

# פיזיקה 1 מכניקה

פרק 10 - עבודה ואנרגיה - חלק שני

תוכן העניינים

1. חישוב עבודה לכוח לא קבוע ..... 1
2. נקודת שיווי משקל ..... 3
3. ניתוח באמצעות גרפים של אנרגיות ..... 5
4. הספק ונצילות ..... 7
5. תרגילים מסכמים ..... 10
6. תרגילים מסכמים כולל תנועה מעגלית ..... 14

## חישוב עבודה לכוח לא קבוע

רקע

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int (F_x dx + F_y dy + F_z dz)$$

צריך גם משוואה של המסלול

שאלות

### 1) חישוב עבודה במסלולים שונים

חשב את העבודה שמבצע הכוח:  $\vec{F} = xx + yxy$  בין הנקודה  $A(0,0)$  לנקודה  $B(2,4)$ :

א. דרך המסלול של הקו הישר המחבר בין הנקודות.

ב. דרך מסלול המקביל לציר ה- $x$  עד לנקודה  $C(2,0)$  ולאחר מכן דרך

המסלול המקביל לציר ה- $y$  עד לנקודה  $B$ .

ג. דרך המסלול  $y = x^2$ .

ד. דרך המסלול  $x(t) = 2t$ ,  $y(t) = 4t^2$ .

### 2) כוח בשלושה מימדים

נתון הכוח:  $\vec{F} = zx^2\hat{x} + xz\hat{y} + 2y\hat{z}$ .

א. חשב את העבודה של הכוח דרך המסלול היוצא מהנקודה  $A(1,2,3)$

עד לנקודה  $B(2,3,5)$  כאשר המסלול יוצא מ- $A$  במקביל לציר ה- $Y$

עד לנקודה  $C(1,3,3)$  ולאחר מכן מ- $C$  במקביל לציר ה- $Z$  ועד לנקודה

$D(1,3,5)$  ולאחר מכן מהנקודה  $D$  במקביל לציר ה- $X$  עד לנקודה  $B$ .

ב. חשב את העבודה של הכוח מהנקודה  $A(0,0,-1)$  עד הנקודה  $B(4,4,5)$

לאורך המסלול הנתון לפי המשוואות:  $x(t) = 2t$ ;  $y(t) = t^2$ ;  $z(t) = 3t - 1$ .

**תשובות סופיות**

$$W_{A \rightarrow B} = 2 + \frac{64}{5} \text{ ג.}$$

$$W_{A \rightarrow B} = 18 \text{ ב.} \quad W_{A \rightarrow B} = \frac{4}{2} + \frac{4 \cdot 8}{3} \text{ א. (1)}$$

$$W_{A \rightarrow B} = 2 + \frac{64}{5} \text{ ד.}$$

$$128\text{J} \text{ ב.} \quad 26.67\text{J} \text{ א. (2)}$$

## נקודת שיווי משקל:

### רקע

נקודת שיווי משקל  $\Sigma \vec{F} = 0$  או  $\frac{\partial U}{\partial x} = 0$

שיווי משקל יציב -  $U_x'' > 0$

שיווי משקל רופף -  $U_x'' < 0$

שיווי משקל אדיש - אנרגיה קבועה

אם יש כמה ממדים אז  $\vec{\nabla} U = 0$

שיווי משקל יציב - כל הנגזרות השניות גדולות מאפס

שיווי משקל רופף - כל הנגזרות השניות קטנות מאפס

אוכף - חלק מהנגזרות השניות גדול מאפס וחלק קטן מאפס

### שאלות:

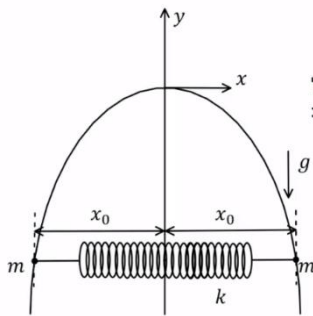
#### 1) שעות תלוי



- שעות קיר תלוי באמצעות מסמר הנמצא בקצהו העליון. ניתן לסובב את כל השעות (לא את המחוגים) סביב המסמר. א. מצאו באילו מצבים השעות יהיה בשיווי משקל וקבעו עבור כל מצב איזה סוג שיווי משקל הוא. ב. חזרו על סעיף א' אם המסמר תקוע במרכז השעות (השעות עדיין יכול להסתובב סביב המסמר).

#### 2) אנרגיה פוטנציאלית בשיווי משקל

- האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף נתונה לפי הפונקציה הבאה:  $U = (x-4)^2 + x^3$ . מצאו את נקודת שיווי המשקל ומיינו אותה לסוגים הרלוונטיים.



- (3) קפיץ וחרוזים על תיל קשיח מכופף**  
 תיל קשיח מכופף בצורת פרבולה המתאימה לפונקציה:  $y = -Ax^2$  כאשר  $A$  קבוע נתון. על התיל מושחלים שני חרוזים זהים בעלי מסה  $m$ , אחד בכל צד. קפיץ אופקי בעל קבוע  $k$  ואורך רפוי  $l$  מחבר בין החרוזים (ראה איור). חשבו את המרחק האופקי  $x_0$  של כל חרוז מציר ה- $y$  במצב של שיווי משקל. הניחו כי הקפיץ והחרוזים נמצאים תמיד באותו הגובה. הדרכה: כתבו ביטוי לאנרגיה הפוטנציאלית כפונקציה של  $x$  בלבד.

### תשובות סופיות:

- (1) א. כשהשעון למטה שיווי משקל יציב וכשהשעון הפוך ב- $180^\circ$  שיווי משקל רופף. ב. השעון בשיווי משקל אדיש.
- (2)  $U''(x_1) = 6 \cdot \frac{4}{3} + 2 > 0$ , נקי מינימום  $\Leftarrow$  ש.מ. יציב.
- $U''(x_2) = -2 \cdot 6 + 2 < 0$ , נקי מקסימום  $\Leftarrow$  ש.מ. רופף.
- (3) 
$$x_0 = \frac{kl}{2k - 2mgA}$$

## ניתוח באמצעות גרפים של אנרגיות:

### שאלות:

#### 1) נקודה הכי ימנית

גוף שמסתו 6 ק"ג נע לאורך ציר  $x$  בהשפעת כוח יחיד הנגזר מהאנרגיה הפוטנציאלית:  $U(x) = 2x^4 - 36x^2$ .

נתון שכאשר הגוף מגיע לנקודה בה  $x = -1.5\text{m}$  מהירותו שווה ל-  $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

א. מהי הנקודה הימנית ביותר במסלול של הגוף?

ב. חזור על סעיף א', אם ערך המהירות היה:  $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

#### 2) גמל דו דבשתי

כוח משמר פועל על כדור בעל מסה 625gr. הגרף הבא מתאר את האנרגיה הפוטנציאלית של הכדור כתלות במיקומו:



א. שרטטו באופן איכותי את הגרף של הכוח כתלות במיקום.

ב. תארו באופן מילולי את תנועת הכדור אם הוא משוחרר מ-  $x = 7\text{m}$  ממנוחה.

ג. מהי המהירות המינימלית שצריך לתת לכדור במצב של סעיף ב' על מנת שהכדור יגיע לאינסוף?

ד. מהן נקודות שיווי המשקל?

מיינו אותן לפי יציבותן וציינו מה המשמעות של כל סוג של שיווי משקל.

#### 3) שני גופים בפוטנציאל אקספוננציאלי ריבועי

שני גופים נמצאים על ציר ה- $x$  ונתונים להשפעת הפוטנציאל:  $U(x) = Axe^{-Bx^2}$  כאשר  $A, B$  הם קבועים חיוביים. נתון כי ברגע מסוים גוף אחד נמצא ב- $x=0$  והאנרגיה שלו היא אפס, והגוף השני נמצא ב- $x = -\sqrt{\frac{1}{B}}$  והאנרגיה שלו היא:  $E = -\frac{A}{e} \sqrt{\frac{1}{B}}$  (בחר את התשובה הנכונה):

א. בתחום  $-\sqrt{\frac{1}{B}} \leq x \leq 0$ .

ב. הגופים לא ייפגשו אף פעם.

ג. בנקודה  $x = -\sqrt{\frac{1}{B}}$ .

ד. ב- $x=0$ .

**תשובות סופיות:**

(1) א.  $x = -1.202\text{m}$       ב.  $x = 6.81\text{m}$

(2) א.



ב. מתחיל בתאוצה בכיוון החיובי עד  $x = 9\text{m}$  ואז מתחיל להאט עד  $x = 11\text{m}$ .  
 שם עוצר רגעית ומסתובב חזרה. כך חוזר עד אינסוף.

ג. 2 מטר לשנייה.

ד.  $x = 6\text{m}$  לא יציבה,  $x = 9\text{m}$  יציבה,  $x = 12\text{m}$  לא יציבה.

(3) א'.

## הספק ונצילות

### רקע

$$P_{avg} = \frac{W}{\Delta t} \quad \text{הספק ממוצע:}$$

$W$  - העבודה

$$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad \text{הספק רגעי:}$$

$F$  - הכוח ו- $v$  היא מהירות הגוף

$$\eta = \frac{W_{out}}{E_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad \text{נצילות:}$$

כאשר out מציין את החלק המנוצל על ידי המערכת ו in מציין את שכל מה שמושקע.

### שאלות

#### (1) כמה עולה להפעיל מזגן

כמה עולה להפעיל מזגן שההספק שלו 1 כוח סוס למשך שעה אחת?  
יש לבדוק את תעריף חברת החשמל.

**פירוט החיובים / הזיכויים**

**מספר חשבון חוזה:** ██████████

גבאי מני

חשבון לתקופה מ- 13/01/2020 עד 15/03/2020

עמוד 272

**חיוב בגין צריכה מחח"י (לא כולל מע"מ)**

קריאות מונה מספר ██████████ יגרום הכפלה: 1

תעריף	סוג קריאה נכחית	תאריכי קריאה נכחית		ימים לחיוב	קריאה נכחית	קריאה קודמת	צריכה בקוט"ש	מחיר לקוט"ש באגרות	סה"כ בש"ח
		חודש/יום	חודש/יום						
ביתי	רגילה	15/03	12/01	63	47387	46267	1120	44.84	502.21
							1120		502.21
							1120		502.21

סה"כ בגין צריכה

#### (2) מכונית מאיצה מ-0 ל-100

מכונית מתחילה לנסוע ממנוחה ומגיעה למהירות של 100 קמ"ש ב-10 שניות.  
מסת המכונית היא 1 טון. הניחו כי אין חיכוך עם האוויר.

א. מהי העבודה שהתבצעה על המכונית?

ב. מהו ההספק של המנוע בהנחה שהוא קבוע ומנוצל במלואו (הנחה לא נכונה)?

#### (3) אופנוע נוסע במהירות קבועה כנגד התנגדות אוויר

אופנוע נוסע במהירות קבועה של 100 קמ"ש.

כנגדו פועל כוח ההתנגדות מהאוויר של 300 ניוטון.

מהו ההספק של המנוע, אם נניח שההספק מנוצל במלואו?

4) נצילות של 40 אחוז בדוגמה של המכוננית המאיצה  
 בדוגמה "מכוננית מאיצה מ-0 ל-100" מה ההספק של המנוע אם הנצילות שלו היא 40%?

5) הספק ממוצע לשנות מהירות  
 איזה כוח קבוע יש להפעיל על מכוננית בעלת מסה של 2 טון,  
 כדי לשנות את מהירותה מ- $9 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$  ל- $27 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$  בתוך 4 sec?  
 מהו ההספק הממוצע של כוח זה?

6) רכבת צעצוע חשמלית  
 רכבת צעצוע חשמלית מורכבת מ-10 קרונות.  
 הקרון הראשון והשני מכילים מנוע חשמלי ושוקלים 2 ק"ג כל אחד.  
 שאר הקרונות עמוסים בצעצועים ושוקלים 3 ק"ג כל אחד.  
 כל אחד מן המנועים מייצר הספק קבוע של 0.2KW.  
 א. כמה זמן ייקח לרכבת להגיע למהירות של 10 מטר לשנייה אם התחילה לנוע ממנוחה?  
 ב. מהי האנרגיה הקינטית של הקרון הראשון ומהי האנרגיה הקינטית של הקרון השני, כאשר הרכבת נעה במהירות שחישבת בסעיף א'?  
 ג. חשב את העבודה שביצע הכוח שפעל בחיבור בין הקרון הראשון לשני על הקרון השני בזמן ההאצה.  
 ד. חשב את העבודה שביצע הכוח שפעל בחיבור בין הקרון השני לשלישי על הקרון השלישי בזמן ההאצה.  
 ה. הרכבת מגיעה לעלייה עם שיפוע של 2 מעלות, מה צריך להיות הספק המנועים (בהנחה שהם שווים) על מנת שהרכבת תישאר במהירות קבועה של 10 מטר לשנייה?



7) הספק כאשר נתון מיקום כתלות בזמן  
 כוח יחיד פועל על גוף שמסתו 4kg, הכוח פועל בכיוון התנועה והמיקום כתלות בזמן של הגוף הוא:  $x(t) = 2 + 3t + t^2$  ביחידות m.k.s.  
 א. מהי העבודה שמבצע הכוח במשך 3 השניות הראשונות של התנועה?  
 ב. מהו ההספק של הכוח ב- $t = 2 \text{ sec}$ ?

### תשובות סופיות

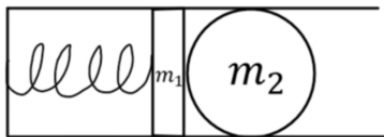
- (1) 45 אגורות.
- (2) א.  $\Delta E_k \approx 385,800\text{J} = W_{\Sigma \vec{F}}$  ב.  $p = 51.7\text{HP}$
- (3)  $p = 11.18\text{HP}$
- (4) 135 כ"ס.
- (5)  $F = 2500\text{N}$ ,  $\bar{p} = 16.76\text{HP}$
- (6) א.  $\Delta t = 3.5\text{sec}$  ב.  $E_{k_1=100\text{J}} = E_{k_2}$  ג.  $W_{1 \rightarrow 2} = 600\text{J}$
- ד.  $W_{3 \rightarrow 2} = 1200\text{J}$  ה.  $p = 97.7\text{W}$
- (7) א.  $W = 144\text{J}$  ב.  $p(t=2) = 56\text{W}$

## תרגילים מסכמים:

### שאלות:

#### 1) קפיץ יורה כדור

הלוע של רובה צעצוע מורכב מקפיץ בעל קבוע  $k$  ובוכנה בעלת מסה  $m_1$ . בטעינה דוחפים כדור בעל מסה  $m_2$  ודורכים את הקפיץ.



הכיוון של הקפיץ הוא  $d$ .

ברגע הירי הקפיץ משוחרר ממנוחה.

א. באיזה רגע הכדור מנתק מגע מהבוכנה?

ב. מהי מהירות הכדור ברגע הזה?

#### 2) כוח כפונקציה של מיקום, קפיץ וחיכוך\*

מסה  $m$  נמצאת על משור אופקי לא חלק ומחוברת לקפיץ בעל קבוע  $k$ .

החל מ- $t = 0$  פועל על המסה כוח התלוי במיקום:  $\vec{F}(x) = (30x^2 - 4x)\hat{x}$ .

כל היחידות בשאלה הן יחידות סטנדרטיות.

ב- $t = 0$  המסה נמצאת בראשית עם מהירות התחלתית  $v_0$  והקפיץ רפוי.

נתונים:  $m = 2\text{kg}$ ,  $k = 10\frac{\text{N}}{\text{m}}$ ,  $\mu_k = 0.3$ ,  $v_0 = 5\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

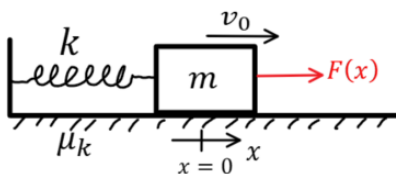
א. רשמו ביטוי לתאוצת המסה כתלות במיקום  $a(x)$ , הנח כי התנועה תמיד

בכיוון החיובי.

ב. מצאו את המיקום בו התאוצה של המסה מתאפסת.

ג. מהי העבודה שביצע הכוח מתחילת התנועה ועד אשר  $x = 0.5\text{m}$ ?

ד. מהי המהירות של המסה כאשר מיקומה  $x = 0.5\text{m}$ ?



**(3) כוח כפונקציה של זמן במישור משופע\***

מסה  $m = 5\text{kg}$  נמצאת על מישור משופע לא חלק.

על המסה פועל כוח התלוי בזמן  $F(t)$  שדוחף אותה במעלה המישור.

מהירות המסה ידועה והיא נתונה לפי הפונקציה:  $v(t) = 3t^2 + 2t$ .

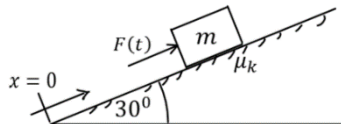
מקדם החיכוך הוא:  $\mu_k = 0.2$  ונתון כי:  $x(t=0) = 0$ .

כל היחידות הן יחידות סטנדרטיות.

זווית המישור היא  $30^\circ$  מעלות.

א. (1) היכן נמצא הגוף ב-  $t = 2\text{sec}$ ?

(2) מהו גודל הכוח  $F$  ברגע זה?



ב. מהו מיקום הגוף כאשר תאוצתו היא:  $8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ ?

ג. מהי האנרגיה הקינטית של הגוף ברגע של סעיף ב'?

ד. מהי עבודת הכוח  $F$  מרגע  $t = 0\text{sec}$  ועד ל-  $t = 3\text{sec}$ ?

**(4) קופסה מחליקה על מקטעים ישרים\***

קופסה משוחררת ממנוחה ומתחילה להחליק לאורך מסלול שאינו ידוע,

אך מורכב מקטעים ישרים בלבד.

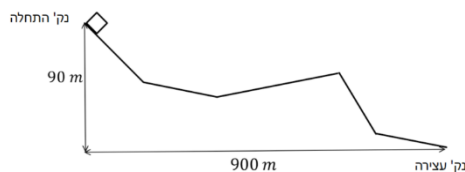
בין הקופסה למשטח עליו היא מחליקה קיים

חיכוך והקופסה נעצרת בנקודה

המרוחקת  $900\text{m}$  אופקית ו-  $90\text{m}$  מתחת

לנקודה בה התחילה.

חשבו את מקדם החיכוך, לא חסרים נתונים.

**(5) שרשרת על גלגלת**

שרשרת בעלת מסה  $M$  ואורך  $L$  מונחת על גלגלת

אידאלית התלויה מהתקרה.

השרשרת מונחת כך שרבע מהשרשרת בצד אחד של

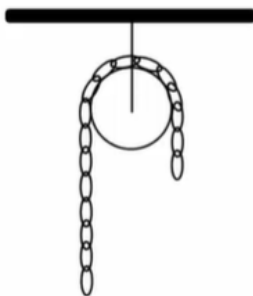
הגלגלת ושאר השרשרת בצד השני.

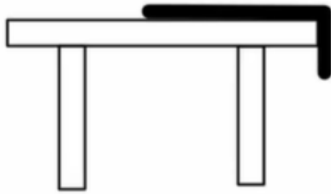
הנח שהחלק על הגלגלת עצמה זניח.

המערכת משוחררת ממנוחה.

מצאו את מהירות השרשרת ברגע שהקצה האחרון

שלה עובר את הגלגלת.





**(6) חבל מחליק משולחן אנרגיה ומשוואת תנועה\***

חבל באורך  $L$  ומסה  $M$  מונח על שולחן חסר חיכוך כך שהקצה של החבל באורך  $d$  נשמט מחוץ לשולחן. החבל מוחזק ומשוחרר ממנוחה.

א. רשמו את האנרגיה הקינטית והאנרגיה הפוטנציאלית במהלך החלקת החבל.

ב. השתמשו בשימור אנרגיה ומצאו את משוואת התנועה של החבל.

ג. השתמשו במשוואת התנועה ומצאו את מהירות החלקת כל החבל מהשולחן למטה.

**(7) חישוב עבודה של כוח במסלול מעגלי ואלפטי**

$$\vec{F} = a(2x + 4y)x + b(4x - 2y)y$$

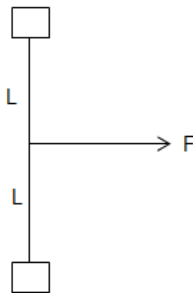
א. מצא תנאי על  $a$  ו- $b$  כך שהכוח יהיה משמר.

ב. מצא את העבודה שעושה הכוח על גוף הנע במסלול סגור לאורך מעגל

המתואר ע"י:  $\vec{r} = R \cos \theta x + R \sin \theta y$  כאשר הגוף מתחיל את תנועתו מהנקודה  $(R, 0)$ .

ג. מצא את העבודה שעושה הכוח על גוף הנע במסלול סגור לאורך אליפסה

המתוארת ע"י:  $\vec{r} = d \cos \theta x + k \sin \theta y$  כאשר הגוף מתחיל את תנועתו מהנקודה  $(d, 0)$ .



**(8) חוט מושך שתי מסות מחוברות בחוט\*\***

חוט חסר מסה באורך  $2L$  מחבר שתי מסות הנעות במישור אופקי ללא חיכוך.

כוח אופקי קבוע ונתון מושך את החוט במרכזו, בכיוון מאונך לחוט.

הנח שהמסות מתנגשות ונדבקות בהתנגשות.

כמה אנרגיה הלכה לאיבוד בהתנגשות?

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. בנקודת הרפיון של הקפיץ.} \quad \text{ב. } V = \sqrt{\frac{kd^2}{m_1 + m_2}}$$

$$(2) \quad \text{א. } a_{(x)} = 15x^2 - 7x - 3 \quad \text{ב. } x = 0.738\text{m} \quad \text{ג. } W = 0.75\text{J}$$

$$\text{ד. } V = 4.64 \frac{m}{s}$$

$$(3) \quad \text{א. (1) } x = 12 \quad \text{(2) } F = 103.7\text{N} \quad \text{ב. } x = 2\text{m} \quad \text{ג. } E_k = 62.5\text{J}$$

$$\text{ד. } W = 3935\text{J}$$

$$0.1 \quad (4)$$

$$(5) \quad V = \sqrt{\frac{3gL}{8}}$$

$$(6) \quad \text{א. } E = \frac{1}{2}MV^2 - \frac{M}{2}g\frac{y^2}{2} \quad \text{ב. } \frac{g}{L}y$$

$$\text{ג. } V(y=L) = \sqrt{\frac{g}{L}(L^2 - d^2)}$$

$$(7) \quad \text{א. } \nabla \times \vec{F} = 0 \Rightarrow a = b \quad \text{ב. } W = R^2(0 - 4a\pi + 4b\pi) \quad \text{ג. } W = k \cdot d(0 - 4a\pi + 4b\pi)$$

$$(8) \quad \Delta E = F \cdot l$$

## תרגילים מסכמים כולל תנועה מעגלית:

### שאלות:

#### (1) תנאי להשלים סיבוב עם החיכוך במישור משופע

גוף בעל מסה  $m$  מחליק על גבי מסילה המתוארת באיור.

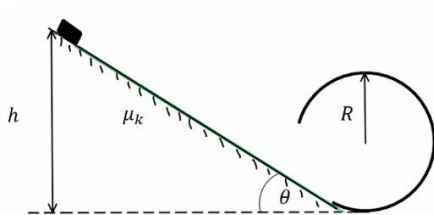
מקדם החיכוך בין הגוף למישור המשופע הוא  $\mu_k$ .

זווית המישור היא  $\theta$ .

החלק המעגלי חסר חיכוך.

מצא את  $h$  הנמוך ביותר עבורו הגוף ישלים

סיבוב בחלק העגול.



#### (2) שני חרוזים על טבעת מתרוממת\*

טבעת בעלת רדיוס  $R$  ומסה  $M$  תלויה מהתקרה

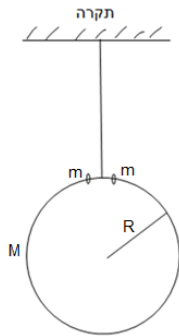
באמצעות חוט. מניחים בקצה העליון של הטבעת שני

חרוזים בעלי מסה  $m$  זהה.

החרוזים מתחילים ליפול ממנוחה לשני צדי הטבעת.

מצא את היחס בין המסות הדרוש על מנת שהטבעת

תתרומם במהלך נפילת הכדורים.



#### (3) מסה מסתובבת על שולחן ונמשכת למרכז\*

מסה  $m$  נעה על שולחן חסר חיכוך בתנועה מעגלית ברדיוס  $R$  ובמהירות  $v_0$ .

חוט קשור אל המסה הולך למרכז השולחן ועובר דרך גלגלת אידיאלית וחוזר בשולחן.

מושכים את החוט כך שהמסה מתקרבת למרכז.

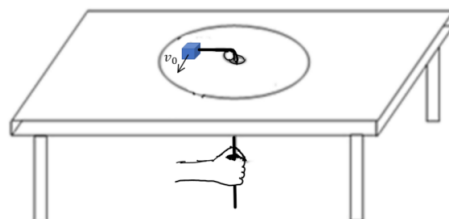
א. מהי המהירות הזוויתית כתלות ב- $r$  (המרחק ממרכז הסיבוב).

השתמשו בשיקולי כוחות בלבד. רמז: אין כוחות בציר  $\hat{\theta}$ .

ב. הוכיחו שהעבודה שהושקעה במשיכת החוט עד לרדיוס  $R_2$  כלשהו הקטן

מ- $R$  זהה לשינוי באנרגיה הקינטית של המסה.

בסעיף זה ניתן להניח שהמהירות הרדיאלית קבועה.



**תשובות סופיות:**

$$h_{\min} = \frac{2.5R}{1 - \frac{\mu_k}{\tan \theta}} \quad (1)$$

$$\frac{m}{M} \geq \frac{3}{2} \quad (2)$$

$$\omega(r) = \frac{v_0 R}{r^2} \quad \text{א.} \quad (3)$$

ב. הוכחה.