

# פיזיקה 1 מכניקה

פרק 11 - 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 ..... 1
4. נוסחאות לגופים נוספים וסיכום ..... 4
5.  $I_z = I_x + I_y$  ..... (ללא ספר)
6. סימטריה ל  $z$  ..... (ללא ספר)
7. חישוב מומנט ההתמד של דיסקה סביב ציר  $Z$  וציר  $X$  ..... 5
8. תרגילים שונים לחישוב מומנט התמד ..... 6

## 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:

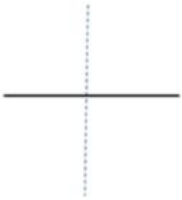
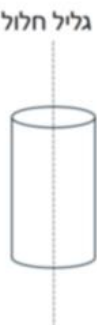
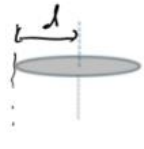
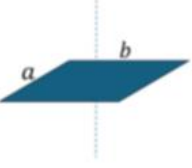
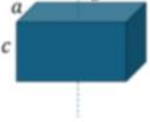
$$I = \sum m_i r_i^2 \quad \text{הגדרה - עבור מערכת של גופים נקודתיים}$$

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.  $I_T = I_1 + I_2$

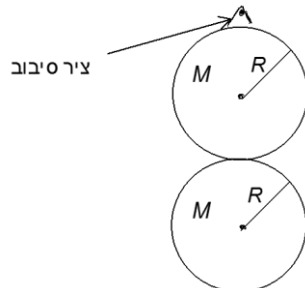
נוסחאות מומנט התמד של גופים נפוצים:

|                                                                                                                                                                        |                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                       | מוט במרכז המסה<br>$I_{c.m.} = \frac{1}{12} mL^2$              | <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<br/>טבעת (חלולה)</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>גוף, נקודתי סביב ציר כלשהו</p> <math display="block">I = mR^2</math> <p>טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי</p> <math display="block">I_{c.m.} = mR^2</math> </div> |
|                                                                                       | מוט בקצה<br>$I = \frac{1}{3} mL^2$                            | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p>דיסקה/ גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z-אנך לדיסקה</p> $I_{c.m.} = \frac{1}{2} mR^2$                                                                                                                                                                    |
|                                                                                      | כדור מלא במרכז מסה<br>$I_{c.m.} = \frac{2}{5} mR^2$           | <div style="text-align: center;">  </div> <p>דיסקה במרכז מסה סביב ציר x-במישור הדיסקה</p> $I_{c.m.} = \frac{1}{4} mR^2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|   | תיבה או לוח במרכז מסה<br>$I_{c.m.} = \frac{m(a^2 + b^2)}{12}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

## שאלות:

## (1) שיעון 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:

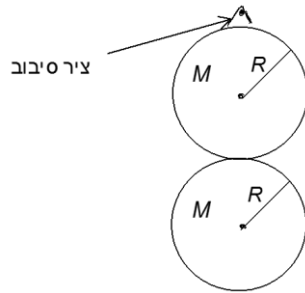
$$I = 11mR^2 \quad (1)$$

## 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:

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

## חישוב מומנט ההתמד באמצעות אינטגרלים:

### רקע

עבור גוף קשיח:  $I = \int r^2 dm$

כאשר  $r$  הוא המרחק של כל גוף מציר הסיבוב (ולא מהראשית)

אם ציר הסיבוב הוא ציר  $z$  אז  $r^2 = x^2 + y^2$

## תרגילים שונים לחישוב מומנט התמד:

### שאלות:



- (1) חישוב אינטגרל של מוט לא אחיד  
חשב את מומנט ההתמד של מוט עם צפיפות ליחידת

$$\text{אורך } \lambda(x) = \lambda_0 \frac{x}{L} \text{ סביב קצה המוט.}$$

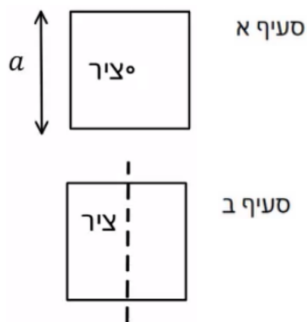
$x$  הוא המרחק מהקצה,  $L$  הוא אורך המוט ו- $\lambda_0$  נתון.

$$m, l, \lambda = Ax^2$$

- (2) חישוב נוסף מוט בצפיפות לא אחידה  
מצא את מומנט ההתמד של מוט סביב מרכזו לפי  
הנתונים שבשרטוט.  
הצפיפות הנתונה מתייחסת למרכז המוט כראשית הצירים.



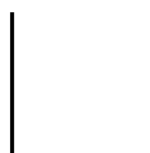
- (3) שלושה מוטות מחוברים בקצה  
שלושה מוטות זהים באורך  $l$  ומסה  $m$  כל אחד מחוברים  
באופן המוצג באיור.  
מצא את מומנט ההתמד של המערכת סביב ציר הנמצא  
בנקודת החיבור בין המוטות ובמאונך למישור.



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



- (5) 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.



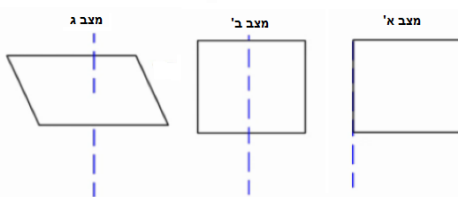
- (6) מומנט התמד של ריש  
מצא את מומנט ההתמד של הגוף שבשרטוט סביב מרכז המסה  
שלו בשתי דרכים שונות. אורך כל מוט  $l$  ומסתו  $m$ .

**(7) דיסקה עם חור**

- א. מצא את מומנט ההתמד של דיסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$ , אם ידוע כי במרחק  $R$  חצי ממרכז 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.

**(8) חצי חישוק ושתי מסות**

- מצא את מומנט ההתמד של חצי החישוק שבתמונה. רדיוסו  $R$ , מסתו  $M$  ובקצותיו חוברו שתי מסות  $m$ . החישוק סובב סביב מסמר בקודקודו.

**(9) חישוב אינטגרל של ריבוע**

- חשב את מומנט ההתמד של לוח ריבוע בעל אורך צלע  $a$ , מסה  $M$  וצפיפות אחידה בכל אחד מהמצבים הבאים:
- א. ציר הסיבוב הוא אחת הפאות של הריבוע.
- ב. ציר הסיבוב מקביל לפאות ועובר במרכז.
- ג. ציר הסיבוב אנך למשטח הריבוע ועובר במרכזו.

**(10) מומנט התמד של משולש**

- מצא את מומנט ההתמד של המשולש סביב קודקודו הישר.

**(11) מומנט התמד של כדור מלא**

- חשב את מומנט ההתמד של כדור מלא בעל רדיוס  $R$ , מסה  $M$  וצפיפות אחידה, סביב ציר העובר במרכז הכדור.

**(12) מומנט התמד של קליפה כדורית**

- מצאו את מומנט ההתמד של קליפה כדורית ברדיוס  $R$  ומסה  $m$  סביב ציר העובר דרך מרכז המסה של הקליפה.

## תשובות סופיות:

$$I_0 = M \frac{L^2}{2} \quad (1)$$

$$I = \frac{12ml^2}{80} \quad (2)$$

$$I_{c.m.} = ml^2 \quad (3)$$

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

$$I = \left( \frac{1}{12} ml^2 + m \left( \frac{m \cdot 0 + \frac{M(1+L)}{2}}{m+M} \right)^2 \right) + \left( \frac{1}{12} (L^2 + L^2) M + M \left( \frac{1}{2} - \left( \frac{m \cdot 0 + \frac{M(1+L)}{2}}{m+M} \right) + \frac{L}{2} \right)^2 \right) \quad (5)$$

$$I = \frac{5}{12} ml^2 \quad (6)$$

$$I_0 = I_{c.m.} + \frac{15}{16} M \cdot \left( \frac{R}{30} \right)^2 \quad \text{ב.} \quad I_0 = \frac{247}{512} MR^2 \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$I_1 = I_{c.m.} + m'b^2 \quad (8)$$

$$I = M \frac{1}{6} a^2 \quad \text{ג.} \quad I = \frac{1}{12} Ma^2 \quad \text{ב.} \quad I = \frac{1}{3} Ma^2 \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$I_0 = \frac{1}{6} m(a^2 + b^2) \quad (10)$$

$$I = \frac{2}{5} MR^2 \quad (11)$$

$$\frac{2MR^2}{3} \quad (12)$$