

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה



## תוכן העניינים

1	1. הקדמה מתמטית לקורס
7	2. מבוא
14	3. קינמטיקה - תנועה בקו ישר
37	4. וקטורים
49	5. נפילה חופשית וזריקה אנכית
57	6. דינמיקה - תנועה בהשפעת כוחות (חוקי ניוטון)
91	7. מומנט כוח
101	8. עבודה ואנרגיה
118	9. מתקף ותנע
132	10. מרכז מסה
135	11. מומנט התמד
141	12. תנע זוויתי
149	13. גוף קשיח
168	14. תנועה הרמונית
(ללא ספר)	15. הידרו-סטטיקה והידרו-דינמיקה
182	16. טמפרטורה התפשטות תרמית וחוק הגז האידיאלי
187	17. חום והחוק הראשון של התרמודינמיקה
206	18. החוק השני של התרמודינמיקה
221	19. גלים
(ללא ספר)	20. מבוא למבנה החומר
241	21. הכוח החשמלי- חוק קולון
245	22. השדה החשמלי
249	23. חוק גאוס ברמה איכותית בלבד

# תוכן העניינים

252	24. מוליכים
255	25. תנועה בשדה חשמלי אחיד
257	26. מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית
273	27. אנרגיה והספק במעגל החשמלי
278	28. זרם מתח ותנגדות
286	29. חיבור נגדים וחוקי קירכהוף
296	30. מכשירי מדידה
297	31. קבלים
314	32. הכוח המגנטי (חוק לורנץ)
321	33. השדה המגנטי
324	34. חוק פארדיי
327	35. מומנט דיפול מגנטי
330	36. אופטיקה

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 1 - הקדמה מתמטית לקורס

תוכן העניינים

- 1.0 פונקציות טריגונומטריות..... 1
- 1.1 משוואת הקו הישר..... 5
2. הפרבולה..... 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:

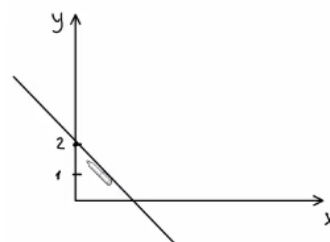
(1) משוואת הישר משתי נקודות

- 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:

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

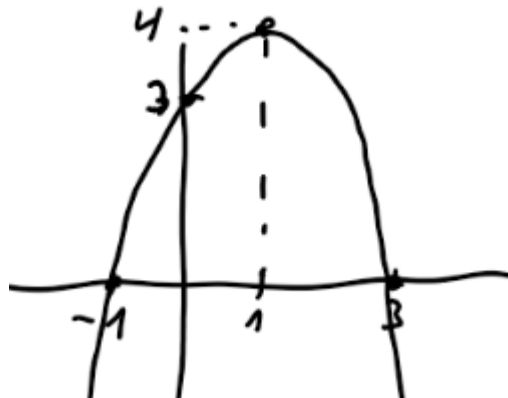
שאלות:

(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.



# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 2 - מבוא

תוכן העניינים

1	צורת כתיבה ורמת דיוק	(ללא ספר)
2	יחידות פיזיקאליות	7
3	מעברים בין יחידות	8
4	צפיפות	10
5	הערכת סדרי גודל	12
6	תרגילים	13

## יחידות פיזיקאליות:

### רקע

חוקי חזקות:

$$(ab)^c = a^c b^c$$

$$a^b a^c = a^{b+c}$$

$$(a^b)^c = a^{bc}$$

$$\frac{1}{a^b} = a^{-b}$$

### שאלות:

#### (1) תרגיל

נתון:  $A = 2m \cdot \text{sec}$ ,  $B = 3m^2$ ,  $C = 1 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$ ,  $D = 2 \frac{\text{kg}}{m}$ .

בדוק האם הפעולות הבאות חוקיות. במידה והן חוקיות, חשב את התוצאה שלהן:

א.  $\frac{A}{B} + CA$

ב.  $\frac{AC}{B} + D$

ג.  $\frac{C}{D}A + B$

### תשובות סופיות:

(1) א. פעולה לא חוקית. ב.  $2.66 \frac{\text{kg}}{m}$ . ג.  $4m^2$

## מעברים בין יחידות:

### נוסחאות:

$$1km=1000m ; 1kg=1000gr \quad \text{קילו (k) זה 1000 :}$$

$$1mg = \frac{1}{1000} gr \quad \text{ומיליגרם , } 1mm = \frac{1}{1000} m \quad \text{מילימטר : לדוגמה : } \frac{1}{1000} m \text{ זה } (m) \text{ זה } \frac{1}{1000}$$

$$1liter=1000cm^3 \quad \text{ליטר :}$$

$$1קוב = 1000m^3 = 1000liter$$

$$1lightyear = 9.4608 \cdot 10^{15}m \quad \text{שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה}$$

### שאלות:

(1) דוגמה 1 - מעברים של יחידות לא בסיסיות

$$\text{נתון : } A = 2km , B = 10gr$$

מצא את  $C = A \cdot B$  ביחידות של m.k.s.

(2) דוגמה 2 - מעברים של יחידות לא בסיסיות

$$\text{נתון : } A = 2m^2 , B = 3gr , C = 5cm \cdot s$$

חשב את הגדלים הבאים ביחידות של m.k.s :

$$D = 2 \cdot A \quad \text{א.}$$

$$E = \frac{5 \cdot B \cdot C}{A} \quad \text{ב.}$$

(3) מעבר יחידות בחזקות

מצא את הגדלים הבאים, ביחידות של ס"מ:

$$A = 1m^2 \quad \text{א.}$$

$$B = 1m^3 \quad \text{ב.}$$

(4) סנטימטר בשלישית

הבע את הערכים הנ"ל ביחידות של  $c.m^3$ .

- א.  $5 \cdot 2m^3$   
 ב.  $320mm^3$   
 ג.  $0.0054km^3$

**(5) ליטר - דוגמה**

הבע את הגדלים הבאים ב-liter.

- א.  $5m^3$   
 ב.  $5mm^3$

**תשובות סופיות:**

- (1)  $20m \cdot kg$   
 (2) א.  $4m^2$   
 ב.  $37.5 \cdot 10^{-5} \frac{sec \cdot kg}{m}$   
 (3) א.  $10^4 cm^2$   
 ב.  $10^6 cm^3$   
 (4) א.  $5.2 \cdot 10^6 cm^3$   
 ב.  $0.32 cm^3$   
 ג.  $5.4 \cdot 10^{12} cm^3$   
 (5) א.  $5 \cdot 10^3 liter$   
 ב.  $5 \cdot 10^{-6} liter$

## צפיפות:

### רקע

$$\rho = \frac{M}{V} : \text{צפיפות נפחית}$$

$$\sigma = \frac{M}{S} : \text{צפיפות משטחית}$$

$$\lambda = \frac{M}{l} : \text{צפיפות אורכית}$$

$V, S, l$  הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

### שאלות:

#### 1) דיסקה עם חור

- א. מצא את הצפיפות של דיסקה בעלת רדיוס  $R$  ומסה  $M$ .
- ב. בדיסקה קדחו חור ברדיוס  $r$ .  
מצא את המסה שהוצאה מהדיסקה.

**תשובות סופיות:**

$$(1) \quad \text{א. } \frac{M}{\pi R^2} \quad \text{ב. } M \left( \frac{r}{R} \right)^2$$

## הערכת סדרי גודל:

שאלות:

(1) נשימות

הערך את מספר הנשימות של אדם בחייו.

תשובות סופיות:

(1)  $N = 10^9$

## תרגילים:

### שאלות:

#### (1) מסע של האור

האור זז במהירות של כ-  $v = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

א. חשב את המרחק שעובר האור בשנתיים.

ב. כמה זמן ייקח לאור לעבור בין שתי גלקסיות שהמרחק ביניהם

הוא:  $2 \cdot 10^{19} \text{ m}$  ?

#### (2) צפיפות אטום המימן

חשב פי כמה גדולה צפיפות הפרוטון מצפיפות אטום המימן המורכב מפרוטון  
 ואלקטרון בלבד. מסת הפרוטון:  $1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ , מסת האלקטרון:  $9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  
 קוטר הפרוטון:  $3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ , קוטר אטום המימן:  $10^{-10} \text{ m}$ .

### תשובות סופיות:

(1) א.  $2 \cdot 10^{16} \text{ m}$  ב.  $t = 2000$

(2)  $3.71 \cdot 10^{13}$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 3 - קינמטיקה - תנועה בקו ישר

תוכן העניינים

14	1. העתק.....
16	2. תנועה במהירות קבועה.....
21	3. מהירות ממוצעת.....
23	4. תאוצה.....
28	5. תרגול.....
34	6. מהירות רגעית ותאוצה רגעית.....
36	7. מהירות רגעית ותאוצה רגעית -אינטגרלים.....

## העתק:

### רקע

תנועה בקו ישר - תנועה על ציר אחד.

כאשר מגדירים ציר, צריך:

1. לבחור מה יהיה הכיוון החיובי של הציר.
2. לבחור איפה תהיה הראשית

העתק - השינוי במיקום הגוף

סימון ההעתק הוא  $\Delta x = x_2 - x_1$

העתק שלילי - תנועה בכיוון הפוך לכיוון החיובי של הציר

דרך - אורך כל המסלול שעשה הגוף, סימון באות S

### שאלות:

#### (1) כדור

חשב את ההעתק של כדור המתחיל תנועתו ב-  $x = 2\text{m}$ , ומסיים את תנועתו ב-  $x = 1\text{m}$ .  
מהו כיוון תנועתו של הכדור?

#### (2) דני ודנה

הבתים של דני ודנה נמצאים ברחוב ישר. דני בחר את ראשית הצירים בסוף הרחוב, ואת הכיוון החיובי ימינה.  
הבית של דני נמצא ב-  $x = -50\text{m}$ , והבית של דנה ב-  $x = -20\text{m}$ , ביחס לראשית.  
מה ההעתק שביצע דני בהלוך ומה ההעתק שביצע בדרך חזרה?  
מה כיוון ההעתק בכל אחד מהמקרים?

#### (3) העתק ודרך

מכונית נוסעת מת"א לחיפה, וחוזרת חזרה לת"א. המרחק בין הערים הוא 100 ק"מ.  
מצא את ההעתק שביצעה המכונית ואת הדרך שעשתה.  
(הנח שהכביש המחבר בין הערים ישר).

**תשובות סופיות:**

(1)  $-3\text{m}$

(2) בדרך הלוך:  $30\text{m}$ , הכיוון חיובי; בדרך חזור:  $-30\text{m}$ , הכיוון שלילי.(3) העתק:  $\Delta x = 0$ , דרך:  $s = 200$ .

## תנועה במהירות קבועה:

### רקע

מהירות קבועה או ממוצעת:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

היחידות של המהירות הם יחידות של אורך חלקי זמן. ב m.k.s היחידות הן  $\frac{m}{sec}$

המיקום כתלות בזמן במהירות קבועה:

$$x(t) = x_0 + v(t - t_0)$$

גרפים:

גרף המיקום במקרה של תנועה במהירות קבועה יהיה קו ישר. שיפוע הגרף הוא המהירות.

גרף המהירות במקרה של מהירות קבועה הוא קו ישר אופקי.

השטח מתת לגרף המהירות הוא ההעתק, עובדה זו נכונה גם עבור מהירות לא קבועה.

השטח החיובי מתחת לגרף המהירות הוא הדרך

### שאלות:

#### (1) יוסי מאחר לשיעור

יוסי מאחר לשיעור, ביתו נמצא בקו ישר ממול שער הכניסה לאוניברסיטה. המרחק בין ביתו לשער הוא 100 מטרים. מצא את מהירות ריצתו של יוסי, אם הוא הגיע תוך 20 שניות מביתו לשער האוניברסיטה.

#### (2) מיקומו של גוף

מיקומו של גוף ב-  $t = 2sec$  הוא  $x = 3m$ . לאחר 4 שניות מיקומו הוא:  $x = -2m$ . מצא את מהירותו, אם ידוע שהיא קבועה.

#### (3) תנועה ביחס ל-A

גוף נע בקו ישר במהירות קבועה של:  $v = 5 \frac{m}{sec}$ . ברגע  $t = 0$  הגוף חולף בנקודה A.

- א. מהו מיקומו של הגוף ברגעים:  $t = 2\text{sec}$  ו-  $t = 8\text{sec}$  ביחס לנקודה A?  
 ב. כעבור כמה זמן חלף הגוף במרחק 200 מטר מהנקודה A?

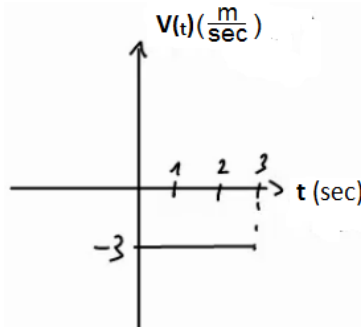
**(4) גוף חולף דרך שתי נקודות**

- גוף נע במהירות קבועה לאורך קו ישר, ברגע  $t = 2\text{sec}$  מיקומו הוא  $x = 2\text{m}$ ,  
 וברגע  $t = 6\text{sec}$  הוא חולף בנקודה ששיעורה  $x = 10\text{m}$ .
- א. מהי מהירות הגוף?  
 ב. היכן יהיה הגוף ברגע  $t = 0$ ?  
 ג. מצא את הנוסחה עבור מיקום הגוף כפונקציה של הזמן.  
 ד. מתי יהיה הגוף בראשית הצירים?  
 ה. כמה העתק ביצע הגוף מהרגע שבו  $t = 0$  עד לרגע שבו  $t = 10\text{sec}$ ?

**(5) גוף נע שמאלה**

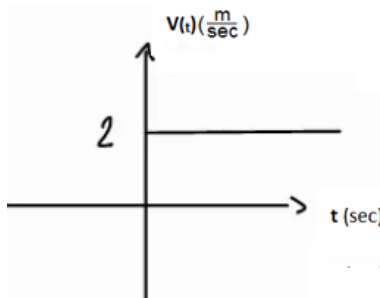
- גוף נע בקו ישר במהירות קבועה שגודלה  $6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ . ברגע  $t = 0$  מיקום הגוף הוא:  $x = 50\text{m}$ .  
 בחר את כיוון ציר ה- $x$  ימינה והנח שהגוף נע שמאלה.
- א. מהו מיקום הגוף כתלות בזמן?  
 ב. היכן נמצא הגוף ב-  $t = 2\text{sec}$  וב-  $t = 3\text{sec}$ ?  
 ג. מתי יהיה הגוף במרחק  $x = 20\text{m}$  מהראשית ומתי יהיה במרחק של  $x = -10\text{m}$ ?

**(6) מהירות שלילית**



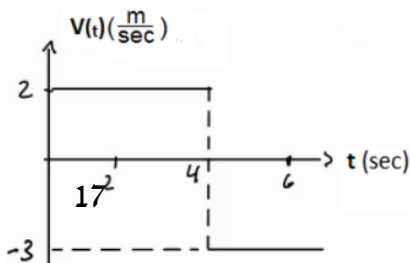
- נתון הגרף הבא של מהירות של גוף כתלות בזמן.  
 א. מצא את ההעתק של הגוף בין הזמנים  $t = 1\text{sec}$  ל-  $t = 3\text{sec}$ .  
 ב. מצא נוסחה למיקום, כתלות בזמן של הגוף, אם ידוע שב-  $t = 0$  מיקומו היה  $x = 2\text{m}$ .  
 ג. שרטט גרף מקום כתלות בזמן של הגוף.

**(7) מיקום שלילי**



- נתון הגרף הבא של מהירות של גוף כתלות בזמן.  
 א. מצא נוסחה למיקום כתלות בזמן של הגוף, אם ידוע שב-  $t = 2\text{sec}$  מיקומו היה  $x = -4\text{m}$ .  
 ב. שרטט גרף מקום כתלות בזמן של הגוף.

**(8) מהירות מתחלפת**



- נתון הגרף הבא של מהירות של גוף כתלות בזמן.  
 א. מצא את ההעתק של הגוף בין הזמנים  $t = 1\text{sec}$  ל-  $t = 6\text{sec}$ .

- ב. מצא נוסחה למיקום כתלות בזמן של הגוף  
 אם ידוע שב- $t = 0$  מיקומו היה  $x = 2\text{m}$ .  
 ג. שרטט גרף מקום כתלות בזמן של הגוף.

### 9) שתי מכוניות זו לקראת זו

שתי מכוניות נעות זו לקראת זו לאורך כביש דו נתיבי ישר.

- מכונית א' יוצאת מנקודה המרוחקת 140 מטר מימין לראשית, ונעה במהירות  $8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  
 ומכונית ב' יוצאת מנקודה המרוחקת 40 מטר משמאל לראשית ונעה במהירות  $10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .  
 א. מתי חולפות המכוניות זו על יד זו? ומהן מיקומן ביחס לראשית ברגע זה?  
 ב. מתי המרחק בין המכוניות יהיה 40 מטר?

### 10) מכונית נוסעת מת"א לירושלים

- מכונית נוסעת מתל אביב לירושלים במהירות של 90 קמ"ש, חונה בירושלים  
 למשך שעה אחת, וחוזרת לתל אביב במהירות של 45 קמ"ש.  
 המרחק בין הערים תל אביב וירושלים הוא 45 ק"מ.  
 לשם הפשטות, נניח כי התנועה מתנהלת לאורך קו ישר.  
 א. שרטט גרף מקום-זמן של תנועת המכונית.  
 איזה גודל פיסיקלי מייצגים שיפועי הישרים?  
 ב. רשום נוסחת מקום-זמן של תנועת המכונית.  
 ג. שרטט גרף מהירות-זמן.

### 11) אופנוע ומכונית מת"א לאילת

- אופנוע יוצא לדרכו מת"א לאילת במהירות קבועה שגודלה 80 ק"מ לשעה.  
 חצי שעה לאחר צאת האופנוע יוצאת מכונית מאילת לת"א במהירות קבועה  
 של 120 ק"מ לשעה.  
 המרחק בין שתי הערים הוא 340 ק"מ, ונניח שהכביש המחבר ביניהם הוא ישר.  
 א. הגדר ציר מיקום עבור תנועת האופנוע והמכונית.  
 ב. כתוב נוסחת מיקום-זמן עבור תנועת האופנוע.  
 ג. כתוב נוסחת מיקום-זמן עבור תנועת המכונית.  
 ד. כמה זמן לאחר צאת האופנוע לדרכו הוא יחלוף על פני המכונית?  
 מה מיקומם של האופנוע והמכונית ברגע זה?

**תשובות סופיות:**

(1)  $5 \frac{m}{sec}$

(2)  $-\frac{5}{4} \frac{m}{sec}$

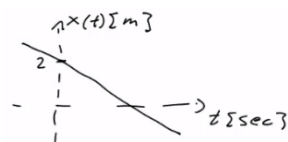
(3) א.  $x(t=8) = 40m$ , ב.  $x(t=2) = 10m$ , ג.  $t = 40sec$

(4) א.  $2 \frac{m}{sec}$ , ב.  $x_3 = -2m$ , ג.  $x(t) = 2 + 2(t-2)$ , ד.  $t = 1sec$ , ה.  $\Delta x = 20m$

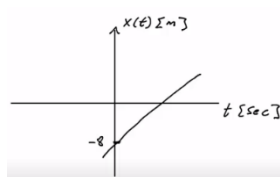
(5) א.  $x(t) = 50 - 6t$ , ב.  $x(t=2) = 38m$ , ג.  $x(t=3) = 32m$

ג.  $t(x=20) = 5sec$ , ד.  $t(x=-10) = 10sec$

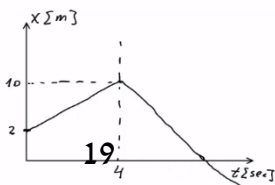
(6) א.  $S = -6m$ , ב.  $x(t) = 2 - 3t$ , ג.



(7) א.  $x(t) = -8 + 2t$ , ב.



(8) א.  $\Delta x = 0$ , ב.  $x(t) = \begin{cases} 2 + 2t & 0 \leq t \leq 4 \\ 22 - 3t & t \geq 4 \end{cases}$ , ג.

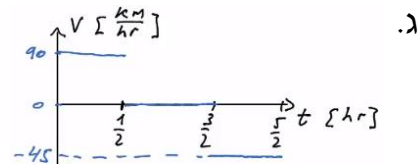


9) א. חולפות ב-  $t = 10 \text{ sec}$ , ומיקומן הוא  $x_{a,b}(t = 10) = 60 \text{ m}$ .

ב.  $t_1 \approx 7.78 \text{ sec}$  או  $t_2 \approx 12.22$ .

$$x(t) = \begin{cases} 90t & 0 \leq t \leq \frac{1}{2} \\ 45 & \frac{1}{2} \leq t \leq \frac{3}{2} \\ 45 - 45\left(t - \frac{3}{2}\right) & \frac{3}{2} \leq t \leq \frac{5}{2} \end{cases} \text{ ב.}$$

10) א. השיפועים מייצגים מהירות.



11) א. נגדיר את ראשית הצירים בת"א  $x = 0$ , ואת הכיוון החיובי לאילת.

ד.  $x = 160 \text{ km}$ ;  $t = 2 \text{ hr}$

ב.  $x(t) = 80t$  ג.  $x(t) = 340 + (-120)\left(t - \frac{1}{2}\right)$

## מהירות ממוצעת:

### שאלות:

#### (1) דני נוסע מחיפה לטבריה

דני נסע ברכבו מחיפה לטבריה. הוא התחיל בנסיעה במהירות של 80 קמ"ש, נסע במשך חצי שעה, ואז עצר לאכול צוהריים למשך שעה. לאחר מכן, המשיך בנסיעה במהירות של 100 קמ"ש במשך שעה, עד אשר הגיע לטבריה. מהי מהירות הנסיעה הממוצעת של דני?



#### (2) מהירות ממוצעת מתוך גרף

מהירותו של גוף נתונה בגרף הבא. מהי המהירות הממוצעת בה נע הגוף?

#### (3) מת"א לב"ש דרך חיפה

אורי נסע מת"א לבאר שבע דרך חיפה. הנח שחיפה נמצאת 60 ק"מ צפונה מת"א ובאר שבע נמצאת 100 ק"מ דרומה מת"א. הנח שכל הערים נמצאות על אותו קו ישר. בדרכו לחיפה נסע אורי במהירות של 90 ק"מ לשעה. בדרכו לבאר שבע נסע אורי במהירות של 120 ק"מ לשעה.

א. מצא את המהירות הממוצעת של אורי (velocity).

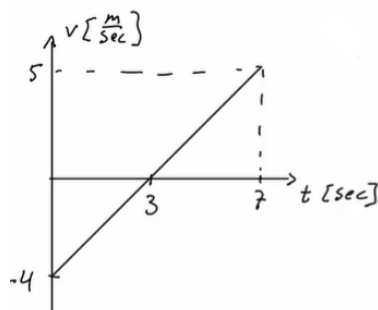
ומצא את ממוצע גודל המהירות של אורי (speed).

ב. שילה יצאה מת"א לבאר שבע חצי שעה לאחר אורי, שילה נסעה בדרך הקצרה ביותר.

באיזו מהירות ממוצעת (velocity) צריכה שילה לנסוע על מנת שתגיע

לבאר שבע באותו זמן שבו יגיע אורי?

מה ממוצע גודל המהירות של שילה (speed)?



#### (4) מהירות ממוצעת בגרף לינארי

מהירותו של גוף נתונה בגרף הבא:

א. מצא את המהירות הממוצעת של הגוף

(average velocity) ואת ממוצע גודל

המהירות (average speed) עבור כל התנועה.

ב. מצא את המהירות הממוצעת של הגוף

(average velocity) בקטע שבין  $t = 3 \text{ sec}$  ל-  $t = 7 \text{ sec}$ .

**תשובות סופיות:**

$$\bar{v} = 56 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad (1)$$

$$\bar{v} = 1.33 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (2)$$

$$\bar{v} = -66.67 \frac{\text{km}}{\text{hr}}, |\bar{v}| = 66.67 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{ב.} \quad \bar{v} = -50 \frac{\text{km}}{\text{hr}}, |\bar{v}| = 110 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$2.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad \bar{v} = \frac{4}{7} \frac{\text{m}}{\text{sec}}, |\bar{v}| = \frac{16}{7} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (4)$$

## תאוצה:

### שאלות:

- (1) מטוס מאיץ בתאוצה קבועה**  
 מטוס מתחיל להאיץ ממנוחה בתאוצה קבועה.  
 לאחר 10 שניות הגיע המטוס למהירות 150 מטר לשנייה.  
 מהי תאוצת המטוס?
- (2) משאית מאיצה**  
 משאית נוסעת במהירות של 70 קמ"ש ומאיצה תוך 10 שניות למהירות של 90 קמ"ש.  
 מהי תאוצת המשאית?
- (3) אופנוע מאיץ ממנוחה**  
 אופנוע מתחיל את נסיעתו ממנוחה, בתאוצה של 2 מטר לשנייה בריבוע.  
 א. מצא את נוסחת מהירות-זמן עבור האופנוע.  
 ב. מה תהיה מהירותו לאחר 7 שניות?  
 ג. מתי תהיה מהירותו 20 מטר לשנייה?
- (4) אופנוע מאיץ אחרי מכונית**  
 מכונית נוסעת במהירות קבועה של 20 מטר לשנייה.  
 ברגע מסוים מתחילה המכונית להאיץ בתאוצה קבועה של 2 מטר לשנייה בריבוע.  
 אופנוע מתחיל את תנועתו שנייה לאחר המכונית ומאיץ בתאוצה של 3 מטר לשנייה בריבוע, ממנוחה.  
 מתי תהיה מהירות האופנוע שווה למהירות המכונית?
- (5) תאוטה**  
 לפניך מספר מקרים בהם רכב משנה את מהירותו. מצא בכל מקרה את תאוצת הרכב וציין האם הרכב האיץ או שהרכב נמצא בתאוטה:

  - א. רכב משנה את מהירותו ממהירות של 20 מטר לשנייה, למהירות של 10 מטר לשנייה, תוך 5 שניות.
  - ב. רכב משנה את מהירותו ממהירות של 20 מטר לשנייה למהירות של 10 מטר לשנייה, תוך 4 שניות.
  - ג. רכב משנה את מהירותו מ-5 מטר לשנייה ל-15 מטר לשנייה תוך 2 שניות.
  - ד. רכב משנה את מהירותו מ-5 מטר לשנייה ל-15 מטר לשנייה תוך 5 שניות.
  - ה. רכב משנה את מהירותו מ-10 מטר לשנייה ל-5 מטר לשנייה, תוך 4 שניות.

**6) גרף מהירות**

בגרף הבא מתוארת מהירותו של גוף, כתלות בזמן. מצא את התאוצה בכל אחד מחלקי התנועה ושרטט גרף עבור התאוצה כתלות בזמן. ציין עבור כל חלק האם הגוף מאיץ או נמצא בתאוצה.

**7) גרף מהירות שלילית**

בגרף הבא מתוארת מהירותו של גוף כתלות בזמן. מצא את התאוצה בכל אחד מחלקי התנועה ושרטט גרף עבור התאוצה כתלות בזמן. ציין עבור כל חלק האם הגוף מאיץ או נמצא בתאוצה.

**8) דנה רצה בתאוצה קבועה**

דנה מתחילה לרוץ ממנוחה בתאוצה קבועה השווה ל-2 מטר לשנייה בריבוע.  
 א. מצא את המהירות של דנה לאחר 1, 2, ו-3 שניות.  
 ב. מצא את המיקום של דנה לאחר 1, 2, 3 ו-4 שניות.  
 ג. שרטט על גבי ציר את המיקום של דנה בכל אחד מהרגעים.

**9) אופנוע משיג מכונית**

מכונית נוסעת במהירות קבועה של 30 מטר לשנייה. ברגע מסוים המכונית חולפת על פני אופנוע הנמצא במנוחה. שתי שניות לאחר מכן מתחיל האופנוע נסיעה בתאוצה קבועה של 4 מטר לשנייה בריבוע. מתי ישיג האופנוע את המכונית?

**10) דני ודנה רצים זה לקראת זה**

דני ודנה רצים זה לקראת זה. שניהם מתחילים לרוץ ממנוחה. דני רץ בתאוצה של 0.5 מטר לשנייה בריבוע ודנה בתאוצה של 1 מטר לשנייה בריבוע. המרחק ההתחלתי ביניהם הוא 50 מטר.  
 א. מתי והיכן יפגשו דני ודנה?  
 ב. מה מהירות כל אחד מהם ברגע המפגש?

**11) גרפים של תאוצה, מהירות ומיקום**

גוף מתחיל לנוע ממנוחה מראשית הצירים. תאוצתו של הגוף נתונה בגרף הבא:  
 א. מצא נוסחת מהירות-זמן עבור הגוף.  
 ב. מצא נוסחת מיקום-זמן עבור הגוף.  
 ג. שרטט גרפים עבור המהירות והמיקום, כתלות בזמן.

**(12) מסלול המראה של ססנה**

מטוס ססנה צריך להגיע למהירות של 150 קמ"ש על מנת להמריא. חשב מה אורך מסלול ההמראה הדרוש למטוס, אם תאוצתו היא 5 מטר לשנייה בריבוע.

**(13) מרחק בלימה**

יוסי נוסע במכוניתו במהירות של 100 קמ"ש. לפתע הוא מבחין באוטובוס המשתלב בנתיב התנועה שלו. האוטובוס נוסע במהירות של 60 קמ"ש. מהו "מרחק הבלימה" (המרחק הדרוש ליוסי בשביל להאט ל-60 קמ"ש), אם הוא מאט בקצב של 4 מטר לשנייה בריבוע?

**(14) עומר עוצר לפני רמזור**

עומר נסע במכוניתו במהירות של 50 קמ"ש. לפתע הבחין כי הרמזור שלפניו התחלף לאדום. עומר התחיל לבלום את רכבו, עד שהגיע לעצירה מוחלטת. הנח שהעצירה נעשית בקצב קבוע.

א. מהי המהירות הממוצעת במהלך העצירה?

ב. ברגע העצירה היה מרחקו של עומר מהרמזור 35 מטר. הזמן שלקח לעומר להגיע לעצירה מוחלטת היה 5 שניות, האם יספיק עומר לעצור לפני הרמזור?

**תשובות סופיות:**

(1)  $15 \frac{m}{sec^2}$

(2)  $0.5 \frac{m}{sec^2}$

(3) א.  $V(t) = 2 \cdot t$     ב.  $14 \frac{m}{sec}$     ג.  $t = 10sec$

(4)  $t = 23sec$

(5) א.  $-2 \frac{m}{sec^2}$ ; תאוטה.    ב.  $2.5 \frac{m}{sec^2}$ ; תאוטה.    ג.  $5 \frac{m}{sec^2}$ ; תאוצה.

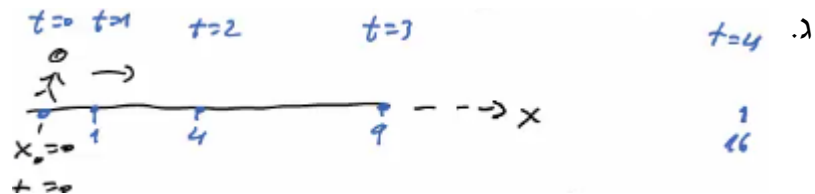
ד.  $-2 \frac{m}{sec^2}$ ; תאוצה.    ה.  $-3.75 \frac{m}{sec^2}$ ; המהירות חיובית - בתאוטה ( $V \geq 0$ ),  
המהירות שלילית - בתאוצה ( $V < 0$ ).

(6) חלק 1 - כאשר  $0 \leq t \leq 3$  או  $a_1 = \frac{4}{3} \frac{m}{sec^2}$  - מאיץ. שרטוט:  
חלק 2 - כאשר  $3 \leq t \leq 6$  או  $a_2 = 0$  - לא מאיץ ולא מאט; המהירות קבועה.  
חלק 3 - כאשר  $0 \leq t \leq 3$  או  $a_3 = -4 \frac{m}{sec^2}$  - בתאוטה.

(7) חלק 1 - כאשר  $0 \leq t \leq 2$  או  $a_1 = 1.5 \frac{m}{sec^2}$  - מאיץ. שרטוט:  
חלק 2 - כאשר  $2 \leq t \leq 5$  או  $a_2 = \frac{-8}{3} \approx -2.67 \frac{m}{sec^2}$  - כשהמהירות חיובית - בתאוטה ( $V \geq 0$ ),  
וכשהמהירות שלילית - בתאוצה ( $V < 0$ ).

(8) א.  $V(t=1) = 2 \frac{m}{sec}$ ,  $V(t=2) = 4 \frac{m}{sec}$ ,  $V(t=3) = 6 \frac{m}{sec}$

ב.  $X(t=1) = 1^2 m$ ,  $X(t=2) = 4m$ ,  $X(t=3) = 9m$ ,  $X(t=4) = 16m$



(9)  $t_1 = 18.79$

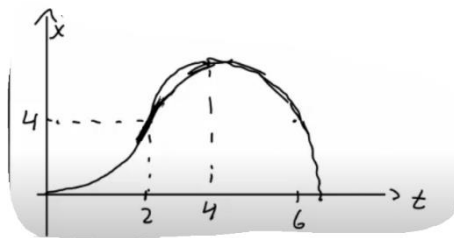
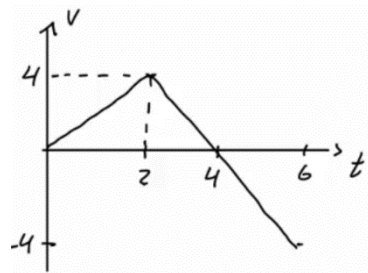
10 א. הזמן:  $t = 8.16 \text{ sec}$ , המיקום:  $16.65 \text{ m}$ .

ב.  $V_{\text{Dana}}(t = 8.16) = -8.16 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $V_{\text{Dani}}(t = 8.16) = 4.08 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

11 א. כאשר  $0 < t < 2$ , הנוסחה היא:  $V(t) = 2t$ ; כאשר  $2 < t < 6$ , הנוסחה היא:  $V(t) = 8 - 2t$ .

ב. כאשר  $0 < t < 2$ :  $X(t) = t^2$ ; כאשר  $2 < t < 6$ :  $X(t) = 4 + 4(t-2) + \frac{1}{2}(-2)(t-2)^2$

ג. שרטוט עבור מהירות:



12  $\Delta x = 173.61 \text{ m}$

13  $\Delta x = 61.73 \text{ m}$

14 א.  $\bar{v} = 25 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$  ב. כן.

## תרגול:

### שאלות:

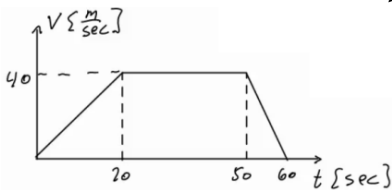
#### (1) מאפס לארבעים בעשר שניות

מכונית מתחילה לנסוע ממנוחה לאורך כביש ישר. המכונית מאיצה בתאוצה קבועה, כך שלאחר 10 שניות היא מגיעה למהירות של 40 מטר לשנייה.

- מהי תאוצת המכונית?
- מצא את ההעתק שביצעה המכונית בזמן ההאצה.
- מהי המהירות הממוצעת של המכונית בזמן ההאצה?
- האם ההעתק שמבצעת המכונית בחמש השניות הראשונות גדול, קטן או שווה להעתק בחמש השניות האחרונות?
- מתי יהיה מיקום המכונית 32 מטר מהנקודה ממנה יצאה?
- מהי המהירות המכונית לאחר שעברה 60 מטרים?

#### (2) גרף של מהירות אופנוע בזמן

בגרף הבא נתונה מהירותו של אופנוע כתלות בזמן. האופנוע נע על קו ישר. קבע את ראשית הצירים במיקום ההתחלתי של האופנוע.



- תאר את סוג התנועה של האופנוע בכל אחד מקטעי התנועה.
- מצא את תאוצת האופנוע כתלות בזמן.
- מהי המהירות האופנוע ברגעים  $t = 15, 40, 55$ ?
- מצא את מיקום האופנוע באותם רגעים של סעיף ג'.

#### (3) דני שכח את הפלאפון

דני רץ בקו ישר במהירות קבועה שגודלה 14 מטר לשנייה. ברגע מסוים מבחין יוסי כי דני שכח את הפלאפון שלו. באותו רגע נמצא דני כבר במרחק של 64 מטר מיוסי. יוסי מתחיל לרוץ אחר דני ממנוחה בתאוצה קבועה של 8 מטר לשנייה בריבוע.

- מצא ביטוי למהירות כתלות בזמן עבור דני ויוסי. שרטט גרפים עבור שני הביטויים שמצאת על אותה מערכת צירים.
- מתי מהירותו של יוסי שווה לזו של דני? האם הוא משיג את דני ברגע זה?
- מצא ביטוי למיקום כתלות בזמן עבור דני ויוסי. שרטט גרפים עבור שני הביטויים שמצאת על אותה מערכת צירים.
- מתי ישיג יוסי את דני? כמה מרחק עבר יוסי עד אז?

**4) גרף מהירויות של שני גופים**

בגרף הבא מתוארות המהירויות של שני גופים, כתלות בזמן. הנח ששני הגופים נעים לאורך קו ישר ויוצאים מהראשית.

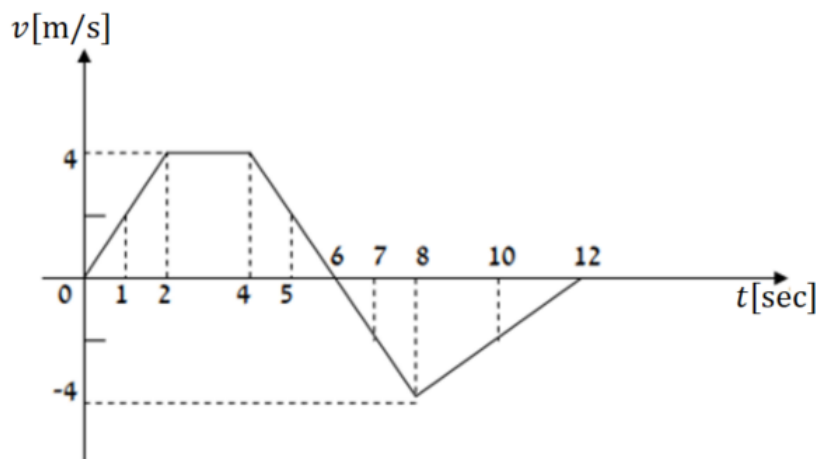


- א. תאר את תנועתו של כל גוף.
- ב. רשום נוסחת מקום זמן לכל גוף.
- ג. מצא את המרחק בין הגופים ברגעים:  $t = 3 \text{ sec}$ ,  $24 \text{ sec}$ , וציין מי מקדים את מי.
- ד. מתי מהירויות שני הגופים שוות?
- ה. מתי מיקום שני הגופים זהה?

**5) גרף מהירות זמן בקו ישר**

מהירותו של גוף הנע לאורך קו ישר נתונה על ידי הגרף שבאיור.

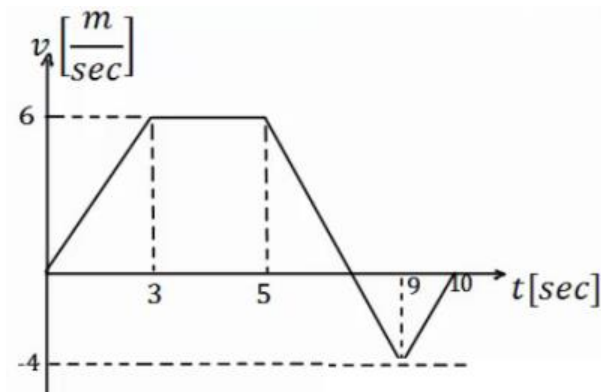
- א. האם תאוצתו של הגוף בזמן  $t = 1 \text{ sec}$  שווה בגודלה ובכיוונה לתאוצתו בזמן שניות  $t = 5 \text{ sec}$ ?
- ב. האם בזמן  $t = 10 \text{ sec}$  מרחק הגוף מנקודת מוצאו גדול יותר מאשר בזמן  $t = 2 \text{ sec}$ ?
- ג. האם תאוצת הגוף בזמן  $t = 5 \text{ sec}$  שווה בגודלה אך הפוכה בכיוונה לתאוצתו בזמן  $t = 7 \text{ sec}$ ?
- ד. האם המרחק של הגוף מנקודת מוצאו מקסימלי בזמן  $t = 12 \text{ sec}$ ?
- ה. האם בזמן  $t = 8 \text{ sec}$  מרחק הגוף מנקודת מוצאו גדול יותר ממרחקו בזמן  $t = 5 \text{ sec}$ ?



**6 תרגיל עם הכל**

הגרף הבא מתאר את מהירותו של גוף הנע בקו ישר. הנח שהגוף מתחיל את תנועתו מהראשית. הגוף נע במשך 10 שניות ונעצר.

- תאר את התנועה של הגוף במילים. חשב ושרטט גרף של התאוצה כתלות בזמן של הגוף.
- מתי נמצא הגוף במרחק הגדול ביותר (בכיוון החיובי) מהראשית? מהו מרחק זה?
- מהו המרחק הכולל שעבר הגוף?
- מהו ההעתק הכולל שעשה הגוף?
- מהי המהירות הממוצעת של הגוף בתנועה?
- מהו מרחק הגוף מהראשית ב-  $t = 6\text{sec}$ ?
- מתי נמצא הגוף במרחק 12 מטרים מהראשית?
- שרטט גרף של מיקומו של הגוף כתלות בזמן. אין צורך לסמן ערכים בציר האנכי של הגרף.

**7 שני נתונים בזמנים שונים**

- גוף נע בקו ישר בתאוצה קבועה.
- ב-  $t = 2\text{sec}$  מהירותו היא 15 מטרים לשנייה ומיקומו 5 מטרים מהראשית, בכיוון החיובי. ידוע גם שב-  $t = 4\text{sec}$  מהירותו היא 21 מטר לשנייה.
- מצא את תאוצת הגוף.
  - מצא נוסחת מיקום זמן של הגוף.
  - מהו מיקום הגוף ב-  $t = 0$ , ומתי יהיה בראשית?
  - מצא נוסחת מהירות זמן עבור הגוף.
  - מהי המהירות בה הגוף התחיל את התנועה (מהירות ב-  $t = 0$ )?

**(8) שוטר רודף אחרי מכונית**

- שוטר נמצא בניידת משטרה. מכונית חולפת ליד הניידת במהירות של 150 קמ"ש. זמן התגובה של השוטר בניידת הוא 3 שניות ולאחר מכן הוא מתחיל לנסוע ממנוחה בתאוצה של  $2 \frac{m}{sec^2}$ . המהירות המקסימלית של הניידת היא 180 קמ"ש.
- א. באיזה מרחק מתחילת התנועה יתפוס השוטר את המכונית?
- ב. שרטטו על אותה מערכת צירים את הגרפים של המהירות כתלות בזמן של המכונית והניידת מהרגע בו חולפת המכונית ליד הניידת.

**(9) זמן מינימלי לסיים מסלול\*\***

- מכונית יכולה להאיץ מאפס ל-100 קמ"ש תוך 10 שניות, כאשר ניתן להניח שקצב ההאצה קבוע. אותה מכונית יכולה לבלום בקצב של 0.5g. מהו הזמן המינימלי לעבור מסלול של 3 ק"מ אם המכונית מתחילה ממנוחה ומסיימת בעצירה מוחלטת. (רמז: השתמש בגרף מהירות זמן).

**(10) כמה זמן הרכבת נסעה במהירות קבועה\*\***

- רכבת יוצאת מיישוב א' אל יישוב ב'. בשליש הראשון של הדרך הרכבת מאיצה בתאוצה קבועה. בשליש של הדרך הרכבת נוסעת במהירות קבועה. בשליש האחרון של הדרך הרכבת מאטה בקצב קבוע עד לעצירתה ביישוב ב'. זמן הנסיעה הכולל הוא T. כמה זמן נסעה הרכבת במהירות קבועה?

**תשובות סופיות:**

(1) א.  $4 \frac{m}{sec^2}$     ב.  $x(t) = 200m$     ג.  $20 \frac{m}{sec}$     ד. קטן.

ה.  $t = 4sec$     ו.  $V_F \approx 21.91 \frac{m}{sec}$

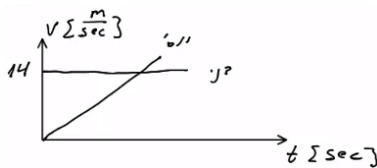
(2) א. כאשר  $0 \leq t \leq 20$  (חלק I), התאוצה חיובית וקבועה, והמיקום הולך וגדל.  
 כאשר  $20 \leq t \leq 50$  (חלק II), המהירות קבועה (אין תאוצה) והמיקום גדל.  
 כאשר  $50 \leq t \leq 60$  (חלק III), התאוצה קבועה ושלילית - תאוטה - והמיקום הולך וגדל.

$$a = \begin{cases} 2 \frac{m}{sec^2} & 0 < t < 20 \\ 0 & 20 < t < 50 \\ -4 \frac{m}{sec^2} & 50 < t < 60 \end{cases} \text{ ב.}$$

ג.  $V(t=15) = 30 \frac{m}{sec}$ ,  $V(t=40) = 40 \frac{m}{sec}$ ,  $V(t=55) = 20 \frac{m}{sec}$

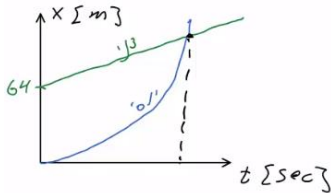
ד.  $x(t=15) = 225m$ ,  $x(t=40) = 1,200m$ ,  $x(t=55) = 1,750m$

(3) א. דני -  $V(t) = 14 \frac{m}{sec}$ , יוסי -  $V(t) = 8t$ ; גרף:



ב.  $t = 1.75sec$ ; לא.

ג. דני -  $x(t) = 64 + 14t$ , יוסי -  $x(t) = 4t^2$ ; גרף:



ד. ב-  $t = 6.12$ , המרחק:  $149.82m$

(4) א. גוף א': תנועה בתאוצה קבועה, האצה. ההתקדמות בכיוון חיובי.  
 גוף ב': כאשר  $0 < t < 8$ , כמו גוף א'. כאשר  $8 \leq t$ , תנועה במהירות קבועה בכיוון חיובי.

ב. גוף א':  $x(t) = \frac{2}{3}t^2$

גוף ב': כאשר  $0 \leq t \leq 8$ ,  $x(t) = \frac{3}{2}t^2$ . כאשר  $8 \leq t \leq \infty$ ,  $x(t) = 96 + 24(t-8)$

ג. כש-  $\Delta x(t=3) = 7.5m$ , וכש-  $\Delta x(t=24) = 96m$ . גוף ב' מקדים את א'.

ד.  $t = 18sec$     ה. כש-  $t = 31.42sec$

(5) א. לא.    ב. כן.    ג. לא.    ד. לא.    ה. לא.

- 6) א. כאשר  $0 \leq t \leq 3$  (חלק I), תאוצה קבועה, האצה והתקדמות בכיוון החיובי.  
 כאשר  $3 \leq t \leq 5$  (חלק II), תנועה במהירות קבועה, התקדמות בכיוון החיובי.  
 כאשר  $5 \leq t \leq 9$  (חלק III), תאוצה קבועה שלילית.  
 תאוטה עד אשר המהירות מתאפסת, ואז מתחילה האצה בכיוון הנגדי.  
 התקדמות בכיוון החיובי עד שהמהירות מתאפסת ואז מתחילים לחזור בכיוון הנגדי.  
 כאשר  $9 \leq t \leq 10$ , תאוצה קבועה חיובית, תאוטה. התקדמות בכיוון הנגדי.



ג. בזמן: 7.4 sec ; המרחק: 28.2 m.

ד.  $S = 33.4 \text{ m}$     ה.  $\Delta x = 23 \text{ m}$     ו.  $\bar{V} = 2.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     ז.  $\Delta x = x(t=6) = 25.75 \text{ m}$

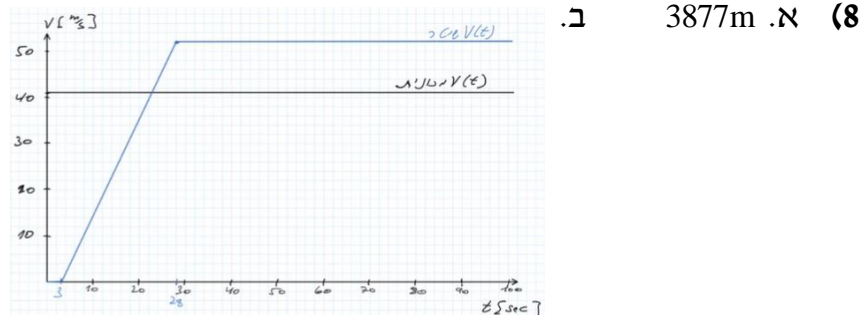


ח.  $t = 3.5 \text{ sec}$     ט.

7) א.  $a = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$     ב.  $x(t) = 5 + 15(t-2) + \frac{1}{2} \cdot 3(t-2)^2$

ג.  $x(t=1.65) = 0$  ;  $x(t=0) = -19$

ד.  $V(t) = 15 + 3(t-2)$     ה.  $V(t=0) = 9 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$



9)  $T = 58 \text{ sec}$

10)  $t_2 = \frac{T}{5}$

## מהירות רגעית ותאוצה רגעית:

### רקע

המהירות היא נגזרת של המיקום לפי הזמן והמיקום הוא אינטגרל על המהירות:

$$v(t) = \frac{dx}{dt}$$

$$x(t) = \int v(t) dt$$

התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה:

$$a(t) = \frac{dv}{dt}$$

$$v(t) = \int a(t) dt$$

- כשעושים אינטגרל צריך להוסיף קבוע, את הקבוע מוצאים מתנאי התחלה.

נגזרות של סינוס וקוסינוס:

$$(\cos x)' = -\sin x$$

$$(\sin x)' = \cos x$$

### שאלות:

#### 1) מהירות רגעית ותאוצה רגעית

מיקומו של גוף כתלות בזמן נתון לפי הנוסחה:  $x(t) = 3 + t^2 + 2t^3$ .

- מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן.
- מה המהירות הממוצעת בעשר השניות הראשונות של התנועה? ומה המהירות הממוצעת בעשר השניות הבאות?
- חשב את התאוצה הרגעית. מהי תאוצת הגוף ב-  $t = 7 \text{ sec}$ ?
- חשב את התאוצה הממוצעת בעשר השניות הראשונות של התנועה ובעשר השניות הבאות.

**(2) מיקום עם קוסינוס**

גוף נע לאורך קו ישר כאשר מיקומו נתון לפי:  $x(t) = A \cos(\omega t)$ ,  
(A ו- $\omega$  קבועים נתונים).

- א. חשב את המהירות והתאוצה של הגוף כתלות בזמן.  
 ב. שרטט את המיקום, המהירות והתאוצה של הגוף כפונקציה של הזמן עבור מרווח הזמן:  $0 \leq t \leq 2\pi$  ועבור המקרים:  $\omega = 1$ ,  $\omega = 2$ ,  $\omega = 0.5$ .  
 ג. מתי התאוצה מקסימלית ומתי היא מתאפסת?  
 ד. הראה שמתקיים:  $a(t) = -\omega^2 x(t)$ .  
 ה. אם מודדים את  $t$  בשניות, מה היחידות של  $\omega$ ?

**תשובות סופיות:**

(1) א.  $2t + 6t^2$ , ב.  $210 \frac{m}{sec}$ ,  $1,430 \frac{m}{sec}$  ג.  $a(t) = 2 + 12t$ ,  $a(t=7) = 86 \frac{m}{sec^2}$

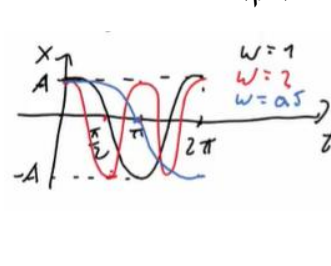
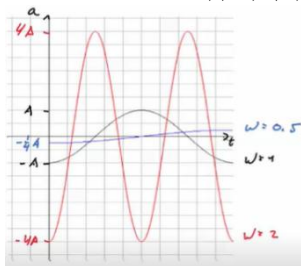
ד.  $62 \frac{m}{sec^2}$ ,  $182 \frac{m}{sec^2}$

(2) א.  $v(t) = -\omega A \sin(\omega t)$ ,  $a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t)$

ב. מיקום:

מהירות:

תאוצה:



ג. מקסימלית:  $t_{max} = \frac{\pi}{\omega}$ , מתאפסת:  $t = \frac{3\pi}{2\omega}$  או  $t = \frac{\pi}{2\omega}$ .

ד. הוכחה. ה.  $[\omega] = \frac{1}{sec}$

## מהירות רגעית ותאוצה רגעית - אינטגרלים:

שאלות:

(1) מצא מהירות ומיקום

גוף נע בתאוצה של:  $a = 4t^3$ .

- א. מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן אם ידוע שהתחיל לנוע ממנוחה.  
 ב. מצא את מיקום הגוף כתלות בזמן אם ידוע שהתחיל את תנועתו מ- $x_0 = 2$ .

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } v(t) = t^4 \quad \text{ב. } x(t) = \frac{t^5}{5} + 2$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 4 - וקטורים

תוכן העניינים

37	.....	1. הגדרות סימונים והצגות
42	.....	2. פעולות בין וקטורים
46	.....	3. מכפלה סקלרית

## הגדרות סימונים והצגות:

### רקע:

וקטור הוא כלי מתמטי המשמש לתיאור גודל פיזיקלי עם כיוון (לדוגמה מהירות או כוח).

וקטור מתארים באמצעות חץ. גודל החץ מתאר את הגודל של הערך הפיזיקאלי וכיוון החץ את כיוונו.

אין משמעות למיקום של הוקטור (בציור) מה שמגדיר את הוקטור זה רק הכיוון והגודל (ניתן להזיז את החץ בציור כל עוד שומרים על הגודל והכיוון וזה מאוד שימושי בחישובים)

הסימון של וקטור הוא בחץ מעל האות  $\vec{A}$  (או לפעמים מסמנים באות מודגשת).

הצגה פולרית: הצגה לפי גודל  $|\vec{A}|$  וכיוון (זווית  $\theta$  עם ציר ה- $x$  החיובי).  
 הצגה קרטזית (אלגברית): הצגה באמצעות רכיבים.



מעבר מפולרי לקרטזי (פירוק וקטור לרכיבים):

$$A_y = |\vec{A}| \sin \theta$$

$$A_x = |\vec{A}| \cos \theta$$

(ניתן גם להגדיר זווית שאינה עם ציר ה- $x$  החיובי ואז  $A_x$  יהיה הניצב שליד הזווית ו- $A_y$  הניצב שמול)

מעבר מקרטזי לפולרי (מציאת גודל וזווית)

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

## שאלות:

## 1) הצגה פולרית

צייר את הוקטורים הבאים על גבי מערכת צירים:

שם הוקטור	גודל הוקטור	זווית הוקטור עם ציר ה- $x$
$\vec{A}$	$ \vec{A}  = 2$	$\theta_A = 30^\circ$
$\vec{B}$	$ \vec{B}  = 4$	$\theta_B = 30^\circ$
$\vec{C}$	$ \vec{C}  = 2$	$\theta_C = 90^\circ$
$\vec{D}$	$ \vec{D}  = 4$	$\theta_D = 120^\circ$
$\vec{E}$	$ \vec{E}  = 2$	$\theta_E = 300^\circ$
$\vec{F}$	$ \vec{F}  = 2$	$\theta_F = -60^\circ$

## 2) הצגה קרטזית

צייר על מערכת צירים את הוקטורים הבאים, רשום את רכיבי הוקטורים וציין באיזה רביע נמצא כל וקטור:

$$\vec{A} = (1, 2), \vec{B} = (-2, 3), \vec{C} = (-3, -2), \vec{D} = (2, -1)$$

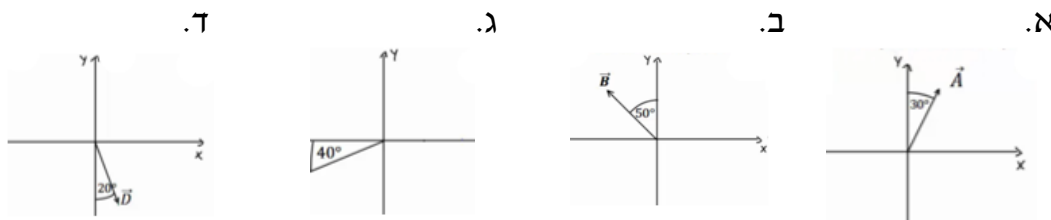
## 3) מעבר מפולרי לקרטזי

הגודל של כל אחד מהוקטורים הבאים הוא 2. רשום כל אחד מהוקטורים בהצגה הקרטזית שלו (פרק את הוקטורים הבאים לרכיבים):



**(4) דרך שנייה לפירוק לרכיבים**

הגודל של כל אחד מהוקטורים הבאים הוא 3.  
רשום כל אחד מהוקטורים הצגה הקרטזית שלו (פרק את הוקטורים הבאים לרכיבים):



**(5) פירוק לרכיבים**

באיור הבא, גודלו של הוקטור  $\vec{A}$  הוא 4, וגודלו של הוקטור  $\vec{B}$  הוא 5.  
מצא את הרכיבים הקרטזיים של כל וקטור:



פתור פעם אחת באמצעות הזוויות שנתונות באיור, ופעם אחת באמצעות הזווית עם הכיוון החיובי של ציר ה-x.

**(6) מקרטזי לפולרי**

מצא את הגודל והכיוון של הוקטורים הבאים:

א.  $\vec{A} = (2, -1)$

ב.  $\vec{B} = (-0.5, -2)$

**(7) מקרטזי לפולרי**

שרטט את הוקטורים הבאים על מערכת צירים.  
מצא את הגודל והכיוון של כל אחד מהוקטורים.  
את הכיוון תאר ע"י הזווית של הוקטור עם ציר ה-x החיובי.

א.  $\vec{A} = (2, 3)$

ב.  $\vec{B} = (-1, 2)$

ג.  $\vec{C} = (0, -3)$

ד.  $\vec{D} = (2, -2)$

ה.  $E_x = 2$ ,  $|\vec{E}| = 3$  הוקטור ברביע הראשון.

ו.  $E_y = -1$ ,  $|\vec{E}| = 3$  הוקטור ברביע השלישי.

**תשובות סופיות:**

1) ראו שרטוט:



2) ראו שרטוט:



$\vec{A} = (1.88, 0.68)$  ,  $\vec{B} = (1, \sqrt{3})$  ,  $\vec{C} = (-\sqrt{2}, \sqrt{2})$  ,  $\vec{D} = (1, -\sqrt{3})$  (3)

$\vec{C} = (-2.30, -1.93)$  .ג.  $\vec{B} = (-2.30, 1.93)$  .ב.  $\vec{A} = \left(\frac{3}{2}, 2.60\right)$  .א. (4)

$\vec{D} = (-2.30, -1.93)$  .ד.

$\vec{B} = (-4.33, -2.5)$  .ב.  $\vec{A} = (-3.28, 2.29)$  .א. (5)

$\theta_B = 255.96^\circ$  ;  $|\vec{B}| = 2.06$  .ב.  $\theta_A = -26.57 = 333.43^\circ$  ;  $|\vec{A}| = \sqrt{5}$  .א. (6)

$\theta_A = 56.31^\circ$  ;  $|\vec{A}| = \sqrt{13}$



א. שרטוט: (7)

$\theta_B = 116.57^\circ$  ;  $|\vec{B}| = \sqrt{5}$



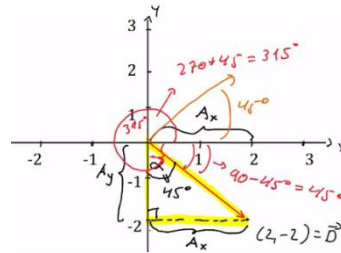
ב. שרטוט:

$$\theta_C = 270^\circ ; |\vec{C}| = 3$$



ג. שרטוט:

$$\theta_D = 315^\circ = -45^\circ ; |\vec{D}| = \sqrt{8}$$



ד. שרטוט:

$$\theta_E = 48.19^\circ ;$$



ה. שרטוט:

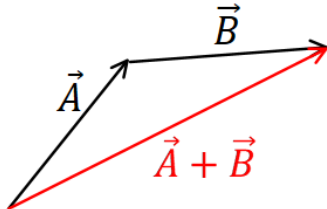
$$\theta_E = 199.47^\circ ;$$



ו. שרטוט:

## פעולות בין וקטורים:

רקע:



חיבור וקטורים:  
 בצורה גרפית נצמיד ראש לזנב. וקטור הסכום יהיה וקטור מהזנב הראשון לראש הוקטור האחרון.  
**תמיד ניתן להזיז וקטור במרחב כל עוד שומרים על האורך והכיוון שלו.**

בצורה אלגברית נסכום את הרכיבים:

$$\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x, A_y + B_y)$$

בצורה פולרית, נפרק לרכיבים ונסכום.

כפל/חלוקה בסקלר: בצורה אלגברית, נכפיל/נחלק כל רכיב בסקלר:

$$\vec{B} = \alpha \vec{A} = (\alpha A_x, \alpha A_y)$$

- בצורה פולרית, נכפיל/נחלק את הגודל בסקלר (הכיוון לא משתנה אלא אם הסקלר שלילי ואז הכיוון מתהפך)

שאלות:

(1) חיבור וקטורים לפי סימונים

$$\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D} = \vec{E} \quad \text{מצא את:}$$



(2) דוגמה 1

נתונים הוקטורים הבאים:

$$|\vec{A}| = 3, \theta_A = 30^\circ$$

$$|\vec{B}| = 2, \theta_B = -30^\circ$$

$$|\vec{C}| = 3, \theta_C = 180^\circ$$

א. שרטט את הוקטורים על גבי מערכת צירים.

ב. שרטט את גודלן וכיוונו של הוקטור:  $\vec{D} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$

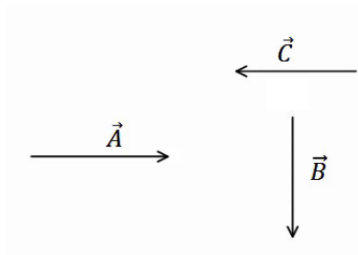
שרטט את הוקטור  $\vec{D}$  על אותה מערכת צירים.

## 3) דוגמה 2



הגודל של הוקטורים באיור הבא הוא:  $|\vec{A}| = 5$ ,  $|\vec{B}| = 4$ ,  $|\vec{C}| = 5$ .  
מצא את הוקטור השקול (סכום הוקטורים):  $\vec{D} = \vec{C} + \vec{A} + \vec{B}$ .

## 4) חיסור לפי סימונים



בציור נתונים הוקטורים:  $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ .  
מצא את:  $\vec{D} = \vec{B} - \vec{C} - \vec{A}$ .

## 5) דוגמה 1

נתונים הוקטורים הבאים:  $\vec{A} = (3, 5)$ ,  $\vec{B} = (-1, 4)$ ,  $\vec{C} = (0, 2)$ .  
מצא את:

א.  $\vec{D} = -2\vec{B}$   
 ב.  $\vec{E} = 3\vec{A} - 2\vec{C} - \vec{B}$   
 ג.  $\vec{F} = -2(\vec{A} + \vec{B}) + 3\vec{C}$

## 6) דוגמה 2

גודלם של הוקטורים באיור הבא הם:  $|\vec{A}| = 5$ ,  $|\vec{B}| = 4$ ,  $|\vec{C}| = 3$ .



א. מצא את גודלו וכיוונו של  $\vec{D} = -2\vec{B}$ .  
שרטט את  $\vec{D}$  על מערכת צירים.  
 ב. מצא את גודלו וכיוונו של  $\vec{E} = 2\vec{A} - 3\vec{B} - 4\vec{C}$ .  
שרטט את  $\vec{E}$  על מערכת הצירים.

## 7) דוגמה 3

גודלו של הווקטור  $\vec{A}$  הוא 2 והזווית שהוא יוצר עם ציר ה- $x$  החיובי היא  $30^\circ$ .

א. שרטט את הווקטור במערכת הצירים.

ב. מצא את  $\vec{B} = 3 \cdot \vec{A}$  ללא פירוק של  $\vec{A}$  לרכיבים. שרטט את  $\vec{B}$  על אותה מערכת.

ג. מצא את הרכיבים של  $\vec{A}$ .

ד. חשב שוב את  $\vec{B} = 3 \cdot \vec{A}$ . הפעם דרך הרכיבים של  $\vec{A}$ .

ה. מצא את גודלו וכיוונו של  $\vec{B}$  מהרכיבים שמצאת בסעיף ד'.

הראה כי התוצאה זהה לסעיף ב'.

**תשובות סופיות:**

(1)



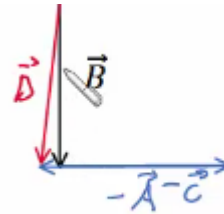
ב.  $|\vec{D}| = 1.42, \theta_D = 20.60^\circ$

(2) א.



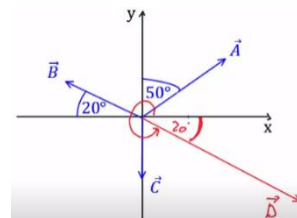
(3)  $|\vec{D}| = 3.46, \theta_D = 58.84^\circ$

(4)



(5) א.  $\vec{D} = (2, -8)$  ב.  $\vec{E} = (10, 7)$  ג.  $\vec{F} = (-4, -12)$

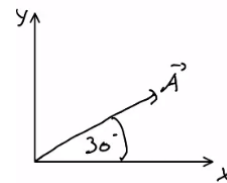
(6) א.  $|\vec{D}| = 8, \theta_D = -20^\circ$  ב.  $|\vec{E}| = 23.75, \theta_E = 37.23^\circ$



ג.  $\vec{A} = (\sqrt{3}, 1)$

ב.  $|\vec{B}| = 6, \theta_B = \theta_A = 30^\circ$

(7) א.



ה. ראה סרטון.

ד.  $\vec{B} = (3\sqrt{3}, 3)$

## מכפלה סקלרית:

### שאלות:

#### (1) דוגמה 1

מצא את תוצאת המכפלה הסקלרית בין הוקטורים הנתונים בכל המקרים הבאים:

א.  $\vec{A} = (-1, 2)$ ,  $\vec{B} = (2, 2)$

ב.



#### (2) דוגמה 2

בדוק עבור זוגות הוקטורים הבאים האם הם מאונכים:

א.  $\vec{A} = (1, 4)$ ,  $\vec{B} = (-2, 5)$

ב.  $\vec{A} = (1, 4)$ ,  $\vec{B} = (8, -2)$

ג.  $\vec{A} = (-1, -2)$ ,  $\vec{B} = (-2, 1)$

ד. שרטט כל זוג וקטורים מאונכים על מערכת צירים.

חשב את זוויות הוקטורים עם הצירים והראה שהזווית בין הוקטורים היא אכן 90 מעלות.

#### (3) דוגמה 3

נתונים הוקטורים הבאים:  $\vec{A} = (-3, 1)$ ,  $\vec{B} = (2, -4)$ .

א. מצא את תוצאת המכפלה הסקלרית באמצעות ההצגות הקרטזיות הנתונות.

ב. מצא את הגודל והזווית של כל וקטור.

ג. מצא את המכפלה הסקלרית שוב, הפעם באמצעות הנוסחה של מכפלת הגדלים בקוסינוס הזווית. בדוק כי התוצאה זהה לסעיף א'.

**4 דוגמה 4**

נתונים הוקטורים הבאים :  $\vec{A} = (-3, 1)$  ,  $\vec{B} = (2, -4)$

א. הראה כי החישוב של  $\vec{A} \cdot \vec{B}$  זהה לחישוב  $\vec{B} \cdot \vec{A}$ .

ב. הוכח בצורה כללית כי המכפלה הסקלרית היא פעולה קומוטטיבית (הדרכה : רשום את הוקטורים בצורה כללית עם נעלמים).

**5 דוגמה 5**

נתונים הוקטורים הבאים :  $\vec{A} = (2, 1)$  ,  $\vec{B} = (-3, 2)$  ,  $\vec{C} = (1, -3)$

חשב את :

א.  $\vec{A} \cdot \vec{C}$

ב.  $(\vec{A} + \vec{B}) \cdot \vec{C}$

ג.  $\vec{A} \cdot \vec{C} + \vec{B} \cdot \vec{C}$

ד.  $(\vec{A} \cdot \vec{B}) \cdot \vec{C}$

ה.  $\vec{A} \cdot (\vec{B} \cdot \vec{C})$

ו.  $(\vec{A} \cdot \vec{B}) \cdot \vec{B}$

ז.  $(\vec{A} \cdot \vec{B}) \cdot (\vec{B} \cdot \vec{C})$

**6 דוגמה 6**

נתונים הוקטורים הבאים :  $\vec{A} = (-2, 2)$  ,  $\vec{B} = (1, -3)$  ,  $\vec{C} = (1, 5)$

חשב את :

א.  $\frac{(\vec{A} \cdot \vec{B}) \vec{B}}{|\vec{B}|^2}$

ב.  $\frac{(\vec{B} \cdot \vec{C}) \vec{C}}{|\vec{C}|^2}$

**7 דוגמה 7**

נתונים הוקטורים הבאים :  $\vec{A} = (-2, 2)$  ,  $\vec{B} = (1, -3)$  ,  $\vec{C} = (1, 5)$

מצא את הזווית בין  $\vec{A}$  ל- $\vec{B}$  ובין  $\vec{B}$  ל- $\vec{C}$ .

**תשובות סופיות:**

1 א. 2 ב. -5.13

2 א.  $\vec{A}$  לא מאונך ל- $\vec{B}$ . ב. מאונכים. ג. מאונכים.

ד. ב.  $\theta_A = 75.96^\circ, \theta_B = 14.04^\circ$ . ד. ג.  $\theta_A = 26.57^\circ, \theta_B = 26.57^\circ$ .



3 א.  $\vec{A} \cdot \vec{B} = -10$ . ב.  $|\vec{A}| = \sqrt{10}, \tilde{\theta}_A = 161.57^\circ, |\vec{B}| = \sqrt{20}, \tilde{\theta}_B = -63.43^\circ$

ג.  $\vec{A} \cdot \vec{B} = -10$

4 א. הוכחה. ב. הוכחה.

5 א. -1 ב. -10 ג. -10 ד. (-4,12) ה. (-18,-9)

ו. (12,-8) ז. 36

6 א. (-0.8,2.4) ב. (-0.54,-2.69)

7  $\alpha_{\vec{A}\vec{B}} = 153.43^\circ, \alpha_{\vec{B}\vec{C}} = 150.26^\circ$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 5 - נפילה חופשית זריקה אנכית

תוכן העניינים

49	.....	1. נפילה חופשית
50	.....	2. זריקה אנכית
52	.....	3. תרגילים

## נפילה חופשית:

### שאלות:

#### (1) כדור ברזל קטן

- כדור ברזל קטן משוחרר ממנוחה ממעלי מגדל מאוד גבוה (הזנח את התנגדות האויר).  
 א. מצא את מרחקו מנקודת השחרור לאחר 4 שניות.  
 ב. מצא את מהירותו באותו הרגע.

#### (2) תפוח עץ

- תפוח נופל מעץ מגובה של 15 מטרים (הנח שהתפוח נופל ממנוחה והזנח את התנגדות האויר).  
 א. מצא את המהירות בה יפגע התפוח בקרקע.  
 ב. מצא את המהירות בה יפגע התפוח בראשו של ניוטון, היושב מתחת לעץ.  
 הנח שגובה הראש של ניוטון בישיבה הוא 1 מטר.

#### (3) חסידה מביאה חבילה

- חסידה מפילה חבילה מגובה של 320 מטרים.  
 א. מצא את ההעתק שמבצעת החבילה בשניה הרביעית של תנועתה.  
 ב. מצא את ההעתק שמבצעת החבילה בשניה האחרונה של תנועתה.

### תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } 80\text{m} \quad \text{ב. } 40 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$(2) \quad \text{א. } 17.32 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב. } V_F \approx 16.73$$

$$(3) \quad \text{א. } \Delta y = 35\text{m} \quad \text{ב. } \Delta y = 75\text{m}$$

## זריקה אנכית:

### שאלות:

#### (1) דנה גרה מעל צחי

- דנה גרה בבניין קומות גבוה. חברה צחי גר שלוש קומות מתחתיה.  
 דנה זורקת מהחלון כדור במהירות של  $5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  כלפי מטה לעבר החלון של צחי.  
 גובה כל קומה הוא 3 מטרים.  
 א. מתי יעבור הכדור את חלונו של צחי?  
 ב. מה תהיה מהירות הכדור באותו הרגע?  
 ג. מה תהיה מהירות הכדור שתי קומות מתחת לחלונו של צחי?

#### (2) דני זורק כדור מחלון גבוה

- דני זורק כדור כלפי מעלה מחלון ביתו הנמצא בגובה 105 מטרים מעל הקרקע (בניין גבוה). מהירות הכדור ישר אחרי הזריקה היא 20 מטר לשניה.  
 סמן את כיוון הציר החיובי כלפי מעלה ואת ראשית הצירים בנקודת הזריקה.  
 א. רשום נוסחאות מקום-זמן ומהירות-זמן עבור הכדור.  
 ב. הכן טבלה ורשום בה את הערכים של המיקום והמהירות ב-6 השניות הראשונות.  
 ג. צייר את מיקום הכדור בכל שנייה ב-6 השניות.  
 ד. מתי יפגע הכדור בקרקע?  
 ה. חזור על סעיפים א' ו-ד' במקרה שבו ראשית הצירים בקרקע.

#### (3) רועי קופץ לבריכה

- רועי קופץ לבריכה ממקפצה בגובה 10 מטרים.  
 מהירותו מיד לאחר הניתוק מהמקפצה היא 2 מטר לשניה כלפי מעלה.  
 א. מתי מגיע רועי לשיא הגובה בקפיצה?  
 ב. מהו שיא הגובה?  
 ג. מהי המהירות שבה פוגע רועי במים?  
 ד. כמה זמן עבר מרגע הקפיצה עד לרגע בו פגע רועי במים?

## תשובות סופיות:

$$V(y=15) \approx 18.03 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad V(t=0.93) = 14.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad 0.93 \text{sec} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$V(t) = 20 - 10t \quad \text{מהירות-זמן; } y(t) = 20t - 5t^2 \quad \text{מקום-זמן;} \quad (2)$$

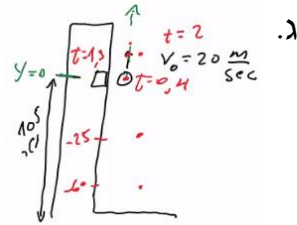
ב.

זמן (בשניות)	מיקום (במטרים)	מהירות (מטרים לשנייה)
1	15	10
2	20	0
3	15	-10
4	0	-20
5	-25	-30
6	-60	-40

$$y(t) = 105 + 20t - 5t^2 \quad \text{מקום-זמן; (א) } \quad \text{ה.} \quad 7 \text{sec} \quad \text{ד.}$$

$$V(t) = 20 - 10t \quad \text{מהירות-זמן; } \quad \text{ג.}$$

7sec (ד)



$$t \approx 1.63 \text{sec} \quad \text{ד.} \quad -14.28 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad 0.2 \text{m} \quad \text{ב.} \quad t = 0.2 \text{sec} \quad \text{א.} \quad (3)$$

## תרגילים:

### שאלות:

- (1) אבן נזרקת מגג בניין**  
 מגג בניין שגובהו 120 מטר נזרקת אבן כלפי מעלה, במהירות התחלתית שגודלה 20 מטר לשניה.  
 א. כעבור כמה זמן תמצא האבן בשיא גובה התנועה?  
 ב. מה הגובה המקסימלי אליו מגיעה האבן?  
 ג. מהי מהירות האבן כאשר היא פוגעת בקרקע? (הקפד על הסימן).
- (2) חלק ניתק מטיל**  
 טיל משוגר אנכית כלפי מעלה, ממנוחה, בתאוצה קבועה של 6 מטר לשניה בריבוע. כאשר הטיל בגובה של 300 מטר ניתק ממנו חלק.  
 א. מהי מהירות הטיל ברגע ניתוק החלק?  
 ב. מהו שיא הגובה, ביחס לקרקע, אליו מגיע החלק שניתק?  
 ג. לאחר כמה זמן מרגע השיגור יפגע החלק בקרקע?  
 ד. מהי מהירות החלק ברגע פגיעתו בקרקע?
- (3) כדור נזרק מלמעלה וגוף נזרק מלמטה**  
 כדור נזרק כלפי מטה מראש בניין שגובהו 80 מטר. מהירותו ההתחלתית של הכדור היא 15 מטר לשניה. באותו הרגע, נזרק גוף שני מתחתית הבניין כלפי מעלה. מהירותו ההתחלתית של הגוף השני היא 40 מטר לשניה.  
 א. רשום נוסחת מקום-זמן עבור כל גוף.  
 ב. האם הגוף השני יעבור את גובה הבניין?  
 ג. היכן ביחס לרצפת הבניין יחלפו הגופים אחד ליד השני?  
 ד. רשום נוסחת מהירות-זמן לכל גוף.  
 ה. מה תהיה מהירות כל גוף ברגע המפגש?  
 ו. מהי מהירות הפגיעה בקרקע של כל גוף?  
 ז. שרטט גרף מהירות-זמן וגרף מיקום-זמן לכל גוף.

- (4) גוף נזרק אנכית מגג בניין**  
 גוף נזרק אנכית כלפי מעלה מגג בניין שגובהו 40 מטר.  
 מהירותו ההתחלתית של הגוף היא 30 מטר לשנייה.  
 בחר ציר  $y$ , שראשיתו בקרקע וכיוונו החיובי כלפי מעלה.
- א. רשום את הפונקציות: מקום-זמן, מהירות-זמן ותאוצה-זמן, של הגוף.  
 ב. ערוך טבלה של מהירותו ומיקומו בזמנים:  $t = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \text{ sec}$ .  
 ג. שרטט גרפים עבור שלושת הפונקציות שחישבת בסעיף א'.
- (5) כדור מלמעלה וכדור מלמטה מתעכב**  
 כדור נופל מגובה של 70 מטרים בנפילה חופשית.  
 שלוש שניות לאחר מכן נזרק כדור נוסף מהקרקע במהירות התחלתית  $v_0$ .
- א. רשום נוסחת מקום-זמן לכל גוף כפונקציה של  $v_0$ .  
 ב. מה צריך להיות  $v_0$  על מנת שהכדורים לא יחלפו זה על פני זה?  
 ג. רשום נוסחת מקום – זמן לכל גוף, בהנחה שהערך של  $v_0$  הוא הערך המקסימלי שמקיים את התנאי של סעיף ב'.  
 ד. מה תהיה מהירות כל גוף בפגיעה בקרקע?  
 ה. שרטט גרף מהירות – זמן לשתי האבנים על אותה מערכת צירים.
- (6) כדור פורח**  
 כדור פורח עולה במהירות קבועה של 15 מטרים לשנייה כלפי מעלה.  
 בגובה של 150 מטרים הכדור משחרר שק חול.  
 מצא כמה זמן ייקח לשק החול להגיע לקרקע.  
 (רמז: מהירות הכדור לא נתונה ללא סיבה)
- (7) אבן אחרי אבן**  
 אבן משוחררת ממנוחה מגובה של 60 מטרים. שתי שניות לאחר מכן נזרקת אבן נוספת כלפי מטה מאותו הגובה.  
 באיזו מהירות יש לזרוק את האבן, על מנת ששתי האבנים יגיעו לקרקע באותו הזמן?
- (8) אדם משחרר כדור מתוך מעלית\*\***  
 מעלית עולה מגובה הקרקע במהירות קבועה. בזמן  $T_1$  אדם הנמצא במעלית משחרר כדור מתוך המעלית דרך חור שברצפת המעלית.  
 הכדור מגיע לקרקע כעבור  $T_2$  שניות.  
 מצאו את גובה המעלית  $h$  בזמן  $T_1$ .  
 נתונים:  $T_1$  ו-  $T_2$ .

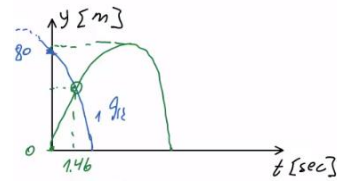
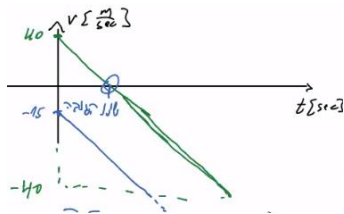
**(9) ילד זורק כדור בקפיצה\*\***

ילד מנסה לזרוק כדור לתקרה של הכיתה אך אינו מצליח להגיע עד לתקרה. המורה לפיזיקה שהבחין בניסיונותיו של הילד הציע לילד שיזרוק את הכדור תוך כדי קפיצה בכיוון מעלה.

- א. האם המורה צודק? לאיזה גובה יגיע הכדור אם הילד קופץ ומיד זורק את הכדור כלפי מעלה? הניחו שמהירות הקפיצה של הילד היא  $v_1$  ומהירות הזריקה של הכדור  $v_2$  ביחס לילד היא אותו הדבר. הניחו שזריקת הכדור לא משפיעה על הילד.
- ב. בטאו את ההעתק של הילד ושל הכדור כפונקציה של הזמן בו הילד זורק את הכדור.

**תשובות סופיות:**

- (1) א. 2sec    ב. 20m    ג. 25.8sec    ד. 7.29sec
- (2) א.  $60 \frac{m}{sec}$     ב. 480m    ג. 25.8sec    ד.  $\approx -98 \frac{m}{sec}$
- (3) א. גוף 1:  $y_1(t) = 80 + (-15)t - 5t^2$ , גוף 2:  $y_2(t) = 40t - 5t^2$     ב. 80m  
 ג.  $y_2(t=1.45) \approx 47.74m$   
 ד. גוף 1:  $v_1(t) = -15 - 10t$ , גוף 2:  $v_2(t) = 40 - 10t$
- ה. גוף 1:  $-29.6 \frac{m}{sec}$ , גוף 2:  $25.4 \frac{m}{sec}$ . גוף 1:  $-42.72 \frac{m}{sec}$ , גוף 2:  $-40 \frac{m}{sec}$
- ז. מיקום-זמן (גוף 1 בכחול, גוף 2 בירוק): מהירות-זמן:



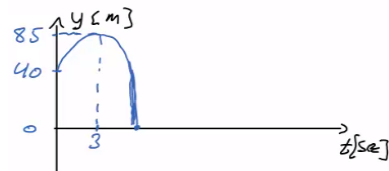
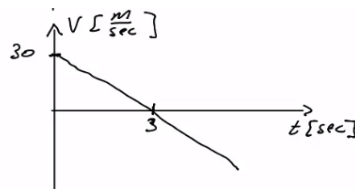
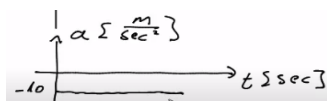
- (4) א. מקום-זמן:  $y(t) = 40 + 30t - 5t^2$ , מהירות-זמן:  $v(t) = 30 - 10t$   
 תאוצה-זמן:  $a = -10$   
 ב.

זמן (בשניות)	מהירות (מטרים לשנייה)	מקום (במטרים)
0	30	40
1	20	65
2	10	80
3	0	85
4	-10	80
5	-20	65

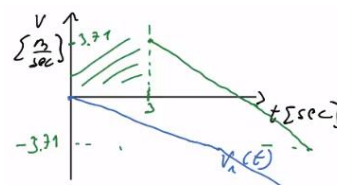
תאוצה-זמן:

מהירות-זמן:

ג. מקום-זמן:



- (5) א. כדור 1:  $y_1(t) = 70 - 5t^2$ , כדור 2:  $y_2(t) = 0 + v_0(t-3) - 5(t-3)^2$   
 ב.  $v_0 \leq 3.71$     ג. כדור 1:  $v_1(t) = -10t$ , כדור 2:  $v_2(t) = 3.71 - 10(t-3)$   
 ד. כדור 1:  $v_1(t=3.74) = -37.4 \frac{m}{sec}$ , כדור 2:  $v_2(t=3.74) \approx -3.69 \frac{m}{sec}$



ה. שרטוט:

$$. t \approx 7.18 \text{ sec} \quad (6)$$

$$. v_0 \approx 33.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (7)$$

$$. h = \frac{gT_2^2}{2 \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right)} \quad (8)$$

$$. y = \frac{(v_1 + v_2)^2}{2g}, \text{ א. המורה צודק, ב. ילד: } v_1 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2, \text{ כדור: } v_2 t_0 - \frac{(v_1 + v_2)^2}{2g} \quad (9)$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 6 - דינמיקה - תנועה בהשפעת כוחות (חוקי ניוטון)

תוכן העניינים

57	1. הקדמה, חוק ראשון ושלישי
66	2. תרגילים נוספים לחוק ראשון ושלישי
70	3. חוק שני של ניוטון
85	4. הכוח האלסטי- קפיץ
90	5. תאוצות לא שוות

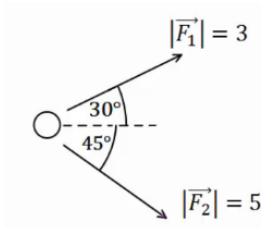
## הקדמה, חוק ראשון ושלישי:

### שאלות:

#### דינמיקה והכוחות הבסיסיים:

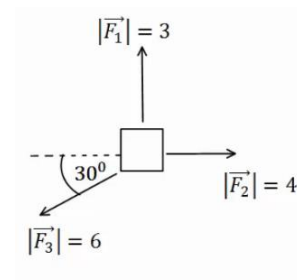
##### (1) דוגמה 1

חשב את שקול הכוחות הפועל על גוף במקרה הבא:



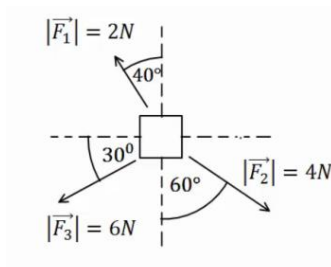
##### (2) דוגמה 2

חשב את שקול הכוחות הפועל על גוף במקרה הבא:



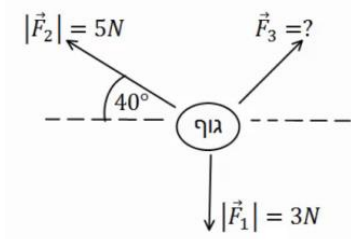
##### (3) דוגמה 3

חשב את שקול הכוחות הפועל על גוף במקרה הבא:



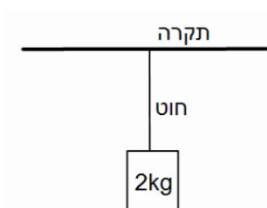
##### (4) דוגמה 4

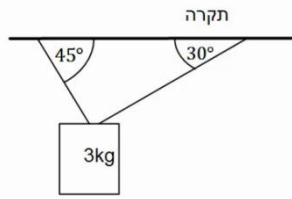
באיור הבא נתונים הכוחות  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  וידוע כי הגוף נע במהירות קבועה בקו ישר. מצא את גודלו וכיוונו של  $\vec{F}_3$ .



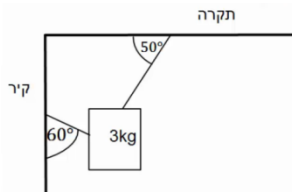
##### (5) דוגמה 5

גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות חוט יחיד. מהי המתחיות בחוט אם מסת הגוף היא 2 ק"ג?

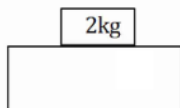


**6 דוגמה 6**

גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות שני חוטים, לפי האיור הבא.  
 מהי המתחיות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?

**7 דוגמה 7**

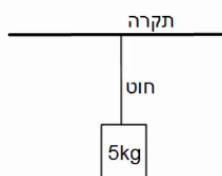
גוף תלוי במנוחה מהתקרה באמצעות חוט ומחובר לקיר המאונך לתקרה באמצעות חוט נוסף (הסתכל באיור).  
 מהי המתחיות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?

**8 דוגמה 8**

מסה של 2 ק"ג נמצאת במנוחה על שולחן.  
 א. שרטט תרשים כוחות על המסה.

ב. מהו גודלו וכיוונו של הכוח הנורמלי הפועל מהשולחן על המסה?

ג. מהו גודלו וכיוונו של הכוח הנורמלי הפועל על השולחן מהמסה?

**9 דוגמה 9**

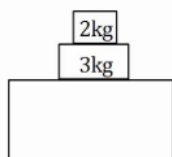
מסה של 5 ק"ג תלויה במנוחה מהתקרה באמצעות חוט יחיד.  
 א. מהי המתחיות בחוט?

ב. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעיל החוט על התקרה?

ג. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה התקרה על החוט?

**10 דוגמה 10**

דני ויוסי מושכים בחבל משני צידיו, כל אחד מהם מושך בכוח של 50 ניוטון.  
 מהי המתחיות בחבל?

**11 דוגמה 11**

במערכת הבאה ישנה מסה של 3 ק"ג הנמצאת במנוחה על שולחן.  
 על המסה מונחת מסה נוספת של 2 ק"ג.

א. שרטט תרשים כוחות לכל אחת מהמסות.

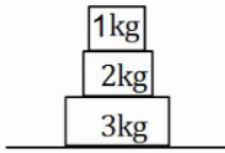
ב. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה העליונה.

ג. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה התחתונה מהשולחן.

ד. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על השולחן.

**12 דוגמה 12**

שלוש מסות מונחות אחת על גבי השנייה ועל הקרקע במנוחה, כפי שנראה בציר.



א. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה המסה הכי תחתונה על המסה מעליה?

ב. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שמפעילה הרצפה על המסה הכי תחתונה?

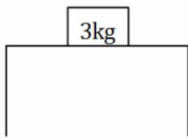
**חיכוך:****13 גוף על שולחן**

גוף בעל מסה של 3 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן. מקדם החיכוך הסטטי הוא  $\mu_s = 0.4$ .

א. מהו הכוח המקסימלי הניתן להפעיל על הגוף, כך שישאר במנוחה?

כוח אופקי בגודל 10 ניוטון פועל על הגוף ימינה.

ב. מצא את גודלו וכיוונו של החיכוך הסטטי.

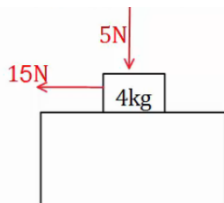
**14 כוח מלמעלה**

גוף בעל מסה של 4 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן. כוח אנכי בגודל של 5 ניוטון לוחץ את הגוף כלפי השולחן. מקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.4$ .

א. מהו הכוח המקסימלי הניתן להפעיל על הגוף, כך שישאר במנוחה?

כוח אופקי בגודל 15 ניוטון פועל על הגוף שמאלה.

ב. מצא את גודלו וכיוונו של החיכוך הסטטי.

**15 כוח תלוי בזמן**

גוף בעל מסה של 5 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן.

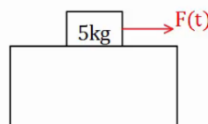
כוח אופקי התלוי בזמן  $F(t) = 2 \cdot t^2$  פועל על הגוף ימינה.

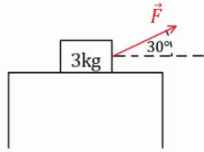
מקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.3$ .

א. מהו הכוח המקסימלי הניתן להפעיל על הגוף, כך שישאר במנוחה?

ב. מתי יתחיל הגוף בתנועה?

ג. שרטט גרף של החיכוך הסטטי כתלות בזמן.



**16) כוח בזווית**

גוף בעל מסה של 3 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן.  
 כוח קבוע פועל על הגוף בזווית של 30 מעלות עם הכיוון האופקי.  
 מקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.3$ .

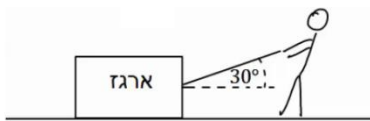
א. מהו הגודל המקסימלי של הכוח בשאלה אותו ניתן להפעיל  
 כך שהגוף ישאר במנוחה?

ב. מצא את גודלו וכיוונו של החיכוך הסטטי אם גודל הכוח הוא 5 ניוטון.

**17) דני מושך במקביל לקרקע**

דני מושך ארגז במקביל לקרקע.  
 ידוע כי מסת הארגז היא 20 ק"ג, ומקדם  
 החיכוך הקינטי בין הארגז לקרקע הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

מצא מהו גודלו של הכוח שמפעיל דני, אם הארגז נע במהירות קבועה.

**18) ירון מושך בזווית**

ירון מושך ארגז באמצעות חבל הנמתח בזווית  
 של 30 מעלות ביחס לקרקע.  
 ידוע כי מסת הארגז היא 20 ק"ג, ומקדם החיכוך  
 הקינטי בין הארגז לקרקע הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

מצא מהו גודלו של הכוח שמפעיל ירון, אם הארגז נע במהירות קבועה.

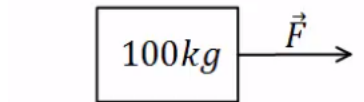
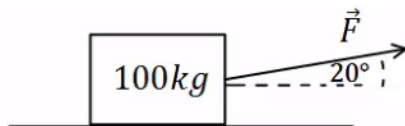
**19) כוח בכמה כיוונים**

מצא מה גודל הכוח הדרוש להזיז את הארגז במהירות קבועה בכל אחד  
 מהמקרים הבאים.

מסת הארגז היא 100 ק"ג ומקדם החיכוך של הארגז עם הרצפה הוא:  $\mu_k = 0.4$ .

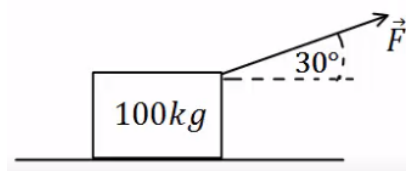
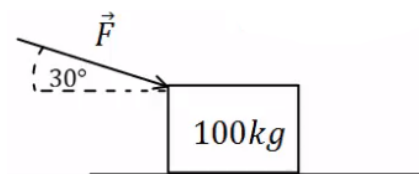
א. כוח מושך אופקי

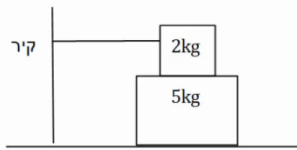
ב. כוח מושך בזווית של 20°



ג. כוח מושך בזווית של 30°

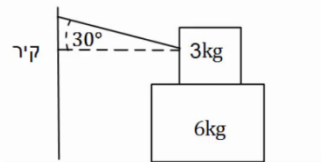
ד. כוח דוחף בזווית של 30° מתחת לאופק



**20) מסה על מסה קשורה לקיר**

מסה של 2 ק"ג מונחת מעל מסה של 5 ק"ג.  
המסה העליונה קשורה בחוט אופקי לקיר משמאל.  
מקדמי החיכוך בין המסות ובין המסה התחתונה  
למשטח הם:  $\mu_k = 0.2$ ,  $\mu_s = 0.3$ .

- מהו הכוח האופקי המקסימלי שניתן להפעיל על המסה התחתונה בכיוון ימין, כך שהיא תישאר במנוחה?
- מה המתוחות בחוט, אם הכוח הוא אותו כוח שחישבת בסעיף א'?
- מה הכוח אותו יש להפעיל על מנת למשוך את המסה התחתונה במהירות קבועה? הנח שהמסה כבר בתנועה.

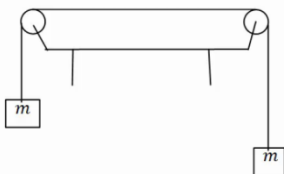
**21) מסה על מסה קשורה לקיר בזווית**

מסה של 3 ק"ג מונחת מעל מסה של 6 ק"ג.  
המסה העליונה קשורה בחוט המתוח בזווית של 30 מעלות ומחובר לקיר משמאל.  
מקדם החיכוך הסטטי בין המסות ובין המסה התחתונה למשטח הוא:  $\mu_s = 0.3$ .

- מהו הכוח האופקי המקסימלי שניתן להפעיל על המסה התחתונה בכיוון ימין, כך שהיא תישאר במנוחה?
- מהי המתוחות בחוט, אם גודל הכוח הינו זהה לערך אותו חישבת בסעיף א'?

**22) שתי משקולות תלויות על שולחן**

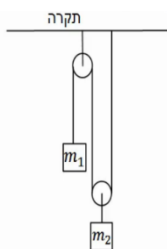
שתי משקולות זהות בעלות מסה של 4 ק"ג תלויות במנוחה משני צידיו של שולחן. המשקולות מחוברות באמצעות חוט העובר דרך גלגלות אידיאליות, ראה איור.



- מהי המתוחות בחוט?
- מהו הכוח (גודל וכיוון) שמפעיל המוט המחובר את הגלגלת לשולחן עבור כל גלגלת?
- האם היה שינוי בתשובתך לסעיפים הקודמים במידה והמסות היו נעות במהירות קבועה לאחד הכיוונים?

**23) יחס מסות**

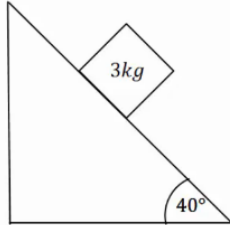
שתי מסות תלויות באמצעות חוטים וגלגלות אידיאלים לפי האיור הבא. המערכת נמצאת במנוחה.



- מצא את היחס בין המסות:  $\left(\frac{m_1}{m_2} = ?\right)$ .
- מצא את המתוחות בכל חוט במערכת, אם ידוע ש:  $m_2 = 40\text{gr}$ .

## המישור המשופע:

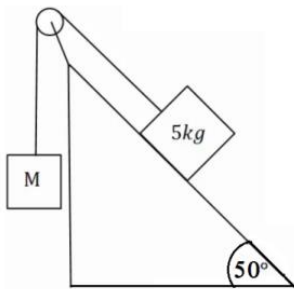
## 24) מסה בשיפוע



מסה של 3 ק"ג נמצאת במנוחה על מישור משופע בעל זווית של 40 מעלות. בין המסה למדרון קיים חיכוך, ומקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.2$ .

א. שרטט תרשים כוחות לבעיה.  
ב. מצא את גודלם של הכוח הנורמלי והחיכוך.

## 25) מסה בשיפוע ומסה באוויר

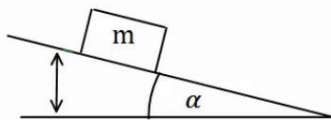


מסה של 5 ק"ג מונחת על מישור משופע בעל זווית של 50 מעלות. המסה מחוברת באמצעות חוט אידיאלי ודרך גלגלת אידיאלית למסה נוספת M התלויה באוויר מצידו השני של המישור.

א. מצא את גודלה של המסה M, על מנת שהמערכת תשאר במנוחה כאשר אין חיכוך בבעיה.  
כעת נתון שבין המסה למדרון קיים חיכוך, ומקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.3$ .

ב. מצא מה הוא גודלה המקסימלי והמינימלי האפשרי של M, על מנת שהמערכת תשאר במנוחה.

## 26) זווית החלקה

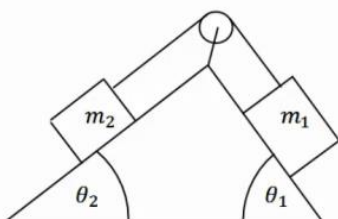


מסה m מונחת על מישור משופע ונמצאת במנוחה. מגדילים את זווית השיפוע של המישור בקצב איטי.

א. מצא את הזווית בה תתחיל המסה להחליק אם מקדם החיכוך הסטטי בין המסה למישור הוא:  $\mu_s = 0.2$ .  
תרגול בפרמטרים.

ב. פתור את סעיף א' שוב כאשר מקדם החיכוך נתון כפרמטר  $\mu_s$  ללא ערך מספרי.  
ג. חשוב על דרך כללית למדידת מקדם החיכוך הסטטי של גוף עם משטח כלשהו.

## 27) שתי מסות שני שיפועים



במערכת הבאה ישנו מדרון עם שיפוע שונה משני צידיו, זוויות השיפוע הן  $\theta_1, \theta_2$ . שתי מסות שונות  $m_1, m_2$  מונחות בשני צידי המדרון. המסות מחוברות באמצעות חוט אידיאלי, ודרך גלגלת אידיאלית המקובעת למדרון. אין חיכוך בין המדרון למסות.

נתון:  $\theta_1, \theta_2, m_1$  וכי המערכת נמצאת במנוחה. מצא את  $m_2$ .

**28 שתי מסות שני שיפועים וחיכוך**

במערכת הבאה ישנו מדרון עם שיפוע שונה משני צידיו,

זוויות השיפוע הן:  $\theta_1, \theta_2$ .

שתי מסות שונות  $m_1, m_2$  מונחות בשני צידי המדרון.

המסות מחוברות באמצעות חוט אידיאלי,

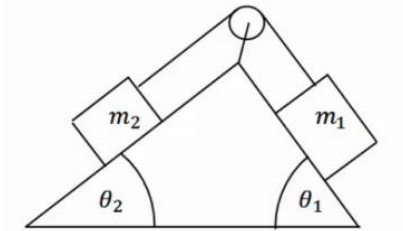
ודרך גלגלת אידיאלית המקובעת למדרון.

בין המסות למדרון קיים חיכוך.

המסות נעות במהירות קבועה עם כיוון השעון.

נתון:  $\mu_k, \theta_1, \theta_2, m_1$ .

מצא את  $m_2$ .



**תשובות סופיות:**

(1)  $\sum \vec{F} = (6.14, -2.04)$

(2)  $\sum \vec{F} = (-1.20, 0)$

(3)  $\sum F_x = -3.03N, \sum F_y = -3.47N$

(4) גודל:  $|\vec{F}| \approx 3.84N$ , כיוון:  $\theta_{F_3} = -3.14^\circ$ .

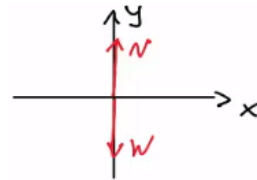
(5)  $T = 20N$

(6)  $T_1 = 21.96N, T_2 \approx 26.90N$

(7)  $T_1 \approx 26.30N, T_2 \approx 19.48N$

(8) א. גודל:  $N = 20$ , כיוון: כלפי מעלה.

ג. גודל:  $N = 20$ , כיוון: כלפי מטה.



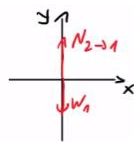
(9) א.  $T = 50N$ . ב. גודל:  $T = 50N$ , כיוון: מטה.

ג. גודל:  $|\vec{F}| = 50$ , כיוון: מעלה.

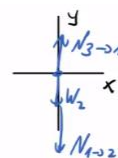
(10)  $T = 50N$

א.  $N_{32} = 50$

ב.  $N_{21} = 20$



$m_1 \vec{a}$



$m_2 \vec{a}$

(11) א.

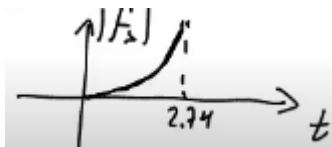
ד.  $N_{23} = 50N\hat{y}$

(12) א. גודל:  $N_{32} = 30N$ , כיוון: כלפי מעלה. ב. גודל:  $N_{43} = 60N$ , כיוון: כלפי מעלה.

(13) א.  $f_{s,max} = 12N$ . ב.  $\vec{f}_s = -10\hat{x}$

(14) א.  $f_{s,max} = 18N$ . ב.  $\vec{f}_s = -15\hat{x}_N$

(15) א.  $f_{s,max} = 15N$ . ב.  $t = 2.74sec$ . ג.



(16) א.  $F_{max} = 8.858N$ . ב.  $f_s = 4.330N$

(17)  $F_{Dani} = T = 40N$

(18)  $T \approx 41.41N$

א.  $F = 600.58N$

ב.  $F \approx 371.57N$

ג.  $F = 375.23N$

ד.  $F = 400N$

$$F = 18\text{N} \quad \text{ג.} \quad T = 6\text{N} \quad \text{ב.} \quad F_{\max} = 27\text{N} \quad \text{א.} \quad (20)$$

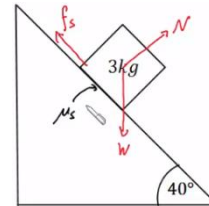
$$T = 8.86\text{N} \quad \text{ב.} \quad F_{\max} = 33.34\text{N} \quad \text{א.} \quad (21)$$

$$\theta = 45^\circ, F = 56.57\text{N} \quad \text{ב.} \quad T = 40\text{N} \quad \text{א.} \quad (22)$$

ג. לא.

$$T_2 = 0.4\text{N}, T_1 = 0.2\text{N} \quad \text{ב.} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2} \quad \text{א.} \quad (23)$$

$$f_s = mg \cos 50^\circ \approx 19.28\text{N}, N \approx 22.98\text{N} \quad \text{ב.} \quad (24)$$



$$M_{\max} = 4.79\text{kg}, M_{\min} = 2.87\text{kg} \quad \text{ב.} \quad M = 3.83\text{kg} \quad \text{א.} \quad (25)$$

$$\alpha = \arctan(\mu_s) \quad \text{ב.} \quad \alpha = 11.31^\circ \quad \text{א.} \quad (26)$$

ג. ראה סרטון.

$$m_2 = m_1 \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (27)$$

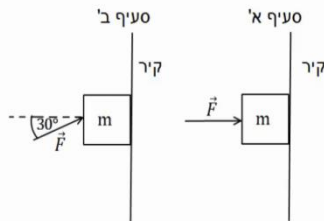
$$m_2 = m_1 \left( \frac{-\mu_k \cos \theta_1 + \sin \theta_1}{\sin \theta_2 + \mu_k \cos \theta_2} \right) \quad (28)$$

## תרגילים נוספים לחוק ראשון ושלישי:

### שאלות:

#### (1) מסה מוצמדת לקיר

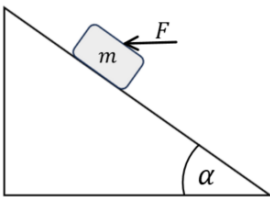
ארגז בעל מסה של 2 ק"ג מוצמד לקיר באמצעות כוח אופקי. מקדם החיכוך הסטטי בין הארגז לקיר הוא: 0.3.



- א. מה הגודל המינימלי של הכוח המאפשר לשמור על הארגז במנוחה?  
 ב. חזור על סעיף א' עבור המקרה בו הכוח פועל בזווית של  $30^\circ$  כלפי מעלה ביחס לאופק.

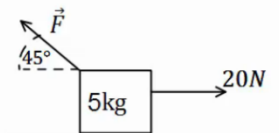
#### (2) כוח אופקי מיני ומקס על מסה בשיפוע

מסה:  $m = 2\text{kg}$  מונחת על מדרון משופע בעל זווית:  $\alpha = 37^\circ$ . מקדם החיכוך הסטטי בין המסה למדרון הוא:  $\mu_s = 0.15$ . כוח אופקי  $F$  פועל על המסה ומחזיק אותה במנוחה. מהו  $F$  המינימלי והמקסימאלי כך שהמסה תשאר במנוחה?



#### (3) קופסה עם כוח לא ידוע

קופסה בעלת מסה של 5 ק"ג מונחת על משטח אופקי. כוח של 20 ניוטון מושך את הקופסה ימינה במקביל לציר ה- $x$ . בין המשטח לקופסה קיים חיכוך, מקדם החיכוך הקינטי הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

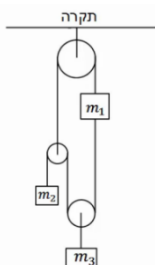


כוח נוסף מופעל על הקופסה אחורנית בזווית של  $45^\circ$ . מצא את גודלו של הכוח אם ידוע שהמסה נעה ימינה במהירות קבועה.

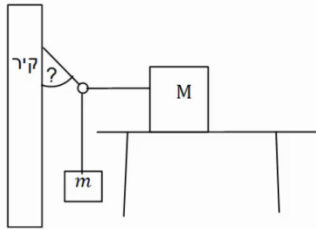
#### (4) מערכת גלגלות

במערכת הבאה כל הגלגלות והחוט הם אידיאליים. המסות  $m_1, m_2$  נתונות.

מצא את  $m_3$  ואת המתחויות בכל חוט, אם ידוע כי כל המערכת נמצאת במנוחה.

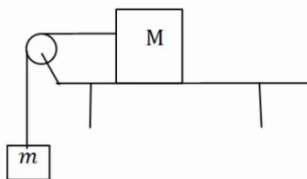


### 5) מסה על שולחן, מסה תלויה, טבעת וקיר



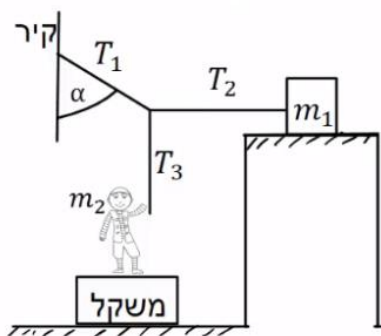
קופסה בעלת מסה  $M$  מונחת על שולחן. הקופסה קשורה בחוט אידיאלי לטבעת חסרת מסה. מסה  $m$  תלויה גם כן באמצעות חוט אידיאלי מהטבעת ונמצאת באוויר. חוט נוסף מחבר את הטבעת לקיר. ידוע כי מקדם החיכוך הסטטי בין המסה  $M$  לשולחן הוא:  $\mu_s$ , וכי כוח החיכוך הפועל על המסה במצב הנ"ל מקסימלי. מצא את המתיחות בכל חוט ואת הזווית בה מחובר החוט לקיר, אם:  $M, m, \mu_s$  נתונים.

### 6) מקדם חיכוך מינימלי וכוחות על השולחן

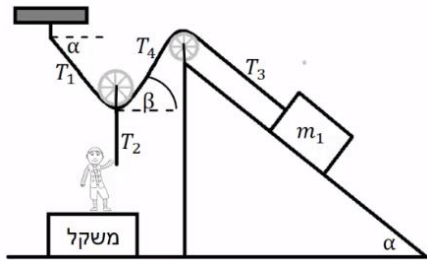


קופסה בעלת מסה  $M$  מונחת על שולחן. הקופסה קשורה בחוט אידיאלי ודרך גלגלת אידיאלית לקופסה נוספת בעלת מסה  $m$  התלויה באוויר. בין השולחן לקופסה קיים חיכוך, מקדם החיכוך הסטטי אינו ידוע. א. מצא מהו ערכו המינימלי האפשרי של מקדם החיכוך הסטטי, אם ידוע שהמערכת נמצאת במנוחה. הנח שהמסות נתונות. ב. מהו הכוח שמפעיל המוט המחזיק את הגלגלת על הגלגלת? ג. מהו הכוח הכולל הפועל על השולחן מהמערכת (מסות והמוט שמחזיק את הגלגלת)? ד. מהו הכוח הנורמלי ומהו כוח החיכוך הפועלים על השולחן מהרצפה? (התייחס למסת השולחן כנתונה).

### 7) נער מושך בחוטים



מסה  $m_1$  מונחת על משטח אופקי לא חלק. נער שמסתו  $m_2$  מושך את קצה החוט  $T_3$ , כך שהמסה  $m_1$  על סף תנועה. הנער עומד על משקל. נתון:  $\mu_s = 0.2$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $m_2 = 50\text{kg}$ . החוט  $T_2$  אופקי ו- $T_3$  אנכי. הוראת המשקל היא:  $450\text{N}$ . א. חשב את המתיחות בחוטים:  $T_1$ ,  $T_2$  ו- $T_3$ . ב. חשב את ערכה של מסה  $m_1$ .

**8) נער מושך בחוטים שוב**

מסה  $m_1$  מונחת על משטח משופע לא חלק.

נער שמסתו  $m_2$  מושך את קצה החוט  $T_2$ .

החוט  $T_2$  מחובר למרכז הגלגלת חסרת חיכוך ומסה. הנער עומד על משקל.

נתון:  $\mu_s = 0.2$ ,  $\alpha = 40^\circ$ ,  $m_1 = 80\text{kg}$ ,  $m_2 = 60\text{kg}$ .

החוט  $T_2$  מאונך ו-  $T_3$  מקביל למדרון.

הוראת המשקל היא:  $120\text{N}$ .

א. חשב את הזווית  $\beta$  (הזווית בין החוט לאופק).

ב. חשב את המתוחות בחוטים:  $T_1, T_2, T_4$ .

ג. מצא את גודלו וכיוונו של כוח החיכוך בין  $m_1$  למדרון.

**9) נער מושך בעגלה הקשורה למשקולת**

בתרשים שלפניך מוצגת מערכת.

אדם מושך עגלה שמסתה  $m_1 = 15\text{kg}$  באמצעות חוט.

החוט בזווית  $\alpha = 30^\circ$  עם הציר האופקי, ראה תרשים. החיכוך בין העגלה למשטח ניתן להזנחה.

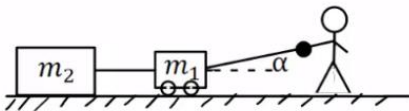
לעגלה מחוברת משקולת  $m_2 = 25\text{kg}$ .

מקדם החיכוך בין המשקולת למשטח שווה  $\mu_k = 0.2$ .

מערכת הגופים נעים במהירות קבועה.

א. מהי המתוחות בחוט בין העגלה למשקולת?

ב. מהו הכוח שהאדם מושך את מסה  $m_1$ ?

**10) אדם הולך על קרש על מישור משופע \*\***

קרש שמסתו  $M$  מונח על מישור משופע חלק הנטוי בזווית  $\theta$ .

אדם שמסתו:  $m = 0.4M$  הולך על גבי הקרש.

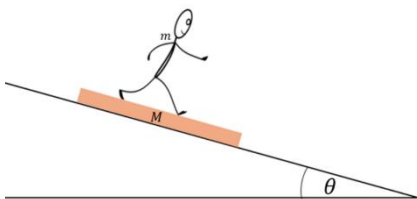
בין האדם לקרש קיים חיכוך. הניחו שהכוח שמפעיל האדם על הקרש קבוע ושהמישור מקובע.

א. באיזה כיוון צריך האדם ללכת כך שהקרש יישאר במנוחה?

ב. מה צריכה להיות תאוצת האדם בסעיף א?

ג. מהו מקדם החיכוך הסטטי המינימלי המאפשר את המצב בסעיף א? (בהליכה החיכוך עם המשטח הוא סטטי למרות שיש תנועה)

ד. האדם משנה את הליכתו כך שעכשיו הוא נשאר במקום ביחס לקרקע והקרש נע ביחס לקרקע. מה כיוון הליכתו של האדם ומהי תאוצת המשטח במקרה זה?



**תשובות סופיות:**

$$F \geq 26.32\text{N} \quad \text{ב.} \quad F_{\min} = 66.67\text{N} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$F_{\min} = 10.8\text{N}, F_{\max} = 20.4\text{N} \quad (2)$$

$$F \approx 17.68\text{N} \quad (3)$$

$$T_1 = (m_1 + m_2)g, T_2 = m_2g, T_3 = 2m_2g, T_4 = 2(m_1 + m_2), m_3 = 2m_2 \quad (4)$$

$$\cot \alpha = \frac{m}{\mu_s M} \quad (5)$$

$$\sum F_y = (-M + m)g \quad \text{ג.} \quad F = \sqrt{2}mg \quad \text{ב.} \quad \mu_{s_{\min}} = \frac{m}{M} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$N = -\sum F_y = (M + m)g + \tilde{M}g \quad \text{ד.}$$

$$m_1 = 14.5\text{kg} \quad \text{ב.} \quad T_1 = 57.7\text{N}, T_2 = 28.9\text{N}, T_3 = 50\text{N} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$T_2 = 480\text{N}, T_1 = T_4 \approx 373\text{N} \quad \text{ב.} \quad \beta = 40^\circ \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$\text{ג.} \quad f_s = 141\text{N} \quad \text{כיוון: במעלה המדרון.}$$

$$T_1 = 57.7\text{N} \quad \text{ב.} \quad T_2 = 50\text{N} \quad (9)$$

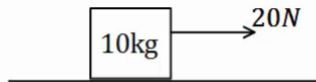
$$\mu_{s_{\min}} = \frac{\tan \theta}{0.4} \quad \text{ג.} \quad \frac{7}{2}g \sin \theta \quad \text{ב.} \quad \text{א.} \quad \text{במורד המישור.} \quad (10)$$

$$\text{ד.} \quad \text{במעלה המישור.} \quad a = 1.4g \sin \theta$$

## חוק שני של ניוטון:

### שאלות:

#### (1) דוגמה 1

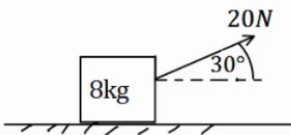


כוח של 20 ניוטון מופעל על ארגז בעל מסה של 10 ק"ג.  
אין חיכוך בין הארגז לרצפה.

א. מצא את תאוצת הארגז.

ב. כמה זמן ייקח להזיז את הארגז למרחק של 30 מטרים באמצעות כוח זה, אם נתון שהארגז התחיל תנועתו ממנוחה?

#### (2) דוגמה 2



כוח של 20 ניוטון פועל בזווית של 30 מעלות מעל האופק.  
הכוח מופעל על ארגז בעל מסה של 8 ק"ג.  
הארגז נמצא במנוחה ונתון כי בין הארגז לרצפה קיים חיכוך.

מקדמי החיכוך הסטטי והקינטי הם:  $\mu_s = 0.2, \mu_k = 0.1$ .

א. בדוק האם הארגז נשאר במנוחה או מתחיל לנוע.

ב. כמה זמן ייקח להזיז את הארגז למרחק של 30 מטרים באמצעות כוח זה?

ג. חזור על הסעיפים אם הכוח היה בזווית של 70 מעלות.

#### (3) מרחק עצירה

דני נוסע במכוניתו במהירות של 54 קמ"ש, ולפתע הוא מבחין כי רמזור הנמצא 50 מטרים לפניו הופך לאדום. דני לוחץ על הבלמים ומתחיל בעצירה.

מקדם החיכוך הקינטי בין הגלגלים לרצפה הוא:  $\mu_k = 0.3$ .

הנח שהגלגלים ננעלים ואין למכונית מערכת ABS.

א. האם דני יספיק לעצור לפני הרמזור?

ב. בדוק שוב האם דני יספיק לעצור, אך הפעם הוסף זמן תגובה של שנייה אחת (הזמן מהרגע שבו דני מבחין באור עד אשר הוא לוחץ על הבלמים).

#### (4) כוח קבוע נפסק בפתאומיות

מסה של 2 ק"ג נמצאת במנוחה על משטח אופקי.

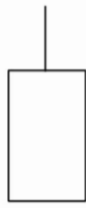
ברגע  $t = 0$  מתחיל לפעול על המסה כוח אופקי של 10N.

המסה מתחילה לנוע בהשפעת הכוח במשך 4 שניות, ואז נפסק הכוח בפתאומיות.

מקדם החיכוך הקינטי בין המסה לקרקע הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

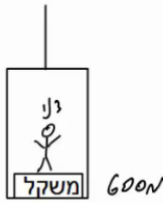
א. מה המרחק אותו עבר הגוף עד ל-  $t = 4\text{sec}$ ?

ב. מהו המרחק הכולל אותו עבר הגוף עד לעצירתו שוב?

**(5) כוחות על מעלית**

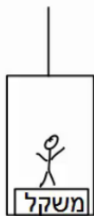
מעלית עולה בתאוצה של 0.5 מטרים לשנייה בריבוע, באמצעות כבל הקשור לתקרתה. מסת המעלית היא 600 ק"ג.

- שרטט תרשים כוחות על המעלית.
- הקפד על הגודל היחסי של כל וקטור בשרטוט.
- שרטט את שקול הכוחות ואת וקטור התאוצה.
- מהי המתוחות בכבל?

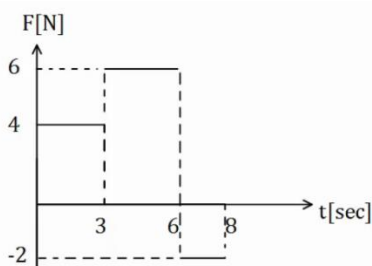
**(6) משקל במעלית**

דני מודד את משקלו בתוך מעלית. משקלו כאשר המעלית במנוחה הוא 600 ניוטון.

- מהי מסתו של דני?
- מה יראה המשקל אם המעלית יורדת במהירות קבועה של 3 מטרים לשנייה?
- מה יראה המשקל אם המעלית עולה בתאוצה של 3 מטר לשנייה בריבוע?
- מה יראה המשקל אם המעלית יורדת בתאוצה של 3 מטר לשנייה בריבוע?
- מה יראה המשקל אם המעלית נופלת נפילה חופשית?

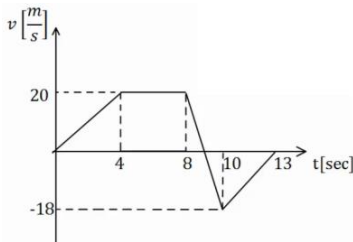
**(7) עוד משקל במעלית**

יוסי נמצא במעלית ומודד את מסתו באמצעות משקל. יוסי מודד פעם אחת כאשר המעלית נמצאת בתאוצה כלפי מעלה של 3 מטרים לשנייה בריבוע, ופעם אחת כאשר המעלית נמצאת בתאוצה כלפי מטה של 1 מטר לשנייה בריבוע. ההפרש בין המדידות הוא 12 ק"ג. מהי מסתו האמיתית של יוסי?

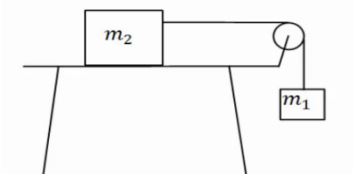
**(8) גרפים 1**

בגרף הבא נתון הכוח הפועל על גוף כתלות בזמן.

- מצא את תאוצת הגוף כתלות בזמן אם מסת הגוף היא 5 ק"ג.
- מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן אם מהירותו ההתחלתית היא:  $v_0 = 0$ .
- מצא את מיקום הגוף כתלות בזמן אם המיקום ההתחלתי הוא:  $x_0 = 0$ .

**9) גרפים 2**

גוף בעל מסה של 3 ק"ג נע לאורך קו ישר. מהירות הגוף כתלות בזמן נתונה לפי הגרף הבא. מצא את שקול הכוחות הפועל על הגוף בכל רגע, ושרטט גרף של השקול כתלות בזמן.

**10) מסה על שולחן מחוברת למסה תלויה**

במערכת הבאה המסה  $m_2 = 5\text{kg}$  נמצאת על שולחן אופקי ומחוברת דרך חוט אידיאלי למסה התלויה באוויר  $m_1$ . בין השולחן ל- $m_2$  קיים חיכוך ומקדמי החיכוך הם:  $\mu_s = 0.3$ ,  $\mu_k = 0.2$ .

המערכת מתחילה ממנוחה וגובה המסה  $m_1$  מעל הקרקע הוא:  $3\text{m}$ .

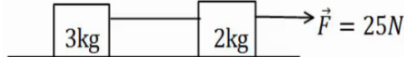
א. מצא את גודלה המינימלי של  $m_1$ , עבודה המערכת תהיה בתנועה.

ב. הנח שגודלה של  $m_1$  כפול מזה שחישבת בסעיף הקודם.

מהן תאוצות המסות?

ג. כמה זמן ייקח למסה להגיע אל הקרקע?

ד. מהן מהירויות המסות ברגע זה?

**11) כוח מושך מסה שמושכת מסה**

מסה של 2 ק"ג נמצאת במנוחה על משטח אופקי. המסה מחוברת באמצעות חוט אידיאלי למסה נוספת של 3 ק"ג הנמצאת במנוחה על המשטח גם כן. כוח אופקי של 25 ניוטון מושך את המסה הראשונה כלפי ימין.

א. מצא את תאוצות המסות ואת המתיחות בחוט אם המשטח חלק (חסר חיכוך).

ב. חזור על סעיף א' במידה וקיים חיכוך בין המסות למשטח, ומקדם החיכוך

הקינטי הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

**12) כוח מושך מסה שמושכת מסה שמושכת מסה**

מסה של 2 ק"ג נמצאת במנוחה על משטח אופקי. המסה מחוברת באמצעות

חוט אידיאלי למסה נוספת של 3 ק"ג הנמצאת במנוחה על המשטח גם כן.

המסה השנייה מחוברת למסה של 4 ק"ג בצורה דומה.

כוח אופקי של 60 ניוטון מושך את המסה הראשונה כלפי ימין.

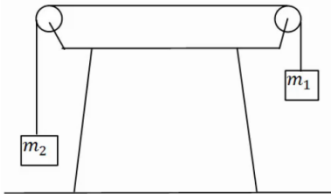
א. מצא את תאוצות המסות ואת המתיחות בחוטים אם המשטח חלק (חסר חיכוך).

ב. חזור על סעיף א' במידה וקיים חיכוך בין המסות למשטח ומקדם

החיכוך הקינטי הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

**13 שתי מסות תלויות**

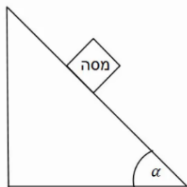
במערכת הבאה שתי מסות שונות:  $m_1 = 3\text{kg}$ ,  $m_2 = 1\text{kg}$ .  
 המסות מחוברות באמצעות חוט אידיאלי ודרך גלגלות אידיאליות.  
 המערכת מתחילה ממנוחה וגובה המסה  $m_1$  מעל הקרקע הוא:  $2m$ .



- שרטט תרשים כוחות עבור כל מסה.
- חשב את תאוצת הגופים.
- לאיזה כיוון תתחיל המערכת לנוע?
- כמה זמן ייקח למסה להגיע אל הקרקע?
- מהי מהירות המסות ברגע זה?

**14 מדרון משופע בסיסי**

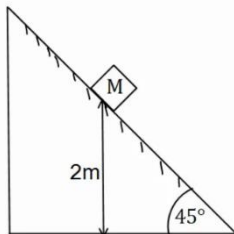
מסה מונחת על מדרון משופע בעל זווית  $\alpha$ .  
 אין חיכוך בין המסה למדרון.



- שרטט תרשים כוחות על המסה.
- בטא את תאוצת המסה באמצעות הזווית.
- רשום משוואת מיקום-זמן ומהירות-זמן של המסה.

**15 מדרון משופע עם חיכוך**

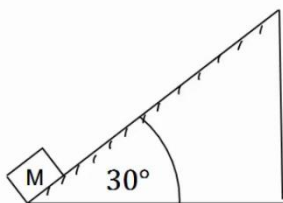
מסה  $M$  מונחת על מדרון משופע בגובה של 2 מטרים.  
 זווית השיפוע של המדרון היא  $45^\circ$  מעלות ומקדמי החיכוך  
 הסטטי והקינטי בין המסה למדרון הם:  $\mu_s = 0.2$ ,  $\mu_k = 0.1$ .



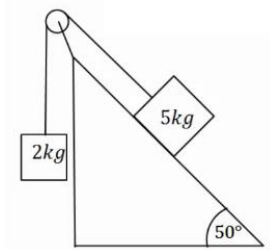
- האם המסה תתחיל להחליק או תישאר במנוחה?
- מצא תוך כמה זמן תגיע המסה לתחתית המדרון.  
 מהי מהירותה ברגע זה?

**16 מסה נזרקת במעלה המדרון**

מסה  $M$  נזרקת במעלה מדרון משופע במהירות התחלתית של:  $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .  
 זווית המדרון היא  $30^\circ$  מעלות. מקדמי החיכוך הסטטי והקינטי בין המסה  
 למדרון הם:  $\mu_s = 0.25$ ,  $\mu_k = 0.2$ .



- מצא את תאוצת המסה.
- רשום משוואת מיקום-זמן עבור תנועת המסה.
- מתי מגיעה המסה לשיא גובה תנועתה על המדרון?
- האם המסה תיעצר בשיא הגובה?
- כמה זמן ייקח למסה לחזור לתחתית המדרון  
 מהרגע שבו התחילה תנועתה?

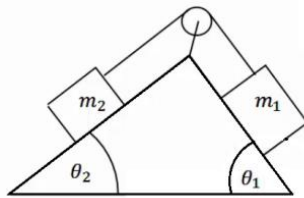
**17) מסה בשיפוע ומסה תלויה**

מסה של 5 ק"ג מונחת על מדרון משופע בעל זווית שיפוע של 50 מעלות. המסה מחוברת דרך חוט אידיאלי למסה של 2 ק"ג התלויה באוויר. אין חיכוך בין המסה למדרון. א. לאיזה כיוון תנוע המערכת? ב. מצא את תאוצת המערכת.

כעת הנח שקיים חיכוך ומקדמי החיכוך הם:  $\mu_s = 0.25$ ,  $\mu_k = 0.2$ .

ג. לאיזה כיוון יפעל החיכוך? האם החיכוך סטטי או קינטי?

ד. מצא שוב את תאוצת המערכת.

**18) שתי מסות שני שיפועים 2**

במערכת הבאה ישנו מדרון עם שיפוע שונה משני צידיו, זוויות השיפוע הן:  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ .

שתי מסות שונות  $m_1$ ,  $m_2$  מונחות בשני צידי המדרון.

המסות מחוברות באמצעות חוט אידיאלי ודרך גלגלת אידיאלית המקובעת למדרון. אין חיכוך בין המסות למדרון.

נתון:  $\theta_1 = 45^\circ$ ,  $\theta_2 = 30^\circ$ ,  $m_1 = 2\text{kg}$ ,  $m_2 = 4\text{kg}$ .

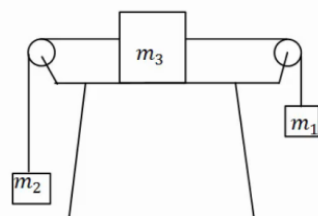
א. לאיזה כיוון תנוע המערכת?

ב. מצא את תאוצת המערכת.

כעת הנח שקיים חיכוך ומקדמי החיכוך הם:  $\mu_s = 0.25$ ,  $\mu_k = 0.2$ .

ג. לאיזה כיוון יפעל החיכוך והאם החיכוך סטטי או קינטי?

ד. מצא שוב את תאוצת המערכת.

**19) מסה על שולחן ושתי מסות תלויות**

מסה  $m_3$  מונחת על שולחן במנוחה.

המסה קשורה משני צידיה לחוטים אידיאליים.

כל חוט עובר דרך גלגלת ומחובר למסה שונה

התלויה באוויר (ראה איור).

הנח שהמסות לא פוגעות ברצפה.

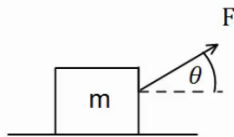
נתון:  $m_1 = 14\text{kg}$ ,  $m_2 = 2\text{kg}$ ,  $m_3 = 4\text{kg}$ .

א. מצא את תאוצות המסות והמתיחות בחוטים אם אין חיכוך בין  $m_3$  לשולחן.

כעת הנח שיש חיכוך בין  $m_3$  לשולחן ומקדמי החיכוך הם:  $\mu_s = 0.25$ ,  $\mu_k = 0.2$ .

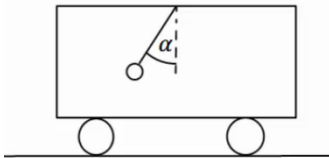
ב. האם המערכת תהיה במנוחה או בתנועה?

ג. מצא שוב את תאוצת הגופים והמתיחות בחוטים.

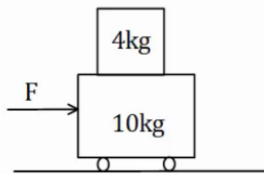
**20) זווית אופטימלית למשיכה**

כוח  $F$  מושך ארגז בעל מסה  $m$  בזווית  $\theta$  מעל האופק. מקדם החיכוך בין הארגז לקרקע הוא  $\mu_k$ .

- מצא את תאוצת הכוח כתלות בפרמטרים הרשומים בשאלה. (הנח כי יש תנועה והארגז לא מתרומם מעל הקרקע).
- הנח כי מקדם החיכוך הקינטי הוא 0.3. בדוק באילו מהערכים הבאים של הזווית יש את התאוצה הגבוהה ביותר:  $\theta = -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ .
- מצא את הזווית המדויקת בה התאוצה תהיה מקסימלית. השתמש בנגזרת.

**21) מטוטלת במכונית**

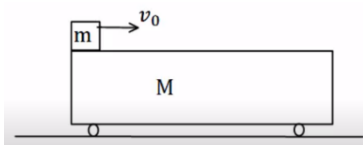
- מטוטלת קשורה לתקרת מכונית. המטוטלת נמצאת בזווית קבועה ונתונה  $\alpha$ , ביחס לאנך מתקרת המכונית.
- מצא מהי תאוצת המכונית (גודל וכיוון).
  - האם ניתן לדעת מה כיוון תנועת המכונית?

**22) מסה של 4 על עגלה של 10**

- מסה של 4 ק"ג מונחת מעל עגלה בעלת מסה של 10 ק"ג. החיכוך בין העגלה למשטח זניח. מקדם החיכוך הסטטי בין המסה לעגלה הוא:  $\mu_s = 0.2$ . כוח אופקי  $F$  מופעל על המסה התחתונה ימינה. מהו הכוח המקסימלי הניתן להפעיל כך שהמסה העליונה לא תחליק על העגלה.

**23) מסה מחליקה על עגלה**

מסה  $m$  מונחת מעל עגלה בעלת מסה  $M$  הנמצאת במנוחה. המסה מונחת בקצה השמאלי של העגלה.



נותנים למסה העליונה בלבד מהירות התחלתית  $v_0$ . בין המסה לגג העגלה קיים חיכוך והחיכוך בין העגלה למשטח זניח.

נתון:  $\mu_k = 0.2$ ,  $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $M = 12\text{kg}$ ,  $m = 3\text{kg}$ .

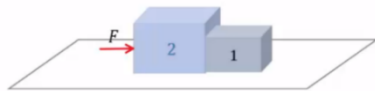
- מצא את הביטוי למיקום ולמהירות של המסה כתלות בזמן.
- מצא את הביטוי למיקום והמהירות של העגלה כתלות בזמן.
- מהי המהירות הסופית של שני הגופים בהנחה שהמסה לא נופלת מהעגלה?

**24) מסה צמודה למשאית**

מסה  $m$  מונחת בצמוד לחלקה הקדמי של משאית.  
 בין המסה למשטח קיים חיכוך. נתון:  $\mu_s, m$ .  
 מהי התאוצה המינימלית הדרושה למשאית על מנת  
 שהמסה לא תיפול?

**25) כוח דוחף שתי קופסאות צמודות**

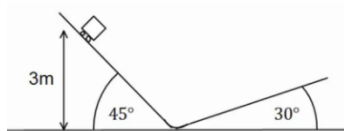
שתי תיבות נמצאות צמודות זו לזו על משטח אופקי חסר חיכוך.  
 מסות התיבות הן:  $m_1 = 3\text{kg}$  ו-  $m_2 = 5\text{kg}$ . כוח אופקי  
 דוחף את תיבה 2 שדוחפת את תיבה אחת כפי שמתואר בתרשים.  
 גודל הכוח הוא:  $F = 16\text{N}$ . חשב את:



- התאוצה של כל תיבה.
- הכוח הנורמלי  $N_{1 \rightarrow 2}$  שבו התיבה הראשונה דוחפת את השנייה.
- הכוח הנורמלי  $N_{2 \rightarrow 1}$  שבו התיבה השנייה דוחפת את הראשונה.

**26) קופסה בין מדרונות**

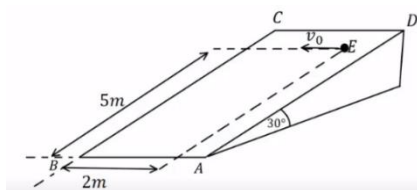
קופסה קטנה עם גלגלים מונחת על מישור משופע בעל זווית של  $45^\circ$  מעלות.  
 הקופסה משוחררת ממנוחה מגובה של 3 מטרים  
 ומתחילה בתנועה. בתחתית המדרון הקופסה עוברת  
 למדרון משופע אחר בעל זווית של  $30^\circ$  מעלות.  
 הזנח אפקטים המתרחשים בעת המעבר והנח כי גודל  
 מהירות הקופסה במעבר בין המדרונות נשאר זהה.



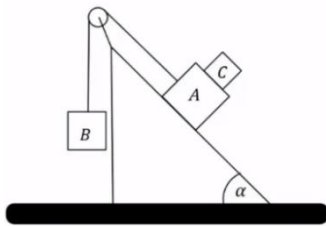
- מהו הגובה המקסימלי אליו תגיע הקופסה במדרון השני?  
 נחש מה יקרה לאחר מכן.
- חזור על סעיף א' אם נהג הקופסה שכח לשחרר את מעצור היד של הגלגלים  
 וקיים חיכוך קינטי בין הקופסה למשטח. מקדם החיכוך הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

**27) זריקה אופקית על מישור משופע**

מישור משופע חלק ABCD יוצר זווית של  $30^\circ$  מעלות עם הקרקע.  
 הנקודה E נמצאת במרחק 5m מהצלע AB ובמרחק 2m מהצלע BC.  
 מן הנקודה E נזרק כדור קטן על הלוח במהירות  
 התחלתית  $v_0$  שכיוונה מקביל לצלע AB.

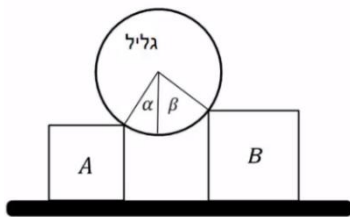


- צייר מערכת צירים ורשום את הכוחות הפועלים על הכדור בעת תנועתו על הלוח בכל ציר.
- מהי צורת המסלול של הכדור על הלוח?
- מצא את  $v_0$  עבורה הכדור יגיע בדיוק לנקודה B.
- מהי מהירות הכדור בנקודה B עבור ה-  $v_0$  שמצאת בסעיף ג'?

**28) גוף על גוף במישור משופע**

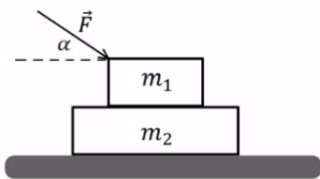
גוף A בעל מסה  $m_A$  וגוף B בעל מסה  $m_B$  מחוברים באמצעות חוט וגלגלת כמתואר באיור. גוף A מונח על מישור משופע חלק בעל זווית  $\alpha$ . גוף C בעל מסה  $m_C$  מונח על גוף A. מקדם החיכוך הסטטי בין הגופים ל-C הוא  $\mu_s$ . הבא את התשובות באמצעות:  $m_A, m_C, \alpha, \mu_s$ .

- מהי המסה המרבית של גוף B כך שגוף C וגוף A ינועו יחדיו במעלה המישור?
- מהי תאוצת הגופים והמתיחות בחוט אם המסה של גוף B היא זאת שמצאת בסעיף א' (או טיפה קטנה ממנה)?
- מהן תאוצות הגופים אם המסה של גוף B גדולה מזו שמצאת בסעיף א' ומקדם החיכוך הקינטי הוא  $\mu_k$ ?

**29) גליל על שני ארגזים**

גליל אחיד שמסתו  $m$  מונח על שני ארגזים שמסותיהם:  $m_A = m$  ו-  $m_B = 2m$ . לארגזים גבהים שונים והם מונחים על משטח אופקי. בין הגליל לארגזים אין חיכוך. כשהמערכת נמצאת בשיווי משקל יוצרים רדיוסי הגליל הנוגעים בפניות הארגזים זוויות של  $\alpha = 30^\circ$  ו-  $\beta = 45^\circ$  עם האנך לקרקע, ראה איור. נתונים:  $g, m$ .

- מה הכוח שמפעיל כל ארגז על הגליל?
- בהנחה שקיים אותו מקדם חיכוך בין הארגזים והמשטח, מהו גודלו המינימלי של מקדם החיכוך כך שהמערכת תישאר בשיווי משקל?

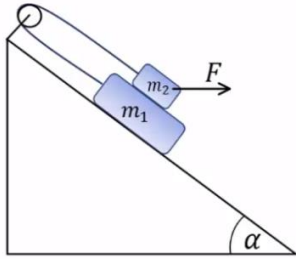
**30) כוח דוחף גוף על גוף**

שני גופים זהים שמסותיהם:  $m_1 = m_2 = m$  מונחים זה על גבי זה על גבי שולחן אופקי חלק (ראה איור). בין הגופים קיים חיכוך ומקדמי החיכוך הקינטי והסטטי הם:  $\mu_s, \mu_k$ . כוח חיצוני  $\vec{F}$  מופעל על הגוף העליון בזווית  $\alpha$  מתחת לאופק. הביעו את תשובתכם באמצעות הפרמטרים:  $F, \alpha, m, g, \mu_s, \mu_k$ .

- בהנחה שהגופים נעים יחדיו מהי התאוצה המשותפת?
- בהנחה שהגופים נעים יחדיו מהו גודלו של כוח החיכוך בין הגופים?
- מהו גודלו המקסימלי של  $\vec{F}$  כך שהגופים ינועו יחדיו?
- נתון כי:  $\mu_s = 0.2, \mu_k = 0.15, \alpha = 30^\circ$ .

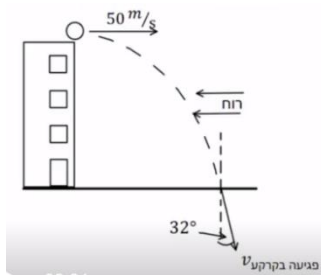
מצא את תאוצת כל גוף כאשר הכוח הדוחף הוא:  $F = \frac{1}{2}mg$ .

ה. חזור על סעיף ד' כאשר:  $F = 3mg$ .

**31) מסה על מסה מחוברות בגלגלת**

- נתונה מערכת הכוללת שני גופים :  $m_1 = 4\text{kg}$  ,  $m_2 = 3\text{kg}$   
 הגופים קשורים על ידי חוט וגלגלת אידאלית ומונחים על מישור משופע בעל זווית  $\alpha = 30^\circ$   
 מקדמי החיכוך בין הגופים הם :  $\mu_k = \mu_s = 0.4$   
 מקדמי החיכוך עם המישור הם :  $\mu_k = \mu_s = 0.3$   
 כוח אופקי F פועל על  $m_2$ .

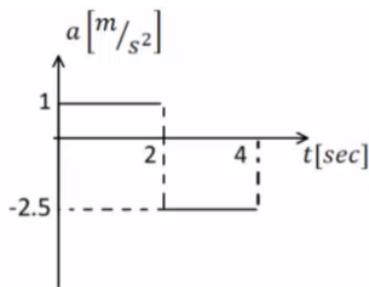
- א. מהו F המקסימלי כך שהגופים יישארו במנוחה?  
 ב. אם  $F = 40\text{N}$  מהי תאוצת הגופים?

**32) זריקה אופקית בהשפעת רוח\***

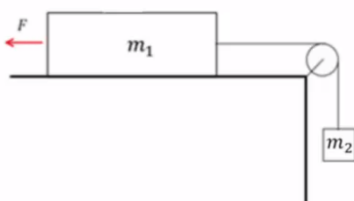
- כדור נזרק מגג בניין גבוה מאוד שגובהו 80 מטרים.  
 הכדור נזרק אופקית במהירות של 50 מטר לשניה.  
 2 שניות לאחר הזריקה מתחילה לנשוב רוח שמפעילה כוח F קבוע ואופקי בכיוון המנוגד למהירות ההתחלתית.  
 מסת הכדור היא 500 גרם.

א. ענה :

- i. האם הרוח משפיעה על הזמן שלוקח לכדור להגיע לקרקע?  
 ii. האם הרוח משפיעה על מהירות הפגיעה של הכדור בקרקע?  
 ב. נתון שהחבילה פוגעת בקרקע בזווית של 32 מעלות עם האנך לקרקע.  
 i. חשב את גודלו של הכוח F.  
 ii. שרטט גרפים של רכיבי המהירות כתלות בזמן עד לפגיעה בקרקע.  
 ג. מהי הסטייה של הכדור בפגיעתו בקרקע בעקבות הרוח?

**33) מסה על שולחן מחוברת למסה תלויה וכוח\***

- המערכת שמתוארת בתרשים משוחררת ממנוחה ונעה ימינה. הזניחו את מסת החוט ואת כל כוחות החיכוך. כעבור 2 שניות נקרע החוט והכוח F ממשיך לפעול. נתון :  $m_1 = 6\text{kg}$  ,  $F = 15\text{N}$   
 הגרף באיור מתאר את התאוצה של  $m_1$  כפונקציה של הזמן עבור 4 השניות הראשונות של התנועה. הכיוון החיובי הוא ימינה.



- א. עבור 2 השניות הראשונות של התנועה :  
 i. שרטטו את הכוחות הפועלים על כל גוף.  
 ii. רשמו את המיקום כתלות בזמן של  $m_1$ .  
 iii. חשבו את  $m_2$  ואת המתיחות בחוט.

- ב. האם  $m_1$  שינתה את כיוון תנועתה במהלך 4 השניות הראשונות? נמקו אם כן או לא. במידה וכן מצא את הזמן והמרחק בו התרחש השינוי.
- ג. שרטטו את המהירות כתלות בזמן עבור  $m_1$  ב-4 השניות של התנועה.
- ד. אם המשטח לא היה חלק, מהו מקדם החיכוך הסטטי המינימלי עבורו המערכת הייתה נשארת במנוחה?

### 34 חבילת סיוע לצוות רפואי



מסוק נשלח להטיל מהאוויר חבילה המכילה ציוד חיוני לצוות רפואי שנמצא על הקרקע. מסת החבילה 15 ק"ג ובעת הטלתה המסוק

$$v_0 = 198 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

טס אופקית במהירות: בגובה 90 מטר מעל הקרקע. 2 שניות אחרי תחילת נפילתה של החבילה החלה לנשוב רוח

שהפעילה על החבילה כוח אופקי  $F$  קבוע בכיוון המנוגד ל- $v_0$ . התייחסו לחבילה כאל גוף נקודתי.

הניחו כי פרט לכוח  $F$  האוויר אינו מפעיל שום כוח נוסף.

א. האם הרוח (המתבטאת כאן בכוח  $F$  קבוע שהחל לפעול 2 שניות לאחר תחילת התנועה) משפיעה על ערכם של:

i. הזמן שלקח לחבילה להגיע לקרקע? נמק.

ii. מהירות הפגיעה של החבילה בקרקע? נמק.

ב. חשבו את הכוח  $F$  אם נתון שהחבילה פגעה בקרקע בזווית 45 מעלות ממישור הקרקע האופקי.

ג. שרטטו במערכת צירים משותפת גרף מהירות-זמן של שני רכיבי מהירות החבילה  $v_x$  ו- $v_y$  מרגע השחרור ועד הפגיעה בקרקע.

ד. בכמה מטרים הייתה מוסטת נקודת הפגיעה של החבילה בקרקע אילו לא נשבה רוח במהלך תנועתה?

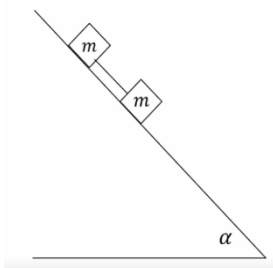
### 35 שתי מסות מחוברות בחוט על מישור משופע

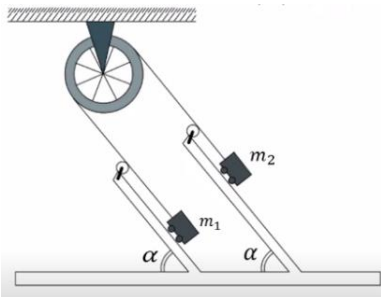
שני גופים בעלי מסה זהה  $m$  קשורים בחוט ונמצאים על מדרון משופע לא חלק בעל זווית  $\alpha$ .

משחררים את הגופים ממנוחה והם מתחילים להחליק במורד המדרון. מקדם החיכוך הקינטי בין שני הגופים

למשטח הוא  $\mu_k$ .

מצאו את המתיחות בחוט במהלך התנועה.



**36 מכונת אטווד משופעת**

תלמידים בנו מכונת אטווד "משופעת".

שתי העגלות נעות ללא חיכוך על לוחות משופעים כשהן קשורות בחוט שעובר דרך גלגלת שמסטה זניחה. זווית השיפוע  $\alpha$  ניתנת לשינוי.

מסות הגופים הן:  $m_1 = 3\text{kg}$ ,  $m_2 = 6\text{kg}$ .

בטאו תשובותיכם בסעיפים א', ב', ג' באמצעות  $\alpha$ .

א. תלמידה מחזיקה את העגלה  $m_2$  כך שלא תזוז.

מהי המתוחות בחוט?

ב. התלמידה משחררת את המסה  $m_2$ .

מהי תאוצת הגופים ומהי המתוחות בחוט כעת?

ג. החוט יכול לשאת עומס מקסימאלי של 25N.

מהו הערך המירבי של  $\alpha$  עבורו החוט לא ייקרע?

ד. בהנחה כי כעת מחובר חוט היכול לעמוד במתיחות גדולות מאוד,

מהי הזווית  $\alpha$  עבורה תאוצת הגופים היא מקסימאלית?

ה. מדוע הגדלה נוספת של הזווית מעבר לזווית שמצאתם בסעיף ד', לא

תמשיך ותגדיל את תאוצת הגופים ולא את המתוחות בחוט?

הניחו בסעיפים ד' ו-ה כי המרחק בין הלוחות גם הוא גדול מאוד ביחס לאורך החוט.

## תשובות סופיות:

$$a_x = 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{א.} \quad t = \sqrt{30} \text{ sec} \quad \text{ב.} \quad (1)$$

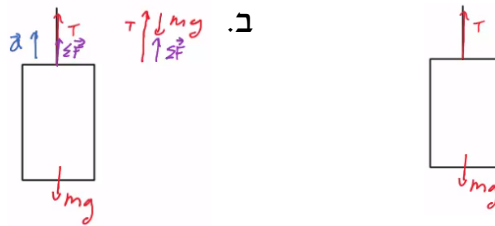
$$t \approx 6.82 \text{ sec} \quad \text{ב.} \quad \text{א. הגוף לא יכול להיות במנוחה.} \quad (2)$$

ג. סעיף א': נשאר במנוחה, סעיף ב': אין משמעות.

$$\Delta x \approx 37.5 \text{ m} < 50 \text{ m} \quad \text{א. כן, כי} \quad \Delta x = 52.5 \text{ m} > 50 \text{ m} \quad \text{ב. לא, כי} \quad (3)$$

$$x(t=4) = 24 \text{ m} \quad \text{א.} \quad x_F = 60 \text{ m} \quad \text{ב.} \quad (4)$$

$$T = 6300 \text{ N} \quad \text{ג.} \quad \text{א.} \quad (5)$$



$$m_{\text{Dani}} = 60 \text{ kg} \quad \text{א.} \quad m_{\text{Dani}} = 78 \text{ kg} \quad \text{ג.} \quad \text{ב. כמו סעיף א'.} \quad (6)$$

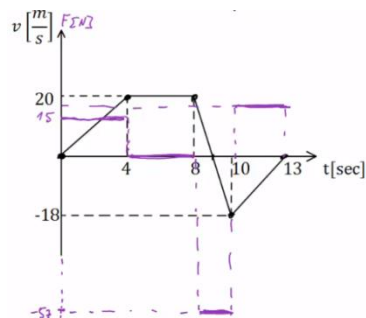
$$m_{\text{Dani}} = 42 \text{ kg} \quad \text{ד.} \quad \text{ה.} \quad 0$$

$$m_{\text{Yossi}} = 30 \text{ kg} \quad (7)$$

$$v(t) = \begin{cases} \frac{4}{5}t & 0 \leq t \leq 3 \\ \frac{12}{5} + \frac{6}{5}(t-3) & 3 \leq t \leq 6 \\ 6 - \frac{2}{5}(t-6) & 6 \leq t \leq 8 \end{cases} \quad \text{א.} \quad a = \begin{cases} \frac{4}{5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 0 < t < 3 \\ \frac{6}{5} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 3 < t < 6 \\ -\frac{2}{5} & 6 < t < 8 \end{cases} \quad \text{ב.} \quad (8)$$

$$x(t) = \begin{cases} \frac{2}{5}t^2 & 0 \leq t \leq 3 \\ \frac{18}{5} + \frac{12}{5}(t-3) + \frac{1}{2} \cdot \frac{6}{5}(t-3)^2 & 3 \leq t \leq 6 \\ \frac{81}{5} + 6(t-6) + \frac{1}{2} \left( -\frac{2}{5} \right) (t-6)^2 & 6 \leq t \leq 8 \end{cases} \quad \text{ג.}$$

$$\text{שקול הכוחות: } \sum F = 18 \text{ N}, \quad \text{גרף:} \quad (9)$$



(10) א.  $m_{\min} = 1.5\text{kg}$     ב.  $a = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$     ג.  $t \approx 1.55\text{sec}$

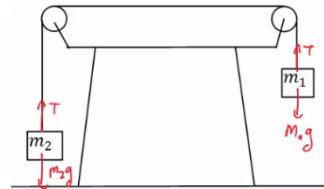
ד.  $v_1(t=1.55) \approx 3.87 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{y}$ ,  $v_2(t=1.55) \approx 3.87 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}$

(11) א. תאוצה:  $a = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ , מתיחות:  $T = 15\text{N}$ .    ב. תאוצה:  $a = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ , מתיחות:  $T = 15\text{N}$ .

(12) א. תאוצה:  $a \approx 6.67 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ , מתיחות:  $T = 46.68\text{N}$ .

ב. תאוצה:  $a \approx 4.67 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ .

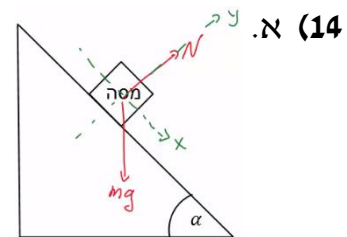
(13) א.    ב.  $a = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$     ג.  $m_1$  תרד כלפי מטה.



ד.  $t = \sqrt{\frac{4}{5}} \text{sec}$     ה.  $v(t=0.89) \approx 4.47 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ב.  $a_x = g \sin \alpha$     ג. מיקום-זמן:  $x(t) = \frac{1}{2} g \sin \alpha \cdot t^2$

מהירות-זמן:  $v(t) = g \sin \alpha \cdot t$



(15) א. תתחיל להחליק.    ב. הזמן:  $t \approx 0.94\text{sec}$ , המהירות:  $v(t=0.94) \approx 6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

(16) א.  $a = -g(\mu_k \cos 30^\circ + \sin 30^\circ) \approx -6.73 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$     ב.  $x(t) = 0 + 20 \cdot t - \frac{6.73}{2} \cdot t^2$

ג.  $t \approx 2.97\text{sec}$     ד. לא.    ה.  $t = 6.24\text{sec}$

(17) א. לכיוון המסה הגדולה יותר.    ב.  $a \approx 2.61 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

ג. סטטי, המערכת בתנועה.    ד.  $a \approx 1.7 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

(18) א. בכיוון  $m_2$ .    ב.  $a \approx 0.98 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$     ג. בכיוון  $m_1$ , סטטי.    ד. אין.

(19) א. תאוצה:  $a = 6 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ , מתיחות:  $T_{m_1} = 56\text{N}$ ,  $T_{m_2} = 32\text{N}$ .    ב. בתנועה.

ג.  $a = 5.6 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

$$\theta_0 \approx 16.6992^\circ \quad \text{ג.} \quad \theta = 20^\circ \quad \text{ב.} \quad a = \frac{F}{m}(\cos \theta + \mu_k \sin \theta) - \theta_k g \quad \text{א.} \quad (20)$$

$$\text{ב. לא.} \quad \text{א. גודל: } a_x = g \tan \alpha, \text{ כיוון: חיובי.} \quad (21)$$

$$F = \mu_s (m_1 + m_2) g = 28\text{N} \quad (22)$$

$$x(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2, \quad v(t) = \frac{1}{2} \cdot t \quad \text{ב.} \quad x(t) = 20 \cdot t - \frac{2}{2} t^2, \quad v(t) = 20 - 2 \cdot t \quad \text{א.} \quad (23)$$

$$v(t=8) = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.}$$

$$a_{\min} = \frac{g}{\mu_s} \quad (24)$$

$$\vec{N}_{2 \rightarrow 1} = 6\text{N}^{\hat{x}} \quad \text{ג.} \quad N_{1 \rightarrow 2} = 6\text{N} \quad \text{ב.} \quad a = 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{א.} \quad (25)$$

$$h_{\max} = 1.78\text{m} \quad \text{ב.} \quad h_{\max} = 3\text{m} \quad \text{א.} \quad (26)$$



$$\sum F_z = N - mg \cos 30^\circ, \quad \sum F_y = mg \sin 30^\circ, \quad \sum F_x = 0 \quad \text{א.} \quad (27)$$

$$v_y(t_B) \approx 7.07 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד.} \quad v_0 = \sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad \text{ב. פרבולה.}$$

$$m_{B\max} = \frac{(m_A + m_C) \mu_s \cos \alpha}{1 + \sin \alpha - \mu_s \cos \alpha} \quad \text{א.} \quad (28)$$

$$a = g(\mu_s \cos \alpha - \sin \alpha), \quad T = g(m_A + m_C) \mu_s \cos \alpha \quad \text{ב.}$$

$$a_C = (\mu_k \cos \alpha - \sin \alpha) g, \quad a_B = g \frac{(m_B - \mu_k m_C \cos \alpha - m_A \sin \alpha)}{m_A + m_B} \quad \text{ג.}$$

$$\mu_s \geq 0.224 \quad \text{ב.} \quad N_B = 0.518\text{mg}, \quad N_A = 0.732\text{mg} \quad \text{א.} \quad (29)$$

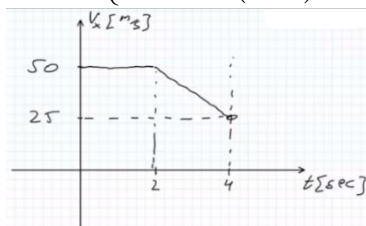
$$F_{\max} = \frac{2\mu_s mg}{\cos \alpha - 2\mu_s \sin \alpha} \quad \text{ג.} \quad f_s = \frac{F \cos \alpha}{2} \quad \text{ב.} \quad a = \frac{F \cos \alpha}{2m} \quad \text{א.} \quad (30)$$

$$a_1 = 22.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, \quad a_2 = 3.75 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ה.} \quad a \approx 2.17 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ד.}$$

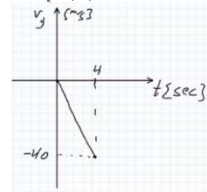
$$a = 1.81 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ב.} \quad F_{\max} = 31.05\text{N} \quad \text{א.} \quad (31)$$

$$F = 6.25\text{N} \quad \text{i.} \quad \text{ii. משפיעה.} \quad \text{א. i. אינה משפיעה.} \quad (32)$$

$$v_x(t) = \begin{cases} 50 & 0 < t < 2 \\ 50 - 12.5(t-2) & 2 < t < 4 \end{cases}$$



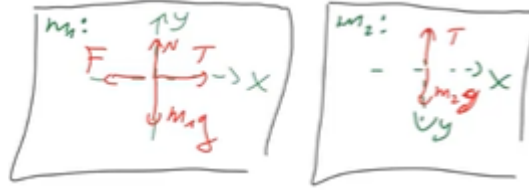
$$v_y(t) = -10 \cdot t \quad \text{ii}$$



$$\sigma_x = 25\text{m} \quad \text{ג.}$$

$$x(t) = \frac{1}{2}t^2 \quad \text{.ii}$$

33 א.i.

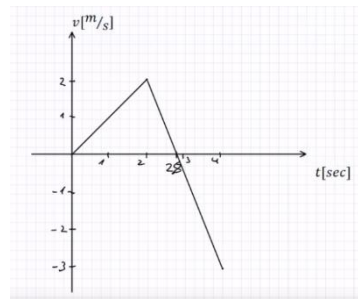


$$T = 21\text{N}, m_2 = 2.33\text{kg} \quad \text{.iii}$$

ב. כן, מכיוון שהשטח השלילי מתחת לגרף גדול מהשטח החיובי המהיר תשנה כיוון.

שינוי הכיוון:  $x = 2.8\text{m}$ ,  $t = 2.8\text{sec}$ .

$$\mu_{s \min} = 0.25 \quad \text{.ד}$$

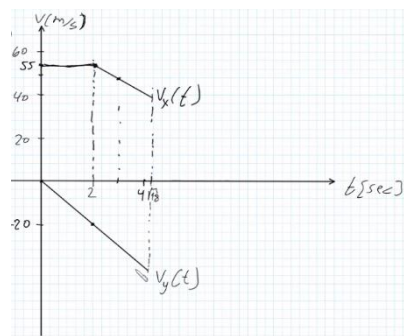


ג.

$$F \approx 84.1\text{N} \quad \text{.ב}$$

$$\Delta x = 14\text{m} \quad \text{.ד}$$

34 א.i. לא משפיעה. ii. משפיעה.



ג.

$$T = 0 \quad \text{(35)}$$

$$\alpha_{\max} = 90^\circ \quad \text{.ד}$$

$$\alpha_{\max} = 38.7^\circ \quad \text{.ג}$$

$$a = 3.35 \sin \alpha \quad \text{.ב}$$

$$T = 30 \sin \alpha \quad \text{(36)}$$

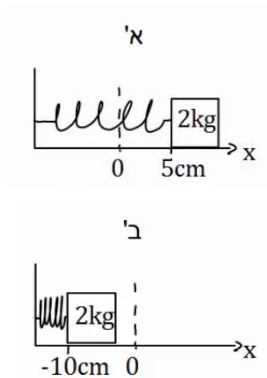
ה. המסות יתנתקו מהמשטח ויהיו תלויות אנכית, התאוצה תישאר אותו דבר כמו בזווית של  $90^\circ$ .

## הכוח האלסטי - קפיץ:

### שאלות:

#### (1) דוגמה 1

גוף בעל מסה של 2 ק"ג מחובר לקפיץ בעל קבוע קפיץ:  $k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .



בין הגוף למשטח אין חיכוך.

א. מושכים את הגוף למרחק 5 ס"מ מהנקודה בה הקפיץ רפוי ומשחררים אותו. מהי תאוצת הגוף (גודל וכיוון)?

ב. דוחפים את הגוף למרחק 10 ס"מ מהנקודה בה הקפיץ רפוי ומשחררים אותו.

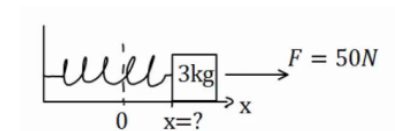
מהי תאוצת הגוף (גודל וכיוון)?

כעת נתון כי בין הגוף למשטח קיים חיכוך, ומקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.2$ .

ג. מהו המרחק המקסימלי בו ניתן להניח את הגוף קשור לקפיץ כך שישאר במנוחה?

#### (2) דוגמה 2

גוף בעל מסה של 3 ק"ג מחובר לקפיץ בעל קבוע קפיץ:  $k = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .



בין הגוף למשטח אין חיכוך.

על הגוף פועל כוח ימינה שגודלו 50 ניוטון.

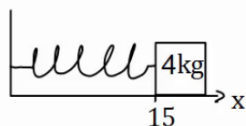
קבע את ראשית הצירים בנקודת הרפיון של הקפיץ.

היכן נמצאת נקודת שיווי המשקל?

(הנקודה בה סכום הכוחות שווה לאפס).

#### (3) דוגמה 3

גוף בעל מסה של 4 ק"ג מחובר לקיר באמצעות קפיץ בעל



קבוע קפיץ:  $k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

בין הגוף למשטח אין חיכוך.

אורכו הרפוי של הקפיץ הוא 10 ס"מ.

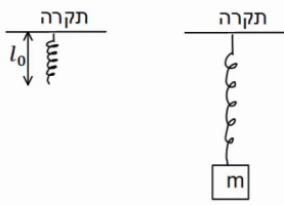
א. חשב את הכוח שמפעיל הקפיץ על הגוף כאשר הגוף במרחק 15 ס"מ מהקיר.

ב. חשב את הכוח שמפעיל הקפיץ על הגוף כאשר הגוף במרחק 6 ס"מ מהקיר.

ג. חשב את תאוצת הגוף בכל נקודה אם על הגוף פועל כוח שגודלו 10 ניוטון שמאלה.

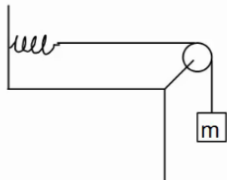
#### 4) שיטה למדידת קבוע קפיץ

- מסה  $m$  תלויה מהתקרה באמצעות קפיץ שאורכו הרפוי הוא  $l_0$ . משחררים את המסה לאט לאט עד אשר היא מגיעה לנקודה בה היא תלויה לבד במנוחה.
- א. מה מיוחד בנקודה זו?
- ב. מודדים את מרחק המסה מהתקרה בנקודה זו. מצא באמצעות מרחק זה והפרמטרים בשאלה את קבוע הקפיץ.



#### 5) מסה קשורה לחוט שמחובר לקפיץ אופקי

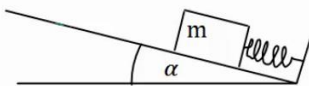
- מסה  $m = 5gr$  תלויה באמצעות חוט, העובר דרך גלגלת אידיאלית ומחובר בצידו השני לקפיץ. הקפיץ מחובר לקיר בצורה אופקית. קבוע הקפיץ הוא:  $k = 10 \frac{N}{m}$ .



- א. משחררים את המסה בנקודה בה היא נשאר במנוחה. מצא את התארכות הקפיץ.
- ב. מושכים את המסה 5 ס"מ נוספים ומשחררים. מהי תאוצת המסה ברגע השחרור?

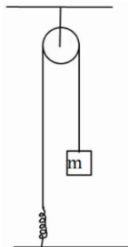
#### 6) קפיץ בשיפוע

- מסה  $m$  נמצאת במנוחה על מישור משופע בעל זווית  $\alpha$ . מצד המסה מחובר קפיץ בעל קבוע קפיץ  $k$ . אין חיכוך בין המסה למשטח. בכמה מכוון הקפיץ ממצבו הרפוי? התייחס לפרמטרים בשאלה כנתונים.



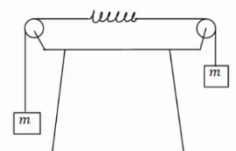
#### 7) מסה מחוברת לקפיץ דרך גלגלת בתקרה

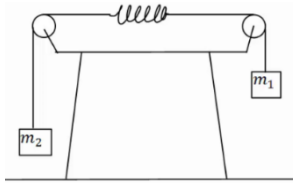
- מסה  $m$  מחוברת לקפיץ אידיאלי (חסר מסה) דרך גלגלת אידיאלית המחוברת לתקרה. הקפיץ מחובר לקרקע וקבוע הקפיץ הוא  $k$ . מצא את התארכות הקפיץ אם נתון שהמסה בשיווי משקל.



#### 8) שתי מסות משני צידי השולחן וקפיץ באמצע

- במערכת הבאה שתי מסות זהות  $m$  תלויות משני צידי השולחן באמצעות חוטים וגלגלות אידיאליים. באמצע החוט ישנו קפיץ בעל קבוע קפיץ  $k$ . מצא את התארכות הקפיץ.



**9) שתי מסות משני צידי השולחן וקפיץ באמצע בתאוצה**

במערכת הבאה שתי מסות שונות:  $m_1 = 3\text{kg}$ ,  $m_2 = 1\text{kg}$ , תלויות משני צידי השולחן באמצעות חוטים וגלגלות אידיאלים.

באמצע החוט ישנו קפיץ חסר מסה בעל קבוע קפיץ:  $k = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הנח כי אורך הקפיץ קבוע במהלך התנועה.

א. מצא את תאוצת המערכת.

ב. מצא את התארכות הקפיץ.

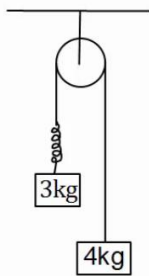
**10) מסה תלויה ומתיחה**

מסה תלויה במנוחה מהתקרה באמצעות קפיץ אידיאלי.

נתון:  $m = 2\text{kg}$ ,  $k = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

א. מהי תאוצת המסה אם מושכים את המסה 5 ס"מ כלפי מטה?

ב. מהי תאוצת המסה אם מרימים את המסה 2 ס"מ כלפי מעלה?

**11) מסות תלויות מהתקרה עם קפיץ בתאוצה**

במערכת הבאה שתי מסות תלויות מהתקרה באמצעות גלגלת אידיאלית.

בין המסות יש קפיץ חסר מסה בעל קבוע קפיץ:  $k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הנח כי אורך הקפיץ קבוע במהלך התנועה.

א. מהי תאוצת המסות?

ב. מהי ההתארכות של הקפיץ?

**12) קפיץ במכונית נוסעת**

מסה  $m = 5\text{kg}$  נמצאת על רצפת מכונית.

המסה מחוברת באמצעות קפיץ חסר מסה לצד המכונית, ויכולה לנוע על הרצפה ללא חיכוך.

קבוע הקפיץ הוא:  $k = 30 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הנח שאורך הקפיץ קבוע.

א. מהי התארכות הקפיץ אם המכונית נוסעת במהירות קבועה?

ב. מהי ההתארכות בקפיץ אם המכונית נעה בתאוצה קבועה של 2 מטר

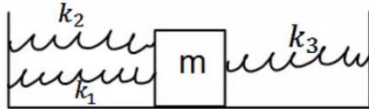
לשנייה בריבוע ימינה? ציין האם הקפיץ נמתח או מתכווץ.

ג. מהי ההתארכות בקפיץ אם המכונית נעה בתאוצה קבועה של 3 מטר

לשנייה בריבוע שמאלה? ציין האם הקפיץ נמתח או מתכווץ.

**13) מסה עם שלושה קפיצים**

שלושה קפיצים מחוברים למסה  $m = 2\text{kg}$ , כפי שנראה באיור. אין חיכוך בין המסה לרצפה.

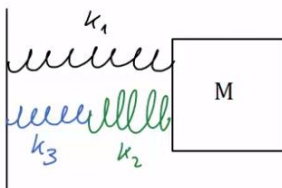


נתון כי:  $k_1 = 3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ,  $k_2 = 5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ,  $k_3 = 12 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הנח כי כל הקפיצים רפויים באותה הנקודה. מהי תאוצת המסה כאשר היא נמצאת במרחק 20 ס"מ מנקודת שיווי המשקל?

**14) שלושה קפיצים שוב**

באיור הבא המסה  $m = 4\text{kg}$  מחוברת לשלושה קפיצים בעלי קבועי קפיץ שונים. הנח שכל הקפיצים רפויים כאשר המסה נמצאת ב- $x = 0$ .



מהי תאוצת המסה כאשר מיקומה הוא:  $x = 0.2\text{m}$ .

אם קבועי הקפיצים הם:  $k_1 = 3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ,  $k_2 = 5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ,  $k_3 = 12 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. גודל: } -1.25 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, \text{ הכיוון חיובי. ב. גודל: } 2.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, \text{ הכיוון חיובי.}$$

$$\text{ג. } x = 8 \text{ cm}$$

$$(2) \quad x = \frac{1}{2} \text{ m}$$

$$(3) \quad \text{א. } F = -2.5 \text{ N} \quad \text{ב. } F = 2 \text{ N} \quad \text{ג. סעיף א': } a = -3.13 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, \text{ סעיף ב': } a = -2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}.$$

$$(4) \quad \text{א. נקודת שיווי משקל. ב. } k = \frac{mg}{d - l_0}$$

$$(5) \quad \text{א. } \Delta x = 5 \text{ cm} \quad \text{ב. } a = -10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$(6) \quad |\Delta x| = \frac{mg \sin \alpha}{k}$$

$$(7) \quad \Delta x = \frac{mg}{k}$$

$$(8) \quad |\Delta x| = \frac{mg}{k}$$

$$(9) \quad \text{א. } a = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ב. } \Delta x = \frac{3}{4} \text{ m}$$

$$(10) \quad \text{א. } a = -0.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ב. } a = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$(11) \quad \text{א. } a = \frac{10}{7} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ב. } \Delta x \approx 0.69 \text{ m}$$

$$(12) \quad \text{א. } \Delta x = 0 \quad \text{ב. } |\Delta x| = \frac{1}{3} \text{ m, מתארך. ג. } |\Delta x| = \frac{1}{2} \text{ m, מתכווץ.}$$

$$(13) \quad a = -2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

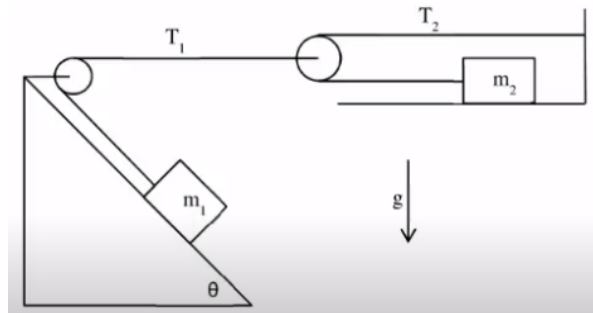
$$(14) \quad a \approx 0.326 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

## תאוצות לא שוות:

### שאלות:

#### (1) מסה במדרון ומסה אופקית

- המסות  $m_1$  ו- $m_2$  מחוברות על ידי חוטים וגלגלות אידאליים, ראה איור. המישור המשופע עליו מונחת המסה  $m_1$  חסר חיכוך בעוד שהמישור האופקי עליו מונחת  $m_2$  הוא משטח בעל חיכוך עם מקדם חיכוך סטטי/קינטי  $\mu$ .
- א. קבל ביטוי פרמטרי עבור הערך של  $m_2$  מעליו המערכת תמצא בשיווי משקל.  
 ב. מהו ערך זה עבור הנתונים:  $\mu = 0.2$ ,  $\theta = 30^\circ$ ,  $m_1 = 5\text{kg}$ .  
 ג. אם  $m_2$  קטן מהערך שחישבת בסעיפים הקודמים, מה תהיה תאוצת כל גוף במערכת (קבל ביטוי פרמטרי)?  
 ד. חשב את התאוצה עבור  $m_2 = 1\text{kg}$ .



### תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } m_2 = \frac{m_1 \sin \theta}{2\mu}$$

$$\text{ב. } m_2 = 6.25\text{kg}$$

$$\text{ג. } a_1 = \frac{m_1 g \sin \theta - 2\mu m_2 g}{4m_2 + m_1}, \quad a_2 = \frac{2m_1 g \sin \theta - 4\mu m_2 g}{4m_2 + m_1}$$

$$\text{ד. } a_1 = 2.33 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, \quad a_2 = 4.67 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 7 - מומנט כוח

תוכן העניינים

1. מומנט כוח - הסבר..... 91
2. מכפלה וקטורית..... (ללא ספר) 93
3. תרגיל - מומנטים על משולש..... 93
4. פיתוח, מדוע מתייחסים לכוח הכובד כאילו פועל במרכז המסה..... (ללא ספר) 94
5. משוואת מומנטים..... (ללא ספר) 94
6. תרגיל - שני פועלים מחזירים מנשא..... 95
7. תרגילים מסכמים..... 95

## מומנט כוח - הסבר:

רקע

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

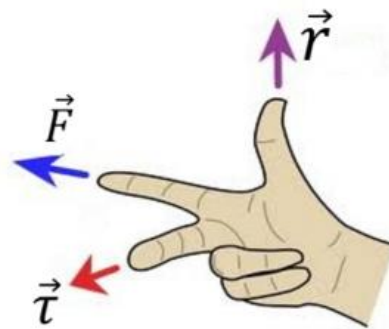
כאשר  $\vec{r}$  הוא וקטור שיוצא מהציר עד לנקודה שבה פועל הכוח.

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

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

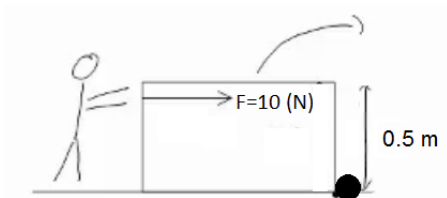
כאשר  $r_{\perp}$  הוא הרכיב של  $\vec{r}$  המאונך לכוח

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  $a$ .

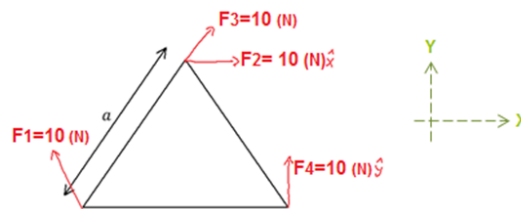
א. חשב את המומנטים של הכוחות בתמונה סביב הפינה השמאלית של המשולש.

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:

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

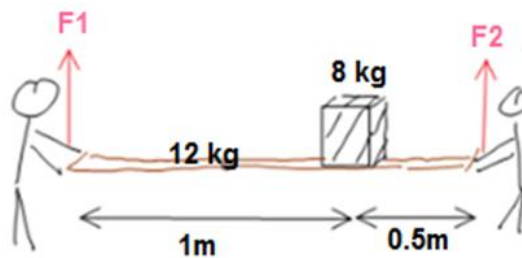
$$\tau_1 = \frac{-10a}{\sqrt{3}}, \quad \tau_2 = -10 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}a, \quad \tau_3 = -\frac{1}{\sqrt{3}}a \cdot 10 \cdot \sin 30^\circ, \quad \tau_4 = 10 \cdot \frac{1}{2}a, \quad \tau_g = 0 \quad \text{ג.}$$

## תרגיל - שני פועלים מחזיקים מנשא:

שאלות:

### (1) שני פועלים מחזיקים מנשא

שני פועלים מחזיקים מנשא מעץ שמסתו 12kg ואורכו 1.5m. על המנשא, במרחק של 0.5m מהפועל הימני, מונח ארגז בעל מסה של 8kg. בהנחה כי המערכת במנוחה, מצאו את הכוח שמפעיל כל פועל (ראה איור).



תשובות סופיות:

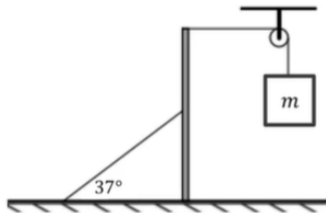
$$F_2 = 113.333\text{N}, F_1 = 86.666\text{N} \quad (1)$$

## תרגילים מסכמים:

### שאלות:

#### 1) מוט עומד מחובר לחוט ומשקולת

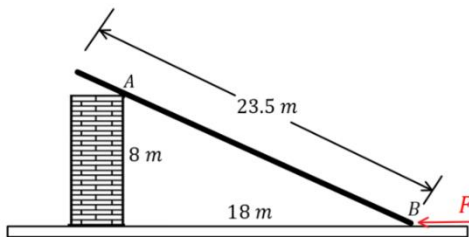
מוט אחיד מונח על משטח אופקי לא חלק, כמוראה בתרשים. המוט מחובר במרכזו לחוט אידיאלי שקצהו השני קשור למשטח ויוצר עימו זווית של  $37^\circ$ . הקצה העליון של המוט מחובר באמצעות חוט אופקי אידיאלי וגלגלת אל משקולת שמסתה  $m = 7\text{kg}$ . המערכת נמצאת במנוחה.



- מהי המתיחות בחוט המחובר אל המשטח?
- 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  $140\text{kg}$ .

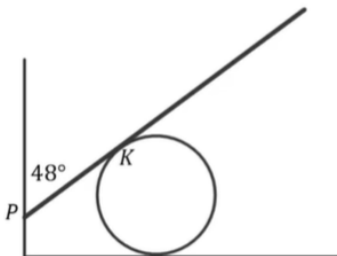


הקורה נשענת בנקודה A על קיר אנכי חלק שגובהו  $8\text{m}$ .

- 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?

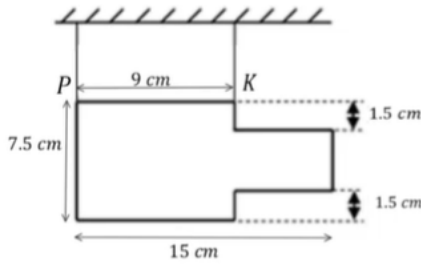
#### 3) מוט נשען על כדור

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  $\mu_s = 0.15$ .



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

**(4) טבלה מעץ**

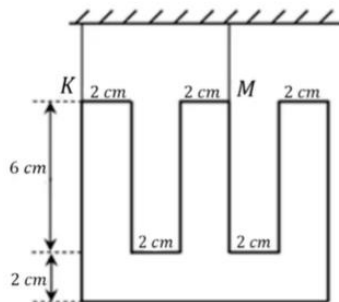


טבלה העשויה עץ בעלת עובי אחיד שמסתה 400 גר' וצורתה כמתואר בתרשים, תלויה בשני חוטים בנקודות K ו-P.

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**

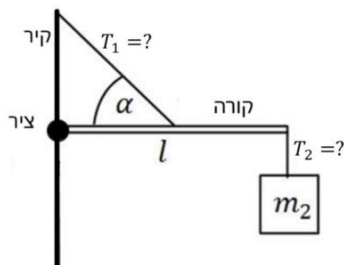


שלט העשוי מחומר אחיד בצורת האות "ש" (כמשורטט), שמסתו 4 ק"ג, נתלה בשני חוטים בנקודות K ו-M.

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**

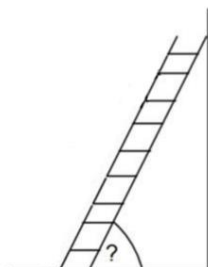


קורה בעלת מסה  $m_1$  ואורך  $l$  מחוברת לקיר באמצעות ציר. בקצה הקורה קשורה מסה  $m_2$  התלויה במנוחה. מאמצע הקורה יוצא חוט בזווית הקשור חזרה לקיר, הזווית שיוצר החוט עם הקורה היא  $\alpha$ .

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

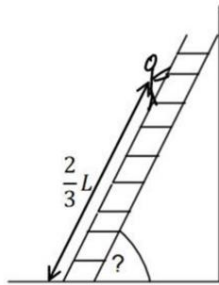
בצורה אחידה. האדם עומד על הסולם כשמרחקו מהקצה התחתון של הסולם הוא שני שליש מאורך הסולם.

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- $b$ .

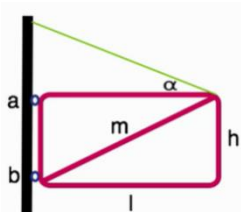
על מנת להקל על הציר העליון חיברו לשער כבל ומתחו

אותו עד אשר הכוח האופקי בנקודה  $a$  מתאפס.

א. מהי המתוחות בכבל?

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

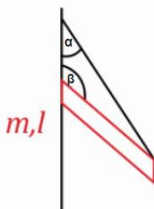
ג. מהו סכום הכוחות האנכיים המופעלים על שני הצירים?



**(10) גגון מוחזק אל קיר**

גגון מוחזק אל קיר בעזרת חבל וחיכוך כמתואר בשרטוט.

מצא את הכוחות הפועלים על הגגון.

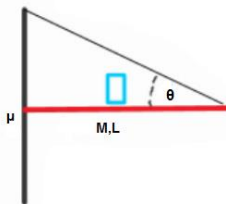


**(11) מסה על גגון מחליק**

גגון מוחזק לקיר בעזרת חיכוך בלבד לפי הנתונים שבשרטוט.

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

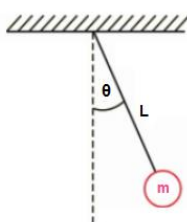
מבלי לגרום לגגון להחליק מהקיר?



**(12) מטוטלת מתמטית**

מצא את מומנט הכוח המופעל על מטוטלת מתמטית

כפונקציה של הזווית מהאנך.

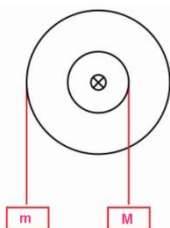


**(13) מנוף מדיסקה כפולה**

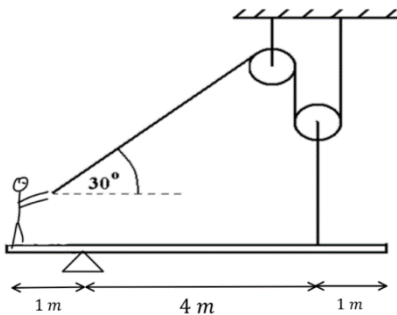
נתונה המערכת שבשרטוט.

רשום את כל הכוחות הפועלים על הדיסקה

ומצא את יחס הרדיוסים בין שתי הדיסקות.



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



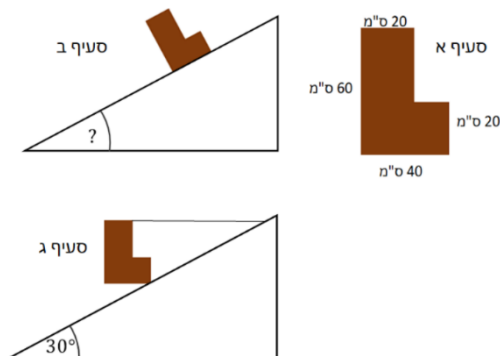
אדם שמסתו 65kg עומד בקצה קורה שמסתה 40kg. הקורה מונחת על ציר הנמצא במרחק 1m מהאדם. האורך הכולל של הקורה הוא 6m. האדם מחזיק בחוט העובר דרך שתי גלגלות כפי שמתואר באיור. הגלגלת השמאלית מחוברת לתקרה, הגלגלת הימנית לקורה במרחק 1m מהקצה השני.

- 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:  $\sigma = 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ .

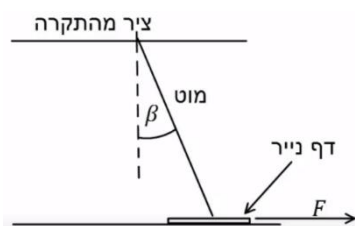


- מהו מרכז המסה של הגוף ביחס לפינה התחתונה השמאלית?
- מניחים את הגוף על מישור משופע. מהי הזווית המקסימאלית של המישור עבורה הגוף לא יתהפך?
- קושרים את הגוף למישור באמצעות חוט אופקי מהפינה הימנית העליונה ומותחים את החוט עד שהגוף מתיישר במקביל לקרקע.

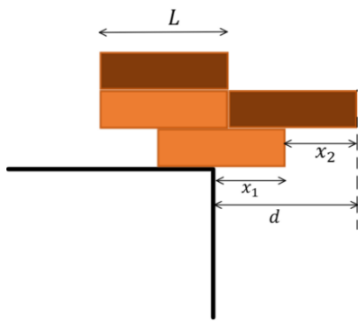
מהי המתוחות בחוט במצב זה אם זווית המישור היא  $30^\circ$  והגוף במנוחה.

**16) מוט נשען על דף נייר\***

מוט בעל אורך L ומסה M מחובר לתקרה באמצעות ציר. 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  $\mu_s$ .

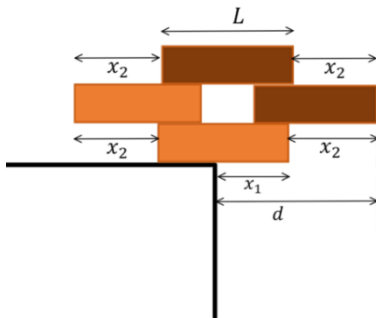


- מושכים את הנייר ימינה בכוח F. מהו הכוח המינימלי הדרוש בשביל להוציא את הנייר מתחת למוט? הנח שהמוט נשאר במנוחה.
- חזור על סעיף א' אם הכוח פועל שמאלה.



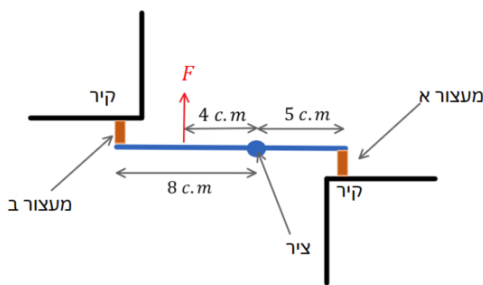
**17) ערימת קוביות 1**

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?



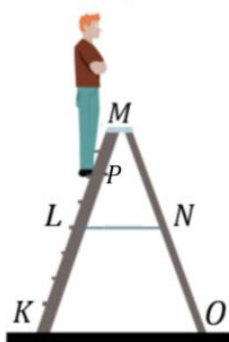
**18) ערימת קוביות \*2**

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 בציור 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 מהציור, 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(9) ראה סרטון.

(10) ראה סרטון.

(11) ראה סרטון.

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

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

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

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

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

$$\text{ג. } T = 3.3\text{N}$$

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

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

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

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

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

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

## פרק 8 - עבודה ואנרגיה

### תוכן העניינים

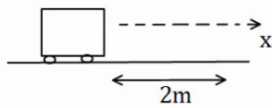
101	1. העבודה שמבצע כוח.
103	2. אנרגיה קינטית והקשר לעבודה.
104	3. אנרגיה פוטנציאלית-כובדית.
105	4. אנרגיה כללית ומשפט עבודה אנרגיה.
108	5. עבודת החיכוך וחום.
110	6. אנרגיה פוטנציאלית אלסטית-קפיץ.
(ללא ספר)	7. חוק שימור האנרגיה- הרחבה
(ללא ספר)	8. סיכום הפרק
111	9. תרגילים
116	10. הספק

## העבודה שמבצע כוח:

### שאלות:

#### (1) דוגמה 1

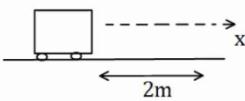
כוח  $F$  שגודלו  $5\text{N}$  פועל על גוף הנע מרחק של שני מטרים בכיוון ציר ה- $x$ .  
 חשב את עבודת הכוח אם כיוונו הוא:



- בכיוון ציר ה- $x$ .
- בכיוון  $30^\circ$  עם ציר ה- $x$ .
- בכיוון  $30^\circ$  מתחת לציר ה- $x$ .

#### (2) דוגמה 2

כוח  $F$  שגודלו  $5\text{N}$  פועל על גוף הנע מרחק של שני מטרים בכיוון ציר ה- $x$ .  
 חשב את עבודת הכוח אם כיוונו הוא:



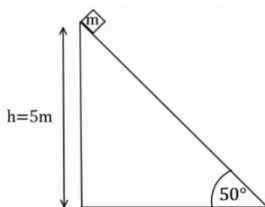
- בכיוון ציר ה- $y$ .
- בכיוון  $30^\circ$  מעל ציר ה- $x$  השלילי.
- בכיוון  $30^\circ$  מתחת לציר ה- $x$  השלילי.

#### (3) דוגמה 3

גוף נופל נפילה חופשית מגובה של  $8$  מטרים מעל הקרקע. מסת הגוף היא  $3\text{kg}$ .  
 א. חשב את עבודת כוח הכובד עד לפגיעה בקרקע.  
 ב. חשב שוב את העבודה אם הגובה והמסה נתונים כפרמטרים:  $h$ ,  $m$ .

#### (4) דוגמה 4

גוף שמסתו  $m = 2\text{kg}$  מחליק על מישור משופע מגובה  $5$  מטרים  
 ועד לתחתית המישור.  
 זווית השיפוע של המישור היא  $50^\circ$ .



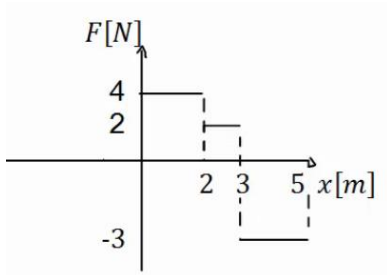
- חשב את העבודה שמבצע הנורמל על הגוף במהלך תנועתו.
- חשב את עבודת כוח הכובד על הגוף.
- חשב את עבודת החיכוך הקינטי אם ידוע שמקדם החיכוך הוא:  $\mu_k = 0.2$ .

**5 דוגמה 5**

גוף נע מהנקודה (1,2) לנקודה (3,5).  
חשב את עבודת הכוחות הבאים הפעלו על הגוף:

א.  $\vec{F} = (2,1)$

ב.  $\vec{F} = (-3,2)$


**6 כוח כתלות במיקום**

נתון גרף של הכוח כתלות במיקום.

א. מהי העבודה הכוללת שמבצע הכוח הבא?

ב. מהי עבודת הכוח בשני המטרים

האחרונים של התנועה?

**תשובות סופיות:**

א.  $W = 10$       ב.  $W = 5 \cdot \sqrt{3}$       ג.  $W = 5 \cdot \sqrt{3}$       (1)

א.  $W = 0$       ב.  $W \approx -8.66$       ג.  $W \approx -8.66$       (2)

א.  $W_g = 240$  J      ב.  $W_g = mgh$       (3)

א.  $W_N = 0$       ב.  $W_g = 100$  J      ג.  $W_{fk} = -16.79$  J      (4)

א.  $W = 7$  J      ב.  $W = 0$       (5)

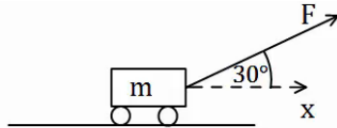
א.  $W = 4$  J      ב.  $W = -6$  J      (6)

## אנרגיה קינטית והקשר לעבודה:

### שאלות:

#### (1) כוח מושך קרונית בזווית

כוח  $F = 50\text{N}$  מושך קרונית בזווית של  $30^\circ$  מעל ציר ה- $x$ . מסת הקרונית היא 3 ק"ג.

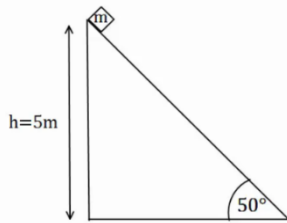


- א. שרטט תרשים כוחות הפועלים על הקרונית.  
 ב. מצא את העבודה של כל כוח, אם ידוע שהקרונית התקדמה 5 מטרים בכיוון ציר ה- $x$ .

ג. מהי מהירות הקרונית לאחר 5 המטרים, אם התחילה לנוע ממנוחה?

#### (2) המשך לדוגמה 4

גוף שמסתו  $m = 2\text{kg}$  מחליק על מישור משופע מגובה 5 מטרים ועד לתחתית המישור. זווית השיפוע של המישור היא  $50^\circ$ . מקדם החיכוך הקינטי הוא  $\mu_k = 0.2$ .

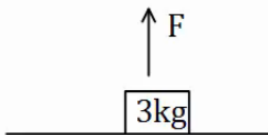


א. מצא את עבודת הכוחות.

ב. מהי מהירות הגוף בתחתית המדרון, אם התחיל ממנוחה?

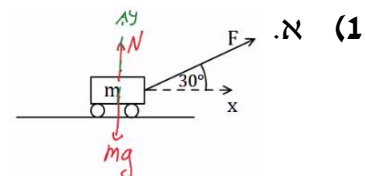
#### (3) כוח מושך גוף ישר למעלה

כוח  $F = 50\text{N}$  מושך גוף כלפי מעלה. מצא את מהירות הגוף בגובה 8 מטרים מעל הקרקע. מסת הגוף היא 3 ק"ג.



### תשובות סופיות:

א.  $v_F \approx 12.01 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  ג.  $W_N = 0 = W_g, W_F \approx 216.51\text{J}$  ב.



א.  $v_F \approx 9.12 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  ב.

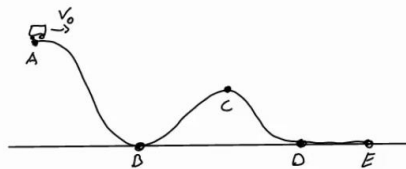
א.  $W_N = 0, W_g = 100\text{J}, W_{fk} = -16.79$  ב.

א.  $v_p \approx 10.33 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  ב.

## אנרגיה פוטנציאלית-כובדית:

### שאלות:

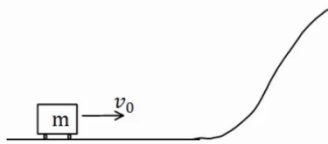
#### (1) רכבת הרים



רכבת הרים מתחילה בנסיעה מהנקודה A הנמצאת בגובה 20 מטרים. מהירותה בנקודה A היא 5 מטרים לשנייה. מצא את מהירותה בנקודות B, D, E הנמצאות על הקרקע, ובנקודה C הנמצאת בגובה 10 מטרים.

#### (2) עגלה עולה על גבעה

עגלה נעה בתחתית גבעה עם מהירות התחלתית של 20 מטר לשנייה. אין חיכוך בין העגלה לאדמה.



א. מהו הגובה המקסימלי אליו תגיע העגלה? לאחר שהגיעה לגובה המקסימלי מתחילה העגלה להתדרדר חזרה במורד הגבעה.  
 ב. מה תהיה מהירותה כשתגיע חזרה לתחתית?

### תשובות סופיות:

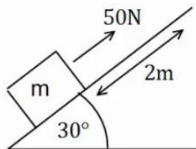
$$v_B \approx 20.62 \frac{\text{m}}{\text{sec}} = v_E = v_D, v_C \approx 15 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (1)$$

$$v_F = \pm v_0 \quad \text{ב.} \quad h_{\max} = 20\text{m} \quad \text{א.} \quad (2)$$

## אנרגיה כללית ומשפט עבודה אנרגיה:

### שאלות:

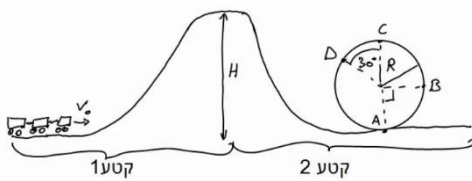
#### (1) כוח מעלה במדרון משופע



כוח של 50 ניוטון פועל על גוף במקביל למשטח משופע בעל זווית של  $30^\circ$ . מסת הגוף היא  $m = 4\text{kg}$  והוא מתחיל תנועתו ממנוחה. חשב את מהירות הגוף לאחר שהתקדם 2 מטרים במעלה המדרון (אין חיכוך).

#### (2) עוד רכבת הרים

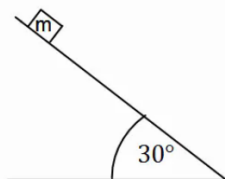
רכבת הרים מתחילה בנסיעה בצדו השמאלי של המסלול באיור. לרכבת מהירות התחלתית נמוכה  $v_0$ .



בקטע הראשון כוח  $F$  מושך את הרכבת כלפי מעלה במהירות קבועה עד לשיא הגובה  $H$ . בשיא הגובה הכוח נפסק ולאחר מכן הרכבת נעצרת (באמצעות מעצור) למספר שניות, על מנת שהנוסעים יוכלו לפחד לקראת הנפילה.

בקטע השני הרכבת נופלת (ללא הכוח  $F$ ) ומבצעת סיבוב אנכי - "לופ". התייחס למסת הרכבת והנתונים באיור כפרמטרים נתונים.  
 א. מצא את העבודה הכוללת המבצע הכוח  $F$  על הרכבת.  
 ב. מצא את מהירות הרכבת בכל הנקודות המצוינות באיור.

#### (3) מסה מחליקה במדרון



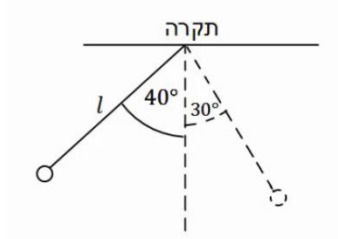
מסה  $m = 4\text{kg}$  מונחת במנוחה בגובה  $h = 5\text{m}$  על מדרון משופע. שיפוע המדרון הוא  $30^\circ$ .

א. מצא את מהירות המסה בתחתית המדרון אם אין חיכוך בינה למשטח.

ב. חזור על סעיף א' עבור מקרה בו יש חיכוך קינטי ומקדם החיכוך הוא  $\mu_k = 0.2$ .

ג. חזור על סעיף ב' אם בנוסף לחיכוך יש גם כוח  $F = 60\text{N}$ , במקביל למדרון ובכיוון תנועת המסה.

#### 4) מטוטלת

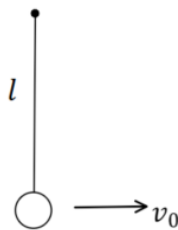


מטוטלת בעלת אורך חוט  $l = 50\text{cm}$  תלויה מהתקרה. מרימים את המטוטלת לזווית של  $40^\circ$  ביחס לאנך מהתקרה ומשחררים ממנוחה.

- מהי עבודת כוח המתיחות לאורך התנועה?
- מהי מהירות המטוטלת בתחתית המסלול?
- מהי מהירות המטוטלת לאחר שעלתה זווית של  $30^\circ$ ?
- מהי הזווית המקסימלית אליה תגיע המטוטלת?

#### 5) כדור תלוי על חוט מבצע מעגל

נקודת תלייה



כדור תלוי במנוחה על חוט שאורכו  $l = 30\text{cm}$ .

א. מקנים לכדור מהירות התחלתית בכיוון אופקי

$$\text{של } v_0 = 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

- מה יהיה הגובה המקסימלי אליו יגיע?
- מה תהיה זווית החוט המקסימלית ביחס לאנך לקרקע?

ב. איזו מהירות מינימלית יש להעניק לכדור (ממצב מנוחה) כדי שיגיע לגובה

המקסימלי שהחוט מאפשר לו (מעל מרכז המעגל) במהירות של  $\sqrt{32} \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

הניחו שהמהירות מספיקה בשביל להשלים את הסיבוב.

ג. במקרה המתואר בסעיף ב' – מה תהיה מהירות הכדור כאשר יחזור לנקודת ההתחלה?

## תשובות סופיות:

$$V_F \approx 5.48 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (1)$$

$$W_F = mgH \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$v_F = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$W_T = 0 \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$\theta_{\max} = 40^\circ \quad \text{ד.}$$

$$20\text{cm} \quad \text{א. i.} \quad (5)$$

$$v_f = \sqrt{44} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.}$$

$$v_C = \sqrt{2g(H-2R)}, v_D = \sqrt{2g(H-1.87R)} \quad \text{ב.}$$

$$v_F \approx 19.11 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad v_F \approx 8.08 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

$$v_F \approx 1.03 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad v_F \approx 1.55 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

$$v_0 = \sqrt{44} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad \theta_{\max} \approx 71^\circ \quad \text{ii.}$$

## עבודת החיכוך וחום:

### רקע:

**חום** ( $Q$ ) - האנרגיה הנוצרת מחיכוך קינטי. כמות החום שנוצרת בתהליך שווה לעבודה של כוח החיכוך הקינטי (והפוכה בסימן, כי העבודה שמבצע החיכוך הקינטי על הגוף שלילית)

$$Q = -W_{fk}$$

ניתן לחשב את החום שנוצר גם מהשינוי באנרגיה הכללית של הגוף.

### שאלות:

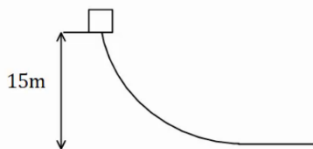
#### 1) חישוב עבודה

גוף שמסתו  $5\text{kg}$  מחליק במורד מישור משופע. מהירותו בראש המישור היא  $3\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , ומהירותו בתחתית המישור, הנמצאת  $15\text{m}$  נמוך יותר מנקודת ההתחלה, היא  $16\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

מהי עבודת כוח החיכוך שפעל עליו (ביחידות Joule)?

#### 2) גוף נופל ממסלול עקום

גוף נופל ממנוחה ממעלה גבעה בגובה  $15$  מטר. בתחתית הגבעה מהירות הגוף היא  $5$  מטר לשנייה. כמה אנרגיה הלכה לאיבוד לחום? מסת הגוף היא  $2$  ק"ג.



**תשובות סופיות:**

$$-132.5\text{J} \quad (1)$$

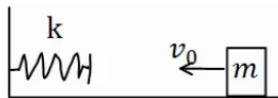
$$Q = 275\text{J} \quad (2)$$

## אנרגיה פוטנציאלית אלסטית – קפיץ:

### שאלות:

#### (1) מסה וקפיץ במישור אופקי

מסה  $m = 50\text{gr}$  נעה במהירות  $v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  על משטח אופקי חלק.



המסה נעצרת על ידי קפיץ אופקי אידיאלי (חסר מסה)

בעל קבוע קפיץ  $k = 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ . הקפיץ רפוי לפני פגיעת המסה.

א. מהי מהירות המסה כאשר הקפיץ מכווץ 5 ס"מ?

ב. מהו הכיוון המקסימלי אליו מגיע הקפיץ?

ג. חזור על סעיפים א' ו-ב' אם בין המסה למשטח יש חיכוך.

מקדם החיכוך הוא  $\mu_k = 0.2$  והמרחק ההתחלתי של המסה מקצה הקפיץ הוא 0.5m.

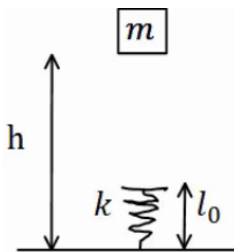
#### (2) מסה נופלת על קפיץ אנכי

מסה  $m = 5\text{gr}$  משוחררת ממנוחה מגובה  $h = 1\text{m}$  מעל הרצפה.

קפיץ אנכי אידיאלי מחובר לרצפה.

אורכו הרפוי של הקפיץ הוא  $l_0 = 10\text{cm}$ , וקבוע הקפיץ

הוא  $k = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .



א. מהי מהירות המסה רגע לפי פגיעתה בקפיץ?

ב. מהו הכיוון המקסימלי אליו יגיע הקפיץ?

ג. מהו הגובה המקסימלי אליו תגיע המסה בחזרה?

### תשובות סופיות:

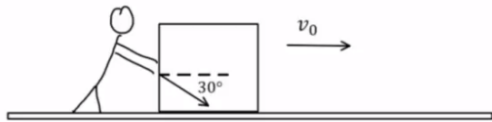
$$v \approx 4.72 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, \Delta x \approx 33\text{cm} \quad \text{ג.} \quad \Delta x \approx 35.4\text{cm} \quad \text{ב.} \quad v_F \approx 4.95 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$h_F = h_i \quad \text{ג.} \quad \Delta x_{\text{max}} = 3\text{cm} \quad \text{ב.} \quad v_F = 4.24 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (2)$$

## תרגילים:

### שאלות:

#### 1) אדם דוחף ארגז בזווית

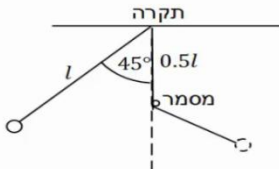


אדם דוחף ארגז שמסתו 80 ק"ג לאורך 2 מטרים על משטח אופקי. מקדם החיכוך הקינטי בין הארגז למשטח הוא 0.1. האדם דוחף את הארגז בכוח קבוע שגודלו 400 ניוטון בזווית 30 מעלות לכיוון הריצפה.

לארגז גם ישנה מהירות התחלתית שגודלה  $v_0 = 0.2 \frac{m}{sec}$  וכיוונה ימינה באיור.

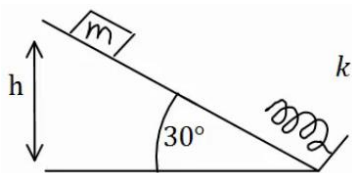
- ציירו תרשים כוחות על הארגז.
- חשבו את העבודה שמבצע כל אחד מהכוחות?
- מהו הכוח השקול (גודל וכיוון) ומהי העבודה שמבצע הכוח השקול? וודאו כי התוצאה מתיישבת עם התוצאה של סעיף ב'.
- חשבו את מהירותו הסופית של הארגז משיקולי אנרגיה.
- חשבו את תאוצתו של הארגז משיקולי כוחות ומצאו את מהירותו הסופית באמצעות התאוצה שחישבתם.

#### 2) מטוטלת עם מסמר



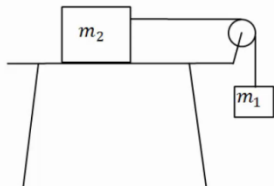
מטוטלת תלויה מהתקרה באמצעות חוט אידיאלי באורך  $l = 80cm$ . המטוטלת מוסטת לזווית של  $45^\circ$  ומשוחררת ממנוחה. בגובה  $0.5l$  מתחת לנקודת התליה של המטוטלת תקוע מסמר. מצא את הזווית המקסימלית אליה תגיע המטוטלת בצידה השני של התנועה.

#### 3) גוף מחליק על מישור משופע ונתקע בקפיץ



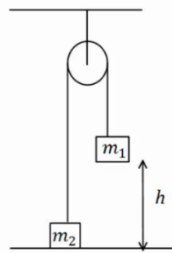
מסה  $m = 20gr$  מחליקה מגובה  $h = 1m$ , וממנוחה, על מדרון משופע בזווית של  $30^\circ$ . בתחתית המדרון המסה מתנגשת בקפיץ אידיאלי בעל קבוע קפיץ  $k = 100 \frac{N}{m}$  ואורך רפוי של 15 ס"מ.

- מהו הכיוון המקסימלי של הקפיץ ומהו הגובה המקסימלי אליו תחזור המסה אם המשטח חלק?
- חזור על סעיף א' אם קיים חיכוך בין המשטח למסה, ומקדם החיכוך הקינטי  $\mu_k = 0.1$ . הנח שהחיכוך הסטטי אינו מספיק לעצור את המסה.

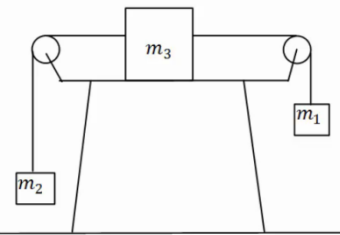
**(4) מסה על שולחן ומסה תלויה**

מסה  $m_2 = 4\text{kg}$  נמצאת על שולחן ומחוברת דרך חוט וגלגלת אידיאלית למסה  $m_1 = 2\text{kg}$  התלויה באוויר. גובה המסה  $m_1$  מעל הקרקע הוא  $h = 2\text{m}$ . המערכת מתחילה לנוע ממנוחה.

- מצא את מהירות הפגיעה בקרקע של  $m_1$  אם השולחן חלק.
- מצא את מהירות המסות כתלות בגובה המסה  $m_1$ .
- חזור על סעיף א' כאשר קיים חיכוך עם השולחן ומקדם החיכוך הוא  $\mu_k = 0.2$ .
- כמה אנרגיה הלכה לאיבוד כחום במקרה של סעיף ג'? חשב בשתי צורות.

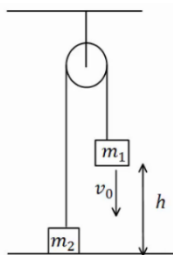
**(5) שתי מסות תלויות מהתקרה**

במערכת הבאה המסות תלויות מהתקרה באמצעות גלגלת אידיאלית. נתון  $m_1 > m_2$ , והגובה ההתחלתי של  $m_1$  הוא  $h$ . מצא את מהירות הפגיעה בקרקע של  $m_1$ , אם המערכת מתחילה ממנוחה.

**(6) מסה על שולחן ושתי מסות באוויר**

במערכת הבאה שלוש מסות:  $m_1 = 5\text{kg}$ ,  $m_2 = 2\text{kg}$ ,  $m_3 = 3\text{kg}$ . כל הגלגלות והחוטאים אידיאליים. המערכת מתחילה ממנוחה.

- מצא את המהירות כתלות בהעתק של  $m_1$ . הנח שהשולחן חלק.
- חזור על סעיף א' אם יש חיכוך עם השולחן ומקדם החיכוך הקינטי הוא  $\mu_k = 0.2$ .

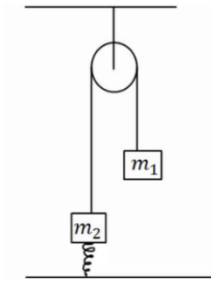
**(7) שתי מסות תלויות מהתקרה ודחיפה**

במערכת הבאה המסות תלויות מהתקרה באמצעות גלגלת אידיאלית. נתון  $m_1 < m_2$  והגובה ההתחלתי של  $m_1$  הוא  $h$ . נותנים ל- $m_1$  מהירות התחלתית כלפי מטה שגודלה  $v_0$ .

- מצא את הגובה המינימלי אליו תגיע  $m_1$ . (הנח שהיא אינה פוגעת בקרקע).
- מצא את מהירות הפגיעה בקרקע של  $m_2$ .

### 8) שתי מסות תלויות מהתקרה וקפיץ

במערכת הבאה המסות תלויות מהתקרה באמצעות גלגלת אידיאלית.



המסה  $m_2$  מחוברת לרצפה באמצעות קפיץ אידיאלי. משחררים את המערכת ממנוחה במצב בו הקפיץ רפוי.

נתון:  $m_1 = 4\text{kg}$ ,  $m_2 = 2\text{kg}$ ,  $k = 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

א. מהי התארכות הקפיץ במצב שיווי משקל?

ב. מהי התארכות המסות במצב שיווי משקל?

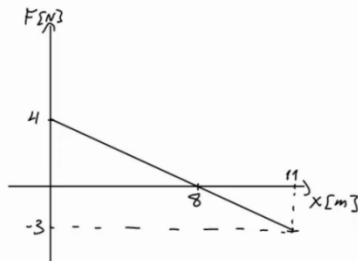
ג. מהי ההתארכות המקסימלית של הקפיץ?

### 9) גרף של כוח

נתון גרף של כוח הפועל על גוף כתלות במיקום.

הכוח הוא הכוח היחיד הפועל על הגוף.

מסת הגוף היא  $m = 2\text{kg}$  והגוף מתחיל תנועתו ממנוחה.



א. מצא את מהירות הגוף ב-  $x = 18\text{m}$ .

ב. מצא את מהירות הגוף ב-  $x = 6\text{m}$ .

### 10) כדור מקפץ מאבד אנרגיה

כדור נופל ממנוחה לרצפה מגובה  $3\text{m}$ .

בכל פעם שהכדור פוגע ברצפה הוא מאבד 8% מהאנרגיה שלו.

א. מה הגובה המקסימלי אליו יגיע הכדור לאחר הפגיעה הראשונה?

ב. מה הגובה המקסימלי אליו יגיע הכדור לאחר הפגיעה השלישית?

ג. כמה פעמים יפגע הכדור ברצפה עד אשר גובהו המקסימלי יהיה קטן

מ-80 ס"מ?

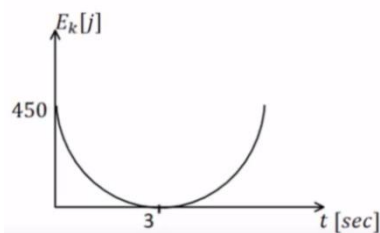
### 11) זריקה אנכית עם גרף של אנרגיה קינטית

כדור שמסתו 1 ק"ג נזרק אנכית כלפי מעלה.

מישור הייחוס של האנרגיה הפוטנציאלית נבחר

בנקודת הזריקה. הגרף הנתון מתאר את האנרגיה

הקינטית כפונקציה של הזמן.



א. מהי מהירות הזריקה של הכדור ומתי הגיע לשיא הגובה?

ב. מהו הגובה המקסימלי אליו הגיע הכדור?

ג. שרטט גרף של האנרגיה הפוטנציאלית של הכדור כפונקציה של הזמן.

ציין על הגרף מהו הערך המירבי של האנרגיה ומהו הזמן בו חזר הכדור לקרקע.

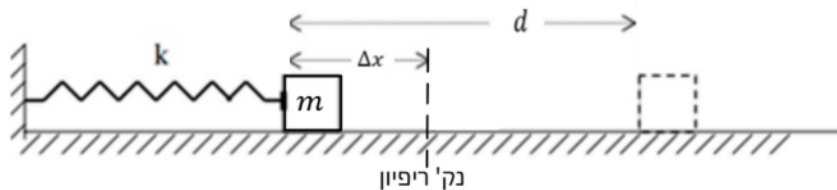
ד. חשב את עבודת כוח הכובד:

i. מרגע הזריקה ועד שיא הגובה.

ii. מרגע הזריקה ועד שהכדור הגיע לגובה 30 מטרים בדרכו חזרה.

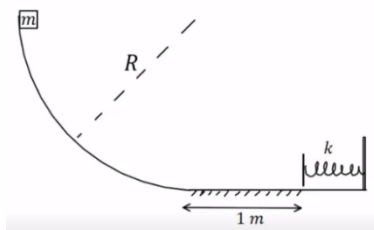
### 12) קפיץ דוחף גוף על שולחן עם חיכוך

גוף שמסתו  $m = 0.3\text{kg}$  נלחץ אל קפיץ אופקי ומכווץ את הקפיץ ב- $\Delta x = 0.2\text{m}$  כמוראה בציור. לאחר שחרורו, נע הגוף מרחק  $d = 0.6\text{m}$  על שולחן אופקי לא חלק עד עומדו (הגוף אינו מחובר לקפיץ, הוא מנתק מגע עם הקפיץ כאשר הקפיץ מגיע לאורכו הרפוי). קבוע הכוח של הקפיץ הוא:  $k = 14 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .



- א. מהו מקדם החיכוך שבין הגוף והשולחן?  
 ב. מהי מהירות הגוף ברגע שהוא עוזב את הקפיץ (מנתק את המגע איתו)?

### 13) גוף מחליק על חצי מעגל ומעגל ומכווץ קפיץ

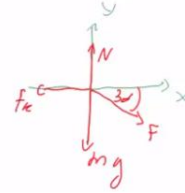


גוף בעל מסה  $m = 2\text{kg}$  משוחרר ממנוחה מקצה של מסילה חסרת חיכוך בצורת רבע מעגל ברדיוס  $R = 2\text{m}$ . בתחתית המסילה הגוף מחליק על מישור אופקי שאינו חלק באורך 1 מטר. מקדם החיכוך הקינטי בין המישור לגוף הוא 0.3. בקצה הקטע עם החיכוך נמצא קפיץ רפוי, הגוף פוגע בקפיץ ומכווץ אותו לכיוון מקסימלי של 0.1 מטר. החלק עליו נמצא הקפיץ חסר חיכוך.

- א. מהי מהירות הגוף ברגע פגיעתו בקפיץ?  
 ב. מהו קבוע הקפיץ?  
 ג. מהו הגובה המקסימלי אליו יגיע הגוף כאשר יחזור אל המסילה המעגלית בפעם הראשונה?

## תשובות סופיות:

א. (1)  $W_F \approx 690J, W_{Fk} = -200J$  ב.



ד.  $v_F = 3.5 \frac{m}{sec}$

ג.  $\sum F \approx 250N, W_{\sum F} \approx 490J$

ה.  $a \approx 3 \frac{m}{sec^2}, v_F = 3.5 \frac{m}{sec}$

(2)  $\theta_{max} = 65.53^\circ$

(3) א. הכיוון:  $x = 6.18cm$ , הגובה:  $h_F = 1m$

ב. הכיוון:  $\Delta x = 5.6cm$ , הגובה:  $h_F = 0.999m$

א. (4)  $v_{m1} \approx 3.65 \frac{m}{sec}$  ב.  $v = \sqrt{\frac{40}{3} - \frac{20}{3}h}$  ג.  $v = \sqrt{8} \frac{m}{sec}$  ד.  $Q = 16J$

(5)  $v = \sqrt{\frac{2(m_1 - m_2)gh}{m_1 + m_2}}$

א. (6)  $v = \sqrt{6\Delta x}$  ב.  $v = \sqrt{4.8\Delta x}$

א. (7)  $h_{min} = \frac{\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_0^2 + (m_1 - m_2)gh}{(m_1 - m_2)g}$  ב.  $|v_p| = |v_i| = |v_0|$

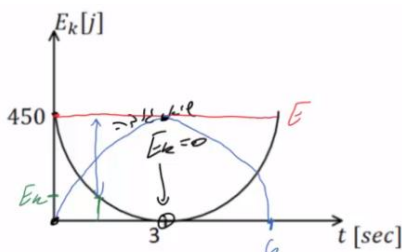
א. (8)  $x_0 = 2m$  ב.  $v \approx 2.58 \frac{m}{sec}$  ג.  $\Delta x_{max} = 4m$

א. (9)  $v(x=18) = 3 \frac{m}{sec}$  ב.  $v(x=6) = 4.12 \frac{m}{sec}$

א. (10)  $h_1 = 2.76m$  ב.  $h_3 = 2.187$  ג.  $n = 16$

א. (11)  $v_0 = 30 \frac{m}{sec}, t = 3sec$  ב.  $h = 45m$  ג.

א.  $W_g = -450J$  ב.  $W_g = -300J$



א. (12)  $0.156$  ב.  $1.12 \frac{m}{sec}$

א. (13)  $v_B = \sqrt{34} \frac{m}{sec}$  ב.  $k = 6800 \frac{N}{m}$  ג.  $h_D = 1.4m$

## הספק:

### שאלות:

#### (1) דוגמה 1

- 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)?

#### (2) דוגמה 2

- 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?

#### (3) הספק ממוצע לשנות מהירות

- איזה כוח קבוע יש להפעיל על מכונית 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?

#### (4) 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 ההספק המנועים (בהנחה שהם שווים), על מנת שהרכבת תישאר במהירות קבועה של 10 מטר לשנייה?



**5) הספק כאשר נתון מיקום כתלות בזמן**

כוח יחיד פועל על גוף שמסתו  $4\text{kg}$ , הכוח הפועל 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:**

- א.  $\Delta E_k \approx 385,800\text{J} = W_{\sum \vec{F}}$  (1)  
 ב.  $p = 51.7\text{HP}$  (2)  
 ג.  $p = 11.18\text{HP}$  (3)  
 ד.  $F = 2500\text{N}$ ,  $\bar{p} \approx 16.76\text{HP}$  (4)  
 א.  $\Delta t = 3.5\text{sec}$  (5)  
 ב.  $E_{k_1} = 100\text{J} = E_{k_2}$  (6)  
 ג.  $W_{1 \rightarrow 2} = 600\text{J}$  (7)  
 ד.  $W_{3 \rightarrow 2} = 1200\text{J}$  (8)  
 א.  $W = 144\text{J}$  (9)  
 ב.  $p(t=2) = 56\text{W}$  (10)  
 ג.  $p = 97.7\text{W}$  (11)

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 9 - מתקף ותנע

תוכן העניינים

118	1. מתקף
119	2. תנע ושימור תנע
123	3. התנגשות אלסטית
124	4. התנגשות פלסטית ורתע
125	5. מקרים מיוחדים
126	6. תרגילים נוספים

## מתקף:

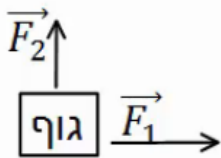
### שאלות:

#### (1) שחקן בועט בכדור

שחקן כדורגל בועט בכדור, הכוח הממוצע שמפעיל השחקן הוא 100 ניוטון בכיוון ציר ה- $x$ .  
 זמן המגע של השחקן עם הכדור הוא 0.2 שניות.  
 חשב את המתקף שהפעיל השחקן על הכדור.

#### (2) חישוב מתקף כולל

בציור הבא נתון גוף שפועלים עליו שני כוחות:  $\vec{F}_1 = 2\hat{x}$ ,  $\vec{F}_2 = 3\hat{y}$ .



זמן הפעולה של שני הכוחות הוא:  $\Delta t = 0.5 \text{ sec}$ .

א. חשב את המתקף של כל כוח בנפרד.

ב. מצא את וקטור המתקף הכולל. מהו גודלו וכיוונו?

ג. חשב את שקול הכוחות הפועל על הגוף ומצא

באמצעות שקול הכוחות את גודל המתקף הכולל.

### תשובות סופיות:

$$\vec{J} = 20\text{N}\hat{x} \quad (1)$$

$$\vec{J}_1 = 1 \cdot \hat{x}, \vec{J}_2 = 1.5 \cdot \hat{y} \quad (2)$$

ב.  $(1, 1.5)$ , גודל:  $|\vec{J}_T| \approx 1.8 \text{N}\cdot\text{sec}$ , כיוון:  $\theta \approx 56.31^\circ$ .

ג.  $\sum \vec{F} = 2\hat{x} + 3\hat{y}$ , גודל:  $|\vec{J}_T| \approx 1.8 \text{N}\cdot\text{sec}$ .

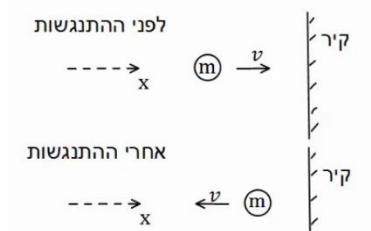
## תנע ושימור תנע:

### שאלות:

#### 1) כדור מתנגש בקיר

כדור בעל מסה  $m = 0.5\text{kg}$  נע במהירות  $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון ציר ה- $x$ .

ברגע מסויים הכדור מתנגש בקיר וחוזר חזרה באותה מהירות. התעלם מכוח הכובד.



א. מהו התנע של הכדור לפני ההתנגשות?

ב. מהו התנע של הכדור לאחר ההתנגשות?

ג. מהו השינוי בתנע?

ד. מהו המתקף שהפעיל הקיר על הכדור?

ה. מהו הכוח הנורמלי הממוצע שהפעיל הקיר

על הכדור, אם משך זמן ההתנגשות היה 0.2 שניה.

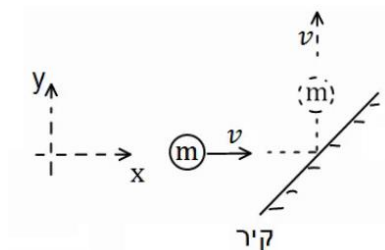
#### 2) כדור מתנגש בקיר משופע

כדור בעל מסה  $m = 0.2\text{kg}$  נע במהירות  $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון ציר ה- $x$ .

ברגע מסויים הכדור מתנגש בקיר משופע.

לאחר ההתנגשות הכדור נע בכיוון החיובי של ציר ה- $y$  באותו גודל של מהירות.

התעלם מכוח הכובד.



א. מהו התנע של הכדור לפני ההתנגשות?

ב. מהו התנע של הכדור לאחר ההתנגשות?

ג. מהו השינוי בתנע?

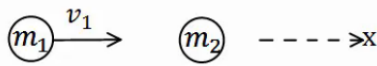
ד. מהו המתקף שהפעיל הקיר על הכדור?

ה. מהו הכוח הנורמלי הממוצע שהפעיל הקיר על הכדור,

אם משך זמן ההתנגשות היה 0.1 שנייה?

### (3) כדור מתנגש בכדור במנוחה

כדור 1 בעל מסה  $m_1 = 2\text{kg}$  נע במהירות  $v_1 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון ציר ה- $x$ .



ברגע מסוים הכדור פוגע בכדור 2 הנמצא במנוחה.

מסת הכדור השני היא  $m_2 = 3\text{kg}$ .

לאחר הפגיעה, כדור 1 ממשיך במהירות  $u_1 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון החיובי של ציר ה- $x$ .

- מהו התנע הכולל לפני ההתנגשות?
- השתמש בחוק שימור התנע ומצא את מהירותו של כדור 2 לאחר ההתנגשות.
- מהו המתקף שפעל על כדור 1?
- מהו המתקף שפעל על כדור 2?
- מהו המתקף שפעל על כל המערכת?

### (4) שני כדורים נעים אחד כלפי השני

שני כדורים נעים אחד כלפי השני ומתנגשים ברגע מסוים. מסות הכדורים והמהירות שלהם לפני ההתנגשות



הן:  $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $v_2 = 15 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $m_1 = 4\text{kg}$ ,  $m_2 = 3\text{kg}$ .

מהירותו של כדור 2 לאחר ההתנגשות היא:  $u_2 = 12 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , בכיוון הפוך למהירותו לפני ההתנגשות.

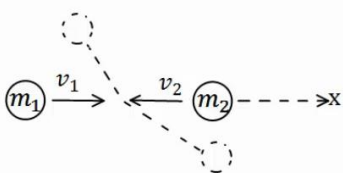
הנח שההתנגשות היא מצחית (כלומר, שהכדורים נשארים על אותו ציר לאחר ההתנגשות).

- מהו התנע הכולל לפני ההתנגשות?
- השתמש בחוק שימור התנע ומצא את מהירותו של כדור 1 לאחר ההתנגשות.
- מהו המתקף שפעל על כדור 1?
- מהו המתקף שפעל על כדור 2?
- מהו המתקף שפעל על כל המערכת?

### (5) התנגשות דו-מימדית

שני כדורים נעים אחד כלפי השני על ציר ה- $x$ .

מהירויות הכדורים ומסותיהן הן:  $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}$ ,  $v_2 = -5 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}$ ,  $m_1 = 3\text{kg}$ ,  $m_2 = 4\text{kg}$ .



הכדורים מתנגשים ולאחר ההתנגשות כדור אחד נע

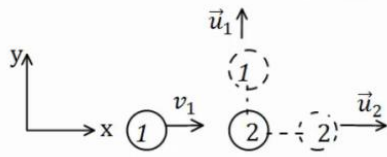
בזווית של 30 מעלות מתחת לציר ה- $x$  וכדור 2 נע

בזווית של 120 מעלות עם ציר ה- $x$  החיובי.

- מצא את גודל מהירויות הכדורים לאחר ההתנגשות.
- מה המתקף שפעל על כל כדור?

### 6 איזה התנגשות אפשרית

כדור מספר 1 נע במהירות חיובית על ציר ה- $x$ .  
ברגע מסוים הוא מתנגש בכדור מספר 2 הנמצא במנוחה.  
נתון כי לאחר ההתנגשות מהירותו של כדור 2



היא בכיוון ציר ה- $x$ .

א. האם יתכן כי מהירותו של כדור 1

לאחר ההתנגשות היא רק בכיוון ציר ה- $y$ ?

ב. האם יתכן כי מהירותו לאחר ההתנגשות

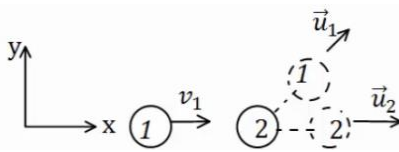
היא בזווית של 30 מעלות עם ציר ה- $x$ ?

ג. האם יתכן שכדור מספר 1 נע בכיוון החיובי

של ציר ה- $x$  לאחר ההתנגשות?

ד. האם יתכן כדור מספר 1 נע בכיוון השלילי של ציר ה- $x$  לאחר ההתנגשות?

ה. האם יתכן ששני הכדורים נעים בכיוון השלילי של ציר ה- $x$  לאחר ההתנגשות?

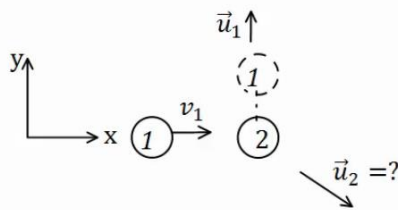


### 7 מציאת המהירות של כדור 2

כדור מספר 1 נע בכיוון החיובי של ציר ה- $x$ .

מסתו היא  $m_1 = 3\text{kg}$  ומהירותו היא  $v_1 = 12 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}$ .

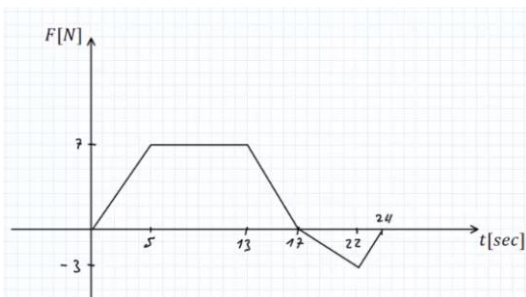
הכדור פוגע בכדור מספר 2 שמסתו היא  $m_2 = 4\text{kg}$   
הנמצא במנוחה.



מהירותו של כדור 1 לאחר ההתנגשות היא  $u_1 = 8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  (בכיוון ציר ה- $y$  החיובי בלבד).

א. מצא את וקטור המהירות של כדור 2 לאחר ההתנגשות.

ב. מהו גודלה של המהירות ומהו כיוונה?



### 8 גרף של כוח כתלות בזמן

גוף בעל מסה של  $2\text{kg}$  נע לאורך קו ישר

בהשפעת כוח המשתנה בזמן.

גודלו של הכוח כתלות בזמן נתון בגרף.

הגוף התחיל תנועתו ממנוחה.

א. מצא את המתקף שפעל על הגוף עד

ל- $t = 17\text{sec}$ , מהי מהירות הגוף באותו הרגע?

ב. מצא את המתקף שפעל על הגוף עד לרגע  $t = 24\text{sec}$ , מהי מהירות הגוף

באותו הרגע?

ג. מהו המתקף שפעל על הגוף במשך הזמן  $17\text{sec} < t < 24\text{sec}$ ?

מה משמעות הסימן של המתקף?

## תשובות סופיות:

$$\Delta \vec{p} = -5 \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \quad \text{ג.} \quad \vec{p} = -2.5 \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \quad \text{ב.} \quad \vec{p} = 2.5 \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\vec{N} = -25 \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \hat{x} = -25 \text{N} \hat{x} \quad \text{ה.} \quad \vec{J}_T = \vec{J}_N = \Delta \vec{p} = -2.5 \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \quad \text{ד.}$$

$$(-0.6, 0.6) \quad \text{ג.} \quad \vec{p} = 0.6 \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{y} \quad \text{ב.} \quad \vec{p} = 0.6 \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\vec{N} = (-6, 6) \text{N} \quad \text{ה.} \quad \vec{J}_N = (-0.6, 0.6) \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד.}$$

$$\vec{J}_{T1} = -30 \hat{x} \text{N} \cdot \text{sec} \quad \text{ג.} \quad \vec{u}_2 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \quad \text{ב.} \quad \vec{p}_T = 40 \hat{x} \text{N} \cdot \text{sec} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$0 \quad \text{ה.} \quad \vec{J}_{T2} = 30 \hat{x} \text{N} \cdot \text{sec} \quad \text{ד.}$$

$$\vec{J}_1 = -81 \hat{x} \text{N} \cdot \text{sec} \quad \text{ג.} \quad u_1 = -10.25 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad \vec{p}_T = -5 \hat{x} \text{N} \cdot \text{sec} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$0 \quad \text{ה.} \quad \vec{J}_2 = 81 \hat{x} \text{N} \cdot \text{sec} \quad \text{ד.}$$

$$\vec{J}_1 = (-14.97, -8.67) \quad \text{ב.} \quad u_1 = 5.78 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$\text{א. לא.} \quad \text{ב. לא.} \quad \text{ג. כן.} \quad \text{ד. כן.} \quad \text{ה. לא.} \quad (6)$$

$$\vec{u}_2 = (9, -6) \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad \text{ב. גודל: } |\vec{u}_2| \approx 10.82 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, \text{ כיוון: } \theta = 33.69^\circ. \quad (7)$$

$$J = 87.5 \text{N} \cdot \text{sec}, v_F(t = 17 \text{sec}) = 43.75 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (8)$$

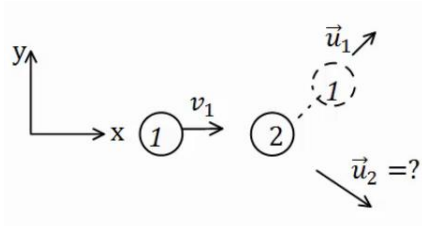
$$J = 77 \text{N} \cdot \text{sec}, v(t = 24 \text{sec}) = 38.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

ג.  $J_{17 < t < 24} = -10.5$ , המשמעות של הסימן שהכוח שמפעיל את המתקף פועל בכיוון השלילי.

## התנגשות אלסטית:

### שאלות:

#### (1) התנגשות אלסטית



כדור בעל מסה  $m_1 = 2\text{kg}$  פוגע בכדור שני הנמצא במנוחה. מהירותו של הכדור הראשון לפני ההתנגשות היא  $v_1 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

נתון כי מהירותו של הכדור הראשון לאחר ההתנגשות היא  $u_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בזווית של 45 מעלות ביחס לכיוון פגיעתו. מצא את מהירות הכדור השני ומסתו, אם ידוע שההתנגשות היא אלסטית.

#### (2) התנגשות אלסטית מצחית



גוף בעל מסה  $m_1 = 5\text{kg}$  נע על ציר ה- $x$  ומתנגש בגוף אחר בעל מסה  $m_2 = 8\text{kg}$ , הנע על ציר ה- $x$  גם כן.

מהירויות הגופים לפני ההתנגשות הן:  $v_1 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}$ ,  $v_2 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}$ . בהתאמה.

ידוע שההתנגשות היא פלסטית ומצחית. מצא את מהירויות הגופים לאחר ההתנגשות.

### תשובות סופיות:

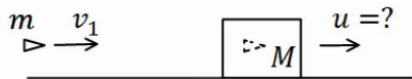
$$(1) \text{ מסה: } m_2 \approx 1.45\text{kg}, \text{ מהירות: } u_{2y} = -9.75 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_{2x} = 17.86 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$(2) u_2 \approx 16.54 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_1 = 1.54 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

## התנגשות פלסטית ורתע:

### שאלות:

#### (1) קליע נתקע בבול עץ



קליע נע במהירות  $v_1 = 100 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  לעבר בול עץ

הנמצא במנוחה. הקליע חודר לבול העץ ונתקע בתוכו.  
 מסת הקליע היא  $m = 20 \text{ gr}$  ומסת בול העץ היא  $M = 5 \text{ kg}$ .  
 מצא את המהירות המשותפת של הגופים לאחר הפגיעה.

#### (2) קליע נורה מרובה



כדור נורה מרובה הנמצא במנוחה.

מהירות הכדור לאחר הירי היא  $u_2 = 100 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , ומסת הכדור היא  $m = 20 \text{ gr}$ .

מהי מהירות הרובה, אם מסת הרובה היא  $M = 3 \text{ kg}$ ?

#### (3) טיל מתפרק

טיל טס באוויר במהירות  $v = 540 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$  בקו ישר, מסת הטיל היא  $M = 50 \text{ kg}$ .

ברגע מסוים הטיל מתפוצץ לשני חלקים. מסת החלק הראשון היא  $m_1 = 20 \text{ kg}$ .  
 מצא את מהירות החלק השני במקרים הבאים:

א. מהירות החלק הראשון היא  $u_1 = 72 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$  בכיוון הפוך לכיוון אליו נע

הטיל לפני הפיצוץ.

ב. מהירות החלק הראשון היא  $u_1 = 360 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$  בכיוון 30 מעלות

מתחת לכיוון אליו עף הטיל לפני הפיצוץ.

### תשובות סופיות:

$$u = \frac{2}{5} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (1)$$

$$u_2 = -\frac{2}{3} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (2)$$

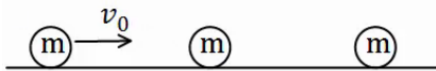
$$u_2 = 948 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{א.} \quad (3) \quad \text{ב.} \quad u_{2x} \approx 192.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, \quad u_{2y} = 33.34 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

## מקרים מיוחדים:

### שאלות:

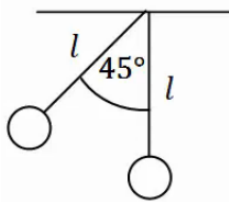
#### (1) פגיעה כפולה

- שלושה כדורים זהים נמצאים על מישור אופקי חלק. הכדור השמאלי נע במהירות  $v_0$  כלפי הכדור האמצעי. מצא את מהירויות כל אחד מהגופים לאחר כל התנגשות, אם:
- כל ההתנגשויות הן אלסטיות מצחיות.
  - כל ההתנגשויות הן פלסטיות.



#### (2) מטוטלת פוגעת במטוטלת

- שני כדורים זהים תלויים באמצעות חוטים בעלי אורך זהה  $l$ . מסיתים את הכדור השמאלי בזווית של  $45^\circ$  מעלות ומשחררים אותו ממנוחה.



- מהי מהירותו רגע לפני הפגיעה בכדור הימני?
- מהי מהירות הכדור השמאלי לאחר הפגיעה אם ההתנגשות היא אלסטית?
- מהי הזווית המקסימלית אליה יגיע הכדור לאחר הפגיעה?
- מה יקרה לאחר מכן?
- חזור על סעיפים ב', ג' אם ההתנגשות היא פלסטית.

#### (3) מקדם תקומה

- גוף בעל מסה  $m$  נע במהירות  $v$  על משטח אופקי חלק ומתנגש בגוף בעל מסה  $3m$  הנמצא במנוחה. נתון כי ההתנגשות חד ממדית ומקדם התקומה הוא  $0.8$ . מצא את מהירות הגופים לאחר ההתנגשות.

### תשובות סופיות:

- (1) א. הכדור הראשון והשני מהירותם  $0$ , והכדור השלישי מהירותו  $v_0$ .

ב.  $\tilde{u} = \frac{v_0}{3}$

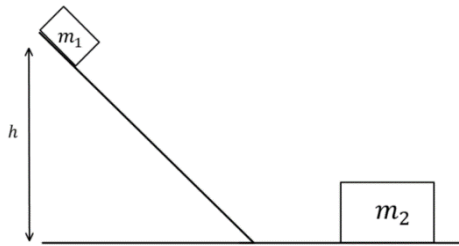
(2) א.  $v = \sqrt{0.58gl}$     ב.  $u_2 = v = \sqrt{0.58gl}$     ג.  $\theta_{\max} = 45^\circ$

- ד. התהליך חוזר על עצמו לנצח.  
ה. (א)  $\theta \approx 21.95^\circ$ , (ב)  $u = \frac{1}{2}v$

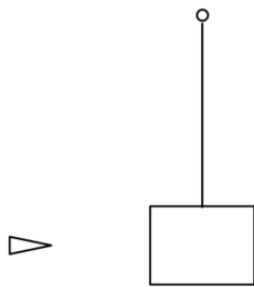
(3)  $u_1 = -0.35v$ ,  $u_2 = 0.45v$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:



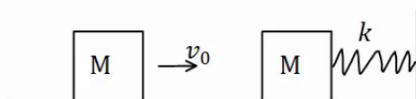
- (1) גוף יורד במדרון מתנגש ועולה חזרה  
 גוף בעל מסה  $m_1 = 2\text{kg}$  משוחרר ממנוחה על  
 מדרון משופע בגובה  $h = 1\text{m}$ .  
 בתחתית המדרון מונח גוף בעל מסה  $m_2 = 5\text{kg}$ .  
 הוגף הראשון פוגע בגוף השני בהגיעו  
 למישור האופקי והגופים מתנגשים התנגשות  
 אלסטית, עד לאיזה גובה יגיע הגוף הראשון  
 בחזרה במעלה המדרון? אין חיכוך בין הגופים למשטחים.



- (2) קליע חודר מטוטלת בליסטית  
 בול בעל מסה  $2\text{kg}$  קשור לחוט ותלוי אנכית במנוחה.  
 קליע בעל מסה  $5\text{gr}$  נע במהירות  $v_1 = 450 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  פוגע  
 בבול העץ, חודר אותו, ויוצא מצידו השני  
 במהירות  $u_1 = 150 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .  
 לאיזה גובה מקסימאלי יגיע בול העץ?

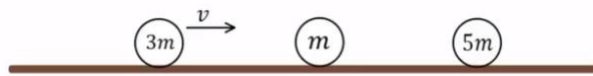
### (3) שתי מסות וקפיץ

- מסה  $M$  נעה במהירות  $v_0$  ומתנגשת במסה  $M$  נוספת הנמצאת במנוחה.  
 המסה הנוספת מחוברת לקפיץ רפוי.  
 קבוע הקפיץ, המהירות ההתחלתית והמסות נתונים.  
 מצא את הכיוון המקסימלי, אם:



- א. ההתנגשות היא פלסטית.  
 ב. ההתנגשות אלסטית.  
 ג. חשב את המתקף שפעל על כל גוף בכל אחד מהמקרים.

#### 4) שלושה כדורים

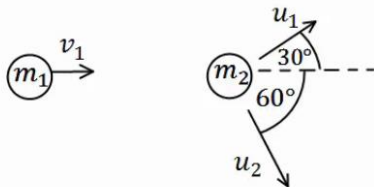


שלושה כדורים מונחים על משטח אופקי חלק כפי שמתואר באיור.

הכדור השמאלי בעל מסה  $3m$  נע במהירות  $v$  ומתנגש התנגשות אלסטית בכדור בעל מסה  $m$  הנמצא במנוחה. שתי שניות לאחר מכן מתנגש הכדור בעל מסה  $m$  בכדור בעל מסה  $5m$  הנמצא במנוחה התנגשות פלסטית.

- מהי מהירות הכדורים  $m$  ו- $3m$  לאחר ההתנגשות הראשונה?
- מהי המהירות המשותפת של הכדורים  $m$  ו- $5m$  לאחר ההתנגשות השנייה?
- כמה זמן חלף מרגע ההתנגשות הראשונה עד לרגע ההתנגשות השלישית, זו של הכדור  $3m$  בכדורים הדבוקים?

#### 5) איבוד אנרגיה



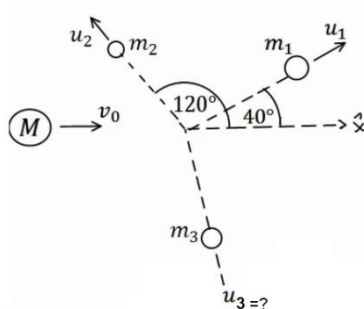
כדור בעל מסה  $m_1 = 2\text{kg}$  ומהירות  $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,

מתנגש בכדור בעל מסה  $m_2 = 3\text{kg}$  הנמצא במנוחה.

לאחר ההתנגשות, הכדור הראשון נע בכיוון  $30^\circ$  מעלות מעל לכיוון הפגיעה, והכדור השני נע בזווית  $60^\circ$  מעלות מתחת לכיוון הפגיעה (ראה איור).

- מצא את מהירות הגופים לאחר ההתנגשות.
- האם ההתנגשות אלסטית?
- אם לא, כמה אנרגיה אבדה בהתנגשות?

#### 6) פצצה



פצצה בעלת מסה  $M = 13\text{kg}$  נעה באוויר במהירות קבועה  $v_0 = 100 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ . ברגע מסוים הפצצה מתפוצצת

לשלושה חלקים קטנים יותר.

מסת החלק הראשון היא  $m_1 = 4\text{kg}$  והוא נע

במהירות  $u_1 = 80 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בזווית של  $40^\circ$  מעלות ביחס

לכיוון המקורי.

מסת החלק השני היא  $m_2 = 2\text{kg}$  והוא נע במהירות  $u_2 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בזווית של  $120^\circ$

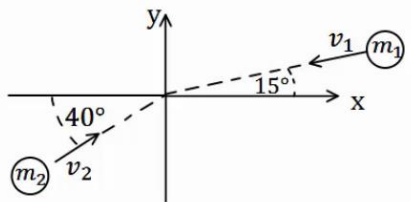
מעלות ביחס לכיוון המקורי. מסת החלק השלישי היא  $7\text{kg}$ .

מצא את מהירות החלקיק השלישי.

**(7) שני גופים שני מימדים**

שני גופים, בעלי מסות:  $m_1 = 2\text{kg}$ ,  $m_2 = 3\text{kg}$ , נעים לכיוון הראשית.

מהירות הגופים הן:  $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $v_2 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , בהתאמה, וכיוונם נתון באיור.



הגופים מתנגשים בראשית.

מצא את מהירות הגופים לאחר ההתנגשות, אם:

א. ההתנגשות היא פלסטית.

ב. ההתנגשות היא אלסטית, והגוף נע בכיוון

החיובי של ציר ה-y לאחר ההתנגשות.

**(8) כדור גולף על כדורסל**

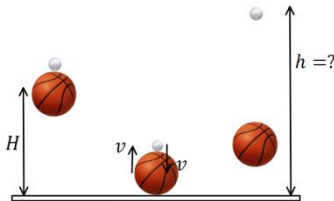
כדור גולף וכדור כדורסל מוחזקים במנוחה אחד מעל השני בגובה  $H = 1.5\text{m}$ .

משחררים אותם ליפול ממנוחה.

מה יהיה הגובה המרבי אליו יגיע כדור הגולף, אם נניח שכל ההתנגשויות אלסטיות ומצחיות.

מסת כדור הגולף היא  $m = 46\text{gr}$ ,

ומסת הכדורסל היא  $M = 624\text{gr}$ .

**(9) ארגז בתוך קרונית המתנגשת בקיר**

ארגז שמסתו  $m$  מונח בתוך קרונית סגורה

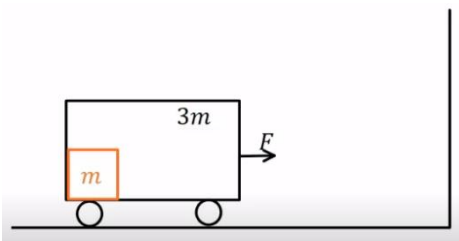
בצמוד לדופן השמאלי של הקרונית.

מסת הקרונית היא  $3m$  והיא מתחילה ממנוחה.

מפעילים כוח  $F$  קבוע ימינה במשך  $T$  שניות.

אין חיכוך בין הקרונית לקרקע.

נתון:  $F, T, m$ .



א. מהי מהירות הקרונית בתום הזמן  $T$ ?

ב. מהו הכוח  $N$  שהארגז מפעיל על הדופן השמאלית של הקרונית?

ג. בתום פעולת הכוח הקרונית מתנגשת בקיר התנגשות אלסטית לחלוטין.

הארגז ממשיך את תנועתו מלפני ההתנגשות עד אשר הוא מתנגש בדופן

הימנית של הקרונית התנגשות פלסטית. מהי מהירות הקרונית לאחר

ההתנגשות השנייה בארגז?

ד. כמה אנרגיה הלכה לאיבוד בהתנגשות הפלסטית של הארגז בדופן הימנית?

**10) מטוטלת פוגעת במסה שנע במדרון עם קפיץ**

גוף בעל מסה  $m_1 = 1\text{kg}$  קשור לתקרה באמצעות חוט שאורכו  $L = 0.6\text{m}$ .

מסיטים את החוט בזווית  $50^\circ$  מהאנך לתקרה ומשחררים ממנוחה.

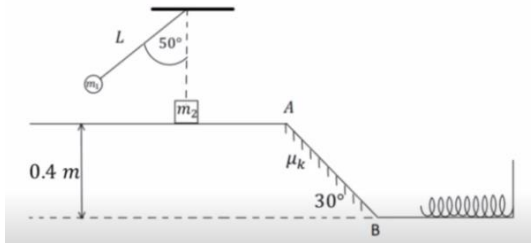
בתחתית המסלול של תנועתו מתנגש הגוף

בגוף שני בעל מסה  $m_2 = 2\text{kg}$  הנמצא

במנוחה על משטח אופקי חלק. גובה המשטח

מעל הקרקע הוא  $0.4\text{m}$ . מיד לאחר ההתנגשות

גוף 1 מקבל מהירות של  $0.4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  אחורה



וגוף 2 נע קדימה. בנקודה A גוף 2 עובר למישור משופע לא חלק בעל מקדם חיכוך  $\mu_k = 0.1$  וזווית שיפוע  $30^\circ$ . בנקודה B גוף 2 חוזר למישור אופקי חלק

בגובה הקרקע ומתנגש בקפיץ בעל קבוע  $k = 200 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

א. מהי המהירות של גוף 1 רגע לפני ההתנגשות?

ב. מהי המהירות של גוף 2 מיד לאחר ההתנגשות?

ג. מהי המהירות של גוף 2 בנקודה B?

ד. מהי ההתכווצות המקסימלית של הקפיץ?

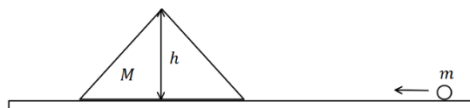
ה. מהי המהירות של גוף 2 כאשר הקפיץ מכווץ בחצי מהכיוון המקסימלי?

**11) כדור עולה על מדרון משולש**

מדרון משולש בעל גובה  $h = 3\text{m}$  חופשי לנוע מעל משטח אופקי חלק

(ללא חיכוך). מסת המדרון היא:  $M = 15\text{kg}$ .

מגלגלים כדור בעל מסה  $m = 5\text{kg}$



על המשטח לכיוון המדרון. התייחס לכדור כאל גוף נקודתי.

א. מה צריכה להיות המהירות שבה מגלגלים את הכדור כך שהוא יעצור

(ביחס למדרון) בדיוק לפני שהוא עובר את שיא הגובה של המדרון?

ב. מהי המהירות המדרון ברגע שהכדור מגיע לשיא הגובה?

ג. מהי המהירות הסופית של המדרון והכדור?

**12) קפיץ נמשך משתי קצותיו**

על שולחן אופקי חלק מונחים שני גופים בעלי מסות  $M = 5\text{kg}$  ו-  $m = 3\text{kg}$

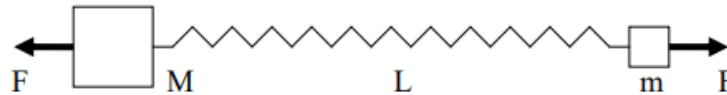
המחוברים לקצותיו של קפיץ בעל קבוע כוח  $k = 150 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  ואורך חופשי  $l_0 = 0.4\text{m}$ .

על הגופים פועלים שני כוחות,  $F$ , שווים בגודלם והפוכים בכיוונם.

המערכת נמצאת במנוחה כאשר הקפיץ מתוח ואורכו הוא  $L$  (ראה ציור).

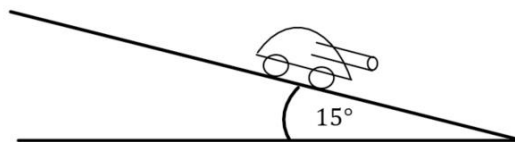
א. מה תהיה המתיחות וההתארכות בקפיץ כאשר  $F = 15\text{N}$ ?

- ב. במקרה אחר, משחררים את המערכת ממצב של מנוחה כאשר  $L = 0.6\text{m}$   
 ו-  $F$  לא ידוע. מה יהיה אורכו של הקפיץ כאשר מגיע להתכווצותו  
 המקסימלית לאחר השחרור?  
 ג. בסעיף ב', מה תהיה המהירות המקסימלית של  $M$  לאחר השחרור?



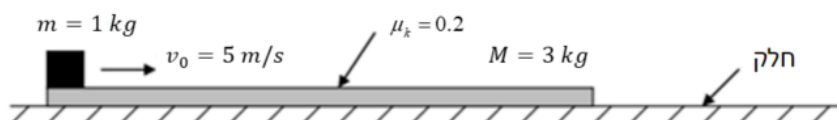
### 13) טנק יורה פגזים ועולה במדרון\*\*

טנק שמסתו 800 ק"ג (טנק קל מאוד) נמצא ברגע מסוים במנוחה על מדרון  
 משופע בזווית של 15 מעלות. הטנק יורה שני פגזים במרווח של 2 שניות בין הירי  
 הראשון לשני. מסת כל פגז היא 20 ק"ג והוא נורה במהירות לוע של 400 מטר  
 לשנייה במקביל ובמורד למדרון. הניחו שלטנק גלגלים והחיכוך בינו למדרון זניח.  
 מה ההעתק המקסימאלי שיעשה הטנק במעלה המדרון?



### 14) קובייה נעה על לוח שזז\*\*\*- כולל תנועה יחסית

- קובייה קטנה שמסתה  $m = 1\text{kg}$  נמצאת על לוח ארוך שמסתו  $M = 3\text{kg}$   
 כמוראה בציוור. הלוח נמצא על שולחן אופקי חלק (ללא חיכוך) ובזמן  $t = 0$   
 מהירותו היא אפס יחסית לשולחן. באותו זמן ( $t = 0$ ) הקובייה נעה על הלוח  
 במהירות  $v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  יחסית ללוח ובכיוון ימינה. מקדם החיכוך הקינטי בין  
 הקובייה ללוח הוא  $\mu_k = 0.2$ . כעבור זמן מסוים נעצרת הקובייה על הלוח  
 (לפני שהיא מגיעה לקצהו), כך ששניהם נעים יחד באותה מהירות על השולחן.  
 א. חשבו את המהירות המשותפת של הקובייה והלוח, לאחר עצירת הקובייה  
 על הלוח ביחס למעבדה.  
 ב. מהו הכוח האופקי הפועל על הקובייה עד לעצירתה על הלוח (גודל וכיוון)?  
 ג. מהו הכוח האופקי הפועל על הלוח עד לעצירת הקובייה על הלוח (גודל וכיוון)?  
 ד. מהי תאוצת הקובייה ביחס למעבדה ומהי תאוצת הקובייה ביחס ללוח?  
 ה. מהו המרחק שעברה הקובייה ביחס ללוח עד לעצירתה ביחס אליו?



## תשובות סופיות:

0.18m (1)

0.028m (2)

$$\Delta x_{\max} = \sqrt{\frac{m}{k} v_0^2} \quad \text{ב.} \quad \Delta x_{\max} = \sqrt{\frac{m}{k} \cdot \frac{1}{2} v_0^2} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$\vec{J}_1 = -mv_0 \hat{x}, \vec{J}_2 = mv_0 \hat{x} \quad \text{ב.} \quad \vec{J}_1 = -\frac{1}{2}mv_0 \hat{x}, \vec{J}_2 = \frac{1}{2}mv_0 \hat{x} \quad \text{א.} \quad \text{ג.}$$

$$t = 10 \text{sec} \quad \text{ג.} \quad u = \frac{1}{4}v \quad \text{ב.} \quad u_2 = \frac{3}{2}v, u_1 = \frac{1}{2}v \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$Q = 8.27 \text{J} \quad \text{א, לא, ב.} \quad u_1 = 8.66 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 3.34 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$u_{3,x} \approx 152 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_{3,y} \approx -32 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (6)$$

$$u_x \approx -3.13 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_y \approx 1.79 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$u_{1,x} \approx -7.83 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_{1,y} \approx -15.20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 13.11 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

h ≈ 12.3m (8)

$$E = \frac{3F^2T^2}{32m} \quad \text{ד.} \quad \bar{u} = \frac{FT}{8m} \quad \text{ג.} \quad N = \frac{F}{4} \quad \text{ב.} \quad v(T) = \frac{F}{4m}T \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$v_B = 2.853 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad u_2 \approx 1.235 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad v = 2.07 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$v = 2.47 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ה.} \quad \Delta l_{\max} \approx 0.285 \text{m} \quad \text{ד.}$$

$$u_1' = 2\sqrt{5} \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2' = -2\sqrt{5} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad u = \sqrt{5} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad v_0 = 8.94 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$0.74 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad 0.2 \text{m} \quad \text{ב.} \quad 0.1 \text{m}, 15 \text{N} \quad \text{א.} \quad (12)$$

60m (13)

$$2 \text{N} \text{ ימינה.} \quad \text{ג.} \quad 2 \text{N} \text{ שמאלה.} \quad \text{ב.} \quad 1.25 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (14)$$

$$4.7 \text{m} \quad \text{ה.} \quad -\frac{8}{3} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ד.}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 10 - מרכז מסה

תוכן העניינים

1. הסבר בסיסי על מרכז מסה..... 132
2. תנועה לפי הכוחות החיצוניים (ללא ספר).....
3. שני תרגילים..... 134

## הסבר בסיסי על מרכז מסה:

### רקע

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

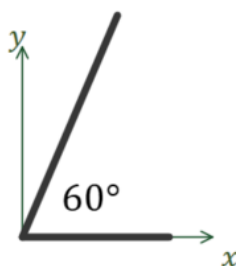
ניתן לרשום אותה לכל רכיב בנפרד, לדוגמה לרכיב x:

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

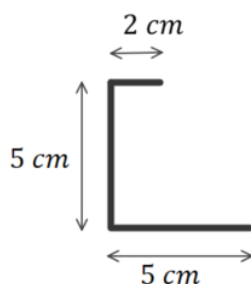
$$\vec{v}_{c.m.} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

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

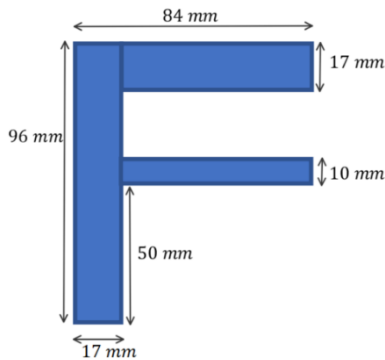
### שאלות:



- (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  $60^\circ$  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.

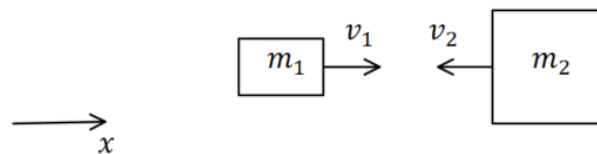
המימדים של כל הלוחות נתונים באיור.

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:

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

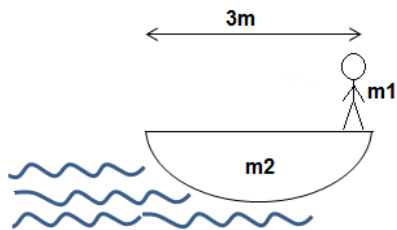
$$x_{c.m} = 1.2c.m \quad , \quad y_{c.m} = 1.875c.m \quad (2)$$

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

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

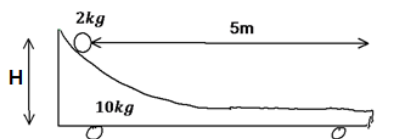
## שני תרגילים:

### 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:

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

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

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

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

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 ..... 135
4. נוסחאות לגופים נוספים וסיכום ..... 138
5. תרגילים שונים לחישוב מומנט התמד ..... 139

## 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:

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

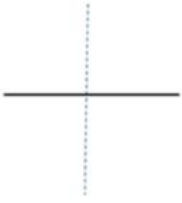




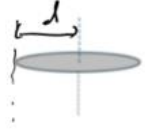



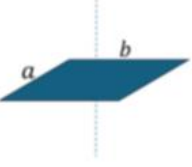
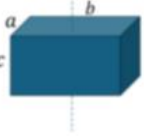
הגדרה - עבור מערכת של גופים נקודתיים

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

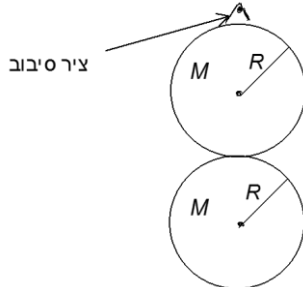
הערה: משפט שטיינר פועל רק לצירים מקבילים, ורק כאשר אחד הצירים עובר במרכז המסה.

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:

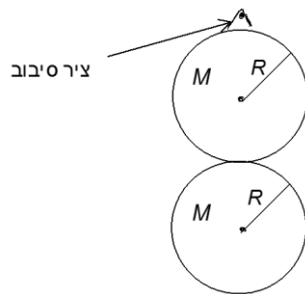
$$I = 11mR^2 \quad (1)$$

## 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).

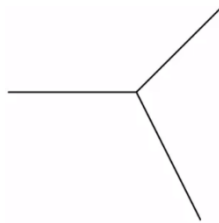


### תשובות סופיות:

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

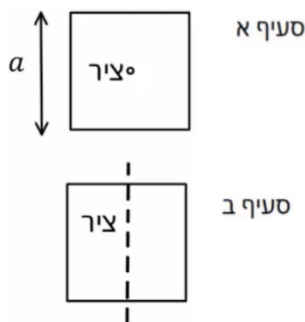
## תרגילים שונים לחישוב מומנט התמד:

### 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**

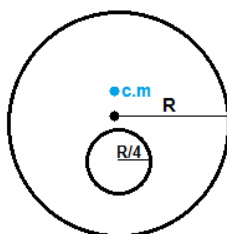


מצא את מומנט ההתמד של שער חשמלי בעל מסה  $m$  ואורך  $l$  אשר בסופו מחוברת משקולת בעלת מסה  $M$  ואורך  $L$  המסתובב סביב מרכז המסה שלו.



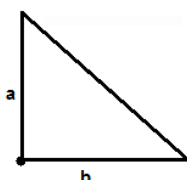
**(4) מומנט התמד של ריש**

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  $R$  ממוקד החור 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:

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

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

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

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

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

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

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 12 - תנע זוויתי

תוכן העניינים

141	1. נוסחאות וחוקי שימור
145	2. תנע זוויתי ביחס למרכז מסה
(ללא ספר)	3. פרסציה
147	4. תרגילים בפרסציה

## 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  $\vec{F} = -mg\hat{y}$ .

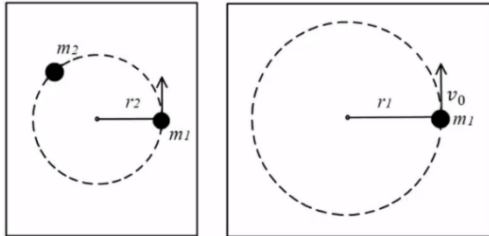
א. מהו התנ"ז של האבן ביחס לנקודת המוצא כתלות בזמן?

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.

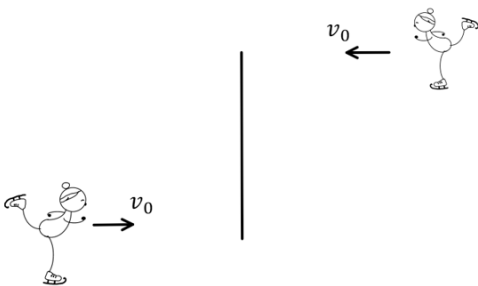


המסה נעה במסלול מעגלי ברדיוס קבוע  $r_1$  ובמהירות קבועה  $v_0$ .

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

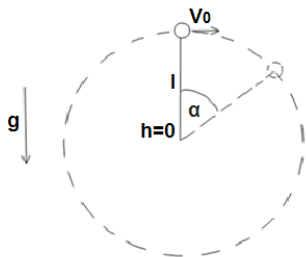
$$\frac{d}{2}$$

מצא את המהירות הזוויתית החדשה של המחליקות.

**(4) כדור מסתובב אנכית**

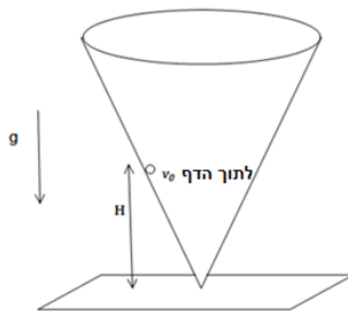
כדור בעל מסה  $m$  מחובר לחוט בעל אורך  $l$  ומסתובב במעגל אנכי.

נתון כי מהירות הכדור בשיא הגובה היא  $v_0$ .

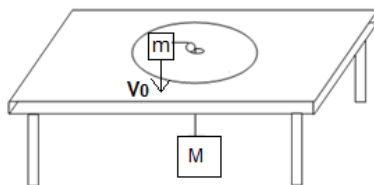


א. מצא את מומנט הכוח הפועל על הכדור כפונקציה של הזווית  $\alpha$ .

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.

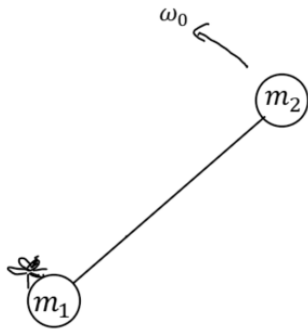
רשום את משוואת שימור האנרגיה והתנע הזוויתי ומצא משוואה דיפרנציאלית התלויה רק בגודל  $r$ , מרחק המסה  $m$  ממרכז השולחן.

**(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.  $\omega' = \frac{2v_0}{d}$       ב.  $\sum \tau = -mgl \sin \alpha$

א.  $\dot{L} = lmv(-\hat{z})$       ב.  $(2gH + v_0^2)h_{\max}^2 + 2gh_{\max}^3 + v_0^2H^2$

א.  $a + br + \frac{c}{r^2} = \&$       ב. שאלת הוכחה.

א.  $a + br + \frac{c}{r^2} = \&$       ב. שאלת הוכחה.

שאלת הוכחה.

שאלת הוכחה.

א.  $\omega' = \frac{(m_1 + m_3)(m_1 + m_2)}{m_1(m_1 + m_2 + m_3)} \omega_0$

## תנע זוויתי ביחס למרכז מסה:

### רקע

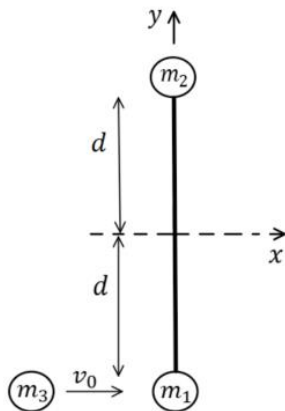
$$\vec{L} = \vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.} + \vec{L}_{c.m.}$$

$\vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.}$  - התנע הזוויתי של מרכז המסה כאילו הוא גוף נקודתי שהמסה שלו היא מסת כל המערכת

$\vec{L}_{c.m.}$  - התנע הזוויתי ביחס למערכת מרכז המסה, כלומר מה התנע של כל גוף במערכת ביחס לצופה הנע בנקודת מרכז המסה.

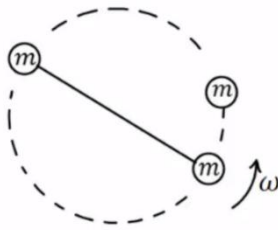
### שאלות:

#### 1) מסה מתנגשת במוט עם שתי מסות



שתי מסות נקודתיות  $m_1$  ו- $m_2$  מחוברות באמצעות מוט חסר מסה באורך  $2d$ . המערכת נמצאת במנוחה על שולחן אופקי חסר חיכוך (שתי המסות על השולחן, המוט אופקי). מסה שלישית  $m_3$  נעה במהירות  $v_0$  ומתנגשת התנגשות פלסטית במסה  $m_1$ . נסמן את רגע ההתנגשות ב- $t = 0$ .  
 $d = 3\text{ m}$ ,  $v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $m_1 = m_2 = m_3 = 0.2\text{ kg}$

- חשבו את מיקום מרכז המסה ברגע  $t_1 = 0.5\text{ sec}$ . ביחס לראשית הנמצאת במרכז המוט בהתחלה ואינה נעה עם המוט.
- חשבו את התנע הזוויתי של המערכת ביחס לראשית הצירים ברגע  $t_1$ .
- חשבו את התנע הזוויתי של המערכת ביחס למרכז המסה שלה ברגע  $t_1$ .
- מצאו את המהירות הזוויתית של המוט ביחס למרכז המסה לאחר ההתנגשות.
- מהי המהירות הקווית של  $m_1$  ומהי המהירות הקווית של  $m_2$  מיד לאחר ההתנגשות?

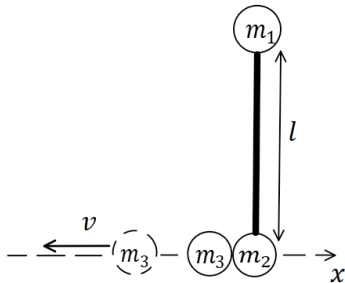


**2) שתי מסות מחוברות מסתובבות ומתנגשות בשלישית**

שתי מסות זהות  $m$  מחוברות במוט חסר מסה באורך  $d$  ומסתובבות סביב מרכז המסה שלהן במהירות זוויתית קבועה  $\omega$ . אחת המסות מתנגשת התנגשות פלסטית במסה זהה נוספת הנמצאת במנוחה. מצא את מהירות מרכז המסה של שלושת המסות המחוברות לאחר ההתנגשות ואת המהירות הזוויתית שלהן סביב מרכז המסה של שלושתן.

**3) מסה נפרדת ממוט עם שתי מסות**

שלוש מסות  $m_1, m_2, m_3$  נתונות ומחוברות לקצה של מוט באורך  $l$ .



המסות  $m_2, m_3$  מחוברות בקצה התחתון באיור והמסה  $m_1$  בקצה העליון. המוט נמצא על שולחן חסר חיכוך (באיור המבט מלמעלה) ובמנוחה. ברגע מסוים יש פיצוץ בין המסות  $m_2, m_3$  והמסה  $m_3$  מתנתקת מהמוט וממשיכה במהירות  $v$  נתונה (ביחס לשולחן) ובמאונך למוט. המסה  $m_2$  נשארת מחוברת למוט. נתון כי:  $m_1, m_2 = M, m_3 = 3M$ .

- א. מצא את מהירות מרכז המסה של המוט (עם המסות המחוברות).
- ב. מצא את המהירות הזוויתית של המוט סביב מרכז המסה שלו.

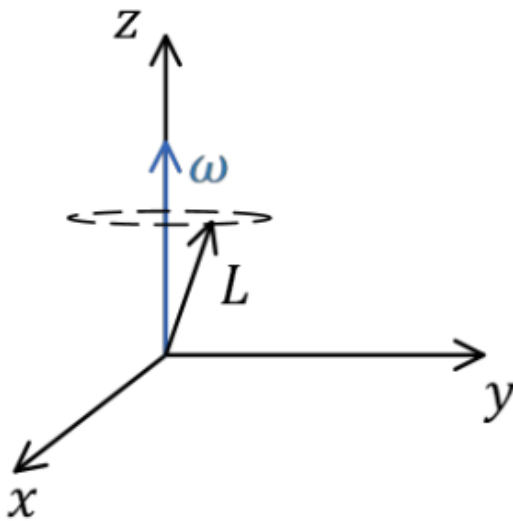
**תשובות סופיות:**

$$\begin{aligned}
 & \text{א. } \vec{r}_{cm}(t_1) = (1_m - 1_m) \quad (1) \\
 & \text{ב. } L = 3.6 \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \\
 & \text{ג. } L_{c.m.} = 4.8 \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \\
 & \text{ד. } \omega = 1 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \\
 & \text{ה. } V_1 = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}, V_2 = -2 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \\
 & \text{ו. } u_{1,2,3,cm} = 0, \omega' = \frac{3}{4} \omega \quad (2) \\
 & \text{ז. } \omega = \frac{3v}{l} \quad \text{ב.} \\
 & \text{ח. } v_{1,2,c.m.} = \frac{3}{2} v \quad \text{א.} \quad (3)
 \end{aligned}$$

## תרגילים בפרסציה:

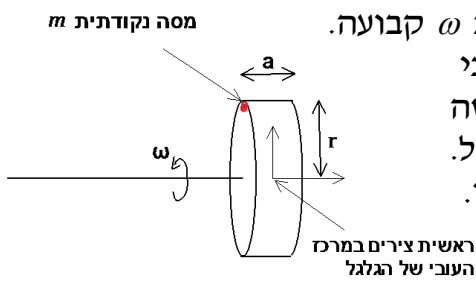
### רקע:

בפרסציה לתנע הזוויתי יש רכיב במישור  $xy$  שמסתובב סביב ציר  $z$ . נגזרת בזמן של הרכיב הזה נותנת לנו את מומנט הכוח שפועל על המערכת.



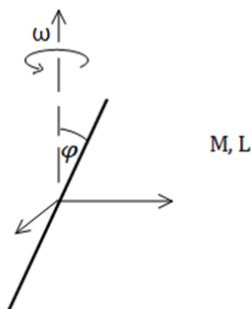
### שאלות:

#### 1) נקודה על גלגל



נתון גלגל בעל רדיוס  $r$  המסתובב במהירות זוויתית  $\omega$  קבועה. לגלגל עובי  $a$  וראשית הצירים נמצאת במרכז העובי של הגלגל. אל הקצה העליון של הגלגל מחוברת מסה נקודתית  $m$  (ראה ציור) המסתובבת ביחד עם הגלגל. א. הראה כי התנע הזוויתי של המסה תלוי בזמן. ב. הראה כי שינוי התנע הזוויתי ניתן ע"י מומנט הכוח של הכוח הצנטריפטלי.

#### 2) מוט מסתובב בזווית עם הציר האנכי



מוט בעל אורך  $l$  ומסה  $M$  מונח בזווית  $\varphi$  ביחס לציר ה- $z$ . המוט מסתובב סביב ציר ה- $z$  במהירות זוויתית קבועה  $\omega$ . מצא את מומנט הכוח שפועל על המוט.

**תשובות סופיות:****(1)** שאלת הוכחה.

$$\sum \tau^r = -\frac{\omega^2 M I^2 \sin \varphi}{3} \hat{\theta} \quad \mathbf{(2)}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 13 - גוף קשיח

תוכן העניינים

149	1. הגדרות, ציר סיבוב ותנע קווי
150	2. תנע זוויתי של גוף קשיח
153	3. אנרגיה סיבובית של גוף קשיח
156	4. ניתוח לפי כוחות ומומנטים וגלגול ללא החלקה
159	5. גלגול עם החלקה
160	6. תרגילים מסכמים
167	7. תרגילים מסכמים כולל פרסציה

## 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

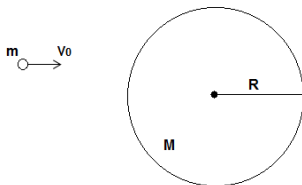
תנ"ז של תנועה משולבת (ציר שזז, כלומר הגוף גם זז וגם מסתובב):

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

כאשר  $\vec{L}_{c.m.}$  הוא התנ"ז ביחס לציר העובר במרכז המסה ושווה ל-

$$\vec{L}_{c.m.} = I_{c.m.}\vec{\omega}$$

שאלות:

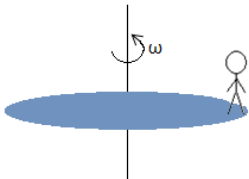


### 1) כדור מתנגש בדיסקה

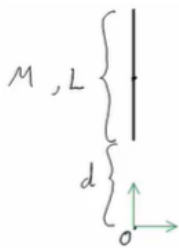
דיסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$  מחוברת באמצעות ציר העובר במרכזה לשולחן אופקי חסר חיכוך.

כדור פלסטלינה בעל מסה  $m$  נע במהירות  $V_0$  לעבר הדיסקה.

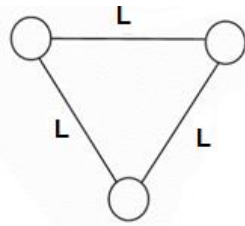
הכדור פוגע בדיסקה משמאלה, ובמרחק  $d$  ממרכזה. הכדור נדבק לדיסקה ושניהם מתחילים להסתובב יחדיו (סביב הציר במרכז הדיסקה). הדיסקה נמצאת במנוחה לפני הפגיעה וכוח הכובד אינו משפיע על הגופים (המערכת אופקית). מצא את המהירות הזוויתית בה יסתובבו הגופים לאחר הפגיעה.

**(2) אדם קופץ מדיסקה**

נתונה דיסקה בעלת רדיוס  $R$  המסתובבת סביב מרכז במהירות זוויתית קבועה  $\omega$ . בקצה הדיסקה עומד איש נקודתי ומסתובב ביחד עם הדיסקה. ברגע מסוים האיש קופץ מהדיסקה ונתון כי מהירותו מיד לאחר הקפיצה היא  $V_0$  בכיוון הרדיאלי, ביחס לקרקע. מצא את המהירות הזוויתית של הדיסקה לאחר הקפיצה אם נתונים מסת האיש  $m$  ומסת הדיסקה  $M$ .

**(3) דוגמה - תנע זוויתי של תנועה משולבת**

נתון מוט בעל אורך  $L$  ומסה  $M$ . המרחק בין הקצה התחתון של המוט עד ראשית הצירים הוא  $d$ . המוט מסתובב בכיוון השעון מסביב לראשית. חשב את התנע הזוויתי.

**(4) שלושה כדורים**

שלושה כדורים זהים בעלי מסה  $m$  נמצאים בפינותיו של משולש שווה צלעות. הכדורים מחוברים באמצעות שלושה מוטות חסרי מסה ואורך  $L$  (צלעות המשולש).  
 א. חשבו את מיקום מרכז המסה של המערכת.  
 כעת, נתון כי הגוף מסתובב במהירות זוויתית  $\omega$  נתונה, סביב מרכז המסה שלו. ברגע מסוים, כאשר הגוף נמצא במצב המתואר בצור, הכדור התחתון ניתק מהגוף.  
 ב. מצאו את מהירות הכדור שניתק לאחר הניתוק.  
 ג. מצאו את מהירות מרכז המסה של החלק הנותר.  
 ד. מצאו את המהירות הזוויתית של החלק הנותר סביב מרכז המסה שלו.

**(5) מסמר נועץ דיסקה מסתובבת**

דיסקה ברדיוס  $R$  ומסה  $m$  מונחת על שולחן אופקי במנוחה. מסובבים את הדיסקה במהירות זוויתית  $\omega$  סביב מרכז המסה של (סביב ציר  $z$ ). מסמר נופל מהשמים ופוגע בקצה של הדיסקה ונועץ אותה לשולחן.  
 א. מהי המהירות הזוויתית של הדיסקה סביב המסמר לאחר הנעיצה?  
 ב. ענו שוב על השאלה רק הפעם הניחו שבנוסף לסיבוב, מרכז המסה של הדיסקה נע במהירות  $v$  לפי הנעיצה.

## תשובות סופיות:

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

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

$$\left(\frac{L}{2} + d\right)^2 M\omega + I_{c.m.}\omega_{c.m.} = L \quad (3)$$

$$v_{1,2,c.m.} = \frac{1}{2}\omega R \hat{x} \quad \text{ג.} \quad v_3 = -\omega R \hat{x} \quad \text{ב.} \quad y_{c.m.} = \frac{1}{2\sqrt{3}}, \quad x_{c.m.} = \frac{L}{2} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$I_{1,2,3}\omega = m|v_3|R + 2mv_{1,2}y_{c.m.} + 2m\left(\frac{1}{2}L\right)^2 \quad \text{ד.}$$

$$\frac{1}{3}\left(\omega + 2\frac{v}{R}\right) \quad \text{ב.} \quad \frac{1}{3}\omega \quad \text{א.} \quad (5)$$

## 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\*:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_0^2 + \frac{1}{2} I_o \omega^2 + m \vec{r}_{c.m.,o} \cdot (\vec{v}_0 \times \vec{\omega})$$

$I_o$  - מומנט ההתמד ביחס לציר

$\vec{v}_0$  - היא מהירות הציר

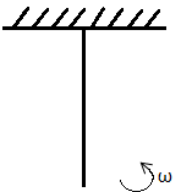
$\vec{r}_{c.m.,o}$  - מיקום מרכז המסה ביחס לציר

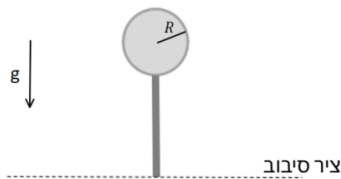
\* השימוש בנוסחה מאוד נדיר

### 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?



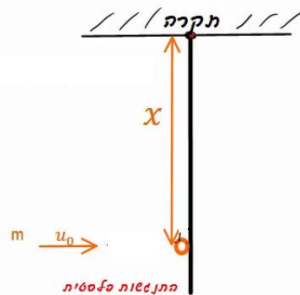


## (2) דיסקה מחוברת למוט נופלת ממצב אנכי

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)



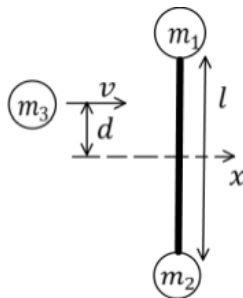
כדור בעל מסה  $m$  פוגע במוט שתלוי מהתקרה במרחק  $x$  מציר הסיבוב של המוט. המוט בעל אורך  $L$  ובעל מסה  $M$ . מהירותו ההתחלתית של הכדור היא  $\mu_0$  והוא מתנגש פלסטית עם המוט.

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.

## (4) מסה מתנגשת בשתי מסות מחוברות במוט (כולל תנז)



שני גופים נקודתיים בעלי מסה  $M$  כל אחד מחוברים בשני קצותיו של מוט דק חסר מסה באורך  $l$ . המערכת נמצאת במנוחה על גבי משטח אופקי חלק לאורך ציר  $y$ .

כדור נוסף שמסתו  $m$  פוגע במוט במאונך למוט ובמרחק  $d$  ממרכז המוט. מהירות הכדור הנוסף היא  $v$  וההתנגשות עם המוט היא אלסטית.

מה צריכה להיות מהירותו של הכדור הנוסף, כך שישאר במנוחה לאחר ההתנגשות.

## תשובות סופיות:

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

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

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

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

ו- $\omega$  מצאנו בסעיף א'.

$$\mu_0 = M\frac{L}{r} + mx \quad \text{ג.} \quad (4)$$

$$m = \frac{2M}{1 + \frac{4d^2}{l^2}} \quad (5)$$

## 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

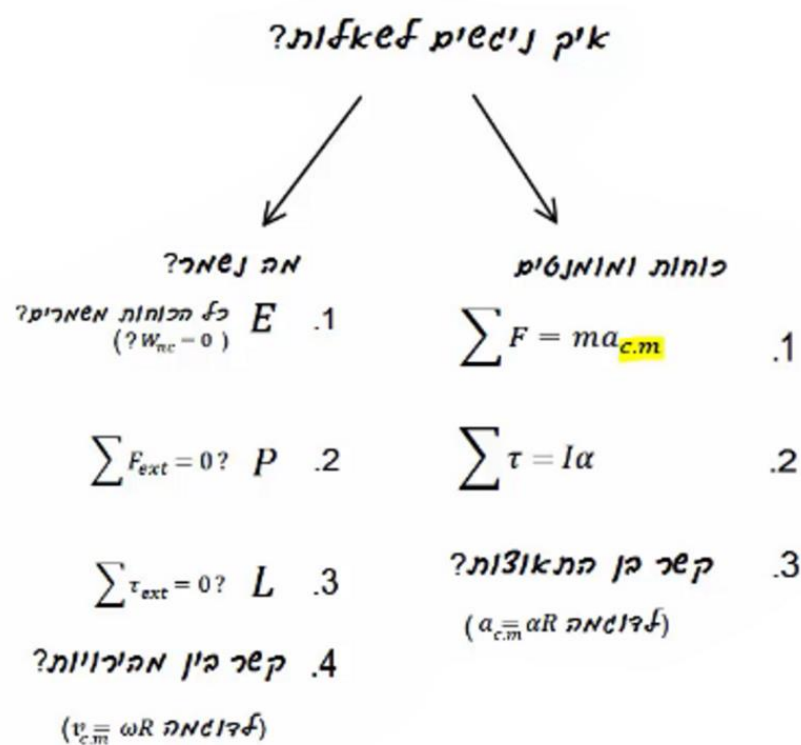
גלגול ללא החלקה:

מהירות הנקודה שנוגעת במשטח שווה לאפס

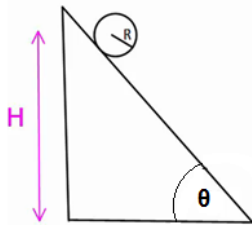
$$v_{c.m.} = \omega R$$

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

בגלגול ללא החלקה החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

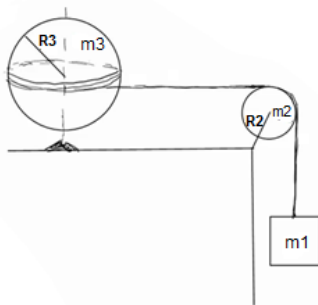


## שאלות:

**(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**

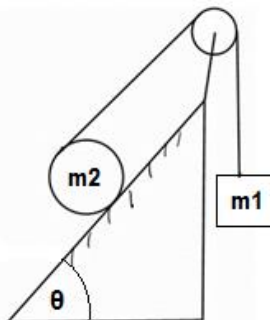
גלובוס (כדור) מונח ומקובע לשולחן ויכול להסתובב סביב ציר המאונך לשולחן.

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.

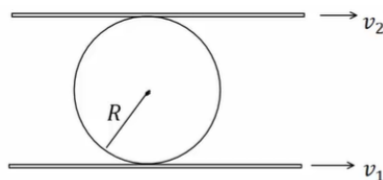
ב. מצא את תאוצות הגופים וגודל כוח החיכוך.

**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.

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

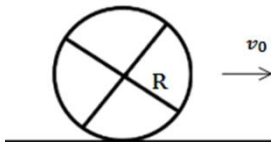
$$\text{ג. } mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

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

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

## גלגול עם החלקה:

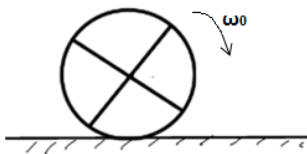
### שאלות:



#### (1) כדור מחליק ללא סיבוב

כדור הומוגני בעל מסה  $M$  מתחיל תנועתו עם מהירות  $V_0$  ללא סיבוב (מהירות זוויתית).

מצא את מהירותו הסופית אם נתון מקדם החיכוך הקינטי.



#### (2) כדור מסתובב מונח על רצפה

כדור הומוגני בעל מסה  $M$  מוחזק באוויר ומסתובב סביב מרכז המסה שלו במהירות זוויתית  $\omega_0$ .

הכדור מונח על הרצפה בעודו מסתובב.

מצא את מהירותו הסופית אם נתון מקדם החיכוך הקינטי  $\mu_k$ .

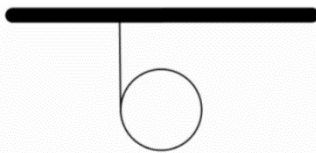
### תשובות סופיות:

$$V_{\text{final}} = \frac{5}{7} V_0 \quad (1)$$

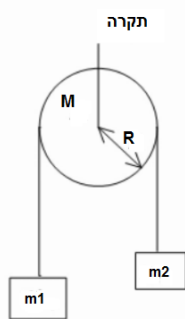
$$V_{\text{final}} = \frac{2}{7} \omega_0 R \quad (2)$$

## תרגילים מסכמים:

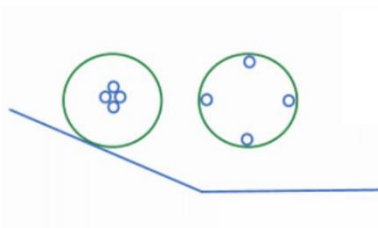
### שאלות:



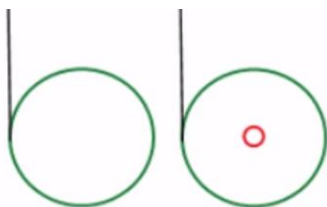
- (1) **חישוק מתגלגל מחבל**  
 חבל מלופף סביב חישוק בעל רדיוס  $R$  ומסה  $m$ .  
 (החבל מחובר לתקרה).  
 א. מהי תאוצת מרכז המסה של החישוק?  
 ב. לאחר כמה זמן ירד החישוק גובה של  $h$  אם התחיל תנועתו ממנוחה?



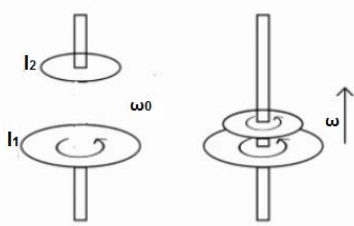
- (2) **מסות וגלגלת**  
 שתי מסות שונות  $m_1, m_2$  תלויות משני הצדדים של גלגלת לא אידיאלית המקובעת במרכזה.  
 המסות משוחררות ממנוחה.  
 מצא את תאוצת המסות אם נתון:  
 $M$  מסת הגלגלת,  $R$  רדיוס הגלגלת וכי החוט אינו מחליק על הגלגלת.



- (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?

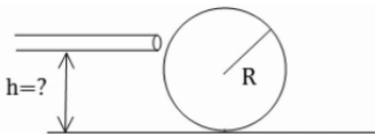
**(6) מכה בכדור ללא החלקה**

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.

מומנט ההתמד של הכדור הוא:  $I_{c.m} = \frac{2}{5} mR^2$

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  $M$ .

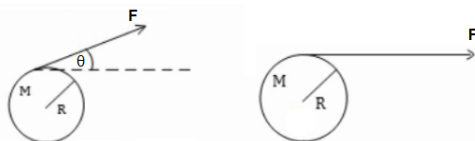
כוח  $F$  נתון מושך את הגליל.

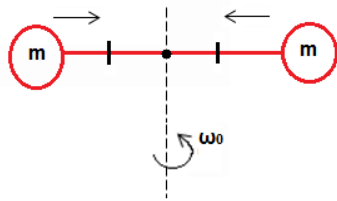
מצא את תאוצת הגליל במקרים הבאים אם ידוע שהגליל מתגלגל ללא החלקה:

א. הכוח פועל בכיוון אופקי.

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

ג. מה כיוון החיכוך בכל מקרה?

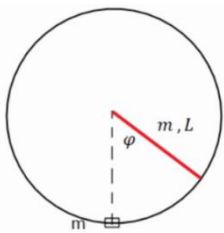


**(8) מחליקה על קרח סוגרת ידיים**

- 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**

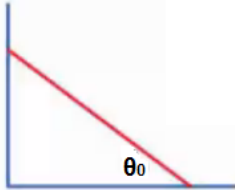
- מוט המחובר לציר משוחרר ממנוחה מזווית נתונה. כשהמוט מגיע לנקודה הנמוכה ביותר הוא פוגע במסה ודוחף אותה במהירות לא ידועה לעבר מסילה מעגלית. נתון כי הקצה התחתון של המוט נע מיד לאחר ההתנגשות במהירות משיקית  $u$ . א. מהי הזווית המקסימלית אליה יגיע המוט לאחר הפגיעה? ב. מהי מהירות המסה מיד לאחר הפגיעה? ג.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

**(11) צמד לוליינים בטרפז**

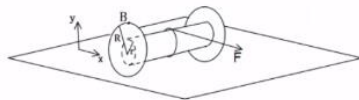
- בקרס ישנו מכשיר הקרוי טרפז. על הטרפז נתלה לוליין המחזיק בידיו לוליין אחר. נתון כי צמד הלוליינים התחילו את תנועתם ממנוחה במצב מאוזן וניתקו ידיהם במצב מאונך. הניחו כי אורך כל לוליין  $l$  ומסתו  $m$ . לאחר הניתוק הלוליין המנותק סוגר את גופו לחצי מאורכו. א. מהי המהירות הזוויתית ברגע הניתוק? ב. מהי המהירות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

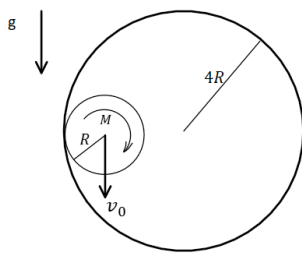
iii. מצאו את התאוצה הקווית של מרכז המסה של העיפרון.

iv. מצאו את גודלו וכיוונו של כוח החיכוך.

v. מצאו את הכוח הנורמלי.

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

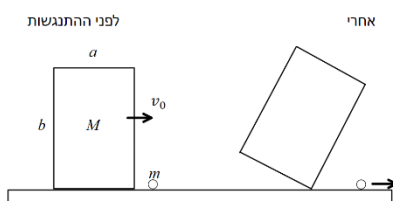


**15) גליל בתוך גליל\***


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\***


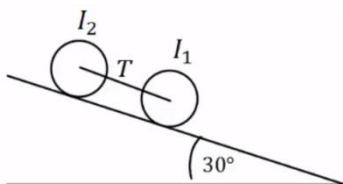
תיבה דו מימדית בגודל  $a \times b$  ומסה  $M$  נעה על משטח אופקי חלק במהירות  $v_0$ .

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 המחובר 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.  $v_0 = 0$

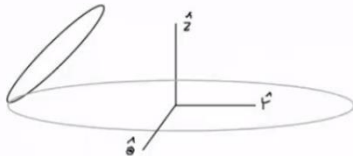
$T \approx 0.22\text{N}$  (17)

## תרגילים מסכמים כולל פרסציה:

### שאלות:

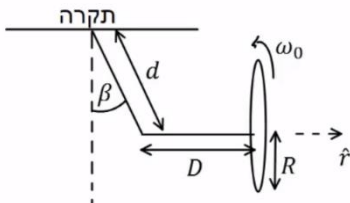
#### (1) מטבע בזווית

נתונה דסקה המתגלגלת ללא החלקה במעגל ברדיוס  $R$  במהירות זוויתית  $\omega$ . נתון גם רדיוס הדסקה. מצא את זווית ההטיה של הדסקה.



#### (2) גלגל קשור בחוט עם זווית

גלגל ברדיוס  $R$  ומסה  $m$  מחובר במרכזו לציר חסר מסה באורך  $D$ . הציר מחובר בקצהו השני לחוט באורך  $d$  הקשור לתקרה ויוצר זווית  $\beta$  עם האנך לתקרה. מסובבים את הגלגל סביב הציר הרדיאלי העובר במרכזו במהירות זוויתית קבועה:  $\vec{\omega} = -\omega_0 \hat{r}$ .



- א. לאן ינוע מרכז המסה של הגלגל ברגע הראשון?  
 ב. מצא את גודלה של הזווית  $\beta$ .  
 הנח שהזווית קטנה וניתן להשתמש בקירוב של זוויות קטנות:  $\sin \beta \approx \beta$ ,  $\cos \beta \approx 1$ .  
 התייחס לגלגל כחישוק.

### תשובות סופיות:

$$\tan(\varphi) = \frac{2gR}{3v^2} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{gD^3}{\omega_0^2 R^4 - dgD^2} \quad (2) \quad \text{א. מרכז המסה ייצא מהדף. ב.}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

## פרק 14 - תנועה הרמונית

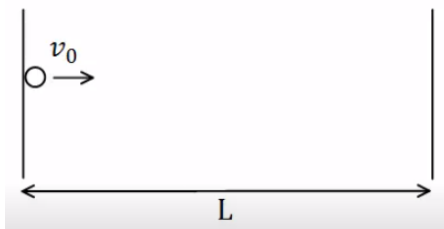
### תוכן העניינים

168	1. תנועה מחזורית
169	2. תנועה הרמונית
173	3. קפיץ אנכי
174	4. תנועה הרמונית בתוספת של כוח קבוע
175	5. אנרגיה בתנועה הרמונית
176	6. מטוטלת מתמטית
(ללא ספר)	7. סיכום הפרק
(ללא ספר)	8. הוכחה לנוסחאות דרך תנועה מעגלית
177	9. תרגילים נוספים

## תנועה מחזורית:

### שאלות:

#### (1) כדור נע בין שני קירות



$$v_0 = 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

כדור נע בין שני קירות במהירות

התנגשות הכדור עם הקירות היא אלסטית.

המרחק בין הקירות הוא  $L = 6\text{m}$ .

א. חשב את זמן המחזור של התנועה.

ב. דני ראה כי מיקום הגוף

ב-  $t = 1\text{sec}$  הוא  $2\text{m}$  מהקיר השמאלי.

דני חישב כמה זמן ייקח לכדור לפגוע בקיר הימני ולחזור לאותה הנקודה.

דני סימן את הזמן הזה ב-  $\tilde{T}$ , חשב מהו  $\tilde{T}$ .

ג. הסבר מדוע  $\tilde{T}$  הוא אינו זמן המחזור של התנועה, והסבר כיצד היה צריך

דני לבצע את החישוב על מנת לקבל את זמן המחזור הנכון.

### תשובות סופיות:

(1) א.  $T = 6\text{sec}$     ב.  $\tilde{T} = 4\text{sec}$     ג. ראה סרטון.

## תנועה הרמונית:

### שאלות:

#### (1) דוגמה לחישוב המיקום

גוף מחובר לקפיץ אופקי המחובר בצידו השני לקיר. הגוף נע הלוך וחזור על שולחן אופקי חסר חיכוך. דפנה מסתכלת על הגוף המתנדנד ומודדת את המרחק בין שתי הקצוות של התנועה.

א. מהי אמפליטודת התנועה אם המרחק שמדדה דפנה הוא:  $0.4\text{m}$ ?  
 ברגע מסוים, שהגוף מגיע למרחק המקסימאלי מהקיר, מפעילה דפנה סטופר המתחיל למדוד את הזמן מאפס. דפנה סופרת כל פעם שהגוף חוזר לנקודה שבה התחילה למדוד. דפנה ראתה כי לאחר 5 שניות הגוף הגיע בפעם העשירית בדיוק לנקודת ההתחלה.

ב. מהו זמן המחזור של התנועה?

ג. מהי התדירות והתדירות הזוויתית של התנועה?

ד. קבע את ראשית הצירים במרכז התנועה של הגוף, ורשום משוואה המתארת את מיקום הגוף ביחס לראשית, כתלות בזמן שמראה הסטופר של דפנה.

#### (2) מציאת המיקום מהזמן

מסה  $m = 3\text{kg}$  קשורה לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ . מסיטים את

המסה מרחק  $d = 0.3\text{m}$  בכיוון החיובי מנקודת שיווי המשקל, ומשחררים ממנוחה.

א. מהם התדירות וזמן המחזור של התנועה?

ב. מהי האמפליטודה של התנועה?

ג. רשום נוסחה המתארת את מיקום המסה כתלות בזמן.

ד. מהו מיקום המסה ב-  $t_1 = 0.4\text{sec}$ ?

#### (3) מציאת הזמן מהמיקום

מסה  $m = 2\text{kg}$  קשורה לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 30 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ . מסיטים את

המסה מרחק  $d = 15\text{cm}$  בכיוון החיובי מנקודת שיווי המשקל, ומשחררים ממנוחה.

א. מצא את מיקום המסה כתלות בזמן.

ב. מהו מיקום המסה ב-  $t_1 = 0.3\text{sec}$  וב-  $t_2 = 1.2\text{sec}$ ?

ג. מהו הזמן בו המסה מגיעה אל נקודת שיווי המשקל, ומהו הזמן בו היא מגיעה לקצה השני?

ד. מהם הזמנים בהם המסה מגיעה אל  $x = 7.5\text{cm}$ ? מדוע קיימים שניים?

**(4) חישוב המהירות**

גוף בעל מסה  $m = 0.5\text{kg}$  מתנדנד בתנועה הרמונית, כך שמיקומו כתלות בזמן הוא:  $x(t) = 0.4 \cos(2t)$ , במטרים.

- מהי התדירות הזוויתית והאמפליטודה של התנועה?
- מהי המהירות המקסימאלית של הגוף?
- רשום נוסחה למהירות כתלות בזמן של הגוף.
- מהי המהירות הגוף ב-  $t = 2\text{sec}$ , ומהי האנרגיה הקינטית שלו באותו הרגע?

**(5) חישובי פאזה**

דני רואה גוף מתנדנד בתנועה הרמונית בתדירות זוויתית  $\omega = 3 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

ובמשרעת  $A = 0.2\text{m}$ .

דני התחיל למדוד את הזמן מהרגע בו הגוף נמצא בקצה השלילי.

- רשום ביטוי למיקום כפונקציה של הזמן שמודד דני.
- צייר גרף של המיקום כתלות בזמן שמודד דני.
- מתי היה צריך דני להתחיל למדוד את הזמן אם הוא רוצה שהפונקציה של המיקום תהפוך להיות פונקציית סינוס?

**(6) חישוב הפאזה מתנאי התחלה**

גוף בעל מסה  $m = 2\text{kg}$  מחובר לקפיץ בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , ומתנדנד בתנועה

הרמונית על מישור חלק ואופקי.

- מהי התדירות הזוויתית של התנועה?
- מהם הפאזה והאמפליטודה של הגוף, אם ברגע תחילת הזמן הגוף היה

ב-  $x(t=0) = 0.2\text{m}$ , ובמהירות  $v = 6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון השלילי?

- רשום את נוסחאות המיקום והמהירות כתלות בזמן.
- חזור על סעיף ב' אם המיקום ההתחלתי הוא בנקודת שיווי המשקל.

**(7) מסה מתנגשת במסה המחוברת לקפיץ**

- מסה  $m = 3\text{kg}$  מחוברת לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 9 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , ונמצאת על שולחן אופקי חלק. המסה נמצאת במנוחה (הקפיץ רפוי).
- מסה זהה נוספת נעה במהירות  $v = 12 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  כלפי המסה הנייחת ומתנגשת בה התנגשות פלסטית. הנח כי זמן ההתנגשות קצר מאוד.
- לאחר ההתנגשות שתי המסות נעות בתנועה הרמונית.
- א. מהי תדירות התנועה?
- ב. מה תנאי ההתחלה של התנועה ההרמונית  $(x(t=0), v(t=0))$ ?
- ג. מצא את המיקום כתלות בזמן של המסות מהרגע לאחר ההתנגשות.

## תשובות סופיות:

א.  $A = 0.2\text{m}$     ב.  $T = 0.5\text{sec}$     ג. תדירות:  $f = 2 \cdot \frac{1}{\text{sec}}$     (1)

תדירות זוויתית:  $\omega \approx 12.57 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ד.  $x(t) = 0.2 \cos(12.57 \cdot t)$

א. תדירות:  $f \approx 0.29 \frac{1}{\text{sec}}$ , זמן מחזור:  $T \approx 3.44\text{sec}$     ב.  $d = 0.3\text{m}$     (2)

ג.  $x(t) = 0.3 \cos(1.83 \cdot t)$     ד.  $x(t_1) \approx 0.22\text{m}$

א.  $x(t) = 0.15 \cos(3.87 \cdot t)$     ב.  $x(t_1) \approx 0.06$ ,  $x(t_2) = -0.01\text{m}$     (3)

ג. שיווי משקל:  $t_3 \approx 0.41\text{sec}$ , הקצה השני:  $t_4 \approx 0.82\text{sec}$

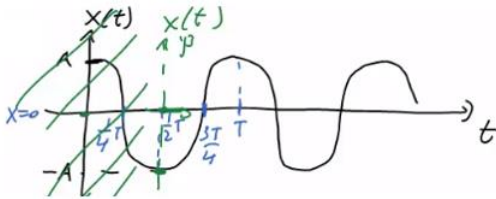
ד.  $\tilde{t}_1 \approx 0.27\text{sec}$ ,  $\tilde{t}_2 \approx 1.35\text{sec}$

א.  $A = 0.4\text{m}$ ,  $\omega = 2 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $|v_{\max}| = 0.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     (4)

ג.  $v(t) = -0.8 \cdot \sin(2 \cdot t) \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     ד.  $v(t=2) \approx 0.61 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $E_k \approx 0.09\text{J}$

א.  $x(t) = 0.2 \cos(3 \cdot t + \pi)$     ב. שרטוט:    (5)

ג.  $t_0 = 1.57\text{sec}$



א.  $\omega = \sqrt{2} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $\varphi \approx 1.52\text{rad}$ ,  $A \approx 3.94\text{m}$     (6)

ג.  $x(t) = 3.94 \cos(\sqrt{2} \cdot t + 1.52)$ ,  $v(t) = -5.57 \sin(\sqrt{2} \cdot t + 1.52)$

ד.  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ,  $A \approx 4.24\text{m}$

א.  $\omega = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $x(t=0) = 0$ ,  $v(t=0) = -6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     (7)

ג.  $x(t) = 4.90 \cos\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$

## קפיץ אנכי:

### שאלות:

#### (1) קפיץ אנכי ותוספת מסה

גוף בעל מסה  $m = 1\text{kg}$  תלוי מהתקרה באמצעות קפיץ אנכי בעל

$$\text{קבוע } k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ ואורך רפוי } l_0 = 30\text{cm}.$$

- מצא את המרחק של נקודת שיווי המשקל מהתקרה.
- מעמיסים על הקפיץ מסה נוספת  $m = 2\text{kg}$  המחוברת למסה הראשונה, מה תהיה נקודת שיווי המשקל החדשה? כעת נניח כי מושכים את המסה הכוללת מנקודת שיווי המשקל כלפי מטה מרחק של  $d = 8\text{cm}$  ומשחררים אותה ממנוחה.
- מה תדירות התנועה של המסה?
- מצא את המיקום כתלות בזמן אם הכיוון החיובי של הציר האנכי הוא כלפי מטה.
- חזור על סעיף ד', אם הכיוון החיובי של הציר הוא כלפי מעלה.

#### (2) מסה משוחררת מנקודת רפיון

מסה  $m = 30\text{gr}$  תלויה מהתקרה באמצעות קפיץ אנכי בעל קבוע  $k = 1.5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

המסה מוחזקת באוויר בנקודה שבה הקפיץ רפוי ומשוחררת ממנוחה.

- מצא את נקודת שיווי המשקל.
- מצא את המיקום כתלות בזמן, אם הכיוון החיובי כלפי מטה.

### תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } 0.5\text{m} \quad \text{ב. } 0.9\text{m} \quad \text{ג. } \omega \approx 4.08 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{ד. } y(t) = 0.08 \cos(4.08 \cdot t)$$

$$\text{ה. } y(t) = 0.08 \cos(4.08 \cdot t + \pi)$$

$$(2) \quad \text{א. } y_0 = \frac{mg}{k} \quad \text{ב. } y(t) = 0.2 \cos(7.07 \cdot t + \pi)$$

## תנועה הרמונית בתוספת של כוח קבוע:

### שאלות:

#### (1) תוספת של כוח קבוע

גוף בעל מסה  $m = 0.2\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הגוף נמצא במנוחה בנקודה שבה הקפיץ רפוי.

ב- $t = 0$  מתחיל לפעול על הגוף כוח קבוע בכיוון

החיובי  $F = 0.1\text{N}$ .

א. מצא את נקודת שיווי המשקל החדשה.

ב. מהי תדירות התנועה?

ג. מהם תנאי ההתחלה של הבעיה?

ד. מצא את המיקום כתלות בזמן.

#### (2) כוח מפסיק בפתאומיות

גוף מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הגוף נצפה מתנדנד בתנועה הרמונית באמפליטודה  $A = 0.3\text{m}$ .

ידוע שעל הגוף פועל כוח קבוע  $F = 2\text{N}$  בכיוון החיובי.

א. מצא היכן תהיה נקודת שיווי המשקל,

במידה והכוח יפסיק לפעול בפתאומיות.

ב. מצא מה תהיה אמפליטודת התנועה במידה

והכוח יפסיק לפעול, ברגע שהגוף נמצא בקצה החיובי של התנועה.

ג. חזור על סעיף ב' עבור הקצה השלילי.

ד. חזור על סעיף ב' אם הכוח הפסיק כאשר הגוף במרכז התנועה,

ומהירותו ברגע זה היא  $2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

### תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } 0.025\text{m} \quad \text{ב. } \omega = 4.47 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{ג. } x(t=0) = -x_0, v(t=0) = 0$$

$$\text{ד. } x(t) = 0.025(4.47 \cdot t + \pi)$$

$$(2) \quad \text{א. } x_0 = -0.4\text{m} \quad \text{ב. } \tilde{A} = 0.7\text{m} \quad \text{ג. } \tilde{A} = 0.1$$

## אנרגיה בתנועה הרמונית:

### שאלות:

#### 1) חישובי אנרגיה

מסה  $m = 2\text{kg}$  מחוברת לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

מושכים את המסה מרחק  $d = 0.2\text{m}$  מנקודת שיווי המשקל, ומשחררים אותה ממנוחה.

- רשום את מיקום המסה כתלות בזמן מרגע השחרור.
- רשום את מהירות המסה כתלות בזמן מרגע השחרור.
- חשב את מיקום ומהירות המסה ברגעים  $t = 0, 1, 2\text{sec}$ .
- חשב את האנרגיה הקינטית, האנרגיה הפוטנציאלית והאנרגיה הכללית של המסה, בכל אחד מן הרגעים. הראה כי האנרגיה הכללית נשמרת.

#### תשובות סופיות:

$$1) \quad \text{א. } x(t) = 0.2 \cos(5 \cdot t) \quad \text{ב. } v(t) = 1 \cdot \sin(5 \cdot t)$$

$$\text{ג. } x(t=1) \approx 0.057\text{m}, v(t=1) \approx 0.960 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$x(t=2) \approx -0.168\text{m}, v(t=2) \approx 0.544 \frac{\text{m}}{\text{sec}}; x(t=0) \approx 0.2\text{m}, v(t=0) \approx 0$$

$$\text{ד. } t=0: E_k = 0, U = 1; t=1: E_k = 0.922\text{J}, U = 0.081\text{J}; t=2: E_k = 0.296\text{J}, U = 0.706\text{J}$$

## מטוטלת מתמטית:

### שאלות:

#### 1) חישוב אורך חוט

מצא מה צריך להיות האורך החוט של מטוטלת, על מנת שהזמן שייקח למסה לעבור מקצה אחד לקצה השני יהיה חצי שנייה.

### תשובות סופיות:

1)  $l \approx 0.25\text{m}$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1

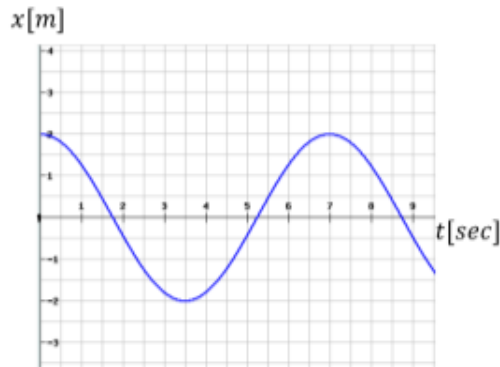
גוף בעל מסה  $m = 20\text{gr}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , וחופשי לנוע ללא חיכוך. הגוף מתנדנד בתנועה הרמונית כך שהמרחק בין הקצוות של התנועה הוא:  $d = 10\text{cm}$ .

- א. מהי האפליטודה של התנועה?
- ב. מהי התדירות הזוויתית?
- ג. מהו זמן המחזור?
- ד. רשום נוסחה למיקום הגוף כתלות בזמן, אם הזמן נמדד מהרגע בו הגוף היה בקצה החיובי.
- ה. רשום נוסחה למהירות הגוף כתלות בזמן.

#### (2) תרגיל 2

גוף בעל מסה  $m = 2\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , וחופשי לנוע ללא חיכוך. מושכים את הגוף מנקודת שיווי המשקל למרחק של  $d = 0.2\text{m}$  ומשחררים ממנוחה.

- א. מהי התדירות הזוויתית?
- ב. מהו זמן המחזור?
- ג. מהי האפליטודה של התנועה?
- ד. מהו מיקום הגוף כתלות בזמן מרגע השחרור?
- ה. רשום נוסחה למהירות הגוף כתלות בזמן.
- ו. חזור על כל הסעיפים עבור המקרה בו ברגע השחרור הגוף מקבל דחיפה קטנה המקנה לו מהירות התחלתית  $v_0 = 0.1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

**3 תרגיל (3)**

הגרף הבא מתאר את מיקומו כתלות בזמן של גוף הנע בתנועה הרמונית פשוטה.

- מהי אמפליטודת התנועה?
- מהו זמן המחזור?
- מהי התדירות הזוויתית?
- מהי הפאזה?
- רשום נוסחה למהירות כתלות בזמן.

**4 תרגיל (4)**

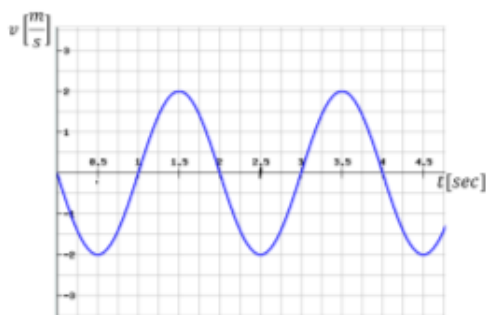
גוף בעל מסה  $m = 1\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הגוף משוחרר ממנוחה במרחק  $d = 0.3\text{m}$  מנקודת שיווי המשקל.

- רשום נוסחה למהירות הגוף כתלות בזמן.
- מצא את מיקום הגוף ב-  $t = 3\text{sec}$ .
- מהי מהירות הגוף ב-  $t = 3\text{sec}$ .
- מהי תאוצת הגוף ב-  $t = 3\text{sec}$ .

**5 תרגיל (5)**

מהירותו של גוף המתנדנד בתנועה הרמונית נתונה לפי הגרף הבא:



א. מתי מגיע הגוף לנקודת שיווי המשקל

בפעם הראשונה?

ב. האם תאוצת הגוף ב-  $t = 1\text{sec}$

מקסימאלית?

ג. האם ב-  $t = 1.5\text{sec}$  האנרגיה

קינטית מרבית?

ד. מהו הכוח ב-  $t = 2.5\text{sec}$ ?

ה. כמה מחזורי תנועה עשה הגוף

ב-4 השניות הראשונות של התנועה?

**6 תרגיל (6)**

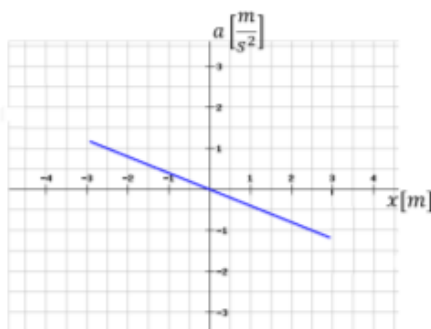
בגרף הבא נתונה התאוצה של גוף כתלות

במיקום של הגוף. מסת הגוף היא  $m = 20\text{g}$ .

א. האם התנועה היא תנועה הרמונית? נמק.

ב. מהו קבוע הקפיץ?

ג. מהי אמפליטודת התנועה?



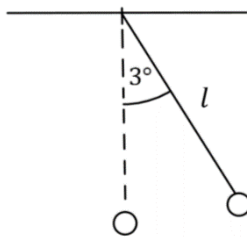
**7 תרגיל (7)**

גוף בעל מסה  $m = 2\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 40 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

ב- $t = 0$  מיקום ומהירות הגוף הם:  $x = 20\text{cm}$ ,  $v = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

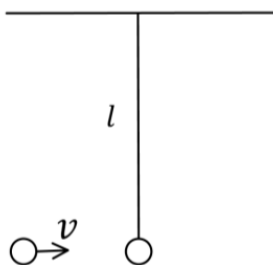
- רשום נוסחה למיקום הגוף כתלות בזמן.
- מתי מיקומו של הגוף הוא 5 ס"מ משמאל לנקודת שיווי המשקל בפעם הראשונה?
- מתי מהירות הגוף היא  $0.1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון החיובי?
- מהי התאוצה המקסימאלית של הגוף?

**8 תרגיל (8)**



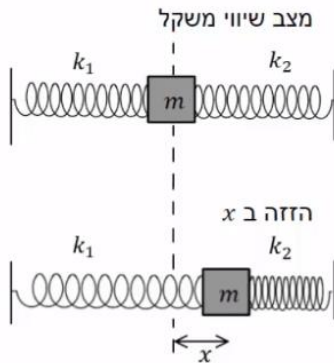
- מטוטלת מתמטית בעלת חוט באורך  $l = 1\text{m}$ , ומסה  $m = 100\text{gr}$  בקצה, משוחררת ממנוחה מזווית של  $3^\circ$ .
- מה תהיה התדירות הזוויתית של התנועה?
  - כמה זמן ייקח למטוטלת להגיע לנקודת שיווי המשקל?
  - מהי מהירות המסה בנקודת שיווי המשקל?
  - בנקודת שיווי המשקל מונחת מסה נוספת  $m = 25\text{gr}$ , הנמצאת במנוחה. מסת המטוטלת מתנגשת במסה הנוספת התנגשות פלסטית.
  - מתי מהירות הגופים מיד לאחר ההתנגשות?
  - מהי התדירות הזוויתית של התנועה לאחר ההתנגשות?
  - מהי הזווית המקסימאלית אליה תגיע המטוטלת לאחר ההתנגשות?

**9 תרגיל (9)**



- מטוטלת מתמטית בעלת חוט באורך  $l = 0.5\text{m}$ , ומסה  $m = 50\text{gr}$  בקצה, תלויה במנוחה. מסה  $m = 25\text{gr}$  נעה אופקית במהירות  $v = 0.6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , ומתנגשת במסת המטוטלת התנגשות פלסטית.
- מה תהיה התדירות הזוויתית של התנועה לאחר ההתנגשות, בהנחה שהתנדודות קטנות.
  - כמה זמן ייקח למטוטלת להגיע לשיא הגובה?
  - מתי מהירות הגופים מיד לאחר ההתנגשות?
  - מהי הזווית המקסימאלית אליה תגיע המטוטלת?

**(10) מסה עם קפיצים משני הצדדים**

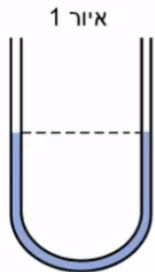


לשני צדדיה של מסה  $m$  מחוברים שני קפיצים שקבועי הכוח שלהם הם:  $k_1$  ו- $k_2$ . הגוף נמצא על משטח חלק. מזיזים את הגוף ימינה מרחק  $x$ .

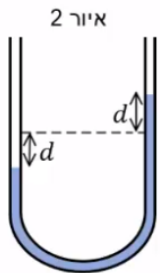
א. הראה כי כאשר מרפים ממנו הוא ינוע בתנועה הרמונית פשוטה שקבועה הוא:  $k_1 + k_2$ .

ב. מהו זמן המחזור של התנועה?

**(11) צינור בצורת U**



בתוך צינור גלילי בצורת האות U מצוי נוזל בשיווי משקל (איור 1). אורך החלק המלא בנוזל הוא  $L$  ושטח החתך לאורך כל הצינור הוא  $A$ . צפיפות הנוזל (מסה ליחידת נפח) היא  $\rho$ . נושפים בזרוע השמאלית של הצינור כך שפני הנוזל יורדים בשיעור  $d$ , ומרפים (איור 2).



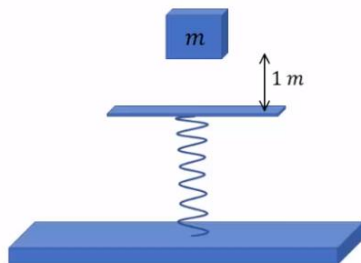
א. תאר במילים את תנועת הנוזל בהנחה שלא פועלים עליו כוחות חיכוך.

ב. הראה כי כאשר פני הנוזל נמצאים במרחק  $x$  ממצב שיווי המשקל פועל על הנוזל כוח מחזיר:  $F = -2\rho Agx$ . (הדרכה: חשב את מסת הנוזל העודפת בצד הגבוה ומשם את כוח הכובד שהיא מפעילה על שאר הנוזל).

ג. בהנחה כי  $x \ll L$  הראה כי זמן המחזור של התנועה

$$T = \pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

**(12) מסה נופלת על קפיץ אנכי**



קפיץ אנכי מחובר לקרקע מצידו האחד וללוח אופקי בצידו השני.

קבוע הקפיץ הוא:  $400 \frac{N}{m}$ . מסה של  $m = 2\text{ kg}$

משוחררת ממנוחה מגובה של מטר אחד מעל הלוח, המסה נופלת נפילה חופשית ונדבקת ללוח. מסת הלוח והקפיץ ניתנות להזנחה.

א. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?

ב. מהי תדירות תנודות המשקולת?

ג. מהי משרעת התנודות?

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $A = 0.05\text{m}$     ב.  $\omega \approx 14.14 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ג.  $T \approx 0.444\text{sec}$   
 ד.  $x(t) = 0.05 \cdot \cos(14.14 \cdot t)$     ה.  $v(t) = -0.707 \cdot \sin(14.14 \cdot t)$
- (2) א.  $\omega = 1.41 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $T \approx 4.44\text{sec}$     ג.  $A = 0.2\text{m}$   
 ד.  $x(t) = 0.2 \cdot \cos(1.41 \cdot t)$     ה.  $v(t) = -0.282 \cdot \sin(1.41 \cdot t)$   
 ו.  $x(t) = 0.212 \cdot \cos(1.41 \cdot t + 0.341)$ ,  $T = 4.44\text{sec}$ ,  $A = 0.212\text{m}$ ,  $\omega = 1.41 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$   
 ז.  $v(t) = -0.299 \sin(1.41 \cdot t + 0.341)$
- (3) א.  $A = 2\text{m}$     ב.  $T = 7\text{sec}$     ג.  $\omega \approx 0.898 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ד.  $\varphi = 0$   
 ה.  $v(t) = -1.80 \cdot \sin(0.898 \cdot t + 0)$
- (4) א.  $x(t) = 0.3 \cos(\sqrt{3} \cdot t)$     ב.  $x(t=3) \approx 0.14\text{m}$   
 ג.  $v(t=3) \approx -0.46 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     ד.  $a(t=3) = -0.42 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$
- (5) א.  $t = 0.5\text{sec}$     ב. כן.    ג. כן.    ד. 0  
 ה. 2
- (6) א. כן.    ב.  $k = 0.008 \frac{\text{N}}{\text{m}}$     ג.  $A \approx 3\text{m}$
- (7) א.  $x(t) = 0.22 \cos(\sqrt{20} \cdot t - 0.42)$     ב.  $t_1 = 0.5\text{sec}$     ג.  $t_1 \approx 0.07\text{sec}$
- (8) א.  $\omega = \sqrt{10} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $t \approx 0.5\text{sec}$     ג.  $v_{\max} = 0.165$     ד.  $u = 0.131 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$   
 ה.  $\omega = \sqrt{10} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ו.  $\theta \approx 2.35^\circ$
- (9) א.  $\omega = \sqrt{20} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $t \approx 0.35\text{sec}$     ג.  $u = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     ד.  $\theta = 5.12^\circ$
- (10) א. הוכחה.    ב.  $T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{m}}{k_1 + k_2}}$
- (11) א. ראה סרטון.    ב. הוכחה.    ג. הוכחה.
- (12) א.  $\Delta x_{\max} = 0.37\text{m}$     ב.  $f = 2.25 \frac{1}{\text{sec}}$     ג.  $A \approx 0.32\text{m}$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 15 - הידרו-סטטיקה והידרו-דינמיקה

תוכן העניינים

1. הידרו-סטטיקה והידרו-דינמיקה ..... (ללא ספר)

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 16 - טמפרטורה התפשטות תרמית וחוק הגז האידיאלי

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים ..... 182

## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:

#### (1) דוגמה-טמפרטורה שווה

- א. גוף נמצא בטמפרטורה של  $37^{\circ}\text{C}$ .  
 מה הטמפרטורה של הגוף בפרנהייט?  
 ב. מודדים את הטמפרטורה של גוף פעם אחת בצלזיוס ופעם אחת בפרנהייט ומקבלים שכמות הערך הנמדד זהה (כלומר אותו מספר בצלזיוס ובפרנהייט).  
 מהי טמפרטורת הגוף?

#### (2) דוגמה-גשר ברזל

- מוטות הברזל שתומכות בגשר הן באורך של 80 מטר כאשר הטמפרטורה היא 20 מעלות צלזיוס.  
 אם הטמפרטורות בסביבה בו מציבים את הגשר נעות בין  $10^{\circ}\text{C}$  ל- $50^{\circ}\text{C}$  מה האורך המקסימאלי והמינימלי של המוטות?

#### (3) דוגמה-טבעת על מוט

- הקוטר של מוט ברזל הנמצא ב- $20^{\circ}\text{C}$  הוא 5.50cm.  
 רוצים להלביש טבעת, העשויה ברזל גם כן, על המוט.  
 קוטר הפנימי של הטבעת ב- $20^{\circ}\text{C}$  הוא 5.48cm.  
 לאיזה טמפרטורה צריך לחמם את הטבעת אם נרצה שקוטר הפנימי יהיה ב-0.005cm גדול מזה של המוט?

#### (4) דוגמה-מיכל מים

- מיכל בצורה של גליל ברדיוס 20cm ובגובה 60cm עשוי מזכוכית רגילה.  
 ממלאים את המיכל במים בבוקר כאשר הטמפרטורה היא  $15^{\circ}\text{C}$  (ניתן להניח שזו טמפי המיכל והמים).  
 כמה מים ישפכו עד השעה 14:00 בה הטמפי היא  $40^{\circ}\text{C}$ ?  
 הזנח איבוד מים הנגרם מאידוי.

#### (5) דוגמה-בלון הליום

- א. מהי המסה האטומית של אטום הליום (He) בעל שני פרוטונים ושני נויטרונים?  
 ב. חשב את המסה המולקולרית של הליום?  
 ג. כמה מולים יש בבלון המכיל 50 גרם הליום?  
 ד. כמה אטומים של הליום יש בבלון?

**6) דוגמה-ערבוב הליום עם מימן**

ערבבו 50 מול של מימן עם 30 מול של הליום 4.  
 מהי מסת החומר לאחר הערבוב?

**7) דוגמה-בקבוק מים**

בקבוק מים מכיל 2 ליטר מים. הנח שצפיפות המים היא:  $1\text{k} \frac{\text{g}}{\text{L}}$ .

- חשב את המסה המולקולרית של מים ( $\text{H}_2\text{O}$ ).
- כמה מולים של מים יש בבקבוק?
- הצליחו לפרק כל מולקולה בבקבוק לשני אטומים של מימן ואטום של חמצן.
- כמה מולים של מימן וכמה מולים של חמצן יש בבקבוק?

**8) דוגמה-חנקן דו חמצני**

- חנקן דו חמצני ( $\text{NO}_2$ ) מורכב מאטום חנקן ושני אטומי חמצן.  
 רוצים להכין 50 מול של חנקן דו חמצני ע"י ערבוב של מיכל המכיל חמצן ( $\text{O}_2$ ) בלבד ומיכל המכיל חנקן בלבד.
- כמה מולים צריכים להיות בכל מיכל לפני הערבוב?
  - כמה מולים היו צריכים להיות במיכל החמצן אם חמצן היה גז חד אטומי (כלומר כל חלקיק בגז היה מורכב מאטום יחיד של חמצן)?
  - מהי מסת החמצן ומהי מסת החנקן לפני הערבוב?

**9) דוגמה-מחממים גז במיכל סגור**

גז מוחזק במיכל ברזל סגור בלחץ של 1atm ובטמפ' של  $25^\circ\text{C}$ .  
 מחממים את המיכל לטמפ' של  $100^\circ\text{C}$ .  
 מה יהיה הלחץ של הגז במיכל?

**10) דוגמה-נפח של מול ב-STP**

מצא מהו הנפח של מול אחד של גז כלשהו ב-STP?

**11) מנפחים בלון**

- מנפחים בלון בגז הליום עד אשר הוא מגיע לנפח של 2L ב-STP.
- מהו מספר המולים של הליום שהוכנסו לבלון?
  - מהי מסת הגז שהוכנסה לבלון?
  - מהי התשובה לסעיף א' אם הטמפרטורה היא טמפרטורת החדר (בערך  $27^\circ\text{C}$ ).

**(12) לחץ בצמיג**

מנפחים צמיג לפני נסיעה ללחץ של  $32 \text{ psi}$  ( $1 \text{ psi} \approx 6,895 \text{ Pa}$ ) ביום בו הטמפרטורה היא  $27^\circ \text{C}$ . לאחר נסיעה ארוכה טמפרטורת הצמיג עולה כתוצאה מחיכוך עם הכביש ל- $60^\circ \text{C}$ . מה יהיה הלחץ החדש בצמיג ב- $\text{psi}$ ? (שים לב שהלחץ הנמדד בצמיג הוא ביחס ללחץ אטמוספרי).

**(13) דוגמה-מולקולות בנשימה**

הערך כמה מולקולות ישנם בנשימה אחת אם בערך נפח האוויר בנשימה הוא ליטר אחד.

**(14) סרט מדידה**

סרט מדידה עשוי מברזל, הסרט כויל בטמפרטורה של  $15^\circ \text{C}$ . מודדים עם הסרט ביום בו הטמפרטורה היא  $35^\circ \text{C}$ . א. האם המדידה שיראה הסרט נמוכה או גבוהה מהאורך האמיתי? ב. חשב את אחוז הטעות במדידה של הסרט.

**(15) צוללן מנפח ריאות**

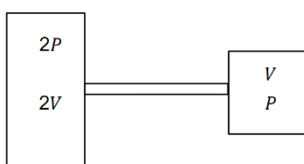
צוללן מנפח את הריאות לנפח מקסימלי של  $5 \text{ L}$  כאשר הוא  $7 \text{ מטר}$  מתחת לפני המים. מה יהיה נפח הריאות של הצוללן אם יעלה לפני המים ויחזיק את נשימתו עצורה? הערה: לחץ בתוך מים גדל ב- $9.8 \text{ Pa}$  לכל מילימטר גובה (או עומק) מתחת לפני המים.

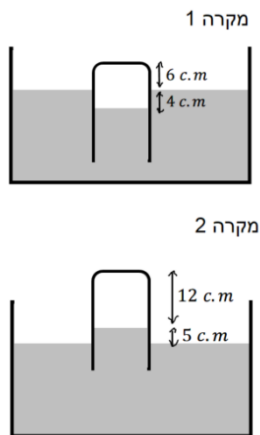
**(16) מתי למלא דלק**

הצפיפות של דלק ב- $0^\circ \text{C}$  היא:  $0.68 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . א. מה הצפיפות של דלק ביום חם בו הטמפרטורה היא  $40^\circ \text{C}$ ? ב. מה אחוז השינוי בצפיפות? ג. אם מחיר הדלק נקבע לפי ליטרים (כלומר לפי הנפח) מתי עדיף למלא דלק ביום קר או חם?

**(17) שני מיכלים מחוברים בצינור**

שני מיכלים מלאים בגזים שונים ונמצאים באותה הטמפרטורה. נפח מיכל אחד הוא  $V$  והלחץ בו  $P$  ונפח המיכל השני הוא  $2V$  והלחץ בו  $2P$ . מחברים את המיכלים בצינור בעל נפח זניח. בעת הערבוב כל מולקולה ממכל אחד מתרכבת עם מולקולה ממכל 2 ונוצרת מולקולה אחת חדשה (לא כל המולקולות במיכל 2 מתרכבות). מה הלחץ במיכלים לאחר החיבור בהנחה כי הטמפרטורה לא משתנה? (הבא תשובתך באמצעות  $P$ ).



**18) צינורית במיכל כספית**

מיכל גדול מאוד מכיל כספית ונמצא בחדר לחץ בו לחץ האוויר אינו ידוע. טובלים במיכל צינורית זכוכית דקה הסגורה בחלקה העליון. כאשר מחזיקים את הקצה העליון של הצינורית בגובה 6 ס"מ מעל פני הכספית במיכל, גובה הכספית בצינורית הוא 4 ס"מ מתחת לפני הכספית במיכל. כאשר מחזיקים את הקצה העליון של הצינורית בגובה 17 ס"מ מעל פני הכספית במיכל, גובה הכספית בצינורית הוא 5 ס"מ מעל לפני הכספית במיכל. הנח שגובה פני הכספית במיכל קבוע.

א. מהו לחץ האוויר בחדר?

ב. באיזה גובה צריך להחזיק את קצה הצינורית מעל המיכל כך שפני הכספית בצינורית יהיו בגובה הכספית של המיכל?

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $98.6^{\circ}\text{F}$  ב.  $-40^{\circ}\text{C}$
- (2)  $l_{\max} = 80.0288_{\text{m}}$  ,  $l_{\min} = 79.9712_{\text{m}}$
- (3)  $T = 400^{\circ}\text{C}$
- (4)  $V = 0.3563 \cdot \text{c.m}^3$  מים שנשפכו.
- (5) א.  $m_a \approx 4_u$  ב.  $M = 4_{\text{gr}}$
- (6)  $170_{\text{gr}}$
- (7) א.  $18_u$  ב.  $11_{\text{mol}}$
- (8) א.  $50_{\text{mol}}$  חמצן ,  $50_{\text{mol}}$  חנקן
- (9)  $\approx 1.25_{\text{atm}}$
- (10)  $\approx 22.4_{\text{L}}$
- (11) א.  $0.0892_{\text{mol}}$  ב.  $0.359_{\text{gr}}$
- (12)  $\approx 37_{\text{psi}}$
- (13)  $\approx 2.45 \cdot 10^{22}$
- (14) א. נמוכה ב.  $0.024\%$
- (15)  $\approx 8.42_{\text{L}}$
- (16) א.  $0.655 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ב.  $\approx 3.68\%$  ג. ביום קר
- (17) א.  $\frac{4}{3}p$
- (18) א.  $0.656_{\text{atm}}$  ב.  $10.8_{\text{c.m}}$
- ג.  $12.5_{\text{mol}}$  ד.  $7.53 \cdot 10^{24}$  אטומים
- ג.  $11_{\text{mol}}$  חמצן ,  $222_{\text{mol}}$  מימן
- ב.  $100_{\text{mol}}$  חמצן ג.  $0.7_{\text{kg}}$  חנקן ,  $1.6_{\text{kg}}$  חמצן
- ג.  $0.0812_{\text{mol}}$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 17 - חום והחוק הראשון של התרמודינמיקה

תוכן העניינים

187	1. חום טמפרטורה ואנרגיה פנימית.
188	2. קיבול חום ושיטת הקלורימטריה.
190	3. חום כמוס.
192	4. החוק הראשון וניתוח תהליכים פשוטים.
197	5. קיבול חום של גזים ועקרון החלוקה השווה.
198	6. הקשר בין לחץ ונפח בהתפשטות אדיאבטית.
201	7. הולכה הסעה וקרינה.
204	8. סיכום.

## חום טמפרטורה ואנרגיה פנימית:

סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
האנרגיה הפנימית של הגז תלויה רק בטמפרטורה	אנרגיה פנימית של גז אידיאלי מונואטומי n - מספר המולים $R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ T - טמפרטורה בקלווין	$E_{\text{int}} = \frac{3}{2} nRT$
תלויה רק בטמפרטורה	עבור גז אידיאלי דו-אטומי	$E_{\text{int}} = \frac{5}{2} nRT$

שאלות:

(1) דוגמה - שורפים קלוריות

לאיזה גובה צריך לטפס אדם שמסתו 60 ק"ג בשביל לשרוף 100Cal (100kilocal)?

תשובות סופיות:

700m (1)

## קיבול חום ושיטת הקלורימטריה:

### סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
	c - קיבול חום סגולי ליחידת מסה	$Q = mc\Delta T$

### שאלות:

- (1) **דוגמה - מחממים ספל מים**  
 ספל מים שוקל 200 גרם ועשוי מזכוכית.  
 כמה חום דרוש בשביל לחמם את הספל מטמפרטורת החדר ( $20^{\circ}\text{C}$ ) ל- $80^{\circ}\text{C}$  אם:  
 א. הספל ריק ממים.  
 ב. הספל מכיל 200 גרם מים (הנמצאים גם בטמפרטורת החדר בהתחלה).
- (2) **דוגמה - הקפה מתקרר**  
 מוזגים 200 סמ"ק קפה בטמפרטורה של  $90^{\circ}\text{C}$  לכוס זכוכית בעלת מסה של 150 גרם הנמצאת בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ .  
 מה תהיה טמפרטורת הקפה בכוס במצב שיווי משקל?  
 הנח כי המערכת מבודדת בקירוב.
- (3) **דוגמה - מציאת קיבול חום באמצעות קלורימטר**  
 נרצה למצוא את קיבול החום של תרכובת מתכות חדשה.  
 מחממים 100 גרם מהתרכובת ל- $500^{\circ}\text{C}$  ומעבירים אותה במהירות לתוך קלורימטר.  
 הקלורימטר מורכב ממיכל אלומיניום בעל מסה של 0.200kg המכיל 0.500kg מים בטמפרטורה של  $22.4^{\circ}\text{C}$ . הטמפרטורה הסופית הנמדדת על ידי המדחום היא  $40.8^{\circ}\text{C}$ .  
 מהו קיבול החום הסגולי של התרכובת?  
 ניתן להזניח את החום שהולך למדחום והחום שיוצא מהבידוד.
- (4) **תרגיל וניסוי - קומקום מחמם מים**  
 קומקום חשמלי פועל בהספק של 1850 וואט.  
 כמה זמן ייקח לקומקום לחמם חצי ליטר של מים מטמפרטורה של  $22.2^{\circ}\text{C}$  ל- $100^{\circ}\text{C}$ ?

- (5) **תרגיל וניסוי - קומקום מחמם מים - הפעם עם הקומקום**  
 המשך של התרגיל הראשון, גם הפעם נחמם חצי ליטר מים באותו הקומקום  
 (1850W) אבל הפעם לא נחמם את הקומקום לפני הניסוי ונחשב שוב, כמה זמן  
 ייקח לחמם את המים?  
 טמפרטורת החדר היא  $21.9^{\circ}\text{C}$  מסת הקומקום היא 754 גרם ונניח כי הוא עשוי  
 נירוסטה וקיבול החום של נירוסטה הוא:  $0.500 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

### תשובות סופיות:

(1) א.  $10^4 \text{J}$       ב.  $6 \cdot 10^4 \text{J}$

(2)  $81^{\circ}\text{C}$

(3)  $911 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{C}}$

(4) 90sec

(5) 100sec

## חום כמוס:

### סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
$L_F$ - חום כמוס להתכה (מעבר ממוצק לנוזל או להיפך) $L_V$ - חום כמוס לרתיחה (מעבר מנוזל לגז או להיפך)	$L$ - החום הכמוס	$Q = m \cdot L$

### שאלות:

#### (1) דוגמה - קרח במים

מכניסים קוביית קרח בטמפרטורה של  $-15^{\circ}\text{C}$  ומסה של 300 גרם לתוך מיכל מים המכיל 1.5kg מים בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ . מה תהיה הטמפרטורה הסופית של התערובת?

#### (2) דוגמה - מציאת חום כמוס של כספית

לוקחים 1kg כספית הנמצאת במצב מוצק ובטמפרטורת ההתכה שלה,  $-39^{\circ}\text{C}$ . מניחים את הכספית בתוך קלורימטר המורכב ממיכל אלומיניום במסה של 0.40kg ומכיל 0.47kg מים בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ . הכספית מותכת והטמפרטורה הסופית של התערובת היא  $12^{\circ}\text{C}$ . מהו החום הכמוס הסגולי הדרוש להתכת כספית? קיבול החום הסגולי של כספית במצב הנוזלי הוא:  $c = 140 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$ .

#### (3) תרגיל וניסוי - מתי יגמרו המים בסיר

מחממים 400ml מים על הגז בסיר נירוסטה שמשקלו 177 גרם. מודדים את טמפרטורת המים פעם אחת ורואים שהיא  $60.0^{\circ}\text{C}$ . 16.68 שניות לאחר מכן הטמפרטורה היא  $63.3^{\circ}\text{C}$ .  
 א. מהו קצב מעבר החום למים?  
 מחממים את המים עד לנקודת הרתיחה  $100^{\circ}\text{C}$ .  
 ב. כמה זמן ייקח לכל המים בסיר להפוך לאדים?

**(4) רוכב אופניים**

רוכב אופניים שותה 7 ליטר מים במהלך רכיבה של 3 שעות. נניח כי בקירוב כל האנרגיה של הרוכב הולכת לאידוי המים דרך זיעה. כמה אנרגיה בקילו-קלוריות השתמש הרוכב בנסיעה? (מכיוון שהיעילות של הגוף היא בערך 20% ההערכה שכל האנרגיה הולכת לחום היא לא רחוקה).

**(5) ברזל בקלורימטר**

מחממים חתיכה של 300 גרם ברזל ל-180 מעלות צלזיוס ושמים אותה בקלורימטר העשוי ממיכל אלומיניום בעל מסה של 90 גרם שמכיל 285 גרם גליצרין ב-12 מעלות צלזיוס. הטמפרטורה הסופית של התערובת היא 38 מעלות צלזיוס. הערך מהו קיבול החום הסגולי של גליצרין.

**תשובות סופיות:**

**(1)**  $2^{\circ}\text{C}$

**(2)**  $11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

**(3)** א.  $300 \frac{\text{J}}{\text{sec}}$ . ב. בערך 40 דקות.

**(4)** 4500kcal

**(5)**  $2.3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}^{\circ}}$

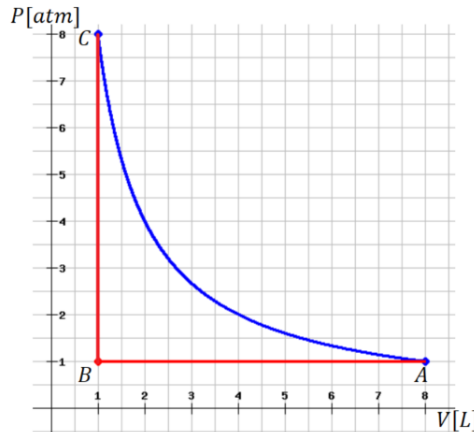
## החוק הראשון וניתוח תהליכים פשוטים:

### סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
<p>חום היא אנרגיה שעוברת רק בגלל הפרשי טמפרטורות. עבודה היא אנרגיה שעוברת מכל סיבה אחרת.</p> <p>אם המערכת מבצעת עבודה אז <math>W</math> יהיה חיובי ואם מתבצעת עבודה על המערכת אז <math>W</math> יהיה שלילי.</p> <p>אם חום נכנס למערכת אז <math>Q</math> חיובי ואם חום יוצא מהמערכת אז <math>Q</math> שלילי.</p>	החוק הראשון	$\Delta E_{int} = Q - W$
<p>כולל אנרגיה קינטית ופוטנציאלית של כל המערכת כגוף אחד (או של מרכז המסה שלה).</p> <p>בדרכ מתייחס למערכות מכניות כמו גופים קשיחים (אבן שנזרקת לדוגמה).</p>	חוק ראשון נוסחה מורחבת	$\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_{int} = Q - W$
<p>מתרחש כאשר המערכת צמודה למאגר חום גדול והתהליך הוא קוויזיסטטי (מאוד איטי).</p>	$T = \text{const}$ $Q = W, \Delta E_{int} = 0$	תהליך איזותרמי - טמפרטורה קבועה
<p>מתרחש אם המערכת מבודדת או אם התהליך מהיר והחום לא מספיק לעבור.</p>	$\Delta E_{int} = W$	תהליך אדיאבטי - $Q = 0$
		תהליך איזוברי (לחץ קבוע) ואיזוכורי (נפח קבוע)
<p>חיובי כאשר הנפח גדל ושלילי כאשר הנפח קטן</p> <p>הנוסחה נכונה לגזים, נוזלים ולמוצקים</p>	<p><math>W</math> - עבודה שמבצעת המערכת על הסביבה</p> <p><math>P</math> - לחץ <math>V</math> - נפח</p>	$W = \int P dV$
<p>אי אפשר לצייר התפשטות חופשית בדיאגרמת <math>P-V</math> מכיוון שמשתני המצב לא מוגדרים במהלך ההתפשטות.</p>	<p>תהליך שבו גז מתפשט במרחב בצורה אדיאבטית ומבלי לעשות עבודה.</p>	התפשטות חופשית - (free expansion)

**שאלות:**

- (1) **דוגמה - חוק ראשון**  
מוסיפים למערכת של חום ועושים על המערכת עבודה של 1000J.  
מה השינוי באנרגיה הפנימית של המערכת?
- (2) **דוגמה - אנרגיה קינטית לחום**  
קליע במסה של 3.0 גרם חודר לתוך עץ במהירות של 300 מטר לשנייה.  
כמה חום נוסף למערכת קליע ועץ?
- (3) **דוגמה - חישוב חום בתהליך איזוברי ואיזוכורי**  
גז אידיאלי מתחיל מהמצב המתואר בנקודה A בגרף.  
דוחסים את הגז בתהליך איזוברי עד לנקודה B ולאחר מכן מחממים את הגז בתהליך איזוכורי עד לנקודה C.  
הגרף המחבר בין A ל-C הוא גרף איזותרמי.  
א. מהי העבודה הכוללת שנעשתה בכל התהליך A עד C?  
ב. מהו החום שנוסף לגז בכל התהליך?

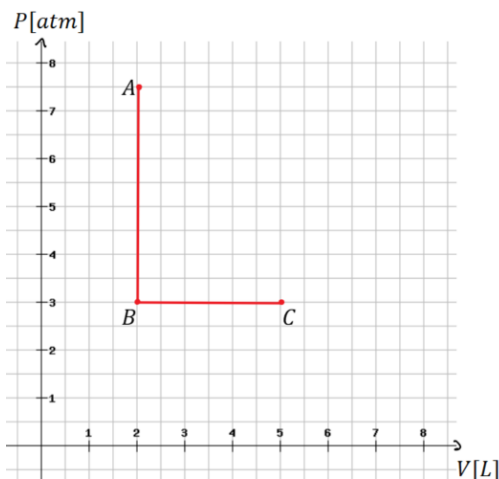


- (4) **דוגמה - עבודה של גז במנוע**  
במנוע 0.4 מול של גז אידיאלי מונואטומי מתרחבים במהירות ובצורה אדיאבטית כנגד הבוכנה. בתהליך, הטמפרטורה של הגז יורדת מ-1100K ל-400K.  
כמה עבודה ביצע הגז?
- (5) **מכונת בולמת**  
מכונת בולמת במשקל 1300 ק"ג נוסעת במהירות 80 קמ"ש.  
כמה חום נוצר במהלך הבלימה עד לעצירה מוחלטת?  
רשמו את התשובה בגאול ובקילו קלוריות.

**(6) תהליך נפח קבוע ולחץ קבוע**

גז אידיאלי עובר תהליך המורכב משני שלבים. בשלב הראשון, בגרף, AB, מאפשרים לחום לצאת מהגז תוך שמירה על נפח קבוע. כתוצאה מכך הלחץ של הגז יורד מ-7.5atm ל-3atm. בשלב השני, BC, הגז מתרחב בלחץ קבוע מנפח 2.0L לנפח 5.0L ובכך חוזר לטמפרטורה שהייתה לו בתחילת כל התהליך. חשבו את:

- העבודה הכוללת שנעשתה על ידי הגז בתהליך.
- השינוי באנרגיה הפנימית של הגז.
- כמות החום הכוללת שיצאה או נכנסה לגז.



**(7) גז מתפשט איזותרמית**

1.50 מולים של גז אידיאלי בנפח  $2.50\text{m}^3$  ובטמפרטורה  $280^\circ\text{K}$  מתפשטים איזותרמית עד לנפח  $5.00\text{m}^3$ .  
 א. מהי העבודה שעושה הגז?  
 ב. מהו השינוי באנרגיה הפנימית של הגז?  
 ג. מהו החום שנוסף לגז?

**(8) גז מתפשט אדיאבטית**

שניים וחצי מולים של גז אידיאלי מונואטומי מתפשטים אדיאבטית ומבצעים  $1.3 \cdot 10^4\text{ J}$  של עבודה בתהליך. מהו השינוי בטמפרטורה של הגז במהלך ההתפשטות?

**9) גז בתהליך ריבועי\***

גז אידיאלי עובר תהליך כפי שמתואר באיור, התהליך מתחיל במצב A ועושה סיבוב שלם עם השעון עד לחזרה למצב A.

בתהליך אחר שבו הגז עבר מהנקודה D לנקודה C בלחץ קבוע ידוע

$$\text{כי: } W_{D \rightarrow C} = 38 \text{ J}$$

בתהליך שלישי שהתרחש מהנקודה B לנקודה D ידוע כי:  $Q_{B \rightarrow D} = -85 \text{ J}$

ו-  $W_{B \rightarrow D} = -55 \text{ J}$  (סוג התהליך לא ידוע).

כמו כן ידוע כי:  $E_B - E_A = 15 \text{ J}$  ו-  $P_A = 2.2 P_D$ .

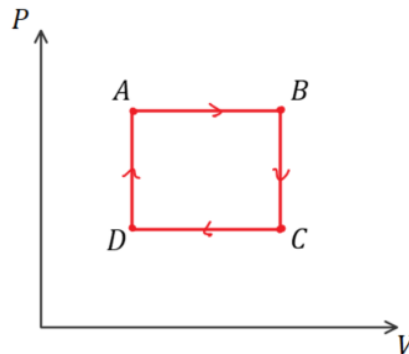
כל התהליכים התרכשו על אותו הגז.

א. תאר במילים כל שלב בתהליך הראשי, מהו סוג התהליך, האם נעשתה עבודה, האם האנרגיה הפנימית גדלה או קטנה, האם נכנס או יצא חום מהמערכת?

ב. מהי העבודה הכוללת שנעשתה על ידי הגז?

ג. מהי הנצילות של התהליך?

נצילות היא העבודה הכוללת שנעשתה חלקי החום שהושקע (כלומר נכנס לגז), כפול 100%.



### תשובות סופיות:

- (1) 2500J
- (2) 135J
- (3) א. -710J    ב. 710J
- (4) 3500J
- (5)  $Q = 3.2 \cdot 10^5 \text{ J} = 77 \text{ kcal}$
- (6) א. 910J    ב. 0    ג. 910J
- (7) א. 2420J    ב. 0    ג. 2420J
- (8)  $-0.042^\circ\text{K}$
- (9) א.  $A \rightarrow B$  - תהליך בלחץ קבוע, הגז עושה עבודה על הסביבה, האנרגיה הפנימית גדלה, נכנס חום למערכת.
- $B \rightarrow C$  - תהליך בנפח קבוע, לא נעשית עבודה, האנרגיה הפנימית קטנה, חום יוצא מהמערכת.
- $C \rightarrow D$  - תהליך בלחץ קבוע, נעשית עבודה על הגז, האנרגיה הפנימית קטנה, חום יוצא מהמערכת.
- $D \rightarrow A$  - תהליך בנפח קבוע, לא נעשית עבודה, האנרגיה הפנימית גדלה, חום נכנס למערכת. ב. 46J    ג. 40%

## קיבול חום של גזים ועקרון החלוקה השווה:

### סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
	$-Q_P/Q_V$ - כמות החום שעוברת בתהליך בנפח/לחץ קבוע. $C_P/C_V$ - קיבול חום בנפח/לחץ קבוע (למול)	$Q_V = nC_V\Delta T$ $Q_P = nC_P\Delta T$
	$m_{mol}$ - מסה מולרית. $C_P/C_V$ - קיבול חום בנפח/לחץ קבוע (ליחידת מסה)	$C_V = m_{mol}c_V$ $C_P = m_{mol}c_P$
	ההפרש בין קיבול החום בלחץ קבוע לקיבול החום בנפח קבוע תמיד שווה לקבוע R	$C_P - C_V = R$

### שאלות:

#### (1) אנשים מחממים אולם קולנוע

אולם קולנוע מכיל 1800 מקומות ישיבה. נפח האולם הוא:  $2.0 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ . בערב הבכורה של הסרט "תרגיל חם" האולם היה מלא ומערכת האוורור התקלקלה. בכמה מעלות תעלה הטמפרטורה במשך השעתיים של הקרנת הסרט אם אדם ממוצע פולט חום בקצב של 70 וואט. הנח שהאוויר הוא גז אידיאלי דואטומי וטמפרטורת החדר היא בערך  $20^\circ\text{C}$ .

#### (2) לחץ לינארי בטמפרטורה\*

גז אידיאלי דו אטומי מכיל 3.00 מולים בלחץ של 1.00 atm ובטמפרטורה של  $430^\circ\text{K}$ . הגז עובר תהליך שבו הלחץ שלו גדל לינארית עם הטמפרטורה. הטמפרטורה הסופית היא  $680^\circ\text{K}$  והלחץ הסופי הוא 1.80 atm. הנח שבכל התהליך יש 5 דרגות חופש פעילות.

א. מהו השינוי באנרגיה הפנימית של הגז?  
 ב. מהי העבודה שנעשתה על ידי הגז?  
 ג. החום שנוסף לגז?

### תשובות סופיות:

(1)  $53^\circ\text{C}$

(2) א. 15600J    ב. -1720J    ג. 13900J

## הקשר בין לחץ ונפח בהתפשטות אדיאבטית:

סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
	הקשר בין לחץ ונפח בתהליך אדיאבטי קוויזיסטטי	$P \cdot V^\gamma = \text{const}$

שאלות:

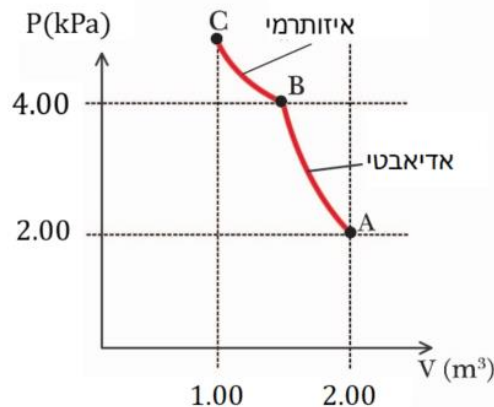
### 1) דוגמה - מכווצים גז אדיאבטית ואיזותרמית

גז אידיאלי מונואטומי עובר תהליך כפי שמתואר בגרף. התהליך מתחיל מהמצב A והגז עובר כיווץ אדיאבטי עד למצב B ומשם הוא מכווץ איזותרמית עד לנקודה C.

נתון:  $P_A = 2.00 \text{ kPa}$ ,  $V_A = 2.00 \text{ m}^3$ ,  $P_B = 4.00 \text{ kPa}$ ,  $V_C = 1.00 \text{ m}^3$ .  
 $P_C$  ו- $V_B$  אינם ידועים.

א. מצא את  $V_B$ .

ב. מהי העבודה הכוללת שנעשתה על הגז בתהליך?



### 2) לחץ וטמפרטורה בהתפשטות אדיאבטית

1.00 mol של גז מונואטומי אידיאלי בלחץ של 1.00 atm ובטמפרטורה של  $20^\circ\text{C}$  מתפשט אדיאבטית לנפח הגדול פי 2.25 מנפחו בהתחלה. מהם הלחץ והטמפרטורה הסופיים של הגז?

### 3) גז דו-אטומי מתפשט אדיאבטית

גז דו-אטומי מתפשט אדיאבטית.

הטמפרטורה בהתחלה היא  $15^\circ\text{C}$  והטמפרטורה בסוף היא  $-25^\circ\text{C}$ .

הנפח בהתחלה הוא:  $0.036 \text{ m}^3$ .

מהו נפח הגז בסוף התהליך?

**(4) גז עובר תהליך בשלושה שלבים**

1.00mol של גז אידיאלי מונואטומי שנמצא בלחץ 1.00atm עובר את התהליך הבא:

שלב 1 - הגז מתפשט אדיאבטית מ-  $T_A = 578^\circ\text{K}$  עד ל-  $T_B = 388^\circ\text{K}$ .

שלב 2 - הגז נדחס בלחץ קבוע עד שהטמפרטורה שלו מגיעה ל-  $T_C$ .

שלב 3 - הגז חוזר לטמפרטורה והלחץ הראשוניים שלו בתהליך של נפח קבוע.

א. שרטטו את התהליך בדיאגרמת  $P - V$ .

ב. מהו  $T_C$ ?

ג. חשבו את השינוי באנרגיה הפנימית, את העבודה שביצע הגז ואת החום

שנוסף לגז בכל שלב בנפרד ובתהליך כולו.

**(5) צבר אוויר עולה בגובה \*\***

צבר אוויר הוא אוסף של מולקולות בעלי משתני מצב אחידים (לחץ וטמפ'). כשצבר אוויר עולה בגובה הוא משנה את הלחץ שלו בהתאם ללחץ של האוויר

$$\text{מסביבו, ולפי הנוסחה: } \frac{dP}{dy} = -\rho g$$

כאשר  $\rho$  הוא צפיפות המסה של הצבר והוא תלוי בגובה.

במהלך התנועה כלפי מעלה, הנפח גדל, ומכיוון שאוויר הוא מוליך חום גרוע אפשר להניח שההתפשטות היא אדיאבטית.

א. הראה שעבור גז אידיאלי שעובר תהליך אדיאבטי:  $P^{1-\gamma}T^\gamma = \text{const}$

ב. הראה כי הקשר בין הלחץ לטמפרטורה של הצבר נתון לפי

$$\text{הנוסחה: } (1 - \gamma)(-\rho g) + \gamma \frac{P}{T} \frac{dT}{dy} = 0$$

ג. הראה כי התלות של הטמפרטורה בגובה היא:  $\frac{dT}{dy} = \frac{1-\gamma}{\gamma} \frac{mg}{k}$

כאשר  $m$  היא מסה ממוצעת של מולקולה ו- $k$  הוא קבוע בולצמן.

ד. בהינתן שאוויר הוא גז דו אטומי עם מסה ממוצעת של  $29u$ ,

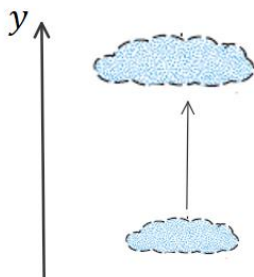
$$\text{הראה ש- } \frac{dT}{dy} = -9.8^\circ\text{C/k}$$

ה. בקליפורניה ישנם רוחות שמגיעות מההרים של מדבר סירה בנבדה.

גובה ההרים הוא כ-4000m. הרוחות מגיעות לעמק המוות שגובהו -100m,

ביחס לפני הים. אם טמפרטורת הרוח היא  $5^\circ\text{C}$  בהרים של נוודה מה תהיה

הטמפרטורה של הרוח בעמק?



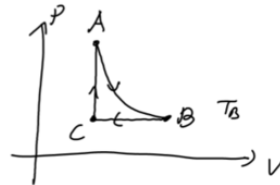
**תשובות סופיות:**

(1) א.  $1.32 \cdot \text{m}^3$  ב.  $3.4 \cdot 10^3 \text{ J}$

(2)  $P = 0.258 \text{ atm}$ ,  $T = -103^\circ \text{C}$

(3)  $0.052 \text{ m}^3$

(4) א. ב.  $214^\circ \text{K}$



ג. שלב AB:  $Q = 0$ ,  $\Delta E_{\text{int}} = -2370 \text{ J}$ ,  $W = 2370 \text{ J}$

שלב BC:  $Q = -2170 \text{ J}$ ,  $\Delta E_{\text{int}} = -2170 \text{ J}$ ,  $W = -1450 \text{ J}$

שלב CA:  $Q = 3030 \text{ J} = \Delta E_{\text{int}}$ ,  $W = 0$

כל התהליך:  $Q = 920 \text{ J}$ ,  $\Delta E_{\text{int}} = 0$ ,  $W = 920 \text{ J}$

(5) א. הוכחה. ב. הוכחה. ג. הוכחה. ד. הוכחה. ה.  $35^\circ \text{C}$

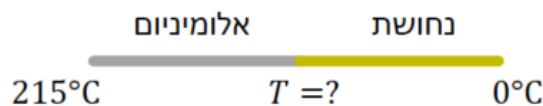
## הולכה הסעה וקרינה:

### סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
<p>אם אחד מהמשתנים אינו קבוע אז עוברים לנוסחה דיפרנציאלית</p> $\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$ <p>המינוס בנוסחה אומר שקצב הולכת החום הוא בכיוון הפוך לגרדיאנט הטמפרטורה (כלומר קצב הולכת החום הוא מהטמפרטורה הגבוהה לנמוכה)</p>	<p><math>-\frac{\Delta Q}{\Delta t}</math> - קצב הולכת חום</p> <p><math>k</math> - מוליכות תרמית - תלוי בסוג החומר, מופיע בטבלה.</p> <p><math>A</math> - שטח חתך.</p> <p><math>l</math> - אורך.</p>	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{l}$
<p><math>R</math> גבוה אומר מבודד טוב. לשים לב ש-<math>R</math> תלוי גם באורך של החומר ולא רק בסוג.</p>	<p>R- value</p>	$R = \frac{l}{k}$
<p>שימו לב שהקצב תלוי בטמפרטורה ברביעית. <math>\epsilon</math> - תכונה של פני הגוף שקורן בגופים שחורים (לדוגמה פחם) <math>\epsilon \approx 1</math>, במתכות מבריקות <math>\epsilon \approx 0</math>.</p>	<p>משוואת סטפן בולצמן - קצב החום הנפלט מגוף ע"י קרינה.</p> $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ <p>קבוע סטפן בולצמן.</p> <p><math>T</math> - הטמפרטורה של הגוף הפולט.</p> <p><math>\epsilon</math> - קירון (אמיסיביות) <math>0 &lt; \epsilon &lt; 1</math></p>	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T^4$
<p>האמיסיביות זהה לקליטה ופליטה. הקצב של קליטה קשור לטמפרטורה של הסביבה ברביעית.</p>	<p>קצב קליטה של קרינה. <math>T_2</math> - הטמפרטורה של הסביבה.</p>	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T_2^4$
	<p>הנטו של קצב פליטת הקרינה (פליטה פחות קליטה) <math>T_1</math> - הטמפרטורה של הגוף הפולט. <math>T_2</math> - הטמפרטורה של הסביבה.</p>	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$
<p>הקבוע הסולרי <math>1350 \frac{W}{m^2 \cdot s}</math></p> <p>האטמוספירה יכולה לספוג עד 70% מהקרינה.</p> <p>ביום בהיר הקבוע בערך <math>1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}</math></p>	<p>כמות החום שסופג גוף כתוצאה מקרינת השמש ביום בהיר</p>	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \left(1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}\right) \epsilon A \cos \theta$

## שאלות:

- (1) **דוגמה - איבוד חום דרך חלונות בבית**  
 מקור רציני לאיבוד החום בבית הוא דרך החלונות.  
 חשבו את קצב איבוד החום דרך חלון זכוכית בגודל  $1.5\text{m} \times 1.0\text{m}$  ועובי  $2.8\text{mm}$  אם הטמפרטורה בצד הפנימי של החלון היא  $18^\circ\text{C}$  ובצד החיצוני היא  $17^\circ\text{C}$ .
- (2) **דוגמה - קירור באמצעות קרינה**  
 אדם יושב בחדר לובש בגד ים בלבד.  
 הקירות של החדר נמצאים בטמפרטורה של  $15^\circ\text{C}$ .  
 הערך את כמות החום שהאדם מאבד כתוצאה מקרינה.  
 הנח שטמפרטורת העור היא בערך  $34^\circ\text{C}$  ו- $\varepsilon = 0.70$ .  
 שטח הפנים של האדם שבמגע עם האוויר הוא:  $-1.5\text{m}^2$ .
- (3) **דוגמה - הערך את הרדיוס של הכוכב ביטלגוס**  
 כוכב הענק ביטלגוס פולט קרינה בקצב שהוא פי  $10^4$  גדול מהקצב של השמש שלנו.  
 הטמפרטורה על פני הכוכב ביטלגוס היא בערך חצי מזו של השמש.  
 הערך את הרדיוס של הכוכב אם  $\varepsilon = 1$  עבור השמש וביטלגוס ורדיוס השמש הוא:  $R_s = 7 \cdot 10^8\text{m}$ . הנוסחה לשטח פני כדור היא:  $4\pi R^2$ .
- (4) **מוט נחושת עם טמפרטורות שונות בקצוות**  
 מוט נחושת באורך של  $42\text{cm}$  וקוטר  $2.6\text{cm}$  מוחזק בצד אחד בטמפרטורה של  $320^\circ\text{C}$  ובצידו השני המוט טבול במים בטמפרטורה של  $20^\circ\text{C}$ .  
 חשבו את קצב מעבר החום במוט.
- (5) **מוט נחושת מחובר למוט אלומיניום**  
 מוט נחושת מחובר בקצה למוט אלומיניום, שני המוטות בעלי אותו שטח חתך ואותו האורך. הקצה השני של האלומיניום נמצא בתוך תנור בטמפרטורה קבועה של  $215^\circ\text{C}$  והקצה השני של הנחושת נמצא בתוך קרח בטמפרטורה קבועה של  $0^\circ\text{C}$ .  
 חשבו את הטמפרטורה בנקודת החיבור של המוטות.



**(6) קרח נמס בצידנית**

צידנית בגודל  $20\text{c. m} \times 30\text{c. m} \times 50\text{c. m}$  עשויה מקלקר. הקירות של הצידנית הן בעובי  $1.5\text{c. m}$ . ממלאים את הצידנית בקרח ב- $0^{\circ}\text{C}$ . כמה זמן ייקח לקרח להתמוסס אם הצידנית נמצאת בחדר בו הטמפרטורה היא  $32^{\circ}\text{C}$ ?

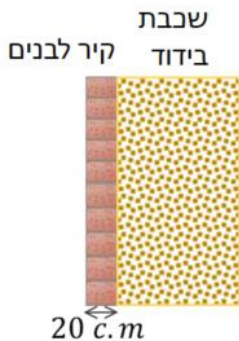
המוליכות התרמית של קלקר היא:  $0.033 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{k}}$  והצפיפות של קרח

היא:  $9.17 \cdot 10^2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**(7) קרח נמס בשמש**

כמה זמן לוקח לשמש להמיס קוביית קרח ביום בהיר אם הקרח נמצא בטמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  וצורתו היא משטח ישר בגודל  $1.0\text{m}^2$  ובעובי  $1.0\text{c. m}$ . הנח שהזווית של הקרניים עם האנך למשטח היא  $30^{\circ}$  והאמסיביות של הקרח היא  $0.050$ .

**(8) איבוד חום דרך קיר עם שכבת בידוד**



בידוד של קיר מורכב משכבה של לבנים ברוחב של  $20\text{c. m}$  שצמודה לשכבת בידוד נוספת בעלת:  $\text{value} = 3 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C}^{\circ}}{\text{J}} \cdot R$ . מהו קצב החום המועבר אם השטח של הקיר הוא  $15\text{m}^2$  והפרש הטמפרטורות הוא  $30^{\circ}\text{C}$ .

**תשובות סופיות:**

(1)  $450 \frac{\text{J}}{\text{sec}}$

(2)  $120 \frac{\text{J}}{\text{sec}}$

(3)  $2.8 \cdot 10^{11} \text{m}$

(4)  $140 \frac{\text{J}}{\text{sec}}$

(5)  $74^{\circ}\text{C}$

(6) בערך 58 שעות.

(7) בערך 20 שעות.

(8)  $140 \frac{\text{J}}{\text{sec}}$

## סיכום:

### טבלאות:

קיבול חום סגולי (Specific Heats) (ב 1 atm ו-20°C אלא אם מצוין אחרת)		
Substance	Specific Heat, c	
	kcal/kg · C° (= cal/g · C°)	J/kg · C°
Aluminum	0.22	900
Alcohol(ryhyl)	0.58	2400
Copper	0.093	390
Glass	0.20	840
Iron or steel	0.11	450
Lead	0.031	130
Marble	0.21	860
Mercury	0.033	140
Silver	0.056	230
Wood	0.4	1700
Water		
Ice (-5°C)	0.50	2100
Liquid (15°C)	1.00	4186
Steam (110°C)	0.48	2010
Human body (average)	0.83	3470
Protein	0.4	1700

חום כמס (בלחץ של 1 atm)						
Substance	Melting Point (°C)	Heat of Fusion		Boiling Point (°C)	Heat of Vaporization	
		kcal/kg*	kJ/kg		kcal/kg*	kJ/kg
Oxygen	-218.8	3.3	14	-183	51	210
Nitrogen	-210.0	6.1	26	-195.8	48	200
Ethyl alcohol	-114	25	104	78	204	850
Ammonia	-117	8.0	33	-33.4	33	137
Water	0	79.7	333	100	539	2260
Lead	327	5.9	25	1750	208	870
Silver	961	21	88	2193	558	2300
Iron	1808	69.1	289	3023	1520	6340
Tungsten	3410	44	184	5900	1150	4800

קיבול חום של גזים ב 15°C						
Gas	Specific heats (kcal/kg · K)		Molar specific heats (cal/mol · K)		$C_V - C_P$ (cal/mol · K)	$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$
	$c_V$	$c_P$	$C_V$	$C_P$		
Monoatomic						
He	0.75	1.15	2.98	4.97	1.99	1.67
Ne	0.148	0.246	2.98	4.97	1.99	1.67
Diatomic						
N <sub>2</sub>	0.177	0.248	4.96	6.95	1.99	1.40
O <sub>2</sub>	0.155	0.218	5.04	7.03	2.00	1.40
Triatomic						
CO <sub>2</sub>	0.153	0.199	6.80	8.82	2.03	1.30
H <sub>2</sub> O (100°C)	0.350	0.482	6.20	8.20	2.00	1.32

מוליכויות תרמיות		
Substance	Thermal Conductivity, k	
	kcal (s.m.C <sup>-1</sup> )	J (s.m.C <sup>-1</sup> )
Silver	10x10 <sup>-2</sup>	420
Copper	9.2x10 <sup>-2</sup>	380
Aluminum	5.0x10 <sup>-2</sup>	200
Steel	1.1x10 <sup>-2</sup>	40
Ice	5x10 <sup>-4</sup>	2
Glass	2.0x10 <sup>-4</sup>	0.84
Brick	2.0x10 <sup>-4</sup>	0.84
Concrete	2.0x10 <sup>-4</sup>	0.84
Water	1.4x10 <sup>-4</sup>	0.56
Human tissue	0.5x10 <sup>-4</sup>	0.2
Wood	0.3x10 <sup>-4</sup>	0.1
Fiberglass	0.12x10 <sup>-4</sup>	0.048
Cork	01x10 <sup>-4</sup>	0.042
Wood	0.1x10 <sup>-4</sup>	0.040
Goose down	0.06x10 <sup>-4</sup>	0.025
Polyurethane	0.06x10 <sup>-4</sup>	0.024
Air	0.055x10 <sup>-4</sup>	0.023

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

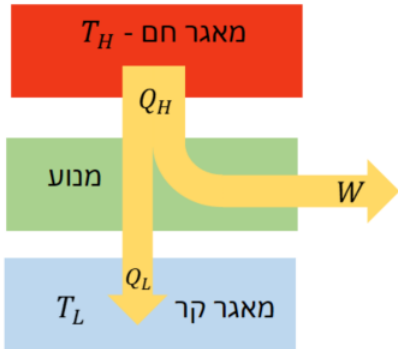
פרק 18 - החוק השני של התרמודינמיקה

תוכן העניינים

206	1. הקדמה לחוק השני של התרמודינמיקה ומנועי חום
209	2. תהליכים הפיכים ובלתי הפיכים ומנוע קרנו
212	3. מקררים מזגנים ומשאבות חום
214	4. אנטרופיה
(ללא ספר)	5. סיכום
218	6. פרשנות סטטיסטית לאנטרופיה והחוק השני

## הקדמה לחוק השני של התרמודינמיקה ומנועי חום:

סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
<p>שימו לב לסימנים! כל הסימנים חיוביים!</p> <p><math>T_H</math> ו-<math>T_L</math> נקראות טמפרטורות העבודה</p>	<p><math>Q_H</math> - כמות החום שיוצאת מהמאגר החם. <math>Q_L</math> - כמות החום שנכנסת אל המאגר הקר. <math>W</math> - העבודה שהמנוע מבצע על הסביבה.</p>	 <p><math>Q_H = W + Q_L</math></p>
		$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$

שאלות:

**1) דוגמה - נצילות של מנוע מכונית**

למנוע של מכונית יש נצילות של 20%. המנוע מפיק 25kJ של עבודה כל שניה.

א. כמה חום דרוש להכניס למנוע כל שניה?

ב. כמה חום נפלט מהמנוע כל שניה?

**2) חישוב נצילות של מנוע חום**

מנוע חום פולט 6900J של חום כאשר הוא מבצע עבודה של 2300J.

מה הנצילות של המנוע באחוזים?

**3) חום שפולטת תחנת כוח**

תחנת כוח מייצרת 560MW של הספק חשמלי.

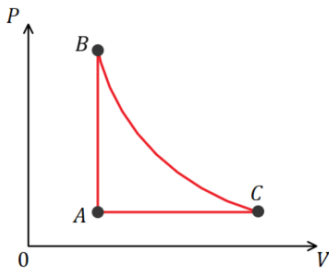
העריכו את החום שנפלט כל שניה אם הנצילות של התחנה היא 35%.

**(4) מנוע 6 צילינדרים**

- למנוע עם 6 צילינדרים של אוטו יש נצילות של 24%. המנוע מספק 180J של עבודה בכל מחזור עבור כל צילינדר. המנוע עושה 25 מחזורים בשניה.
- מהי העבודה הכוללת שמבצע המנוע בשניה?
  - מהו החום שנוצר משריפת הדלק כל שניה?
  - אם האנרגיה הנוצרת מדלק היא 32MJ לליטר, לכמה זמן מחזיק מיכל דלק מלא המכיל 40 ליטר דלק?

**(5) מנוע הפיך עם גז ארגון**

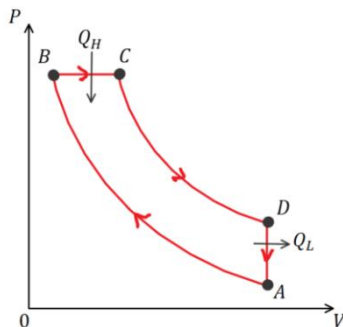
- מנוע הפיך מכיל 1.00mol של גז ארגון, גז מונואטומי כמעט אידיאלי. התהליך שעובר המנוע מתואר באיור כאשר הגז בהתחלה בנקודה A ב-STP. הנקודות B ו-C נמצאות על עקומה איזותרמית בטמפרטורה  $T = 433K$ . התהליך AB הוא תהליך בנפח קבוע והתהליך AC הוא תהליך בלחץ קבוע.



- האם המנוע מבצע את התהליך באיור עם כיוון השעון או נגד השעון?
- מהי הנצילות של המנוע?

**(6) מנוע בנזין אידיאלי**

- אפשר לתאר את הפעולה של מנוע דיזל בקירוב על ידי התהליך המחזורי באיור. אוויר נשאב לצילינדר בפעימת יניקה (לא חלק מהמחזור באיור). האוויר נדחס אדיאבטית, שלב AB. בנקודה B דלק דיזל מוזרק לתוך הצילינדר. הדלק נשרף ישר כי הטמפרטורה מאוד גבוהה. הבעירה היא יחסית איטית ובמהלך החלק הראשון של פעימת העבודה הגז מתפשט כמעט בנפח קבוע, שלב BC. בשלב השני של פעימת העבודה, אחרי שהבעירה מסתיימת, הגז מתפשט אדיאבטית, שלב CD. שלב DA מתאר את פעימת הפליטה.



- הראה שעבור מנוע שעובר את התהליך הנ"ל עם גז אידיאלי הנצילות האידיאלית היא:

$$\eta = 1 - \frac{(V_A/V_C)^{-\gamma} - (V_A/V_B)^{-\gamma}}{\gamma[(V_A/V_C)^{-1} - (V_A/V_B)^{-1}]}$$

- חשב את הנצילות אם הגז הוא דו אטומי,  $V_A/V_B = 16$  ו- $V_A/V_C = 4.5$ .

**תשובות סופיות:**

- (1) א. 125kJ    ב. 100kJ
- (2) 25%
- (3) 1000J
- (4) א. 27000J    ב. 110000J    ג. 3.2hr
- (5) א. עם השעון.    ב. 9%
- (6) א. הוכחה.    ב. 55%

## תהליכים הפיכים ובלתי הפיכים ומנוע קרנו:

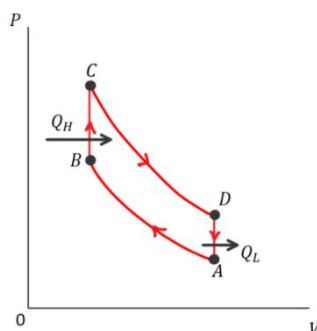
סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
<p>השטח שסגור בתוך הלולאה שווה לעבודה נטו שנעשית על ידי המנוע. מורכב מתהליכים הפיכים ולכן לא קיים במציאות, ניתן רק לשאוף אליו.</p>	מחזור קרנו	
<p>נקראת גם נצילות אידיאלית או מקסימאלית</p>	נצילות במנוע קרנו	$\eta_{\text{קרנו}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

שאלות:

### (1) דוגמה - טענה לא הגיונית

יצרן רכב טוען כי במנוע שייצר קצב הכניסה של החום הוא  $9.1 \text{ kJ}$  בטמפרטורה של  $162^\circ\text{C}$  וקצב הפליטה של החום הוא  $4.1 \text{ kJ}$  בטמפרטורה של  $22^\circ\text{C}$ . האם אתם מאמינים ליצרן?



### (2) דוגמה - נצילות של מנוע בעירה

המחזור של מנוע בעירה מתואר באיור. הניחו שחומר העבודה הוא גז אידיאלי.

א. הראו כי הנצילות של המנוע

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{1-\gamma}$$

ב. חשבו את הנצילות של המנוע אם יחס

הדחיסה הוא:  $\frac{V_A}{V_B} = 7.0$  והגז הוא דואטומי בדומה ל- $\text{O}_2$  או  $\text{N}_2$ .



**(3) מנוע חום עם חנקן נוזלי**

זה לא הכרחי שהמאגר החם של מנוע חום יהיה יותר חם מהסביבה. חנקן נוזלי זול בערך כמו בקבוק מים והטמפרטורה שלו היא בערך 77K. מה תהיה הנצילות המקסימלית של מנוע הפועל בין הטמפרטורה של חנקן נוזלי לטמפרטורת החדר 293K?

**(4) מנוע 1100W**

מנוע קרנו פועל בטמפרטורות 190°C ו- 25°C. ההספק של המנוע הוא 1100W. כמה חום פולט המנוע כל שניה?

**(5) מטפס הרים**

הניחו שאדם ששוקל 70kg צריך  $4.3 \cdot 10^3 \text{ kcal}$  של אנרגיה בשביל יום אחד של פעילות. העריכו את הגובה המקסימאלי שאותו אדם יכול לטפס על הר עם כמות זו של אנרגיה. כהערכה גסה אפשר להתייחס לאדם כמנוע הפועל בין טמפרטורות הגוף 37°C לטמפרטורת הסביבה 20°C.

**(6) טמפרטורת עבודה בנסיעה**

מכונית מייצרת עבודה בקצב של בערך  $7 \frac{\text{kJ}}{\text{sec}}$  כאשר היא נוסעת במהירות

קבועה של  $25 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכביש אופקי, זוהי עבודה כנגד כוח החיכוך.

המכונית יכולה לנסוע 14km לכל ליטר דלק.

מה הערך המינימלי של  $T_H$  אם  $T_L = 25^\circ\text{C}$  והאנרגיה הזמינה מליטר אחד של

דלק היא:  $3.2 \cdot 10^7 \text{ J}$ ?

**(7) חישובים במחזור קרנו**

מול אחד של גז מונואטומי עובר תהליך של מחזור קרנו,

כאשר  $T_H = 380^\circ\text{C}$  ו-  $T_L = 180^\circ\text{C}$ .

הלחץ ההתחלתי הוא 7.8atm.

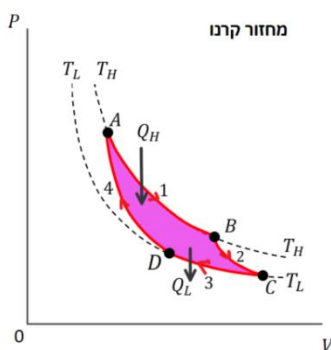
במהלך ההתרחבות האיזותרמית הנפח מוכפל.

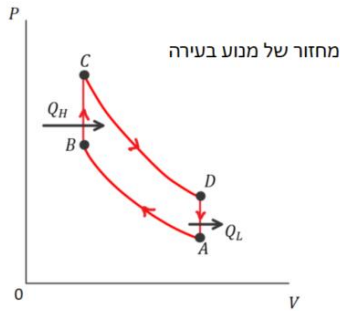
א. מהם הלחץ והנפח בנקודות: A, B, C, D?

ב. מצאו את  $Q$ ,  $W$  ו-  $\Delta E_{\text{int}}$  עבור כל שלב בתהליך.

ג. חשבו את הנצילות של המנוע באמצעות

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \text{ ו- } \eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$





**(8) יחס דחיסה במנוע בעירה**

במנוע שמתנהג בקירוב כמו המחזור של מנוע בעירה הדלק מוצת בסוף שלב הדחיסה האדיאבטית. טמפרטורת ההצתה של דלק מסוג אוקטן 95 היא  $280^{\circ}\text{C}$  ובהנחה שחומר העבודה הוא גז שמגיע מהאוויר (דו אטומי בטמפרטורה  $25^{\circ}\text{C}$ ) קבעו מהו יחס הדחיסה

המירבי  $\frac{V_A}{V_B}$ .

**תשובות סופיות:**

- (1) לא.
- (2) א. הוכחה. ב. 54%
- (3) 74%
- (4) 5000J
- (5) 1400m
- (6)  $400^{\circ}\text{K}$
- (7) א.  $P_B = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_B = 1.4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ ,  $P_A = 7.9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_A = 0.69 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$
- ב.  $P_D = 3.2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_D = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ ,  $P_C = 1.6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_C = 2.4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$
- ג.  $\Delta E_{\text{int}_{BC}} = -2500 \text{ J}$ ,  $Q_{BC} = 0$ ,  $W_{BC} = 2500 \text{ J}$ ,  $\Delta E_{\text{int}_{AB}} = 0$ ,  $Q_{AB} = W_{AB} = 3800 \text{ J}$
- ד.  $\Delta E_{\text{int}_{DA}} = 2500 \text{ J}$ ,  $Q_{DA} = 0$ ,  $W_{DA} = -2500 \text{ J}$ ,  $\Delta E_{\text{int}_{CD}} = 0$ ,  $Q_{CD} = W_{CD} = -2600 \text{ J}$
- ה.  $\eta = 31\%$
- (8) 7.1

## מקררים מזגנים ומשאבות חום:

סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
	מקדם היעילות של מקרר או מזגן	$COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$
	עבור מקרר או מזגן אידיאלי (לא מושלם)	$COP_{ideal} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$
תמיד גדול מאחד	מקדם היעילות של משאבת חום	$COP = \frac{Q_H}{W}$

שאלות:

**(1) דוגמה - מכינים קרח**

למקפיא יש מקדם יעילות של 3.6 והוא עובד בהספק של 200W. כמה זמן ייקח למקפיא להקפיא מגש קוביות קרח אם המגש הוכנס למקרר המכיל 400gr מים ב-0°C?

**(2) דוגמה - משאבת חום**

למשאבת חום מקדם יעילות של 3.0 והספק של 1200W.  
 א. כמה חום היא מוסיפה לחדר כל שניה?  
 ב. אם הופכים את פעולת המשאבה בקיץ כך שתשמש כמזגן, מה תצפו שיהיה מקדם היעילות שלה?

**(3) מקדם יעילות של מקרר אידיאלי**  
מקרר אידיאלי מחזיק את הטמפרטורה בתוכו ב- $4^{\circ}\text{C}$  כאשר הטמפרטורה בבית היא  $25^{\circ}\text{C}$ . מהו מקדם היעילות של המקרר?

**(4) מנוע קרנו עובד הפוך**  
למנוע אידיאלי (מנוע קרנו) יש נצילות של 37%. אם היה אפשר להפעיל את המנוע הפוך כך שיעבוד בתור משאבת חום, מה היה מקדם היעילות של המנוע?

**(5) מקרר קרנו אידיאלי מקפיא מים**  
"מקרר קרנו" (מנוע קרנו שעובד הפוך) מוציא חום מתא ההקפאה הנמצא בטמפרטורה של  $-15^{\circ}\text{C}$  ופולט אותו לחדר בטמפרטורה של  $25^{\circ}\text{C}$ .  
א. הראו כי אם מקדם היעילות של מקרר מוגדר לפי:  $\text{COP} = \frac{Q_L}{W}$   
אז מקדם היעילות של מקרר קרנו הוא:  $\text{COP}_{\text{ideal}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$ .  
ב. כמה עבודה מבצע המנוע לשנות  $0.6\text{kg}$  של מים ב- $25^{\circ}\text{C}$  לקרח ב- $-15^{\circ}\text{C}$ ?  
אם ההספק של המדחס במנוע הוא  $160\text{W}$ , מהו הזמן המינימלי הדרוש להקפיא מים מטמפרטורה של  $25^{\circ}\text{C}$  לקרח ב- $0^{\circ}\text{C}$ ?

**(6) משאבת חום לא אידיאלית**  
משאבת חום פועלת כמזגן ושומרת את הטמפרטורה בתוך הבניין על  $24^{\circ}\text{C}$  כאשר הטמפרטורה בחוץ היא  $40^{\circ}\text{C}$ .  
בשביל לבצע זאת המשאבה שואבת  $3 \cdot 10^7\text{J}$  חום בשעה מתוך הבניין ביעילות של 25% מהיעילות האידיאלית (זו של מקרר קרנו).  
א. מהו מקדם היעילות של המשאבה?  
ב. מהו ההספק של המדחס במשאבה? רשום תשובה בכוח סוס.

### תשובות סופיות:

- (1) בערך 3 דקות.  
(2) א.  $4600\text{J}$  ב. 2  
(3) 13  
(4) 2.7  
(5) א. הוכחה. ב.  $4.4 \cdot 10^4\text{J}$   
(6) א. 4.6 ב. 2.4HP

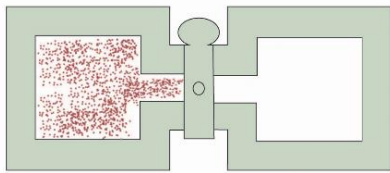
## אנטרופיה:

### סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
רק בטמפרטורה קבועה ובתהליך הפיך T - בקלווין!	Q - כמות החום שנכנסת למערכת	$\Delta S = \frac{Q}{T}$
	האנטרופיה היא משתנה מצב של המערכת	השינוי באנטרופיה לא תלוי בתהליך

### שאלות:

- (1) **דוגמה - שינוי באנטרופיה כשמערבבים מים**  
מערבבים 5kg מים ב-20°C עם 5kg מים ב-24°C.  
א. מה תהיה הטמפרטורה הסופית של המים המערבבים?  
ב. העריכו את השינוי באנטרופיה של כל המערכת.



- (2) **דוגמה - שינוי באנטרופיה בהתפשטות חופשית**  
גז מתפשט בצורה אדיאבטית וחופשית  
(כפי שמתואר בפרק הקודם בסרטון התפשטות  
חופשית) מנפח  $V_1$  לנפח  $V_2$ .  
א. חשבו את השינוי באנטרופיה של הגז.  
ב. מהו השינוי באנטרופיה של הסביבה?  
ג. הערך את השינוי באנטרופיה עבור  $n = 1.00$  ו- $V_2 = 2.00V_1$ .

- (3) **דוגמה - נחושת חמה נזרקת לתוך אגם**  
גוש נחושת חם בעל מסה של 2.00kg בטמפרטורה של  $T_1 = 840^\circ\text{K}$  נזרק לאגם  
גדול בטמפרטורה של  $T_2 = 280^\circ\text{K}$ .  
הניחו כי האגם מספיק גדול כך שהטמפרטורה שלו לא משתנה באופן מהותי.  
מהו השינוי באנטרופיה של:  
א. הנחושת.  
ב. האגם.  
ג. הכולל.

**(4) דוגמה - קוביית קרח נמסה**

קוביית קרח במסה של  $1.00\text{kg}$  ובטמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  נמצאת במגע עם מאגר חום גדול שהטמפרטורה שלו היא מעט מעל  $0^{\circ}\text{C}$ . כתוצאה מכך הקרח נמס מאוד לאט למים. מה השינוי באנטרופיה של:

א. הקרח.  
ב. המאגר.

**(5) שינוי באנטרופיה של מים שהופכים לאדים**

מהו השינוי באנטרופיה של  $150\text{gr}$  של מים ב- $100^{\circ}\text{C}$  שהופכים לאדים ב- $100^{\circ}\text{C}$ ?

**(6) קופסה מחליקה על משטח עם חיכוך**

קופסה בעלת מסה של  $6.5\text{kg}$  מחליקה על משטח אופקי לא חלק (קיים חיכוך קינטי). חשבו את השינוי באנטרופיה של היקום מתחילת תנועתה של הקופסה במהירות  $5\frac{\text{m}}{\text{sec}}$  ועד לעצירתה. הניחו שכל הגופים נמצאים בטמפרטורת החדר  $293\text{K}$ .

**(7) מים מתקררים ממאגר קרח**

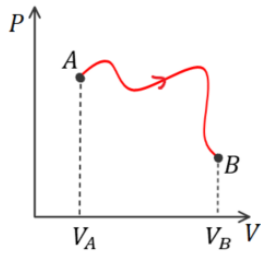
$1.0\text{L}$  של מים ב- $0^{\circ}\text{C}$  נמצאים במגע עם כמות גדולה של קרח ב- $10^{\circ}\text{C}$ . כתוצאה מכך המים קופאים ומתקררים גם ל- $10^{\circ}\text{C}$ . חשבו את השינוי הכולל באנטרופיה.

**(8) מוט ברזל נזרק למים**

מוט ברזל בעל מסה של  $1.8\text{kg}$  ובטמפרטורה של  $43^{\circ}\text{C}$  נזרק למיכל מים המצופה בקלקר. המיכל מכיל  $1.2\text{kg}$  מים בטמפרטורת החדר ( $20^{\circ}\text{C}$ ). מהו השינוי הכולל באנטרופיה?

**(9) גז אידיאלי מתפשט איזותרמית**

גז אידיאלי מתפשט איזותרמית  $T = 350^{\circ}\text{K}$  מנפח  $2.30\text{L}$  ולחץ  $6.9\text{atm}$  ללחץ  $1.0\text{atm}$ . מהו השינוי באנטרופיה של הגז?



**(10) גז אידיאלי עובר תהליך מוזר**

גז אידיאלי המכיל  $n$  מולים עובר את התהליך המתואר באיור. הטמפרטורה בנקודות A ו-B זהה. חשבו את השינוי באנטרופיה של הגז בעקבות התהליך. נתונים:  $V_A$ ,  $nV_B$ .

**(11) שני גזים מתערבבים**

1.00mol של גז חנקן ו-1.00mol של גז חמצן נמצאים בתאים נפרדים, זהים בגודלם, באותה הטמפרטורה ומבודדים מהסביבה. מחברים בין התאים והגזים (האידיאליים) מתערבבים. מהו השינוי באנטרופיה של:

- כל המערכת?
- של הסביבה?
- חזור על סעיף א' אם התא של אחד הגזים גדול פי שניים מהתא של השני.

**(12) קיבול חום מולרי משתנה**

קיבול החום המולרי של אשלגן בטמפרטורות נמוכות משתנה עם הטמפרטורה לפי  $C_V = \alpha T + \beta T^3$  כאשר  $\alpha = 2.08 \frac{\text{mJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}^2}$  ו-  $\beta = 2.57 \frac{\text{mJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}^4}$ . מצאו את השינוי באנטרופיה של 0.25mol של אשלגן כאשר הטמפרטורה שלו יורדת מ-4.0K ל-2.0K בתהליך בנפח קבוע.

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } 22^{\circ}\text{C} \quad \text{ב. } 1 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(2) \quad \text{א. } \Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{ב. } \Delta S = 0 \quad \text{ג. } 5.76 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(3) \quad \text{א. } -857 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad \text{ב. } 1560 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad \text{ג. } 703 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(4) \quad \text{א. } -1220 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad \text{ב. } 1220 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(5) \quad 910 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(6) \quad 0.28 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(7) \quad 48 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(8) \quad 2.2 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(9) \quad 8.8 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$(10) \quad nR \ln \frac{V_B}{V_A}$$

$$(11) \quad \text{א. } 5.8 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad \text{ב. } 0 \quad \text{ג. } 13 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

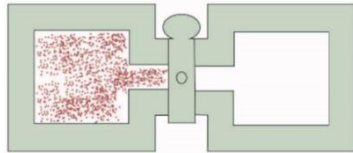
$$(12) \quad -11 \frac{\text{mJ}}{\text{K}}$$

## פרשנות סטטיסטית לאנטרופיה והחוק השני:

### סיכום כללי:

הערות	תיאור	הנוסחה
	k - קבוע בולצמן Ω - פונקציית המצבים המיקרוסקופיים	$S = k \ln \Omega$

### שאלות:



- (1) **דוגמה - התפשטות חופשית גישה סטטיסטית**  
 השתמשו במשוואה של בולצמן לאנטרופיה וחשבו את השינוי באנטרופיה במקרה של התפשטות חופשית של מול אחד של גז אידיאלי מנפח  $V$  לנפח  $2V$ .  
 הניחו ש- $\Omega$  אומרת את מספר המיקומים האפשריים של כל המולקולות. השוו לחישוב שנעשה בדוגמה הקודמת של התפשטות חופשית באמצעות הנוסחה של קלאוזיוס.

### (2) אנטרופיה להטלת 4 מטבעות

השתמשו בפונקציית המצבים  $\Omega$  וחשבו מה האנטרופיה בכל אחד מהמצבים המיקרוסקופיים שתוארו בדוגמה של הטלת 4 מטבעות.

מספר המצבים המיקרוסקופיים	המצבים המיקרוסקופיים המתאימים (H-ראש, T-זנב)	המצב המיקרוסקופי
1	HHHH	4 ראש
4	THHH, HTHH, HHTH, HHHT	3 ראש, 1 זנב
6	TTHH, THTH, HTTH, THHT, HTHT, HHTT	2 ראש, 2 זנב
4	HTTT, THTT, TTHT, TTTH	1 ראש, 3 זנב
1	TTTT	4 זנב

### (3) הטלת 5 מטבעות

- דני לקח 5 מטבעות והטיל אותם בצורה אקראית על השולחן.  
 א. רשמו טבלה ובה את מספר המצבים המיקרוסקופיים המתאימים לכל מצב מקרו.  
 ב. מהי ההסתברות שבהטלה יצאו 3 מטבעות ראש ו-2 זנב?  
 ג. מהי ההסתברות שכל המטבעות יפלו על זנב?  
 ד. מהי ההסתברות שבהטלה יפלו לפחות 3 מטבעות על זנב?

**(4) שינוי באנטרופיה בסידור 10 מטבעות**

על שולחן ישנם 10 מטבעות כאשר 9 מתוכם נמצאים עם הראש כלפי מעלה ואחד עם הזנב כלפי מעלה. הופכים 3 מטבעות שהיו עם הראש כלפי מעלה. מה השינוי באנטרופיה של המערכת? השווה לשינוי באנטרופיה של מערכת תרמודינמית מאחד הדוגמאות הקודמות. ניתן לחשב את פונקציית המצבים גם באמצעות מקדמי הבינום של ניוטון:  $\frac{n!}{k!(n-k)!}$  כאשר  $n$  הוא מספר המטבעות ו- $k$  מספר המטבעות עם הזנב (או הראש) כלפי מעלה.

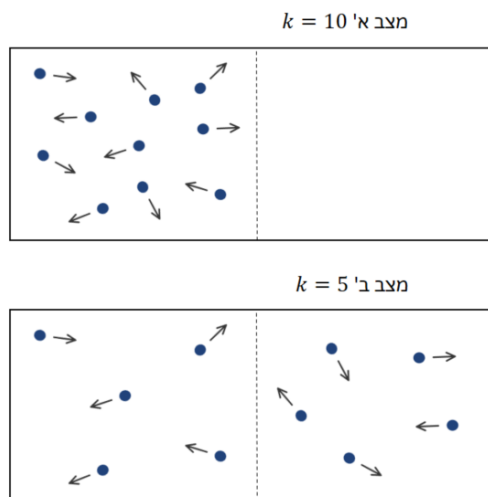
**(5) גז עם 10 אטומים בתיבה**

נניח שישנה מערכת דמויית גז המכילה  $n = 10$  אטומים במהירויות זהות. ה"גז" נמצא בתוך תיבה. נסמן את מספר האטומים הנמצאים בחציה השמאלי של התיבה ב- $k$ . מספר האפשרויות לסדר את האטומים כך ש- $k$  אטומים יהיו

$$\frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot$$

נניח כי כל ערך של  $k$  מסמל מצב מיקרוסקופי של המערכת. במצב א' שבאיור כל 10 האטומים בצד שמאל של התיבה ( $k = 10$ ) ובמצב ב' שבאיור 5 בחצי הימני ו-5 בשמאלי ( $k = 5$ ).

- א. מהו השינוי באנטרופיה במעבר בין מצב א' למצב ב'? האם התהליך יכול להתרחש בצורה ספונטנית?
- ב. מהו השינוי באנטרופיה במעבר בין מצב ב' למצב א'? האם התהליך יכול להתרחש בצורה ספונטנית?



## תשובות סופיות:

(1)  $R \ln(2)$

(2)

המצב המיקרוסקופי	אנטרופיה
4 ראש	0
3 ראש, 1 זנב	$1.91 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
2 ראש, 2 זנב	$2.47 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
1 ראש, 3 זנב	$1.91 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
4 זנב	0

(3) א.

מצב מקרוסקופי	המצבים המיקרוסקופיים	פונקציית המצבים $\Omega$
5-H, 0-T	HHHHH	1
4-H, 1-T	HHHHT, HHHHT, HHTHH, HTHHH, THHHH	5
3-H, 2-T	HHHTT, HHTHT, HTHHT, THHHT, HHTTH, HTTTH, THTHH, TTHHH, HTHTH, THHTH	10
2-H, 3-T	כמו 3-H, 2-T רק להחליף H ב-T	10
1-H, 4-T	כמו 4-H, 1-T רק להחליף H ב-T	5
0-H, 5-T	כמו 5-H, 0-T רק להחליף H ב-T	1

ד. 50%

ג. 3.125%

ב. 31.25%

(4)  $4.2 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

(5) א.  $7.63 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ , ב.  $-7.63 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ , לא.

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 19 - גלים

תוכן העניינים

221 ..... 1. גלים והתאבכות גלים

## גלים והתאבכות גלים:

**רקע:**

מהירות גל מחזורי:  $v = \lambda f$

$\lambda$  – אורך הגל.

$f$  – תדירות הגל.

$$\text{חוק השבירה: } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

$\theta$  – הזוויות בין הקרן הפוגעת/ מוחזרת **לאנך** למשטח.

$n$  – מקדם השבירה של כל תווך.

$v$  – מהירות הגל בכל תווך.

$$\text{גל עומד במיתר שקצותיו קשורים: } \ell = n \frac{\lambda}{2}$$

$\ell$  – אורך המיתר.

$n$  – מספר נקודות הקמר (מקס" / מינ')

$\lambda$  – אורך הגל

**קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר) שווי-מופע:**

$$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$$

$\theta_n$  – זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המקסימום  $n$  ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.

$X_n$  – המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר  $n$ .

$L_n$  – המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר  $n$ .

$n$  – סדר קו המקסימום.

$\lambda$  – אורך הגל.

$d$  – המרחק בין החריצים.

$$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} : \text{קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שוי-מופע}$$

$\theta_n$  – זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המינימום  $n$  ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.

$X_n$  – המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר  $n$ .

$L_n$  – המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר  $n$ .

$n$  – סדר קו המינימום.

$\lambda$  – אורך הגל.

$d$  – המרחק בין החריצים.

$$\frac{\Delta X}{L} = \frac{\lambda}{d} : \text{נוסחת יאנג}$$

$\Delta X$  – רוחב פס האור

$L$  – מרחק האנך למסך מהחריצים.

$\lambda$  – אורך הגל.

$d$  – המרחק בין החריצים.

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = nN \cdot \lambda : \text{קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה}$$

$\theta_n$  – הזווית למקסימום מסדר  $n$ .

$d$  – המרחק בין שני חריצים צמודים.

$N$  – קבוע הסריג.

$$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w} : \text{קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד}$$

$\theta_n$  – הזווית למינימום מסדר  $n$ .

$X_n$  – מרחק מרכז המינימום מסדר  $n$  למרכז המקסימום המרכזי.

$L_n$  – המרחק בין החריץ למינימום מסדר  $n$ .

$w$  – רוחב החריץ.

$$\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)} \quad \text{עוצמה של גלי קול ביחס לסף השמע:}$$

כאשר  $I_a$  היא עוצמת הקול של  $\alpha$  דציבל.  $I_0$  - סף השמע של אדם.

ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים שונים  $\alpha$  ו- $\beta$ :

$$\frac{I_a}{I_b} = 10^{\left(\frac{\alpha-\beta}{10}\right)}$$

האנרגיה של גל קול:

$$E = I \cdot S \cdot t$$

$E$  - האנרגיה הכוללת של גל הקול.

$I$  - העוצמה בדציבל.


$S$  - שטח החתך בו הגל פוגע.

$t$  - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

## שאלות:

## (1) תרגול גל 1

פולס נע ימינה בחבל.

מתוארת צורתו בשני זמנים שונים:  $t = 0, t = 2\text{sec}$ . 

א. מה משרעת הפולס?

ב. מה מהירות התקדמותו?

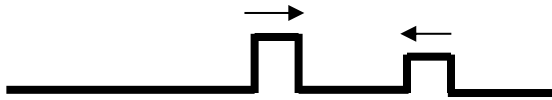
ג. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה A ברגע  $t = 0$ ?

ד. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה B ברגע זה?

## (2) תרגול גל 2

מציירים בחבל שתי הפרעות שתי הפרעות כמתואר בתרשים:  $v = 10 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

שרטט את החבל בזמנים הבאים:

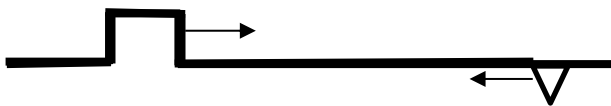
א.  $t = 8\text{sec}$ ב.  $t = 16\text{sec}$ ג.  $t = 18\text{sec}$ ד.  $t = 22\text{sec}$ 

## (3) תרגול גל 3

בחבל מייצרים שתי הפרעות שונות בשני קצותיו שמתקדמות אחת לקראת

השנייה, כמתואר בתרשים:  $v = 0.5 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

שרטט את צורת החבל בזמנים הבאים:

א.  $t = 8\text{sec}$ ב.  $t = 12\text{sec}$ ג.  $t = 13\text{sec}$ ד.  $t = 16\text{sec}$ 

## (4) תרגול גל 4

פולס משולש נע בחבל ומגיע לקצהו. שרטט את החבל + הפולס במקרים הבאים:

א. קצה החבל קשור לקיר.

ב. קצה החבל מולבש על טבעת חופשיה למנוע על פני ציר שעובר דרכה.

ג. קצה החבל קשור לחבל כבד יותר.

ד. קצה החבל קשור לחבל קל יותר.

**5) תרגול גל עומד**


חוט AB, שאורכו  $1m$ , קשור בקצהו B למחולל תנודות, ובקצהו A למוט קבוע (ראה תרשים).  
 כאשר תלמיד מפעיל את מחולל התנודות, נוצר בחוט AB גל, שמוחזר מהקצה A.  
 התלמיד מגדיל ברציפות את תדירות מחולל התנודות ורושם את התדירויות בכל פעם שנוצר בחוט AB גל עומד. תוצאות הניסוי רשומות בטבלה שלפניך:

$\frac{1}{\lambda} (m^{-1})$	$\lambda (m)$	צורת הגל העומד	$f$ - תדירות התנודות (Hz)
			24
			45
			67
			88

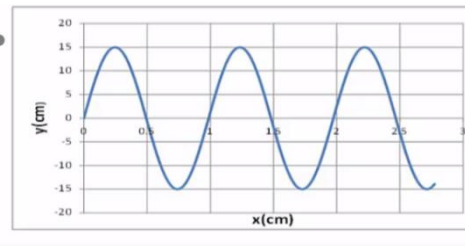
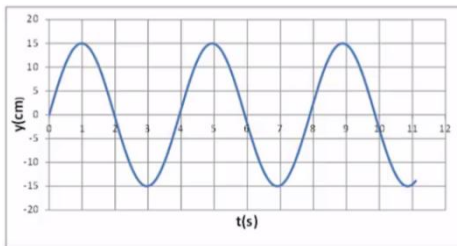
התייחס לנקודה B כנקודת צומת.

- העתק את הטבלה למחברתך, ורשום בעמודה את אורך הגל  $\lambda$ , לכל אחד מארבעת הגלים העומדים שנוצרו בחוט?
  - רשום בעמודה המתאימה בטבלה את הערך  $\frac{1}{\lambda}$  לכל אחד מארבעת הגלים, וסרטט גרף של התדירות  $f$  כפונקציה של  $\frac{1}{\lambda}$ .
  - מצא בעזרת הגרף את מהירות התפשטותו של גל בחוט AB.
  - התלמיד ממשיך להגדיל את תדירות מחולל התנודות.
- מהי התדירות הראשונה (הגבוהה מ-88Hz) שייוצר בה גל עומד בחוט AB? נמק.

**6) תרגול גל מחזורי 1**

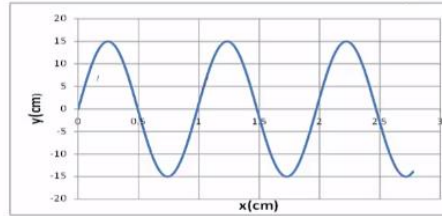
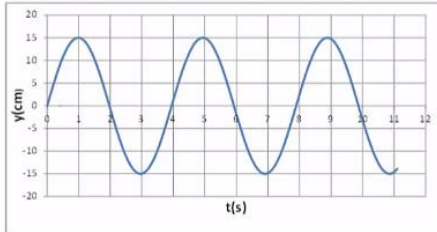
מופיעים לפניכם גרפי העתק זמן והעתק מקום של חבל מסוים.

- מהי משרעת הגל?
- מהו אורך הגל המתקדם בחבל?
- מה זמן המחזור של הגל?
- מה מהירות הגל?
- לאיזה נקודה/נקודות בחבל יכול להתאים גרף ההעתק זמן (השמאלי)?



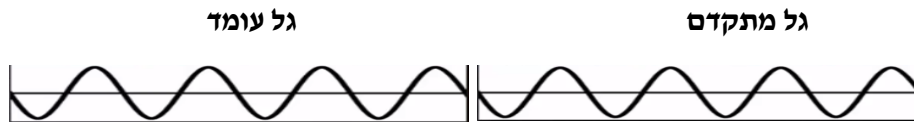
### (7) תרגול גל מחזורי 2

לפניכם גרף העתק-מקום והעתק-זמן של הגוף מהשאלה הקודמת. מכפילים את תדירות מחולל הגלים (מקור). שרטטו את גרף העתק-זמן והעתק-מקום החדשים.



### (8) תרגול גל מחזורי 3

- לפניך שני תצלומים (נראים זהים). הימני: גל מתקדם, השמאלי: גל עומד בקהל.
- קבע את אורך הגל של כל אחד מהגלים בחבל.
  - שרטט את החבל  $\frac{1}{4}$  זמן מחזור לאחר תצלום זה.
  - שרטט את החבל  $\frac{1}{2}$  זמן מחזור לאחר תצלום זה.
  - בחר בכל תצלום נקודה מימין ומשמאל למשרעת, וצייר את כיוון תנועתה מיד לאחר צילום זה.



### (9) תרגיל 1

מהירות גל במיתר מתוח 25 מטר בשנייה. קושרים את היתר בין שני כנים שהמרחק ביניהם 3 מטר. מניעים את המיתר בעזרת מתנד. באיזו תדירות יש לנדנד אותו כך שייוצר בו גל עומד עם 12 נקודות צומת (כולל הקצוות)?

- 45.8 הרץ.
- 70 הרץ.
- 8.3 הרץ.
- 75 הרץ.
- 80.7 הרץ.

**(10) תרגיל 2**

מיתר בעל אורך 90 ס"מ קשור בשני קצותיו. כשמנדנדים אותו בתדירות 150 הרץ, נוצר בו גל עומד עם 8 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהירות גל במיתר הנ"ל:

א.  $15.3 \frac{m}{sec}$

ב.  $38.6 \frac{m}{sec}$

ג.  $17 \frac{m}{sec}$

ד.  $34.3 \frac{m}{sec}$

**(11) תרגיל 3**

מנדנדים מיתר מתוח הקשור בשני קצותיו בתדירות 100 הרץ. אורך המיתר 3 מטר. במיתר נוצר גל עומד עם 5 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהי מהירות הגל במיתר?

א.  $150 \frac{m}{sec}$

ב.  $100 \frac{m}{sec}$

ג.  $330 \frac{m}{sec}$

ד.  $20 \frac{m}{sec}$

ה.  $340 \frac{m}{sec}$

**(12) תרגיל 4**

מיתר של גיטרה משמיע עם הפריטה עליו צליל בתדירות של 300 הרץ. אם רוצים להפיק מהמיתר צליל בעל תדירות של 900 הרץ:

א. אין כל דרך להפיק את התדירות הנ"ל מהמיתר.

ב. יש להקטין את המתיחות במיתר פי 3.

ג. יש לקצר את המיתר פי 3.

ד. יש להאריך את המיתר פי 3.

ה. יש להגדיל את המתיחות פי 2.

**(13) תרגיל החזרה גלים דו ממדיים**

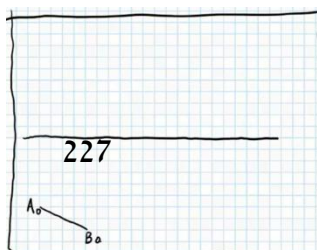
נתון אמבט הגלים הבא בו מתקדם גל ישר  $A_0B_0$ . באמבט קיים גם מחסום.

א. הוסף לתרשים חץ המתאר את כיוון התקדמות הגל  $A_0B_0$ .

ב. הוסף לתרשים את חזית הגל לאחר שהוחזרה מהמחסום.

ג. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעת

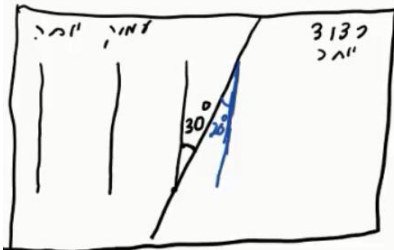
והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לאור.



- ד. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעת והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לגלי מים.  
 ה. הוסיפו לתרשים את חזית הגל, ברגע שבו אמצע חזית הגל נוגעת במחסום.

#### 14) תרגול מעבר תווך גלי מים

נתון אמבט גלים בו נע גל לפי התרשים הבא. במרכז האמבט מוקם מחסום כך שגובה המים בחלק הימני נמוך יותר. מקור גלים בקצה השמאלי של האמבט מייצר גל ישר מחזורי בתדירות 4 הרץ.



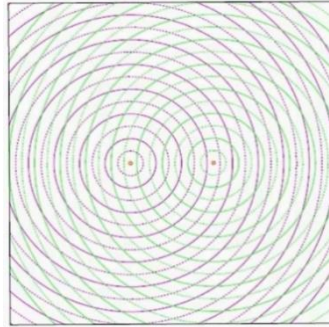
- מהירות הגל במים בחלק העמוק היא 20 ס"מ לשנייה. הגל מתקדם ועובר לתווך הימני כמתואר בתרשים.
- א. מה מהירות גל המים בתווך הרדוד יותר?  
 ב. מהו אורך הגל  $\lambda_1$  בחלק העמוק?  
 ג. מהו אורך הגל  $\lambda_2$  בחלק הרדוד?  
 ד. הוסיפו לתרשים (איכותית) עוד 2 אורכי גלים לאחר מעבר גל המים לתווך הרדוד.

#### 15) תרגול אנרגיה ומשרעת של גל

- גל מעגלי מתפשט באמבט גלים. משרעתו, כשהיה מעגל ברדיוס 3cm, הייתה 1cm.
- א. פי כמה תהיה קטנה האנרגיה שלו כשיתפשט לרדיוס של 15cm?  
 ב. מה תהיה משרעתו במצב זה?

**16) התאבכות גלי מים – תרגיל 1**

נתון תרשים של אמבט גלים ובו 2 מקורות בעלי אורך גל זהה ושווי מופע.  
 קווים רציפים מייצגים שיא בגל וקווים מקווקוים – שפל.  
 זהו את קווי המקסימום והמינימום בתרשים.

**17) התאבכות גלי מים – תרגיל 2**

- נתון אמבט גלים בו 2 מקורות שהמרחק ביניהם 7 ס"מ.  
 המקורות מכים במים במופע זהה בתדירות 20 הרץ.  
 מהירות התקדמות הגלים באמבט היא 25 ס"מ לשנייה.  
 א. מה אורך הגל של הגלים שיוצרים המקורות?  
 ב. קבע, לגבי כל אחת מהנקודות הבאות: A, B, C, D בתרשים,  
 האם היא על קו מקסימום, על קו מינימום או נקי ביניים:  
 i. A - מרחקה מהמקור הראשון - 4 ס"מ ומהמקור השני - 2.8 ס"מ.  
 ii. B - מרחקה מהמקור הראשון - 5 ס"מ ומהמקור השני - 3.2 ס"מ.  
 iii. C - מרחקה מהמקור הראשון - 7 ס"מ ומהמקור השני - 3.4 ס"מ.  
 iv. D - מרחקה מהמקור הראשון - 8 ס"מ ומהמקור השני - 6.5 ס"מ.  
 ג. כמה קווי מקסימום וכמה קווי מינימום יופיעו באמבט?

**18) שאלה 1 בהתאבכות גלי מים**

שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות  $(0,0)$  ו- $(6,0)$ . המקורות משדרים באורך גל של 1cm לכל הכיוונים. על ציר y מתקבלת התאבכות בונה בנקודות הבאות (המספרים בס"מ):

- א.  $(0, 1.1)$   $(0, 2.5)$   $(0, 4.5)$   $(0, 8)$   $(0, 17.5)$   
 ב.  $(0, 1)$   $(0, 2)$   $(0, 4)$   $(0, 8)$   $(0, 16)$   $(0, 32)$   
 ג.  $(0, 6)$   $(0, 12)$   $(0, 18)$   $(0, 24)$   $(0, 30)$   
 ד.  $(4, 4.5)$   $(4, 8)$   $(4, 17.5)$   $(3, 2)$   
 ה.  $(0, 4.2)$   $(0, 8.7)$   $(0, 16.5)$   $(0, 0)$   
 ו.  $(0, 4.5)$   $(0, 8)$   $(0, 17.5)$

**19) שאלה 2 בהתאבכות גלי מים**

שני מקורות גל זהים ושווי מופע ממוקמים בנקודות  $(0,0)$  ו- $(5,0)$

(הערכים בס"מ). אורך הגל של כל אחד מהם 2 ס"מ.  
 היכן על ציר  $y$  תתקבל התאבכות בונה מסדר ראשון? (הערכים בס"מ).

- א.  $(5, 2.5)$ .
- ב.  $(0, 5.25)$ .
- ג.  $(0, 6)$ .
- ד.  $(0, 2.5)$ .
- ה.  $(0, -5.25)$ .

### 20) שאלה 3 בהתאבכות גלי מים

שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות  $(0, 5)$  ו- $(0, -5)$ . בנקודה  $(10, 10)$  מתקבלת התאבכות בונה מסדר ראשון (כל המספרים נתונים בס"מ) אורך הגל הוא בקירוב:

- א. 8.5 ס"מ.
- ב. 5 ס"מ.
- ג. 7.3 ס"מ.
- ד. 15 ס"מ.
- ה. 6.8 ס"מ.

### 21) שאלה 4 בהתאבכות גלי מים

באמבט גלים ממקמים שני מתנדים בשתי נקודות  $(4, 2)$  ו- $(7, 6)$ . המתנדים רוטטים בתדירות זהה ובאותו מופע. בנקודה  $(10, 10)$  מתקבלת התאבכות בונה מסדר שלישי.  
 מהו אורך הגל? (הגדלים המספריים במטרים).

- א.  $1.67m$ .
- ב.  $0.62m$ .
- ג.  $2.79m$ .
- ד.  $6.83m$ .
- ה.  $1.23m$ .

**(22) התאבכות אור תרגיל 1**

מאירים בלייזר בעל אורך גל 500 ננומטר לוחית בעלת 2 סדקים בעלי  $d = 0.2\text{mm}$ . במרחק  $L = 3\text{m}$  נמצא מסך.

- מהו רוחב פס אור כל עוד אנחנו בזוויות קטנות?
- מהו מרחקו ממרכז התבנית של מרכז פס האור מסדר רביעי?
- מהו מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של קו החושך מסדר שביעי?
- מה מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של מרכז פס האור מסדר 200?

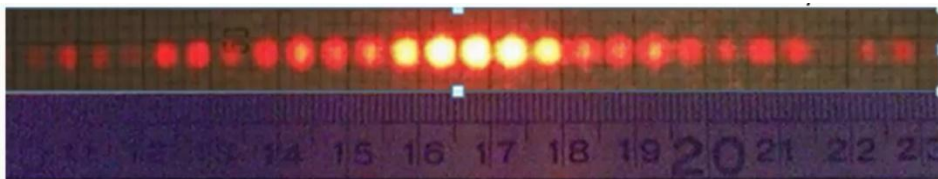
**(23) התאבכות אור תרגיל 2**

מאירים בלייזר ירוק בעל אורך גל לא ידוע על לוחית ובה 2 סדקים שהמרחק ביניהם 0.15 מ"מ. מניחים מסך שאורכו  $h = 1\text{m}$  במרחק 3 מטר מהלוחית כך שמרכז המסך בדיוק מול הסדקים. הזווית למקסימום מסדר חמישי נמדדת ושווה ל-1 מעלה.

- מה אורך הגל של הלייזר?
- מה מרחקו של המינימום מסדר חמישי ממרכז המסך?
- כמה קווי חושך התקבלו על המסך?
- אם נחליף המסך במסך ארוך מאוד שיונח באותו מיקום, כמה פסי אור ייווצרו על המסך?

**(24) התאבכות אור תרגיל 3**

לוקחים לייזר אדום בעל אורך גל לא ידוע ומציבים לפניו לוחית בעלת 2 סדקים שהמרחק ביניהם 0.25 מ"מ. ממקמים מסך במרחק 1.8 מטר מהלוחית. על המסך מתקבלת תבנית ההתאבכות הבאה, לצד סרגל שהודבק למסך מראש.



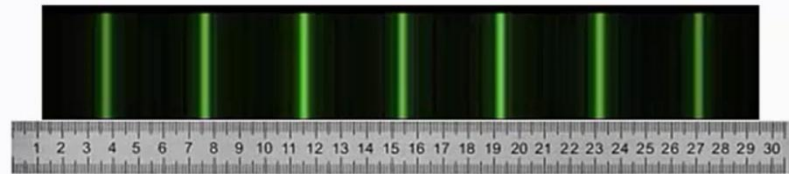
- מצא את אורך הגל של הלייזר בדרך המדויקת ביותר.
- איזה מהנקודות בצילום הינה נקודת המקסימום המרכזי?
- לאיזה נקודה בצילום מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-3 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- לאיזה נקודה על המסך מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-4.5 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- מהן 3 הדרכים אשר ניתן לצופף בהן את תבנית ההתאבכות?

**(25) התאבכות אור בסריג – תרגיל 4**

- מאירים בלייזר בעל אורך גל לא ידוע על סריג בעל קבוע של 100 חריצים למ"מ. מציבים מסך במרחק 1 מטר מהסריג כך שמרכזו מול מרכז הסריג ומול קרן הלייזר. אורך המסך 4 מטר.
- מיקומו של קו המקסימום הראשון נמדד ושווה ל-6.5 ס"מ ממרכז המסך.
- מהו אורך הגל של הלייזר?
  - מה מיקומו של קו המקסימום מסדר שני?
  - מה מיקומו של קו המקסימום מסדר חמישי?
  - כמה קווי מקסימום יתקבלו על המסך?
  - בהנחה שמחליפים מסך זה במסך ארוך מאוד באותו המיקום, כמה קווי מקסימום יתקבלו עליו?

**(26) התאבכות אור בסריג – תרגיל 5**

- מאירים בלייזר ירוק בעל אורך גל 550 ננומטר על סריג בעל קבוע לא ידוע, ומציבים מסך במרחק 2.5 מטר מהסריג.
- על המסך שעליו מודבק סרגל מתקבלת התמונה הבאה :



- מצאו את קבוע הסריג בדרך המדויקת ביותר.
- באיזה זווית ביחס לאנך האמצעי יתקבל קו המקסימום מסדר 20?
- מה יקרה לתבנית ההתאבכות אם נחליף את הלייזר הירוק בלייזר כחול?

**(27) התאבכות אור בסריג – תרגיל 6**

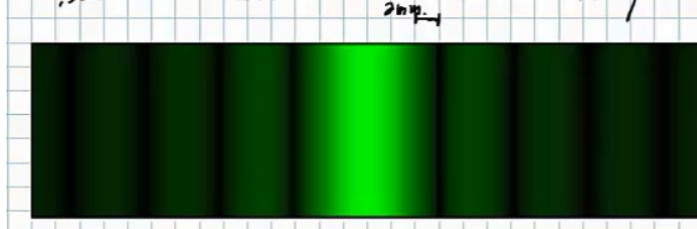
- אור לבן פוגע בסריג עקיפה בעל קבוע 300 חריצים למ"מ. מסך ארוך מונח במרחק 2 מטר מהסריג.
- מה רוחב הפס הצבעוני מסדר ראשון?
  - מה הזווית שנפתחת בין המקסימום האדום מסדר שני, והסגול מסדר שני?
  - הוכח שקיימת חפיפה בצבעים בין הסדר השני לסדר השלישי.

**(28) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 1**

- תלמיד מאיר בלייזר אדום בעל אורך גל 670 ננומטר סדק שרוחבו 0.3 מ"מ. תבנית עקיפה מתקבלת על מסך במרחק 1.5 מטר.
- מה רוחבו של המקסימום המרכזי?
  - מה רוחבו של מקסימום משני, מסדר נמוך?

**29) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 2**

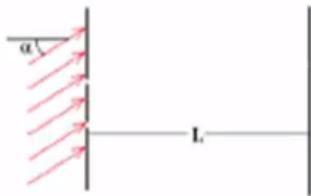
לוקחים לייזר ירוק בעל אורך גל 530 ננומטר. מציבים אותו לפני סדק בעל רוחב לא ידוע, ועל מסך משבצות במרחק 3 מטר מהסדק מתקבלת תבנית ההתאבכות הבאה:



- נתון שרוחב משבצת על הלוח הוא 2 מ"מ.
- מה רוחב הסדק?
  - כמה קווי צומת יתקבלו על מסך ארוך מאוד?
  - מה יקרה לתבנית ההתאבכות אם נגדיל את רוחב הסדק?

**30) שאלה בהתאבכות גלי אור**

דרך משטח מישורי עם שני סדקים צרים מאוד מעבירים גל מישורי בעל אורך גל  $\lambda$  המתקדם בכיוון היוצר זווית קטנה  $\alpha$  עם האנך למשטח (ראו ציור).



המרחק בין הסדקים הוא  $d$  כאשר  $d \gg \lambda$ . מודדים את העוצמה במרכז לוח מישורי הנמצא במרחק  $L \gg d$  מהמשטח עם הסדקים, כלומר בנקודה הנמצאת מול נקודת האמצע בין שני הסדקים. העוצמה הנמדדת היא 0.

מהי הזווית הקטנה ביותר  $\alpha$  המסבירה מדידה זו?

- $\alpha = 0$
- $\alpha = \frac{\lambda}{2d}$
- $\alpha = \frac{2\lambda}{\pi d}$
- $\alpha = \frac{2\lambda}{d}$
- $\alpha = \frac{2\pi\lambda}{d}$
- $\alpha = \frac{\lambda}{\pi d}$

**31) שאלה 2 בהתאבכות גלי אור**

שני גלים אלקטרומגנטיים העוברים כל אחד דרך סדק צר יוצרים תבנית התאבכות

על פני מסך רחוק. הגל העובר דרך הסדק הראשון מתואר ע"י:  $\vec{E}_1 = A_1 \cdot e^{i(kz-\omega t)} \hat{x}$

הגל העובר דרך הסדק השני מתואר ע"י:  $\vec{E}_2 = A_1 \cdot e^{i(kz-\omega t)} (-\hat{y})$ .  
 היחס בין העוצמה המקסימלית לעוצמה המינימלית הוא:

א.  $1 : \sqrt{2}$

ב.  $0 : 1$

ג.  $1 : 1$

ד.  $1 : 2$

ה.  $1 : 4$

ו.  $2 : 3$

### 32) שאלה 1 – גלי קול

אם נניח, כי עוצמת סף השמע היא:  $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$ .

מהי העוצמה ביחידות הנ"ל בסף הכאב 140dB (כלומר, כמה  $\frac{W}{cm^2}$  יש ב-140dB)?

א.  $14 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$

ב.  $10^{-14} \frac{W}{cm^2}$

ג.  $140 \frac{W}{cm^2}$

ד.  $10^4 \frac{W}{cm^2}$

ה.  $10^{-2} \frac{W}{cm^2}$

### 33) שאלה 2 – גלי קול

פי כמה גדולה עוצמת קול של 100 דציבל מעוצמת קול של 10 דציבל?

א. פי 10

ב. פי 100

ג. פי 1,000

ד. פי 10,000

ה. פי 1,000,000

ו. פי 1,000,000,000

ז. פי 10,000,000,000

**34) שאלה 3 – גלי קול**

אם עוצמת הקול המינימאלית שבני אדם מסוגלים לשמוע (סף השמע) היא:  $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$ , מהי עוצמת הקול באותן יחידות ב-130 דציבל (סף הכאב), וכמה אנרגיה פוגעת בעור התוף החשוף לעוצמה הזו (130dB) במשך שעה? נתון ששטחו של עור התוף כ-0.7 סמ"ר.

- א. העוצמה:  $10^{-13} \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה:  $5.3J$ .
- ב. העוצמה:  $10^{-3} \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה:  $5.3J$ .
- ג. העוצמה:  $130 \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה:  $75J$ .
- ד. העוצמה:  $1.3 \cdot 10^{-3} \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה:  $2.52J$ .
- ה. העוצמה:  $0.001 \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה:  $2.52J$ .

**35) שאלה 4 – גלי קול**

אם נניח כי עוצמת סף השמע היא:  $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$  (ווט לסמ"ר), מהי העוצמה  $I$  ביחידות הנ"ל ב-120dB, וכמה אנרגיה  $E$  פוגעת בעור התוף של אוזנו של אדם, החשוף לעוצמת קול זו במשך 4 שעות? הניחו ששטחו של עור התוף 0.7 סמ"ר.

- א.  $E = 5.8J$  ו-  $I = 12 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$ .
- ב.  $E = 5.8J$  ו-  $I = 13 \cdot 10^{-14} \frac{W}{cm^2}$ .
- ג.  $E = 1.01J$  ו-  $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$ .
- ד.  $E = 10.1J$  ו-  $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$ .
- ה.  $E = 1.2 \cdot 10^6J$  ו-  $I = 120 \frac{W}{cm^2}$ .

**36) שאלה 5 – גלי קול**

כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבל בפרק זמן של שעה, כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף של אוזנו היא:  $2.5 \cdot 10^{-11}J$ . מהי כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבל למשך זמן של 20 דקות?

- א.  $0.08J$ .
- ב.  $0.75J$ .
- ג.  $25J$ .
- ד.  $2.5 \cdot 10^{-5}J$ .

$$.5 \cdot 10^{-11} \text{Joule} \quad \text{ה.}$$

**37) שאלה 6 – גלי קול**

כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבל בפרק זמן של שעה, כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף של אוזנו היא:  $2.5 \cdot 10^{-11} \text{Joule}$ . מהי כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבל למשך זמן של 30 דקות?

א.  $0.125 \text{Joule}$

ב.  $1.130 \text{Joule}$

ג.  $37.52 \text{Joule}$

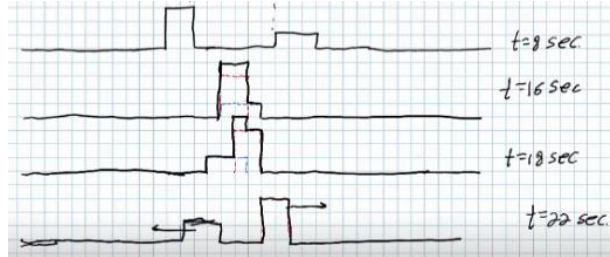
ד.  $3.8 \cdot 10^{-5} \text{Joule}$

ה.  $7.5 \cdot 10^{-11} \text{Joule}$

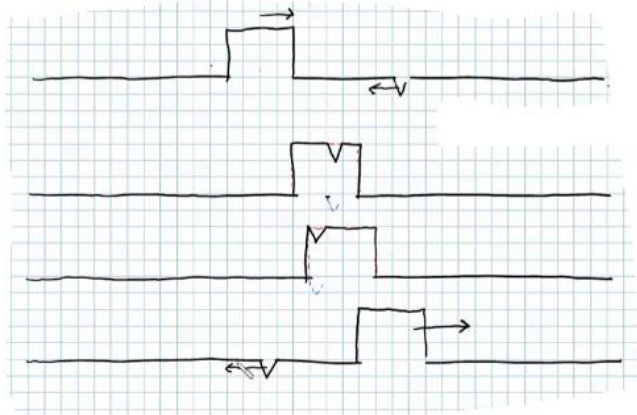
**תשובות סופיות:**

(1) א.  $A = 0.3m$  ב.  $V = 0.2 \frac{m}{sec}$  ג. למעלה. ד. למטה.

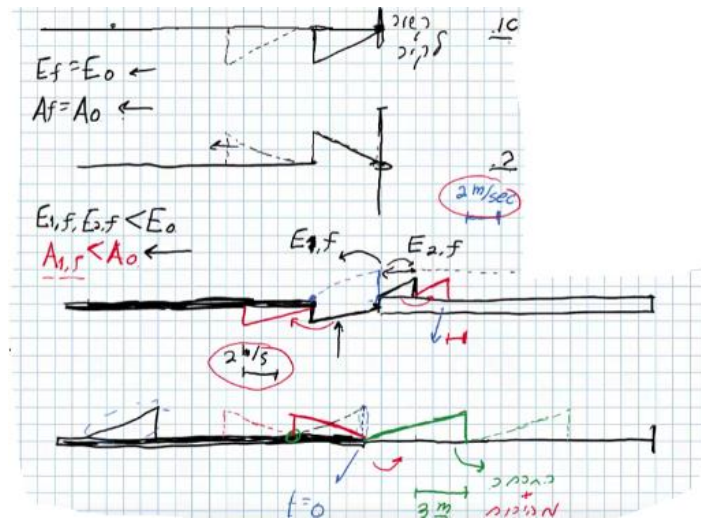
(2)



(3)



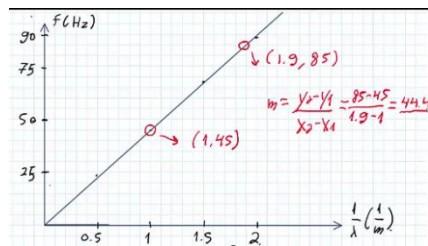
(4)



א. (5)

$\frac{1}{\lambda} (m^{-1})$	$\lambda (m)$	צורת הגל העומד	$f$ - תדירות התנודות (Hz)
0.5	2		24
1	1		45
1.5	$\frac{2}{3}$		67
2	$\frac{1}{2}$		88

$f = 111 \text{ Hz}$      $f = v \frac{1}{\lambda}$     ג.



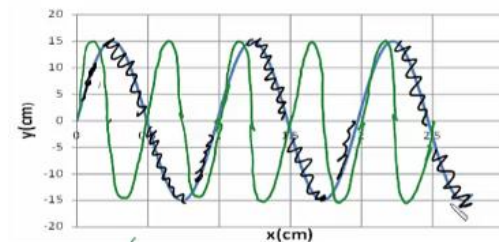
$v =$     ד.

$t = 4$     ג.     $\lambda = 1m$     ב.     $A = 0.15m$     א. (6)

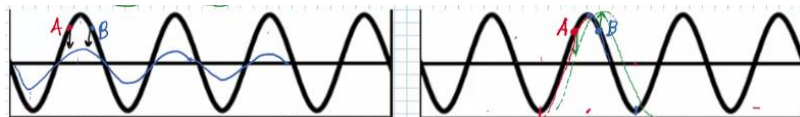
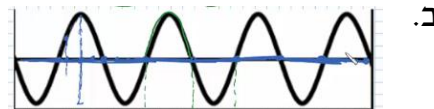
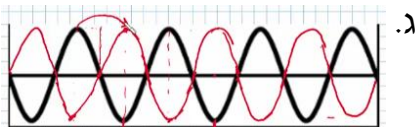
$25 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$

ה.  $(0.5, 0), (1.5, 0), (2.5, 0)$

ז. הגל הירוק בשרטוט: (7)



א. מתקדם:  $\lambda_1 = 80 \text{ cm}$ , עומד:  $\lambda_2 = 80 \text{ cm}$ . (8)



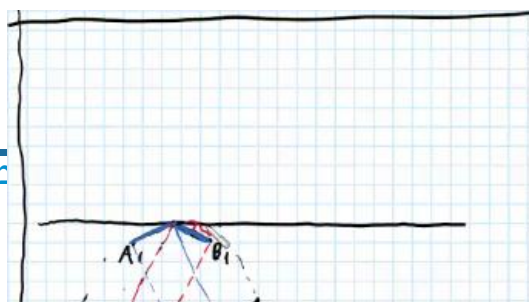
א. (9)

ב. (10)

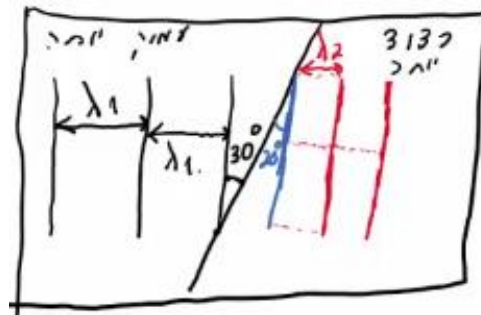
א. (11)

ג. (12)

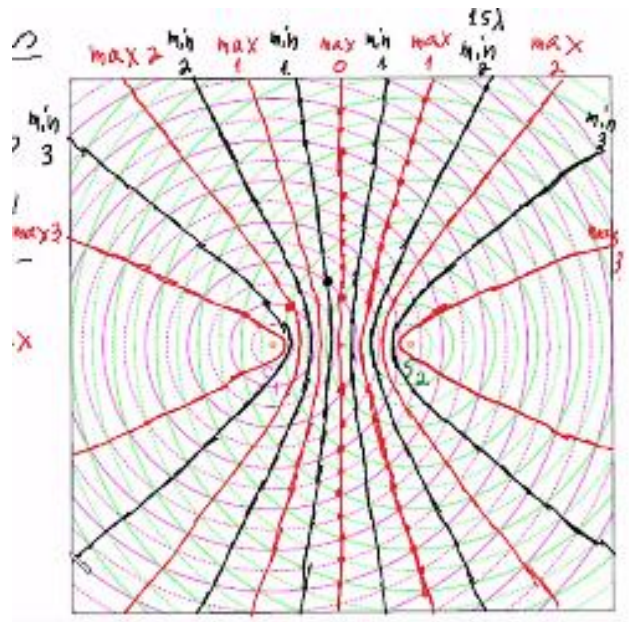
(13)



א.  $v_2 = 13.7 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$     ב.  $\lambda_1 = 5\text{cm}$     ג.  $\lambda_2 = 3.42\text{cm}$



א.  $0.45\text{cm}$     ב.  $5$



א.  $1.2$  ס"מ. (17)

ב.i. - נק' מקסימום מסדר ראשון.

ב.ii. - נק' צומת מסדר שני.

ב.iii. - נק' מקסימום מסדר שלישי, נק' על קו מקסימום.

iv. D - נק' ביניים.

ג. 11 קווי מקסימום, 12 קווי מינימום.

(18) א' מלאה ו-ו' חלקית.

(19) ב' ו-ה.

(20) ה.

(21) א'.

(22) א.  $7.5\text{nm}$  ב. 3 ס"מ. ג.  $\theta = 0.93^\circ$  ד.  $x_{200} = 1.73$

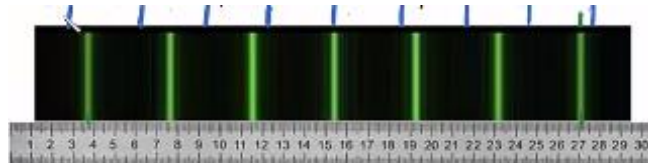
(23) א. 524 נ"מ. ב. 4.72 ס"מ. ג. 94 קווי חושך. ד. 573 פסי מקסימום.

(24) א. 5 מ"מ. ב.  $\lambda = 694$  ג.  $3\lambda$  ד.  $4.5\lambda$  ה. ראה סרטון.

(25) א. 649 נ"מ. ב. 13 ס"מ. ג. 34.3 ס"מ. ד. 27 קווים. ה. 31 קווים.

(26) א.  $282 \frac{\text{haritsim}}{\text{cm}}$  ב.  $18.1^\circ$

ג.



(27) א. 0.188 מ'. ב.  $10.9^\circ$  ג. הוכחה.

(28) א. 6.7 מ"מ. ב. 3.35 מ"מ.

(29) א. 0.265 מ"מ. ב. 1,000 קווי צומת בתבנית.

ג. האור ינוע בקווים ישרים ולא מבצע עקיפה.

(30) ב'.

(31) ג'.

(32) ה.

(33) ו'.

(34) ה.

(35) ג'.

(36) א'.

(37) א'.

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 20 - מבוא למבנה החומר

תוכן העניינים

1. מבוא למבנה החומר ..... (ללא ספר)

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 21 - הכוח החשמלי- חוק קולון

תוכן העניינים

241	.....	1. חוק קולון
242	.....	2. תרגילים

## חוק קולון:

### שאלות:

#### (1) אלקטרון ופרוטון

אלקטרון ופרוטון נמצאים במרחק של 3A אחד מהשני. מהו הכוח הפועל על כל אחד מהם? (גודל וכיוון).

#### (2) שני מטענים על ציר ה-X

שני גופים טעונים במטענים:  $q_1 = 0.2mc, q_2 = 0.3mc$ .

מיקום הגוף הראשון הוא:  $\vec{r}_1(3m,0)$  ומיקום הגוף השני הוא:  $\vec{r}_1(8m,0)$ .

א. חשב את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן:  $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$ .

#### (3) שני מטענים במישור

שני גופים טעונים במטענים:  $q_1 = 15\mu c, q_2 = -20\mu c$ .

מיקום הגוף הראשון הוא:  $\vec{r}_1(0,0)$  ומיקום הגוף השני הוא:  $\vec{r}_1(5m,3m)$ .

א. חשב את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

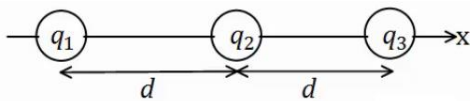
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן:  $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$ .

#### (4) 3 מטענים על ציר ה-X

שלושה מטענים מונחים על ציר ה-x במרווחים של  $d = 10cm$  אחד מהשני.

גודל המטענים הוא:  $q_1 = 2\mu c, q_2 = -10\mu c, q_3 = 5\mu c$ .

מצא את הכוח הפועל על כל מטען גודל וכיוון.



### תשובות סופיות:

(1)  $F = -2.56 \cdot 10^9 N$ , כוח המשיכה.

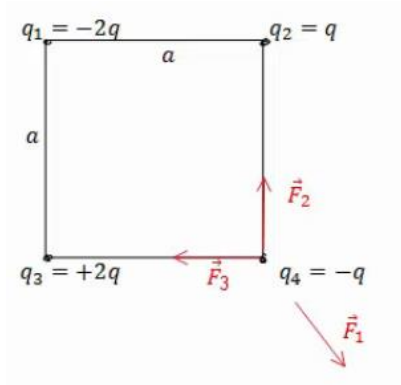
(2) א. שניהם נעים בכיוונים הפוכים, ב-  $F = 21.6N$ . ב.  $a_1 = -7.2 \frac{m}{sec^2} \hat{x}$ ,  $a_2 = 2.7 \frac{m}{sec^2} \hat{x}$ .

(3) א.  $|F_1| = |F_2| = 7.94 \cdot 10^{-2} N$ ,  $\theta_1 = 30.96^\circ$ ,  $\theta_2 = 210.96^\circ$ . ב.  $a_1 \approx 2.65 \cdot 10^{-2} \frac{m}{sec}$ .

(4)  $\sum \vec{F}_1 = 15.75N\hat{x}$ ,  $\sum \vec{F}_2 = 27N\hat{x}$ ,  $\sum \vec{F}_3 = 42.75N\hat{x}$

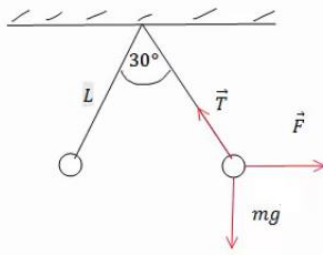
## תרגילים:

### שאלות:



#### (1) מטען בפינת ריבוע

חשב את הכוח הפועל על המטען בפינה הימנית התחתונה של הריבוע.  $a$  ו- $q$  נתונים.

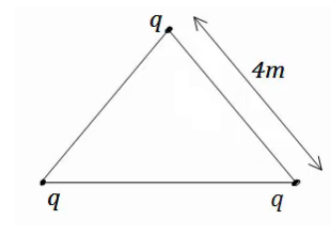


#### (2) שני כדורים תלויים

שני כדורים בעלי מסה  $m$  ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך  $L$ , הזווית בין החוטים היא  $30^\circ$  מעלות. מצא את מטען הכדורים.

#### (3) מהירות זוויתית באטום המימן

אטום המימן מורכב מפרוטון בגרעין ואלקטרון הסובב סביב הגרעין בתנועה מעגלית ברדיוס של  $0.53$  אנגסטרומ. מצא את המהירות הזוויתית של האלקטרון, אם ידוע כי מסת האלקטרון היא:  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  ומטען האלקטרון והפרוטון הוא:  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -q_p$ .

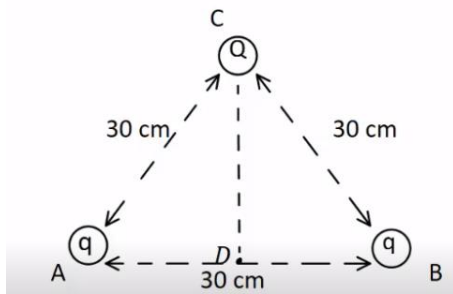


#### (4) מטענים בקודקודי משולש

שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של משולש שווה צלעות. גודל כל מטען הוא  $q = 2\mu\text{C}$  ואורך צלע המשולש היא  $4\text{m}$ .

מצא את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהמטענים האחרים.

**(5) כוח על כדור בקצה משולש**

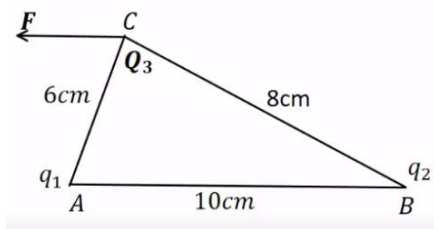


שני כדורים קטנים, שמטען כל אחד מהם הוא:  $q = 10^{-5} \text{ C}$ , קבועים בנקודות A ו-B באיור. המרחק בין הנקודות הוא 30cm. בנקודה C הנמצאת במרחק של 30cm מכל אחד מהמטענים האלה, נמצא כדור מוליך קטן שמסתו 20gr והוא טעון במטען של:  $Q = -2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ .

משחררים את הכדור הנמצא בנקודה C.

- חשב את הגודל ואת הכיוון של הכוח על הכדור ברגע בו שוחרר.
- חשב את גודלה ואת כיוונה של תאוצת הכדור ברגע בו שוחרר.
- חשב את תאוצת הכדור בנקודה D.

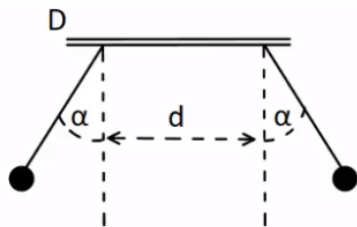
**(6) נחש את סימן המטענים**



שני מטענים נקודתיים ממוקמים בקודקודי משולש ישר זווית, בקצוות המיתר AB. נתון כי:  $Q_3 = 3\mu\text{C}$   $|q_1| = 3\mu\text{C}$  והכוח השקול F הפועל על  $Q_3$  פועל בכיוון אופקי שמאלה במקביל לצלע AB. בהזנחת כוח הכובד:

- מהם סימני המטענים  $q_1$  ו- $q_2$ ? נמק.
- חשב את מטען  $q_2$  אם הזווית  $\angle ACB$  היא זווית ישרה.
- מהו גודלו של הכוח השקול F?

**(7) שני מטענים תלויים**



שני כדורים שמסתם זהות  $m = 8\text{gr}$  ומטען זהה  $q$ , תלויים באמצעות חוטים משתי נקודות שהמרחק בניהם הוא  $d = 2\text{cm}$ . נתון:  $\alpha = 30^\circ$  ו- $l = 3\text{cm}$ . בטא את גודל המטען  $q$  באמצעות  $d, m, l, \alpha$  וחשב את גודל המטען  $q$ .

## תשובות סופיות:

$$\sum F_y = \frac{kq^2}{a^2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \quad (1)$$

$$q = \sqrt{\frac{mg}{k} \tan(15) L^2 (2 - \sqrt{3})} \quad (2)$$

$$\omega = \sqrt{17} \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{sec}} \quad (3)$$

$$\sum F = 3.897 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad (4)$$

$$a = 0 \quad \text{ג.} \quad a_y = 1,732 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ב.} \quad 34.6 \text{ N} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$\sum F_x = 37.5 \text{ N} \quad \text{ג.} \quad q_2 = 7.11 \mu\text{c} \quad \text{ב.} \quad q_1 : q_2 \text{ חיובי.} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$q \approx 5.2 \cdot 10^{-8} \text{ c} , \quad q = \sqrt{\frac{mg \tan \alpha}{k}} (d + 2l \sin \alpha) \quad (7)$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 22 - השדה החשמלי

תוכן העניינים

1. שדה חשמלי של מטענים נקודתיים ..... 245

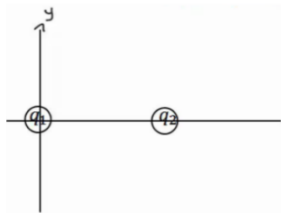
## שדה חשמלי של מטענים נקודתיים:

### שאלות:

#### 1) שדה בשתי נקודות

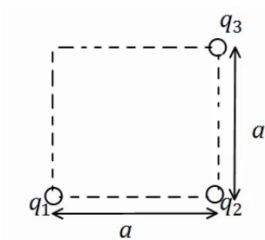
מטען  $q$  נמצא בראשית הצירים.

- חשב את השדה בנקודות  $(0, 2m)$ ,  $(1m, 3m)$ , אם נתון ש- $q = 5c$  (גודל וכיוון).
- חזור על סעיף א' אם  $q = -7c$ .
- מצא מה יהיה הכוח על מטען  $q_2 = 3c$  המגיע לנקודה  $(1m, 3m)$  עבור סעיף א'.
- מצא מה יהיה הכוח על מטען  $q_3 = -4c$  המגיע לנקודה  $(1m, 3m)$  עבור סעיף א' ללא  $q_2$ .



#### 2) חישוב שדה שקול בשלוש נקודות

- מטען  $q_1 = 5\mu c$  נמצא בראשית הצירים.  
מטען  $q_2 = 4\mu c$  נמצא במיקום  $(3cm, 0)$ .  
מצא את השדה בנקודות הבאות:
- $(5cm, 0)$
  - $(2cm, 0)$
  - $(2cm, 1cm)$

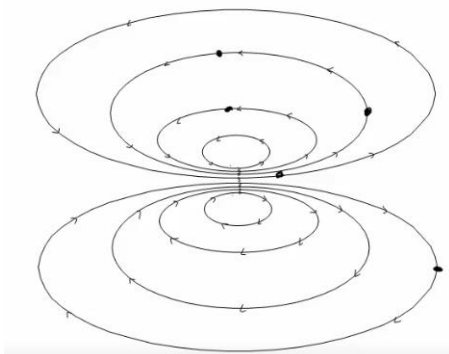


#### 3) חישוב שדה שקול בפינה של ריבוע

- מטענים  $q_1, q_2, q_3$  נמצאים בשלוש פינותיו של ריבוע בעל צלע  $a$ .  
מהו השדה בפינה הרביעית?  
 $q_1, q_2, q_3, a$  נתונים.

#### 4) קווי שדה

- באיור הבא מתוארים קווי שדה במרחב. צייר איכותית את וקטור השדה החשמלי בכל הנקודות המסומנות.



- (5) חלקיק על קו שדה**  
 חלקיק מתחיל לנוע ממנוחה במרחב בו קיים שדה חשמלי.  
 האם החלקיק ימשיך לנוע לאורך קו השדה עליו היה בתחילת התנועה לעד?
- (6) יחידות של השדה**  
 תלמיד טען שניתן לרשום את היחידות של השדה החשמלי גם כג'אול לקולון למטר. האם התלמיד צודק?
- (7) קווי שדה חוצים זה את זה**  
 תלמיד טען שקווי השדה של שני מטענים במרחב חוצים זה את זה? האם הדבר אפשרי? אם כן, אילו מטענים יקיימו טענה זו?
- (8) שדה מתאפס**  
 בתוך אזור מבודד נמצאים שני מטענים במיקומים שונים. גודל המטענים זהה וסימנם אינו ידוע. קבעו האם המטענים בעלי סימן זהה או סימן הפוך אם ידוע שקיימת נקודה במרחב שבה השדה מתאפס. הניחו שאין עוד מטענים במרחב.
- (9) גוף מרגיש שדה**  
 גוף קטן הנושא מטען של  $-5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  חשב בכוח חשמלי שגודלו  $4 \cdot 10^{-8} \text{ N}$  כלפי מטה. הניחו שכוח הכובד זניח.  
 א. מהו השדה החשמלי בנקודה בה נמצא הגוף?  
 ב. מסירים את הגוף ושמים במקומו פרוטון, מה יהיה הכוח על הפרוטון? הניחו שהשדה לא השתנה.
- (10) שדה מתאפס בין שני מטענים**  
 שני מטענים  $q_1 = 3 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  ו-  $q_2 = -5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  מרוחקים  $1.8 \text{ m}$  זה מזה.  
 באיזו נקודה מתאפס השדה החשמלי על הקו המחבר בין המטענים?
- (11) שדה בכמה נקודות**  
 מטען  $q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  נמצא בראשית. מטען אחר של  $q_2 = -2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  נמצא בנקודה (1,2) במטרים.  
 חשבו את השדה השקול בנקודות הבאות:  
 א. (0,2)  
 ב. (-1,-2)  
 ג.  $(-1,-4)^*$

**12) שני כדורים תלויים בשדה חיצוני**

שני כדורים קטנים תלויים מהתקרה באמצעות חוטים זהים

באורך:  $L = 8\text{cm}$ .

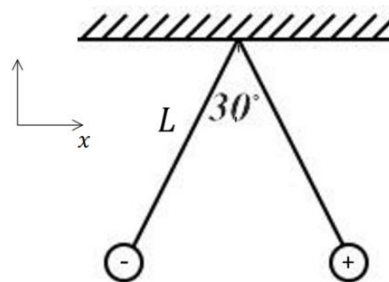
מסת הכדורים זהה ושווה ל-  $4\text{gr}$ , מטעני הכדורים הם:  $6 \cdot 10^{-8}\text{C}$

ו-  $-6 \cdot 10^{-8}\text{C}$ , המטען החיובי על הכדור הימני באיור.

בכל המרחב יש שדה חשמלי אחיד בכיוון ציר  $x$ .

מה צריך להיות גודל השדה כך שהכדורים יהיו במצב שיווי משקל בזווית

של  $30$  מעלות ביניהם?



## תשובות סופיות:

$$\vec{E} = 6.3 \cdot 10^9 \hat{x} + 15.75 \cdot 10^9 (-\hat{y}) \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = 1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{א.} \quad (1)$$

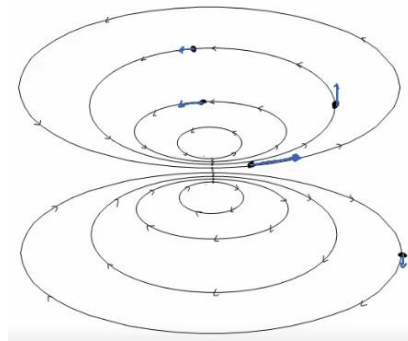
$$\vec{F}_3 = -4 \cdot (1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y}) \quad \text{ד.} \quad \vec{F} = 4.26 \cdot 10^9 \hat{x} + 12.81 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{ג.}$$

$$E_{1_x} = 8.05 \cdot 10^7, E_{1_y} = 4.03 \cdot 10^7, E_{2_x} = -12.73 \cdot 10^7, E_{2_y} = 12.73 \cdot 10^7 \quad (2)$$

$$E_{T_x} = -4.68 \cdot 10^7, E_{T_y} = 16.77 \cdot 10^7$$

$$E_{T_y} = \frac{kq_1}{a^2} + \frac{kq_2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}, E_{T_x} = \frac{kq_3}{a^2} - \frac{kq_2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

(4)



(5) לא.

(6) כן.

(7) לא.

(8) זהה.

ב.  $1.28 \cdot 10^{-18} N$ , כלפי מעלה.(9) א.  $8 \frac{N}{C}$ , למעלה.

(10) .

(11)  $x_2 = -6.19$ 

$$\vec{E} = -2.82 \hat{x} - 5.63 \hat{y} \frac{N}{C} \quad \text{ב.}$$

$$\vec{E} = 18 \hat{x} + 9 \hat{y} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$\vec{E} = -0.37 \hat{x} - 1.63 \hat{y} \quad \text{ג.}$$

$$4.94 \cdot 10^5 \frac{N}{C} \quad (13)$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 23 - חוק גאוס ברמה איכותית בלבד

תוכן העניינים

249 ..... 1. הסבר

## חוק גאוס:

רקע:

הקבוע הדיאלקטרי של הריק:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \frac{c^2}{N \cdot m^2}$$

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם  $k$  או עם  $\epsilon_0$ .

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי:

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

כאשר:

$Q$  - הוא סך כל המטען

$r$  - הוא המרחק ממרכז הקליפה/כדור

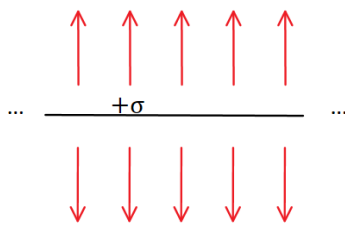
כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נקי)

בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור מוליך הוא אפס.

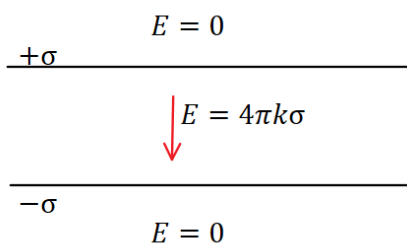
השדה של מישור אינסופי:

$$E = 2\pi k\sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

כאשר:



$\sigma$  - היא צפיפות המטען ליחידת שטח במישור ( $\sigma = \frac{Q}{S}$ )  
 כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)



השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה הוא  $4\pi k\sigma$  בין המישורים ואפס מחוץ

השדה של תיל אינסופי:

$$E = \frac{2k\lambda}{r}$$

כאשר :

$$\lambda - \text{ היא צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל } (\lambda = \frac{Q}{L})$$

$r$  - הוא המרחק מהתיל

אותה הנוסחה גם עבור גליל מלא או קליפה גלילית אינסופיים מחוץ לגליל או לקליפה.

בקליפה גלילית דקה ובגליל מלא מוליך השדה בתוך הקליפה/גליל מוליך הוא אפס.

כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (גלילי)

### שאלות:

#### 1) שתי קליפות קונצנטריות

במערכת הבאה שתי קליפות (חלולות) בעלות מרכז משותף (קונצנטריות). רדיוס הקליפה הפנימית הוא

$$R_1 = 3\text{cm} \text{ והמטען עליה הוא } Q_1 = 2\mu\text{C}$$

$$R_2 = 6\text{cm} \text{ הוא החיצונית והמטען עליה הוא } Q_2 = 5\mu\text{C}$$

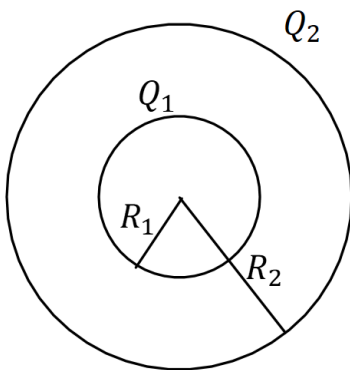
א. חשבו את פונקציות השדה החשמלי בכל המרחב.

רמז: סופרפוזיציה.

ב. מה הכוח (גודל וכיוון) שירגיש מטען בגודל

$$Q_3 = 0.03\mu\text{C} \text{ הנמצא במרחק } r = 8\text{cm}$$

ממרכז הכדור?



#### 2) שני תיילים מקבילים

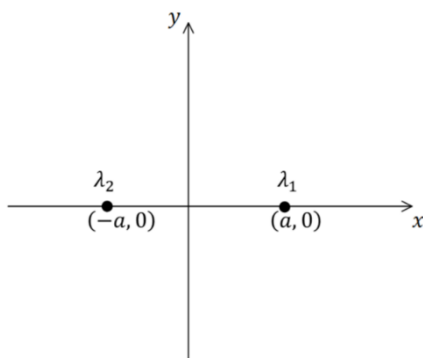
שני תיילים ארוכים מאוד טעונים בצפיפויות

מטען זהות,  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ , מונחים במקביל

לציר  $z$  בנקודות  $(a, 0)$  ו  $(-a, 0)$ .

א. מצאו את השדה בנקודה כלשהיא על ציר ה  $y$ .

ב. חזרו על סעיף א עבור  $\lambda_1 = -\lambda_2 = \lambda$ .



## תשובות:

א. (1)

$$E = \begin{cases} \frac{63 \cdot 10^3 \frac{N \cdot m^2}{C}}{r^2} & 6cm < r \\ \frac{18 \cdot 10^3 \frac{N \cdot m^2}{C}}{r^2} & 3cm < r < 6cm \\ 0 & r < 3cm \end{cases}$$

בכיוון רדיאלי.

ב. 0.295N בכיוון רדיאלי.

$$\vec{E} = \frac{4k\lambda y}{y^2 + a^2} \hat{y} \quad \text{א. (2)}$$

$$\vec{E} = -\frac{4k\lambda y}{y^2 + a^2} \hat{x} \quad \text{ב.}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

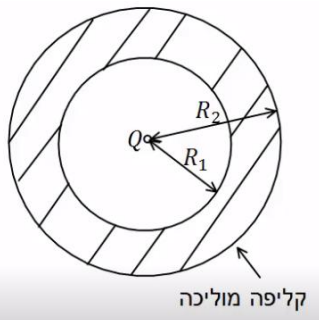
פרק 24 - מוליכים

תוכן העניינים

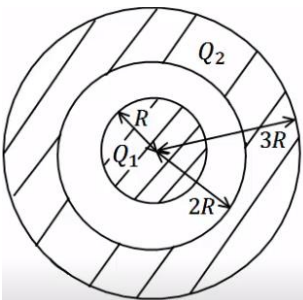
1. הסבר על מוליכים	..... (ללא ספר)
2. תרגילים	..... 252

## תרגילים:

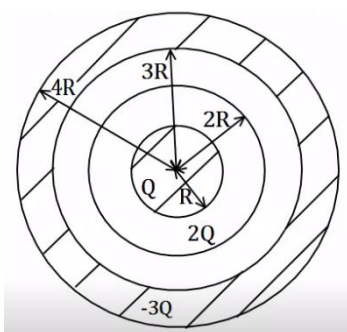
### שאלות:



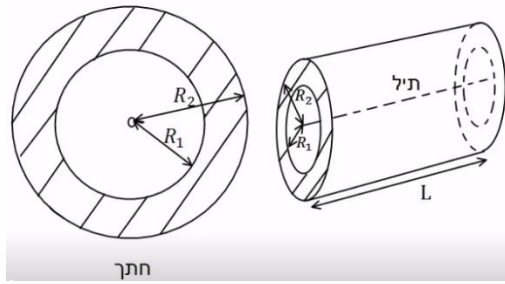
- (1) מטען נקודתי וקליפה עבה**  
 מטען נקודתי  $Q$  נמצא במרכזה של קליפה כדורית מוליכה ועבה. לקליפה רדיוס פנימי  $R_1$  ורדיוס חיצוני  $R_2$ .  
 א. מצא את השדה בכל המרחב אם הקליפה ניטרלית.  
 ב. מהי התפלגות המטען על שפת הקליפה?



- (2) כדור מוליך וקליפה עבה טעונה**  
 כדור מוליך ברדיוס  $R$  טעון במטען  $Q_1$ . הכדור נמצא בתוך ובמרכזה של קליפה כדורית מוליכה עם רדיוס פנימי  $2R$  ורדיוס חיצוני  $3R$ . הקליפה טעונה, וסך המטען על הקליפה הוא  $Q_2$ .  
 א. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.  
 ב. מהי התפלגות המטען על שפת הכדור ושפת הקליפה?  
 ג. מטען נקודתי  $q$  מונח ב-  $r = 1.5R$ . מהו הכוח הפועל על המטען אם ניתן להניח שהשפעה שלו על המערכת זניחה.



- (3) כדור מוליך קליפה דקה וקליפה עבה**  
 במערכת הבאה ישנו כדור מוליך ברדיוס  $R$  הטעון במטען  $Q$ . מסביב לכדור ישנה קליפה כדורית דקה ברדיוס  $2R$  הטעונה במטען  $2Q$ . את הכדור והקליפה מקיפה קליפה כדורית עבה ומוליכה בעלת רדיוס פנימי  $3R$  ורדיוס חיצוני  $4R$  הטעונה במטען כולל  $-3Q$ .  
 הכדורים והקליפות קוצנטריים (בעלי מרכז משותף).  
 א. מצא את השדה בכל המרחב.  
 ב. מצא את התפלגות המטען בכל המרחב.



**4) תיל וקליפה גלילית עבה**

במערכת הבאה ישנו תיל באורך  $L$  הטעון במטען כולל  $Q$ . התיל נמצא במרכזה של קליפה גלילית עבה ומוליכה בעלת רדיוס פנימי  $R_1$  ורדיוס חיצוני  $R_2$ .

אורך הקליפה הוא  $L$  גם כן והיא ניטרלית. הנח שאורך התיל והקליפה גדול בהרבה מהרדיוסים.

- א. מהי צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל?
- ב. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.
- ג. מהי צפיפות המטען על שפת הקליפה?

## תשובות סופיות:

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{4\pi R_1}, \sigma_2 = \frac{q_2}{4\pi R_2} \quad \text{ג.}$$

$$E = \begin{cases} \frac{kQ}{r^2} & r < R_1 \\ 0 & R_1 < r < R_2 \quad \text{א. (1)} \\ \frac{kQ}{r^2} & R_2 < r \end{cases}$$

$$\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi R^2}, \sigma_2 = \frac{-Q_1}{4\pi 4R^2}, \sigma_3 = \frac{q_3}{4\pi (3R)^2} \quad \text{ג.}$$

$$E = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{kQ_1}{r^2} & R < r < 2R \quad \text{א. (2)} \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r^2} & 3R < r \end{cases}$$

$$F = q \frac{kQ_1}{(1.5R)^2} \quad \text{ג.}$$

$$\sigma_1 = \frac{Q}{4\pi R^2}, \sigma_2 = \frac{Q}{8\pi R^2}, \sigma_3 = \frac{-3Q}{4\pi 9R^2} \quad \text{ג.}$$

$$E = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{kQ}{r^2} & R < r < 2R \\ \frac{k3Q}{r^2} & 2R < r < 3R \quad \text{א. (3)} \\ 0 & 3R < r < 4R \\ 0 & 4R < r \end{cases}$$

$$E = \begin{cases} \frac{2k\lambda}{r} & r < R_1 \\ 0 & R_1 < r < R_2 \quad \text{ג.} \\ \frac{2k\lambda}{r} & R_2 < r \end{cases}$$

$$\lambda = \frac{Q}{L} \quad \text{א. (4)}$$

$$\sigma_1 = -\frac{\lambda}{2\pi R_1} \quad \text{ג.}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 25 - תנועה בשדה חשמלי אחד

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים..... 255

## הסבר ותרגילים:

### שאלות:

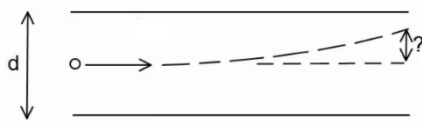
#### (1) מלוח אל לוח

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך כל צלע היא 6 ס"מ, והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה; המטען הכולל על הלוח התחתון הוא:  $Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ c}$  והמטען הכולל על הלוח העליון זהה והפוך בסימנו.

משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון:  $\left( \begin{matrix} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{matrix} \right)$

- כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?
- מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?
- מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון באותו הרגע?

#### (2) חישוב סטייה



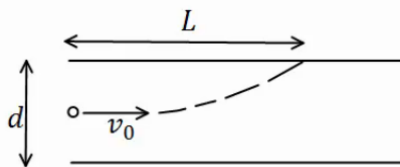
שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 5 ס"מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה.

המטען הכולל על הלוח העליון הוא:  $Q = 3 \cdot 10^{-11} \text{ c}$ , והמטען הכולל על הלוח התחתון זהה והפוך בסימנו.

אלקטרון נע במהירות:  $v_0 = 2 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  במקביל ללוחות:  $\left( \begin{matrix} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{matrix} \right)$

- מצא את הסטייה של האלקטרון (כמה זז בציר ה-y) ברגע צאתו מן הלוחות.
- מהו כיוון מהירותו של האלקטרון בצאתו מן הלוחות?

#### (3) מטען לא מזוהה



שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. המרחק בין הלוחות הוא d ואורך הצלע של כל לוח גדולה בהרבה מהמרחק בין הלוחות. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה, צפיפות

המטען המשטחית על הלוח העליון היא  $\sigma$  והצפיפות על הלוח התחתון זהה והפוכה בסימנה. מטען לא מזוהה נכנס בדיוק במרכז בין הלוחות במהירות  $v_0$

- בכיוון מקביל ללוחות. המטען פוגע בלוח העליון במרחק L.
- מצא את סימנו של המטען, בהנחה שהצפיפות הנתונה חיובית.
- מצא את היחס בין גודל המטען למסה שלו.

**תשובות סופיות:**

$$(1) \quad \text{א. } t \approx 1.1 \cdot 10^{-10} \text{ sec} \quad \text{ב. } v(t) = 3.65 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג. } E_k = 6.06 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$(2) \quad \text{א. } y_x = 0.747 \text{ mm} \quad \text{ב. } \theta \approx 1.72^\circ$$

$$(3) \quad \text{א. סימן המטען שלילי.} \quad \text{ב. } \frac{q}{m} = \frac{dv_0^2}{4\pi k \sigma L^2}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 26 - מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית

תוכן העניינים

257	1. עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי
259	2. פוטנציאל ומתח
263	3. פוטנציאל במוליכים
265	4. תרגילים נוספים

## עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי:

### שאלות:

#### (1) עבודה להביא מטען מהאינסוף

מהי העבודה הדרושה להביא מטען  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהאינסוף למרחק  $r = 50 \text{ cm}$  ממטען  $Q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  המקובע במקום?

#### (2) מטען מגיע עם מהירות מהאינסוף

מטען  $Q_1 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  בעל מסה  $m = 10^{-3} \text{ kg}$  נע מהאינסוף במהירות  $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  כלפי מטען  $Q_2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  המקובע במקום.  
 א. מהו המרחק בו ייעצר רגעית המטען?  
 ב. מהי מהירות המטען כאשר מרחקו  $100 \text{ m}$ ?

#### (3) עבודה להרחיק שני מטענים

חשב את העבודה הדרושה להרחיק שני מטענים:  $Q_1 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ,  $Q_2 = -4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  ממרחק  $r_1 = 20 \text{ cm}$  למרחק  $r_2 = 40 \text{ cm}$ .  
 בדוק האם הסימן הגיוני.

#### (4) עבודה להכניס מטען לתוך קליפה טעונה

חשב את העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q_1 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  לתוך קליפה כדורית ברדיוס  $R = 0.8 \text{ m}$  הטעונה בצפיפות מטען משטחית  $\sigma = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ .

#### (5) עבודה של לוח אינסופי

מטען  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  נמצא במרחק  $d = 30 \text{ cm}$  מלוח אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ .  
 חשב את העבודה הדרושה להביא את המטען אל הלוח.

**6) מטען זה בין שני לוחות**

שני לוחות גדולים מאוד טעונים בצפיפויות מטען משטחיות הפוכות  $\sigma = \pm 3 \cdot 10^{-3} \frac{C}{m^2}$ .

המרחק בין הלוחות הוא  $d = 5 \text{ cm}$ .

מצא את העבודה הדרושה להעביר מטען של  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהלוח השלילי אל הלוח החיובי. הזנח את השפעת המטען על השדה של הלוחות.

**תשובות סופיות:**

$$W = 108 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad (1)$$

$$r = 90 \text{ m} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$v_F \approx 6.32 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

$$W = 0.27 \text{ J}, \quad \text{כ.} \quad (3)$$

$$W = 5.43 \cdot 10^3 - 0 \quad (4)$$

$$W = 170 \text{ J} \quad (5)$$

$$W = 33.9 \text{ J} \quad (6)$$

## פוטנציאל ומתח:

### שאלות:

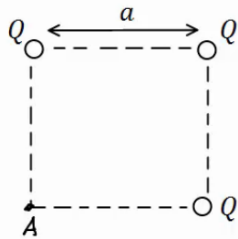
#### (1) פוטנציאל שיוצר מטען בשתי נקודות

חשב את הפוטנציאל שיוצר המטען  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  במרחק  $r_1 = 0.8 \text{ m}$  ובמרחק  $r_2 = 0.3 \text{ m}$  מהמטען.

מהי העבודה הדרושה להזיז את המטען  $Q_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהמרחק הראשון למרחק השני?

#### (2) 3 מטענים בפינות של ריבוע

בשלוש פינות של ריבוע מקובעים שלושה מטענים זהים  $Q = 2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ . אורך צלע הריבוע היא  $a = 3 \text{ cm}$ .



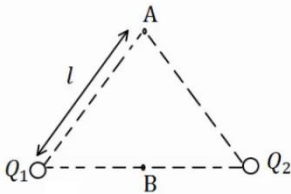
א. חשב את הפוטנציאל בפינה הרביעית של הריבוע.

ב. חשב את הפוטנציאל במרכז הריבוע.

ג. חשב את העבודה הדרושה להזיז את המטען  $q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  ממרכז הריבוע לקצה הריבוע.

#### (3) שני מטענים על משולש שווה צלעות

שני מטענים זהים  $Q_1 = Q_2 = 10^{-6} \text{ C}$  נמצאים על קדקודיו של משולש שווה צלעות בעל אורך צלע  $l = 5 \text{ cm}$ .

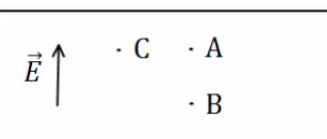


א. מצא את המתח בין הנקודה A הנמצאת בקודקוד השלישי של המשולש לבין הנקודה B הנמצאת באמצע הצלע המחברת את שני המטענים.

ב. חשב את העבודה הדרושה להביא מטען של  $q = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהקדקוד אל אמצע הצלע.

#### (4) פוטנציאל בין לוחות

שני לוחות גדולים מאוד טעונים במטענים בעלי סימן הפוך. ידוע כי כיוון השדה בין הלוחות הוא מהלוח התחתון ללוח העליון.



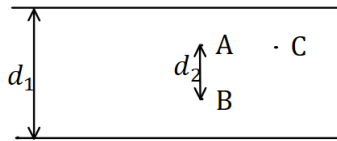
א. איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?

ב. איזה מהלוחות נמצא בפוטנציאל יותר גבוה?

ג. איזו מהנקודות A ו-B נמצאת בפוטנציאל יותר גבוה?

ד. איזה מהנקודות A ו-C, הנמצאות באותו גובה, נמצאת בפוטנציאל יותר גבוה?

### 5) מתח בין לוחות



שני לוחות גדולים מאוד נמצאים במרחק  $d_1 = 40\text{cm}$  זה מזה. המתח בין הלוחות הוא  $\Delta V = 20\text{V}$  וידוע כי הלוח העליון נמצא בפוטנציאל גבוה יותר.

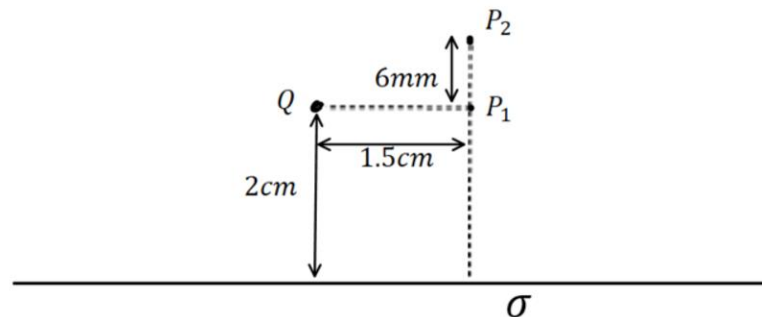
- איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?
- מהו השדה בין הלוחות (גודל וכיוון)?
- מהו המתח  $V_{BA}$  אם ידוע שהמרחק בין הנקודות A ו B הוא  $d_2 = 5\text{cm}$ ?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען  $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$  מ-A ל-B?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען  $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$  מ-A ל-C - הנמצאת באותו הגובה של A?

### 6) פוטנציאל של לוח ומטען נקודתי

מטען נקודתי  $Q = 3\mu\text{C}$  נמצא בגובה  $2\text{cm}$  מעל לוח אינסופי הטעון בצפיפות

$$\sigma = 8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}.$$

- מצאו את הפוטנציאל בנקודות שבאיור (הניחו שהפוטנציאל של הלוח הוא אפס על הלוח).
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען  $q = 10^{-10}\text{C}$  מ- $P_1$  ל- $P_2$ . הניחו שהמטען Q והלוח אינם משנים את מיקומם.



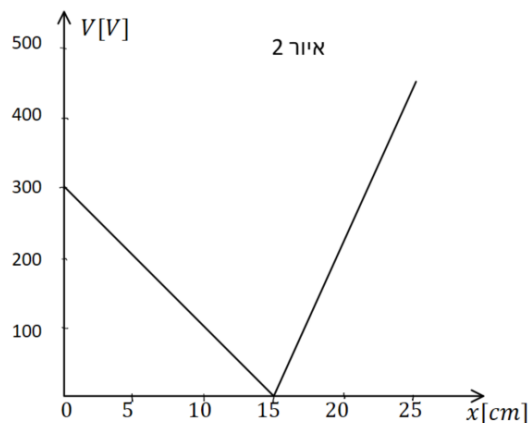
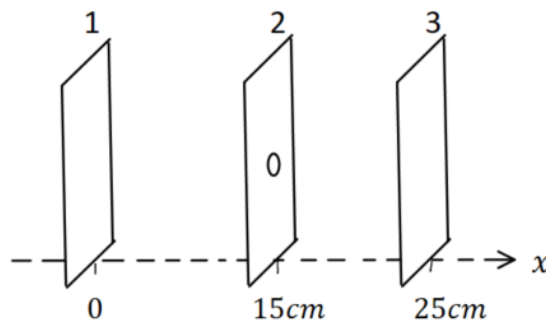
### 7 חישוב שדה ותנועה בין 3 לוחות

- שלושה לוחות גדולים מאוד נמצאים אחד אחרי השני ומקביל כפי שמתואר באיור 1. הלוחות טעונים בצפיפויות מטען (אחידות) שונות. הפוטנציאל כתלות במיקום נתון באיור 2.
- א. חשבו את השדה החשמלי בתחומים:  
 $0 < x < 15 \text{ cm}$  ו-  $-15 \text{ cm} < x < 25 \text{ cm}$

- נתון כי צפיפות המטען המשטחית של לוח 1 היא:  $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C/m}^2$   
 וכי צפיפות המטען המשטחית של לוח 3 חיובית.
- ב. חשבו את  $\sigma_2$  ו-  $\sigma_3$ .

- חלקיק קטן בעל מסה  $5 \cdot 10^{-16} \text{ kg}$  שמטענו  $q$  אינו ידוע משוחרר ממנוחה בסמוך ומימין ללוח 1. החלקיק נע לעבר לוח 2 ועובר דרך חור קטן בלוח במהירות:  $3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ .
- ג. מהו מטען החלקיק (כולל הסימן)?
- ד. האם החלקיק יגיע ללוח 3? אם כן, מהי תהיה מהירותו? אם לא, היכן ייעצר?

איור 1



**תשובות סופיות:**

$$W = 18.75 \cdot 10^{-2} \text{ J} \quad (1)$$

$$V_B = 25.46 \cdot 10^6 \text{ V} \quad \text{ב.} \quad V_A = 16.24 \cdot 10^6 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$W = -27.65 \text{ J} \quad \text{ג.}$$

$$W_{A \rightarrow B} = 1.8 \text{ J} \quad \text{ב.} \quad V_{BA} = 3.6 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (3)$$

(4) א. הלוח הטעון במטען חיובי נמצא למטה, והשלילי למעלה.

ב. התחתון. ג. B. ד. הפוטנציאל שווה.

(5) א. הלוח הטעון במטען חיובי נמצא למעלה, והשלילי למטה.

$$\text{ב.} \quad E = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \text{ג.} \quad -2.5 \text{ V} \quad \text{ד.} \quad -5 \cdot 10^{-6} \text{ J} \quad \text{ה.} \quad 0$$

$$-4.05 \cdot 10^5 \text{ J} \quad \text{ב.} \quad V(P_2) = 4.90 \cdot 10^5 \text{ V}, V(P_1) = 8.95 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$E = \begin{cases} 2000 \frac{\text{V}}{\text{m}} & 0 < x < 15 \\ -4500 \frac{\text{V}}{\text{m}} & 15 < x < 25 \end{cases} \quad \text{א.} \quad (7)$$

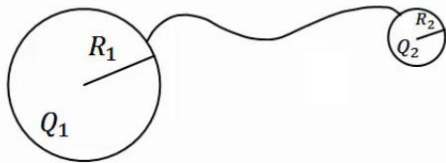
$$q = 7.5 \mu\text{C} \quad \text{ג.} \quad \sigma_3 = 4.21 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}, \quad \sigma_2 = -5.75 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \quad \text{ב.}$$

ד. לא ב-  $x \approx 22_{\text{cm}}$

## פוטנציאל במוליכים:

### שאלות:

#### (1) שני כדורים מוליכים מחוברים



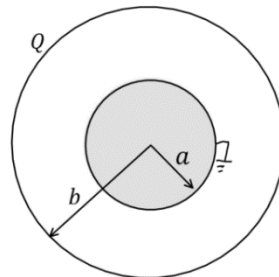
שני כדורים מוליכים בעלי רדיוסים  $R_1$ ,  $R_2$  נמצאים במרחק גדול מאוד אחד מהשני. הכדורים טעונים במטענים  $Q_1$ ,  $Q_2$  בהתאמה. מחברים את הכדורים באמצעות חוט מוליך. מה היה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

#### (2) מטען נקודתי במרכז קליפה מוארקת

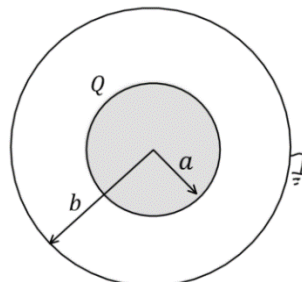
מטען נקודתי  $Q$  נמצא במרכזה של קליפה (חלולה) כדורית דקה ומוליה ברדיוס  $R$ . מהו המטען על הקליפה אם ידוע שהיא מוארקת?

#### (3) כדור בתוך קליפה

קליפה כדורית מוליכה ודקה בעלת רדיוס  $b$  טעונה במטען  $Q$ . במרכז הקליפה נמצא כדור מוליך בעל רדיוס  $a$  המוארק לאדמה. א. מהו המטען על הכדור?



כעת הכדור טעון במטען  $Q$  (ואינו מוארק), והקליפה החיצונית מוארקת. ב. מהו מטענה של הקליפה המוארקת?



**תשובות סופיות:**

$$q_1' = (Q_2 + Q_1) \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad q_2' = (Q_2 + Q_1) \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$q = Q \quad (2)$$

$$\text{ב. } -Q \quad \text{א. } -\frac{a}{b}Q \quad (3)$$

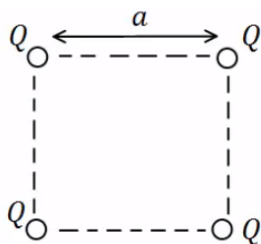
## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) אנרגיה חשמלית של מערכת

מצא את האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של שני מטענים זהים:  $Q_1 = Q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  הנמצאים במרחק 80 ס"מ זה מזה.

#### (2) מטענים בפינות ריבוע



בארבעת הפינות של ריבוע בעל צלע  $a = 0.5 \text{ m}$  ישנם מטענים זהים שגודלם הוא:  $Q = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ .

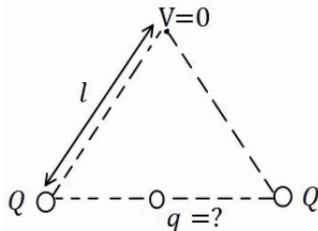
א. מהי העבודה הדרושה לבניית המערכת?

ב. מהו הפוטנציאל בנקודה הנמצאת באמצע אחת מצלעות הריבוע?

ג. מהי העבודה הדרושה להבאת מטען  $q = 3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  לנקודה מסעיף ב'?

ד. מהי האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של המערכת לאחר סעיף ג'?

#### (3) מטען שמאפס פוטנציאל בקודקוד



בשני קודקודיו של משולש שווה צלעות נמצאים

מטענים זהים שגודלם הוא:  $Q = 2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ .

מטען נוסף,  $q$ , מונח במרכז הצלע שביניהם.

אורך הצלע של המשולש הוא:  $l = 20 \text{ cm}$ .

א. מצא את גודלו של המטען  $q$  כך שהפוטנציאל

בקודקוד השלישי יתאפס.

ב. חזור על סעיף א' אם המטען  $q$  נמצא במרכז של צלע אחרת במשולש.

#### (4) פוטנציאל בנקודה מסוימת

בנקודה מסוימת קיים פוטנציאל של 15V.

א. מהי העבודה להביא מטען שגודלו 1C מהאינסוף לנקודה זו?

ב. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  לנקודה זו?

ג. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מפוטנציאל

של  $V = 5 \text{ V}$  לנקודה זו?

ד. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מנקודה זו

לפוטנציאל של 10V?

**(5) עבודה לא תלויה במסלול**

מטען נקודתי  $Q_1 = 10^{-5} \text{ c}$  ממוקם בראשית הצירים.

מטען נקודתי נוסף  $Q_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ c}$  ממוקם ב- $(0.8\text{m}, 0)$ .

א. מצא את הפוטנציאל בנקודות:  $A(1.5\text{m}, 0)$ ,  $B(1.5\text{m}, 1\text{m})$ ,  $C(0.8\text{m}, 1\text{m})$ .

ב. מהי העבודה הדרושה להעביר את המטען  $q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ c}$  מנקודה A ל-B?

ג. מהי העבודה הדרושה להעביר את אותו המטען מנקודה B אל נקודה C?

ד. מהי העבודה הדרושה להעביר את אותו המטען מנקודה A לנקודה C, דרך הקו הישר בין הנקודות?

**(6) אלקטרון מואץ בהפרש פוטנציאליים**

אלקטרון מואץ בהפרש פוטנציאליים של  $300\text{V}$ .

האלקטרון מתחיל תנועתו ממנוחה.

א. מהו ההפרש בין האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של האלקטרון בתחילת

התנועה לסוף התנועה, ביחידות של אלקטרון וולט וביחידות של ג'אול?

ב. מהי מהירות האלקטרון בסוף התהליך?

$$q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c}, m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

**(7) פרוטון נע בין לוחות**

שני לוחות גדולים בעלי שטח  $A = 2\text{m}^2$  נמצאים

במרחק  $d = 10\text{cm}$  אחד מהשני.

טוענים את אחד הלוחות במטען  $Q = 6 \cdot 10^{-3} \text{ c}$ ,

ואת הלוח השני במטען זהה והפוך בסימנו.

א. חשב את צפיפות המטען ליחידת שטח על כל לוח.

ב. מהו השדה בין הלוחות?

ג. מהו המתח בין הלוחות?

ד. פרוטון משוחרר ממנוחה קרוב מאוד ללוח החיובי.

מהי מהירות הפרוטון בהגיעו ללוח השלילי?

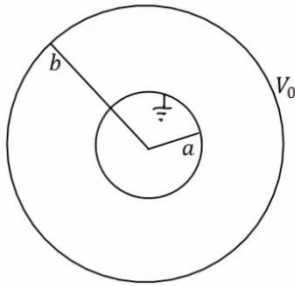
$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c}, m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**(8) פוטנציאל של כדור מוליך**

כדור מוליך שרדיוסו  $R = 20\text{cm}$  טעון במטען  $Q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ c}$ .

א. מהו השדה החשמלי במרחק  $r_1 = 25\text{cm}$  ובמרחק  $r_2 = 15\text{cm}$  ממרכז הכדור?

ב. מהו הפוטנציאל באותם מרחקים?

**(9) מטענים על קליפות**

במערכת הבאה ישנם שתי קליפות כדוריות מוליכות, דקות, ברדיוסים  $a$ ,  $b$ . הקליפה החיצונית מוחזקת במתח  $V_0$  והקליפה הפנימית מוארקת. השתמש בפוטנציאל של קליפה כדורית בודדת ובעקרון הסופרפוזיציה וחשב את המטען על כל קליפה.

**(10) מתח בין שני כדורים מוליכים**

שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים:  $R_1 = 1\text{m}$  ו-  $R_2 = 1.4\text{m}$ , טעונים במטענים:  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6}\text{c}$  ו-  $Q_2 = 6 \cdot 10^{-6}\text{c}$ .

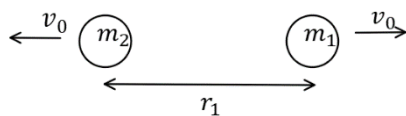
- א. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שפות הכדורים, אם הם מרוחקים מאוד זה מזה.  
 ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שתי הנקודות הכי קרובות של הכדורים, אם המרחק בין מרכזיהם הוא  $d = 5\text{m}$ .  
 הנח שהתפלגות המטען על כל כדור עדיין אחידה.

**(11) שני מטענים מתרחקים**

שני גופים בעלי מסות  $m_1 = 20\text{gr}$  ו-  $m_2 = 60\text{gr}$  ומטענים ו-  $Q_2 = 6 \cdot 10^{-6}\text{c}$  נמצאים במרחק  $r_1 = 80\text{cm}$  זה מזה, ובמנוחה.  
 א. מה תהיה מהירות הגופים כאשר המרחק ביניהם הוא  $r_2 = 1.2\text{m}$ ?  
 ב. מה תהיה מהירות הגופים לאחר זמן רב מאוד?

**(12) שני מטענים מתרחקים ומתקרבים**

שני גופים בעלי מסות  $m_1 = 25\text{gr}$  ו-  $m_2 = 50\text{gr}$  ומטענים  $Q_1 = 4 \cdot 10^{-6}\text{c}$  ו-  $Q_2 = -5 \cdot 10^{-6}\text{c}$  נמצאים במרחק  $r_1 = 1\text{m}$  זה מזה.  
 לגופים מהירות התחלתית כך שאחד מתרחק מהשני.



גודל המהירות ההתחלתית של שני הגופים הוא  $v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

- א. מה תהיה מהירות הגופים כאשר המרחק ביניהם הוא  $r_2 = 5\text{m}$ ?  
 ב. מהו  $v_0$  המינימאלי עבורו הגופים לא יפגשו לעולם?  
 ג. כעת נניח כי  $v_0$  שווה לחצי מהערך שחישבת בסעיף ב'. מהו המרחק המקסימאלי אליו יגיעו הגופים?  
 ד. מצא את מהירות הגופים כאשר  $r_3 = 0.5\text{m}$ .

**13) 1000 טיפות שמן**

1000 טיפות שמן זהות טעונות במטען זהה ונמצאות בפוטנציאל זהה  $v_1$ .  
הטיפות מתחברות לטיפה אחת גדולה. מהו הפוטנציאל של הטיפה הגדולה ( $v_1$  נתון)?  
רמז: ניתן להתייחס לכל טיפה ככדור מוליך.

**14) כדור מוליך מוארק בתוך קליפה כדורית**

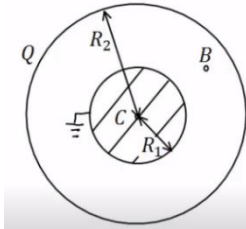
כדור מוליך ברדיוס  $R_1 = 5\text{cm}$ . נמצא בתוך ובמרכזה של קליפה כדורית דקה.

רדיוס הקליפה הוא:  $R_2 = 10\text{cm}$ . והמטען עליה הוא:  $Q = 3 \cdot 10^{-7}\text{C}$ . מאריקים את הכדור.

א. מצא את המטען על שפת הכדור.

ב. מהו הפוטנציאל בנקודות:  $r_C = 0$ ,  $r_B = 7\text{cm}$ ,  $r_A = 20\text{cm}$ ?

ג. מהי העבודה הדרושה להזיז את המטען  $Q = 10^{-10}\text{C}$  מ- $r_A$  ל- $r_C$ ?

**15) שתי קליפות קונטריות מחוברות בחוט**

קליפה כדורית (כדור חלול) שהרדיוס שלה  $R_1$  נמצאת בתוך קליפה כדורית שהרדיוס שלה  $R_2$ , ולשתי הקליפות מרכז משותף O (ראה תרשים). הקליפה הפנימית טעונה במטען חשמלי חיובי  $Q_1$ , והקליפה החיצונית טעונה במטען חשמלי חיובי  $Q_2$ . שתי הקליפות עשויות מחומר מוליך.

א. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הגודל של השדה החשמלי ששתי הקליפות יוצרות בכל אחת מהנקודות הבאות:

i. הנקודה O.

ii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה הפנימית, אך קרובה אליה מאוד, מרחקה מ-O ייחשב ל- $R_1$ .

iii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה החיצונית, אך קרובה אליה מאוד, מרחקה מ-O ייחשב ל- $R_2$ .

ב. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הפוטנציאל החשמלי הכולל ששתי הקליפות יוצרות בכל אחת משלוש הנקודות הבאות:

i. הנקודה O.

ii. נקודה על פני הקליפה הפנימית.

iii. נקודה על פני הקליפה החיצונית.

ג. מחברים את שתי הקליפות באמצעות תיל מוליך דק שהתנגדותו זניחה, ולכן חלקיקים טעונים יכולים לעבור ביניהן.

בטא, באמצעות נתוני השאלה, את המטען החשמלי על כל אחת משתי הקליפות לאחר שנפסק הזרם בתיל.

**16) כדור טעון מבודד מול מישור טעון מבודד\***

כדור בעל רדיוס  $R = 3\text{m}$ , מבודד מבחינה חשמלית, טעון על פניו בצפיפות מטען

אחידה:  $\sigma_1 = 5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ . במרחק  $d = 6\text{m}$  ממרכז הכדור נמצא משטח מישורי

גדול מבודד, הטעון בצפיפות מטען אחידה:  $\sigma_2 = 15 \cdot 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ .

הנקודות  $P_1$  ו- $P_2$  שבציר נמצאות מחוץ לכדור, אך קרוב מאד לשפתו. הישר המחבר את הנקודות  $P_3$  ו- $P_4$  ניצב למשטח ומרוחק  $D = 4\text{m}$  ממרכז הכדור.  $P_4$  היא נקודה מימין למשטח, אך מאוד קרובה אליו. הנקודות  $P_1$  ו- $P_3$  נמצאות בדיוק מעל מרכז הכדור. לעזרתכם: שטח פנים של כדור בעל רדיוס  $R$  נתון ע"י  $4\pi R^2$ .

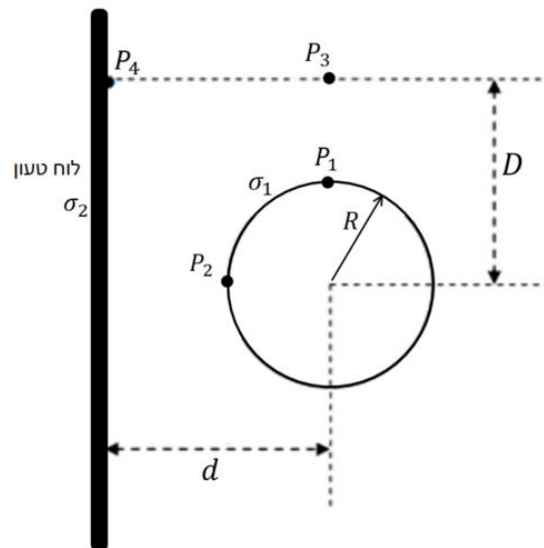
א. מה ערכו של השדה החשמלי השקול בנקודה  $P_2$ ?

ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות  $P_1$  ו- $P_2$  בהתאמה?

ג. מטען קטן:  $q = 10^{-9} \text{C}$  נמצא בנקודה  $P_3$ .

מהו ערכו של הכוח החשמלי הפועל על המטען בנקודה זו?

ד. מהי העבודה הדרושה, כדי להעביר את  $q$  מהנקודה  $P_3$  לנקודה  $P_1$ ?



**17) כדור בתוך קליפה מוליכה עבה\*\***

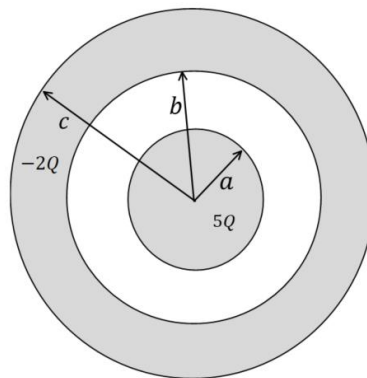
כדור מוליך בעל רדיוס  $a$  טעון במטען חיובי  $5Q$  ונמצא בתוך קליפה כדורית מוליכה בעלת רדיוס פנימי  $b$  ורדיוס חיצוני  $c$ , הטעונה במטען  $-2Q$ .

לכדור ולקליפה הכדורית יש מרכז משותף.

א. מהו המטען על השפה הפנימית ( $r = b$ ) והחיצונית ( $r = c$ ) של הקליפה הכדורית?

ב. מהו הפוטנציאל החשמלי על השפה הפנימית ( $r = b$ ) והחיצונית ( $r = c$ ) של הקליפה הכדורית? הניחו שהפוטנציאל באינסוף הוא אפס.

ג. מהו הפוטנציאל החשמלי במרכז הכדור ( $r = 0$ )?



## תשובות סופיות:

$$U \approx 0.101 \text{ J} \quad (1)$$

$$W \approx 6.25 \cdot 10^{-4} \text{ J} \quad \text{ג.} \quad V_A = 20.84 \cdot 10^3 \text{ V} \quad \text{ב.} \quad W \approx 3.9 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$W = 4.53 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad \text{ד.}$$

$$q = -2 \cdot 10^{-5} \text{ C} \quad \text{ב.} \quad q = -3.46 \cdot 10^{-5} \text{ C} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$W = -3 \cdot 10^{-5} \text{ J} \quad \text{ג.} \quad W = 3 \cdot 10^{-7} \text{ J} \quad \text{ב.} \quad W = 15 \text{ J} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$W = -10^{-5} \text{ J} \quad \text{ד.}$$

$$V_A = 3.17 \cdot 10^5 \text{ V}, V_B \approx 1.97 \cdot 10^5 \text{ V}, V_C = 2.5 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$W_{AC} = -2.01 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad \text{ד.} \quad W_{B \rightarrow C} = 1.59 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad \text{ג.} \quad W_{AB} = -3.6 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad \text{ב.}$$

$$V_F \approx 1.02 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad \Delta U = -300 \text{ eV} / = 4.8 \cdot 10^{-17} \text{ J} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$V = 3.39 \cdot 10^4 \text{ V} \quad \text{ג.} \quad E \approx 3.39 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \quad \text{ב.} \quad \sigma = 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$v = 2.55 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד.}$$

$$E(r_1) = 4.32 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}, E(r_2) = 0 \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$V(r_1) = 1.08 \cdot 10^5 \text{ V}, V(r_2) = 1.35 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{ב.}$$

$$q_1 = \frac{bv_0}{k} \cdot \frac{a}{(a-b)}, q_2 = -\frac{bv_0}{ka \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)} \quad (9)$$

$$V_{ba} = 7.6 \cdot 10^3 \text{ V} \quad \text{ב.} \quad V_{21} \approx 2.06 \cdot 10^4 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$u_2 = 1.06 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_1 = -3.18 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad u_1 \approx -1.84 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 0.612 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$u_1 = -7.96 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 1.48 \frac{\text{m}}{\text{sec}} / u_1 = 4.62 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = -4.81 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$u_1 = -3.79 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 1.35 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד.} \quad r_{\max} = 1.29 \text{ m} \quad \text{ג.} \quad v_{0_{\min}} \approx 2.18 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

$$V_{1000} = 100V_1 \quad (13)$$

$$V_A = 6.75 \cdot 10^3 \text{ V}, V_B \approx 7.71 \cdot 10^3 \text{ V}, V_C = 0 \quad \text{ב.} \quad q = -1.5 \cdot 10^{-7} \text{ C} \quad \text{א.} \quad (14)$$

$$W_{A \rightarrow C} = -6.75 \cdot 10^{-7} \text{ J} \quad \text{ג.}$$

$$E_T = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2^2} \quad \text{.iii} \quad E_T = \frac{kQ_1}{R_1^2} \quad \text{.ii} \quad E_T = 0 \quad \text{.i. א.} \quad (15)$$

$$V_T(R_2) = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2} \quad \text{.iii} \quad V_T(R_1) = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2} \quad \text{.ii} \quad V_T = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2} \quad \text{.i. ב.}$$

$$q_1' = 0, q_2' = Q_1 + Q_2 \quad \text{ג.}$$

$$\text{א. } 90 \cdot \pi \frac{N}{C} \hat{x} \quad \text{ב. } 810\pi V \quad \text{(16)}$$

$$\text{ג. } 270 \cdot \pi \cdot 10^{-9} N \hat{x} + 101 \cdot \pi \cdot 10^{-9} N \hat{y} \quad \text{ד. } -3.375 \cdot 10^{-6} J$$

$$\text{א. } q(r=c) = 3Q, \quad q(r=b) = -5Q \quad \text{(17)}$$

$$\text{ב. } V(b) = V(c) = \frac{3KQ}{c}$$

$$\text{ג. } \frac{5KQ}{a} - \frac{5KQ}{b} + \frac{3KQ}{c}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 27 - אנרגיה והספק במעגל החשמלי

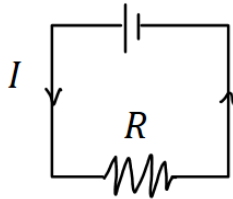
תוכן העניינים

- 273 ..... 1. עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים.
- 274 ..... 2. הספק חשמלי.
- 276 ..... 3. תרגילים נוספים.

## עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים:

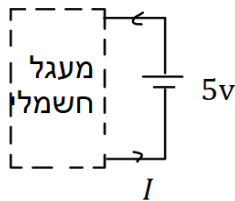
### שאלות:

#### (1) חישובי עבודה ואנרגיה בנגד



- בנגד בעל התנגדות  $R = 30\Omega$  זורם זרם  $I = 0.3A$ .
- כמה מטען עובר בנגד במשך 3 שניות?
  - מהו המתח על הנגד?
  - מהי העבודה שמתבצעת על המטען?
  - כמה חום נוצר בנגד במשך הזמן הנתון?
  - כמה אנרגיה איבדה הסוללה במשך הזמן הנתון?

#### (2) חישובי עבודה של סוללה



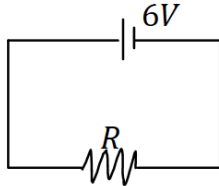
- סוללה מחוברת למעגל חשמלי כלשהו. המתח בסוללה הוא  $V = 5 \text{ Volt}$  והזרם במעגל (וגם בסוללה) הוא  $I = 0.4A$ .
- כמה מטען עובר דרך הסוללה במשך 2 שניות?
  - כמה עבודה ביצעה הסוללה במשך הזמן הנתון?

### תשובות סופיות:

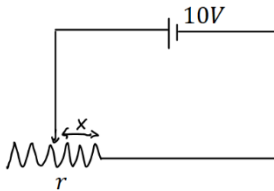
- (1) א.  $\Delta q = 0.9c$     ב.  $V = 9V$     ג.  $W = 8.1J$     ד.  $Q = 8.1J$     ה.  $W = 8.1J$
- (2) א.  $\Delta q = 0.8c$     ב.  $W = 4J$

## הספק חשמלי:

### שאלות:



- (1) **הספק של מקור ושל נגד**  
 במעגל הבא מקור מתח של 6 וולט מחובר לנגד שהתנגדותו  $R = 12\Omega$ .  
 א. מהו ההספק של מקור המתח?  
 ב. מהו ההספק של הנגד וכמה חום נוצר בנגד כל שניה?



- (2) **הספק בנגד משתנה**  
 במעגל הבא סוללה בעלת מתח של 10 וולט מחוברת לנגד משתנה שהתנגדותו ליחידת אורך היא  $r = 100 \frac{\Omega}{m}$ .  
 א. מהו ההספק של הנגד כאשר אורכו 5 ס"מ?  
 ב. מהו ההספק בנגד כאשר אורכו 10 ס"מ?  
 ג. מהו ההספק בנגד כפונקציה של האורך?

- (3) **נורה במתח אחר**  
 נורה שההספק שלה הוא 100W במתח של 220V חוברה למתח של 110V.  
 הנח שהתנגדות הנורה קבועה וחשב מה ההספק של הנורה במתח החדש.

- (4) **כמה עולה להפעיל מזגן כל הלילה**  
 מזגן של 1.5 כוח סוס פועל בהספק מרבי.  
 א. מהי כמות האנרגיה שצורך המזגן בשעה אחת ביחידות של קוט"ש (קילו וואט שעה), כאשר היחס:  $1hp = 746Watt$ ?  
 ב. תעריף חברת החשמל לצריכת ביתית הוא בערך חצי שקל לקוט"ש. כמה עולה להפעיל את המזגן כל הלילה (8 שעות)?

- (5) **חום שנוצר בנגד**  
 בנגד של 10 אוהם זרם של 0.5 אמפר במשך 4 דקות.  
 כמה חום נוצר במשך הזמן שבו זרם זרם בנגד?

**תשובות סופיות:**

- (1) א.  $\rho = 3W$       ב.  $\rho = 3W$
- (2) א.  $\rho = 20W$       ב.  $\rho = 10W$       ג.  $\rho = \frac{1}{x}$
- (3)  $\rho = 25W$
- (4) א.  $W = 1.119kWhr$       ב. 4 ש.
- (5)  $Q = 600J$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1

- מקור מתח אידיאלי בעל מתח של  $5V$  מחובר לנגד בעל התנגדות של  $10$  אוהם.
- מהו הזרם בנגד?
  - מהו ההספק בנגד?
  - כמה חום מיוצר בנגד בעשר שניות?

#### (2) תרגיל 2

- על נורה רשום  $60W/220V$ .
- מהי התנגדות הנורה?
  - מהי כמות המטען שעברה בנורה במשך דקה אחת?
  - מהו ההספק הנורה במתח של  $110V$  בהנחה שההתנגדות שלה לא משתנה.

#### (3) תרגיל 3

- למזגן שני מצבי קירור, במצב הראשון הספקו  $1000W$  ובמצב השני הספקו  $1500W$ . מצא את היחס בין ההתנגדויות בשני המצבים.

#### (4) תרגיל 4

- נורה של  $60W$  דולקת במשך שעה כל יום.  
 מהי צריכת האנרגיה של הנורה במשך חודש ביחידות של  $kWh$ ?

**תשובות סופיות:**

$Q = 25 \text{ j} / \approx 5.9 \text{ cal.}$ ג.	$\rho = 2.5 \text{ W}$ ב.	$I = 0.5 \text{ A}$ א. (1)
$\rho \approx 15 \text{ W}$ ג.	$\Delta q \approx 16.4 \text{ c}$ ב.	$R = 807 \Omega$ א. (2)
		$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1.5$ (3)
		$E = 1.8 \text{ kWh}$ (4)

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 28 - זרם מתח ותנגדות

תוכן העניינים

278	1. הזרם החשמלי
280	2. המתח החשמלי וחוק אוהם
281	3. התנגדות
283	4. כאמ ומתח הדקים
(ללא ספר)	5. סיכום הפרק
284	6. תרגילים

## הזרם החשמלי:

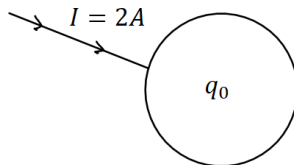
### שאלות:

#### (1) פלאפון מחובר למטען

פלאפון המחובר למטען נטען בזרם קבוע של 1 אמפר במשך שעה אחת.

א. מהי כמות המטען שעברה בחוט?

ב. מהו מספר האלקטרונים שעברו בחוט?



#### (2) זרם לתוך כדור מוליך

כדור מוליך טעון במטען של  $q_0 = 5c$ .

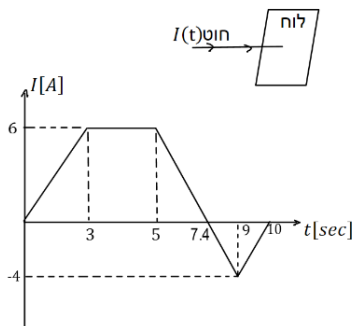
מחברים את הכדור לחוט מוליך והחוט מעביר

זרם של 2 אמפר לתוך הכדור.

א. רשום נוסחה המתארת את המטען על הכדור כתלות בזמן.

ב. צייר גרף של המטען על הכדור כתלות בזמן.

ג. צייר גרף של הזרם כתלות בזמן.



#### (3) חוט מחובר ללוח

חוט מוליך מחובר ללוח מוליך שאינו טעון ב- $t = 0$ .

בחוט מתחיל לזרום זרם והתלות של הזרם בזמן

נתונה לפי הגרף הבא:

א. מהו המטען הכולל בלוח אחרי עשר שניות?

ב. מהו המטען על הלוח אחרי 5 שניות?

#### (4) זרם בנורת להט

הזרם העובר בנורת להט ביתית הוא בערך 1 אמפר.

נניח כי חוטי החשמל בבית עשויים נחושת בקוטר של 0.2 ס"מ.

מספר האלקטרונים החופשיים ליחידת נפח בנחושת הוא:  $8.5 \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{cm}^3}$ .

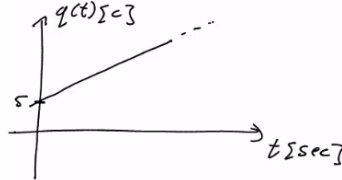
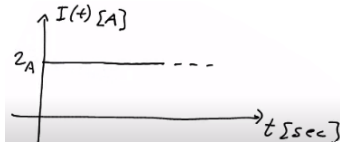
מצא מהי מהירות האלקטרונים בחוטים.

**תשובות סופיות:**

א.  $\Delta q = 3600c$  (1)      ב.  $N_e = 2.25 \cdot 10^{22}$

א.  $q(t) = 5 + 2 \cdot t$  (2)      ב.

ג.



א.  $\Delta q = 23c$  (3)      ב.  $q(t=5) = 21c$

א.  $v_d = 2.341 \cdot 10^{-5} \frac{m}{sec}$  (4)

## המתח החשמלי וחוק אוהם:

### שאלות:

#### 1) חוק אוהם

על מוליך מסוים הופעל מתח של 5 וולט.  
 כתוצאה מכך נוצר זרם במוליך של 10mA.

א. מהי ההתנגדות של המוליך?

ב. נניח כי התנגדות המוליך קבועה.

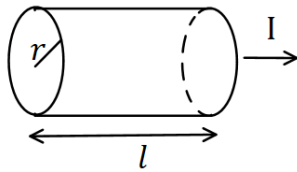
מה יהיה הזרם במוליך אם יופעל עליו מתח של 10 וולט?

### תשובות סופיות:

1) א.  $R = 500\Omega$       ב.  $I = 20\text{mA}$

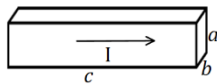
## התנגדות:

### שאלות:



#### (1) נגד גלילי

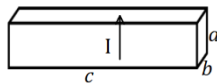
חשב את ההתנגדות של נגד בצורת גליל באורך  $l = 1\text{m}$  ורדיוס בסיס של  $r = 2\text{mm}$ . הנגד עשוי מנחושת בעלת התנגדות סגולית  $\rho = 1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (הזרם זורם לאורך ציר הסימטריה של הגליל).



(א)

#### (2) נגד בצורת תיבה

מוליך בנוי בצורת תיבה עם צלעות שאורכן  $a, b, c$ . התייחס לגודל הצלעות ולהתנגדות הסגולית  $\rho$  כנתונים.

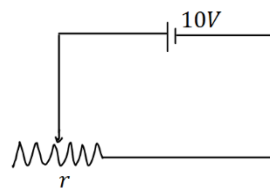


(ב)

חשב את התנגדות המוליך בכל אחד מהמקרים הבאים. שים לב: בכל מקרה הזרם זורם במוליך בכיוון אחר!

#### (3) נגד

מקור מתח בעל מתח של 10 וולט מחובר דרך חוטים אידיאליים (בעלי התנגדות זניחה) לנגד בעל התנגדות  $R = 2\Omega$ . צייר איור של המעגל וחשב את הזרם בנגד.



#### (4) נגד משתנה

במעגל הבא ישנו מקור מתח בעל מתח של 10 וולט. המקור מחובר לנגד משתנה בעל התנגדות ליחידת

$$\text{אורך } r = 50 \frac{\Omega}{\text{m}}$$

מה צריך להיות אורך הנגד על מנת שהזרם במעגל יהיה 2A?

**תשובות סופיות:**

$$R = 0.00137\Omega \quad (1)$$

$$R = \rho \cdot \frac{a}{b \cdot c} \quad \text{ב.} \quad R = \rho \cdot \frac{c}{a \cdot b} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$, I = 5A \quad (3)$$



$$x = 10\text{cm} \quad (4)$$

## כאמ ומתח הדקים:

### שאלות:

#### 1) כאמ ומתח הדקים

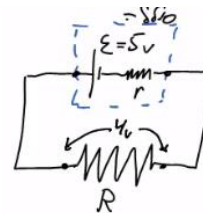
- סוללה מייצרת כא"מ של  $5V$ . לסוללה התנגדות פנימית של  $r = 2\Omega$ . מחברים את הסוללה לנגד חיצוני  $R$  שהתנגדותו אינה ידועה. נתון כי הזרם בכל רכיב במעגל זהה ושווה ל-  $I = 0.5A$ .
- שרטט תרשים המתאר את המעגל.
  - חשב את מתח ההדקים שמספקת הסוללה.
  - מהי ההתנגדות של הנגד?

### תשובות סופיות:

ג.  $R = 8\Omega$

ב.  $V = 4V$

א. 1)



## תרגילים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1

מהו הזרם במוליך אם עובר בו מטען של 50 קולון ב 10 שניות?

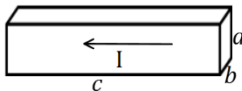
#### (2) תרגיל 2

כמה אלקטרונים עוברים במוליך בשניה אחת אם זורם בו זרם קבוע של 2 אמפר?

#### (3) תרגיל 3

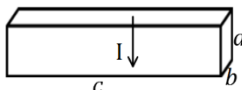
מהי ההתנגדות של גליל ניקל בעל התנגדות סגולית של  $\rho = 7.8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ , שאורכו 20 ס"מ ורדיוסו 3 מ"מ?

#### (4) תרגיל 4



(א)

תיבה בעלת צלעות:  $a = 3\text{mm}, b = 2\text{mm}, c = 4\text{cm}$   
 עשויה מחומר בעל התנגדות סגולית  $\rho = 10^{-8} \Omega \cdot m$ .  
 מצא את התנגדות התיבה בשני המקרים הבאים:



(ב)

#### (5) תרגיל 5

בנגד גלילי בעל שטח חתך  $A = 2\text{mm}^2$  זורם זרם של  $I = 20\text{mA}$ .  
 צפיפות האלקטרונים החופשיים בנגד היא:  $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{\text{m}^3}$ .  
 מהי מהירות האלקטרונים בנגד?

#### (6) תרגיל 6

נגד בעל שטח חתך  $A = 2\text{cm}^2$  ואורך  $l = 4\text{cm}$  עשוי מחומר בעל התנגדות סגולית  $\rho = 10^{-2} \Omega \cdot m$ . מחברים את הנגד באמצעות חוטים בעלי התנגדות זניחה למקור מתח אידיאלי של 5V.  
 א. מהו הזרם בנגד?  
 ב. מהי מהירות המטענים בנגד, אם מספר האלקטרונים החופשיים

הוא:  $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{\text{m}^3}$  ?

**תרגיל 7 (7)**

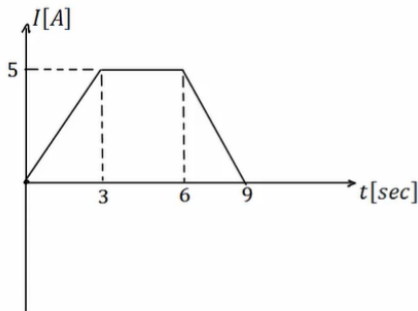
סוללה בעלת מתח  $6V$  מחוברת לנגד משתנה.  
 כאשר אורך הנגד הוא  $l = 6\text{cm}$  הזרם במעגל הוא  $1A$ .  
 מהי ההתנגדות ליחידת אורך של הנגד?

**תרגיל 8 (8)**

סוללה עם כא"מ של  $4V$  מחוברת למעגל חשמלי.  
 במעגל זורם זרם  $I = 0.5A$ .  
 ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא  $r = 0.5\Omega$ .  
 מהו מתח ההדקים של הסוללה?

**תרגיל 9 (9)**

בגרף הבא נתון הזרם במוליך כתלות בזמן.  
 כמה מטען עבר במוליך?

**תשובות סופיות:**

**(1)**  $I = 5A$

**(2)**  $N = 1.25 \cdot 10^{19}$

**(3)**  $R = 5.51 \cdot 10^{-4}\Omega$

**(4)** א.  $R \approx 6.67 \cdot 10^{-5}\Omega$  ב.  $R = 3.75 \cdot 10^{-7}\Omega$

**(5)**  $v_d = 7.35 \cdot 10^{-7} \frac{m}{sec}$

**(6)** א.  $I = 2.5A$  ב.  $v_d \approx 9.19 \cdot 10^{-7} \frac{m}{sec}$

**(7)**  $r = 100 \frac{\Omega}{m}$

**(8)**  $V = 3.75V$

**(9)**  $\Delta q = 30c$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

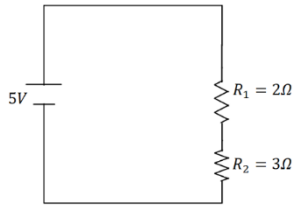
פרק 29 - חיבור נגדים וחוקי קירכהוף

תוכן העניינים

286	1. חיבור נגדים במעגל
289	2. חוקי קירכהוף
290	3. תרגילים נוספים
292	4. מקור מתח לא אידיאלי
(ללא ספר)	5. טעינה ופריקה של קבל
294	6. נצילות במעגל החשמלי

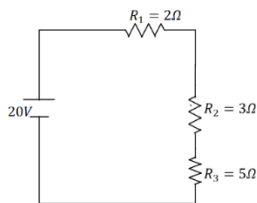
## חיבור נגדים במעגל

### שאלות



#### (1) דוגמה 1

חשב את הזרם במעגל הבא וחשב את ערך הפוטנציאל בין הנגדים (הנח שההדק השלילי נמצא בפוטנציאל אפס).



#### (2) דוגמה 2

חשב את הזרם במעגל הבא ומצא את המתח על כל נגד.

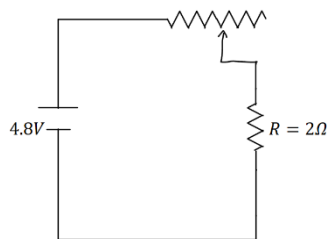
#### (3) דוגמה 3

סוללה עם כ"מ של 3V והתנגדות פנימית  $r = 2\Omega$  מחוברת לנגד  $R = 10\Omega$ .

א. סרטט איור של המעגל.

ב. מהו הזרם במעגל?

ג. מהו מתח ההדקים של הסוללה?



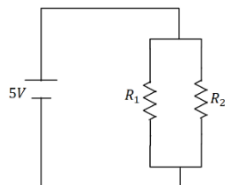
#### (4) דוגמה 4

במעגל הבא ישנו מקור מתח אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) המחובר לנגד רגיל ונגד משתנה.

אורך הנגד המשתנה הוא 20 ס"מ והתנגדותו ליחידת

$$\text{אורך היא: } r = 2 \frac{\Omega}{\text{m}}$$

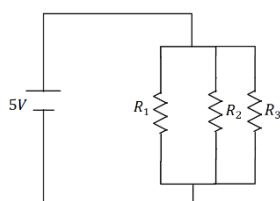
מהו הזרם במעגל ומהו המתח על כל נגד?



#### (5) דוגמה 5

במעגל הבא:  $R_2 = 2\Omega$ ,  $R_1 = 6\Omega$  מצא את הזרם במעגל

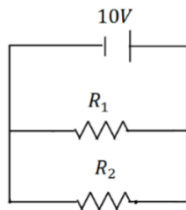
והזרם בכל נגד.



#### (6) דוגמה 6

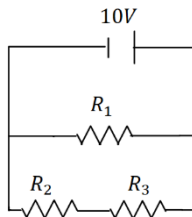
במעגל הבא:  $R_3 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 2\Omega$ ,  $R_1 = 1\Omega$  מצא את

הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



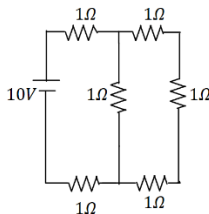
(7) דוגמה 7

במעגל הבא:  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$  מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



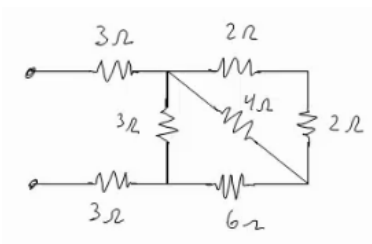
(8) דוגמה 8

במעגל הבא:  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 1\Omega$  מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



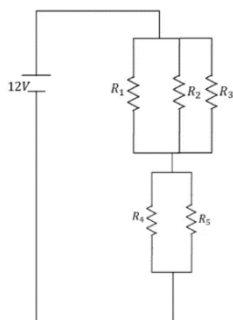
(9) דוגמה 9

מצא את כל הזרמים במעגל הבא:



(10) דוגמה 10

חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני ההדקים.



(11) חישוב הספק מעגל

נתון המעגל הבא  $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega$ ,  $R_5 = R_4 = 8\Omega$ .

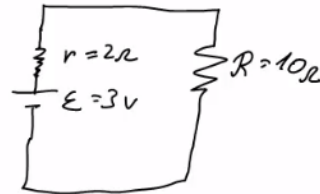
- מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.
- חשבו את הספק המעגל והראו כי הוא שווה להספק הסוללה.
- מוסיפים נגד כלשהו המחובר בטור לסוללה. האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

**תשובות סופיות**

$$I = 1A, V_3 = 3V \quad (1)$$

$$I = 2A, V_1 = 4V, V_2 = 6V, V_3 = 10V \quad (2)$$

$$V = 2.5V \quad \text{ג.} \quad I = 0.25A \quad \text{ב.} \quad \text{א.} \quad (3)$$



$$I = 2A, V_r = 0.8V, V_R = 4V \quad (4)$$

$$I = \frac{10}{3}A, V_1 = \frac{5}{6}A, V_2 = \frac{5}{2}A \quad (5)$$

$$I = 24.5A, I_1 = 14A, I_2 = 7A, I_3 = 3.5A \quad (6)$$

$$I = 5.33A, I_1 = 2A, I_2 = \frac{10}{3}A \quad (7)$$

$$I = 5A, I_1 = 2.5A, I_2 = 2.5A \quad (8)$$

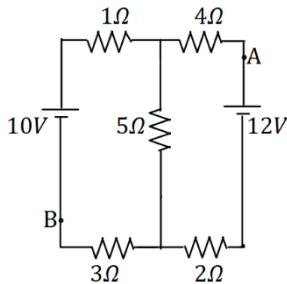
$$I = \frac{40}{11}A, I_1 = \frac{10}{11}A, I_2 = \frac{30}{11}A \quad (9)$$

$$R_T = \frac{66 + 24}{11} \quad (10)$$

$$I_T = 2A, I_1 = I_2 = I_3 = \frac{2}{3}A, I_4 = I_5 = 1A \quad \text{א.} \quad \text{ב.} \quad 24W \quad \text{ג.} \quad \text{יקטן.} \quad (11)$$

## חוקי קירכהוף:

### שאלות:

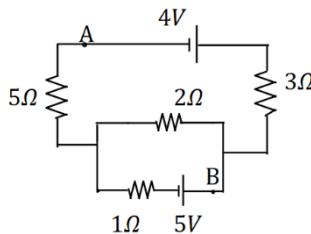


#### 1) קירכהוף תרגיל 1

במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

ב. מצא את  $V_{AB}$  באמצעות שני מסלולים שונים.



#### 2) קירכהוף תרגיל 2

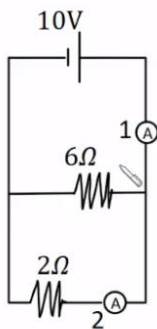
במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

ב. מצא את  $V_{AB}$ .

#### 3) דוגמה

מה יראה כל אמפרמטר במעגל הבא בהנחה שהם אידיאליים?



### תשובות סופיות:

א.  $I_1 = 0.67A$ ,  $I_2 \approx 1.46A$ ,  $I_3 \approx 0.79A$  (1)      ב.  $V_{AB} = 12.49V$

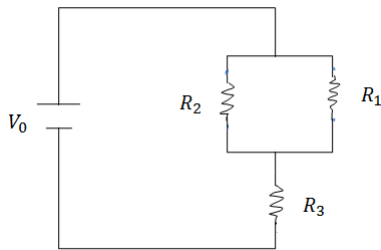
א.  $I_1 = 0.08A$ ,  $I_2 \approx 1.69A$ ,  $I_3 \approx -1.61A$  (2)      ב.  $V_{AB} = -3.79V$

(3)  $A_1 = \frac{20}{3}A$ ,  $A_2 = 5A$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### 1 תרגיל (1)



במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור:  $V_0 = 31V$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 5\Omega$ .  
 א. מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל.  
 ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.  
 חשב את הזרם והמתח על כל אחד מהנגדים.

#### 2 תרגיל (2)

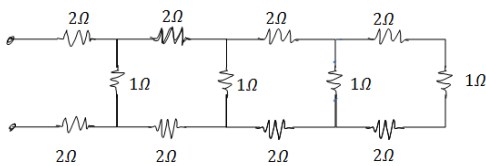
נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה  $R$ .  
 מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.  
 מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

#### 3 תרגיל (3)



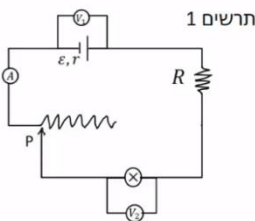
חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:

#### 4 תרגיל (4)

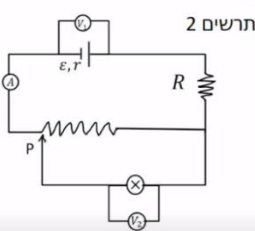


מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים:

#### 5 תרגיל (5)



במעגל הבא (תרשים 1) כל מכשירי המדידה אידיאליים  $\epsilon = 5V$ ,  $R = 2\Omega$ , התנגדות הנגד המשתנה היא 8 אוהם. כאשר הגרר  $P$  נמצאת בנקודה הכי שמאלית של הנגד המשתנה מדידת האמפרמטר היא  $0.2A$  והוולטמטר  $V_1 = 4V$ .



א. מהי ההתנגדות הפנימית של הסוללה ומהי התנגדות הנורה?  
 ב. מהי נצילות המעגל במצב הנתון?

ג. משנים את מיקום הגררה בצורה רציפה, האם הנצילות תגדל/תקטן/לא תשתנה?

מחברים את הקצה השני של הנגד המשתנה כפי שנראה בתרשים 2 כאשר הגררה נשארת בקצה השמאלי של הנגד.

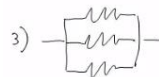
ד. האם הספק הסוללה גדל/קטן או לא השתנה? נמק ללא חישוב.

ה. באיזה מעגל הנורה מאירה בעוצה חזקה יותר? הסבר ללא חישוב.

### תשובות סופיות:

$$\text{א. } R_T = \frac{31}{5} \Omega \quad \text{ב. } V_3 = 25V, V_{1,2} = 6V, I_1 = 3A, I_2 = 2A \quad (1)$$

$$1) \text{ } \begin{array}{c} R \\ | \\ \text{---} \\ | \\ R \\ | \\ \text{---} \\ | \\ R \end{array} \quad , R_{T_1} = 3R, R_{T_2} = \frac{3}{2}R, R_{T_3} = \frac{R}{3} \quad (2)$$



$$I_1 = 2A, I_2 = 4A, I_3 = 9A, V_1 = 2V, V_2 = 8V, V_3 = 27V \quad (3)$$

$$R_T = \frac{169}{204} + 4 \quad (4)$$

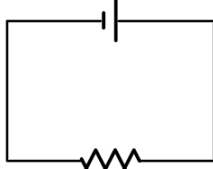
$$\text{א. התנגדות פנימית: } r = 5\Omega, \text{ התנגדות הנורה: } R = 18\Omega \quad (5)$$

ב.  $n = 72\%$  ג. תקטן. ד. גדל. ה. ראה סרטון.

## מקור מתח לא אידיאלי:

### שאלות:

סוללה לא אידיאלית



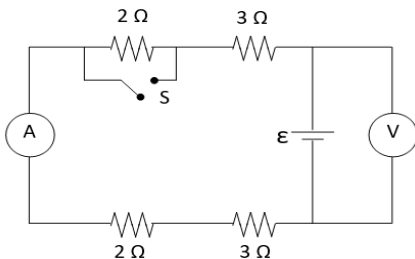
$10\Omega$

#### (1) דוגמה 1

- המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית המחוברת לנגד של  $10$  אוהם. ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא  $1$  אוהם. במעגל זורם זרם של  $2$  אמפר.
- א. מהו הכא"מ של הסוללה?  
 ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

#### (2) דוגמה 2

- מחברים סוללה לא אידיאלית לנגד של  $10$  אוהם ומודדים את הזרם במעגל. המדידה מראה כי הזרם הוא  $2$  אמפר. לאחר מכן מנתקים את הסוללה מהנגד ומחברים אותה לנגד של  $6$  אוהם.
- מודדים שוב את הזרם במעגל ורואים כי הזרם השתנה ל- $3$  אמפר.
- א. מצא את הכא"מ וההתנגדות הפנימית של הסוללה.  
 ב. מצא את מתח ההדקים של הסוללה בכל אחד מהחיבורים.



#### (3) מעגל עם סוללה לא אידיאלית

- המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאליים, סוללה (לא אידיאלית) ומפסק. קריאת האמפרמטר נרשמה פעמיים, כאשר המפסק פתוח וכאשר המפסק סגור.
- אחת הקריאות הייתה  $1.5A$  והאחרת הייתה  $1.8A$ .
- א. האם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק/י!  
 ב. מה הוראת מד המתח בשני מצבי המפסק? פרטי/י חישוביך!  
 ג. חשבי/י את הכא"מ ואת ההתנגדות הפנימית של הסוללה  
 ד. מה היו מראים אותם שני מכשירי מדידה אילו היו מחברים את מד המתח במקום מד הזרם ולהפך? נמק!

### תשובות סופיות:

- (1) א.  $\varepsilon = 22V$       ב.  $V = 20V$
- (2) א.  $\varepsilon = 24V$ ,  $r = 21\Omega$       ב.  $V_1 = 20V$ ,  $V_2 = 18V$
- (3) א. ככל שההתנגדות השקולה נמוכה יותר, הזרם יהיה גבוה יותר.  
 לכן, הזרם הגבוה יהיה כאשר המפסק סגור.  
 ב. סגור:  $V_{AB} = 14.4V$ , פתוח:  $V_{AB} = 15V$ .  
 ג.  $\varepsilon = 18V$ ,  $r = 2\Omega$ .  
 ד. האמפרמטר:  $I = 9A$ , הוולטמטר:  $V = 0$ .

## נצילות במעגל החשמלי:

### שאלות:

#### (1) דוגמה נצילות

במעגל הבא נתונה התנגדות הנגד, התנגדות הנורה והמתח של

$$V = 5V, R_1 = 3\Omega, R_2 = 5\Omega$$

- מהו הזרם בנורה ומהו הזרם בסוללה?
- מהו ההספק המתפתח בנורה ומהו ההספק של הסוללה?
- מהי הנצילות של המעגל?
- מהו אחוז ההספק שהולך לאיבוד במעגל?

#### (2) מנוע של משאבה

מנוע של משאבה עובד במתח של 220V ובזרם של 10A.

- מהי כמות המים שניתן לשאוב במשך דקה מבאר בעומק 30m? הנח שהנצילות של המנוע היא 100 אחוז.
- חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 40 אחוז.

#### (3) מנוע של מכונית

למנוע של מכונית יש הספק מרבי של 100 כוח סוס. המכונית מתחילה לנסוע ממנוחה ומסתה 1 טון.

- מהי המהירות המרבית אליה יכולה להגיע המכונית לאחר 10 שניות? הנח שנצילות המנוע היא 100 אחוז ומצא את התשובה בקמ"ש.
- חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 30 אחוז.
- חזור על סעיף א' וב' ובדוק כמה חום נוצר במשך 10 השניות, ביחידות של קלוריות.

**תשובות סופיות:**

(1) א. בנורה:  $I = 1A$ , בסוללה:  $I = \frac{8}{3}A$ .

ב. בנורה:  $\rho = 5W$ , בסוללה:  $\rho = \frac{40}{3}W$ .

ג.  $\eta = 37.5\%$       ד.  $62.5\%$

(2) א.  $V = 440\text{Litter}$       ב.  $V = 176\text{Litter}$

(3) א.  $v \approx 139 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$       ב.  $v = 76.2 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$       ג.  $Q = 124,333\text{cal.}$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 30 - מכשירי מדידה

תוכן העניינים

1. גלונומטר ..... 296

2. גשר ווינסטון ..... (ללא ספר)

## גלוונומטר:

### שאלות:

#### 1 דוגמה 1

אמפרמטר מורכב מגלוונומטר בעל התנגדות של 60 אוהם ומיצד בעל התנגדות של 3 אוהם.

א. מהי התנגדות האמפרמטר?

ב. מהו הזרם המקסימאלי אותו יכול למדוד האמפרמטר אם הזרם המקסימאלי אותו יכול למדוד הגלוונומטר הוא 2mA?

#### 2 דוגמה 2

גלוונומטר מסוגל למדוד זרם מקסימלי של 5mA.

התנגדות הגלוונומטר היא 20 אוהם. התנגדות המיצד היא 0.5 אוהם.

א. מהו הזרם המקסימאלי הניתן למדידה באמפרמטר?

ב. מה צריכה להיות התנגדות המיצד על מנת שהזרם המקסימלי הנמדד באמפרמטר יהיה 505mA?

#### 3 דוגמה 3

נתון גלוונומטר שהתנגדותו 50 אוהם והזרם המקסימאלי בו הוא 2mA. איזה נגד יש לחבר לגלוונומטר בטור כדי להפוך אותו לוולטמטר היכול למדוד מתח מקסימאלי של 5V?

### תשובות סופיות:

$$\text{א. } R_T \approx 2.86\Omega \quad \text{ב. } I_{\max} = 42A \quad (1)$$

$$\text{א. } I_{\max} = 205mA \quad \text{ב. } R_S = 0.2\Omega \quad (2)$$

$$\text{ב. } R_S = 2450\Omega \quad (3)$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 31 - קבלים

תוכן העניינים

297	1. הרצאות ותרגילים
307	2. תרגילים נוספים

## הרצאות ותרגילים:

### רקע:

**קבל** הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען  
**קיבול** הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא  
 הנוסחה הבסיסית של קבל:

$$C = \frac{Q}{V}$$

C - הקיבול של הרכיב  
 V - המתח בין שני החלקים  
 Q - המטען על הלוח החיובי

יחידות הקיבול הן Farad

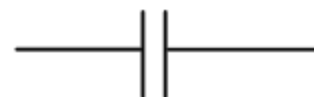
$$1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$$

סוגי קבלים נפוצים - קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי. בדרי"כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות)

הקיבול של קבל לוחות:  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$   
 A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.

תכונת הקיבול - הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו) לכן הוא תמיד קבוע במעגל.

סימון הקבל במעגל הוא



כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפוך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא יזרום זרם דרך הקבל. לכן נהוג לומר שלאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נתק במעגל.

חיבור קבלים במקביל:

תנאי- המתח על הקבלים שווה וזוהו למתח על הקבל השקול  
 נוסחה לקבל השקול:

$$C_T = C_1 + C_2$$

המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

חיבור קבלים בטור:

תנאי: המטען על כל הקבלים זהה

נוסחה לקבל השקול:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים

אנרגיה האגורה בקבל:

$$U_c = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$$W = QV = 2U_c$$

חומרים דיאלקטריים בקבל:

הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול

נוסחה לקבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:

$$C' = \epsilon_r C_0$$

במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד, ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.

טעינה של קבל:

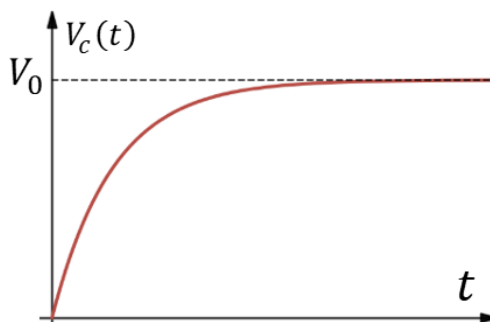
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

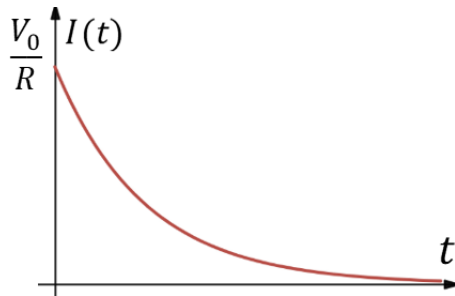
$$V_c(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$V_0$  - המתח של הסוללה

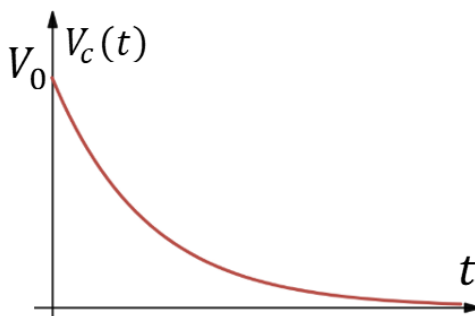
$R$  - התנגדות המעגל





הזרם כתלות בזמן:

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$



פריקה של קבל:

המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q_c(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$V_0$  - המתח ההתחלתי ( המטען ההתחלתי

$$(Q_0 = CV_0$$

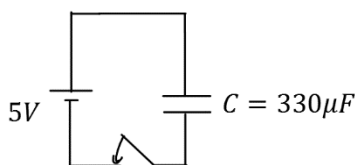
הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה

זמן אופייני  $\tau = RC$  נהוג להגיד שלאחר זמן של  $5\tau$  הקבל טעון/פרוק לגמרי

### שאלות:

#### (1) קבל ומקור דוגמה בסיסית

קבל בעל קיבול  $C = 330\mu F$  מחובר לסוללה במתח  $V = 5V$ . סוגרים את המפסק במעגל ומחכים זמן רב.



א. מה יהיה הזרם במעגל?

ב. מה יהיה המתח בין לוחות הקבל?

ג. מה יהיה המטען על הלוחות? ציין איפה יהיה המטען החיובי ואיפה השלילי.

ד. חזור על הסעיפים במקרה שבו מחובר גם נגד בטור במעגל

#### (2) מוציאים מטען מהקבל

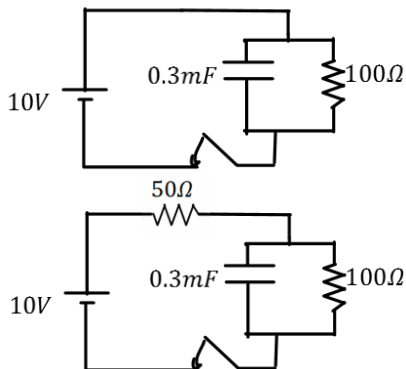
קבל טעון במטען של  $5\mu C$ . מד מתח שמחובר לקבל מראה קריאה של 3 וולט.

א. מצא את הקיבול של הקבל.

כעת מוציאים  $2\mu C$  מהמטען על הקבל (ו-  $2\mu C$  מהצד השלילי).

ב. מה יראה מד המתח?

**(3) קבל במקביל לנגד**

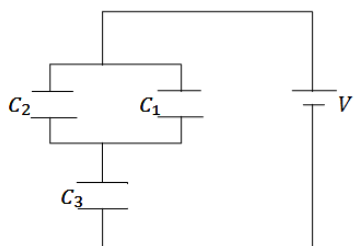


- במעגל הבא סוגרים את המפסק ומחכים זמן רב.  
 א. מצא את המתח והמטען על הקבל.  
 ב. האם יזרום זרם במעגל?  
 אם כן, מצא את גודלו וכיוונו.  
 ג. חזור על הסעיפים עבור המקרה בו יש נגד נוסף במערכת (ראה תרשים).

**(4) חישוב קיבול של קבל לוחות**

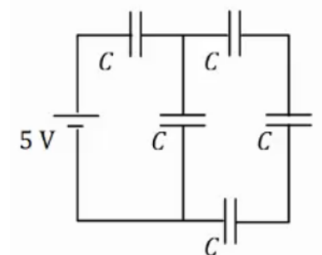
- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $2\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $0.3\text{mm}$ .  
 א. חשב את הקיבול של הקבל.  
 ב. מה יהיה המטען על הקבל אם נחבר אותו למקור מתח  $V = 3\text{V}$  (לאחר זמן רב)?

**(5) חיבור במקביל ובטור**



- במעגל הבא נתון מתח הסוללה  $V = 3\text{V}$  והקיבול של כל קבל:  $C_1 = 2\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 3\mu\text{F}$ ,  $C_3 = 5\mu\text{F}$ .  
 מצא את המטען על כל קבל.

**(6) חיבור 5 קבלים**



- במעגל הבא לכל הקבלים קיבול זהה  $C = 200\mu\text{F}$ . המתח של הסוללה הוא  $V = 5\text{V}$ .  
 א. מצא את הקיבול השקול של המעגל.  
 ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל זמן רב לאחר סגירת המעגל.

**(7) מרחיקים לוחות בקבל**

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $3\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $0.4\text{mm}$ .
- חשב את הקיבול של הקבל
  - מה יהיה המטען על הקבל אם נחבר אותו למקור מתח  $V = 3\text{V}$  (לאחר זמן רב).
  - כעת מנתקים את הקבל ממקור המתח ומגדלים את המרחק בין הלוחות פי 2.
    - מצא את הקיבול החדש.
    - מצא את המטען והמתח על הקבל החדש.
    - חזור על סעיפים ג' ו-ד', אם היינו מרחיקים את הלוחות מבלי לנתק את מקור המתח.

**(8) אנרגיה של קבל לוחות**

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $5\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $2\text{mm}$ .
- חשב את הקיבול של הקבל.
  - מחברים את הקבל לסוללה במתח 4 וולט.
  - מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?

**(9) מקרבים את הלוחות**

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $6\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $3\text{mm}$ .
- חשב את הקיבול של הקבל.
  - מחברים את הקבל לסוללה במתח 5 וולט.
  - מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?
  - מקרבים את הלוחות הקבל למרחק  $1\text{mm}$ .
    - מצא את האנרגיה החדשה אם הקבל מחובר לסוללה במשך כל התהליך. רשום גם את שינוי האנרגיה בקבל.
    - חזור על ג' עבור המקרה שבו מנתקים את הקבל מהסוללה לפני שמקרבים את הלוחות.

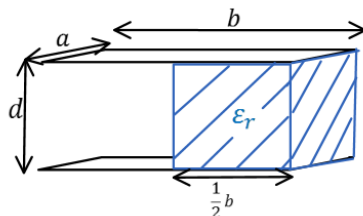
**(10) מכניסים חומר לקבל בשתי דרכים**

- קבל בעל קיבול של  $5\mu\text{F}$  מחובר למקור מתח של  $12\text{V}$ .
- חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור. מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי  $\epsilon_r = 1.2$  הממלא את כל הרווח בין לוחות הקבל.
    - בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך. חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב.
    - חשב את השינוי במטען ובאנרגיה בעקבות הכנסת החומר.
    - חזור על סעיף ב' אם מנתקים את הקבל מהמקור לפני שמכניסים את החומר הדיאלקטרי.

**11) מכניסים ומוציאים חומר מקבל**

קבל בעל קיבול של  $8\mu\text{F}$  מחובר למקור מתח של  $12\text{V}$ .

- א. חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור. מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי  $\epsilon_r = 1.4$  הממלא את כל הרווח בין לוחות הקבל.
- ב. בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך. חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב. כעת מנתקים את הקבל מהמקור ומוציאים את החומר הדיאלקטרי.
- ג. מה יהיה המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב?
- ד. חשב את שינוי האנרגיה בכל שלב בתהליך.

**12) קבל עם חצי ימין מלא**

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = a \times b$ , ומרחק  $d$  בין הלוחות.  $a = 3\text{cm}$ ,  $b = 4\text{cm}$ ,  $d = 2\text{mm}$ .

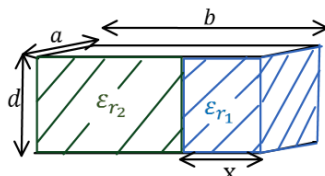
א. מצא את הקיבול של הקבל.

ממלאים את חציו הימני של הקבל בחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_r = 3$  וחציו השמאלי נשאר ריק (ראה איור).

ב. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ג. מחברים את הקבל למקור מתח  $V_0 = 5\text{V}$ .

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

**13) קבל עם חלק ימין שונה מחלק שמאל**

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = a \times b$ , ומרחק  $d$  בין הלוחות.  $a = 5\text{cm}$ ,  $b = 6\text{cm}$ ,  $d = 1\text{mm}$ .

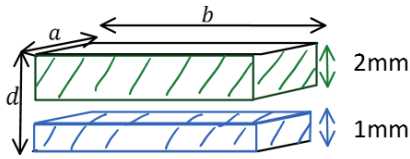
ממלאים את חלק של הקבל ברוחב  $x = 1\text{cm}$  בחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_{r1} = 4$ , ואת החלק הנותר

בחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_{r2} = 2$  (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח  $V_0 = 5\text{V}$ .

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

**14) קבל עם שלושה חלקים אחד מעל השני**

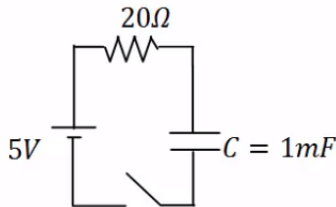
קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = a \times b$ , ומרחק  $d$  בין הלוחות.  $a = 5\text{cm}$ ,  $b = 6\text{cm}$ ,  $d = 4\text{mm}$ . ממלאים חלק של הקבל בגובה  $1\text{mm}$  ולכל הרוחב בחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_1 = 4$ .

את החלק מגובה  $2\text{mm}$  ועד הלוח העליון ממלאים בחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_2 = 2$  (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח  $V_0 = 5\text{V}$ .

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

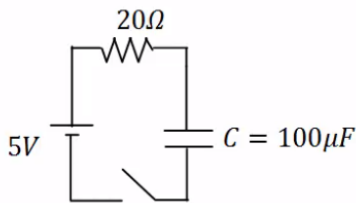
**15) טעינה**

במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא:  $C = 1\text{mF}$ , התנגדות הנגד היא:  $R = 20\Omega$  ומתח המקור הוא:  $V_0 = 5\text{V}$ . סוגרים את המפסק ב- $t = 0$ .

א. מהו המטען על הקבל לאחר  $0.01$  שניות?

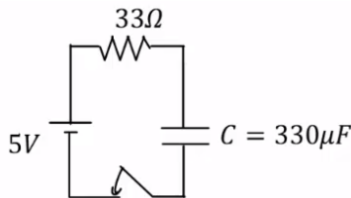
ב. המתח על הקבל באותו הרגע?

ג. מהם המטען והמתח על הקבל לאחר  $0.1$  שניות?

**16) זמן אופייני**

במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא:  $C = 100\mu\text{F}$ , התנגדות הנגד היא:  $R = 100\Omega$  ומתח המקור הוא:  $V_0 = 5\text{V}$ . סוגרים את המפסק ב- $t = 0$ .

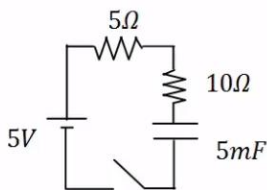
מהו המטען והמתח על הקבל לאחר  $0.3$  שניות?

**17) חישוב זרם**

במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא:  $C = 330\mu\text{F}$ , התנגדות הנגד היא:  $R = 33\Omega$  ומתח המקור הוא:  $V_0 = 5\text{V}$ . סוגרים את המפסק ב- $t = 0$ .

א. מהו הזרם במעגל ב- $t = 0.005\text{sec}$ ?

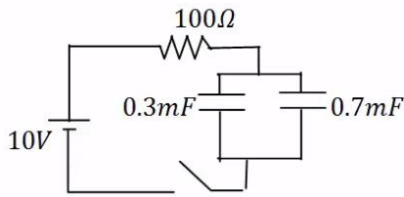
ב. מהו ההספק בנגד באותו הרגע?

**18) שני נגדים**

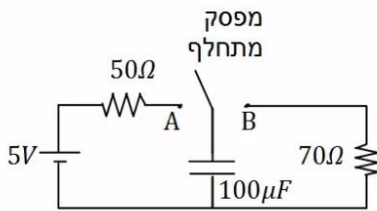
במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$ .

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והזרם בקבל בזמנים:  $t = 0.01, 0.6\text{sec}$ .

**19 שני קבלים**

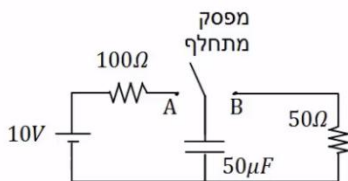
- במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$ .
- א. מהו הזמן האופייני במעגל?
- ב. מצא את המתח והמטען בכל קבל בזמנים:  $t = 0.2, 0.8 \text{ sec}$ .

**20 דוגמה מסכמת**

- במעגל הבא מחברים את המפסק המתחלף לנקודה A ומחכים זמן רב.
- א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן. מהו "זמן רב"?
- לאחר מכן מעבירים את המפסק לנקודה B.
- ב. רשום שוב את המתח על הקבל כתלות בזמן.

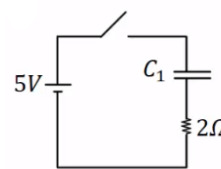
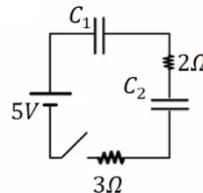
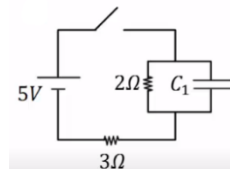
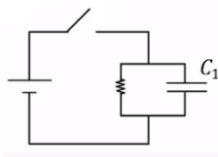
**21 מתג מתחלף**

- במעגל הבא מחברים ב- $t = 0$  את המפסק המתחלף לנקודה A.
- ב- $t = 0.01$  מעבירים את המפסק לנקודה B.
- א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.
- ב. מה המטען על הקבל ב- $t = 0.02$ ?
- ג. רשום את הזרם כתלות בזמן.
- ד. צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

**22 מציאת זרם במספר מעגלים**

מצא את הזרם, בכל נגד, במעגלים הבאים. ברגע סגירת המתג הנח שהקבלים אינם טעונים לפני הסגירה וכי הסוללה והחוטמים אידיאליים.

א. ב. ג. ד.



**23 קבלים במעגל בהתחלה ולאחר זמן רב**

נתוני הרכיבים במעגל הבא הם:

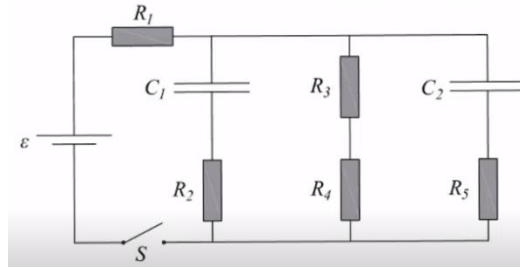
$$R_1 = 4\Omega, R_2 = 3\Omega, R_3 = 2\Omega, R_4 = 1\Omega, R_5 = 6\Omega, \varepsilon = 24V, C_1 = 2\mu F, C_2 = 4\mu F$$

לפני סגירת המפסק הקבלים אינם טעונים.

א. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל ברגע סגירת המפסק?

ב. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל זמן רב לאחר סגירת המפסק?

ג. מהו המטען על כל אחד מהקבלים זמן רב לאחר סגירת המפסק?


**תשובות סופיות:**

א.  $I = 0$       ב.  $|V_c| = 5V$       ג.  $1.65mc$       ד. ללא שינוי.      (1)

א.  $1.67\mu F$       ב.  $1.8V$       (2)

א.  $V_c = V_0 = 10V, Q = 3mc$       ב.  $I = 0.1A$       (3)

א.  $I = 0.067A, V_c = 6.7, Q = 2.01mc$       (4)

א.  $C \approx 5.9 \cdot 10^{-12} F$       ב.  $Q = 17.7pC$       (5)

א.  $q_1 = 3\mu C, q_2 = 4.5\mu C, q_3 = 7.5\mu C$       (6)

א.  $C_{T1} = \frac{C}{3}, C_{T2} = \frac{4C}{3}, C_T = 114\mu F$       (7)

א.  $q_1 = q_T = 571\mu C, q_2 = q_3 = q_4 = q_T = 143\mu C$       (8)

א.  $V_1 = 2.86V, V_5 = 2.14V, V_2 = V_3 = V_4 = 0.715V$       (9)

א.  $C = 6.64pF$       ב.  $Q = 19.9pc$       ג.  $C' = 3.32pF, V' = 6V, Q' = 19.9pc$       (10)

א.  $C' = 3.32pF$  (ג)      ב.  $V' = 3V, Q' = 9.96pc$  (ד)      (11)

א.  $C = 2.21pF$       ב.  $U_c = 17.68 \cdot 10^{-12} J$       (12)

א.  $C = 1.77pF$       ב.  $U_c = 22.13pJ$       ג.  $U_c' = 66.375, \Delta U = 44.245pJ$       (13)

א.  $U_c' \approx 7.38pJ, \Delta U = -14.76pJ$       (14)

א.  $V_c = 12V, Q = 60\mu C, U_c = 3.6 \cdot 10^{-4} J$       ב.  $C' = 6\mu F, U_c' = 432\mu J, Q' = 72\mu C$       (15)

א.  $\Delta Q = 12\mu C, \Delta U = 72\mu J$       ב.  $V' = 10V, U_c = 300\mu J$       (16)

א.  $V_c = 12V, Q = 96\mu F, U_c = 576\mu J$       ב.  $V_c' = 12V, Q' = 134.4\mu F, U_c' = 806.4\mu J$       (17)

א.  $V_c'' = 16.8V, Q'' = 134.4\mu F, U_c'' \approx 1129\mu J$       (18)

א.  $\Delta U \approx 323\mu J$       ב.  $\Delta U = 230.4\mu J$       ג.  $\Delta U \approx 323\mu J$       ד. במעבר מסעיף א' ל-ב':  $\Delta U = 230.4\mu J$ , במעבר מסעיף ב' ל-ג':  $\Delta U \approx 323\mu J$       (19)

$$U_c = 132.75 \mu\text{J} \quad \text{ג.} \quad C_T = 10.62 \text{pF} \quad \text{ב.} \quad C = 5.31 \text{pF} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$Q = 309.75 \mu\text{C}, U_c = 1548.75 \mu\text{J} \quad \text{ב.} \quad C_T = 61.95 \text{pF} \quad \text{א.} \quad (13)$$

$$q = 59 \cdot 10^{-9} \text{C}, U_c = 1.475 \cdot 10^{-7} \text{J} \quad \text{ב.} \quad C_T = 11.8 \text{pF} \quad \text{א.} \quad (14)$$

$$V_c = 1.97 \text{V} \quad \text{ב.} \quad q_c(t) \approx 1.97 \cdot 10^{-3} \text{C} \quad \text{א.} \quad (15)$$

$$q_c(t=0.1) = 4.97 \cdot 10^{-3} \text{C}, V_c = 4.97 \text{V} \quad \text{ג.}$$

$$q_c = 5 \cdot 10^{-4} \text{C}, V_c = V_0 = 5 \text{V} \quad (16)$$

$$P \approx 0.305 \text{W} \quad \text{ב.} \quad I(0.005) \approx 0.096 \text{A} \quad \text{א.} \quad (17)$$

$$\tau = 0.075 \text{sec} \quad \text{א.} \quad (18)$$

$$V_c(t=0.01) = 0.624 \text{V}, I(t=0.01) \approx 0.292 \text{A}, V_c(t=\infty) = 5 \text{V}, I(t=\infty) = 0 \quad \text{ב.}$$

$$\tau = 0.1 \text{sec} \quad \text{א.} \quad (19)$$

$$V_T(t=0.2) = 8.65 \text{V}, q_1(t=0.2) = 2.60 \cdot 10^{-3} \text{C}, q_2(t=0.2) = 6.01 \cdot 10^{-3} \text{C} \quad \text{ב.}$$

$$V_c(t) = 5 \cdot e^{-\frac{t}{7 \cdot 10^{-3}}} \quad \text{ב.} \quad V_c(t) = 5 \text{V} \left( 1 - e^{-\frac{t}{5 \cdot 10^{-3}}} \right) \quad \text{א.} \quad (20)$$

$$q_c(t=0.02) \approx 7.92 \cdot 10^{-6} \text{C} \quad \text{ב.} \quad V_c(t) = \begin{cases} 10 \left( 1 - e^{-\frac{t}{0.005}} \right) & 0 < t < 0.01 \\ 8.65 \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.01 < t \end{cases} \quad \text{א.} \quad (21)$$

$$\text{ד. ראה סרטון.} \quad I(t) = \begin{cases} \frac{10}{100} \cdot e^{-\frac{t}{0.005}} & 0 < t < 0.01 \\ \frac{8.65}{50} \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1 < t \end{cases} \quad \text{ג.}$$

$$I(t=0) = \infty \quad \text{ד.} \quad I = \frac{5}{3} \text{A} \quad \text{ג.} \quad I = 1 \text{A} \quad \text{ב.} \quad I(t=0) = 2.5 \text{A} \quad \text{א.} \quad (22)$$

$$I_T = I_1 \approx 4.62 \text{A}, I_2 \approx 1.85 \text{A}, I_{3,4} = 1.85 \text{A}, I_5 \approx 0.92 \text{A} \quad \text{א.} \quad (23)$$

$$q_1 \approx 20.58 \cdot 10^{-6} \text{C}, q_2 \approx 41.16 \cdot 10^{-6} \text{C} \quad \text{ג.} \quad I_{1,3,4} = 3.43 \text{A}, I_{2,5} = 0 \quad \text{ב.}$$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### תרגילים ברמה א':

#### (1) תרגיל 1 - מציאת מטען

מה המטען המצטבר על קבל של  $C = 30\mu\text{F}$  לאחר זמן רב, אם נחבר אותו למתח של  $10\text{V}$ ?

#### (2) תרגיל 2 - קבל לוחות

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = 4\text{cm}^2$ , שביניהם מרחק של  $d = 1\text{mm}$ .

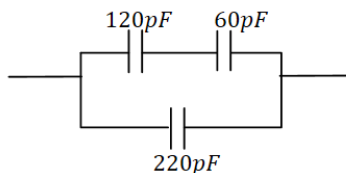
א. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות ריק?

ב. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות מלא בחומר דיאלקטרי אחיד בעל מקדם  $\epsilon_r = 2.5$ ?

ג. מצא את המטען על הקבל, עבור כל אחד מהמקרים בסעיפים הקודמים, אם מחברים את הקבל למקור מתח של  $5\text{V}$ .

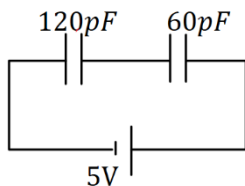
#### (3) תרגיל 3 - חיבור קבלים

מצא את הקיבול השקול של החיבור הבא.



#### (4) תרגיל 4 - חיבור קבלים

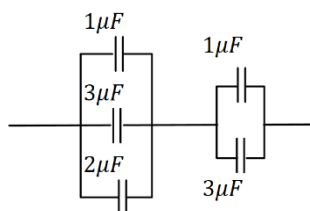
מה המטען והמתח על כל קבל במערכת הבאה (זמן רב לאחר חיבור הסוללה)? ציין איפה המטען החיובי והיכן המטען השלילי בכל קבל.

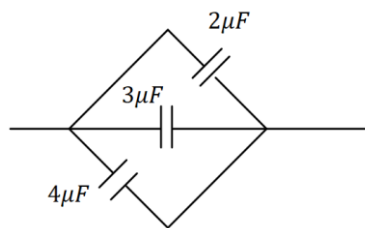


#### (5) תרגיל 5 - חיבור קבלים

נתונה מערכת הקבלים הבאה:

א. מצא את הקיבול השקול בין שני הקצוות של החוט.  
 ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של  $10\text{V}$ .

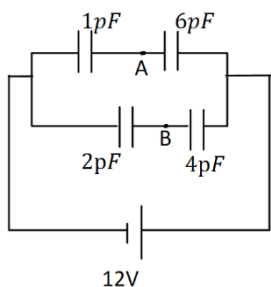




**6 תרגיל 6 - יהלום**

נתונה מערכת הקבלים הבאה :

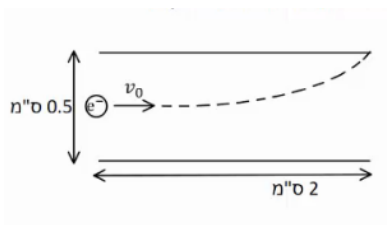
- א. מצא את הקיבול השקול במקרה הבא.
- ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של 10V.



**7 תרגיל 7 - חיבור קבלים ומציאת מתח**

במעגל הבא נתון הקיבול של כל קבל ומתח הסוללה :

- א. מצא את המתח על כל קבל והמטען על כל קבל. סמן על כל קבל היכן המטען החיובי.
- ב. מהו  $V_{AB}$  המתח בין הנקודות A ל-B?



**8 תרגיל 8 - אלקטרון נכנס לקבל לוחות**

קבל לוחות מורכב משני לוחות ריבועיים בעלי אורך צלע של 2 ס"מ ומרחק בין הלוחות של 0.5 ס"מ. אלקטרון נכנס במרכז הלוחות עם מהירות, המקבילה

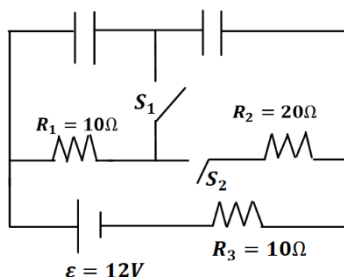
ללוחות, שגודלה  $v_0 = 10^7 \frac{m}{sec}$  (ראה איור).

האלקטרון פוגע בדיוק בקצה הלוח העליון.

א. חשב את השדה בין הלוחות (גודל וכיוון).

ב. חשב את המתח אליו מחובר הקבל.

**תרגילים ברמה ב' :**



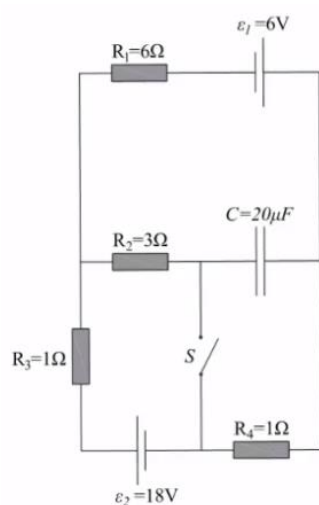
**9 תרגיל 1 - מעגלים חשמליים**

ענה על הסעיפים הבאים עבור המעגל שבציור, זמן רב לאחר סגירת או פתיחת המתגים.

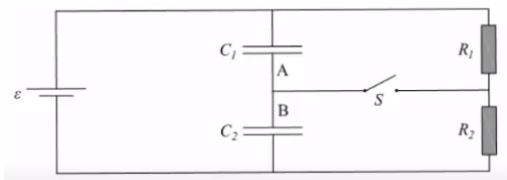
- א. מהו המתח והמטען על כל קבל, כאשר שני המפסקים פתוחים?
- ב. סוגרים את  $S_1$  .  $S_2$  פתוח. מהו המתח והמטען של כל קבל?
- ג. סוגרים את  $S_2$  ופותחים את  $S_1$  . מהו המתח על כל קבל?
- ד. הפעם שניהם סגורים. מהו המתח והמטען על כל קבל?

**10) תרגיל 2 - מעגלים חשמליים**

שני קבלים, האחד של  $10\mu\text{F}$  והשני של  $15\mu\text{F}$ , חוברו בנפרד למקורות מתח של  $6\text{V}$  ו- $8\text{V}$ , בהתאמה. לאחר מכן נותקו ממקורות המתח וחוברו זה לזה. א. מה יהיה המתח והמטען הסופי על כל קבל, אם הקבלים חוברו כאשר הדקים שווי סימן מחוברים זה לזה? ב. ללא קשר לסעיף א', מה יהיה המתח והמטען הסופי על כל קבל, אם הקבלים חוברו כאשר הדקים שונים מחוברים זה לזה.

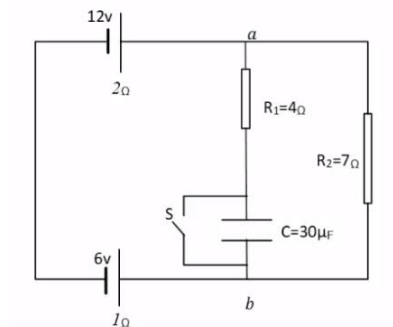
**11) תרגיל 3 - מעגלים חשמליים**

נתון המעגל החשמלי המופיע בתרשים. ההתנגדויות הפנימיות של מקורות המתח זניחות. כאשר המפסק S פתוח והמעגל במצבו היציב: א. מהו הזרם החשמלי העובר דרך כל אחד מהנגדים? ב. מהו המטען על לוחות הקבל? ג. מהו גודל המתח בין הדקי המפסק הפתוח? סוגרים את המפסק S ומחכים להתייצבות המערכת. ד. מהו הזרם החשמלי העובר דרך כל אחד מהנגדים? ה. מהו המטען על לוחות הקבל?

**12) תרגיל 4 - מעגלים חשמליים**

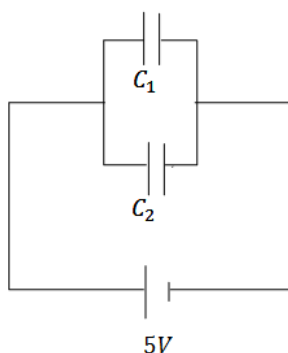
נתונים שני קבלי לוחות  $C_1$  ו- $C_2$ , ששטח כל לוח הוא  $0.02\text{m}^2$ . המרחק בין לוחות קבל  $C_1$  הוא  $1\text{mm}$  והמרחק בין לוחות קבל  $C_2$  הוא  $3\text{mm}$ .

א. חשבו את הקיבול של כל אחד מהקבלים. חיברו את שני הקבלים למעגל הנתון בשרטוט. נתון:  $\varepsilon = 12\text{V}$ ,  $R_2 = 10\Omega$ ,  $R_1 = 5\Omega$ . פתור את כל הסעיפים לאחר זמן רב. ב. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים כאשר המספר S פתוח? ג. כאשר המפסק S סגור, מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים? ד. מהו סכום המטען שהצטבר על שני הלוחות A ו-B?

**13) תרגיל 5 - מעגלים חשמליים (עם מקור לא אידיאלי)**


נתון המעגל החשמלי שבאיור, לכל מקור יש התנגדות פנימית המצוינת מתחת לסימון המקור. כאשר המפסק סגור.

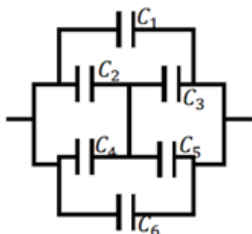
- מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
- מהו המתח בין הנקודות  $a$  ו- $b$ ?
- מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
- מהו המטען על לוחות הקבל, וכמה אנרגיה אגורה בו?


**14) תרגיל 6 - שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי**

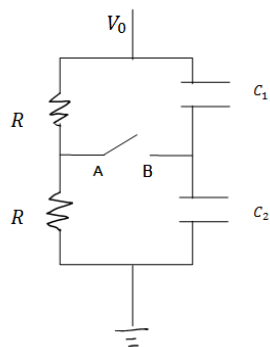
במעגל הבא קיבול הקבלים הוא:  $C_1 = 3\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2\mu\text{F}$ , והמתח בסוללה הוא 5V. לאחר שהקבלים נטענים מנתקים את המקור ומחליפים אותו בקבל של  $C_3 = 5\mu\text{F}$ . מצא את המטען המתח והאנרגיה של הקבל החדש, לאחר שהמערכת מתייצבת.

**15) תרגיל 7 - מרחיקים לוחות בקבל לוחות**

- קבל לוחות בעל אורך צלע  $a = 2\text{cm}$  ומרחק בין הלוחות  $d = 1\text{mm}$ , נטען ע"י סוללה במתח 3V. אחרי שהקבל נטען במלואו מנתקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק  $3d$ .
- מצא את הפרש הפוטנציאל החדש על הקבל.
  - מצא את האנרגיה ההתחלתית והסופית האגורה בקבל.
  - מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.

**16) תרגיל 8 - חיבור קונפיגורציית קבלים**


נתונה מערכת קבלים המחוברים על פי השרטוט. מצא את הקיבול השקול של המערכת.

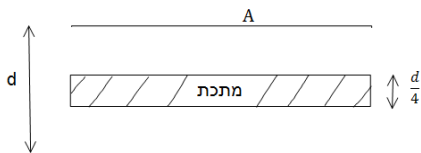


**17) תרגיל 9 - קבלים עם מפסק**

במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע, ונתון  $V_0$  הקצה התחתון מוארק.  
נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזזה של הנגדים.  
א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין הנקודה A לנקודה B.  
ב. סוגרים את המפסק AB. כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת התייצבה?

**18) תרגיל 10 - קבל עם פיסת מתכת**

קבל לוחות מחובר למקור מתח  $V$ . שטח כל לוח בקבל הוא  $A$ , והמרחק בין הלוחות הוא  $d$  ( $d \ll \sqrt{A}$ ).



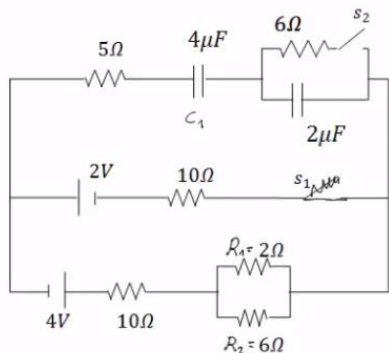
א. מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.

ב. כעת מכניסים לקבל פיסת מתכת בעובי  $\frac{d}{4}$

עם שטח  $A$  ממרכז הקבל. חזור על סעיף א.

ג. כעת מוציאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את מקור המתח. לאחר הניתוק מכניסים את המתכת חזרה פעם שניה. חזור על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').

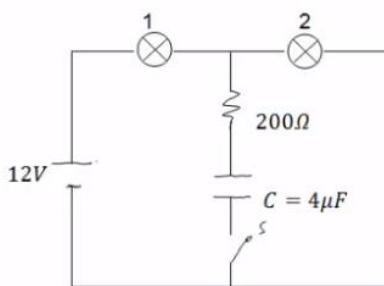
**19) תרגיל 11**



חשב את כל הזרמים במעגל ואת המטען על כל קבל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

- א.  $S_1$  פתוח ו- $S_2$  סגור.
- ב.  $S_2$  פתוח ו- $S_1$  סגור.
- ג. שני המפסקים סגורים.

**20) תרגיל 12 - שתי נורות**



במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של 10V הוא 0.5W. ההספק של נורה מס' 2 באותו המתח הוא 0.4W. התנגדות הנגד היא 200Ω.  
א. חשב את התנגדות המתח וההספק החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.  
ב. חשב את המתח על הקבל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.

## תשובות סופיות:

$$Q = 0.3\text{mF} \quad (1)$$

$$Q_A = 17.7\text{pc}, Q_B = 44.25\text{pc} \quad \text{ג.} \quad C' = 8.85\text{pF} \quad \text{ב.} \quad C = 3.54\text{pF} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$C_T = 260\text{pF} \quad (3)$$

$$Q_1 = Q_2 = 200\text{pc}, V_{C_1} = 1.67\text{V}, V_{C_2} = 3.33\text{V} \quad (4)$$

$$C_T = 2.4\mu\text{F} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$V_{4,5} = 6\text{V}, V_{1,2,3} = 4\text{V}, Q_1 = 4\mu\text{C}, Q_2 = 12\mu\text{C}, Q_3 = 8\mu\text{C}, Q_4 = 6\mu\text{C}, Q_5 = 18\mu\text{C} \quad \text{ב.}$$

$$V_T = 10\text{V}, Q_1 = 20\mu\text{C}, Q_2 = 30\mu\text{C}, Q_3 = 40\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad C_T = 9\mu\text{F} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$Q_{1,2} = 10.29\mu\text{C}, Q_{3,4} = 16\mu\text{C}, V_1 = 10.29\text{V}, V_2 = 1.71\text{V}, V_3 = 8\text{V}, V_4 = 4\text{V} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$V_{AB} = -2.28\text{V} \quad \text{ב.}$$

$$V \approx 35.5\text{V} \quad \text{ב.} \quad \vec{E} \approx -7.12 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{y} \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$V_{C_2} = 0, V_{C_1} = 12\text{V}, Q_1 = 36\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad Q_1 = Q_2 = 24\mu\text{C}, V_1 = 8\text{V}, V_2 = 4\text{V} \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$Q_{1,2} = 18\mu\text{C}, V_1 = 6\text{V}, V_2 = 3\text{V} \quad \text{ג.}$$

$$V_{C_1} = 6\text{V}, Q_{C_1} = 18\mu\text{C}, V_{C_2} = 3\text{V}, Q_2 = 18\mu\text{C} \quad \text{ד.}$$

$$q_2 = 36\mu\text{C}, q_1 = 24\mu\text{C}, V_1 = V_2 = 2.4\text{V} \quad \text{ב.} \quad q_2 = 108\mu\text{C}, q_1 = 72\mu\text{C}, V_1 = V_2 = 10.8\text{V} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$|V_s| = 15\text{V} \quad \text{ג.} \quad q_c = 240\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad I = 3\text{A} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$q = 40.4\mu\text{C} \quad \text{ה.} \quad I_1 = 2.52\text{A}, I_2 = -3.87\text{A}, I_3 = 6.39\text{A} \quad \text{ד.}$$

$$I = 0.8\text{A} \quad \text{ג.} \quad I = 0.8\text{A} \quad \text{ב.} \quad C_1 = 1.77 \cdot 10^{-10}\text{F}, C_2 = 0.59 \cdot 10^{-10}\text{F} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$q_1 = 7.08 \cdot 10^{-10}\text{C}, q_2 = 4.72 \cdot 10^{-10}\text{C} \quad \text{ד.}$$

$$V_{ab} = 2.756\text{V} \quad \text{ב.} \quad I_1 = 0.689\text{A}, I_2 = 0.393\text{A} \quad \text{א.} \quad (13)$$

$$q = 1.26 \cdot 10^{-4}\text{C} \quad \text{ד.} \quad I_1 = 0, I = 0.6\text{A} \quad \text{מטה,} \quad \text{ג.}$$

$$q'_3 = 12.5\mu\text{C}, V'_3 = 2.5\text{V}, U = 15.625\text{J} \quad (14)$$

$$U_{c_1} = 15.93 \cdot 10^{-12}\text{J}, U_{c_f} = 47.79 \cdot 10^{-12}\text{J} \quad \text{ב.} \quad V' = 9\text{V} \quad \text{א.} \quad (15)$$

$$|W| = 31.86 \cdot 10^{-12}\text{J} \quad \text{ג.}$$

$$C_T = C_1 + C_6 + C_{2,3,4,5} \quad (16)$$

$$q_1 = \frac{C_1 V_0}{2}, q_2 = \frac{C_2 V_0}{2}, \Delta q = \frac{V_0}{2} (C_2 - C_1) \quad \text{ב.} \quad V_{AB} = \frac{V_0}{2} - \frac{V_0 C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{א.} \quad (17)$$

$$q = CV = \frac{\epsilon_0 A}{d} V, E = \frac{V}{d}, U = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} V^2 \quad \text{א. (18)}$$

$$q_1 = q_2 = \frac{4\epsilon_0 AV}{3d}, E_1 = E_2 = \frac{4V}{3d}, U = \frac{1}{2} C_T V^2 = \frac{2\epsilon_0 A}{3d} V^2 \quad \text{ב.}$$

$$E_1 = E_2 = \frac{V}{d}, U = \frac{3\epsilon_0 AV^2}{8d} \quad \text{ג.}$$

$$\frac{136}{129} \mu\text{C} \quad \text{ג.}$$

$$\frac{12}{43} \text{A} \quad \text{ב.}$$

$$16 \mu\text{F} \quad \text{א. (19)}$$

$$R_1 = 200 \Omega, R_2 = 250 \Omega, V_1 = 5.34 \text{V}, V_2 = 6.68 \text{V}, P_1 = 0.143 \text{W}, P_2 = 0.178 \text{W} \quad \text{א. (20)}$$

$$V_C = 6.68 \text{V} \quad \text{ב.}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 32 - הכוח המגנטי (חוק לורנץ)

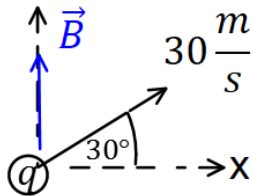
תוכן העניינים

1. הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה ..... 314
2. יישומים של הכוח המגנטי ..... (ללא ספר)
3. כוח על תיל נושא זרם ובין תילים ..... 316
4. סיכום ..... (ללא ספר)
5. תרגילים נוספים ..... 318

## הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה:

שאלות:

**(1) דוגמה 1**



מטען  $q = 2c$  נע במהירות  $v = 30 \frac{m}{sec}$  בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה- $x$  החיובי.

במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד  $\vec{B} = 4T \hat{y}$ . מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

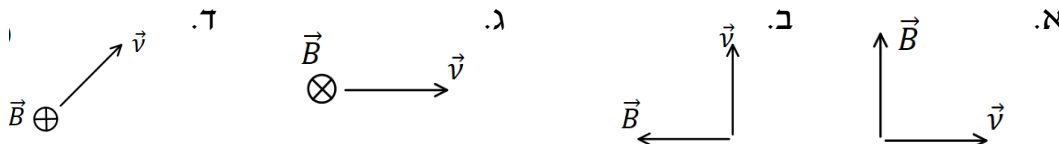
**(2) דוגמה 2**

מטען  $q = 3c$  נע במהירות  $\vec{v} = 2 \frac{m}{sec} \hat{x} + 4 \frac{m}{sec} \hat{y}$

במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד  $\vec{B} = 5T \hat{y}$ . מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

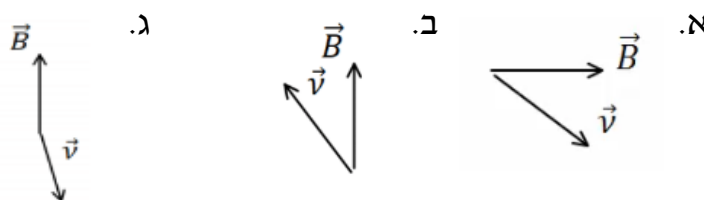
**(3) דוגמה 3**

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

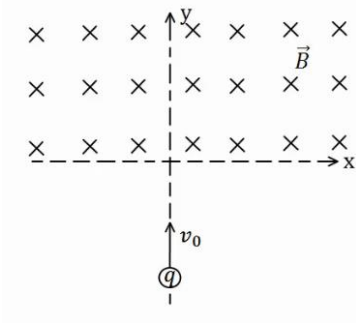


**(4) דוגמה 4**

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:



**5 דוגמה (5)**



מטען  $q = 4c$  נע מ- $y = -\infty$  לאורך הכיוון החיובי של ציר ה- $y$ . בכל התחום  $y > 0$  קיים שדה מגנטי אחיד  $B = 5T$  לתוך הדף. מסת המטען היא  $m = 10gr$  ומהירותו

היא  $v_0 = 20 \frac{m}{sec}$ .

א. שרטט את תנועת המטען.

ב. מצא את המיקום בו יצא המטען מהתחום בו נמצא השדה המגנטי.

**תשובות סופיות:**

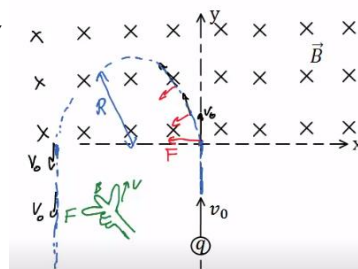
(1)  $F_B \approx 207.8N$

(2)  $F_B = 30N$

(3) א.  $\vec{F} \odot$     ב.  $\vec{F} \odot$     ג.  $\vec{F} \uparrow$     ד.  $\vec{F} \swarrow$

(4) א.  $\vec{F} \odot$     ב.  $\vec{F} \otimes$     ג.  $\vec{F} \odot$

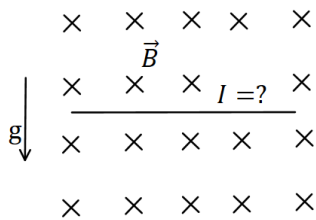
(5) א.  $x = -2cm, y = 0$     ב.



## כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים:

### שאלות:

#### (1) דוגמה 7

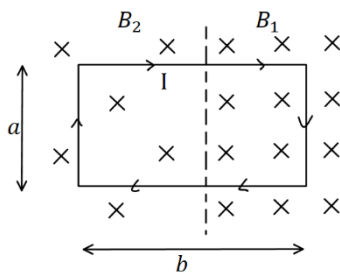


תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד  $B = 10^{-2} \text{T}$  לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך

היא  $\lambda = 20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}}$ .

מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל, כך שהתיל ירחף באוויר.

#### (2) דוגמה 8



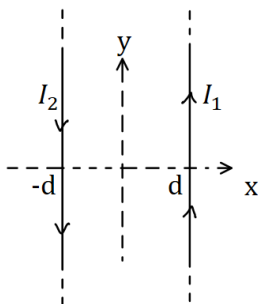
מסגרת מלבנית בעל צלעות  $a, b$  נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף. גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.

המסגרת מונחת כך, שחלק מהמסגרת נמצא בשדה  $B_1 = 4 \text{T}$ , והחלק השני נמצא בשדה  $B_2 = 3 \text{T}$ .

במסגרת זורם זרם  $I = 2 \text{A}$  עם כיוון השעון.

מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת ( $a = 0.5 \text{m}$ ).

#### (3) דוגמה 9



תיל ארוך מאוד מונח במקביל לציר ה- $y$  וב- $x = d$ . בתיל זורם זרם  $I_1 = 1 \text{A}$  בכיוון.

תיל ארוך נוסף מונח גם כן במקביל לציר ה- $y$  וב- $x = -d$ .

הזרם בתיל זה הוא  $I_2 = 2 \text{A}$  בכיוון הפוך לציר ה- $y$ .

מהו הכוח ליחידת אורך על כל תיל, אם  $d = 20 \text{cm}$ ?

#### (4) דוגמה 10

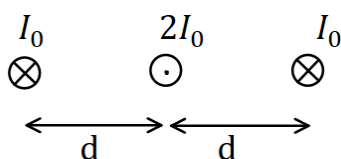
שלושה תיילים אינסופיים מונחים במקביל, כמתואר באיור.

המרחקים בין התיילים קבועים ושווים ל- $d$ .

הזרם בתיל האמצעי הוא  $2I_0$  החוצה מהדף,

והזרם בתיילים האחרים הוא  $I_0$  לתוך הדף.

מהו הכוח על כל תיל?



### תשובות סופיות:

$$(1) \text{ כיוון: ימינה, גודל: } I = 2 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$(2) \sum F = 1 \text{ N, ימינה.}$$

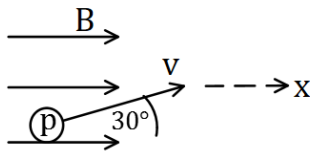
$$(3) F_1 = 10^{-6} \hat{x}, F_2 = -10^{-6} \hat{x}$$

$$(4) \sum F_1 = \frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}, \sum F_2 = 0, \sum F_3 = -\frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}$$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1



פרוטון נכנס לאזור בו ישנו שדה מגנטי אחיד שעוצמתו  $10T$  בכיוון ציר ה- $x$ . מהירות הפרוטון היא  $10^6 \frac{m}{sec}$  וכיוונה בזווית  $30$  מעלות ביחס לשדה.

א. מהו גודל וכיוון הכוח הפועל על הפרוטון?

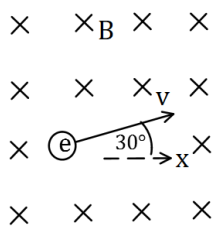
ב. מהי תאוצת הפרוטון?

נתון:  $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} c$ ,  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$

#### (2) תרגיל 2

אלקטרון נמצא בשדה מגנטי אחיד שגודלו  $5T$  וכיוונו לתוך הדף.

לאלקטרון מהירות  $v_0 = 10^5 \frac{m}{sec}$  בכיוון  $30$  מעלות ביחס לציר ה- $x$ .



א. מהו הכוח הפועל על האלקטרון (גודל וכיוון)?

ב. צייר את תנועת האלקטרון בשדה.

מהו רדיוס הסיבוב?

נתון:  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} c$ ,  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$

#### (3) תיל תלוי על שני קפיצים-ביולוגיה תא

תחל מוליך נושא זרם תלוי לאורך ציר  $x$  על

ידי שני תילים דקים ושני קפיצים זהים.

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד לתוך הדף.

אורך התיל המוליך הוא  $0.4m$  ומסתו

היא  $0.03kg$ . גודל השדה המגנטי הוא  $B = 0.2T$

וקבוע הקפיץ הוא  $k = 10 \frac{N}{m}$ , ניתן להזניח את השדות שיוצרים התילים

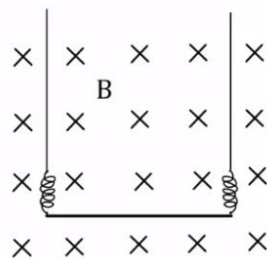
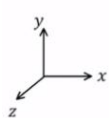
האנכיים ואת הכוחות שהם מפעילים על התיל האופקי.

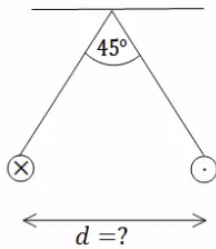
א. מהו גודל וכיוון הזרם בתיל אם ידוע שהתיל בשיווי משקל כאשר

הקפיצים רפויים (לא מפעילים כוח)?

ב. בכמה יתארכו הקפיצים אם יהפכו את הזרם בתיל? תזכורת: גודל הכוח

שמפעיל קפיץ הוא  $F = k\Delta l$  כאשר  $\Delta l$  היא ההתארכות של הקפיץ מהמצב הרפוי.



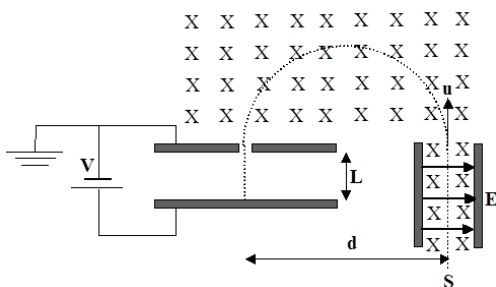


**(4) שני תילים תלויים**

שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקרה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע. בתילים זרם של 100 אמפר בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת

$$\mu = 2 \frac{gr}{m}$$

אורך היא מצא את המרחק בין התילים.



**(5) בורר מהירויות ומתח עצירה**

חלקיקים, בעלי מטען +q ומסה m, נפלטים ממקור S במהירויות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל. בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד  $\vec{E}$  שכיוונו ימינה, ושדה מגנטי אחיד  $\vec{B}$  המכוון אל תוך הדף, כמו בתרשים.

השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל. במרחק d מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל נמצא נקב קטן, דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני, אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקבל השני מופעל מתח עצירה V. ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו L. ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על חלקיקים.

נתונים:  $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$ .

- א. באיזו מהירות u יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?
- ב. מהו המרחק d (ראה ציור)?
- ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?
- ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V, המופעל על הקבל השני, כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?
- ה. מחברים את הקבל השני לסוללה, שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

### תשובות סופיות:

(1) א.  $F = 8 \cdot 10^{-13} \text{ N}$ , כיוון: לתוך הדף. ב.  $a = 4.79 \cdot 10^{14} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

(2) א.  $F = 8 \cdot 10^{-11} \text{ N}$ , כיוון  $60^\circ$  מתחת לציר ה-x. ב.  $R = 1.14 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

(3) א.  $I = 3.75 \text{ A}$ , כיוון: חיובי של ציר x. ב.  $\Delta l = 0.03 \text{ m}$

(4)  $d = 0.241 \text{ m}$

(5) א.  $u = \frac{E}{B}$  ב.  $d = \frac{2mE}{qB^2}$  ג.  $t = \frac{\pi}{qB} \text{ m}$  ד.  $V = \frac{mE^2}{2qB^2}$  ה.  $t = \frac{BL}{E}$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 33 - השדה המגנטי

תוכן העניינים

- 321 ..... 1. הסברים ודוגמאות.....
- 323 ..... 2. סיכום ותרגילים נוספים.....

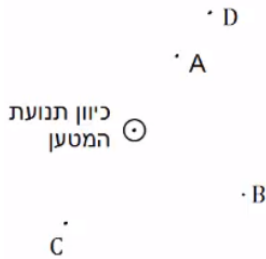
## הסברים ודוגמאות:

### שאלות:

**1 דוגמה (1)**

מטען נע מהדף אלינו.

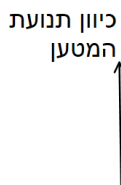
צייר את כיוון השדה המגנטי בנקודות: A, B, C, D.



**2 דוגמה (2)**

מטען נע במישור הדף כלפי מעלה.

מה כיוון השדה המגנטי שיוצר המטען משני הצדדים של הקו עליו נע המטען?



**3 דוגמה 3 - שדה בפינת משולש (3)**

במערכת הבאה ישנם שני תיילים אינסופיים

הנושאים זרם  $I_0 = 2A$ .

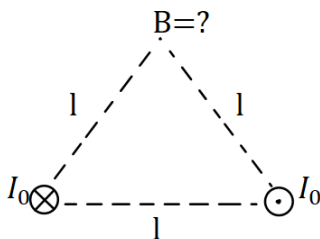
התיילים מונחים בקודקודי הבסיס של משולש

שווה צלעות בעל אורך צלע  $l = 20\text{cm}$ .

התיילים מונחים במקביל כך שבאחד הזרם

נכנס לתוך הדף ובשני יוצא מן הדף.

חשב את השדה המגנטי בקודקוד השלישי של המשולש (גודל וכיוון).



**4 דוגמה 4 - שדה במרכז ריבוע (4)**

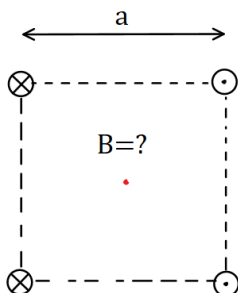
במערכת הבאה ישנם ארבעה תיילים אינסופיים

בפינותיו של ריבוע בעל אורך צלע  $a = 10\text{cm}$ .

גודל הזרם בכל התיילים זהה ושווה ל- $3A$ .

כיוון הזרם מתואר באיור.

מהו השדה המגנטי במרכז הריבוע?

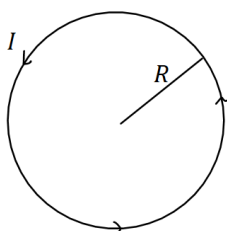


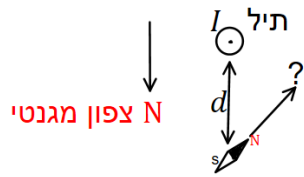
**5 דוגמה 5 - שדה במרכז טבעת (5)**

מצא את גודל וכיוון השדה המגנטי במרכז הטבעת שבאיור.

רדיוס הטבעת הוא  $R = 5\text{cm}$  והזרם בה הוא  $I = 0.2A$ .

בכיוון השעון.





**6) דוגמה 6 - שדה של תיל וכדה"א**

תיל ארוך מונח במאונך לפני כדור הארץ

ונושא זרם  $I = 5A$  במרחק  $d = 5c. m$ .

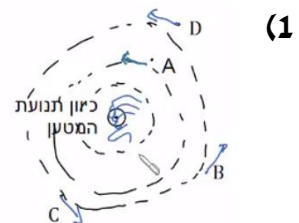
מהתיל לכיוון הצפון המגנטי של כדור הארץ נמצא מצפן,

המוחזק אופקית לכדור הארץ.

מצא את הכיוון אליו תצביע המחט.

(רכיב השדה המגנטי המקביל לפני כדה"א הוא :  $B_t = 2.9 \cdot 10^{-5} T$ ).

**תשובות סופיות:**



(2) מצד ימין השדה נכנס, מצד שמאל השדה יוצא.

(3)  $\vec{B} = -2 \cdot 10^{-6} \hat{y}$

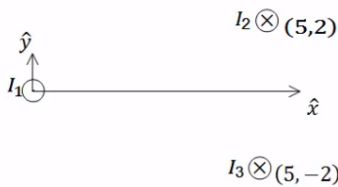
(4)  $\vec{B} = -24.24 \cdot 10^{-6} T \hat{y}$

(5)  $B = 8\pi \cdot 10^{-7} T$

(6)  $\theta \approx 55.4^\circ$

## סיכום ותרגילים נוספים:

### שאלות:



#### (1) שדה של שלושה תילים אינסופיים

שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- $z$

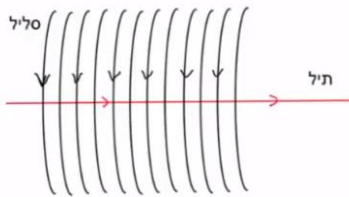
מונחים במיקומים הבאים:  $\vec{r}_1(0,0)$ ,  $\vec{r}_2(5,2)$ ,  $\vec{r}_3(5,-2)$

הזרמים בתילים הם:  $I_1 = 3A$  החוצה מהדף,  $I_2 = 5A$

לתוך הדף,  $I_3 = 4A$  גם כן לתוך הדף.

מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה- $x$  מתאפס

הרכיב של השדה המגנטי בכיוון  $y$ ?



#### (2) תיל בתוך סליל

סליל ארוך מאוד מונח כך שהציר המרכזי שלו

לאורך ציר  $z$ . צפיפות הליפופים בסליל היא 15

ליפופים לס"מ והזרם בו הוא 2.5mA.

מניחים תיל ארוך מאוד בתוך הסליל ולאורך

הציר המרכזי. הזרם בתיל הוא 0.8A.

כיווני הזרמים מתוארים בתרשים.

א. מהו המרחק הרדיאלי מהציר בו השדה המגנטי שנוצר יהיה בזווית 30

מעלות עם ציר ה- $z$ ?

ב. מהו גודלו של השדה בנקודה זו?

### תשובות סופיות:

(1)  $x_1 = -2.76$ ,  $x_2 = 5.26$

(2) א.  $r = 5.9\text{cm}$ . ב.  $B_T \approx 5.4 \cdot 10^{-6}\text{T}$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 34 - חוק פארדיי

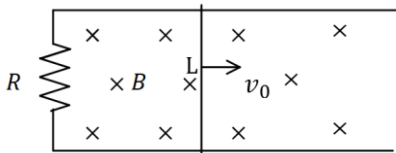
תוכן העניינים

324 ..... 1. הרצאות ותרגילים

## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:

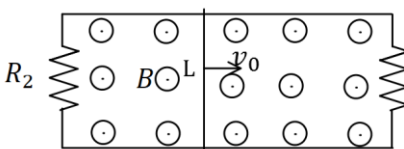
#### (1) מוט נע על מסילה



מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן. בקצה המסילה ישנו נגד  $R$ . מהירות המוט היא  $v_0$  ואורכו  $L$ . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף  $B$ .

- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- מהו הכוח המגנטי הפועל על המוט?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

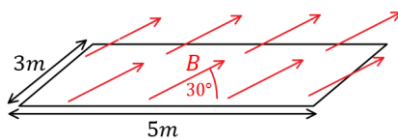
#### (2) המסילה מחוברת משני הצדדים



מוט מוליך נע על מסילה, העשויה ממוליכים גם כן. בשני קצוות המסילה ישנם נגדים:  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ . מהירות המוט היא:  $v_0 = 5 \frac{m}{sec}$  ואורכו:  $L = 20cm$ . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד החוצה מהדף  $B = 1T$ .

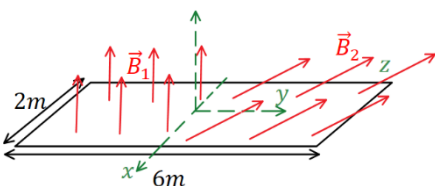
- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בכל נגד ובמוט (גודל וכיוון)?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

#### (3) חישוב שטף אחיד



באיור הבא נתון כי השדה המגנטי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד). גודלו הוא  $B = 2T$  והזווית בינו למשטח היא  $30^\circ$ . אורך המשטח הוא  $5m$  ורוחבו הוא  $3m$ . מצא מהו השטף דרך המשטח.

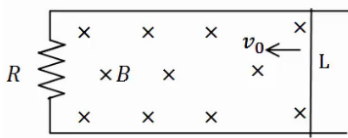
#### (4) חישוב שטף מפוצל



באיור הבא נתון משטח המונח על מישור  $xy$ . אורך המשטח הוא  $6m$  ורוחבו הוא  $2m$ . השדה המגנטי בחציו השמאלי של המשטח הוא:  $\vec{B}_1 = 2T\hat{y}$ , שדה אחיד. בחציו הימני של המשטח השדה הוא:  $\vec{B}_2 = 7T\hat{y} + 3T\hat{z}$ . מצא מהו השטף דרך המשטח.

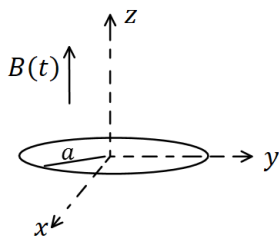
**(5) עוד מוט ומסילה**

מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן. בקצה המסילה ישנו נגד  $R$ , מהירות המוט היא  $v_0$  ואורכו  $L$ . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף  $B$ .



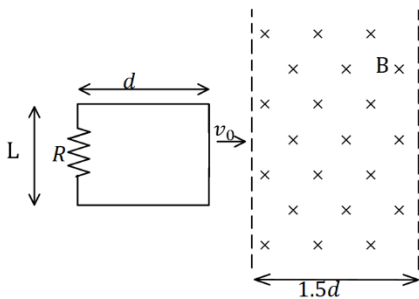
- א. מהו הכא"מ במעגל לפי חוק פארדיי (גודל וכיוון)?
- ב. מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- ג. חשב את הכא"מ לפי הנוסחה של כא"מ במוט ומצא את כיוון הזרם. הראה שהתוצאה זהה.

**(6) טבעת ושדה משתנה בזמן**



- טבעת עשויה מחומר מוליך מונחת על מישור  $xy$ . רדיוס הטבעת הוא  $a$  והתנגדותה הכוללת  $R$ . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד בכיוון  $z$ , המשתנה בזמן לפי הנוסחה  $B(t) = \alpha t$  כאשר  $\alpha$  קבועה.
- א. מצא את הכא"מ בטבעת.
- ב. מהו הזרם בטבעת גודל וכיוון.

**(7) מסגרת נכנסת לשדה**



מסגרת מלבנית בעלת אורך  $d$  ורוחב  $L$ , נעה במהירות קבועה  $v_0$ , לכיוון אזור בו שורר שדה מגנטי אחיד  $B$ . אורך האזור הוא  $1.5d$  ורוחבו ארוך מאוד. למסגרת התנגדות כוללת  $R$ . הנח כי ב- $t = 0$  הצלע הימנית של המסגרת נכנסת לאזור עם השדה.

- א. מצא את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).
- ב. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון(כתלות בזמן).
- ג. מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת, על מנת שתנוע במהירות קבועה.
- ד. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad \varepsilon = BLv_0 \quad \text{א.} \quad \text{ב. נגד כיוון השעון,} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad F = \frac{B^2L^2v_0}{R}$$

$$F = \frac{B^2L^2v_0}{R} \quad \text{ד.}$$

$$(2) \quad \varepsilon = 1V \quad \text{א.} \quad \text{ב.} \quad I_1 = 0.5A, I_2 = \frac{1}{3}A, I_3 = \frac{5}{6}A \quad \text{ג.} \quad F = \frac{1}{6}N$$

$$\phi_B = 15T \cdot m^2 \quad (3)$$

$$\phi_B = 30T \cdot m^2 \quad (4)$$

$$(5) \quad \text{א. עם כיוון השעון,} \quad |\varepsilon| = |BLv_0| \quad \text{ב.} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad \varepsilon = BLv_0$$

$$(6) \quad \text{א.} \quad |\varepsilon| = \alpha\pi a^2 \quad \text{ב.} \quad I = \frac{\alpha\pi a^2}{R}$$

$$(7) \quad \varepsilon = \begin{cases} -BLv_0 & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ BLv_0 & 1.5d < x < 2.5d \end{cases}$$

$$I = \begin{cases} \frac{BLv_0}{R} \text{ anticlockwise} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{BLv_0}{R} \text{ clockwise} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases}$$

$$P = I^2R = \begin{cases} \frac{B^2L^2v_0}{R} \\ \frac{B^2L^2v_0}{R^2} \end{cases} \quad \text{ד.}$$

$$\vec{F} = \begin{cases} \frac{B^2L^2v_0}{R} \hat{x} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{B^2L^2v_0}{R} \hat{x} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ה.}$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 35 - מומנט דיפול מגנטי

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים ..... 327

## הסברים ותרגילים:

**רקע:**

דיפול מגנטי הוא לולאת זרם סגורה.

**מומנט הדיפול המגנטי:**

$$\vec{\mu} = I\vec{A}$$

I - הזרם בלולאה

$\vec{A}$  - השטח הסגור על-ידי הלולאה. כיוונו במאונך למשטח ובהתאם לכלל יד ימין של הזרם.

מומנט הדיפול מסומן לעיתים גם באות m.

**השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדיי הדיפול:**

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 [3(\vec{\mu} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{\mu}]}{4\pi r^3}$$

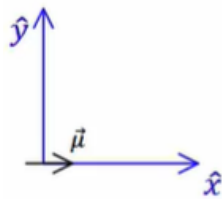
**מומנט כוח שפועל על דיפול מגנטי הנמצא בשדה מגנטי חיצוני:**

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

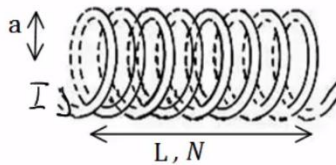
**האנרגיה הפוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי חיצוני:**

$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

**שאלות:**



- (1) מטען מסתובב סביב דיפול בראשית**  
נתון דיפול מגנטי הממוקם בראשית  $\mu = (\mu, 0, 0)$ .  
מצא את  $\mu$  כך שאלקטרון הממוקם בנקודה  $(0, -a, 0)$   
עם מהירות  $(0, 0, v)$  יבצע תנועה מעגלית.



- (2) מומנט דיפול מגנטי של סליל**  
חשב את מומנט הדיפול המגנטי של סליל.



- (3) טבעת משרה זרם בטבעת**  
נתונות שתי טבעות מוליכות הנמצאות זו מעל זו.  
מזרימים זרם בטבעת התחתונה נגד כיוון השעון  
שעוצמתו הולכת וגדלה.



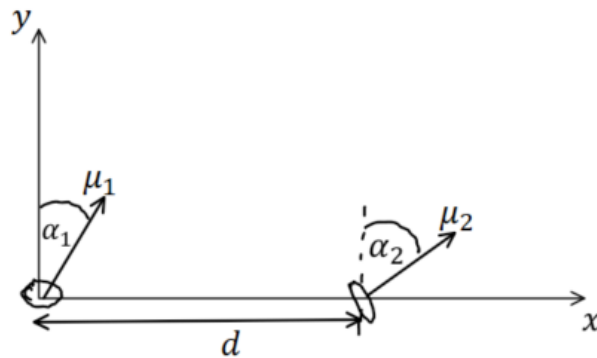
- א. מה כיוון הזרם בטבעת העליונה?  
ב. ניתן להסתכל על דיפול מגנטי כמגנט קטן כך שכיוון  
מומנט הדיפול הוא הכיוון מדרום לצפון של המגנט.  
לאן יפעל הכוח בין הטבעות?  
מזיזים את הטבעת העליונה להיות לצד הטבעת התחתונה.



- ג. חזרו על סעיף א.

#### 4) אנרגיית דיפול דיפול

שני דיפולים מגנטיים נמצאים במרחק  $d$  זה מזה לאורך ציר ה- $x$ . לשני הדיפולים מומנט מגנטי הזהה בגודלו:  $|\vec{\mu}_1| = |\vec{\mu}_2| = \mu$ . שני וקטורי מומנט הדיפול נמצאים על מישור  $x - y$  והזוויות שלהם עם ציר ה- $y$  הן  $\alpha_1$  ו- $\alpha_2$  בהתאמה. מצאו את העבודה הדרושה להרחיק את הדיפולים ממצב זה עד אינסוף. הניחו שהדיפולים אינם משנים את כיוונם בזמן שהם מתרחקים.



#### תשובות סופיות:

$$|e| \frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi a^2} = m_e v \quad (1)$$

$$\mu_T = NI\pi a^2 \quad (2)$$

$$(3) \quad \text{א. עם השעון. ב. כוח דחייה. ג. נגד השעון.}$$

$$(4) \quad \frac{\mu_0 \mu_1 \mu_2}{4\pi d^3} (2 \sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) - \cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2))$$

# מכינה ללימודי רפואה באיטליה אוניברסיטת פיזה

פרק 36 - אופטיקה

תוכן העניינים

1. מבוא לאופטיקה ..... 330

## מבוא לאופטיקה:

רקע:

חוק סנל:  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

נוסחת העדשות:  $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

הגדלה קווית:  $m = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{|u|}$

עוצמת העדשה:  $C = \frac{1}{f}$

שאלות:

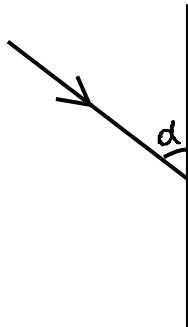
### 1) תרגול אור במרחב

- מציבים מקור אור נקודתי מול מסך במרחק 4m מהמסך. במרחק 1m ממקור האור מציבים מחסום בגובה 1.5m.
- שרטט את הבעיה בקנה מידה לבחירתך.
  - מצא את גודלו של הצל על הקיר:
    - בעזרת שרטוט.
    - בעזרת חישוב.
  - היכן היה צריך למקם המחסום, כדי שגודל הצל יהיה 2.5m?
  - מוסיפים מקור אור זהה (בניסוי המקורי), במרחק של 1m מתחת למקור הראשון. מצא, בעזרת שרטוט, את אזורי האור והצל השונים שמתקבלים.

### 2) תרגול אור במרחב 2

מהירות האור בריק היא:  $C = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

- היעזר בדף הנוסחאות, ומצא תוך כמה זמן מגיעה קרן אור שמוחזרת מהירח – אל כדור הארץ.
- מצא תוך כמה זמן מגיעה קרן היוצאת מהשמש אל כדור הארץ.
- אם אני מדליק פנס עכשיו, וחבר נמצא במרחק 3m ממני, תוך כמה זמן יגיע אליו האור מהפנס, מרגע שהדלקתי אותו?
- שנת אור מוגדרת כמרחק שאור עובר בשנה. מצאו מהי שנת אור בעזרת הגדרה זו.

**(3) החזרה תרגיל 1**

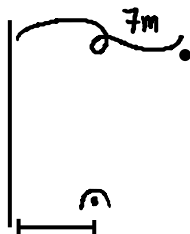
נתון מקור אור הפולט אור ומולו מוצבת מראה.  
 הזווית  $\alpha$  בשרטוט שווה  $76^\circ$ .

- מה זווית ההחזרה של הקרן המשורטטת בתרשים?
- מצא, בעזרת שתי קרניים נוספות לבחירתך, את מיקום הדמות המדומה של העצם הנ"ל.
- מצא את שדה הראייה של העצם הנ"ל.
- מכסים בבד סגול את החצי העליון של המראה. האם עדיין תיווצר דמות של העצם?

**(4) החזרה תרגיל 2**

נתון התרשים הבא, בו נער בגובה 1.7m עומד לפני מראה.  
 א. שרטט קרן אור היוצאת מידו הימנית של הנער, פוגעת במראה וחוזרת לעיניו (הקרן מייצגת את הקרן/ הקרניים, שבזכותן הנער רואה את ידו במראה).  
 ב. שרטט (הכי מדויק שאפשר), את דמות הנער במראה.  
 ג. מציבים מאחורי המראה מסך סגול. האם עדיין יראה הנער את דמותו?

- מה הגובה המינימאלי של המראה שיש להציב, כדי שדמות הנער תתקבל במלואה?
- מרחיקים את המראה למרחק כפול מגוף הנער. כיצד תשתנה תשובתך לסעיף ד'?

**(5) החזרה תרגיל 3**

מציבים מטבע מול מראה, במרחק 7m ממנה, כמתואר בתרשים.  
 אדם שנמצא במורד התרשים רואה את המטבע בזווית  $30^\circ$ , ביחס לקו המקביל למראה, ואת דמותו של המטבע בזווית  $50^\circ$ .  
 חשב את מרחקו של האדם מהמראה.

**(6) תרגול חוק סנל 1**

- קרן לייזר מתקדמת במים ( $n_{\text{water}} = 1.33$ ), ופוגעת במשטח זכוכית ( $n_{\text{glass}} = 1.5$ ).  
 חלק מהקרן נשבר לזכוכית וחלק מוחזר.  
 הזווית בין פני המים והקרן הפוגעת היא  $60^\circ$ .
- חשבו את זווית השבירה.
  - שרטטו את המקרה הנ"ל.

**(7) תרגול חוק סנל 2**

תלמיד שלח קרני אור בזוויות שונות מאוויר לעבר חומר שקוף בעל מקדם שבירה לא ידוע, ומדד את זוויות הפגיעה והשבירה המתאימה לה לזוויות פגיעה שונות. תוצאות המדידות בטבלה שלפניך:

$\theta_1$	$\theta_2$
0	0
10	7.33
20	14.57
30	21.57
40	28.21
50	34.28
60	39.55
70	43.71
80	46.40

- א. האם גרף  $\theta_2(\theta_1)$  מצופה שיצא לינארי?  
 ב. הגדר משתנים עבורם כן תצפה לקבל גרף לינארי.  
 ג. שרטט גרף לינארי זה.  
 ד. מצא, בעזרת הגרף, את מקדם השבירה של החומר השקוף הלא ידוע.

**(8) החזרה גמורה תרגיל 1**

קרן אור מתקדמת בזכוכית ( $n = 1.5$ ), ופוגעת בגבול בין זכוכית זו ובין מים ( $n = 1.33$ ), בזוויות:

א.  $\theta_1 = 0^\circ$

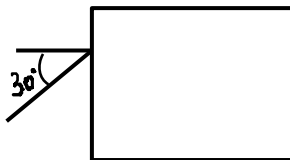
ב.  $\theta_1 = 30^\circ$

ג.  $\theta_2 = 70^\circ$

שרטט את המשך מהלך הקרן, לאחר הפגיעה, בכל אחד משלושת המקרים.

**(9) החזרה גמורה תרגיל 2**

נתון מלבן מפרספקס  $n = 1.5$ , כמתואר בתרשים. קרן אור, המגיעה משמאל, פוגעת בפרספקס בזווית פגיעה של  $30^\circ$ . השלם את מהלך הקרן בתוך הפרספקס.

**(10) עדשה מרכזת - תרגיל 1**

נתונה עדשה מרכזת בעלת מוקד  $f = 8\text{cm}$ .

נתון עצם, בגובה  $H_0 = 4\text{cm}$  המונח במרחק  $12\text{cm}$  מהעדשה.

א. מצא בעזרת שרטוט את:

i. מיקום הדמות הנוצרת.

- ii. גובה הדמות.
- iii. ההגדלה הקווית.
- ב. מצא בעזרת חישובים את:
  - i. מיקום הדמות.
  - ii. גובה הדמות.
  - ג. מצא מה אופי הדמות.
  - ד. שרטט שתי קרניים היוצאות ממרכז העצם, פוגעות בעדשה וממשיכות לצדה השני.

### 11) עדשה מרכזת - תרגיל 2

- לעדשה מרכזת מרחק מוקד של 11cm.
- מציבים עצם, שגובהו 5cm, במרחק 4cm מעדשה זו.
- א. מצא בעזרת שרטוט את:
  - i. מרחק הדמות מהעדשה.
  - ii. גובה הדמות.
  - iii. ההגדלה הקווית.
- ב. מצא בעזרת חישוב מספרי את:
  - i. מרחק הדמות מהעדשה.
  - ii. גובה הדמות.
- השווה תשובותיך לסעיף ב, עם אלה של סעיף א.
- ג. מניחים מסך במיקום הדמות.
- האם ניתן לראות את הדמות על המסך?
- ד. מניחים וילון שחור על המחצית העליונה של העדשה (מכסים אותה).
- האם ניתן לראות את הדמות?
- ה. מסירים וילון זה. ומניחים אותו בין העצם ודמותו.
- האם עכשיו ניתן לראות את דמות העצם?

### 12) עדשה מפזרת – תרגיל 1

- נתונה עדשה שעוצמתה  $C = 10D$ .
- לפני העדשה, במרחק  $u = 8\text{cm}$ , מניחים עצם שגובהו  $H_0 = 4\text{cm}$ .
- א. מצא בעזרת חישוב את:
  - i. מיקום הדמות.
  - ii. גובהה.
  - iii. אופי הדמות.
- ב. מצא בעזרת שרטוט את:
  - i. מיקום הדמות.
  - ii. גובהה.
- ג. מהיכן ניתן לראות את הקצה העליון של דמות העצם (שדה ראייה)?

**13) בגרות 2017 שאלה 6**

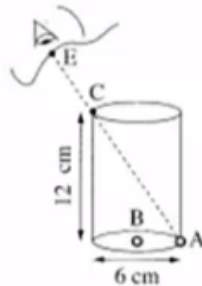
רמי ישב ליד בריכה ריקה. בתחתית הבריכה הונח מטבע, אבל ממקום מושבו של רמי לא היה אפשר לראות את המטבע כשהבריכה ריקה. התחילו למלא את הבריכה במים, וברגע מסוים ראה רמי את המטבע (רמי והמטבע לא זזו). מקדם השבירה של המים הוא:  $n = 1.33$ .

א. הגדר את תופעת השבירה של האור, וציין את סיבתה.  
 ב. הסבר מדוע ראה רמי את המטבע רק לאחר שהבריכה התמלאה חלקית במים. לווה את תשובתך בסרטוט מהלך קרניים.

נתון: קרן היוצאת מן המטבע ומגיעה לעין של רמי עוברת בתוך המים מרחק  $d = 0.61\text{m}$ .  
 זווית השבירה של קרן זו היא:  $\beta = 13.6^\circ$ .  
 ג. חשב את עומק המים.

**14) בגרות 2016 שאלה 7**

בתרשים שלפניך מוצב כלי ריק שצורתו גליל. גובה הכלי  $12\text{cm}$  וקוטרו  $6\text{cm}$ . בתחתית הכלי מונחים שני חרוזים קטנים מאוד: חרוז A צמוד לדופן הכלי וחרוז B במרכז התחתית של הכלי.



תלמיד הביט אל תוך הכלי בכיוון EC (הנקודה C נמצאת על שפת הכלי). כאשר הכלי היה ריק התלמיד ראה את חרוז A בלבד. מילאו את הכלי עד שפתו בנוזל שקוף. התלמיד הסתכל באותו כיוון וראה את חרוז B בלבד.

א. העתק את תרשים הכלי והעין למחברתך בלי הקו המקווקו. הוסף לתרשים שבמחברתך קרן אור שמגיעה מחרוז B, עוברת בתוך הנוזל אל נקודה C ומגיעה לעין התלמיד.

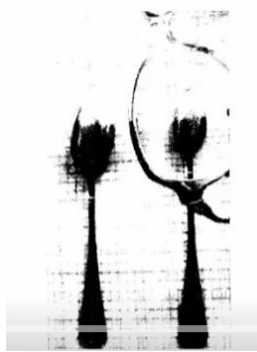
סמן בתרשים שבמחברתך את זווית הפגיעה ( $\alpha$ ) ואת זווית השבירה ( $\beta$ ) במעבר של קרן האור מהנוזל לאוויר.

ב. חשב את מקדם השבירה של הנוזל.

ג. קבע אם חרוז B נראה לתלמיד בעומק האמיתי שהוא היה בו, גבוה יותר או נמוך יותר. נמק את קביעתך באמצעות סרטוט תרשים נוסף של הכלי ומהלך הקרניים.

**15) בגרות 2016 שאלה 6**

תלמידה רצתה לבדוק את סוג העדשות במשקפיים של דודתה. לשם כך הניחה התלמידה שתי כפיות זהות על השולחן, והניחה עדשה של המשקפיים מעל אחת הכפיות. בתרשים שלפניך נראה תצלום הכפיות והמשקפיים שצילמה התלמידה.



- א. בכל אחת מן האפשרויות i-iii שלפניך, קבע מהו המאפיין הנכון של דמות הכפית הנראית מבעד לעדשה:
- i. ישרה או הפוכה.
  - ii. ממשית או מדומה.
  - iii. מוגדלת או מוקטנת.
- ב. האם העדשה מרכזת או מפזרת? נמק את תשובתך.
- ג. מצא את דמות הכפית באמצעות סרטוט מדויק של מהלך שלוש קרניים. נתון: רוחק מוקד העדשה:  $|f| = 12\text{cm}$ , מרחק העצם מהעדשה 6cm, גובה העצם 3cm.
- בסרטוט השתמש בקנה מידה של 1 משבצת=1 ס"מ.
- ד. חשב באמצעות נוסחאות את גובה הדמות ואת מרחקה מהעדשה. האם תוצאות החישוב מתאימות לאותם ערכים שהתקבלו בסרטוט?

## 16 בגרות 2015 שאלה 7

ילד הלוכש חולצה שעליה מודפסת האות F עומד מול מראה מישורית התלויה על קיר (ראה איור).



- א. מהי התופעה הפיזיקאלית שגורמת להשתקפות הילד רק במראה ולא בקיר?  
 ב. המרחק של הילד מן המראה היה 1 מטר, והוא החל להתקרב אליה

$$v = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

- במהירות קבועה:  
 חשב בתוך כמה זמן יהיה המרחק בין הילד ובין דמותו 0.5 מטר.  
 ג. לפניך ארבע צורות IV-I של האות F. העתק למחברתך את המספר של צורת הדמות של האות F, כפי שהילד שמסתכל במראה רואה אותה.

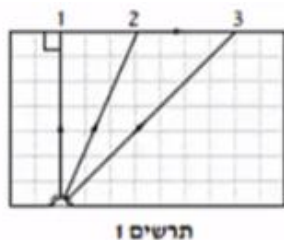


## 17 בגרות 2014 שאלה 6

- יאיר ישב במכונית ורצה לעיין במפה שבידיו (זה היה לפני עידן ה-G.P.S).  
 בחוץ שרר חושך, ולכן יאיר הדליק נורה בתוך המכונית.  
 א. כדי שיראה היטב את המפה, האם על יאיר לכוון את אלומת האור מן הנורה לעבר עיניו או לעבר המפה? נמק.

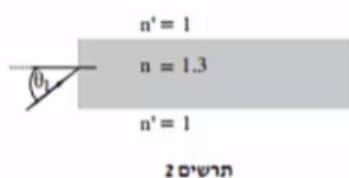
- לאחר שיאיר הדליק את הנורה הוא התבונן בשמשת החלון של מכוניתו. הוא לא ראה את הסביבה שבחוץ, אלא את דמותו המשתקפת בשמשת החלון.  
 ב. הסבר באמצעות תרשים כיצד נוצרת הדמות המשתקפת בשמשת החלון.

- יאיר מאס בפקקי התנועה שבכבישים, והחליט לנסוע ברכבת. בתוך קרון הרכבת דלק אור, ומחוץ לרכבת שרר חושך. יאיר הבחין בשתי דמויות שלו המשתקפות בחלון הרכבת. חלון הרכבת מורכב משני לוחות זכוכית מקבילים וביניהם מרווח שבו שכבת אוויר.  
 אפשר להזניח את העובי של לוחות הזכוכית.  
 ג. מדוע ברכבת הבחין יאיר בשתי דמויות, ולא בדמות אחת, כפי שראה במכוניתו? פרט את תשובתך.  
 ד. באותם תנאי תאורה הכניסו נייר שחור למרווח שבין שני לוחות הזכוכית. הנייר אוטם את כל המרווח. כמה דמויות השתקפו בחלון? נמק.

**18) בגרות 2014 שאלה 7**


מקור אור נקודתי נמצא בתוך מנסרה מלבנית (תיבה) העשויה מחומר שקוף. המנסרה נמצאת באוויר. בתרשים 1 מוצג חתך של המנסרה המקביל לשתיים מדופנות המנסרה, וכן מוצג בו מהלכן של שלוש קרניים 1, 2, 3, שמקורן במקור האור. זווית השבירה של קרן 2 היא  $90^\circ$  בקירוב.

- א. העתק את תרשים 1 למחברתך, והשלם בו במדויק את המשך המהלך של קרן 1 ושל קרן 3. הסבר את שיקולך.  
 ב. על פי התרשים, חשב את הזווית הגבולית (קריטית) למעבר אור מן החומר השקוף לאוויר.

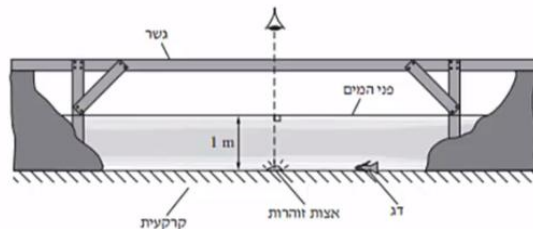


אפשר להעביר מידע למרחקים גדולים באמצעות סיבים אופטיים שאור מתפשט דרכם כמעט בלי הפסדי אנרגיה. בתרשים 2 מתואר חתך של סיב אופטי העשוי מחומר שקוף שמקדם השבירה שלו:  $n = 1.3$ , וקרן אור נכנסת לתוכו מן האוויר בזווית פגיעה  $\theta_1$ .

- ג. כאשר האור נכנס לסיב מהצד (כמתואר בתרשים 2), זווית הפגיעה  $\theta_1$  צריכה להיות קטנה מ- $57^\circ$  כדי למנוע דליפת (יציאת) אור מהסיב לאוויר. הסבר מדוע. בתשובתך היעזר בתרשים.

**19) בגרות 2013 תרגיל 1**

בגן חיות יש בריכה ובה דגים ויצורי מים מיוחדים. מושבה של אצות זוהרות (פולטות אור) נחה על קרקעית הבריכה, בעומק של 1 מטר. מקדם השבירה של מי הבריכה ביחס לאוויר הוא:  $n = 1.33$ . מעל הבריכה נמתח גשר שממנו המבקרים יכולים לצפות בבריכה (ראה תרשים). התייחס למושבת האצות כאל מקור אור נקודתי.

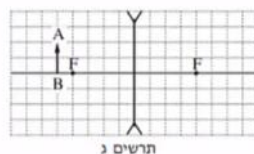
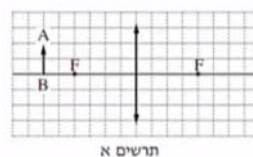
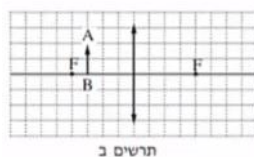


- א. האור שנפלט ממושבת האצות לעבר פני המים עובר לאוויר דרך משטח מעגלי של פני המים. הסבר מדוע. היעזר בתרשים מתאים.  
 ב. חשב את הרדיוס של המשטח המעגלי שהאור עובר דרכו לאוויר.  
 ג. אדם הניצב על הגשר בדיוק מעל מושבת האצות רואה אותה בעומק קטן יותר מהעומק האמיתי שהיא נמצאת בו. הסבר מדוע.

- ד. דג השוחה על קרקעית הבריכה, בעומק 1 מטר, רואה את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות מפני המים. חשב את המרחק (האופקי) המינימלי בין הדג לבין מושבת האצות, שהוא יכול לראות בו את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות בהחזרה מלאה.
- ה. כאשר הדג בעומק של 1 מטר, אבל המרחק בינו לבין מושבת האצות קטן יותר מהמרחק שחיבת בסעיף ד', הוא עדיין רואה את השתקפות האצות בפני המים. הסבר מדוע.

### (20) בגרות 2013 שאלה 6

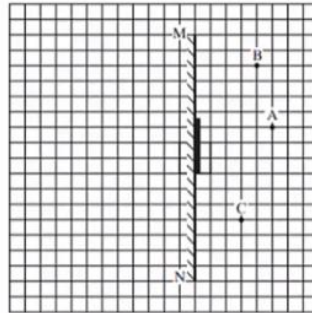
- אדם המרכיב משקפיים עם עדשות מרכזות זהות רואה בעזרתם את הדמות המדומה של עצם.
- א. הסבר את המושגים "דמות ממשית" ו"דמות מדומה", בהסברך תוכל להיעזר בתרשימים.
- ב. בתרשימים א'-ג' שלפניך החץ AB מייצג את העצם. קבע איזה תרשים מתאים לתיאור שבפתיח. נמק את קביעתך.



- ג. עוצמת העדשה היא 2 דיופטרויות. מהו רוחק המוקד של העדשה?
- ד. המרחק בין הדמות לעדשה הוא 60cm. חשב את המרחק בין העצם לעדשה.

### (21) בגרות 2012 שאלה 1

- עצם ניצב לפני משטח מישורי.
- א. מה צריך להתקיים כדי שתיווצר דמות של העצם על ידי המשטח?
- ב. כאשר נוצרת דמות של העצם על ידי המשטח, איזה תנאי חייב להתקיים כדי שצופה המתבונן במשטח יראה בו את הדמות של העצם?
- באיור שלפניך מתואר חתך של מראה מישורית MN המכוסה במרכזו בכיסוי בד אטום. בנקודה A נמצא עצם נקודתי.
- בכל אחת מהנקודות B ו-C נמצא צופה (צופה B, צופה C). הנקודות A, B, C נמצאות על אותו מישור.

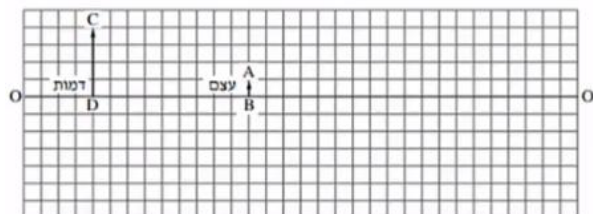


העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך.

- ג. האם צופה B וצופה C רואים את הדמות A באותו מקום? הסבר.
- ד. צלע של משבצת אחת מייצגת מרחק של 20 ס"מ במציאות. חשב את המרחק של הצופה הנמצא בנקודה C מהדמות של העצם A.
- ה. צופה C מביט אל עבר המראה, אך אינו רואה בה את דמות העין של צופה B. האם צופה B המביט אל עבר המראה רואה בה את דמות העין של צופה C? הסבר.

## (22) בגרות 2011 שאלה 1

בתרשים שלפניך הקטע  $OO'$  מסמן ציר אופטי של עדשה דקה (העדשה אינה מוצגת בתרשים). הקטע  $AB$  מסמן עצם, והקטע  $CD$  מסמן את הדמות של העצם הנוצרת בעזרת העדשה. הצלע של כל משבצת בתרשים – 1 ס"מ.



א. מדוע הדמות המתוארת בתרשים יכולה להיווצר רק בעזרת עדשה מרכזת?

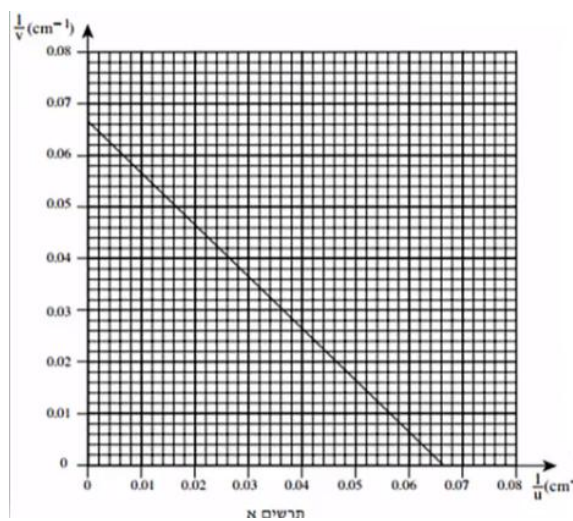
- העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך. השתמש בתרשים שסרטטת כדי לענות על סעיפים ב'-ג'.
- ב. מצא, בעזרת סרטוט של מהלך קרני האור, את מיקום העדשה, והוסף אותה לתרשים.
  - ג. מצא את רוחק המוקד של העדשה בשתי דרכים:
    - i. סרטוט של מהלך קרני האור.
    - ii. חישוב.
  - ד. כשהמרחק בין העצם לעדשה גדול מערך מסוים  $u_1$ , נוצרת דמות הפוכה ביחס לעצם. קבע מהו  $u_1$ .
  - ה. כשהמרחק בין העצם לעדשה שווה לערך מסוים  $u_2$ , הגדול מ- $u_1$ , נוצרת דמות באותו גובה של הדמות  $CD$  שבתרשים. מצא את  $u_2$ .

**23) בגרות 2009 שאלה 1**

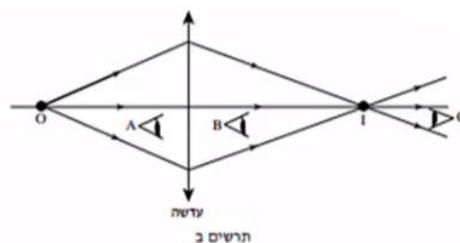
ברק הציב מקור אור במרחקים שונים מעדשה דו-קמורה דקה. בכל פעם הוא מדד את המרחק של מקור האור מן העדשה ( $u$ ), ואת המרחק של המסך שעליו התקבלה דמות חדה של מקור האור מן העדשה ( $v$ ). לאחר מכן הוא חישב את ערכי  $\frac{1}{u}$  ו- $\frac{1}{v}$ , ועל פי ערכים אלה סרטט גרף של  $\frac{1}{v}$  (ביחידות  $\text{cm}^{-1}$ ) כפונקציה

של  $\frac{1}{u}$  (ביחידות  $\text{cm}^{-1}$ ).

הגרף מוצג בתרשים א'.



- הסבר מדוע הגרף שהתקבל הוא קו ישר.
- מצא בעזרת הגרף את רוחק המוקד של העדשה. פרט את חישוביך.
- כאשר הציב ברק את מקור האור במרחק 10 ס"מ מן העדשה, הוא לא הצליח למקם את המסך כך שתתקבל עליו דמות חדה של מקור האור. הסבר מדוע.
- בתרשים ב' שלפניך מתואר עצם נקודתי O ודמותו I, הנוצרת על ידי עדשה מרכזת דקה.



האם אפשר לראות את הדמות I גם ללא מסך?  
 אם כן – באיזו מהנקודות A, B או C צריכה להימצא העין (על פי כיווני ההסתכלות שלה המתוארים בתרשים) כדי לראות את הדמות I?  
 אם לא – היעזר בתרשים ב', והסבר מדוע אי-אפשר לראות את הדמות ללא מסך.

ה. בתרשים ג' שלפניך מתואר חתך של עדשה קמורה-קעורה דקה עשויה מזכוכית. מטיילים על העדשה פעמיים אלומת אור מקבילה ואופקית, המתפשטת באוויר:

במקרה i אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקמור.

במקרה ii אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקעור.



העתק למחברתך את המספר של המשפט הנכון מבין המשפטים i-iv שלפניך:

- i. העדשה מרכזת את האור בשני המקרים.
- ii. העדשה מרכזת את האור במקרה i ומפזרת אותו במקרה ii.
- iii. העדשה מפזרת את האור במקרה i ומרכזת אותו במקרה ii.
- iv. העדשה מפזרת את האור בשני המקרים.

## 24 בגרות 2007 שאלה 2

על ספסל אופטי המונח על שולחן, מציבים מקור אור שצורתו מלבן (מלבן מלא).

עדשה מרכזת שרוחק המוקד שלה הוא:  $f = 30\text{cm}$ , ומסך.

מקור האור, העדשה והמסך מקבילים זה לזה.

שתיים מהצלעות של מקור האור המלבני מאונכות לשולחן. הדמות של מקור

האור מתקבלת על המסך, וגובהה גדול פי 2 מהגובה של מקור האור.

א. חשב את המרחק של מקור האור מן העדשה.

ב. פי כמה גדול שטח הדמות מהשטח של מקור האור? נמק.

ג. מציבים את מקור האור במרחק  $160\text{cm}$  מן המסך.

באיזה מרחק ממקור האור יש להציב את העדשה, כדי שתתקבל על

המסך דמות חדה שלו? אם יש יותר מאפשרות אחת, כתוב את כולן.

האיור שלפניך הוא העתק של תצלום שבו מראה מישורית המונחת על לוח עץ, ופנס.

הפנס פולט אלומת אור הפוגעת בלוח העץ ובמראה שעליו. מלבד הפנס אין מקורות

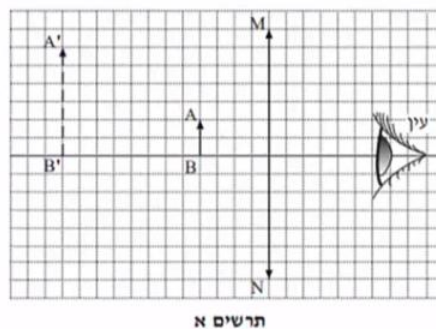
אור נוספים.



ד. מדוע המראה שבתצלום נראית חשוכה, ואילו החלק של לוח העץ שבו פוגעת אלומת האור נראה מואר?

### 25) בגרות 2004 שאלה 1

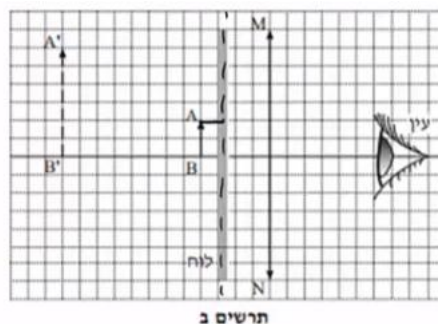
בתרשים א' מוצגת מערכת, ובה עדשה מרכזת,  $MN$ , הציר האופטי שלה, בול דואר,  $AB$ , הדמות של הבול,  $A'B'$ , הנוצרת על ידי העדשה, ועין הצופה המתבונן בבול. אורך הצלע של כל משבצת בתרשים מייצג מרחק של 5 ס"מ במציאות.



א. ענה על הסעיפים הבאים:

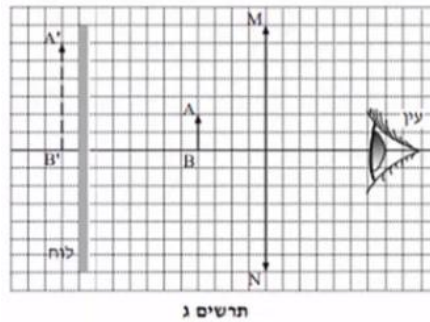
- i. מצא את אורך מוקד העדשה.
- ii. חשב את עוצמת העדשה. הצג את תשובתך בדיופטר.

באותה מערכת מציבים לוח אטום לאור לפני הבול, בין הבול לעדשה (ראה תרשים ב').



ב. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

את הלוח האטום לאור מעבירים אל מאחורי הבול, כמוצג בתרשים ג'.



ג. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

ד. מסלקים את הלוח האטום. הבול, העדשה והעין נשארים במקומם. הצופה מתבונן בבול דרך העדשה (ראה תרשים א'), ואחר כך הוא מסלק את העדשה ומתבונן בבול.

באיזה משני המצבים (עם העדשה או בלי העדשה) הבול נראה לצופה גדול יותר? הסבר את תשובתך במונחים של זוויות ראייה.

ה. העתק למחברתך את תרשים א'. (כל משבצת בתרשים תהיה משבצת במחברת). סרטט קרן, המופצת מראש הבול (A), עוברת בעדשה, וחודרת למרכז האישון של עין הצופה.

תאר כיצד קבעת את מהלך הקרן שסרטטת.

## תשובות סופיות:

- 1 א. ראה סרטון. ב. i. 6m . ד. ראה סרטון. ג. 2.4m . ii. 6m .
- 2 א.  $t = 1.28 \text{ sec}$  . ב.  $t \cong 8\frac{1}{3} \text{ min}$  . ג.  $t = 10^{-9}$  . ד.  $9.47 \cdot 10^{15} \text{ m}$  .
- 3 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון. ד. ללא שינוי.
- 4 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. כן. ד. 0.85m .
- 5 2.43m .
- 6 א.  $26.3^\circ$  . ב. ראה סרטון.
- 7 א. לא. ב.  $\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \theta_1$  . ג. ראה סרטון. ד. 1.353 .
- 8 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית. ד. ראה סרטון.
- 9 א. ראה סרטון. ב. לא. ג. כן. ד. כן.
- 10 א. ראה סרטון. ב. i.  $V = 24 \text{ cm}$  . ii.  $H_i = 8 \text{ cm}$  . ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית. ד. ראה סרטון.
- 11 א. ראה סרטון. ב. i.  $V \approx 6.5 \text{ cm}$  . ii.  $H_i \approx 7.95 \text{ cm}$  . ג. לא. ד. כן. ה. כן.
- 12 א. i.  $V = -4.4 \text{ cm}$  . ii.  $H_i = 2.2 \text{ cm}$  . ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון. ד. כן.
- 13 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג.  $h = 0.6 \text{ m}$  . ד. נמוך יותר.
- 14 א. ראה סרטון. ב. 1.85 . ג. מוקטנת. ד. מוקטנת, מוקטנת, ישרה.
- 15 א. i. ישרה. ב. מדומה. ג. ראה סרטון. ד.  $V = 4 \text{ cm}$  ,  $H_i = 2 \text{ cm}$  , כן.
- 16 א. החזרה מסודרת, מתקבלת דמות במפגש הקרניים המוחזרות. ב. 1.5sec . ג. IV .
- 17 א. לעבר המפה. ב. ראה סרטון. ג. כל משטח מתפקד כמראה עצמאית. ד. דמות 1 .
- 18 א. ראה סרטון. ב.  $\theta_c = 23.2^\circ$  . ג. ראה סרטון.
- 19 א. ראה סרטון. ב.  $r = 1.14 \text{ m}$  . ג. ראה סרטון. ד.  $x = 2.28 \text{ m}$  . ה. ראה סרטון.
- 20 א. דמות ממשית – מתקבלת במפגש המשכי הקרניים הממשיות. ב. תרשים ב'. ג. 50cm . ד.  $u = 27.3 \text{ cm}$  .

- (21) א. 1. קרניים שיצאו מהסוף, 2. ההחזרה מהמשטח תהיה מסודרת.  
 ב. הצופה יימצא בשדה בראייה של הדמות. ג. כן. ד.  $2m$ .  
 ה. לא.
- (22) א. הדמות לא יכולה להיווצר בעדשה מפזרת. ב. ראה סרטון.  
 ג.  $4cm$ . ד.  $u > f$ . ה.  $u_2 = 8cm$ .
- (23) א. ראה סרטון. ב.  $15.1cm$ . ג. ראה סרטון.  
 ד. כן. ה. i.
- (24) א.  $u = 45cm$ . ב. פי 4. ג.  $u_1 = 120cm, u_2 = 40cm$ .  
 ד. ראה סרטון.
- (25) א. i.  $f = 30cm$ . ii.  $C = 3.33D$ . ב. לא. ג. כן.  
 ד. ראה סרטון. ה. ראה סרטון.