

# פיזיקה 1 ב בערבית



## תוכן העניינים

1. הקדמה מתמטית לקורס..... 1
2. -מבוא פיזיקאלי ..... 2 (ללא ספר)
3. -תנועה בקו ישר ..... 3 (ללא ספר)
4. -וקטורים ..... 4 (ללא ספר)
5. -נפילה חופשית וזריקה אנכית ..... 5 (ללא ספר)
6. -תנועה במישור ..... 6 (ללא ספר)
7. תנועה יחסית..... 7
8. -שאלות חזרה ..... 8 (ללא ספר)
9. -דינמיקה ..... 9 (ללא ספר)
10. -!עבודה ואנרגיה ..... 10 (ללא ספר)
11. -תרגילים לחזרה ..... 11 (ללא ספר)
12. -תנועה מעגלית ..... 12 (ללא ספר)
13. -מתקף ותנע ..... 13 (ללא ספר)
14. -תנועה הרמונית ..... 14 (ללא ספר)
15. מרכז מסה - ..... 10
16. מומנט התמד - ..... 13
17. מומנט כוח - ..... 19
18. תנע זוויתי - ..... 28
19. גוף קשיח - ..... 32

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 1 - הקדמה מתמטית לקורס

תוכן העניינים

- 1.0 פונקציות טריגונומטריות..... 1
- 1.1 משוואת הקו הישר..... 2
- 1.2 הפרבולה..... 3
- 6.....

## פונקציות טריגונומטריות:

רקע

במשולש ישר זווית:

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{\text{ניצב שמול}}{\text{יתר}}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c} = \frac{\text{ניצב ליד}}{\text{יתר}}$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \frac{\text{ניצב שמול}}{\text{ליד ניצב}}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\cot \alpha = \frac{b}{a} = \frac{\text{ניצב ליד}}{\text{ניצב שמול}} = \frac{1}{\tan \alpha}$$



משפט פיתגורס:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

## זהויות:

$\sin(90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$ $\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha$ $\tan(90^\circ - \alpha) = \cot \alpha$ $\cot(90^\circ - \alpha) = \tan \alpha$	$90^\circ - \alpha$
$\sin(90^\circ + \alpha) = \cos \alpha$ $\cos(90^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$ $\tan(90^\circ + \alpha) = -\cot \alpha$ $\cot(90^\circ + \alpha) = -\tan \alpha$	$90^\circ + \alpha$
$\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$ $\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$ $\tan(180^\circ - \alpha) = -\tan \alpha$ $\cot(180^\circ - \alpha) = -\cot \alpha$	$180^\circ - \alpha$
$\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$ $\cos(-\alpha) = \cos \alpha$ $\tan(-\alpha) = -\tan \alpha$ $\cot(-\alpha) = -\cot \alpha$	$-\alpha$
$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$	$2\alpha$
$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$	$\alpha \pm \beta$

ערכים ששווה לזכור:

הזווית להפונקציה	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0

$\tan \alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	לא מוגדר
---------------	---	----------------------	---	------------	----------

**שאלות:**

**(1) חישוב אלפא**

חשב את הזווית אלפא במקרים הבאים:



**(2) משולשים שמסורטטים אחרת**

חשב את הזווית אלפא במקרים הבאים:



**(3) מציאת ניצבים**

חשב את  $x$  במקרים הבאים:



**תשובות סופיות:**

- |                        |                           |                        |                            |
|------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|
|                        | ג. $\alpha = 69^\circ$    | ב. $\alpha = 53^\circ$ | א. $\alpha = 22^\circ$ (1) |
| ד. $\alpha = 55^\circ$ | ג. $\alpha = 68.2^\circ$  | ב. $\alpha = 60^\circ$ | א. $\alpha = 45^\circ$ (2) |
| ד. $1.53m$             | ג. $\frac{5\sqrt{3m}}{2}$ | ב. $2\sqrt{2m}$        | א. $\sqrt{3m}$ (3)         |

## משוואת הקו הישר:

רקע:

משוואת הקו הישר:

$$y = mx + n$$

$m$  - שיפוע

$n$  - נקודת חיתוך עם ציר ה- $y$ .

$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$  כאשר  $\alpha$  היא הזווית של הישר עם ציר ה- $x$ .

מכפלת השיפועים של שני ישרים מאונכים היא -1.

מרחק בין שתי נקודות:

$$d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$$

שאלות:

(1) משוואת הישר משתי נקודות

- א. מצא את משוואת הקו הישר העובר דרך שתי הנקודות:  $(-1, 3)$ ,  $(4, -2)$ .  
 ב. שרטט איור עבור הקו על גבי מערכת צירים.

תשובות סופיות:

(1) א.  $y = -x + 2$

ב.



## הפרבולה:

רקע:

משוואת הפרבולה:

$$y = ax^2 + bx + c$$

נוסחת השורשים:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

שאלות:

(1) נתונה הפרבולה הבאה:  $y = -x^2 + 2x + 3$ .

- א. מצאו את נקודות החיתוך עם הצירים ואת נקודת הקודקוד של הפרבולה.  
 ב. קבעו האם הפרבולה מחייכת או עצובה, ושרטטו איור מקורב של הפרבולה לפי הנתונים שקיבלתם.

תשובות סופיות:

- (1) א. חיתוך עם הציר האנכי:  $(0,3)$ , נקודות חיתוך עם הציר האופקי:  $(-1,0)$ ,  $(3,0)$ , נקודת הקודקוד:  $(1,4)$ .  
 ב. עצובה.



# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 2 - - מבוא פיזיקאלי

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 3 - תנועה בקו ישר

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 4 - - וקטורים

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 5 - -נפילה חופשית חריקה אנכית

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 6 - תנועה במישור

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 7 - תנועה יחסית

תוכן העניינים

1. תנועה יחסית.....7

## תנועה יחסית:

### שאלות:

#### (1) מדרגות נעות

כאשר אדם עומד על מדרגות נעות בחנות, הוא מגיע לקומה הרצויה תוך 50 שניות. יום אחד, המדרגות הנעות מתקלקלות והאדם צריך לעלות אותן ברגל בכוחות עצמו, כאשר הוא נע במלוא היכולת שלו, הוא מצליח להגיע לקומה הרצויה תוך 80 שניות. למחרת, המדרגות הנעות עובדות כרגיל, אך האדם מחליט לרוץ בהן במלוא יכולתו בכל זאת.

- תוך כמה זמן יגיע לקומה הרצויה?
- האדם מנסה עתה לרדת חזרה לקומה המקורית במדרגות העולות (אלה בהן הוא עלה קודם). האם הוא יכול להצליח בכך?  
אם כן תוך כמה זמן יגיע לקומה המקורית?

#### (2) מכונית ביחס לאוטובוס

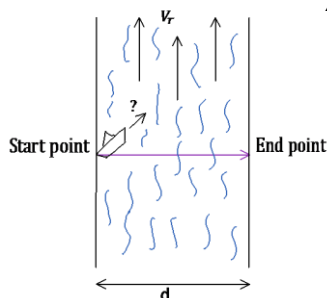
- מכונית נוסעת במהירות של 30 מטר לשנייה בכיוון ציר ה- $x$ .
- אוטובוס נוסע במהירות של 50 מטר לשנייה בכיוון ציר ה- $x$ .
- מצא את המהירות היחסית בין האוטובוס למכונית.
- מצא את הזווית בה האוטובוס יראה את המכונית נוסעת.

#### (3) גשם על שמשות מכונית

נהג הנוסע במהירות 100 קמ"ש רואה טיפות גשם נמרחות על השמשה הצדדית של המכונית בכיוון הפוך לכיוון הנסיעה ובזווית של 45 מעלות עם הציר האנכי לכיוון הנסיעה. נהג אחר הנוסע במהירות 70 קמ"ש רואה את טיפות הגשם בזווית 30 מעלות עם אותו הציר. מצא את מהירות הטיפות ביחס לקרקע (גודל וכיוון).

#### (4) סירה בנהר

נהר זורם צפונה במהירות  $V_r$ . יוסי נמצא בגדה המערבית ורוצה להשיט סירה לרוחב הנהר. מהירות הסירה היא  $V_{br}$  יחסית לנהר. יוסי מעוניין להגיע אל הגדה הנגדית בדיוק מזרחית לנקודת מוצאו. נתון כי רוחב הנהר  $d$ .



- באיזה כיוון הוא יהיה חייב להשיט את הסירה?
- מה מהירות הסירה יחסית לאדמה?
- כמה זמן תארך דרכו?

**5) כדור נזרק במעלית**

מרצפת מעלית הנמצאת במנוחה נזרק כלפי מעלה במהירות התחלתית לא ידועה. הכדור עובר ליד שעון עצר, המחובר למעלית, ונמצא בגובה 2 מטרים מרצפת המעלית. שעון העצר מופעל ברגע שהכדור חולף לידו בפעם הראשונה ומפסיק ברגע שהכדור חולף לידו בפעם השנייה (בדרכו למטה). השעון מדד זמן של 0.5 שניות.

- א. מהו זמן התנועה של הכדור מרגע הזריקה עד לפגיעה ברצפת המעלית?
- ב. מהי הדרך אותה עשה הכדור ביחס למעלית וביחס לכדה"א עד אשר הגיע לשעון בפעם השנייה?
- ג. חוזרים על הניסוי, אבל כעת המעלית נעה (מלפני זריקת הכדור) במהירות קבועה כלפי מעלה של  $4 \frac{m}{sec}$ . הזמן שמודד השעון הוא שוב 0.5 שניות. מהו זמן התנועה של הכדור מרגע הזריקה ועד לפגיעה ברצפת המעלית?
- ד. מהי הדרך אותה עשה הכדור ביחס למעלית וביחס לכדה"א עד אשר הגיע לשעון בפעם השנייה?
- ה. מהי מהירות הכדור ביחס לכדה"א ברגע הפגיעה ברצפת המעלית?

**6) כדור נזרק במעלית מאיצה**

מעלית נעה בתאוצה קבועה כלפי מעלה של  $2 \frac{m}{sec^2}$ .

- ברגע שמהירות המעלית היא  $4 \frac{m}{sec}$  נזרק מרצפת המעלית כדור כלפי מעלה במהירות התחלתית לא ידועה.
- הכדור עובר ליד שעון עצר המחובר למעלית ונמצא בגובה 1 מטר מרצפת המעלית. שעון העצר מופעל ברגע שהכדור חולף לידו בפעם הראשונה ומפסיק ברגע שהכדור חולף לידו בפעם השנייה (בדרכו למטה). השעון מדד זמן של 0.5 שניות.
- א. מהו הזמן עד לפגיעת הכדור ברצפת המעלית?
  - ב. מהי הדרך הכוללת שעבר הכדור ביחס למעלית עד אשר עבר ליד השעון בפעם השנייה?
  - ג. מהי הדרך הכוללת שעבר הכדור ביחס לכדה"א עד אשר עבר ליד השעון בפעם השנייה?
  - ד. מהי מהירות הכדור יחסית לכדה"א ברגע הפגיעה ברצפת המעלית?

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad t = 30.8 \text{ sec} \quad \text{א.} \quad \text{ב. לא.}$$

$$(2) \quad v_2' = \left( -24.01 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, 15 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \right) \quad \text{א.} \quad \text{ב. } \theta_2' = 148^\circ$$

$$(3) \quad \text{מהירות: } V_x = 29.21 \frac{\text{km}}{\text{hr}}, V_y = -70.79 \frac{\text{km}}{\text{hr}}, \text{ גודל וכיוון: ראה סרטון.}$$

$$(4) \quad \sin \theta = -\frac{V_r}{V_{br}} \quad \text{א.} \quad \text{ב. } V_{bx} = \sqrt{V_{br}^2 - V_r^2} \quad \text{ג. } t = \frac{d}{\sqrt{V_{br}^2 - V_r^2}} \quad \text{ד.}$$

$$(5) \quad t = 1.36 \text{ sec} \quad \text{א.} \quad \text{ב. } S = 2.62 \text{ m} \quad \text{ג. } t = 1.36 \text{ sec} \quad \text{ד. } S = 5.72 \text{ m}$$

$$\text{ה. } v_1 = -2.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$(6) \quad t = 0.96 \text{ sec} \quad \text{א.} \quad \text{ב. } S = 2.76 \text{ m} \quad \text{ג. } S = 4.46 \text{ m} \quad \text{ד. } v_1 = 1.6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 8 - -שאלות חזרה

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 9 - דינמיקה

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 10 - !-עבודה ואנרגיה

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 11 - -תרגילים לחזרה

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 12 - -תנועה מעגלית

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 13 - - מתקף ותנע

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 14 - -תנועה הרמונית

תוכן העניינים

1. .... (ללא ספר)

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 15 - מרכז מסה -

תוכן העניינים

1. הסבר בסיסי על מרכז מסה ..... 10
2. תנועה לפי הכוחות החיצוניים ..... (ללא ספר) 10
3. שני תרגילים ..... 12

## הסבר בסיסי על מרכז מסה:

### רקע

$$\vec{r}_{c.m.} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2}$$

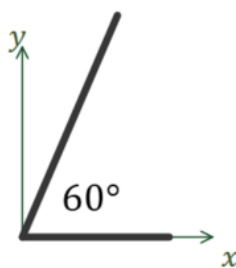
ניתן לרשום אותה לכל רכיב בנפרד, לדוגמה לרכיב x:

$$x_{c.m.} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

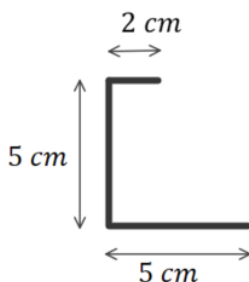
$$\vec{v}_{c.m.} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{a}_{c.m.} = \frac{m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2}{m_1 + m_2}$$

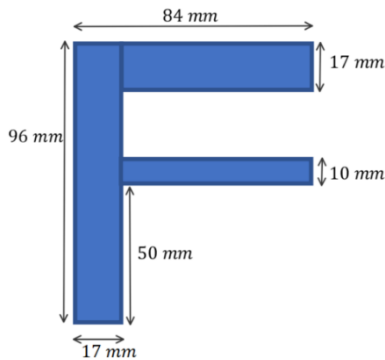
### שאלות:



- (1) דוגמה - מרכז מסה של שני מוטות בזווית  
 המערכת המתוארת באיור מורכבת משני מוטות בעלי צפיפות אחידה.  
 מוט ראשון באורך 3c.m נמצא לאורך ציר ה-x ומסתו 2kg, מוט שני נמצא בזווית 60° עם ציר ה-x החיובי ואורכו 5c.m ומסתו 3kg.  
 מצאו את מרכז המסה של המערכת (ביחס לראשית).



- (2) דוגמה - מרכז מסה של האות נ  
 המערכת המתוארת באיור מורכבת ממוט בעל צפיפות מסה אחידה המכופף בצורת האות "נ" בתמונת מראה.  
 מצאו את מיקום מרכז המסה של המערכת ביחס לפינה השמאלית התחתונה.



### 3) דוגמה - מרכז מסה של F

מרכיבים את האות F מלוחות בעלי צפיפות מסה אחידה ליחידת שטח.

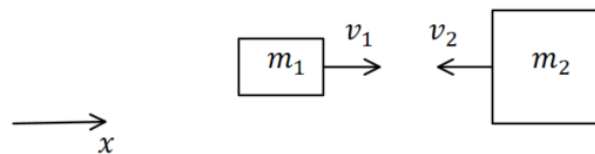
המימדים של כל הלוחות נתונים באיור.

א. מצאו את מרכז המסה של המערכת ביחס לפינה השמאלית התחתונה של האות.

ב. מהו מרכז המסה של המערכת ביחס לפינה הימנית התחתונה של האות?

### 4) דוגמה - מהירות מרכז מסה בהתנגשות

שני גופים בעלי מסות  $m_1$  ו- $m_2$  נעים על קו ישר אחד כלפי השני במהירויות  $v_1$  ו- $v_2$ . חשבו את מהירות מרכז המסה לפני ואחרי ההתנגשות.



### תשובות סופיות:

$$x_{c.m} = 1.35c.m, \quad y_{c.m} = 1.3c.m \quad (1)$$

$$x_{c.m} = 1.2c.m, \quad y_{c.m} = 1.875c.m \quad (2)$$

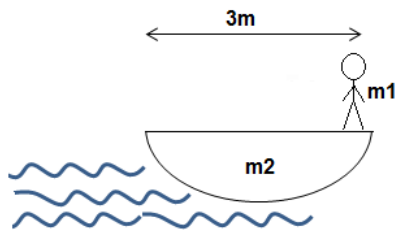
$$x_{c.m} = 14mm, \quad y_{c.m} = 62mm \quad \text{ב.} \quad x_{c.m} = 31mm, \quad y_{c.m} = 62mm \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$\frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (4)$$

## שני תרגילים:

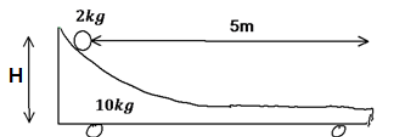
### שאלות:

#### (1) נער על סירה



אדם עומד בקצה סירה באורך 3 מטר.  
 מסת האדם היא 70 קילוגרם ומסת  
 הסירה 100 קילוגרם.  
 האדם התקדם 2 מטרים לאורך הסירה.  
 כמה זזה הסירה?  
 (הזנח את החיכוך בין המים לסירה).  
 נתון:  $m_1 = 70\text{kg}$ ,  $m_2 = 100\text{kg}$ .

#### (2) כדור על קרונית



כדור מונח על קרונית משופעת הנמצאת במנוחה.  
 הכדור מונח בגובה  $H = 1\text{m}$  ובמרחק של 5m מטר  
 מקצה הקרונית.

מסת הקרונית:  $m_1 = 10\text{kg}$ , מסת הכדור:  $m_2 = 2\text{kg}$ .

א. מצא את העתק הקרונית כאשר הכדור מגיע לקצה.

ב. מצא את מהירות הגופים אם נתון שמהירות הכדור בקצה הקרונית

היא רק בכיוון ציר ה- $x$ .

### תשובות סופיות:

$$x = \frac{14}{17} \text{ m} \quad (1)$$

$$\Delta x_1 = -\frac{10}{12} \text{ m} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\text{ב.} \quad u_2 \approx 4.08 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, \quad u_1 \approx -0.82 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 16 - מומנט התמד -

תוכן העניינים

1. הקדמה - גוף קשיח וציר סיבוב ..... (ללא ספר)
2. מומנט התמד, הסבר בסיסי וחישוב עבור גוף נקודת ..... (ללא ספר)
3. משפט שטיינר ואדטיביות ..... 13
4. נוסחאות לגופים נוספים וסיכום ..... 16
5. תרגילים שונים לחישוב מומנט התמד ..... 17

## אדטיביות:

### רקע

גוף קשיח:

הגדרה: המרחק בין כל שתי נקודות על הגוף תמיד קבוע.

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל הנקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה המהירות הזוויתית (אך לא באותה מהירות קווית) מומנט התמד:

$$I = \sum m_i r_i^2$$

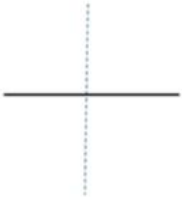




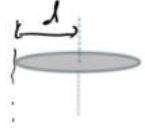



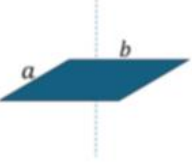
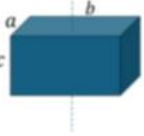
הגדרה - עבור מערכת של גופים נקודתיים

משפט שטיינר -  $I' = I_{c.m.} + md^2$  כאשר  $d$  הוא המרחק בין הצירים ו  $m$  היא המסה הכוללת של הגוף

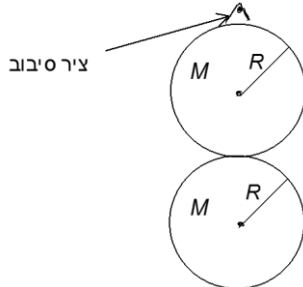
הערה: משפט שטיינר פועל רק לצירים מקבילים, ורק כאשר אחד הצירים עובר במרכז המסה.

אדטיביות - מומנט ההתמד הוא פונקציה אדטיבית, כלומר ניתן לסכום את המומנט התמד של כל חלק וחלק בגוף על מנת לקבל את המומנט הכולל.  $I_T = I_1 + I_2$

נוסחאות מומנט התמד של גופים נפוצים:

	מוט במרכז המסה $I_{c.m.} = \frac{1}{12} mL^2$	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>גליל חלול</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>גוף נקודתי</p>  </div> </div> <p>טבעת (חלולה)</p> 	גוף נקודתי סביב ציר כלשהו $I = mR^2$ טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי $I_{c.m.} = mR^2$
	מוט בקצה $I = \frac{1}{3} mL^2$	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	דיסקה/ גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z-אנך לדיסקה $I_{c.m.} = \frac{1}{2} mR^2$
	כדור מלא במרכז מסה $I_{c.m.} = \frac{2}{5} mR^2$		דיסקה במרכז מסה סביב ציר x-במישור הדיסקה $I_{c.m.} = \frac{1}{4} mR^2$
 	תיבה או לוח במרכז מסה $I_{c.m.} = \frac{m(a^2 + b^2)}{12}$		

## שאלות:



- (1) **שעון כפול תלוי על קיר**  
 לדסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$  מחברים דסקה נוספת זהה בקצה התחתון של הדסקה. מצא את מומנט ההתמד של המערכת סביב ציר המאונך למישור הדסקה והעובר בקצה העליון של הדסקה (הראשונה).

## תשובות סופיות:

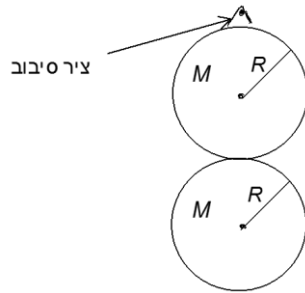
$$I = 11mR^2 \quad (1)$$

## אדטיביות:

### שאלות:

#### (1) דוגמה

לדסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$  מחברים דסקה נוספת זהה בקצה התחתון של הדסקה. מצא את מומנט ההתמד של המערכת סביב ציר המאונך למישור הדסקה והעובר בקצה העליון של הדסקה (הראשונה).

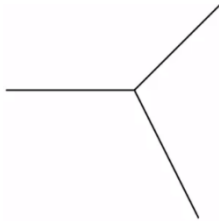


### תשובות סופיות:

$$I = 11mR^2 \quad (1)$$

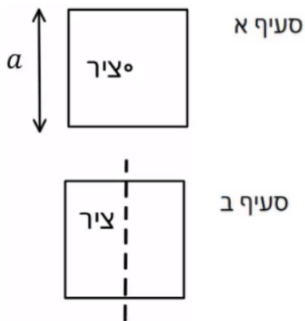
## תרגילים שונים לחישוב מומנט התמד:

### שאלות:



**(1) שלושה מוטות מחוברים בקצה**

שלושה מוטות זהים באורך  $l$  ומסה  $m$  כל אחד מחוברים באופן המוצג באיור. מצא את מומנט ההתמד של המערכת סביב ציר הנמצא בנקודת החיבור בין המוטות ובמאונך למישור.



**(2) מסגרת ריבועית**

נתונה מסגרת ריבועית בעלת אורך צלע  $a$  ומסה  $M$ . מצא את מומנט ההתמד של מסגרת. א. סביב ציר העובר במרכזה ומאונך למישור המסגרת. ב. סביב ציר העובר במרכז המסגרת ודרך מרכז שתי צלעות ומקביל לשתי הצלעות האחרות.

**(3) מומנט התמד של שער חשמלי**



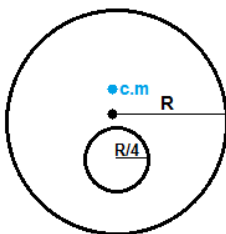
מצא את מומנט ההתמד של שער חשמלי בעל מסה  $m$  ואורך  $l$  אשר בסופו מחוברת משקולת בעלת מסה  $M$  ואורך  $L$  המסתובב סביב מרכז המסה שלו.

**(4) מומנט התמד של ריש**



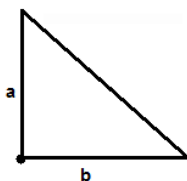
מצא את מומנט ההתמד של הגוף שבשרטוט סביב מרכז המסה שלו בשתי דרכים שונות. אורך כל מוט  $l$  ומסתו  $m$ .

**(5) דיסקה עם חור**



א. מצא את מומנט ההתמד של דיסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$ , אם ידוע כי במרחק  $R$  ממוקם הדיסקה קדחו חור ברדיוס רבע  $R$ . הדיסקה מסתובבת סביב ציר במרכזה (ולא במרכז המסה של המערכת).  
ב. מצא את מומנט ההתמד של הגוף סביב מרכז המסה שלו.

**(6) מומנט התמד של משולש**



מצא את מומנט ההתמד של המשולש סביב קודקודו הישר.

## תשובות סופיות:

$$I_{c.m.} = ml^2 \quad (1)$$

$$I = \frac{M}{8} \left( a^2 + \frac{l^2}{3} \right) \quad \text{ב.} \quad I_{c.m.} = \frac{M}{4} \left( \frac{l^2}{3} + a^2 \right) \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$I = \left( \frac{1}{12} ml^2 + m \left( \frac{m \cdot 0 + \frac{M(1+L)}{2}}{m+M} \right)^2 \right) + \left( \frac{1}{12} (L^2 + L^2) M + M \left( \frac{1}{2} - \left( \frac{m \cdot 0 + \frac{M(1+L)}{2}}{m+M} \right) + \frac{L}{2} \right)^2 \right) \quad (3)$$

$$I = \frac{5}{12} ml^2 \quad (4)$$

$$I_0 = I_{c.m.} + \frac{15}{16} M \cdot \left( \frac{R}{30} \right)^2 \quad \text{ב.} \quad I_0 = \frac{247}{512} MR^2 \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$I_0 = \frac{1}{6} m(a^2 + b^2) \quad (6)$$

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 17 - מומנט כוח -

תוכן העניינים

1. מומנט כוח - הסבר ..... 19
2. מכפלה וקטורית ..... (ללא ספר) 21
3. תרגיל - מומנטים על משולש ..... 21
4. משוואת מומנטים ..... (ללא ספר) 22
5. תרגילים מסכמים ..... 22

## מומנט כוח - הסבר:

רקע

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

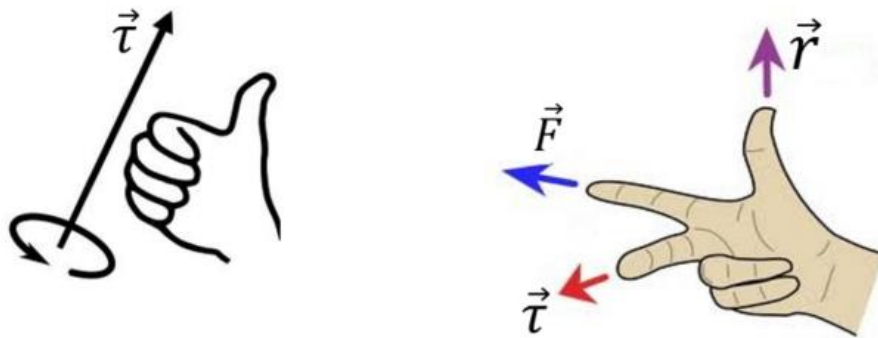
כאשר  $\vec{r}$  הוא וקטור שיוצא מהציר עד לנקודה שבה פועל הכוח.

ניתן לחשב את המכפלה באמצעות דטרמיננטה או באמצעות גודל וכיוון גודל המומנט :

$$|\vec{\tau}| = |\vec{r}| |\vec{F}| \sin \alpha = |\vec{F}| r_{\perp}$$

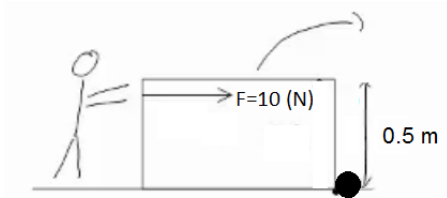
כאשר  $r_{\perp}$  הוא הרכיב של  $\vec{r}$  המאונך לכוח

כיוון לפי כלל יד ימין או כלל הבורג



משוואת מומנטים : אם גוף נמצא במנוחה אז סכום המומנטים הפועלים עליו שווה לאפס.

### שאלות:



- (1) **מרחק אפקטיבי**  
 אדם דוחף ארגז בגובה 0.5m ומפעיל כוח F (ראו תמונה).  
 לארגז אין חיכוך עם המשטח.  
 האדם דוחף את הארגז ללא כל בעיה עד שנתקע באבן והארגז מתהפך (מיקום האבן הופך לציר הסיבוב).  
 חשבו את גודל מומנט הכוח.

### תשובות סופיות:

$$|\vec{\tau}| = 5N \cdot m \quad (1)$$

## תרגיל - מומנטים על משולש:

### שאלות:

#### (1) מומנטים על משולש

המשולש בתמונה הוא משולש שווה צלעות עם אורך צלע נתונה  $a$ .

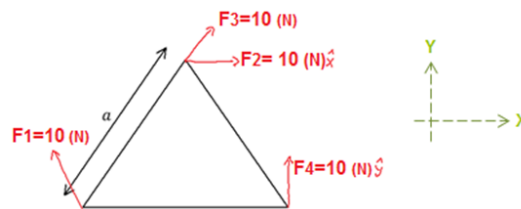
א. חשב את המומנטים של הכוחות בתמונה סביב הפינה השמאלית של המשולש.

ב. נתונה המסה של המשולש  $M$  ונתון גם כי מרכז המסה של המשולש

$$\text{נמצא בנק': } \left( \frac{1}{2}a, \frac{1}{2\sqrt{3}}a \right)$$

חשב את מומנט הכוח של כוח הכובד.

ג. חשב שוב את המומנטים סביב ציר העובר במרכז המסה של המשולש, הנח כי הזווית בין  $F_1$  לדופן המשולש היא  $60$  מעלות.



### תשובות סופיות:

$$\tau_g = -Mg \frac{1}{2}a \quad \text{ב.} \quad \tau_1 = 0!, \quad \vec{\tau}_2 = -5 \cdot \sqrt{3}a, \quad \vec{\tau}_3 = 0!, \quad \tau_4 = 10a \quad \text{א.} \quad (1)$$

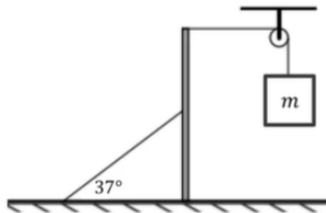
$$\tau_1 = \frac{-10a}{\sqrt{3}}, \quad \tau_2 = -10 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}a, \quad \tau_3 = -\frac{1}{\sqrt{3}}a \cdot 10 \cdot \sin 30^\circ, \quad \tau_4 = 10 \cdot \frac{1}{2}a, \quad \tau_g = 0 \quad \text{ג.}$$

## תרגילים מסכמים:

### שאלות:

#### 1) מוט עומד מחובר לחוט ומשקולת

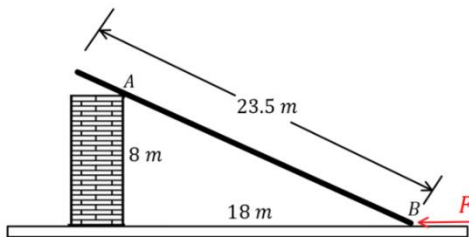
מוט אחיד מונח על משטח אופקי לא חלק, כמוראה בתרשים. המוט מחובר במרכזו לחוט אידיאלי שקצהו השני קשור למשטח ויוצר עימו זווית של  $37^\circ$ . הקצה העליון של המוט מחובר באמצעות חוט אופקי אידיאלי וגלגלת אל משקולת שמסתה  $m = 7\text{kg}$ . המערכת נמצאת במנוחה.



- א. מהי המתיחות בחוט המחובר אל המשטח?  
 ב. מהו כוח החיכוך שמפעיל המשטח האופקי על המוט?

#### 2) קורה על קיר אנכי

באיור לשאלה זו מתוארת קורה אחידה שאורכה הכולל הוא  $23.5\text{m}$ . מסת הקורה היא  $140\text{kg}$ .

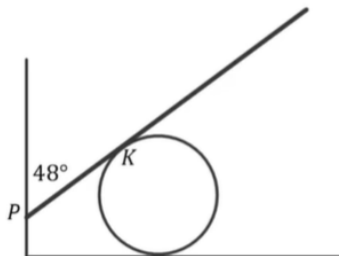


הקורה נשענת בנקודה A על קיר אנכי חלק שגובהו  $8\text{m}$ .

- קצה הקורה מונח על הרצפה בנקודה B במרחק  $18\text{m}$  מהקיר ובקצה הזה פועל כוח אופקי  $F$ , כמתואר באיור. מקדם החיכוך הסטטי שבין הקורה הרצפה הוא  $\mu_s = 0.3$ . מהו  $F$  המקסימלי הניתן להפעיל כך שהקורה תישאר במנוחה?

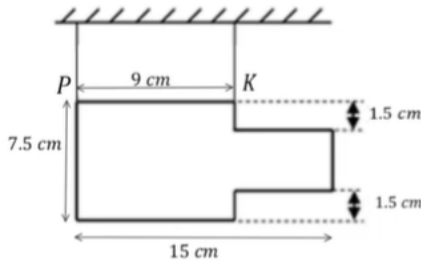
#### 3) מוט נשען על כדור

נתון מוט דק שאורכו  $L = 3.5\text{m}$  ומסתו  $m = 7\text{kg}$ . הנשען על כדור חסר חיכוך המודבק לרצפה כמתואר בשרטוט. נקודת המגע של המוט בכדור היא הנקודה K. בקצהו השמאלי נוגע המוט בקיר בעל חיכוך בנקודה P, הזווית שיוצר המוט יחסית לקיר היא  $48^\circ$ . מקדם החיכוך הסטטי שבין הקיר למוט הוא  $\mu_s = 0.15$ .



- א. מהו הכוח שמפעיל הכדור על המוט אם נתון שקצהו הימני של המוט נמצא על סף תנועה כלפי מטה?  
 ב. מהו המרחק בין הנקודות P ו-K במצב זה?

**(4) טבלה מעץ**

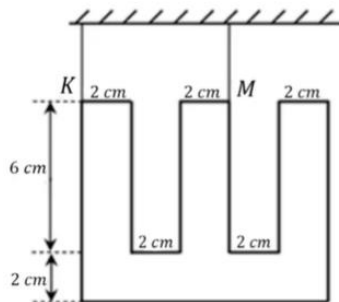


טבלה העשויה עץ בעלת עובי אחיד שמסתה 400 גר' וצורתה כמתואר בתרשים, תלויה בשני חוטים בנקודות K ו-P.

א. חשב את מרכז הכובד של הטבלה ביחס למערכת צירים שראשיתה ממוקמת בנקודה P.

ב. מצא את המתיחות בשני החוטים.

**(5) שלט בצורת האות ש**

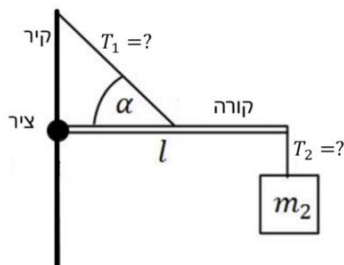


שלט העשוי מחומר אחיד בצורת האות "ש" (כמשורטט), שמסתו 4 ק"ג, נתלה בשני חוטים בנקודות K ו-M.

א. חשבו את מרכז המסה של השלט ביחס למערכת צירים שראשיתה ממוקמת בנקודה K.

ב. מצאו את המתיחות בשני החוטים.

**(6) מסה תלויה על קורה שמחוברת לקיר**

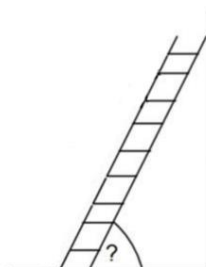


קורה בעלת מסה  $m_1$  ואורך  $l$  מחוברת לקיר באמצעות ציר. בקצה הקורה קשורה מסה  $m_2$  התלויה במנוחה. מאמצע הקורה יוצא חוט בזווית הקשור חזרה לקיר, הזווית שיוצר החוט עם הקורה היא  $\alpha$ .

א. מהי המתיחות בחוטים?

ב. מהו הכוח (גודל וכיוון) שמפעיל הציר?

**(7) סולם נשען על קיר**



סולם נשען על קיר. קיים חיכוך סטטי בין הסולם לרצפה וגם בין הסולם לקיר. מקדם החיכוך הסטטי בין הסולם לרצפה ובין הסולם לקיר הוא  $\mu_s$ . אורך הסולם הוא  $L$  וניתן להניח שמסתו מפולגת בצורה אחידה. מהי הזווית המינימלית עם הרצפה כך שהסולם לא יחליק?

**(8) אדם עומד על סולם שנשען על קיר**

אדם עומד על סולם שנשען על קיר.

אורך הסולם הוא  $L$  וניתן להניח שמסתו מפולגת

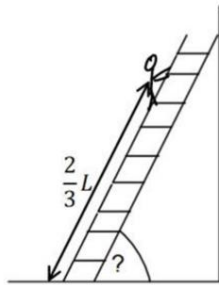
בצורה אחידה. האדם עומד על הסולם כשמרחקו מהקצה התחתון של הסולם הוא שני שליש מאורך הסולם.

קיים חיכוך סטטי בין הסולם לרצפה וגם בין הסולם לקיר.

מקדם החיכוך הסטטי בין הסולם לרצפה ובין הסולם לקיר

הוא  $\mu_s$ . מסת האדם כפולה ממסת הסולם.

מהי הזווית המינימלית עם הרצפה כך שהסולם לא יחליק?



**(9) מומנטים על שער**

שער שגובהו  $h$  ואורכו  $l$  מחובר לקיר בשני צירים  $a$  ו- $b$ .

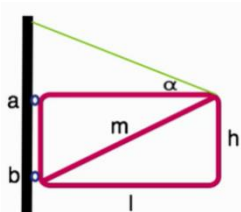
על מנת להקל על הציר העליון חיברו לשער כבל ומתחו

אותו עד אשר הכוח האופקי בנקודה  $a$  מתאפס.

א. מהי המתוחות בכבל?

ב. מהו הכוח האופקי הפועל על הציר  $b$ ?

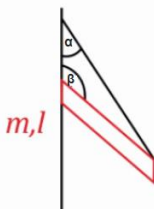
ג. מהו סכום הכוחות האנכיים המופעלים על שני הצירים?



**(10) גגון מוחזק אל קיר**

גגון מוחזק אל קיר בעזרת חבל וחיכוך כמתואר בשרטוט.

מצא את הכוחות הפועלים על הגגון.

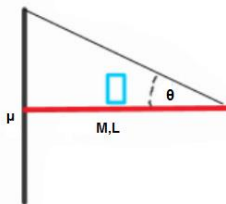


**(11) מסה על גגון מחליק**

גגון מוחזק לקיר בעזרת חיכוך בלבד לפי הנתונים שבשרטוט.

מהו המרחק הקטן ביותר מהקיר בו ניתן לשים את המסה  $m$

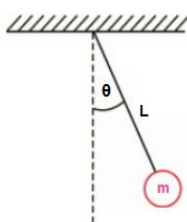
מבלי לגרום לגגון להחליק מהקיר?



**(12) מטוטלת מתמטית**

מצא את מומנט הכוח המופעל על מטוטלת מתמטית

כפונקציה של הזווית מהאנך.

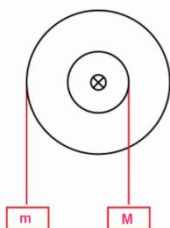


**(13) מנוף מדיסקה כפולה**

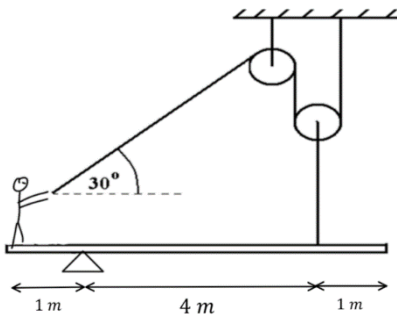
נתונה המערכת שבשרטוט.

רשום את כל הכוחות הפועלים על הדיסקה

ומצא את יחס הרדיוסים בין שתי הדיסקות.



**14) אדם על קורה מחזיק בחוט ושתי גלגלות**



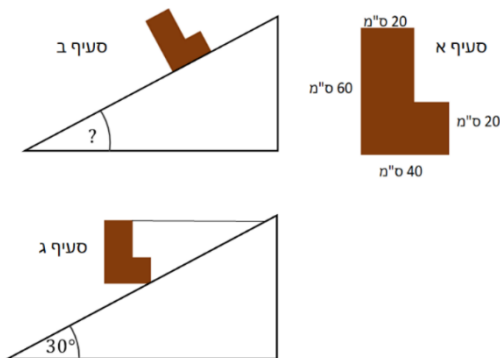
אדם שמסתו 65kg עומד בקצה קורה שמסתה 40kg. הקורה מונחת על ציר הנמצא במרחק 1m מהאדם. האורך הכולל של הקורה הוא 6m. האדם מחזיק בחוט העובר דרך שתי גלגלות כפי שמתואר באיור. הגלגלת השמאלית מחוברת לתקרה, הגלגלת הימנית לקורה במרחק 1m מהקצה השני.

- מהו הכוח בו האדם צריך למשוך את החבל כדי לשמור על מצב של שיווי משקל?
- מהם רכיבי הכוח שהציר מפעיל על הקורה?
- מהו מקדם החיכוך הסטטי המינימאלי בין האדם לקורה כדי שהאדם לא יחליק מהקורה?

**15) L על מישור משופע\***

באיור נתון גוף משטחי בצורת L.

צפיפות המסה של הגוף היא:  $\sigma = 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ .

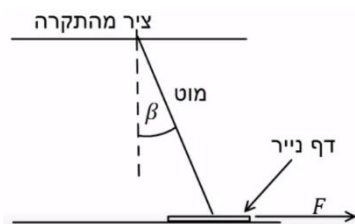


- מהו מרכז המסה של הגוף ביחס לפינה התחתונה השמאלית?
- מניחים את הגוף על מישור משופע. מהי הזווית המקסימאלית של המישור עבורה הגוף לא יתהפך?
- קושרים את הגוף למישור באמצעות חוט אופקי מהפינה הימנית העליונה ומותחים את החוט עד שהגוף מתיישר במקביל לקרקע.

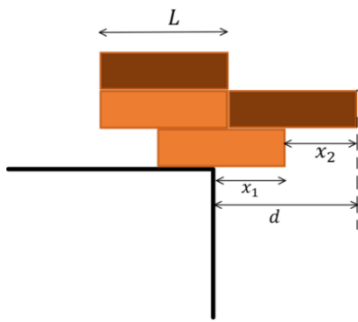
מהי המתוחות בחוט במצב זה אם זווית המישור היא  $30^\circ$  והגוף במנוחה.

**16) מוט נשען על דף נייר\***

מוט בעל אורך L ומסה M מחובר לתקרה בציר. בקצהו השני המוט מונח על דף נייר המונח על הרצפה. מסת דף הנייר זניחה. הזווית בין המוט לאנך היא  $\beta$  ומקדם החיכוך הסטטי בין המוט לנייר ובין הנייר לרצפה הוא  $\mu_s$ .

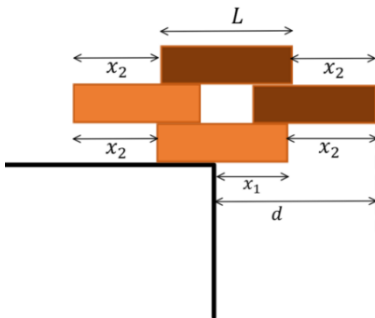


- מושכים את הנייר ימינה בכוח F. מהו הכוח המינימלי הדרוש בשביל להוציא את הנייר מתחת למוט? הנח שהמוט נשאר במנוחה.
- חזור על סעיף א' אם הכוח פועל שמאלה.



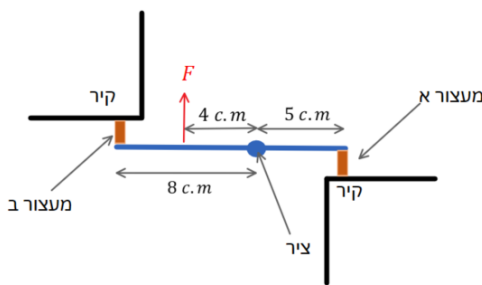
**17) ערימת קוביות 1**

ערימת קוביות מורכבת מ-4 קוביות זהות באורך  $L$ . הקוביות מסודרות באופן שמתואר באיור. מהו המרחק  $d$  המקסימאלי האפשרי כך שהערימה לא תיפול מהשולחן. מהם  $x_1$  ו- $x_2$  במצב זה?



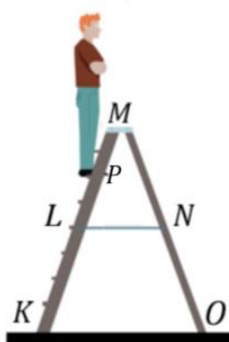
**18) ערימת קוביות \*2**

ערימת קוביות מורכבת מ-4 קוביות זהות באורך  $L$ . הקוביות מסודרות באופן שמתואר באיור. מהו המרחק  $d$  המקסימאלי האפשרי כך שהערימה לא תיפול מהשולחן. מהם  $x_1$  ו- $x_2$  במצב זה?



**19) מוט עם שני מעצורים מגומי\*\***

באיור ישנו מוט באורך  $13\text{c.m.}$  המחובר בציר הנמצא במרחק  $5\text{c.m.}$  מהקצה הימני בשני הקצוות של המוט ישנם מעצורים זהים העשויים מגומי. מפעילים כוח  $F = 200\text{N}$  במרחק  $4\text{c.m.}$  שמאלה מהציר, הכוח גורם לכיווץ קטן של המעצורים. המערכת אופקית, כלומר כוח הכובד פועל לתוך הדף וניתן להתעלם ממנו. מהו הכוח שפועל על כל מעצור? רמז: התייחס למעצורים כמו קפיצים בעלי קבוע  $k$  זהה.



**20) אדם על סולם עם שתי רגליים\*\***

אדם עומד על סולם בעל שתי רגליים המחוברות באמצעות כבל במרכז הסולם. משקל האדם הוא  $800$  ניוטון וניתן להזניח את משקל הסולם ואת החיכוך עם הרצפה. נתונים אורכי הקטעים הבאים:  $KM = OM = 2.34\text{m}$ ,  $KP = 1.70\text{m}$ ,  $LN = 0.746\text{m}$ .  
 א. מצא את הכוחות שפועלים בנקודות O ו-K.  
 ב. מצאו את המתוחות בכבל.  
 רמז: יש לעשות משוואה רק על חלק מהסולם.

## תשובות סופיות:

$$\text{א. } T_2 \approx 180\text{N} \quad \text{ב. } f_s = T_1 = 70\text{N}, \text{ ימינה.} \quad (1)$$

$$F_{\max} \approx 521\text{N} \quad (2)$$

$$\text{א. } N_2 \approx 110\text{N} \quad \text{ב. } PK \approx 0.84\text{m} \quad (3)$$

$$\text{א. } x_{c.m.} = 6.6c.m., y_{c.m.} = 3.75c.m. \quad \text{ב. } T_2 = 3\text{N}, T_1 = 1\text{N} \quad (4)$$

$$\text{א. } x_{c.m.} = 5c.m., y_{c.m.} \approx 4.4c.m. \quad \text{ב. } T_K = 6.7\text{N}, T_M = 33.3\text{N} \quad (5)$$

$$\text{א. } T_1 = \frac{(m_1 + 2m_2)g}{\sin \alpha}, T_2 = m_2g \quad (6)$$

$$\text{ב. } F = \sqrt{((m_1 + 2m_2)g \cot \alpha)^2 + (m_2g)^2}, \tan \theta = -\frac{m_2}{m_1 + 2m_2} \tan \alpha$$

$$\tan \theta = \frac{1 - \mu_s^2}{2\mu_s} \quad (7)$$

$$\tan \theta = \frac{11 - 7\mu_s^2}{18\mu_s} \quad (8)$$

(9) ראה סרטון.

(10) ראה סרטון.

(11) ראה סרטון.

$$\sum \tau = -mgl \sin \theta + Tl \sin \theta = -mgl \sin \theta \quad (12)$$

$$\sum \tau = \frac{m}{M} = \frac{r}{R} \quad (13)$$

$$\text{א. } T_1 = 20\text{N} \quad \text{ב. } F_x = 10\sqrt{3}\text{N}, F_y = 1000\text{N} \text{ שמאלה} \quad (14)$$

$$\mu_{s_{\min}} = 0.027 \quad \text{ג.}$$

$$\text{א. } x_{c.m.} = 0.15\text{m}, y_{c.m.} = 0.25\text{m} \quad \text{ב. } \alpha = 31^\circ \quad (15)$$

$$\text{ג. } T = 3.3\text{N}$$

$$\text{א. } F_{\min} = \frac{\mu_s mg \sin \beta}{\sin \beta + \mu_s \cos \beta} \quad \text{ב. } F_{\min} = \frac{\mu_s mg \sin \beta}{\sin \beta + \mu_s \cos \beta} \quad (16)$$

$$x_1 = \frac{5L}{8}, x_2 = \frac{L}{2}, d = \frac{9L}{8} \quad (17)$$

$$x_1 = \frac{L}{2}, x_2 = \frac{2L}{3}, d = \frac{7L}{6} \quad (18)$$

$$F_R \approx 45\text{N}, F_L \approx 72\text{N} \quad (19)$$

$$\text{א. } N_O \approx 291\text{N}, N_k = 509\text{N} \quad \text{ב. } T_L \approx 196\text{N} \quad (20)$$

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 18 - תנע זוויתי -

תוכן העניינים

1. נוסחאות וחוקי שימור.....28

## נוסחאות וחוקי שימור:

### רקע

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

$\vec{r}$  - הוא וקטור המיקום של הגוף  
 $\vec{p}$  - התנע הקווי

עבור גוף הנע בקו ישר ניתן לחשב את התנ"ז לפי  $L = mvd$  כאשר  $d$  זה המרחק האפקטיבי

הקשר בין תנ"ז למומנט כוח:

$$\sum \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

חוק שימור התנע הזוויתי:  
 אם  $\sum \vec{\tau}_{ext} = 0$  אז התנע הזוויתי נשמר

סיכום חוקי שימור:

תנע -  $\sum \vec{F}_{ext} = 0$   
 אנרגיה - האם כל הכוחות משמרים?  
 תנ"ז -  $\sum \vec{\tau}_{ext} = 0$

### שאלות:

#### 1) תנ"ז בזריקה משופעת

אבן נזרקת בזריקה משופעת במהירות  $v_0$  ובזווית  $\alpha$ ,

כוח הכובד שפועל על האבן  $\vec{F} = -mg\hat{y}$ .

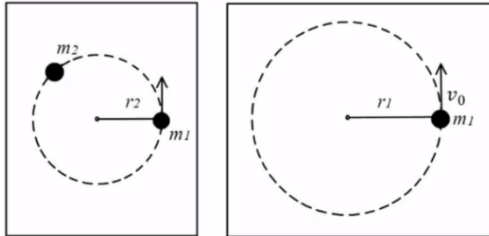
א. מהו התנ"ז של האבן ביחס לנקודת המוצא כתלות בזמן?

ב. מהו מומנט הכוח של כוח הכובד?

ג. הראה כי השינוי של התנ"ז בזמן שווה למומנט הכוח של כוח הכובד.

**(2) גוף מסתובב על שולחן ונמשך למרכז**

מסה  $m_1$  מחוברת לחוט המחובר למרכז שולחן.

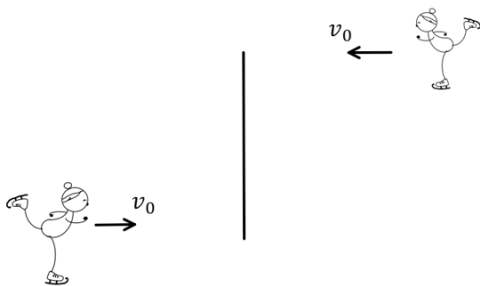


המסה נעה במסלול מעגלי ברדיוס קבוע  $r_1$  ובמהירות קבועה  $v_0$ .

ברגע מסוים מושכים את המסה למרכז המעגל (מקצרים את אורך החוט) ומפסיקים כאשר אורך החוט שווה  $r_2$  והמסה מסתובבת שוב בתנועה מעגלית קבועה.

רגע לאחר מכן מניחים מסה נוספת  $m_2$  במסלול של  $m_1$  והמסות מתנגשות התנגשות פלסטית. מצאו את מהירות המסות לאחר ההתנגשות.

**(3) שתי מחליקות על הקרח**



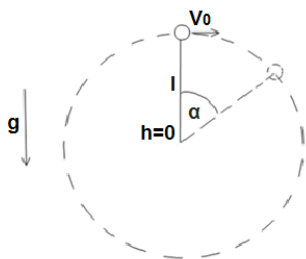
שתי מחליקות תאומות בעלות מסה זהה  $m$  מחליקות בכיוונים מנוגדים ובמהירות  $v_0$ . המחליקות נעות על קווים ישרים והמרחק בין הקווים הוא  $d$ . באמצע ביניהן שמים חבל, כאשר הן מגיעות לחבל, שתיהן תופסות את החבל ומתחילות להסתובב סביב המרכז ביניהן.

א. מה המהירות הזוויתית שהן מסתובבות?  
ב. כעת המחליקות מושכות את החבל ומתקרבות זו לזו עד אשר המרחק

$$\frac{d}{2}$$

מצא את המהירות הזוויתית החדשה של המחליקות.

**(4) כדור מסתובב אנכית**

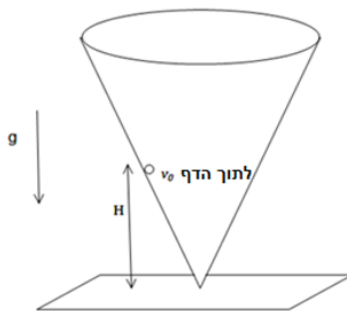


כדור בעל מסה  $m$  מחובר לחוט בעל אורך  $l$  ומסתובב במעגל אנכי.

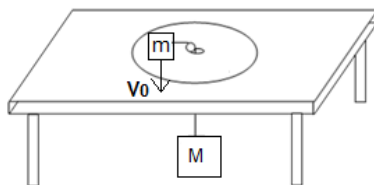
נתון כי מהירות הכדור בשיא הגובה היא  $v_0$ .

א. מצא את מומנט הכוח הפועל על הכדור כפונקציה של הזווית  $\alpha$ .

ב. מצא את התנע הזוויתי של הכדור כפונקציה של הזווית  $\alpha$ .

**(5) כדור בתוך חרוט**

כדור קטן נע בתוך חרוט המחובר הפוך למשטח. נתון כי מהירות הכדור ההתחלתית היא  $v_0$  בכיוון אופקי ומשיק לדופן החרוט. גובהו ההתחלתי  $H$ . מצא את הגובה המקסימאלי אליו יגיע הכדור (החרוט אינו זז). הנחיות: מספיק להגיע למשוואה ממעלה שלישית על  $h$  אין צורך לפתור אותה.

**(6) כדור מסתובב מחובר למסה תלויה**

מסה  $m$  נעה על שולחן חסר חיכוך ומחובר באמצעות חוט העובר דרך מרכז השולחן למסה  $M$  התלויה באוויר. אורך החוט הוא  $L$ . נתון כי ב-  $t=0$  המסה  $M$  נמצאת במנוחה והמסה  $m$  נמצאת במרחק  $R$  ממרכז הלוח, במהירות התחלתית  $v_0$ , בכיוון מאונך לרדיוס.

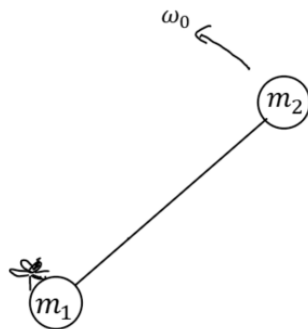
רשום את משוואת שימור האנרגיה והתנע הזוויתי ומצא משוואה דיפרנציאלית התלויה רק בגודל  $r$ , מרחק המסה  $m$  ממרכז השולחן.

**(7) מומנט הכוח לא תלוי בנקודת הייחוס**

הוכיחו כי אם הכוח השקול על קבוצת גופים מתאפס אז מומנט הכוח על קבוצת הגופים אינו תלוי בנקודת הייחוס.

**(8) תנע זוויתי לא תלוי בנקודת ייחוס**

הוכיחו כי אם התנע הקווי של קבוצת גופים מתאפס אז התנע הזוויתי שלהם לא תלוי בנקודת הייחוס.



**9) זבוב הולך על מוט\***

שתי מסות נקודתיות  $m_1$  ו- $m_2$  מחוברות באמצעות מוט חסר מסה באורך  $d$ . על המסה  $m_1$  נמצא זבוב בעל מסה  $m_3$ . כל המערכת נמצאת על שולחן אופקי ומסתובבת סביב מרכז המסה שלה במהירות זוויתית קבועה  $\omega_0$ . ברגע מסוים הזבוב מתחיל ללכת על המוט במהירות  $v$  ביחס למוט ונעצר כאשר הוא מגיע למרכז המסה של שלושת הגופים (שימו לב שהמוט לא מחובר לשולחן). מהי המהירות הזוויתית של המערכת כאשר הזבוב נעצר?

**תשובות סופיות:**

- א.  $-\frac{1}{2}gt^2v_0m \cos \alpha \hat{z}$       ב.  $-mgv_0 \cos \alpha t \hat{z}$       ג. שאלת הוכחה.
- א.  $u = \frac{m_1 r_1 v_0}{r_2 (m_1 + m_2)}$       ב.  $\omega'' = \frac{8v_0}{d}$
- א.  $\sum \tau = -mgl \sin \alpha$       ב.  $\dot{L} = lmv(-\hat{z})$
- א.  $(2gH + v_0^2)h_{\max}^2 + 2gh_{\max}^3 + v_0^2 H^2$
- א.  $a + br + \frac{c}{r^2} = \&$
- א. שאלת הוכחה.
- א. שאלת הוכחה.
- א.  $\omega' = \frac{(m_1 + m_3)(m_1 + m_2)}{m_1(m_1 + m_2 + m_3)} \omega_0$

# פיזיקה 1 ב בערבית

פרק 19 - גוף קשיח -

תוכן העניינים

- 1. הגדרות, ציר סיבוב ותנע קווי ..... 32
- 2. תנע זוויתי של גוף קשיח ..... 33
- 3. אנרגיה סיבובית של גוף קשיח ..... 35
- 4. ניתוח לפי כוחות ומומנטים וגלגול ללא החלקה ..... 38
- 5. תרגילים מסכמים ..... 41

## הגדרות, ציר סיבוב ותנע קווי:

**רקע:**

הגדרה: המרחק בין כל שתי נקודות על הגוף תמיד קבוע.

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל נקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה מהירות הזוויתית (אך לא באותה מהירות קווית)

תנע קווי של גוף קשיח:

$$\vec{p} = M\vec{v}_{c.m.}$$

## תנע זוויתי של גוף קשיח:

### רקע:

תנ"ז של גוף הנע בקו ישר (ללא סיבוב פנימי, כלומר לכל החלקים בגוף אותה מהירות קווית):

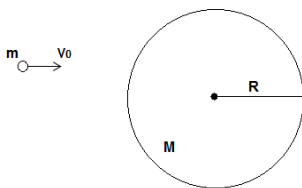
$$\vec{L} = \vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.}$$

תנ"ז של גוף קשיח המסתובב סביב ציר קבוע:

$$\vec{L} = I\vec{\omega}$$

$I$  - מומנט ההתמד ביחס לציר

### שאלות:

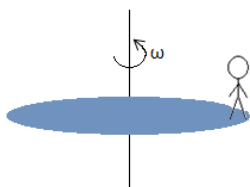


#### (1) כדור מתנגש בדיסקה

דסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$  מחוברת באמצעות ציר העובר במרכזה לשולחן אופקי חסר חיכוך.

כדור פלסטלינה בעל מסה  $m$  נע במהירות  $v_0$  לעבר הדסקה.

הכדור פוגע בדסקה משמאלה, ובמרחק  $d$  ממרכזה. הכדור נדבק לדסקה ושניהם מתחילים להסתובב יחדיו (סביב הציר במרכז הדסקה). הדסקה נמצאת במנוחה לפני הפגיעה וכוח הכובד אינו משפיע על הגופים (המערכת אופקית). מצא את המהירות הזוויתית בה יסתובבו הגופים לאחר הפגיעה.



#### (2) אדם קופץ מדיסקה

נתונה דסקה בעלת רדיוס  $R$  המסתובבת סביב מרכזה

במהירות זוויתית קבועה  $\omega$ . בקצה הדסקה עומד איש נקודתי ומסתובב ביחד עם הדסקה. ברגע מסוים האיש קופץ מהדסקה

ונתון כי מהירותו מיד לאחר הקפיצה היא  $v_0$  בכיוון הראדיאלי, ביחס לקרקע.

מצא את המהירות הזוויתית של הדסקה לאחר הקפיצה אם נתונים מסת האיש  $m$  ומסת הדסקה  $M$ .

**תשובות סופיות:**

$$\omega = \frac{mv_0 d}{I} \quad (1)$$

$$\omega' = \frac{\left(\frac{1}{2}M + m\right)\omega_0}{\frac{1}{2}M} \quad (2)$$

## אנרגיה סיבובית של גוף קשיח:

### רקע:

אנרגיה קינטית סיבובית סביב ציר קבוע כלשהו:

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$$

אנרגיה קינטית עבור ציר לא קבוע (תנועה משולבת) העובר במרכז המסה:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_{c.m.}^2 + \frac{1}{2} I_{c.m.} \omega^2$$

אנרגיה קינטית עבור ציר לא קבוע (תנועה משולבת) כלשהו\*:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_o^2 + \frac{1}{2} I_o \omega^2 + m \vec{r}_{c.m.,o} \cdot (\vec{v}_o \times \vec{\omega})$$

$I_o$  - מומנט ההתמד ביחס לציר

$\vec{v}_o$  - היא מהירות הציר

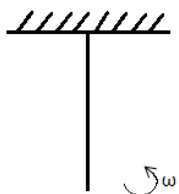
$\vec{r}_{c.m.,o}$  - מיקום מרכז המסה ביחס לציר

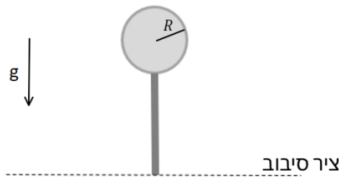
\* השימוש בנוסחה מאוד נדיר

### שאלות:

#### (1) מוט מסתובב

מוט באורך  $L$  ומסה  $M$  מחובר לתקרה באמצעות ציר ויכול להסתובב. למוט מהירות זוויתית התחלתית  $\omega$ . מהי הזווית המקסימאלית אליה יגיע המוט?





### (2) דיסקה מחוברת למוט נופלת ממצב אנכי

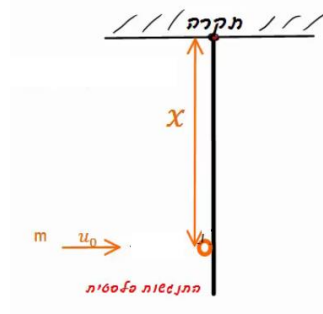
גוף קשיח מורכב ממוט בעל אורך  $L$  ומסה  $M$  המחובר בקצה אחד לדיסקה מלאה בעלת מסה  $m$  המפולגת באופן אחיד ורדיוס  $R$ .

בקצה השני, המוט מחובר לציר אופקי.

המוט חופשי להסתובב סביב הציר (כלומר הגוף יכול לעשות סיבוב אנכי סביב הציר).

הגוף מתחיל מהמצב המתואר באיור (מצב אנכי לא יציב) ומקבל דחיפה קטנה לתוך הדף. מה תהיה המהירות הזוויתית של הגוף כאשר יגיע לנקודה הנמוכה ביותר?

### (3) כדור פוגע במוט שתלוי מהתקרה (כולל תנז)



כדור בעל מסה  $m$  פוגע במוט שתלוי מהתקרה במרחק  $x$  מציר הסיבוב של המוט. המוט בעל אורך  $L$  ובעל מסה  $M$ . מהירותו ההתחלתית של הכדור היא  $\mu_0$  והוא מתנגש פלסטית עם המוט.

א. מהי המהירות הזוויתית של המערכת מיד לאחר ההתנגשות?

ב. מהי הזווית המקסימלית אליה יגיע המוט?

ג. מצא  $x$  כך שהכוח שמפעילה התקרה על המוט יתאפס.

## תשובות סופיות:

$$\cos \theta = 1 - \frac{L\omega_0^2}{3g} \quad (1)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2MgL + 2mg(L+R)}{\frac{ML}{3} + \frac{1}{4}mR^2 + m(L+R)^2}} \quad (2)$$

$$\omega = \frac{mv_0x}{mx^2 + \frac{ML^2}{3}} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$x_{c.m} = \frac{M\frac{L}{2} + mx}{M+m}, \quad I = \frac{ML^2}{3} + mx^2 \quad \text{כאשר:} \quad \cos \theta = 1 - \frac{I\omega^2}{(M+m)gx_{c.m}} \quad \text{ב.}$$

ו- $\omega$  מצאנו בסעיף א'.

$$\mu_{0} = M\frac{L}{r} + mx \quad \text{ג.}$$

## ניתוח לפי כוחות ומומנטים וגלגול ללא החלקה:

רקע:

טבלת השוואה בין תנועה סיבובית לתנועה בקו ישר

תנועה בקו ישר	תנועה סיבובית
$x$	$\theta$
$v = \dot{x}$	$\omega = \dot{\theta}$
$a = \dot{v} = \ddot{x}$	$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\theta}$
$m$	$I$
$p$	$L$
$F$	$\tau$

כל הנוסחאות זהות בהחלפת אותיות

גלגול ללא החלקה:

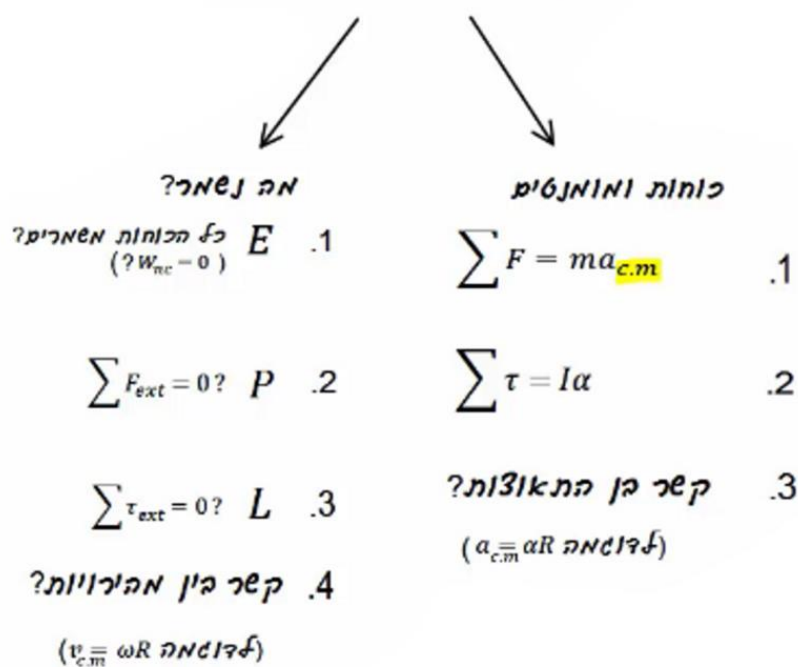
מהירות הנקודה שנוגעת במשטח שווה לאפס

$$v_{c.m.} = \omega R$$

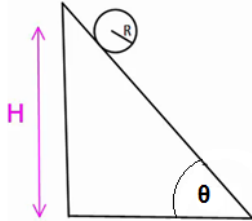
$$a_{c.m.} = \alpha R$$

בגלגול ללא החלקה החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

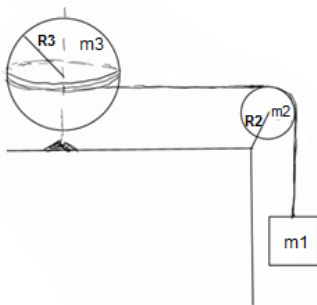
איך ניצלים  $W_{nc}$ ?



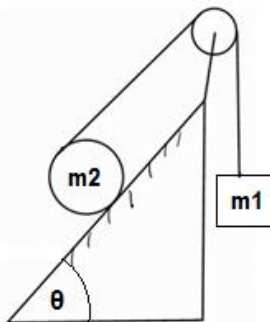
## שאלות:

**(1) דוגמה - כדור על מדרון משופע**

- כדור בעל רדיוס  $R$  מונח בגובה  $H$  על מדרון משופע בעל זווית  $\alpha$ . הכדור מתחיל להתגלגל ללא החלקה.
- א. מצאו את מהירות הכדור בתחתית המדרון.
- ב. מצאו את תאוצת הכדור.

**(2) גלובוס**

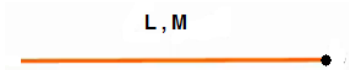
- גלובוס (כדור) מונח ומקובע לשולחן ויכול להסתובב סביב ציר המאונך לשולחן.
- מלפפים חוט סביב מרכז הגלובוס (סביב קו המשווה) והחוט ממשיך מהגלובוס דרך גלגלת לא אידיאלית למסה תלויה  $m_1$ .
- נתונים גם:  $m_2$  ו- $R_2$  מסה ורדיוס הגלגלת,  $m_3$  ו- $R_3$  מסה ורדיוס הגלובוס.
- המערכת מתחילה ממנוחה.
- מצא את תאוצת כל הגופים, קווית וזוויתית ואת המתיחות בחוט.

**(3) יויו במישור מחובר למסה**

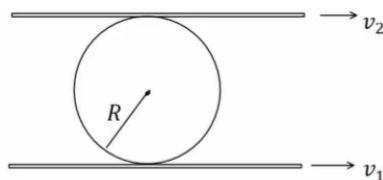
- יויו (כדור שמלופף סביבו חוט) בעל מסה  $m_2$  ורדיוס  $R$  מונח על מישור משופע בעל זווית  $\theta$ .
- החוט של היויו מחובר דרך גלגלת אידיאלית למסה  $m_1$ .
- נתון כי היויו מתגלגל ללא החלקה על המישור וכי קיים חיכוך בין היויו למישור.
- א. מצא לאן תנוע המערכת וכיוון החיכוך הסטטי.
- ב. מצא את תאוצות הגופים וגודל כוח החיכוך.

**4) מוט אופקי נופל**

מוט בעל מסה  $M$  (צפיפות אחידה) ואורך  $L$  תלוי בקצהו לקיר וחופשי להסתובב סביב נקודת התלייה. משחררים את המוט ממצב אופקי.



- מצא את התאוצה הזוויתית ואת תאוצת מרכז המסה של המוט ברגע השחרור. כעת המוט נופל עד להגיעו למצב מאונך לקרקע.
- מצא את הכוח שמפעיל הציר שמחבר את המוט לקיר על המוט, ברגע השחרור.
- מצא את המהירות הזוויתית של המוט ברגע זה (כשהוא מאונך לקרקע).
- חזור על סעיפים א' ו-ב' עבור רגע זה.

**5) משטח מלמעלה ומשטח מלמטה**

כדור בעל רדיוס  $R$  לחוץ בין שני משטחים נעים. המשטח מתחת לכדור נע במהירות  $v_1$  והמשטח מעליו נע במהירות  $v_2$ .

- מהי מהירות מרכז המסה של הכדור אם ידוע שהוא מתגלגל ללא החלקה ביחס לשני המשטחים?
- חזור על סעיף א' אם המשטח העליון נע בכיוון ההפוך.

**תשובות סופיות:**

$$(1) \quad \text{א. } mgH = \frac{1}{2} m v_{c.m.}^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{2}{5} m R^2 \right) \left( \frac{v_{c.m.}}{R} \right)^2 \quad \text{ב. } a = \frac{5}{7} g \sin \theta$$

(2) ראה סרטון.

(3) ראה סרטון.

$$(4) \quad \text{א. } a_{c.m.} = \frac{3}{4} g = a_y, a_x = a_r = 0, \alpha = \frac{3}{2} \frac{g}{L} \quad \text{ב. } \sum F_y = m a_{y_{c.m.}}, \sum F_x = m a_{x_{c.m.}}$$

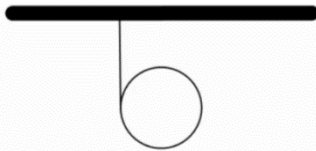
$$\text{ג. } mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$\text{ד. } \sum F_y = m a_{y_{c.m.}}, \sum F_x = m a_{x_{c.m.}}, a_\theta = 0 = a_{x_{c.m.}}, a_y = a_r = -\omega^2 \frac{L}{2}, \alpha = 0$$

$$(5) \quad \text{א. } v_{c.m.} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{ב. } v_{c.m.} = \frac{v_1 - v_2}{2}$$

## תרגילים מסכמים:

### שאלות:

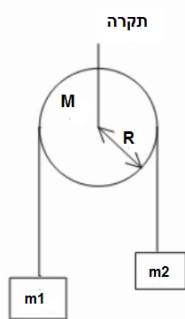


#### (1) חישוק מתגלגל מחבל

חבל מלופף סביב חישוק בעל רדיוס  $R$  ומסה  $m$ .  
(החבל מחובר לתקרה).

א. מהי תאוצת מרכז המסה של החישוק?

ב. לאחר כמה זמן ירד החישוק גובה של  $h$  אם התחיל תנועתו ממנוחה?

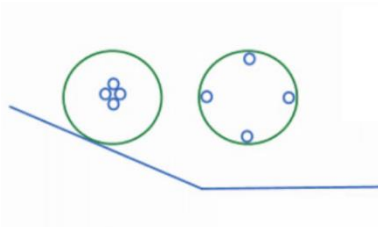


#### (2) מסות וגלגלת

שתי מסות שונות  $m_1, m_2$  תלויות משני הצדדים של גלגלת לא אידיאלית המקובעת במרכזה.  
המסות משוחררות ממנוחה.

מצא את תאוצת המסות אם נתון:

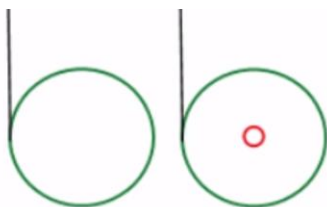
$M$  מסת הגלגלת,  $R$  רדיוס הגלגלת וכי החוט אינו מחליק על הגלגלת.



#### (3) שתי דיסקות שונות במדרון

בגן המדע שבמכון ויצמן יש שתי דיסקות קלות אליהן מודבקות 4 מסות כבדות כמתואר בשרטוט. את הדיסקות מניחים על שני מדרונים ובודקים מי תנוע בהגיעה למישור מהר יותר.

הסבר כיצד ניתן לחשב מהירות זו על פי נתוני המערכת.



#### (4) שני חישוקים מתגלגלים מחבל

חישוק בעל מסה  $m$  ורדיוס  $R$  תלוי מחבל המלופף סביבו.

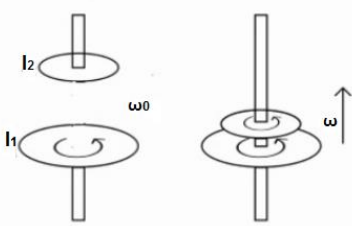
א. מה תהיה מהירותו לאחר שנפל מגובה  $h$ ?

מה תהיה תאוצתו? כמה זמן תארך הנפילה?

חישוק אחר חסר מסה בעל רדיוס  $R$  מכיל מסה נקודתית במרכזו בעלת מסה  $m$ .

ב. מה תהיה מהירותו לאחר שנפל מגובה  $h$ ?

ג. מה תהיה מהירותו אם החבל יהיה ללא חיכוך?

**(5) מצמד**

בכלי עבודה רבים קיים מנגנון הקרוי מצמד (קלאץ'). תפקיד המצמד הוא להעביר את הכוח המניע אל החלק המונע בצורה הדרגתית (למשל להעביר את כוח המנוע ברכב אל הגלגלים מבלי לגרום לתנועה פתאומית בגלגלים). המצמד מופעל ע"י הצמדת דסקה מסתובבת אל דסקה ניידת והעברת אנרגיה מזו לזו בעזרת כוח החיכוך. לפניך מצמד הבנוי משתי דסקות בעלות מומנט התמד שונה. הדסקה התחתונה מסתובבת במהירות התחלתית נתונה. בשלב מסוים הדסקה העליונה מונחת על הדסקה התחתונה ובעזרת כוח המשיכה וכוח החיכוך מתחילה לנוע בעצמה עד ששתי הדיסקות ינועו ביחד.

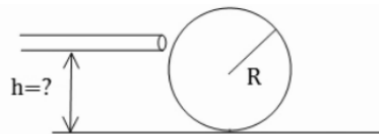
א. מצא את המהירות הסופית של הדיסקות.

ב. כמה אנרגיה אבדה בתהליך זה?

**(6) מכה בכדור ללא החלקה**

כדור סנוקר ברדיוס  $R$  נמצא במנוח על שולחן ללא חיכוך (חיכוך נמוך מאוד).

מצא באיזה גובה מעל תחתית הכדור יש לתת מכה אופקית עם המקל כך שהכדור יתגלגל ללא החלקה.



$$I_{c.m} = \frac{2}{5} mR^2$$

מומנט ההתמד של הכדור הוא:

הדרכה: ערוך תרשים כוחות ונתח את הבעיה בשלב המכה עצמה.

**(7) חוט מושך דיסקה ללא החלקה - תרגיל פשוט**

חוט מלופף מסביב לגליל המונח על מישור שאינו חלק. רדיוס הגליל הוא  $R$  ומסתו  $M$ .

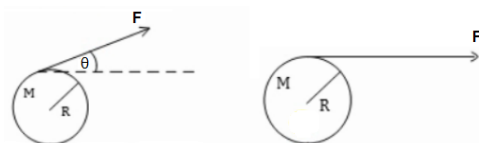
כוח  $F$  נתון מושך את הגליל.

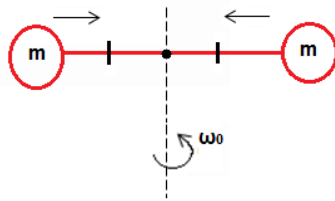
מצא את תאוצת הגליל במקרים הבאים אם ידוע שהגליל מתגלגל ללא החלקה:

א. הכוח פועל בכיוון אופקי.

ב. הכוח פועל בזווית  $\theta$  ביחס לאופק וידוע שהגליל אינו מתרומם.

ג. מה כיוון החיכוך בכל מקרה?

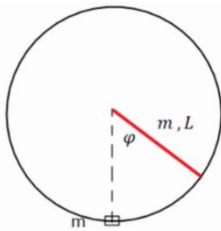


**(8) מחליקה על קרח סוגרת ידיים**

- מחליקה על הקרח מסתובבת במהירות  $w_0$ . המחליקה בעלת מסה זניחה אך היא מחזיקה מסה  $m$  בכל יד. הידיים פרוסות לצדדים ואורך כל יד  $l$ . לפתע המחליקה סוגרת את ידיה לחצי מאורכן המקורי. א. מה תהיה מהירות הסיבוב החדשה? ב. כמה אנרגיה הושקעה בתהליך?

**(9) גלגול עם החלקה**

- אל עבר דסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$  נורה קליע בעל מסה  $m$  במהירות  $v$ . הדסקה מונחת על מישור בעל מקדם חיכוך נתון. מצא כמה זמן תימשך ההחלקה.

**(10) מוט משוחרר בזווית פוגע במסה**

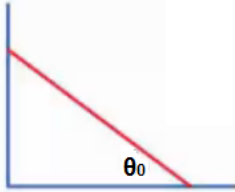
- מוט המחובר לציר משוחרר ממנוחה מזווית נתונה. כשהמוט מגיע לנקודה הנמוכה ביותר הוא פוגע במסה ודוחף אותה במהירות לא ידועה לעבר מסילה מעגלית. נתון כי הקצה התחתון של המוט נע מיד לאחר ההתנגשות במהירות משיקית  $u$ . א. מהי הזווית המקסימלית אליה יגיע המוט לאחר הפגיעה? ב. מהי מהירות המסה מיד לאחר הפגיעה? ג. מהו הכוח אותו מפעילה המסילה על המסה מיד לאחר ההתנגשות?

**(11) צמד לוליינים בטרפז**

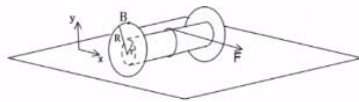
- בקרס ישנו מכשיר הקרוי טרפז. על הטרפז נתלה לוליין המחזיק בידיו לוליין אחר. נתון כי צמד הלוליינים התחילו את תנועתם ממנוחה במצב מאוזן וניתקו ידיהם במצב מאונך. הניחו כי אורך כל לוליין  $l$  ומסתו  $m$ . לאחר הניתוק הלוליין המנותק סוגר את גופו לחצי מאורכו. א. מהי המהירות הזוויתית ברגע הניתוק? ב. מהי המהירות הזוויתית של הלוליין המנותק מיד לאחר הניתוק ולפני שסגר את גופו? ג. מהי המהירות הזוויתית לאחר שסגר את גופו?

**12) מוט מתגלש - מציאת מהירות**

מוט בעל מסה  $m$  ואורך  $l$  מונח על רצפה וקיר חלקים בזווית נתונה  $\theta_0$ . מיד לאחר שהניחו את המוט, המוט מתחיל להחליק עד הפגיעה ברצפה. אין חיכוך בין המוט לקיר או לרצפה. מצאו את מהירות מרכז המסה של המוט בזמן פגיעתו ברצפה.


**13) יויו מתגלגל (חוט מלמעלה)**

יויו מורכב מגליל ברדיוס  $r$  ומסה  $m$ . משתי צידי הגליל מחוברות דסקות ברדיוס  $R > r$  ומסה  $M$  כל אחת. סביב הגליל ובמרכזו מלופף חוט. היויו מונח על משטח לא חלק ומושכים את החוט בכוח  $F$  קבוע בכיוון ציר ה- $x$ .



נתון כי היויו מתחיל את תנועתו ממנוחה וכי הוא מתגלגל ללא החלקה (היויו זז בציר ה- $x$ ).  
 כמו כן כל אות בגוף השאלה נתונה.

א. מהו מומנט ההתמד של היויו?

ב. מהי תאוצת מרכז המסה של היויו?

ג. מהו מיקום היויו כפונקציה של הזמן?

ד. הנקודה B נמצאת על קצה הגלגל ובדיוק מעל מרכזו ב- $t = 0$ .

מצא את מיקום הנקודה כתלות בזמן.


**14) עיפרון נופל\***

עיפרון באורך  $L$  ניצב אנכית על משטח.

ברגע מסוים הוא מתחיל ליפול ימינה.

כאשר הזווית בינו לבין האנך למשטח מגיעה ל- $\theta_1$  העיפרון מתחיל להחליק.

א. עבור זוויות  $\theta$  שבהן עדיין אין החלקה  $\theta < \theta_1$ .

i. מצאו את המהירות הזוויתית של העיפרון  $\omega$ .

ii. מצאו את התאוצה הזוויתית של העיפרון  $\alpha$ .

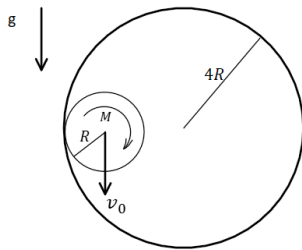
iii. מצאו את התאוצה הקווית של מרכז המסה של העיפרון.

iv. מצאו את גודלו וכיוונו של כוח החיכוך.

v. מצאו את הכוח הנורמלי.

ב. מצאו את מקדם החיכוך הסטטי  $\mu_s$ .

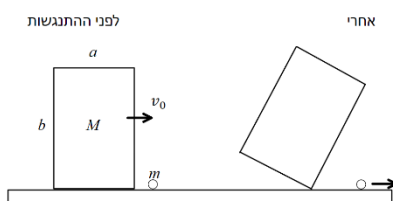


**15) גליל בתוך גליל\***


גליל מלא ברדיוס  $R$  ומסה  $M$  המפולגת אחידה מתגלגל ללא החלקה בתוך גליל גדול ודק שרדיוסו  $4R$ . הגליל הגדול מקובע במקומו.

א. נתון שמהירות מרכז המסה של הגליל הקטן כאשר הוא בגובה מרכז הגליל הגדול ובדרכו מטה היא  $v_0$ . מהו גודלו וכיוונו של כוח החיכוך הפועל על הגליל בנקודה זו? ומהו התנאי על  $v_0$  כך שיתאפשר לגלול ללא החלקה אם מקדם החיכוך  $\mu_s$  נתון?

ב. מהי מהירות מרכז המסה של הגליל הקטן כאשר הוא בתחתית הגליל הגדול?  
 ג. כאשר הגליל הקטן נמצא בתחתית הגדול, פוגע בו קליע נקודתי, גם הוא בעל מסה  $M$  הנע ישר כלפי מטה. הקליע נדבק לשפת הגליל בדיוק מעל מרכזו ונע עמו (זמן ההתנגשות קצר מאוד וניתן להזניח את השפעת החיכוך עם הגליל הגדול בהתנגשות).  
 שים לב שלאחר הפגיעה הגלול כבר לא חייב להיות ללא החלקה. מצא את מהירות מרכז הגליל (לא מרכז המסה) לאחר הפגיעה.

**16) תיבה מתנגשת באבן\***


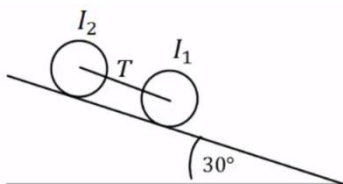
תיבה דו מימדית בגודל  $a \times b$  ומסה  $M$  נעה על משטח אופקי חלק במהירות  $v_0$ .

ברגע מסוים התיבה מתנגשת התנגשות אלסטית באבן עם מסה  $m$  הנמצאת במנוחה על המשטח. כתוצאה מההתנגשות התיבה ממשיכה בתנועה ימינה אך גם מתחילה להסתובב.

ניתן להניח שהפינה הימנית תחתונה של התיבה כל הזמן נוגעת בקרקע.

א. מה התנאי על  $v_0$  כך שהתיבה לא תתהפך?

ב. מה קורה לתנאי של סעיף א' אם  $a \ll b$ ?

**17) שני גלילים מחוברים בחוט על מדרון משופע\***


שני גלילים בעלי מסה  $m = 3\text{kg}$  ורדיוס  $R = 20\text{cm}$  כל אחד, מחוברים בחוט אידיאלי ומתגלגלים יחד ללא החלקה במורד מדרון. זווית המדרון היא  $30^\circ$ . התפלגות המסה של הגלילים אינה אחידה ומומנטי

ההתמד שלהם סביב מרכז המסה נתונים:  $I_1 = 50\text{kg} \cdot \text{cm}^2$ ,  $I_2 = 90\text{kg} \cdot \text{cm}^2$ .

מהי המתיחות בחוט המחבר בין הגלילים?

## תשובות סופיות:

$$t = \sqrt{\frac{4h}{g}} \quad \text{ב.} \quad a = \frac{g}{2} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{\frac{1}{2}M + m_1 + m_2} \quad (2)$$

(3) ראה סרטון.

$$mgh = mv^2, a = \frac{g}{2}, t = \frac{1}{2} \left( \frac{g}{2} \right) t^2 \quad \text{א.} \quad mgh = \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{ב.} \quad \text{ג. נפילה חופשית.} \quad (4)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} I_1 \omega_0^2 - \frac{1}{2} (I_1 + I_2) \omega_1^2 \quad \text{ב.} \quad \omega_1 = \omega_0 \frac{I_1}{I_1 + I_2} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$h = \frac{2}{5} R \quad (6)$$

$$F \frac{1}{3} (1 + \cos \varphi), \frac{1}{3} F \quad \text{ג.} \quad a = \frac{4}{3} \frac{F}{m} \quad \text{ב.} \quad a = \frac{4}{3} \frac{F}{m} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} I_1 \omega_1^2 - \frac{1}{2} I_0 \omega_0^2 \quad \text{ב.} \quad \omega_1 = \omega_0 \cdot 4 \quad \text{א.} \quad (8)$$

(9) ראה סרטון.

(10) ראה סרטון.

$$\sqrt{\frac{8g}{3l}} \quad \text{ג.} \quad \text{ב. אין שינוי.} \quad \sqrt{\frac{g}{6l}} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$\sqrt{\frac{3}{4} g l \sin \theta_0} \quad (12)$$

$$F + \frac{Fr - I \frac{a}{R}}{R} = (m + 2M)(a) \quad \text{ב.}$$

$$I = 2 \frac{1}{2} MR^2 + \frac{1}{2} mr^2 \quad \text{א.} \quad (13)$$

$$B_x = \frac{1}{2} at^2 + R \sin \left( \frac{1}{2} at^2 \right), B_y = R \cos \left( \frac{1}{2} at^2 \right) \quad \text{ד.}$$

$$x_{(t)} = \frac{1}{2} at^2 \quad \text{ג.}$$

$$\vec{a} = -\omega^2 r \hat{r} + \alpha r \hat{\theta} \quad \text{.iii} \quad \alpha = \frac{3g}{2L} \sin \theta \quad \text{.ii}$$

$$\omega = \sqrt{3 \frac{g}{L} (1 - \cos \theta)} \quad \text{.i. א.} \quad (14)$$

$$\sum F_y = m(-a_r \cos \theta - a_\theta \sin \theta) \quad \text{.v}$$

$$\sum F_x = m(-a_r \sin \theta + a_\theta \cos \theta) \quad \text{.iv}$$

$$f_{s \max}(\theta_1) = \mu_s N(\theta_1) \quad \text{ב.}$$

$$v_0 = \frac{1}{2} v_1 \quad \text{.ג.} \quad v_1 = \sqrt{v_0^2 + 4gR} \quad \text{ב.}$$

$$f_s = \frac{mg}{3}, v_0 \geq \sqrt{\frac{Rg}{\mu_s}} \quad \text{א.} \quad (15)$$

$$v_0 = \frac{\left[ \left( \left( \frac{a}{2} \right)^2 + \frac{I}{M} \right) \left( 1 + \frac{m}{M} \right) + \left( \frac{b}{2} \right)^2 \right] \sqrt{g(2R-b)}}{b \sqrt{\left( \left( \frac{a}{2} \right)^2 + \frac{I}{M} \right)}} \quad \text{א. (16)}$$

כאשר:  $R = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2}$   $I = \frac{M}{12} (a^2 + b^2)$

ב.  $v_0 = 0$

$T \approx 0.22\text{N}$  (17)