

# יסודות הפיזיקה א 2013 -



$$\begin{array}{c} \sqrt{2} \\ \diagdown \\ 1 & 1 \end{array}$$
A diagram showing a square divided into four triangles, illustrating the ratio of 1 to  $\sqrt{2}$ .



$$\{\sqrt{x}\}^2$$
A diagram showing a square with a diagonal line through it, representing the square of the square root of x.



## תוכן העניינים

1.	מבוא מתמטי -
19.	וקטוריים -
42.	קינטיקה -
65.	תנועה יחסית - לפרט
72.	5. חום וחוק הראשון של התרמודינמיקה.
91.	6. החוק השני של התרמודינמיקה.
106.	7. דינמיקה - חוקי ניוטון
124.	8. כוח ציפה -
125.	9. תנועה מעגלית -
142.	10. קוואורדינטות פולריות -
151.	11. עבודה ואנרגיה -
172.	12. מתקף ותנע -
187.	13. מרכז מסה -
189.	14. מומנט כוח (סטטיקה) -
198.	15. תנע זוויתי -
203.	16. תנועה הרמוניית -
223.	17. כבידה וכוח מרכזי -
228.	18. אופטיקה .
244.	19. גלים

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

## פרק 1 - מבוא מתמטי -

### תוכן העניינים

1	. סינוס קוסינוס ומה שביניהם
5	. נגזרות ואיינטגרלים בסיסיים.
11	. אינטגרל כפול ומשולש.
13	. מעברי יחידות
15	. קווארדיינטות ואלמנטים דיפרנציאליים
16	. צפיפות
17	. צפיפות אינפיטיסימלית
18	. נספח-נגזרת סטומה ואלמנט אורך בהחלפת קווארדיינטות

## סינוס קוסינוס ומה שביניהם:

**רקע**

**במשולש ישר זווית:**

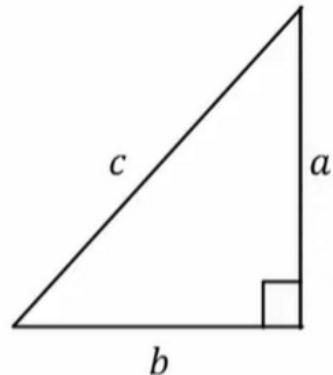
$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{\text{ניצב שמול}}{\text{יתר}}$$

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

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

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

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



**משפט פיתגורס:**

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

זהויות:

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

סיכום והפרש של פונקציות:

$$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \left( \frac{\alpha \pm \beta}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha \mp \beta}{2} \right)$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha - \beta}{2} \right)$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = 2 \sin \left( \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \sin \left( \frac{\alpha - \beta}{2} \right)$$

## ערכיים שווים לזו:

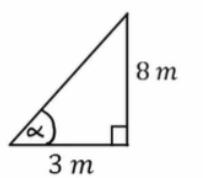
הزاوية והפונקציה	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\tan \alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	לא מוגדר

## פתרונות עבור:

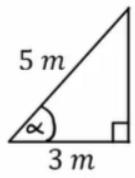
$x_1 = \alpha + 2\pi k$ $x_2 = \pi - \alpha + 2\pi k$	$\sin x = \sin \alpha$
$x_1 = \alpha + 2\pi k$ $x_2 = -\alpha + 2\pi k$	$\cos x = \cos \alpha$
$x = \alpha + \pi k$	$\tan x = \tan \alpha$

**שאלות:****1) דוגמה 1- חישוב אלפא**

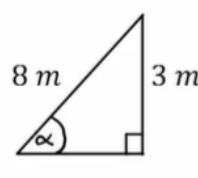
חשב את הזווית אלפא במקיריים הבאים:



א.



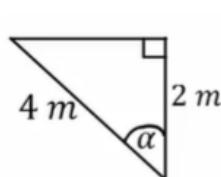
ב.



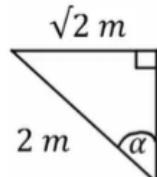
ג.

**2) דוגמה 2- מושולשים משורטטים אחרה**

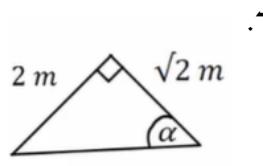
חשב את הזווית אלפא במקיריים הבאים:



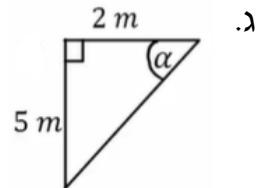
א.



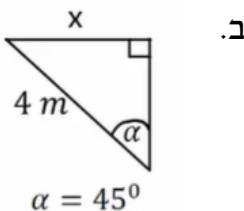
ב.



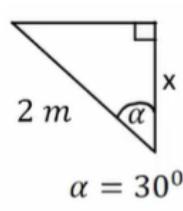
ג.



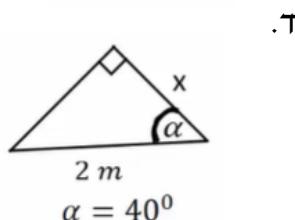
ד.

**3) דוגמה-2- מציאת ניצבים**

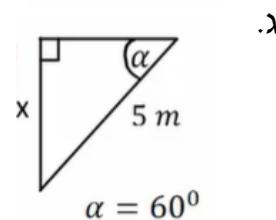
א.



ב.



ג.



ד.

**תשובות סופיות:**

(1) א.  $\alpha = 69^\circ$    ב.  $\alpha = 53^\circ$    ג.  $\alpha = 22^\circ$

(2) א.  $\alpha = 55^\circ$    ב.  $\alpha = 68.2^\circ$    ג.  $\alpha = 60^\circ$    ד.  $\alpha = 45^\circ$

(3) א.  $x = 1.53m$    ב.  $x = \frac{5\sqrt{3}m}{2}$    ג.  $x = 2\sqrt{2}m$    ד.  $x = \sqrt{3}m$

## נגזרות ואינטגרלים בסיסיים:

### רקע

#### נגזרות:

הנגזרת נותנת את שיפוע המשיק לפונקציה בנקודה כלשהיא.

אם  $u$  היא פונקציה של  $x$  אז הסימן של הנגזרת של  $u$  לפני  $x$  הוא  $\frac{dy}{dx}$  או  $y'$ .

#### נגזרת של פולינום:

$$y(x) = x^n \rightarrow y'(x) = nx^{n-1}$$

כפל בקבוע אפשר להוציא מהנגזרת:

$$(Ay(x))' = Ay'(x)$$

#### נגזרת של מכפלה:

$$y(x) = f(x)g(x) \rightarrow y'(x) = f'(x)g(x) + f(x)g'(x)$$

#### כלל שרשרת:

אם  $u$  היא פונקציה של  $x$  ו-  $x$  הוא פונקציה של  $t$  אז :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

#### נגזרות של פונקציות נוספות:

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{x}\right) = -\frac{1}{x^2} ; \quad \frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x ; \quad \frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$$

$$\frac{d}{dx}(e^x) = e^x ; \quad \frac{d}{dx}(\ln(x)) = \frac{1}{x}$$

**אינטגרל:**

פעולה הפוכה לנגזרת.

**אינטגרל של פולינום**

$$\int A x^n \, dx = A \frac{x^{n+1}}{n+1}$$

אינטגרל לא מסוים, מוסיפים קבוע להתוצאה האינטגרל.  
אינטגרל מסוים, מציבים גבולות בתוצאה של האינטגרל.

$$\int_a^b x^n \, dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \Big|_a^b = \frac{b^{n+1}}{n+1} - \frac{a^{n+1}}{n+1}$$

**מה עושה האינטגרל?**

האינטגרל מבצע סכימה על ערכי הפונקציה.  
האינטגרל נותן את השטח מתחת לגרף הפונקציה.

**שאלות:****1) דוגמה 1**

חשב את הנגזרות הבאות :

$$y = 5x^4, \frac{dy}{dx} = ? . \text{א}$$

$$y = ax^5, \frac{dy}{dx} = ? . \text{ב}$$

$$y = 5x + 2x^{18}, \frac{dy}{dx} = ? . \text{ג}$$

$$f(x) = 8x^2 + 2, \frac{df}{dx} = ? . \text{ד}$$

$$y = 6t^2, \frac{dy}{dt} = ? . \text{ה}$$

$$x = 5t^3, \frac{dx}{dt} = ? . \text{ו}$$

$$x = 5t^4 + t^3 + 4, \frac{dx}{dt} = ? . \text{ז}$$

$$f(t) = At^6 + Bt + C, \frac{df}{dt} = ? . \text{ח}$$

**2) דוגמא 2**

חשב את הנגזרות הבאות :

$$y = (5x^4 + 2)(5x + 2x^{18}), \frac{dy}{dx} = ? . \text{א}$$

$$y = Ax^5(B + Cx^3), \frac{dy}{dx} = ? . \text{ב}$$

$$y = 5x + 2x^2(4x + 5x^5), \frac{dy}{dx} = ? . \text{ג}$$

$$y = (5t^2 + 1)(2t + 27 + 5t^3), \frac{dy}{dt} = ? . \text{ד}$$

$$x = (2t^3 + 7)(4t + 3 + 6t^2), \frac{dy}{dt} = ? . \text{ה}$$

**(3) דוגמא 3-נגזרת פנימית**

חשב את הנגזרות הבאות:

$$y = (x+2)^4, \frac{dy}{dx} = ? \text{ א.}$$

$$y = 5(8x^2 + x)^5, \frac{dy}{dx} = ? \text{ ב.}$$

$$y = 5t + 2(5t^4 + 4)^{14}, \frac{dy}{dx} = ? \text{ ג.}$$

$$f(t) = 8(5t^4 + t^3 + 4)^2 + 2, \frac{df}{dt} = ? \text{ ד.}$$

**(4) דוגמא 4-כלל שרשרת**

חשב את הנגזרות הבאות:

$$y = (x+2)^4, x = 2t, \frac{dy}{dt} = ? \text{ א.}$$

$$y = 5(8x^2 + x)^5, x = 5t^4 + 4, \frac{dy}{dt} = ? \text{ ב.}$$

$$y = 5x + 2(5x^4 + 4)^{14}, x = 3t^2 + t, \frac{dy}{dt} = ? \text{ ג.}$$

$$y = x^2, x = t^2, \frac{dy}{dt} = ? \text{ ד.}$$

**(5) דוגמא 5-נגזרות של פונקציות נוספות**

מצאו את הנגזרות של הפונקציות הבאות:

$$\text{א. } y = \sin(ax) \text{ כאשר } a \text{ קבוע.}$$

$$\text{ב. } y = e^{-x^2}$$

**(6) דוגמא 1-אינטגרלים בסיסיים**

חשב את האינטגרלים הבאים:

$$\text{א. } \int x^7 dx$$

$$\text{ב. } \int x dx$$

$$\text{ג. } \int dx$$

$$\text{ד. } \int 3dx$$

$$\text{ה. } \int 7x^4 dx$$

$$\text{ו. } \int (5x^2 + 3) dx$$

$$\int (8x^7 + 5x)dx \quad \text{ג.}$$

$$\int Ax^7 dx \quad \text{ח.}$$

$$\int (Ax^7 + Bx)dx \quad \text{ט.}$$

**7) דוגמה 2- אינטגרל מסוים**

חשב את האינטגרלים הבאים:

$$\int_0^2 x^5 dx \quad \text{א.}$$

$$\int_1^5 4dx \quad \text{ב.}$$

$$\int_{-1}^3 7x^4 dx \quad \text{ג.}$$

$$\int_0^4 (2x^2 + 4)dx \quad \text{ד.}$$

$$\int_{-1}^2 (Ax^7 + Bx)dx \quad \text{ה.}$$

**8) דוגמה 3- אינטגרל של פונקציות נוספות**

חשב את האינטגרלים הבאים:

$$\int_0^\pi \sin x dx \quad \text{א.}$$

$$\int_0^\pi \cos(2x) dx \quad \text{ב.}$$

$$\int e^{3x} dx \quad \text{ג.}$$

$$\int_0^5 2e^{-3x} dx \quad \text{ד.}$$

$$\int_3^5 \frac{1}{x} dx \quad \text{ה.}$$

$$\int \frac{1}{x^2} dx \quad \text{ו.}$$

$$\int e^{ax} dx \quad \text{ז.}$$

**תשובות סופיות:**

$$12 \cdot t \cdot \text{ה} \quad 16x \cdot \text{ט} \quad 5 + 36x^{17} \cdot \text{ג} \quad 5a \cdot x^4 \cdot \text{ב} \cdot 20x^3 \cdot \text{א} \quad \text{(1)}$$

$$6At^5 + B \cdot \text{ח} \quad 20t^3 + 3t^2 \cdot \text{ז} \quad 15t^2 \cdot \text{ו}$$

$$5Ax^4(B + Cx^3) + 3ACx^7 \cdot \text{ב} \quad 20x^3 \cdot (5x + 2x^{18}) + (5x^4 + 2)(5 + 36x^{17}) \cdot \text{א} \quad \text{(2)}$$

$$5 + 4x \cdot (4x + 5x^5) + 2x^2(4 + 25x^4) \cdot \text{ג}$$

$$(10t)(2t + 27 + 5t^3) + (5t^2 + 1)(2 + 0 + 15t^2) \cdot \text{ט}$$

$$(6t^2 + 0)(4t + 3 + 6t^2) + (2t^3 + 7)(4 + 0 + 12t) \cdot \text{ה}$$

$$5 + 560t^3(5t^4 + 4)^{13} \cdot \text{ג} \quad 25(8x^2 + x)^4(16x + 1) \cdot \text{ב} \cdot 4(x + 2)^3 \cdot 1 \cdot \text{א} \quad \text{(3)}$$

$$16(5t^4 + t^3 + 4)(20t^3 + 3t^2) \cdot \text{ט}$$

$$500t^3 \left( 8(5t^4 + 4)^2 + 5t^4 + 4 \right) \cdot (16(5t^4 + 4) + 1) \cdot \text{ב} \quad 8(2t + 2)^3 \cdot \text{א} \quad \text{(4)}$$

$$4t^3 \cdot \text{ט} \quad \left( 5 + 2 \cdot 14(5x^4 + 4)^{13} \cdot (5 \cdot 4x^3 + 0) \right) \cdot (3 + 2t + 1) \cdot \text{ג}$$

$$e^{-x^2} \cdot (-2x) \cdot \text{ב} \quad \cos(ax) \cdot a \cdot \text{א} \quad \text{(5)}$$

$$\frac{7x^5}{5} + C \cdot \text{ה} \quad 3x \cdot \text{ט} \quad x + C \cdot \text{ג} \quad \frac{x^2}{2} + C \cdot \text{ב} \quad \frac{x^8}{8} + C \cdot \text{א} \quad \text{(6)}$$

$$A \frac{x^8}{8} + B \frac{x^2}{2} + C \cdot \text{ט} \quad A \cdot \frac{x^8}{8} + C \cdot \text{ח} \quad x^8 + \frac{5}{2}x^2 + C \cdot \text{ז} \quad \cdot \text{ו}$$

$$31.875A + 1.5B \cdot \text{ה} \quad 58.67 \cdot \text{ט} \quad 341.6 \cdot \text{ג} \quad 16 \cdot \text{ב} \quad 10.67 \cdot \text{א} \quad \text{(7)}$$

$$\ln\left(\frac{5}{3}\right) \cdot \text{ח} \quad \frac{2}{3} \cdot \text{ט} \quad \frac{e^{3x}}{3} + C \cdot \text{ג} \quad 0 \cdot \text{ב} \quad 2 \cdot \text{א} \quad \text{(8)}$$

$$\frac{e^{ax}}{a} \cdot \text{ז} \quad -\frac{1}{x} + C \cdot \text{ו}$$

## אינטגרל כפול ומשולש:

### שאלות:

פתרו את האינטגרלים הבאים :

$$\int_1^2 \int_0^2 \int_0^3 (zx^2 + 3y) dy dx dz$$

**1) אינטגרל משולש – דוגמה 1**

$$\int_0^3 \int_0^2 3 \cdot x^3 y^2 dx dy$$

**2) דוגמה 1**

$$\int_1^2 \int_0^3 (x^2 + 2y) dx dy$$

**3) דוגמה 2**

$$\int_0^2 \int_0^3 (x^2 + y) dy dx$$

**4) דוגמה 3**

$$\int_0^1 \int_0^2 x \cdot z^2 dx dz$$

**5) דוגמה 4**

$$\int_1^5 \int_0^4 2 \cdot y^3 dy dz$$

**6) דוגמה 5**

$$\int_0^{2\pi} \int_0^3 r^2 dr d\theta$$

**7) דוגמה 6**

$$\int_a^b \int_0^c 4 \cdot x^2 y dx dy$$

**8) דוגמה 7**

$$\int_a^b \int_0^c (4z + r^2) dr dz$$

**9) דוגמה 8**

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R 4a \cdot r^2 dr d\theta$$

**10) דוגמה 9**

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R 4yr^2 dr d\theta$$

**11) דוגמה 10**

$$\int_0^\pi \int_0^{2\pi} r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$$

**12) דוגמה 11**

**תשובות סופיות:**

39 (1)

108 (2)

18 (3)

13.33 (4)

$\frac{2}{3}$  (5)

512 (6)

56.55 (7)

$$\frac{4c^3}{3} \left( \frac{b^2}{2} - \frac{a^2}{2} \right) \quad (8)$$

$$2cb^2 + \frac{c^3}{3}b - 2ca^2 - \frac{a^3}{3} \quad (9)$$

$$\frac{4aR^3}{3} 2\pi \quad (10)$$

$$\frac{8\pi y R^3}{3} \quad (11)$$

$$4\pi r^2 \quad (12)$$

## מעברי יחידות:

שאלות:

### 1) דוגמה 1

נתון :  $A = 2\text{km}$  ,  $B = 10\text{gr}$   
מצא את  $C = A \cdot B \cdot m \cdot s$  ביחידות של

### 2) דוגמה 2

נתון :  $A = 2\text{m}^2$  ,  $B = 3\text{gr}$  ,  $C = 5\text{c.m} \cdot s$   
חשב את הגודלים הבאים ביחידות של  $\text{s.m.k.s}$  :

- $D = 2 \cdot A$
- $E = \frac{5 \cdot B \cdot C}{A}$

### 3) מעבר יחידות בחזקות

מצא את הגודלים הבאים ביחידות של ס"מ :

- $A = 1\text{m}^2$
- $B = 1\text{m}^3$

### 4) סנטימטר בשלישית

הבע את הערכיים הנ"ל ביחידות של  $\text{c.m}^3$  :

- $5.2\text{m}^3$
- $320\text{mm}^3$
- $0.0054\text{km}^3$

### 5) ליטר, דוגמה

הבע את הגודלים הבאים ב- Liter :

- $5\text{m}^3$
- $5\text{mm}^3$

**תשובות סופיות:**

$$20\text{m} \cdot \text{kg} \quad \text{(1)}$$

$$37.5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{sec} \cdot \text{kg}}{\text{m}} \quad \text{ב.} \quad 4\text{m}^2 \cdot \text{N} \quad \text{(2)}$$

$$10^6 \text{cm}^3 \quad \text{ב.} \quad 10^4 \text{cm}^2 \cdot \text{N} \quad \text{(3)}$$

$$5.4 \cdot 10^{12} \text{cm}^3 \cdot \text{ג.} \quad 0.32\text{cm}^3 \cdot \text{ב.} \quad 5.2 \cdot 10^6 \text{cm}^3 \cdot \text{א.} \quad \text{(4)}$$

$$5 \cdot 10^{-6} \text{Liter} \quad \text{ב.} \quad 5 \cdot 10^3 \text{Liter} \cdot \text{א.} \quad \text{(5)}$$

## קואורדינטות אלמנטיים דיפרנציאליים:

**שאלות:**

**1) דוגמה-זווית בין וקטורים**

נתונים שני וקטורי מיקום:

הוקטור הראשון,  $\vec{r}_1$ , נתון בקואורדינטות כדוריות כך ש:

$$r = 2m, \theta = 0^\circ, \varphi = 30^\circ$$

הוקטור השני,  $\vec{r}_2$ , נתון בקואורדינטות גליליות כך ש:

$$r = 1m, \theta = 120^\circ, z = 2m$$

א. חשב את אורךו של כל וקטור.

ב. חשב את הזווית בין הוקטוריים.

**2) שטח מעגל**

חשב שטח דיסקה בעלת רדיוס  $R$  (שטח מעגל) באמצעות אינטגרל על אלמנט שטח בקואורדינטות פולריות.

**3) חישוב נפח גליל**

חשב נפח גליל באמצעות אינטגרל על אלמנט נפח בקואורדינטות גליליות.

**תשובות סופיות:**

$$\alpha = 48.5^\circ \quad \text{ב.} \quad |\vec{r}_1| = 2m, |\vec{r}_2| = \sqrt{5}m \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$S = \pi R^2 \quad (2)$$

$$V = \pi R^2 h \quad (3)$$

## צפיפות:

### 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:

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

## צפיפות אינפיטיסימלית:

**שאלות:**

1) מוט עם צפיפות לא אחידה

$$\lambda(x) = \lambda_0 \frac{x}{L}$$

כאשר  $x$  הוא המרחק מהקצה השמאלי של המוט והפרמטרים:  $L, \lambda_0$  הם קבועים.

**תשובות סופיות:**

$$\frac{\lambda_0 L}{2} \quad (1)$$

## חשבון דיפרנציאלי:

**שאלות:**

**1) נגזרת סתומה\*\***

נתונה הפונקציה הבאה :  $f(x, y) = y^{\sin x} + 6y + e^{x^2+y^2} = 0$

$$\text{ממצא את : } \frac{dy}{dx}$$

**2) אלמנט אורך בהחלפת קואורדינטות\*\***

נתונות קואורדינטות חדשות :  $r' = \frac{1}{r^2}, \theta' = \frac{1}{2}\theta$

כאשר  $r$  ו-  $\theta$  הם הקואורדינטות הפולריות.

ממצא את גודלו של אלמנט אורך  $dl$  כפונקציה של הקואורדינטות החדשות.

**תשובות סופיות:**

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{(\ln y)(\cos x)(y^{\sin x}) + 2xe^{x^2+y^2}}{\sin x \cdot y^{(\sin x-1)} + 6 + 2ye^{(x^2+y^2)}} \quad (1)$$

$$dl^2 = \frac{1}{4} r'^{-3} dr'^2 + \frac{1}{r'} 4d\theta'^2 \quad (2)$$

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

## פרק 2 - וקטורים-

### תוכן העניינים

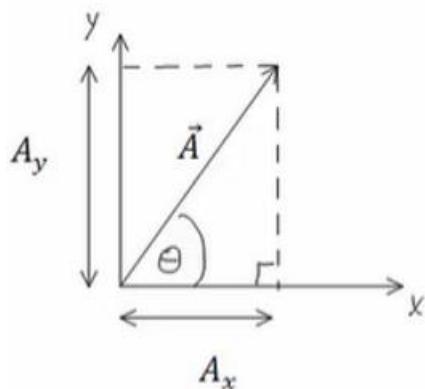
19 .....	1. הגדרות ופעולות בסיסיות
23 .....	2. מכפלה סקלרית
28 .....	3. וקטור יחידה
30 .....	4. -----
32 .....	5. וקטור בשלושה מימדים
35 .....	6. מכפלה וקטוריית בשלושה מימדים
39 .....	7. וקטורים קולינריים
40 .....	8. גרדיאנט ורוטור

## הגדירות ופעולות בסיסיות:

**רקע:**

הציג וקטור באמצעות גודל וכיוון נקראת הצגה פולרית.  
הציג וקטור באמצעות רכיבי ה- $x$  וה- $y$  נקראת הצגה קרטזית.

**פירוק וקטור לריבבים:**



היטל על ציר ה- $x$  או רכיב ה- $x$  של  $A$  :  

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

היטל על ציר ה- $y$  או רכיב ה- $y$  של  $A$  :  

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

המעבר ההיפוך :  

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}, \quad \tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

**כפל בסקלר:**

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

**שאלות:****1) חיבור וחיסור בקרטזי**

- נתונים שלושה וקטורים:  $\vec{A}(1,3)$ ,  $\vec{B}(4,2)$ ,  $\vec{C}(3,5)$ .
- חשבו את:  $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ .
  - חשבו את:  $\vec{A} - \vec{B} - \vec{C}$ .
  - חשבו את:  $2\vec{A} + 3\vec{B} - 4\vec{C}$ .

**2) חיבור וקטוריים בפולרי**

נתונים שני וקטורים בהצגה הפולרית:

- הוקטור  $\vec{A}$  שגודלו 10 והזווית שלו עם ציר ה- $x$  היא  $30^\circ$ .  
 הוקטור  $\vec{B}$  שגודלו 8 והזווית שלו עם ציר ה- $x$  היא  $60^\circ$ .  
 מצאו את  $\vec{A} + \vec{B}$ .

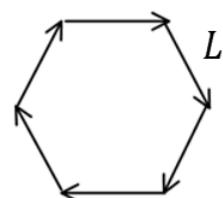
**3) עוד חיבור בפולרי**

נתונים שני וקטורים:

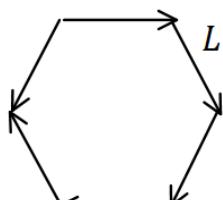
- הוקטור  $\vec{A}$  שגודלו 10 וכיונו  $30^\circ$ ,  
 הוקטור  $\vec{B}$  שגודלו לא ידוע וכיונו  $350^\circ$ .  
 מהו גודלו של הוקטור  $\vec{B}$  אם נתון שסכום הוקטוריים ניתן וקטור ללא  
 רכיב בציר ה- $y$ ?

**4) משואה של וקטוריים**

- שישה וקטורים בגודל  $L$  כל אחד יוצרים משואה שווה צלעות.  
 מצאו את הוקטור השකול (גודל וכיון) בכל אחד מהמקרים הבאים:  
 א.



ב.



**5) וקטור בין שתי נקודות**

הוקטור  $\vec{A}$  הוא וקטור מהנקודה  $(x_1, y_1, z_1)$  אל הנקודה  $(x_2, y_2, z_2)$ .  
רשות ביטוי לרכיבים של הוקטור וממצא את גודלו.

**6) חיבור באמצעות מקבילית**

נתונים הוקטורים  $\vec{A}$  ו-  $\vec{B}$ .  
גודלו של A הוא 8 והזווית שלו עם ציר ה- $x$  החיובי היא:  $\theta_A = 130^\circ$ .  
גודלו של הוקטור B הוא 4 והזווית שלו עם ציר ה- $x$  החיובי היא:  $\theta_B = 60^\circ$ .  
שרטט את הוקטורים על מערכת צירים ומצא את  $\vec{B} + \vec{A}$  באמצעות שיטת המקבילית.

**7) חיסור באמצעות מקבילית**

נתונים הוקטורים  $\vec{A}$  ו-  $\vec{B}$ .  
גודלו של A הוא 8 והזווית שלו עם ציר ה- $x$  החיובי היא  $\theta_A = 130^\circ$ .  
גודלו של הוקטור B הוא 4 והזווית שלו עם ציר ה- $x$  החיובי היא  $\theta_B = 60^\circ$ .  
שרטט את הוקטורים על מערכת צירים ומצא את  $\vec{B} - \vec{A}$  באמצעות שיטת המקבילית.

**8) מציאת אורך של שקל**

אורכם של שני וקטורים הוא 5 ו-10 ס"מ.  
הזווית ביניהם היא 30 מעלות.  
מהו אורכו של הוקטור השקול שלהם (סכום הוקטורים)?

**9) מציאת זווית בין שני וקטוריים**

נתונים שני וקטורים שאורכם 10 ו-13 מטר.  
אורך השקל שלהם הוא 20 מטר.  
מציאת הזווית בין הוקטוריים.

**תשובות סופיות:**

ג.  $(2, -8)$       ב.  $(-6, -4)$       א.  $(8, 10)$       **(1**

$(12.7, 11.9)$       **(2**

28.8      **(3**

$L \cdot 4 \cos(30)$       **(4**

$|\vec{A}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}, \vec{A} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$       **(5**

$C=10.1, \theta_c=108.1^\circ$       **(6**

$C=7.62, \theta_c=159.5^\circ$       **(7**

$|\vec{a}| = 14.6 \text{c.m}$       **(8**

$\theta = 60^\circ$       **(9**

## מכפלה סקלרית:

**רקע:**

שתי דרכים לביצוע המכפלה:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$$

$\alpha$  - זווית בין הוקטוריים.

**תכונות המכפלה:**

- תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור).

- מכפלה בין וקטורים מאונכים מתאפשר (זו דרך לבדוק האם וקטוריים מאונכים)

- מכפלה סקלרית של וקטור בעצמו נותנת את גודל הוקטור בריבוע

- פתיחת סוגרים והעלאה בריבוע:

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

$$(\vec{A} + \vec{B})^2 = |\vec{A}|^2 + 2\vec{A} \cdot \vec{B} + |\vec{B}|^2$$

$$\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|} = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|}$$

נוסחה למציאת זווית בין שני וקטוריים:

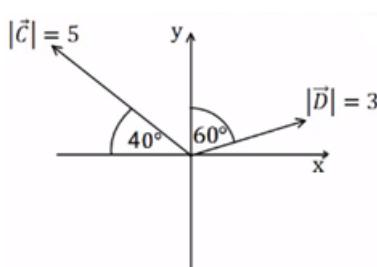
**שאלות:**

### 1) דוגמה 1

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

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

ב.



**(2) דוגמה 2**

בדוק עבור זוגות הוקטוריים 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 הוקטוריים עם הצירים והראה שהזווית בין הוקטוריים היא  $90^\circ$ .

**(3) דוגמה 3**

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

- א. מצא את תוצאת המכפלה הסקלרית באמצעות החצאות הקרטזיות הנתונות.
- ב. מצא את הגודל והזווית של כל וקטור.
- ג. מצא את המכפלה הסקלרית שוב, הפעם באמצעות הנוסחה של מכפלת הגדלים בקושינוס הזווית. בדוק כי התוצאה זהה לסעיף א'.

**(4) דוגמה 4**

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

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

ב. הוכח בצורה כללית כי המכפלה הסקלרית היא פעולה קומוטטיבית.

(הדריכה: רשום את הוקטוריים בצורה כללית עם נעלמים).

**(5) דוגמה 5**

נתונים הוקטוריים 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 הווקטורים הבאים :  $\vec{A} = (-2, 2)$  ,  $\vec{B} = (1, -3)$  ,  $\vec{C} = (1, 5)$  .  
חשב את :

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

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

**7) דוגמה 7**

נתונים הווקטורים הבאים :  $\vec{A} = (-2, 2)$  ,  $\vec{B} = (1, -3)$  ,  $\vec{C} = (1, 5)$  .  
מצא את הזווית בין  $\vec{A}$  ל-  $\vec{B}$  לבין  $\vec{B}$  ל-  $\vec{C}$ .

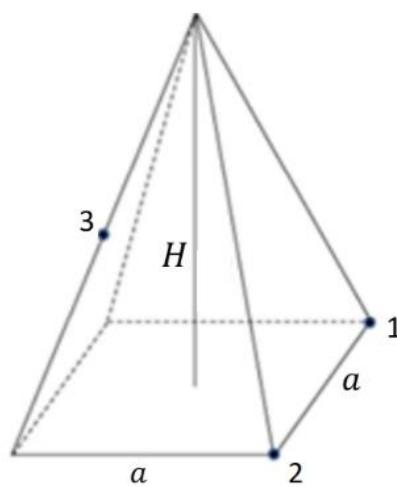
**8) פירמידה משוכללת\***

באיור מתוארת פירמידה משוכללת שבבסיסה ריבוע בעל אורך צלע  $a$  וגובהה  $H = 2a$  . נקודה 3 נמצאת במרכז הצלע שבין הפינה לקודקוד. נגידיר שני ווקטורים :

הווקטור  $\vec{A}$  יוצא מנקודה 1 לנקודה 2.

הווקטור  $\vec{B}$  יוצא מנקודה 1 לנקודה 3.

מהי הזווית בין שני הווקטורים?



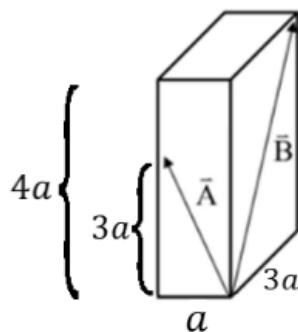
### 9) היטלים של וקטורים בתוך תיבה

נתונה תיבה בעלת אורך צלעות :  $a$  ,  $3a$  ו-  $4a$  . נגידר שני וקטורים :  $\vec{A}$  ו-  $\vec{B}$  כמתואר באיור.

א. מהו היחס בין ההיטל של  $\vec{A}$  על הכיוון של  $\vec{B}$  (נסמןו -  $A_B$ ) להיטל של  $\vec{B}$

$$\text{על הכיוון של } \vec{A} \text{ (נסמןו - } B_A), ? \quad \frac{A_B}{B_A}$$

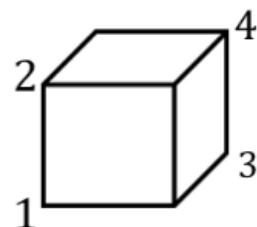
ב. חשבו את הזווית בין  $\vec{A}$  ל-  $\vec{B}$  .



### 10) היטל של אלכסון על אלכסון בקובייה

נתונה קובייה בעלת אורך צלע  $a$  , ראו איור.

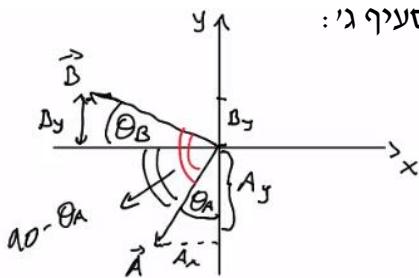
מהו היחס של הווקטור המצביע מפינה 1 לפינה 4 על הציר המוגדר על ידי  
הכיוון מפינה 3 לפינה 2.



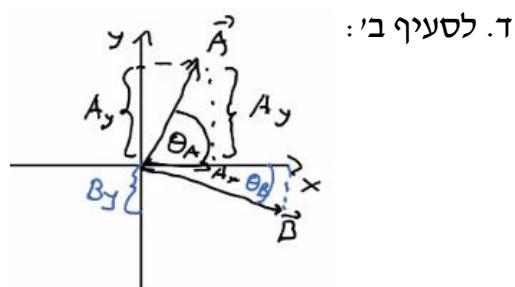
**תשובות סופיות:**

ב.  $\vec{C} \cdot \vec{D} = -5.13$  א.  $\vec{A} \cdot \vec{B} = 2$  (1)

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



לסעיף ג':



ד. לסעיף ב':

.  $\theta_A = 26.57^\circ$ ,  $\theta_B = 26.57^\circ$

.  $\theta_A = 75.96^\circ$ ,  $\theta_B = 14.04^\circ$

ב.  $|\vec{B}| = \sqrt{20}$ ,  $\theta_B = -63.43^\circ$ ,  $|\vec{A}| = \sqrt{10}$ ,  $\theta_A = 161.57^\circ$  א.  $\vec{A} \cdot \vec{B} = -10$  (3)

א.  $\vec{A} \cdot \vec{B} = -10$

ב. שאלת הוכחה.

א. שאלת הוכחה. (4)

ג.  $\vec{A} \cdot \vec{C} + \vec{B} \cdot \vec{C} = -10$

ב.  $(\vec{A} + \vec{B}) \cdot \vec{C} = -10$

א.  $\vec{A} \cdot \vec{C} = -1$  (5)

ה.  $(\vec{A} \cdot \vec{B}) \cdot \vec{B} = (12, -8)$  ו.  $\vec{A} \cdot (\vec{B} \cdot \vec{C}) = (-18, -9)$  ז.  $(\vec{A} \cdot \vec{B}) \cdot \vec{C} = (-4, 12)$  ט.

(ז).  $(\vec{A} \cdot \vec{B}) \cdot (\vec{B} \cdot \vec{C}) = 36$

ב.  $\frac{(\vec{B} \cdot \vec{C}) \vec{C}}{|\vec{C}|^2} = (-0.54, -2.69)$  ז.  $\frac{(\vec{A} \cdot \vec{B}) \vec{B}}{|\vec{B}|^2} = \left( \frac{-8}{10}, \frac{24}{10} \right)$  נ. (6)

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

ב.  $40.6^\circ$  ג.  $59^\circ$  (8)

א.  $\frac{\sqrt{10}}{5}$  (9)

-  $\frac{a}{\sqrt{3}}$  (10)

## וקטור ייחידה:

**רקע:**

$$\hat{\mathbf{A}} = \frac{\vec{\mathbf{A}}}{|\vec{\mathbf{A}}|}$$

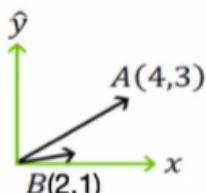
**שאלות:**

**1) דוגמה וקטור ייחידה**

מצא וקטורי ייחידה בכיוון של הווקטורים הבאים :

א.  $\vec{\mathbf{A}} = (-2, -3)$

ב.  $\vec{\mathbf{B}} = (3, 4)$



**2) הטלת וקטור ייחידה על וקטור ייחידה**

נתון הווקטור  $\vec{\mathbf{A}}$  שבסרטוט.

א. מהו היטל הווקטור על ציר ה-  $x$  (וקטור ייחידה)?

ב. מהו היטל הווקטור על ציר ה-  $y$  (וקטור ייחידה)?

ג. הסבר כיצד מחשבים היטל הווקטור על הווקטור  $\vec{\mathbf{B}} = (2, 1)$ .

ד. הסבר במילים את משמעות ההטלה של וקטור על וקטור.

**3) וקטור בזמן**

נתון הווקטור  $\vec{\mathbf{A}}(t) = A_0 \sin(\theta) \mathbf{i} + A_0 \cos(\theta) \mathbf{j}$  במשור דז מימדי כך שה-  $t$  קבוע.

א. מצא את  $t$  כאשר  $\theta = \pi$  ו-  $A_0$  קבוע.

ב. מצא את  $\frac{d\vec{\mathbf{A}}}{dt}$ .

ג. מצא את  $\frac{d\vec{\mathbf{A}}^u}{dt}$

### תשובות סופיות:

$$\hat{\mathbf{B}} = (0.6, 0.8) \text{ נ. ב.} \quad \hat{\mathbf{A}} = (-0.55, -0.83) \text{ נ. א.} \quad (1)$$

$$\text{ג. ראה סרטון} \quad \overset{\mathbf{I}}{\hat{\mathbf{A}}}_{\hat{y}} = (0, 3) \text{ נ. ב.} \quad \overset{\mathbf{I}}{\hat{\mathbf{A}}}_{\hat{x}} = (4, 0) \text{ נ. א.} \quad (2)$$

$$\mathbf{A}_0 (\cos 2t\hat{x} + \sin 2t\hat{y}) \text{ נ. ב.} \quad \mathbf{A}_x(t) = \frac{1}{2} \mathbf{A}_0 \sin 2t, \mathbf{A}_y(t) = \mathbf{A}_0 \sin^2 t \text{ נ. א.} \quad (3)$$

$$-\sin t\hat{x} + \cos t\hat{y} \text{ נ. ג.}$$

## מכפלה וקטוריית בדו מימד:

**רקע:**

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_x B_y - A_y B_x) \hat{z}$$

הערות:

התוצאה של המכפלה הוקטורית היא תמיד וקטור (בניגוד לסקלרית).

נוסחה נוספת לגודל של המכפלה הוקטורית:

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \sin \alpha$$

$\alpha$  - זווית הקטנה בין  $\vec{A}$  ל-  $\vec{B}$ .

**שאלות:**

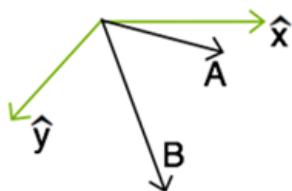
### 1) דוגמה-מכפלה וקטוריית

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

א. חשב את  $\vec{B} \times \vec{A}$  באמצעות החצאות הקרטזיות הנתונות.  
מהו גודל המכפלה?

ב. מצא את הגודל והזווית של כל וקטור.

ג. חשב את  $|\vec{A} \times \vec{B}|$  שוב, הפעם באמצעות הנוסחה של מכפלת הגדלים בסינוס הזווית. (בדוק כי התוצאה זהה לסעיף א).



### 2) מכפלה סקלרית ווקטורית בפולרי

נתונה מערכת צירים כבשותוטו.

נתונים שני וקטורים:

גודל 10, זווית 20 -  $\vec{A}$ .

גודל 15, זווית 60 -  $\vec{B}$ .

א. חשב  $B \cdot A$  (מכפלה סקלרית).

ב. חשב  $\vec{B} \times \vec{A}$  (מכפלה וקטוריית).

ג. הסבר מדוע המכפלה הוקטורית נותנת את שטח המקבילית שיוצרים הווקטורים.

**תשובות סופיות:**

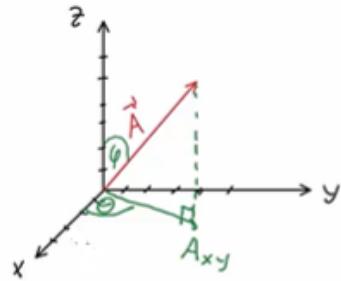
$$\text{. } |\vec{A} \times \vec{B}| = 10 \text{ וכנ } \vec{A} \times \vec{B} = 10\hat{z} \text{ . } \text{ (1)}$$

$$\text{. } |\vec{A} \times \vec{B}| = 10 \text{ ג. } |\vec{A}| = \sqrt{17}, \theta_A = 165.96^\circ, |\vec{B}| = \sqrt{13}, \theta_B = -56.31^\circ \text{ ב.}$$

$$\text{. } \vec{A} \times \vec{B} = -150 \cdot \sin(40) \cdot \hat{z} \text{ ג. ראה סרטוון. } \vec{A} \cdot \vec{B} = 150 \cdot \cos(40) \text{ א. } \text{ (2)}$$

## וקטור בשלושה ממדים:

רקע:



$$0 \leq \varphi \leq \pi$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi$$

מציאת גודל הוקטור :

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

פירוק לרכיבים :

$$\cdot A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$$

$$\cdot A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi$$

$$\cdot A_x = |\vec{A}| \sin \varphi \cos \theta$$

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

**שאלות:****1) חישוב וקטור יחידה**נתון הווקטור:  $\vec{A}(2,3,4)$ .

א. מהו גודלו של הווקטור?

ב. מהו וקטור היחידה של הווקטור  $\vec{A}$ ?**2) חישוב גודל זווית בקרטזי**נתונים שני וקטורים:  $\vec{A}(1,5,10)$ ,  $\vec{B}(3,4,5)$ .

א. מהו גודלו של כל וקטור?

ב. מהי הזווית בין שני הווקטורים?

**3) מציאת שקל וזווית עם הצירים**שני כוחות נתוניים פועלים על גוף:  $\vec{A}(1,4,5)$ ,  $\vec{B}(3,6,7)$ .

א. מהו הכוח השקול?

ב. מהו גודלו של הכוח השקול?

ג. מהי הזווית בין הכוח השקול ובין כל אחד מהצירים?

**4) וקטור בזווית 30° עם ציר Y - ספיר אפק מעבר**אילו מהו וקטוריים הבאים נמצא בזווית של  $30^\circ$  מכך?

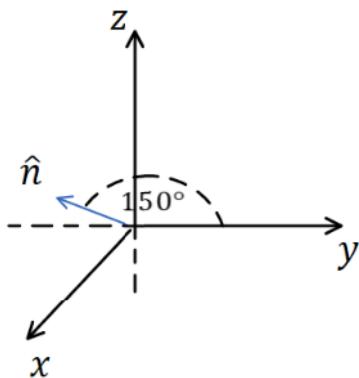
$$\vec{A} = \left( \frac{1}{3}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \quad \vec{B} = \left( \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2}, 1 \right) \quad \vec{C} = \left( \frac{1}{\sqrt{2}}, \sqrt{3}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$$

**5) היטל של A על 150° מעלה מכך y**נתון הווקטור:  $\vec{A} = \hat{x} + \sqrt{3}\hat{y} + 6\hat{z}$ .מהו ההיטל של הווקטור  $\vec{A}$  על ציר  $\hat{n}$ 

המצא במשור z-y וכיוונו החיובי

מסובב בזווית של  $150^\circ$  מכך y נגד

כיוון השעון?



**6) שהסכום מאונך להפרש**

הוכח- אם סכום של שני וקטורים מאונך להפרש אזי אורכם שווה.

**7) מציאת וקטור מאונך**

נתונים 2 וקטורים :  $\vec{A}(1,4,8)$  ,  $\vec{B}(B_x, B_y, 0)$

מצא את מרכיבי וקטור B אם נתון כי הוא ניצב לוקטור A וגודלו 10.

**תשובות סופיות:**

$$\hat{A} = \left( \frac{2}{\sqrt{29}}, \frac{3}{\sqrt{29}}, \frac{4}{\sqrt{29}} \right) . \quad \text{ב.} \quad |A| = \sqrt{29} . \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\alpha = 23^\circ . \quad \text{ב.} \quad |\vec{A}| = \sqrt{126} , \quad |\vec{B}| = \sqrt{50} . \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\alpha = 75.63 , \beta = 51.67 , \gamma = 41.90 . \quad \text{ג.} \quad |C| = \sqrt{260} . \quad \text{ב.} \quad \vec{C} = (4,10,12) . \quad \text{א.} \quad (3)$$

הוקטור C. **(4)**

**1.5 (5)**

שאלת הוכחה. **(6)**

$$\vec{B} = \left( -4\sqrt{\frac{100}{17}}, \sqrt{\frac{100}{17}}, 0 \right) \quad (7)$$

## מכפלה וקטורית בשלושה ממדים:

**רקע:**

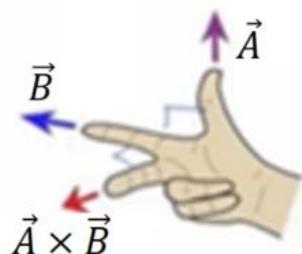
**שתי דרכים לביצוע המכפלה:**

**דרך 1 – דטרמיננטה:**

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

**דרך 2 – לפי גודל וכיוון בנפרד:**  
**גודל המכפלה -  $|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| |\sin \alpha|$**

כיוון לפי כלל יד ימין -



יש כמה דרכים לבצע את הכלל, אם מחליפים אצבעות לכל שלושת הוקטוריים הכלל נשאר נכון (אם מחליפים מקום רק לשני וקטוריים – טעות).

דרך נוספת ל כלל יד ימין נקראת כלל הבורג



מסובבים את האצבעות מ-  $\vec{A}$  ל-  $\vec{B}$  והתוצאה בכיוון האגדול.

**שאלות:****1) דוגמה - דטרמיננטה**

נתונים הוקטורים הבאים :

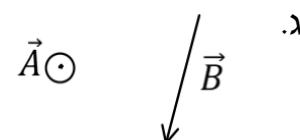
$$\vec{A}(-1,2,-2), \vec{B}(2,0,1)$$

חשבו את  $\vec{A} \times \vec{B}$ .**2) דוגמה - כלל יד ימין**מצאו את  $\vec{B} \times \vec{A}$  במקרים הבאים :

ב.

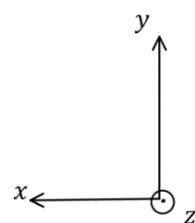
$$\vec{B} \otimes$$

$$\xrightarrow{\vec{A}}$$

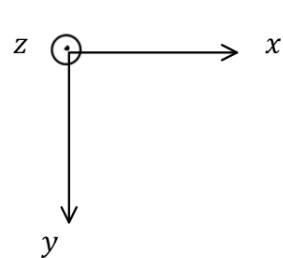
**3) דוגמה - מערכות ציריים**

בדקו האם המערכות הבאות הן ימניות או שמאליות :

א.



ב.



**4) דוגמה - כלל הבורג**מצאו את  $\vec{B} \times \vec{A}$  באמצעות כלל הבורג:

$$\vec{B} \quad \begin{cases} \vec{A} \\ \downarrow \end{cases} \quad \text{א. ג}$$

$$\vec{B} \otimes \quad \text{ב. ע}$$

$$\xrightarrow{\vec{A}}$$

$$\vec{A} \odot \quad \begin{cases} \vec{B} \\ \downarrow \end{cases} \quad \text{ג.}$$

**5) מקבילים**

נתונים הוקטורים הבאים:  $\vec{a} = 2\hat{x} - 3\hat{y} + \hat{z}$ ,  $\vec{b} = \hat{x} + 2\hat{y} - \hat{z}$ ,  $\vec{c} = 2\hat{x} - \hat{y}$   
 מרכיבים מהוקטורים  $\vec{a}$  ו-  $\vec{b}$  מקבילות ובוחרים את ראשית הצירים בקודקוד  
 המקבילית (הנח כל היחידות בס"מ).

א. מצאו את מיקומו של הקודקוד שמל回首 הראשית הצירים.

ב. מצאו את אורכי האלכסונים של המקבילית.

ג. מצאו את שטח המקבילית.

ד. יוצרים מקבילון על ידי הוספת הוקטור  $\vec{c}$  למקבילית.

חשבו את גובה המקבילון המאונך למקבילית.

רמז: השתמש ב-  $\vec{c} \cdot (\vec{a} \times \vec{b})$ .

**תשובות סופיות:**

(1)  $2\hat{x} - 3\hat{y} - 4\hat{z}$

(2) א. לתוך הדף

(3) א. שמאלית

(4) א. לתוך הדף

(5) א.  $\vec{r}_1 = (3, -1, 0)$

ד.  $\tilde{h} = 0.13 \text{ c.m.}$

ב. למעלה

ב. שמאלית

ב. למעלה

ב.  $|\vec{r}_1| = \sqrt{10}, |\vec{r}_2| = \sqrt{30}$

ג.

ג.

$|\vec{a} \times \vec{b}| = \sqrt{59} \text{ c.m}^2$

(1)  $2\hat{x} - 3\hat{y} - 4\hat{z}$

(2) א. לתוך הדף

(3) א. שמאלית

(4) א. לתוך הדף

(5) א.  $\vec{r}_1 = (3, -1, 0)$

## וקטוריים קולינריים:

**ركע:**

וקטוריים מקבילים וمتקדים הקיימים  $\vec{A} = \alpha \vec{B}$  כאשר  $\alpha$  סקלר כלשהו.

**שאלות:**

**1) וקטוריים קולינריים**

עבור אילו ערכים של  $\alpha$  ו- $\beta$  הווקטוריים הבאים קולינריים  
(מצביים באותו כיוון)?

$$\vec{A} = 3\hat{i} + a\hat{j} + 5\hat{k}$$

$$\vec{B} = -2\hat{i} + a\hat{j} - 2\beta\hat{k}$$

**2) מציאת וקטוריים מאונכים**

נתונים הווקטוריים הבאים :  $\vec{A}(A_x, 4)$  ,  $\vec{B}(6, B_y)$  ,  $\vec{C}(5, 8)$ .  
מצא את ערכי הווקטוריים כך שהוקטור A והוקטור B יהיו מאונכים לוקטור C.  
האם שני הווקטוריים שמצאת מקבילים?

**תשובות סופיות:**

$$\alpha = -\frac{9}{2}, \beta = \frac{5}{3} \quad (1)$$

$$\vec{A} = \left( -\frac{32}{5}, 4 \right), \vec{B} = \left( 6, -\frac{30}{8} \right) \quad (2)$$

## גרדיינט ורוטור:

**רקע:**

**גרדיינט בקואורדינטות השונות:**

$$\text{גרדיינט בקואורדינטות קרטזיות : } \vec{\nabla}f = \frac{\partial f}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y}\hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z}\hat{z}$$

$$\text{גרדיינט בקואורדינטות גליליות : } \vec{\nabla}f = \frac{\partial f}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z}\hat{z}$$

$$\text{גרדיינט בקואורדינטות כדוריות (*) : } \vec{\nabla}f = \frac{\partial f}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \cdot \frac{\partial f}{\partial \theta}\hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial f}{\partial \varphi}\hat{\varphi}$$

(\*) שימושו לב שהזווית  $\varphi$  היא עם ציר ה- $z$  והזווית  $\theta$  עם ציר  $x$ .

**רוטור (Rot/Curl) בקואורדינטות השונות:**

בקרטזיות :

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \left( \frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left( \frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left( \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z}$$

בגליליות :

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left( \frac{1}{r} \frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_\theta}{\partial z} \right) \hat{r} + \left( \frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial(rF_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{z}$$

בכדוריות (\*) :

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \frac{1}{r \sin \varphi} \left( \frac{\partial}{\partial \varphi} (F_\theta \sin \varphi) - \frac{\partial F_\theta}{\partial \theta} \right) \hat{r} + \frac{1}{r} \left( \frac{\partial}{\partial r} (rF_\varphi) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \varphi} \left( \frac{1}{\sin \varphi} \frac{\partial F_r}{\partial \theta} - \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot F_\theta) \right) \hat{\varphi}$$

(\*) שימושו לב שהזווית  $\varphi$  היא עם ציר ה- $z$  והזווית  $\theta$  עם ציר  $x$ .

**שאלות:****1) חישוב גרדיאנט**

$$f(\vec{r}) = f(x, y, z) = \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} : \text{נתונה פונקציית המיקום } f$$

חשב את הגרדיאנט של הפונקציה  $f$ .

**2) חישוב השיפוע בכיוון השונה**

חשב את גודל השיפוע של הפונקציה  $f(x, y) = 2x^2y$  בנקודה  $(1, 2)$ :

$$\hat{n} = \left( \frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \right) : \text{בכיוון:}$$

**תשובות סופיות:**

$$\vec{D}f = \frac{-xz\hat{x} - yz\hat{y} + (x^2 + y^2)\hat{z}}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

$$\vec{\nabla}f \cdot \hat{n} = \frac{8}{\sqrt{2}} + -\frac{2}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

## פרק 3 - קינמטיקה -

### תוכן העניינים

1. תנועה בקו ישר (מייד אחד)	42
2. תנועה במשורר וזריקה משופעת (בליסטיקה)	53
3. משוואת מסלול	57
4. תאוצה נורמלית ומשיקית ורדיווס עקומיות	58
5. תרגילים נוספים	61

## תנועה בקו ישר (מיינד אחד):

**רקע:**

הגדרות :

$$\text{מהירות רגעית} - \dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} - \text{מהירות ממוצעת}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \frac{d^2x}{dt^2} - \text{תאוצה רגעית}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} - \text{תאוצה ממוצעת}$$

קשרים הפוכים :

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

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

את האינטגרל אפשר לעשות לא מסוים ( בלי גבולות ) ואז צריך להוסיף קבוע או מסוים ( עם גבולות )

מקום ומהירות כתלות בזמן בתאוצה קבועה :

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v(t) = v_0 + at$$

שטח מתחת לגרף הפונקציה :

- השטח מתחת לגרף הפונקציה של המהירות ( כתלות בזמן ) שווה להעתק ( כאשר שטח מתחת לציר הזמן מחושב כשלילי , אם מחשבים אותו חיובי אז מקבלים את הדרך )

- השטח מתחת לגרף של התאוצה ( כתלות בזמן ) הוא שינוי המהירות ( שטח מתחת לציר הזמן מחושב כשלילי )

**שאלות:****1) דני ודן רצים זה לקראת זו**

דני ודן רצים זה לקראת זו.

שניהם מתחילה לרוץ ממנוחה.

דני רץ בתאוצה של 0.5 מטר לשנייה ברכיבוע ודן בתאוצה של 1 מטר

לשנייה ברכיבוע.

המרחק ההתחלתי ביניהם הוא 50 מטר.

א. מתי והיכן יפגשו דני ודן?

ב. מה מהירות כל אחד מהם ברגע המפגש?

**2) דני שכח את הפלאפון**

דני רץ בכו ישר במהירות קבועה שגודלה 14 מטר לשנייה.

ברגע מסוים מבחין יוסי כי דני שכח את הפלאפון שלו.

באותו הרגע נמצא דני כבר במרחק של 64 מטר מjosי.

josי מתחילה לרוץ אחר דני ממנוחה בתאוצה קבועה של 8 מטר לשנייה ברכיבוע.

א. מצא ביטוי למהירות כתלות בזמן עברו דני וjosי.

شرط גרפים עבור שני הביטויים שמצאות על אותה מערכת ציריים.

ב. מתי מהירותו של josי שווה לו של דני? האם הוא מSIG את דני ברגע זה?

ג. מצא ביטוי למקומות כתלות בזמן עברו דני וjosי.

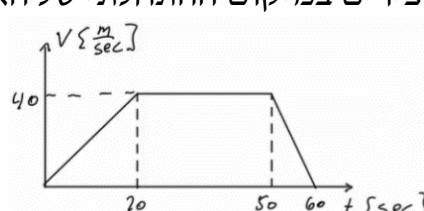
شرط גרפים עבור שני הביטויים שמצאות על אותה מערכת ציריים.

ד. מתי ישיג josי את דני? כמה מרחק עבר josי עד אז?

**3) גרף של מהירות אופנווע בזמן**

בגרף הבא נתונה מהירותו של אופנווע כתלות בזמן. האופנווע נע על קו ישר.

קבע את ראשית הציריים במקום ההתחלתי של האופנווע.



א. תאר את סוג התנועה של האופנווע בכל אחד מקטעי התנועה.

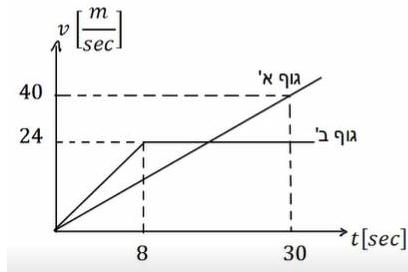
ב. מצא את תאוצת האופנווע כתלות בזמן.

ג. מהי מהירות האופנווע ברגעים:  $t = 15$ ,  $40$ ,  $55$ ?  $t = ?$

ד. מצא את מקום האופנווע באותו רגעים של סעיף ג'.

**4) גרפ' מהירות של שני גופים**

הגרף הבא מတוארות מהירותם של שני גופים כתלות בזמן.  
הנח שני הגוף נעים לאורך קו ישר ויוצאים מהראשית.

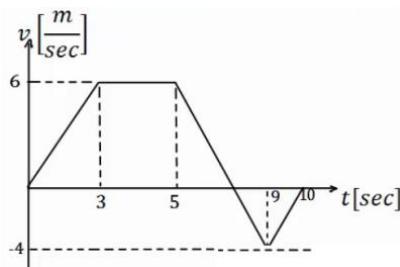


- תאר את תנועתו של כל גוף.
- רשם נוסחת מקום זמן לכל גוף.
- מצא את המרחק בין הגוף ברגעים:  $t = 3s$ ,  $24s$  וציין מי מקדים את מי.
- מתי מהירותם שני הגוף שווות?
- מתי מקום שני הגוף זהה?

**5) תרגיל עם הכל**

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

- תאר את התנועה של הגוף במילימטרים.
- شرط גרפ' של התואча כתלות בזמן של הגוף.
- מתי נמצא הגוף במרחק הגדול ביותר (בכיוון החיובי) מהראשית?  
מהו מרחק זה?
- מהו המרחק הכללי שעבר הגוף?
- מהו העתק הכללי שעשה הגוף?
- מתי המהירות הממוצעת של הגוף בתנועה?
- מהו מרחק הגוף מהראשית ב-  $t = 6 \text{ sec}$ ?
- מתי נמצא הגוף במרחק 12 מטרים מהראשית?
- شرط גרפ' של מיקומו של הגוף כתלות בזמן, אין צורך לסמן ערכיהם בציר האנכי של הגרף.



**6) תפוח עץ**

תפוח נופל מעץ בגובה 15 מטרים.

(הנח שההתפוח נופל ממנוחה והזנחה את התנגדות האוויר).

א. מצא את המהירות בה יפגע התפוח בקרקע.

ב. מצא את המהירות בה יפגע התפוח בראשו של ניטון היושב מתחת לעץ.

הנח שגובה הראש של ניטון בישיבה הוא אחד מטר.

**7) חסידה מביאה חבילה**

חסידה מרחתת במנוחה באוויר וمفילה חבילה מגובה של 320 מטרים.

א. מצא את העתק שمبرעת החבילה בשנייה הרביעית של תנועתה.

ב. מצא את העתק שمبرעת החבילה בשנייה האחרונה של תנועתה.

**8) דני זורק כדור מחלון גבורה**

דני זורק כדור כלפי מעלה מחלון ביתו הנמצא בגובה 105 מטרים מעל הקרקע (בניין גבורה). מהירותו הבודד ישר אחריו הזירה היא 20 מטר לשנייה.

סמן את כיוון הציר החיבובי כלפי מעלה ואת ראשית הצירים בנקודת הזירה.

א. רשום נוסחים מקום זמן ומהירות זמן עברו הבודד.

ב. הכן טבלה ורשום בטבלה את הערכיהם של המיקום והמהירות ב-6  
השניות הראשונות.

ג. צייר את מיקום הבודד בכל שנייה ב-6 השניות.

ד. מתי יפגע הבודד בקרקע?

ה. חזר על סעיפים א' ו-ד' במקרה שבו ראשית הצירים בקרקע.

**9) 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 וכיונו החיבובי כלפי מעלה.

א. רשום את פונקציית המיקום-זמן, מהירות-זמן ותאוצה-זמן של הגוף.

ב. עורך טבלה של מהירותו ומיומו בזמן:  $t = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \text{ sec}$ .

ג. שרטט גרפים עבור שלושת הפונקציות שחישבת בסעיף א'.

**10) כדור נזרק מלמعلת וגוף נזרק מלמיטה**

כדור נזרק כלפי מטה מרأس בניין שגובהו 80 מטר. מהירותו ההתחלתית של הכדור היא 15 מטר לשנייה. באותו הרגע נזרק גוף שני מתחתי הבניין כלפי מעלה. מהירותו ההתחלתית של הגוף השני היא 40 מטר לשנייה.

- רשות נוסחת מקום-זמן עבור כל הגוף.
- האם הגוף השני יעבור את גובה הבניין?
- היכן ביחס לרצפת הבניין יחלפו הגוף אחד ליד השני?
- רשות נוסחת מהירות-זמן לכל הגוף.
- מה תהיה מהירות כלגוף ברגע המפגש?
- מהי מהירות הפגיעה בקרקע של כל הגוף?
- شرط גרף מהירות-זמן וגרף מיקום זמן לכל הגוף.

**11) מהירות בנקודת של פולינום**

גוף נע בקו ישר ומיקומו כתלות בזמן נתון לפי :  $x(t) = 2t^3 - 12t + 30$  כאשר הזמן בשניות והמקום במטרים.

- מצאו את המהירות כתלות בזמן.
- מתי הגוף נעצר?

**12) תנועה בקו ישר, מהירות בנקודת**

מיקומו של הגוף הנע בקו ישר נתון לפי :  $x(t) = 32te^{-t} \cdot x$ .

- מצא את הזמן בו הגוף נעצר.
- מצא את מרחק הגוף ברגע זה מהראשית.

**13) תנועה בקו ישר, מהירות בנקודת ותאוצה**

גוף נע בקו ישר ומיקומו כתלות בזמן נתון לפי :  $x(t) = -2t^3 + 6t + 3$  כאשר הזמן בשניות והמקום במטרים.

- מצאו את המהירות כתלות בזמן ואת הרגע בו הגוף נעצר.
- מהו המרחק המקסימלי אליו הגיע הגוף?
- מהי תאוצת הגוף?

**14) תאוצה מפוצלת**

גוף נקודתי מתחילה לנوع מנוחה ונוע בקו ישר.

$$a(t) = \begin{cases} t \left[ \frac{m}{sec^2} \right], & 0 \leq t \leq 3 [sec] \\ 5 - t \left[ \frac{m}{sec^2} \right], & 3 < t [sec] \end{cases}$$

תאוצת הגוף תלולה בזמן ונתונה לפי:

תנועת הגוף נמשכת עד לרגע בו הוא עצר.

א. מהי מהירות הגוף בזמן?

ב. מהי המהירות המרבית של הגוף במהלך התנועה?

ג.מתי עצר הגוף?

ד. איזה מרחק (העתק) הוא עובר עד לעצירה?

**15) מהירות מינימלית**

גוף נע בקו ישר ומיקומו כתלות בזמן נתון לפי:  $x(t) = \alpha t^3 - \beta t^2 + \gamma t$

כל היחידות סטנדרטיות (מיקום במטר וזמן בשניות).

א. מהן היחידות של  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ?

ב. מהו מיקום הגוף ב- $t=0$ ?

ג. מצאו את המהירות ההתחלתית של הגוף.

ד. מצאו מהי התאוצה ההתחלתית של הגוף.

ה. חשבו את המהירות המינימלית של הגוף כפונקציה של הקבועים בבעיה ומצאו מה התנאי שצרכיים למלא הקבועים על מנת שאכן תהיה מהירות מינימלית.

**16) ילד זורק כדור בקפיצה\***

ילד מנסה לזרוק כדור לתקраה של הכיתה אך איןו מצליח להגיע עד לתקраה. המורה לפיזיקה שהבחן בניסיונותיו של הילד הציע לו שיזורק את הcador תוך כדי קפיצה בכיוון מעלה.

א. האם המורה צודק? לאיזה גובה הגיע הcador אם הילד קופץ ומיד זורק את הcador כלפי מעלה? הניחו שמהירות הקפיצה של הילד היא  $v_1$  ומהירות

הזריקה של הcador  $v_2$  ביחס לילד היא אותו הדבר.

הניחו שזריקת הcador לא משפיעה על הילד.

ב. בטאו את העתק של הילד ושל הcador כפונקציה של הזמן בו הילד זורק את הcador.

**17) זמן מינימלי לסיים מסלול\***

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

**18) כמה זמן הרכבת נסעה ב מהירות קבועה\***

רכבת יוצאת מישוב'A אל יישוב'B.  
בשליש הראשון של הדרך הרכבת מאייצה בתאוצה קבועה.  
בשליש השני של הדרך הרכבת נוסעת ב מהירות קבועה.  
בשליש האחרון של הדרך הרכבת מאטה בקצב קבוע עד לעצרתה ביישוב'B.  
זמן הנסעה הכלול הוא T.  
כמה זמן נסעה הרכבת ב מהירות קבועה?

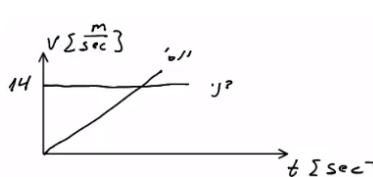
**19) אדם משחרר כדור מתוך מעלית\***

מעלית עולה מגובה הקרקע ב מהירות קבועה.  
בזמן  $T_1$ , אדם הנמצא במעלית משחרר כדור מתוך המעלית דרך חרור שברצפת המעלית.  
הכדור מגיעה לקרקע מעבר  $T_2$  שניות.  
מצאו את גובה המעלית  $h$  בזמן  $T_1$ .  
נתונים  $T_1$  ו-  $T_2$ .

**תשובות סופיות:**

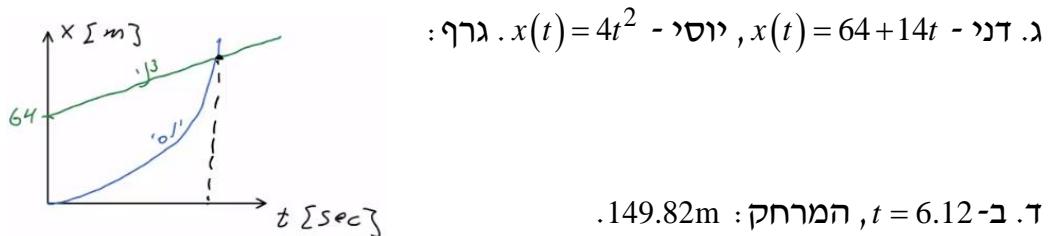
1) א. הזמן :  $t = 8.16 \text{ sec}$ , המיקום :  $16.65 \text{ m}$

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



2) א. דני - יוסי - .  $V(t) = 8t$ ,  $V(t) = 14 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ב. לא.  $t = 1.75 \text{ sec}$



ד. ב- 149.82m,  $t = 6.12 \text{ sec}$

3) א. כאשר  $0 \leq t \leq 20$  (חלק I), התאוצה קבועה וקבועה, והמיקום הולך ונגדל.

כasher  $20 \leq t \leq 50$  (חלק II), מהירות קבועה (אין תאוצה) והמיקום גדל.

כasher  $50 \leq t \leq 60$  (חלק III), התאוצה קבועה ושלילית והמיקום הולך ונגדל.

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

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

$$x(t=15) = 225 \text{ m}, x(t=40) = 1,200 \text{ m}, x(t=55) = 1,750 \text{ m}$$

4) א. גוף א': תנועה בתאוצה קבועה, האצה. ההתקדמות בכיוון חיובי.

גוף ב': כאשר  $0 < t < 8$ , כמו גוף א'. כאשר  $t > 8$ ,

תנועה ב מהירות קבועה בכיוון חיובי.

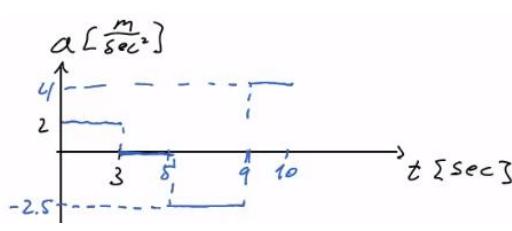
$$\text{ב. גוף א': } \frac{2}{3}t^2, \text{ גוף ב': } \text{כasher } 0 \leq t \leq 8, \text{ כמו גוף א'}$$

$$\text{כasher } x(t) = 96 + 24(t-8), 8 \leq t \leq \infty$$

$$\text{ג. כ- 96m, וכ- 7.5m. } \Delta x(t=24) = 96 \text{ m}, \Delta x(t=3) = 7.5 \text{ m}$$

$$\text{ה. כ- 31.42 sec, כ- 18 sec.}$$

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



ג'. גורן:  $a = \begin{cases} 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 0 < t < 3 \\ 0 & 3 < t < 5 \\ -2.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 5 < t < 9 \\ 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} & 9 < t < 10 \end{cases}$

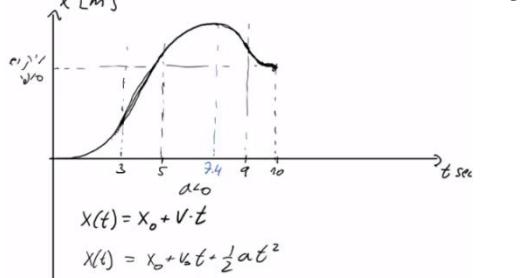
ה.  $\Delta x = 23\text{m}$

ד.  $S = 33.4\text{m}$

. 28.2m : 7.4\text{sec} . ו.  $\bar{V} = 2.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ט.  $t = 3.5\text{ sec}$

. 1.



ו.  $V_F \approx 16.73 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

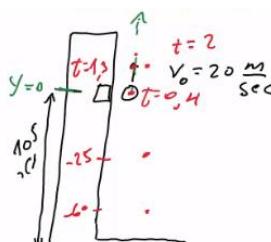
ז.  $40 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

א.  $80\text{m}$

ט.  $V(t) = 20 - 10t, y(t) = 20t - 5t^2$

ט. 7sec . ז.

. ג.



זמן (שניות)	מקום (מטר)	מהירות (מטר לשנייה)
1	15	10
2	20	0
3	15	-10
4	0	-20
5	-25	-30
6	-60	-40

ט. (א) מיקום-זמן:  $V(t) = 20 - 10t$  . מהירות-זמן:  $y(t) = 105 + 20t - 5t^2$

ט. (ד) 7sec

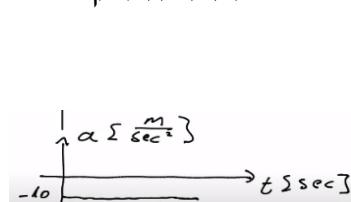
9 א. מיקום-זמן :  $y(t) = 40 + 30t - 5t^2$  , מהירות-זמן :  $v(t) = 30 - 10t$

תאוצה-זמן :  $a = -10$

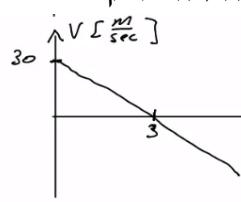
.ב.

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

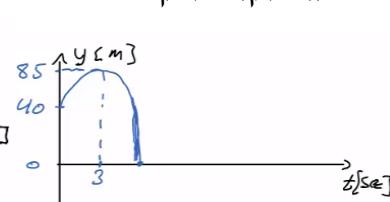
תאוצה-זמן :



מהירות-זמן :



ג. מיקום-זמן :



10 א. גורף 1 - כדור :  $y_1(t) = 80 + (-15)t - 5t^2$  , גורף 2 - ריבוע :  $y_2(t) = 40 - 10t$

.ב. גורף 1 :  $v_1(t) = -15 - 10t$

ג. גורף 2 : 47.74m

ד. גורף 1 בדיקת גובהו.

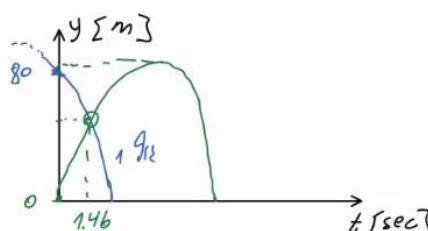
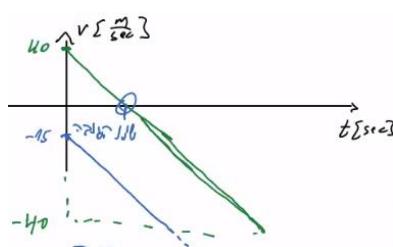
ה. גורף 1 :  $25.4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  , גורף 2 :  $-29.6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ו. גורף 2 :  $v_2(t) = 40 - 10t$

ז. גורף 1 :  $-40 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  , גורף 2 :  $-42.72 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

מהירות-זמן :

ט. מיקום-זמן : (גורף 1 בכחול, גורף 2 בירוק)



ט.  $t = \sqrt{2} \text{ sec}$

ו.  $v = 6t^2 - 12$

ז.  $x(t=1) = \frac{32}{e}$

ט.  $t = 1 \text{ sec}$

ט.  $a = -12t$

ו.  $X_{\max} = 7 \text{ m}$

ז.  $v(t) = -6t^2 + 6$  ,  $t = 1 \text{ sec}$

$$V_{\max} = 6.5 \frac{m}{sec} . \text{ג}$$

$$V(t) = \begin{cases} \frac{t^2}{2} \left( \frac{m}{sec} \right) & 0 \leq t \leq 3 \\ \left( 5t - \frac{t^2}{2} - 6 \right) \left( \frac{m}{sec} \right) & 3 \leq t \end{cases} . \text{א (14)}$$

$$\Delta x \approx 31.79m . \text{ט} \quad t_2 \approx 8.61 . \text{ג}$$

$$\gamma . \text{ג} \quad 0 . \text{ב} \quad [\alpha] = \frac{m}{sec^3} , \quad [\beta] = \frac{m}{sec^2} , \quad [\gamma] = \frac{m}{sec} . \text{א (15)}$$

$$-\frac{\beta^2}{3\alpha} + \gamma , \quad \alpha > 0 . \text{ה} \quad -2\beta . \text{ט}$$

$$\frac{(v_1 + v_2)^2}{2g} - v_2 t_0 : \text{כדו} \quad , \quad \frac{v_1^2}{2g} : \text{ב. יلد} \quad \text{המירה צודק} \quad \frac{(v_1 + v_2)^2}{2g} . \text{א (16)}$$

$$T \approx 58 \text{ sec} \quad (\text{17})$$

$$t_2 = \frac{T}{5} \quad (\text{18})$$

$$h = \frac{g T_2^2}{2 \left( 1 + \frac{T_2}{T_1} \right)} \quad (\text{19})$$

## תנועה במשור וזריקה משופעת:

**רקע:**

.  $\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$  - וקטור המיקום

.  $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$  - וקטור ההעתק

.  $\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$  - (velocity) וקטור המהירות ממוצעת

.  $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$  - (velocity) וקטור המהירות הרגעית

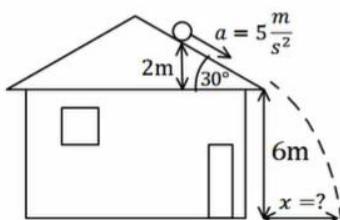
.  $\bar{\vec{a}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$  - (acceleration) וקטור התאוצה ממוצעת

.  $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt}$  - (acceleration) וקטור התאוצה הרגעית

. גודל המהירות (Speed)  $|\vec{v}| = \frac{dS}{dt}$ , כאשר  $S$  זה הדרך.

**שאלות:****1) דוגמה - דן יורה חץ על עץ**

דן יורה חץ מגובה של 2 מטרים לעבר עץ הנמצא במרחק של 8 מטרים. מהירות היציאה של החץ מהקשת היא 30 מטר לשנייה. נמצא באיזה גובה יפגע החץ בעץ אם הזרועה שבה יורה דן את החץ היא 15 מעלות?

**2) כדור מתגלגל מגג משופע**

כדור מתגלגל מגג בניין משופע. הכדור מתחילה תנועתו מנוחה מגובה של 2 מטרים מקצת הגג. שיפוע הגג הוא 30 מעלות מתחת אופק. נתון כי תאוצה הכדור בכיוון תנועתו על הגג היא 5 מטרים לשנייה בריבוע. גובה קצה הגג מעל הקרקע הוא 6 מטרים. נמצא את המרחק האופקי מקצת הגג בו יפגע הכדור בקרקע.

**3) תנועת כדור עם רוח נגדית**

כדור נבעט מהקרקע במהירות של 20 מטרים לשנייה ובזווית של 45 מעלות מהקרקע. רוח נגדית גורמת לכדור תאוצה בכיוון האופקי של 2 מטרים לשנייה בריבוע (בנוסף לתאוצה הגוף).

א. נמצא את מיקום הכדור ומהירותו ב-  $t = 2 \text{ sec}$ .

ב. מהו המרחק בו פוגע הכדור בקרקע?

ג. מהו הגובה המקסימלי אליו הגיע הכדור?

ד. מהו המרחק האופקי המקסימלי אליו הגיע הכדור?

**4) מסירה בפוטבול**

במשחק הפוטבול הרizo האחורי זורק כדור בזווית של 45 מעלות ביחס לקרקע ובמהירות של 30 מטרים לשנייה. שחkon הקבוצה הנמצאת 15 מטרים קדימה מהרכzo האחורי רץ במהירות של 5 מטרים לשנייה. השחקן רואה את הכדור ומנחיל להאיז בתאוצה קבועה.

מהי התאוצה הדרושה לשחקן כך שיוכל לתפוס את הכדור בדיק בגובה בו הוא נזרק?

אם סימן התאוצה יכול להיות שלילי? מה המשמעות של תאוצה זו?

**5) דוגמה מהירות ממוצעת**

מיקומו של גוף כתלות בזמן הוא :  $\vec{r}(t) = 3t^2 x + (2t+1) y$ .  
מצא את המהירות הממוצעת ב-5 השניות הראשונות של התנועה.

**6) דוגמה - מהירות רגעית**

מיקומו של גוף כתלות בזמן הוא :  $\vec{r}(t) = 3t^3 x + (4t-5) y$ .

- מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן.
- מהי מהירות הגוף ב- $t=2$ ?

**7) דוגמה - תאוצה**

מהירותו של גוף כתלות בזמן היא :  $\vec{v}(t) = 2t^3 x + (6t-5) y$ .

- מצא את תאצת הגוף כתלות בזמן.
- מהי התאוצה הממוצעת בחמש השניות הראשונות של התנועה?

**8) דרך והעתק**

מיקומו של גוף לפי הזמן נתנו לפי :  $\vec{r}(t) = 2t^3 x + (t^3 - 2) y$ .

- מצא את המהירות הרגעית (velocity) וההתאוצה הרגעית כפונקציה של הזמן.
- מצא את גודל המהירות (speed) כתלות בזמן.
- מצא את הדרך שעה הגוף בחמש השניות הראשונות.
- מצא את המהירות הממוצעת (average velocity) ב-5 השניות הראשונות של התנועה.
- מצא את ה-speed הממוצע של הגוף בחמש השניות הראשונות.

**תשובות סופיות:**

3.78m **(1)**

4.49m **(2)**

32.01m **ב.**  $x = 24.28\text{m}$ ,  $y = 8.28\text{m}$ ,  $V_x = 10.14 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $V_y = -5.86 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ . **א.**  $x_{\max} = 32.01$  **ד.**  $10\text{m}$ . **ג.**

$a = 5.99 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$  **ב.** יכול לצאת שלילי, המשמעות שהשחקן צריך להאט בשבייל להגיע **א.** לנקודה הזאת בדיקן יחד עם הבדור.

$\vec{V} = (15, 2)$  **(5)**

$\vec{V}(t=2) = (36, 4)$  **ב.**  $\vec{V} = 9t^2\hat{x} + 4\hat{y}$  **א.** **(6)**

$\vec{a} = 50\hat{x} + 6\hat{y}$  **ב.**  $\vec{a}(t) = 6t^2\hat{x} + 6\hat{y}$  **א.** **(7)**

$S \approx 279.5\text{m}$  **ג.**  $|\vec{V}| = \sqrt{45t^2}$  **ב.**  $\vec{V}_{(t)} = 6t^2\hat{x} + 3t^2\hat{y}$  **א.** **(8)**

$|\vec{V}| \approx 55.9 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  **ה.**  $\vec{V} = 50\hat{x} + 25\hat{y}$  **ד.**

## משוואת מסלול:

**ركע:**

משוואת מסלול היא פונקציה מהצורה  $(x,y)$ , סרטוט של הפונקציה הוא המסלול של הגוף במישור. ניתן למצוא את המשוואה באמצעות בידוד משתנה הזמן מהפונקציה  $x(t)$  ו $y(t)$ .

**שאלות:**

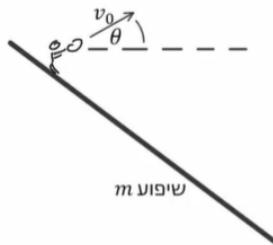
**1) דוגמה-משוואת מסלול**

מצא את המשוואת המסלול ושרטט את המסלול על מערכת צירים עבור המסלול הבא:  $x(t) = \sqrt{3+t^2}$ ,  $y(t) = \sqrt{7-t^2}$ . הנה ש- $x$  ו- $y$  תמיד חיוביים.

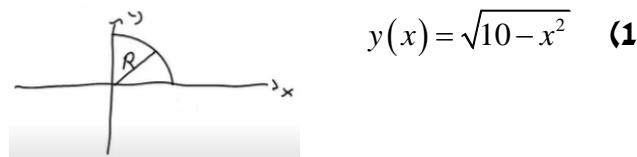
**2) זריקה משופעת על מישור משופע**

איתי עומד על מישור משופע בעל שיפוע  $m$ , איתי זורק כדור כלפיו מורד המישור ב מהירות התחלה  $v_0$  ו לזווית  $\theta$  ביחס לאופק.

- א. מצא מה המרחק מאייתי שבו יפגע הכדור? (התעלם מהגובה של אייתי).
- ב. מהי הזווית  $\theta$  עבורה מרחק זה יהיה מקסימלי?



**תשובות סופיות:**



$$\tan 2\theta = \frac{1}{m}.$$

$$x = \frac{2v_0^2 \cos^2 \theta (\tan \theta + m)}{g}.$$

## תאוצה נורמלית ומשיקית ורדיוס עקומות:

**רקע:**

תאוצה משיקית :

$$|\vec{a}_t| = \frac{\vec{a} \cdot \vec{v}}{|\vec{v}|}, \quad \vec{a}_t = \frac{(\vec{a} \cdot \vec{v})}{|\vec{v}|^2} \vec{v}$$

התאוצה המשיקית היא הרכיב של התאוצה שמשיק ל מהירות (או למסלול) והוא משנה רק את גודל המהירות.

$$|\vec{a}_t| = \frac{d|\vec{v}|}{dt}$$

תאוצה נורמלית :

$$|\vec{a}_n| = |\vec{a} - \vec{a}_t| = \frac{|\vec{a} \times \vec{v}|}{|\vec{v}|}, \quad \vec{a}_n = \vec{a} - \vec{a}_t$$

התאוצה הנורמלית היא הרכיב של התאוצה שמאונך ל מהירות (או למסלול) והוא משנה רק את כיוון המהירות.

רדיוס עקומות :

$$R = \frac{|\vec{v}|^2}{|\vec{a}_n|}$$

**שאלות:**

### 1) תאוצה משיקית ונורמלית

מיקומו של גוף כתלות בזמן נתון לפיה :  $y(t) = (1-t)^2$ ,  $x(t) = 2t^2$ ,

כאשר הצבה של הזמן בשניות תיתן מיקום במטרים.

א. מצאמתי מהירות הגוף מינימלית?

ב. מצא את מיקום הגוף כאשר מהירותו היא :  $\frac{m}{sec}$ .

ג. חשב את התאוצה המשיקית והנורמלית ב-  $t = 2 sec$ .

**2) חישוב תאוצה משיקית ונורמלית גודל וכיוון**

וקטור המיקום של גוף מסויים נתון ע"י המשוואה:  $\hat{z} = t^2 x + 4tx - 5t^2$ .

- חישוב את וקטור המהירות של הגוף כתלות בזמן.
- חישוב את וקטור התאוצה של הגוף כתלות בזמן.
- חישוב את גודל התאוצה המשיקית כתלות בזמן.
- חישוב את גודל התאוצה הנורמלית כתלות בזמן.
- חישוב את וקטור התאוצה המשיקית כתלות בזמן.
- חישוב את וקטור התאוצה הנורמלית כתלות בזמן.

**3) תאוצה משיקית ונורמלית בциקלואידת**

המסלול שמשרטט נקודה על החיקף של גלגל בעט שזה מתגלגל (ללא החלקה) על משטח אופקי נקרא ציקלאידה. מיקום הנקודה בכל רגע נתון על ידי הביטוי:  $\hat{y} = R \sin \omega t$ ,  $\hat{x} = R \cos \omega t$ ,  $\hat{z} = 0$  הם קבועים נתונים.

- חישוב את וקטור המהירות של הנקודה בכל רגע.
- מצאו את הרגעו בו הנקודה נמצאת בשיא הגובה (בציר ה- $y$ ) ואת הרגעו בו הגובה מינימלי (קיים אינסוף רגעים כי התנועה מחזורת, רשום بصورة כללית).
- מצאו את תאוצת החלקיק בכל רגע.
- חישוב את התאוצה המשיקית והנורמלית כאשר הנקודה מגיעה לגובה מקסימלי ומינימלי.
- חישוב את התאוצה המשיקית והנורמלית ברגע שבו רכיב ה- $x$  של המהירות מתאפס.

**4) חרוץ נע על טבעת אליפטית**

חרוץ נע על פני טבעת אליפטית, כך שמיומו בכל רגע כתלות בזמן הוא:  $\hat{y} = a \cos(\omega t)$ ,  $\hat{x} = b \sin(\omega t)$ ,  $\hat{z} = 0$  קבועים נתונים.

- מצאו את התאוצה המשיקית כתלות בזמן.
  - מצאו את התאוצה הנורמלית כתלות בזמן.
  - כאשר  $|a| = |b|$  האליפסה הופכת למעגל.
- במקרה זה, האם גודל המהירות משתך התנועה גדול, קטן, לפעמים גדול ולפעמים קטן או נשאר קבוע?

### תשובות סופיות:

$$\overset{\text{ר}}{r} = (4.38, 0.23) \text{ . ב } \quad t = 0.2 \text{ sec . נ } \quad (1)$$

$$\overset{\text{ר}}{a}_b = (4.24, 1.06) \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, \overset{\text{ר}}{a}_n = (-0.24, 0.94) \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{ . ג}$$

$$\overset{\text{ר}}{a} = \overset{\text{ר}}{v} = 2\hat{x} - 10\hat{z} \text{ . ב } \quad \overset{\text{ר}}{V}_{(t)} = \overset{\text{ר}}{r} = 2t\hat{x} + 4\hat{y} - 10t\hat{z} \text{ . נ } \quad (2)$$

$$|a_n| = \sqrt{\frac{208}{13t^2 + 2}} \text{ . ט} \quad |a_t| = \frac{52t}{\sqrt{26t^2 + 4}} \text{ . ג}$$

$$\overset{\text{ר}}{a} = \frac{4}{13t^2 + 2} (1, -13t, -5) \text{ . י} \quad \overset{\text{ר}}{a}_t = \frac{52t}{26t^2 + 4} (t, 2, -5t) \text{ . ה}$$

$$\overset{\text{ר}}{V} = \overset{\text{ר}}{r} = (R\omega \cdot \cos(\omega t) + R\omega) \hat{x} + (-R\omega \sin(\omega t)) \hat{y} \text{ . נ } \quad (3)$$

$$\overset{\text{ר}}{a} = \overset{\text{ר}}{v} = -\omega^2 R \sin(\omega t) \hat{x} - \omega^2 R \cos(\omega t) \hat{y} \text{ . ג} \quad t_{\max} = \frac{2\pi}{\omega} k, t_{\min} = \frac{\pi}{\omega} + \frac{2\pi}{\omega} k \text{ . ב}$$

$$\text{ה. אי אפשר להגדיר.} \quad \overset{\text{ר}}{a}_t = 0, \overset{\text{ר}}{a}_n = \overset{\text{ר}}{a} = -\omega^2 R \hat{y} \text{ . ט}$$

$$a_t = \frac{\omega^2 \sin(2\omega t)(a^2 - b^2)}{2\sqrt{a^2 \sin^2(\omega t) + b^2 \cos^2(\omega t)}} \text{ . נ } \quad (4)$$

$$a_n = \sqrt{\omega^4 a^2 \cos^2(\omega t) + \omega^4 b^2 \sin^2(\omega t) + \left( -\frac{\omega^4 \sin^2(2\omega t)(a^2 - b^2)}{4(a^2 \sin^2(\omega t) + b^2 \cos^2(\omega t))} \right)} \text{ . ב}$$

$$\text{ג. הגודל נשאר קבוע.} \quad |\overset{\text{ר}}{V}| = \text{const. ג}$$

## תרגילים נוספים:

**שאלות:**

**1) גודל מהירות מינימלי**

וקטור המיקום של גוף מסוים כתלות בזמן נתון על ידי:  $\vec{r}(t) = 2t^2 \hat{i} - 6j + (t-5)^2 k$ .

- מהו וקטור מהירות הגוף כתלות בזמן?
- מהו וקטור התאוצה של הגוף כתלות בזמן?
- מתי גודל מהירות הגוף מינימלי?

ד. מהו וקטור המיקום כאשר גודל מהירותו הוא:  $\sqrt{160} \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ?

**2) וקטורים בזירה משופעת**

גוף נזרק מראשית הצירים במהירות התחלה  $v_0$  ובזווית  $\theta$  ביחס לציר ה- $x$ .

- מצאו את וקטור המיקום של הגוף כתלות בזמן.
- מצאו את וקטור מהירות והתאוצה של הגוף כתלות בזמן.
- חשבו את הזווית בין וקטור מהירות לוקטור התאוצה כתלות בזמן.

**3) וקטור מיקום ומסלול**

וקטור המיקום של גוף הנע במישור  $xy$  נתון לפי:  $\hat{r}(t) = A \sin(\omega t) \hat{x} + B \cos(\omega t) \hat{y}$ .

- מצאו את וקטור מהירות וה תאוצה של הגוף.
- חשבו את הזווית בין וקטור מהירות לוקטור התאוצה ב- $t=0$ .
- הראו שוקטור התאוצה וקטור המיקום הפוכים בכיוון.
- מצאו את מסלול התנועה של הגוף, כולם את  $(x, y)$ .

**4) וקטור מיקום ומסלול עם זמן בריבוע**

וקטור המיקום של גוף הנע במישור  $y-x$  נתון לפי:  $\vec{r}(t) = A \sin(\alpha t^2) \hat{x} + B \cos(\alpha t^2) \hat{y}$ .

- מצאו את וקטור מהירות וה תאוצה של הגוף.
- מצאו את מסלול התנועה של הגוף, כולם את  $(x, y)$ .
- מה ההבדל בין המסלול בתרגיל זה לבין המסלול בתרגיל הקודם?

**5) רובין הוד יורה ותופס חץ**

רובין הוד יורה חץ ב מהירות  $v_0$  ו זווית  $\theta$  ביחס לקרקע. ברגע שחרור החץ מתחילה רובין הוד לזרוץ בקו ישר ובתאוצה  $a(t) = Ae^{-kt}$ . רובין הוד רוצה לתפוס את החץ ברגע פגיעתו לקרקע. מצאו משווהה עם הפרמטרים  $A$ ,  $\theta$ ,  $v_0$  והמשתנה  $k$  ממנו ניתן לחוץ את  $k$  כך שרוביון יוכל לפתור את המשווהה.

**6) תנועה במעגל\***

גוף נקודתי נעה במשור אופקי  $xy$ .

בזמן  $t=0$  מהירות הגוף הייתה:  $\frac{m}{sec} \hat{r}(0) = 5\hat{j} m$  יחד עם וקטור המצב:

תאוצה הגוף כפונקציית זמן החל מרגע זה היא:

$$\ddot{r}(t) = -45\pi^2 \sin(3\pi t) \hat{i} - 45\pi^2 \cos(3\pi t) \hat{j} \frac{m}{sec^2}$$

- א. מצא את וקטור המהירות של הגוף בזמן.
- ב. מצא את וקטור המצב של הגוף בזמן.
- ג. מצא את הזווית בין וקטור המצב לוקטור התאוצה בזמן.
- ד. מצא את משוואת המסלול של הגוף.

**7) תנועה על אליפסה\***

مיקום של גוף נקודתי נתון במשווהה:  $\hat{r}(t) = 4\sin(\pi t)\hat{i} + 3\cos(\pi t)\hat{j}$

(המיקום במטרים, הזמן בשניות).

- א. מצא את משוואת המסלול של הגוף.
- ב. מצא את רגעי הזמן שבהם המהירות ורדיוס הוקטור מאונכים.
- ג. מצא את תאוצה התנועה והראה שהיא מכונה כלי ראשית הצירים.
- ד. מצא באיזה רגעי זמן גודל התאוצה הוא:  $\frac{v^2}{r}$ .
- ה. חשבו את המרחק המינימלי של הגוף מראשית הצירים.

כמה פעמים, במשך מהזור תנועה אחד, מגיעו הגוף למרחק מינימלי מראשית?

**8) מהירות לפי גזירה תרגיל פשוט**

נתון וקטור  $r$  של חלקיק מסויים:  $\vec{r} = (8t, -5t^2)$ .

- מהו רכיב ה- $x$  של הווקטור בזמן?
- מהו רכיב ה- $y$  של הווקטור בזמן?
- מהי מהירותו בציר  $x$ ?
- מהי מהירותו בציר  $y$ ?
- האם מהירות אלות קבועות בזמן?
- מהו מרחק החלקיק מהראשית לאחר שעברו 3 שניות?

**9) גזירת מיקום למציאת מהירות**

מיקומו של חלקיק נתון ע"י הווקטור  $r$ :  $\vec{r} = 5\sin(\pi t) \mathbf{i} + 4t^3 + t^2 \mathbf{j} + 8e^t \mathbf{k}$ .

- מצאו את וקטור המהירות כפונקציה של הזמן.
- מהי מהירות החלקיק ב- $t = 2$ ?

**10) העתק לפי גזירה**

וקטור  $r$  מתאר מיקומו של חלקיק בזמן:  $\vec{r} = (5t, 10 + t^2)$ .

- מהו מיקום החלקיק בזמן  $t = 0$ ?
- מהו מיקום החלקיק בזמן  $t = 5$ ?
- מהו ההעתק בחמש השניות הראשונות?
- מהי מהירות החלקיק בזמן  $t = 5$  (ב>Showcase גודל וכיוון)?

**תשובות סופיות:**

$$t_{\min} = 1 \text{ sec} \quad \text{ג.} \quad \vec{a} = \dot{\vec{v}} = 4\hat{i} + 2\hat{k} \quad \text{ב.} \quad \vec{v} = \dot{\vec{r}} = 4t\hat{i} + 2(t-5)\hat{k} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\vec{r}(t_1) = 18\hat{i} - 6\hat{j} + 4\hat{k} \quad \text{ד.}$$

$$\vec{v} = v_0 \cos \theta \hat{x} + (v_0 \sin \theta - 10t) \hat{y} \quad \text{ב.} \quad \vec{r}(t) = v_0 \cos \theta \cdot t \hat{x} + (v_0 \sin \theta \cdot t - 5t^2) \hat{y} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\cos \alpha = \frac{10t - v_0 \sin \theta}{\sqrt{(v_0 \cos \theta)^2 + (v_0 \sin \theta - 10t)^2}} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{v} = \omega A \cos(\omega t) \hat{x} - \omega B \sin(\omega t) \hat{y}, \quad \vec{a} = -\omega^2 A \sin(\omega t) \hat{x} - \omega^2 B \cos(\omega t) \hat{y} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$\left( \frac{y}{B} \right)^2 + \left( \frac{x}{A} \right)^2 = 1 \quad \text{ט. הוכחה.} \quad 90^\circ \quad \text{ב.}$$

$$, \vec{v} = A \cos(\omega t^2) 2\omega t \cdot \hat{x} - B \sin(\omega t^2) (2\omega t) \hat{y} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$\vec{a} = \left[ -A \sin(\omega t^2) (2\omega t)^2 + 2\omega A \cos(\omega t^2) \right] \hat{x} - \left[ B \cos(\omega t^2) (2\omega t)^2 + 2\omega B \sin(\omega t^2) \right] \hat{y}$$

$$\text{ג. אין הבדל} \quad \left( \frac{y}{B} \right)^2 + \left( \frac{x}{A} \right)^2 = 1 \quad \text{ב.}$$

$$\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} = \frac{A}{k} \frac{2v_0 \sin \theta}{g} + \frac{A}{k^2} \left( e^{-k \frac{2v_0 \sin \theta}{g}} - 1 \right) \quad (5)$$

$$\vec{r}(t) = 5 \sin(3\pi t) \hat{i} + 5 \cos(3\pi t) \hat{j} \quad \text{ב.} \quad \vec{v}(t=0) = 15\pi \cos(3\pi t) \hat{i} - 15\pi \sin(3\pi t) \hat{j} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$x^2 + y^2 = 25 \quad \text{ט.} \quad \alpha = 180^\circ \quad \text{ג.}$$

$$t_1 = 0, t_2 = 1, t_3 = \frac{1}{2}, t_4 = \frac{3}{2} \quad \text{ב.} \quad \left( \frac{x}{4} \right)^2 + \left( \frac{y}{3} \right)^2 = 1 \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$\vec{a} = \dot{\vec{v}} = -4\pi^2 \sin(\pi t) \hat{i} - 3\pi^2 \cos(\pi t) \hat{j} \quad \text{ג.}$$

$$\text{ה. } |\vec{r}|(t=1) = 3 \quad \text{ט.} \quad t_1 = \frac{1}{4} \text{ sec}, t_2 = \frac{5}{4} \text{ sec}, t_3 = \frac{3}{4} \text{ sec}, t_4 = \frac{7}{4} \text{ sec} \quad \text{ט.}$$

$$v_y = \dot{r}_y = -10t \quad \text{ט.} \quad v_x = \dot{r}_x = 8 \quad \text{ג.} \quad r_y = -5t^2 \quad \text{ב.} \quad r_x = 8t \quad \text{א.} \quad (8)$$

ה. מהירות על  $x$  קבועה בזמן, מהירות על  $y$  לא קבועה בזמן.

$$|r_{t=3}| = \sqrt{2601} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = 5\pi \cos(\pi t) \hat{i} + 12t^2 + 2t \hat{j} + 8e^t \hat{k} \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$\vec{v}_{t=2} = 5\pi \cos(2\pi) \hat{i} + 4 \cdot 2^3 + 2^2 \hat{j} + 8e^2 \hat{k} = 5\pi \hat{i} + 36 \hat{j} + 8e^2 \hat{k} \quad \text{ב.}$$

$$|\vec{r}_{t=5} - \vec{r}_{t=0}| = \sqrt{1250} \quad \text{ג.} \quad \vec{r}_{t=5} = (25, 35) \quad \text{ב.} \quad \vec{r}_{t=0} = (0, 10) \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$|v_{(t=5)}| = \sqrt{125} \quad \text{ט.}$$

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

## פרק 4 - תנועה יחסית - לרפרף

### תוכן העניינים

65 .....	1. הסבר על טרנספורמציה גליליי .....
70 .....	2. שיטה שנייה-פתרון באמצעות תרשימי וקטוריים .....

## טרנספורמציה גלילי:

**רקע:**

$$\begin{aligned}\vec{r}_{1,2} &= \vec{r}_1 - \vec{r}_2 \\ \vec{v}_{1,2} &= \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \\ \vec{a}_{1,2} &= \vec{a}_1 - \vec{a}_2\end{aligned}$$

**שאלות:**

**1) כלב קופץ בתוך רכבת**

כלב נמצא ברכבת הנעה במהירות  $\frac{m}{sec}$  ביחס לקרקע. הכלב קופץ בכיוון התקדמות הקרון מרחק של 7 מטרים ביחס לקרון. במהלך הקפיצה מהירות הכלב קבועה ביחס לקרון ושויה ל-  $\frac{m}{sec}$ . מהו המרחק שעבר הכלב ביחס לקרקע?

**2) מדרגות נעות**

כאשר אדם עומד על מדרגות נעות בchnerות, הוא מגיע לקומת הרצiosa תוך 50 שניות. יום אחד, המדרגות הנעות מתקללות והאדם צריך לעלות אותן ברגל בכוחות עצמו, כאשר הוא נע במלוא היכולת שלו, הוא מצליח להגיע לקומת הרצiosa תוך 80 שניות. לעומת זאת, המדרגות הנעות עובדות כרגיל, אך האדם מצליח לזרז בהן במלוא יכולתו בכל זאת.

א. תוך כמה זמן מגיע לקומת הרצiosa?

ב. האדם מנסה עתה לרדת חזרה לקומת המקורית במדרגות העולות (אליה הוא עלה קודם).

אם הוא יכול להצליח בכך?

אם כן תוך כמה זמן מגיע לקומת המקורית?

**(3) כדור נזרק במעלה**

מרצפת מעלה הנמצאת במנוחה נזרק כדור כלפי מעלה ב מהירות התחלתית לא ידועה. הכדור עובר ליד שעון עץ, המחוור למעלה, ונמצא בגובה 2 מטרים מרצפת המעלית. שעון העץ מופעל ברגע שהכדור חולף לידו בפעם הראונה ומפסיק ברגע שהכדור חולף לידו בפעם השנייה (בדרכו למיטה). השעון מדד זמן של 0.5 שניות.

א. מהו הזמן התנועה של הכדור מרגע הזירה עד לפגיעה ברצפת המעלית?

ב. מהי הדרך אותה עשה הכדור ביחס למעלה וביחס לכדה"א עד אשר הגיע לשעון בפעם השנייה?

ג. חוזרים על הניסוי, אבל-cut המעלית נעה (מלפנים זריקת הכדור) ב מהירות קבועה כלפי מעלה של  $\frac{m}{sec}$ . הזמן שמודד השעון הוא שוב 0.5 שניות.

מהו הזמן התנועה של הכדור מרגע הזירה ועד לפגיעה ברצפת המעלית?

ד. מהי הדרך אותה עשה הכדור ביחס למעלה וביחס לכדה"א עד אשר הגיע לשעון בפעם השנייה?

ה. מהי מהירות הכדור ביחס לכדה"א ברגע הפגיעה ברצפת המעלית?

**(4) כדור נזרק במעלה מאייצה**

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

ברגע שמהירות המעלית היא  $\frac{m}{sec}$  נזרק מרצפת המעלית כדור כלפי מעלה ב מהירות התחלתית לא ידועה.

הכדור עובר ליד שעון עץ המחוור למעלה ונמצא בגובה 1 מטר מרצפת המעלית. שעון העץ מופעל ברגע שהכדור חולף לידו בפעם הראונה ומפסיק ברגע שהכדור חולף לידו בפעם השנייה (בדרכו למיטה). השעון מדד זמן של 0.5 שניות.

א. מהו הזמן עד לפגיעת הכדור ברצפת המעלית?

ב. מהי הדרך הכלילת שעבר הכדור ביחס למעלה עד אשר עבר ליד השעון בפעם השנייה?

ג. מהי הדרך הכלילת שעבר הכדור ביחס לכדה"א עד אשר עבר ליד השעון בפעם השנייה?

ד. מהי מהירות הכדור יחסית לכדה"א ברגע הפגיעה ברצפת המעלית?

**(5) דוגמה - מכוניות ביחס לאוטובוס**

מכונית נוסעת ב מהירות של 30 מטר לשנייה בכיוון ציר ה- $x$ .

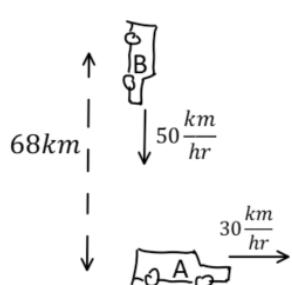
אוטובוס נוסע ב מהירות של 50 מטר לשנייה בכיוון ציר ה- $x$ .

א. מצא את המהירות היחסית בין האוטובוס למכונית.

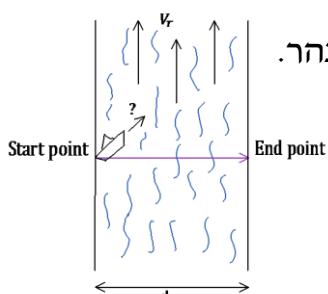
ב. מצא את ה佐וית בה האוטובוס יראה את המכונית נוסעת.

**6) אבן נזרקת מכדור פורח – תעשייה טכניון**

סטודנטית נמצאת על משטח שעולה אונכית ב מהירות קבועה  $v_0 = 6 \frac{m}{sec}$ . נסמן ב-  $t = 0$  את הרגע בו התחיל לעלות המשטח מהקרקע. ברגע  $t_1 = 3 \text{ sec}$  הסטודנטית נזרקה אבן ב מהירות  $v_1 = 8 \frac{m}{sec}$ , אופקית ביחס אליה. מהו הזמן בו האבן פוגעת בקרקע (ביחס לזמן אפס של השאלה)?

**7) מרחק מינימלי בין מכוניות**

צופה הנמצא ברכב A יוציא מנוקודה מסוימת בכיוון מזרח ב מהירות  $30 \text{ km/hr}$ . באותו הזמן רכב B י יצא מרחק  $68 \text{ km}$  צפונית לנוקודה יציאתו של רכב A ונוסע דרומה ב מהירות של  $50 \text{ km/hr}$ , כמתואר באור. א. רשמו את פונקציית המרחק בין שני כלי הרכב כתלות בזמן.  
ב. מצאו תוקן כמה שעות המרחק בין כלי הרכב יהיה מינימלי.  
ג. הראו כי ברגע בו המרחק בין המכוניות מינימלי וקטור המיקום היחסי מאונך לוקטור המהירות היחסית.

**8) סירה בנהר**

נהר זורם צפונה ב מהירות  $V_r$ . יוסי נמצא בגדה המערבית ורוצה להשיט סירה לרוחב הנהר. מהירות הסירה היא  $V_{br}$  יחסית לנهر. יוסי מעוניין להגיע אל הגדה הנגדית לבדוק מזrichtה לנוקודת מוצאו. נתון כי רוחב הנהר  $d$ .  
א. באיזה כיוון הוא יהיה חייב להשיט את הסירה?  
ב. מה מהירות הסירה ייחסית לאדמה?  
ג. כמה זמן תארך דרכו?

**9) אונייה שטה מערבה וצופה באונייה נוספת**

אוניה A השטה מערבה ב מהירות  $30 \text{ km/hr}$  נראית אונייה B כאילו היא שטה בדיק צפונה. כאשר אונייה A מאטה ומורידה את מהירותה ל-  $-10 \text{ km/hr}$  (באותנו הכיוון) נראית ממנה אונייה B כאילו היא שטה בכיוון היוצר זווית של  $42^\circ$  מעלות מערבית לצפון.  
מהו גודלה וכיוונה של מהירות אונייה B ביחס לקרקע?

**10) זווית פגיעה של גשם במכונית**

נаг הנושא במהירות 100 קמ"ש רואה טיפות גשם נמרחות על השימוש הצדדי של המכונית בכיוון הפוך לכיוון הנסיעה ובזווית של 45 מעלות עם הציר האנד לכיוון הנסיעה.

נаг אחר הנושא במהירות 70 קמ"ש רואה את טיפות הגשם בזווית 30 מעלות עם אותו הציר.  
מצא את מהירות הטיפות ביחס לקרקע (גודל וכיוון).

**11) זווית בין מהירות**

שני קליעים נורים ברגע  $t = 0$ . מיקומם ומהירותם ההתחלתית הם :

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1(0) &= -\mathbf{i} + 4\mathbf{j}, \quad \mathbf{v}_2(0) = 2\mathbf{i} + 5\mathbf{j}, \\ \mathbf{r}_1(0) &= 0, \quad \mathbf{r}_2(0) = \mathbf{i} + \mathbf{j}. \end{aligned}$$

על שניהם פועל כוח משיכה הגורם לתאוצה של  $\mathbf{a} = -3\mathbf{i} + \mathbf{j}$ .

היחידות הן MKS.

א. מצא את  $\mathbf{r}_1(t)$ ,  $\mathbf{r}_2(t)$ .

ב. מצא את המרחק בין הקליעים כפונקציה של הזמן.

ג. מצא את הזווית בין  $\mathbf{v}_1$  ל-  $\mathbf{v}_2$  ברגע  $t = 3$ .

**12) מציאת מהירות בין מערכות**

ביחס למערכת ייחוס A, מיקומו של גוף מסוים נתונה על ידי :

$$\mathbf{r}_A(t) = (6t^2 - 4t, -3t^3, 3).$$

מערכת ייחוס B נעה ביחס למערכת הייחוס הראשונה במהירות קבועה,  $\mathbf{V}_{AB}$ .

צופה הנמצא במערכת B רואה את הגוף נע כך שמיומו בכל רגע הוא :

$$\mathbf{r}_B(t) = (6t^2 - 3t, 2t - 3t^3, 5).$$

א. חשבו את המהירות של המערכת B ביחס למערכת A,  $\mathbf{V}_{AB}$ .

ב. הראו שתאוצרת הגוף זהה בשתי מערכות הייחוס, וחשבו אותה.

**תשובות סופיות:**

$$25.7 \text{ m} \quad \text{(1)}$$

$$\text{ב. לא} \quad t = 30.8 \text{ sec} \quad \text{. נ} \quad \text{(2)}$$

$$S=5.72\text{m} \quad \text{. ת} \quad t = 1.36 \text{ sec} \quad \text{ג. ג} \quad S = 2.62\text{m} \quad \text{ב. ב} \quad t = 1.36 \text{ sec} \quad \text{. נ} \quad \text{(3)}$$

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

$$v_1 = 0.16 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{. ת} \quad S=4.46\text{m} \quad \text{. ג} \quad S = 1.76\text{m} \quad \text{ב. ב} \quad t = 0.96 \text{ sec} \quad \text{. נ} \quad \text{(4)}$$

$$\theta_2' = 148^\circ \quad \text{ב. ב} \quad v_2' = \left( -24.01 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, 15 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \right) \quad \text{. נ} \quad \text{(5)}$$

$$2.6 \text{ sec} \quad \text{(6)}$$

$$t = 1\text{hr}, \quad \left| \vec{r}_{B,A} \right| = 35\text{km} \quad \text{ב. ב} \quad \left| \vec{r}_{B,A} \right| = \sqrt{(30t)^2 + (68-50t)^2} \quad \text{. נ} \quad \text{(7)}$$

$$t = \frac{d}{\sqrt{V_{br}^2 - V_r^2}} \quad \text{ג. הוכחה.} \quad V_{bx} = \sqrt{V_{br}^2 - V_r^2} \quad \text{ב. ב} \quad \sin \theta = -\frac{V_r}{V_{br}} \quad \text{. נ} \quad \text{(8)}$$

$$V_B \approx 37.3 \text{ km/hr}, \alpha \approx 36.5^\circ \quad \text{צפונה מהמערב} \quad \text{(9)}$$

$$\text{10) מהירות: } V_x = 29.21 \frac{\text{km}}{\text{hr}}, V_y = -70.79 \frac{\text{km}}{\text{hr}}, \text{ גודל וכיוון: ראה סרטון.}$$

$$\vec{r}_1(t) = \left( -\frac{3}{2}t^2 + 2t \right) \hat{i} + \left( \frac{t^2}{2} + 5t \right) \hat{j}, \quad \vec{r}_2(t) = \left( -\frac{3}{2}t^2 - t + 1 \right) \hat{i} + \left( \frac{t^2}{2} + 4t \right) \hat{j} \quad \text{. נ} \quad \text{(11)}$$

$$\alpha = 13.82^\circ \quad \text{ג. הוכחה.} \quad \left| \vec{r}_{1,2} \right| = \sqrt{10t^2 - 6t + 1} \quad \text{ב. ב}$$

$$(1, -2, 0) \quad \text{. נ} \quad \text{(12)}$$

## שיטת שנייה-פתרון באמצעות תרשימי וקטורים:

**שאלות:**

**1) שיטה שנייה-פתרון באמצעות תרשימי וקטורים ודוגמה**

צופה הנמצא באונייה A השטה מזרחית 15 קמ''ש רואה את אונייה B שטה ב מהירות 20 קמ''ש ובכיוון 60 מעלות צפוןית למזרח. מהי המהירות של אונייה B ביחס לקרקע, גודל וכיוון?

**2) סירה בנהר פתרון בשיטה השנייה**

נהר זורם צפונה ב מהירות  $v_r$ .

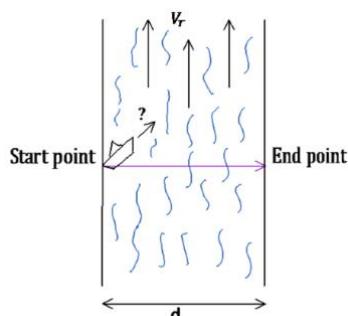
יוסי נמצא בגדה המערבית ורוצה להשיט סירה לרוחב הנהר. מהירות הסירה היא  $v_{br}$  יחסית לנهر.

יוסי מעוניין להגיע אל הגדה הנגדית בדיקת מזרחית لنקודת מוצאו.

א. סרטטו תרשימים וקטוריים ובו :

מהירות הסירה ביחס לקרקע, מהירות הנהר ביחס לקרקע ומהירות הסירה ביחס לנهر.

ב. מצאו את כיוון מהירות הסירה ביחס לנهر.



**3) מטוס נראה משתי רכבות**

צופה הנמצא ברכבת הינה מזרחית ב מהירות של 50 קמ''ש רואה מטוס חוצה את המסילה בזווית של 30 מעלות מערבית לצפון.

צופה אחר הנוסע ברכבת הינה מערב ב מהירות של 100 קמ''ש רואה את אותו המטוס חוצה את המסילה בזווית 50 מעלות מזרחית לצפון.

א. סרטטו תרשימים וקטוריים ובו :

מהירות הצלפים ביחס לקרקע, מהירות המטוס ביחס לכל צופה ומהירות המטוס ביחס לקרקע (אין צורך לדעת את כל הנתונים בתרשימים).

ב. מצאו את מהירות המטוס ביחס לקרקע (גודל וכיוון).

**4) רכב רואה רכב רואה רכב**

צופה היושב ברכב A רואה את רכב B כאילו הוא נע צפונה ב מהירות  $v_{BA}$ .

צופה היושב ברכב B רואה את רכב C, כאילו הוא נע בכיוון צפון מערב בזווית  $\alpha$  מהצפון וב מהירות  $v_{CB}$ .

רכב A נע ביחס לקרקע בכיוון צפון מזרחי  $\beta$  מן הצפון וב מהירות  $v_A$ .

מהי המהירות של רכב C ביחס לקרקע, גודל וכיוון?

**(5) שני דאונים**

שני דאונים טסים באותוגובה.

באזור טיסתם קיים זרם אוויר ב מהירות 40 קמ"ש ובכוון של 30 מעלות

מזרחה מהצפון.

דאון 1 טס ביחס לזרם ב מהירות 30 קמ"ש ובכוון צפון.

דאון 2 טס ביחס לקרקע ב מהירות לא ידועה אך בכיוון צפון.

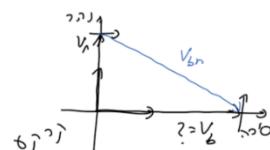
בנוסף הטיס שבדאון 1 רואה את דאון 2 כאילו הוא טס מערבה.

מצאו את גודל וכיוון מהירות הדאונים ביחס לקרקע.

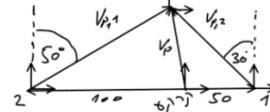
**תשובות סופיות:**

**(1)** 30.4 קמ"ש ובזווית 34.7 מעלות צפונית למזרח.

$$\text{ב. } \theta = \text{shift} \sin\left(\frac{V_r}{V_{br}}\right) \quad \text{א. } (2)$$



**(2)** ב. 84.98 קמ"ש ובכוון 2 מעלות מערבית מהצפון.



$$v_c = \sqrt{(v_A \sin \beta - v_{CB} \sin \alpha)^2 + (v_A \cos \beta + v_{BA} + v_{CB} \cos \alpha)^2} \quad (4)$$

$$\tan \theta_C = \frac{v_A \cos \beta + v_{BA} + v_{CB} \cos \alpha}{v_A \sin \beta - v_{CB} \sin \alpha}$$

**(3)** דאון 1 : 67.7 קמ"ש ובזווית 17.2 מעלות מזרחה מהצפון.

דאון 2 : 64.6 קמ"ש צפונה.

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

## פרק 5 - חום והחוק הראשון של התרמודינמיקה

### תוכן העניינים

1. חום טמפרטורה ואנרגיה פנימית.....	72
2. קיבול חום ושיטת הקלורימטריה.....	73
3. חום כמוס.....	75
4. החוק הראשון וניתוח תהליכיים פשוטים.....	77
5. קיבול חום של גזים ועקרון החלוקה השווה.....	82
6. הקשר בין לחץ ונפח בהתפשטות אדיابتית.....	83
7. הולכה הסעה וקרינה.....	86
8. סיכום.....	89

## חום טמפרטורה ואנרגיה פנימית:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
אנרגיה הפנימית של הגז תלוי רק בטמפרטורה	אנרגייה פנימית של גז אידיאלי <u>מוניאטומי</u> n - מספר המולאים $R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{k}}$ T - טמפרטורה בKelvin	$E_{\text{int}} = \frac{3}{2} nRT$
תלויה רק בטמפרטורה	עבור גז אידיאלי <u>דו-אטומי</u>	$E_{\text{int}} = \frac{5}{2} nRT$

**שאלות:**

- 1) דוגמה - שורפים קלוריות לאיזה גובה צריך לטפס אדם שמסתו 60 ק"ג בשביל לשrown (100kilocal) 100Cal ?

**תשובות סופיות:**

700m (1)

## קיבול חום ושיתות הקלורימטריה:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
	c - קיבול חום סגול ליחידת מסה	$Q = mc\Delta T$

**שאלות:**

- 1) דוגמה - מחממים ספל מים**  
 ספל מים שוקל 200 גרם ועשוי מצוכית.  
 כמה חום נדרש בשבייל לחםם את הספל בטמפרטורת 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 קלוריימטר**  
 נרצה למצוא את קיבול החום של תרכובת מתכאות חדשה.  
 מחממים 100 גרם מהתרכובת ל-  $500^{\circ}\text{C}$  ומעבירים אותה במהירות לתוך קלוריימטר.  
 הקלוריימטר מורכב מミיכל אלומיניום בעל מסה של  $0.200\text{ kg}$  המכיל  $0.500\text{ kg}$  מים בטמפרטורה של  $22.4^{\circ}\text{C}$ . הטמפרטורה הסופית הנמדדת על ידי המדוחם היא  $40.8^{\circ}\text{C}$ .  
 מהו קיבול החום הסגול של התרכובת?  
 ניתן להזניח את החום שהולך למדוחם והחום שיווץ מהבידוד.
- 4) תרגיל וניסוי - קומקום מחם מים**  
 קומקום חשמלי פועל בהספק של 1850 וואט.  
 כמה זמן ייקח לקומקום לחם חצי ליטר של מים בטמפרטורה של  $22.2^{\circ}\text{C}$  ל-  $100^{\circ}\text{C}$ ?

- 5) **תרגיל ניסוי - קומוקום מלחם מים - הפעם עם הקומוקום**  
 המשך של התרגיל הראשון, גם הפעם נלחם חצי ליטר מים באותו הקומוקום (1850W) אבל הפעם לא נלחם את הקומוקום לפני הניסוי ונחשבשוב, כמה זמן ייקח להלחם את המים?  
 טמפרטורת החדר היא  $21.9^{\circ}\text{C}$  מסת הקומוקום היא 754 גרם ונניח כי הוא עשוי נירוסטה וקיבול החום של נירוסטה הוא:  $500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ .

### תשובות סופיות:

$6 \cdot 10^4 \text{ J}$	ב.	$10^4 \text{ J}$	א.	(1)
$81^{\circ}\text{C}$				(2)
$911 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}}$				(3)
90 sec				(4)
100 sec				(5)

## חום כמוס:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
$L_F$ - חום כמוס להתקה (מעבר ממוקך 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  $0^{\circ}\text{C}$  – ומסה של 300 גרם לתוך מיכל מים המכיל  $1.5\text{kg}$  מים בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ . מה תהיה הטמפרטורה הסופית של התערובת?

**2) דוגמה - מציאת חום כמוס של כספית**

ЛОקחים  $1\text{kg}$  כספית הנמצאת במצב מוצק ובטמפרטורת ההתקה שלה,  $39^{\circ}\text{C}$ . מניחים את הכספית בתוך קלוריימטר המורכב ממיכל אלומיניום במשקל של  $0.40\text{kg}$  ומכיל  $0.47\text{kg}$  מים בטמפרטורה של  $20^{\circ}\text{C}$ . הכספית מותכת והטמפרטורה הסופית של התערובת היא  $12^{\circ}\text{C}$ . מהו החום הכמוס הסגוליל הדרוש להתקת כספית? קיבול החום הסגוליל של כספית במצב הנוזלי הוא:  $c = 140 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}^{\circ}}$ .

**3) תרגיל וניסוי - متى יגמרו המים בסיר**

מחממים  $400\text{ml}$  מים על הגז בסיר נירוסטה שמשקלו 177 גרם. מודדים את טמפרטורת המים פעם אחת ורואים שהוא  $60.0^{\circ}\text{C}$ .  $63.3^{\circ}\text{C}$  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 שוטה 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 שככל האנרגיה הולכת לחום היא לא רוחקה).

**(5) ברזל בקלורימטר**

מחממים חתיכה של 300 גרם ברזל ל-180 מעלות צלזיוס ושמים אותה בקלורימטר העשו מミיכל אלומיניום בעל מסה של 90 גרם שמכיל 285 גרם גליקרים ב-12 מעלות צלזיוס. הטמפרטורה הסופית של התערובת היא 38 מעלות צלזיוס. הערך מהו קיבול החום הסגולי של גליקרים.

**תשובות סופיות:**

$$2^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (2)$$

$$\text{ב. בערך } 40 \text{ דקות.} \quad 300 \frac{\text{J}}{\text{sec}} \quad (3)$$

$$4500\text{kcal} \quad (4)$$

$$2.3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}^{\circ}} \quad (5)$$

## החוק הראשון וניתוח תהליכי פשוטים:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
חום היא אנרגיה שעוברת רק בגלל הפרשי טמפרטורות. עבודה היא אנרגיה שעוברת מכל סיבה אחרת.  אם המערכת מבצעת עבודה אז $W$ יהיה חיובי ואם מותבצעת עבודה על המערכת אז $W$ יהיה שלילי.  אם חום נכנס למערכת אז $Q$ חיובי ואם חום יוצא מהמערכת אז $Q$ שלילי.	חוק הראשון	$\Delta E_{int} = Q - W$
כולל אנרגיה קינטית ופוטנציאלית של כל המערכת כגוף אחד (או של מרכז המסה שלה).  בדרך מתיחס למערכות מכניות כמו גופים קשיחים (אבן שנזרקת לדוגמה).	חוק ראשון נוסחה מורתבת	$\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_{int} = Q - W$
מתרחש כאשר המערכת צמודה למ Lager חום גדול והenthalpic הוא קוויזיסטי (מאוד איטי).	, $T = \text{const}$ $Q = W, \Delta E_{int} = 0$	תהליך איזותרמי - טמפרטורה קבועה
מתרחש אם המערכת מבודדת או אם התהליך מהיר והחום לא מספיק לעבור.	$\Delta E_{int} = W$	תהליך אדיابتטי - $Q = 0$
		תהליך איזוברי (לחץ קבוע) ואיזוכורי (נפח קבוע)
חיובי כאשר הנפח גדול ושלילי כאשר הנפח קטן  הנוסחה נכונה לנזירים, נזלים ולሞצקים	$W$ - עבודה שמבצעת המערכת על הסביבה P - לחץ V - נפח	$W = \int P dV$
אי אפשר לצירר התפשטות חופשית בדיאגרמת $P-V$ מכיוון שימושתני המצב לא מוגדרים במהלך ההתפשטות.	תהליך שבו גז מתפשט במרחב בצורה אדיابتית וambilי לעשות עבודה.	התפשטות חופשית - (free expansion)

**שאלות:****1) דוגמה - חוק ראשון**

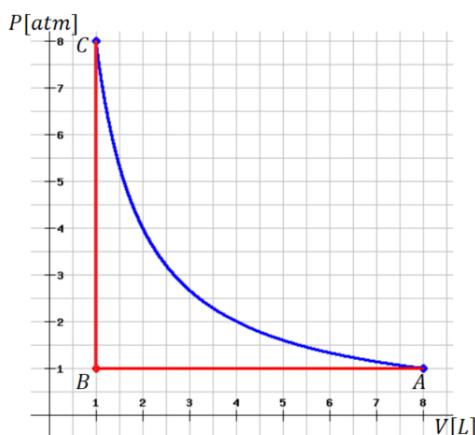
מוסיפים למערכת 1500 J של חום ועושים על המערכת עבודה של 1000 J. מה השינוי באנרגיה הפנימית של המערכת?

**2) דוגמה - אנרגיה קינטית לחום**

קליע במשקל של 3.0 g נזרק לתוך עץ במהירות של 300 m/s. כמה חום נוספים למערכת קליע ועץ?

**3) דוגמה - חישוב חום בתהליכי איזובי וαιיזוכורי**

גז אידיאלי מתחילה מה מצב המתוור בנקודת A בגרף. דוחסים את הגז בתהליכי איזובי עד לנקודת B ולאחר מכן מתחממים את הגז בתהליכי איזוכורי עד לנקודת C. הגוף המחבר בין A-L-C הוא גוף איזותרמי.  
א. מהי העבודה הכוללת שנעשתה בכל התהליכי A עד C?  
ב. מהו החום שנוסף לגז בכל התהליכי?

**4) דוגמה - עבודה של גז במנוע**

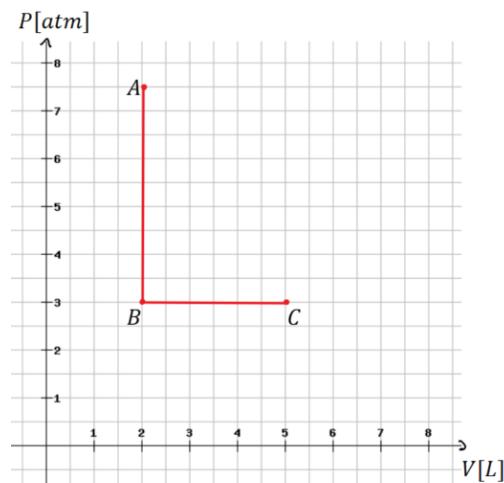
במנוע 0.4 mol של גז אידיאלי מונואטומי מתרחבים במהירות ובצורה אדיابتית נגד הבוכנה. בתהליך, הטמפרטורה של הגז יורדת מ-1100K ל-400K. כמה עבודה ביצעה הגז?

**5) מכוניות בולמות**

מכונית במשקל 1300 kg נסעת במהירות 80 km/h. כמה חום נוצר במהלך הבלימה עד לעצרה מוחלטת? רשמו את התשובה בಗאול ובכilio קלוריות.

**6) תהליך נפח קבוע ולחץ קבוע**  
 גז אידיאלי עובר תהליך המורכב משני שלבים.  
 בשלב הראשון, AB בגרף, אפשרים לחום לצאת מהגז תוך שמירה על נפח קבוע.  
 כתוצאה לכך הלחץ של הגז יורד מ- $7.5 \text{ atm}$  ל- $3 \text{ atm}$ .  
 בשלב השני, BC הגז מתרחב בלחץ קבוע מנפח  $2.0 \text{ L}$  לנפח  $5.0 \text{ L}$  ובכך חוזר לטמפרטורה שהייתה לו בתחילת כל התהליך.  
 חשבו את :

- העבודה הכוללת שנעשתה על ידי הגז בתחילת.
- השינוי באנרגיה הפנימית של הגז.
- כמויות החום הכוללת שייצאה או נכנסה לגז.



**7) גז מתפשט איזותרמית**  
 1.50 מולים של גז אידיאלי בנפח  $2.50 \text{ m}^3$  ובטמפרטורה  $K = 280^\circ$  מתפשטים איזותרמית עד לנפח  $5.00 \text{ m}^3$ .  

- מהי העבודה שעשווה הגז?
- מהו השינוי באנרגיה הפנימית של הגז?
- מהו החום שנוסף לגז?

**8) גז מתפשט אדיابتית**  
 שניים וחצי מולים של גז אידיאלי מונואטומי מתפשטים אדיابتית וمبرאים  $\Delta V = 1.3 \cdot 10^4 \text{ L}$  של עבודה בתחילת.  
 מהו השינוי בטמפרטורה של הגז במהלך ההתפשטות?

### 9) גז בתהלייך ריבועי\*

גז אידיאלי עובר תהלייך כפי שמתואר באיור, התהלייך מתחילה במצב A ועושה סיבוב שלם עם השעון עד לחזרה למצב A.

בתהלייך אחר שבו הגז עבר מהנקודה D לנקודה C בלחץ קבוע ידוע  
כii:  $J_{D \rightarrow C} = 38$ .

בתהלייך שלישי שהתרחש מהנקודה B לנקודה D ידוע ii:  $J_{B \rightarrow D} = -85$   
ו-  $J_{B \rightarrow D} = W_{B \rightarrow D}$  (סוג התהלייך לא ידוע).

כמו כן ידוע ii:  $J_{A \rightarrow B} = 15$ .  $P_A = 2.2P_D$  ו-  $E_B - E_A = 15$ .

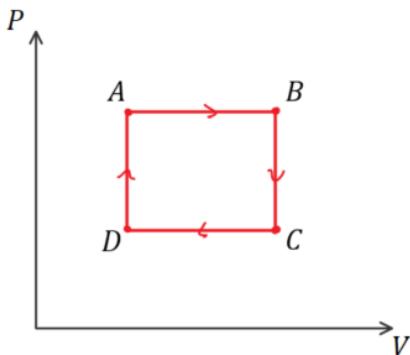
כל התהלייכים התרחשו על אותו הגז.

A. תאר במילים כל שלב בתהלייך הראשי, מהו סוג התהלייך, האם נעשתה עבודה, האם האנרגיה הפנימית גדלה או קטנה, האם נכנס או יצא חום מהמערכת?

B. מהי העבודה הכוללת שנעשתה על ידי הגז?

C. מהי הנצילות של התהלייך?

נצילות היא העבודה הכוללת שנעשתה חלקו החום שהושקע  
(כלומר נכנס לגז), כפול 100%.



**תשובות סופיות:**

2500J	(1)
135J	(2)
710J      ב.	–710J      א. (3)
A.	3500J      (4)
$Q = 3.2 \cdot 10^5 \text{ J} = 77 \text{ kcal}$	(5)
910J      ג.	910J      א. (6)
2420J      ג.	2420J      א. (7)
–0.042°K	(8)

- A. B - תהליך בליחס קבוע, הגז עושה עבודה על הסביבה, האנרגיה הפנימית גדולה, נכנס חום למערכת.
- C → B - תהליך בנפח קבוע, לא נעשית עבודה, האנרגיה הפנימית קטנה, חום יוצא מהמערכת.
- D → C - תהליך בליחס קבוע, נעשית עבודה על הגז, האנרגיה הפנימית קטנה. חום יוצא מהמערכת.
- A → D - תהליך בנפח קבוע, לא נעשית עבודה, האנרגיה הפנימית גדולה, חום נכנס למערכת. ב. J 46% ג. 40%

## קיבול חום של גזים ועקרון החלוקה השווה:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
	$Q_V/Q_P = Q_V/Q_V - Q_P/Q_V$ - כמות החום שעוברת בתהליך בנפח/לחץ קבוע. $C_P/C_V - C_V/C_P$ - 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 (ליקידת מסה)	$C_V = m_{mol}c_V$ $C_P = m_{mol}c_P$
	ההפרש בין קיבול החום בלחץ קבוע לבין קיבול החום בנפח קבוע תמיד שווה לקבוע R	$C_P - C_V = R$

**שאלות:**

**1) אנשים מחממים אולם קולנוו**

אולם קולנוו מכיל 1800 מקומות ישיבה. נפח האולם הוא:  $2.0 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ .  
בערב הבכורה של הסרט "טריגל חם" האולם היה מלא ומערכת האוורור התקלקלה. בכמה מעלות עלתה הטמפרטורה במשך השעותים של הקרנת הסרט אם אדם ממוצע פולט חום בקצב של 70 וואט. הנח שהאוורור 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  $K^{430}$ . הגז עובר תהליך שבו הלחץ שלו גדל לינארית עם הטמפרטורה. הטמפרטורה הסופית היא  $K^{680}$  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. 13900J      ב.  $-1720\text{ J}$       ג. 15600J

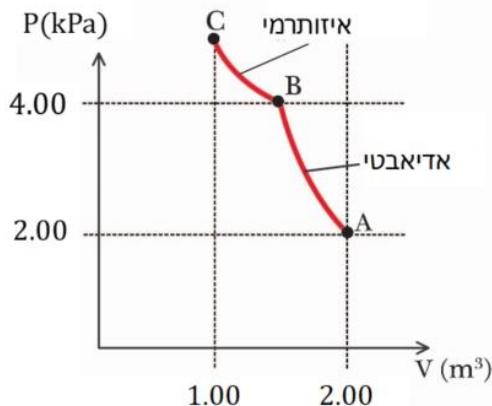
## הקשר בין לחץ ונפח בהתרפשות אדיابتית:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
	הקשר בין לחץ ונפח בתהליך אדיابتוי קווזיסטטי	$P \cdot V^\gamma = \text{const}$

**שאלות:**

- 1) דוגמה - מכווצים גז אדיابتית ואיזותרמית גז אידיאלי מונואטומי עובר תהליכי כפי שמתואר בגרף. התהליך מתחילה מה מצב A והגז עובר כיוך אדיابتוי עד למצב B ומשם הוא מכועץ איזותרמית עד לנקודה C.
- נתון:  $P_A = 2.00\text{kPa}$ ,  $V_A = 2.00\text{m}^3$ ,  $P_B = 4.00\text{ kPa}$ ,  $V_C = 1.00\text{m}^3$  ו-  $P_C$  ו-  $V_B$  אינם ידועים.
- א. מצא את  $V_B$ .
- ב. מהי העבודה הכוללת שנעשתה על הגז בתהליך?



- 2) לחץ וטמפרטורה בהתרפשות אדיابتית גז 1.00mol של גז מונואטומי אידיאלי בלחץ של 1.00atm ובטמפרטורה של  $20^\circ\text{C}$  מתפשט אדיابتית לנפח הגדול פי 2.25 מנפחו בשלביה. מהם הלחץ והטמפרטורה הסופיים של הגז?

- 3) גז דו-אטומי מתפשט אדיابتית גז דו-אטומי מתפשט אדיابتית. הטמפרטורה בשלביה היא  $15^\circ\text{C}$  והטמפרטורה בסופה היא  $25^\circ\text{C}$ . הנפח בשלביה הוא:  $0.036\text{m}^3$ . מהו נפח הגז בסופה של התהליך?

**4) גז עובר תהליך בשלושה שלבים**

ומס. 1.00 של גז אידיאלי מונואטומי שנמצא בלחץ  $1.00 \text{ atm}$  עובר את התהליך הבא:

שלב 1 - הגז מתפשט אדיابتית 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 ולהלחץ הראשונים שלו בתהליכי של נפח קבוע.

א. שרטטו את התהליכי בתיאוגרפיה V – P.

ב. מהו  $T_C$ ?

ג. חשבו את השינוי באנרגיה הפנימית, את העבודה שביצע הגז ואת החום שנוסף לגז בכל שלב בנפרד ובתהליכי כולו.

**5) צבר אוויר עולה בגובה \*\***

צבר אוויר הוא אוסף של מולקולות בעלי משקל עצמי מצב אחדים (לחץ וטמפרטורה) כשהצבר 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 גדול, ומכיון שאויר הוא מוליך חום גרווע אפשר להניח שההתפשטות היא אדיابتית.

א. הראה שעבור גז אידיאלי שעובר תהליכי אדיابتוי:  $P^{1-\gamma} T^\gamma = \text{const}$

ב. הראה כי הקשר בין הלחץ לטמפרטורה של הצבר נתון לפי

$$\text{הנוסחה: } 0 = \gamma \frac{P}{T} \frac{dT}{dy} + \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right).$$

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 שאויר הוא גז דו אטומי עם מסה ממוצעת של 29,

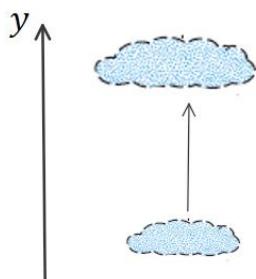
$$\text{הראה ש- } \frac{dT}{dy} = -9.8^\circ\text{C/m}.$$

ה. בקליפורניה ישנו רוחות שמנויות מהרים של מדבר סיריה בנבדה.

גובה ההרים הוא כ-  $4000 \text{ m}$ . הרוחות מגיעות לעمق המות שגובהו  $100 \text{ m}$  –

ביחס לפני הים. אם טמפרטורת הרוח היא  $5^\circ\text{C}$  – בהרים של נודעה מה תהיה

הטמפרטורה של הרוח בעמק?



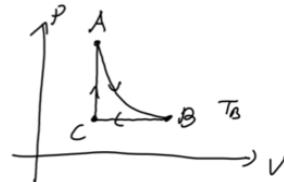
**תשובות סופיות:**

$$3.4 \cdot 10^3 \text{ א. ב.} \quad 1.32 \cdot m^3 \quad (1)$$

$$P = 0.258 \text{ atm}, T = -103^\circ C \quad (2)$$

$$0.052 m^3 \quad (3)$$

$$214^\circ K \quad \text{ב. א.} \quad (4)$$



ג. שלב AB :  $Q = 0, \Delta E_{int} = -2370 \text{ J}, W = 2370 \text{ J}$

שלב BC :  $Q = -2170 \text{ J}, \Delta E_{int} = -2170 \text{ J}, W = -1450 \text{ J}$

שלב CA :  $Q = 3030 \text{ J} = \Delta E_{int}, W = 0$

כל התהליך :  $Q = 920 \text{ J}, \Delta E_{int} = 0, W = 920 \text{ J}$

- (5) א. הוכחה.    ב. הוכחה.    ג. הוכחה.    ד. הוכחה.    ה.  $35^\circ C$

## הולכה השעה וקרינה:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
אם אחד מהמשתנים אינו קבוע אז עוברים לנוסחה דיפרנציאלית $\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$ המינוס בנוסחה אומר שקצב הולכת החום הוא בכיוון הפוך לגדיאנט הטמפרטורה (כלומר קצב הולכת החום הוא מהטמפרטורה הגבוהה לנמוכה)	קצב הולכת חום - $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $k$ - מוליכות תרמית $A$ - שטח חותך. $l$ - אורך.	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{l}$
R גובה אומר מבודד טוב. לשים לב- $R$ תלוי גם באורך של החומר ולא רק בסוג.	R- value	$R = \frac{l}{k}$
שימוש לב-הקצב תלוי בטמפרטורה בריבועית. $\epsilon$ - תוכנה של פני הגוף שקוורן בגופים שחורים (לדוגמה פחים) $1 \approx \epsilon$ , במתכונות מבריקות. $0 \approx \epsilon$ .	משוואת סטפן בולצמן - קצב החום הנפלט מגוף עיי' קרינה. $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ קבוע סטפן בולצמן. $T$ - הטמפרטורה של הגוף הפלט. $\epsilon$ - קוורן (אמיסיביות) $0 < \epsilon < 1$	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T^4$
האמיסיביות זהה לקליטה ופליטה. הקצב של קליטה קשור לטמפרטורה של הסביבה בריבועית.	קצב קליטה של קרינה. $T_2$ - הטמפרטורה של הסביבה.	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T_2^4$
	הנתו של קצב פליטה הקרן (פליטה פחות קליטה) $T_1$ - הטמפרטורה של הגוף הפלט. $T_2$ - הטמפרטורה של הסביבה.	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$
הקבוע הסולרי $1350 \frac{W}{m^2 \cdot s}$ האטמוספירה יכולה לספג עד 70% מהקרן. ביום בהיר הקבוע בערך $1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}$	כמות החום שספג גוף כתוצאה מקרן-השמש ביום בהיר	$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \left( 1000 \frac{W}{m^2 \cdot s} \right) \epsilon A \cos \theta$

**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  $1.0m \times 1.5m$  ועובי  $2.8mm$ .  
 אם הטמפרטורה מצד הפנימי של החלון היא  $18^{\circ}C$  ובצד החיצוני היא  $17^{\circ}C$ .

**2) דוגמה - קירור באמצעות קרינה**

אדם יושב בחדר לובש בגדי ים בלבד.

הקיריות של החדר נמצאים בטמפרטורה של  $15^{\circ}C$ .

הערץ את כמות החום שהאדם מאבד כתוצאה מקרינה.

הנח שטמפרטורת העור היא בערך  $34^{\circ}C$  ו-  $0.70 = \epsilon$ .

שטח הפנים של האדם שבמגע עם האוויר הוא:  $-1.5m^2$ .

**3) דוגמה - הערך את הרדיוס של הכוכב ביטלגוס**

כוכב הענק ביטלגוס פולט קרינה בקצב שהוא פי  $10^4$  גדול מהקצב של השימוש שלנו.

הטמפרטורה על פני הכוכב ביטלגוס היא בערך חצי מזו של השימוש.

הערך את הרדיוס של הכוכב אם  $\epsilon = 1$  עבור השימוש וביטלגוס ורדיווס השימוש

הוא:  $m^8 \cdot 10 \cdot R_s = 7 \cdot 4\pi R^2$ . הנוסחה לשטח פני כדור היא:

**4) מוט נחושת עם טמפרטורות שונות בקצוות**

מוט נחושת באורך של  $m. 42c$  וקוטר  $m. 2.6c$  מוחזק מצד אחד בטמפרטורה

של  $320^{\circ}C$  ובצדו השני המוט טבול במים בטמפרטורה של  $20^{\circ}C$ .

חשבו את קצב מעבר החום במוט.

**5) מוט נחושת מחובר למוט אלומיניום**

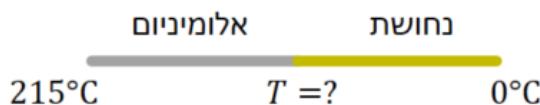
מוט נחושת מחובר בקצה למוט אלומיניום, שני המוטות בעלי אותו שטח חתך

ואותו האורך. הקצה השני של האלומיניום נמצא בתוך תנור בטמפרטורה

קבועה של  $215^{\circ}C$  והקצה השני של הנחושת נמצא בתוך קרח בטמפרטורה

קבועה של  $0^{\circ}C$ .

חשבו את הטמפרטורה בנקודת החיבור של המוטות.



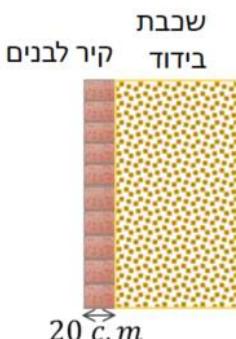
**6) קרח נמס בצדנית**

צדנית בגודל  $m = 50c.m \times 30c.m \times 20c.m$  עשויה מלקר. הקירות של הצדנית הן בעובי  $m = 1.5c.m$ . ממלאים את הצדנית בקרח ב- $0^{\circ}\text{C}$ . כמה זמן ייקח לקרח להתמוסס אם הצדנית נמצאת בחדר בו הטמפרטורה היא  $32^{\circ}\text{C}$ ?

המוליכות התרמית של מלקר היא:  $\frac{W}{m \cdot K} = 0.033$  והצפיפות של קרח היא:  $9.17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

**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  $m = 1.0c.m$ . הנח שהזווית של הקרןאים עם האנך למשטח היא  $30^{\circ}$  והאmissיות של הקרח היא  $0.050$ .

**8) איבוד חום דרך קיר עם שכבת בידוד**

בידוד של קיר מורכב משכבה של לבנים ברוחב של  $m = 20c.m$  שצמודה לשכבה בידוד נוספת:  $R_{\text{-value}} = 3 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C}^{\circ}}{\text{J}}$ . מהו קצב החום המועבר אם השטח של הקיר הוא  $15\text{m}^2$  והפרש הטמפרטורות הוא  $30^{\circ}\text{C}$ .

**תשובות סופיות:**

$$(1) \frac{J}{\text{sec}}$$

$$(2) \frac{J}{\text{sec}}$$

$$(3) 2.8 \cdot 10^{11} \text{m}$$

$$(4) \frac{J}{\text{sec}}$$

$$(5) 74^{\circ}\text{C}$$

$$(6) \text{בערך } 58 \text{ שניות.}$$

$$(7) \text{בערך } 20 \text{ שניות.}$$

$$(8) \frac{J}{\text{sec}}$$

**סיכום:****טבלאות:**

קיבול חום סגולי (Specific Heats) (ב $20^{\circ}\text{C}$ ו- $1 \text{ atm}$ إلا إذا تم ذكر المعايير الأخرى)		
Substance	Specific Heat, c kcal/kg · $^{\circ}\text{C}$ ( = cal/g · $^{\circ}\text{C}$ )	J/kg · $^{\circ}\text{C}$
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 ( $-5^{\circ}\text{C}$ )	0.50	2100
Liquid ( $15^{\circ}\text{C}$ )	1.00	4186
Steam ( $110^{\circ}\text{C}$ )	0.48	2010
Human body (average)	0.83	3470
Protein	0.4	1700

חום כמוס (בלחץ של $1 \text{ atm}$ )						
Substance	Melting Point ( $^{\circ}\text{C}$ )	Heat of Fusion		Boiling Point ( $^{\circ}\text{C}$ )	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						
$N_2$	0.177	0.248	4.96	6.95	1.99	1.40
$O_2$	0.155	0.218	5.04	7.03	2.00	1.40
Triatomic						
$CO_2$	0.153	0.199	6.80	8.82	2.03	1.30
$H_2O$ (100°C)	0.350	0.482	6.20	8.20	2.00	1.32

מוליכיות תרמיות		
Substance	Thermal Conductivity,k kcal (s.m.C°)	J (s.m.C°)
Silver	$10 \times 10^{-2}$	420
Copper	$9.2 \times 10^{-2}$	380
Aluminum	$5.0 \times 10^{-2}$	200
Steel	$1.1 \times 10^{-2}$	40
Ice	$5 \times 10^{-4}$	2
Glass	$2.0 \times 10^{-4}$	0.84
Brick	$2.0 \times 10^{-4}$	0.84
Concrete	$2.0 \times 10^{-4}$	0.84
Water	$1.4 \times 10^{-4}$	0.56
Human tissue	$0.5 \times 10^{-4}$	0.2
Wood	$0.3 \times 10^{-4}$	0.1
Fiberglass	$0.12 \times 10^{-4}$	0.048
Cork	$0.1 \times 10^{-4}$	0.042
Wood	$0.1 \times 10^{-4}$	0.040
Goose down	$0.06 \times 10^{-4}$	0.025
Polyurethane	$0.06 \times 10^{-4}$	0.024
Air	$0.055 \times 10^{-4}$	0.023

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

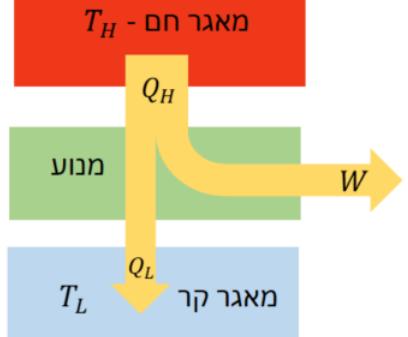
## פרק 6 - החוק השני של התרמודינמיקה

### תוכן העניינים

1. הקדמה לחוק השני של התרמודינמיקה ומנועי חום .....	91
2. תהליכיים הפיכים ובלתי הפיכים ומנוע קרנו .....	94
3. מקרים מוגנים ומשאבות חום .....	97
4. אנתרופיה .....	99
5. סיכום .....	(לא ספר)
6. פרשנות סטטיסטית לאנתרופיה והחוק השני .....	103

## הקדמה לחוק השני של התרמודינמיקה ומנועי חום:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
שימוש לב לסימנים! כל הסימנים חיוביים!  $T_L$ ו- $T_H$ נקבעות העובודה טמפרטורות המנוע	$Q_H$ - כמות החום שיצאת מהמאגר החם.  $Q_L$ - כמות החום שוכנסת אל המאג'ר הקד.  $W$ - העבודה שהמנוע מבצע על הסביבה.	 $Q_H = W + Q_L$
		$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$

**שאלות:**

**1) דוגמה - נזילות של מנוע מכוני**

למנוע של מכונית יש נזילות של 20%. המנוע מפיק  $\text{J} 25\text{k}$  של עבודה כל שנייה.

א. כמה חום נדרש להכניס למנוע כל שנייה?

ב. כמה חום נפלט מהמנוע כל שנייה?

**2) חישוב נזילות של מנוע חום**

מנוע חום פולט  $\text{J} 6900\text{6}$  של חום כאשר הוא מבצע עבודה של  $\text{J} 2300\text{.}$

מה הנזילות של המנוע באחוזים?

**3) חום שפולטת תחנת כוח**

תחנת כוח מייצרת  $\text{MW} 560$  של הספק חשמלי.

העריכו את החום שנפלט כל שנייה אם הנזילות של התחנה היא 35%.

**4) מנוע 6 צילינדרים**

למנוע עם 6 צילינדרים של אותו יש נצילות של 24%. המנוע מספק 180 J של עבודה בכל מחזור עבור כל צילינדר. המנוע עושה 25 מחזוריים בשניה.

- מהי העבודה הכוללת שמבצע המנוע בשניה?
- מהו החום שנוצר משריפת הדלק כל שנייה?
- אם האנרגיה הנוצרת מדלק הוא  $32 \text{ MJ}$  ליטר, כמה זמן מחזיק מיכל דלק מלא המכיל 40 ליטר דלק?

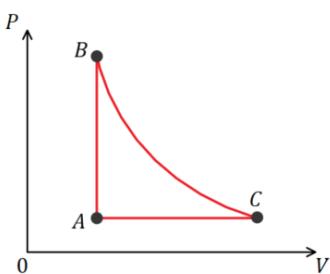
**5) מנוע הפיך עם גז ארגון**

מנוע הפיך מכיל  $1.00 \text{ m}^3$  של גז ארגון, גז מונואטומי כמעט אידיאלי.

התהליך שעובר המנוע מתואר באירור כאשר הגז בהתחלה בנקודה A ב-STP. הנקודות B ו-C נמצאות על עקומה איזותרמית בטמפרטורה  $T = 433 \text{ K}$ .

התהליך AB הוא תהליך בנפח קבוע וההתהליך AC הוא תהליך בלחץ קבוע.

- אם המנוע מבצע את התהליך באירור עם כיוון השעון או נגד השעון?
- מהי הנצילות של המנוע?

**6) מנוע בגזן אידיאלי**

אפשר לתאר את הפעולה של מנוע דיזל בקרוב על ידי התהליך המחזורי באירור.

אויר נשאב לצילינדר בפיעמת ינית (לא חלק מהמחזר באירור).

האויר נדחס אדיابتית, שלב AB.

בנקודה B דלק דיזל מזרק לתוך הצילינדר.

הדלק נשרף ישיר כי הטמפרטורה מאוד גבוהה.

הבעירה היא יחסית איטית ובמהלך החלק הראשון

של פיעמת העבודה הגז מתרפש כמעט בנפח קבוע, שלב BC.

בשלב השני של פיעמת העבודה, אחורי שהבעירה מסתיימת, הגז מתרפש אדיابتית, שלב CD.

שלב DA מתאר את פיעמת הפליטה.

- הראה שעובר מנוע שעובר את התהליך הנ"ל עם גז אידיאלי הנצילות האידיאלית

$$\text{היא: } \frac{(V_A/V_c)^{-\gamma} - (V_A/V_B)^{-\gamma}}{\gamma[(V_A/V_c)^{-1} - (V_A/V_B)^{-1}]} = 1 - \eta.$$

„expansion ratio“  $V_A/V_B$  נקרא יחס הדחיסה ו-  $V_A/V_c$  נקרא יחס התרחבות.

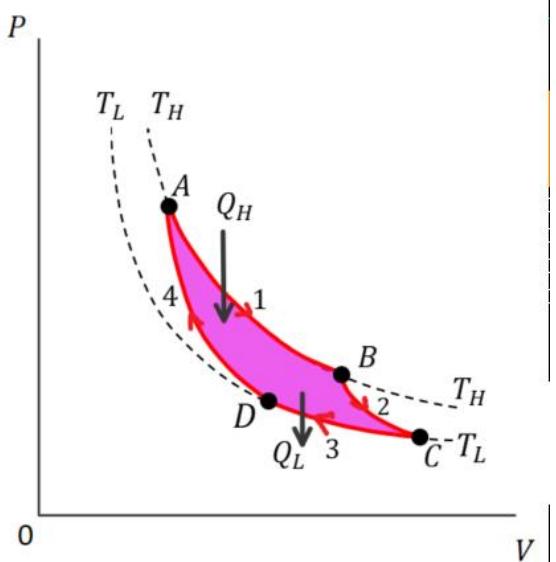
- חשב את הנצילות אם הגז הוא דו אטומי,  $V_A/V_B = 16$  ו-  $V_A/V_c = 4.5$

**תשובות סופיות:**

- |       |    |         |                  |
|-------|----|---------|------------------|
| 100kJ | ב. | 125kJ   | <b>(1)</b>       |
| 25%   |    |         | <b>(2)</b>       |
|       |    | 1000J   | <b>(3)</b>       |
| 3.2hr |    | 110000J | ב. (4)           |
|       |    | 27000J  | א. (5)           |
|       |    | 9%      | א. עם השעון. (6) |
|       |    | 55%     | א. הוכחה. (6)    |

## תהליכיים הפיכים ובלתי הפיכים ומנוע קרנו:

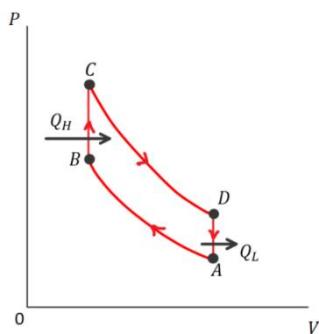
**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
השתח שסגור בתוך הכלולאה שווה לעבודה נטו שנעשית על ידי המנוע. מורכב מ процесים הפיכים ולכן לא קיימים במציאות, ניתן רק לשאוף אליו.	מחזור קרנו	
נראית גם נצילות אידיאלית או מקסימאלית	נצילות במנוע קרנו	$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

**שאלות:**

1) דוגמה - טענה לא הגיוניות

יצrhoן רכוב טוען כי במנוע שייצר קצב הכניסה של החום הוא  $5 \text{ kJ}$  בטמפרטורה של  $162^\circ\text{C}$  וקצב הפליטה של החום הוא  $4.1 \text{ kJ}$  בטמפרטורה של  $22^\circ\text{C}$ .  
האם אתם מאמינים ליצrhoן?



2) דוגמה - נצילות של מנוע עיריה

המחזור של מנוע עיריה מתואר באוויר.  
הניחו שהחומר העבודה הוא גז אידיאלי.

א. הראו כי הנצילות של המנוע

$$\text{היא: } \eta = 1 - \left( \frac{V_A}{V_B} \right)^{1-\gamma}$$

ב. חשבו את הנצילות של המנוע אם יחס

$$\text{הדחיסה הוא: } \frac{V_A}{V_B} = 7.0 \text{ והגז הוא דוatomic בדומה ל-} \text{O}_2 \text{ או N}_2$$

**(3) מנוע חום עם חנקן נוזלי**

זה לא הכרחי שהמאגר החם של מנוע חום יהיה יותר חם מהסבירה. חנקן נוזלי זול בערך כמו בקבוק מים והטמפרטורה שלו היא בערך  $77\text{ K}$ . מה תהיה הנזילות המקסימאלית של מנוע הפעול בין הטמפרטורה של חנקן נוזלי לטמפרטורת החדר  $293\text{ K}$ ?

**(4) מנוע W1100**

מנוע קרנו פועל בטמפרטורות  $190^\circ\text{C}$  ו-  $25^\circ\text{C}$ . ההספק של המנוע הוא  $W1100$ . כמה חום פולט המנוע כל שנייה?

**(5) מטפס הרים**

הניחו שאדם ששוקל  $70\text{ kg}$  צ裏ק  $10^3 \cdot 4.3 \cdot 10^3 \text{ kcal}$  של אנרגיה בשבייל يوم אחד של פעילות. הערכו את הגובה המקסימאלי שאוטו אדם יכול לטפס על הר עם כמות זו של אנרגיה. כהערכה גסה אפשר להתייחס לאדם כמנוע הפעול בין טמפרטורות הגוף  $37^\circ\text{C}$  לטמפרטורת הסביבה  $20^\circ\text{C}$ .

**(6) טמפרטורת עבודה בנסיעה**

מכוניות מייצרת עבודה בקצב של בערך  $7 \frac{\text{kJ}}{\text{sec}}$  כאשר היא נוסעת במהירות

קבועה של  $\frac{m}{sec} 25$  בכביש אופקי, זהה עבודה נגד כוח החיכוך.

המכונית יכולה לנסוע  $14\text{ km}$  לכל ליטר דלק.

מה ערך המינימלי של  $T_h$  אם  $T_l = 25^\circ\text{C}$  והאנרגיה הזמין מליטר אחד של דלק היא:  $J \cdot 10^7 \cdot 3.2$ ?

**(7) חישובים במחזור קרנו**

מול אחד של גז מונואטומי עבר תהליך של מחזור קרנו, כאשר  $380^\circ\text{C}$   $T_h = 180^\circ\text{C}$  ו-  $T_l = 7.8\text{ atm}$ .

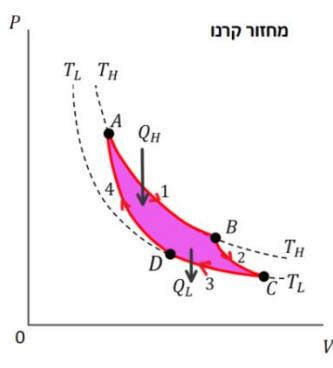
לחץ ההתחלתי הוא  $7.8\text{ atm}$  במהלך ההתרחבות האיזותרמית הנפח מוכפל.

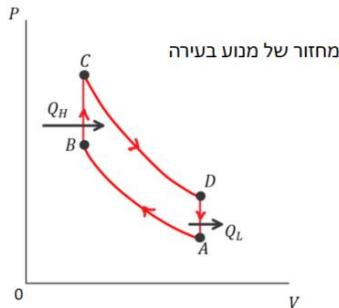
א. מהם לחץ והנפח בנקודות: A, B, C, D?

ב. מצאו את  $W$ ,  $Q$ , ו-  $\Delta E_{int}$  עבר כל שלב בתהליך.

ג. חשבו את הנזילות של המנוע באמצעות

$$\text{המשוואות: } \eta = 1 - \frac{T_l}{T_h} \quad \text{ו-} \quad \eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$





**8) יחס דחיסה במנוע עיריה**  
 במנוע שמתנהג בקרוב כמו המחזור של מנוע עיריה  
 הדלק מצוי בסוף שלב הדחיסה האדיابتית.

טמפרטורת החצחה של דלק מסוג אוקטן 95 היא  $280^{\circ}\text{C}$   
 ובנחה שחומר העבודה הוא גז שmagiu מהאוויר  
 (דו אטומי בטמפרטורה  $25^{\circ}\text{C}$ ) קבעו מהו יחס הדחיסה

$$\text{המיידי} \cdot \frac{V_A}{V_B}$$

### תשובות סופיות:

(1) לא.

(2) א. הוכחה. ב. 54%.

(3) 74%

(4) 5000J

(5) 1400m

(6) 400°K

,  $P_B = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ,  $V_B = 1.4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  ,  $P_A = 7.9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ,  $V_A = 0.69 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  . נ (7)

$P_D = 3.2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ,  $V_D = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  ,  $P_C = 1.6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ,  $V_C = 2.4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$

,  $\Delta E_{\text{int,BC}} = -2500 \text{ J}$  ,  $Q_{BC} = 0$  ,  $W_{BC} = 2500 \text{ J}$  ,  $\Delta E_{\text{int,AB}} = 0$  ,  $Q_{AB} = W_{AB} = 3800 \text{ J}$  ב.

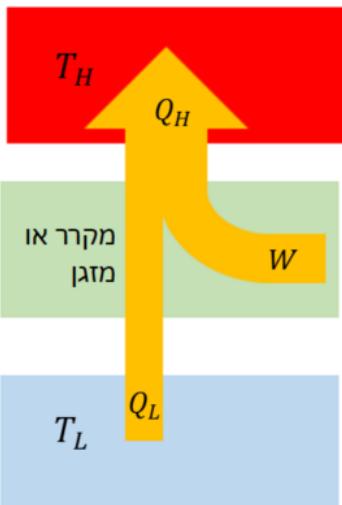
$\Delta E_{\text{int,DA}} = 2500 \text{ J}$  ,  $Q_{DA} = 0$  ,  $W_{DA} = -2500 \text{ J}$  ,  $\Delta E_{\text{int,CD}} = 0$  ,  $Q_{CD} = W_{CD} = -2600 \text{ J}$

ג.  $\eta = 31\%$

7.1 (8)

## מקררים מזגניים ומשאבות חום:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
	מקדם הייעילות 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 גدول אחד	מקדם הייעילות של משאבת חום	$COP = \frac{Q_H}{W}$

**שאלות:**

**1) דוגמה - מכינים קרח**

למקפיה יש מקדם יעילות של 3.6 והוא עובד בהספק של  $W=200$ .  
כמה זמן ייקח למקפיה להקפיה מגש קוביות קרח אם המגש הוכנס למקרר המכיל  $400\text{g}$  מים ב- $0^\circ\text{C}$ ?

**2) דוגמה - משאבת חום**

למשאבת חום מקדם יעילות של 3.0 והספק של  $W=1200$ .

א. כמה חום היא מוסיפה לחדר כל שנייה?

ב. אם הופכים את פועלות המשאבה בקיז' כך שתשתמש כמזגן, מה תצפו  
шибיהה מקדם הייעילות שלה?

**(3) מקדם יעילות של מקרר אידיאלי**

מקרר אידיאלי מחזק את הטמפרטורה בתוכו ב- $C^{\circ}4$  כאשר הטמפרטורה בבית היא  $C^{\circ}25$ . מהו מקדם הייעילות של המקרר?

**(4) מנוע קרנו עובד הפוך**

למנוע אידיאלי (מנוע קרנו) יש נצילות של 37%. אם היה אפשר להפעיל את המנוע הפוך כך שייעבוד בתור משאבת חום, מה היה מקדם הייעילות של המנוע?

**(5) מקרר קרנו אידיאלי מקפיא מים**

"מקרר קרנו" (מנוע קרנו שעבוד הפוך) מוציא חום מתא ההקפאה הנמצאת בטמפרטורה של  $C^{\circ}15$  – ופולט אותו לחדר בטמפרטורה של  $C^{\circ}25$ .

A. הראו כי אם מקדם הייעילות של מקרר מוגדר לפי:

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

או מקדם הייעילות של מקרר קרנו הוא:

$$COP_{ideal} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

B. כמה עבודה מבצע המנוע לשנתו 0.6kg של מים ב- $C^{\circ}25$  לקרח ב- $C^{\circ}15$ ?  
אם ההספק של המדחס במנוע הוא W160, מהו הזמן המינימלי הדרוש להקפיא מים בטמפרטורה של  $C^{\circ}25$  לקרח ב- $C^{\circ}0$ ?

**(6) משאבת חום לא אידיאלית**

משאבת חום פועלת כמזון ושמורת את הטמפרטורה בתחום הבניין על  $C^{\circ}24$  כאשר הטמפרטורה בחוץ היא  $C^{\circ}40$ .

בשביל לבצע זאת המשאבה שואבת  $J^7 10 \cdot 3$  חום בשעה מתוך הבניין בייעילות של 25% מהיעילות האידיאלית (זו של מקרר קרנו).

A. מהו מקדם הייעילות של המשאבה?

B. מהו ההספק של המדחס במשאבה? רשום תשובה בכוח סוס.

**תשובות סופיות:**

1) בערך 3 דקוט.

2) A. 4600J B. 2

3) 13

4) 2.7

5) A. הוכחה. B.  $4.4 \cdot 10^4$

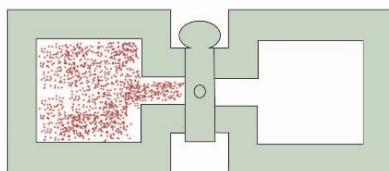
6) A. 4.6 B. 2.4HP

**אנטרופיה:****סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
רק בטמפרטורה קבועה ובתהליך חפייך $T$ - בקלוין!	$Q$ - 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 כמשמעותם מים**מערבבים  $5\text{ kg}$  מים ב- $20^\circ\text{C}$  עם  $5\text{ kg}$  מים ב- $-24^\circ\text{C}$ .

- א. מה תהיה הטמפרטורה הסופית של המים המערבים?  
 ב. הערכו את השינוי באנטרופיה של כל המערכת.

**2) דוגמה - שינוי באנטרופיה בהתקשות חופשית**גז מתפשט לצורה אדיאבטית וחופשית  
(כפי שמתואר בפרק הקודם בסרטון התקשות  
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  $1.00 = \text{ט ו}-V_1 = 2.00V_2$ .

**3) דוגמה - נחשת חמה נזרקת לתוך אגם**גוש נחשת חם בעל מסה של  $2.00\text{kg}$  בטמפרטורה של  $K = 840^\circ = T_1$  נזרק לאגםגדול בטמפרטורה של  $K = 280^\circ = T_2$ .הניחסו כי האגם מספיק גדול כך שהטמפרטורה שלו לא משתנה באופן מהותי.  
מהו השינוי באנטרופיה של :

- א. הנחשת.  
 ב. האגם.  
 ג. הכלול.

**4) דוגמה - קוביות קרח נמסה**

קוביות קרח במשקל של  $1.00\text{kg}$  ובטמפרטורה של  $0^{\circ}\text{C}$  נמצאת ב מגע עם מאגר חום גדול שהטמפרטורה שלו היא מעט מעל  $0^{\circ}\text{C}$ .  
 כתוצאה לכך הקרח נמס מאוד לאט למים.  
 מה השינוי באנטרופיה של:  
 א. הקרח.  
 ב. המאגר.

**5) שינוי באנטרופיה של מים שהופכים לאדים**

מהו השינוי באנטרופיה של  $150\text{g}$  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 מתחילה תנועתה של הקופסה ב מהירות  $\frac{5}{\text{sec}}$  ועד לעצירתה. הניחו שכל הגוף נמצאים בטמפרטורת החדר  $293\text{K}$ .

**7) מים מתקררים ממאגר קרח**

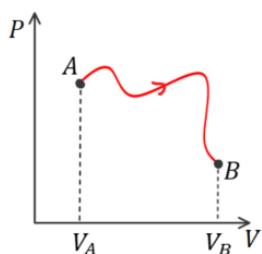
$1.0\text{L}$  של מים ב- $0^{\circ}\text{C}$  נמצאים ב מגע עם כמות גדולה של קרח ב- $-10^{\circ}\text{C}$ .  
 כתוצאה לכך המים קופאים ומתקקרים גם ל-  $-10^{\circ}\text{C}$ .  
 חשבו את השינוי הכלול באנטרופיה.

**8) מוט ברזל נזרק למים**

מוט ברזל בעל מסה של  $1.8\text{kg}$  ובטמפרטורה של  $43^{\circ}\text{C}$  נזרק למייל מים המצופה ב קלקר.  
 המייל מכיל  $1.2\text{kg}$  מים בטמפרטורת החדר ( $20^{\circ}\text{C}$ ).  
 מהו השינוי הכלול באנטרופיה?

**9) גז אידיאלי מתחטט איזותרמית**

גז אידיאלי מתחטט איזותרמית  $K = T = 350^{\circ}\text{C}$  מנפח  $2.30\text{L}$  ולחץ  $6.9\text{atm}$  לחץ  $1.0\text{atm}$ .  
 מהו השינוי באנטרופיה של הגז?

**10) גז אידיאלי עובר תהליך מוזר**

גז אידיאלי המכיל  $n$  מולים עובר את התהליך המצוואר באיוור. הטמפרטורה בנקודות A ו-B זהה. חשבו את השינוי באנטרופיה של הגז בעקבות התהליך. נתונים:  $n, V_A, V_B$ .

**11) שני גזים מתערכבים**

deg 1.00mol של גז חנקן ו-1.00mol של גז חמצן נמצאים בתאים נפרדים, זהים בגודלם, באותה הטמפרטורה וմבודדים מהסביבה. מחברים בין התאים והגזים (האידיאלים) מתערכבים: מהו השינוי באנטרופיה של:  
 א. כל המערכת?  
 ב. של הסביבה?  
 ג. חוזר 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  $\alpha = 2.08 \frac{\text{mJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}^4}$  ו-  $\beta = 2.57 \frac{\text{mJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}^2}$ . מצאו את השינוי באנטרופיה של 1.00mol של אשלגן כאשר הטמפרטורה שלו יורדת מ-4.0K ל-2.0K בתהליך בנפח קבוע.

**תשובות סופיות:**

$$1 \frac{\text{J}}{\text{k}} \cdot \text{ב.} \quad 22^\circ\text{C} \cdot \text{א.} \quad (1)$$

$$5.76 \frac{\text{J}}{\text{k}} \cdot \text{ג.} \quad \Delta S = 0 \cdot \text{ב.} \quad \Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} \cdot \text{א.} \quad (2)$$

$$703 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \text{ג.} \quad 1560 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \text{ב.} \quad -857 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \text{א.} \quad (3)$$

$$1220 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \text{ב.} \quad -1220 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \text{א.} \quad (4)$$

$$910 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad (5)$$

$$0.28 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad (6)$$

$$48 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad (7)$$

$$2.2 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad (8)$$

$$8.8 \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad (9)$$

$$nR \ln \frac{V_B}{V_A} \quad (10)$$

$$13 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \text{ג.} \quad 0 \cdot \text{ב.} \quad 5.8 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \text{א.} \quad (11)$$

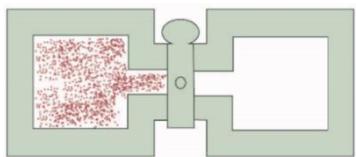
$$-11 \frac{\text{mJ}}{\text{K}} \quad (12)$$

## פרשנות סטטיסטית לאנתרופיה והחוק השני:

**סיכום כללי:**

הערות	תיאור	הנוסחה
	$k$ - קבוע בולצמן $\Omega$ - פונקציית הממצבים המיקרוסקופיים	$S = k \ln \Omega$

**שאלות:**



- 1) דוגמה - התפשטות חופשית גישה סטטיסטית**  
 השתמשו במשוואת בולצמן לאנתרופיה וחשבו את השינוי באנתרופיה במקרה של התפשטות חופשית של מול אחד של גז אידיאלי מנפח  $V_1$  לנפח  $V_2$ .  
 הניחו ש- $\Omega$  אומרת את מספר המיקומים האפשרים של כל המולקולות. השוו לחישוב שנעשה בדוגמה הקודמת של התפשטות חופשית באמצעות הנוסחה של קלאוזיוס.

### 2) אנתרופיה להטלת 4 מטבעות

השתמשו בפונקציית הממצבים  $\Omega$  וחשבו מה האנתרופיה בכל אחד מהמצבים המיקרוסקופיים שתוארו בדוגמה של הטלת 4 מטבעות.

מספר הממצבים 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 לkeh 5 מטבעות והטיל אותן בצורה אקראית על השולחן.  
 א. רשמו טבלה ובנה את מספר הממצאים המיקרוסקופיים המתאימים לכל מצב מקאו.  
 ב. מהי ההסתברות שהטלה יצאו 3 מטבעות ראש ו-2 זנב?  
 ג. מהי ההסתברות שכל המטבעות יפלו על זנב?  
 ד. מהי ההסתברות שהטלה יפלו לפחות 3 מטבעות על זנב?

**4) שינוי באנטרופיה בסידור 10 מטבעות**

על שולחן ישנים 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?

השוויה לשינוי באנטרופיה של מערכת תרמודינמית מאחד הדוגמאות הקודומות.

ניתן לחשב את פונקציית המცבים 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 דמוית גז המכילה  $10 = n$  אטומים ב מהירות זזהות. ה"גז" נמצא בתוך תיבת נסמן את מספר האטומים הנמצאים בחצי השמאלי של התיבה  $-k$ . מספר האפשרויות לסדר את האטומים כך  $-k$  אטומים יהיו

$$\text{בחצי השמאלי הוא: } \frac{n!}{k!(n-k)!}.$$

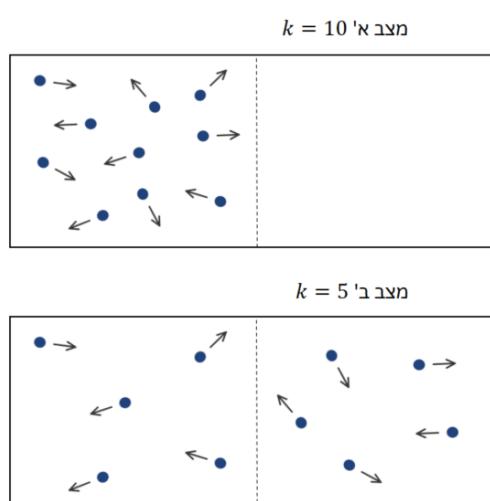
נניח כי כל ערך של  $k$  מסמל מצב מיקרוסקופי של המערכת.

ב מצב א' שבאיור כל 10 האטומים בצד שמאל של התיבה ( $10 = k$ )

וב מצב ב' שבאיור 5 בחצי הימני ו-5 בשמאלי ( $5 = k$ ).

א. מהו השינוי באנטרופיה במעבר בין מצב א' למצב ב'?  
אם התהליך יכול להתרחש בצורה ספונטנית?

ב. מהו השינוי באנטרופיה במעבר בין מצב ב' למצב א'?  
אם התהליך יכול להתרחש בצורה ספונטנית?



**תשובות סופיות:**

Rln(2) (1)

(2)

המצב האנטרופיה	המצב המיקרוסקופי
0	ר'אש 4
$1.91 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$	ר'אש, 1 זנב 3
$2.47 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$	ר'אש, 2 זנב 2
$1.91 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$	ר'אש, 3 זנב 1
0	זנב 4

. א (3)

המצב המיקרוסקופי	המצבים המיקרוסקופיים	פונקציית הממצבים $\Omega$
5-H , 0-T	HHHHH	1
4-H , 1-T	HHHHT , HHHTH , HHTHH , HTHHH , THHHH	5
3-H , 2-T	HHHTT , HHTHT , HTHHT , THHHT , HHTTH HTTHH , THTHH , TTHHH , HTHTH , THHTH	10
2-H , 3-T	כמו 2-H , 3-T רק להחליפן ב-T	10
1-H , 4-T	כמו 1-T , 4-H רק להחליפן ב-T	5
0-H , 5-T	כמו 0-T , 5-H רק להחליפן ב-T	1

50% . ת

ג. 3.125%

ב. 31.25%

 $4.2 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$  (4) $. 7.63 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$  , כנ. ב.  $-7.63 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$  לא. א. (5)

# יסודות הפיזיקה א - 2013

## פרק 7 - דינמיקה - חוקי ניוטון

### תוכן העניינים

106 .....	1. חוקי ניוטון .....
116 .....	2. גלגולות נעות ומכפלי כוח .....
117 .....	3. תרגילים נוספים .....

## חוקי ניוטון:

**רקע:**

**כוחות נפוציים:**

**כוח הכבוד :**

סימון : W (קייזר של כדור הארץ).  
מופעל ע"י כדור הארץ.  
כיוון : למרכז כדור הארץ (או לכיוון האדמה).  
גודל : mg.

**נורמל :**

סימון : N.  
מופעל ע"י משטח.  
כיוון : תמיד מאונך למישטח ודוחף (מהמשטח כלפי חוץ).  
גודל : לא ידוע, תלוי בבעיה (לא שווה ל-mg).

**מתיחות :**

מופעל על ידי חוט או חבל.  
סימון : T (קייזר של חוט).  
כיוון : תמיד מושך הגוף לכיוון החוט.  
הערה, חוט תמיד מושך משני צדדיו.  
חוט אידיאלי – חוט חסר מסה שאינו משנה את אורכו (לא אלסטי).  
בחוט אידיאלי המתיחות אחידה לאורך החוט.

**חיכוך :**

**חיכוך סטטי -  $f_s$  :**

פועל כאשר אין תנועה יחסית בין המישטחים.  
מופעל ע"י המשטח.

כיוון : משיק למישטח (נגד כיוון השלייפה לתנועה).

גודל :  $N_s \mu_s = f_s$  (בדי"כ נעלם לא ידוע).

$\mu_s$  - מקדם חיכוך סטטי (תלוי בחומר וקבוע).

$f_s \leq \mu_s N$  - החיכוך הסטטי תמיד קטן מ-  $\mu_s N$ .

$f_{s\max} = \mu_s N$ .

לשים לב שאפשר להציב  $N_s = \mu_s f_{s\max}$  רק אם ידוע שהמערכת על סף החלקה.

**חיכוך קינטי** -  $f_k$  :

פועל כאשר יש תנואה יחסית בין המسطחים.

מופעל ע"י מسطח.

כיוון : משיק למسطח (נגד כיוון התנועה היחסית).

גודל :  $N \mu_k = f_k$ .

$\mu_k$  - מקדם החיכוך הקינטי – תלוי בסוגי החומרים. בד"כ קבוע.

$N$  - נורמל שפעיל אותו מسطח.

### חוק ראשון של ניוטון – התמדה:

אם גוף נע בקו ישר ובמהירות קבועה (בהתמדה) סכום הכוחות עליו שווה לאפס. מקרה פרטי של תנואה במהירות קבועה הוא מנוחה. לכן, אם גוף נמצא במנוחה סכום הכוחות עליו הוא אפס.

### חוק שלישי – עקרון פועלה תגובה:

לכל כוח שגוף A מפעיל על הגוף B יש כוח תגובה שגוף B מפעיל חזרה על הגוף A. כוח התגובה שווה בגודלו והפוך בכיוונו. שימושו לב: הכוחות פועלים על גופים שונים ולכן אף פעם לא יופיעו באותו תרשימים כוחות.

### חוק שני של ניוטון:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

בפועל רושמים את הנוסחה לכל ציר בנפרד.

### חוק הוק – הכוח של קפיץ:

$$F = -k \Delta x$$

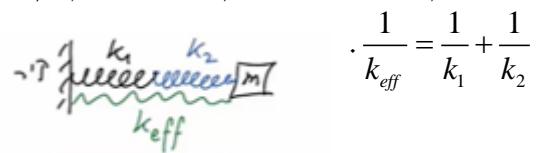
$$\Delta x = x - x_0$$

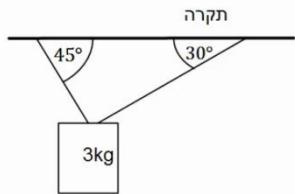
$x$  - מיקום הגוף.

$x_0$  - מיקום שבו הקפיץ רופוי.

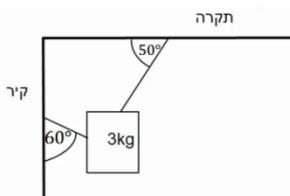
חיבור קפיצים במקביל (שני הקפיצים מחוברים לגוף ולקיר) -  $k_{eff} = k_1 + k_2$

חיבור קפיצים בטור (גוף מחובר לקפיץ אחד שמחובר לקפיץ שני שמחובר לקיר) -

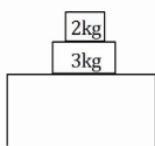
$$\frac{1}{k_{eff}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$


**שאלות:**

- 1) דוגמה-גוף תלוי מהתקלה**  
גוף תלוי במנוחה מהתקלה באמצעות שני חוטים, לפי האיוור הבא.  
מהי המתייחסות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?

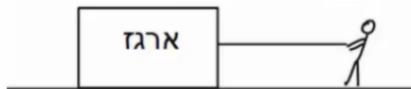


- 2) דוגמה-גוף תלוי מהתקלה ומהקיר**  
גוף תלוי במנוחה מהתקלה באמצעות חוט ומחובר לקיר המאונך לתקלה באמצעות חוט נוסף (הסתכל באיוור).  
מהי המתייחסות בכל חוט אם מסת הגוף היא 3 ק"ג?

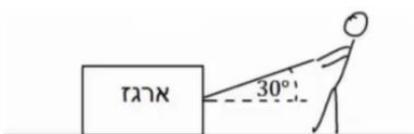


- 3) דוגמה-מסה על מסה**  
במערכת הבאה ישנה מסה של 3 ק"ג הנמצאת במנוחה על שולחן.  
על המסה מונחת מסה נוספת של 2 ק"ג.  
א. שרטט תרשימים כוחות לכל אחת מהמסות.  
ב. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה העליונה.  
ג. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על המסה התחתונה.  
ד. חשב את הכוח הנורמלי הפועל על השולחן.

- 4) דוגמה-מסה על מסה על מסה**  
שלוש מסות מונחות אחת על גבי השנייה ועל הקrukע במנוחה, כפי שנראה בציור.  
א. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שפעילה המסה הכי תחתונה על המסה מעלה?  
ב. מהו גודלו וכיוונו של הכוח שפעילה הרצפה על המסה הכי תחתונה?



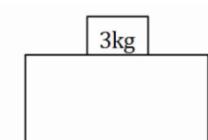
- 5) דוגמה-דני מושך במקביל לקרקע**  
דני מושך ארגו במקביל לקרקע. ידוע כי מסת הארגז היא 20 ק"ג ומוקדם החיכוך הקינטי בין הארגז לקרקע הוא:  $\mu_k = 0.2$ .  
מצא מהו גודלו של הכוח שפעיל דני, אם הארגז נע במהירות קבועה?

**6) ירון מושך בזווית**

ירון מושך ארגז באמצעות חבל הנמתק 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 שפעיל על ירון, אם הארגז נע במהירות קבועה?

**7) גוף על שולחן**

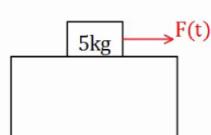
גוף בעל מסה של 3 ק"ג נמצא במנוחה על שולחן.

מקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.4$ .

א. מהו הכוח המקסימלי הנitin להפעיל על הגוף, כך שיישאר במנוחה?

כוח אופקי בגודל 10 ניוטון פועל על הגוף ימינה.

ב. מצא את גודלו וכיונו של החיכוך הסטטי.

**8) כוח תלוי בזמן**

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

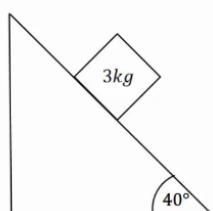
כוח אופקי התלויה בזמן  $F(t) = 2 \cdot t^2$  פועל על הגוף ימינה.

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

א. מהו הכוח המקסימלי הנitin להפעיל על הגוף, כך שיישאר במנוחה?

ב. מתי יתחל הגוף בתנועה?

ג. שרטט גרף של החיכוך הסטטי כתלות בזמן.

**9) מסה בשיפוע**

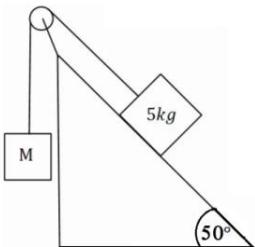
מסה של 3 ק"ג נמצא במנוחה על מישור משופע בעל זווית של 40 מעלות.

בין המסה למדרון קיימים חיכוך,

ומקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.9$ .

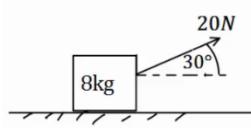
א. שרטט תרשימים כוחות לבעה.

ב. מצא את גודלם של הכוח הנורמלי והחיכוך.

**10) 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.

- מצא את גודלה של המסה M, על מנת שהמערכת תשאר במנוחה כאשר אין חיכוך בבעיה. כתת נתון שבין המסה למזרן קיים חיכוך, ומקדמיו החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.3$ .
- מצא מה הוא גודלה המקסימלי והמינימלי האפשרי של M, על מנת שהמערכת תשאר במנוחה.

**11) דוגמה-כוח בזווית 30 מעלות**

כוח של 20 ניוטון פועל בזווית של 30 מעלות מעלה האופק. הכוח מופעל על ארוג בעל מסה של 8 ק"ג.

הארוג נמצא במנוחה ונתון כי בין הארגז לרצפה קיים חיכוך. מקדמי החיכוך הסטטי והקינטי הם:  $\mu_k = 0.1$ ,  $\mu_s = 0.2$ .

- בדוק האם הארגז נשאר במנוחה או מתחילה נוע?
- כמה זמן ייקח להזיז את הארגז למרחק של 30 מטרים באמצעות כוח זה?
- חזור על הסעיפים אם הכוח היה בזווית של 70 מעלות.

**12) דוגמה-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 ומתחליל בעצירה.

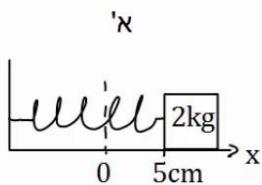
מקדמיו החיכוך הקינטי בין הגלגלים לרצפה הוא:  $\mu_k = 0.3$ . הנתה שהגלגלים ננעלים ואין למוכנית מערכת ABS.

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

**13) דוגמה 1-קפיץ**

גוף בעל מסה של 2 ק"ג מחובר לקפיץ בעל קבוע

$$\text{קפיץ} = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} = k. \text{ בין הגוף למשטח אין חיכוך.}$$



- א. מושכים את הגוף למרחק 5 ס"מ מהנקודה בה הקפיץ רפואי ומשחררים אותו.

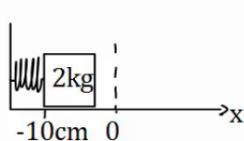
מהי תאוצת הגוף (גודל וכיוון)?

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

מהי תאוצת הגוף (גודל וכיוון)?

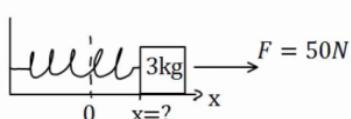
cut נתון כי בין הגוף למשטח קיים חיכוך, ומוקדם החיכוך הסטטי הוא:  $\mu_s = 0.2$ .

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

**14) דוגמה 2-קפיץ**

גוף בעל מסה של 3 ק"ג מחובר לקפיץ בעל קבוע

$$\text{קפיץ} = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}} = k. \text{ בין הגוף למשטח אין חיכוך.}$$



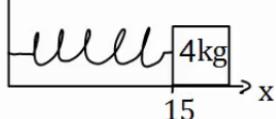
על הגוף פועל כוח ימינה שגודלו 50 ניוטון.

קבע את ראשית הצירים בנקודת הרפינו של הקפיץ. היכן נמצאת נקודת שיווי המשקל (הנקודה בה סכום הכוחות שווה לאפס)?

**15) דוגמה 3-קפיץ**

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

$$\text{בعل קבוע קפיץ} = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} = k. \text{ בין הגוף למשטח אין חיכוך.}$$



אורכו הרפיי של הקפיץ הוא 10 ס"מ.

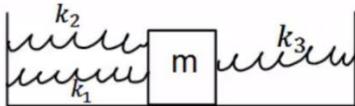
- א. חשב את הכוח שפעיל הקפיץ על הגוף כאשר הגוף למרחק 15 ס"מ מהקיר.

- ב. חשב את הכוח שפעיל הקפיץ על הגוף כאשר הגוף למרחק 6 ס"מ מהקיר.

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

**16) מסה עם שלושה קפיצים**

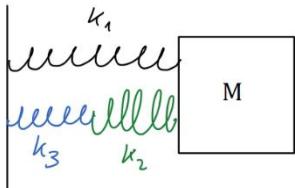
שלושה קפיצים מחוברים למסה  $m = 2\text{kg}$ , כפי שנראית באיוור.  
אין חיכוך בין המסה לרצפה.



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

הנת כי כל הקפיצים רפוויים באותו המוקודת.

מהי תאוצת המסה כאשר היא נמצאת במרחק 20 ס"מ מנקודת שיווי המשקל?

**17) שלושה קפיצים שווים**

באיוור הבא, המסה  $m = 4\text{kg}$  מחוברת ושלושה קפיצים בעלי קבועי קפץ שונים. הנח שכל הקפיצים רפוויים כאשר המסה נמצאת ב-0 = x.

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

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

**18) כוח אופקי תלוי בזמן**

כוח אופקי שגודלו  $F = 2t$  פועל על גוף, כאשר הזמן t נתון בשניות והכוח F בニュוטונים.

מסת הגוף  $2\text{kg}$  והוא נמצא במנוחה על משטח אופקי.

מקדמי החיכוך בין הגוף למשטח:  $\mu_k = 0.15, \mu_s = 0.2$ . מצא את:

א. זמן תחילת התנועה.

ב. כוח החיכוך בזמן  $t = 0.5\text{sec}$ .

ג. תאוצת הגוף כפונקציה של זמן.

ד. מהירות הגוף לאחר 4 שניות.

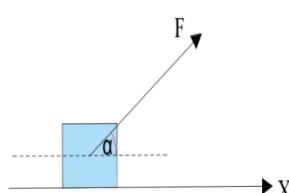
ה. מיקום הגוף לאחר 4 שניות.

**19) כוח בזווית תלוי בזמן**

הגוף שבציור מונח על הרצפה, בזמן  $t = 0$  מתחלף פעולה על הגוף כוח שגודלו  $F = 2t$  הזמן בשניות והכוח בニュוטונים.

הכוח פועל בזווית  $\alpha = 37^\circ$  יחסית לציר התנועה.

מסת הגוף היא  $2\text{kg}$ .



נתנו כי מקדם החיכוך הסטטי והקינטי בין הגוף והרצפה הוא:  $\mu_s = 0.2, \mu_k = 0.15$ .

$$\text{לפשטות החישוב קחו: } g = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, \sin \alpha = 0.6, \cos \alpha = 0.8.$$

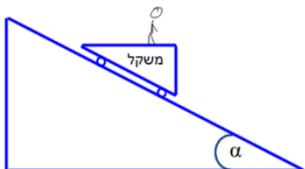
א. متى יתחלף הגוף לנוע?

ב. מהי מהירות הגוף לאחר 4 שניות?

ג. מה המרחק שהתקדם הגוף עד לnitokro מהקרקע?

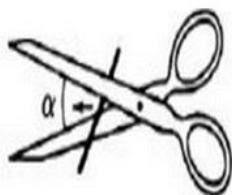
**(20) אדם על קרוןית על מישור משופע\***

אדם בעל מסה  $m$  עומד על משקל המחבר בצורה אופקית לקרונית. מסת הקרןית היא  $M$  ונתון כי היא מחליקה ללא חיכוך על פני מישור משופע בזווית  $\alpha$ .



הניחו שהחיכוך בין רגלי האדם לקרונית מספיק גדול, כך שאיןנו נע ביחס אליה.

- מה מורים המאזניים? הניחו שהחיכוך בין רגלי האדם לקרונית מספיק גדול, כך שאיןנו נע ביחס אליה.
- מצא את מקדם החיכוך המינימלי בין רגלי האדם והקרןית על מנת שהאדם לא יחליק ביחס לקרונית.
- כעת הנה כי אין חיכוך בכלל בין האדם לקרונית. מה תהיה תואצת הקרןית במצב זה? (כל עוד האדם נמצא על הקרןית).
- מה יורה המשקל במצב המתואר בסעיף ג'?

**(21) מספריים חותכות חוט\*\***

אדם מנסה לחותך חוט מתכת בעזרת מספריים. החוט חופשי לנעו והוא מחליק על המספריים עד שזווית המפתח של המספריים היא  $\alpha$ , בזווית זו המספריים מתחילות לחותך את החוט.

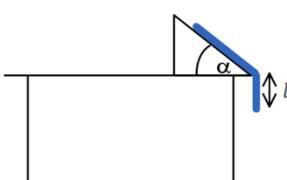
- צייר את הכוחות שפעלים על החוט.
- מצא את מקדם החיכוך בין המספריים לחוט.
- הראה שהזווית  $\alpha$  אינה תליה בכוח הכביד כאשר המספריים במצב אופקי.
- כעת, מסובבים את המספריים בזווית  $\beta$  סביב ציר העובר בבורג המספריים. כיוון הסיבוב הוא נגד השעון, כך שהחוט עולה כלפי מעלה. הראה כעת שהשינוי בזווית  $\alpha$  הוא לפי:  $\mu_0 + \Delta\mu = \mu$  כאשר  $\mu_0$  הוא

$$\text{המקדם שמצוות בסעיף ב'} = -\frac{mg \sin \beta}{F \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

אם המספריים יחתכו יותר מוקדם או יותר מאוחר?

**(22) חבל מחליק משולחן משופע\*\***

חבל בעל מסה  $M$  ואורך  $L$  נמצא על מישור משופע בזווית  $\alpha$  שנמצא על שולחן כך שחלק משטלשל מהשולחן מטה. בין החבל לשולחן יש מקדם חיכוך קינטי וסטטי  $\mu$ . בזמן  $t=0$  יש חבל באורך 1 המשטלשל מקצה השולחן, ונמצא במנוחה.

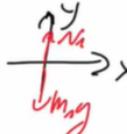


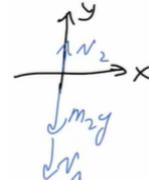
מהו הגובה של קצה החבל ( $y$ ) מתחת לשולחן כתלות בזמן? הניחו כי החבל בעל עובי אפס ויש חיכוך רק עם החלק העליון של המישור.

**תשובות סופיות:**

(1)  $T_1 \approx 22.0\text{N}, T_2 \approx 26.9\text{N}$

(2)  $T_2 \approx 19.6\text{N}, T_1 \approx 26.4\text{N}$

(3) א. מסה 2 ק"ג : 



ד. 50N .

ג. 20N .

ב. 20N .

א. 30N למעלה

(4) ב. 60N

(5) 40N

(6)  $T \approx 41.3\text{N}$

ב. 10N .

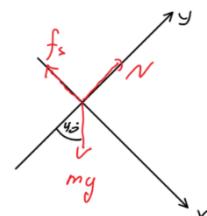
(7) א. 12N .

ג.  $\sqrt{10}\text{ sec}$ 

(8) א. 20N .



(9) א.  $f_s \approx 19.3\text{N}, N \approx 23.0\text{N}$



(10) א.  $M_{\min} = 2.87\text{kg}, M_{\max} = 4.79\text{kg}$

ב.  $M = 3.83\text{kg}$

(11) א. הגוף לא יכול להיות במנוחה.

ב.  $t \approx 6.82\text{ sec}$

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

ב. לא, כי  $\Delta x = 52.5\text{m} > 50\text{m}$

א. כן, כי  $\Delta x \approx 37.5\text{m} < 50\text{m}$

ב. גודל:  $a = 2.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ , הכוון חיובי.

(13) א. גודל:  $-1.25 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ , הכוון חיובי.

ג.  $x = 8\text{cm}$

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

ג. סעיף א':  $a = -3.13 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

ב.  $F = 2\text{N}$

(15) א.  $F = -2.5\text{N}$

סעיף ב':  $a = -2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

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

$$a \approx 0.326 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad (17)$$

$$a = \begin{cases} 0 & 0 < t < 2 \\ t - \frac{3}{2} & 2 < t \end{cases} \quad f_s = 1\text{N} \quad \text{ב.} \quad t = 2 \text{ sec.} \quad \text{א.} \quad (18)$$

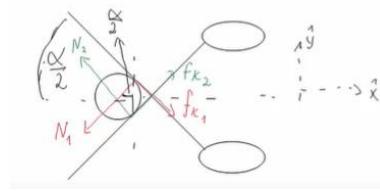
$$x(t=4) = 2.3\text{m} \quad \text{ה.} \quad v(t=4) = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ט.}$$

$$x = 467\text{m} \quad \text{ב.} \quad v(t=4) = 1.53 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad t \approx 2.17 \text{ sec.} \quad \text{א.} \quad (19)$$

$$a_x = \frac{(M+m)g \sin \alpha}{M + m \sin^2 \alpha} \quad \text{ב.} \quad \mu_{s \min} = \tan \alpha \quad \text{ב.} \quad N_2 = mg \cos^2 \alpha \quad \text{א.} \quad (20)$$

$$N_2 = m \left( g - \left( \frac{(M+m)g \sin \alpha}{M + m \sin^2 \alpha} \right) \sin \alpha \right) \quad \text{ט.}$$

$$\text{ג. הוכחה.} \quad \mu_k = \tan \frac{\alpha}{2} \quad \text{ב.}$$



ד. הוכחה. החוט יתתקז יותר מאוחר.

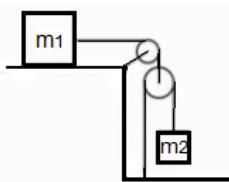
$$y(t) = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\beta}{k} \right) \left( e^{\sqrt{\frac{k}{M}}t} + e^{-\sqrt{\frac{k}{M}}t} \right) - \frac{\beta}{k} \quad (22)$$

## גלגלות נעות ומכפלי כוח:

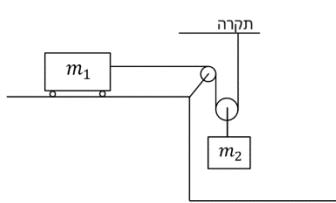
**רקע:**

נבטא את אורך החוט באמצעות מיקום הגוף וקבועים ונגזר.

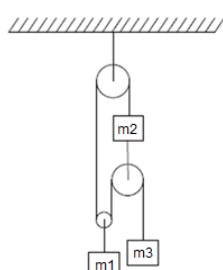
**שאלות:**



- 1) גלגולות וגזרה בזמן של אורך החוט  
במערכת הבאה מסות הגוף ידועות.  
אין חיכוך בין המסות למשטח.  
מצא את תאוצות הגוף ואת המתייחסות בחוטים.



- 2) אחת תליה מהתקלה ואחת על שולחן  
במערכת הבאה המסה  $m_1$  נמצאת על שולחן חסר חיכוך  
ומחברת באמצעות חוט אידיאלי כפי שמתואר באירור.  
הגיגולות אידיאליות ו-  $m_2$  נתונה.  
מצא את התאוצה של כל מסה כל עוד הן לא נופלות  
מהשולחן או פוגעות ברצפה.



- 3) מערכת גלגולות מסובכת  
מצאו את תאוצות הגוף במערכת הבאה.  
מה התנאי לכך שהמסה  $m_3$  תנוע כלפי מעלה  
אם נתון שהמערכת מתחילה ממנוחה?

**תשובות סופיות:**

$$a_1 = \frac{2m_2g}{4m_2 + m_1} \quad (1)$$

$$a_1 = \frac{m_2g}{2m_1 + \frac{m_1}{2}}, \quad a_2 = \frac{m_2g}{4m_1 + m_2} \quad (2)$$

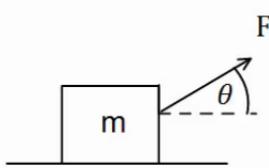
$$a_3 < 0, \quad a_3 = \left( (m_2 + m_3)(4m_2 + m_1) + 4m_2^2 \right) \quad (3)$$

## תרגילים נוספים:

**שאלות:**

**(1) זווית אופטימלית למשיכה**

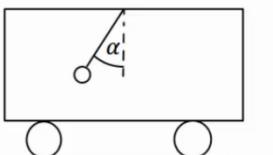
כוח  $F$  מושך ארגו בעל מסה  $m$  בזווית  $\theta$  מעלה האופק.  
מקדם החיכוך בין הארגו לקרקע הוא  $\mu$ .



- מצא את תאוצה הכוח כתלות בפרמטרים הרשומים בשאלת.
- הנח כי מקדם החיכוך הקינטי הוא 0.3.  
בדוק באילו מהערכים הבאים של הזווית יש את התאוצה הגבוהה ביותר:  $45^\circ, 30^\circ, 20^\circ, 10^\circ, 0^\circ = \theta$ .
- מצא את הזווית המדויקת בה התאוצה תהיה מקסימלית. השתמש בנגזרת.

**(2) מטוטלת מכונית**

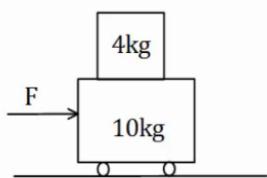
מטוטלת קשורה לתקרת מכונית.  
המטוטלת נמצאת בזווית קבועה ונתונה  $\alpha$ ,  
ビיחס לאן מתקרת המכונית.



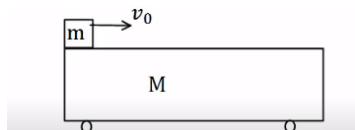
- מצא מהי תאוצה המכונית (גודל וכיוון)?
- האם ניתן לדעת מה כיוון תנועת המכונית?

**(3) מסה של 4 על עגלת של 10**

מסה של 4 ק"ג מונחת מעלה עגלת בעלת מסה של 10 ק"ג.  
החיכוך בין העגלת למשטח זינית.



מקדם החיכוך הסטטי בין המסיה לעגלת הוא  $\mu_s = 0.2$ .  
כוח אופקי  $F$  מופעל על המסיה התחתונה ימינה.  
מהו הכוח המקסימלי הנitin להפעיל כך שהמסה העליונה לא תחליק על העגלת.

**4) מסה מחליקה על עגלה**

מסה  $m$  מונחת על עגלה בעלת מסה  $M$ , הנמצאת במנוחה.

המסה מונחת בקצתה השמאלי של העגלה.

נותנים למסה העליונה ( בלבד ) מהירות התחלתית  $v_0$ .

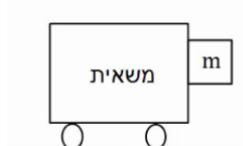
בין המסה לגג העגלה קיים חיכוך, והחיכוך בין העגלה למשטח זניח.

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

א. מצא את הביטויו למיקום ולמהירות המסה, כתלות בזמן.

ב. מצא את הביטויו למיקום ולמהירות העגלה, כתלות בזמן.

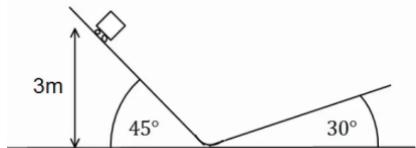
ג. מהי המהירות הסופית של שני הגוףים, בהנחה שהמסה לא נופלת מהעגלה.

**5) מסה צמודה למשאית**

מסה  $m$  מונחת בצד ימין לחילוק הקדמי של משאית.

בין המסה למשטח קיים חיכוך. נתון :  $m$ ,  $\mu$ .

מהי התאוצה המינימלית הדורשיה למשאית על מנת שהמסה לא תיפול?

**6) קופסה בין מדרונות**

קופסה קטנה עם גלגלים מונחת על מישור משופע בעל זווית של 45 מעלות.

ה קופסה משוחררת ממנוחה מגובה של 3 מטרים ומתחלילה בתנועה.

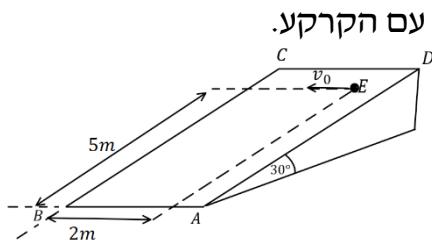
בתחלת המדרון הקופסה עברה למדרון משופע אחר בעל זווית של 30 מעלות.

הזנח אפקטיבים המתרחשים בעת המעבר והנח כי גודל מהירות הקופסה במעבר בין המדרונות נשאר זהה.

א. מהו הגובה המקסימלי אליו הגיע הקופסה במדרון השני?  
נחש מה יקרה לאחר מכן.

ב. חזר על סעיף א' אם נהג הקופסה שכח לשחרר את מעצור היד של הגלגלים וקיים חיכוך קינטי בין הקופסה למשטח.

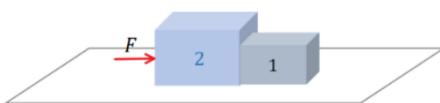
$$\text{מקדם החיכוך הוא : } \mu_k = 0.2$$

**7) זריקה אופקית על מישור משופע**

מישור משופע חלק ABCD יוצר זווית של 30 מעלות עם הקרקע.  
הנקודה E נמצאת במרחק 5m מהצלע AB  
ובמרחק 2m מהצלע BC.

מן הנקודה E נזרק כדור קטן על הלווח,  
במהירות התחלתית  $v_0$  שכיוונה מקביל לצלע AB.

- ציר מערכות ציריים, ורשות את הכוחות הפעילים על הכדור בעת תנועתו על הלווח בכל ציר.
- מהי צורת המסלול של הכדור על הלווח?
- מצא את  $v_0$ , עבורה הכדור יגיע בדיקון לנקודה B.
- מהי מהירות הכדור בנקודה B עבורה ה-  $v_0$  שמצויה בסעיף ג'?

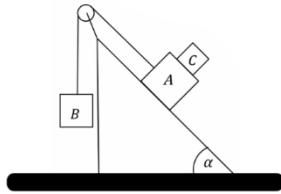
**8) כוח דוחף שתי קופסאות צמודות**

שתי תיבות נמצאות צמודות זו לזו על משטח אופקי חסר חיכוך.

מסות התייבות הם:  $m_1 = 3\text{kg}$  ו-  $m_2 = 5\text{kg}$ .

כוח אופקי דוחף את תיבה 2 שדוחפת את תיבה 1, כפי שמתואר בתרשימים.  
גודל הכוח הוא  $N = 16$ .  
חשב את:

- התואча 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.

**9) גוף על גוף במישור משופע**

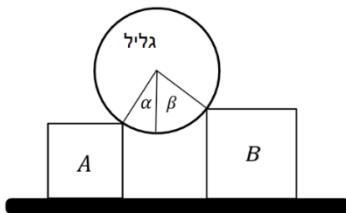
גוף A בעל מסה  $m_A$ , גוף B בעל מסה  $m_B$  מחוברים באמצעות חוט וגלגלת, כמוות באוויר.

גוף A מונח על מישור משופע חלק בעל זווית  $\alpha$ .

גוף C בעל מסה  $m_C$  מונח על הגוף A.

מקדם החיכוך הסטטי בין הגוףים A ל-C הוא  $\mu_s$ .

- מהי המסה המרבית של הגוף B, כך שהגוףים C ו-A ינועו יחדיו במעלה המישור?
- מהי תאוצת הגוףים והמתיחות בחוט, אם המסה של הגוף B היא זאת שמצויה בסעיף א'?
- מהן תאוצות הגוףים אם המסה של הגוף B גדולה מזו שמצויה בסעיף א'  
ומקדם החיכוך הקינטי הוא  $\mu_k$ ?

**10) גליל על שני ארוגזים**

galil אחד, שמסתו  $m$  מונח על שני ארוגזים  
משמעותיהם :  $m_A = m_B = 2m$ .

לאrugzim gibim shonim vhem monchim ul meshet apak. Biun haGalil laArugzim aiin chikuk.

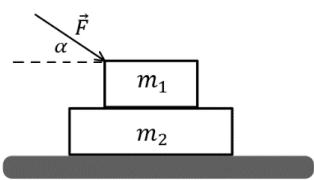
Csheha meurachat nmezat bshiovi meskal yozrim hradiyosim shel haGalil, hnoguim bpiyot haArugzim zovirot shel:  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ .

Um haanek lekrak, raha ayor. Ntounim:  $g$ ,  $m$ .

A. Ma haKoch shemfayil kel Arugz ul haGalil?

B. Bahenacha shkayim otto makdam chikuk biun haArugzim vhaMeshet,

Maho gudlu haMinimali shel makdam chikuk, ck sheha meurachat tishiar bshiovi meskal?

**11) כוח דוחף גוף על גוף**

Shni gofim zehim shmasotihem:  $m_1 = m_2 = m$ , monchim

Zeh ul gabi zeh, ul gabi sholchan apak chikuk (raha ayor).

Biun haGofim kiyim chikuk, verekhmi chikuk kinyani

Vheshtei hem:  $\mu_k$ ,  $\mu_s$ .

Coch chikuni  $\vec{F}$  moafel ul haGof haUljon bZoavit  $\alpha$  matrah laapak.

Haviu at tshuvatcam bameatzot hafermatrim:  $\mu_k$ ,  $\mu_s$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $F$ ,  $\alpha$ .

A. Bahenacha shahogim neim yadui, mahi haTaozha haMoshavta?

B. Bahenacha shahogim neim yadui, maho gudlu shel coch chikuk biun haGofim?

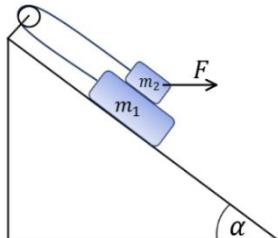
G. Maho gudlu haMinimali shel  $\vec{F}$ , ck shahogim ynuu yadui?

D. Ntoun ci:  $\mu_k = 0.2$ ,  $\mu_s = 0.15$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .

Mazia at Taozha kel Gof, casher haCoch deduch hoo:

.  $F = \frac{1}{2}mg$

H. Chzor ul Seif D' casher  $F = 3mg$ .

**12) מסה על מסה מחוברות בגלגלת**

Ntouna meurachat haKollat shni gofim:  $m_1 = 4\text{kg}$ ,  $m_2 = 3\text{kg}$

HaGofim kshorim ul ydi chot vgalgalat idiyalit,

Vmonchim ul miyshor meshofef baZoavit  $\alpha = 30^\circ$ .

Makdimi chikuk biun haGofim hem:  $\mu_k = \mu_s = 0.4$ ,

Vmekdimi chikuk um miyshor hem:  $\mu_k = \mu_s = 0.3$ .

Coch apaki  $F$  poafel ul  $m_2$ .

A. Maho ha- $F$  haMinimali, ck shahogim yisharo bmanocha?

B. Am  $N = 40\text{N}$ , mahi Taozha haGofim?

**13) זמן לעלות וירידת מדרון עם חיכוך**

גוף נזרק במעלה מדרון משופע ב מהירות התחלתית  $v_0$ .

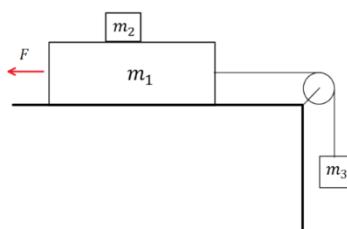
זווית השיפוע של המדרון היא  $\theta$  ומקדמ החיכוך בין המדרון לגוף הוא  $\mu_k$ .

א. מצאו כמה זמן ייקח לגוף לחזור לנקודת ההתחלה  
(בנחתה שהוא לא נשאר במנוחה בשיא הגובה)?

ב. מה היחס בין מהירות הסופית ומהירות התחלתית של הגוף?

**14) גוף על גוף וכוח מושך**

במערכת שבאיור המסות נתונות.



נתונות גם מקדמי החיכוך בין  $m_1$  למשטח  $\mu_{s_1}$ ,  $\mu$ ,

ומקדמי החיכוך בין  $m_1$  ל- $m_2$ ,  $\mu_{s_2}$ ,  $\mu_{k_2}$ .

הכוח  $F$  באיזור מתיחס רק לסעיף ב.

א. מהן תאוצות הגוףים והמתיחות בחוט

בנחתה ש- $m_2$  נעה בתאוצה יחסית ל- $m_1$ ?

ב. מהו הכוח המינימלי  $F$  שיש להפעיל כדי שהמסות ינועו יחדיו?

**15) תיבה על מכונית משולשת**

מכונית עם זווית בסיס  $\alpha$  נוסעת בתאוצה קבועה.

מניחים תיבה בעלת מסה  $m$  על דופן המכונית.

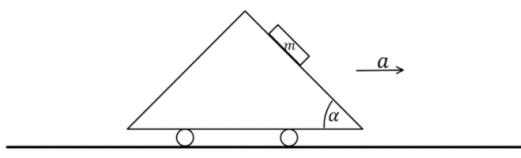
א. מצאו את גודלו של כוח החיכוך

בין המכונית לתיבה אם ידוע

שתאצת המכונית היא  $a$  ימינה

והתיבה לא מחליקה על הדופן.

ב. מהו  $\mu_s$  המינימלי המאפשר מצב זה?

**16) כדור בתא מטען משופע**

למשאית באיזור תא מטען משופע בזווית  $\alpha$

ובסופה דופן אנכית.

בתוך תא המטען יש כדור בעל מסה  $M$ .

המשאית נוסעת בתאוצה קבועה  $a$  שמאלה.

מצאו את הכוחות הנורמלים שפועלים על הכדור בהנחה שאין חיכוך.



**תשובות סופיות:**

$$\theta_0 \approx 16.6992^\circ \text{ ג.} \quad \theta = 20^\circ \text{ ב.} \quad a = \frac{F}{m} (\cos \theta + \mu_k \sin \theta) - \theta_k g \text{ נ.} \quad (1)$$

א. גודל:  $\alpha$ ,  $a_x = g \tan \alpha$ ; כיוון: חיובי      ב. לא

$$F = \mu_s (m_1 + m_2) g = 28N \quad (3)$$

$$\text{א. מיקום-זמן: } v_1(t) = 20 - 2t, \quad x_1(t) = 0 - 20t - \frac{1}{2} t^2 \quad (4)$$

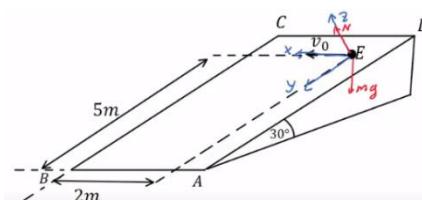
$$\text{ב. מיקום-זמן: } v_2(t) = 0 + \frac{1}{2} t, \quad x_2(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} t^2 \quad (5)$$

$$v_2(t=8) = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ג.}$$

$$a_{\min} = \frac{g}{\mu_s} \quad (6)$$

$$h_{\max} = 1.78\text{m} \text{ ב.}$$

$$h_{\max} = 3\text{m} \text{ נ.} \quad (7)$$



$$\text{ב. פרבולה כמו בזריקה אופקית.} \quad v_0 = \sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ג.}$$

$$v_{x(t_B)} = \sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{sec}}, \quad v_{y(t_B)} = 7.07 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ט.}$$

$$N_{2 \rightarrow 1} = 6N \text{ ג.} \quad N_{1 \rightarrow 2} = 6N \text{ ב.} \quad a_1 = a_2 = 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{ נ.} \quad (8)$$

$$m_{B_{\max}} = \frac{(m_A + m_C) \mu_s \cos \alpha}{1 + \sin \alpha - \mu_s \cos \alpha} \text{ נ.} \quad (9)$$

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

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

$$\mu_{s_{\min}} = 0.464 \text{ ב.} \quad N_A = 0.732mg, \quad N_B = 0.518mg \text{ נ.} \quad (10)$$

$$f_s = \frac{F \cos \alpha}{2} \text{ ב.} \quad a = \frac{F \cos \alpha}{2m} \text{ נ.} \quad (11)$$

$$a = 2.17 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{ ט.} \quad F_{\max} = \frac{2\mu_s mg}{\cos \alpha - 2\mu_s \sin \alpha} \text{ ג.}$$

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

$$a = 1.81 \frac{m}{sec^2} . \blacksquare \quad F_{max} = 31.05N . \text{ נ } (12)$$

$$t = \frac{v_0}{g(\sin \theta + \mu_k \cos \theta)} + \frac{v_0}{g \sqrt{(\sin^2 \theta - \mu_k^2 \cos^2 \theta)}} . \text{ נ } (13)$$

$$\frac{v_f}{v_0} = \sqrt{\frac{\sin \theta - \mu_k \cos \theta}{\sin \theta + \mu_k \cos \theta}} . \blacksquare$$

$$a_1 = a_3 = \frac{m_3 g - \mu_{k_2} m_2 g - \mu_{k_1} (m_1 + m_2) g}{m_1 + m_3} , \quad a_2 = \mu_{k_2} g . \text{ נ } (14)$$

$$F_{min} = m_3 g - \mu_{s_2} g (m_3 + m_2) - \mu_{s_1} (m_1 + m_2) g . \blacksquare$$

$$\mu_{s_{min}} = \frac{g \sin \alpha - a \cos \alpha}{g \cos \alpha + a \sin \alpha} . \blacksquare \quad f_s = mg \sin \alpha - ma \cos \alpha . \text{ נ } (15)$$

$$N_1 = \frac{Mg}{\cos \alpha} , \quad N_2 = M(a + g \tan \alpha) \quad (16)$$

# יסודות הפיזיקה א - 2013

פרק 8 - כוח ציפה -

תוכן העניינים

1. כוח ציפה .....

124 .....

## כוח ציפה

### רקע

כוח ציפה – כוח הפועל על גוף בנוזל. כיוונו הפוך לכוח הכבוד.

$$F_b = \rho_l V g$$

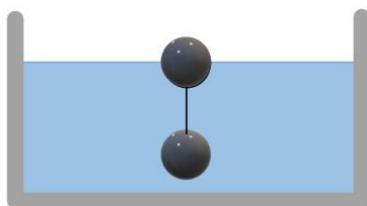
כאשר  $\rho_l$  היא צפיפות הנוזל ו-  $V$  הוא נפח הגוף.

### שאלות

#### 1) שני כדורים קשורים בחוט בתוך המים

שני כדורים בעלי נפח זהה  $V = 20\text{cm}^3$  קשורים בחוט זה לזה.

מניחים את ה כדורים במים ולאחר זמן רב רואים שהמערכת התייצבה כך שכדור 1 נמצא כולו בתחום המים ורך חצי מנפחו של כדור 2 שקע בתחום המים. ראה איור.



המסה של כדור 1 גדולה פי 4 מזו של כדור 2.

א. מהי המסה של כל כדור?

ב. מהי צפיפות המסה של כל כדור?

### תשובות סופיות

$$\rho_1 = 1.2 \frac{\text{gr}}{\text{c.m}^3}, \rho_2 = 0.3 \frac{\text{gr}}{\text{c.m}^3} \quad \text{ב.} \quad m_1 = 24\text{gr}, m_2 = 6\text{gr} \quad \text{א. (1)}$$

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

## פרק 9 - תנועה מעגלית -

### תוכן העניינים

1. נוסחאות בסיסיות בתנועה מעגלית .....	125
2. הכוח המרכזי ..... 3. וקטורים בתנועה מעגלית.....	131
4. תרגילים מסכמים.....	133
5. תרגילים מסכימים למתקדמים.....	136
	140

## נוסחאות בסיסיות בתנועה מעגלית

### רקע

- תנועה מעגלית היא תנועה על מעגל עם רדיוס קבוע.

יש להציב את הزاوية ברכינאים  כיוון המהירות תמיד משיק למעגל	$S = \Delta\theta \cdot R$	הדרך בתנועה מעגלית
כיוון המהירות תמיד משיק למעגל	$v(t) = \frac{dS}{dt}$	גודל מהירות הקווית (speed) הרגעתית
$f$ - התדרות  $T$ - זמן המחזור  התדרות וזמן המחזור מוגדרים רק בתנועה מעגלית קצובה	$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	מהירות זוויתית
קשר רק בין הגודלים	$v = \omega R$	קשר בין המהירות הקווית לזרויתית
$a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$	$a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$	תאוצה רדיאלית לכיוון מרכז המעגל
$\Sigma F_z = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R$ <small>למרכז המעגל</small>	$\Sigma F_z = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R$ <small>למרכז המעגל</small>	<b>הכוח</b>
$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	<b>תאוצה זוויתית</b>
$a_\theta = \frac{d \vec{v} }{dt} = \alpha R$	$a_\theta = \frac{d \vec{v} }{dt} = \alpha R$	<b>תאוצה משיקית</b>
כאשר $h$ ו- $\theta$ נמדדים מתחתיות המעגל	$h = R(1 - \cos\theta)$	<b>הגובה במעגל אנכי</b>

## שאלות

### 1) דוגמה- נהג מרוצים

נהג מרוצים נוסע במסלול מעגלי שרדיוסו 50 מטר.

$$\text{מהירותו של הנהג כתלות בזמן היא: } v = \omega t .$$

א. מצא את המהירות הזוויתית של הנהג כתלות בזמן ומצא את הזווית של הנהג לאחר 5 שניות? (בנחתה כי התחילה מזווית אפס).

ב. متى ישלים הנהג את הסיבוב הראשון?

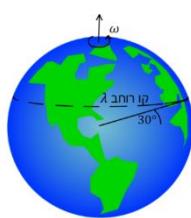


### 2) דוגמה- חישוב מהירות זוויתית של מוחוי שעון

חשב את המהירות הזוויתית של מוחוי השניות, מוחוי הדקות  
ומוחוי השעות בשעון מוחגים.

### 3) חישוב מהירות זוויתית של כדור הארץ

א. חשב את המהירות הזוויתית של סיבוב כדור הארץ סביב עצמו.



ב. מהי המהירות הקווית של אדם הנמצא בקו המשווה

אם רדיוס כדור הארץ הוא בערך 6400 ק"מ?

ג. מהי המהירות הקווית של אדם הנמצא בקו רוחב  $30^\circ$ ?

### 4) דוגמה- יובל מסובבת אבן

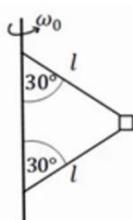
יובל קשורת אבן שمسתה 200 גרם לחוט באורך 0.7 מטר.

יובל מסובבת את האבן באמצעות החוט במעגל אופקי מעלה ראשונה

(כמו שמסובבים קלע). המהירות הזוויתית של האבן היא:  $\omega = 12 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

מהי התאוצה הרדיאלית של האבן ומהי המתיichות בחוט?

הנח שכוח הכבוד זניח.



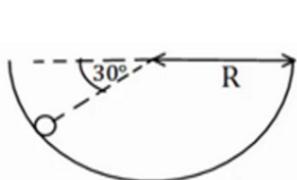
### 5) מסה קשורה לעמוד מסתובב

במערכת הבאה מסה  $m$  קשורה דרך שני חוטים למוט המסובב  
במהירות זוויתית  $\omega_0$ . אורך החוטים זהה ושווה ל-1.

המהירות של החוטים עם המוט היא 30 מעלות.

מהי המתיichות בכל חוט? בשאלת זו כוח הכבוד אינו זניח.

נתונים:  $m$ ,  $l$ ,  $\omega_0$ .



- 6) כדור בקערה כדורית.**  
 כדור קטן מונח בתחום קערה כדורית בעל רדיוס  $R$ .  
 מניחים את הכדור בזווית של 30 מעלות ביחס לאופק.  
 ונותנים לו מהירות תחלה של  $t_0$ .  
 מהו גודל המהירות התחלה הנדרש כך שהכדור  
 יישאר בתנועה מעגלית בגובה קבוע?

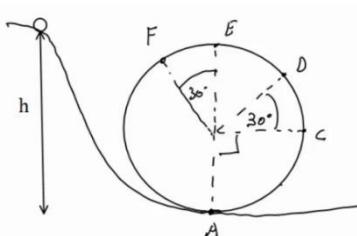
- 7) דוגמה-תאוצה זוויתית נהג המרוצים**  
 מצא את התאוצה הזוויתית בדוגמה-נהג מרוצים ( שאלה 1).

- 8) זווית משתנה בזמן**  
 המיקום הזוויתי של נקודה על גבי שפת גלגל מסטובב נתונה  
 $\text{ע''י: } \phi = 5t + 3t^2 - 2t^3$ .  
 א. מהי מהירות הזוויתית ב-  $t = 2\text{ sec}$  ו-  $t = 4\text{ sec}$ ?  
 ב. מהי התאוצה הזוויתית המומוצעת בין זמנים אלו?  
 ג. מהי התאוצה הזוויתית הרגעית בזמנים אלו?

- 9) תאוצה משיקית קבועה**  
 גוף נוע במעגל בעל רדיוס  $R$  בתאוצה משיקית קבועה  $a_t$   
 ולא מהירות תחלה.   
 מצאו את גודל התאוצה הרדיאלית:  
 א. כפונקציה של הזמן.  
 ב. כפונקציה של זווית הסיבוב.

- 10) תאוצה משיקית רדיאלית וכוללת**  
 גוף נוע במעגל שרדיוסו 3 מטר.  
 הדרך שעובר הגוף נתונה ע"י:  $s = 6t^2 + 3t$ .  
 חשב את התאוצה המשיקית, הרדיאלית והכוללת (כתלות בזמן).

- 11) דוגמה-כוח על נהג המרוצים**  
 בדוגמה של נהג מרוצים ( שאלה 1), מצא מה הכוח הפועל על המכונית  
 אם מסת המכונית (כולל הנהג) היא טון אחד.  
 מי מפעיל כוח זה?

**12) דוגמה-כדור בלוֹפַ**

כדור קטן מאד מתחילה להתגלגל ממנוחה מגובה  $h = 6\text{m}$  ונכנס לתוכו מעגל אנכי.

נתון שהכדור ממשים סיבוב ואין חיכוך בין הריצפה.  
רדיוס המעלג הוא :  $R = 2\text{m}$ .

- מצא את מהירות הכדור בכל הנקודות באוויר.  
(רמז : שימור אנרגיה).

- מצא את התאוצה הרדיאלית של הכדור באותו נקודות.

- מצא את התאוצה בכיוון המשיק באותו נקודות.

- מצא את גודל התאוצה הכוללת באותו נקודות.

**13) כוחות במטוטלת**

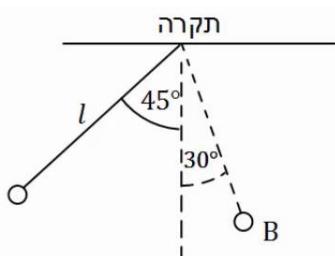
מטוטלת משוחררת ממנוחה מזויה של 45 מעלות.  
אורך החוט הוא 1 והמסה היא  $m$ .

- מהירות המשקה בתחלת המסלול?

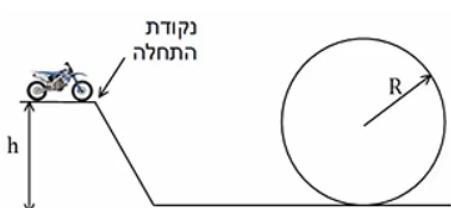
- המтиיחות בחוט ברגע זה?

- מהירות המשקה בנקודה B הנמצאת בזווית 30 מעלות? ומה המтиיחות בחוט באותה נקודה?

- המтиיחות בחוט בשיא הגובה וברגע השחרור?

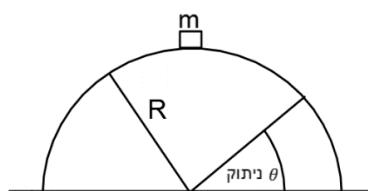
**14) רוכב אופנוּע במעגל אנכי**

רוכב אופנוּע מתחילה תנועתו מנקודת התחלה שבציוור. מהי המהירות התחלתית המינימלית הנדרשת עבור הרוכב כך שיוכל להשלים את הסיבוב האנכי. הנח שהרוכב אינו משתמש במנוע לאחר נקודת התחלה. נתון :  $h$  ,  $R$  .

**15) קופסה מחיליקה על גבעה מעגלית**

קופסה במשקל  $m$  מונחת על ראש גבעה בצורת חצי מעגל ברדיוס  $R$  .

ה קופסה מתחילה להחליק לאחד הצדדים ממנוחה כאשר אין חיכוך בין להגבעה. מצא באיזה זווית הקופסה מתנתק מהגבעה.



**תשובות סופיות**

$$12.5 \text{ sec} \quad \text{ב.} \quad \omega = \frac{2t}{25}, \theta \approx 57.3^\circ \text{ נ.} \quad (1)$$

$$1.75 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{מחוג דקotas:} \quad 0.105 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} : \text{ מחוג שניות:} \quad (2)$$

$$1.45 \cdot 10^{-4} \frac{\text{rad}}{\text{sec}} : \text{ מחוג שעות:} \quad (3)$$

$$400 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ג.} \quad 465 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ב.} \quad 7.27 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \text{ א.} \quad (4)$$

$$T_1 = \frac{mg}{\sqrt{3}} + \frac{m\omega_0^2 l}{2}, T_2 = \frac{-mg}{\sqrt{3}} + \frac{m\omega_0^2 l}{2} \quad (5)$$

$$v = \sqrt{\frac{3gR}{2}} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{2}{25} \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \quad (7)$$

$$\bar{\alpha} = -30 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \text{ ב.} \quad \omega(t=2) = -7 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, \omega(t=4) = -67 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \text{ נ.} \quad (8)$$

$$\alpha(t=2) = 18 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2}, \alpha(t=4) = -42 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \text{ ג.}$$

$$a_r = 2a_t\theta \text{ ב.} \quad a_r = \frac{(a_t \cdot t)^2}{R} \text{ נ.} \quad (9)$$

$$a_\theta = 12 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a_r = (4t+1)^2 \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a = \sqrt{12^2 + 9(4t+1)^4} \quad (10)$$

$$\text{הכbesch מפעיל כוח זה.} \quad |F| = \sqrt{(80t)^2 + 4000^2} \quad (11)$$

$$|F| = \sqrt{(80t)^2 + 4000^2} : \text{ החיכוך מהכbesch} \quad (12)$$

$$v_A \approx 10.95 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_C \approx 8.94 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_D \approx 7.975 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_E \approx 6.32 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_F \approx 6.73 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ א.} \quad (13)$$

$$\cdot a_r = \frac{v^2}{R} \text{ וכיו', לפי הנוסחה} \quad a_{r_A} = 60 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a_{r_B} = 40 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{ ב.}$$

$$a_{\theta_A} = 0, a_{\theta_C} = -g, a_{\theta_D} = -10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a_{\theta_E} = 0, a_{\theta_F} = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{ ג.}$$

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{a_r^2 + a_\theta^2} \text{ ד.}$$

$$T = 1.58mg \quad \text{ב.} \quad v = \sqrt{0.58gl} \quad \text{א.} \quad (14)$$

ג. מהירות :  $T = mg(1.19)$ ,  $v_B = \sqrt{0.32gl}$

ד. בשנייהם :  $T = mg \frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\theta = 41.8^\circ \quad (15)$$

## הכוח המרכזי-

**רקע**

$$F_r = m\omega^2 R$$

בכיוון החוצה מהמעגל

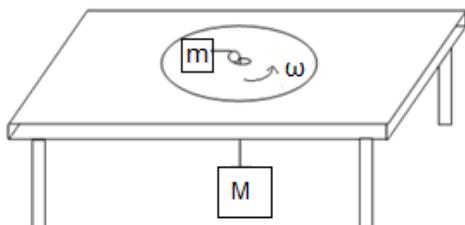
שימוש לב שהכוח המרכזי-הכוח מדומה והוא מגיע מדרך הסתכלות שונה על תנועה מעגלית של צופה המסתובב עם המערכת. בצורת ההסתכלות זו אין לגוף תאוצה רדיאלית.

### שאלות

#### 1) מסה על שולחן מסתובב

מסה  $m$  מונחת על דיסק המסתובב על שולחן במהירות זוויתית קבועה  $\omega$ .  
המסה מחוברת לחוט העובר דרך מרכז השולחן ומחובר למסה  $m_s$ .  
בין המסות  $m$  לדיסק יש חיכוך ומקדם החיכוך הסטטי הוא  $\mu_s$ .  
נתון:  $\mu_s$ ,  $m$ ,  $\mu$ ,  $\omega$ .

מהו הרדיוס המינימלי והרדיוס המקסימלי שבו ניתן להניח את המסה כך  
שלא תזוז בכיוון הרדיאלי?



### תשובות סופיות

$$r_{\max} = \frac{Mg \pm \mu_s mg}{m\omega^2} \quad (1)$$

## וקטורים בתנועה מעגלית

### רקע

וקטור המיקום:  $\vec{r} = R \cos \theta \hat{x} + R \sin \theta \hat{y}$

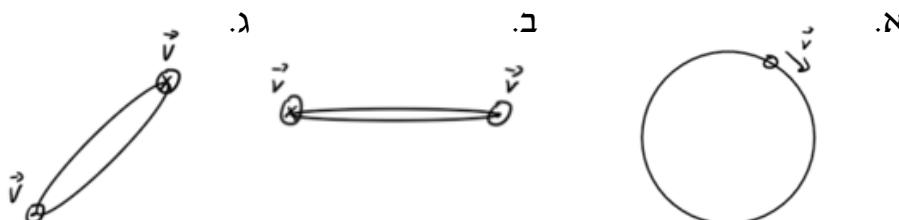
הקשר הכללי בין מהירות הקווית לזוויותית:  $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

הקשר הכללי בין התאוצה המשיקית לתאוצה הזוויותית:  $\vec{a}_\theta = \vec{\alpha} \times \vec{r}$

### שאלות

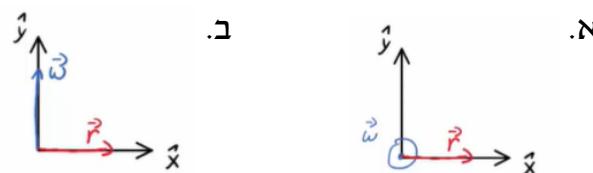
#### 1) מציאת הכוון של אומגה

במקרים הבאים נתנו כיוונה של מהירות הקווית של גוף הנע במעגל. מצא את הכוון של מהירות הזוויותית בכל מקרה:



#### 2) תרגיל לנוסחה $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

מצא את כיוון מהירות הקווית של הגוף במקומות הבאים בהנחה כי הגוף נע בתנועה מעגלית.



#### 3) תאוצה זוויתית קבועה כוקטור

גוף נע במעגל בעל רדיוס קבוע שאינו ידוע.

התאוצה הזוויתית של הגוף קבועה ונوتנה לפי:  $\vec{\alpha} = 2\hat{x} + 3\hat{y} + 1\hat{z}$  ביחידות של רדיאן לשניה ביריבוע.

המיקום ההתחלתי ומהירות הזוויתית ההתחלתית הם:  $\vec{r}_0 = 5\hat{x} + 3\hat{y} - 2\hat{z}$  ו-  $\vec{\omega}_0 = -2\hat{x} + 3\hat{y} - 4\hat{z}$  ברדיאן לשניה.

מצא את גודל מהירות הקווית של הגוף ב- $t = 2 \text{ sec}$ .

**4) דוגמה-וקטור המיקום של נаг המרוצים**

מצאו את וקטור המיקום כתלות בזמן בדוגמה עם נаг המרוצים :  
 נаг מרוצים נוסע במסלול מעגלי שרדיוס 50 מטר. מהירותו של הנаг כתלות בזמן היא  $v(t) = 4t$ .

א. מצאו את מהירות הזוויתית של הנаг כתלות בזמן, ומיצו את הזווית של הנаг לאחר 5 שניות (בנחיה כי התחיל מזוויות אפס).

ב. متى يصلים הנаг את הסיבוב הראשון?

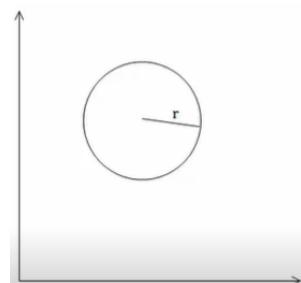
**5) תנועה מעגלית שאינה סביב הראשית**

גוף נע על מעגל ברדיוס 3m.

הגוף חולף דרך הנקודה (5,4) ביחס לראשית הצירים O.

נתון כימרכז המעגל נמצא ב- (5,7) ומהירות הזוויתית היא :  $\omega = \frac{2\pi}{20} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ .

- א. מצאו את וקטור המיקום של הגוף כפונקציה של הזמן.
- ב. מצאו את וקטור מהירותו של הגוף כפונקציה של הזמן.
- ג. מצאו את וקטור התואוצה של הגוף כפונקציה של הזמן.
- ד. מצאו את מהירות הממוצעת בין  $t = 5 \text{ sec}$  ל-  $t = 10 \text{ sec}$ .
- ה. מצאו את תחום הזווית ביחס לראשית בו נע וקטור המיקום.
- ו. מצאו את תחומי הגודלים של וקטור המיקום.



### תשובות סופיות

ג.

ב.

⊗ א. (1)

 $-\hat{z}$ ב.  $\hat{y}$  א. (2)

$$63.63 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (3)$$

$$\vec{r} = 50 \cos\left(\frac{t^2}{25}\right) \hat{x} + 50 \sin\left(\frac{t^2}{25}\right) \hat{y} \quad (4)$$

$$\vec{r} = \left( 5 + 3 \cos\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right), 7 + 3 \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right) \right) . \text{א.} \quad (5)$$

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \left( -3 \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right) \frac{\pi}{10}, 3 \cos\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right) \frac{\pi}{10} \right) . \text{ב.}$$

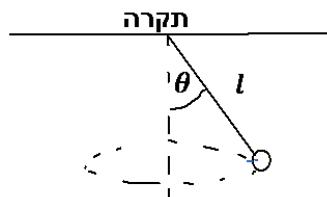
$$\vec{a} = \ddot{\vec{r}} = \left( \frac{-3}{5}, \frac{3}{5} \right) . \text{ט} \quad \vec{a} = \dot{\vec{v}} = -\omega^2 \vec{r} . \text{ג.}$$

$$r_{\max} = 8.6 + 3, r_{\min} = 8.6 - 3 . \text{ו.}$$

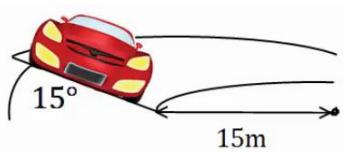
$$\theta_{\min} = 34.5^\circ, \theta_{\max} = 74.9^\circ . \text{ו.}$$

## תרגילים מסכימים:

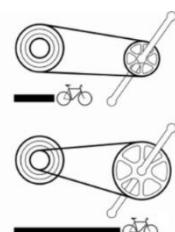
שאלות:



- (1) **מטוטלת מסתובבת אופקית**  
מטוטלת בעלת אורך  $l$  מסתובבת סביב ציר האנכ לתקרה בזווית מפתח קבועה  $\theta$ . נתון:  $l$ ,  $\theta$ .  
מצא את התדריות וזמן המחזור של הסיבוב.



- (2) **מכונית במחלף**  
מכונית נוסעת על מחלף משופע.  
זווית השיפוע של המחלף היא 15 מעלות.  
רדיווס הסיבוב של המחלף הוא 15 מטרים.  
אם נניח שלמכונית אין חיכוך עם הכביש,  
מה מהירותה בה צריכה לנסוע המכונית על מנת לא להחליק?



- (3) **הילוכי אופניים**  
הילוכים של אופניים מורכבים משני גלגלי שניינים ברדיוסים  
שוניים ושרשרת המקיפה את שני הגלגלים. כאשר השרשרת  
מתוחה האורך שלה קבוע. מצאו את הקשר בין מהירות הסיבוב  
של גלגלי השוניים אם הרדיוסים שביהם מקיפה השרשרת כל  
אחד מהגלגלים ידועים.

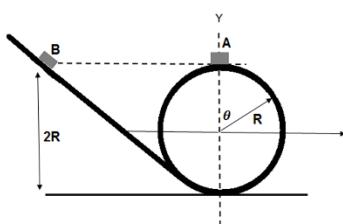
- (4) **שני גופים על מסילה מעגלית אנכית (כולל עבודה ואנרגיה)**  
מסילה מעגלית חלקה, דקה ובעלת רדיוס  $R$  מוצבת במישור אנכי.  
מישור משופע וחולק משיק למסילה ומשתלב בה כמתואר בתרשימים.  
מציבים את בול A בגובה  $2R$  ואת בול B על המישור המשופע בגובה זהה מהרצפה.  
נותנים ל-A דחיפה קלה ועווזבים את B מ מצב מנוחה.  
שני הגוף מחליקים, גוף A בצד ההפוך של המסילה ואילו גוף B משתלב ונכנס  
לתוכה המסילה. בשלב מסוים כל אחד מהגוף מתנתק מהמסילה.  
התיחסו לגופים כאלו גופים נקודתיים.

א. באיזו זווית  $\theta$  עם ציר ה- $y$ , יתנתק גוף A מהמסילה?

ב. באיזו זווית  $\theta$  יתנתק גוף B מהמסילה?

ג. אם שני הגוף מتنתקים מהמסילה בו זמן?  
מה גודל המהירות היחסית ביניהם?

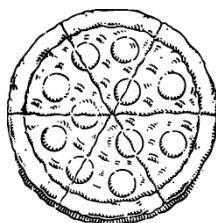
ד. מה יהיה המרחק בין הגוף לאחר הניתוק,  
אחרי פרק זמן  $\Delta t$  (הניחו שהגוף עדין באוויר).



**5) מציאת מיקום כפונקציה של הזמן**

חלקיק מוגבל לנוע על מעגל ברדיוס  $R$ .

נתון שגודל המהירות של החלקיק:  $V(t) = Ct^2$  כאשר  $C$  קבוע.  
מצאו ופתרו את משוואת המיקום של החלקיק.

**6) מסובבים פיצה בתנועה מעגלית**

מסובבים פיצה בתנועה מעגלית כך שמתקיים:  $\theta = 4t^2 + 5t$  כאשר  $\theta$  נמדד בראדיאנים ו-  $t$  בשניות.

- מצאו את המהירות הזוויתית של הבצק.
- מצאו את התאוצה הזוויתית של הבצק.

ג. לאחר שהוסיפו את הזויות מסובבים עוד פעם את הפיצה באותו אופן.

מצאו את הרדיוס בו נמצא זית הנע בתאוצה משיקית של  $0.2 \frac{m}{sec^2}$ .

ד. חזר על סעיף ג' אם ידוע שהຕואוצה הקווית הכוללת ב-  $t = 1\text{ sec}$  היא:  $0.2 \frac{m}{sec^2}$ .

**7) תאוצה משיקית קבועה**

נקודה נעה במסלול מעגלי שרדיוסו  $30\text{ cm}$ .

הנקודה נעה בתאוצה משיקית קבועה של  $4\text{ m/s}^2$  לשניה ברכיבו.

לאחר כמה זמן מתחילה התנועה הרדיאלית של הנקודה תהיה:

- גדולה פי 2 מהຕואוצה המשיקית?
- שווה לתאוצה המשיקית?

**8) זווית בין משיקית לכוללת**

גוף נקודתי מתחילה לנוע ממנוחה במסלול מעגלי בעל רדיוס  $2\text{ m}$  בתאוצה משיקית קבועה. ידוע כי לאחר שני סיבובים שלמים הגיע הגוף למהירות קבועה של  $2\text{ m/s}$  לשניה.

א. תוך כמה זמן הגיע הגוף את שני הסיבובים הראשונים?

ב. מה הייתה התאוצה המשיקית של הגוף?

ג. מה הייתה הזווית בין וקטור התאוצה המשיקית לווקטור התאוצה השקולה לאחר שני הסיבובים הראשונים?

ד. מתי, החל מעת תחילת התנועה, תהיה התאוצה המשיקית שווה בגודלה לתאוצה המרכזית של הגוף?

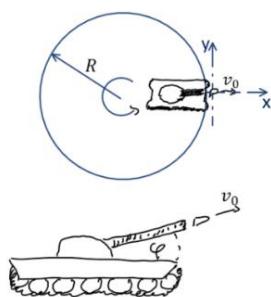
ה. איזה מרחק יעבור הגוף עד אז? (ראה סעיף ד').

**9) חמישה סיבובים**

נקודה שנמצאת במרחק 15 ס"מ ממרכז הגלגל, מתחילה להסתובב בתאוצה  
משיקית קבועה. הנקודה מגיעה ל מהירות זוויתית של  $\frac{\text{rad}}{\text{sec}} 20$  לאחר 5 סיבובים.

מצא את :

- התאוצה המרכזית של הנקודה מעבר 5 שניות.
- התאוצה המשיקית של הנקודה מעבר 5 שניות.
- התאוצה השקולת של הנקודה מעבר 5 שניות.

**10) טנק יורה פגז מדיסקה מסתובבת**

טנק נמצא בקצה של דיסקה ברדיוס R היכולת  
להסתובב במקביל לקרקע. הדיסקה מתחילה  
להסתובב ב-  $t=0$  בתאוצה זוויתית  $\ddot{\theta} = kt^2$ .

עבור זמן  $t_0$  הטנק נמצא במקום שבאיור ויראה פגז.  
מהירות הלוע של הפג ז'  $v_0$ .

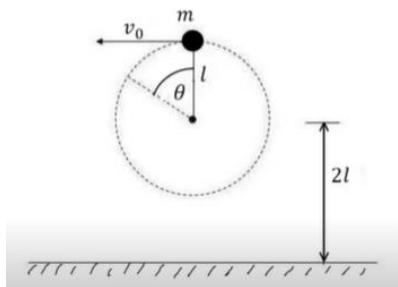
התווחה מכיוון הרדיאלי לפני חוץ, ובזווית  $\varphi$   
על הקרקע (במאונך למשור שבו מסתובבת הדיסקה).

- באיזה מהירות ביחס לצופה נិיח יוצא הcador מלוע הטנק?
- באיזה מרחק מנקודת הירי יפגע הפג ז'?

**11) חוט נקרע במעגל אנכי גבוה**

cador קטן שמסתו  $m$  קשור לקצהו של חוט שאורכו 1.  
הcador מסתובב במעגל אנכי שמרכזו בגובה 2l  
על הרצפה.

כאשר החוט מתוח והcador נמצא אנכית מעל  
ציר סיבוב מעניקים לו מהירות אופקית  $v_0$ .



א. מה מהירות המינימלית  $v_0$  הנדרשת  
 כדי שהcador יבצע תנועה מעגלית שלמה?

ב. מעניקים לcador מהירות התחלתית :  $v_0 = 1.5\sqrt{gl}$ ,  
 אם החוט נקרע ברגע שמתיחותו עולה על  $5.25mg$   
 מצאו את הזווית  $\theta$  שבה יקרע החוט.

- מה מהירות הcador ברגע שהחוט נקרע, אם נתון ש :  $l = 2m$  ?
- תוק כמה זמן מרגע קריית החוט יפגע הcador ברצפה?

**תשובות סופיות:**

$$f = \frac{\omega}{2\pi} , T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1)$$

$$V \approx 6.34 \frac{m}{sec} \quad (2)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

$$d = \sqrt{\frac{8}{3} g R \Delta t} \quad . \quad |\vec{v}_{AB}| = \sqrt{\frac{8}{3} g R} \quad . \quad \theta_2 = \theta_1 = 48.2^\circ \quad . \quad \theta_1 = 48.2^\circ \quad . \quad (4)$$

$$x = R \cos \frac{C \cdot t^3}{3R} , y = R \sin \left( \frac{C \cdot t^3}{3R} \right) \quad (5)$$

$$R = 2.5 \text{ cm} \quad . \quad \alpha = \dot{\omega} = 8 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \quad . \quad \omega = \dot{\theta} = 8t + 5 \quad . \quad (6)$$

$$1.18 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad . \quad t \approx 0.27 \text{ sec} \quad . \quad t \approx 0.39 \text{ sec} \quad . \quad (7)$$

$$t_2 = 5 \text{ sec} \quad . \quad \alpha = 87.73^\circ \quad . \quad a_\theta \approx 0.08 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad t_1 \approx 25.1 \text{ sec} \quad . \quad (8)$$

$$S = 1 \text{ m} \quad .$$

$$|a| \approx 150 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad a_\theta \approx 0.95 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad a_r \approx 150 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad (9)$$

$$v_x = v_0 \cos \varphi , \quad v_y = \frac{k t_0^3 R}{3} , \quad v_z = v_0 \sin \varphi \quad . \quad (10)$$

$$d = \left( (v_0 \cos \varphi)^2 + \left( \frac{k t_0^3 R}{3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left( t_0 + \frac{2v_0 \sin \varphi}{g} \right) \quad .$$

$$t \approx 0.3 \text{ sec} \quad . \quad v \approx 10 \frac{m}{\text{sec}} \quad . \quad \theta \approx 110^\circ \quad . \quad v_{min} = \sqrt{gl^5} \quad . \quad (11)$$

## תרגילים מסכימים למתקדמים:

שאלות:

**1) נקודה על גלגל**

מייקומו של גוף כתלות הזמן נתון ע"י:  $y(t) = R - R \cos(\omega t)$ ,  $x(t) = R\omega t - R \sin(\omega t)$  כאשר  $R$ -ו- $\omega$  קבועים.

- .א. מצאו את וקטורי המהירות והתאוצה של הגוף.
- .ב. מצאו את גודל התאוצה המשיקית והנורמללית.
- .ג. ציירו את מסלול הגוף.

**2) חבל עם מסה מסתובב\***

נתון חבל אחד בעל מסה  $m$  ואורך  $l_1$ . החבל קשור בקצת אחד ומסתובב במישור אופקי ב מהירות זוויתית  $\omega$ . מצא את גודל המתיחות לאורך החבל (כתלות במרחק מהקצת החיבור). רמז: יש לחלק את החבל לחתיכות קטנות ולעשות משווהת תנועה על כל חתיכה.

**3) מטוטלת כפולה מסתובבת אופקית\***

גוף בעל מסה  $m_1$  מחובר באמצעות חוט באורך  $l_1$  לתקרה. גוף בעל מסה  $m_2$  מחובר באמצעות חוט באורך  $l_2$  לגוף הראשון. שני הגוף מסתובבים יחדיו בתדריות זוויתית קבועה  $\omega$  סביב ציר האנך לתקרה. הזווית בין החוטים לאנכים הוא:  $\beta$ ,  $\alpha$  (ראה איור).

- .א. רשום את משווהת התנועה לכל גוף.

. $m_1 \neq 0$  ו-  $m_2 = 0$ .

מהי תנידות הסיבוב המינימלית האפשרית?

.דני ויוסי ניסו למצוא את  $\omega$  במקרה הכללי. דני הציב את גודלי המתיחויות של החוטים במשווהת התנועה של גוף 2

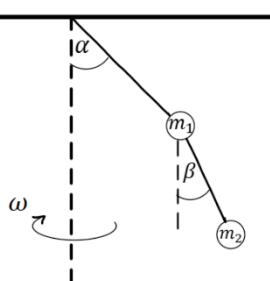
$$\text{וקיבל: } \omega^2 = \frac{g \tan \beta}{l_1 \sin \alpha + l_2 \sin \beta}.$$

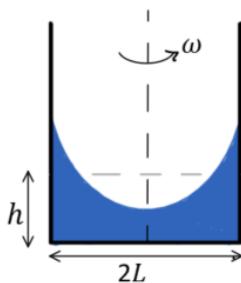
יוסי הציב את המתיחויות במשווהת התנועה

$$\cdot \omega^2 = \frac{\frac{m_1 + m_2}{m_1} \tan \alpha - \frac{m_2}{m_1} \tan \beta}{\sin \alpha}$$

של גוף 1 וקיים:

ישב את הסתירה.





4) **מים בכלי מסתובב\*\***  
 תיבת אורך  $2L$  ורוחב  $\omega$  כך ש- $L < \omega$  מכילה מים.  
 גובה המים בתיבה הוא  $h$ .  
 מסובבים את התיבה במהירות זוויתית  $\omega$  סביב ציר  
 העובר במרכזו.  
 הנה כי המים לא נשפכים מהתיבה.

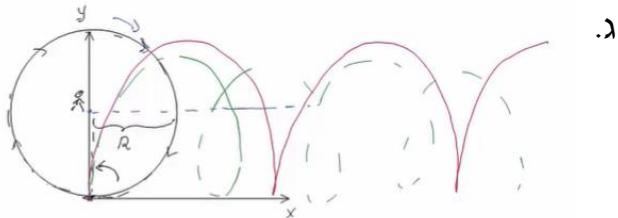
- א. מצאו את הפונקציה המתארת את פני המים במרחב  
 (רמז: חשבו את השיפוע של המשיק לפניו המים בנקודה  
 כלשהיא, שיפוע זה הוא הנגזרת של הפונקציה).
- ב. מהו הפרש הגבהים בין המים במרכז התיבה למים במרקבי אופקי  $d$  מהמרכז?
- ג. מה יהיה הפרש הגבהים אם נגדיל את מהירות הסיבוב פי 2?
- ד. מהו התנאי שתחתיות התיבה תתייבש בנקודה כלשהיא?

### תשובות סופיות:

$$\text{א. } \vec{v} = (R\omega - R\cos(\omega t) \cdot \omega) \hat{x} + R\sin(\omega t) \cdot \omega \hat{y} \quad (1)$$

$$\vec{a} = R\omega^2 \sin(\omega t) \hat{x} + R\omega^2 \cos(\omega t) \hat{y}$$

$$\text{ב. } |\vec{a}_t| = \frac{R\omega^2 (\sin \omega t)}{\sqrt{2(1-\cos \omega t)}}, \quad |\vec{a}_n| = \frac{R\omega^2 (\cos(\omega t) - \cos(2\omega t))}{\sqrt{2(1-\cos(\omega t))}}$$



$$\text{ג. } T(x) = \frac{m\omega^2}{2l} (l^2 - x^2) \quad (2)$$

$$\sum F_x = m_1 \omega^2 l_1 \sin \alpha, \quad \sum F_y = 0 : 1 \quad (3)$$

$$\sum F_x = m_2 \omega^2 (l_1 \sin \alpha + l_2 \sin \beta), \quad \sum F_y = m_2 g : 2$$

$$\Delta y = \frac{2\omega^2 d^2}{g} \quad \text{ג.} \quad \Delta y = \frac{\omega^2 d^2}{2g} \quad \text{ב.} \quad y = \frac{\omega^2 x^2}{2g} + h - \frac{\omega^2 L^2}{6g} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$h = \frac{\omega^2 L^2}{6g} \quad \text{ד.}$$

# יסודות הפיזיקה א - 2013

פרק 10 - קוואורדינטות פולריות -

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים .....

142 .....

## הרצאות ותרגילים

### רקע

$$\begin{aligned}x &= r \cos \theta \\y &= r \sin \theta\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ \tan \theta &= \frac{y}{x}\end{aligned}$$

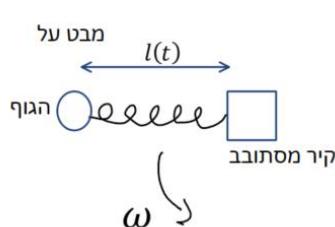
$$\begin{aligned}\hat{r} &= \cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y} \\ \hat{\theta} &= -\sin \theta \hat{x} + \cos \theta \hat{y}\end{aligned}$$

$$\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} = r\hat{r}$$

$$\vec{v} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}$$

$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\hat{\theta}$$

### שאלות



1) מהו הקשר בין קבוע זוויתית  $\omega$  לבין קבוע זוויתית  $\dot{\theta}$  של הגוף?

לפי:  $\dot{\theta} = \Omega t$  כאשר  $A = l_0 + A \sin(\Omega t)$ ,  $\Omega = \omega$  ו-  $l_0$  הם קבועים חיוביים ומתקיים  $l_0 < A$ .

- א. מהי התאוצה הגוף בקוואורדיינטות פולריות?
- ב. נניח ש-  $A$ ,  $\Omega$  ו-  $\omega$  ידועים, מהו התנאי על  $l_0$  כך שבנקודות זמן מסוימות כיון התאוצה יהיה רק בכיוון  $\hat{\theta}$ ?
- ג. מהי התשובה המספרית לסעיף ב' אם:  $\omega = 1 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ ,  $A = 0.2 \text{m}$ ,  $\Omega = 3 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

**2) דני מסתובב במעגלים**

דני בן השלוש מתחילה לrox במעגלים ממונחה.

דני מתרחק מהנקודה בה התחיל לrox לפי:  $t^2 = r$  והוא מסתובב במהירות

$$\text{זוויתית הולכת וגדלה: } \omega = Bt = 1 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2}, \quad A = 0.4167 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}.$$

א. מצא את המהירות של דני כתלות בזמן בקוואורדינטות פולריות.

ב. מצא את התאוצה של דני כתלות בזמן בקוואורדינטות פולריות.

ג. כאשר דני מגיע לתאוצה השווה ל-  $g$  הוא מקבל סחרחות ונופל

(על הטוסיק כמובן), متى ייפול דני?

**3) כוח מסתורי בциינור**

ציינור מסתובב במהירות זוויתית קבועה  $\omega$  סביב מרכזו.

כדור קטן בעל מסה  $m$  נמצא ב-  $t=0$  במרכז הצינור.

לכדור מהירות התחלה  $v_0$  בכיוון הרדיאלי.

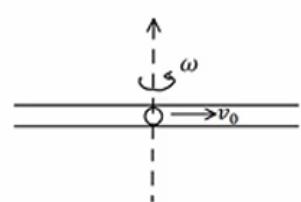
כוח מסתורי  $F$  (לא בהכרח קבוע) פועל על הכדור

ושומר על מהירות הכדור ביחס לצינור להיות קבועה

ושווה ל-  $v_0$ . בין הציינור לכדור אין חיכוך.

א. מה מיקום הכדור כתלות בזמן?

ב. מהו הכוח  $F$  כתלות בזמן הפועל על הכדור?

**4) מנוע מושך כדור בתוך דיסקה מסתובבת**

דיסקה ברדיוס  $R$  מונחת על שולחן ומקובעת במרכזו

אך מסתובבת סביב מרכזה במהירות זוויתית קבועה  $\omega$ .

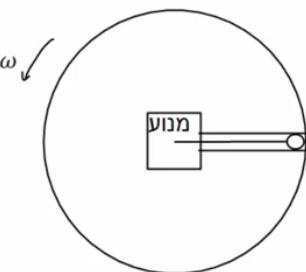
בתוך הדיסקה ישנה תעלת, כדור בעל מסה  $m$  מונת

בקצה של התעלה ויכול לזרז רק בתוך התעלה.

במרכז הדיסקה נמצא מנוע המחבר בחוט לכדור.

המנוע מושך את הכדור למרכז הדיסקה כך שתאות

הכדור ביחס לדיסקה היא  $a_0$ .



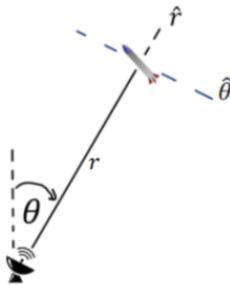
א. מצא את מיקום המסה כתלות בזמן ביחס לדיסקה וביחס למעבה, בקוואורדינטות פולריות.

ב. מה הכוח שפעיל המנוע על הכדור כתלות בזמן?

ג. מה הכוח שפעילים הקירות על הכדור?

**5) מכ"ם מזזהה טיל**

מכ"ם מזזהה טיל הנמצא מעט מעל האטמוספירה עם מנוע קבוע.  
הבעיה דו מימדית.



$$\text{נתון כי: } r = 70\text{km}, \theta = 30^\circ, \dot{\theta} = 1.5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, \ddot{\theta} = 1100 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

החיכוך עם האויר זניח בגובה רב והתאוצה היחידה היא תאוצת הכביד השווה ל-  $\frac{9.6}{\text{sec}^2}$  (התאוצה קטנה מעט בגל המרחק ממרכז כדור הארץ).

- מהו גודלה של מהירות הטיל?
- מצאו את הערך של  $\ddot{\theta}$  ושל  $\dot{\theta}$ .

**6) כדור חופשי בתוך צינור מסתובב**

צינור מסתובב ב מהירות זוויתית קבועה  $\omega$  סביב מרכזו.

כדור קטן בעל מסה  $m$  נמצא בתוך הצינור.

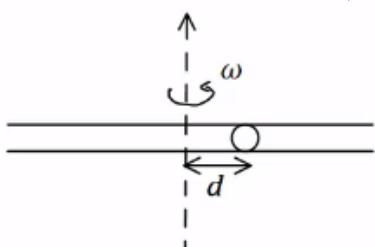
ב-  $t = 0$  הכדור נמצא במנוחה ביחס לצינור ובמרחק  $d$  ממרכז הצינור. בין הצינור לכדור אין חיכוך.

- רשום את הכוחות הפועלים על הכדור בצירים פולריים.
- רשום את משוואת התנועה בכיוון הרדייאלי.

ג. בדוק כי הפתרון:  $r(t) = Ae^{\omega t} + Be^{-\omega t}$  ממתאים

למשוואת שמ冤ת ומצא את הקבועים  $A$ ,  $B$ .

ד. מהו החזק הנורמלי הפועל מהצינור על כדור?

**7) משוואות לתנועת חלקיק**

תנועה חלקיק מתוארת ע"י המשוואות:  $\dot{\theta} = \omega = \text{const}$  ו-  $r = A \cdot t^\alpha$  כאשר  $\alpha$ ,  $A$  קבועים.

א. הבינו את  $r$  כתלות ב-  $\theta$ .

ב. שרטטו את התנועה עבור:  $\alpha = 0$ ,  $\alpha < 0$ ,  $\alpha > 0$ .

ג. הניחו כי הגוף מתחילה מהראשית וכי:  $\alpha = 1$ ,  $A = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ . כמה סיבובים יעבור הגוף עד שהרדיויס יהיה  $30_m$ ?

**8) חללית במסלול ספריאלי**

חללית 1 נעה במסלול ספריאלי (בדו מימד) כך ש-  $\hat{r} = A t^\alpha$ , כאשר  $A$  ו-  $\alpha$  הם קבועים חיוביים נתוניים.

$$\text{נתון גם כי: } \ddot{\hat{r}} = A\alpha^2 t^{\alpha-2} e^{2Ct} - AC^2 t^\alpha e^{2Ct}.$$

החללית נעה נגד כיוון השעון ו- C הוא גם קבוע חיובי נתון.  
בזמן  $t=0$  החללית חוצה את ציר ה- x השמאלי.  
א. מצאו את מיקום החללית בקוודינטות קרטזיות.

ב. חללית 2 נעה על מסלול ספריאלי כך ש-  $\hat{r}_2 = \frac{1}{2} r_1(t)$  ובאותה זווית  
כמו חללית 1.

- מצאו את המיקום, מהירות והतאוצה של חללית 1 ביחס לחללית 2.  
ג. תארו באופן מילולי את תנועתה של חללית 1 ביחס לחללית 2 אם  $\alpha = 2$ .

**9) עכביש הולך על דיסקה מסתובבת**

עכביש נמצא במרכזה של דיסקה המסתובבת במהירות זוויתית  $0.2 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ .

העכביש מתחילה לנוע במהירות קבועה ובקו ישר ביחס לדיסקה עד לקצת הדיסקה ברדיוס  $2m$ . הזמן שלוקח לעכביש להגיע לנקודה 4 שניות.

- א. מצאו את וקטורי מהירותו ותאוצתו של העכביש (ביחס למעבده).  
ב. הסבירו מדוע יש לעכביש תאוצה אם הוא הולך במהירות קבועה ביחס ל夸ריסלה.  
ג. הסבירו באופן אינטואיטיבי את כל אחד מהרכיבים של תאוצת העכביש.

**10) מהירות מינימאלית ללוין**

לוין שעובר בסמוך לפני כדה"א מרגיש תאוצה  $\hat{g} = -\frac{1}{a}$  (בזהונחת התנודות האויר).  
מצאו מה צריכה להיות מהירות המינימלית של הלוין כך שלא יתנגש לפני כדה"א  
וישלים סיבוב.

**11) משחק טופסת\***

ארבעה ילדים משחקים טופסת, הם מתחילהים לרוץ מאربע פינות של ריבוע בגודל  $d \times d$ . כל ילד רץ ב מהירות קבועה  $v$  לעבר הילד שמשמאלו (הכוון הוא תמיד לכיוון הילד שמשמאלו).

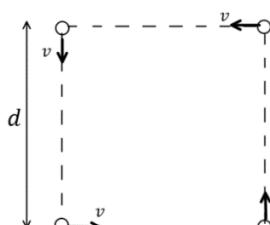
א. תאר את תנועת הילדים וקבע היכן ייפגשו.

ב. כעבור כמה זמן ייפגשו?

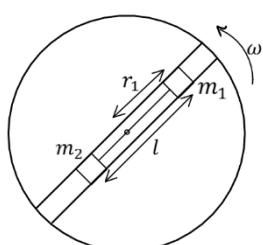
ג. כמה סיבובים עשה כל ילד עד למחצית הזמן שפגשו?

ד. מצא את וקטור המיקום של הילד המתחלף ברבע הראשו כפונקציה של הזמן בקוואורדייניות קרטזיות.

رمזים: מהי הסימטריה בעיה? איזה צורה יוצרים הילדים בכל רגע? רשום את המהירות של כל ילד בקוואורדייניות פולריות.

**12) שתי מסות מחוברות בחוט בתוך דסקה מסתובבת\***

על דסקה המסתובבת ב מהירות קבועה  $\omega$  ישנה מסילה העוברת דרך מרכזו הדסקה. במסילה ישן שתי מסות  $m_2$ ,  $m_1$  המוחוברות בחוט באורך  $l$ . המערכת מונחת על שולחן אופקי (ז"א כיון כוח הכבידת לתוכה הדף).



א. מצא את היחס בין המסות על מנת שרדיויס כל מסה יישאר קבוע במהלך התנועה.

נסמן את הזמן שבו חוטים את החוט  $t = 0$ .

ב. רשום משווה דיפרנציאלית שפתרונה ייתן את  $r_1(t)$ .

ג. פטור את המשווה ומצא את  $r_1(t)$ .

הנח כי  $r_1$  הוא מיקום המסה ברגע השחרור.

**13) רוכב אופנוו\***

רוכב אופנוו מתחילה את תנועתו ממנוחה.

מרחקו מנקודת ההתחלה משתנה לפי  $r = Ct$ , כאשר  $C$  קבוע.

בנוסף הרוכב מסתובב ב מהירות קבועה  $\omega$ .

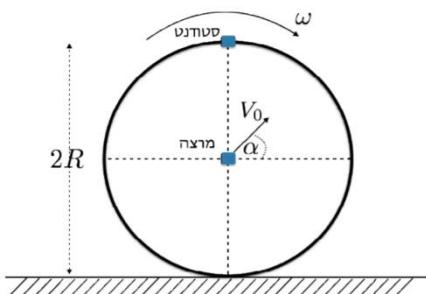
מצא את המרחק המקסימלי אליו הגיע הרוכב אם נתנו מקדם החיכוך הסטטי  $\mu_s$ .

#### 14) סטודנט ומרצה על גלגל ענק\*

סטודנט נmrץ פוגש מרצה בעת ביקורו בפארק שעשויים. הסטודנט נחוש בדעתו להראות שהוא יודע מכניקה וMSCNU את המרצה לטפס למרכז גלגל ענק. הסטודנט עולה על الكرון של הגלגל. הגלגל מסתובב במהירות קבועה  $\omega$  עם כיוון השעון ורדיווט  $R$ . כשהסטודנט מגיע לשיא הגובה המרצה זורק כרית מהירות ההתחלתית  $v_0$  ובזווית  $\alpha$  ביחס לאופק. בזמן מסוים לאחר זריקת הכרית הסטודנט קופץ מהקרון כך שמהירותו היא המהירות המשיקית של הקרון ביחס למרצה. הסיכון היחיד של הסטודנט לא להיפגע בעת הפגיעה בקרקע הוא אך ורק אם ינחת על הכרית. הנח שתנועת הקרקע היא כתנועת אבן. לפני הזינוק של הסטודנט:

- רשמו את וקטורי המיקום של הקרקע בקוואורדייניות קרטזיות ביחס למרצה.
- רשמו את וקטורי המיקום של הקרקע בקוואורדייניות פולריות ביחס למרצה.
- רשמו את וקטורי המיקום של הסטודנט בקוואורדייניות קרטזיות ביחס למרצה.
- רשמו את וקטורי המיקום של הסטודנט בקוואורדייניות פולריות ביחס למרצה.
- רשמו את וקטורי המיקום של הקרקע בקוואורדייניות קרטזיות ביחס לסטודנט.
- מה צריכה להיות גודלה של המהירות ההתחלתית  $v_0$  והזווית  $\alpha$  כדי שהכנית תעבור ליד הסטודנט לאחר זמן  $t_0$ .

סטודנט מחליט קופז כשהכנית עוברת לידו (אסור לו לתפוס אותה כשהיא לידו).  
 ז. הקרקע יכולה לעבור ליד הסטודנט כשהיא לפני שיא הגובה, בשיא הגובה או אחריו. באיזה משלוחת המקטים על הסטודנט קופז על מנת לחסוך את הוצאות החיבור של האמבולנס? (נמקו את תשובהכם).  
 ח. על פי הסעיף בהינתן שהסטודנט והקרקע בקרקע באותו הזמן. מה הוא הקשר בין וקטורי המהירות של הסטודנט והקרקע בעת הקפיצה כך שהסטודנט לא יפגע?  
 ט. חשבו את הגובה בו תתרחש הקפיצה.  
 בטאו את הגובה הניל' בעזרת קבועי הבועה בלבד  
 $(t_0)$  הוא לא קבוע בעיה עבור שאלה זו.



**15) קروسלה\*\***

חיפושית נעה על קروسלה המסתובבת ב מהירות זוויתית קבועה  $\omega_0$ .

רדיוס הקروسלה R. החיפושית נעה מקצתה הקروسלה למרכזה ב מהירות קבועה  $v_0$  ביחס לクロסלה.

א. מצא את מיקום החיפושית בקורדיינטות קרטזיות ובקורדיינטות פולריות ביחס לצופים הבאים:

- i. צופה A - הנמצא על הקروسלה בנקודת ההתחלה של החיפושית.
- ii. צופה B - הנמצא על הקروسלה במרכזה.
- iii. צופה C - הנמצא במרכז הקروسלה אך אינו מסתובב אליה.
- iv. צופה D - הנמצא בקצתה הקروسלה ואינו מסתובב עם הקروسלה.

ב. מצא את המהירות והתאוצה ביחס לאותם צופים.

### תשובות סופיות

$$\overset{\text{ר}}{a} = -\left(\left(\Omega^2 + \omega^2\right)A \sin \Omega t + \omega^2 l_0\right)\hat{r} + \left(2\Omega A \cos \Omega t\right)\hat{\theta} . \text{ נ } \quad (1)$$

$$\theta < l_0 \leq 2m . \text{ ג} \quad \theta < l_0 \leq \frac{\Omega^2 + \omega^2}{\omega^2} \cdot A . \text{ ב}$$

$$\overset{\text{ר}}{a} = \left(2A - B^2 A t^4\right)\hat{r} + \left(5ABt^2\right)\hat{\theta} . \text{ ב} \quad \overset{\text{ר}}{r} = 2At\hat{r} + At^2 \cdot Bt\hat{\theta} . \text{ א} \quad (2)$$

$$t = 2 \text{ sec} . \text{ ג}$$

$$F_r = m\left(0 - \omega^2 v_0 t\right) . \text{ ב} \quad r = v_0 \cdot t , \theta(t) = \omega \cdot t . \text{ נ} \quad (3)$$

$$, r'(t) = R - \frac{1}{2}a_0 t^2 , \theta'(t) = 0 . \text{ א. ביחס לדיסקה :} \quad (4)$$

$$T = m \left( a_0 + \omega^2 \left( R - \frac{1}{2}a_0 t^2 \right) \right) . \text{ ב} \quad r(t) = R - \frac{1}{2}a_0 t^2 , \theta(t) = \omega t . \text{ ביחס למעבה :}$$

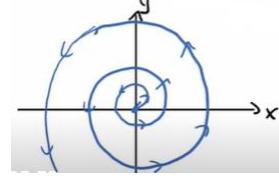
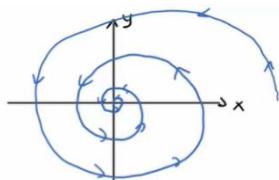
$$N_z = mg . \text{ ג}$$

$$\alpha \approx 7.44 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} , \beta \approx -4.03 \cdot 10^{-4} \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} . \text{ ב} \quad |\overset{\text{ר}}{v}| \approx 1521 \frac{\text{m}}{\text{sec}} . \text{ נ} \quad (5)$$

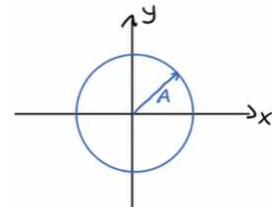
$$\alpha \theta r = 0 . \text{ ב} \quad \sum F_r = 0 , \sum F_\theta = N_\theta , \sum F_z = N_z - mg . \text{ נ} \quad (6)$$

$$N_\theta = m\omega^2 d \left( e^{\omega t} - e^{-\omega t} \right) , N_z = mg . \text{ ת} \quad \alpha = \omega A e^{\omega t} - \omega B e^{-\omega t} , A = B = \frac{d}{2} . \text{ ג}$$

$$: \alpha < 0 \quad : \alpha > 0 . \text{ ב} \quad r = A \left( \frac{\theta}{\omega} \right)^\alpha . \text{ נ} \quad (7)$$



$$N \approx 2.39 . \text{ ג}$$



$$\overset{\text{ר}}{r}(t) = At^\alpha \left( -\cos(e^{ct} - 1)\hat{x} - \sin(e^{ct} - 1)\hat{y} \right) . \text{ נ} \quad (8)$$

$$x(t) = -\frac{1}{2}At^\alpha , y(t) = 0 . \text{ ב}$$

$$v_x(t) = -\frac{1}{2}A\alpha t^{\alpha-1} , a_x(t) = -\frac{1}{2}A\alpha(\alpha-1)t^{\alpha-2}$$

ג. תנועה בתאוצה קבועה בקו ישר.

$$\frac{r}{v} = 0.5\hat{r} + 0.1t\hat{\theta}, \quad \frac{r}{a} = -0.02 \cdot t\hat{r} + 0.2\hat{\theta} \quad \text{א. (9)}$$

ב. כי הוא לא זו ב מהירות קבועה ביחס למעבده.

ג. רכיב רציאלי: תאוצה רציאלית מהתנועה.

רכיב  $\theta$ :  $v_\theta = \omega r$  בגלל ש-  $r$  משתנה צריך תאוצה בכיוון  $\theta$  שתגדיל את

המהירות בכיוון  $\theta$  אפילו ש-  $\omega$  קבוע.

$$\sqrt{gR_E} \quad \text{ב. (10)}$$

א. התנועה היא של היפיניות של ריבוע הקטן ומסתווב. המפגש יהיה במרכז.

$$\frac{\ln 2}{2\pi} \cdot g. \quad \frac{d}{v} \cdot \text{ב.}$$

$$\frac{r}{t}(t) = \left( -\frac{vt}{\sqrt{2}} + \frac{d}{\sqrt{2}} \right) \left[ \cos \left( \ln \left( \frac{d}{d-vt} \right) + \frac{\pi}{4} \right) \hat{x} + \sin \left( \ln \left( \frac{d}{d-vt} \right) + \frac{\pi}{4} \right) \hat{y} \right]. \quad \text{כ.}$$

$$r_1(t) = \frac{r_1}{2} (e^{\omega t} + e^{-\omega t}). \quad \text{ג.} \quad \omega = \omega^2 r_1. \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1}. \quad \text{א. (12)}$$

$$r_{\max} = \sqrt{(\mu_s g)^2 - (2C\omega_0)^2} \left( \frac{1}{\omega_0} \right) \quad \text{ב. (13)}$$

$$x_1 = v_0 \cos \alpha \cdot t, \quad y_1 = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} gt^2. \quad \text{א. (14)}$$

$$r = \sqrt{(v_0 \cos \alpha \cdot t)^2 + \left( v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} gt^2 \right)^2}, \quad \tan \theta = \frac{v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} gt^2}{v_0 \cos \alpha \cdot t}. \quad \text{ב.}$$

$$r = R, \quad \theta = \frac{\pi}{2} - |\omega| \cdot t. \quad \text{כ.} \quad x_2 = R \cos \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t \right), \quad y_2 = R \sin \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t \right). \quad \text{ג.}$$

$$x_{1,2} = v_0 \cos \alpha t - R \cos \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t \right), \quad y_{1,2} = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} gt - R \sin \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t \right). \quad \text{ה.}$$

$$\tan \alpha = \frac{\frac{1}{2} gt^2 + R \sin \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t_0 \right)}{R \cos \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t_0 \right)}. \quad \text{ו.}$$

$$v_0^2 t_0^2 = \left( \frac{1}{2} gt_0^2 + R \sin \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t_0 \right) \right)^2 + R^2 \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} - |\omega| t_0 \right)$$

ח. וקטורי המהירות חייבים להיות שווים בגודל ובכיוון.

$$y = \frac{v_0 \cos \alpha}{|\omega|} \cdot t. \quad \text{ט.}$$

ב. ראו סרטוון. (15)

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

## פרק 11 - עבודה ואנרגיה -

### תוכן העניינים

151 .....	1. שימור אנרגיה ומשפט עבודה ואנרגיה .....
155 .....	2. חישוב עבודה לכוח לא קבוע .....
157 .....	3. חישוב כוח משמר מאנרגיה פוטנציאלית .....
158 .....	4. איך בודקים האם כוח הוא משמר .....
159 .....	5. נקודת שיווי משקל .....
161 .....	6. ניתוח באמצעות גרפים של אנרגיות .....
163 .....	7. הספק ונצלות .....
166 .....	8. תרגילים מסכמים .....
170 .....	9. תרגילים מסכמים כולל תנועה מעגלית .....

## שמור אנרגיה ומשפט עבודה ואנרגיה

### רקע

עבודה של כוח קבוע :

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = |\vec{F}| \cdot |\Delta \vec{r}| \cdot \cos \alpha = F_x \Delta x + F_y \Delta y + F_z \Delta z$$

כאשר  $\alpha$  היא הזווית בין הכוח להעתק

הערות :

1. העבודה של כוח שמאונך להעתק (לתנועת) מתאפשרת.
2. אם הגוף לא זו או אין עבודה (לכן העבודה של החיכוך הסטטי היא תמיד אפס).

הקשר בין עבודה כוללת לאנרגיה קינטית :

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ אנרגיה קינטית}$$

כוח משמר :

1. **העבודה שמבצע הכוח אינה תלוי במסלול.** היא תלויות רק בנקודת בה התחיל הגוף ובנקודת בה סיים הגוף את התנועה.
2. **העבודה במסלול סגור מתאפשרת.**

$$W_c = -\Delta U$$

$$\text{האנרגיה הפוטנציאלית הכבידית } U_g = mgh$$

$$\text{האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית } U_{el} = \frac{1}{2}kx^2$$

כאשר  $x$  הוא ההतארכות של הקפיץ ממצב רפיוי ו- $k$  הוא קבוע הקפיץ

$$E = E_k + U \quad \text{אנרגייה ( מכנית ) כללית :}$$

$U$  היא סכום כל האנרגיות הפוטנציאליות שקיימות בבעיה.

$$E_i + W_{NC} = E_F \quad \text{משפט עבודה אנרגיה:}$$

$W_{NC}$  העבודה של הכוחות שאינם לשמורים

חוק שימור האנרגיה:

אם כל הכוחות לשמורים (או העבודה של הכוחות שאינם לשמורים שווה לאפס) אז האנרגיה הכללית נשמרת

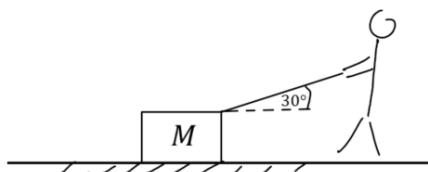
## שאלות

### (1) אדם מושך ארגז

אדם מושך ארגז שמסתו  $M = 5\text{ kg}$  באמצעות חבל ובזווית  $30^\circ$  מעלה ביחס לקרקע.

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

האדם מושך את הארגז לאורך שני מטרים. הכוח שפעיל האדם הוא  $N = 80$ .



א. מהי העבודה שביצע האדם?

ב. מהי העבודה שביצע כוח החיכוך?

ג. מהן העבודות שביצעו כוח הכבד  
והנורמל מהמשטח?

ד. מהי העבודה הכוללת שנעשתה על הארגז?

### (2) מהירות הארגז

בדוגמה הקודמת, אדם מושך ארגז, חשב את מהירות הארגז לאחר שהאדם משך אותו 2 מטרים אם ידוע שהוא התחלил ממנוחה.

### (3) חישוב עבודה של כוח הכבד

אבן בעלת מסה  $2\text{ kg}$  נופלת מגג בניין בגובה 10 מטרים.

חשבו את העבודה שביצע כוח הכבד על האבן עד הפגיעה לקרקע.

חשבו פעמי אחד באופן מפורש דרך המכפלה הסקלרית ופעם נוספת דרך האנרגיה הפוטנציאלית.

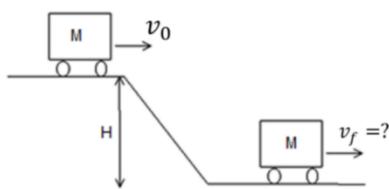
### (4) עגלת במדרון

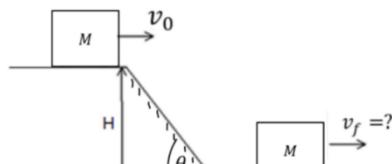
עגלת נעה על משטח ללא חיכוך.

העגלת מתחילה במעלה המדרון בגובה  $H$   
עם מהירות ההתחלתית  $v_0$ .

מצא את מהירות העגלת בתחתית המדרון.

נתונים:  $H$ ,  $v_0$ .



**5) קופסה במדרון עם חיכוך**

קופסה יורדת במדרון משופע בעל זווית  $\theta$ .

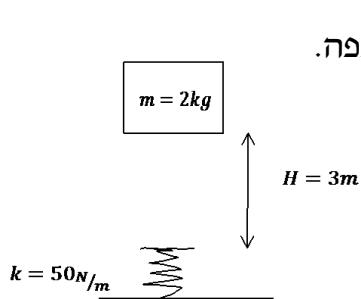
הנח כי מהירות הקופסה במעלה המדרון היא  $v_0$

גובהה ההתחלתי הוא  $H$ .

מצא את מהירות העגלת בתחתית המדרון.

הנח שהחיכוך הוא רק על החלק המשופע של התנועה.

נתונים :  $H$  ,  $\theta$   $\mu_k$  .

**6) מסה נופלת על קופץ**

קופץ חסר מסה, בעל קבוע קופץ של  $50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , מחובר לרצפה.

משחררים ממנוחה מסה של  $m = 2\text{kg}$  הנמצאת בגובה 3 מטר מעל הקופץ.

א. מצא את הcyoz' המקסימלי של הקופץ.

ב. מה הגובה המקסימלי אליו תגיע המסה לאחר הפגיעה בקופץ.

**7) שתי מסות מחוברות, מדרון וקופץ**

מסה  $m_1$  נמצאת על מדרון משופע בזווית  $\theta$ .

המסה מונחת על קופץ בעל קבוע קופץ  $k$  המכובץ ב-  $d = \Delta x$ .

אל המסה קשור חוט העובר דרך גלגלת אידיאלית ומוחובר

למסה  $m_2$  הנמצאת בגובה  $H$  מעל הרצפה.

המערכת משוחררת ממנוחה.

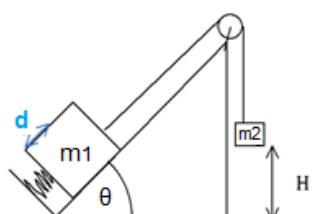
מצא את מהירות הפגיעה בקרקע של  $m_2$  .

נתון :

$$m_1 = 1\text{kg} , m_2 = 2\text{kg}$$

$$H = 3\text{m} , k = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\theta = 30^\circ , d = 30\text{cm}$$



### תשובות סופיות

$$W_T = 135J \text{ .ג} \quad W_N = W_g = 0 \text{ .ג} \quad W_{fk} = -4J \text{ .ב.} \quad W = 139J \text{ .נ} \quad (1)$$

$$V_F \approx 7.35 \frac{m}{sec} \quad (2)$$

$$W_C = |\vec{F}| \cdot |\Delta \vec{r}| \cos \alpha = 200J , \quad W_C = -\Delta U = -(U_F - U_i) = 200J \quad (3)$$

$$V_F = \sqrt{v_0^2 + 2gH} \quad (4)$$

$$V_F = \sqrt{v_0^2 + 2gH(1 - \mu_k \cot(\theta))} \quad (5)$$

$$mgH = mgh \text{ .ב} \quad \Delta x = 2m \text{ .נ} \quad (6)$$

$$V = 5.745 \frac{m}{sec} \quad (7)$$

## чисוב עבודה לכוח לא קבוע

רקע

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

צריך גם משווהה של המסלול

### שאלות

#### 1) חישוב עבודה במסלולים שונים

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

- א. דרך המסלול של הקו הישר המחבר בין הנקודות.
- ב. דרך מסלול המקביל לציר ה- $x$  עד לנקודה  $C(2,0)$  ולאחר מכן דרך המסלול המקביל לציר ה- $y$  עד לנקודה  $B$ .
- ג. דרך המסלול  $y = x^2$ .
- ד. דרך המסלול  $y(t) = 4t^2$ ,  $x(t) = 2t$

#### 2) כוח בשלושה מימדים

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

- א. חשב את העבודה של הכוח דרך דרכם של המסלולים היוצאים מהנקודה  $A(1,2,3)$  עד לנקודה  $B(2,3,5)$  כאשר המסלול יוצא מ- $A$  במקביל לציר ה- $Y$  עד לנקודה  $C(1,3,3)$  ולאחר מכן מ- $C$  במקביל לציר ה- $Z$  ועד לנקודה  $D(1,3,5)$  ולאחר מכן מהנקודה  $D$  במקביל לציר ה- $X$  עד לנקודה  $B$ .
- ב. חשב את העבודה של הכוח מהנקודה  $A(0,0,-1)$  עד הנקודה  $B(4,4,5)$ .  
לאורך המסלול הנתון לפי המשוואות:  $x(t) = 2t$ ;  $y(t) = t^2$ ;  $z(t) = 3t - 1$

### תשובות סופיות

$$W_{A \rightarrow B} = 2 + \frac{64}{5} \text{ נ.} \quad W_{A \rightarrow B} = 18 \text{ ב.} \quad W_{A \rightarrow B} = \frac{4}{2} + \frac{4 \cdot 8}{3} \text{ נ.} \quad (1)$$

$$W_{A \rightarrow B} = 2 + \frac{64}{5} \text{ נ.} \quad 128 \text{ J.} \quad 26.67 \text{ J.} \quad (2)$$

## чисוב כוח משמר מאנרגיה פוטנציאלית

**רקע**

$$\vec{F} = -\vec{\nabla} \cdot U$$

### שאלות

**1) חישוב עבודה מתוך אנרגיה פוטנציאלית**

על גוף מסוים פועל כוח משמר המתאים לאנרגיה הפוטנציאלית  
הבאה :  $U(x, y) = 2x^2 - 6y^3$ .

מצא את העבודה אותה צריך לבצע על מנת להביא את הגוף מהנקודה  $(1, 0)$  אל הנקודה  $(2, 3)$ .

### תשובות סופיות

$$W_{ext} = 156J \quad (1)$$

## **איך בודקים האם כוח הוא משמר**

רקע

אם ורק אם  $\vec{F} = \vec{0}$ , או הכוח משמר.

הערה: צריך שכל רכיב יתאפס בנפרד

### **שאלות**

**1) דוגמה**

נתון הכוח  $F$  :  $\vec{F} = -2xyx + (x^2 - z)y + y\hat{z}$   
בדקו האם הכוח  $F$  משמר.

### **תשובות סופיות**

1) משמר.

## נקודות שיווי משקל:

שאלות:

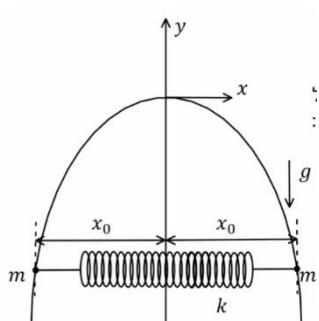


**1) שעון תלוי**

- שעון קיר תלוי באמצעות מסמר הנמצא בקצתו העליון. ניתן לסובב את כל השעון (לא את המחוגים) סביב המסמר.
- מצא באילו מצבים השעון יהיה בשווי משקל וקבע עבור כל מצב איזה סוג שווי משקל הוא.
  - חזור על סעיף א' אם המסמר תקוע במרכז השעון (השעון עדין יכול להסתובב סביב המסמר).

**2) אנרגיה פוטנציאלית בשווי משקל**

- האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף נתונה לפי הfonקציה הבאה:  $U = (x-4)^2 + x^3$ .  
מצא את נקודת שווי המשקל ומניין אותה לסוגים הרלוונטיים.



**3) קפיץ וחרוזים על תיל קשיח מכופף**

תיל קשיח מכופף בצורת פרבולה המתאימה לפונקציה:  $y = -Ax^2$  כאשר  $A$  קבוע נתון.

- על התיל מושחלים שני חרוזים זהים בעלי מסה  $m$ , אחד בכל צד.  
קפיץ אופקי בעל קבוע  $k$  ואורך רפי  $l$  מחבר בין החרוזים (ראה איור).  
חשב את המרחק האופקי  $x_0$  של כל חרוז מציר ה-  $y$  במצב של שווי משקל.

נניח כי הקפיץ והחרוזים נמצאים תמיד באותוגובה.

הדרך: כתוב ביטוי לאנרגיה הפוטנציאלית כfonקציה של  $x$  בלבד.

### תשובות סופיות:

- 1) א. כשהשעון למטה שיווי משקל יציב וכשהשעון הפוך ב- $180^\circ$  שיווי משקל רופף.  
 ב. השעון בשיווי משקל אדיש.

$$x_1, U''(x_1) = 6 \cdot \frac{4}{3} + 2 > 0 \quad (2)$$

$x_2, U''(x_2) = -2 \cdot 6 + 2 < 0$  ש.מ. רופף.

$$x_0 = \frac{kl}{2k - 2mgA} \quad (3)$$

## ניתוח באמצעות גרפים של אנרגיות:

**שאלות:**

**1) נקודת הביימניטה**

גוף שמסתו  $6 \text{ kg}$  נע לאורך ציר  $x$  בהשפעת כוח יחיד הנגור מהאנרגיה הפוטנציאלית:  $U(x) = 2x^4 - 36x^2$ .

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

א. מהי הנקודה הימנית ביותר במסלול של הגוף?

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

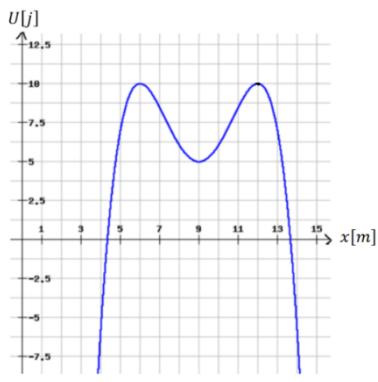
**2) גמל דו דבשתי**

כוח משמר פועל על כדור בעל מסה  $625 \text{ gr}$ . הגרף הבא מתאר את האנרגיה הפוטנציאלית של הcador כתלות במקומו:

א. שרטטו באופן איקוטי את הגרף של הכוח כתלות במקום.

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

ג. מהי מהירות המינימלית שצרכי לתות כדור במצב של סעיף ב' על מנת שהcador יגיע לאינסוף?



ד. מהן נקודות שיווי המשקל?

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

**3) שני גופים בפוטנציאלי אקספונצייאלי ריבועי**

שני גופים נמצאים על ציר ה-  $x$  ונתונים להשפעת הפוטנציאלי:  $U(x) = Axe^{-Bx^2}$  כאשר  $B > A$  הם קבועים חיוביים. נתון כי ברגע מסויםגוף אחד נמצא ב-  $x = 0$

והאנרגיה שלו היא אפס, והגוף השני נמצא ב-  $x = -\sqrt{\frac{1}{B}}$  והאנרגיה שלו

היא:  $E = -\frac{A}{e} \sqrt{\frac{1}{B}}$ . איך ייפגשו הגוףים? (בחר את התשובה הנכונה):

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

ב. הגוף לא ייפגשו אף פעם

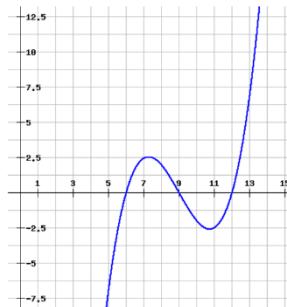
ד.  $x = 0$

ג. בנזודה  $x = -\sqrt{\frac{1}{B}}$

**תשובות סופיות:**

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

ג.  $x = 11\text{m}$       א.  $x = -1.202\text{m}$       (2)



- ב. מתחילה בתאוצה בכיוון החיובי עד  $x = 9\text{m}$  ואז מתחילה להאט עד  $x = 11\text{m}$  שם עוצר רגעים ומסתובב חזרה. כך חוזר עד אינסוף.
- ג. 2 מטר לשנייה.
- ד. לא יציבה,  $x = 9\text{m}$  יציבה,  $x = 12\text{m}$  לא יציבה.
- א. (3)

הספק ונצלות

רkJ

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

$$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

הספק רגעי :  $-F$  – הכוח ו-  $v$  היא מהירות הגוף

שאלות

- 1) **כמה עולה להפעיל מזון**  
כמה עולה להפעיל מזון שההספק שלו 1 כוח סוס למשך שעה אחת?  
יש לבדוק את תעריף חברות החשמל.

פירוט החובים / היקיימם											חשבון IT החדש	
מספר חשבון זהה: [REDACTED]											גברי מני	
חשבון לתקופה מה- 13/01/2020 עד 15/03/2020											עמוד	
[REDACTED]											2/2	
חייב בגין מספר [REDACTED] בתרומות הכללות: 1											חייב בגין מונה מספר [REDACTED] בתרומות הכללות: 1	
تعريف	סוג קראנה	ונכונות	תורכי קראנה	תקופת קראנה	טלפון	טלפון						
סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח	סה"כ בש"ח
502.21	44.84	1120	46267	47387	63	12/01	15/03	רגיליה				ביתי
502.21		1120										סה"כ
502.21		1120										סה"כ בגין צוריכה

- (2) מכוניות מאיצה מ-0 ל-100**

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

  - מהי העבודה שהתבצעה על המכונית?
  - מהו ההספק של המנוע בהנחה שהוא קבוע ומנצל במלואו (הנחה לא נכונה)?

**(3) אופנוו נושא ב מהירות קבועה נגד התנגדות אוויר**

אופנוו נושא ב מהירות קבועה של 100 קמ"ש. כגדו פועל כוח החתוגדות מהאוויר של 300 ניוטון. מהו ההספק של המנוע, אם נניח שהספק מנוצל במלואו?

**(4) נצילות של 40 אחוז בדוגמה של המכונית המאיצה**

בדוגמה "מכונית מאיצה מ-0 ל-100" מה ההספק של המנוע אם הנצילות שלו היא 40%?

**5) הספק ממוצע לשנות מהירות**

איזה כוח קבוע יש להפעיל על מכוניות בעלת מסה של 2 טון,

$$\text{כדי לשנות את מהירותה מ-} 9 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \text{ ל-} 27 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \text{ בתוך } 4 \text{ sec ?}$$

מהו ההספק הממוצע של כוח זה?

**6) רכבת צעכו עוצוע חשמלית**

רכבת צעכו עוצוע חשמלית מרכיבת מ-10 קרונות.

הקרון הראשון והשני מכילים מנוע חשמלי ושוקלים 2 ק"ג כל אחד.

שאר הקרונות עמוסים בצעכו עוצועים ושוקלים 3 ק"ג כל אחד.

כל אחד מן המנוועים 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 الكرון השני, כאשר הרכבת נעה במהירות שחישבת בסעיף א'?

ג. חשב את העבודה שביצע הכוח שפועל בחיבור בין הקרון הראשון לשני על الكرון השני בזמן ההאצה.

ד. חשב את העבודה שביצע הכוח שפועל בחיבור בין הקרון השני לשישי על الكرון השלישי בזמן ההאצה.

ה. הרכבת מגיעה לעלייה עם שיפוע של 2 מעלות, מה צריך להיות הספק המנוועים (בהתהה שהם שווים) על מנת שהרכבת תישאר במהירות קבועה של 10 מטר לשנייה?

**7) הספק כאשר נתון מיקום כתלות בזמן**

כוח ייחיד הפועל על גוף שמסתו 4kg, הכוח פועל בכיוון התנועה

ומיקום כתלות בזמן של הגוף הוא:  $x = 2 + 3t + t^2$  ביחידות m.k.s.

- א. מהי העבודה שմבצע הכוח במשך 3 השניות הראשונות של התנועה?

ב. מהו ההספק של הכוח ב- $t = 2 \text{ sec}$ ?

### תשובות סופיות

$$\text{א} 45 \text{ אגורות.} \quad (1)$$

$$p = 51.7 \text{ HP} \quad \text{ב.} \quad \Delta E_k \approx 385,800 \text{ J} = W_{\sum \vec{F}} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$p = 11.18 \text{ HP} \quad (3)$$

$$\text{כ"ס.} 135 \quad (4)$$

$$F = 2500 \text{ N}, \quad \bar{p} = 16.76 \text{ HP} \quad (5)$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = 600 \text{ J.} \quad \text{ג.} \quad E_{k_1=100 \text{ J}} = E_{k_2}. \quad \text{ב.} \quad \Delta t = 3.5 \text{ sec.} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$p = 97.7 \text{ W.} \quad \text{ה.} \quad W_{3 \rightarrow 2} = 1200 \text{ J.} \quad \text{ד.}$$

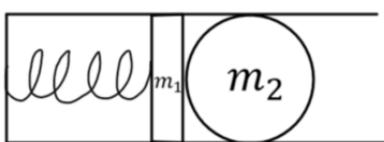
$$p(t=2) = 56 \text{ W.} \quad \text{ב.} \quad W = 144 \text{ J.} \quad \text{א.} \quad (7)$$

## תרגילים מסכימים:

### שאלות:

#### 1) קפץ יורה כדור

הלווע של רובה צעצוע מורכב מקפץ בעל קבוע  $k$  ובוכנה בעלת מסה  $m_1$ .  
בטעינה דוחפים כדור בעל מסה  $m_2$  ודורכים את הקפץ.



הכיווץ של הקפץ הוא  $\hat{x}$ .

ברגע הירוי הקפץ משוחרר ממנוחה.

א. באיזה רגע הcador מנטק מגע מהבוכנה?

ב. מהי מהירות הcador ברגע זה?

#### 2) כוח כפונקציית של מיקום, קפוץ וחיכוך\*

מסה  $m$  נמצאת על מישור אופקי לא חלק ומתחוברת לקפוץ בעל קבוע  $k$ .  
החל מ- $x=0$  פועל על המסה כוח התלוי במיקום:  $F(x) = (30x^2 - 4x)\hat{x}$ .

כל היחידות בשאלתנו הן ייחidot סטנדרטיות.

ב- $x=0$  המסה נמצאת בראשית עם מהירות התחלתית  $v_0$  והקפוץ רפו.

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

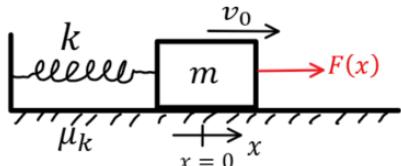
א. רשמו ביטוי לתאוצה המסה כתלות במיקום ( $x$ ), הנח כי התנועה תמיד

בכוון החיובי.

ב. מצאו את המיקום בו התאוצה של המסה מתאפסת.

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

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



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

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

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

$$\text{מהירות המסה ידועה והיא נתונה לפי הפונקציה: } v(t) = 3t^2 + 2t$$

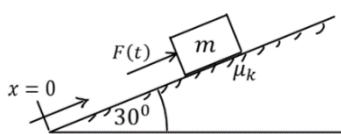
$$\text{מקדם החיכוך הוא: } \mu_k = 0.2 \text{ ונתון כי: } x(t=0) = 0$$

כל הידידות הן ייחidot סטנדרטיות.

זווית המישור היא 30 מעלות.

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

(2) מהו גודל הכוח  $F$  ברגע זה?



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

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

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

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

קופסה משוחררת ממנוחה ומתחלילה להחליק לאורך מסלול שאינו ידוע,

אך מורכב מקטעים ישרים בלבד.

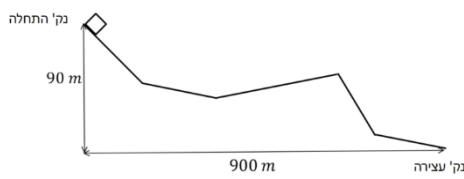
בין הקופסה למשטח עליו היא מחליקה קיימים

חיכוך והקופסה נעצרת בנקודת

המרחקה 900m אופקית ו- 90m מתחת

לנקודתתה בה ההתחליה.

חשבו את מקדם החיכוך, לא חסרים נתונים.

**(5) שרשרת על גלגלת**

שרשרת בעלת טסה  $M$  ואורך  $L$  מונחת על גלגלת  
אידאלית התלויה מהתקרה.

השרשרת מונחת כך שרבע מהשרשרת מצד אחד של

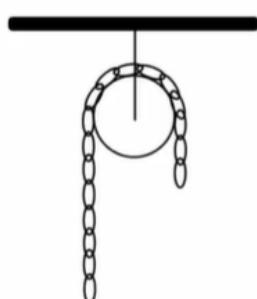
הgelgalת ושאר השרשרת מצד השני.

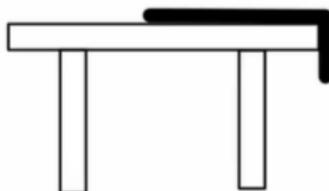
הנה שהחלק על הgelgalת עצמה זניח.

המערכת משוחררת ממנוחה.

מצאו את מהירות השרשרת ברגע שהקצה האחרון

שלה עבר את הgelgalת.



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

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

- רשמו את האנרגיה הקינטית והאנרגיה הפוטנציאלית במהלך החלקת החבל.

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

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

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

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

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

ב. מצא את העבודה שעשויה הכוח על גוף הנע במסלול סגור לאורך מעגל המתוואר ע"י:  $\vec{r} = R \cos \theta \hat{x} + R \sin \theta \hat{y}$  כאשר הגוף מתחיל את תנועתו מהנקודה  $(R, 0)$ .

ג. מצא את העבודה שעשויה הכוח על גוף הנע במסלול סגור לאורך אליפסה המתווארת ע"י:  $\vec{r} = d \cos \theta \hat{x} + k \sin \theta \hat{y}$  כאשר הגוף מתחיל את תנועתו מהנקודה  $(d, 0)$ .

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

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

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

נach שהמסות מתרנסות ונבדקות בהתרנסות.

כמה אנרגיה הולכת לאיבוד בהתרנסות?

**תשובות סופיות:**

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

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

$$V = 4.64 \frac{m}{s} \quad \text{ט}$$

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

$$W = 3935J \quad \text{ט}$$

$$0.1 \quad \text{(4)}$$

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

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

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

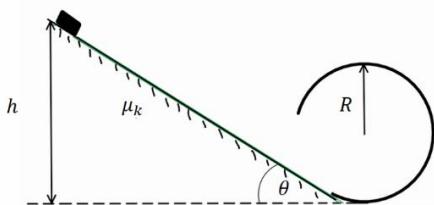
$$W = k \cdot d (0 - 4a\pi + 4b\pi) \quad \text{ג.} \quad W = R^2 (0 - 4a\pi + 4b\pi) \quad \text{ב.} \quad \nabla \times F = 0 \Rightarrow a = b \quad \text{א.} \quad \text{(7)}$$

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

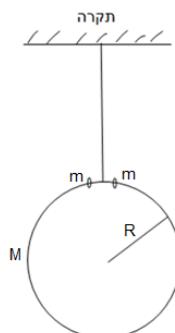
## תרגילים מסכימים כולל תנועה מעגלית:

**שאלות:**

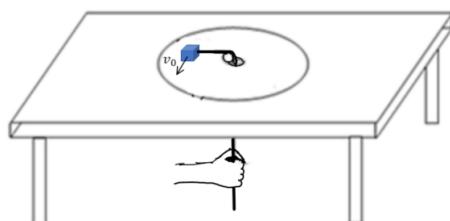
- 1) **תנאי להשלים סיבוב עם החיכוך במישור משופע**  
**גוף בעל מסה  $m$  מחליק על גבי מסילה המתווארת באורך.**  
**מקדם החיכוך בין הגוף למישור המשופע הוא  $\mu_k$ .**  
**זווית המישור היא  $\theta$ .**  
**החלק המעגלי חסר חיכוך.**  
**מצא את  $h$  הנמוך ביותר עבورو הגוף ישלים סיבוב בחלק העגול.**



- 2) **שני חרוזים על טבעת מתווממת\***  
**טבעת בעלת רדיוס  $R$  ומסה  $M$  תלואה מהתקarra**  
**באמצעות חוט. מניחים בקצת העליון של הטבעת שני**  
**חרוזים בעלי מסה זהה  $m$ .**  
**החרוזים מתחילהים ליפול ממנוחה לשני צדי הטבעת.**  
**מצא את היחס בין המסות הדרושים על מנת שהטבעת**  
**תתרוםם במהלך נפילת הבדורים.**



- 3) **מסה מסתובבת על שולחן ונמשכת למרכז\***  
**מסה  $m$  נעה על שולחן חסר חיכוך בתנועה מעגלית ברדיוס  $R$  ובמהירות  $v_0$ .**  
**חוט קשור אל המסה הולך למרכז השולחן ועובד דרך גלגלת אידיאלית וחור בשולחן.**  
**מושכים את החוט כך שהמסה מתקרבת למרכז.**  
**א. מהי המהירות הזוויתית כתלות ב-  $r$  (המרחק ממרכז הסיבוב).**  
**השתמשו בשיקולי כוחות בלבד.رمز: אין כוחות בכיר  $\hat{\theta}$ .**  
**ב. הוכיחו שהעבודה שהושקעה במשיכת החוט עד לרדיוס  $R$  כלשהו הקטן**  
**מ-  $R$  זהה לשינוי באנרגיה הקינטית של המסה.**  
**בסעיף זה ניתן להניח שהמהירות הרדיאלית קבועה.**



**תשובות סופיות:**

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

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

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

ב. הוכחה.

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

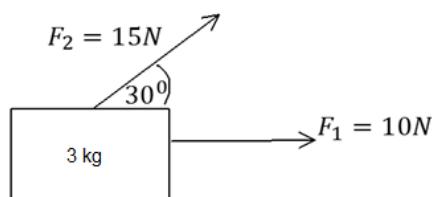
## פרק 12 - מתקף ותנע -

### תוכן העניינים

1. מהו תנע והחוק השני של ניוטון .....	(ללא ספר) .....
2. מתקף .....	172 .....
3. חוק שימור תנע וכוחות חיצוניים .....	173 .....
4. סוגי התנגשויות .....	174 .....
5. שימור תנע בה Tangshiyot_Kzrotot .....	175 .....
6. תנע, סיכום .....	176 .....
7. התנשויות קצורות ללא שימור תנע .....	177 .....
8. תרגילים מסכמים .....	178 .....

**מתוך:****שאלות:**

- 1) דוגמה לחישוב מתוך**  
שחקן בועט בכדור בעל מסה 2 ק"ג בכוח קבוע של 50 ניוטון. זמן המגע בין הכדור לשחקן הוא 0.2 שניות. מהי מהירות הכדור לאחר הביעת?



- 2) דוגמה 2- שני כוחות על גוף**  
נתון גוף בעל מסה של 3 קילוגרם. על הגוף פועלם הכוחות כמו תואר בציור במשך זמן של 0.5 שניות.  
א. מצא את המתוך שפועל כל כוח.  
ב. מצא את המתוך השקול הפעול על הגוף.  
ג. מצא את מהירות הגוף לאחר פועל הכוחות אם התחיל ממנוחה.

- 3) מתוך של כוח ממוצע דוגמה**  
כדור בעל מסה של 1 ק"ג נזרק לעבר קיר במהירות של 2 מטר לשנייה. הכדור פוגע בקיר וחוזר באותה מהירות.  
א. חשב את המתוך שפועל על הכדור.  
ב. מי מפעיל את המתוך הנ"ל?  
ג. חשב את הכוח הנורמלי הממוצע שפעיל הקיר אם זמן הפגיעה הוא 0.2 שניות.

**תשובות סופיות:**

$$V_f = \frac{5\text{m}}{\text{sec}} \quad (1)$$

$$|J| = 12.1\text{N}\cdot\text{sec} \quad \text{ב.} \quad \vec{J}_1 = 5\text{N}\cdot\text{sec} \hat{x}, \quad \vec{J}_2 = 7.5\text{N}\cdot\text{sec} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$V_x = \frac{11.5}{3} \frac{\text{m}}{\text{sec}}, \quad V_y = \frac{3.75}{3} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג.}$$

$$\bar{N} = -20\text{N} \hat{x} \quad \text{ב. הכוח הנורמלי.} \quad \text{ג.} \quad \vec{J} = \Delta \vec{P} = -4\text{N}\cdot\text{sec} \hat{x} \quad \text{א.} \quad (3)$$

## חוק שימור תנע וכוחות חיצוניים:

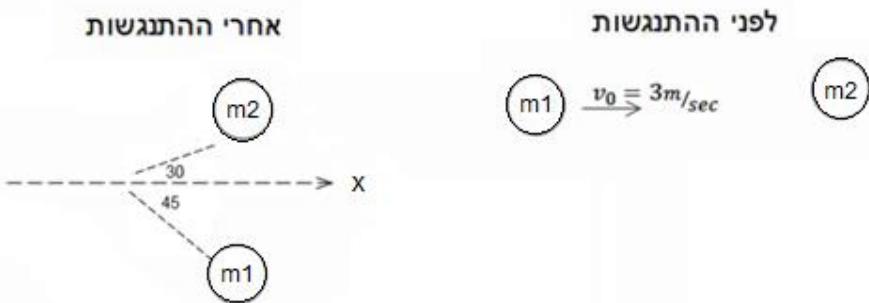
**שאלות:**

**1) דוגמה לשימור תנע**

כדור בעל מסה  $m_1$  ומהירות  $v_0$ , פוגע בכדור שני בעל מסה  $m_2$ . לאחר ההתנגשות, כדור 2 עף בזווית של 30 מעלות עם ציר ה- $x$  וכדור 1 עף בזווית של 45 מעלות מתחתי לציר ה- $x$ .

$$\text{נתון : } m_1 = 3\text{kg} , m_2 = 2\text{kg} , V_0 = 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

- א. מצא את גודל מהירות הגוף לאחר ההתנגשות.
- ב. מצא את המתќף שפועל על כל גוף.



**תשובות סופיות:**

$$V_1 = 1.55 \frac{\text{m}}{\text{sec}} , V_2 = 3.29 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ א. (1)}$$

$$\vec{J}_1 = -5.71\text{N}\cdot\text{sec} \hat{x} - 3.29\text{N}\cdot\text{sec} \hat{y} , \vec{J}_2 = -\vec{J}_1 \text{ ב.}$$

## סוגי התנגשויות:

### שאלות:

#### 1) פיזור

כדור מס' 1 בעל מסה  $m$  ומהירות  $v_0$  מתרגש אלסטית בכדור מס' 2 בעל מסה  $3m$  הנמצא במנוחה. הזרות של כדור מס' 2 עם ציר ה- $x$  היא  $45^\circ$ . מצא את הזרות של כדור מס' 1 לאחר ההתנגשות.



### תשובות סופיות:

$$\theta = 71.56^\circ \quad (1)$$

## שימור תנוע בה Tangential קצירות:

**שאלות:**

**1) זיקוק מתפוצץ**

זיקוק נורמה לאויר בכיוון אנכי לקרקע.  
ברגע שהזיקוק מגיע לשיא הגובה הוא מתפוצץ לשלווה חלקים שווים בגודלם.  
משך זמן הפיצוץ הוא : 0.5sec

מהירות החלק הראשון לאחר הפיצוץ היא :  $50 \frac{m}{sec^2}$  ומהירות החלק השני

היא :  $20 \frac{m}{sec} \hat{x} - 10 \frac{m}{sec} \hat{y} + 50 \frac{m}{sec} \hat{z}$

מהי מהירות החלק השלישי?

**תשובות סופיות:**

$$\vec{u}_3 = 70\hat{x} - 25\hat{y} + 50\hat{z} \quad (1)$$

## תנע, סיכום:

### שאלות:

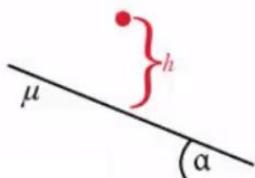
- 1) דוגמה עם מקדם תקומה  
 גוף בעל מסה  $m$  נע ב מהירות  $v$  על משטח אופקי חלק ומתנשא  
 בגוף בעל מסה  $3m$  הנמצא במנוחה.  
 נתון כי ההתנשאות חד ממדיות ומקדם התקומה הוא 0.8.  
 מצא את מהירות הגוף לאחר ההתנשאות.

### תשובות סופיות:

$$u_2 = 0.45V, u_1 = -0.35V \quad (1)$$

## התנשויות קצרות ללא שימור תנוע:

שאלות:



- 1) **התנשויות קצרה במדרון**  
 כדור בעל מסה  $m$  נפל אל מדרון לפי המתוואר בשרטוט.  
 נתון כי הכדור אינו מתרומם חזרה מעל המדرون לאחר הפגיעה.  
 מצא את מהירות הכדור רגע לאחר הפגיעה.



- 2) **טנק וחיכוך קינטי**  
 טנק בעל מסה  $M$  יורה פגז בעל מסה  $m$   
 בזווית  $\alpha$  מעלה האופק במהירות  $V$ .  
 הטנק מוצב על מישור בעל מקדם חיכוך קינטי נתון.  
 מה תהיה מהירותו של הטנק רגע לאחר הירייה?

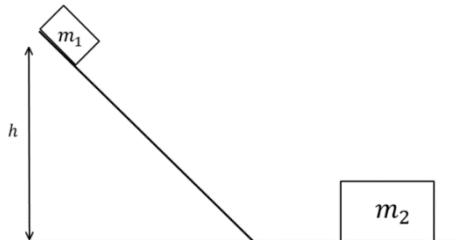
תשובות סופיות:

$$u_p = \frac{m\sqrt{2gh} \sin \theta - \mu m \sqrt{2gh} \cos \theta}{m} \quad (1)$$

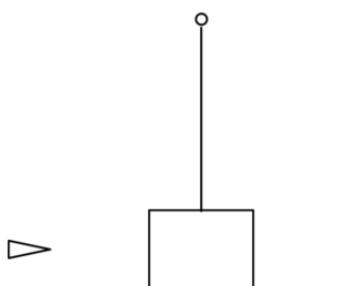
$$u = \frac{mv \cos \alpha - \mu mv \sin \alpha}{M} \quad (2)$$

## תרגילים מסכימים:

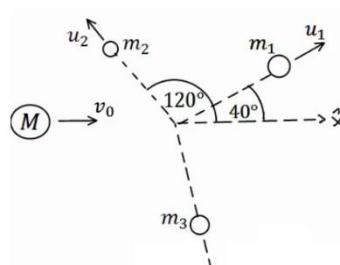
### שאלות:



- (1) **גוף יורץ במדרון מתנש ועולה חזרה**  
 גוף בעל מסה  $m_1 = 2\text{kg}$  משוחרר ממנוחה על מדרון משופע בגובה  $h = 1\text{m}$ .  
 בתחתיית המדרון מונחגוף בעל מסה  $m_2 = 5\text{kg}$ .  
 הגוף הראשון פוגע בגוף השני בהגיעה למשור האופקי והגוףים מתנגשים אלסטיות, עד לאיזה גובה יגיע הגוף הראשון בחזרה במעלה המדרון? אין חיכוך בין הגוףים למשטחים.



- (2) **קליע חודר מטוולת בליסטיות**  
 בול עץ בעל מסה  $2\text{kg}$  קשור לחוט ותלויה אנטית במנוחה.  
 קליע בעל מסה  $5\text{g}$  נעה במהירות  $v_1 = 450 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  פוגע בbole העץ, חודר אותו, ויוצא מצידו השני במהירות  $v_2 = 150 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .  
 לאיזה גובה מקסימלי יגיע בול העץ?

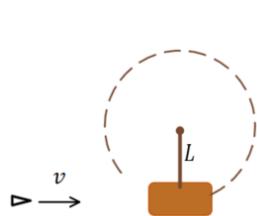


- (3) **פיצעה**  
 פצעה בעלית מסה  $M = 13\text{kg}$  נעה באוויר במהירות קבועה  $v_0 = 100 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ . ברגע מסוים, הפצעה מתפוצצת לשולש חלקיקים קטנים יותר. מסת החלק הראשון היא:  $m_1 = 4\text{kg}$  והוא נעה במהירות  $v_1 = 80 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בזווית של  $40^\circ$  ביחס לכיוון המקורי.

- מסת החלק השני היא:  $m_2 = 2\text{kg}$  והוא נעה במהירות  $v_2 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בזווית של  $120^\circ$  ביחס לכיוון המקורי.  
 מסת החלק השלישי היא:  $m_3 = 7\text{kg}$ .  
 מצא את מהירות החלק השלישי.

**4) איבוד אנרגיה**

- כדור בעל מסה  $m_1 = 2\text{kg}$  ו מהירות  $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  מתרחש בכדור בעל מסה  $m_2 = 3\text{kg}$  הנמצא במנוחה. לאחר ההתנגשות הכדור הראשון נעה בכוון  $30^\circ$  מתחת לכיוון הפגיעה (ראה איור).  
 א. מצא את מהירות הגוף לאחר ההתנגשות.  
 ב. האם ההתנגשות אלסטית? אם לא - כמה אנרגיה נאבדה בהתנגשות?

**5) קליע חודר בול עץ וגורם לסיבוב אנכי (כולל תנועה מעגלית)**

- בול עץ בעל מסה  $M$  תלוי אנכית באמצעות מוט קשיח חסר מסה באורך  $L$ . המוט ביחד עם בול העץ יכולים להסתובב במעגל אנכי (ראה איור).  
 יורים קליע בעל מסה  $m$  ב מהירות אופקית  $v$  לעבר בול העץ. הקליע חודר את הבול ויוצא מצדיו השני ב מהירות  $v_f$ .  
 יחד עם הקליע יוצאה גם חתיכה מהעץ (ב מהירות הקליע) וב מסה של  $5\text{g}$  ממשת בול העץ.  
 מהי מהירות המינימלית של הכדור עבורה בול העץ יוכל להשלים סיבוב אנכי (שמעו לב שהמוט קשיח)?

**6) אדם יורץ מכדור פורח**

- אדם נמצא בכדור פורח בגובה קבוע באויר. משקלו של האדם הוא  $70 \text{ kg}$  ו מסתו של הכדור פורח (לא האדם) היא  $280 \text{ g}$  (כולל הסל וכל אביזר אחר בכדור).  
 האדם משלשל חבל מהסל של הכדור פורח ומתחילה לרדת באמצעות החבל כלפי מטה.  
 א. אם מהירותו של האדם בזמן הירידה בחבל היא  $3 \text{ m/s}$  לשנייה כלפי מטה וביחס לקרקע, מהי מהירותו של הכדור פורח (גודלו וכיוונו)?  
 ב. מהי מהירות הכדור פורח אם האדם נעצר לפתע באמצעות (לפני שהוא מגיע לקרקע)?

**7) מסה על קרונית ואיובוד אנרגיה**

נתון כוח  $F$  קבוע המושך עגלת בעלת מסה  $m_1$  ללא חיכוך.

על העגלה נמצא מסה  $m_2$  ובין המסות יש חיכוך.

נתון:  $m_2$ ,  $m_1$ ,  $F$ ,  $\mu_k$ ,  $\mu_s$ .

א. מה הכוח  $F$  המקסימלי עبورו המסה העליונה  
תחליק ביחס לתחנותה?

נניח כי הכוח  $F$  גדול מזה שחייבת בסעיף א'.

נניח גם כי הכוח הפועל במשך זמן  $T$  נתון והמסה העליונה אינה נופלת מתחנותה.

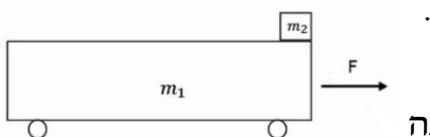
ב. מה הכוח  $F$  המקסימלי?

ג. מהי תאוצת הגוף, מהירותם ומיקומם כפונקציה של הזמן עד לזמן  $T$ ?

ד. כמה אנרגיה הולכת לאיבוד בזמן זה?

ה. מצא את מהירותם הסופית של הגוף ( $v-T > t$ ) בהנחה שהמסה העליונה

עדין לא נופلت.



נ. מה תוצאה הולכת לאיבוד בזמן  $T$ ?

**8) מסה על שני קرونות**

נתונים שני קرونות על משטח חלק.

הקרון ימני במנוחה והקרון השמאלי נע לעברו במהירות  $v$ .

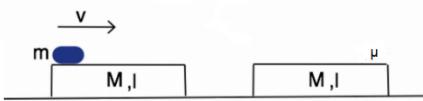
על הקרון השמאלי מונחת מסה הנעה יחד עם הקרון.

מקדם החיכוך בין המסות לקרון ימני נתונה.

בין המסות לקרון השמאלי אין חיכוך.

בזמן  $t=0$  הקרון השמאלי פוגע בקרון ימני

ונצמד אליו (אך הוא יכול להיפרד ממנו לאחר מכן).



א.מתי תעבור המסה לקרון ימני?

ב. מה תהיה מהירותו הסופית של הקרון ימני?

ג. מהי תאוצת הקרון ימני? כמה זמן תאוצה זו נשכחה?

ד. האם סעיף ב' וו' תואמים בתשובותיהם?

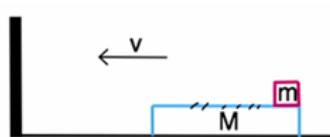
**9) מסות שומרות תנע ונבדקות לקיר**

המסה  $m$  מונחת על גבי الكرונית  $M$  (אך אינה מחוברת אליה).

שתי המסות נעות יחד ב מהירות  $v$  על גבי משטח

חלק לעבר קיר. התנgesות בקיר אלסטית.

מקדם החיכוך בין המסות הוא  $\mu$ .



א. מה תהיה מהירות המסה  $M$  לאחר זמן  $T$ ?

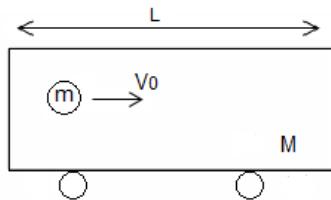
ר. בהנחה שהיא גדולה מהמסה  $m$ .

ב. ענה על סעיף א' בהנחה שהמסה  $M$  קטנה מהמסה  $m$ .

**10) כדור בקרונית**

כדור בעל מסה  $m$  ומהירות  $v_0$  נעה בתזוז קרונית בעלת מסה  $M = \alpha m$  ואורך  $L$ .  
הכדור מתגש בדופן הימנית של הקרונית התנשאות אלסטית.

(אין חיכוך בין הקרונית לרצפה).



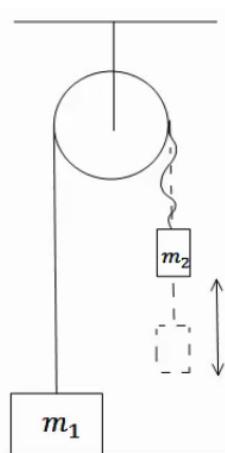
- א. מהי מהירות הגוף לאחר ההתנגשות?  
בדוק עבור:  $\infty$ ,  $1$ ,  $0$ ,  $\alpha$ .
- ב. כמה זמן יעבור מהפגיעה הראשונה בדופן לפגיעה השנייה בדופן השמאלית?

**11) שתי מסות על גלגלת וחוט רפי**

שתי מסות  $m_1$ ,  $m_2$  תלויות על גלגלת אידיאלית חסרת חיכוך.

המסה  $m_1$  נמצאת על הקרקע במנוחה בעוד שהמסה  $m_2$  תלואה באוויר.

מריימים את מסה  $m_2$  לגובה  $H$  נוספת כך שהחוט מתרופף ומשחררים אותה ממנוחה.  
א. מצא את מהירות המסאה  $m_2$  לפני שהיא מגיעה לנקודה בה החוט נמתה.



- ב. כתע החוט נמתה. הנח שהחוט אינו אלסטי,  
כלומר, האורך שלו קבוע ללא תלות בגודל  
המתיחות שלו כל עוד קיימת בו מתיחות כלשהי  
(והוא אינו רפי כמו בסעיף א').
- מצא את השינוי הכלול בתנוע של שתי המשקלות  
(בין הקטוע מיד לפני שהחוט נמתה לבין הקטוע  
מיד אחרי שהחוט מתוח ושתי המסות זזות).
- ג. מצא את המתקף שפעילה התקarra על הגלגלת  
בזמן מתיחות החוט.
- ד. לאיזה גובה תעלה  $m_1$  בהנחה ש-  $m_1 > m_2$  ו-  
איןיה פוגעת ברצפה.

ה. מהו המתקף שפעילה התקarra על הגלגלת מהרגע  $t=0$   
עד לרגע בו  $m_1$  הגיעו לשיא הגובה?

**12) מסה מתנגשת במשאית ונופלת**

מסה  $m$  מונחת על עגלה חסרת חיכוך בעלת אורך  $L$   
ומסה  $5m$ . המסאה נסעת במהירות  $v$  לכיוון שמאל  
והעגלה נייחת.

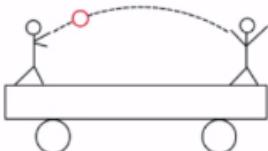


נתון כי ההתנגשות בין המסאה לבין העגלה היא  
התנשאות אלסטית.

לאחר כמה זמן מרגע ההתנגשות תיפול המסאה מהעגלה?

**13) רתע בתוך עגלת**

בתוך עגלה ללא חיכוך עומדים שני חברים המקובעים לרצפת ה الكرון. מסת האנשים וה الكرון M ואורך ה الكرון T.



האדם זורק כדור בעל מסה m ב מהירות v אל עבר חברו.

- מה תהיה מהירות העגלה והאנשים שעלייה לאחר זריקת ה כדור?

- מה תהיה מהירות העגלה לאחר שהחבר יתפос את ה כדור?

- כמה זמן ה כדור ישחה באוויר?

- מהו המרחק אותו עברה העגלה במהלך זמן זה?

- תאר מה יקרה אם החבר ימסור חורה את ה כדור לחברו.

**14) אדם הולך על עגלה (מכיל תנועה יחסית)**

אדם בעל מסה M עומד על עגלה בעלת מסה m.

האדם מתחילה ללכט ב מהירות v ביחס לעגלה.

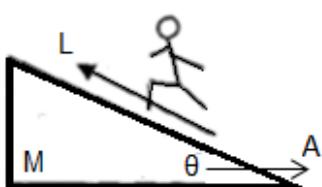
מצא את מהירות האדם והעגלה ביחס לקרקע אם אין חיכוך בין העגלה לרצפה.

**15) אדם על רמפה (מכיל תנועה יחסית)\***

אדם שמסתו m רץ במעלה רמפה משופעת בזווית  $\theta$ .

מסת הרמפה היא M, והוא מונחת על משיכור חלק.

האדם מתחילה מנוחה והזמן הדרוש לו ב כדי לעבור דרך שאורכה L על פני הרמפה הוא T.



- מהי תאוצת האדם ביחס לرمפה?

- עקב הריצה נ הדפת הרמפה ימינה, בתאוצה לא ידועה A יחסית לקרקע.

בטאו את רכיבי התאוצה של האדם יחסית לקרקע בעזרת התאוצה A.

- כמה זהה הרמפה ימינה בזמן T?

**16) כדור עולה על מדרון משולש**

מדרון משולש בעל גובה  $h = 3m$  חופשי לנوع

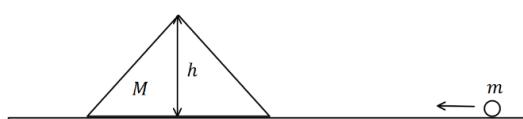
על משטח אופקי חלק (ללא חיכוך).

מסת המדרון היא :  $M = 15kg$ .

מגללים כדור בעל מסה  $m = 5kg$

על המשטח לכיוון המדרון.

התיחס לכדור כל גוף נקודתי.



- מה צריכה להיות המהירות שבה מגלגלים את ה כדור כך שהוא יעזור (ביחס למדרון) לבדוק לפני שהוא עובר את שיא הגובה של המדרון?

- מהי מהירות המדרון ברגע שהכדור מגיעה לשיא הגובה?

- מהי המהירות הסופית של המדרון וה כדור?

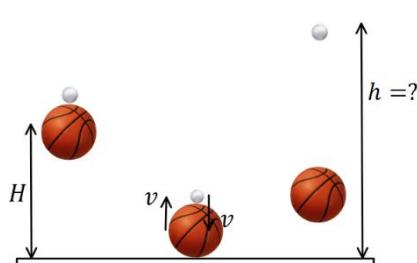
**17) מסה מחליקה בין שני טרייזים**

גוף בעל מסה  $m$  מחליק על שני טרייזים זהים בעלי מסה  $M$  כל אחד.



המעבר מהטרייז למשטח האופקי הוא חלק, המשטחים חסרי חיכוך וחופשיים לנעו על השולחן (ראו סרטווט).

לאיזה גובה מקסימאלי יטפס הגוף על הטרייז השני אם גובהו ההתחלתי הוא  $h$ ?

**18) כדור גולף על כדורסל**

כדור גולף וכדור כדורסל מוחזקים במנוחה אחד מעל השני בגובה  $m = H = 1.5m$ .

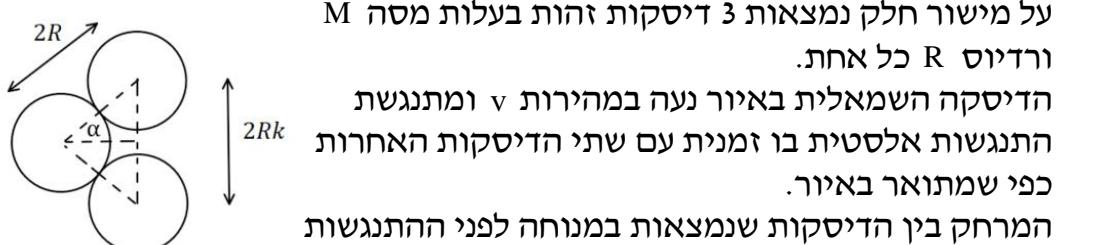
משחררים אותם ליפול ממנוחה. מה יהיה הגובה המרבי אליו הגיעו כדור הגולף אם נניח שככל ההתגשויות אלסטיות ומצחירות. מסת כדור הגולף היא:  $m = 46\text{gr}$  ומסת הכדורסל היא:  $M = 624\text{gr}$ .

**19) התנגשות אלסטית זהה בכל המערכת**

במערכת אינרציאלית מסוימת האנרגיה הקינטית של שני גופים  ${}_1m$  ו-  ${}_2m$  היא  $E_k$ .

מצאו את האנרגיה הקינטית של הגוףים במערכת אינרציאלית אחרת הנעה ב מהירות  $v_0$  ביחס למערכת המקורית.

השתמשו בתוצאה שקיבלו והראו כי אם במערכת מסוימת התנגשות היא אלסטית אז היא חייבת להיות אלסטית גם בכל מערכות הייחוס האינרציאליות האחרות.

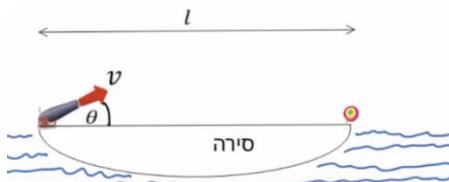
**20) דיסקה מתנגשת בשתי דיסקות זהות**

על מישור חלק נמצאות 3 דיסקות זהות בעלות מסה  $M$

ורדיוס  $R$  כל אחת.

הדיסקה השמאלי באירוע נעה ב מהירות  $v_0$  ומתנגשת בתנגשות אלסטית בו זמנית עם שתי הדיסקות האחרות כפי שמתואר באירוע. המרחק בין הדיסקות שנמצאות במנוחה לפני ההתנגשות מתואר על ידי  $2Rk$  כאשר  $2 \leq k \leq 1$ .

- מיהי גודלה של מהירות הדיסקה הפוגעת לאחר ההתנגשות כתלות בזווית  $\alpha$  שבאים?
- עבור אילו ערכים של  $k$  הדיסקה תחזור אחורה/תיעצר במקום/תמשיך קדימה?

**(21) סיירה יורה פגז על מטרה בקצתה השני**

סיירה באורך  $l$  נמצאת על מים שקטים, בקצתה השמאלי של הסיירה נמצא תותח צעצוע ובקצתה הימני נמצא מטרה. התותח יורה פגז צעצוע בזווית  $\theta$  ובמהירות  $v$  ביחס לקרקע.

מסת הפגז היא  $m$  ומסת הסיירה היא  $M$ .

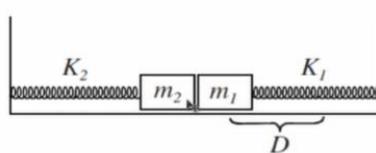
מצא את המהירות  $v$  הדורשה בשבייל לפגוע במטרה (הזנח את גובה התותח וגובהה המטרה והנח כי התותח מחובר לסיירה).

**(22) שרשרת מחליקה משולחן**

שרשרת בעלת אורך  $l$  ומסה  $m$  מחליקה ממנוחה משולחן כאשר חצייה עדין מונח על השולחן.



- מה תהיה מהירותו הדרישה ברגע הניתוק מהשולחן, בהנחה שאין חיכוך?
- ענה על סעיף א' בהנחה שמקדם חיכוך  $\mu$  קיים בין שרשרת לשולחן.

**(23) שתי מסות ושני קופיצים**

מסות מתחילה ממנוחה כבשרטוט. המסה הימנית נמתחת מרחק  $D$  ימינה ומשוחררת. כשהיא פוגעת במסה השנייה היא נדבקת אליה ושתיהן ממשיכות יחד.

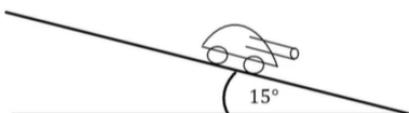
- מהו הכיווץ המקסימלי של הקפיז השמאלי?
- מהו הכיווץ המקסימלי של הקפיז הימני כאשר שתי המסות חוזרות ימינה?

**(24) טנק יורה פגזים ועולה במדרון\*\***

טנק שמסתו 800 ק"ג (טנק קל מאוד) נמצא ברגע מסויים מנוחה על מדרון משופע בזווית של 15° מעלות. הטנק יורה שני פגזים במרוחך של 2 שניות בין הירי הראשוני לשני.

מסת כל פגז היא 20 ק"ג והוא נורה במהירות לוע של 400 מטר לשנייה במקביל ובמוריד למדרון. הניחו שלטנק גלגלים וחיכוך בין המדرون זניח.

מה העתק המקסימלי שיעשה הטנק במעלה המדרון?



**תשובות סופיות:**

0.18m **(1)**

0.028m **(2)**

$u = 155 \frac{m}{sec}$  **(3)**

ב. לא אלסטית,  $J = 8.27$ 

$u_1 = 8.66 \frac{m}{sec}, u_2 = 3.34 \frac{m}{sec}$ . **(4)**

$v_{min} = \left[ (m + 0.05M)v_f + 0.95M \cdot 2\sqrt{gL} \right] \cdot \frac{1}{m}$  **(5)**

ב. 0 א.  $0.75 \frac{m}{sec}$  כלפי מעלה. **(6)**

,  $a_1 = \frac{F}{m_1} - \frac{m_2}{m_1} \mu_k g, a_2 = \mu_k g$  : ב. תאוצה:  $F \leq \mu_s g(m_1 + m_2)$ . **(7)**

מהירות:  $x_1(t) = \frac{1}{2}a_1 t^2, x_2(t) = \frac{1}{2}a_2 t^2$  : מיקום,  $v_1(t) = a_1 t, v_2(t) = a_2 t$  :

$u_f = \frac{F \cdot T}{m_1 + m_2}$  .**7**  $E = F \cdot \frac{1}{2}a_1 T^2 - \left( \frac{1}{2}m_2 v_2^2(T) + \frac{1}{2}m_1 v_1^2(T) \right)$  .**8**

$\tilde{u} = \frac{v \left( m + \frac{M}{2} \right)}{M + m}$  .**7**  $t = \frac{2l}{v}$  .**8**

. מ.  $M \cdot v \cdot \left( m + \frac{M}{2} \right) = (m + M) \cdot M \cdot \frac{v}{2} + (m + M) \cdot mg\mu \cdot \tilde{t}, a = \frac{mg\mu}{M}$  .**9**

ב.  $\tilde{u} = \frac{v(M-m)}{M+m}$  .**7** חיובי.  $\tilde{u} = \frac{v(M-m)}{M+m}$  .**8** **(9)**

$u_1 = -v_0, u_2 = 0$  :  $\alpha = \infty$ ,  $u_1 = 0, u_2 = v_0$  :  $\alpha = 1$ ,  $u_1 = v_0, u_2 = 2v_0$  :  $\alpha = 0$ . **(10)**

$t = \frac{L}{u_2 - u_1}$  .**7**

$J_{ceiling} = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} \sqrt{2gH} \hat{y}$  .**9**  $\Delta P_{Total} = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} \sqrt{2gH}$  .**7**  $v_2 = \sqrt{2gH}$  .**8** **(11)**

$J_{Totalceiling} = 0 + \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} \sqrt{2gH} + \frac{m_1(m_1 + m_2)}{m_1 - m_2} \sqrt{32gH}$  .**7**  $h = \frac{m_2}{m_1 - m_2} \sqrt{\frac{H}{2g}}$  .**7**

$t = \frac{L}{v}$  **(12)**

$L = t \cdot (v - u)$  .**9**  $mv + Mu = (m + M) \cdot 0$  .**7**  $0 = mv + Mu$  .**8** **(13)**

ה. ראה סרטון.  $x = u \cdot t$  .**7**

$u_2 = \frac{mv_R}{m+M}, u_1 = \frac{-Mv_R}{m+M}$  **(14)**

$$x_{ramp}(T) = \frac{m}{m+M} L \cos \theta \quad \text{ג.} \quad a_{P_x} = \frac{2L}{T^2} \cos \theta - A \quad \text{ב.} \quad a'_{P_x} = \frac{2L}{T^2} \quad \text{ג. (15)}$$

$$u_1' = 2\sqrt{5} \frac{m}{sec}, u_2' = -2\sqrt{5} \frac{m}{sec} \quad \text{ג.} \quad u = \sqrt{5} \frac{m}{sec} \quad \text{ב.} \quad v_0 = 8.94 \frac{m}{sec} \quad \text{ג. (16)}$$

$$h'_{max} = \frac{M^2 h}{(M+m)^2} \quad \text{(17)}$$

$$h \approx 12.3m \quad \text{(18)}$$

$$E_k' = E_R - (m_1 v_1 + m_2 v_2) v_0 + \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_0^2 \quad \text{(19)}$$

$$u_1 = v \frac{1 - 2 \cos^2 \alpha}{1 + 2 \cos^2 \alpha} \quad \text{ג. (20)}$$

ב. קדימה :  $1 \leq k < \sqrt{2}$  ,  $k = \sqrt{2}$  : ב مكانם ,  $\sqrt{2} < k \leq 2$  : לאחריה

$$v = \sqrt{\frac{gL}{\left(1 + \frac{m}{M} \sin 2\theta\right)}} \quad \text{(21)}$$

$$v = gl \left( \frac{3 - \mu}{4} \right) \quad \text{ב.} \quad v = \sqrt{\frac{3}{4} gl} \quad \text{ג. (22)}$$

(23) ראה סרטון.

$$x(t=5.82) \approx 60m \quad \text{(24)}$$

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

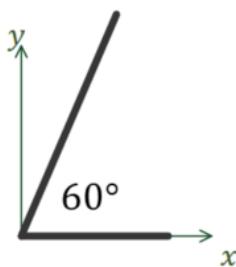
פרק 13 - מרכז מסה -

תוכן העניינים

- |     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| 187 | 1. הסבר בסיסי על מרכזו מסה.        |
| 188 | 2. דוגמה מרכזו מסה של דיסקה עם חור |

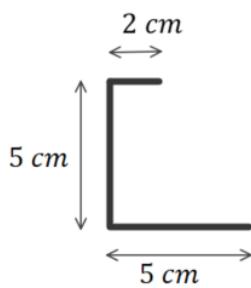
## הסבר בסיסי על מרכז מסה:

### שאלות:



**1) דוגמה - מרכז מסה של שני מוטות בזווית**  
המערכת המתוארת באוויר 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* החיוובי אורכו 5c.m ומסתו 3kg.  
מצאו את מרכז המסה של המערכת (bihcs בראשית).



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

**3) דוגמה - מרכז מסה של F**  
רכיבים את האות F מלוחות בעלי צפיפות מסה אחידה ליחידת שטח.  
המידדים של כל הלוחות נתונים באוויר.  
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?

### תשובות סופיות:

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

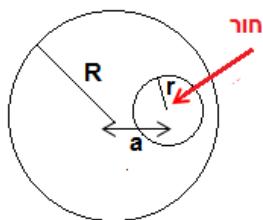
$$x_{\text{c.m}} = 1.2 \text{ c.m} , y_{\text{c.m}} = 1.875 \text{ c.m} \quad (2)$$

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

## דוגמאות מרכז מסה של דיסקה עם חור:

שאלות:

- 1) דוגמה מרכז מסה של דיסקה עם חור  
 בדיסקה בעל רדיוס  $R$  ומסה  $M$  קדחו חור עגול בעל רדיוס  $a$  במרחק  $r$  ממרכז הדיסקה. הנח כי צפיפות המסה אחידה בכל הדיסקה.  
 מצא את מרכז המסה של הדיסקה עם החור.



**תשובות סופיות:**

$$x_{c.m.} = \frac{-a(\rho\pi r^2)}{M - (\rho\pi r^2)} \quad (1)$$

# יסודות הפיזיקה א 2013 -

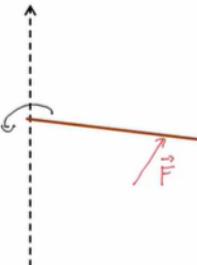
## פרק 14 - מומנט כוח (סטטיקה) -

### תוכן העניינים

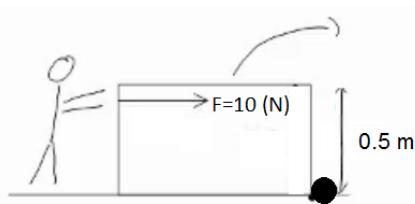
1. מומנט כוח - הסבר .....	189
2. מכפלה וקטוריית .....	(לא ספר)
3. תרגיל - מומנטים על משולש .....	190
4. פיתוח, מדוע מתייחסים לכוח הכביד כאילו פועל במרכז המסה .....	(לא ספר)
5. משוואת מומנטים .....	
6. תרגיל - שני פועלים מחזירים מנשא .....	191
7. תרגילים מסכימים .....	192

## מומנט כוח - הסביר:

שאלות:



- 1) דוגמה לחישוב מומנט (מוט)  
נתון מוט אשר מקובע בקצתו ומסתובב נגד כיוון השעון.  
מופעל כוח  $F$ .  
חשב את מומנט הכוח.



- 2) מרחק אפקטיבי דוגמה  
אדם דוחף ארגו בגובה 0.5m ומפעיל כוח  $F$   
(ראה תמונה).  
לאrugז אין חיכוך עם המשטח.  
האדם דוחף את הארגז ללא כל בעיה עד  
שנתקע באבן והארגו מתחוף  
(מייקום האבן הופך לציר הסיבוב).  
חשב את מומנט הכוח.

תשובות סופיות:

$$\vec{\tau} = \mathbf{F}_0 \times \hat{z} \quad (1)$$

$$|\vec{\tau}| = 10 \cdot 0.5 \text{m} \quad (2)$$

## תרגיל - מומנטים על משולש:

שאלות:

**1) מומנטים על משולש**

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

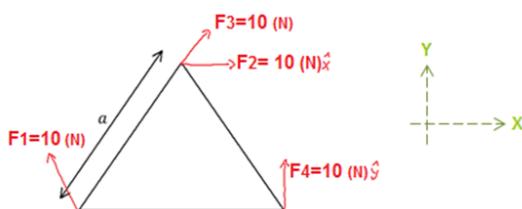
- א. חשב את המומנטים של הכוחות בתמונה סביב הפינה השמאלית של המשולש.

- ב. נתונה מסה של המשולש  $M$  ונמצא 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 הקובד.

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



**תשובות סופיות:**

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

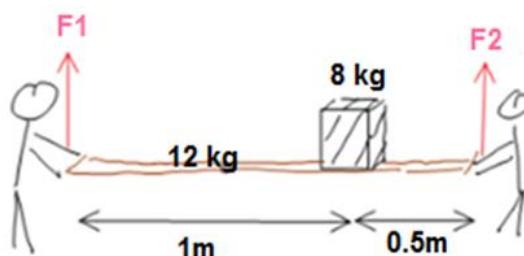
$$\tau_1 = \frac{-10a}{\sqrt{3}} , \tau_2 = -10 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}a , \tau_3 = -\frac{1}{\sqrt{3}}a \cdot 10 \cdot \sin 30^\circ , \tau_4 = 10 \cdot \frac{1}{2}a , \tau_g = 0 \quad \text{ג.}$$

## תרגיל - שני פועלים מחזיקים מנשא:

שאלות:

1) **שני פועלים מחזיקים מנשא**

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



תשובות סופיות:

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

## תרגילים מסכימים:

### שאלות:

#### 1) מוט עומד מחובר לחוט ומשקלת

מוט אחד מונח על משטח אופקי לא חלק, כמו זה בתמונה.

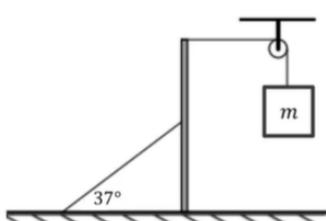
המוט מחובר במרכזו לחוט אידיאלי שקצהו

השני קשור למשטח ויוצר עימיו זווית של  $37^\circ$ .

הקצה העליון של המוט מחובר באמצעות חוט

אופקי אידיאלי וגלגת אל משקלת שמשקלת  $m = 7\text{kg}$ .

המערכת נמצאת במנוחה.



א. מהי המתייחסות בחוט המוחבר אל המשטח?

ב. מהו כוח החיכוך שפעיל המשטח האופקי על המוט?

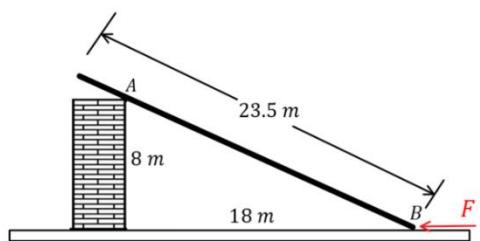
#### 2) כורה על קיר אנכי

באյור לשאלת זו מתוארת כורה אחת

שאורך הכלול הוא  $23.5\text{m}$ .

משקל הكورה היא  $140\text{kg}$ .

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



קצת הקורה מונח על הרצפה בנקודת B במרחק  $18\text{m}$  מהקיר

ובקצת זהה פועל כוח אופקי  $F$ , כמפורט באյור.

מקדם החיכוך הסטטי שבין הקורה הרצפה הוא  $\mu_s = 0.3$ .

מהו  $F$  המקסימלי הנתון להפעיל כך שהקורה תישאר במנוחה?

#### 3) מוט נשען על כדור

נתון מוט דק שאורכו  $L = 3.5\text{m}$  ומשקלתו  $m = 7\text{kg}$

הנשען על כדור חסר חיכוך המודבק לרצפה כמתואר בשרטוט.

נקודת המגע של המוט בכדור היא הנקודה K.

בקצתו השמאלי נוגע המוט בקיר בעל חיכוך

בנקודת P, הזווית שיווצר המוט יחסית לקיר

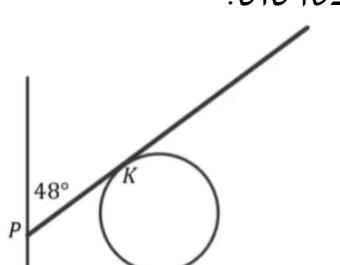
היא  $48^\circ$ . מקדם החיכוך הסטטי שבין הקיר למוט

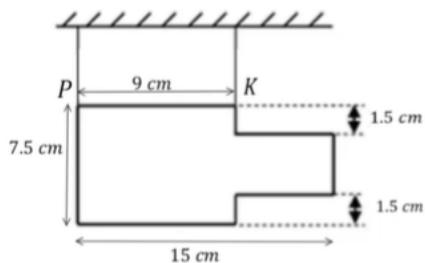
הוא  $\mu_s = 0.15$ .

א. מהו הכוח שפעיל הכדור על המוט אם

נתון שקצתו הימני של המוט נמצא על סף תנועה כלפי מטה?

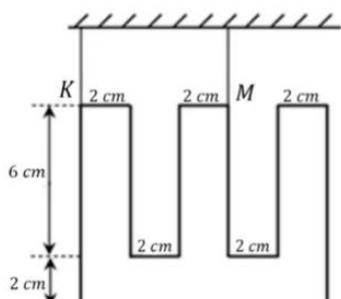
ב. מהו המרחק בין הנקודות P ו-K במצב זה?



**4) טבלה מעץ**

טבלה העשויה עץ בעלת עובי אחיד שמסתה 400 גרם וצורתה כמתואר בתרשימים, תלולה בשני חוטים בנקודות K ו-P.

- חשב את מרכז הכוח של הטבלה ביחס למערכת צירים שראשיתה ממוקמת בנקודה P.
- מצא את המתייחות בשני החוטים.

**5) שלט בצורת האות ש**

שלט העשויה מחומר אחיד בצורת האות "ש" (כמושרט), שמסתו 4 ק"ג, תלוה בשני חוטים בנקודות K ו-M.

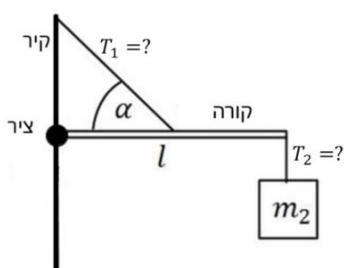
- חשבו את מרכז המסה של השלט ביחס למערכת צירים שראשיתה ממוקמת בנקודה K.
- מצאו את המתייחות בשני החוטים.

**6) מסה תלולה על קורה שמחוברת לקיר**

קורה בעלת מסה  $m_1$  ואורך  $l$  מחוברת לקיר באמצעות ציר. בקצה הקורה הקשור מסה  $m_2$  התלויה במנוחה. באמצעות הקורה יוציא חוט בזווית הקשור חוזרת לקיר,

- מהי המתייחות בחוטים?

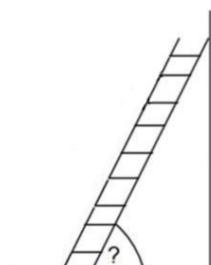
ב. מהו הכוח (גודל וכיוון) שפעיל הציר?

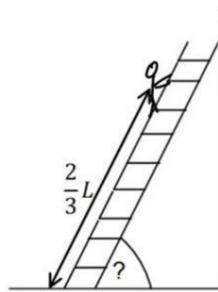
**7) סולם נשען על קיר**

סולם נשען על קיר.

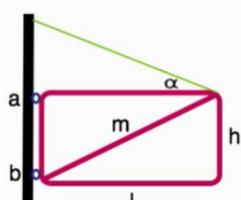
קיים חיכוך סטטי בין הסולם לרצפה וגם בין הסולם לקיר. מקדם החיכוך הסטטי בין הסולם לרצפה ובין הסולם לקיר הוא  $\mu_s$ . אורך הסולם הוא L וניתן להניח שמסתו מפוגגת בזורה איחוד.

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 כשרוחקו מהקצה התיכון של הסולם הוא שני שליש מאורך הסולם. קיימים חיכוך סטטי בין הסולם לרצפה וגם בין הסולם לקיר. מקדם החיכוך הסטטי בין הסולם לרצפה ובין הסולם לקיר הוא  $\mu$ . מסת האדם כפולה מסמת הסולם. מהי הזווית המינימלית עם הרצפה כך שהסולם לא יחליק?

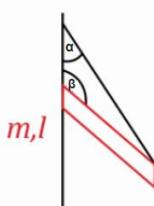


9) מומנטים על שער שער שגובהו  $h$  ואורךו  $a$  מחובר לקיר בשני ציריים  $a$  ו- $b$ . על מנת להקל על הציר העליון חיבורו לשער כבל ומתחו אותו עד אשר הכוח האופקי בנקודה  $a$  מתאפס.

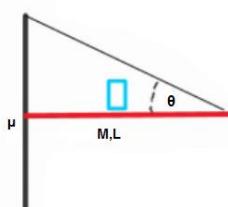
א. מהי המתיחות בכבל?

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

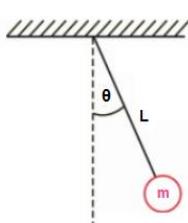
ג. מהו סכום הכוחות האנכיים המופעלים על שני הציריים?



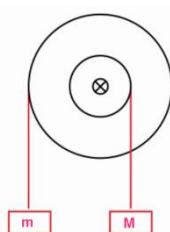
10) גגון מוחזק אל קיר גגון מוחזק אל קיר בעזרת חבל וחיכוך כמפורט בשרטוט. מצא את הכוחות הפועלים על הגגון.



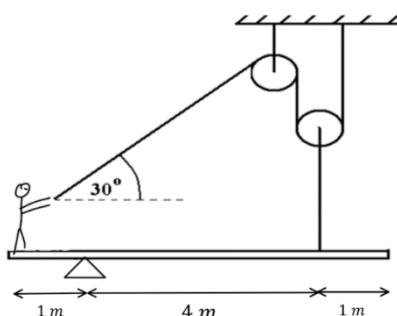
11) מסה על גגון מחלקיק גגון מוחזק לקיר בעזרת חיכוך בלבד לפי הנתונים שברטוט. מהו המרחק הקטן ביותר מהקיר בו ניתן לשים את המסה  $m$  מבלי לגרום לגגון להחליק מהקיר?



12) מטוטלת מתמטית מצא את מומנט הכוח המופעל על מטוטלת מתמטית כפונקציה של הזווית מהאנך.



13) מנוף מדיסקה כפולה נתונה המערכת שברטוט. רשם את כל הכוחות הפועלים על הדיסקה ומצא את יחס הרדיוסים בין שתי הדיסקות.



**14) אדם על קורה מחזיך בחוט ושתि גלגולות**  
 אדם שמסתו  $65\text{kg}$  עומד בקצה קורה שמסתה  $40\text{kg}$ .  
 הקורה מונחת על ציר הנמצא מרחק  $1\text{m}$  מהאדם.  
 האורך הכולל של הקורה הוא  $6\text{m}$ .  
 האדם מחזיך בחוט העובר דרך שתי גלגולות כפי  
 שמתואר באיור.  
 הגלגלת השמאלית מחוברת לתקרה, הגלגלת הימנית  
 לקורה למרחק  $1\text{m}$  מהקצה השני.

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

### 15) T על מישור משופע\*

באיור נתון גוף משטחי בצורת L.

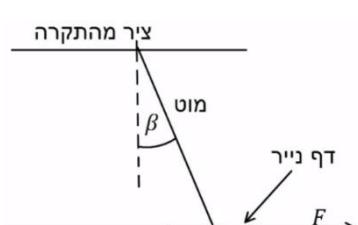
$$\text{כפיות המסה של הגוף היא: } \sigma = 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}.$$

- 
- מהו מרכזו המסה של הגוף ביחס לפינה התחתונה השמאלית?
  - מניחים את הגוף על מישור משופע.  
 מהי הזווית המקסימלית של המישור עבור הגוף לא לתהף?
  - קושרים את הגוף למישור באמצעות חוט אופקי מהפינה הימנית העליונה  
 ומתחים את החוט עד שהגוף מתיעשר במקביל לקרקע.
- מהי המתיחות בחוט במצב זה אם זווית המישור היא  $30^\circ$  והגוף במנוחה.

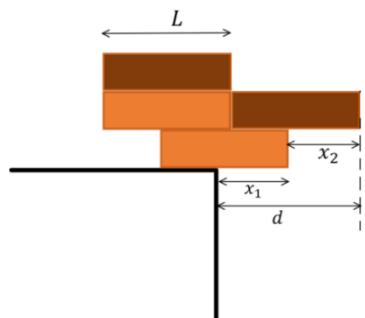
### 16) מוט נשען על דף נייר\*

מוט בעל אורך  $L$  ומסה  $M$  מחובר לתקרה באמצעות ציר.  
 בקצתו השני המוט מונח על דף נייר המונח על הרצפה.  
 מסת דף הנייר זניחה.

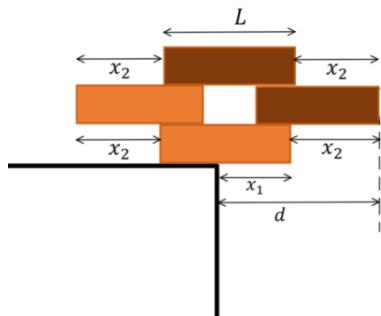
הזווית בין המוט لأنך היא  $\beta$  ומקדם החיכוך הסטטי  
 בין המוט לניר ובין הניר לרצפה הוא  $\mu$ .



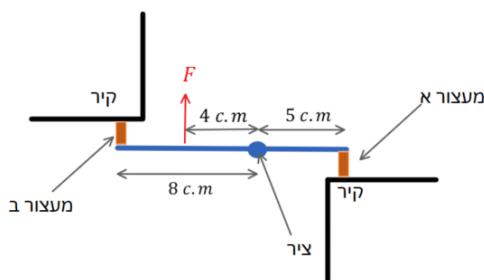
- מושכים את הניר ימינה בכוח  $F$ .  
 מהו הכוח המינימלי הדרוש בשבייל להוציא את  
 הניר מתחת למוט? הנח שהמוט נשאר במנוחה.
- חזור על סעיף א' אם הכוח פועל שמאליה.

**17) עירימת קוביות 1**

עירימת קוביות מורכבת מ-4 קוביות זהות באורך  $L$ .  
הקוביות מסודרות באופן שמתואר באיוור.  
מהו המרחק  $d$  המקסימלי האפשרי כך שהעירימה  
לא תיפול מהשולחן.  
מהם  $x_1$  ו-  $x_2$  במצב זה?

**18) עירימת קוביות 2\***

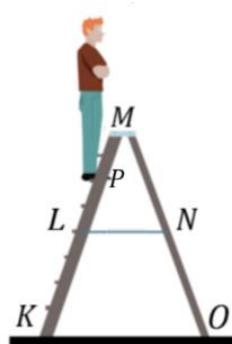
עירימת קוביות מורכבת מ-4 קוביות זהות באורך  $L$ .  
הקוביות מסודרות באופן שמתואר באיוור.  
מהו המרחק  $d$  המקסימלי האפשרי כך שהעירימה  
לא תיפול מהשולחן.  
מהם  $x_1$  ו-  $x_2$  במצב זה?

**19) מוט עם שני מעצורים מגומי\*\***

באיור ישנו מוט באורך 13 c.m. המוחובר  
בציר הנמצא במרחק 5 c.m. מהקצה הימני.  
בשתי הקצותות של המוט ישנים מעצורים  
זהים העשויים מגומי.

פעילים כוח  $N = 200 \text{ N}$  במרחק 4 c.m.

שמאלה מהציר, הכוח גורם לכיווץ קטן של המעצורים.  
המערכת אופקית, כלומר כוח הכביד פועל לתוך הדף ונitin להתעלם ממנו.  
מהו הכוח שפועל על כל מעצור?  
רמז: התיחס למעצורים כמו קפיצים בעלי קבוע  $k$  זהה.

**20) אדם על סולם עם שתי רגליים\*\***

אדם עומד על סולם בעל שתי רגליים המוחוברות  
באמצעות כבל במרכז הסולם. משקל האדם הוא 800  
ニュוטון ונitin 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 המתייחות ככבל.

רמז: יש לעשות משווה רק על חלק מהסולם.

**תשובות סופיות:**

$$\text{ב. } f_s = T_1 = 70\text{N} \text{, ימינה.}$$

$$T_2 \approx 180\text{N . נ (1)}$$

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

$$PK \approx 0.84\text{m . ב}$$

$$N_2 \approx 110\text{N . נ (3)}$$

$$T_2 = 3\text{N , } T_1 = 1\text{N . ב}$$

$$x_{c.m.} = 6.6\text{c.m. , } y_{c.m.} = 3.75\text{c.m . נ (4)}$$

$$T_K = 6.7\text{N , } T_M = 33.3\text{N . ב}$$

$$x_{c.m.} = 5\text{c.m. , } y_{c.m.} \approx 4.4\text{c.m . נ (5)}$$

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

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

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

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

(9) ראה סרטון.

(10) ראה סרטון.

(11) ראה סרטון.

$$\sum \tau = -mg l \sin \theta + Tl \sin \theta = -mg l \sin \theta \text{ (12)}$$

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

$$\text{שمالה } F_x = 10\sqrt{3}\text{N , } F_y = 1000\text{N . ב}$$

$$T_l = 20\text{N . נ (14)}$$

$$\mu_{s_{\min}} = 0.027 . \lambda$$

$$\alpha = 31^\circ . \text{ ב}$$

$$x_{c.m.} = 0.15\text{m , } y_{c.m.} = 0.25\text{m . נ (15)}$$

$$T = 3.3\text{N . \lambda}$$

$$F_{\min} = \frac{\mu_s mg \sin \beta}{\sin \beta + \mu_s \cos \beta} . \text{ ב}$$

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

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

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

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

$$T_L \approx 196\text{N . ב}$$

$$N_O \approx 291\text{N , } N_k = 509\text{N . נ (20)}$$

# יסודות הפיזיקה א - 2013

פרק 15 - תנוע זוויתית -

תוכן העניינים

198	1. נוסחאות וחוקי שימור
201	2. תנוע זוויתית ביחס למרכז מסה

## נוסחאות וחוקי שימוש:

שאלות:

**1) תנ"ז בזריקה משופעת**

אבן נזרקת בזריקה משופעת ב מהירות  $v_0$  ובזווית  $\alpha$ , כוח הכבוד שפועל על האבן  $\vec{F} = -mg\hat{y}$ .

- מהו התנ"ז של האבן ביחס לנקודת המוצא כתלות בזמן?
- מהו מומנט הכוח של כוח הכבוד?
- הראה כי השינוי של התנ"ז בזמן שווה למומנט הכוח של כוח הכבוד.

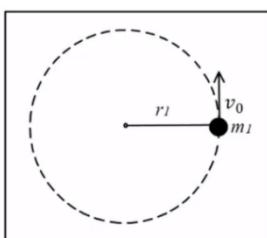
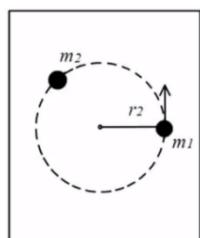
**2) גוף מסתובב על שולחן ונמשך למרכז**

מסה  $m_1$  מחוברת לחוט המחבר למרכז שולחן.

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

ברגע מסוים מושכים את המסה למרכז המרجل (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 הקrho**

שתי מחליקות תאומות בעלות מסה זהה  $m$  מחליקות בכיוונים מנוגדים ובמהירות  $v_0$ .

המחליקות נעות על קוויים ישרים והמרחק בין הקווים הוא  $d$ . באמצע ביניהן שמי חבל.

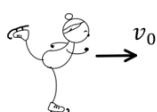
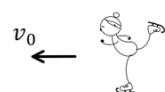
כאשר הן מגיעות לחבל, שתיהן תופסות את החבל ומתחילות להסתובב סביב המרכז ביניהן.

- מה מהירות הזוויתית שהן מסתובבות?

ב. כעט המחליקות מושכות את החבל ומתקרבות זו לזו עד אשר המרחק

$$\text{ביןיהן הוא } \frac{d}{2}.$$

מצאו את המהירות הזוויתית החדשה של המחליקות.



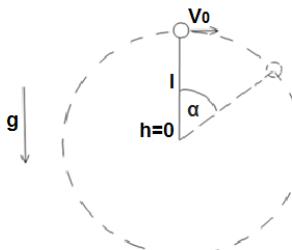
**4) כדור מסתובב אנכית**

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 נעה בתוך חרוט המוחבר הפוך למשטה.

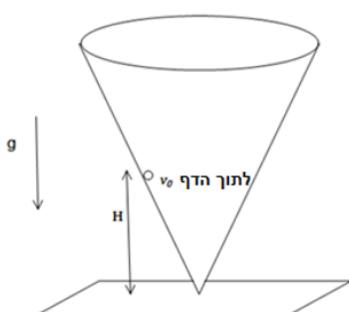
נתון כי מהירות הכדור ההתחלתית היא  $v_0$

בכוון אופקי ומשיק לדופן החרוט.

מצא את הגובה המקסימלי אליו יגיע הכדור

(החרוט אינו צז).

הנחיות: מספיק להגעה לשווה ממעלה שלישית על  $h$  אין צורך לפתרו אותה.

**6) כדור מסתובב מחובר למסה תליה**

מסה  $m$  נעה על שולחן חסר חיכוך ומוחבר באמצעות חוט העובר דרך מרכזו השולחן למסה  $M$  התלויה באוויר.

אורך החוט הוא  $L$ . נתון כי  $b = 0 = t$  המסה  $M$

נמצאת במנוחה והמסה  $m$  נמצאת במרחק  $R$

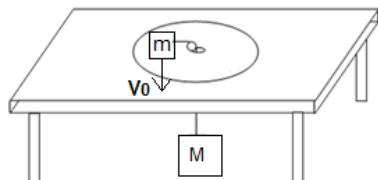
מרכזו הלווי, ב מהירות ההתחלתית  $v_0$ ,

בכוון מאונך לרדיס.

רשום את משוואת שימור האנרגיה והתנע הזוויתי

ומצא משווה דיפרנציאלית התלויה רק בגודל  $r$ ,

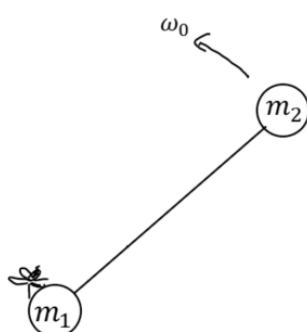
מרחק המסה  $m$  ממרכז השולחן.

**7) מומנט הכוח לא תלוי בנקודות הייחוס**

הוכיחו כי אם הכוח השקול על קבוצת גופים מתאפס אז מומנט הכוח על קבוצת הגוףאים אינו תלוי בנקודות הייחוס.

**8) תנע זוויתי לא תלוי בנקודות ייחוס**

הוכיחו כי אם התנע הקומי של קבוצת גופים מתאפס או התנע הזוויתי שלהם לא תלוי בנקודות הייחוס.



**(9) זובב הולך על מוט\***

שתי מסות נקודתיות  $m_1$  ו- $m_2$  מחוברות באמצעות מוט חסר מסה באורך  $d$ . על המסה  $m_1$  נמצא זובב בעל מסה  $m_3$ . כל המערכת נמצאת על שולחן אופקי ומסתובבת סביב מרכזו המסה שלמה ב מהירות קבועה  $\omega_0$ . ברגע מסוים הזובב מתחילה ליכת על המוט ב מהירות  $v$  ביחס למוט ונוצר כאשר הוא מגיע למרכז המסה של שלושת הגוףים (שימו לב שהמסות לא מחובר לשולחן). מהי המהירות הזוויתית של המערכת כאשר הזובב נעוץ?

### תשובות סופיות:

$$\text{ג. שאלת הוכחה.} \quad \text{ב. } -mgv_0 \cos \alpha t \hat{z} \quad \text{א. } -\frac{1}{2} gt^2 v_0 m \cos \alpha \hat{z} \quad (1)$$

$$u = \frac{m_1 r_1 v_0}{r_2 (m_1 + m_2)} \quad (2)$$

$$\omega'' = \frac{8v_0}{d} \quad \text{ב.} \quad \omega' = \frac{2v_0}{d} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$\vec{L} = lm v(-\hat{z}) \quad \text{ב.} \quad \sum \vec{\tau} = -mgl \sin \alpha \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$(2gH + v_0^2) h_{\max}^2 + 2gh_{\max}^3 + v_0^2 H^2 \quad (5)$$

$$a + br + \frac{c}{r^2} = \dot{r}^2 \quad (6)$$

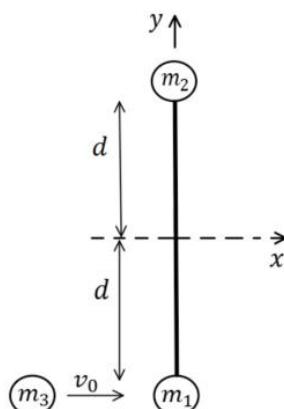
7) שאלת הוכחה.

8) שאלת הוכחה.

$$\omega' = \frac{(m_1 + m_3)(m_1 + m_2)}{m_1(m_1 + m_2 + m_3)} \omega_0 \quad (9)$$

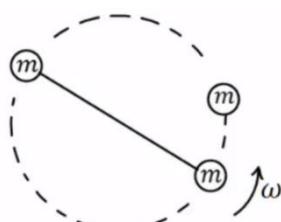
## תנוע זוויתית ביחס למרכז מסה:

שאלות:



- 1)** מסה מתנגשת במוט עם שתי מסות  
שתי מסות נקודתיות  $m_1$  ו- $m_2$  מחוברות באמצעות  
מוט חסר מסה באורך  $d$ . המערכת נמצאת במנוחה  
על שולחן אופקי חסר חיכוך (שתי המסות על השולחן,  
המוט אופקי). מסה שלישית  $m_3$  נעה במהירות  $v_0$   
ומתנגשת התרוגשות פלסטית במסה  $m_1$ .  
נסמן את רגע ההתרוגשות ב- $t = 0$ .  
 $.d = 3m$ ,  $v_0 = 6 \frac{m}{sec}$ ,  $m_1 = m_2 = m_3 = 0.2\text{kg}$

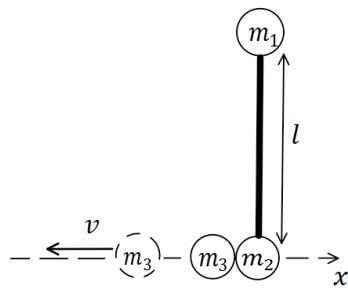
- א. חשבו את מיקום מרכז המסה ברגע  $t_1 = 0.5\text{sec}$   
ביחס לראשית הנמצאת במרכז המוט בהתחלת ואינה נעה עם המוט.  
ב. חשבו את התנוע הזוויתית של המערכת ביחס לראשית הצירים ברגע  $t_1$ .  
ג. חשבו את התנוע הזוויתית של המוט ביחס למרכז המסה שלו ברגע  $t_1$ .  
ד. מצאו את מהירות הזוויתית של המוט ביחס למרכז המסה לאחר  
ההתרוגשות.  
ה. מהי מהירות הקווית של  $m_1$  ומהי מהירות הקווית של  $m_2$  מיד לאחר  
ההתרוגשות?



- 2)** שתי מסות מחוברות מסתובבות ומתנגשות בשלישית  
שתי מסות זהות  $m$  מחוברות במוט חסר מסה באורך  $d$   
ומסתובבות סביב מרכז המסה שלתן במהירות זוויתית  
קבועה  $\omega$ . אחת המסות מתנגש התרוגשות פלסטית במסה  
זהה נוספת הנמצאת במנוחה.  
מצאו את מהירות מרכז המסה של שלושת המסות המחוברות  
לאחר ההתרוגשות ואת מהירות הזוויתית שלתן סביב מרכז  
המסה של שלושתן.

## (3) מסה נפרצת ממוט עם שתי מסות

שלוש מסות  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  נתונות ומחוברות לקצה של מוט באורך 1.



הmassות  $m_3$ ,  $m_2$  מחוברות בקצה התחתון  
באיזור והmassה  $m_1$  בקצה העליון.

המוט נמצא על שולחן חסר חיכוך (באיזור המבט  
מלמעלה) ובמנוחה.

ברגע מסויים יש פיצוץ בין massות  $m_2$ ,  $m_3$  וmassה  $m_1$

והmassה  $m_3$  מתנתקת מהmassות וממשיכה

במהירות  $v$  נתונה (ביחס לשולחן) ובמאונך למוט.

הmassה  $m_2$  נשארת מחוברת למוט.

נתון כי:  $m_1 = M$ ,  $m_2 = M$ ,  $m_3 = 3M$ .

א. מצא את מהירות מרכז המסה של המוט (עם massות המוחוברות).

ב. מצא את המהירות הזוויתית של המוט סביב מרכז המסה שלו.

## תשובות סופיות:

$$\text{. } L_{c.m.} = 4.8 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \text{ ג. } \quad \text{. } L = 3.6 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \text{ ב. } \quad \text{. } \vec{r}_{cm}(t_1) = (1_m - 1_m) \text{ א. } \quad (1)$$

$$\text{. } V_1 = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x}, V_2 = -2 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \hat{x} \text{ ה. } \quad \text{. } \omega = 1 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \text{ ט. } \quad (2)$$

$$\text{. } u_{1,2,3_{c.m.}} = 0, \omega' = \frac{3}{4} \omega \quad (2)$$

$$\omega = \frac{3v}{l} \text{ ג. } \quad \text{. } v_{1,2_{c.m.}} = \frac{3}{2} v \text{ א. } \quad (3)$$

# יסודות הפיזיקה א - 2013

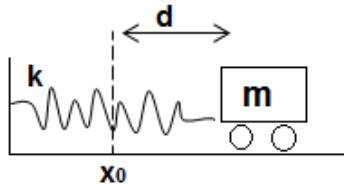
## פרק 16 - תנועה הרמוניית -

### תוכן העניינים

203 .....	1. תנועה הרמוניית פשוטה.....
206 .....	2. בור פוטנציאלי.....
208 .....	3. תנועה הרמוניית מרוסנת.....
210 .....	4. תנועה הרמוניית מאולצת.....
212 .....	5. תרגילים מסכמים.....
215 .....	6. תרגילים מסכמים (מטוטלות שונות)
218 .....	7. תרגילים למתקדמים.....
221 .....	8. תרגילים לביקשת סטודנטים.....

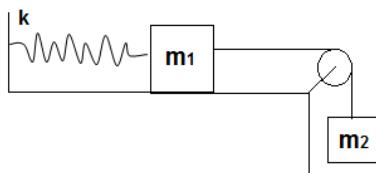
## תנועה הרמוניית פשוטה:

שאלות:



**1) מסה מתנוגשת במסה**

מסה  $m$  מונחת על שולחן ללא חיכוך ומחוברת לקפיץ המחבר לקיר בעל קבוע קפיץ  $k$ . מונחים את המסה מרחק  $d$  מהמקום בו הקפוץ רופיע ומשחררים ממנוחה. מצא את  $(t)x$  של המסה.



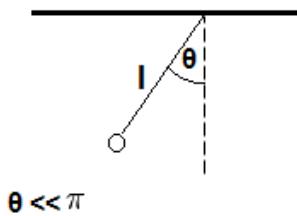
**2) מסה על שולחן מחוברת למסה תלולה**

מסה  $m_1$  מונחת על שולחן ללא חיכוך ומחוברת לקפוץ בעל קבוע  $k$ . ממסה זו יצא חוט העובר דרך גלגלת אידיאלית וקשרו למסה נוספת התלויה באוויר  $M$ .

א. מצא את נקודת שיווי המשקל של המערכת (קבע את הראשית בנקודת שבה הקפוץ רופיע).

ב. מצא את תדריות התנועה של המערכת.

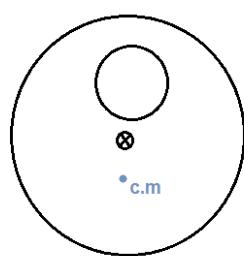
ג. מהי האמפליטודה המקסימלית האפשרית לתנועה כך שהמתיחות בחוט לא תתאפס במהלך התנועה?



**3) דוגמה - מטוטלת מתמטית (עם מומנטים)**

נתונה מטוטלת (מתמטית) התלויה מהתקarra. אורך החוט של המטוטלת הוא  $l$ .

מצא את תדריות התנועות הקטנות ואת הזווית כפונקציה של הזמן. הנח כי המטוטלת מתחילה את תנועתה ממנוחה בזווית ידועה  $\theta$  (דרך מומנטים).



**4) דוגמה - דיסקה עם חור**

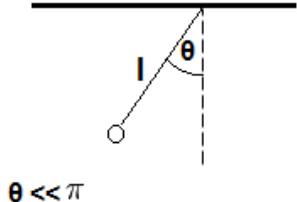
מצא את תדריות התנועות הקטנות של דיסקה בעלת מסה  $M$  ורדיוס  $R$  אם ידוע כי במרחק  $R$  ממרכז הדיסקה קדחן חור ברדיוס רביעי  $R$  (הדיסקה מחוברת במסמר במרכז אל הקיר).

**5) דוגמה - מטוטלת מתמטית (עם אנרגיה)**

נתונה מטוטלת (מתמטית) תלוייה מהתקשה.

אורך החוט של המטוטלת הוא  $l$ .

מצא את תדריות התנודות הקטנות ואת הזווית כפונקציה של הזמן.

הנח כי המטוטלת מתחילה את תנועתה ממנוחה בזווית ידועה  $\theta$  (דרך אנרגיה).

$$\theta \ll \pi$$

**6) גליל מחובר לקפיץ מתגלגל ללא חילקה**גליל בעל מסה  $m$  ורדיוס  $R$  נמצא על משטח אופקי

לא חלק ומוחבר באמצעות קפיצים אל הקיר.

קבוע הקפיצים הוא  $k$  והוא מחובר למרכו של הגליל.

הנח שתנועת הגליל אופקית בלבד והוא מתגלגל ללא חילקה על המשטח.

מצא את תדריות התנודות הקטנות.

פתרונות פעם אחד באמצעות אנרגיה ופעם נוספת באמצעות כוחות ומומנטים.

**7) גלגלת מסה וקפיץ**במערכת הבאה, המסה  $m_1$  קשורה בחוט דרך גלגלת אל קפיצים המוחבר לקרקע. הגלגלת אינה איזידלית.נתון:  $R$  רדיוס הגלגלת,  $m_2$  מסת הגלגלת,  $k$  קבוע הקפיצים.

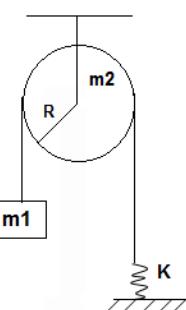
הנח כי החוט לא מחליק על הגלגלת.

א. מצא את נקודת שיווי המשקל.

ב. מצא את תדריות התנודה.

ג. מושכים את המסה אורך  $d$  מנקודת שיווי המשקל.מהו  $d_{\max}$  המרחק המקסימלי שנייתן לשוזך את המסנה

מבלית שהמתיחות בחוט תתאפס במהלך התנועה?

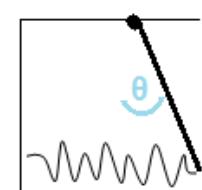
**8) מוט תלוי מחובר עם קפיצים לקרקע**מוט בעל אורך  $L$  ומסה  $M$  (התפלגות אחידה)

תלויה מהתקשה וחופשי להסתובב סביב נקודת התלייה.

קצתו השני של המוט מחובר בקפיצים, בעל קבוע  $k$  לקרקע.

הקפיצים רפוויים כאשר המוט נמצא מאונך לתקררה.

א. הראה כי תנועת המוט בזווית קטנות היא תנועה הרמוניית ומצא את תדריות התנועה.

ב. מצא את הזווית של המוט כפונקציה של הזמן אם המוט משוחרר ממנוחה בזווית נתונה  $\theta_0$ .

**תשובות סופיות:**

$$x(t) = -\frac{v_0}{2} \sqrt{\frac{2m}{k}} \cos\left(\sqrt{\frac{k}{2m}}t + \frac{\pi}{2}\right) + x_0 \quad (1)$$

$$A_{\max} = \frac{g}{\omega^2} \quad . \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m_1+m_2}} \quad . \quad x = \frac{m_2 g}{k} \quad . \quad (2)$$

$$\theta(t=0) = -\omega A \sin \varphi \quad (3)$$

$$-\left(\frac{16}{247} \frac{g}{R}\right)(\theta - 0) = \ddot{\theta} \quad (4)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad \theta(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

$$E = \frac{3}{4} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k x^2 \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{2k}{3m}} \quad . \quad (6) \quad \text{באמצעות אנרגיה:}$$

$$\sum F_x = -k(x - x_3) = m \ddot{x} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{2k}{3m}} \quad . \quad \text{באמצעות כוחות ומומנטים:}$$

$$d_{\max} = \frac{m_1 g}{k} \quad . \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m_1 + \frac{1}{2} m_2}} \quad . \quad x_0 = \frac{m_1 g}{k} \quad . \quad (7)$$

$$\theta(t) = \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{k^+}{m^+}} t\right) \quad . \quad \omega = \sqrt{\frac{k^+}{m^+}} \quad . \quad (8)$$

## בור פוטנציאלי:

שאלות:

### 1) פוטנציאל לנארד-ג'ונס

פונקציית הפוטנציאל של לנארד ג'ונס מתארת את האינטראקציה בין אטומים

$$U(r) = \epsilon \left[ \left( \frac{r_0}{r} \right)^{12} - 2 \left( \frac{r_0}{r} \right)^6 \right]$$

כאשר  $\epsilon$  ו-  $r_0$  קבועים ו-  $r$  הוא המרחק בין המולקולות. מצא את התדריות של תנודות קטנות סביב שיווי משקל של המערכת. ניתן להניח שמדובר בחלקיק אחד במשקל  $m$  המרגיש את הפוטנציאל מחלקיק שני במשקל  $M$  הנשאר נייח ( $M \ll m$ ).

### 2) מטוטלת מתמטית וקפיץ עם אנרגיות

מטוטלת עם מסה  $m$  תלולה מהתקלה באמצעות חוט באורך  $L$ .

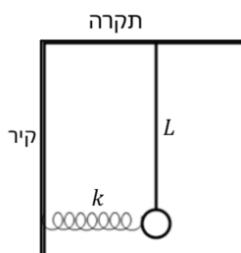
kosherim למסה קפיץ בעל קבוע  $k$  המחבר אופקטיבית לקיר.

הקפיץ במצב רופוי כאשר החוט מאונך לתקרה.

מזיזים את המסה זווית קטנה  $\theta$  ימינה ומשחררים ממנוחה.

א. מצאו את הזווית של המסה כתלות בזמן.

ב. מהי המתייחסות בחוט כאשר המוט נמצא במצב א נכי תוך כדי תנועה.



### 3) עיפרון עם מוטות בשוויי משקל

הגוף שבאיור מרכיב מעיפרון בעל מסה זניחה ואורך  $L$ .

לקצה של העיפרון מחוברים שני כדורים בעלי מסה  $m$

באמצעות מקלות דקים חסרי מסה באורך  $l$  ובזווית  $\alpha$ .

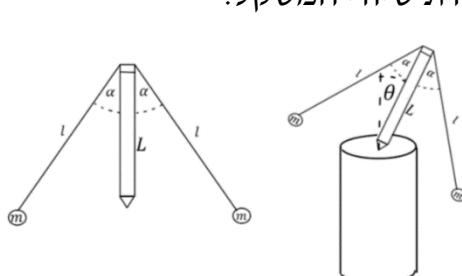
מניחים את הגוף על מעמד ומטילים אותו בזווית  $\theta$  במישור הדף.

א. רשמו את האנרגיה הפוטנציאלית של הגוף כתלות בזווית  $\theta$ .

ב. באיזו זווית  $\theta$  יהיה הגוף בשוויי משקל?

ג. מה התנאי לכך ששוויי המשקל יהיה יציב?

ד. מהו זמן המחזור של התנדות סביב נקודת שוויי המשקל?



**תשובות סופיות:**

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{72\varepsilon}{mv_0}} \quad (1)$$

$$T = mg + (mg + kL)\theta_0^2 \cdot \text{ב} \quad \theta(t) = \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{mg + kL}{mL}} \cdot t\right) \cdot \text{א} \quad (2)$$

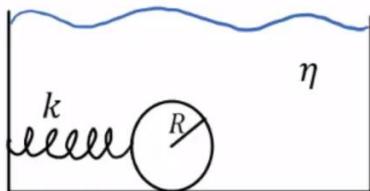
$$L < l \cos \alpha \cdot \text{ג} \quad \theta = 0 \cdot \text{ב} \quad U = 2mg(L - l \cos \alpha) \cos \theta \cdot \text{א} \quad (3)$$

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{l \cos \alpha - L}{L^2 + l^2 - 2Ll \cos \alpha}}} \cdot \text{ט}$$

## תנועה הרמוניית מרוסנת:

שאלות:

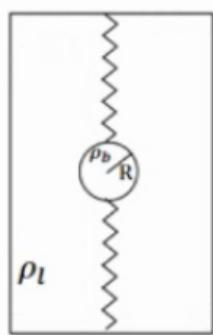
**1) כדור במיכל מים**



כדור בעל מסה  $m$  ורדיויס  $R$  נמצא בתחום מיכל מים ומחובר באמצעות קפיץ אופקי לדופן המיכל. קבוע הקפיץ הוא  $k$ . בתנועת הגוף במים, מפעלים המים על הכדור כוח התנגדות המתכוונתי וההפוך למחרותו. כוח זה נקרא כוח סטוקס וגודלו הוא:  $\bar{F} = -6\pi R \eta \dot{\eta}$ . כאשר  $\eta$  היא צמיגות המים ו-  $R$  הוא רדיוס הכדור.

התיחס ל-  $m$ ,  $k$ ,  $\eta$ ,  $R$  נתונים ומצא את תדריות התנודות של הכדור בהנחה ש-  $R < \frac{\sqrt{mk}}{3\pi\eta}$ .

**2) שני קפיצים בנוזל**



כדור נמצא בתחום תיבת מלאה במים ומחובר עם קפוץ אידיאלי לקצה העליון של התיבה ועם קפוץ אידיאלי נוסף זהה לקצה התיכון של התיבה.

נתון:  $R$  - רדיוס הכדור,  $m$  - צפיפות המסה של הכדור,  $\rho$  - צפיפות המסה של המים,  $K$  - קבוע שני הקפיצים ו-  $\eta$  - צמיגות המים.

(תזכורת: כאשר כדור מצוי בתחום נוזל פועלים עליו כוח ציפה:  $F = \rho g V$  וכוח סטוקס:  $F = -6\pi R v$ ).

א. מצא את נקודת שיווי המשקל של המערכת.

ב. מה התנאי שייהו תנודות הרמוניות?

מצא את התדריות בהנחה שתנודות אלו מתקינות.

ג. מצא את התנאי בו יחולר הכדור כדי מהר לנקודת שיווי המשקל.

**3) איבוד אנרגיה במחזור**

בתנועה הרמוניית מרוסנת קיימים ריסוון חלש כך שהאמפליטודה של התנועה יורדת ב-2.5 אחוז כל מחזור. בכמה אחוז יורדת האנרגיה בכל מחזור?

**4) משקלות במיכל מים תלוייה מהתקרה**

משקלות שמסתה :  $M = 1\text{kg}$  נמצאת במיכל מים ומחוברת לתקרה באמצעות כפץ בעל קבוע :  $\frac{N}{m} = 20 \cdot k$ . כוח הה拮נות שפעילים המים הוא מהצורה של :  $\vec{F} = -\lambda \vec{t}$  כאשר :  $\lambda = \frac{\text{kg}}{\text{sec}} = 4$  ו-  $\vec{t}$  היא מהירות המסה. הניחו שהמשקלות אינה יוצאת מהמים ואנייה פוגעת ברצפה.

- A. תוק כמה זמן תרד האמפליטודה לחמישית מגודלה ההתחלתית?  
(הניחו שהפאזה היא אפס)

B. לאחר כמה מחזוריים זה יקרה?

**5) מסה באmbט מים וدبש**

מסה :  $m = 2\text{kg}$  נמצאת באmbט מלא מים, המסה מחוברת באמצעות שני קבועים והם בעלי קבוע :  $\frac{N}{m} = 25 \cdot k$  לשתי דפנות האmbט ונעה ללא חיכוך עם ריצפת האmbט. מזיזים את המסה  $m$  0.5 מנקודות שיווי המשקל ומשחררים ממנוחה. התגנות המים מפעילה כוח גראן :  $\vec{F} = -\lambda \vec{t}$  כאשר :  $\lambda = \frac{\text{kg}}{\text{sec}} = 10$ .

- A. מהו העתק המסה כתלות בזמן?  
B. מחליפים את המים בדבש מה שמנגדיל את  $\lambda$  פי  $\sqrt{2}$ . מזיזים שוב את המסה  $m$  ומשחררים, מהו העתק המסה כתלות בזמן?

**תשובות סופיות:**

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{3\pi R \eta}{m}\right)^2} \quad (1)$$

$$\frac{2K}{m} = \frac{6\pi\eta R^2}{2m} \cdot \lambda \quad \omega^* = \sqrt{\frac{2K}{m} - \left(\frac{6\pi\eta R}{2m}\right)^2} \quad \text{ב.} \quad y_{eq} = \frac{F_b}{2K} \cdot \text{א.} \quad (2)$$

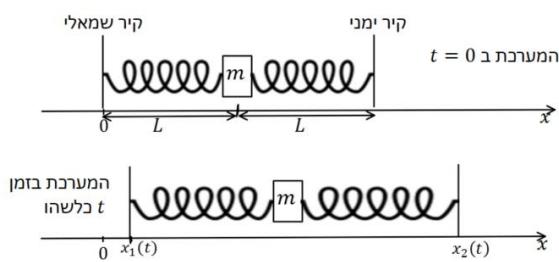
5% (3)

ב. בערך מחזור אחד. 1.6 sec. א. (4)

$$x(t) = \left(\frac{1}{2} + \frac{5}{\sqrt{2}} t\right) e^{-5\sqrt{2}t} \cdot \text{ב.} \quad x(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-5t} \cos\left(5t + \frac{\pi}{4}\right) \cdot \text{א.} \quad (5)$$

## תנועה הרמוניית מאולצת:

**שאלות:**



על המסה פועל כוח גרא:  $-F = -bv$ . ב-  $t=0$  הקירות מתחילה לזרז. ראשית הזרים ממוקמת במרכז התנועה של הקיר השמאלי והכיוון החיוויי ימינה. מיקום הקירות כתלות בזמן הוא:  $x_1(t) = d \sin(\omega t)$ ,  $x_2(t) = 2L + 2d \sin(\omega t)$ .

נתונים:  $m$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $\omega$ ,  $b$ ,  $k$ .

- מהי תדירות התנועה ומהי האמפליטודה?
- מה התנאי לתהודה בהנחה כי הריסון חלש מאוד?

### 2) מציאת תדרות רביע אמפליטודה

mass  $m$  מחוברת לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k$ , המסה נעה על מישור חלק ללא חיכוך.

על המסה פועל כוח גרא:  $-F = -f \cdot \cos(\omega t)$  וכוח מאלץ:  $f = b \cdot v$ .

מציאת תדרות הכוח בה אמפליטודת התנועה במצב העמיד תהיה רביע מהאמפליטודה המקסימלית.

הנח כי:  $d = m \cdot k$ ,  $b = \sqrt{mk}$ .

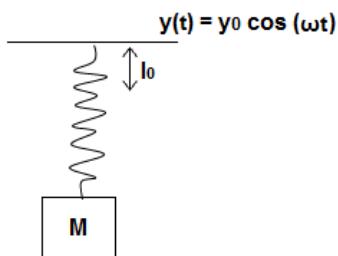
### 3) מסה תלולה על קרש נע

mass  $M$  מחוברת באמצעות קפיז אנכי לקרש אופקי הנע בציר ה-  $y$

לפי:  $y(t) = y_0 \cos(\omega t)$ .

קבוע הקפיז  $k$  ואורכו הרפו  $l_0$  נתוניים.

מציאת מיקום המסה כפונקציה של הזמן.



### תשובות סופיות:

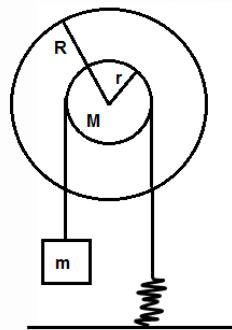
$$\omega \sim \sqrt{\frac{2k}{m}} \quad \text{ב.} \quad A(\omega) = \frac{\frac{3kd}{m}}{\sqrt{\left(\frac{2k}{m} - \omega^2\right)^2 + \left(\frac{b}{m}\right)^2 \omega^2}} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4C}}{2}} \quad (2)$$

$$y(t) = \frac{\frac{F_0}{m}}{\frac{k}{m} - \omega^2} \cos \omega t + y'_0 \quad (3)$$

## תרגילים מסכימים:

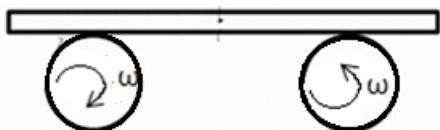
שאלות:



**1) דיסקה כפולה מסה וקפיץ**

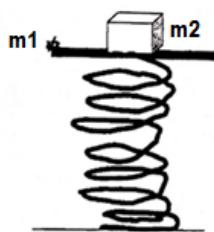
נתונה דיסקה ממושמרת במרכזה לקיר (כלומר הדיסקה יכולה להסתובב אך לא לנוע מעלה ומטה). הדיסקה בניה משתי דיסקות מודבקות בעלות רדיוס  $r$  לדיסקה הקטנה ו-  $R$  לדיסקה הגדולה. סיבוב הדיסקות מלווה חוטים כמתואר בשרטוט. עוד נתון כי אין החלקה לחוטים.

- מצאו את תדריות התנודות.
- מהי האנרגיה הכוללת של המערכת?



**2) מוט על שני גלגלים**

מוט בעל מסה  $M$  מונח על שני גלגלים המקובעים במרכזהם. הגלגלים מסתובבים במהירות זוויתית  $\omega$  כך שהגלגל הימני מסתובב נגד כיוון השעון והשמאלי עמו כיוון השעון. בין המוט והגלגלים קיימים חיכוך ומקדם החיכוך הקינטי נתון. מניחים את המוט כך שמרכזו נמצא במרחק  $A$  מהמרכז בין הגלגלים. מצא את תדריות התנודה של המוט.



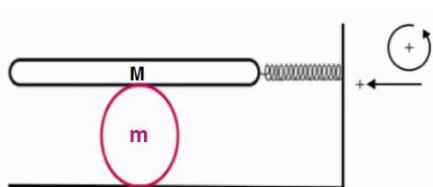
**3) מסה על משטח על קפיץ אנכי**

על קפיץ שקבועו א' מונח משטח שמסתו  $m_1$ , המשטח צמוד לקצוות של הקפיץ. על המשטח מונח גוף שמסתו  $m_2$ . מכוחים את הקפיץ בשיעור  $\Delta y$  ומשחררים.

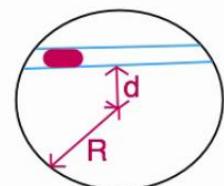
א. מה צריך להיות  $\Delta y_{\min}$  כדי שהגוף יתנתק מן המשטח באיזה שהוא שלב?

ב. הניחו:  $m_2 = 0.06\text{kg}$  ,  $m_1 = 0.04\text{kg}$  ,  $k = 10 \frac{\text{Nr}}{\text{m}}$  ,  $\Delta y = 2\Delta y_{\min}$  ומצאו את רגע הניתוק.

ג. באמצעות הנתונים המופיעים מסעיף ב', מהו מקומו ומהירותו של המשטח ברגע שהגוף ניתק מן המשטח?



- 4) משטח על דיסקה מחובר לקפיץ  
נתונה מערכת כבשותות (אין החלקה במערכת).  
מהי תדירות?



- 5) תנודה בתעלת כדורייה  
בתוך כדור הארץ נחפרה תעלה כבשותות.  
מסת כדור הארץ  $M$ .  
מהי תדירות התנודות הקטנות של מסה החופשית לנوع בתעלת?

- 6) שתי מסות מחוברות בקפיץ\*\*  
שתי מסות  $m_1$  ו-  $m_2$  מחוברות בקפיץ בעל קבוע  $k$  ואורך רפי  $l$ .  
הmassות נמצאות במנוחה על מישור אופקי חלק.  
נתנים דחיפה ימינה למסה  $m_1$  המKENה לה מהירות התחלתית  $v_0$ .  
א. מהי תדירות התנודות של התנועה (כתלות בנתוני הבעיה)?  
רמז: על מנת לפתור את המשוואות יש להחליף משתנים  
-ל-

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

- ב. מצאו את מיקום המסה  $m_2$  כתלות בזמן.

**תשובות סופיות:**

$$E_{\text{total}} = \frac{1}{2}Kx^2 - mgx + \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}m\dot{x}^2 \quad \text{ב.ג.} \quad \sqrt{\frac{2kR}{\frac{1}{2}MR + \frac{r^2}{R}}} \cdot \omega \quad \text{(1)}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\mu_k g}{d}} \quad \text{(2)}$$

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \cos^{-1} \left( -\frac{1}{2} \right) \cdot \text{ב.ג.} \quad \Delta y_{\min} = \frac{(m_1 + m_2)}{k} \cdot \omega \quad \text{(3)}$$

$$v(t) = \dot{y}(t) = -2\Delta y_{\min} \omega \sin(\omega t), \Delta y_{\min} = \frac{(m_1 + m_2)}{k} \cdot \omega \quad \text{(3)}$$

$$\ddot{x} = -\left( \frac{K}{m+2M} \right) x \quad \text{(4)}$$

$$\ddot{x} = -\left( \frac{M}{R^3} \right) (x - 0) \quad \text{(5)}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{\mu}}, \quad \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot \omega \quad \text{(6)}$$

$$, \quad A = \frac{\sqrt{v_0^2 + l^2 \omega^2}}{\omega}, \quad x_2(t) = \frac{m_1}{m_1 + m} (l + v_0 t) - \frac{m_1}{m_1 + m_2} A \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{ב.ג.}$$

$$\tan \varphi = -\frac{v_0}{\omega l}$$

## תרגילים מסכימים (מטוטלות שונות):

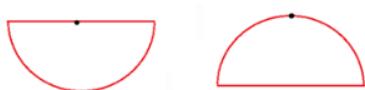
**שאלות:**

**1) שני חצאי דיסקה**

נתונים שני חצאי דיסקה התלויים על מסמר כמתואר בشرطוט.

מסת הדיסקה ורדיוסה נתונים.

מצא את התדריות של כל אחד מחצאי הדיסקה.



**2) חצי חישוק ושתי מסות**

מצא את תדריות חצי החישוק שבתמונה.

רדיוס R ומסתו M, בקצבותיו חוברו שתי מסות m.

הчисוק תלוי ממסמר בקודקודו.



**3) מטוטלת על עגלה נעה**

עגלה בעלת מסה  $m_2$  חופשיה לנוע על משטח אופקי ללא חיכוך.

אל העגלה מחובר מוט אנכי עליו תליה מטוטלת מתמטית עם מסה  $m_1$  ואורך חוט a.

משחררים את המסה (של המטוטלת) בזווית נתונה כאשר כל המערכת נמצא במנוחה.

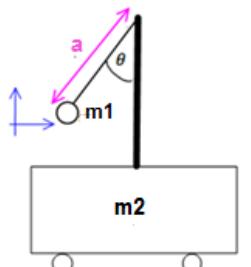
א. רשמו את מהירות המטוטלת במערכת העגלה כפונקציה של  $\theta$  ו- $\dot{\theta}$ .

ב. רשמו את מהירות העגלה והמטוטלת כפונקציה של  $\theta$  ו- $\dot{\theta}$ .

ג. רשמו את משוואת שימור האנרגיה המכנית של המערכת.

ד. רשמו את משוואת שימור האנרגיה בתנודות קטנות.

ה. מצאו את תדריות התנודה של המסה M.



**4) קפיץ מוט ומסה**

נתונה מסה m מחוברת לקפיץ בעל קבוע k.

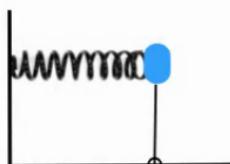
המסה גם מחוברת למוט חסר מסה בעל אורך l.

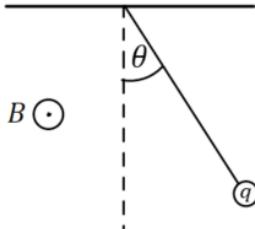
המוט מחובר לרצפה בציר המאפשר לו להסתובב.

המערכת בשרטוט נמצא במצב שיווי משקל.

א. מהי תנודות התנודות הקטנות של המערכת?

ב. מהי המסה המקסימלית שתאפשר תנודות זו?



**5) מטוטלת בשדה מגנטי**

מטוטלת מתמיטית שאורכה  $L$ , מסתה  $m$  ומטענה  $q$  נתונה בשדה מגנטי אופקי  $B$  היוצא מהדף. השדה המגנטי יוצר כוח מגנטי על המטוטלת כאשר היא בתנועה לפי הנוסחה:  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ .

- מצא את הכוחות הפועלים על המטוטלת במהלך התנועה כתלות בזווית  $\theta$  ובמהירות  $v$ .
- מסיטים את המטוטלת זווית קטנה  $\theta_0$  ומשחררים במנוחה. מצא את משוואת התנועה של המטוטלת ומשם את מיקום המטוטלת כתלות בזמן עברו זווית קטנות.
- מהי הਮתייחות בחוט כתלות בזמן.
- מהי הਮתייחות המקסימלית בחוט ובאיזה זווית ומהירות מצב זה מתרחש?

**תשובות סופיות:**

$$\text{דיסקה 2 : ראה סרטוון.} \quad \text{דיסקה 1 : } -\left(\frac{A}{B}\right) \cdot (\theta - (0)) = \ddot{\theta} \quad (1)$$

$$-\frac{(2m+M) \cdot gb}{I} \theta = \ddot{\theta} \quad (2)$$

$$v_x = \dot{\theta}a \cos \theta, v_y = \dot{\theta}a \sin \theta \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$v_{I_x} = \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)^{-1} a \dot{\theta} \cos \theta, v_{I_y} = \dot{\theta} a \sin \theta \quad \text{ב.}$$

$$E = \frac{1}{2} m_1 \left( \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) \right)^{-2} a^2 \dot{\theta}^2 \cos^2 \theta + \dot{\theta}^2 a^2 \sin^2 \theta - m_1 g a \cos \theta \quad \text{ג.}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\frac{ga^2}{2}}{\left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)^{-1} a^2}} \quad \text{ה.} \quad E = \frac{1}{2} m_1 \left( \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)^{-1} a^2 \dot{\theta}^2 + \frac{ga}{2} \theta^2 \right) - m_1 g a \frac{1}{2} \quad \text{ט}$$

$$m < \frac{lk}{gv} \quad \text{ב.} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{g}{l}} > 0 \quad \text{א.} \quad (4)$$

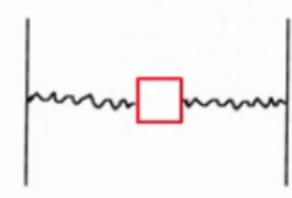
$$\theta(t) = \theta_0 \cos \left( \sqrt{\frac{g}{L}} t \right) \quad \text{ב.} \quad \text{כיוון החוצה מהמעגל.} \quad \vec{F} = qvB \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$\theta_0 \ll \frac{2qB}{m} \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \text{עבור} \quad T(t) = -qB \sqrt{gL} \theta_0 \sin \left( \sqrt{\frac{g}{L}} t \right) + mg \quad \text{ג.}$$

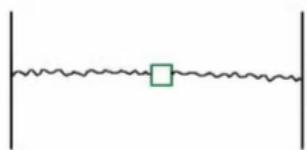
$$T_{\max} = mg + qB \sqrt{gL} \theta_0 \quad \text{ט}$$

## תרגילים למתקדמים:

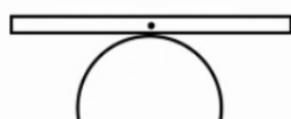
שאלות:



- 1) מסה בין שני קפיצים עם אורך זניח**  
 בין שני קירות במרחק  $L$  נמצאת מסה  $m$  המחברת לקירות בקפיצים בעלי מקדם  $k$  ואורך רפי זניח.  
 א. מצא את תדריות התנודות הקטנות בציר ה- $x$ .  
 ב. מצא את תדריות התנודות הקטנות בציר ה- $y$ .



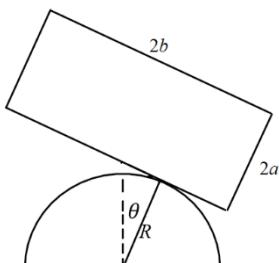
- 2) מסה בין שני קפיצים\*\* (אורך רפי לא זניח)**  
 בין שני קירות במרחק  $L$  נמצאת מסה  $m$  המחברת לקירות בקפיצים בעלי מקדם  $k$  ואורך רפי  $l_0$ .  
 מצא את תדריות התנודות הקטנות בציר ה- $y$ .



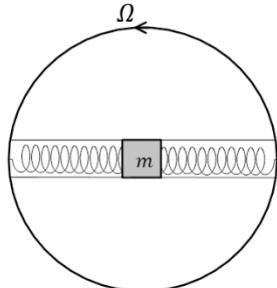
- 3) מוט על חצי כדור\*\***  
 מוט בעל אורך  $l$  ומסה  $m$  מונח על כדור בעל רדיוס  $R$ .  
 א. מצא את תדריות התנודות הקטנות של המוט.  
 ב. מצא את גובה מרכז המסה של המוט כפונקציה של זווית ההטייה.



- 4) עכבייש בשוויי משקל יציב\***  
 מוט בעל מסה  $M$  ואורך  $l$  מחובר ברבע מגובהו לציר. מתחתיית המוט עכבייש בעל מסה  $m$  מטפס כלפי מעלה. מצא את תדריות המערכת כפונקציה של מיקום העכבייש וממצא את משקל העכבייש המקסימלי שישאיר את המערכת בשוויי משקל יציב.

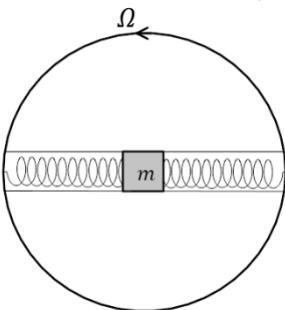


- 5) תיבה על כיפה חצי כדורית\*\***  
 תיבה שטסהה  $M$  מונחת על כיפה גלילית חצי עגולה ברדיוס  $R$ . גודל התיבה הוא  $2a \times 2b$ .  
 מניחים את התיבה על ראש הכיפה כך שמרכזה בדיקן מעל מרכז הכיפה. לאחר מכן מטים את התיבה מעט הצידה כך שהיא מתגלגת ללא החלקה על הכיפה.  
 מצא את תדריות התנודות הקטנות של התיבה על ראש הכיפה מה התנאי שהיו תנודות?



**6) מסה בתוך חישוק מסתובב  
(כולל קוריואלייס וקורודיניות פולריות)**

גוף שמסתו  $m$  נמצא במרכז תעלת הנמצאת לאורך קוטרו של חישוק. המערכת מונחת על השולחן כך שכוח הכבידת לתוכה הגוף. הגוף מחובר לשני קבועים זהים אחד מכל צד המוצויים במצב הרפיי כאשר הגוף במרכז החישוק. קבוע הקבועים הוא  $a$ . מסובבים את החישוק ב מהירות זוויתית  $\Omega$  ומרחיקים את המסה מעט מהמרכז. רשום משווה כוחות במערכת החישוק, מה התנאי לתנועה הרמוניית ומהי תדריות התנועה אם התנאי מתקיים? (מומלץ לפתור גם באמצעות ק. פולריות).



**7) מסה בתוך חישוק מסתובב עם חיכוך  
(כולל קוורדייניות פולריות, קוריואלייס, ותנועה מרוסנת)**

גוף שמסתו  $m$  נמצא במרכז תעלת הנמצאת לאורך קוטרו של חישוק. המערכת מונחת על השולחן כך שכוח הכבידת לתוכה הגוף. הגוף מחובר לשני קבועים זהים אחד מכל צד המוצויים במצב הרפיי כאשר הגוף במרכז החישוק. קבוע הקבועים הוא  $a$ . מסובבים את החישוק ב מהירות זוויתית  $\Omega$  ומשחררים את המסה ממנוחה במרקם  $d$  מהמרכז. בין המסה והדופן של התעלה קיים חיכוך (אין חיכוך עם הבסיס). מקדמי החיכוך הסטטי והקינטי הם:  $\mu_k$ ,  $\mu_s$ .

א. רשום משווה כוחות במערכת החישוק, מהם התנאים לתנועה הרמוניית?

האם צריך את מקדם החיכוך הסטטי?

ב. מצא את המיקום כתלות בזמן בהנחת התנאים של סעיף א',

מהו מקדם האיכות של המערכת?

(מומלץ לפתור גם באמצעות ק. פולריות).

### תשובות סופיות:

$$\omega_y = \sqrt{\frac{2k}{m}} . \text{ב} \quad \omega_x = \sqrt{\frac{2k}{m}} . \text{א} \quad (1)$$

$$-\left(2k \frac{L \cdot l_0}{L}\right)y = \ddot{y} \quad (2)$$

$$y_{c.m} = R \left(1 + \frac{\theta^2}{2}\right) . \text{ב} \quad \omega = \sqrt{\frac{12gR}{l^2}} . \text{א} \quad (3)$$

$$-\left(m'g \frac{C}{I}\right)\theta = \ddot{\theta} \quad (4)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g(R-a)}{\frac{1}{3}(a^2+b^2)+a^2}} \quad (5)$$

$$(-2k - \Omega^2 m)x = m\ddot{x}, \quad 2k - \Omega^2 m > 0, \quad \omega = \sqrt{\frac{2k - m\Omega^2}{m}} \quad (6)$$

$$-2kx + m\Omega^2 x - 2\mu_k m\Omega \dot{x} = m\ddot{x}, \quad \Omega^2 \left(1 + \mu_k^2\right) < \frac{2k}{m} . \text{א} \quad (7)$$

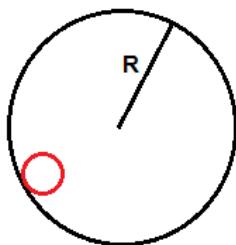
$$Q = \frac{\omega_0}{\Gamma} = \frac{\sqrt{\frac{2k}{m}}}{2\mu_k \Omega}, \quad x(t) = e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \left( d \cos(\tilde{\omega}t) - \frac{d\sqrt{1-\omega_0^2}}{\tilde{\omega}} \sin(\tilde{\omega}t) \right) . \text{ב}$$

## תרגילים לבקשת סטודנטים:

**שאלות:**

**1) כדור מתגלגל בциינור.**

דיסקה בעלת רדיוס  $r$  מתגלגלת בתוך צינור מקובע לרצפה בעל רדיוס  $R$ . מותר להשתמש בקירות זוויתות קטנות ומותר להזניח את הרדיוס הקטן בלבד.



א. מה תהיה תזרירות התנודות הקטנות של הדיסקה, בהנחה שאין חיכוך?

ב. מה תהיה התשובה לסעיף א' אם יוסיפו חיכוך עם הרצפה והגלגול יהיה ללא חילקה?

ג. מה תהיה התזרירות עם בנוסף לחיכוך עם הרצפה יתווסף?  
כוח חיכוך :  $F = -bv$



**2) קפיץ נמתח להतארכות מקסימלית**

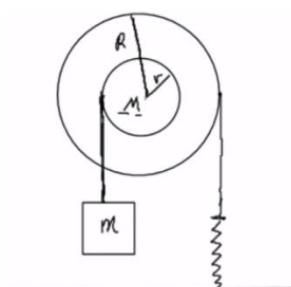
קליע בעל מסה זניחה נע במהירות לא ידועה לעבר מסה  $m_2$  שמחוברת למסה  $m_1$  דרך קפוץ בעל מקדם אלסטי  $k$ .



המסה  $m_1$  ניצבת בצדוד לקיר כמתואר בשרטוט. א. לאחר פגיעה הקליע הקפוץ מתכווץ במצב המקסימלי ומאביד  $d$  מאורכו.

מהי מהירות מרכזו המסה מייד לאחר שהמערכת מתנתתקת מהקיר?

ב. על מערכת בעלת נתוני זהים ואורך קפוץ  $d$  מופעל כוח קבוע  $F$  לכיוון המסומן בציור. מה ההתארכות המקסימלית של הקפוץ?



**3) דיסקה כפולה מסה וקפיז**

נתונה דיסקה ממושمرת במרכזה לקיר (כלומר הדיסקה יכולה להסתובב אך לא לנוע מעלה ומטה).

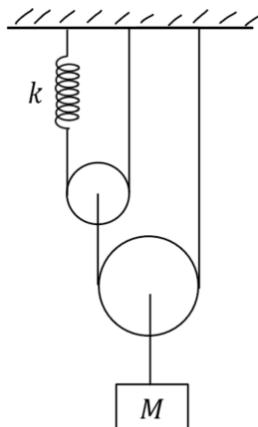
הדיסקה בנוי משתי דיסקות מודבקות בעלות רדיוס  $r$  לדיסקה הקטנה ו-  $R$  לדיסקה הגדולה.

סביב הדיסקות מלופפים חוטים כמתואר בשרטוט. עוד נתון כי אין חילקה לחוטים.

א. מצא את תזרירות התנודות.

ב. מהי האנרגיה הכוללת של המערכת?

(4) הרמוניית עם גזירה של חוט ורק למי שמכיר את הנושא של תאוצות לא שווות) במערכת הבאה הגלגולות והקפיץ אידיאליים.



- קבוע הקפיץ הוא:  $M = 4\text{kg}$   $k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  והמסה:  $\text{.}$
- מצאו את התארכויות הקפיץ במצב שיווי המשקל.
  - מה ההעתק של המשקולת במצב שיווי המשקל (ביחס למצבה כשהקפיץ רופוי).
  - מהי תדריות התנודות של המערכת?
  - モותחים את המשקולת מטה  $20\text{cm}$  מנקודת שיווי המשקל ומשחררים ממנוחה. רשמו ביטוי למקום של המשקולת כתלות בזמן.

### תשובות סופיות:

$$\omega' = \sqrt{\omega_0^2 \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2} \quad \text{ג.} \quad \omega = \sqrt{\frac{2g}{3R}} \quad \text{ב.} \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{R}} \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\Delta = \frac{F}{2k + k \frac{m_2 - m_1}{m_1}} \quad \text{ב.} \quad v_{c.m.} = \frac{\sqrt{\frac{k}{m_2}} d}{m_1 + m_2} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$E_{\text{total}} = \frac{1}{2} kx^2 - mgx + \frac{1}{2} I\omega^2 + \frac{1}{2} mx^2 \quad \text{ב.} \quad \omega = \sqrt{\frac{kR}{\frac{1}{2}MR + \frac{r^2}{R}}} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$3.54 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{ג.} \quad 0.05\text{m} \quad \text{ב.} \quad 0.2\text{m} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$\text{ד. } x(t) = 0.2 \cos(3.54t) \text{ מישורי משקל.}$$

# יסודות הפיזיקה א - 2013

פרק 17 - כבידה וכוח מרכזי -

## תוכן העניינים

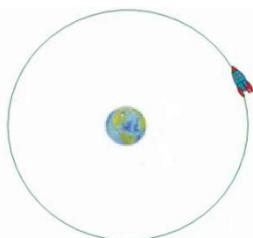
223 .....	1. תנועה תחת כוח מרכזי וכוח הכבוד .....
224 .....	2. חוקי קפלר .....
225 .....	3. תרגילים נוספים .....

## תנועה תחת כוח מרכזי וכוח הכבוד:

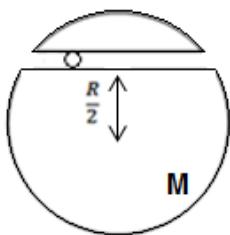
שאלות:



- 1) טיל יוצא מכדה"א וחוזר טיל נוראה מכדור הארץ.  
הטיל מתפרק מכדור הארץ וחוזר אליו בחזרה.  
נתון שבאיוזהה נקודה במסלול המרחק של הטיל מכדה"א הוא  $R_1$ .  
נתונה הזווית בין  $R_1$  ל מהירות באותו רגע  $v_1$  היא 30 מעלות.  
רדיויס כדה"א הוא  $R_E$  וזווית הפגיעה של הטיל בצדה"א היא  $\theta$ .  
א. מצא את:  $v_2$ ,  $v_0$ ,  $v_1$ ,  $\theta_0$ . ( מהירות פגעת הטיל בצדה"א ).  
ב. חשב את:  $R_{\max}$  (המרחק המקסימלי של הטיל מכדה"א )  
ו-  $v_{\min}$  (המהירות באותה נקודה).



- 2) חלק עף ב מהירות מילוט  
חללית בעלת מסה  $m$  סובבת את כדה"א במסלול מעגלי ברדיוס  $R$ . ברגע מסוים החללית מתפצלת לשני חלקים. אחד החלקים בעל מסה של שליש  $m$  עף בכיוון הרדייאלי ב מהירות המילוט. מצא את הרדיוס המינימלי והמקסימלי של החלק השני.



- 3) גוף זז במנהרה למרחק מהמרכז  
גוף נע במנהרה הנמצאת למרחק  $\frac{R}{2}$  ממרכז כדורי בעל מסה  $M$ .  
הגוף מתחילה ממנוחה בקצת המנהרה ואין חיכוך.  
מצא את מיקום הגוף כפונקציה של הזמן.

תשובות סופיות:

- (1) ראה סרטון.  
(2) ראה סרטון.

$$x(t) = -\frac{\sqrt{3}}{2} R \cos\left(\sqrt{\frac{GM}{R^3}} t\right) \quad (3)$$

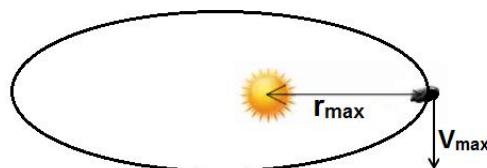
## חוקי קפלר:

שאלות:

1) **מציאת זמן מחזור**

גוף נע סיבוב המשמש במסלול אליפטי כך שמהירותו המקסימלית ומרחקו המינימלי מהשמש נתוניים.

נתון גם שטח האליפסה שעשויה הגוף.  
מצא את זמן המחזור של הגוף.

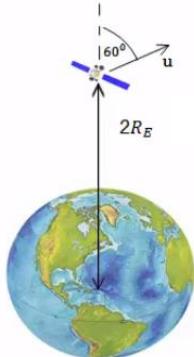


**תשובות סופיות:**

$$T = \left( \frac{r_{\min} v_{\max}}{2S} \right)^{-1} \quad (1)$$

## תרגילים נוספים:

שאלות:



- 1) לוין נכנס למסלול אליפטי לוין נורח אנכית מפני כדה"א. הלוין מגיע לשיא גובה של  $2R_E$ . ברגע זה ניתנת לו מהירות בכוון 60 מעלות עם האנך לכדור הארץ שגודלה  $u$ . (התעלם מסיבוב ותנועת כדור הארץ).
- מצא תנאי על המהירות  $u$  כך שהלוין ישאר במסלול סגור.
  - מצא תנאי נוסף על  $u$  כך שהלוין לא יפגע בכדור הארץ.

2) יקום דו מימי

ביקום דו מימי פועל כוח שמרכזו בנקודה  $(x_0, y_0)$

$$\text{גודלו: } \frac{k}{\left( (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \right)^{\frac{3}{4}}}. \text{ כיוון הכוח הוא תמיד לכיוון מרכזו.}$$

א. האם הכוח הוא כוח משמר? אם כן, מצא את האנרגיה הפוטנציאלית של הכוח.

חשב את העבודה שמבצע הכוח על מסה  $M$  אשר נעה בין הנקודות  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$  בין הנקודה.

ב. מסה  $M$  נמצאת במיקום  $(Bx_0, By_0)$  ויש לה מהירות:  $\vec{v} = A(\hat{x} + \hat{y})$ .

מה תהיה מהירות המסה כשהמרחק בין מרכזו הכוח יהיה  $d$ ? ( $d, A, B$ , גדולים מאפס).

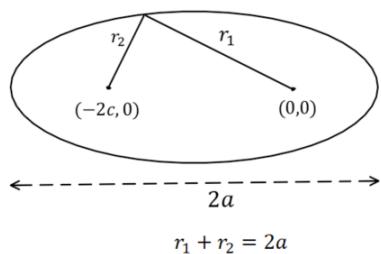
ג. מסה  $M$  נמצאת במרחב  $r$  ממרכז הכוח.

למסה מהירות  $v$  וידוע שהמסה נמצאת בשיווי משקל בכל זמן.

מצא קשר בין  $v$  לבין  $r$ .

ד. פצחה בעלת מסה  $M$  מסתובבת סביב מרכזו הכוח וברגע שוגדל המהירות שלה הוא  $v_2$  והמרחק שלה הוא  $r_2$ , כיוון מהירות מאונך לכיוון המיקום שלה ביחס למרכז הכוח. באותו רגע הפצחה מתפוצצת לשני חלקים אחד בגודל  $m$  והשני בגודל  $m-M$ .

החלק  $m-M$  ממשיך באותו כיוון מהירות כמו לפני הפיצוץ. מה צריכה להיות מהירות החלק  $m$  על מנת שהחלק  $m-M$  יהיה במרחב קבוע ממרכז הכוח לאחר הפיצוץ והלאה?

**(3) פיתוח משוואת האליפסה**

באליפסה סכום המרחקים של כל נקודה משני המוקדים של האליפסה הוא קבוע ושווה ל-  $2a$  (רוחב האליפסה).

נתונה אליפסה שהמוקדים שלה נמצאים בנקודות  $(0,0)$  ו-  $(-2c,0)$ .

$$\varepsilon = \frac{c}{a} \quad r(\theta) = \frac{r_0}{1 + \varepsilon \cos \theta} \quad \text{כאשר}$$

$$r_0 = \frac{(a^2 - c^2)}{a}$$

### תשובות סופיות:

$$\sqrt{\frac{GM}{2R_E}} < |u| < \sqrt{\frac{GM}{R_E}} . \quad \text{ב} \quad |u| < \sqrt{\frac{GM}{R_E}} . \quad \text{א} \quad (1)$$

$$, r' = \left( (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{U} \quad \text{כasher} \quad (r')^2 = -2kr'^{-\frac{1}{2}}, \quad \text{א. משמר}, \quad (2)$$

$$W = 2k \left[ \left( (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 \right)^{-\frac{1}{4}} - \left( (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 \right)^{-\frac{1}{4}} \right]$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{k}{m}} r_1^{-\frac{1}{4}} . \quad v = \left( 2A^2 - \frac{4k}{m} \left[ d^{-\frac{1}{2}} - (B-1)^{-\frac{1}{2}} \cdot (x_0^2 + y_0^2)^{-\frac{1}{4}} \right] \right)^{\frac{1}{2}} . \quad \text{ב}$$

$$u_2 = \frac{1}{m} (M-m) \sqrt{\frac{k}{m}} r_1^{-\frac{1}{4}} - \frac{M}{m} v_1 \quad \text{ד. אחוריה}$$

(3) הוכחה.

# יסודות הפיזיקה א - 2013

פרק 18 - אופטיקה

תוכן העניינים

228 ..... 1. מבוא לאופטיקה

## מבוא לאופטיקה:

**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:
  - בعزורת שרטוט.
  - בعزורת 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, בعزורת שרטוט, את אזורי האור והצל השונים שמת�בים.

### 2) תרגול אור במרחב 2

$$\text{מהירות האור בריק היא: } C = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

- היעזר בדף הנוסחאות, ומצא תוק כמה זמן מגיעה קרן אור שמוחזרת מהירות – אל כדור הארץ.
- מצא תוק כמה זמן מגיעה קרן היוצאת מהשמש אל כדור הארץ.
- אם אני מדליק פנס עכשווי, וחבר נמצא במרחק 3m ממי, תוק כמה זמן הגיע אליו האור מהפנס, מרגע שהדלקתי אותו?
- שנת אור מוגדרת כמרחק שאור עבר בשנה. מצאו מהי שנת אור בعزيزות 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 בתרשימים?
  - מצא, בعزيزות שתי קרניים נוספים בבחירה, 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 התרשימים הבא, בו נער בגובה 1.7m עומד לפני מראה.

א. שרטטו קרן אור היוצאת מידו הימנית של הנער,

פוגעת במראה וחוזרת לעיניו (הקרן מייצגת את

הקרן/ הקרניזים, שבזוכותן הנער רואה את ידו במראה).

ב. שרטט (הכי מדויק שאפשר), את דמות הנער במראה.

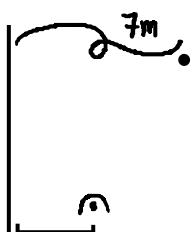
ג. מציבים מאחוריו המראה מסך סגול.

האם עדיין יראה הנער את דמותו?

ד. מה הגובה המינימלי של המראה שיש להציב, כדי שדמות הנער תתקבל במלואה?

ה. מרחיקים את המראה למרחק כפול מגוף הנער. כיצד תשנה תשובהך לסעיף ד'?

#### 5) החזרה תרגיל 3



מציבים מטבע מול מראה, במרחק 7m ממנו, כמתואר בתרשימים.

אדם שנמצא בmorphוד התרשימים 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 מתקרמת במים ( $h_{\text{glass}} = 1.5$ ) , ופוגעת במשטח זכוכית ( $h_{\text{water}} = 1.33$ ) , ופוגעת במשטח זכוכית

חלק מהקרן נשבר לזכוכית וחלק מוחזר.

הזווית בין פני המים והקרן הפוגעת היא  $60^\circ$ .

א. חשבו את זווית השבירה.

ב. שרטטו את המקרא הניל.

#### 7) תרגול חוק סnal 2

תלמיד שלח קרני אור בزواיות שונות מאוורר לעבר חומר שקוף בעל מקדם שבירה לא ידוע, ומדד את זווית הפגיעה והשבירה המתאימה לה לزواיות 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 ( $\theta_2$ ) מצופה שי יצא לינארי?
- ב. הגדר משתנים עברים כו' תצפה לקבל גרף לינארי.
- ג. שרטט גרף לינארי זה.
- ד. מצא, בעזרת הגраф, את מקדם השבירה של החומר השקוף הלא ידוע.

#### 8) החזרה גמורה תרגיל 1

קרן אור מתקרמת בזווית ( $n = 1.5$ ), ופוגעת בגבול בין זכוכית זו ובין מים ( $n = 1.33$ ) בזווית:

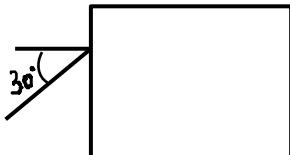
א.  $\theta_1 = 0^\circ$

ב.  $\theta_1 = 30^\circ$

ג.  $\theta_1 = 70^\circ$

שרטט את המשך מהלך הקרן, לאחר הפגיעה, בכל אחד משלשות המקרים.

#### 9) החזרה גמורה תרגיל 2



נתון מלבן מפרספסק  $n = 1.5$ , כמתואר בתרשימים.  
קרן אור, המגיע משמאל, פוגעת בפרספסק  
בזווית פגיעה של  $30^\circ$ .  
השלם את מהלך הקרן בתוך הפרספסק.

#### 10) עדשה מרכזית - תרגיל 1

נתונה עדשה מרכזית בעלת מוקד  $f = 8\text{cm}$ .

נתון עצם, בגובה  $H_0 = 12\text{cm}$ , המונח למרחק  $12\text{cm}$  מהעדשה.

- א. מצא בעזרת שרטוט את:  
i. מיקום הדמויות הנוצרת.  
ii. גובה הדמויות.  
iii. ההגדלה הקווית.
- ב. מצא בעזרת חישובים את:  
i. מיקום הדממות.  
ii. גובה הדממות.  
ג. מצא מה אופי הדממות.
- ד. שרטט שתי קרניות היוצאות ממרכז העצם, פוגעות בעדשה וממשיכות לצדיה השני.

### 11) עדשה מרכזת - תרגיל 2

- לעדשה מרכזת מרחק מוקד של 11cm  
מציבים עצם, שגובהו 5cm, במרחק 4cm מעדשה זו.
- מצא בעזרת שרטוט את:
    - מרחק הדמאות מהעדשה.
    - גובה הדמאות.
    - הגדלה הקווית.
  - מצא בעזרת חישוב מספרי את:
    - מרחק הדמאות מהעדשה.
    - גובה הדמאות.
- השווה תשובותיך לסעיף ב, עם אלה של סעיף א.
- מניחים מס' במיוקם הדמאות.  
האם ניתן לראות את הדמאות על המסך?
  - מניחים וילון שחור על המחצית העליונה של העדשה (מכסים אותה).  
האם ניתן לראות את הדמאות?
  - מסירים ווילון זה. ומניחים אותו בין העצם ודמונו.  
האם עכשו ניתן לראות את דמאות העצם?

### 12) עדשה מפזרת – תרגיל 1

- נתונה עדשה שעוצמתה  $D=10D$ .  
לפני העדשה, במרחק  $m=8cm$ , מניחים עצם שגובהו  $H_0 = 4cm$ .
- מצא בעזרת חישוב את:
    - מיוקם הדמאות.
    - גובהה.
    - אופי הדמאות.
  - מצא בעזרת שרטוט את:
    - מיוקם הדמאות.
    - גובהה.
  - מהיכן ניתן לראות את הקצה העליון של דמאות העצם (שדה ראייה)?

**13) בגרות 2017 שאלה 6**

רמי ישב ליד ברינה ריקה. בתחתית הבריכה הונח מטבע, אבל ממקום מושבו של רמי לא היה אפשר לראות את המטבע כשהבריכה ריקה.

התחלו למלא את הבריכה במים, וברגע מסויים 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.

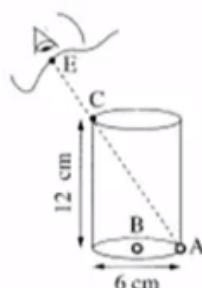
ב. הסביר מדוע ראה רמי את המטבע רק לאחר שהבריכה הת מלאה חלקית במים. לוויה את תשובתך בסרטוט מהלך קרניים.

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: חרוץ A צמוד לדופן הכלי וחרוץ B במרכזו התחתית של הכלי.



תלמיד הביט אל תוך הכלי בכיוון EC (הנקודה C נמצאת על שפת הכלי). כאשר הכלי היה ריק התלמיד ראה את חרוץ A בלבד. מילאו את הכלי עד שפתחו בנוזל שקוף. התלמיד הסתכל באותו כיוון וראה את חרוץ B בלבד.

א. העתק את תרשימים הכללי והעין למחברתך בלי הקו המקורי.

הוסף לתרשים שבמחברתך קרו אור שמנגיעה מחרוץ B, עוברת בתוך הנוזל אל נקודת C ומגיעה לעין התלמיד.

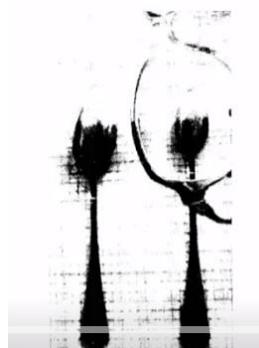
סמן בתרשים שבמחברתך את זווית הפגיעה ( $\alpha$ ) ואת זווית השבירה ( $\beta$ ) במעבר של קרן האור מהנוזל לאוויר.

ב. חשב את מקדם השבירה של הנוזל.

ג. קבע אם חרוץ B נראה לתלמיד בעומק האמתי שהוא בו, גובה יותר או נמוך יותר. נמק את קביעתך באמצעות סרטוט תרשימים נוספים של הכלי ומהלך הקרניים.

**15) בגרות 2016 שאלה 6**

תלמידה רצתה לבדוק את סוג העדשה במשקפיים של דודתה. לשם כך הניחה התלמידה שתי כפיות זהות על השולחן, והניחה עדשה של המשקפיים מעל אחת הcpfיות. בתרשים ש לפניך נראה תצלום הcpfיות והמשקפיים ש צילמה התלמידה.



א. בכל אחת מן האפשרויות iii-ו ש לפניך, קבע מהו המאפיין הנכון של דמות ה cpfית הנראית מבעד לעדשה :

- i. ישרה או הפוכה.
- ii. ממשית או מודומה.
- iii. מוגדלת או מוקטנת.

ב. האם העדשה מרכזת או מפזרת? נמק את תשובה.

ג. מצא את דמות ה cpfית באמצעות סרטוט מדויק של מהלך שלוש קרניים.

נתון : רוחק מוקד העדשה :  $|f| = 12\text{cm}$ , מרחק העצם מהעדשה  $6\text{cm}$ , גובה העצם  $3\text{cm}$ .

ב סרטוט השתמש בקנה מידת של 1 משבצת = 1 ס'מ.

ד. חשב באמצעות נוסחאות את גובה הדמות ואת מרחקה מהעדשה. האם תוצאות החישוב מתאימות לאותם ערכים שהתקבלו הסרטוט?

**16) בגרות 2015 שאלה 7**

ילד הלובש חולצה שעלייה מודפסת האות F עומד מול מראה מיישורית התלויה על קיר (ראה איור).



- מהי התופעה הפיזיקלית שגורמת להשתקפות הילד רק במרקחה ולא בקי?
- המראק של הילד מן המראה היה 1 מטר, והוא החל להתקרב אליו.

$$\text{במהירות קבועה: } v = \frac{m}{\text{sec}}$$

- חשב בתוך כמה זמן יהיה המראק בין הילד ובין דמותו 0.5 מטר.
- לפניך ארבע צורות I-IV של האות F. העתק למחברתך את המספר של צורת הדמות של האות F, כפי שהילד שמסתכל במרקחה רואה אותה.

**17) בגרות 2014 שאלה 6**

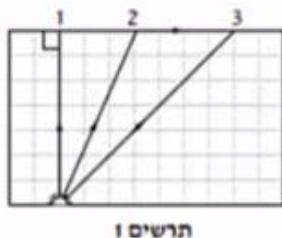
- יאיר ישב במכונית ורצה לעיין במפה שבידיו (זה היה לפני עידן ה-G.P.S.). בחוץ שרד חושך, ולכן יAIR הדליק נורה בתוך המכונית.
- כדי שיראה היטב את המפה, האם על יAIR לכוון את אלומת האור מן הנורה לעבר עיניו או לעבר המפה? נמק.

- לאחר שיAIR הדליק את הנורה הוא התבונן בשימוש החלון של המכוניתו. הוא לא ראה את הסביבה שבוחוץ, אלא את דמוות המשתקפת בשימוש החלון.
- הסביר באמצעות תרשימים כיצד נוצרת הדמות המשתקפת בשימוש החלון.

יאיר מסע בפקקי התנועה שבכבישים, והחליט לנסוע ברכבת. בתוך קרונו הרכבת דלק אור, ומהוזר לרכבת שרד חושך. יAIR הבחן בשתי דמוויות שלו המשתקפות בחולון הרכבת. חולון הרכבת מורכב משניلوحות זכוכית מקבילים וביניהם מרוחח שבו שכבת אויר.

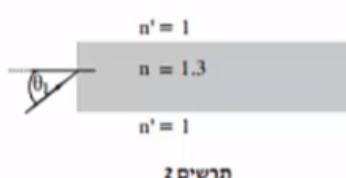
אפשר להזניח את העובי שלلوحות הזכוכית.

- מדוע ברכבת הבחן יAIR בשתי דמוויות, ולא בדמות אחת, כפי שראה במכוניתו? פרט את תשובה.
- באותם תנאי תאורה הכניסו נייר שחור למרוחח שבין שניلوحות הזכוכית. הנייר אוטם את כל המרוחח. כמה דמוויות השתקפו בחולון? נמק.

**(18) בגרות 2014 שאלה 7**

מקור אור נקודתי נמצא בתחום מנסרה מלכנית (תיבה) העשויה מחומר שקוף. המנסרה נמצאת באוויר. בתרשימים 1 מוצג חתך של המנסרה המקביל לשתיים מדופנות המנסרה, וכן מוצג בו מהלך של שלוש קרניות 1, 2, 3, שמקורן במקור האור. זווית השבירה של קרן 2 היא  $90^\circ$  בקירוב.

- העתק את תרשימים 1 למחברתך, והשלם בו במדוק אט המשך המהלך של קרן 1 ושל קרן 3. הסבר את שיקוליך.
- על פי התרשימים, חשב את הזווית הגבולית (קריטית) למעבר אור מען החומר השקוף לאוויר.

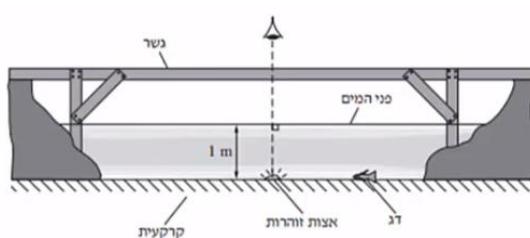


אפשר להבהיר מידע למרחוקים גדולים באמצעות סיבים אופטיים שאור מתפשט דרכם כמעט בלי הפסדי אנרגיה. בתרשימים 2 מトואר חתך של סיב אופטי העשויה מחומר שקוף שמקדם השבירה שלו:  $n' = 1.3$ , וקרן אור נכנסת לתוכו מן האוויר בזווית פגיעה  $\theta_1$ .

- כאשר האור נכנס לסיב מהצד (כמתואר בתרשימים 2), זווית הפגיעה  $\theta_1$  צריכה להיות קטנה מ- $57^\circ$  כדי למנוע דלייפט (יציאת) אור מהסיב לאוויר. הסבר מדוע. בתשובתך הייעזר בתרשימים.

**(19) בגרות 2013 תרגיל 1**

בגן חיות יש בריכה וביה דגים ויצורי מיים מיוחדים. מושבה של אצתות זוחרות (פולטות אוור) נחיה על קרקעית הבריכה, בעומק של 1 מטר. מקדם השבירה של מי הבריכה ביחס לאוויר הוא:  $n_{\text{מים}} = 1.33$ . מעל הבריכה נמתה גשר שמן המבקרים יכולים לצפות בבריכה (ראה תרשימים). התyiיחס למושבת האצתות כאור נקודתי.



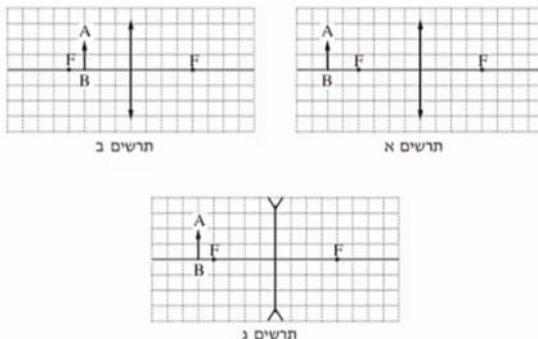
- האור שנפלט ממושבת האצתות לעבר פני המים עובר לאוויר דרך משטח מעגלי של פני המים. הסבר מדוע. הייעזר בתרשימים מתאימים.
- חשב את הרדיוס של המשטח המעגלי שהאור עובר דרכו לאוויר.
- אדם הניצב על הגשר בדיקן מעל מושבת האצתות רואה אותה בעומק קטן יותר מהעומק האמיתי שהיא נמצאת בו. הסבר מדוע.

- ד. דג השווה על קרקע 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 בחזרה מלאה.
- ה. כאשר הדג בעומק של 1 מטר, אבל המרחק בין מושבת האצות קטן יותר מהמרחק שחייב בסעיף ד', הוא עדיין רואה את השתקפות האצות מפני המים. הסבר מדוע.

### 20) בגרות 2013 שאלה 6

אדם המרכיב משקפיים עם עדשות מרכזיות זהות רואה בעזרתם את הדמות המודומה של עצם.

- א. הסבר את המושגים "דמות ממשית" ו"דמות מודומה", בהסביר תוכל להיעזר בתרשימים.
- ב. בתרשימים א'-ג' שלפניך החץ AB מייצג את העצם. קבע איזה תרשימים מתאים לתיאור שבפתיחה. נמק את קביעתך.



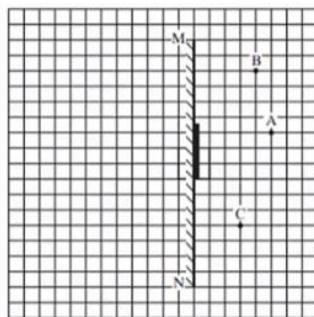
- ג. עוצמת העדשה היא 2 דיוופטריות. מהו רוחק המוקד של העדשה?  
ד. המרחק בין הדמות לעדשה הוא 60cm . חשב את המרחק בין העצם לעדשה.

### 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 מישורי MN המכוסה במכוזה בכיסוי בד אטום. נקודת A נמצא עצם נקודתי.  
בכל אחת מהנקודות B ו-C נמצא צופה (צופה B, צופה C). הנקודות A, B, C נמצאות על אותו מישור.

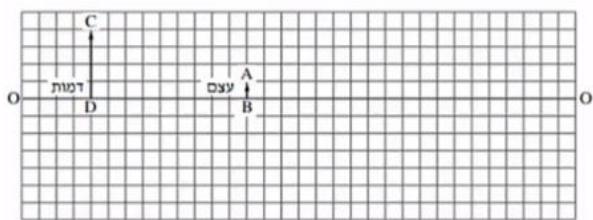


העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך.

- 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 נקודה C מהדמות של העצם A.
- ה. צופה C מביט אל עבר המראה, אך אין 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 בעורף העדשה. הצלע של כל משבצת בתרשים – 1 ס"מ.



- א. מדוע הדמות המтворה בתרשים יכולה להיווצר רק בעזרת עדשה מרכזות?

העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך. השתמש בתרשים שסרטוטה כדי לענות על סעיפים ב'-ג'.

- ב. מצא, בעזרת סרטוט של מהלך קרני האור, את מיקום העדשה, והוסך אותה לתרשים.

ג. מצא את רוחק המוקד של העדשה בשתי דרכים:

- ו. סרטוט של מהלך קרני האור.
- וii. חישוב.

- ד. כשהמרחק בין העצם לעדשה גדול מערך מסוים  $l_1$ , נוצרת דמות הפוכה ביחס לעצם. קבוע מהו  $l_1$ .

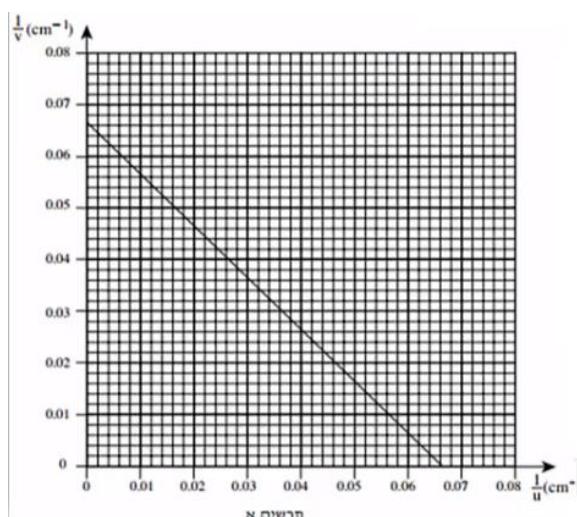
- ה. כשהмарחק בין העצם לעדשה שווה לערך מסוים  $l_2$ , הגודל  $M_1 = -l_2$ , נוצרת דמות באוטו גובה של הדמות CD שבתרשים. מצא את  $l_2$ .

**(23) בגרות 2009 שאלה 1**

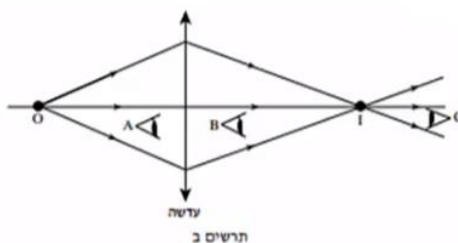
ברק הציב מקור אור במרחקים שונים מעדשה דו-קמורה דקה. בכל פעם הוא מדד את המרחק של מקור האור מן העדשה (u), ואת המרחק של המסלך שלו עלייו התקבלה דמות חדה של מקור האור מן העדשה (v). לאחר מכן הוא חישב את ערכי  $\frac{1}{u}$  ו-  $\frac{1}{v}$ , ועל פי ערכיהם אלה סרטט גרף של  $\frac{1}{v}$  (ביחידות  $\text{cm}^{-1}$ ) כפונקציה

$$\text{של } \frac{1}{u} \text{ (ביחידות } \text{cm}^{-1}) \text{.}$$

הgraf מוצג בתרשימים א'.



- א. הסבר מדוע הגרף שהתקבל הוא קו ישר.
- ב. מצא בעזרת הגרף את רוחק המוקד של העדשה. פרט את חישוביך.
- ג. כאשר הציב ברק את מקור האור במרחק 10 ס"מ מן העדשה, הוא לא הצליח למקם את המסלך כך שתתקבל עליו דמות חדה של מקור האור. הסבר מדוע.
- ד. בתרשימים ב' שלפניך מתואר עצם נקודתי O ודמות I, הנוצרת על ידי עדשה מרכזת דקה.

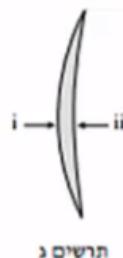


האם אפשר לראות את הדמות I גם ללא מסך?  
אם כן – באיזו מהנקודות A, B או C צריכה להימצא העין (על פי כיווני ההסתכולות שלה המתוארים בתרשימים) כדי לראות את הדמות I?

אם לא – היעזר בתרשימים ב', והסביר מדוע אי-אפשר לראות את הדמאות ללא מסך.

בתרשימים ג' שלפניך מתואר חתך של עדשה קמורה-קעורה דקה עשוייה מזכוכית. מטילים על העדשה פעמים אלומת אור מקבילה ואופקית, המתפשתת באויר:

- . במקרה א' אלומת האור פוגעת תחילתה במשטח הקמור.
- . במקרה ב' אלומת האור פוגעת תחילתה במשטח הקעור.



תרשים ג'

העתק למחברתך את המספר של המשפט הנכון מבין המשפטים צ'-ג' שלפניך:

- i. העדשה מרכזות את האור בשני המקרים.
- ii. העדשה מרכזות את האור במקרה א' ומפזרת אותו במקרה ב'.
- iii. העדשה מפזרת את האור במקרה ג' ומרכזת אותו במקרה ב'.
- iv. העדשה מפזרת את האור בשני המקרים.

#### (24) בגרות 2007 שאלה 2

על ספל 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. הדמאות של מקור האור מתתקבלות על המסך, וגובהה גדול פי 2 מהגובה של מקור האור.

א. חשב את המרחק של מקור האור מן העדשה.

ב. פי כמה גדול שטח הדמאות מהשטח של מקור האור? נמק.

ג. מציבים את מקור האור במרחק  $160\text{cm}$  מן המסך.

באיזה מרחק ממוקר האור יש להציב את העדשה, כדי שתתתקבל על המסך דמות חדה שלו? אם יש יותר אפשרות אחת, כתוב את כולם.

האיור שלפניך הוא העתק של תצלום שבו מראה מיושרת המונחת על לוח עץ, ופנס. הפנס פולט אלומת אור הפוגעת בלוח העץ ובמראה שעליו. מלבד הפנס אין מקורות אור נוספים.

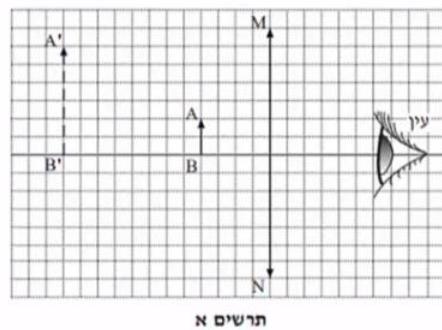


ד. מדוע המראה שבתצלום נראה חסוכה, ואילו החלק של לוח העץ שבו פוגעת אלומת האור נראה מואר?

**(25) בגרות 2004 שאלה 1**

בתרשים א' מוצגת מערכת, ובה עדשה מרכזת, MN, הציר האופטי שלה, בול דוואר, AB, הדומות של הבול, 'B', הנוצרת על ידי העדשה, ועין הצופה המתבונן בבול.

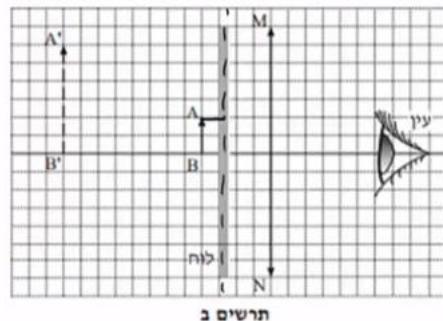
אורך הצלע של כל משובצת בתרשימים מייצג מרחק של 5 ס"מ במציאות.



א. ענה על הסעיפים הבאים:

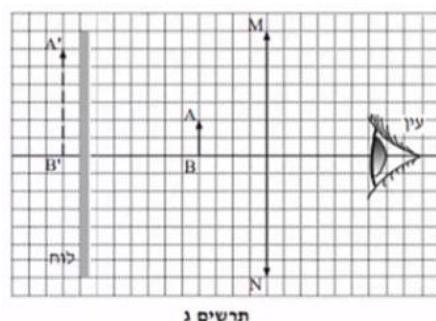
- מצא את אורך מוקד העדשה.
- חשב את עוצמתה העדשה. הצג את תשובה בדיאופטר.

באותה מערכת מציבים לוח אטום לאור לפני הבול, בין הבול לעדשה (ראה תרשימים ב').



ב. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

את הלוח האטום לאור מעבירים אל מאחוריו הבול, כמו בתרשים ג'.



ג. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

ד. מסלקיים את הלוח האטום. הבול, העדשה והעין נשארים במקום. הצופה מתבונן בבול דרך העדשה (ראה תרשים א'), ולאחר מכן הוא מסלך את העדשה ומתבונן בבול.

באיזה משני המצבים (עם העדשה או בלי העדשה) הבול נראה לצופה גדול יותר.  
הסביר את תשובתך במונחים של זווית ראייה.

ה. העתק למחברתך את תרשים א'. (כל משכצת בתרשימים תהיה משכצת במחברת).  
סרטט קרן, המופצת מרأس הבול (A), עוברת בעדשה, וחודרת למרכז האישון של עין הצופה.  
תאר כיצד קבעת את מהלך הקרן ש巡视ת.

**תשובות סופיות:**

- (1) א. ראה סרטון.  
ד. ראה סרטון.
- (2) א.  $t = 1.28 \text{ sec}$   
ב.  $t \geq 8\frac{1}{3} \text{ min}$
- (3) ראה סרטון.
- (4) א. ראה הסרטון.  
ה. ללא שינוי.
- (5) 2.43m  
(6)  $26.3^\circ$
- (7) א. לא.  
ד. 1.353.  
(8) ראה סרטון.  
(9) ראה סרטון.
- (10) א. ראה סרטון.  
ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית.
- (11) א. ראה סרטון.  
ג. לא.
- (12) א.  $V = -4.4 \text{ cm}$   
ב. ראה סרטון.
- (13) א. ראה סרטון.  
(14) א. ראה סרטון.  
(15) א. ישרה.  
ב. מוקטנת.  
ג. מפוזרת.  
ד.  $V = \Theta 4 \text{ cm}$ ,  $H_i = 2 \text{ cm}$ ,  $C_n$ .
- (16) א. החזרה מסודרת, מתקבלת דמות בפגיעה הקרניים המוחזרות.  
ב.  $g = IV$ .  
ג. 1.5sec.
- (17) א. עבר המפה.  
ד. דמות 1.
- (18) א. ראה סרטון.  
ב.  $\theta_c = 23.2^\circ$ .
- (19) א. ראה סרטון.  
ב.  $r = 1.14 \text{ m}$   
ה. ראה סרטון.  
ד.  $x = 2.28 \text{ m}$ .
- (20) א. דמות ממשית – מתקבלת בפגיעה המשכי الكرניים המשויות.  
דמות מודומה – מתקבלת בנקודות פגש המשכי الكرניים המודומות.  
ב. תרשימים ב'.
- u = 27.3cm  
ד. 50cm  
ג. cm  
ב. cm

**(21)** א. 1. קרניזים שיצאו ממסוף, 2. החזרה מהמשטח תהיה מסודרת.

- ב. הצלפה יימצא בשדה בראייה של הדמות. ג. כן. ד. לא.

**(22)** א. הדמות לא יכולה להיווצר בעדשה מפוזרת.

- ה.  $u_2 = 8\text{cm}$       ד.  $f > u$       ג.  $4\text{cm}$

ג. ראה סרטון.      ב.  $15.1\text{cm}$       ה. נ.      ד. כן.

.  $u_1 = 120\text{cm}$  ,  $u_2 = 40\text{cm}$  .      ג. פי.      א.  $u = 45\text{cm}$

.      ד. ראה סרטון.      א.  $f = 30\text{cm}$  .      ב. לא.      ג. כן.      ה. ראה סרטון.

# יסודות הפיזיקה א - 2013

פרק 19 - גלים

תוכן העניינים

244 ..... 1. גלים והתארכות גלים

## גלים והتابכות גלים:

**שאלות:**

**(1) תרגול גל 1**

פולס נע ימינה בחבל.



מתואר צורתו בשני זמנים שונים:  $t = 0$ ,  $t = 2 \text{ sec}$

א. מה משוערת הpolloס?

ב. מה מהירות התקדמותו?

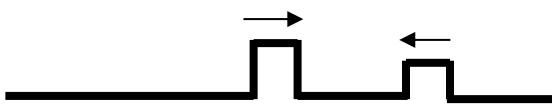
ג. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה A ברגע  $t = 0$ ?

ד. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה B ברגע זה?

**(2) תרגול גל 2**

מציריים בחבל שתי הפרעות כמפורט בתרשימים:  $v = 10 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

שרטט את החבל בזמנים הבאים:



א.  $t = 8 \text{ sec}$

ב.  $t = 16 \text{ sec}$

ג.  $t = 18 \text{ sec}$

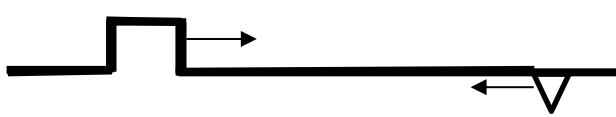
ד.  $t = 22 \text{ sec}$

**(3) תרגול גל 3**

בחבל מייצרים שתי הפרעות שונות בשני קצותיו שמתקדמות אחת לקרבת

השנייה, כמפורט בתרשימים:  $v = 0.5 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

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**

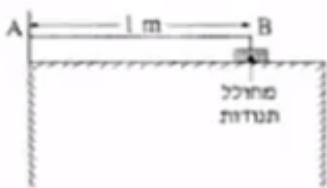
פולס משולש נע בחבל ו מגיע לקצהו. שרטט את החבל + הפלוס במקרים הבאים:

א. קצה החבל קשור לקיר.

ב. קצה החבל מולבש על טבעת חופשית למנוע על פני ציר שעובר דרכה.

ג. קצה החבל קשור לחבל כבד יותר.

ד. קצה החבל קשור לחבל קל יותר.

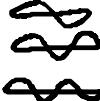


**5) תרגול גל עומד**

חותן AB, שאורכו 1m, קשור בקצתו B למחולל תנוודות, ובקצתו A למוט קבוע (ראה תרשים).

כאשר תלמיד מפעיל את מחולל התנוודות, נוצר בחותן AB גל, שמוחזר מהקצת A.

התלמיד מגדיל ברציפות את תדריות מחולל התנוודות ורושם את התדריות בכל פעם שנוצר בחותן AB גל עומד. תוצאות הניסוי רשומות בטבלה ש לפניך:

$\frac{1}{\lambda} \left( \text{m}^{-1} \right)$	$\lambda \text{ (m)}$	צורת הגל העומד	f - תדריות התנוודות (Hz)
			24
			45
			67
			88

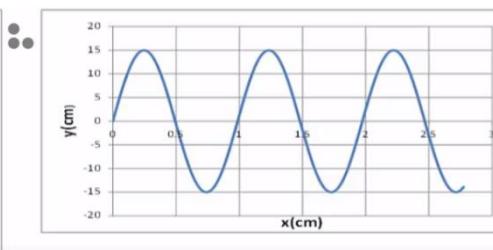
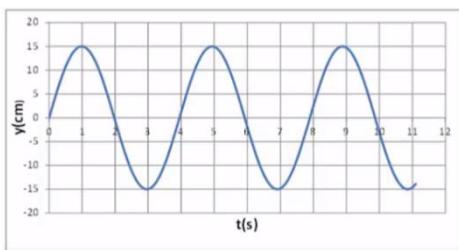
התיחס לנקודה B כנקודת צומת.

- א. העתק את הטבלה למחברתך, ורשום בעמודה את אורך הגל  $\lambda$ , לכל אחד מאربעת הגלים העומדים שנוצרו בחותן?
- ב. רשום בעמודה המתאימה בטבלה את הערך  $\frac{1}{\lambda}$  לכל אחד מאربעת הגלים, וסרטט גרף של התדריות f כפונקציה של  $\frac{1}{\lambda}$ .
- ג. מצא בעזרת הגרף את מהירות התפשטותו של גל בחותן AB.
- ד. התלמיד ממשיך להגדיל את תדריות מחולל התנוודות.
- מהי התדריות הראשונה (הגבוהה מ-88Hz) שייווצר בה גל עומד בחותן AB? נמק.

**6) תרגול גל מחזורי 1**

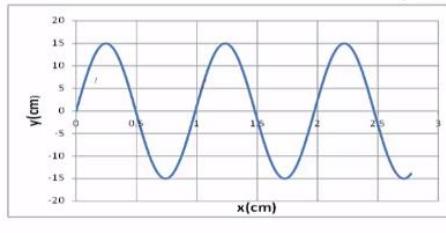
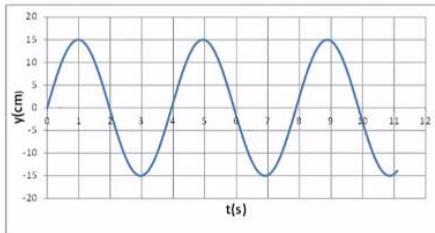
מופיעים לפניכם גרפי העתק זמן והעתק מקום של חבל מסויים.

- א. מהי משכעתת הגל?
- ב. מהו אורך הגל המתקדם בחבל?
- ג. מה זמנו המוחזר של הגל?
- ד. מה מהירות הגל?
- ה. לאיזה נקודה/נקודות בחבל יכול להתאים גраф העתק זמן (השמאלי)?



**7) תרגול גל מחזורי 2**

לפניכם גраф העתק-מקום והעתק-זמן של הגוף מהשאלה הקודמת.  
מכפילים את תדריות מחולל הגלים (מקור).  
שרטטו את גраф העתק-זמן והעתק-מקום החדש.

**8) תרגול גל מחזורי 3**

לפניך שני תצלומים (נראים זהים). הימני: גל מתקדם, השמאלי: גל עומד בקהל.  
א. קבע את אורך הגל של כל אחד מהגלים בחבל.

ב. שרטט את החבל  $\frac{1}{4}$  זמן מחזור לאחר תצלום זה.

ג. שרטט את החבל  $\frac{1}{2}$  זמן מחзор לאחר תצלום זה.

ד. בחר בכל תצלום נקודה מימין ומשמאל למשרעת, וצייר את כיוון תנועתה מיד לאחר צילום זה.

gal utmod

gal matkdim

**9) תרגיל 1**

מהירות גל במיתר מתוח 25 מטר בשניה. קושרים את היתר בין שני כנים שהמרחק ביניהם 3 מטר.  
מניעים את המיתר בעזרת מתנד.  
באיזו תדרות יש לנណד אותו כך שייווצר בו גל עומד עם 12 נקודות צומת (כולל הקצוות)?

- א. 45.8 הרץ.
- ב. 70 הרץ.
- ג. 8.3 הרץ.
- ד. 75 הרץ.
- ה. 80.7 הרץ.

**10) תרגיל 2**

מייתר בעל אורך 90 ס"מ קשור בשני קצוותיו. כמנדרדים אותו בתדיירות 150 הרץ, נוצר בו גל עומד עם 8 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהירות הגל במיתר הנ"ל:

א.  $15.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ב.  $38.6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ג.  $17 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ד.  $34.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

**11) תרגיל 3**

מנדרדים מייתר מתח הקשור בשני קצוותיו בתדיירות 100 הרץ. אורך המיתר 3 מטר. במיתר נוצר גל עומד עם 5 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהי מהירות הגל במיתר?

א.  $150 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ב.  $100 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ג.  $330 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ד.  $20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ה.  $340 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

**12) תרגיל 4**

מייתר של גיטרה משמש עם הפריטה עליו צליל בתדיירות של 300 הרץ. אם רוצים להפיק מהמיתר צליל בעל תדיירות של 900 הרץ:

א. אין כל דרך להפיק את התדיירות 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) תרגול החזרה גלים דו ממדיים**

נתון אמבט גלים הבא בו מתקדם גל ישר  $A_0B_0$ . באmbט קיימים גם מחסום.

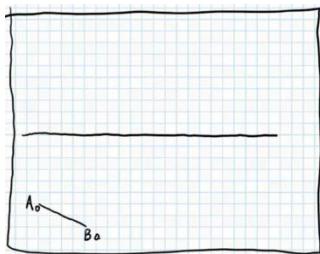
א. הוסף לתרשים חז' המתאר את כיוון התקדמות הגל  $A_0B_0$ .

ב. הוסף לתרשים את חזית הגל לאחר שהחזרה מהמחסום.

ג. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעה  
והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לאור.

ד. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעה  
והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לגלי מים.

ה. הוסיפו לתרשים את חזית הגל,  
ברגע שבו יצא חזית הגל נוגעת במחסום.

**14) תרגול מעבר תזוז 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 מוחורי בתדרות 4 הרץ.

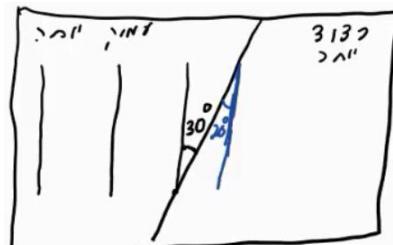
מהירות הגל במים בחלק העמוק היא  $20 \text{ ס"מ לשנייה}$ .  
הgal מתקדם וועבר לתזוז הימני כמתואר בתרשימים.

א. מה מהירות הגל המים בתזוז הרדווד יותר?

ב. מהו אורך הגל  $\lambda$  בחלק העמוק?

ג. מהו אורך הגל  $\lambda$  בחלק הרדווד?

ד. הוסיפו לתרשים (איוכותית) עוד 2 אורכי גלים לאחר  
מעבר הגל המים לתזוז הרדווד.

**15) תרגול אנרגיה ומשרעת של גל**

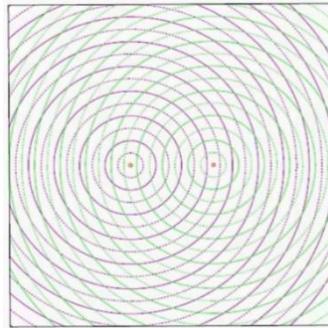
gal מעגלי מתרפסת באmbט גלים. משערתו, כשהיה מעגל ברדיוס  $3\text{cm}$ , הייתה  $1\text{cm}$ .

א. פי כמה תהיה קטנה האנרגיה שלו כשיתרפסת לרדיוס של  $15\text{cm}$ ?

ב. מה תהיה משערתו במצב זה?

**16) התאבכות גלי מים – תרגיל 1**

נתון אמצע גלים ובו 2 מקורות בעלי אורך גל זהה ושווי מופע. קווים רציפים מייצגים שיא בגל וקווי מקווקווים – שפל. זהו את קווי המקסימום והמינימום בתרשימים.

**17) התאבכות גלי מים – תרגיל 2**

נתון אמצע גלים בו 2 מקורות שהמרחק ביניהם 7 ס"מ. המקורות מכילים במים במופע זהה בתדריות 20 הרץ. מהירות התקדמות הגלים באמצע היא 25 ס"מ לשנייה.

- מה אורך הגל של הגלים שיוצרים המקורות?
- קבע, לגבי כל אחת מהנקודות הבאות: A, B, C, D, A, בתרשימים, האם היא על קו מקסימום, על קו מינימום או נק' ביןים:
  - A - מרחקה מהמקור הראשון - 4 ס"מ ומהמקור השני - 2.8 ס"מ.
  - B - מרחקה מהמקור הראשון - 5 ס"מ ומהמקור השני - 3.2 ס"מ.
  - C - מרחקה מהמקור הראשון - 7 ס"מ ומהמקור השני - 3.4 ס"מ.
  - D - מרחקה מהמקור הראשון - 8 ס"מ ומהמקור השני - 6.5 ס"מ.
- כמה קווי מקסימום וכמה קווי מינימום יופיעו באמצע?

**18) שאלת 1 בהتابכות גלי מים**

שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות  $(0,0)$  ו- $(6,0)$ . המקורות משדרים באורך גל של 1cm לכל הכוונים. על ציר y מתקבלת התאבכות בונה בנקודות הבאות (המספרים בס"מ) :

- $(0,17.5) (0,8) (0,4.5) (0,2.5) (0,1.1)$
- $(0,32) (0,16) (0,8) (0,4) (0,2)$
- $(0,30) (0,24) (0,18) (0,12) (0,6)$
- $(3,2) (4,17.5) (4,8) (4,4.5)$
- $(0,0) (0,16.5) (0,8.7) (0,4.2)$
- $(0,17.5) (0,8) (0,4.5)$

**19) שאלה 2 בתארכות גלי מים**

- שני מקורות גל זהים וושאוי מופע ממוקמים בנקודות  $(0,0)$  ו- $(5,0)$  (הערכים בס"מ). אורך הגל של כל אחד מהם  $2$  ס"מ. היכן על ציר  $y$  מתקיים התארכות 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 בתארכות גלי מים**

- שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות  $(0,5)$  ו- $(-5,0)$ . בנקודה  $(10,10)$  מתקיים התארכות בונה מסדר ראשון (כל המספרים נתוניים 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 בתארכות גלי מים**

- באmbט גלים ממוקמים שני מתנדים בשתי נקודות  $(4,2)$  ו- $(7,6)$ . המתנדים רוטטים בתדירות זהה ובאותו מופע. בנקודה  $(10,10)$  מתקיים התארכות בונה מסדר שלישי. מהו אורך הגל? (הגדרים המספריים במטרים).
- .א.  $1.67m$
  - .ב.  $0.62m$
  - .ג.  $2.79m$
  - .ד.  $6.83m$
  - .ה.  $1.23m$

### 22) התארכות אור תרגיל 1

מאיירים בליזיר בעל אורך גל 500 ננומטר לוחית בעלת 2 סדקים בעלי  $d = 0.2\text{mm}$ . במרחק  $3\text{m} = L$  נמצא מסך.

- מהו רוחב פס אור כל עוד אנחנו בזווית קטנות?
- מהו מרחקו ממרכז התבנית של מסך פס האור מסדר רביעי?
- מהו מרחקו ממרכז התבנית החתארכות של קו החושך מסדר שביעי?
- מהו מרחקו ממרכז התבנית החתארכות של מסך פס האור מסדר 200?

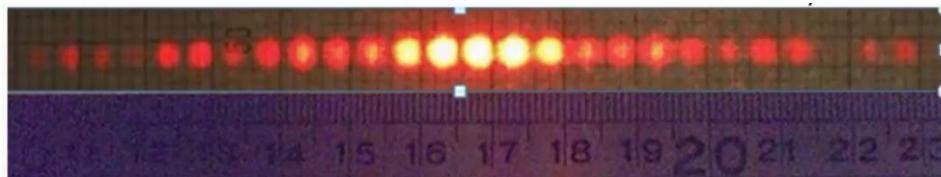
### 23) התארכות אור תרגיל 2

מאיירים בליזיר יירוק בעל אורך גל לא ידוע על לוחית ובה 2 סדקים שהמרחק ביניהם  $0.15\text{ mm}$ . מניחים מסך שאורכו  $1\text{m} = h$  במרחק  $3\text{ m}$  מטר מהלוחית כך שמרכזו המסויך בדיקת מול הסדקים. הזרווית למקסימום מסדר חמישי נמדדת ושויה ל-1 מעלה.

- מה אורך הגל של הליזיר?
- מהו מרחקו של המינימום מסדר חמישי ממרכזו המסויך?
- כמה קווי חושך התקבלו על המסויך?
- אם נחליף המסויך ארוך מאוד שיונח באותו מקום, כמה פסי אור ייווצרו על המסויך?

### 24) התארכות אור תרגיל 3

ЛОКЧИМЫ ЛИЗИР АДОМ БУЛ АОРЦ ГЛ ЛА ИДОУ И МАЦИВИМ ЛЕПНИИ ЛОЧИТ БУЛТ 2 СДЕКИМ СЕХАМРЧИК БИНИХМ 0.25 ММ. МАМКИМС МАСК БУМРЧИК 1.8 МАТР МАХЛОЧИТА. УЛ МАСК МАТКАБЛН ТЕБНИИТ ХАТАРКОТ ХАВАА, ЛЦД СРГЛ ШАХОДБК МАСК МРАШ.



- מצא את אורך הגל של הליזיר בדרך המדעית ביותר.
- איזה מהנקודות בצילומים הינה נקודת המקסימום המרכזי?
- איזה נקודת בצילומים מגיעה לאור שמן רקקו מאחד הסדקים גדול ב-3 אורך גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- איזה נקודת על המסויך מגיעה לאור שמן רקקו מאחד הסדקים גדול ב-4.5 אורך גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- מהן 3 הדרכים אשר ניתן לצופף בהן את תבנית החתארכות?

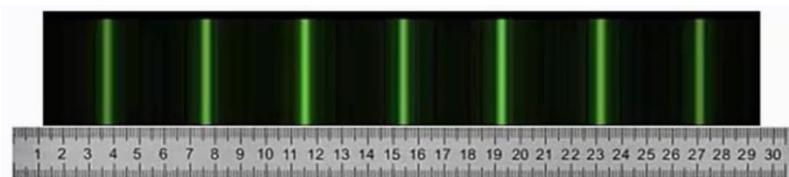
**(25) התארכות אור בסריג – תרגיל 4**

מਐרים בליזר בעל אורך גל לא ידוע על סריג בעל קבוע של 100 חרייצים למ"מ. מציבים מסך במרחק 1 מטר מהסריג כך שמרכזו מול מרכז הסריג ומול קרן הליזר. אורך המסך 4 מטר. מיקומו של קו המקסימום הראשון נמדד ושווה ל-5.5 ס"מ ממרכזו המסך.

- מהו אורך הגל של הליזר?
- מה מיקומו של קו המקסימום מסדר שני?
- מה מיקומו של קו המקסימום מסדר חמישי?
- כמה קווים מקסימום יתקבלו על המסך?
- בנחתה שמחלייפים מסך זה במסך ארוך מאוד באותו המיקום, כמה קווים מקסימום יתקבלו עלייו?

**(26) התארכות אור בסריג – תרגיל 5**

מਐרים בליזר יירוק בעל אורך גל 550 ננומטר על סריג בעל קבוע לא ידוע, ומציבים מסך במרחק 2.5 מטר מהסריג. על המסך שעליו מודבק סרגל מתכבלת התמונה הבאה:



- מצאו את קבוע הסריג בדרך המדוקפת ביותר.
- באיזה זווית ביחס לאורך האמצעי יתקבל קו המקסימום מסדר 20?
- מה יקרה לתבנית התארכות אם נחליף את הליזר הירוק בליזר כחול?

**(27) התארכות אור בסריג – תרגיל 6**

אור לבן פוגע בסריג עקיפה בעל קבוע 300 חרייצים 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 שקיים חפיפה בצבעים בין הסדר השני לשישי.

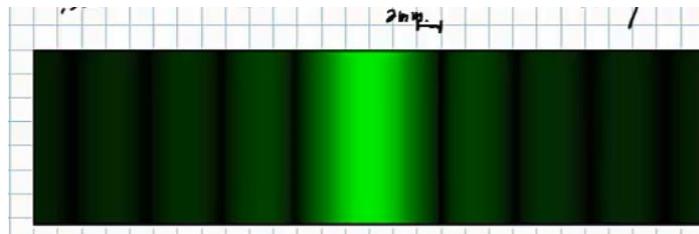
**(28) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 1**

תלמיד מאיר בליזר אדום בעל אורך גל 670 ננומטר סדק שרוחבו 0.3 מ"מ. תבנית עקיפה מתכבלת על מסך במרחק 1.5 מטר.

- מה רוחבו של המקסימום המרכזי?
- מה רוחבו של מקסימום שני, מסדר נמוך?

### 29) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 2

ליקחים ליזור יירוק בעל אורך גל 530 ננומטר. מציבים אותו לפני סדק בעל רוחב לא ידוע, ועל מסך משכבות במרחק 3 מטר מהסדק מתקבלת תבנית ההתאבכות הבאה:

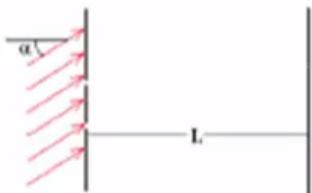


נתון רוחב משכבה על הלוחת הוא 2 מ"מ.

- מה רוחב הסדק?
- כמה קוווי צומת יתקבלו על מסך ארוך מאוד?
- מה יקרה לתבנית ההתאבכות אם נגדיל את רוחב הסדק?

### 30) שאלת בתאבכות גלי אויר

דרך משטח מישורי עם שני סדקים צרים מאד מעבירים גל מישורי בעל אורך גל  $\lambda$  המתקסדים בכיוון היוצר זווית קטנה  $\alpha$  עם האנך למשטח (ראו ציור). המרחק בין הסדקים הוא  $d$  כאשר  $\lambda \gg d$ .



מודדים את העוצמה במרכזו 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?

. א.  $\alpha = 0$ .

. ב.  $\alpha = \frac{\lambda}{2d}$

. ג.  $\alpha = \frac{2\lambda}{\pi d}$

. ד.  $\alpha = \frac{2\lambda}{d}$

. ה.  $\alpha = \frac{2\pi\lambda}{d}$

. ו.  $\alpha = \frac{\lambda}{\pi d}$

**(31) שאלת 2 – גלי אוור**

שני גלים אלקטромגנטיים העוברים כל אחד דרך סדק צר יוצרם תבנית התאבות על פניו מסך רחוק. הגל העובר דרך הסדק הראשון מתואר ע"י:  $\vec{E}_1 = A_1 \cdot e^{i(kz-\omega t)} \hat{x}$ .

$$\text{הgal העובר דרך הסדק השני מתואר ע"י: } \vec{E}_2 = A_1 \cdot e^{i(kz-\omega t)} (-\hat{y})$$

היחס בין העוצמה המקסימלית לעוצמה המינימלית הוא:

A.  $\sqrt{2}:1$ .

B.  $1:0$ .

C.  $1:1$ .

D.  $2:1$ .

E.  $4:1$ .

F.  $3:2$ .

**(32) שאלת 1 – גלי קול**

אם נניח, כי עוצמת סף השמע היא:  $.10^{-16} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$

מהי העוצמה ביחידות הניל בסוף הcab 140dB (כלומר, כמה  $\frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$  יש ב-140dB)?

A.  $.14 \cdot 10^{-16} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ .

B.  $.10^{-14} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ .

C.  $.140 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ .

D.  $.10^4 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ .

E.  $.10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ .

**(33) שאלת 2 – גלי קול**

מי כמה גדולה עוצמת קול של 100 דצייבל מעוצמת קול של 10 ד齊יבל?

A. פי 10.

B. פי 100.

C. פי 1,000.

D. פי 10,000.

E. פי 1,000,000.

- .ו. פִי 1,000,000,000.  
.ז. פִי 10,000,000,000.

### (34) שאלה 3 – גלי קול

אם עוצמת הקול המינימלית שבני אדם מסוגלים לשמוע (סף השמע)

היא :  $\frac{W}{cm^2} \cdot 10^{-16}$ , מהי עוצמת הקול באותו ייחidot ב-130 דציביל (סף הכאב),

וכמה אנרגיה פוגעת בעור התוף החשוף לעוצמה זו (130dB) במשך שעה? נתון שטחו של עור התוף כ-0.7 סמ"ר.

.א. העוצמה :  $\frac{W}{cm^2} \cdot 10^{-13}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה : J.3.3.

.ב. העוצמה :  $\frac{W}{cm^2} \cdot 10^{-3}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה : J.3.3.

.ג. העוצמה :  $\frac{W}{cm^2} \cdot 130$ , וסה"כ אנרגיה בשעה : J.75.

.ד. העוצמה :  $\frac{W}{cm^2} \cdot 1.3 \cdot 10^{-3}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה : J.2.52J.

.ה. העוצמה :  $\frac{W}{cm^2} \cdot 0.001$ , וסה"כ אנרגיה בשעה : J.2.52.

### (35) שאלה 4 – גלי קול

אם נניח כי עוצמת סף השמע היא :  $\frac{W}{cm^2} = 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$  ווט לסמ"ר),

מהי העוצמה I ביחסות הניל ב-120dB, וכמה אנרגיה E פוגעת בעור התוף של אוזנו של אדם, החשוף לעוצמת קול זו במשך 4 שעות? הניתן שטחו של עור התוף 0.7 סמ"ר.

.א.  $E = 5.8 \text{ Joule}$  ו-  $I = 12 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$

.ב.  $E = 5.8 \text{ Joule}$  ו-  $I = 13 \cdot 10^{-14} \frac{W}{cm^2}$

.ג.  $E = 1.01 \text{ Joule}$  ו-  $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$

.ד.  $E = 10.1 \text{ Joule}$  ו-  $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$

.ה.  $E = 1.2 \cdot 10^6 \text{ Joule}$  ו-  $I = 120 \frac{W}{cm^2}$

**(36) שאלת 5 – גלי קול**

כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבル בפרק זמן של שעה, כמהות האנרגיה הכוללת המגיעת לעור התווך של אוזנו היא :  $2.5 \cdot 10^{-11}$ Joule . מהי כמהות האנרגיה הכוללת המגיעת לעור התווך כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבル במשך זמן של 20 דקות?

- . א.  $0.08$ Joule
- . ב.  $0.75$ Joule
- . ג.  $2.5$ Joule
- . ד.  $2.5 \cdot 10^{-5}$ Joule
- . ה.  $5 \cdot 10^{-11}$ Joule

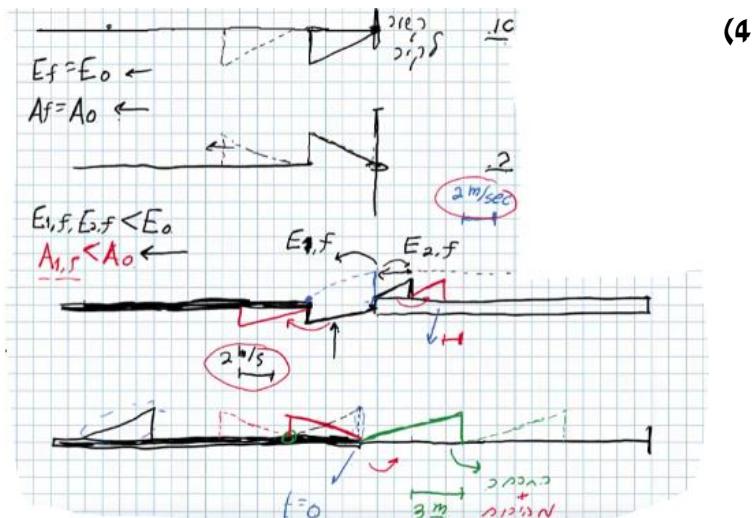
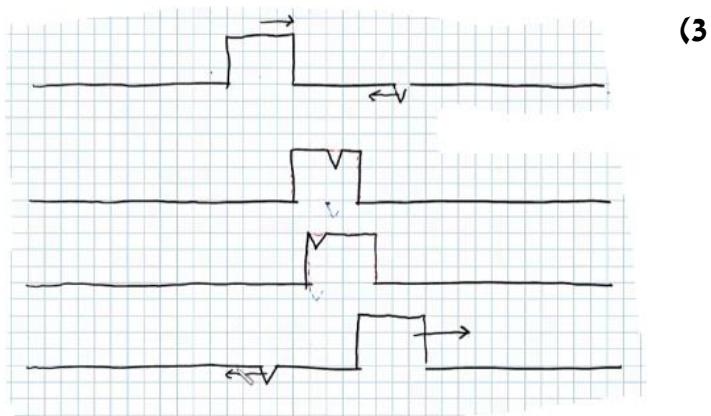
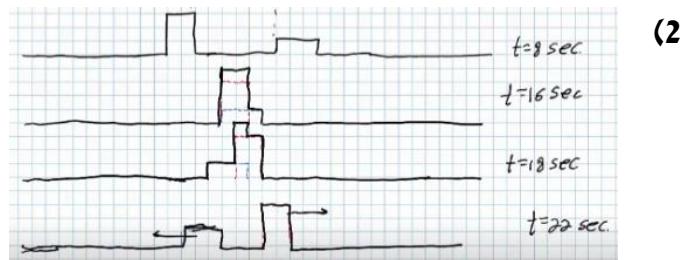
**(37) שאלת 6 – גלי קול**

כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבル בפרק זמן של שעה, כמהות האנרגיה הכוללת המגיעת לעור התווך של אוזנו היא :  $2.5 \cdot 10^{-11}$ Joule . מהי כמהות האנרגיה הכוללת המגיעת לעור התווך כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבル במשך זמן של 30 דקות?

- . א.  $0.125$ Joule
- . ב.  $1.130$ Joule
- . ג.  $37.52$ Joule
- . ד.  $3.8 \cdot 10^{-5}$ Joule
- . ה.  $7.5 \cdot 10^{-11}$ Joule

**תשובות סופיות:**

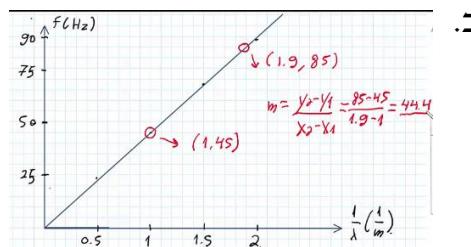
$$\text{א. } A = 0.3 \text{ m} \quad \text{ב. } V = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג. למטה.} \quad \text{ד. למעלה.}$$



. נ (5)

$\frac{1}{\lambda} \left( \text{m}^{-1} \right)$	$\lambda \left( \text{m} \right)$	צורת הגל העומד	f - תדרות התנודות (Hz)
0.5	2		
1	1		24
1.5	2/3		45
2	1/2		67
			88

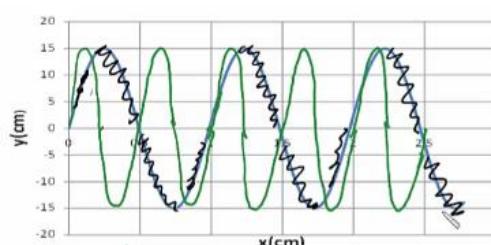
$$f = 111 \text{ Hz} . \text{ נ} \quad f = v \frac{1}{\lambda} . \text{ ג}$$



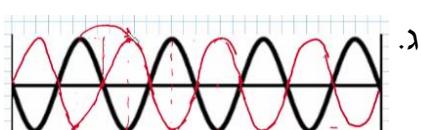
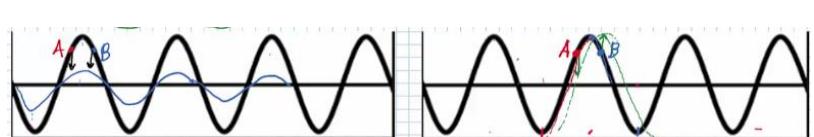
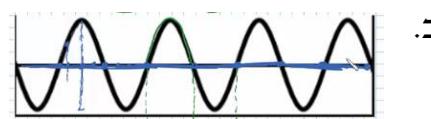
$$v = 25 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} . \text{ נ}$$

$$t = 4 . \text{ ג}$$

$$\lambda = 1 \text{ m} . \text{ ב} . \quad A = 0.15 \text{ m} . \text{ א} . \text{ נ} \quad (6)$$

(ה.)  $(0.5, 0), (1.5, 0), (2.5, 0)$ 

(7) הגל הירוק בשרטוט:

(8) א. מתקדם:  $\lambda_2 = 80 \text{ cm}$  : עומד,  $\lambda_1 = 80 \text{ cm}$  :

. ג

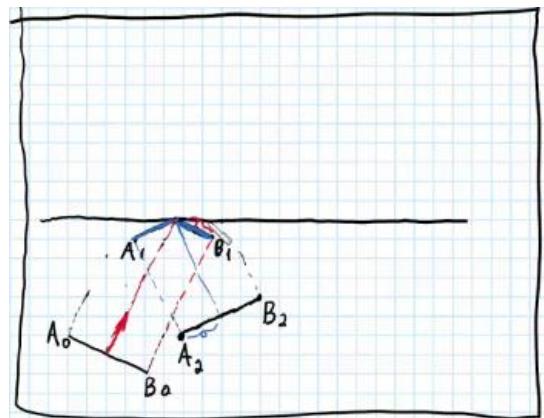
(9) א.

(10) ב.

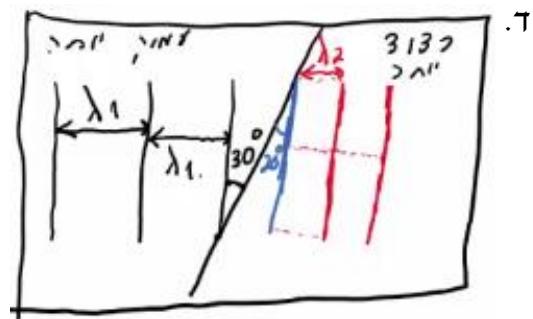
(11) א.

(12) ג.

(13)

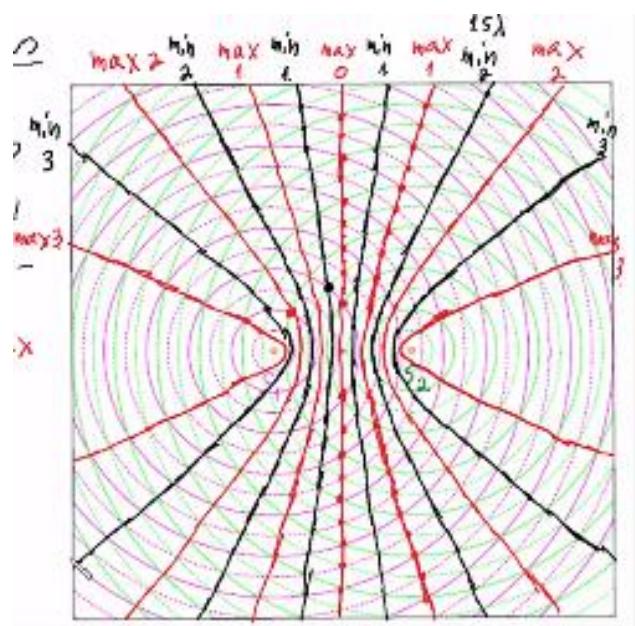


$$\lambda_2 = 3.42 \text{ cm} \quad \lambda_1 = 5 \text{ cm} \quad v_2 = 13.7 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \quad \text{.N. (14)}$$



$$0.45 \text{ cm} \quad \text{.B. N. (15)}$$

(16)



(17) א. 1.2 ס"מ.

ב. נ. A - נקי מקסימום מסדר ראשון.

ii. B - נקי צומת מסדר שני.

iii. C - נקי מקסימום מסדר שלישי, נקי על קו מקסימום.

iv. D - נקי ביןיהם.

ג. 11 קווים מקסימום, 12 קווים מינימום.

(18) א' מלאה ו-ו' חלקית.

(19) ב' ו-ה.

(20) ח.

(21) א'.

$$x_{200} = 1.73 \text{ ד. } \theta = 0.93^\circ \text{ ג. } 7.5 \text{ nm.}$$

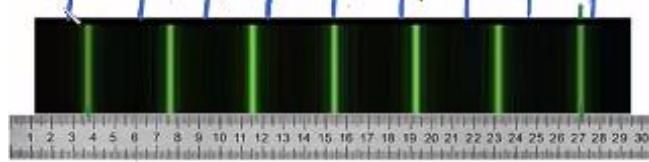
(22) א. 3 ס"מ. ב. 4.72 ס"מ. ג. 94 קווים חושך. ד. 573 פסי מקסימום.

(23) א. 524 נ"מ. ב. 4.72 ס"מ. ג. 94 קווים חושך. ד. ראה סרטוון.

(24) א. 5 מ"מ. ב. 4.5λ. ג. λ = 694nm. ד. 27 קווים. ה. 31 קווים.

(25) א. 649 נ"מ. ב. 13 ס"מ. ג. 34.3 ס"מ. ד. 27 קווים. ה. 31 קווים.

$$282 \frac{\text{haritsim}}{\text{cm}}$$



(26) א. 0.188 מ". ב. 10.9°. ג. הוכחה.

(27) א. 6.7 מ"מ. ב. 3.35 מ"מ.

(28) א. 0.265 מ"מ. ב. 1,000 קווים צומת בתבנית.

ג. האור ינוע בקווים ישרים ולא מבצע עקיפה.

(29) ב'.

(30) ג'.

(31) ח.

(32) ו'.

(33) ח.

(34) ג'.

(35) א'.

(36) א'.

(37) א'.