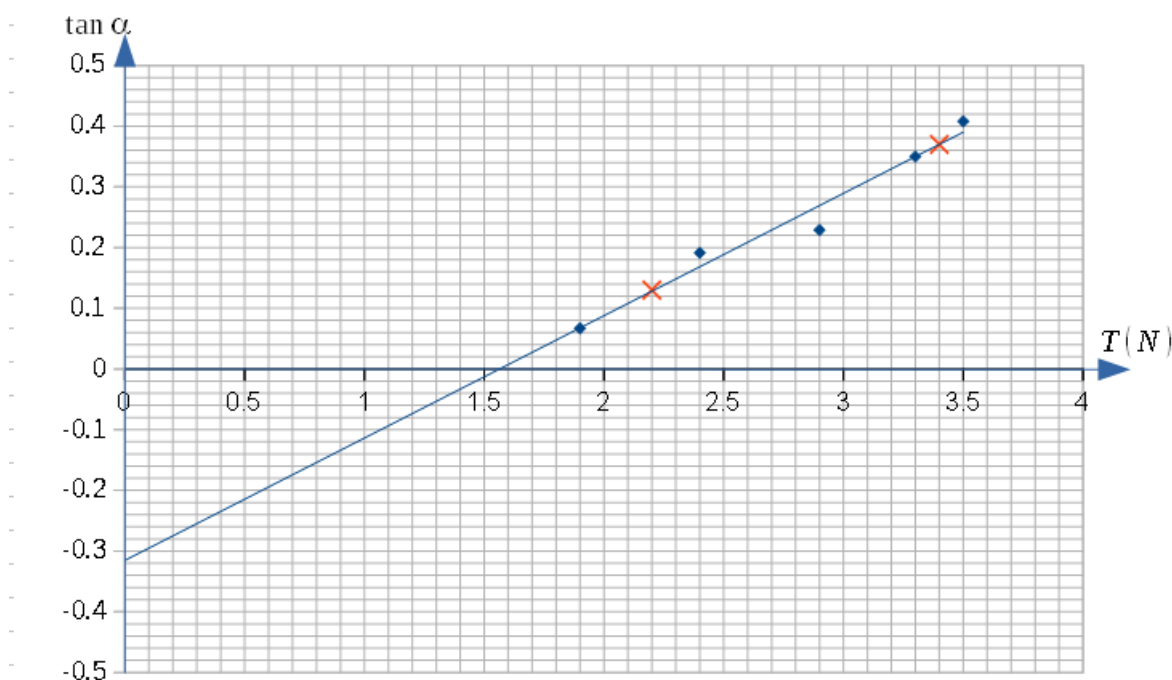
מ.ש.ל

ב. נעבד את נתוני הניסוי

i. נשלים את הטבלה:

מדידה מספר	1	2	3	4	5
$T(N)$	1.9	2.4	2.9	3.3	3.5
$\alpha(^{\circ})$	4.0	10.8	15.6	19.3	22.2
$\tan \alpha$	0.07	0.191	0.28	0.35	0.41

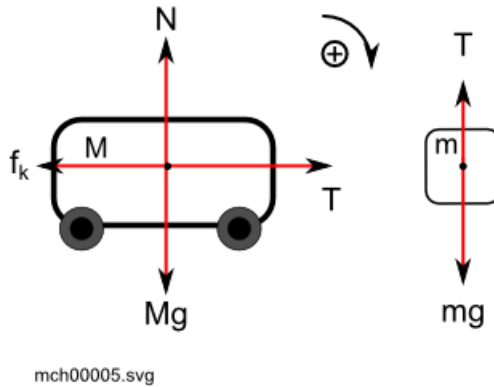
טנגס זווית הטיית הכדור כתלות במתיחות בחוט



mch00005.ods

הערה: כדאי להתחיל את שרטוט הגרף בראש העמוד על מנת שבמקרה הצורך ניתן יהיה להמשיכו לכוון השלילי של הציר האנכי.

ii. נשרטט את תרשימי הכוחות המבוקשים:



שני הגופים מאיצים בתאוצה שווה מאחר והחוט בניהם הוא בעל מסה זניחה ואינו משנה את אורכו. נקבע את הכוון החיובי של המערכת להיות עם כוון התנועה כלומר ימינה לעגלה ומטה למשקולת. על פי החוק השני של ניוטון:

$$\begin{array}{l} \text{עגלה} \\ \sum F_x = Ma \\ T - f_k = Ma \\ \sum F_y = 0 \\ N = Mg \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{משקולת} \\ \sum F_y = ma \\ T - mg = ma \end{array}$$

נציב את הביטוי שקיבלנו לתאוצה בסעיף א ואת כוח החיכוך:

$$\tan \alpha = \frac{T}{Mg} - \mu$$

ג. הקשר שהתקבל בסעיף הוא מראה לינארי בין T לבין $\tan \alpha$ על פי התבנית הבאה:

$$\tan \alpha = \frac{1}{Mg} T - \mu$$

נחלץ מהגרף את השיפוע מתוך שתי הנקודות המסומנות בצלב:

$$A = \frac{0.37 - 0.13}{3.4 - 2.2} = 0.2_{1/N}$$

ואת נקודת החיתוך עם הציר האנכי $B = -0.32$ (חסר יחידות).

$$A = 0.2 = \frac{1}{Mg} \Rightarrow M = \frac{1}{2} = 0.5_{kg}$$

ii. ונקודת החיתוך עם הציר האנכי שווה למקדם החיכוך בסימן שלילי: $-\mu = -0.32 \Rightarrow \mu = 0.32$

ד. הגרף חותך את ציר המתיחות כאשר $\tan \alpha = 0$ כלומר $\alpha = 0$ כלומר הכדור מאונך כלומר אין תאוצה המערכת בהתמדה, הכוח המופעל על ידי המשקולת שווה לכוח החיכוך.

ה. לפי סעיף א' ובהצבת הנתונים שעמודה הראשונה שבטבלה נקבל את תאוצת המערכת במצב זה:

$$a = g \tan \alpha = 10 \tan 4 = 0.70_{m/s^2}$$

כלומר תאוצה של 0.70 מטר לשנייה בריבוע ימינה.

$$T = m(a + g) \Rightarrow m = \frac{T}{a + g} = \frac{1.9}{10.7} = 0.18_{kg}$$

מסת המשקולת היא 180 גרם.

שאלה 4

א. הכוח שמקיים את התנועה המעגלית הוא הרכיב האופקי של כוח העילוי $L \sin \alpha$.

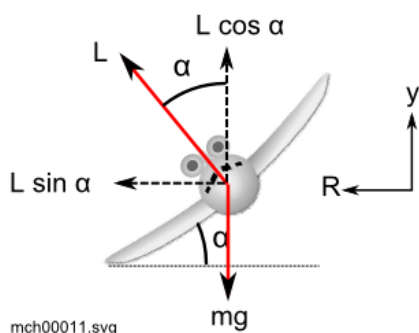
ב. נרשום את החוק השני עבור המטוס:

$$\sum F_R = m a_R \quad \sum F_y = 0$$

$$L \sin \alpha = m \frac{v^2}{R} \quad L \cos \alpha = mg$$

נחלק את המשוואות ונקבל ביטוי לרדיוס:

$$\tan \alpha = \frac{v^2}{g R} \Rightarrow R = \frac{v^2}{g \tan \alpha} \quad [1]$$



נתון שמהירות המטוס $v = 480 \text{ km/h} = 133.33 \text{ m/s}$ ולכן: $R = \frac{133.33^2}{10 \tan 40} = 2119 \text{ m} = 2.12 \text{ km}$

ג. הקשר בין המהירות המשקית למהירות הזוויתית נתון על ידי: $v = \omega r$ כלומר $\omega = \frac{v}{r} = \frac{133.33}{2119} = 0.063 \text{ rad/sec}$

ד. זמן המחזור נתון על ידי: $\omega = \frac{2\pi}{f} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{0.063} = 99.7 \text{ sec}$ כלומר המטוס ישלים סיבוב שלם ב 99.7 שניות.

ה. מהירות המטוס אינה נשארת קבועה מאחר וכוונה משתנה באופן קבוע למרות שגודלה אינו משתנה.

ו. הגרף מתאר את התלות בין הרדיוס לבין ריבוע המהירות המשקית. על פי הביטוי שפתחנו ב [1] יחס זה ניתן על ידי הקשר

הלינארי הבא: $R = \frac{1}{g \tan \alpha} v^2$ כלומר שיפוע הגרף הוא הביטוי $A = \frac{1}{g \tan \alpha}$ ומכאן שניתן למצוא את הזווית על ידי הצבת

השיפוע ב $\tan \alpha = \frac{1}{A g}$. נחשב את השיפוע מהגרף:

$$A = \frac{140 - 40}{1400 - 400} = 0.1 \text{ s}^2/\text{m} \Rightarrow \frac{1}{g \tan \alpha} = 0.1 \Rightarrow \tan \alpha = \frac{1}{0.1 \cdot 10} = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ$$

כלומר זווית ההטיה בחלק זה של הטיסה היא 45 מעלות מעל האופק.

ז. המטוס לא יוכל לטוס בזווית 90° מאחר ובמקרה זה לא יהיה קיים כוח שיוכל לאזן את כוח הכובד והמטוס היה נופל מטה ללא עילוי.

שאלה 5

א. - השטח מתחת לגרף הכוח כתלות במרחק (גרף א') מתאר את העבודה עבודה של הכוח השקול הנעשית על הקליע.

- השטח מתחת לגרף הכוח כתלות בזמן (גרף ב') מתאר את המתקף שהפעיל הקליע על בול העץ בעוברו דרכו.

ב. מהירותו של הקליע בתחילת התנועה היא אפס כך שהאנרגיה הקינטית ההתחלתית שלו היא אפס ומאחר והוא נורה אופקית אין שינוי במהלך תנועתו באנרגיה הפוטנציאלית שלו. לכן האנרגיה הקינטית ביציאה מהקנה תהייה שווה לסך העבודה שנעשתה

על הקליע בקנה וזאת על פי משפט עבודה אנרגיה. נחשב גאומטרית $\Delta E_k = W_{Total}$ את השטח מתחת לגרף א':

$$W_{Total} = S = \frac{(0.02 + 0.08) 500}{2} = 25_J$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \frac{E_k}{m}}$$

$$m = 5_{gr} = 0.005_{kg}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 25}{0.005}} = 100_{m/s}$$

מהירות הקליע ביציאה מהקנה היא 100 מטר לשנייה ימינה.

$$S_{square} = 2.5_N \cdot 2_{ms} = 2.5_N \cdot 2 \times 10^{-3}_s = 5 \times 10^{-3}_{N \cdot sec}$$

ד. תלמידה ספרה, במידת הדיוק האפשרית, 90 משבצות בין העקומה בגרף ב' ולבין ציר הזמן.

$$i. \text{ נכפיל את שטח משבצת בודדת במספר המשבצות } \Delta p = S_2 = 90 \cdot 5 \times 10^{-3} = 0.45_{N \cdot sec}$$

השינוי בתנע הוא 0.45 ניוטון כפול שניה לכוון שמאל.

ii. נחשב את מהירות הקליע לאחר מעברו בקיר על פי הגדרת התנע:

$$-\Delta p = m \cdot v_f - m \cdot v_i \Rightarrow v_f = \frac{-\Delta p + m v_i}{m} = \frac{-0.45 + 0.005 \cdot 100}{0.005} = 10_{m/s}$$

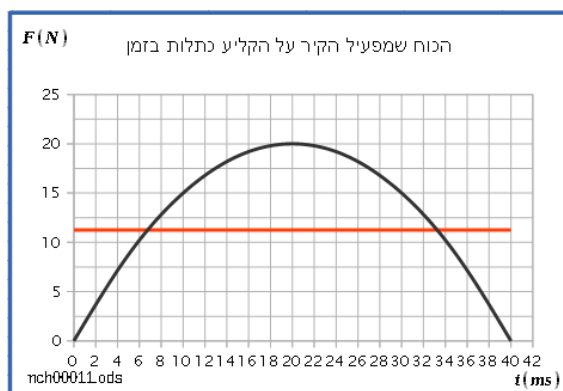
כלומר מהירותו של הקליע לאחר מעבר הקיר היא 10 מטר לשנייה ימינה.

iii. גודל הכוח הממוצע ניתן על ידי חלוקת המתקף הכולל בפרק הזמן הכולל ולכן:

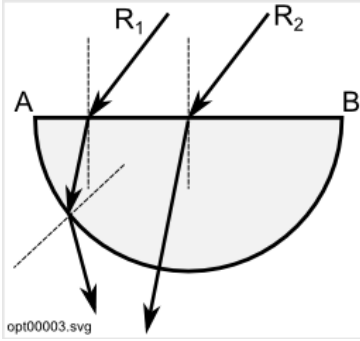
$$F = \frac{J}{\Delta t} = \frac{0.45}{40 \times 10^{-3}} = 11.25_N$$

הכוח הממוצע שפעל על הגוף בעוברו בקיר הוא 11.25 ניוטון שמאלה.

ה. הכוח הממוצע הוא הכוח הקבוע שעברו המתקף יהיה שווה למתקף הנמדד בגרף.



שאלה 6



א. השיפוע הוא ההופכי של מקדם השבירה $\left(\frac{1}{n}\right)$ של החומר השקוף והוא חסר יחידות. (מקדם השבירה חסר יחידות וכן $\sin$ זווית חלקי $\sin$ זווית הוא חסר יחידות).

ב. השיפוע בגרף הוא $a=0.625$ מאחר והוא עובר בראשית ובנקודה $(0.5, 0.8)$. לכן לפי

$$\frac{1}{n} = a \Rightarrow n = \frac{1}{a} = \frac{1}{0.625}$$

$n=1.6$

ג. ראו בשרטוט. נימוק:

• קרן R_1 מתקרבת לאורך בשבירתה הראשונה ומתרחקת ממנו בשבירתה השנייה.

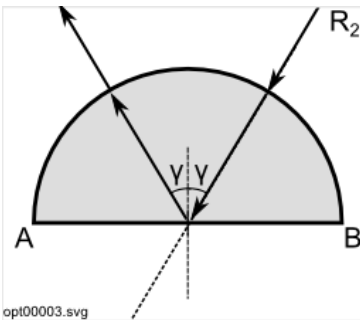
• קרן R_2 פוגעת במרכז המעגל לכן היא נשברת במקביל לרדיוס וכשהיא עוברת את הקשת של המעגל זווית פגיעתה היא 0 מעלות והיא אינה נשברת שנית.

ד. זווית הפגיעה היא המשלימה של θ ל-90

i. על פי חוק סנל במקרה של מעבר מאוויר לחומר בעל מקדם שבירה n_2 :

$$\sin \alpha = n_2 \sin \gamma \Rightarrow n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{\sin 37}{\sin 20.7}$$

$n_2=1.70$



ii. הקרן השנייה עוברת בנקודה O מתווך בעל מקדם שבירה גבוה לתווך בעל מקדם נמוך לכן נבדוק תחילה מהי הזווית

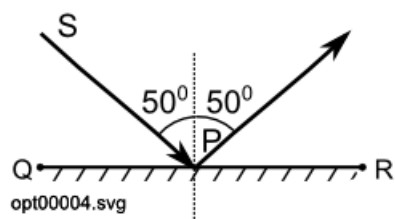
הקריטית לשני החומרים:

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{1}{n_2} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1.7} \right)$$

$\theta_c=30.47^\circ$

לפי הנתון הקרן פוגעת בזווית הגדול מהזווית הקריטית ולכן תתקיים החזרה פנימית מלאה.

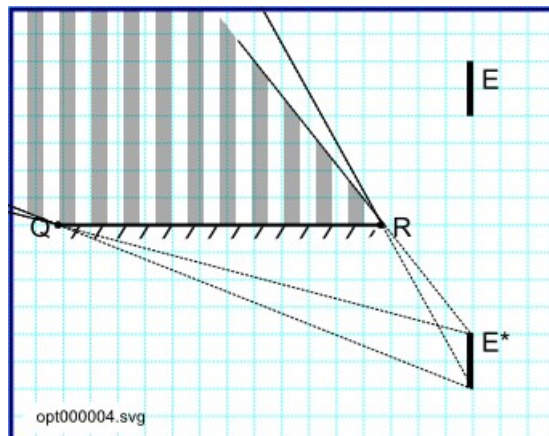
שאלה 7



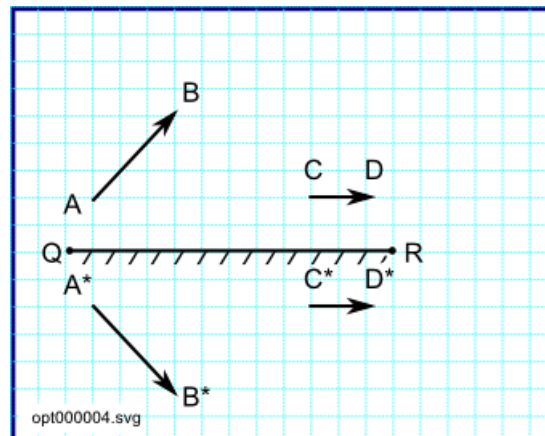
א. העתיקו את תרשים 1 למחברתכם.

i. זווית הפגיעה נמדדת מול האנך.

ii. זווית ההחזרה שווה לזווית הפגיעה.



תרשים 3



תרשים 2

ב. ראו תרשים

ג. הדמויות מדומות מאחר והן נוצרות על ידי המשכן של הקרניים המוחזרות מהמראה.

ד. צופה שיעמוד בתחום המסומן בתרשים 3 יראה את מקור האור במלואו.

נער מביט אל שלולית כשעיניו בגובה 60_{cm} מעל פני המים. המים בשלולית עומדים ופני המים חלקים. הנער רואה את דמותו המשתקפת בשלולית.

ה. i. דמות עיניו של הנער נמצאת במרחק 60_{cm} מפני המים מאחר והדמות נוצרת בצורה סימטרית ביחס למראה.

ii. כן, מאחר והדמות היא דמות מדומה והיא נוצרת כתוצאה מהקרניים הנשברות בחזית המראה ואינה מושפעת ממה

שיש מאחוריה.

שאלה 8

א. העדשה היא מפזרת ואורך המוקד שלה הוא 10 ס"מ ($f = \frac{1}{C} = -\frac{1}{-10} = -0.1_m = -10_{cm}$).

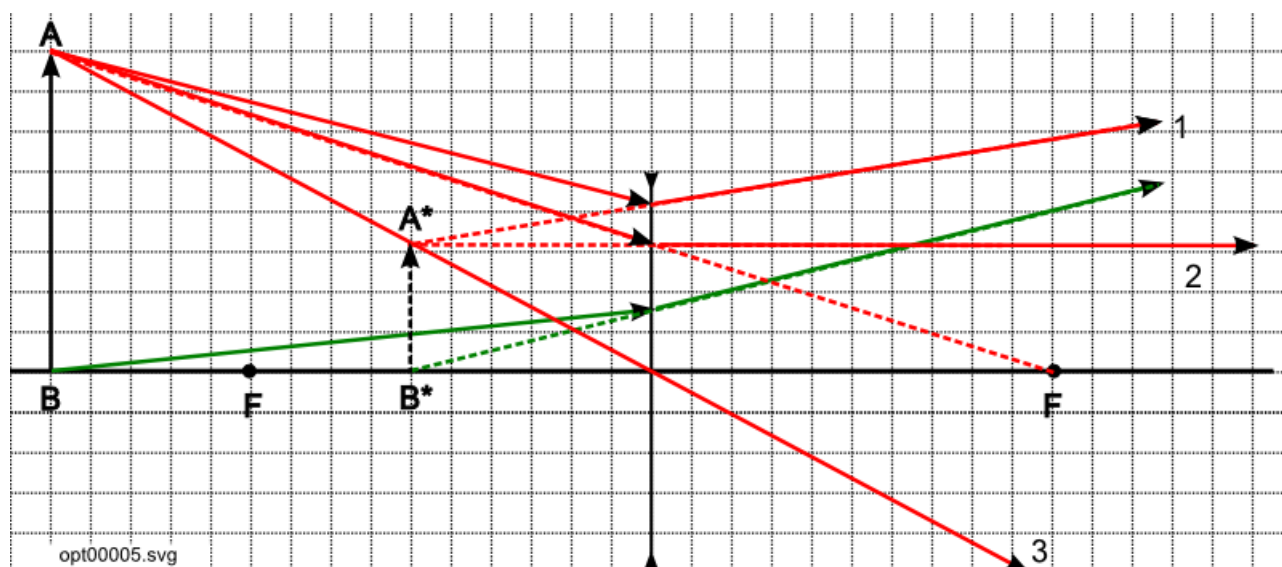
נשתמש בנוסחת גאוס לחישוב מיקום הדמות:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{-10} - \frac{1}{15} \Rightarrow v = -6_{cm}$$

הדמות תיוצר במרחק של 6 ס"מ משמאל לעדשה (בצד העצם). הדמות היא מדומה, ישרה ומוקטנת.

ב. התרשים:



i. הקרניים היוצאות מראש העצם מסומנות באדום וממוספרות 1-3. הקרניים 2 ו-3 יכולות לעזור בשרטוט מדויק של הדמות מעבר לשימוש בקנה מידה.

ii. הקרן היוצאת מתחתית העצם **ונשברת** במראה מסומנת בירוק.

ג. על פי נוסחת ההגדלה: $m = \frac{|v|}{u} = \frac{6}{15} = 0.4$ ולכן גובה הדמות יהיה 3.2 ס"מ על פי: $h_i = mh_o = 0.4 \cdot 8 = 3.2_{cm}$.

ד. לא התקבלה דמות מאחר והדמות היא מדומה ולא ניתן לראותה על גבי מסך (אין אנרגיה בנקודת היוצרות הדמות). התלמידה רואה את הדמות מאחר והעדשה שבעינה מרכזת את הקרניים היוצרות את הדמות המדומה כך נוצרת דמות ממשית על גבי הרשתית אותה רואה התלמידה.