

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134



## תוכן העניינים

1	1. תנועה הרמונית (מבוא)
15	2. גלים
25	3. אפקט דופלר
28	4. אופטיקה
(ללא ספר)	5. מבוא למבנה החומר
44	6. הכוח החשמלי- חוק קולון
48	7. הסבר על אינטגרלים
54	8. חוק קולון עם אינטגרלים
63	9. השדה החשמלי
67	10. חוק גאוס
70	11. חוק גאוס-תרגילים נוספים
75	12. תנועה בשדה חשמלי אחיד
77	13. מוליכים
80	14. חומרים דיאלקטריים
83	15. מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית
99	16. פוטנציאל עם אינטגרלים
106	17. מטעני דמות
114	18. דיפול חשמלי
117	19. זרם מתח ותנגדות
125	20. אנרגיה והספק במעגל החשמלי
130	21. חיבור נגדים וחוקי קירכהוף
140	22. מכשירי מדידה
141	23. קבלים

# תוכן העניינים

154	24. מעגלי CR
160	25. השדה המגנטי
163	26. חוק ביו סבר
167	27. חוק אמפר
168	28. הכוח המגנטי (חוק לורנץ)
175	29. תרגילים נוספים לחוק לורנץ הכוח המגנטי והכוח הפועל על תיל נושא זרם
184	30. חוק פארדיי
187	31. השראות
193	32. משוואות מקסוואל
195	33. גלים אלקטרומגנטיים
199	34. מעגלי זרם חילופין

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 1 - תנועה הרמונית (מבוא)

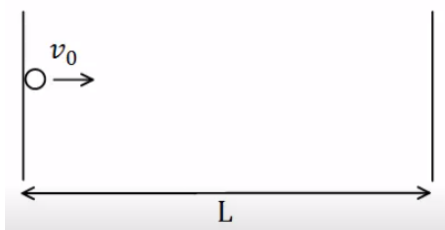
תוכן העניינים

1. תנועה מחזורית..... 1
2. תנועה הרמונית..... 2
3. קפיץ אנכי..... 6
4. תנועה הרמונית בתוספת של כוח קבוע..... 7
5. אנרגיה בתנועה הרמונית..... 8
6. מטוטלת מתמטית..... 9
7. סיכום הפרק..... (ללא ספר)
8. הוכחה לנוסחאות דרך תנועה מעגלית..... (ללא ספר)
9. תרגילים נוספים..... 10

## תנועה מחזורית:

### שאלות:

#### (1) כדור נע בין שני קירות



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

התנגשות הכדור עם הקירות היא אלסטית.

המרחק בין הקירות הוא  $L = 6\text{m}$ .

א. חשב את זמן המחזור של התנועה.

ב. דני ראה כי מיקום הגוף

ב-  $t = 1\text{sec}$  הוא  $2\text{m}$  מהקיר השמאלי.

דני חישב כמה זמן ייקח לכדור לפגוע בקיר הימני ולחזור לאותה הנקודה.

דני סימן את הזמן הזה ב-  $\tilde{T}$ , חשב מהו  $\tilde{T}$ .

ג. הסבר מדוע  $\tilde{T}$  הוא אינו זמן המחזור של התנועה, והסבר כיצד היה צריך

דני לבצע את החישוב על מנת לקבל את זמן המחזור הנכון.

### תשובות סופיות:

(1) א.  $T = 6\text{sec}$     ב.  $\tilde{T} = 4\text{sec}$     ג. ראה סרטון.

## תנועה הרמונית:

### שאלות:

#### (1) דוגמה לחישוב המיקום

גוף מחובר לקפיץ אופקי המחובר בצידו השני לקיר. הגוף נע הלוך וחזור על שולחן אופקי חסר חיכוך. דפנה מסתכלת על הגוף המתנדנד ומודדת את המרחק בין שתי הקצוות של התנועה.

- מהי אמפליטודת התנועה אם המרחק שמדדה דפנה הוא:  $0.4\text{m}$ ?
- ברגע מסוים, שהגוף מגיע למרחק המקסימאלי מהקיר, מפעילה דפנה סטופר המתחיל למדוד את הזמן מאפס. דפנה סופרת כל פעם שהגוף חוזר לנקודה שבה התחילה למדוד. דפנה ראתה כי לאחר 5 שניות הגוף הגיע בפעם העשירית בדיוק לנקודת ההתחלה.
- מהו זמן המחזור של התנועה?
- מהי התדירות והתדירות הזוויתית של התנועה?
- קבע את ראשית הצירים במרכז התנועה של הגוף, ורשום משוואה המתארת את מיקום הגוף ביחס לראשית, כתלות בזמן שמראה הסטופר של דפנה.

#### (2) מציאת המיקום מהזמן

- מסה  $m = 3\text{kg}$  קשורה לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ . מסיטים את המסה מרחק  $d = 0.3\text{m}$  בכיוון החיובי מנקודת שיווי המשקל, ומשחררים ממנוחה.
- מהם התדירות וזמן המחזור של התנועה?
  - מהי האמפליטודה של התנועה?
  - רשום נוסחה המתארת את מיקום המסה כתלות בזמן.
  - מהו מיקום המסה ב-  $t_1 = 0.4\text{sec}$ ?

#### (3) מציאת הזמן מהמיקום

- מסה  $m = 2\text{kg}$  קשורה לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 30 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ . מסיטים את המסה מרחק  $d = 15\text{cm}$  בכיוון החיובי מנקודת שיווי המשקל, ומשחררים ממנוחה.
- מצא את מיקום המסה כתלות בזמן.
  - מהו מיקום המסה ב-  $t_1 = 0.3\text{sec}$  וב-  $t_2 = 1.2\text{sec}$ ?
  - מהו הזמן בו המסה מגיעה אל נקודת שיווי המשקל, ומהו הזמן בו היא מגיעה לקצה השני?
  - מהם הזמנים בהם המסה מגיעה אל  $x = 7.5\text{cm}$ ? מדוע קיימים שניים?

**(4) חישוב המהירות**

גוף בעל מסה  $m = 0.5\text{kg}$  מתנדנד בתנועה הרמונית, כך שמיקומו כתלות בזמן הוא:  $x(t) = 0.4 \cos(2t)$ , במטרים.

- מהי התדירות הזוויתית והאמפליטודה של התנועה?
- מהי המהירות המקסימאלית של הגוף?
- רשום נוסחה למהירות כתלות בזמן של הגוף.
- מהי מהירות הגוף ב-  $t = 2\text{sec}$ , ומהי האנרגיה הקינטית שלו באותו הרגע?

**(5) חישובי פאזה**

דני רואה גוף מתנדנד בתנועה הרמונית בתדירות זוויתית  $\omega = 3 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

ובמשרעת  $A = 0.2\text{m}$ .

דני התחיל למדוד את הזמן מהרגע בו הגוף נמצא בקצה השלילי.

- רשום ביטוי למיקום כפונקציה של הזמן שמודד דני.
- צייר גרף של המיקום כתלות בזמן שמודד דני.
- מתי היה צריך דני להתחיל למדוד את הזמן אם הוא רוצה שהפונקציה של המיקום תהפוך להיות פונקציית סינוס?

**(6) חישוב הפאזה מתנאי התחלה**

גוף בעל מסה  $m = 2\text{kg}$  מחובר לקפיץ בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , ומתנדנד בתנועה

הרמונית על מישור חלק ואופקי.

- מהי התדירות הזוויתית של התנועה?
- מהם הפאזה והאמפליטודה של הגוף, אם ברגע תחילת הזמן הגוף היה

ב-  $x(t=0) = 0.2\text{m}$ , ובמהירות  $v = 6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון השלילי?

- רשום את נוסחאות המיקום והמהירות כתלות בזמן.
- חזור על סעיף ב' אם המיקום ההתחלתי הוא בנקודת שיווי המשקל.

**(7) מסה מתנגשת במסה המחוברת לקפיץ**

מסה  $m = 3\text{kg}$  מחוברת לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 9 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , ונמצאת על שולחן אופקי חלק. המסה נמצאת במנוחה (הקפיץ רפוי).

מסה זהה נוספת נעה במהירות  $v = 12 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  כלפי המסה הנייחת ומתנגשת בה

התנגשות פלסטית. הנח כי זמן ההתנגשות קצר מאוד.

לאחר ההתנגשות שתי המסות נעות בתנועה הרמונית.

א. מהי תדירות התנועה?

ב. מה תנאי ההתחלה של התנועה ההרמונית  $(x(t=0), v(t=0))$ ?

ג. מצא את המיקום כתלות בזמן של המסות מהרגע לאחר ההתנגשות.

**תשובות סופיות:**

(1) א.  $A = 0.2\text{m}$       ב.  $T = 0.5\text{sec}$       ג. תדירות:  $f = 2 \cdot \frac{1}{\text{sec}}$

תדירות זוויתית:  $\omega \approx 12.57 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$       ד.  $x(t) = 0.2 \cos(12.57 \cdot t)$

(2) א. תדירות:  $f \approx 0.29 \frac{1}{\text{sec}}$ , זמן מחזור:  $T \approx 3.44\text{sec}$       ב.  $d = 0.3\text{m}$

ג.  $x(t) = 0.3 \cos(1.83 \cdot t)$       ד.  $x(t_1) \approx 0.22\text{m}$

(3) א.  $x(t) = 0.15 \cos(3.87 \cdot t)$       ב.  $x(t_1) \approx 0.06$ ,  $x(t_2) = -0.01\text{m}$

ג. שיווי משקל:  $t_3 \approx 0.41\text{sec}$ , הקצה השני:  $t_4 \approx 0.82\text{sec}$

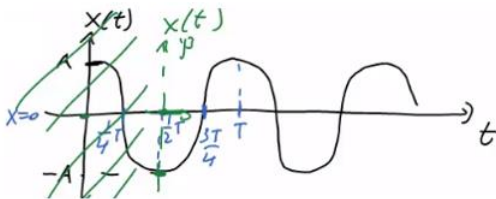
ד.  $\tilde{t}_1 \approx 0.27\text{sec}$ ,  $\tilde{t}_2 \approx 1.35\text{sec}$

(4) א.  $A = 0.4\text{m}$ ,  $\omega = 2 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$       ב.  $|v_{\max}| = 0.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ג.  $v(t) = -0.8 \cdot \sin(2 \cdot t) \frac{\text{m}}{\text{sec}}$       ד.  $v(t=2) \approx 0.61 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,  $E_k \approx 0.09\text{J}$

(5) א.  $x(t) = 0.2 \cos(3 \cdot t + \pi)$       ב. שרטוט:

ג.  $t_0 = 1.57\text{sec}$



(6) א.  $\omega = \sqrt{2} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$       ב.  $\varphi \approx 1.52\text{rad}$ ,  $A \approx 3.94\text{m}$

ג.  $x(t) = 3.94 \cos(\sqrt{2} \cdot t + 1.52)$ ,  $v(t) = -5.57 \sin(\sqrt{2} \cdot t + 1.52)$

ד.  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ,  $A \approx 4.24\text{m}$

(7) א.  $\omega = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$       ב.  $x(t=0) = 0$ ,  $v(t=0) = -6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

ג.  $x(t) = 4.90 \cos\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$

## קפיץ אנכי:

### שאלות:

#### 1) קפיץ אנכי ותוספת מסה

גוף בעל מסה  $m = 1\text{kg}$  תלוי מהתקרה באמצעות קפיץ אנכי בעל

$$\text{קבוע } k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ ואורך רפוי } l_0 = 30\text{cm}.$$

- א. מצא את המרחק של נקודת שיווי המשקל מהתקרה.  
 ב. מעמיסים על הקפיץ מסה נוספת  $m = 2\text{kg}$  המחוברת למסה הראשונה, מה תהיה נקודת שיווי המשקל החדשה?  
 כעת נניח כי מושכים את המסה הכוללת מנקודת שיווי המשקל כלפי מטה מרחק של  $d = 8\text{cm}$  ומשחררים אותה ממנוחה.  
 ג. מה תדירות התנועה של המסה?  
 ד. מצא את המיקום כתלות בזמן אם הכיוון החיובי של הציר האנכי הוא כלפי מטה.  
 ה. חזור על סעיף ד', אם הכיוון החיובי של הציר הוא כלפי מעלה.

#### 2) מסה משוחררת מנקודת רפיון

מסה  $m = 30\text{gr}$  תלויה מהתקרה באמצעות קפיץ אנכי בעל קבוע  $k = 1.5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

- המסה מוחזקת באוויר בנקודה שבה הקפיץ רפוי ומשוחררת ממנוחה.  
 א. מצא את נקודת שיווי המשקל.  
 ב. מצא את המיקום כתלות בזמן, אם הכיוון החיובי כלפי מטה.

### תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } 0.5\text{m} \quad \text{ב. } 0.9\text{m} \quad \text{ג. } \omega \approx 4.08 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{ד. } y(t) = 0.08 \cos(4.08 \cdot t)$$

$$\text{ה. } y(t) = 0.08 \cos(4.08 \cdot t + \pi)$$

$$(2) \quad \text{א. } y_0 = \frac{\text{mg}}{k} \quad \text{ב. } y(t) = 0.2 \cos(7.07 \cdot t + \pi)$$

## תנועה הרמונית בתוספת של כוח קבוע:

### שאלות:

#### (1) תוספת של כוח קבוע

גוף בעל מסה  $m = 0.2\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הגוף נמצא במנוחה בנקודה שבה הקפיץ רפוי.

ב- $t = 0$  מתחיל לפעול על הגוף כוח קבוע בכיוון

החיובי  $F = 0.1\text{N}$ .

א. מצא את נקודת שיווי המשקל החדשה.

ב. מהי תדירות התנועה?

ג. מהם תנאי ההתחלה של הבעיה?

ד. מצא את המיקום כתלות בזמן.

#### (2) כוח מפסיק בפתאומיות

גוף מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הגוף נצפה מתנדנד בתנועה הרמונית באמפליטודה  $A = 0.3\text{m}$ .

ידוע שעל הגוף פועל כוח קבוע  $F = 2\text{N}$  בכיוון החיובי.

א. מצא היכן תהיה נקודת שיווי המשקל,

במידה והכוח יפסיק לפעול בפתאומיות.

ב. מצא מה תהיה אמפליטודת התנועה במידה

והכוח יפסיק לפעול, ברגע שהגוף נמצא בקצה החיובי של התנועה.

ג. חזור על סעיף ב' עבור הקצה השלילי.

ד. חזור על סעיף ב' אם הכוח הפסיק כאשר הגוף במרכז התנועה,

ומהירותו ברגע זה היא  $2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

### תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } 0.025\text{m} \quad \text{ב. } \omega = 4.47 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{ג. } x(t=0) = -x_0, v(t=0) = 0$$

$$\text{ד. } x(t) = 0.025(4.47 \cdot t + \pi)$$

$$(2) \quad \text{א. } x_0 = -0.4\text{m} \quad \text{ב. } \tilde{A} = 0.7\text{m} \quad \text{ג. } \tilde{A} = 0.1$$

## אנרגיה בתנועה הרמונית:

### שאלות:

#### 1) חישובי אנרגיה

מסה  $m = 2\text{kg}$  מחוברת לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

מושכים את המסה מרחק  $d = 0.2\text{m}$  מנקודת שיווי המשקל, ומשחררים אותה ממנוחה.

- רשום את מיקום המסה כתלות בזמן מרגע השחרור.
- רשום את מהירות המסה כתלות בזמן מרגע השחרור.
- חשב את מיקום ומהירות המסה ברגעים  $t = 0, 1, 2\text{sec}$ .
- חשב את האנרגיה הקינטית, האנרגיה הפוטנציאלית והאנרגיה הכללית של המסה, בכל אחד מן הרגעים. הראה כי האנרגיה הכללית נשמרת.

### תשובות סופיות:

$$1) \quad \text{א. } x(t) = 0.2 \cos(5 \cdot t) \quad \text{ב. } v(t) = 1 \cdot \sin(5 \cdot t)$$

$$\text{ג. } x(t=1) \approx 0.057\text{m}, v(t=1) \approx 0.960 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$x(t=2) \approx -0.168\text{m}, v(t=2) \approx 0.544 \frac{\text{m}}{\text{sec}}; x(t=0) \approx 0.2\text{m}, v(t=0) \approx 0$$

$$\text{ד. } t=0: E_k = 0, U = 1; t=1: E_k = 0.922\text{J}, U = 0.081\text{J}; t=2: E_k = 0.296\text{J}, U = 0.706\text{J}$$

## מטוטלת מתמטית:

### שאלות:

#### 1) חישוב אורך חוט

מצא מה צריך להיות אורך החוט של מטוטלת, על מנת שהזמן שייקח למסה לעבור מקצה אחד לקצה השני יהיה חצי שנייה.

### תשובות סופיות:

1)  $l \approx 0.25\text{m}$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1

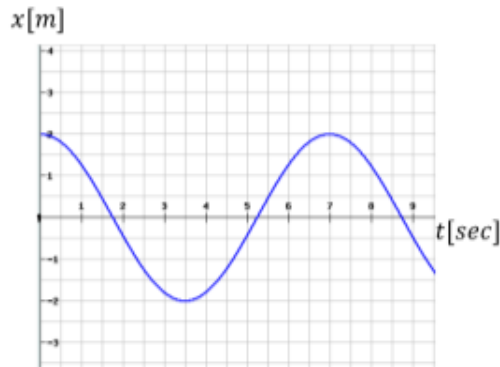
גוף בעל מסה  $m = 20\text{gr}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , וחופשי לנוע ללא חיכוך. הגוף מתנדנד בתנועה הרמונית כך שהמרחק בין הקצוות של התנועה הוא:  $d = 10\text{cm}$ .

- מהי האפליטודה של התנועה?
- מהי התדירות הזוויתית?
- מהו זמן המחזור?
- רשום נוסחה למיקום הגוף כתלות בזמן, אם הזמן נמדד מהרגע בו הגוף היה בקצה החיובי.
- רשום נוסחה למהירות הגוף כתלות בזמן.

#### (2) תרגיל 2

גוף בעל מסה  $m = 2\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע  $k = 4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , וחופשי לנוע ללא חיכוך. מושכים את הגוף מנקודת שיווי המשקל למרחק של  $d = 0.2\text{m}$  ומשחררים ממנוחה.

- מהי התדירות הזוויתית?
- מהו זמן המחזור?
- מהי האפליטודה של התנועה?
- מהו מיקום הגוף כתלות בזמן מרגע השחרור?
- רשום נוסחה למהירות הגוף כתלות בזמן.
- חזור על כל הסעיפים עבור המקרה בו ברגע השחרור הגוף מקבל דחיפה קטנה המקנה לו מהירות התחלתית  $v_0 = 0.1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

**3 תרגיל (3)**

הגרף הבא מתאר את מיקומו כתלות בזמן של גוף הנע בתנועה הרמונית פשוטה.

- מהי אמפליטודת התנועה?
- מהו זמן המחזור?
- מהי התדירות הזוויתית?
- מהי הפאזה?
- רשום נוסחה למהירות כתלות בזמן.

**4 תרגיל (4)**

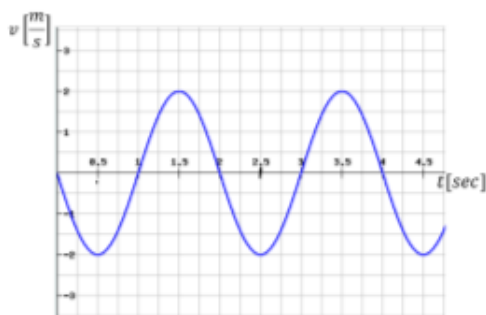
גוף בעל מסה  $m = 1\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

הגוף משוחרר ממנוחה במרחק  $d = 0.3\text{m}$  מנקודת שיווי המשקל.

- רשום נוסחה למיקום הגוף כתלות בזמן.
- מצא את מיקום הגוף ב-  $t = 3\text{sec}$ .
- מהי מהירות הגוף ב-  $t = 3\text{sec}$ .
- מהי תאוצת הגוף ב-  $t = 3\text{sec}$ .

**5 תרגיל (5)**

מהירותו של גוף המתנדנד בתנועה הרמונית נתונה לפי הגרף הבא:



א. מתי מגיע הגוף לנקודת שיווי המשקל

בפעם הראשונה?

ב. האם תאוצת הגוף ב-  $t = 1\text{sec}$

מקסימאלית?

ג. האם ב-  $t = 1.5\text{sec}$  האנרגיה

קינטית מרבית?

ד. מהו הכוח ב-  $t = 2.5\text{sec}$ ?

ה. כמה מחזורי תנועה עשה הגוף

ב-4 השניות הראשונות של התנועה?

**6 תרגיל (6)**

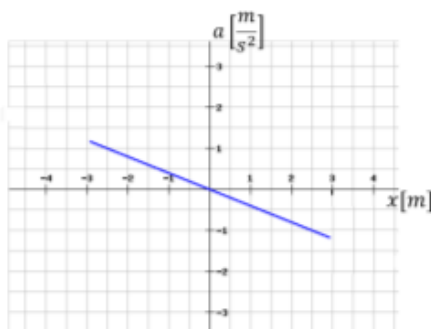
בגרף הבא נתונה התאוצה של גוף כתלות

במיקום של הגוף. מסת הגוף היא  $m = 20\text{g}$ .

א. האם התנועה היא תנועה הרמונית? נמק.

ב. מהו קבוע הקפיץ?

ג. מהי אמפליטודת התנועה?



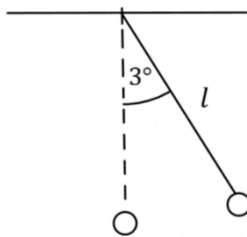
**7 תרגיל (7)**

גוף בעל מסה  $m = 2\text{kg}$  מחובר לקפיץ אופקי בעל קבוע קפיץ  $k = 40 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ .

ב- $t = 0$  מיקום ומהירות הגוף הם:  $x = 20\text{cm}$ ,  $v = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

- רשום נוסחה למיקום הגוף כתלות בזמן.
- מתי מיקומו של הגוף הוא 5 ס"מ משמאל לנקודת שיווי המשקל בפעם הראשונה?
- מתי מהירות הגוף היא  $0.1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון החיובי?
- מהי התאוצה המקסימאלית של הגוף?

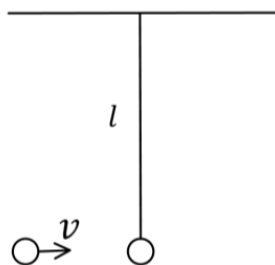
**8 תרגיל (8)**



מטוטלת מתמטית בעלת חוט באורך  $l = 1\text{m}$ , ומסה  $m = 100\text{gr}$  בקצה, משוחררת ממנוחה מזווית של  $3^\circ$ .

- מה תהיה התדירות הזוויתית של התנועה?
- כמה זמן ייקח למטוטלת להגיע לנקודת שיווי המשקל?
- מהי מהירות המסה בנקודת שיווי המשקל?
- בנקודת שיווי המשקל מונחת מסה נוספת  $m = 25\text{gr}$ , הנמצאת במנוחה. מסת המטוטלת מתנגשת במסה הנוספת התנגשות פלסטית.
- מתי מהירות הגופים מיד לאחר ההתנגשות?
- מהי התדירות הזוויתית של התנועה לאחר ההתנגשות?
- מהי הזווית המקסימאלית אליה תגיע המטוטלת לאחר ההתנגשות?

**9 תרגיל (9)**



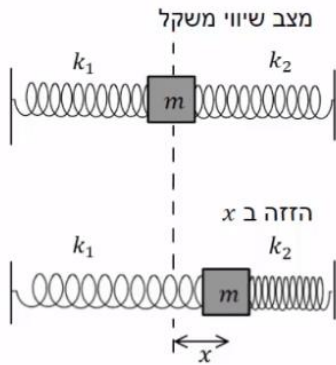
מטוטלת מתמטית בעלת חוט באורך  $l = 0.5\text{m}$ , ומסה  $m = 50\text{gr}$  בקצה, תלויה במנוחה.

מסה  $m = 25\text{gr}$  נעה אופקית במהירות  $v = 0.6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ,

ומתנגשת במסת המטוטלת התנגשות פלסטית.

- מה תהיה התדירות הזוויתית של התנועה לאחר ההתנגשות, בהנחה שהתנדודות קטנות.
- כמה זמן ייקח למטוטלת להגיע לשיא הגובה?
- מהי מהירות הגופים מיד לאחר ההתנגשות?
- מהי הזווית המקסימאלית אליה תגיע המטוטלת?

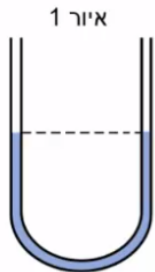
**(10) מסה עם קפיצים משני הצדדים**



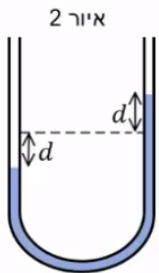
לשני צדדיה של מסה  $m$  מחוברים שני קפיצים שקבועי הכוח שלהם הם:  $k_1$  ו- $k_2$ . הגוף נמצא על משטח חלק. מזיזים את הגוף ימינה מרחק  $x$ .

- א. הראה כי כאשר מרפים ממנו הוא ינוע בתנועה הרמונית פשוטה שקבועה הוא:  $k_1 + k_2$ .
- ב. מהו זמן המחזור של התנועה?

**(11) צינור בצורת U**



בתוך צינור גלילי בצורת האות U מצוי נוזל בשיווי משקל (איור 1). אורך החלק המלא בנוזל הוא  $L$  ושטח החתך לאורך כל הצינור הוא  $A$ . צפיפות הנוזל (מסה ליחידת נפח) היא  $\rho$ . נושפים בזרוע השמאלית של הצינור כך שפני הנוזל יורדים בשיעור  $d$ , ומרפים (איור 2).

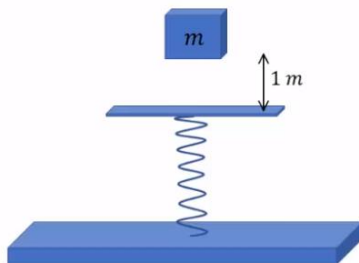


- א. תאר במילים את תנועת הנוזל בהנחה שלא פועלים עליו כוחות חיכוך.
- ב. הראה כי כאשר פני הנוזל נמצאים במרחק  $x$  ממצב שיווי המשקל פועל על הנוזל כוח מחזיר:  $F = -2\rho Agx$ . (הדרכה: חשב את מסת הנוזל העודפת בצד הגבוה ומשם את כוח הכובד שהיא מפעילה על שאר הנוזל).
- ג. בהנחה כי  $x \ll L$  הראה כי זמן המחזור של התנועה

$$T = \pi \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

הוא:

**(12) מסה נופלת על קפיץ אנכי**



קפיץ אנכי מחובר לקרקע מצידו האחד וללוח אופקי בצידו השני.

קבוע הקפיץ הוא:  $400 \frac{N}{m}$ . מסה של  $m = 2 \text{ kg}$

משוחררת ממנוחה מגובה של מטר אחד מעל הלוח, המסה נופלת נפילה חופשית ונדבקת ללוח. מסת הלוח והקפיץ ניתנות להזנחה.

- א. מהי ההתכווצות המרבית של הקפיץ?
- ב. מהי תדירות תנודות המשקולת?
- ג. מהי משרעת התנודות?

## תשובות סופיות:

- (1) א.  $A = 0.05\text{m}$     ב.  $\omega \approx 14.14 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ג.  $T \approx 0.444\text{sec}$   
 ד.  $x(t) = 0.05 \cdot \cos(14.14 \cdot t)$     ה.  $v(t) = -0.707 \cdot \sin(14.14 \cdot t)$
- (2) א.  $\omega = 1.41 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $T \approx 4.44\text{sec}$     ג.  $A = 0.2\text{m}$   
 ד.  $x(t) = 0.2 \cdot \cos(1.41 \cdot t)$     ה.  $v(t) = -0.282 \cdot \sin(1.41 \cdot t)$   
 ו.  $x(t) = 0.212 \cdot \cos(1.41 \cdot t + 0.341)$  ,  $T = 4.44\text{sec}$  ,  $A = 0.212\text{m}$  ,  $\omega = 1.41 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$   
 ז.  $v(t) = -0.299 \sin(1.41 \cdot t + 0.341)$
- (3) א.  $A = 2\text{m}$     ב.  $T = 7\text{sec}$     ג.  $\omega \approx 0.898 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ד.  $\varphi = 0$   
 ה.  $v(t) = -1.80 \cdot \sin(0.898 \cdot t + 0)$
- (4) א.  $x(t) = 0.3 \cos(\sqrt{3} \cdot t)$     ב.  $x(t=3) \approx 0.14\text{m}$   
 ג.  $v(t=3) \approx -0.46 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     ד.  $a(t=3) = -0.42 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$
- (5) א.  $t = 0.5\text{sec}$     ב. כן.    ג. כן.    ד. 0    ה. 2
- (6) א. כן.    ב.  $k = 0.008 \frac{\text{N}}{\text{m}}$     ג.  $A \approx 3\text{m}$
- (7) א.  $x(t) = 0.22 \cos(\sqrt{20} \cdot t - 0.42)$     ב.  $t_1 = 0.5\text{sec}$     ג.  $t_1 \approx 0.07\text{sec}$
- (8) א.  $\omega = \sqrt{10} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $t \approx 0.5\text{sec}$     ג.  $v_{\max} = 0.165$     ד.  $u = 0.131 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$   
 ה.  $\omega = \sqrt{10} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ו.  $\theta \approx 2.35^\circ$   
 ז.  $a_{\max} = 4.4 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$
- (9) א.  $\omega = \sqrt{20} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$     ב.  $t \approx 0.35\text{sec}$     ג.  $u = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     ד.  $\theta = 5.12^\circ$
- (10) א. הוכחה.    ב.  $T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{m}}{k_1 + k_2}}$
- (11) א. ראה סרטון.    ב. הוכחה.    ג. הוכחה.
- (12) א.  $\Delta x_{\max} = 0.37\text{m}$     ב.  $f = 2.25 \frac{1}{\text{sec}}$     ג.  $A \approx 0.32\text{m}$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 2 - גלים

תוכן העניינים

1. גלים והתאבכות גלים ..... 15

## גלים והתאבכות גלים:

### רקע:

מהירות גל מחזורי:  $v = \lambda f$

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:  $\ell = n \frac{\lambda}{2}$

$$\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)}$$

$$\frac{I_a}{I_b} = 10^{\left(\frac{\alpha-\beta}{10}\right)}$$

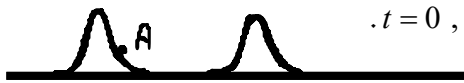
$$E = I \cdot S \cdot t$$

### שאלות:

#### 1 תרגול גל (1)

פולס נע ימינה בחבל.

מתוארת צורתו בשני זמנים שונים:  $t = 0$ ,  $t = 2 \text{ sec}$ .



א. מה משרעת הפולס?

ב. מה מהירות התקדמותו?

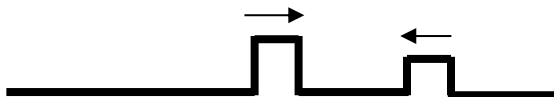
ג. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה A ברגע  $t = 0$ ?

ד. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה B ברגע זה?

#### 2 תרגול גל (2)

מציירים בחבל שתי הפרעות כמתואר בתרשים:  $v = 10 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

שרטט את החבל בזמנים הבאים:



א.  $t = 8 \text{ sec}$

ב.  $t = 16 \text{ sec}$

ג.  $t = 18 \text{ sec}$

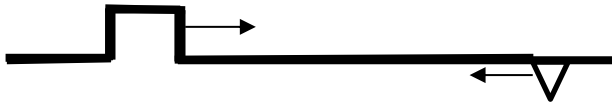
ד.  $t = 22 \text{ sec}$

**(3) תרגול גל 3**

בחבל מייצרים שתי הפרעות שונות בשני קצותיו שמתקדמות אחת לקראת

השנייה, כמתואר בתרשים:  $v = 0.5 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

שרטט את צורת החבל בזמנים הבאים:



א.  $t = 8 \text{ sec}$

ב.  $t = 12 \text{ sec}$

ג.  $t = 13 \text{ sec}$

ד.  $t = 16 \text{ sec}$

**(4) תרגול גל 4**

פולס משולש נע בחבל ומגיע לקצהו. שרטט את החבל + הפולס במקרים הבאים:

א. קצה החבל קשור לקיר.

ב. קצה החבל מולבש על טבעת חופשיה למנוע על פני ציר שעובר דרכה.

ג. קצה החבל קשור לחבל כבד יותר.

ד. קצה החבל קשור לחבל קל יותר.

### 5) תרגול גל עומד



חוט AB, שאורכו 1m, קשור בקצהו B למחולל תנודות, ובקצהו A למוט קבוע (ראה תרשים).  
 כאשר תלמיד מפעיל את מחולל התנודות, נוצר בחוט AB גל, שמוחזר מהקצה A.  
 התלמיד מגדיל ברציפות את תדירות מחולל התנודות ורושם את התדירויות בכל פעם שנוצר בחוט AB גל עומד.  
 תוצאות הניסוי רשומות בטבלה שלפניך:

$\frac{1}{\lambda} (\text{m}^{-1})$	$\lambda (\text{m})$	צורת הגל העומד	f - תדירות התנודות (Hz)
			24
			45
			67
			88

התייחס לנקודה B כנקודת צומת.

א. העתק את הטבלה למחברתך, ורשום בעמודה את אורך הגל  $\lambda$ , לכל אחד מארבעת הגלים העומדים שנוצרו בחוט?

ב. רשום בעמודה המתאימה בטבלה את הערך  $\frac{1}{\lambda}$  לכל אחד מארבעת הגלים, וסרטט גרף של התדירות f כפונקציה של  $\frac{1}{\lambda}$ .

ג. מצא בעזרת הגרף את מהירות התפשטותו של גל בחוט AB.

ד. התלמיד ממשיך להגדיל את תדירות מחולל התנודות.

מהי התדירות הראשונה (הגבוהה מ-88Hz) שיווצר בה גל עומד בחוט AB? נמק.

### 6) תרגול גל מחזורי 1

מופיעים לפניכם גרפי העתק זמן והעתק מקום של חבל מסוים.

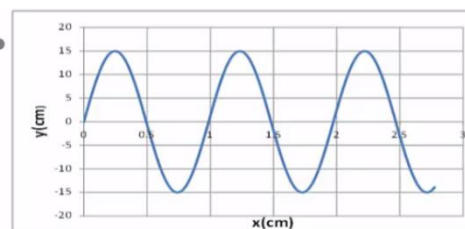
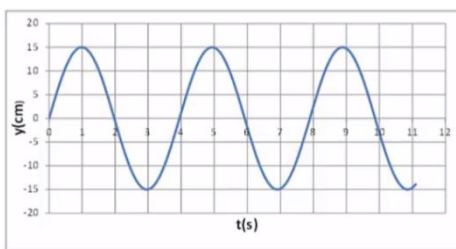
א. מהי משרעת הגל?

ב. מהו אורך הגל המתקדם בחבל?

ג. מה זמן המחזור של הגל?

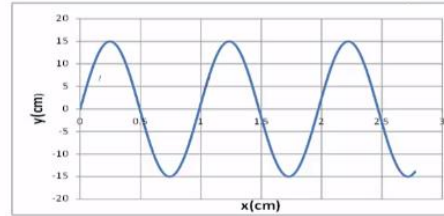
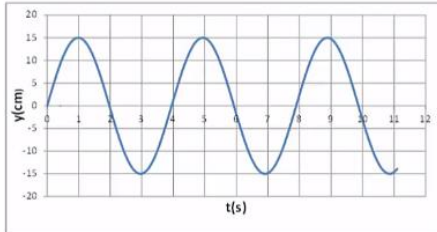
ד. מה מהירות הגל?

ה. לאיזה נקודה/נקודות בחבל יכול להתאים גרף ההעתק זמן (השמאלי)?



**תרגול גל מחזורי 2 (7)**

לפניכם גרף העתק-מקום והעתק-זמן של הגוף מהשאלה הקודמת.  
מכפילים את תדירות מחולל הגלים (מקור).  
שרטטו את גרף העתק-זמן והעתק-מקום החדשים.

**תרגול גל מחזורי 3 (8)**

- 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 מחזור לאחר תצלום זה.  
ד. בחר בכל תצלום נקודה מימין ומשמאל למשרעת, וצייר את כיוון תנועתה מיד לאחר צילום זה.

**תרגיל 1 (9)**

מהירות גל במיתר מתוח 25 מטר בשנייה. קושרים את היתר בין שני כנים שהמרחק ביניהן 3 מטר.  
מניעים את המיתר בעזרת מתנד.  
באיזו תדירות יש לנדנד 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**

מיתר בעל אורך 90 ס"מ קשור בשני קצותיו. כשמנדנדים אותו בתדירות 150 הרץ, נוצר בו גל עומד עם 8 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהירות גל במיתר הנ"ל:

א.  $15.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

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**

מנדנדים מיתר מתוח הקשור בשני קצותיו בתדירות 100 הרץ. אורך המיתר 3 מטר. במיתר נוצר גל עומד עם 5 נקודות צומת (כולל הקצוות). מהי מהירות הגל במיתר?

א.  $150 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$

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**

מיתר של גיטרה משמיע עם הפריטה עליו צליל בתדירות של 300 הרץ. אם רוצים להפיק מהמיתר צליל בעל תדירות של 900 הרץ:

- א. אין כל דרך להפיק את התדירות הנ"ל מהמיתר.
- ב. יש להקטין את המתיחות במיתר פי 3.
- ג. יש לקצר את המיתר פי 3.
- ד. יש להאריך את המיתר פי 3.
- ה. יש להגדיל את המתיחות פי 2.

**(13) שאלה 1 – גלי קול**

אם נניח, כי עוצמת סף השמע היא:  $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$ .

מהי העוצמה ביחידות הנ"ל בסף הכאב 140dB (כלומר, כמה  $\frac{W}{cm^2}$  יש ב-140dB)?

א.  $14 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$

ב.  $10^{-14} \frac{W}{cm^2}$

ג.  $140 \frac{W}{cm^2}$

ד.  $10^4 \frac{W}{cm^2}$

ה.  $10^{-2} \frac{W}{cm^2}$

**(14) שאלה 2 – גלי קול**

פי כמה גדולה עוצמת קול של 100 דציבל מעוצמת קול של 10 דציבל?

א. פי 10.

ב. פי 100.

ג. פי 1,000.

ד. פי 10,000.

ה. פי 1,000,000.

ו. פי 1,000,000,000.

ז. פי 10,000,000,000.

**15) שאלה 3 – גלי קול**

אם עוצמת הקול המינימאלית שבני אדם מסוגלים לשמוע (סף השמע) היא:  $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$ , מהי עוצמת הקול באותן יחידות ב-130 דציבל (סף הכאב), וכמה אנרגיה פוגעת בעור התוף החשוף לעוצמה הזו (130dB) במשך שעה? נתון ששטחו של עור התוף כ-0.7 סמ"ר.

- א. העוצמה:  $10^{-13} \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה: 5.3J .
- ב. העוצמה:  $10^{-3} \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה: 5.3J .
- ג. העוצמה:  $130 \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה: 75J .
- ד. העוצמה:  $1.3 \cdot 10^{-3} \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה: 2.52J .
- ה. העוצמה:  $0.001 \frac{W}{cm^2}$ , וסה"כ אנרגיה בשעה: 2.52J .

**16) שאלה 4 – גלי קול**

אם נניח כי עוצמת סף השמע היא:  $10^{-16} \frac{W}{cm^2}$  (ווט לסמ"ר), מהי העוצמה I ביחידות הנ"ל ב-120dB, וכמה אנרגיה E פוגעת בעור התוף של אוזנו של אדם, החשוף לעוצמת קול זו במשך 4 שעות? הניחו ששטחו של עור התוף 0.7 סמ"ר.

- א.  $E = 5.8 \text{Joule}$  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-  $I = 120 \frac{W}{cm^2}$  .

**(17) שאלה 5 – גלי קול**

כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבל בפרק זמן של שעה, כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף של אוזנו היא:  $2.5 \cdot 10^{-11}$  Joule. מהי כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבל למשך זמן של 20 דקות?

- א.  $0.08 \text{ Joule}$   
 ב.  $0.75 \text{ Joule}$   
 ג.  $25 \text{ Joule}$   
 ד.  $2.5 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$   
 ה.  $5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$

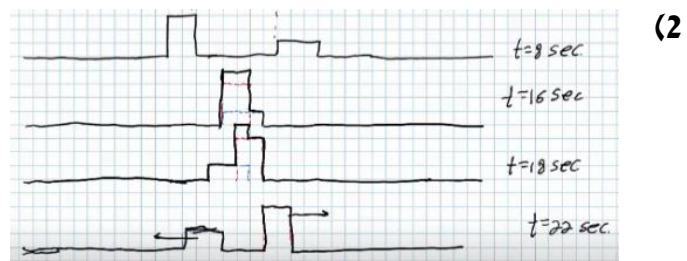
**(18) שאלה 6 – גלי קול**

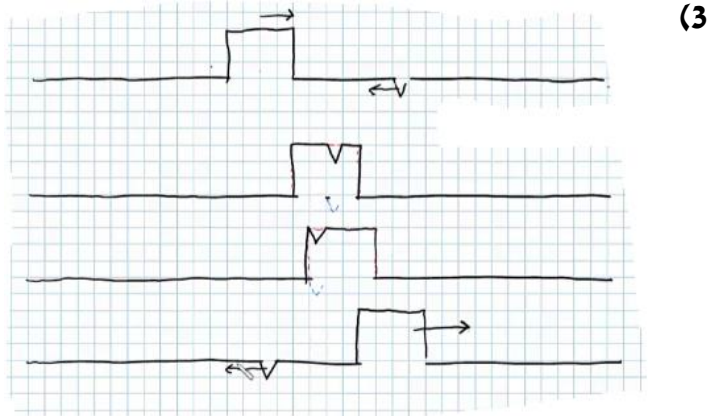
כאשר אדם נחשף לקול בעוצמה של 20 דציבל בפרק זמן של שעה, כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף של אוזנו היא:  $2.5 \cdot 10^{-11}$  Joule. מהי כמות האנרגיה הכוללת המגיעה לעור התוף כאשר האוזן נחשפת לקול בעוצמה של 120 דציבל למשך זמן של 30 דקות?

- א.  $0.125 \text{ Joule}$   
 ב.  $1.130 \text{ Joule}$   
 ג.  $37.52 \text{ Joule}$   
 ד.  $3.8 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$   
 ה.  $7.5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$

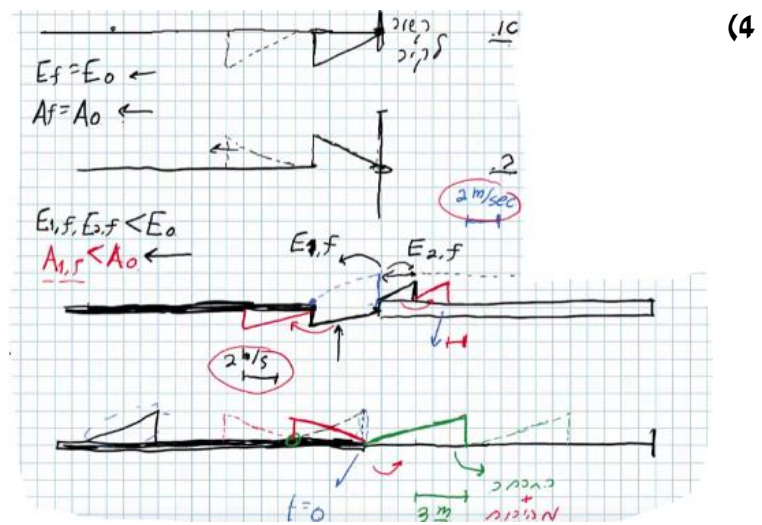
**תשובות סופיות:**

(1) א.  $A = 0.3 \text{ m}$     ב.  $V = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$     ג. למעלה.    ד. למטה.





(3)



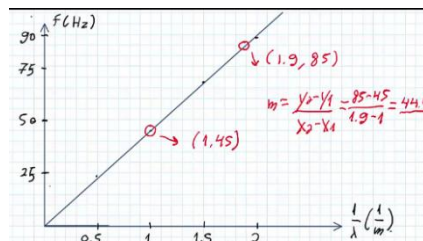
(4)

א. (5)

$\frac{1}{\lambda} (\text{m}^{-1})$	$\lambda (\text{m})$	צורת הגל העומד	f - תדירות התנודות (Hz)
0.5	2		24
1	1		45
1.5	$\frac{2}{3}$		67
2	$\frac{1}{2}$		88

$f = 111 \text{ Hz}$  .ג.  $f = v \frac{1}{\lambda}$

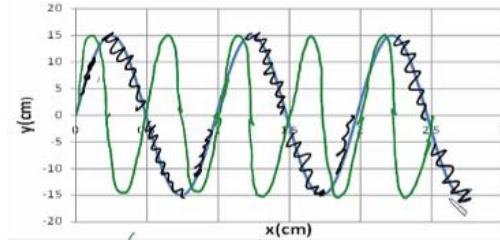
ב.



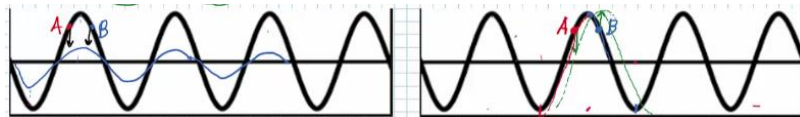
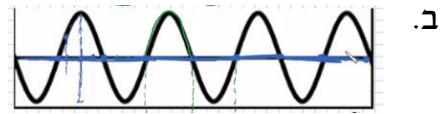
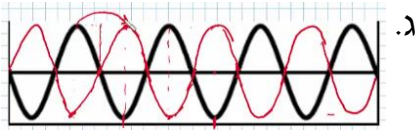
(6) א.  $A = 0.15\text{m}$  ב.  $\lambda = 1\text{m}$  ג.  $t = 4$  ד.  $v = 25 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$

ה.  $(0.5, 0)$ ,  $(1.5, 0)$ ,  $(2.5, 0)$

(7) הגל הירוק בשרטוט:



(8) א. מתקדם:  $\lambda_1 = 80\text{cm}$ , עומד:  $\lambda_2 = 80\text{cm}$ .



(9) א.

(10) ב.

(11) א.

(12) ג.

(13) ה.

(14) ו.

(15) ה.

(16) ג.

(17) א.

(18) א.

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 3 - אפקט דופלר

תוכן העניינים

1. אפקט דופלר.....25

## אפקט דופלר

### רקע

עבור מקור נע וצופה נייח:

$$f' = f_s \frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}$$

$f'$  - התדר המוסט.

$v_s$  - מהירות המקור, חיובית עם כיוון התקדמות הגל.

$f_s$  - תדירות המקור (התדירות שהצופה היה קולט אם המקור לא היה זז).

$v$  - מהירות הגל.

עבור מקור וצופה נעים:

$$f_0 = f_s \frac{v + v_0}{v - v_s}$$

$f_0$  - התדר המוסט (התדר שקולט צופה שנע).

$v_0$  - מהירות הצופה, חיובית נגד כיוון התקדמות הגל.

גלי הלם:

$$\sin \theta = \frac{v}{v_s}$$

$\theta$  - חצי מזווית הראש של קונוס גל ההלם.

## שאלות

**(1) מציאת המהירות של גוף בתנועה הרמונית**

גוף קטן בעל מסה  $m$  נע בתנועה הרמונית. הגוף משדר גל קול באופן רציף. מודדים את התדירות המינימלית והמקסימלית של גלי הקול הנקלטים מהגוף. חשבו את האנרגיה הקינטית של הגוף באמצעות התדירויות. הניחו שהבעיה חד מימדית.

**(2) מקור נע בתאוצה\***

מקור נע במהירות  $v_s$  לכיוון צופה ניח הנמצא במרחק  $L$  ופולט גלי קול בתדירות  $f_s$  (תדירות המקור). המקור מתחיל להאיץ בתאוצה קבועה  $a$ . מהי התדירות אותה ימדוד הצופה כתלות בזמן? ניתן להניח כי:  $aT \ll v_s$  וכי הצופה תמיד רחוק מהמקור. שימו לב כי לגל לוקח זמן להגיע לצופה.

**(3) נמלה מטיילת על מיתר**

במיתר אינסופי קיימת הפרעה מהצורה:  $\psi(x,t) = A \cos(kx - \omega t)$

כאשר אורך הגל ומהירות הגל הן:  $\lambda = 0.4\text{m}$ ,  $v = \frac{7\text{m}}{\text{sec}}$ .

נמלה מטיילת על המיתר במהירות  $0.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון הפוך לכיוון התקדמות הגל. כמה פעמים עולה ויורדת הנמלה כל שניה?

**(4) מדידת מהירות של צוללת**

צוללת נעה במהירות:  $v_1 = \frac{19\text{m}}{\text{sec}}$  מזהה צוללת נוספת הנעה לכיוונה.

בצוללת יש סונר המייצר גלי קול בתדר קבוע:  $f = 1000\text{Hz}$ . גלי הקול פוגעים בצוללת השנייה וחוזרים לסונר. התדר של הגל המוחזר שמודד הסונר הוא:  $f' = 1060\text{Hz}$ .

ידוע שמהירות הגלים במי ים היא:  $v = 1519 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

חשבו את מהירות הצוללת השנייה (ביחס לקרקע).



**5 פעימות של גל המוחזר מפגיעה בקיר**

אדם העומד הרחק מקיר מחזיק מקור שפולט צלילים בתדירות 280Hz.

האדם מתחיל לנוע לכיוון הקיר, עם המקור בידיו, במהירות  $3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

הניחו שמהירות הקול היא:  $330 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

א. מה תדירות הצליל אותה היה שומע מאזין הנמצא ליד הקיר במנוחה?

ב. אילו האדם שנע היה יכול להאזין רק לגל המוחזר מהקיר,

מה תדירות הצליל שהוא היה שומע?

ג. נניח שעוצמת הגל המוחזר מהקיר זהה לזו של הגל הפוגע.

מה התדר ששומע האדם שנע ומהי תדירות הפעימות של גל זה?

**תשובות סופיות**

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \left( \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}} \right)^2 \quad (1)$$

$$f_s = \frac{1}{v_s + a \left( t - \frac{L}{v} \right)} \quad (2)$$

$$18 \quad (3)$$

$$34.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (4)$$

$$285\text{Hz} \quad \text{ב.} \quad 283\text{Hz} \quad \text{א.} \quad (5)$$

ג. תדירות הגל היא: 283Hz ותדירות הפעימות היא: 2.6Hz.

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 4 - אופטיקה

תוכן העניינים

1. מבוא לאופטיקה ..... 28

## מבוא לאופטיקה:

### רקע:

$$\text{חוק סנל: } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\text{נוסחת העדשות: } \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\text{הגדלה קווית: } m = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{|u|}$$

$$\text{עוצמת העדשה: } C = \frac{1}{f}$$

### שאלות:

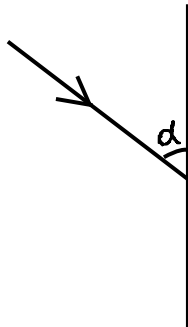
#### 1) תרגול אור במרחב

- מציבים מקור אור נקודתי מול מסך במרחק 4m מהמסך.  
 במרחק 1m ממקור האור מציבים מחסום בגובה 1.5m.
- שרטט את הבעיה בקנה מידה לבחירתך.
  - מצא את גודלו של הצל על הקיר:
    - בעזרת שרטוט.
    - בעזרת חישוב.
  - היכן היה צריך למקם המחסום, כדי שגודל הצל יהיה 2.5m?
  - מוסיפים מקור אור זהה (בניסוי המקורי), במרחק של 1m מתחת למקור הראשון. מצא, בעזרת שרטוט, את אזורי האור והצל השונים שמתקבלים.

#### 2) תרגול אור במרחב

- מהירות האור בריק היא:  $C = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .
- היעזר בדף הנוסחאות, ומצא תוך כמה זמן מגיעה קרן אור שמוחזרת מהירח – אל כדור הארץ.
  - מצא תוך כמה זמן מגיעה קרן היוצאת מהשמש אל כדור הארץ.
  - אם אני מדליק פנס עכשיו, וחבר נמצא במרחק 3m ממני, תוך כמה זמן יגיע אליו האור מהפנס, מרגע שהדלקתי אותו?
  - שנת אור מוגדרת כמרחק שאור עובר בשנה. מצאו מהי שנת אור בעזרת הגדרה זו.

### (3) החזרה תרגיל 1



נתון מקור אור הפולט אור ומולו מוצבת מראה.  
הזווית  $\alpha$  בשרטוט שווה  $76^\circ$ .

- מה זווית ההחזרה של הקרן המשורטטת בתרשים?
- מצא, בעזרת שתי קרניים נוספות לבחירתך, את מיקום הדמות המדומה של העצם הנ"ל.
- מצא את שדה הראייה של העצם הנ"ל.
- מכסים בבד סגול את החצי העליון של המראה. האם עדיין תיווצר דמות של העצם?

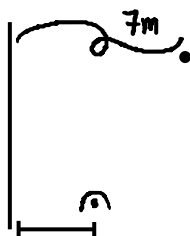
### (4) החזרה תרגיל 2



נתון התרשים הבא, בו נער בגובה 1.7m עומד לפני מראה.  
א. שרטט קרן אור היוצאת מידו הימנית של הנער, פוגעת במראה וחוזרת לעיניו (הקרן מייצגת את הקרן/ הקרניים, שבזכותן הנער רואה את ידו במראה).  
ב. שרטט (הכי מדויק שאפשר), את דמות הנער במראה.  
ג. מציבים מאחורי המראה מסך סגול. האם עדיין יראה הנער את דמותו?

- מה הגובה המינימאלי של המראה שיש להציב, כדי שדמות הנער תתקבל במלואה?
- מרחיקים את המראה למרחק כפול מגוף הנער. כיצד תשתנה תשובתך לסעיף ד'?

### (5) החזרה תרגיל 3



מציבים מטבע מול מראה, במרחק 7m ממנה, כמתואר בתרשים.  
אדם שנמצא במורד התרשים רואה את המטבע בזווית  $30^\circ$ , ביחס לקו המקביל למראה, ואת דמותו של המטבע בזווית  $50^\circ$ .  
חשב את מרחקו של האדם מהמראה.

### (6) תרגול חוק סנל 1

- קרן לייזר מתקדמת במים ( $n_{\text{water}} = 1.33$ ), ופוגעת במשטח זכוכית ( $n_{\text{glass}} = 1.5$ ).  
חלק מהקרן נשבר לזכוכית וחלק מוחזר.  
הזווית בין פני המים והקרן הפוגעת היא  $60^\circ$ .
- חשבו את זווית השבירה.
  - שרטטו את המקרה הנ"ל.

**(7) תרגול חוק סנל 2**

תלמיד שלח קרני אור בזוויות שונות מאוויר לעבר חומר שקוף בעל מקדם שבירה לא ידוע, ומדד את זוויות הפגיעה והשבירה המתאימה לה לזוויות פגיעה שונות. תוצאות המדידות בטבלה שלפניך:

$\theta_1$	$\theta_2$
0	0
10	7.33
20	14.57
30	21.57
40	28.21
50	34.28
60	39.55
70	43.71
80	46.40

- א. האם גרף  $\theta_2(\theta_1)$  מצופה שיצא לינארי?  
 ב. הגדר משתנים עבורם כן תצפה לקבל גרף לינארי.  
 ג. שרטט גרף לינארי זה.  
 ד. מצא, בעזרת הגרף, את מקדם השבירה של החומר השקוף הלא ידוע.

**(8) החזרה גמורה תרגיל 1**

קרן אור מתקדמת בזכוכית ( $n = 1.5$ ), ופוגעת בגבול בין זכוכית זו ובין מים ( $n = 1.33$ ), בזוויות:

א.  $\theta_1 = 0^\circ$

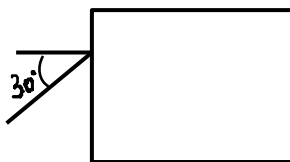
ב.  $\theta_1 = 30^\circ$

ג.  $\theta_2 = 70^\circ$

שרטט את המשך מהלך הקרן, לאחר הפגיעה, בכל אחד משלושת המקרים.

**(9) החזרה גמורה תרגיל 2**

נתון מלבן מפרספקס  $n = 1.5$ , כמתואר בתרשים. קרן אור, המגיעה משמאל, פוגעת בפרספקס בזווית פגיעה של  $30^\circ$ . השלם את מהלך הקרן בתוך הפרספקס.

**(10) עדשה מרכזת - תרגיל 1**

נתונה עדשה מרכזת בעלת מוקד  $f = 8\text{cm}$ .

נתון עצם, בגובה  $H_0 = 4\text{cm}$  המונח במרחק  $12\text{cm}$  מהעדשה.

א. מצא בעזרת שרטוט את:

i. מיקום הדמות הנוצרת.

- ii. גובה הדמות.
- iii. ההגדלה הקווית.
- ב. מצא בעזרת חישובים את:
  - i. מיקום הדמות.
  - ii. גובה הדמות.
  - ג. מצא מה אופי הדמות.
  - ד. שרטט שתי קרניים היוצאות ממרכז העצם, פוגעות בעדשה וממשיכות לצדה השני.

### 11) עדשה מרכזת - תרגיל 2

- לעדשה מרכזת מרחק מוקד של 11cm.
- מציבים עצם, שגובהו 5cm, במרחק 4cm מעדשה זו.
- א. מצא בעזרת שרטוט את:
    - i. מרחק הדמות מהעדשה.
    - ii. גובה הדמות.
    - iii. ההגדלה הקווית.
  - ב. מצא בעזרת חישוב מספרי את:
    - i. מרחק הדמות מהעדשה.
    - ii. גובה הדמות.
  - השווה תשובותיך לסעיף ב, עם אלה של סעיף א.
  - ג. מניחים מסך במיקום הדמות. האם ניתן לראות את הדמות על המסך?
  - ד. מניחים וילון שחור על המחצית העליונה של העדשה (מכסים אותה). האם ניתן לראות את הדמות?
  - ה. מסירים וילון זה. ומניחים אותו בין העצם ודמותו. האם עכשיו ניתן לראות את דמות העצם?

### 12) עדשה מפזרת – תרגיל 1

- נתונה עדשה שעוצמתה  $C = 10D$ .
- לפני העדשה, במרחק  $u = 8\text{cm}$ , מניחים עצם שגובהו  $H_0 = 4\text{cm}$ .
- א. מצא בעזרת חישוב את:
    - i. מיקום הדמות.
    - ii. גובהה.
    - iii. אופי הדמות.
  - ב. מצא בעזרת שרטוט את:
    - i. מיקום הדמות.
    - ii. גובהה.
  - ג. מהיכן ניתן לראות את הקצה העליון של דמות העצם (שדה ראייה)?

**13) בגרות 2017 שאלה 6**

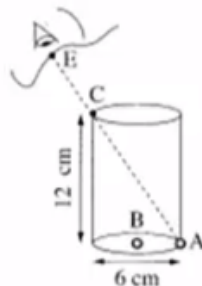
רמי ישב ליד בריכה ריקה. בתחתית הבריכה הונח מטבע, אבל ממקום מושבו של רמי לא היה אפשר לראות את המטבע כשהבריכה ריקה. התחילו למלא את הבריכה במים, וברגע מסוים ראה רמי את המטבע (רמי והמטבע לא זזו). מקדם השבירה של המים הוא:  $n = 1.33$ .

א. הגדר את תופעת השבירה של האור, וציין את סיבתה.  
 ב. הסבר מדוע ראה רמי את המטבע רק לאחר שהבריכה התמלאה חלקית במים. לווה את תשובתך בסרטוט מהלך קרניים.

נתון: קרן היוצאת מן המטבע ומגיעה לעין של רמי עוברת בתוך המים מרחק  $d = 0.61\text{m}$ .  
 זווית השבירה של קרן זו היא:  $\beta = 13.6^\circ$ .  
 ג. חשב את עומק המים.

**14) בגרות 2016 שאלה 7**

בתרשים שלפניך מוצב כלי ריק שצורתו גליל. גובה הכלי  $12\text{cm}$  וקוטרו  $6\text{cm}$ . בתחתית הכלי מונחים שני חרוזים קטנים מאוד: חרוז A צמוד לדופן הכלי וחרוז B במרכז התחתית של הכלי.



תלמיד הביט אל תוך הכלי בכיוון EC (הנקודה C נמצאת על שפת הכלי). כאשר הכלי היה ריק התלמיד ראה את חרוז A בלבד. מילאו את הכלי עד שפתו בנוזל שקוף. התלמיד הסתכל באותו כיוון וראה את חרוז B בלבד.

א. העתק את תרשים הכלי והעין למחברתך בלי הקו המקווקו. הוסף לתרשים שבמחברתך קרן אור שמגיעה מחרוז B, עוברת בתוך הנוזל אל נקודה C ומגיעה לעין התלמיד.

סמן בתרשים שבמחברתך את זווית הפגיעה ( $\alpha$ ) ואת זווית השבירה ( $\beta$ ) במעבר של קרן האור מהנוזל לאוויר.

ב. חשב את מקדם השבירה של הנוזל.

ג. קבע אם חרוז B נראה לתלמיד בעומק האמיתי שהוא היה בו, גבוה יותר או נמוך יותר. נמק את קביעתך באמצעות סרטוט תרשים נוסף של הכלי ומהלך הקרניים.

**15) בגרות 2016 שאלה 6**

תלמידה רצתה לבדוק את סוג העדשות במשקפיים של דודתה. לשם כך הניחה התלמידה שתי כפיות זהות על השולחן, והניחה עדשה של המשקפיים מעל אחת הכפיות. בתרשים שלפניך נראה תצלום והמשקפיים שצילמה התלמידה.



- א. בכל אחת מן האפשרויות i-iii שלפניך, קבע מהו המאפיין הנכון של דמות הכפית הנראית מבעד לעדשה:
- i. ישרה או הפוכה.
  - ii. ממשית או מדומה.
  - iii. מוגדלת או מוקטנת.
- ב. האם העדשה מרכזת או מפזרת? נמק את תשובתך.
- ג. מצא את דמות הכפית באמצעות סרטוט מדויק של מהלך שלוש קרניים. נתון: רוחק מוקד העדשה:  $|f| = 12\text{cm}$ , מרחק העצם מהעדשה 6cm, גובה העצם 3cm.
- בסרטוט השתמש בקנה מידה של 1 משבצת=1 ס"מ.
- ד. חשב באמצעות נוסחאות את גובה הדמות ואת מרחקה מהעדשה. האם תוצאות החישוב מתאימות לאותם ערכים שהתקבלו בסרטוט?

## 16 בגרות 2015 שאלה 7

ילד הלובש חולצה שעליה מודפסת האות F עומד מול מראה מישורית התלויה על קיר (ראה איור).



- א. מהי התופעה הפיזיקאלית שגורמת להשתקפות הילד רק במראה ולא בקיר?  
 ב. המרחק של הילד מן המראה היה 1 מטר, והוא החל להתקרב אליה

$$v = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

- במהירות קבועה:  
 חשב בתוך כמה זמן יהיה המרחק בין הילד ובין דמותו 0.5 מטר.  
 ג. לפניך ארבע צורות IV-I של האות F. העתק למחברתך את המספר של צורת הדמות של האות F, כפי שהילד שמסתכל במראה רואה אותה.

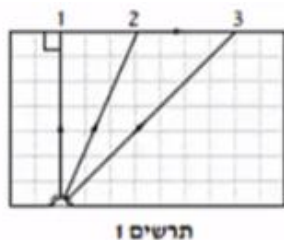


## 17 בגרות 2014 שאלה 6

- יאיר ישב במכונית ורצה לעיין במפה שבידיו (זה היה לפני עידן ה-G.P.S.).  
 בחוץ שרר חושך, ולכן יאיר הדליק נורה בתוך המכונית.  
 א. כדי שיראה היטב את המפה, האם על יאיר לכוון את אלומת האור מן הנורה לעבר עיניו או לעבר המפה? נמק.

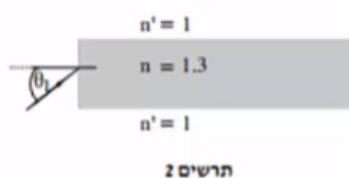
לאחר שיאיר הדליק את הנורה הוא התבונן בשמשת החלון של מכוניתו. הוא לא ראה את הסביבה שבחוץ, אלא את דמותו המשתקפת בשמשת החלון.  
 ב. הסבר באמצעות תרשים כיצד נוצרת הדמות המשתקפת בשמשת החלון.

- יאיר מאס בפקקי התנועה שבכבישים, והחליט לנסוע ברכבת. בתוך קרון הרכבת דלק אור, ומחוץ לרכבת שרר חושך. יאיר הבחין בשתי דמויות שלו המשתקפות בחלון הרכבת. חלון הרכבת מורכב משני לוחות זכוכית מקבילים וביניהם מרווח שבו שכבת אוויר.  
 אפשר להזניח את העובי של לוחות הזכוכית.  
 ג. מדוע ברכבת הבחין יאיר בשתי דמויות, ולא בדמות אחת, כפי שראה במכוניתו? פרט את תשובתך.  
 ד. באותם תנאי תאורה הכניסו נייר שחור למרווח שבין שני לוחות הזכוכית. הנייר אוטם את כל המרווח. כמה דמויות השתקפו בחלון? נמק.

**18) בגרות 2014 שאלה 7**


מקור אור נקודתי נמצא בתוך מנסרה מלבנית (תיבה) העשויה מחומר שקוף. המנסרה נמצאת באוויר. בתרשים 1 מוצג חתך של המנסרה המקביל לשתיים מדופנות המנסרה, וכן מוצג בו מהלכן של שלוש קרניים 1, 2, 3, שמקורן במקור האור. זווית השבירה של קרן 2 היא  $90^\circ$  בקירוב.

- א. העתק את תרשים 1 למחברתך, והשלם בו במדויק את המשך המהלך של קרן 1 ושל קרן 3. הסבר את שיקולך.  
 ב. על פי התרשים, חשב את הזווית הגבולית (קריטית) למעבר אור מן החומר השקוף לאוויר.

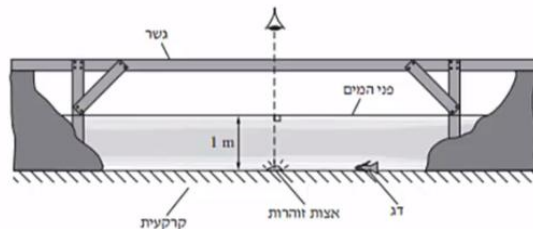


אפשר להעביר מידע למרחקים גדולים באמצעות סיבים אופטיים שאור מתפשט דרכם כמעט בלי הפסדי אנרגיה. בתרשים 2 מתואר חתך של סיב אופטי העשוי מחומר שקוף שמקדם השבירה שלו:  $n = 1.3$ , וקרן אור נכנסת לתוכו מן האוויר בזווית פגיעה  $\theta_1$ .

- ג. כאשר האור נכנס לסיב מהצד (כמתואר בתרשים 2), זווית הפגיעה  $\theta_1$  צריכה להיות קטנה מ- $57^\circ$  כדי למנוע דליפת (יציאת) אור מהסיב לאוויר. הסבר מדוע. בתשובתך היעזר בתרשים.

**19) בגרות 2013 תרגיל 1**

בגן חיות יש בריכה ובה דגים ויצורי מים מיוחדים. מושבה של אצות זוהרות (פולטות אור) נחה על קרקעית הבריכה, בעומק של 1 מטר. מקדם השבירה של מי הבריכה ביחס לאוויר הוא:  $n = 1.33$ . מעל הבריכה נמתח גשר שממנו המבקרים יכולים לצפות בבריכה (ראה תרשים). התייחס למושבת האצות כאל מקור אור נקודתי.

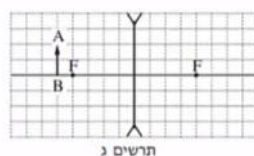
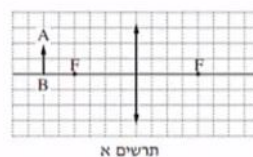
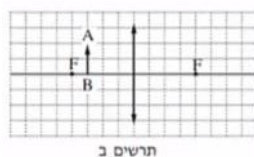


- א. האור שנפלט ממושבת האצות לעבר פני המים עובר לאוויר דרך משטח מעגלי של פני המים. הסבר מדוע. היעזר בתרשים מתאים.  
 ב. חשב את הרדיוס של המשטח המעגלי שהאור עובר דרכו לאוויר.  
 ג. אדם הניצב על הגשר בדיוק מעל מושבת האצות רואה אותה בעומק קטן יותר מהעומק האמיתי שהיא נמצאת בו. הסבר מדוע.

- ד. דג השוחה על קרקעית הבריכה, בעומק 1 מטר, רואה את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות מפני המים. חשב את המרחק (האופקי) המינימלי בין הדג לבין מושבת האצות, שהוא יכול לראות בו את השתקפות האצות באמצעות קרני אור המוחזרות בהחזרה מלאה.
- ה. כאשר הדג בעומק של 1 מטר, אבל המרחק בינו לבין מושבת האצות קטן יותר מהמרחק שחיבת בסעיף ד', הוא עדיין רואה את השתקפות האצות בפני המים. הסבר מדוע.

### 20 בגרות 2013 שאלה 6

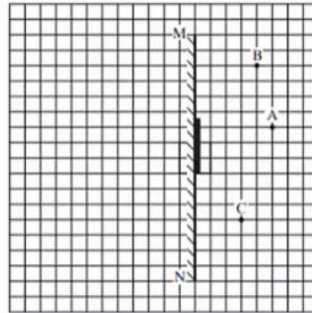
- אדם המרכיב משקפיים עם עדשות מרכזות זהות רואה בעזרתם את הדמות המדומה של עצם.
- א. הסבר את המושגים "דמות ממשית" ו"דמות מדומה", בהסברך תוכל להיעזר בתרשימים.
- ב. בתרשימים א'-ג' שלפניך החץ AB מייצג את העצם. קבע איזה תרשים מתאים לתיאור שבפתיח. נמק את קביעתך.



- ג. עוצמת העדשה היא 2 דיופטריות. מהו רוחק המוקד של העדשה?
- ד. המרחק בין הדמות לעדשה הוא 60cm. חשב את המרחק בין העצם לעדשה.

### 21 בגרות 2012 שאלה 1

- עצם ניצב לפני משטח מישורי.
- א. מה צריך להתקיים כדי שתיווצר דמות של העצם על ידי המשטח?
- ב. כאשר נוצרת דמות של העצם על ידי המשטח, איזה תנאי חייב להתקיים כדי שצופה המתבונן במשטח יראה בו את הדמות של העצם?
- באיור שלפניך מתואר חתך של מראה מישורית MN המכוסה במרכזו בכיסוי בד אטום. בנקודה A נמצא עצם נקודתי.
- בכל אחת מהנקודות B ו-C נמצא צופה (צופה B, צופה C). הנקודות A, B, C נמצאות על אותו מישור.

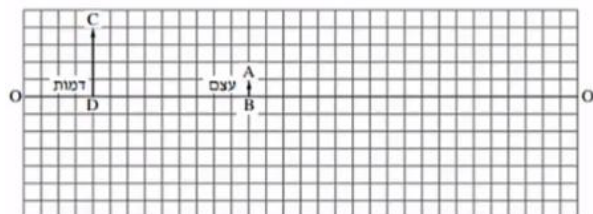


העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך.

- ג. האם צופה B וצופה C רואים את הדמות A באותו מקום? הסבר.
- ד. צלע של משבצת אחת מייצגת מרחק של 20 ס"מ במציאות. חשב את המרחק של הצופה הנמצא בנקודה C מהדמות של העצם A.
- ה. צופה C מביט אל עבר המראה, אך אינו רואה בה את דמות העין של צופה B. האם צופה B המביט אל עבר המראה רואה בה את דמות העין של צופה C? הסבר.

## 22) בגרות 2011 שאלה 1

בתרשים שלפניך הקטע  $OO'$  מסמן ציר אופטי של עדשה דקה (העדשה אינה מוצגת בתרשים). הקטע  $AB$  מסמן עצם, והקטע  $CD$  מסמן את הדמות של העצם הנוצרת בעזרת העדשה. הצלע של כל משבצת בתרשים – 1 ס"מ.



א. מדוע הדמות המתוארת בתרשים יכולה להיווצר רק בעזרת עדשה מרכזת?

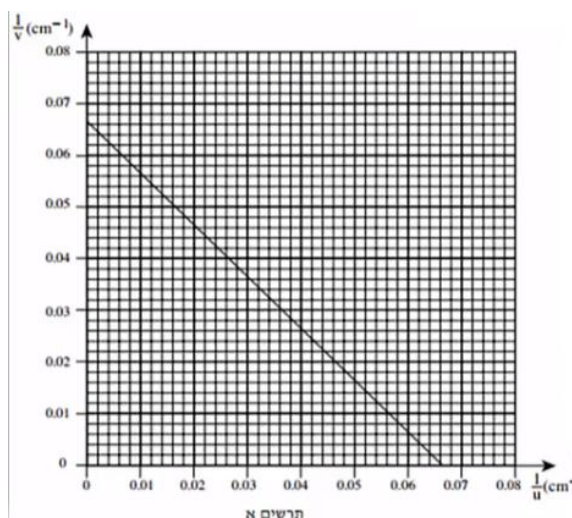
- העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך. השתמש בתרשים שסרטטת כדי לענות על סעיפים ב'-ג'.
- ב. מצא, בעזרת סרטוט של מהלך קרני האור, את מיקום העדשה, והוסף אותה לתרשים.
  - ג. מצא את רוחק המוקד של העדשה בשתי דרכים:
    - i. סרטוט של מהלך קרני האור.
    - ii. חישוב.
  - ד. כשהמרחק בין העצם לעדשה גדול מערך מסוים  $u_1$ , נוצרת דמות הפוכה ביחס לעצם. קבע מהו  $u_1$ .
  - ה. כשהמרחק בין העצם לעדשה שווה לערך מסוים  $u_2$ , הגדול מ- $u_1$ , נוצרת דמות באותו גובה של הדמות  $CD$  שבתרשים. מצא את  $u_2$ .

**23) בגרות 2009 שאלה 1**

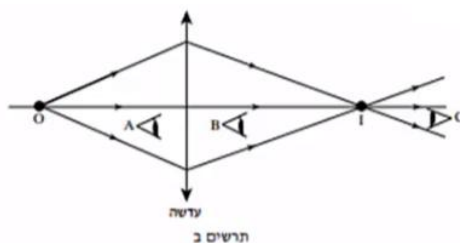
ברק הציב מקור אור במרחקים שונים מעדשה דו-קמורה דקה. בכל פעם הוא מדד את המרחק של מקור האור מן העדשה ( $u$ ), ואת המרחק של המסך שעליו התקבלה דמות חדה של מקור האור מן העדשה ( $v$ ). לאחר מכן הוא חישב את ערכי  $\frac{1}{u}$  ו- $\frac{1}{v}$ , ועל פי ערכים אלה סרטט גרף של  $\frac{1}{v}$  (ביחידות  $\text{cm}^{-1}$ ) כפונקציה

של  $\frac{1}{u}$  (ביחידות  $\text{cm}^{-1}$ ).

הגרף מוצג בתרשים א'.



- הסבר מדוע הגרף שהתקבל הוא קו ישר.
- מצא בעזרת הגרף את רוחק המוקד של העדשה. פרט את חישוביך.
- כאשר הציב ברק את מקור האור במרחק 10 ס"מ מן העדשה, הוא לא הצליח למקם את המסך כך שתתקבל עליו דמות חדה של מקור האור. הסבר מדוע.
- בתרשים ב' שלפניך מתואר עצם נקודתי O ודמותו I, הנוצרת על ידי עדשה מרכזת דקה.

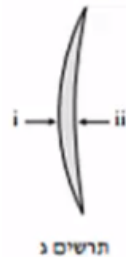


האם אפשר לראות את הדמות I גם ללא מסך?  
 אם כן – באיזו מהנקודות A, B או C צריכה להימצא העין (על פי כיווני ההסתכלות שלה המתוארים בתרשים) כדי לראות את הדמות I?  
 אם לא – היעזר בתרשים ב', והסבר מדוע אי-אפשר לראות את הדמות ללא מסך.

ה. בתרשים ג' שלפניך מתואר חתך של עדשה קמורה-קעורה דקה עשויה מזכוכית. מטיילים על העדשה פעמיים אלומת אור מקבילה ואופקית, המתפשטת באוויר:

במקרה i אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקמור.

במקרה ii אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקעור.



העתק למחברתך את המספר של המשפט הנכון מבין המשפטים i-iv שלפניך:

- i. העדשה מרכזת את האור בשני המקרים.
- ii. העדשה מרכזת את האור במקרה i ומפזרת אותו במקרה ii.
- iii. העדשה מפזרת את האור במקרה i ומרכזת אותו במקרה ii.
- iv. העדשה מפזרת את האור בשני המקרים.

#### 24 בגרות 2007 שאלה 2

- על ספסל אופטי המונח על שולחן, מציבים מקור אור שצורתו מלבן (מלבן מלא).  
 עדשה מרכזת שרוחק המוקד שלה הוא:  $f = 30\text{cm}$ , ומסך.  
 מקור האור, העדשה והמסך מקבילים זה לזה.  
 שתיים מהצלעות של מקור האור המלבני מאונכות לשולחן. הדמות של מקור האור מתקבלת על המסך, וגובהה גדול פי 2 מהגובה של מקור האור.
- א. חשב את המרחק של מקור האור מן העדשה.
  - ב. פי כמה גדול שטח הדמות מהשטח של מקור האור? נמק.
  - ג. מציבים את מקור האור במרחק  $160\text{cm}$  מן המסך.
- באיזה מרחק ממקור האור יש להציב את העדשה, כדי שתתקבל על המסך דמות חדה שלו? אם יש יותר מאפשרות אחת, כתוב את כולן.

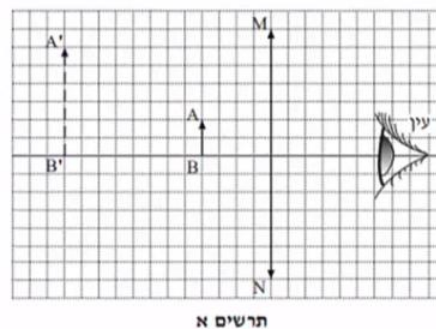
האיור שלפניך הוא העתק של תצלום שבו מראה מישורית המונחת על לוח עץ, ופנס הפנס פולט אלומת אור הפוגעת בלוח העץ ובמראה שעליו. מלבד הפנס אין מקורות אור נוספים.



ד. מדוע המראה שבתצלום נראית חשוכה, ואילו החלק של לוח העץ שבו פוגעת אלומת האור נראה מואר?

### 25) בגרות 2004 שאלה 1

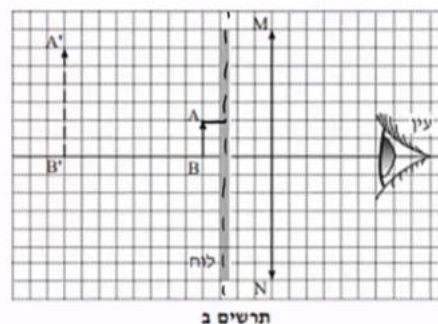
בתרשים א' מוצגת מערכת, ובה עדשה מרכזת,  $MN$ , הציר האופטי שלה, בול דואר,  $AB$ , הדמות של הבול,  $A'B'$ , הנוצרת על ידי העדשה, ועין הצופה המתבונן בבול. אורך הצלע של כל משבצת בתרשים מייצג מרחק של 5 ס"מ במציאות.



א. ענה על הסעיפים הבאים:

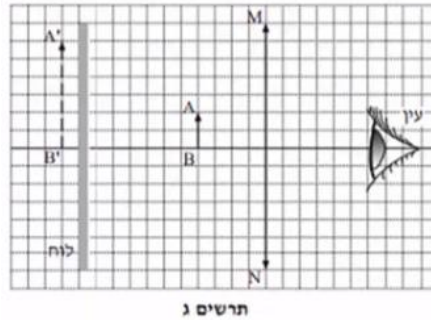
- i. מצא את אורך מוקד העדשה.
- ii. חשב את עוצמת העדשה. הצג את תשובתך בדיופטר.

באותה מערכת מציבים לוח אטום לאור לפני הבול, בין הבול לעדשה (ראה תרשים ב').



ב. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

את הלוח האטום לאור מעבירים אל מאחורי הבול, כמוצג בתרשים ג'.



ג. האם במצב זה יוכל הצופה לראות את הבול? נמק.

ד. מסלקים את הלוח האטום. הבול, העדשה והעין נשארים במקומם. הצופה מתבונן בבול דרך העדשה (ראה תרשים א'), ואחר כך הוא מסלק את העדשה ומתבונן בבול.

באיזה משני המצבים (עם העדשה או בלי העדשה) הבול נראה לצופה גדול יותר? הסבר את תשובתך במונחים של זוויות ראייה.

ה. העתק למחברתך את תרשים א'. (כל משבצת בתרשים תהיה משבצת במחברת). סרטט קרן, המופצת מראש הבול (A), עוברת בעדשה, וחודרת למרכז האישון של עין הצופה.

תאר כיצד קבעת את מהלך הקרן שסרטטת.

## תשובות סופיות:

- 1 א. ראה סרטון. ב. i. 6m . ד. ראה סרטון. ג. 2.4m . ii. 6m .
- 2 א.  $t = 1.28 \text{ sec}$  . ב.  $t \approx 8\frac{1}{3} \text{ min}$  . ג.  $t = 10^{-9}$  . ד.  $9.47 \cdot 10^{15} \text{ m}$  .
- 3 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. כן. ד. 0.85m .
- 4 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. כן. ד. 0.85m .
- 5 א.  $2.43 \text{ m}$  . ב. ראה סרטון. ג. כן. ד. 0.85m .
- 6 א.  $26.3^\circ$  . ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון. ד. 1.353 .
- 7 א. לא. ב.  $\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \theta_1$  . ג. ראה סרטון. ד. ראה סרטון. ג. ראה סרטון. ד. ראה סרטון.
- 8 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית. ד. ראה סרטון.
- 9 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. לא. ד. כן. ii.  $H_i = 8 \text{ cm}$  .
- 10 א. ראה סרטון. ב. i.  $V = 24 \text{ cm}$  . ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית. ד. ראה סרטון.
- 11 א. ראה סרטון. ב. i.  $V \approx 6.5 \text{ cm}$  . ג. לא. ד. כן. ii.  $H_i \approx 7.95 \text{ cm}$  .
- 12 א. i.  $V = -4.4 \text{ cm}$  . ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון. ד. כן. iii. מדומה, מוקטנת, ישרה.
- 13 א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג.  $h = 0.6 \text{ m}$  . ד. נמוך יותר.
- 14 א. ראה סרטון. ב. 1.85 . ג. ראה סרטון. ד. כן. ii. מדומה. iii. מוקטנת. ב. מפזרת.
- 15 א. i. ישרה. ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון. ד.  $V = 4 \text{ cm}$  ,  $H_i = 2 \text{ cm}$  , כן.
- 16 א. החזרה מסודרת, מתקבלת דמות במפגש הקרניים המוחזרות. ב. 1.5sec . ג. IV .
- 17 א. לעבר המפה. ב. ראה סרטון. ג. כל משטח מתפקד כמראה עצמאית. ד. דמות 1 .
- 18 א. ראה סרטון. ב.  $\theta_c = 23.2^\circ$  . ג. ראה סרטון. ד.  $x = 2.28 \text{ m}$  .
- 19 א. ראה סרטון. ב.  $r = 1.14 \text{ m}$  . ג. ראה סרטון. ד. ראה סרטון.
- 20 א. דמות ממשית – מתקבלת במפגש המשכי הקרניים הממשיות. ב. תרשים ב'. ג. 50cm . ד.  $u = 27.3 \text{ cm}$  .

- (21) א. 1. קרניים שיצאו מהסוף, 2. ההחזרה מהמשטח תהיה מסודרת.  
 ב. הצופה יימצא בשדה בראייה של הדמות. ג. כן. ד.  $2m$ .  
 ה. לא.
- (22) א. הדמות לא יכולה להיווצר בעדשה מפזרת. ב. ראה סרטון.  
 ג.  $4cm$ . ד.  $u > f$ . ה.  $u_2 = 8cm$ .
- (23) א. ראה סרטון. ב.  $15.1cm$ . ג. ראה סרטון.  
 ד. כן. ה. i.
- (24) א.  $u = 45cm$ . ב. פי 4. ג.  $u_1 = 120cm, u_2 = 40cm$ .  
 ד. ראה סרטון.
- (25) א. i.  $f = 30cm$ . ii.  $C = 3.33D$ . ב. לא. ג. כן.  
 ד. ראה סרטון. ה. ראה סרטון.

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 5 - מבוא למבנה החומר

תוכן העניינים

1. מבוא למבנה החומר ..... (ללא ספר)

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 6 - הכוח החשמלי- חוק קולון

תוכן העניינים

44	.....	1. חוק קולון
45	.....	2. תרגילים

## חוק קולון:

### שאלות:

#### (1) אלקטרון ופרוטון

אלקטרון ופרוטון נמצאים במרחק של 3A אחד מהשני. מהו הכוח הפועל על כל אחד מהם? (גודל וכיוון).

#### (2) שני מטענים על ציר ה-X

שני גופים טעונים במטענים:  $q_1 = 0.2mc, q_2 = 0.3mc$ .

מיקום הגוף הראשון הוא:  $\vec{r}_1(3m, 0)$  ומיקום הגוף השני הוא:  $\vec{r}_1(8m, 0)$ .

א. חשב את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן:  $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$ .

#### (3) שני מטענים במישור

שני גופים טעונים במטענים:  $q_1 = 15\mu c, q_2 = -20\mu c$ .

מיקום הגוף הראשון הוא:  $\vec{r}_1(0, 0)$  ומיקום הגוף השני הוא:  $\vec{r}_1(5m, 3m)$ .

א. חשב את הכוח החשמלי הפועל על כל גוף גודל וכיוון.

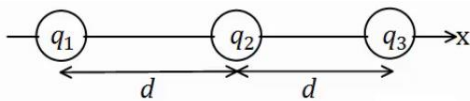
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן:  $m_1 = 3kg, m_2 = 8kg$ .

#### (4) 3 מטענים על ציר ה-X

שלושה מטענים מונחים על ציר ה-x במרווחים של  $d = 10cm$  אחד מהשני.

גודל המטענים הוא:  $q_1 = 2\mu c, q_2 = -10\mu c, q_3 = 5\mu c$ .

מצא את הכוח הפועל על כל מטען גודל וכיוון.



### תשובות סופיות:

(1)  $F = -2.56 \cdot 10^9 N$ , כוח המשיכה.

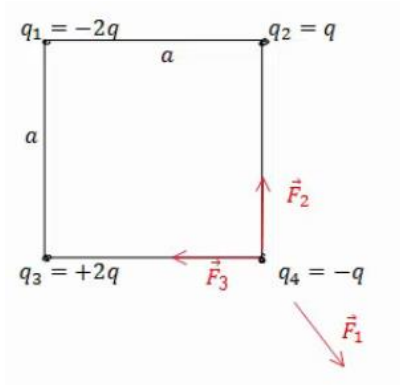
(2) א. שניהם נעים בכיוונים הפוכים, ב-  $F = 21.6N$ . ב.  $a_1 = -7.2 \frac{m}{sec^2} \hat{x}, a_2 = 2.7 \frac{m}{sec^2} \hat{x}$ .

(3) א.  $|F_1| = |F_2| = 7.94 \cdot 10^{-2} N, \theta_1 = 30.96^\circ, \theta_2 = 210.96^\circ$ . ב.  $a_1 \approx 2.65 \cdot 10^{-2} \frac{m}{sec}$ .

(4)  $\sum \vec{F}_1 = 15.75N\hat{x}, \sum \vec{F}_2 = 27N\hat{x}, \sum \vec{F}_3 = 42.75N\hat{x}$

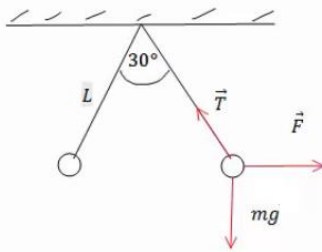
## תרגילים:

### שאלות:



#### (1) מטען בפינת ריבוע

חשב את הכוח הפועל על המטען בפינה הימנית התחתונה של הריבוע.  $q$  ו- $a$  נתונים.

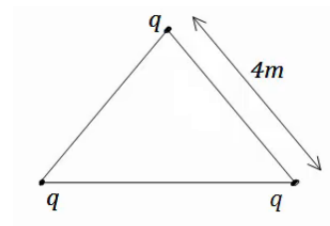


#### (2) שני כדורים תלויים

שני כדורים בעלי מסה  $m$  ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך  $L$ , הזווית בין החוטים היא  $30^\circ$  מעלות. מצא את מטען הכדורים.

#### (3) מהירות זוויתית באטום המימן

אטום המימן מורכב מפרוטון בגרעין ואלקטרון הסובב סביב הגרעין בתנועה מעגלית ברדיוס של  $0.53$  אנגסטרומ. מצא את המהירות הזוויתית של האלקטרון, אם ידוע כי מסת האלקטרון היא:  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  ומטען האלקטרון והפרוטון הוא:  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -q_p$ .

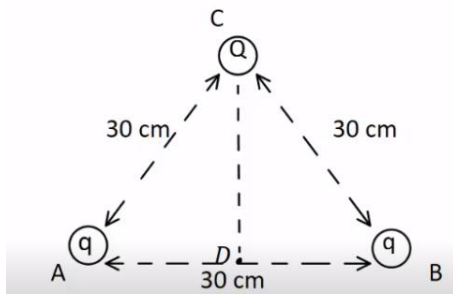


#### (4) מטענים בקודקודי משולש

שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של משולש שווה צלעות. גודל כל מטען הוא  $q = 2\mu\text{C}$  ואורך צלע המשולש היא  $4\text{m}$ .

מצא את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהמטענים האחרים.

**(5) כוח על כדור בקצה משולש**

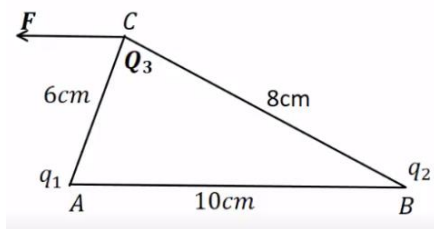


שני כדורים קטנים, שמטען כל אחד מהם הוא:  $q = 10^{-5} \text{ C}$ , קבועים בנקודות A ו-B באיור. המרחק בין הנקודות הוא 30cm. בנקודה C הנמצאת במרחק של 30cm מכל אחד מהמטענים האלה, נמצא כדור מוליך קטן שמסתו 20gr והוא טעון במטען של:  $Q = -2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ .

משחררים את הכדור הנמצא בנקודה C.

- חשב את הגודל ואת הכיוון של הכוח על הכדור ברגע בו שוחרר.
- חשב את גודלה ואת כיוונה של תאוצת הכדור ברגע בו שוחרר.
- חשב את תאוצת הכדור בנקודה D.

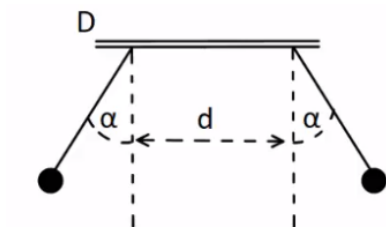
**(6) נחש את סימן המטענים**



שני מטענים נקודתיים ממוקמים בקודקודי משולש ישר זווית, בקצוות המיתר AB. נתון כי:  $Q_3 = 3\mu\text{C}$   $|q_1| = 3\mu\text{C}$  והכוח השקול F הפועל על  $Q_3$  פועל בכיוון אופקי שמאלה במקביל לצלע AB. בהזנחת כוח הכובד:

- מהם סימני המטענים  $q_1$  ו- $q_2$ ? נמק.
- חשב את מטען  $q_2$  אם הזווית  $\angle ACB$  היא זווית ישרה.
- מהו גודלו של הכוח השקול F?

**(7) שני מטענים תלויים**



שני כדורים שמסתם זהות  $m = 8\text{gr}$  ומטען זהה  $q$ , תלויים באמצעות חוטים משתי נקודות שהמרחק בניהם הוא  $d = 2\text{cm}$ . נתון:  $\alpha = 30^\circ$  ו- $l = 3\text{cm}$ . בטא את גודל המטען  $q$  באמצעות  $d, m, l, \alpha$  וחשב את גודל המטען  $q$ .

## תשובות סופיות:

$$\sum F_y = \frac{kq^2}{a^2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \quad (1)$$

$$q = \sqrt{\frac{mg}{k} \tan(15) L^2 (2 - \sqrt{3})} \quad (2)$$

$$\omega = \sqrt{17} \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{sec}} \quad (3)$$

$$\sum F = 3.897 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad (4)$$

$$a = 0 \quad \text{ג.} \quad a_y = 1,732 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \quad \text{ב.} \quad 34.6 \text{ N} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$\sum F_x = 37.5 \text{ N} \quad \text{ג.} \quad q_2 = 7.11 \mu\text{c} \quad \text{ב.} \quad q_1 : q_2 \text{ חיובי.} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$q \approx 5.2 \cdot 10^{-8} \text{ c} , \quad q = \sqrt{\frac{mg \tan \alpha}{k}} (d + 2l \sin \alpha) \quad (7)$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 7 - הסבר על אינטגרלים

תוכן העניינים

- 1. צפיפות מטען..... 48
- 2. קואורדינטות ואלמנטים דיפרנציאלים..... 49
- 3. אינטגרל כפול ומשולש..... 52

## צפיפות מטען:

רקע:

**צפיפות נפחית** – כמות המטען ביחידת נפח.

אם הצפיפות אחידה אז היא שווה ל-  $\rho = \frac{Q}{V}$ .

**צפיפות משטחית** – כמות המטען ביחידת שטח.

אם הצפיפות אחידה אז היא שווה ל-  $\sigma = \frac{Q}{S}$ .

**צפיפות אורכית** – כמות המטען ביחידת אורך.

אם הצפיפות אחידה אז היא שווה ל-  $\lambda = \frac{Q}{L}$ .

אלמנט מטען אינפיטיסימלי:

$$dq = \lambda dl / \sigma ds / \rho dv$$

שאלות:

(1) תרגיל - דיסקה עם חור

מצא את צפיפות המטען של דיסקה בעלת רדיוס R הטעונה במטען כולל Q המתפלג אחידה.

בדיסקה קדחו חור ברדיוס r, מצא את כמות המטען שהוצאה מהדיסקה.

(2) תרגיל – מטען כולל בכדור

מצא את המטען הכולל בכדור בעל רדיוס R וצפיפות מטען:  $\rho(r) = \rho_0 \frac{r}{R}$ .

תשובות:

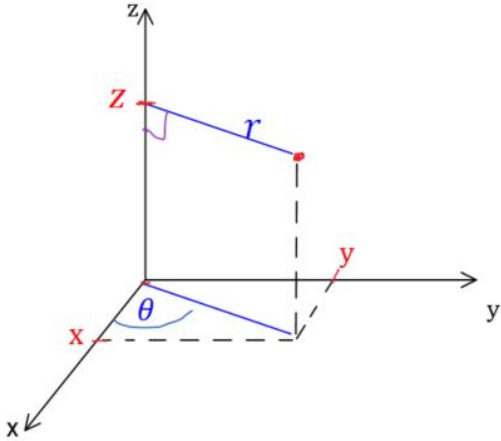
$$Q \left( \frac{r}{R} \right)^2 \quad (1)$$

$$\rho_0 \pi R^3 \quad (2)$$

## קואורדינטות ואלמנטים דיפרנציאליים:

רקע:

קואורדינטות גליליות:  $(r, \theta, z)$



$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = z$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

טבעת

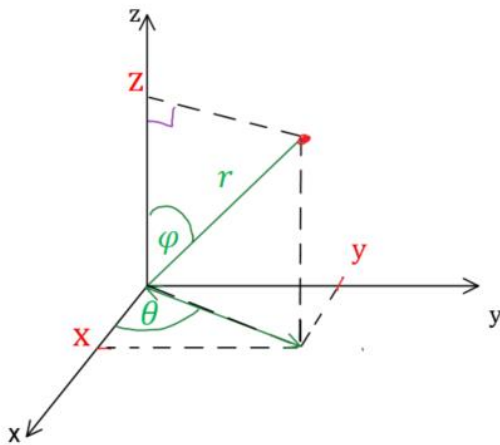
$$dl = r d\theta / dr / dz$$

דיסקה <sup>מעטפת</sup> <sub>גלילית</sub>

$$dS = r d\theta dr / r d\theta dz / dr dz$$

גליל מלא

$$dV = r d\theta dr dz$$



קואורדינטות כדוריות:  $(r, \theta, \varphi)$

$$z = r \cos \varphi$$

$$x = r \sin \varphi \cos \theta$$

$$y = r \sin \varphi \sin \theta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$\cos \varphi = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$dl = dr/r \sin \varphi d\theta / r d\varphi$$

מעטפת כדור

$$dS = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$$

כדור מלא

$$dV = r^2 \sin \varphi dr d\theta d\varphi$$

**שאלות:**

- (1) **שטח מעגל**  
חשבו שטח דיסקה בעלת רדיוס  $R$  (שטח מעגל) באמצעות אינטגרל על אלמנט שטח בקואורדינטות פולריות.
- (2) **חישוב נפח גליל**  
חשבו נפח גליל באמצעות אינטגרל על אלמנט נפח בקואורדינטות גליליות.

**תשובות סופיות:**

$$S = \pi R^2 \quad (1)$$

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

## אינטגרל כפול ומשולש:

### שאלות:

פתרו את האינטגרלים הבאים:

- |  |               |
|--|---------------|
| $\int_0^3 \int_0^2 3 \cdot x^3 y^2 dx dy$                    | 1 דוגמה (1)   |
| $\int_1^2 \int_0^3 (x^2 + 2y) dx dy$                         | 2 דוגמה (2)   |
| $\int_0^2 \int_1^3 (x^2 + y) dy dx$                          | 3 דוגמה (3)   |
| $\int_0^1 \int_0^2 x \cdot z^2 dx dz$                        | 4 דוגמה (4)   |
| $\int_1^5 \int_0^4 2 \cdot y^3 dy dz$                        | 5 דוגמה (5)   |
| $\int_0^{2\pi} \int_0^3 r^2 dr d\theta$                      | 6 דוגמה (6)   |
| $\int_a^b \int_0^c 4 \cdot x^2 y dx dy$                      | 7 דוגמה (7)   |
| $\int_a^b \int_0^c (4z + r^2) dr dz$                         | 8 דוגמה (8)   |
| $\int_0^{2\pi} \int_0^R 4a \cdot r^2 dr d\theta$             | 9 דוגמה (9)   |
| $\int_0^{2\pi} \int_0^R 4yr^2 dr d\theta$                    | 10 דוגמה (10) |
| $\int_0^\pi \int_0^{2\pi} r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$ | 11 דוגמה (11) |

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

12 דוגמה – אינטגרל משולש

## תשובות סופיות:

108 (1)

18 (2)

13.33 (3)

$\frac{2}{3}$  (4)

512 (5)

56.55 (6)

$\frac{4c^3}{3} \left( \frac{b^2}{2} - \frac{a^2}{2} \right)$  (7)

$2cb^2 + \frac{c^3}{3}b - 2ca^2 - \frac{a^3}{3}$  (8)

$\frac{4aR^3}{3} 2\pi$  (9)

$\frac{8\pi yR^3}{3}$  (10)

$4\pi r^2$  (11)

39 (12)

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 8 - חוק קולון עם אינטגרלים

תוכן העניינים

54	.....	1. חוק קולון וסופרפוזיציה
58	.....	2. התפלגות מטען רציפה

## חוק קולון וסופרפוזיציה:

רקע:

חוק קולון :

הכוח החשמלי שמפעיל מטען  $q_1$  כלשהו על מטען  $q_2$  כלשהו

$$\vec{F} = \frac{kq_1 \cdot q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{kq_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

$\vec{r}$  - וקטור מ- $q_1$  אל  $q_2$

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} \quad r = |\vec{r}|$$

השדה החשמלי שיוצר מטען  $q$  במרחב :

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r} = \frac{kq}{r^3} \vec{r}$$

$\vec{r}$  - וקטור מהמטען  $q$  אל הנקודה בה מחשבים את השדה.

שימו לב שבנוסחה הזו המטען הוא זה שיוצר את השדה.

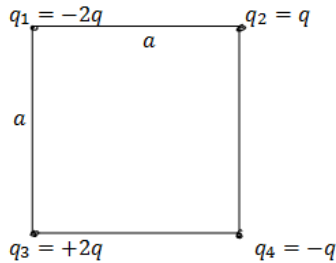
הכוח הפועל על מטען  $q$  הנמצא בשדה חשמלי  $\vec{E}$  :

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

שימו לב שבנוסחה הזו המטען  $q$  הוא המטען שמרגיש את הכוח (המטען בעצמו גם יוצר שדה אבל זה לא רלוונטי לנוסחה הזו והמטען לא מרגיש את השדה שהוא עצמו יוצר)

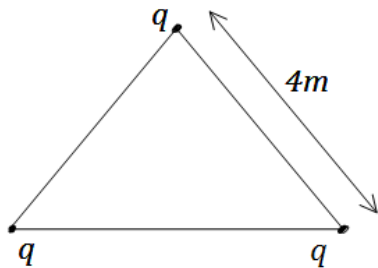
**שאלות:**

**(1) מטען בפינת ריבוע**



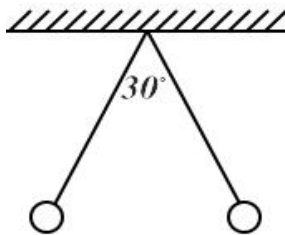
חשב את הכוח הפועל על המטען שבפינה התחתונה הימנית של הריבוע שבשרטוט.  $q$  ו- $a$  נתונים.

**(2) מטענים בקודקודי משולש**



שלושה מטענים זהים נמצאים על קודקודיו של משולש שווה צלעות. גודל כל מטען הוא  $q = 2\mu\text{C}$  ואורך צלע המשולש היא  $4\text{m}$ . מצא את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהמטענים האחרים.

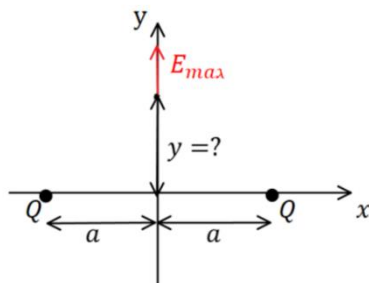
**(3) שני כדורים תלויים**



שני כדורים בעלי מסה  $m$  ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך  $L$ . הזווית בין החוטים היא  $30$  מעלות. מצא את מטען הכדורים.

**(4) שדה מקסימלי בין שני מטענים**

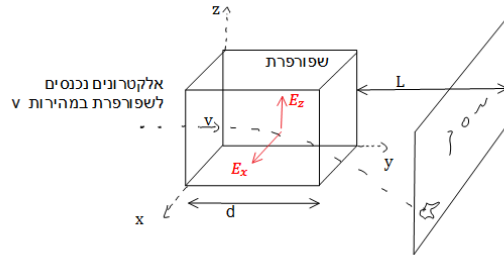
שני מטענים בעלי מטען זהה  $Q$  נמצאים על ציר ה- $x$  בנקודות  $(a, 0)$  ו- $(-a, 0)$ .  
א. מצאו את הנקודה על ציר ה- $y$  כלומר  $(0, y)$  שבה השדה החשמלי מקסימאלי.



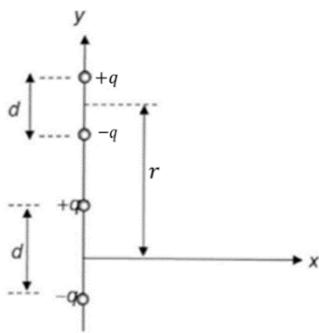
ב. מה גודל השדה בנקודה זו?  
ג. באיזה נקודה השדה מקסימאלי בציר ה- $z$ ?

**5) שפופרת טלויזיה**

אלקטרונים נכנסים לשפופרת במהירות  $V$  נתונה. בשפופרת יש שדה קבוע בשני הכיוונים הניצבים למהירות כניסת האלקטרונים. אורך השפופרת הוא  $d$ .  
חשב את נקודת הפגיעה של האלקטרונים במסך הנמצא במרחק  $L$  מקצה השפופרת. הנח כי  $d \ll L$  וכי מסת ומטען האלקטרון ידועים.



**6) דיפול מפעיל כוח על דיפול**



דיפול חשמלי מורכב משני מטענים נקודתיים  $\pm q$  הנמצאים בנקודות  $(0, \pm \frac{d}{2})$  (ראו איור).

א. חשבו את השדה החשמלי שיוצר הדיפול בנקודה  $(y, 0)$  שעל ציר ה- $y$ .

ב. השתמשו בתוצאת הסעיף הקודם וחשבו את הכוח שמפעיל הדיפול הנ"ל על דיפול נוסף שמטעניו גם כן  $\pm q$  המרוחקים זה מזה

מרחק  $d$  (המצוי על ציר ה- $y$  גם כן) ואשר מרכזו במרחק  $r$  ממרכז הדיפול הראשון. הניחו ש- $r > d$ .

ג. למה תצטמצם תשובתכם לסעיף קודם עבור  $r \gg d$ ?  
הדרכה: השתמשו בפיתוח לטור טיילור (או מקלורן) של פונקציית

החזקה:  $(1+x)^n \approx 1+nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2 \dots +$

## תשובות סופיות:

$$\frac{kq^2}{a^2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \quad (1)$$

$$3.897 \cdot 10^{-3} \text{ N} \quad (2)$$

$$\sqrt{\frac{mg}{k}} \tan(15^\circ) L^2 (2 - \sqrt{3}) \quad (3)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} a \quad \lambda \quad \frac{4kQ}{\sqrt{27}a^2} \quad \text{ב.} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} a \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$z \approx \frac{|e|E_z d \cdot L}{mv^2}, \quad \frac{|e|E_x d \cdot L}{mv^2} \quad (5)$$

$$\vec{E}(y) = kq \left[ \frac{1}{\left(y - \frac{d}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(y + \frac{d}{2}\right)^2} \right] \hat{y} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\vec{F} = kq^2 \left[ \frac{2}{r^2} - \frac{1}{(r+d)^2} - \frac{1}{(r-d)^2} \right] \hat{y} \quad \text{ב.}$$

$$\vec{F} = -\frac{6d^2 kq^2}{r^4} \hat{y} \quad \text{ג.}$$

## התפלגות מטען רציפה:

רקע:

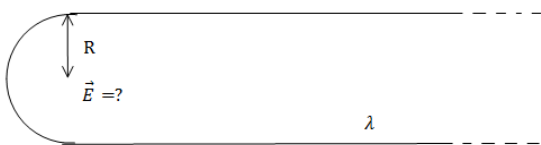
במקרים של חישוב שדה או כוח שיוצרת התפלגות מטען רציפה נחלקת את הגוף לחתיכות קטנות, נחשב את השדה שיוצרת כל חתיכה בנקודה ונסכום על כל החתיכות.

אלמנט המטען של חתיכה קטנה הוא:

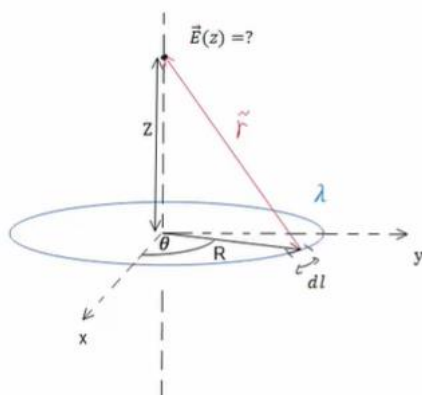
$$dq = \lambda dl / \sigma ds / \rho dv$$

כאשר  $ds$ ,  $dl$  ו- $dv$  הם אלמנט אורך, שטח ונפח בהתאמה. יש לרשום את הביטוי של האלמנטים לפי הקואורדינטות שאיתם עובדים בבעיה (ראו נושא קואורדינטות ואלמנטים דיפרנציאליים במבוא המתמטי)

שאלות:



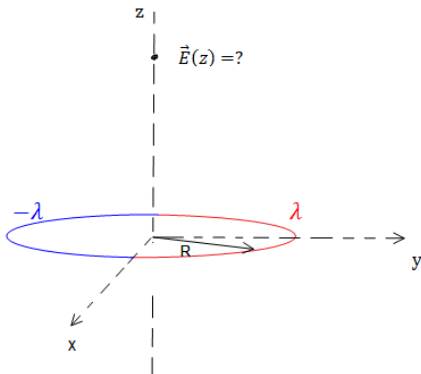
- (1) התפלגות מטען רציפה-תיל מכופף  
 תיל אינסופי הטעון בצפיפות מטען  
 ליחי אורך  $\lambda$  מכופף לחצי מעגל  
 בעל רדיוס  $R$ .  
 מצא את השדה במרכז חצי המעגל.



- (2) שדה של טבעת ודיסקה  
 נתונה טבעת בעלת רדיוס  $R$  וצפיפות מטען  
 ליחידת אורך  $\lambda$ .  
 א. חשב את השדה של טבעת ברדיוס  $R$   
 הטעונה בצפיפות מטען ליחידת  
 אורך  $\lambda$  לאורך ציר הסימטריה של  
 הטבעת.  
 ב. חשב את השדה החשמלי של דיסקה  
 ברדיוס  $R$  הטעונה בצפיפות מטען  $\sigma$   
 לאורך ציר הסימטריה של הדיסקה.

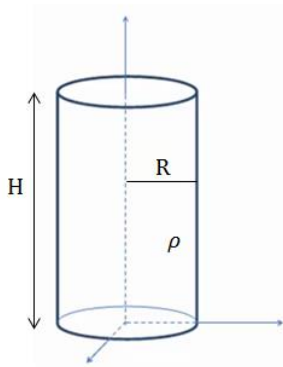
**(3) טבעת חצי חצי**

נתונה טבעת בעלת רדיוס  $R$ . חציה האחד של הטבעת טעון בצפיפות מטען  $\lambda$  וחציה השני טעון בצפיפות  $-\lambda$ . מצא את השדה לאורך ציר הסימטריה של הטבעת.



**(4) שדה של גליל מלא**

גליל מלא בעל רדיוס  $R$  וגובה  $H$  טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח  $\rho$ . מצא את השדה לאורך ציר הסימטריה של הגליל (בתוך ומחוץ לגליל).



**(5) טבעת עם צפיפות לא אחידה**

טבעת ברדיוס  $R$  טעונה בצפיפות מטען משתנה התלויה בזווית עם ציר ה- $x$ .

$$\lambda(\theta) = \lambda_0 \sin \theta$$

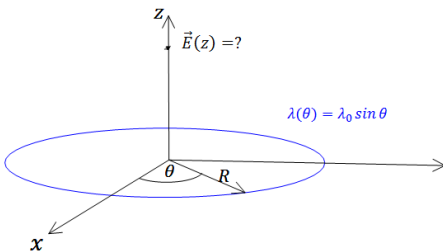
$\lambda_0$ ,  $R$  קבועים נתונים.

א. מהו סך המטען על הטבעת?

ב. מצא את השדה החשמלי בכל נקודה על ציר הסימטריה של הטבעת (גודל וכיוון).

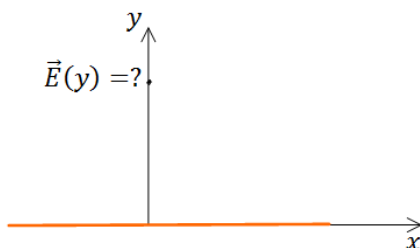
ג. מצא מהו השדה החשמלי עבור  $z \gg R$ .

איזה שדה מאפיין מתקבל? ומדוע? (סעיף זה קשור לנושא של דיפולים).

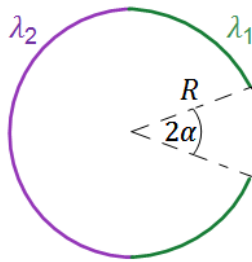


**(6) שדה של תיל סופי**

תיל סופי באורך  $L$  טעון במטען כולל  $Q$  המפולג בצורה אחידה. חשב את השדה החשמלי לאורך ציר המאונך לתיל והעובר במרכזו.

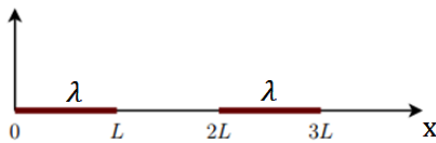


**(7) שדה של טבעת עם חלק חסר**



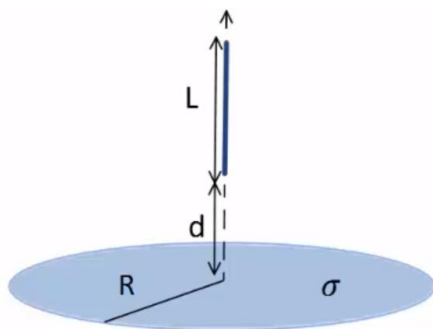
במערכת הבאה ישנה טבעת ברדיוס  $R$  שחציה הימני טעון בצפיפות מטען  $\lambda_1$  וחציה השמאלי טעון בצפיפות מטען  $\lambda_2$ . לחציה הימני חסר חלק באורך קשת הנשען מול הזווית  $2\alpha$ . מצא את השדה במרכז הטבעת.

**(8) כוח של מוט על מוט**



שני מוטות בעלי אורך  $L$  טעונים בצפיפות מטען אחידה ליחידת אורך  $\lambda$ . שני המוטות מונחים על ציר ה- $x$  כפי שנראה בציור. מצא את הכוחות שמפעילים המוטות אחד על השני.

**(9) כוח של מוט על דסקה**



במערכת הבאה ישנה דסקה (מלאה) ברדיוס  $R$  הטעונה בצפיפות מטען אחידה ליחידת שטח  $\sigma$ . מוט באורך  $L$  מונח לאורך ציר הסימטריה של הדסקה ובגובה  $d$  מעל מרכזה (ראה איור). המוט טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת אורך  $\lambda$ . מצא מה הכוח שמפעיל המוט על הדסקה.

**(10) חרוט קטום\*\***

מטען  $q$  נמצא בקודקודו של משטח בצורת חרוט בעל חצי זווית מפתח השווה ל- $\theta$  ואורך הקו היוצר הוא  $l$  (ראו איור).

החרוט טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידית שטח  $\sigma$ .

א. האם ניתן לחשב את הכוח על המטען אם המטען נמצא ממש בקצה החרוט?

כעת מסירים את חציו העליון של החרוט כך שנשאר חרוט קטום.

ב. חשבו את הכוח הפועל על המטען מהחרוט.

(הדרכה: השתמש בסופרפוזיציה של טבעות, השטח של טבעת אינפיניטסימלית בעובי  $dr$  הנמצאת במרחק  $r$  מקודקוד החרוט הוא:  $dS = 2\pi r \sin \theta dr$  בקואורדינטות כדוריות).

ג. עבור איזו זווית  $\theta$  הכוח מקסימאלי? מה קורה כאשר:  $\theta = \frac{\pi}{2}$ ?

## תשובות סופיות:

0 (1)

$$2\pi k\sigma z \left( \frac{1}{z} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \quad \text{ב.}$$

$$\frac{k\lambda R\pi z}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \begin{cases} \hat{z} & z > 0 \\ -\hat{z} & z < 0 \end{cases} \quad \text{א. (2)}$$

$$2 \cdot \frac{-k\lambda R^2 2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{(3)}$$

$$2\pi\sigma k \quad \text{(4)}$$

$$-\frac{k\pi\lambda_0 R^2}{z^3} \quad \text{ג.} \quad -\frac{k\pi\lambda_0 R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{ב.} \quad 0 \quad \text{א. (5)}$$

$$\frac{kQ}{y \left( \left( \frac{L}{2} \right)^2 + y^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{(6)}$$

$$\frac{k}{R} [\lambda_1 (2 \sin \alpha - 2) + \lambda_2 \cdot 2] \quad \text{(7)}$$

$$kx^2 \ln \left| \frac{4}{3} \right| \quad \text{(8)}$$

$$2\pi k\sigma\lambda \left[ L - \left( \sqrt{R^2} + (L+d)^2 \right) - \sqrt{R^2 + d^2} \right] \quad \text{(9)}$$

10 א. לא, כי המרחק בין המטען למטענים בקודקוק הוא אפס ואי אפשר לחשב

כוח כאשר המרחק הוא אפס. ב.  $\vec{F} = q\pi\sigma k \sin(2\theta) \ln 2 \cdot \hat{z}$

ג. החרוט הקטום הופך לדיסקה עם חור והשדה במרכז מתאפס.

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 9 - השדה החשמלי

תוכן העניינים

1. שדה חשמלי של מטענים נקודתיים.....63

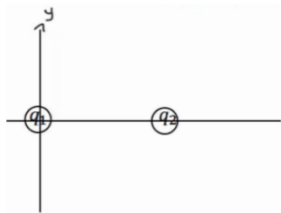
## שדה חשמלי של מטענים נקודתיים:

### שאלות:

#### 1) שדה בשתי נקודות

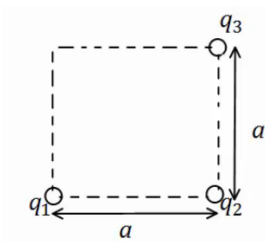
מטען  $q$  נמצא בראשית הצירים.

- חשב את השדה בנקודות  $(0, 2m)$ ,  $(1m, 3m)$ , אם נתון ש- $q = 5c$  (גודל וכיוון).
- חזור על סעיף א' אם  $q = -7c$ .
- מצא מה יהיה הכוח על מטען  $q_2 = 3c$  המגיע לנקודה  $(1m, 3m)$  עבור סעיף א'.
- מצא מה יהיה הכוח על מטען  $q_3 = -4c$  המגיע לנקודה  $(1m, 3m)$  עבור סעיף א' ללא  $q_2$ .



#### 2) חישוב שדה שקול בשלוש נקודות

- מטען  $q_1 = 5\mu c$  נמצא בראשית הצירים.  
מטען  $q_2 = 4\mu c$  נמצא במיקום  $(3cm, 0)$ .  
מצא את השדה בנקודות הבאות:
- $(5cm, 0)$
  - $(2cm, 0)$
  - $(2cm, 1cm)$

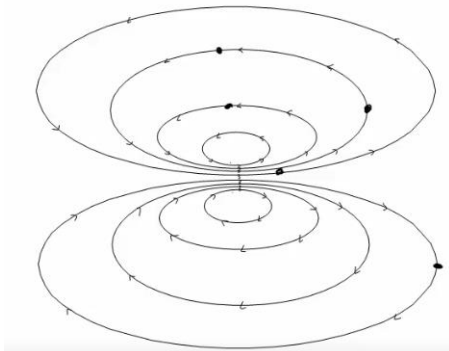


#### 3) חישוב שדה שקול בפינה של ריבוע

- מטענים  $q_1, q_2, q_3$  נמצאים בשלוש פינותיו של ריבוע בעל צלע  $a$ .  
מהו השדה בפינה הרביעית?  
 $q_1, q_2, q_3, a$  נתונים.

#### 4) קווי שדה

- באיור הבא מתוארים קווי שדה במרחב. צייר איכותית את וקטור השדה החשמלי בכל הנקודות המסומנות.



- (5) חלקיק על קו שדה**  
 חלקיק מתחיל לנוע ממנוחה במרחב בו קיים שדה חשמלי.  
 האם החלקיק ימשיך לנוע לאורך קו השדה עליו היה בתחילת התנועה לעד?
- (6) יחידות של השדה**  
 תלמיד טען שניתן לרשום את היחידות של השדה החשמלי גם כג'אול לקולון למטר. האם התלמיד צודק?
- (7) קווי שדה חוצים זה את זה**  
 תלמיד טען שקווי השדה של שני מטענים במרחב חוצים זה את זה? האם הדבר אפשרי? אם כן, אילו מטענים יקיימו טענה זו?
- (8) שדה מתאפס**  
 בתוך אזור מבודד נמצאים שני מטענים במיקומים שונים. גודל המטענים זהה וסימנם אינו ידוע. קבעו האם המטענים בעלי סימן זהה או סימן הפוך אם ידוע שקיימת נקודה במרחב שבה השדה מתאפס. הניחו שאין עוד מטענים במרחב.
- (9) גוף מרגיש שדה**  
 גוף קטן הנושא מטען של  $-5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  חשב בכוח חשמלי שגודלו  $4 \cdot 10^{-8} \text{ N}$  כלפי מטה. הניחו שכוח הכובד זניח.  
 א. מהו השדה החשמלי בנקודה בה נמצא הגוף?  
 ב. מסירים את הגוף ושמים במקומו פרוטון, מה יהיה הכוח על הפרוטון? הניחו שהשדה לא השתנה.
- (10) שדה מתאפס בין שני מטענים**  
 שני מטענים  $q_1 = 3 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  ו-  $q_2 = -5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  מרוחקים  $1.8 \text{ m}$  זה מזה.  
 באיזו נקודה מתאפס השדה החשמלי על הקו המחבר בין המטענים?
- (11) שדה בכמה נקודות**  
 מטען  $q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  נמצא בראשית. מטען אחר של  $q_2 = -2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  נמצא בנקודה (1,2) במטרים.  
 חשבו את השדה השקול בנקודות הבאות:  
 א. (0,2)  
 ב. (-1,-2)  
 ג.  $(-1,-4)^*$

**12 שני כדורים תלויים בשדה חיצוני**

שני כדורים קטנים תלויים מהתקרה באמצעות חוטים זהים

באורך:  $L = 8\text{cm}$ .

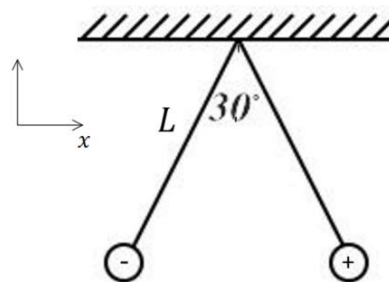
מסת הכדורים זהה ושווה ל-  $4\text{gr}$ , מטעני הכדורים הם:  $6 \cdot 10^{-8}\text{C}$

ו-  $-6 \cdot 10^{-8}\text{C}$ , המטען החיובי על הכדור הימני באיור.

בכל המרחב יש שדה חשמלי אחיד בכיוון ציר  $x$ .

מה צריך להיות גודל השדה כך שהכדורים יהיו במצב שיווי משקל בזווית

של  $30$  מעלות ביניהם?



## תשובות סופיות:

$$\vec{E} = 6.3 \cdot 10^9 \hat{x} + 15.75 \cdot 10^9 (-\hat{y}) \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = 1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{א.} \quad (1)$$

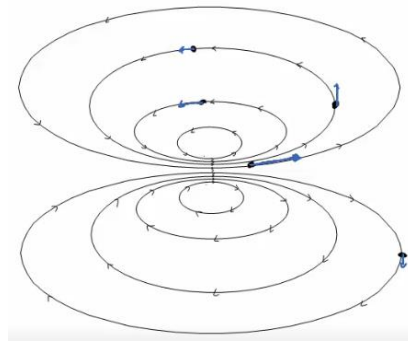
$$\vec{F}_3 = -4 \cdot (1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y}) \quad \text{ד.} \quad \vec{F} = 4.26 \cdot 10^9 \hat{x} + 12.81 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{ג.}$$

$$E_{1_x} = 8.05 \cdot 10^7, E_{1_y} = 4.03 \cdot 10^7, E_{2_x} = -12.73 \cdot 10^7, E_{2_y} = 12.73 \cdot 10^7 \quad (2)$$

$$E_{T_x} = -4.68 \cdot 10^7, E_{T_y} = 16.77 \cdot 10^7$$

$$E_{T_y} = \frac{kq_1}{a^2} + \frac{kq_2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}, E_{T_x} = \frac{kq_3}{a^2} - \frac{kq_2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

(4)



(5) לא.

(6) כן.

(7) לא.

(8) זהה.

$$\text{א.} \quad 8 \frac{N}{C}, \text{ למעלה.} \quad \text{ב.} \quad 1.28 \cdot 10^{-18} N, \text{ כלפי מעלה.} \quad (9)$$

(10) .

$$x_2 = -6.19 \quad (11)$$

$$\vec{E} = -2.82 \hat{x} - 5.63 \hat{y} \frac{N}{C} \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = 18 \hat{x} + 9 \hat{y} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$\vec{E} = -0.37 \hat{x} - 1.63 \hat{y} \quad \text{ג.}$$

$$4.94 \cdot 10^5 \frac{N}{C} \quad (13)$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

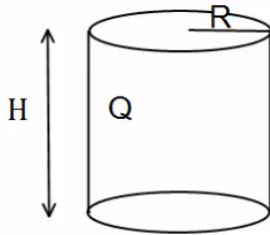
פרק 10 - חוק גאוס

תוכן העניינים

67	1. צפיפות מטען.....
68	2. חוק גאוס.....
(ללא ספר)	3. סיכום חוק גאוס.....
69	4. תרגילים נוספים.....

## צפיפות מטען:

שאלות:



(1) גליל עם חור

גליל בעל רדיוס  $R$  וגובה  $H$ , טעון במטען  $Q$  המתפלג בצורה אחידה.  
 קודחים בגליל חור ברדיוס  $r < R$ , לכל אורכו.  
 מהו המטען שיצא מהגליל?  
 (נוסחה לנפח גליל:  $\pi r^2 h$ ).

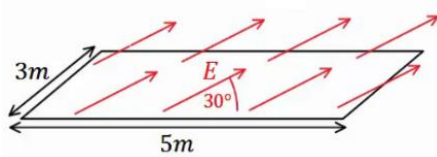
תשובות סופיות:

$$q = \frac{Qr^2}{R^2} \quad (1)$$

## חוק גאוס:

### שאלות:

#### (1) שדה באלכסון

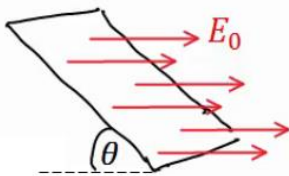


באיור הבא נתון כי השדה החשמלי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).

גודלו הוא  $E = 2 \frac{N}{C}$  והזווית בינו למשטח היא  $30^\circ$ .

אורך המשטח הוא 5m ורוחבו הוא 3m. מצא מהו השטף דרך המשטח.

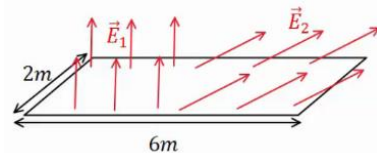
#### (2) משטח באלכסון



שדה חשמלי אחיד נמצא בכל המרחב בכיוון ציר ה-x, גודלו הוא  $E_0$ .

מצא מהו השטף דרך משטח המונח בזווית  $\theta$  ביחס לציר ה-x. אורך המשטח הוא a ורוחבו הוא b.

#### (3) שדה מפוצל



באיור הבא נתון כי השדה החשמלי על המשטח,

בחציו השמאלי, הוא:  $\vec{E}_1 = 2 \frac{N}{C} \hat{y}$  (שדה אחיד).

בחציו הימני של המשטח, השדה הוא:  $\vec{E}_2 = 7 \frac{N}{C} \hat{x} + 3 \frac{N}{C} \hat{y}$ .

אורך המשטח הוא 6m ורוחבו הוא 2m. מצא מהו השטף דרך המשטח.

### תשובות סופיות:

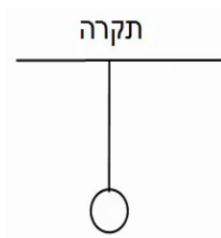
$$\Phi_E = 15 \cdot \frac{m^2 N}{C} \quad (1)$$

$$\Phi_E = E_0 \sin \theta \cdot a \cdot b \quad (2)$$

$$\Phi_E = 30 \frac{N \cdot m^2}{C} \quad (3)$$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:



#### (1) מישור מתחת לכדור תלוי

כדור בעל מסה  $m = 5\text{kg}$  ומטען  $Q = 20\mu\text{C}$  תלוי באמצעות חוט מהתקרה. מתחת לכדור ישנו מישור אינסופי בעל

$$\text{צפיפות מטען משטחית: } \sigma = -\frac{30\mu\text{C}}{\text{m}^2}$$

א. מצא את המתיחות בחוט.

ב. מצא את המתיחות בחוט אם  $\sigma = +\frac{5\mu\text{C}}{\text{m}^2}$ .

#### (2) שתי קליפות כדוריות

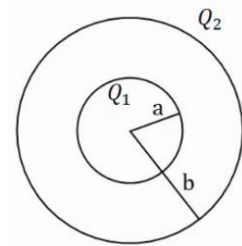
במערכת הבאה שתי קליפות (חלולות) בעלות מרכז משותף (קונצנטריות). רדיוס הקליפה הפנימי הוא  $a$  והמטען עליה הוא  $Q_1$ , רדיוס הקליפה

החיצונית הוא  $b$  והמטען עליה הוא  $Q_2$ .

א. חשב את פונקציית השדה החשמלי בכל המרחב.

ב. מה הכוח (גודל וכיוון) שירגיש מטען בגודל  $Q_3$ ,

הנמצא במרחק  $3b$  ממרכז הכדור.



### תשובות סופיות:

ב.  $T \approx 44.35\text{N}$

א.  $T = 83.93\text{N}$  (1)

ב.  $\vec{F} = Q_3 \frac{k(Q_1 + Q_2)}{(3b)^2}$ , כיוון: כלפי חוץ.

$$E = \begin{cases} 0 & r < a \\ \frac{kQ_1}{r^2} & a < r < b \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r^2} & b < r \end{cases} \quad \text{א. (2)}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 11 - חוק גאוס-תרגילים נוספים

תוכן העניינים

70	.....	1. הסברים בסיסיים
71	.....	2. תרגול נוסף

## הסברים בסיסיים:

### שאלות:

#### 1) לוח עם עובי



נתון מישור בעל שטח A ועובי d.  
המישור טעון בצפיפות מטען קבועה ליחידת נפח  $\rho$ .

א. מצא את השדה רחוק מאוד מהמישור.

ב. מצא את השדה קרוב מאוד למישור ובתוכו (השתמש בקירובים).

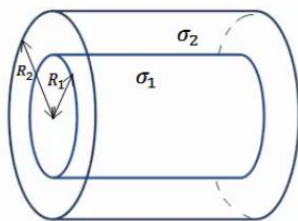
ג. מניחים אלקטרון בגובה  $Z_0 < \frac{d}{2}$ , מצא את מיקום האלקטרון כפונקציה של הזמן בהנחה שצפיפות המטען במישור חיובית.

### תשובות סופיות:

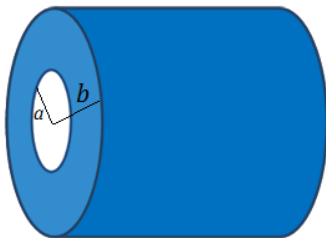
$$z(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{|e|\rho}{\epsilon_0 m}} t\right) \quad \text{ג.} \quad \vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z > \frac{d}{2} \\ -\frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{k\rho d A}{r^2} \hat{r} \quad \text{א.} \quad (1)$$

## תרגול נוסף:

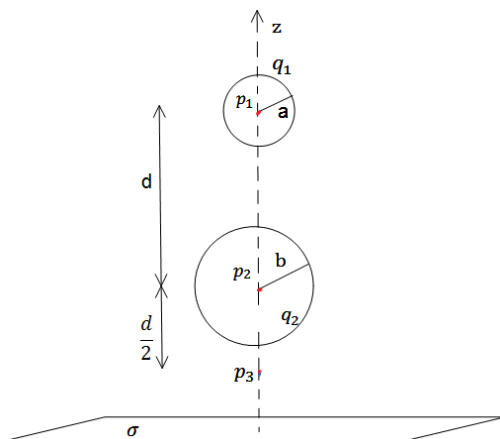
### שאלות:



- (1) שתי קליפות גליליות חלולות נתונות שתי קליפות (חלולות) גליליות אינסופיות בעלות ציר סימטריה משותף. רדיוס הקליפה הפנימית הוא  $R_1$  וצפיפות המטען המשטחית בה היא  $\sigma_1$ . רדיוס הקליפה החיצונית הוא  $R_2$  וצפיפות המטען בה היא  $\sigma_2$ . מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

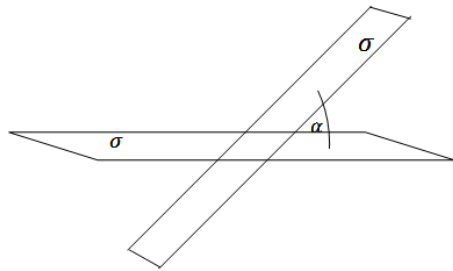


- (2) קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי  $a$ , רדיוס חיצוני  $b$  וגובה  $H$  טעונה בצפיפות מטען נפחית  $\rho(r) = \frac{c}{r}$ , כאשר  $c$  קבוע נתון ו- $r$  הוא המרחק מציר הסימטריה של הקליפה. א. מצא את המטען הכולל בקליפה. ב. מצא את השדה בכל המרחב אם:  $H \gg a, b$ .



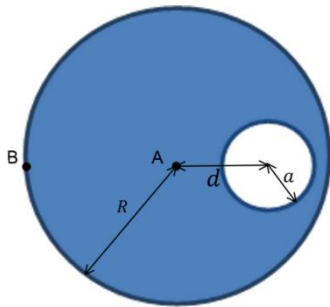
- (3) משטח ושתי קליפות כדוריות שתי קליפות כדוריות בעלות רדיוסים שונים  $a < b$ , נמצאות במרחק  $d > 2b$  אחת מעל השנייה. הקליפות טעונות במטענים  $q_1, q_2$  בהתאמה. במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחת לקליפה התחתונה (עם רדיוס  $b$ ) מונח מישור אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma$ . מצא את השדה בנקודות הבאות.
- א.  $p_1$  הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס  $a$ .
  - ב.  $p_2$  הנמצאת במרכז הקליפה בעלת רדיוס  $b$ .
  - ג.  $p_3$  הנמצאת במרחק  $\frac{d}{2}$  מתחת למרכז הקליפה התחתונה אך מעל המישור.

**(4) שני מישורים בזווית**



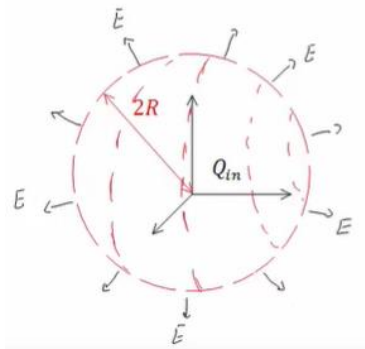
שני מישורים אינסופיים טעונים בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma$ . המישורים נמצאים בזווית  $\alpha$  אחד מהשני.  
א. מצא את השדה החשמלי בין המישורים ומעל המישור האופקי.  
ב. מצא את השדה מעל שני המישורים.

**(5) כדור עם חור**



בתוך כדור הטעון בצפיפות מטען אחידה  $\rho$  קיים חלל כדורי בעל רדיוס  $a$ . המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא  $d$ , רדיוס הכדור הגדול הוא  $R$ .  
א. מצאו את השדה בנקודה A.  
ב. מצאו את השדה בנקודה B.  
ג\*. מצאו את השדה החשמלי בתוך החלל (בכל נקודה).

**(6) מטען כלוא**

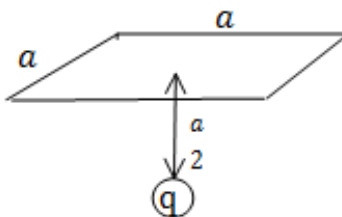


נתונה פונקציית השדה החשמלי

$$\vec{E} = \frac{\rho_0 R^3}{\epsilon_0 (r^2 + R^2)} \hat{r}$$

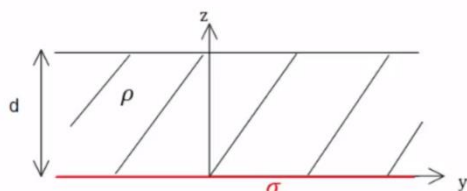
במרחב:  $\rho_0$ , קבועים נתונים, ו- $r$  הוא המרחק מהראשית בקואורדינטות כדוריות, מצא את כמות המטען הכלואה בתוך מעטפת כדורית בעלת רדיוס  $2R$ .

**(7) שטף דרך משטח ריבועי**

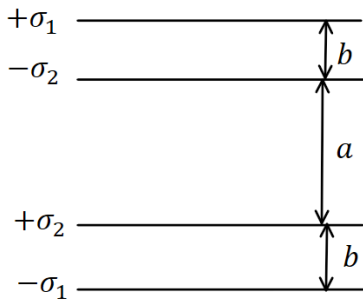


מצא את השטף העובר דרך משטח ריבועי (לא טעון) בעל צלע באורך  $a$  הנמצא בגובה  $\frac{a}{2}$  מעל מטען נקודתי  $q$ .

**(8) מישור עבה צמוד למישור דק**



מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען אחידה  $\sigma$  נמצא על מישור  $x-y$ . מישור אינסופי נוסף בעל עובי  $d$  טעון בצפיפות מטען אחידה  $\rho$ , מונח מעל המישור הדק (תחתית המישור העבה נמצא גם על מישור  $x-y$ ). מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

**9) ארבעה לוחות**

במערכת הבאה ישנם ארבעה לוחות טעונים

$$\text{בצפיפויות מטען } \sigma_1 = 0.05 \frac{\text{C}}{\text{m}^2}, \sigma_2 = 0.02 \frac{\text{C}}{\text{m}^2}.$$

המרחקים בין הלוחות הם:  $a = 3 \text{ c.m}$ ,  $b = 1 \text{ c.m}$   
 כפי שמצוין בציור וניתן להניח כי מרחקים אלו קטנים בהרבה מצלעות הלוחות.

- מצא את השדה החשמלי בכל מקום במרחב (בין הלוחות ומעליהן, אין צורך להתייחס למה שקורה בצידי הלוחות).
- משחררים פרוטון ממנוחה מהלוח  $-\sigma_2$ . כמה אנרגיה קינטית "ירוויח" מן המערכת? (הנח שהפרוטון עובר דרך הלוחות ללא הפרעה).
- מצא את מהירות הפרוטון ביציאה מן המערכת.

**10) מלוח אל לוח**

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 6 ס"מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה. המטען הכולל על הלוח התחתון הוא:  $Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  והמטען הכולל על הלוח העליון זהה בגודלו והפוך בסימנו. משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון: ( $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )

- כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?
- מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?
- מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון ברגע הפגיעה?

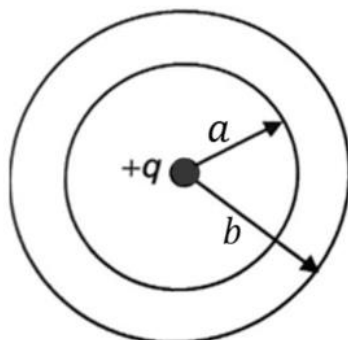
**11) קליפה כדורית עבה עם צפיפות משתנה**

קליפה כדורית עבה שרדיוסיה הפנימי והחיצוני הם  $a$  ו- $b$  נושאת מטען

בצפיפות נפחית לא אחידה,  $\rho(r) = \frac{\alpha}{r}$ , כאשר  $\alpha > 0$  הינו קבוע מספרי.

במרכזו של החלל הכדורי ( $r = 0$ ) מצוי מטען נקודתי  $+q$ .

מה צריך להיות ערכו של הקבוע המספרי  $\alpha$  על מנת שהשדה בתחום  $a < r < b$  יהיה קבוע, כלומר בלתי תלוי במרחק.



**תשובות סופיות:**

$$\vec{E} = (\sigma_1 R_1 + \sigma_2 R_2) \frac{1}{\epsilon_0 r} \hat{r} \quad (1)$$

$$\vec{E} = \frac{C(b-a)}{\epsilon_0 r} \hat{r} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} + 0 + \left( -\frac{kq_1}{d^2} \hat{z} \right) \text{ ב.} \quad \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} + \frac{kq_2 \hat{z}}{d^2} + 0 \text{ נ.} \quad (3)$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} - \frac{kq_2}{4} \hat{z} - \frac{kq_1}{4} \hat{z} \text{ ג.}$$

$$\vec{E}_T = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} ((1 + \cos \alpha) + \sin \alpha \hat{y}) \text{ : בין המישורים} \quad (4)$$

$$\vec{E}_T = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} ((1 + \cos \alpha) - \sin \alpha \hat{y}) \text{ : מעל המישורים}$$

$$\frac{4\pi k \rho d}{3} \hat{x} \text{ ג.} \quad \frac{4\pi k \rho}{3} \left( \frac{a^3}{(d+R)^2} - R \right) \hat{x} \text{ ב.} \quad \frac{4\pi k \rho a^3}{3d^2} \hat{x} \text{ נ.} \quad (5)$$

$$\frac{16}{5} \pi \rho_0 R^3 \quad (6)$$

$$\phi = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \frac{kqa}{2 \left( x^2 + y^2 + \left( \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}} dx dy \quad (7)$$

$$\frac{q}{3\epsilon_0} \quad (8)$$

$$v = 1.04 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ג.} \quad 2.53 \cdot 10^{-11} \text{ J} \text{ ב.} \quad \vec{E} = -5.65 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{y} \text{ נ.} \quad (9)$$

$$V(t) = 3.65 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ב.} \quad t \approx 1.1 \cdot 10^{-12} \text{ sec} \text{ נ.} \quad (10)$$

$$E_k = 6.06 \cdot 10^{-12} \text{ J} \text{ ג.}$$

$$\alpha = \frac{q}{2\pi a^2} \quad (11)$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 12 - תנועה בשדה חשמלי אחיד

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים.....75

## הסבר ותרגילים:

### שאלות:

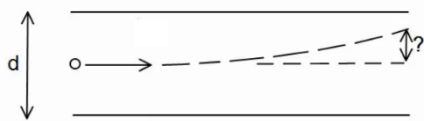
#### 1) מלוח אל לוח

שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך כל צלע היא 6 ס"מ, והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה; המטען הכולל על הלוח התחתון הוא:  $Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  והמטען הכולל על הלוח העליון זהה והפוך בסימנו.

משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון:  $\left( \begin{matrix} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{matrix} \right)$

- כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?
- מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?
- מהי האנרגיה הקינטית של האלקטרון באותו הרגע?

#### 2) חישוב סטייה



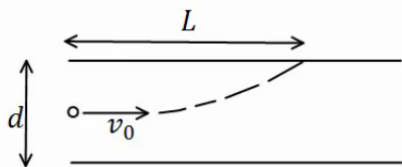
שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 5 ס"מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה.

המטען הכולל על הלוח העליון הוא:  $Q = 3 \cdot 10^{-11} \text{ C}$ , והמטען הכולל על הלוח התחתון זהה והפוך בסימנו.

אלקטרון נע במהירות:  $v_0 = 2 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  במקביל ללוחות:  $\left( \begin{matrix} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{matrix} \right)$

- מצא את הסטייה של האלקטרון (כמה ז' בציר ה-y) ברגע צאתו מן הלוחות.
- מהו כיוון מהירותו של האלקטרון בצאתו מן הלוחות?

#### 3) מטען לא מזוהה



שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. המרחק בין הלוחות הוא d ואורך הצלע של כל לוח גדולה בהרבה מהמרחק בין הלוחות. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה, צפיפות

המטען המשטחית על הלוח העליון היא  $\sigma$  והצפיפות על הלוח התחתון זהה והפוכה בסימנה. מטען לא מזוהה נכנס בדיוק במרכז בין הלוחות במהירות  $v_0$

- בכיוון מקביל ללוחות. המטען פוגע בלוח העליון במרחק L.
- מצא את סימנו של המטען, בהנחה שהצפיפות הנתונה חיובית.
- מצא את היחס בין גודל המטען למסה שלו.

**תשובות סופיות:**

$$(1) \quad \text{א. } t \approx 1.1 \cdot 10^{-10} \text{ sec} \quad \text{ב. } v(t) = 3.65 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ג. } E_k = 6.06 \cdot 10^{-16} \text{ J}$$

$$(2) \quad \text{א. } y_x = 0.747 \text{ mm} \quad \text{ב. } \theta \approx 1.72^\circ$$

$$(3) \quad \text{א. סימן המטען שלילי.} \quad \text{ב. } \frac{q}{m} = \frac{dv_0^2}{4\pi k \sigma L^2}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 13 - מוליכים

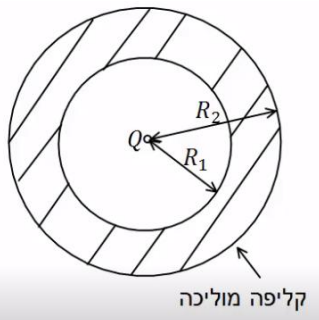
תוכן העניינים

1. הסבר על מוליכים ..... (ללא ספר)

2. תרגילים ..... 77

## תרגילים:

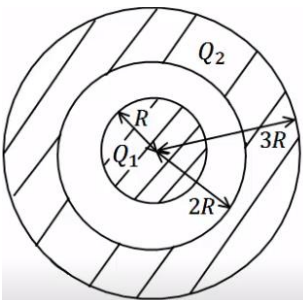
### שאלות:



**(1) מטען נקודתי וקליפה עבה**

מטען נקודתי  $Q$  נמצא במרכזה של קליפה כדורית מוליכה ועבה. לקליפה רדיוס פנימי  $R_1$  ורדיוס חיצוני  $R_2$ .

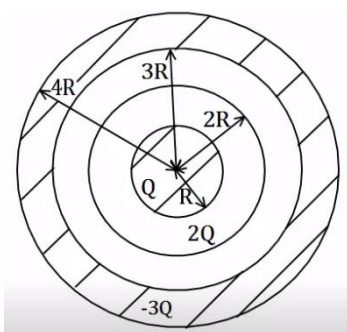
- מצא את השדה בכל המרחב אם הקליפה ניטרלית.
- מהי התפלגות המטען על שפת הקליפה?



**(2) כדור מוליך וקליפה עבה טעונה**

כדור מוליך ברדיוס  $R$  טעון במטען  $Q_1$ . הכדור נמצא בתוך ובמרכזה של קליפה כדורית מוליכה עם רדיוס פנימי  $2R$  ורדיוס חיצוני  $3R$ . הקליפה טעונה, וסך המטען על הקליפה הוא  $Q_2$ .

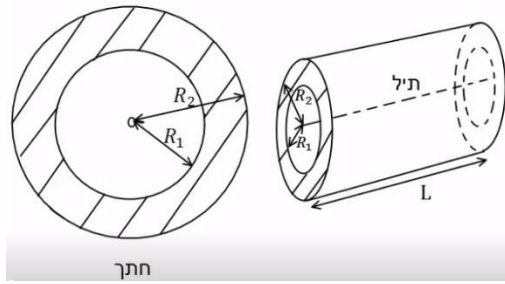
- מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.
- מהי התפלגות המטען על שפת הכדור ושפת הקליפה?
- מטען נקודתי  $q$  מונח ב-  $r = 1.5R$ . מהו הכוח הפועל על המטען אם ניתן להניח שההשפעה שלו על המערכת זניחה.



**(3) כדור מוליך קליפה דקה וקליפה עבה**

במערכת הבאה ישנו כדור מוליך ברדיוס  $R$  הטעון במטען  $Q$ . מסביב לכדור ישנה קליפה כדורית דקה ברדיוס  $2R$  הטעונה במטען  $2Q$ . את הכדור והקליפה מקיפה קליפה כדורית עבה ומוליכה בעלת רדיוס פנימי  $3R$  ורדיוס חיצוני  $4R$  הטעונה במטען כולל  $-3Q$ .

- הכדורים והקליפות קוצנטריים (בעלי מרכז משותף).
- מצא את השדה בכל המרחב.
- מצא את התפלגות המטען בכל המרחב.



**4) תיל וקליפה גלילית עבה**

במערכת הבאה ישנו תיל באורך  $L$  הטעון במטען כולל  $Q$ . התיל נמצא במרכזה של קליפה גלילית עבה ומוליכה בעלת רדיוס פנימי  $R_1$  ורדיוס חיצוני  $R_2$ .

אורך הקליפה הוא  $L$  גם כן והיא ניטרלית. הנח שאורך התיל והקליפה גדול בהרבה מהרדיוסים.

- א. מהי צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל?
- ב. מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.
- ג. מהי צפיפות המטען על שפת הקליפה?

## תשובות סופיות:

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{4\pi R_1}, \sigma_2 = \frac{q_2}{4\pi R_2} \quad \text{ב.}$$

$$E = \begin{cases} \frac{kQ}{r^2} & r < R_1 \\ 0 & R_1 < r < R_2 \quad \text{א. (1)} \\ \frac{kQ}{r^2} & R_2 < r \end{cases}$$

$$\sigma_1 = \frac{Q_1}{4\pi R^2}, \sigma_2 = \frac{-Q_1}{4\pi 4R^2}, \sigma_3 = \frac{q_3}{4\pi (3R)^2} \quad \text{ב.}$$

$$E = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{kQ_1}{r^2} & R < r < 2R \quad \text{א. (2)} \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r^2} & 3R < r \end{cases}$$

$$F = q \frac{kQ_1}{(1.5R)^2} \quad \text{ג.}$$

$$\sigma_1 = \frac{Q}{4\pi R^2}, \sigma_2 = \frac{Q}{8\pi R^2}, \sigma_3 = \frac{-3Q}{4\pi 9R^2} \quad \text{ב.}$$

$$E = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{kQ}{r^2} & R < r < 2R \\ \frac{k3Q}{r^2} & 2R < r < 3R \quad \text{א. (3)} \\ 0 & 3R < r < 4R \\ 0 & 4R < r \end{cases}$$

$$E = \begin{cases} \frac{2k\lambda}{r} & r < R_1 \\ 0 & R_1 < r < R_2 \quad \text{ב.} \\ \frac{2k\lambda}{r} & R_2 < r \end{cases}$$

$$\lambda = \frac{Q}{L} \quad \text{א. (4)}$$

$$\sigma_1 = -\frac{\lambda}{2\pi R_1} \quad \text{ג.}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 14 - חומרים דיאלקטריים

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים ..... 80

## הסברים ותרגילים:

### רקע:

חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)

בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.

השדה השקול בתוך החומר (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה):

$$\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$$

$\vec{E}_T$  - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר.

$\vec{E}_0$  - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר).

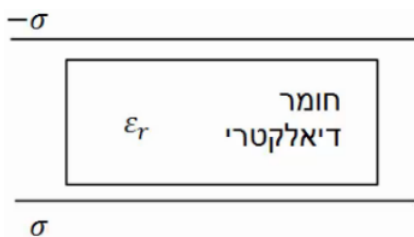
$\epsilon_r$  - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.

לפעמים נתון המקדם הדיאלקטרי (הלא יחסי) והקשר הוא:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

כאשר  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \frac{c^2}{N \cdot m^2}$  הוא המקדם הדיאלקטרי של הריק

### שאלות:



#### (1) חומר דיאלקטרי בין שני לוחות

חומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_r = 2$  מוכנס בין שני לוחות גדולים מאוד, הטעונים בצפיפות

מטען משטחית:  $\sigma = 3 \cdot 10^{-3} \frac{C}{m^2}$

$$\sigma = 3 \cdot 10^{-3} \frac{C}{m^2}$$

מהו השדה החשמלי בתוך החומר, אם הצפיפות בלוח העליון שלילית ובתחתון חיובית.

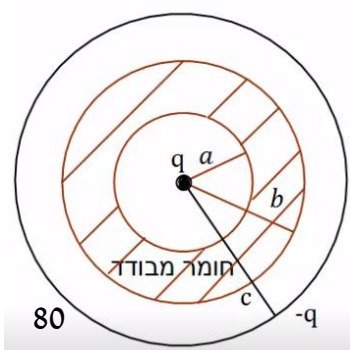
#### (2) מטען נקודתי בתוך מעטפת דיאלקטרית

מטען נקודתי  $q = 2 \cdot 10^{-6} C$  מוקף במעטפת כדורית

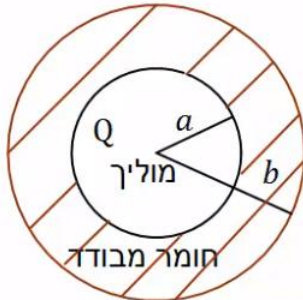
מבודדת בעלת רדיוס פנימי  $a = 5c.m$  ורדיוס

חיצוני  $b = 8c.m$ . המקדם הדיאלקטרי של המעטפת

המבודדת הוא:  $\epsilon_r = 3$ . את כל המערכת עוטפת



קליפה מוליכה דקה ברדיוס  $c = 10\text{cm}$  הטעונה במטען  $-q = -2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ .  
מהו השדה החשמלי בכל המרחב אם הקליפה המבודדת אינה טעונה?



**(3) כדור מוליך בתוך מעטפת דיאלקטרית**

כדור מוליך ברדיוס  $a$  טעון במטען  $Q$ . הכדור מוקף במעטפת עבה העשויה חומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_r$ . הרדיוס הפנימי של המעטפת הדיאלקטרית צמוד לרדיוס הכדור  $a$  והרדיוס החיצוני שווה ל-  $b$ .  
הבא את השדה החשמלי בכל המרחב באמצעות הפרמטרים של הבעיה.

**תשובות סופיות:**

$$E = 1.7 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}} \quad (1)$$

$$E = \begin{cases} \frac{kq}{r^2} & r < a \\ \frac{kq}{\epsilon_r r^2} & a < r < b \\ \frac{kq}{r^2} & b < r < c \\ 0 & c < r \end{cases} \quad (2)$$

$$E = \begin{cases} 0 & r < a \\ \frac{kQ}{\epsilon_r r^2} & a < r < b \\ \frac{kQ}{r^2} & b < r \end{cases} \quad (3)$$



# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 15 - מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית

תוכן העניינים

83	1. עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי.
85	2. פוטנציאל ומתח.
89	3. פוטנציאל במוליכים.
91	4. תרגילים נוספים.

## עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי:

### שאלות:

#### (1) עבודה להביא מטען מהאינסוף

מהי העבודה הדרושה להביא מטען  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהאינסוף למרחק  $r = 50 \text{ cm}$  ממטען  $Q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  המקובע במקום?

#### (2) מטען מגיע עם מהירות מהאינסוף

מטען  $Q_1 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  בעל מסה  $m = 10^{-3} \text{ kg}$  נע מהאינסוף במהירות  $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  כלפי מטען  $Q_2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  המקובע במקום.  
 א. מהו המרחק בו ייעצר רגעית המטען?  
 ב. מהי מהירות המטען כאשר מרחקו  $100 \text{ m}$ ?

#### (3) עבודה להרחיק שני מטענים

חשב את העבודה הדרושה להרחיק שני מטענים:  $Q_1 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ,  $Q_2 = -4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  ממרחק  $r_1 = 20 \text{ cm}$  למרחק  $r_2 = 40 \text{ cm}$ .  
 בדוק האם הסימן הגיוני.

#### (4) עבודה להכניס מטען לתוך קליפה טעונה

חשב את העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q_1 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ C}$  לתוך קליפה כדורית ברדיוס  $R = 0.8 \text{ m}$  הטעונה בצפיפות מטען משטחית  $\sigma = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ .

#### (5) עבודה של לוח אינסופי

מטען  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  נמצא במרחק  $d = 30 \text{ cm}$  מלוח אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח  $\sigma = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ .  
 חשב את העבודה הדרושה להביא את המטען אל הלוח.

**6) מטען זה בין שני לוחות**

שני לוחות גדולים מאוד טעונים בצפיפויות מטען משטחיות הפוכות  $\sigma = \pm 3 \cdot 10^{-3} \frac{C}{m^2}$ .

המרחק בין הלוחות הוא  $d = 5 \text{ cm}$ .

מצא את העבודה הדרושה להעביר מטען של  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהלוח השלילי אל הלוח החיובי. הזנח את השפעת המטען על השדה של הלוחות.

**תשובות סופיות:**

$$W = 108 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad (1)$$

$$r = 90 \text{ m} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$v_F \approx 6.32 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

$$W = 0.27 \text{ J}, \quad \text{כ.} \quad (3)$$

$$W = 5.43 \cdot 10^3 - 0 \quad (4)$$

$$W = 170 \text{ J} \quad (5)$$

$$W = 33.9 \text{ J} \quad (6)$$

## פוטנציאל ומתח:

### שאלות:

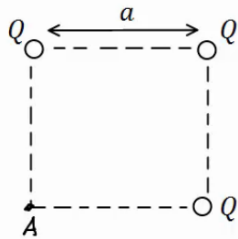
#### (1) פוטנציאל שיוצר מטען בשתי נקודות

חשב את הפוטנציאל שיוצר המטען  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  במרחק  $r_1 = 0.8 \text{ m}$  ובמרחק  $r_2 = 0.3 \text{ m}$  מהמטען.

מהי העבודה הדרושה להזיז את המטען  $Q_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהמרחק הראשון למרחק השני?

#### (2) 3 מטענים בפינות של ריבוע

בשלוש פינות של ריבוע מקובעים שלושה מטענים זהים  $Q = 2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ . אורך צלע הריבוע היא  $a = 3 \text{ cm}$ .



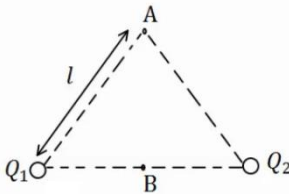
א. חשב את הפוטנציאל בפינה הרביעית של הריבוע.

ב. חשב את הפוטנציאל במרכז הריבוע.

ג. חשב את העבודה הדרושה להזיז את המטען  $q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  ממרכז הריבוע לקצה הריבוע.

#### (3) שני מטענים על משולש שווה צלעות

שני מטענים זהים  $Q_1 = Q_2 = 10^{-6} \text{ C}$  נמצאים על קדקודיו של משולש שווה צלעות בעל אורך צלע  $l = 5 \text{ cm}$ .

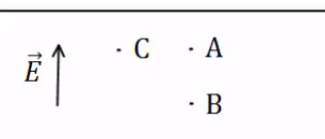


א. מצא את המתח בין הנקודה A הנמצאת בקודקוד השלישי של המשולש לבין הנקודה B הנמצאת באמצע הצלע המחברת את שני המטענים.

ב. חשב את העבודה הדרושה להביא מטען של  $q = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מהקדקוד אל אמצע הצלע.

#### (4) פוטנציאל בין לוחות

שני לוחות גדולים מאוד טעונים במטענים בעלי סימן הפוך. ידוע כי כיוון השדה בין הלוחות הוא מהלוח התחתון ללוח העליון.

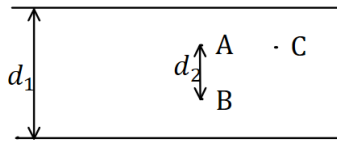


א. איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?

ב. איזה מהלוחות נמצא בפוטנציאל יותר גבוה?

ג. איזו מהנקודות A ו-B נמצאת בפוטנציאל יותר גבוה?

ד. איזה מהנקודות A ו-C, הנמצאות באותו גובה, נמצאת בפוטנציאל יותר גבוה?

**5) מתח בין לוחות**


שני לוחות גדולים מאוד נמצאים במרחק  $d_1 = 40\text{cm}$  זה מזה. המתח בין הלוחות הוא  $\Delta V = 20\text{V}$  וידוע כי הלוח העליון נמצא בפוטנציאל גבוה יותר.

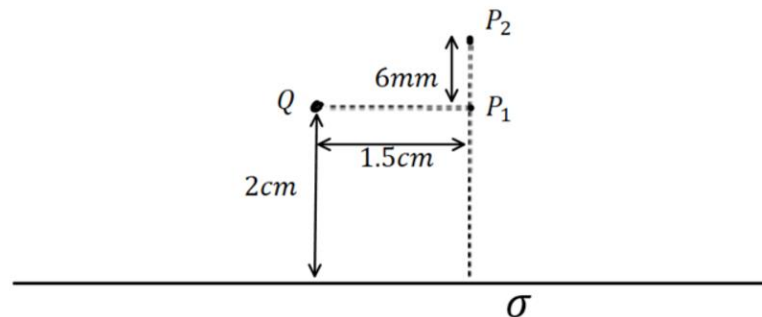
- איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?
- מהו השדה בין הלוחות (גודל וכיוון)?
- מהו המתח  $V_{BA}$  אם ידוע שהמרחק בין הנקודות A ו B הוא  $d_2 = 5\text{cm}$ ?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען  $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$  מ-A ל-B?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען  $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$  מ-A ל-C - הנמצאת באותו הגובה של A?

**6) פוטנציאל של לוח ומטען נקודתי**

מטען נקודתי  $Q = 3\mu\text{C}$  נמצא בגובה  $2\text{cm}$  מעל לוח אינסופי הטעון בצפיפות

$$\sigma = 8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}.$$

- מצאו את הפוטנציאל בנקודות שבאיור (הניחו שהפוטנציאל של הלוח הוא אפס על הלוח).
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען  $q = 10^{-10}\text{C}$  מ- $P_1$  ל- $P_2$ . הניחו שהמטען Q והלוח אינם משנים את מיקומם.



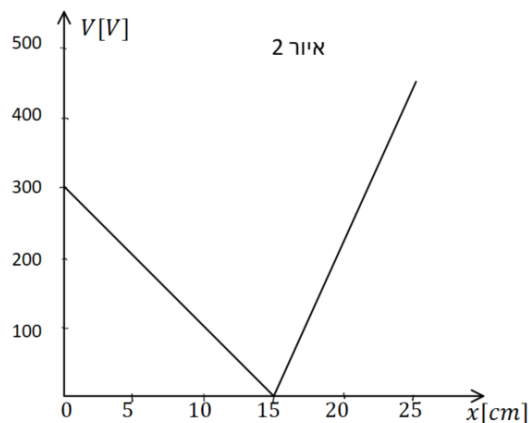
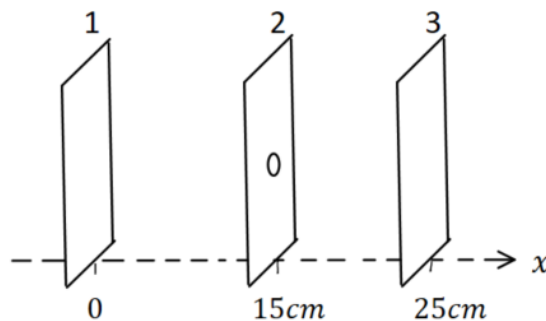
### 7 חישוב שדה ותנועה בין 3 לוחות

- שלושה לוחות גדולים מאוד נמצאים אחד אחרי השני ומקביל כפי שמתואר באיור 1. הלוחות טעונים בצפיפויות מטען (אחידות) שונות.
1. הפוטנציאל כתלות במיקום נתון באיור 2.
  2. חשבו את השדה החשמלי בתחומים:
    - א.  $0 < x < 15 \text{ cm}$
    - ב.  $-15 \text{ cm} < x < 25 \text{ cm}$

- נתון כי צפיפות המטען המשטחית של לוח 1 היא:  $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C/m}^2$  וכי צפיפות המטען המשטחית של לוח 3 חיובית.
- ב. חשבו את  $\sigma_2$  ו- $\sigma_3$ .

- חלקיק קטן בעל מסה  $5 \cdot 10^{-16} \text{ kg}$  שמטענו  $q$  אינו ידוע משוחרר ממנוחה בסמוך ומימין ללוח 1. החלקיק נע לעבר לוח 2 ועובר דרך חור קטן בלוח במהירות:  $3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ .
- ג. מהו מטען החלקיק (כולל הסימן)?
  - ד. האם החלקיק יגיע ללוח 3? אם כן, מהי תהיה מהירותו? אם לא, היכן ייעצר?

איור 1



**תשובות סופיות:**

$$W = 18.75 \cdot 10^{-2} \text{ J} \quad (1)$$

$$V_B = 25.46 \cdot 10^6 \text{ V} \quad \text{ב.} \quad V_A = 16.24 \cdot 10^6 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$W = -27.65 \text{ J} \quad \text{ג.}$$

$$W_{A \rightarrow B} = 1.8 \text{ J} \quad \text{ב.} \quad V_{BA} = 3.6 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (3)$$

(4) א. הלוח הטעון במטען חיובי נמצא למטה, והשלילי למעלה.

ב. התחתון. ג. B. ד. הפוטנציאל שווה.

(5) א. הלוח הטעון במטען חיובי נמצא למעלה, והשלילי למטה.

$$\text{ב.} \quad E = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \text{ג.} \quad -2.5 \text{ V} \quad \text{ד.} \quad -5 \cdot 10^{-6} \text{ J} \quad \text{ה.} \quad 0$$

$$-4.05 \cdot 10^5 \text{ J} \quad \text{ב.} \quad V(P_2) = 4.90 \cdot 10^5 \text{ V}, V(P_1) = 8.95 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$E = \begin{cases} 2000 \frac{\text{V}}{\text{m}} & 0 < x < 15 \\ -4500 \frac{\text{V}}{\text{m}} & 15 < x < 25 \end{cases} \quad \text{א.} \quad (7)$$

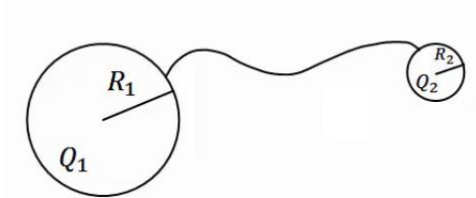
$$q = 7.5 \mu\text{C} \quad \text{ג.} \quad \sigma_3 = 4.21 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}, \quad \sigma_2 = -5.75 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \quad \text{ב.}$$

$$\text{ד.} \quad \text{לא ב-} \quad x \approx 22_{\text{cm}}$$

## פוטנציאל במוליכים:

### שאלות:

#### (1) שני כדורים מוליכים מחוברים



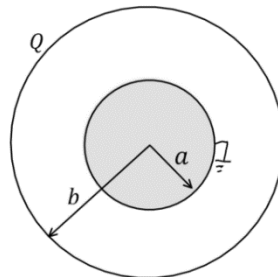
שני כדורים מוליכים בעלי רדיוסים  $R_1, R_2$  נמצאים במרחק גדול מאוד אחד מהשני. הכדורים טעונים במטענים  $Q_1, Q_2$  בהתאמה. מחברים את הכדורים באמצעות חוט מוליך. מה היה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

#### (2) מטען נקודתי במרכז קליפה מוארקת

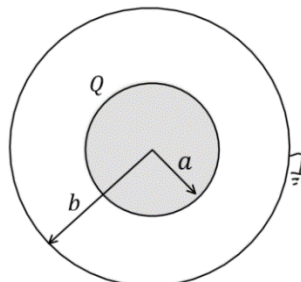
מטען נקודתי  $Q$  נמצא במרכזה של קליפה (חלולה) כדורית דקה ומוליה ברדיוס  $R$ . מהו המטען על הקליפה אם ידוע שהיא מוארקת?

#### (3) כדור בתוך קליפה

קליפה כדורית מוליכה ודקה בעלת רדיוס  $b$  טעונה במטען  $Q$ . במרכז הקליפה נמצא כדור מוליך בעל רדיוס  $a$  המוארק לאדמה. א. מהו המטען על הכדור?



כעת הכדור טעון במטען  $Q$  (ואינו מוארק), והקליפה החיצונית מוארקת. ב. מהו מטענה של הקליפה המוארקת?



**תשובות סופיות:**

$$q_1' = (Q_2 + Q_1) \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad q_2' = (Q_2 + Q_1) \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$q = Q \quad (2)$$

$$\text{א. } -\frac{a}{b}Q \quad \text{ב. } -Q \quad (3)$$

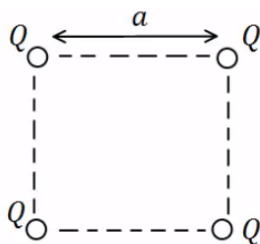
## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) אנרגיה חשמלית של מערכת

מצא את האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של שני מטענים זהים:  $Q_1 = Q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  הנמצאים במרחק 80 ס"מ זה מזה.

#### (2) מטענים בפינות ריבוע



בארבעת הפינות של ריבוע בעל צלע  $a = 0.5 \text{ m}$  ישנם מטענים זהים שגודלם הוא:  $Q = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ .

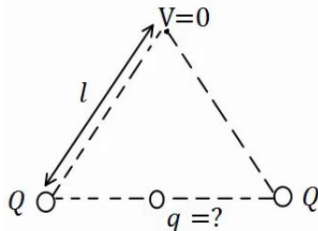
א. מהי העבודה הדרושה לבניית המערכת?

ב. מהו הפוטנציאל בנקודה הנמצאת באמצע אחת מצלעות הריבוע?

ג. מהי העבודה הדרושה להבאת מטען  $q = 3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  לנקודה מסעיף ב'?

ד. מהי האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של המערכת לאחר סעיף ג'?

#### (3) מטען שמאפס פוטנציאל בקודקוד



בשני קודקודיו של משולש שווה צלעות נמצאים מטענים זהים שגודלם הוא:  $Q = 2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ .

מטען נוסף,  $q$ , מונח במרכז הצלע שביניהם. אורך הצלע של המשולש הוא:  $l = 20 \text{ cm}$ .

א. מצא את גודלו של המטען  $q$  כך שהפוטנציאל בקודקוד השלישי יתאפס.

ב. חזור על סעיף א' אם המטען  $q$  נמצא במרכז של צלע אחרת במשולש.

#### (4) פוטנציאל בנקודה מסוימת

בנקודה מסוימת קיים פוטנציאל של 15V.

א. מהי העבודה להביא מטען שגודלו 1C מהאינסוף לנקודה זו?

ב. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  לנקודה זו?

ג. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מפוטנציאל של  $V = 5 \text{ V}$  לנקודה זו?

ד. מהי העבודה הדרושה להביא מטען של  $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  מנקודה זו לפוטנציאל של 10V?

**(5) עבודה לא תלויה במסלול**

מטען נקודתי  $Q_1 = 10^{-5} \text{ c}$  ממוקם בראשית הצירים.

מטען נקודתי נוסף  $Q_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ c}$  ממוקם ב- $(0.8\text{m}, 0)$ .

א. מצא את הפוטנציאל בנקודות:  $A(1.5\text{m}, 0)$ ,  $B(1.5\text{m}, 1\text{m})$ ,  $C(0.8\text{m}, 1\text{m})$ .

ב. מהי העבודה הדרושה להעביר את המטען  $q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ c}$  מנקודה A ל-B?

ג. מהי העבודה הדרושה להעביר את אותו המטען מנקודה B אל נקודה C?

ד. מהי העבודה הדרושה להעביר את אותו המטען מנקודה A לנקודה C, דרך הקו הישר בין הנקודות?

**(6) אלקטרון מואץ בהפרש פוטנציאליים**

אלקטרון מואץ בהפרש פוטנציאליים של  $300\text{V}$ .

האלקטרון מתחיל תנועתו ממנוחה.

א. מהו ההפרש בין האנרגיה הפוטנציאלית החשמלית של האלקטרון בתחילת

התנועה לסוף התנועה, ביחידות של אלקטרון וולט וביחידות של ג'אול?

ב. מהי מהירות האלקטרון בסוף התהליך?

$$q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c}, m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

**(7) פרוטון נע בין לוחות**

שני לוחות גדולים בעלי שטח  $A = 2\text{m}^2$  נמצאים

במרחק  $d = 10\text{cm}$  אחד מהשני.

טוענים את אחד הלוחות במטען  $Q = 6 \cdot 10^{-3} \text{ c}$ ,

ואת הלוח השני במטען זהה והפוך בסימנו.

א. חשב את צפיפות המטען ליחידת שטח על כל לוח.

ב. מהו השדה בין הלוחות?

ג. מהו המתח בין הלוחות?

ד. פרוטון משוחרר ממנוחה קרוב מאוד ללוח החיובי.

מהי מהירות הפרוטון בהגיעו ללוח השלילי?

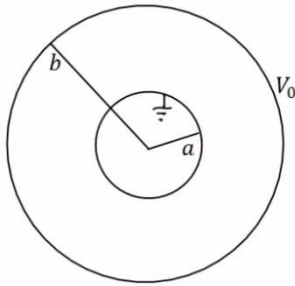
$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ c}, m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**(8) פוטנציאל של כדור מוליך**

כדור מוליך שרדיוסו  $R = 20\text{cm}$  טעון במטען  $Q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ c}$ .

א. מהו השדה החשמלי במרחק  $r_1 = 25\text{cm}$  ובמרחק  $r_2 = 15\text{cm}$  ממרכז הכדור?

ב. מהו הפוטנציאל באותם מרחקים?

**9 מטענים על קליפות**

במערכת הבאה ישנם שתי קליפות כדוריות מוליכות, דקות, ברדיוסים  $a, b$ . הקליפה החיצונית מוחזקת במתח  $V_0$  והקליפה הפנימית מוארקת. השתמש בפוטנציאל של קליפה כדורית בודדת ובעקרון הסופרפוזיציה וחשב את המטען על כל קליפה.

**10 מתח בין שני כדורים מוליכים**

שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים:  $R_1 = 1\text{m}$  ו-  $R_2 = 1.4\text{m}$ , טעונים במטענים:  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6}\text{c}$  ו-  $Q_2 = 6 \cdot 10^{-6}\text{c}$ .

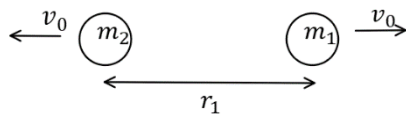
- א. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שפות הכדורים, אם הם מרוחקים מאוד זה מזה.  
 ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שתי הנקודות הכי קרובות של הכדורים, אם המרחק בין מרכזיהם הוא  $d = 5\text{m}$ .  
 הנח שהתפלגות המטען על כל כדור עדיין אחידה.

**11 שני מטענים מתרחקים**

שני גופים בעלי מסות  $m_1 = 20\text{gr}$  ו-  $m_2 = 60\text{gr}$  ומטענים ו-  $Q_2 = 6 \cdot 10^{-6}\text{c}$  נמצאים במרחק  $r_1 = 80\text{cm}$  זה מזה, ובמנוחה.  
 א. מה תהיה מהירות הגופים כאשר המרחק ביניהם הוא  $r_2 = 1.2\text{m}$ ?  
 ב. מה תהיה מהירות הגופים לאחר זמן רב מאוד?

**12 שני מטענים מתרחקים ומתקרבים**

שני גופים בעלי מסות  $m_1 = 25\text{gr}$  ו-  $m_2 = 50\text{gr}$  ומטענים  $Q_1 = 4 \cdot 10^{-6}\text{c}$  ו-  $Q_2 = -5 \cdot 10^{-6}\text{c}$  נמצאים במרחק  $r_1 = 1\text{m}$  זה מזה.



לגופים מהירות התחלתית כך שאחד מתרחק מהשני.

גודל המהירות ההתחלתית של שני הגופים הוא  $v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

- א. מה תהיה מהירות הגופים כאשר המרחק ביניהם הוא  $r_2 = 5\text{m}$ ?  
 ב. מהו  $v_0$  המינימאלי עבורו הגופים לא יפגשו לעולם?  
 ג. כעת נניח כי  $v_0$  שווה לחצי מהערך שחישבת בסעיף ב'. מהו המרחק המקסימאלי אליו יגיעו הגופים?  
 ד. מצא את מהירות הגופים כאשר  $r_3 = 0.5\text{m}$ .

**13) 1000 טיפות שמן**

1000 טיפות שמן זהות טעונות במטען זהה ונמצאות בפוטנציאל זהה  $v_1$ .  
 הטיפות מתחברות לטיפה אחת גדולה. מהו הפוטנציאל של הטיפה הגדולה ( $v_1$  נתון)?  
 רמז: ניתן להתייחס לכל טיפה ככדור מוליך.

**14) כדור מוליך מוארק בתוך קליפה כדורית**

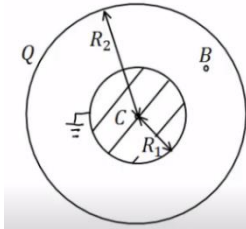
כדור מוליך ברדיוס  $R_1 = 5\text{cm}$ . נמצא בתוך ובמרכזה של קליפה כדורית דקה.

רדיוס הקליפה הוא:  $R_2 = 10\text{cm}$ . והמטען עליה הוא:  $Q = 3 \cdot 10^{-7}\text{C}$ . מאריקים את הכדור.

א. מצא את המטען על שפת הכדור.

ב. מהו הפוטנציאל בנקודות:  $r_C = 0$ ,  $r_B = 7\text{cm}$ ,  $r_A = 20\text{cm}$ ?

ג. מהי העבודה הדרושה להזיז את המטען  $Q = 10^{-10}\text{C}$  מ- $r_A$  ל- $r_C$ ?

**15) שתי קליפות קונטריות מחוברות בחוט**

קליפה כדורית (כדור חלול) שהרדיוס שלה  $R_1$  נמצאת בתוך קליפה כדורית שהרדיוס שלה  $R_2$ , ולשתי הקליפות מרכז משותף  $O$  (ראה תרשים). הקליפה הפנימית טעונה במטען חשמלי חיובי  $Q_1$ , והקליפה החיצונית טעונה במטען חשמלי חיובי  $Q_2$ . שתי הקליפות עשויות מחומר מוליך.

א. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הגודל של השדה החשמלי ששתי הקליפות יוצרות בכל אחת מהנקודות הבאות:

i. הנקודה  $O$ .

ii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה הפנימית, אך קרובה אליה מאוד, מרחקה מ- $O$  ייחשב ל- $R_1$ .

iii. נקודה הנמצאת מחוץ לקליפה החיצונית, אך קרובה אליה מאוד, מרחקה מ- $O$  ייחשב ל- $R_2$ .

ב. בטא באמצעות נתוני השאלה, את הפוטנציאל החשמלי הכולל ששתי הקליפות יוצרות בכל אחת משלוש הנקודות הבאות:

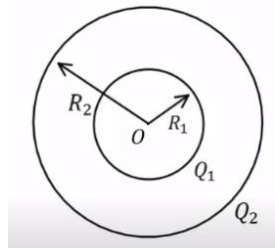
i. הנקודה  $O$ .

ii. נקודה על פני הקליפה הפנימית.

iii. נקודה על פני הקליפה החיצונית.

ג. מחברים את שתי הקליפות באמצעות תיל מוליך דק שהתנגדותו זניחה, ולכן חלקיקים טעונים יכולים לעבור ביניהן.

בטא, באמצעות נתוני השאלה, את המטען החשמלי על כל אחת משתי הקליפות לאחר שנפסק הזרם בתיל.



**16) כדור טעון מבודד מול מישור טעון מבודד\***

כדור בעל רדיוס  $R = 3\text{m}$ , מבודד מבחינה חשמלית, טעון על פניו בצפיפות מטען

אחידה:  $\sigma_1 = 5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ . במרחק  $d = 6\text{m}$  ממרכז הכדור נמצא משטח מישורי

גדול מבודד, הטעון בצפיפות מטען אחידה:  $\sigma_2 = 15 \cdot 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$ .

הנקודות  $P_1$  ו- $P_2$  שבציר נמצאות מחוץ לכדור, אך קרוב מאד לשפתו. הישר המחבר את הנקודות  $P_3$  ו- $P_4$  ניצב למשטח ומרוחק  $D = 4\text{m}$  ממרכז הכדור.  $P_4$  היא נקודה מימין למשטח, אך מאוד קרובה אליו. הנקודות  $P_1$  ו- $P_3$  נמצאות בדיוק מעל מרכז הכדור. לעזרתכם: שטח פנים של כדור בעל רדיוס  $R$  נתון ע"י  $4\pi R^2$ .

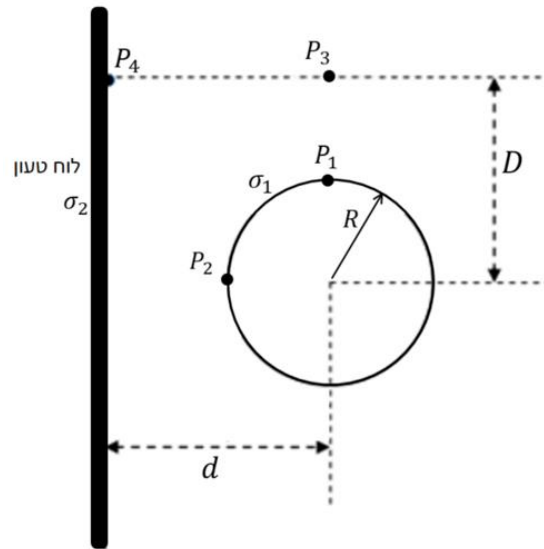
א. מה ערכו של השדה החשמלי השקול בנקודה  $P_2$ ?

ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות  $P_1$  ו- $P_2$  בהתאמה?

ג. מטען קטן:  $q = 10^{-9} \text{C}$  נמצא בנקודה  $P_3$ .

מהו ערכו של הכוח החשמלי הפועל על המטען בנקודה זו?

ד. מהי העבודה הדרושה, כדי להעביר את  $q$  מהנקודה  $P_3$  לנקודה  $P_1$ ?



**17) כדור בתוך קליפה מוליכה עבה\*\***

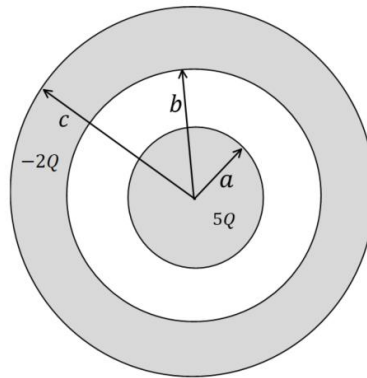
כדור מוליך בעל רדיוס  $a$  טעון במטען חיובי  $5Q$  ונמצא בתוך קליפה כדורית מוליכה בעלת רדיוס פנימי  $b$  ורדיוס חיצוני  $c$ , הטעונה במטען  $-2Q$ .

לכדור ולקליפה הכדורית יש מרכז משותף.

א. מהו המטען על השפה הפנימית ( $r = b$ ) והחיצונית ( $r = c$ ) של הקליפה הכדורית?

ב. מהו הפוטנציאל החשמלי על השפה הפנימית ( $r = b$ ) והחיצונית ( $r = c$ ) של הקליפה הכדורית? הניחו שהפוטנציאל באינסוף הוא אפס.

ג. מהו הפוטנציאל החשמלי במרכז הכדור ( $r = 0$ )?



## תשובות סופיות:

$$U \approx 0.101 \text{ J} \quad (1)$$

$$W \approx 6.25 \cdot 10^{-4} \text{ J} \quad \text{ג.} \quad V_A = 20.84 \cdot 10^3 \text{ V} \quad \text{ב.} \quad W \approx 3.9 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$W = 4.53 \cdot 10^{-3} \text{ J} \quad \text{ד.}$$

$$q = -2 \cdot 10^{-5} \text{ C} \quad \text{ב.} \quad q = -3.46 \cdot 10^{-5} \text{ C} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$W = -3 \cdot 10^{-5} \text{ J} \quad \text{ג.} \quad W = 3 \cdot 10^{-7} \text{ J} \quad \text{ב.} \quad W = 15 \text{ J} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$W = -10^{-5} \text{ J} \quad \text{ד.}$$

$$V_A = 3.17 \cdot 10^5 \text{ V}, V_B \approx 1.97 \cdot 10^5 \text{ V}, V_C = 2.5 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$W_{AC} = -2.01 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad \text{ד.} \quad W_{B \rightarrow C} = 1.59 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad \text{ג.} \quad W_{AB} = -3.6 \cdot 10^{-1} \text{ J} \quad \text{ב.}$$

$$V_F \approx 1.02 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad \Delta U = -300 \text{ eV} / = 4.8 \cdot 10^{-17} \text{ J} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$V = 3.39 \cdot 10^4 \text{ V} \quad \text{ג.} \quad E \approx 3.39 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}} \quad \text{ב.} \quad \sigma = 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$v = 2.55 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד.}$$

$$E(r_1) = 4.32 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}, E(r_2) = 0 \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$V(r_1) = 1.08 \cdot 10^5 \text{ V}, V(r_2) = 1.35 \cdot 10^5 \text{ V} \quad \text{ב.}$$

$$q_1 = \frac{bv_0}{k} \cdot \frac{a}{(a-b)}, q_2 = -\frac{bv_0}{ka \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)} \quad (9)$$

$$V_{ba} = 7.6 \cdot 10^3 \text{ V} \quad \text{ב.} \quad V_{21} \approx 2.06 \cdot 10^4 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$u_2 = 1.06 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_1 = -3.18 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.} \quad u_1 \approx -1.84 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 0.612 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$u_1 = -7.96 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 1.48 \frac{\text{m}}{\text{sec}} / u_1 = 4.62 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = -4.81 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$u_1 = -3.79 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, u_2 = 1.35 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד.} \quad r_{\max} = 1.29 \text{ m} \quad \text{ג.} \quad v_{0_{\min}} \approx 2.18 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב.}$$

$$V_{1000} = 100V_1 \quad (13)$$

$$V_A = 6.75 \cdot 10^3 \text{ V}, V_B \approx 7.71 \cdot 10^3 \text{ V}, V_C = 0 \quad \text{ב.} \quad q = -1.5 \cdot 10^{-7} \text{ C} \quad \text{א.} \quad (14)$$

$$W_{A \rightarrow C} = -6.75 \cdot 10^{-7} \text{ J} \quad \text{ג.}$$

$$E_T = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2^2} \quad \text{.iii} \quad E_T = \frac{kQ_1}{R_1^2} \quad \text{.ii} \quad E_T = 0 \quad \text{.i. א.} \quad (15)$$

$$V_T(R_2) = \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R_2} \quad \text{.iii} \quad V_T(R_1) = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2} \quad \text{.ii} \quad V_T = \frac{kQ_1}{R_1} + \frac{kQ_2}{R_2} \quad \text{.i. ב.}$$

$$q_1' = 0, q_2' = Q_1 + Q_2 \quad \text{ג.}$$

$$\text{א. } 90 \cdot \pi \frac{N}{C} \hat{x} \quad \text{ב. } 810\pi V \quad (16)$$

$$\text{ג. } 270 \cdot \pi \cdot 10^{-9} N \hat{x} + 101 \cdot \pi \cdot 10^{-9} N \hat{y} \quad \text{ד. } -3.375 \cdot 10^{-6} J$$

$$\text{ב. } V(b) = V(c) = \frac{3KQ}{c}$$

$$\text{א. } (17) \quad q(r=c) = 3Q, \quad q(r=b) = -5Q$$

$$\text{ג. } \frac{5KQ}{a} - \frac{5KQ}{b} + \frac{3KQ}{c}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

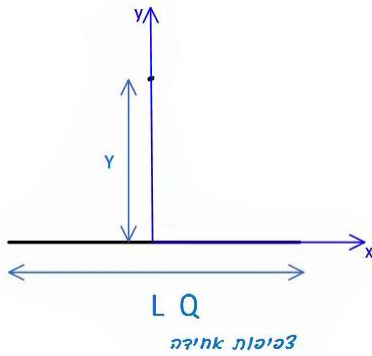
פרק 16 - פוטנציאל עם אינטגרלים

תוכן העניינים

99	1. שיטה 1, סופרפוזיציה
100	2. שיטה 2, שאלות חוק גאוס
102	3. סיכום ותרגילים נוספים

## שיטה 1, סופרפוזיציה:

שאלות:



(1) שיטה ראשונה, סופרפוזיציה

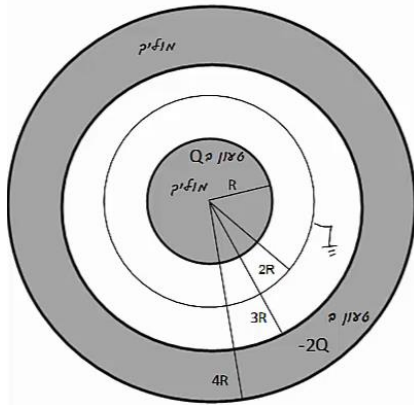
תיל באורך  $L$  טעון במטען כולל  $Q$  המפולג בתיל בצורה אחידה. התיל מונח על ציר ה- $x$ . מצא את הפוטנציאל על ציר ה- $y$  העובר במרכז התיל.

תשובות סופיות:

$$\varphi = k\lambda \ln \left| \frac{\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}}{-\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}} \right| \quad (1)$$

## שיטה 2, שאלות חוק גאוס:

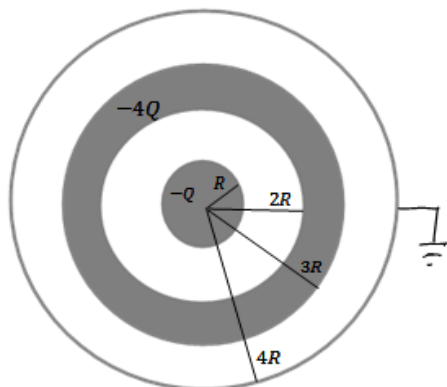
### שאלות:



- (1) דרך שניה, שאלות חוק גאוס  
 כדור מוליך בעל רדיוס  $R$  טעון במטען  $Q$ .  
 מסביב לכדור ברדיוס  $2R$ , נמצאת מעטפת כדורית דקה, מוליכה ומוארקת.  
 כל המערכת מוקפת במעטפת עבה ומוליכה עם רדיוס פנימי  $3R$  ורדיוס חיצוני  $4R$ .  
 המעטפת החיצונית טעונה במטען  $-2Q$  (ראה ציור).  
 לכדור ולמעטפות מרכז משותף,  $Q$ ,  $R$  נתונים.  
 א. מהו הפוטנציאל בכל המרחב?  
 ומהי התפלגות המטען בכל המרחב?

- (2) פוטנציאל של קליפה כדורית  
 מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של קליפה כדורית ברדיוס  $R$  הטעונה במטען כולל  $Q$ . הנח שהמטען מפוזר בצורה אחידה על השפה.

### (3) קליפות גליליות מוליכות



- גליל מוליך בעל רדיוס  $R$  ואורך  $L$  טעון במטען  $-Q$ .  
 סביב הגליל נמצאת קליפה גלילית עבה ומוליכה, בעלת רדיוס פנימי  $2R$  ורדיוס חיצוני  $3R$ .  
 אורך הקליפה הוא  $L$  גם כן.  
 הקליפה טעונה במטען כולל של  $-4Q$ .  
 מסביב לקליפה העבה נמצאת קליפה דקה מוליכה ומוארקת ברדיוס  $4R$  ואורך זהה.  
 הנח כי  $L \gg R$  ולקליפות ציר מרכזי משותף.  
 א. כיצד מתפלג המטען במערכת?  
 ב. מה הפוטנציאל בכל המרחב?  
 ג. פרוטון בעל מסה  $m_p$  ומטען  $|e|$  משוחרר ממנוחה במרחק  $r=2R$ .  
 מהי מהירות הפרוטון לאחר שעבר מרחק  $R$ ?

### (4) שדה ופוטנציאל של כדור מלא

- נתון כדור מלא בעל רדיוס  $R$  וצפיפות מטען נפחית אחידה  $p$ .  
 א. מצא את פונקציית השדה בכל המרחב.  
 ב. מצא את פונקציית הפוטנציאל בכל המרחב.

## תשובות סופיות:

$$\text{התפלגות: ראה סרטון} \quad \varphi = \begin{cases} C_1 & r < R \\ \frac{kQ}{r} + C_2 & R < r < 2R \\ \frac{k(Q+q)}{r} + C_3 & 2R < r < 3R \\ C_4 & 3R < r < 4R \\ \frac{k(q-Q)}{r} + C_5 & 4R < r \end{cases} \quad \text{א. פוטנציאל: (1)}$$

$$\varphi = \begin{cases} \frac{KQ}{R} & r < R \\ \frac{KQ}{r} & R > r \end{cases} \quad \text{(2)}$$

$$\varphi = \frac{Q}{2\pi L \epsilon_0} \cdot \begin{cases} \ln \frac{1}{2} + 5 \ln \frac{3}{4} & r < R \\ \ln \frac{r}{2R} + 5 \ln \frac{3}{4} & R < r < 2R \\ 5 \ln \frac{3}{4} & 2R < r < 3R \quad \text{ב.} \\ 5 \ln \frac{r}{4R} & 3R < r < 4R \\ 0 & 4R < r \end{cases} \quad \text{א. ראה סרטון (3)}$$

$$v = \sqrt{\frac{|e|Q \ln 2}{\pi L \epsilon_0 m_p}} \quad \text{ג.}$$

$$\varphi = \begin{cases} -\frac{\rho r^2}{6\epsilon_0} + C_1 & r < R \\ -\left(-\frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r}\right) + C_2 & R < r \end{cases} \quad \text{ב.} \quad E = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r} & r < R \\ \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2} \hat{r} & R < r \end{cases} \quad \text{א. (4)}$$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) יצירת היסוד קיריום

בשנת 1944 המדענים גלן סיבורג (חתן פרס נובל לכימיה), ראלף גיימס ואלברט גיורסו ייצרו לראשונה את היסוד הכימי שמספרו 96 וקראו לו "קיריום" על שם מארי קירי. לשם כך הם "הפציצו" גרעינים של פלוטוניום (שמספרו האטומי 94, כלומר יש לו 94 פרוטונים) בגרעיני הליום – 4 (בהם יש 2 פרוטונים ושני נויטרונים, והמסה שלו היא:  $M = 6.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ).

- אפשר להתייחס בקירוב אל גרעין הפלוטוניום כאל כדור ברדיוס:  $R = 7 \times 10^{-15} \text{ m}$ , בו המטען של 94 הפרוטונים מפוזר באופן אחיד בנפחו. אם כך, מה הפוטנציאל על פניו (יחסית לאינסוף)?
- מה צריכה להיות האנרגיה של גרעין ההליום בשביל שהוא יוכל להגיע אל פני גרעין הפלוטוניום? תנו את התשובה גם ביחידות eV וגם ביחידות J.
- מה צריכה להיות המהירות שלו רחוק מהגרעין ("באינסוף")?
- באיזה מרחק ממרכז הגרעין המהירות שלו יורדת ל-80% מהמהירות בסעיף ג'?

#### (2) דיפול

במרחב נמצאים שני מטענים:

$$\vec{r}_1 = -a\hat{y} = (-a, 0, 0) \text{ בנקודה } q_1 = -q$$

$$\vec{r}_2 = a\hat{y} = (a, 0, 0) \text{ בנקודה } q_2 = -q$$

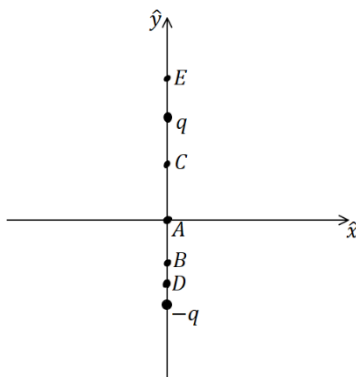
א. מה הפוטנציאל (יחסית לאינסוף), ומה השדה החשמלי בכל אחת מהנקודות

$$\text{הבאות: } \vec{r}_A = 0, \vec{r}_B = -\frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_C = \frac{1}{2}a\hat{y}, \vec{r}_D = -\frac{3}{4}a\hat{y}, \vec{r}_E = \frac{3}{2}a\hat{y}$$

ב. היכן הפוטנציאל (יחסית לאינסוף) מתאפס? תארו את המקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן זה קורה.

ג. ציירו גרפים סכמתיים של הפוטנציאל לאורך ציר y ולאורך שני צירים שמקבילים לציר x בשני מרחקים שונים.

ד. ציירו את קווי השדה ואת המשטחים שווי הפוטנציאל.



**3) מטען  $q$  ומטען  $3q$** 

במרחב נמצאים שני מטענים.

מטען  $3q$  בנקודה  $(a, 0, 0)$  ומטען  $-q$  בנקודה  $(-a, 0, 0)$ .

- מה הפוטנציאל  $\varphi$  (יחסית לאינסוף) ומה השדה החשמלי בראשית הצירים.
- מצאו על ציר  $x$  שתי נקודות בהן הפוטנציאל מתאפס.
- מה השדה החשמלי בשתי הנקודות שמצאתם בסעיף ב'?
- הראו שהמקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן הפוטנציאל יחסית לאינסוף מתאפס הוא כדור. מצאו את הרדיוס שלו ואת מרכזו (בשביל למצוא את הרדיוס והמרכז אפשר להיעזר בתוצאה של סעיף ב').
- מצאו איפה השדה החשמלי מתאפס. מה הפוטנציאל שם?
- ציירו גרף סכמתי של הפוטנציאל לאורך ציר  $x$ . ציינו את המיקומים של נקודות בהן הפוטנציאל ידוע ואת ערכו בהן.

**4) כדור  $\Omega$  מחבר בין שני כדורים**

הכדורים 1 ו-2 בתמונה הם מוליכים המקובעים

במקומם וטעונים במטען זהה.

הנח שהכדורים מאוד מרוחקים זה מזה

וידוע שהכוח הפועל עליהם הוא  $F$ .

הכדור השלישי גם הוא זהה אך אינו טעון.

מצמידים את הכדור השלישי לכדור

הראשון וממתינים עד שהמערכת תתייצב.

לאחר מכן מנתקים את הכדור השלישי ומצמידים

אותו לכדור השני. שוב ממתינים עד שהמערכת תתייצב.

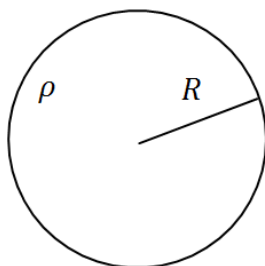
לבסוף מרחיקים את הכדור השלישי לגמרי.

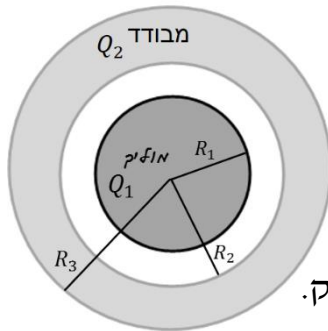
מהו הכוח בין הכדורים 1 ו-2 לאחר כל התהליך?

**5) פוטנציאל של גליל מלא טעון בצפיפות אחידה**

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של גליל אינסופי

ברדיוס  $R$  וצפיפות מטען אחידה ונתונה  $\rho$ .




**6) כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת**

- כדור מוליך בעל רדיוס  $R_1$  טעון במטען  $Q_1$ .  
 הכדור נמצא במרכזה של קליפה כדורית מבודדת  
 בעלת רדיוס פנימי  $R_2$  ורדיוס חיצוני  $R_3$ .  
 הקליפה טעונה באופן הומוגני במטען  $Q_2$ .
- א. חשב השדה החשמלי והפוטנציאל בכל המרחב.  
 ב. חזור על החישוב הזה במקרה שבו הכדור מוארק.

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } 1.93 \cdot 10^7 \text{ V} \quad \text{ב. } 6.17 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$$\text{ג. } v = 4.32 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ד. } r = 1.95 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

$$(2) \quad \text{א. ראה סרטון} \quad \text{ב. } y = 0$$

$$\text{ג. ראה סרטון} \quad \text{ד. ראה סרטון}$$

$$(3) \quad \text{א. פוטנציאל: } \frac{2kq}{\alpha}, \text{ שדה חשמלי: } -\frac{k4q}{d^2} \hat{x} \quad \text{ב. } x_1 = -\frac{1}{2}a, x_2 = -2a$$

$$\text{ג. } x_1 = -\frac{kq}{a^2} \cdot \frac{16}{3} \hat{x}, x_2 = \frac{kq}{a^2} \cdot \frac{2}{3} \hat{x} \quad \text{ד. רדיוס: } R = \frac{3}{4}a, \text{ מרכז: } \left(-\frac{5}{4}a, 0, 0\right)$$

$$\text{ה. איפוס השדה: } x_2 = -3.73a, \text{ הפוטנציאל בנקודה זו: } 0.27 \frac{kq}{a}$$

ו. ראו סרטון.

$$(4) \quad \frac{3}{8}F$$

$$(5) \quad \varphi = \begin{cases} -\frac{\rho}{4\epsilon_0}(r^2 - R^2) & r \leq R \\ -\frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln \frac{r}{R} & r \geq R \end{cases}$$

$$(6) \quad \vec{E} = \begin{cases} 0 & r < R_1 \\ \frac{kQ_1}{r^2} \hat{r} & R_1 < r < R_2 \\ \frac{k}{r^2} \left( Q_1 + Q_2 \left( \frac{r^3 - R_2^3}{R_3^3 - R_2^3} \right) \right) \hat{r} & R_2 < r < R_3 \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r^2} \hat{r} & R_3 < r \end{cases} \quad \text{א.}$$

$$\text{ב.} \quad \varphi(r) = \begin{cases} C_1 & r < R_1 \\ \frac{kQ_1}{r} + C_2 & R_1 < r < R_2 \\ \frac{kQ_1}{r} - \frac{kQ_2 r^2}{2(R_3^3 - R_2^3)} - \frac{kQ_2 R_2^3}{(R_3^3 - R_2^3)r} + C_3 & R_2 < r < R_3 \\ \frac{k(Q_1 + Q_2)}{r} + C_4 & R_3 < r \end{cases}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 17 - מטעני דמות

תוכן העניינים

106 ..... 1. הרצאות ותרגילים

## הרצאות ותרגילים:

### רקע:

שיטת מטעני דמות היא שיטה למצא פוטנציאל בבעיות בהם יש מוליכים עם התפלגות מטען שאינה אחידה.

### השיטה:

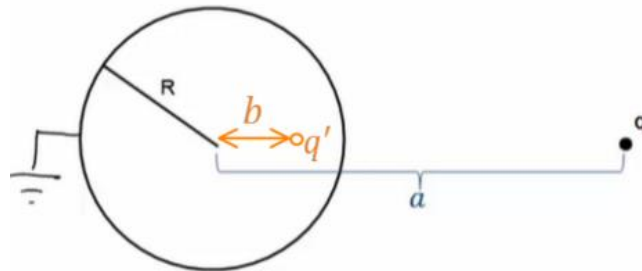
נבנה בעיה מקבילה ללא המוליך.

בבעיה המקבילה נשאיר את אותה התפלגות המטען שיש בתחום בו אנחנו מחפשים את הפוטנציאל.

בתחום הנוסף (שבו אנחנו לא מחפשים את הפוטנציאל) נוסיף מטענים כך שתנאי השפה בבעיה המקבילה יהיו זהים לתנאי השפה בבעיה המקורית.

לפי משפט הקיום והיחידות הפוטנציאל בבעיה המקבילה (בתחום שאנחנו מחפשים) זהה לפוטנציאל בבעיה המקורית.

### המקרה של קליפה כדורית ומטען נקודתי:



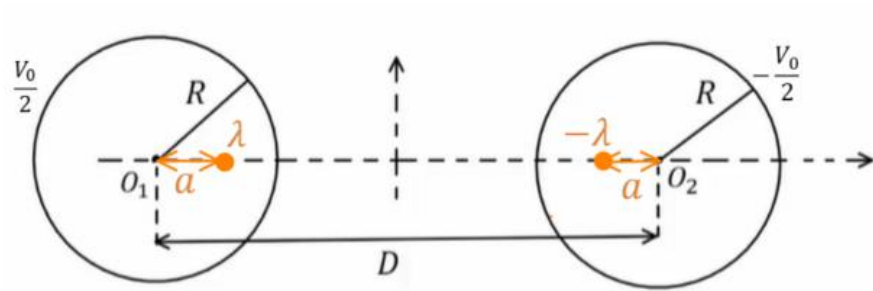
$$b = \frac{R^2}{a}$$

$$q' = -\frac{R}{a}q$$

אם הקליפה נמצאת בפוטנציאל  $V_0$  אז נוסף מטען  $q''$  במרכז הקליפה כך ש:

$$q'' = \frac{V_0 R}{k}$$

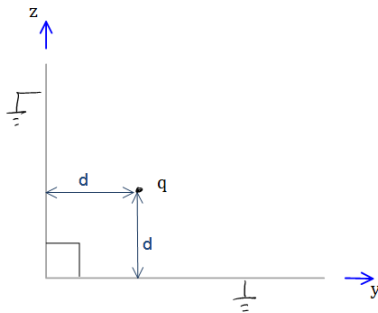
המקרה של שני גלילים אינסופיים:



$$\lambda = \frac{\pi \epsilon_0 V_0}{\ln \left( \frac{D}{2R} + \sqrt{\left( \frac{D}{2R} \right)^2 - 1} \right)}$$

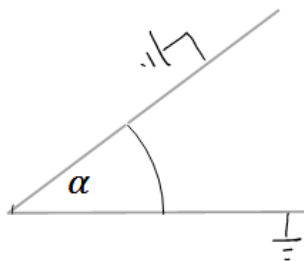
$$a = \frac{D}{2} - \sqrt{\left( \frac{D}{2} \right)^2 - R^2}$$

**שאלות:**



**(1) לוחות בזווית 90 מעלות**

נתונים שני מישורים מוארכים המחוברים בזווית ישרה. במרחק  $d$  משני המישורים ממוקם חלקיק בעל מטען  $q$  כמתואר בשרטוט. מצאו את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.



**(2) לוחות בזווית אלפה**

נתונים שני מישורים מוארכים המחוברים בזווית  $\alpha$ . במרחק  $d$  משני המישורים ממוקם חלקיק בעל מטען  $q$  כמתואר בשרטוט. מצאו את מטעני הדמות שמהם ניתן להסיק את פונקציית הפוטנציאל במרחב.

**(3) מציאת התפלגות המטען על שפת המוליך**

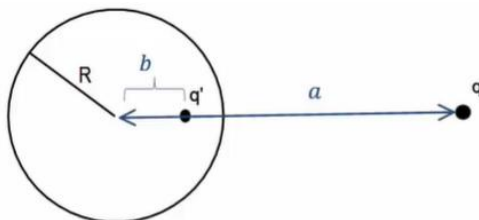
נתון מישור אינסופי מוארק. במרחק  $z$  מעל המישור נמצא חלקיק בעל מטען  $q$ . מצאו את התפלגות המטען  $\sigma$  על שפת המישור.

**(4) כוח ואנרגיה במטעני דמות**

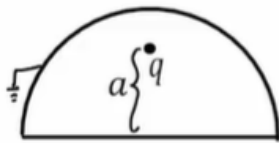
נתון מישור אינסופי מוארק ובמרחק  $z$  מעליו נמצא חלקיק בעל מטען  $q$ . מהו הכוח שמרגיש החלקיק?

**(5) מציאת התפלגות מטען עם ספירה**

נתונה ספירה מוליכה ומוארכת ברדיוס  $R$ . מול הספירה ישנו מטען נקודתי  $q$  במרחק  $a$  ממרכז הספירה. מצאו את התפלגות המטען על השפה של הספירה.

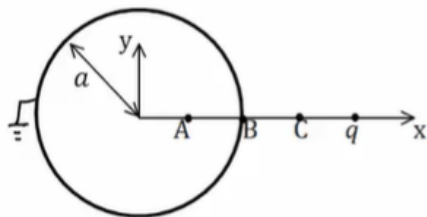


**(6) מטען בתוך חצי ספירה**



מטען נקודתי  $q$  נמצא בתוך חצי ספירה כדורית, מוארקת ברדיוס  $R$ . המטען נמצא בגובה  $a$  מעל מרכז הספירה. מצאו את מטעני הדמות בעזרתם נוכל לחשב את הפוטנציאל בכל המרחב.

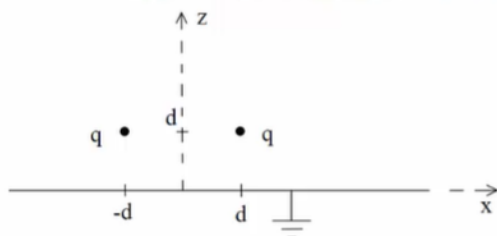
**(7) ספירה, מטען ושלוש נקודות**



קליפה כדורית ברדיוס  $a$  מוארקת. מטען  $q$  נמצא במרחק  $2a$  ממרכז הקליפה ועל ציר ה- $x$  כך ש:  $x_A = \frac{a}{2}$ ,  $x_B = a$ ,  $x_C = \frac{3a}{2}$ .

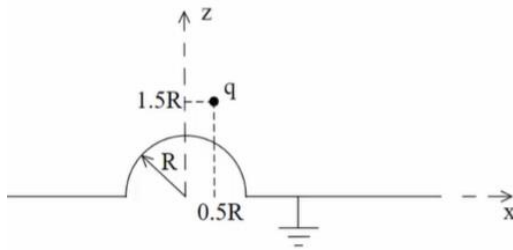
- א. מצאו את הפוטנציאל בנקודות:  $A, B, C$ .
- ב. מהי התפלגות המטען המשטחית בנקודה  $B$ ?
- ג. מה הכוח הפועל על המטען  $q$ ?
- ד. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

**(8) שני מטענים מעל מישור**



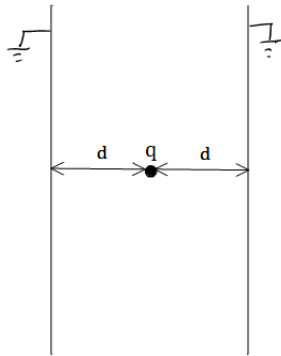
נתונים שני מטענים  $q$  במיקומים  $(d, 0, d)$  ו- $(-d, 0, d)$  מעל משטח אינסופי מוארק כבאיור.

- א. אילו מטעני שיקוף דרושים כדי לבטא פוטנציאל ושדה ב- $z > 0$ ?
- ב. איזה כוח ירגיש המטען הימני (גודל וכיוון)? יש לנרמל  $\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2} = 1$  ולהגיע לתשובה מספרית.
- ג. מהי התפלגות המטען על המוליך? ומהו המטען הכולל על המוליך?
- ד. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

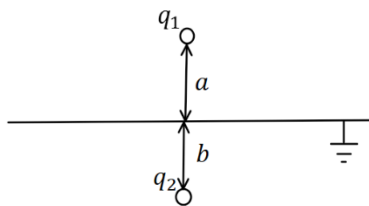


- 9) **מטען מעל חצי ספירה ולא במרכז**  
נתון חצי כדור מוליך מושלם בעל רדיוס R המונח על חצי מרחב מישור מוליך מושלם, כבאיור. מעל המוליך יש מטען q בקואורדינטה  $(0.5R, 0, 1.5R)$ .

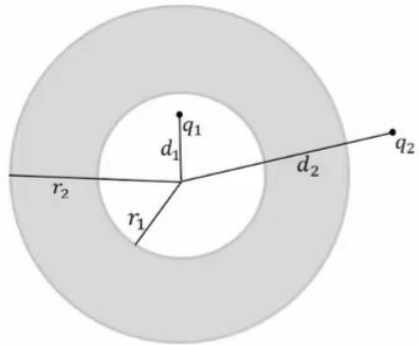
- א. מצאו את גודל ומיקום מטעני השיקוף הדרושים בשביל לבטא את הפוטנציאל במרחב שמעל המבנה.  
ב. מצאו את הפוטנציאל בנקודות  $(0, 0, 1.5R)$ ,  $(0, 0, 0.5R)$ .  
ג. מהי צפיפות המטען המשטחית על שפת המוליך בנקודה  $(\frac{\sqrt{3}R}{2}, 0, \frac{R}{2})$ ?  
ד. מה הכוח הפועל על המטען?  
ה. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?



- 10) **מטען בין שני לוחות אינסופיים**  
נתונים שני לוחות אינסופיים מוארקים במרחק  $2d$  זה מזה. בדיוק באמצע ביניהם ממוקם חלקיק בעל מטען q כמתואר בשרטוט.  
א. מצאו את פונקציית הפוטנציאל במרחב.  
ב. מצאו את העבודה הדרושה לבניית המערכת.



- 11) **מטענים משני צידי מישור מוארק**  
מטען  $q_1$  נמצא במרחק a מעל מישור אינסופי מוארק. מטען  $q_2$  נמצא במרחק b מתחת למישור.  
א. מצאו את השדה והפוטנציאל בכל המרחב.  
ב. מהי התפלגות המטען על המישור? ומהו המטען הכולל על המישור?



**12 קליפה עבה עם מטען בפנים ובחוץ**

נתונה קליפה כדורית עבה ומוליכה בעלת רדיוס

פנימי  $r_1$  ורדיוס חיצוני  $r_2$ .

מטען  $q_1$  נמצא במרחק  $d_1$  ממרכז הקליפה כך

ש-  $d_1 < r_1$ .

מטען  $q_2$  נמצא במרחק  $d_2$  ממרכז הקליפה כך

ש-  $d_2 > r_2$ .

המטענים לא נמצאים על אותו רדיוס.

א. מצאו את הפוטנציאל בו נמצאת הקליפה.

ב. מצאו את הכוח הפועל על המטען  $q_2$ .

ג. מהי האנרגיה הדרושה לבניית המערכת?

**13 דיפול מעל מישור**

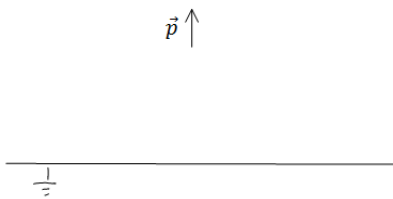
דיפול מונח במרחק  $z_0$  מלוח אינסופי מוארק.

מומנט הדיפול הוא:  $\vec{p} = (0, 0, p)$ .

א. מצאו את השדה בכל המרחב.

ב. מצאו את צפיפות המטען על המישור.

ג. מצאו את סך המטען על המישור.



**14 ספירה נייטרלית**

מטען נקודתי  $q$  מונח במרחק  $a$  מספירה

מוליכה ברדיוס  $R$ .

הספירה אינה מוארקת ואינה מחוברת

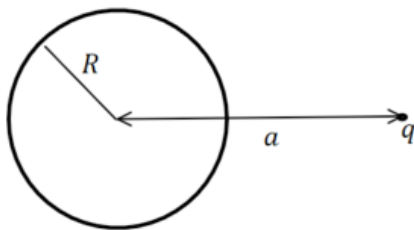
לפוטנציאל כלשהו.

ניתן להניח כי הספירה נייטרלית.

מהו הפוטנציאל על הספירה?

ומהם מטעני הדמות המתאימים לפתרון הבעיה?

רמז: השתמשו בחוק שימור המטען.



## תשובות סופיות:

$$\varphi = \frac{kq}{r_1} - \frac{kq}{r_2} \quad (1)$$

ראו סרטון. (2)

$$\sigma = -kq\epsilon_0 \frac{2d}{(r^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

$$F = -\frac{q^2}{(2d)^2} \quad (4)$$

$$E(r, \theta) = \frac{kq(r - a \cos \theta)}{(r^2 + a^2 - 2ra \cos \theta)^{\frac{3}{2}}} + \frac{-kq \left( r \left( \frac{a}{R} \right)^2 - a \cos \theta \right)}{\left( R^2 + \left( \frac{ra}{R} \right)^2 - 2ra \cos \theta \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

ראו סרטון. (6)

$$\vec{F} = \frac{2kq^2}{qa^2} (-\hat{x}) \quad \text{ג.} \quad \sigma_B = \epsilon_0 \left( -\frac{3kq}{a^2} \right) \quad \text{ב.} \quad \varphi_A = \varphi_B = 0, \quad \varphi_C = \frac{3kq}{2a} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$U = \frac{-kq^2}{6a} \quad \text{ד.} \quad (8)$$

$$-0.338\hat{z} + 0.162\hat{x} \quad \text{ב.} \quad (-d, 0, d), (d, 0, -d) \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$Q_T = -2q, \quad \sigma = -\frac{1}{2\pi} qd \left( \frac{1}{((x-d)^2 + y^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{((x+d)^2 + y^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad \text{ג.}$$

$$U = \frac{-kq^2}{\sqrt{2} \cdot 2d} \quad \text{ד.}$$

$$q_3 = \sqrt{\frac{2}{5}}q, \quad \vec{r}_3 = \left( \frac{R}{5}, 0, -\frac{3}{5}R \right), \quad q_4 = -q, \quad \vec{r}_4 = (0.5R, 0, -1.5R) \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$\frac{kq}{R^2} 1.04\epsilon_0 \quad \text{ג.} \quad 0 : (0, 0, 0.5R), \quad \varphi \approx 0.71 \frac{kq}{R} : (0, 0, 1.5R) \quad \text{ב.}$$

$$U = \frac{kq^2}{2R} (-0.7) \quad \text{ה.} \quad \vec{F} = \frac{kq^2}{R^2} (-0.2, 0, -0.64) \quad \text{ד.}$$

$$\frac{kq^2}{2d} (-\ln(2)) \quad \text{ב.} \quad V_T = \frac{k(-1)^n q}{((x-2dn)^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$\sigma_T = \frac{-1}{2\pi} \left( \frac{q_1 a}{(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{q_2 b}{(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad \text{ב.} \quad E_{up} = \frac{kq_1}{|r_+|^2} \hat{r}_+ + \frac{-kq_1}{|r_-|^2} \hat{r}_- \quad \text{א. (11)}$$

$$\vec{F} = \frac{-k \frac{r_2}{d_2} q_2^2 \hat{r}}{\left(d_2 - \frac{r_2^2}{d_2}\right)^2} + \frac{k \left(q_1 + \frac{r_2 q_2}{d_2}\right) q_2 \hat{r}}{d_2^2} \quad \text{ב.} \quad \varphi_2(r_2) = \frac{kq_1}{r_2} + \frac{kq_2}{d_2} \quad \text{א. (12)}$$

$$U = \frac{1}{2} \left[ \frac{-k \frac{r_2}{d_2} q_2^2}{\left(d_2 - \frac{r_2^2}{d_2}\right)} + \frac{k \left(q_1 + \frac{r_2 q_2}{d_2}\right) q_2}{d_2} - \frac{kq_1^2 \cdot \frac{r_1}{d_1}}{\left(\frac{r_1^2}{d_1} - d_1\right)} + \frac{kq_1^2}{r_2} + \frac{kq_1 q_2}{d_2} \right] \quad \text{ג.}$$

$$\vec{E}_T = \frac{k \left(3p(z - z_0)r, 0, -pr^2 + 2p(z - z_0)^2\right)}{\left(r^2 + (z - z_0)^2\right)^{\frac{5}{2}}} + \frac{k \left(3p(z + z_0)r, 0, -pr^2 + 2p(z + z_0)^2\right)}{\left(r^2 + (z + z_0)^2\right)^{\frac{5}{2}}} \quad \text{א. (13)}$$

$$\text{ג.} \quad \sigma(r) = \frac{(-2pr^2 + 4pz_0^2)}{4\pi \left(r^2 + z_0^2\right)^{\frac{5}{2}}} \quad \text{ב.}$$

$$\varphi = \frac{kq}{a} \quad \text{(14) פוטנציאל על הספירה:}$$

מטעני הדמות הם:  $q' = -q \frac{R}{a}$  במיקום  $q' = q \frac{R}{a}$ ,  $b = \frac{R^2}{a}$  במרכז

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 18 - דיפול חשמלי

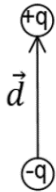
תוכן העניינים

114 ..... 1. הכל על דיפול

## הכל על דיפול:

**רקע:**

דיפול חשמלי הוא זוג מטענים בעלי מטען זהה וסימון הפוך הנמצאים במרחק  $d$  זה מזה.



**מומנט הדיפול:**

$$\vec{p} = q\vec{d}$$

כיוונו מהמטען השלילי לחיובי.

הפוטנציאל שיוצר דיפול במרחק גדול  $r \gg d$ :

$$\varphi = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r})}{r^3} = \frac{k(\vec{p} \cdot \hat{r})}{r^2}$$

השדה של דיפול במרחק גדול:

$$\vec{E} = \frac{k[3(\vec{p} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{p}]}{r^3}$$

מומנט דיפול של מערכת מטענים:

$$p_x = \sum x_i q_i = \int x dq$$

מומנט כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חשמלי חיצוני:

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$

אנרגיה פוטנציאלית של דיפול בשדה חיצוני:

$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חיצוני:

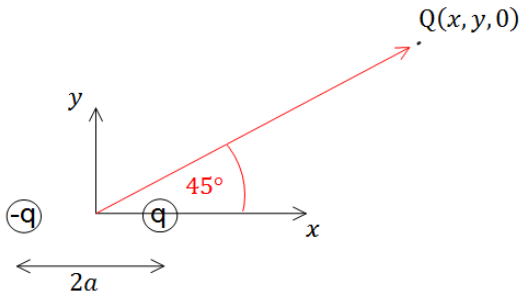
$$\vec{F} = (\vec{p} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{E} = -\vec{\nabla}U$$

השוויון האחרון נכון רק אם השדה משמר (נוצר ממטענים) ומומנט הדיפול אחיד (לא תלוי בקואורדינטות).

## שאלות:

## 1 תרגיל ופיתוח הנוסחה של דיפול מהשדה

שני מטענים בעלי מטען  $q$  ו- $-q$  ממוקמים  $x = a$  ו- $x = -a$ .



א. חשב את הכוח הפועל על מטען

שלישי  $Q$  הנמצא בנקודה  $(x, y, 0)$ .

ב. הנח שמרחק המטען מהראשית

גדול בהרבה מהמרחק בין

המטענים והזווית של וקטור

מיקום המטען עם ציר ה- $x$  הוא  $45^\circ$ .

השתמש בתשובה של סעיף א' ובקירובים

וחשב מה הכוח הפועל על המטען.

ג. חשב את וקטור מומנט הדיפול שיוצרים המטענים.

ד. חשב שוב את הכוח הפועל על המטען, הפעם השתמש בנוסחה של שדה של

דיפול והראה כי התשובה זהה לתשובה של סעיף ב'.

## 2 דיפול בראשית מזיז אלקטרון

נתון דיפול  $\vec{p} = (p, 0, 0)$  הנמצא בראשית.

א. מצא את הגודל  $p$  כך שאלקטרון הממוקם בנקודה  $(a, 0, 0)$  עם

מהירות  $(v, 0, 0)$  ייעצר בנקודה  $(b, 0, 0)$ .

ב. מצא את הגודל  $p$  כך שאלקטרון הממוקם בנקודה  $(a, -\sqrt{2}a, 0)$  עם

מהירות  $(0, 0, v)$  יבצע תנועה מעגלית.

## תשובות סופיות:

$$\vec{E} = kq \left[ \left( \frac{x-a}{((x-a)^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{x+a}{((x+a)^2 + y^2)^{3/2}} \right) \hat{x} + \left( \frac{y}{((x-a)^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{y}{((x+a)^2 + y^2)^{3/2}} \right) \hat{y} \right] \quad \text{א. (1)}$$

ב.  $\frac{kq}{r^3} (a\hat{x} + 3a\hat{y})$       ג.  $q2a\hat{x}$       ד. שאלת הוכחה.

א.  $\rho = \frac{mv^2}{2e^k} \left( \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} \right)$       ב.  $|e| \frac{K\sqrt{2}p}{3\sqrt{3}a^3}$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 19 - זרם מתח ותנגדות

תוכן העניינים

117	1. הזרם החשמלי
119	2. המתח החשמלי וחוק אוהם
120	3. התנגדות
122	4. כאמ ומתח הדקים
(ללא ספר)	5. סיכום הפרק
123	6. תרגילים

## הזרם החשמלי:

### שאלות:

#### (1) פלאפון מחובר למטען

פלאפון המחובר למטען נטען בזרם קבוע של 1 אמפר במשך שעה אחת.

א. מהי כמות המטען שעברה בחוט?

ב. מהו מספר האלקטרונים שעברו בחוט?

#### (2) זרם לתוך כדור מוליך

כדור מוליך טעון במטען של  $q_0 = 5c$ .

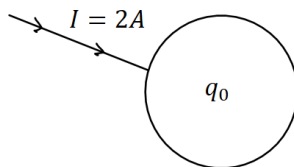
מחברים את הכדור לחוט מוליך והחוט מעביר

זרם של 2 אמפר לתוך הכדור.

א. רשום נוסחה המתארת את המטען על הכדור כתלות בזמן.

ב. צייר גרף של המטען על הכדור כתלות בזמן.

ג. צייר גרף של הזרם כתלות בזמן.



#### (3) חוט מחובר ללוח

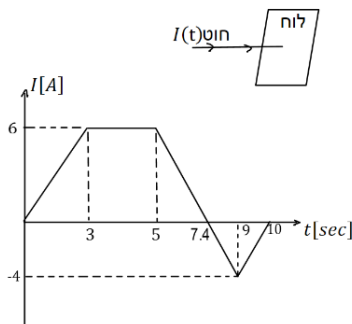
חוט מוליך מחובר ללוח מוליך שאינו טעון ב- $t = 0$ .

בחוט מתחיל לזרום זרם והתלות של הזרם בזמן

נתונה לפי הגרף הבא:

א. מהו המטען הכולל בלוח אחרי עשר שניות?

ב. מהו המטען על הלוח אחרי 5 שניות?



#### (4) זרם בנורת להט

הזרם העובר בנורת להט ביתית הוא בערך 1 אמפר.

נניח כי חוטי החשמל בבית עשויים נחושת בקוטר של 0.2 ס"מ.

מספר האלקטרונים החופשיים ליחידת נפח בנחושת הוא:  $8.5 \cdot 10^{22} \frac{1}{\text{cm}^3}$

מצא מהי מהירות האלקטרונים בחוטים.

## תשובות סופיות:

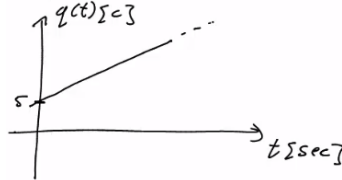
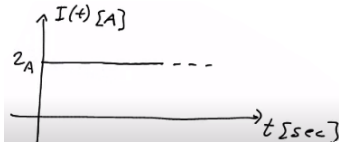
(1) א.  $\Delta q = 3600c$

ב.  $N_e = 2.25 \cdot 10^{22}$

(2) א.  $q(t) = 5 + 2 \cdot t$

ב.

ג.



(3) א.  $\Delta q = 23c$

ב.  $q(t=5) = 21c$

(4)  $v_d = 2.341 \cdot 10^{-5} \frac{m}{sec}$

## המתח החשמלי וחוק אוהם:

### שאלות:

#### 1) חוק אוהם

על מוליך מסוים הופעל מתח של 5 וולט.  
 כתוצאה מכך נוצר זרם במוליך של 10mA.

א. מהי ההתנגדות של המוליך?

ב. נניח כי התנגדות המוליך קבועה.

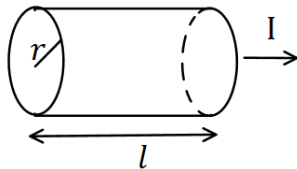
מה יהיה הזרם במוליך אם יופעל עליו מתח של 10 וולט?

### תשובות סופיות:

1) א.  $R = 500\Omega$       ב.  $I = 20\text{mA}$

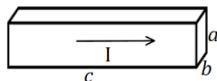
## התנגדות:

### שאלות:



#### (1) נגד גלילי

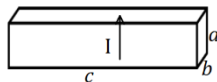
חשב את ההתנגדות של נגד בצורת גליל באורך  $l = 1\text{m}$  ורדיוס בסיס של  $r = 2\text{mm}$ . הנגד עשוי מנחושת בעלת התנגדות סגולית  $\rho = 1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  (הזרם זורם לאורך ציר הסימטריה של הגליל).



(א)

#### (2) נגד בצורת תיבה

מוליך בנוי בצורת תיבה עם צלעות שאורכן  $a, b, c$ . התייחס לגודל הצלעות ולהתנגדות הסגולית  $\rho$  כנתונים.

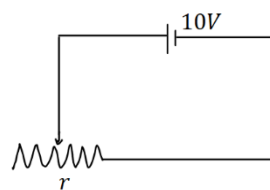


(ב)

חשב את התנגדות המוליך בכל אחד מהמקרים הבאים. שים לב: בכל מקרה הזרם זורם במוליך בכיוון אחר!

#### (3) נגד

מקור מתח בעל מתח של 10 וולט מחובר דרך חוטים אידיאליים (בעלי התנגדות זניחה) לנגד בעל התנגדות  $R = 2\Omega$ . צייר איור של המעגל וחשב את הזרם בנגד.



#### (4) נגד משתנה

במעגל הבא ישנו מקור מתח בעל מתח של 10 וולט. המקור מחובר לנגד משתנה בעל התנגדות ליחידת

$$\text{אורך } r = 50 \frac{\Omega}{\text{m}}$$

מה צריך להיות אורך הנגד על מנת שהזרם במעגל יהיה 2A?

**תשובות סופיות:**

$$R = 0.00137\Omega \quad (1)$$

$$R = \rho \cdot \frac{a}{b \cdot c} \quad \text{ב.} \quad R = \rho \cdot \frac{c}{a \cdot b} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$, I = 5A \quad (3)$$



$$x = 10\text{cm} \quad (4)$$

## כאמ ומתח הדקים:

### שאלות:

#### 1) כאמ ומתח הדקים

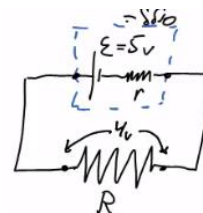
- סוללה מייצרת כא"מ של  $5V$ . לסוללה התנגדות פנימית של  $r = 2\Omega$ . מחברים את הסוללה לנגד חיצוני  $R$  שהתנגדותו אינה ידועה. נתון כי הזרם בכל רכיב במעגל זהה ושווה ל-  $I = 0.5A$ .
- שרטט תרשים המתאר את המעגל.
  - חשב את מתח ההדקים שמספקת הסוללה.
  - מהי ההתנגדות של הנגד?

### תשובות סופיות:

ג.  $R = 8\Omega$

ב.  $V = 4V$

א. 1)



## תרגילים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1

מהו הזרם במוליך אם עובר בו מטען של 50 קולון ב 10 שניות?

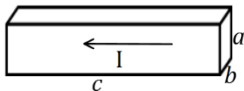
#### (2) תרגיל 2

כמה אלקטרונים עוברים במוליך בשניה אחת אם זורם בו זרם קבוע של 2 אמפר?

#### (3) תרגיל 3

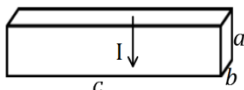
מהי ההתנגדות של גליל ניקל בעל התנגדות סגולית של  $\rho = 7.8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ , שאורכו 20 ס"מ ורדיוסו 3 מ"מ?

#### (4) תרגיל 4



(א)

תיבה בעלת צלעות:  $a = 3\text{mm}, b = 2\text{mm}, c = 4\text{cm}$   
 עשויה מחומר בעל התנגדות סגולית  $\rho = 10^{-8} \Omega \cdot m$ .  
 מצא את התנגדות התיבה בשני המקרים הבאים:



(ב)

#### (5) תרגיל 5

בנגד גלילי בעל שטח חתך  $A = 2\text{mm}^2$  זורם זרם של  $I = 20\text{mA}$ .  
 צפיפות האלקטרונים החופשיים בנגד היא:  $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{\text{m}^3}$ .  
 מהי מהירות האלקטרונים בנגד?

#### (6) תרגיל 6

נגד בעל שטח חתך  $A = 2\text{cm}^2$  ואורך  $l = 4\text{cm}$  עשוי מחומר בעל התנגדות סגולית  $\rho = 10^{-2} \Omega \cdot m$ . מחברים את הנגד באמצעות חוטים בעלי התנגדות זניחה למקור מתח אידיאלי של 5V.  
 א. מהו הזרם בנגד?  
 ב. מהי מהירות המטענים בנגד, אם מספר האלקטרונים החופשיים

הוא:  $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{\text{m}^3}$  ?

**תרגיל 7 (7)**

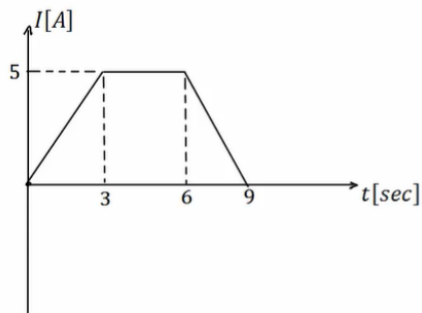
סוללה בעלת מתח  $6V$  מחוברת לנגד משתנה.  
 כאשר אורך הנגד הוא  $l = 6\text{cm}$  הזרם במעגל הוא  $1A$ .  
 מהי ההתנגדות ליחידת אורך של הנגד?

**תרגיל 8 (8)**

סוללה עם כא"מ של  $4V$  מחוברת למעגל חשמלי.  
 במעגל זרם זרם  $I = 0.5A$ .  
 ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא  $r = 0.5\Omega$ .  
 מהו מתח ההדקים של הסוללה?

**תרגיל 9 (9)**

בגרף הבא נתון הזרם במוליך כתלות בזמן.  
 כמה מטען עבר במוליך?

**תשובות סופיות:**

**(1)**  $I = 5A$

**(2)**  $N = 1.25 \cdot 10^{19}$

**(3)**  $R = 5.51 \cdot 10^{-4}\Omega$

**(4)** א.  $R \approx 6.67 \cdot 10^{-5}\Omega$  ב.  $R = 3.75 \cdot 10^{-7}\Omega$

**(5)**  $v_d = 7.35 \cdot 10^{-7} \frac{m}{sec}$

**(6)** א.  $I = 2.5A$  ב.  $v_d \approx 9.19 \cdot 10^{-7} \frac{m}{sec}$

**(7)**  $r = 100 \frac{\Omega}{m}$

**(8)**  $V = 3.75V$

**(9)**  $\Delta q = 30c$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 20 - אנרגיה והספק במעגל החשמלי

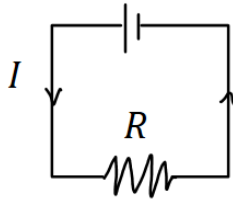
תוכן העניינים

- 125 ..... 1. עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים.
- 126 ..... 2. הספק חשמלי.
- 128 ..... 3. תרגילים נוספים.

## עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים:

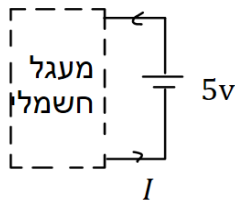
### שאלות:

#### (1) חישובי עבודה ואנרגיה בנגד



- בנגד בעל התנגדות  $R = 30\Omega$  זורם זרם  $I = 0.3A$ .
- כמה מטען עובר בנגד במשך 3 שניות?
  - מהו המתח על הנגד?
  - מהי העבודה שמתבצעת על המטען?
  - כמה חום נוצר בנגד במשך הזמן הנתון?
  - כמה אנרגיה איבדה הסוללה במשך הזמן הנתון?

#### (2) חישובי עבודה של סוללה



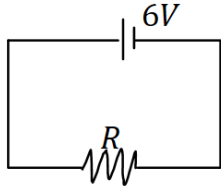
- סוללה מחוברת למעגל חשמלי כלשהו. המתח בסוללה הוא  $V = 5 \text{ Volt}$  והזרם במעגל (וגם בסוללה) הוא  $I = 0.4A$ .
- כמה מטען עובר דרך הסוללה במשך 2 שניות?
  - כמה עבודה ביצעה הסוללה במשך הזמן הנתון?

### תשובות סופיות:

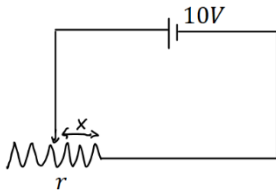
- (1) א.  $\Delta q = 0.9c$     ב.  $V = 9V$     ג.  $W = 8.1J$     ד.  $Q = 8.1J$     ה.  $W = 8.1J$
- (2) א.  $\Delta q = 0.8c$     ב.  $W = 4J$

## הספק חשמלי:

### שאלות:



- (1) **הספק של מקור ושל נגד**  
 במעגל הבא מקור מתח של 6 וולט מחובר לנגד שהתנגדותו  $R = 12\Omega$ .  
 א. מהו ההספק של מקור המתח?  
 ב. מהו ההספק של הנגד וכמה חום נוצר בנגד כל שניה?



- (2) **הספק בנגד משתנה**  
 במעגל הבא סוללה בעלת מתח של 10 וולט מחוברת לנגד משתנה שהתנגדותו ליחידת אורך היא  $r = 100 \frac{\Omega}{m}$ .  
 א. מהו ההספק של הנגד כאשר אורכו 5 ס"מ?  
 ב. מהו ההספק בנגד כאשר אורכו 10 ס"מ?  
 ג. מהו ההספק בנגד כפונקציה של האורך?

- (3) **נורה במתח אחר**  
 נורה שההספק שלה הוא 100W במתח של 220V חוברה למתח של 110V.  
 הנח שהתנגדות הנורה קבועה וחשב מה ההספק של הנורה במתח החדש.

- (4) **כמה עולה להפעיל מזגן כל הלילה**  
 מזגן של 1.5 כוח סוס פועל בהספק מרבי.  
 א. מהי כמות האנרגיה שצורך המזגן בשעה אחת ביחידות של קוט"ש (קילו וואט שעה), כאשר היחס:  $1hp = 746Watt$ ?  
 ב. תעריף חברת החשמל לצריכת ביתית הוא בערך חצי שקל לקוט"ש. כמה עולה להפעיל את המזגן כל הלילה (8 שעות)?

- (5) **חום שנוצר בנגד**  
 בנגד של 10 אוהם זרם של 0.5 אמפר במשך 4 דקות.  
 כמה חום נוצר במשך הזמן שבו זרם זרם בנגד?

**תשובות סופיות:**

- (1) א.  $\rho = 3W$       ב.  $\rho = 3W$
- (2) א.  $\rho = 20W$       ב.  $\rho = 10W$       ג.  $\rho = \frac{1}{x}$
- (3)  $\rho = 25W$
- (4) א.  $W = 1.119kWhr$       ב. 4 ש.
- (5)  $Q = 600J$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1

- מקור מתח אידיאלי בעל מתח של  $5V$  מחובר לנגד בעל התנגדות של  $10$  אוהם.
- מהו הזרם בנגד?
  - מהו ההספק בנגד?
  - כמה חום מיוצר בנגד בעשר שניות?

#### (2) תרגיל 2

- על נורה רשום  $60W/220V$ .
- מהי התנגדות הנורה?
  - מהי כמות המטען שעברה בנורה במשך דקה אחת?
  - מהו ההספק הנורה במתח של  $110V$  בהנחה שההתנגדות שלה לא משתנה.

#### (3) תרגיל 3

- למזגן שני מצבי קירור, במצב הראשון הספקו  $1000W$  ובמצב השני הספקו  $1500W$ . מצא את היחס בין ההתנגדויות בשני המצבים.

#### (4) תרגיל 4

- נורה של  $60W$  דולקת במשך שעה כל יום.  
 מהי צריכת האנרגיה של הנורה במשך חודש ביחידות של kWh?

**תשובות סופיות:**

$$Q = 25 \text{ j} / \approx 5.9 \text{ cal. ג.} \quad \rho = 2.5 \text{ W ב.} \quad I = 0.5 \text{ A א. (1)}$$

$$\rho \approx 15 \text{ W ג.} \quad \Delta q \approx 16.4 \text{ c ב.} \quad R = 807 \Omega \text{ א. (2)}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1.5 \quad (3)$$

$$E = 1.8 \text{ kWh (4)}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

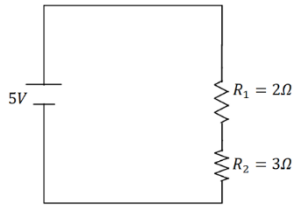
פרק 21 - חיבור נגדים וחוקי קירכהוף

תוכן העניינים

130	1. חיבור נגדים במעגל
133	2. חוקי קירכהוף
134	3. תרגילים נוספים
136	4. מקור מתח לא אידיאלי
(ללא ספר)	5. טעינה ופריקה של קבל
138	6. נצילות במעגל החשמלי

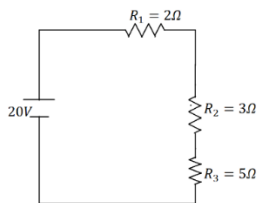
## חיבור נגדים במעגל

### שאלות



#### (1) דוגמה 1

חשב את הזרם במעגל הבא וחשב את ערך הפוטנציאל בין הנגדים (הנח שההדק השלילי נמצא בפוטנציאל אפס).



#### (2) דוגמה 2

חשב את הזרם במעגל הבא ומצא את המתח על כל נגד.

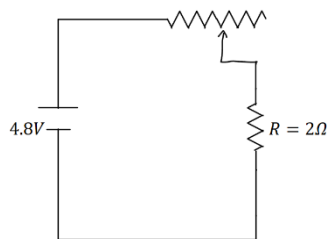
#### (3) דוגמה 3

סוללה עם כ"מ של 3V והתנגדות פנימית  $r = 2\Omega$  מחוברת לנגד  $R = 10\Omega$ .

א. סרטט איור של המעגל.

ב. מהו הזרם במעגל?

ג. מהו מתח ההדקים של הסוללה?



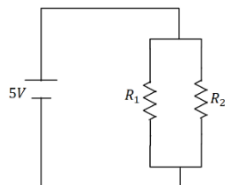
#### (4) דוגמה 4

במעגל הבא ישנו מקור מתח אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) המחובר לנגד רגיל ונגד משתנה.

אורך הנגד המשתנה הוא 20 ס"מ והתנגדותו ליחידת

$$\text{אורך היא: } r = 2 \frac{\Omega}{\text{m}}$$

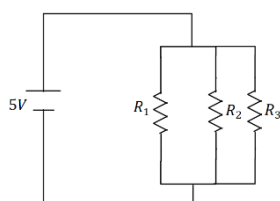
מהו הזרם במעגל ומהו המתח על כל נגד?



#### (5) דוגמה 5

במעגל הבא:  $R_2 = 2\Omega$ ,  $R_1 = 6\Omega$  מצא את הזרם במעגל

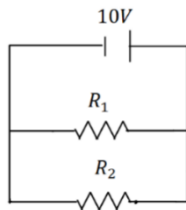
והזרם בכל נגד.



#### (6) דוגמה 6

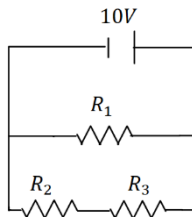
במעגל הבא:  $R_3 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 2\Omega$ ,  $R_1 = 1\Omega$  מצא את

הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



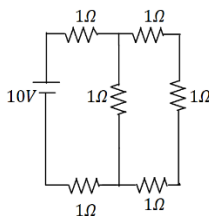
(7) דוגמה 7

במעגל הבא:  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$  מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



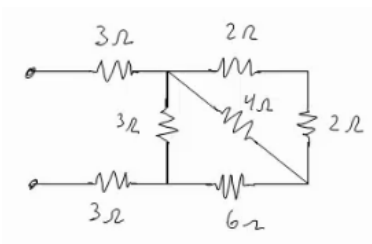
(8) דוגמה 8

במעגל הבא:  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 1\Omega$  מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



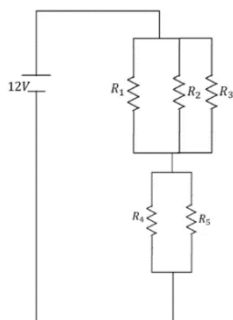
(9) דוגמה 9

מצא את כל הזרמים במעגל הבא:



(10) דוגמה 10

חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני ההדקים.



(11) חישוב הספק מעגל

נתון המעגל הבא  $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega$ ,  $R_5 = R_4 = 8\Omega$ .

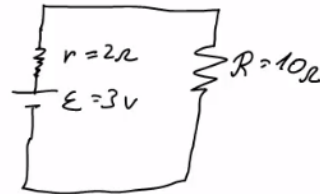
- מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.
- חשבו את הספק המעגל והראו כי הוא שווה להספק הסוללה.
- מוסיפים נגד כלשהו המחובר בטור לסוללה. האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

**תשובות סופיות**

$$I = 1A, V_3 = 3V \quad (1)$$

$$I = 2A, V_1 = 4V, V_2 = 6V, V_3 = 10V \quad (2)$$

$$V = 2.5V \quad \text{ג.} \quad I = 0.25A \quad \text{ב.} \quad \text{א.} \quad (3)$$



$$I = 2A, V_r = 0.8V, V_R = 4V \quad (4)$$

$$I = \frac{10}{3}A, V_1 = \frac{5}{6}A, V_2 = \frac{5}{2}A \quad (5)$$

$$I = 24.5A, I_1 = 14A, I_2 = 7A, I_3 = 3.5A \quad (6)$$

$$I = 5.33A, I_1 = 2A, I_2 = \frac{10}{3}A \quad (7)$$

$$I = 5A, I_1 = 2.5A, I_2 = 2.5A \quad (8)$$

$$I = \frac{40}{11}A, I_1 = \frac{10}{11}A, I_2 = \frac{30}{11}A \quad (9)$$

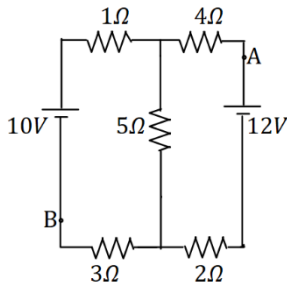
$$R_T = \frac{66 + 24}{11} \quad (10)$$

$$I_T = 2A, I_1 = I_2 = I_3 = \frac{2}{3}A, I_4 = I_5 = 1A \quad \text{א.} \quad \text{ב.} \quad 24W \quad \text{ג.} \quad \text{יקטן.} \quad (11)$$

## חוקי קירכהוף:

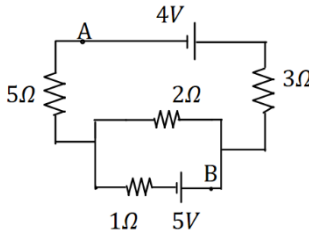
### שאלות:

#### 1 קירכהוף תרגיל 1



- במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.  
 א. מצא את הזרמים במעגל.  
 ב. מצא את  $V_{AB}$  באמצעות שני מסלולים שונים.

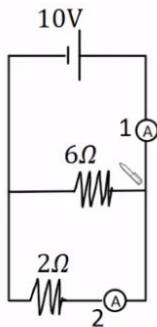
#### 2 קירכהוף תרגיל 2



- במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.  
 א. מצא את הזרמים במעגל.  
 ב. מצא את  $V_{AB}$ .

#### 3 דוגמה

מה יראה כל אמפרמטר במעגל הבא בהנחה שהם אידיאליים?



### תשובות סופיות:

א.  $I_1 = 0.67A$ ,  $I_2 \approx 1.46A$ ,  $I_3 \approx 0.79A$     ב.  $V_{AB} = 12.49V$     (1)

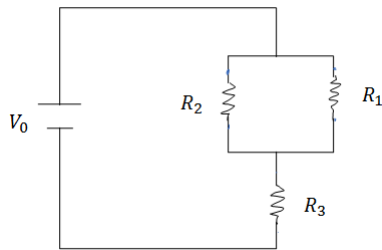
א.  $I_1 = 0.08A$ ,  $I_2 \approx 1.69A$ ,  $I_3 \approx -1.61A$     ב.  $V_{AB} = -3.79V$     (2)

$A_1 = \frac{20}{3}A$ ,  $A_2 = 5A$     (3)

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1



במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור:  $V_0 = 31V$ ,  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ ,  $R_3 = 5\Omega$ .  
 א. מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל.  
 ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.  
 חשב את הזרם והמתח על כל אחד מהנגדים.

#### (2) תרגיל 2

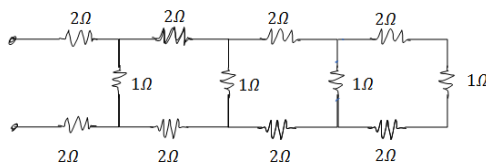
נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה  $R$ .  
 מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.  
 מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

#### (3) תרגיל 3



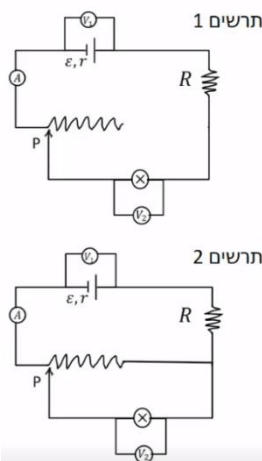
חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:

#### (4) תרגיל 4



מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים:

#### (5) תרגיל 5



במעגל הבא (תרשים 1) כל מכשירי המדידה אידיאליים  $\varepsilon = 5V$ ,  $R = 2\Omega$ , התנגדות הנגד המשתנה היא 8 אוהם. כאשר הגרר  $P$  נמצאת בנקודה הכי שמאלית של הנגד המשתנה מדידת האמפרמטר היא  $0.2A$  והוולטמטר  $V_1 = 4V$ .

- א. מהי ההתנגדות הפנימית של הסוללה ומהי התנגדות הנורה?  
 ב. מהי נצילות המעגל במצב הנתון?

ג. משנים את מיקום הגררה בצורה רציפה, האם הנצילות תגדל/תקטן/לא תשתנה?

מחברים את הקצה השני של הנגד המשתנה כפי שנראה בתרשים 2 כאשר הגררה נשארת בקצה השמאלי של הנגד.

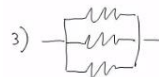
ד. האם הספק הסוללה גדל/קטן או לא השתנה? נמק ללא חישוב.

ה. באיזה מעגל הנורה מאירה בעוצה חזקה יותר? הסבר ללא חישוב.

### תשובות סופיות:

$$\text{א. } R_T = \frac{31}{5} \Omega \quad \text{ב. } V_3 = 25V, V_{1,2} = 6V, I_1 = 3A, I_2 = 2A \quad (1)$$

$$1) \text{ } \begin{array}{c} R \\ | \\ \text{---} \\ | \\ R \\ | \\ \text{---} \\ | \\ R \end{array} \quad , \quad R_{T_1} = 3R, R_{T_2} = \frac{3}{2}R, R_{T_3} = \frac{R}{3} \quad (2)$$



$$I_1 = 2A, I_2 = 4A, I_3 = 9A, V_1 = 2V, V_2 = 8V, V_3 = 27V \quad (3)$$

$$R_T = \frac{169}{204} + 4 \quad (4)$$

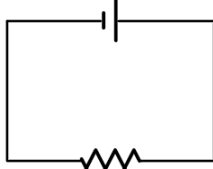
$$\text{א. התנגדות פנימית: } r = 5\Omega, \text{ התנגדות הנורה: } R = 18\Omega \quad (5)$$

ב.  $n = 72\%$  ג. תקטן. ד. גדל. ה. ראה סרטון.

## מקור מתח לא אידיאלי:

### שאלות:

סוללה לא אידיאלית



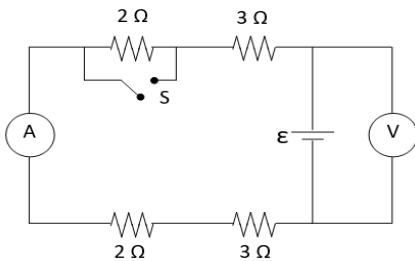
$10\Omega$

#### (1) דוגמה 1

- המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית המחוברת לנגד של  $10$  אוהם. ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא  $1$  אוהם. במעגל זרם של  $2$  אמפר.
- א. מהו הכא"מ של הסוללה?  
 ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

#### (2) דוגמה 2

- מחברים סוללה לא אידיאלית לנגד של  $10$  אוהם ומודדים את הזרם במעגל. המדידה מראה כי הזרם הוא  $2$  אמפר. לאחר מכן מנתקים את הסוללה מהנגד ומחברים אותה לנגד של  $6$  אוהם.
- מודדים שוב את הזרם במעגל ורואים כי הזרם השתנה ל- $3$  אמפר.
- א. מצא את הכא"מ וההתנגדות הפנימית של הסוללה.  
 ב. מצא את מתח ההדקים של הסוללה בכל אחד מהחיבורים.



#### (3) מעגל עם סוללה לא אידיאלית

- המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאליים, סוללה (לא אידיאלית) ומפסק. קריאת האמפרמטר נרשמה פעמיים, כאשר המפסק פתוח וכאשר המפסק סגור.
- אחת הקריאות הייתה  $1.5A$  והאחרת הייתה  $1.8A$ .
- א. האם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק/י!  
 ב. מה הוראת מד המתח בשני מצבי המפסק? פרטי/י חישוביך!  
 ג. חשבי/י את הכא"מ ואת ההתנגדות הפנימית של הסוללה  
 ד. מה היו מראים אותם שני מכשירי מדידה אילו היו מחברים את מד המתח במקום מד הזרם ולהפך? נמק!

### תשובות סופיות:

- (1) א.  $\varepsilon = 22V$       ב.  $V = 20V$
- (2) א.  $\varepsilon = 24V$ ,  $r = 21\Omega$       ב.  $V_1 = 20V$ ,  $V_2 = 18V$
- (3) א. ככל שההתנגדות השקולה נמוכה יותר, הזרם יהיה גבוה יותר.  
 לכן, הזרם הגבוה יהיה כאשר המפסק סגור.  
 ב. סגור:  $V_{AB} = 14.4V$ , פתוח:  $V_{AB} = 15V$ .  
 ג.  $\varepsilon = 18V$ ,  $r = 2\Omega$ .  
 ד. האמפרמטר:  $I = 9A$ , הוולטמטר:  $V = 0$ .

## נצילות במעגל החשמלי:

### שאלות:

#### (1) דוגמה נצילות

במעגל הבא נתונה התנגדות הנגד, התנגדות הנורה והמתח של

$$V = 5V, R_1 = 3\Omega, R_2 = 5\Omega$$

- מהו הזרם בנורה ומהו הזרם בסוללה?
- מהו ההספק המתפתח בנורה ומהו ההספק של הסוללה?
- מהי הנצילות של המעגל?
- מהו אחוז ההספק שהולך לאיבוד במעגל?

#### (2) מנוע של משאבה

מנוע של משאבה עובד במתח של 220V ובזרם של 10A.

- מהי כמות המים שניתן לשאוב במשך דקה מבאר בעומק 30m? הנח שהנצילות של המנוע היא 100 אחוז.
- חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 40 אחוז.

#### (3) מנוע של מכונית

למנוע של מכונית יש הספק מרבי של 100 כוח סוס. המכונית מתחילה לנסוע ממנוחה ומסתה 1 טון.

- מהי המהירות המרבית אליה יכולה להגיע המכונית לאחר 10 שניות? הנח שנצילות המנוע היא 100 אחוז ומצא את התשובה בקמ"ש.
- חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 30 אחוז.
- חזור על סעיף א' וב' ובדוק כמה חום נוצר במשך 10 השניות, ביחידות של קלוריות.

**תשובות סופיות:**

(1) א. בנורה:  $I = 1A$ , בסוללה:  $I = \frac{8}{3}A$ .

ב. בנורה:  $\rho = 5W$ , בסוללה:  $\rho = \frac{40}{3}W$ .

ג.  $\eta = 37.5\%$       ד.  $62.5\%$

(2) א.  $V = 440\text{Litter}$       ב.  $V = 176\text{Litter}$

(3) א.  $v \approx 139 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$       ב.  $v = 76.2 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$       ג.  $Q = 124,333\text{cal.}$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 22 - מכשירי מדידה

תוכן העניינים

1. גלונומטר ..... 140
2. גשר ווינסטון ..... (ללא ספר)

## גלונומטר:

### שאלות:

#### 1 דוגמה 1

אמפרמטר מורכב מגלונומטר בעל התנגדות של 60 אוהם ומיצד בעל התנגדות של 3 אוהם.

א. מהי התנגדות האמפרמטר?

ב. מהו הזרם המקסימאלי אותו יכול למדוד האמפרמטר אם הזרם המקסימאלי אותו יכול למדוד הגלונומטר הוא 2mA?

#### 2 דוגמה 2

גלונומטר מסוגל למדוד זרם מקסימלי של 5mA.

התנגדות הגלונומטר היא 20 אוהם. התנגדות המיצד היא 0.5 אוהם.

א. מהו הזרם המקסימאלי הניתן למדידה באמפרמטר?

ב. מה צריכה להיות התנגדות המיצד על מנת שהזרם המקסימלי הנמדד באמפרמטר יהיה 505mA?

#### 3 דוגמה 3

נתון גלונומטר שהתנגדותו 50 אוהם והזרם המקסימאלי בו הוא 2mA. איזה נגד יש לחבר לגלונומטר בטור כדי להפוך אותו לוולטמטר היכול למדוד מתח מקסימאלי של 5V?

### תשובות סופיות:

$$\text{א. } R_T \approx 2.86\Omega \quad \text{ב. } I_{\max} = 42A \quad (1)$$

$$\text{א. } I_{\max} = 205mA \quad \text{ב. } R_S = 0.2\Omega \quad (2)$$

$$\text{ב. } R_S = 2450\Omega \quad (3)$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 23 - קבלים

תוכן העניינים

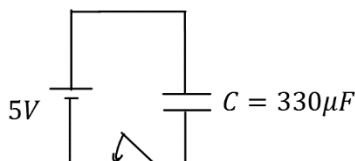
141 .....	1. הרצאות ותרגילים
147 .....	2. תרגילים נוספים

## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:

#### (1) קבל ומקור זוגמה בסיסית

קבל בעל קיבול  $C = 330\mu\text{F}$  מחובר לסוללה במתח  $V = 5\text{V}$ . סוגרים את המפסק במעגל ומחכים זמן רב.



- מה יהיה הזרם במעגל?
- מה יהיה המתח בין לוחות הקבל?
- מה יהיה המטען על הלוחות? ציין איפה יהיה המטען החיובי ואיפה השלילי.
- חזור על הסעיפים במקרה שבו מחובר גם נגד בטור במעגל

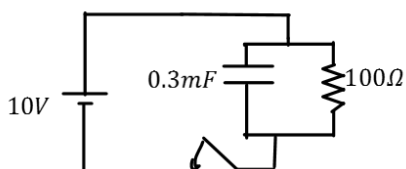
#### (2) מוציאים מטען מהקבל

קבל טעון במטען של  $5\mu\text{C}$ . מד מתח שמחובר לקבל מראה קריאה של 3 וולט.

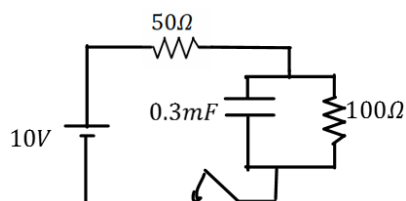
- מצא את הקיבול של הקבל.
- כעת מוציאים  $2\mu\text{C}$  מהמטען על הקבל (ו-  $2\mu\text{C}$  מהצד השלילי).
- מה יראה מד המתח?

#### (3) קבל במקביל לנגד

במעגל הבא סוגרים את המפסק ומחכים זמן רב.



- מצא את המתח והמטען על הקבל.
- האם יזרום זרם במעגל? אם כן, מצא את גודלו וכיוונו.

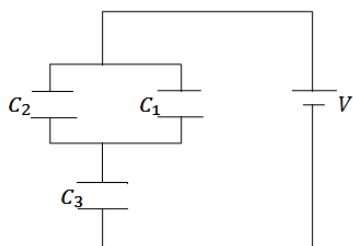


- חזור על הסעיפים עבור המקרה בו יש נגד נוסף במערכת (ראה תרשים).

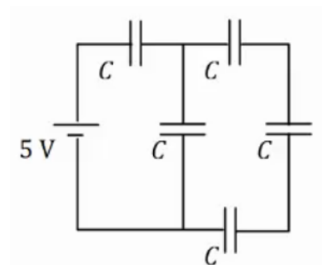
#### (4) חישוב קיבול של קבל לוחות

קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $2\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $0.3\text{mm}$ .

- חשב את הקיבול של הקבל.
- מה יהיה המטען על הקבל אם נחבר אותו למקור מתח  $V = 3\text{V}$  (לאחר זמן רב)?

**(5) חיבור במקביל ובטור**

במעגל הבא נתון מתח הסוללה  $V = 3V$  והקיבול של כל קבל:  $C_1 = 2\mu F$ ,  $C_2 = 3\mu F$ ,  $C_3 = 5\mu F$ . מצא את המטען על כל קבל.

**(6) חיבור 5 קבלים**

במעגל הבא לכל הקבלים קיבול זהה  $C = 200\mu F$ . המתח של הסוללה הוא  $V = 5V$ .  
 א. מצא את הקיבול השקול של המעגל.  
 ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל זמן רב לאחר סגירת המעגל.

**(7) מרחיקים לוחות בקבל**

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $3\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $0.4\text{mm}$ .
- חשב את הקיבול של הקבל
  - מה יהיה המטען על הקבל אם נחבר אותו למקור מתח  $V = 3V$  (לאחר זמן רב).
  - כעת מנתקים את הקבל ממקור המתח ומגדלים את המרחק בין הלוחות פי 2.
  - מצא את הקיבול החדש.
  - מצא את המטען והמתח על הקבל החדש.
  - חזור על סעיפים ג' ו-ד', אם היינו מרחיקים את הלוחות מבלי לנתק את מקור המתח.

**(8) אנרגיה של קבל לוחות**

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $5\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $2\text{mm}$ .
- חשב את הקיבול של הקבל.
  - מחברים את הקבל לסוללה במתח 4 וולט.
  - מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?

**(9) מקרבים את הלוחות**

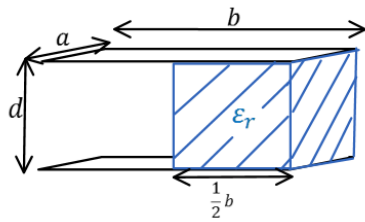
- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח  $6\text{cm}^2$  ומרחק בין הלוחות  $3\text{mm}$ .
- חשב את הקיבול של הקבל.
  - מחברים את הקבל לסוללה במתח  $5$  וולט.
  - מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?
  - מקרבים את הלוחות הקבל למרחק  $1\text{mm}$ .
  - מצא את האנרגיה החדשה אם הקבל מחובר לסוללה במשך כל התהליך. רשום גם את שינוי האנרגיה בקבל.
  - חזור על ג' עבור המקרה שבו מנתקים את הקבל מהסוללה לפני שמקרבים את הלוחות.

**(10) מכניסים חומר לקבל בשתי דרכים**

- קבל בעל קיבול של  $5\mu\text{F}$  מחובר למקור מתח של  $12\text{V}$ .
- חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור. מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי  $\epsilon_r = 1.2$  הממלא את כל הרווח בין הלוחות הקבל.
  - בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך. חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב.
  - חשב את השינוי במטען ובאנרגיה בעקבות הכנסת החומר.
  - חזור על סעיף ב' אם מנתקים את הקבל מהמקור לפני שמכניסים את החומר הדיאלקטרי.

**(11) מכניסים ומוציאים חומר מקבל**

- קבל בעל קיבול של  $8\mu\text{F}$  מחובר למקור מתח של  $12\text{V}$ .
- חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור. מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי  $\epsilon_r = 1.4$  הממלא את כל הרווח בין הלוחות הקבל.
  - בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך. חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב. כעת מנתקים את הקבל מהמקור ומוציאים את החומר הדיאלקטרי.
  - מה יהיה המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב?
  - חשב את שינוי האנרגיה בכל שלב בתהליך.

**12) קבל עם חצי ימין מלא**

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = a \times b$ ,

ומרחק  $d$  בין הלוחות.  $a = 3\text{cm}$ ,  $b = 4\text{cm}$ ,  $d = 2\text{mm}$ .

א. מצא את הקיבול של הקבל.

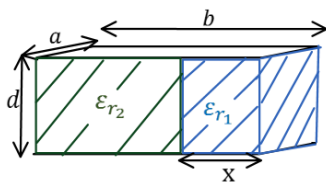
ממלאים את חציו הימני של הקבל בחומר דיאלקטרי

בעל מקדם  $\epsilon_r = 3$  וחציו השמאלי נשאר ריק (ראה איור).

ב. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ג. מחברים את הקבל למקור מתח  $V_0 = 5\text{V}$ .

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

**13) קבל עם חלק ימין שונה מחלק שמאל**

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = a \times b$ ,

ומרחק  $d$  בין הלוחות.  $a = 5\text{cm}$ ,  $b = 6\text{cm}$ ,  $d = 1\text{mm}$ .

ממלאים את חלק של הקבל ברוחב  $x = 1\text{cm}$  בחומר

דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_{r1} = 4$ , ואת החלק הנותר

בחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_{r2} = 2$  (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח  $V_0 = 5\text{V}$ .

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

**14) קבל עם שלושה חלקים אחד מעל השני**

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = a \times b$ ,

ומרחק  $d$  בין הלוחות.  $a = 5\text{cm}$ ,  $b = 6\text{cm}$ ,  $d = 4\text{mm}$ .

ממלאים חלק של הקבל בגובה  $1\text{mm}$  ולכל הרוחב

בחומר דיאלקטרי בעל מקדם  $\epsilon_{r1} = 4$ .

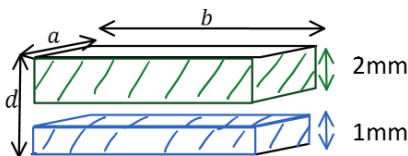
את החלק מגובה  $2\text{mm}$  ועד הלוח העליון ממלאים בחומר דיאלקטרי בעל

מקדם  $\epsilon_{r2} = 2$  (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח  $V_0 = 5\text{V}$ .

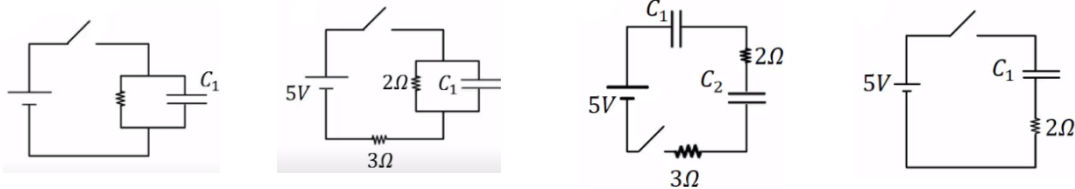
כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?



**15) מציאת זרם במספר מעגלים**

מצא את הזרם, בכל נגד, במעגלים הבאים. ברגע סגירת המתג הנח שהקבלים אינם טעונים לפני הסגירה וכי הסוללה והחוטמים אידיאלים.

א. ב. ג. ד.


**16) קבלים במעגל בהתחלה ולאחר זמן רב**

נתוני הרכיבים במעגל הבא הם:

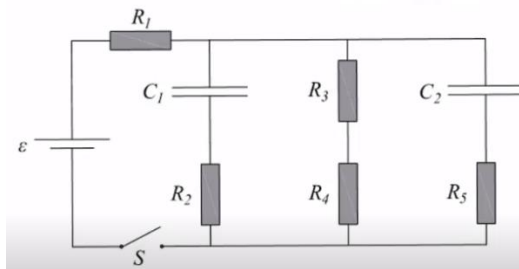
$$R_1 = 4\Omega, R_2 = 3\Omega, R_3 = 2\Omega, R_4 = 1\Omega, R_5 = 6\Omega, \varepsilon = 24V, C_1 = 2\mu F, C_2 = 4\mu F$$

לפני סגירת המפסק הקבלים אינם טעונים.

א. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל ברגע סגירת המפסק?

ב. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל זמן רב לאחר סגירת המפסק?

ג. מהו המטען על כל אחד מהקבלים זמן רב לאחר סגירת המפסק?



## תשובות סופיות:

- (1) א.  $I = 0$       ב.  $|V_c| = 5V$       ג.  $1.65mc$       ד. ללא שינוי.
- (2) א.  $1.67\mu F$       ב.  $1.8V$
- (3) א.  $V_c = V_0 = 10V, Q = 3mc$       ב.  $I = 0.1A$
- ג.  $I = 0.067A, V_c = 6.7, Q = 2.01mc$
- (4) א.  $C \approx 5.9 \cdot 10^{-12} F$       ב.  $Q = 17.7pC$
- (5)  $q_1 = 3\mu C, q_2 = 4.5\mu C, q_3 = 7.5\mu C$
- (6) א.  $C_{T_1} = \frac{C}{3}, C_{T_2} = \frac{4C}{3}, C_T = 114\mu F$
- ב.  $q_1 = q_T = 571\mu C, q_2 = q_3 = q_4 = q_{T_1} = 143\mu C$
- $V_1 = 2.86V, V_5 = 2.14V, V_2 = V_3 = V_4 = 0.715V$
- (7) א.  $C = 6.64pF$       ב.  $Q = 19.9pc$       ג.  $C' = 3.32pF, V' = 6V, Q' = 19.9pc$
- ה. (ג)  $C' = 3.32pF$       (ד)  $V' = 3V, Q' = 9.96pc$
- (8) א.  $C = 2.21pF$       ב.  $U_c = 17.68 \cdot 10^{-12} J$
- (9) א.  $C = 1.77pF$       ב.  $U_c = 22.13pJ$       ג.  $U_c' = 66.375, \Delta U = 44.245pJ$
- ד.  $U_c' \approx 7.38pJ, \Delta U = -14.76pJ$
- (10) א.  $U_c = 3.6 \cdot 10^{-4} J, Q = 60\mu C, V_c = 12V$       ב.  $Q' = 72\mu C, U_c' = 432\mu J, C' = 6\mu F$
- ג.  $\Delta U = 72\mu J, \Delta Q = 12\mu C$       ד.  $V' = 10V, U_c = 300\mu J$
- (11) א.  $U_c = 576\mu J, Q = 96\mu F, V_c = 12V$       ב.  $U_c' = 806.4\mu J, Q' = 134.4\mu F, V_c' = 12V$
- ג.  $U_c'' = 1129\mu J, Q'' = 134.4\mu F, V_c'' = 16.8V$
- ד. במעבר מסעיף א' ל-ב':  $\Delta U = 230.4\mu J$ , במעבר מסעיף ב' ל-ג':  $\Delta U \approx 323\mu J$
- (12) א.  $C = 5.31pF$       ב.  $C_T = 10.62pF$       ג.  $U_c = 132.75pJ$
- (13) א.  $C_T = 61.95pF$       ב.  $U_c = 1548.75pJ, Q = 309.75pc$
- (14) א.  $C_T = 11.8pF$       ב.  $U_c = 1.475 \cdot 10^{-7} J, q = 59 \cdot 10^{-9} c$
- (15) א.  $I(t=0) = 2.5A$       ב.  $I = 1A$       ג.  $I = \frac{5}{3} A$       ד.  $I(t=0) = \infty$
- (16) א.  $I_5 \approx 0.92A, I_{3,4} = 1.85A, I_2 \approx 1.85A, I_1 \approx 4.62A, I_T = I_1$
- ב.  $I_{1,3,4} = 3.43A, I_{2,5} = 0$       ג.  $q_1 \approx 20.58 \cdot 10^{-6} C, q_2 \approx 41.16 \cdot 10^{-6} C$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### תרגילים ברמה א':

#### (1) תרגיל 1 - מציאת מטען

מה המטען המצטבר על קבל של  $C = 30\mu\text{F}$  לאחר זמן רב, אם נחבר אותו למתח של  $10\text{V}$ ?

#### (2) תרגיל 2 - קבל לוחות

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח  $A = 4\text{cm}^2$ , שביניהם מרחק של  $d = 1\text{mm}$ .

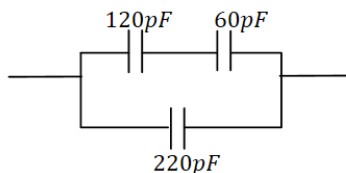
א. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות ריק?

ב. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות מלא בחומר דיאלקטרי אחיד בעל מקדם  $\epsilon_r = 2.5$ ?

ג. מצא את המטען על הקבל, עבור כל אחד מהמקרים בסעיפים הקודמים, אם מחברים את הקבל למקור מתח של  $5\text{V}$ .

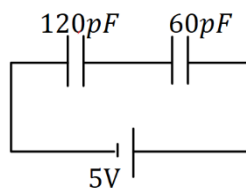
#### (3) תרגיל 3 - חיבור קבלים

מצא את הקיבול השקול של החיבור הבא.



#### (4) תרגיל 4 - חיבור קבלים

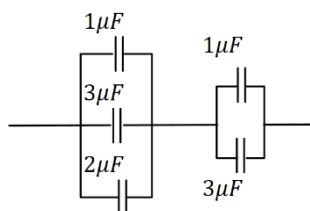
מה המטען והמתח על כל קבל במערכת הבאה (זמן רב לאחר חיבור הסוללה)? ציין איפה המטען החיובי והיכן המטען השלילי בכל קבל.

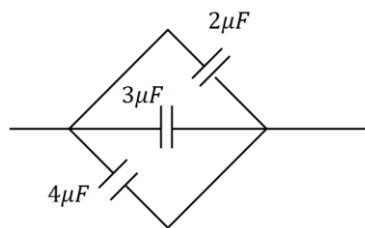


#### (5) תרגיל 5 - חיבור קבלים

נתונה מערכת הקבלים הבאה:

א. מצא את הקיבול השקול בין שני הקצוות של החוט.  
 ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של  $10\text{V}$ .

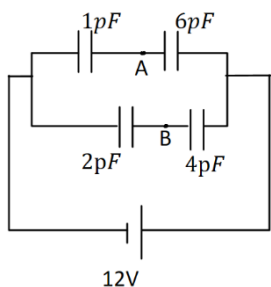




**6 תרגיל 6 - יהלום**

נתונה מערכת הקבלים הבאה :

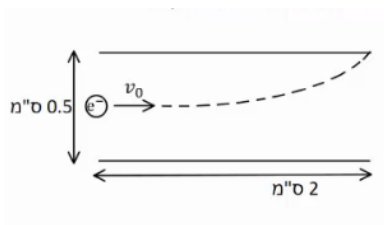
- א. מצא את הקיבול השקול במקרה הבא.
- ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של 10V.



**7 תרגיל 7 - חיבור קבלים ומציאת מתח**

במעגל הבא נתון הקיבול של כל קבל ומתח הסוללה :

- א. מצא את המתח על כל קבל והמטען על כל קבל. סמן על כל קבל היכן המטען החיובי.
- ב. מהו  $V_{AB}$  המתח בין הנקודות A ל-B?



**8 תרגיל 8 - אלקטרון נכנס לקבל לוחות**

קבל לוחות מורכב משני לוחות ריבועיים בעלי אורך צלע של 2 ס"מ ומרחק בין הלוחות של 0.5 ס"מ. אלקטרון נכנס במרכז הלוחות עם מהירות, המקבילה

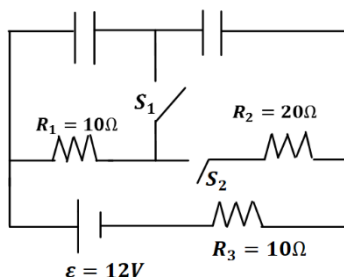
ללוחות, שגודלה  $v_0 = 10^7 \frac{m}{sec}$  (ראה איור).

האלקטרון פוגע בדיוק בקצה הלוח העליון.

א. חשב את השדה בין הלוחות (גודל וכיוון).

ב. חשב את המתח אליו מחובר הקבל.

**תרגילים ברמה ב' :**



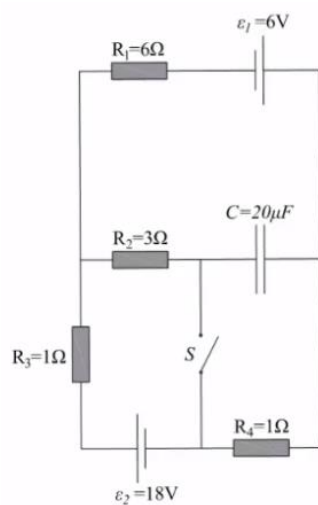
**9 תרגיל 1 - מעגלים חשמליים**

ענה על הסעיפים הבאים עבור המעגל שבציור, זמן רב לאחר סגירת או פתיחת המתגים.

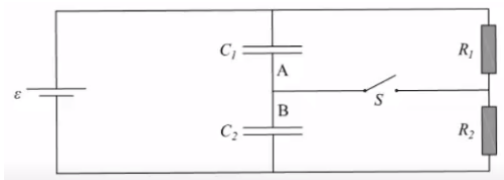
- א. מהו המתח והמטען על כל קבל, כאשר שני המפסקים פתוחים?
- ב. סוגרים את  $S_1$ .  $S_2$  פתוח. מהו המתח והמטען של כל קבל?
- ג. סוגרים את  $S_2$  ופותחים את  $S_1$ . מהו המתח על כל קבל?
- ד. הפעם שניהם סגורים. מהו המתח והמטען על כל קבל?

**10) תרגיל 2 - מעגלים חשמליים**

שני קבלים, האחד של  $10\mu\text{F}$  והשני של  $15\mu\text{F}$ , חוברו בנפרד למקורות מתח של  $6\text{V}$  ו- $8\text{V}$ , בהתאמה. לאחר מכן נותקו ממקורות המתח וחוברו זה לזה. א. מה יהיה המתח והמטען הסופי על כל קבל, אם הקבלים חוברו כאשר הדקים שווי סימן מחוברים זה לזה? ב. ללא קשר לסעיף א', מה יהיה המתח והמטען הסופי על כל קבל, אם הקבלים חוברו כאשר הדקים שונים מחוברים זה לזה.

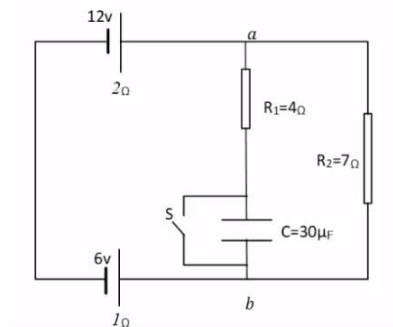
**11) תרגיל 3 - מעגלים חשמליים**

נתון המעגל החשמלי המופיע בתרשים. ההתנגדויות הפנימיות של מקורות המתח זניחות. כאשר המפסק S פתוח והמעגל במצבו היציב: א. מהו הזרם החשמלי העובר דרך כל אחד מהנגדים? ב. מהו המטען על לוחות הקבל? ג. מהו גודל המתח בין הדקי המפסק הפתוח? סוגרים את המפסק S ומחכים להתייצבות המערכת. ד. מהו הזרם החשמלי העובר דרך כל אחד מהנגדים? ה. מהו המטען על לוחות הקבל?

**12) תרגיל 4 - מעגלים חשמליים**

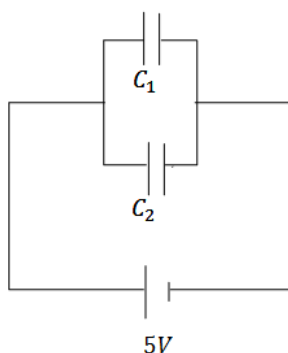
נתונים שני קבלי לוחות  $C_1$  ו- $C_2$ , ששטח כל לוח הוא  $0.02\text{m}^2$ . המרחק בין לוחות קבל  $C_1$  הוא  $1\text{mm}$  והמרחק בין לוחות קבל  $C_2$  הוא  $3\text{mm}$ .

א. חשבו את הקיבול של כל אחד מהקבלים. חיברו את שני הקבלים למעגל הנתון בשרטוט. נתון:  $\varepsilon = 12\text{V}$ ,  $R_2 = 10\Omega$ ,  $R_1 = 5\Omega$ . פתור את כל הסעיפים לאחר זמן רב. ב. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים כאשר המספר S פתוח? ג. כאשר המפסק S סגור, מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים? ד. מהו סכום המטען שהצטבר על שני הלוחות A ו-B?

**13) תרגיל 5 - מעגלים חשמליים (עם מקור לא אידיאלי)**


נתון המעגל החשמלי שבאיור, לכל מקור יש התנגדות פנימית המצוינת מתחת לסימון המקור. כאשר המפסק סגור.

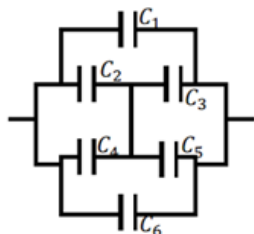
- מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
- מהו המתח בין הנקודות  $a$  ו- $b$ ?
- כעת פותחים את המפסק ומחכים זמן רב. מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
- מהו המטען על לוחות הקבל, וכמה אנרגיה אגורה בו?


**14) תרגיל 6 - שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי**

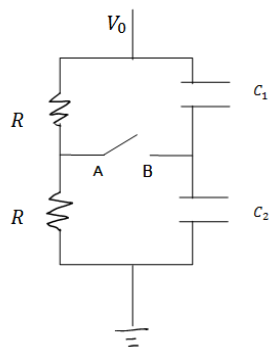
במעגל הבא קיבול הקבלים הוא:  $C_1 = 3\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2\mu\text{F}$ , והמתח בסוללה הוא 5V. לאחר שהקבלים נטענים מנתקים את המקור ומחליפים אותו בקבל של  $C_3 = 5\mu\text{F}$ . מצא את המטען המתח והאנרגיה של הקבל החדש, לאחר שהמערכת מתייצבת.

**15) תרגיל 7 - מרחיקים לוחות בקבל לוחות**

- קבל לוחות בעל אורך צלע  $a = 2\text{cm}$  ומרחק בין הלוחות  $d = 1\text{mm}$ , נטען ע"י סוללה במתח 3V. אחרי שהקבל נטען במלואו מנתקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק  $3d$ .
- מצא את הפרש הפוטנציאל החדש על הקבל.
  - מצא את האנרגיה ההתחלתית והסופית האגורה בקבל.
  - מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.

**16) תרגיל 8 - חיבור קונפיגורציית קבלים**


נתונה מערכת קבלים המחוברים על פי השרטוט. מצא את הקיבול השקול של המערכת.

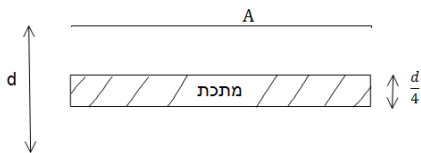


**17 תרגיל 9 - קבלים עם מפסק**

במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע, ונתון  $V_0$  הקצה התחתון מוארק.  
נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזוהה של הנגדים.  
א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין הנקודה A לנקודה B.  
ב. סוגרים את המפסק AB. כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת התייצבה?

**18 תרגיל 10 - קבל עם פיסת מתכת**

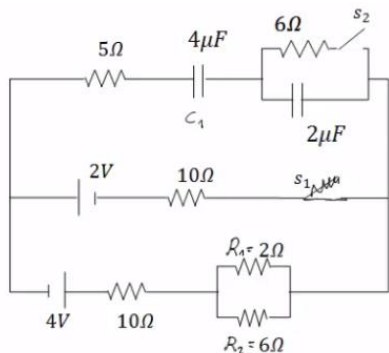
קבל לוחות מחובר למקור מתח  $V$ . שטח כל לוח בקבל הוא  $A$ , והמרחק בין הלוחות הוא  $d$  ( $d \ll \sqrt{A}$ ).



א. מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.  
ב. כעת מכניסים לקבל פיסת מתכת בעובי  $\frac{d}{4}$  עם שטח  $A$  ממרכז הקבל. חזור על סעיף א.

ג. כעת מוציאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את מקור המתח. לאחר הניתוק מכניסים את המתכת חזרה פעם שניה. חזור על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').

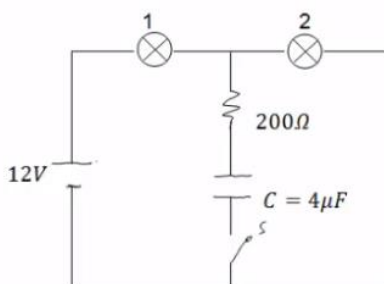
**19 תרגיל 11**



חשב את כל הזרמים במעגל ואת המטען על כל קבל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

- א.  $S_1$  פתוח ו- $S_2$  סגור.
- ב.  $S_2$  פתוח ו- $S_1$  סגור.
- ג. שני המפסקים סגורים.

**20 תרגיל 12 - שתי נורות**



במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של 10V הוא 0.5W. ההספק של נורה מס' 2 באותו המתח הוא 0.4W. התנגדות הנגד היא 200Ω.  
א. חשב את התנגדות המתח וההספק החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.  
ב. חשב את המתח על הקבל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.

## תשובות סופיות:

$$Q = 0.3\text{mF} \quad (1)$$

$$Q_A = 17.7\text{pc}, Q_B = 44.25\text{pc} \quad \text{ג.} \quad C' = 8.85\text{pF} \quad \text{ב.} \quad C = 3.54\text{pF} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$C_T = 260\text{pF} \quad (3)$$

$$Q_1 = Q_2 = 200\text{pc}, V_{C_1} = 1.67\text{V}, V_{C_2} = 3.33\text{V} \quad (4)$$

$$C_T = 2.4\mu\text{F} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$V_{4,5} = 6\text{V}, V_{1,2,3} = 4\text{V}, Q_1 = 4\mu\text{C}, Q_2 = 12\mu\text{C}, Q_3 = 8\mu\text{C}, Q_4 = 6\mu\text{C}, Q_5 = 18\mu\text{C} \quad \text{ב.}$$

$$V_T = 10\text{V}, Q_1 = 20\mu\text{C}, Q_2 = 30\mu\text{C}, Q_3 = 40\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad C_T = 9\mu\text{F} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$Q_{1,2} = 10.29\mu\text{C}, Q_{3,4} = 16\mu\text{C}, V_1 = 10.29\text{V}, V_2 = 1.71\text{V}, V_3 = 8\text{V}, V_4 = 4\text{V} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$V_{AB} = -2.28\text{V} \quad \text{ב.}$$

$$V \approx 35.5\text{V} \quad \text{ב.} \quad \vec{E} \approx -7.12 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{y} \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$V_{C_2} = 0, V_{C_1} = 12\text{V}, Q_1 = 36\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad Q_1 = Q_2 = 24\mu\text{C}, V_1 = 8\text{V}, V_2 = 4\text{V} \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$Q_{1,2} = 18\mu\text{C}, V_1 = 6\text{V}, V_2 = 3\text{V} \quad \text{ג.}$$

$$V_{C_1} = 6\text{V}, Q_{C_1} = 18\mu\text{C}, V_{C_2} = 3\text{V}, Q_2 = 18\mu\text{C} \quad \text{ד.}$$

$$q_2 = 36\mu\text{C}, q_1 = 24\mu\text{C}, V_1 = V_2 = 2.4\text{V} \quad \text{ב.} \quad q_2 = 108\mu\text{C}, q_1 = 72\mu\text{C}, V_1 = V_2 = 10.8\text{V} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$|V_s| = 15\text{V} \quad \text{ג.} \quad q_C = 240\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad I = 3\text{A} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$q = 40.4\mu\text{C} \quad \text{ה.} \quad I_1 = 2.52\text{A}, I_2 = -3.87\text{A}, I_3 = 6.39\text{A} \quad \text{ד.}$$

$$I = 0.8\text{A} \quad \text{ג.} \quad I = 0.8\text{A} \quad \text{ב.} \quad C_1 = 1.77 \cdot 10^{-10}\text{F}, C_2 = 0.59 \cdot 10^{-10}\text{F} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$q_1 = 7.08 \cdot 10^{-10}\text{C}, q_2 = 4.72 \cdot 10^{-10}\text{C} \quad \text{ד.}$$

$$V_{ab} = 2.756\text{V} \quad \text{ב.} \quad I_1 = 0.689\text{A}, I_2 = 0.393\text{A} \quad \text{א.} \quad (13)$$

$$q = 1.26 \cdot 10^{-4}\text{C} \quad \text{ד.} \quad I_1 = 0, I = 0.6\text{A} \quad \text{מטה,} \quad \text{ג.}$$

$$q'_3 = 12.5\mu\text{C}, V'_3 = 2.5\text{V}, U = 15.625\text{J} \quad (14)$$

$$U_{C_1} = 15.93 \cdot 10^{-12}\text{J}, U_{C_2} = 47.79 \cdot 10^{-12}\text{J} \quad \text{ב.} \quad V' = 9\text{V} \quad \text{א.} \quad (15)$$

$$|W| = 31.86 \cdot 10^{-12}\text{J} \quad \text{ג.}$$

$$C_T = C_1 + C_6 + C_{2,3,4,5} \quad (16)$$

$$q_1 = \frac{C_1 V_0}{2}, q_2 = \frac{C_2 V_0}{2}, \Delta q = \frac{V_0}{2} (C_2 - C_1) \quad \text{ב.} \quad V_{AB} = \frac{V_0}{2} - \frac{V_0 C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{א.} \quad (17)$$

$$q = CV = \frac{\epsilon_0 A}{d} V, E = \frac{V}{d}, U = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} V^2 \quad \text{א. (18)}$$

$$q_1 = q_2 = \frac{4\epsilon_0 AV}{3d}, E_1 = E_2 = \frac{4V}{3d}, U = \frac{1}{2} C_T V^2 = \frac{2\epsilon_0 A}{3d} V^2 \quad \text{ב.}$$

$$E_1 = E_2 = \frac{V}{d}, U = \frac{3\epsilon_0 AV^2}{8d} \quad \text{ג.}$$

$$\frac{136}{129} \mu\text{C} \quad \text{ג.}$$

$$\frac{12}{43} \text{A} \quad \text{ב.}$$

$$16 \mu\text{F} \quad \text{א. (19)}$$

$$R_1 = 200 \Omega, R_2 = 250 \Omega, V_1 = 5.34 \text{V}, V_2 = 6.68 \text{V}, P_1 = 0.143 \text{W}, P_2 = 0.178 \text{W} \quad \text{א. (20)}$$

$$V_C = 6.68 \text{V} \quad \text{ב.}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 24 - מעגלי RC

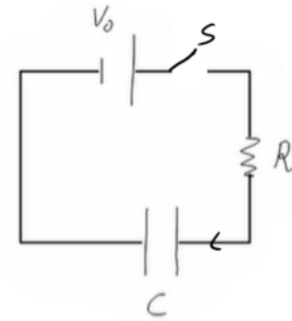
תוכן העניינים

1. פריקה וטעינה של קבל (מעגלי RC) ..... 154

## פריקה וטעינה של קבל - מעגלי RC :

רקע:

טעינה:



משוואת המתחים:

$$V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$$

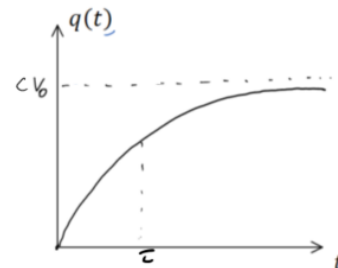
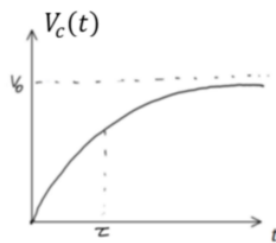
$$I = \frac{dq}{dt}$$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן:

$$q(t) = CV_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

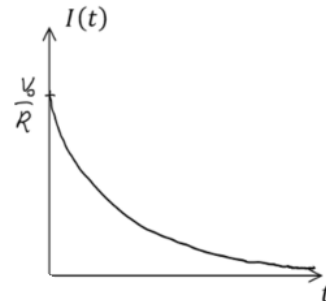
$$V_c(t) = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$\tau = RC$  - קבוע הזמן



הזרם כתלות בזמן :

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$



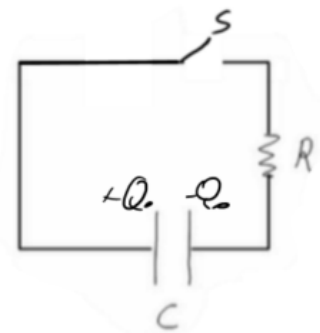
בהתחלה ( $t = 0$ ) :

הקבל מתנהג כמו קצר, המתח והמטען על הקבל הם אפס והזרם הוא  $\frac{V_0}{R}$ .

לאחר זמן רב ( $t > 5\tau$ ) :

הקבל מתנהג כמו נתק, המטען והמתח קבועים והזרם מתאפס.

פריקה :



משוואת המתחים :

$$\frac{q}{C} - IR = 0$$

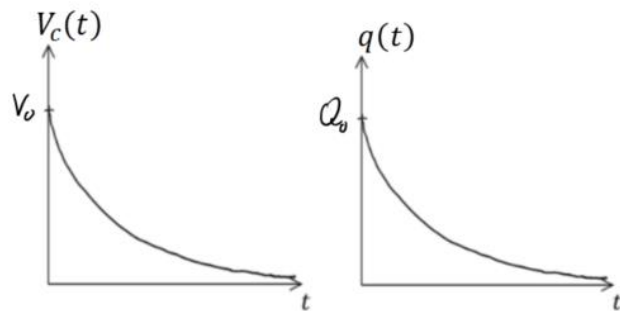
$$I = -\frac{dq}{dt}$$

המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן:

$$q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

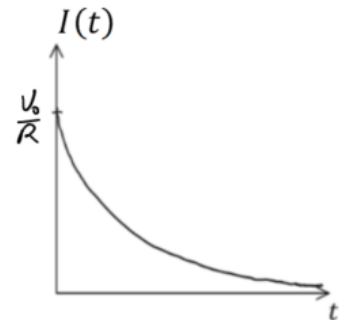
$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$Q_0 = CV_0$$



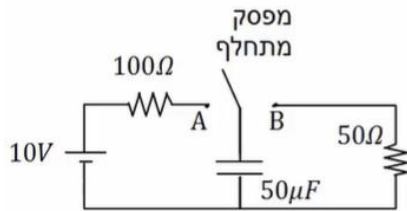
הזרם כתלות בזמן:

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$



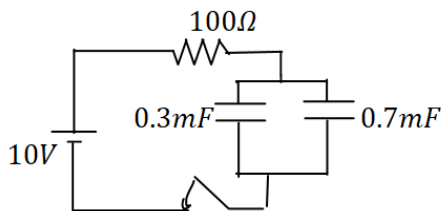
## שאלות:

## 1) מתג מתחלף



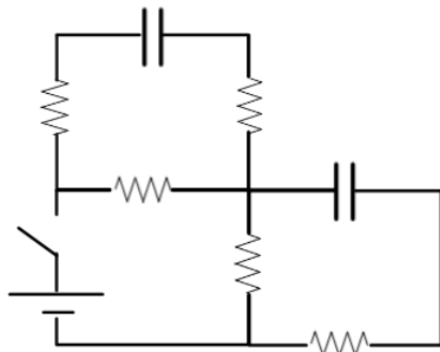
- במעגל הבא מחברים ב- $t = 0$  את המפסק המתחלף לנקודה A. ב- $t = 0.01$  מעבירים את המפסק לנקודה B.
- רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.
  - מה המטען על הקבל ב- $t = 0.02$ .
  - רשום שוב את הזרם כתלות בזמן.
  - צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

## 2) טעינה של שני קבלים

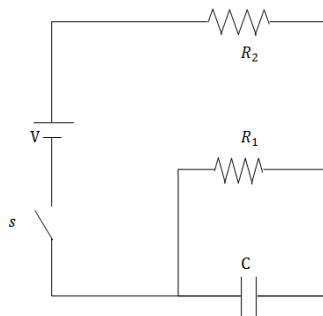


- במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$ .
- מהו הזמן האופייני במעגל?
  - מצא את המתח והמטען בכל קבל בזמנים:  $0.8\text{sec}$ ,  $t = 0.2\text{sec}$ .

## 3) קבלים בהתחלה ובסוף

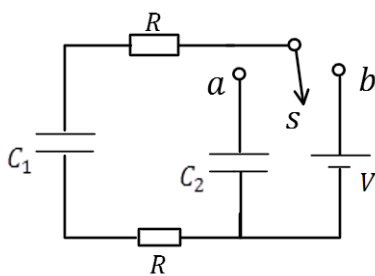


- במעגל הבא הקיבול של הקבלים זהה ושווה ל-C התנגדות הנגדים זהה ושווה ל-R ומתח הסוללה הוא V.
- הקבלים אינם טעונים כאשר המפסק פתוח.
- מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג.
  - מצאו את הזרם בסוללה והמתח על כל קבל לאחר זמן רב.
  - מהו המטען על כל קבל לאחר זמן רב?



**(4) מטען על קבל במקביל לפי הזמן**

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$  כאשר הקבל אינו טעון. מצא את המטען על הקבל והזרם בכל נגד כפונקציה של הזמן. נתון:  $V, R_1, R_2, C$ .

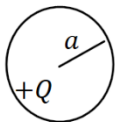


**(5) פריקה בין שני קבלים**

במעגל הבא הקבל  $C_1$  טעון במטען  $Q_0$  לפני סגירת המתג  $s$  לנקודה  $a$ .  
 א. רשום את המשוואה ממנה ניתן לקבל את המטען על הקבל  $C_1$  כתלות בזמן.  
 ב. פתור את המשוואה ומצא את המטען על כל קבל כתלות בזמן.  
 ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?

**(6) קבל של שני כדורים**

שני כדורים בעלי רדיוסים  $a$  ו- $b$  מרוחקים מאוד זה מזה. טוענים את הכדורים במטענים  $+Q$  ו- $-Q$  בהתאמה.



א. חשב את האנרגיה האלקטרוסטטית הכוללת של המערכת.

ב. חשב את הקיבול של המערכת דרך התוצאה שקיבלת עבור האנרגיה.

ג. אם מחברים את הכדורים בחוט ארוך מאוד עם התנגדות כוללת  $R$ , מה זמן הפריקה האופייני של המערכת?

## תשובות סופיות:

$$V_C(t) = \begin{cases} 10 \left( 1 - e^{-\frac{t}{0.05}} \right) & 0 < t < 0.01 \\ 8.65 \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1 < t \end{cases} \quad \text{א. (1)}$$

ב.  $q_0(t=0.02) \approx 7.92 \cdot 10^{-6} \text{C}$

ד. ראה סרטון

$$I(t) = \begin{cases} \frac{10}{100} \cdot e^{-\frac{t}{0.005}} & 0 < t < 0.01 \\ \frac{8.65}{50} \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1 < t \end{cases} \quad \text{ג.}$$

א.  $0.1 \text{sec}$     ב.  $0.8 \text{sec}$      $V_1 = V_2 = 10 \text{V}$ ,  $q_1 = 3 \cdot 10^{-3} \text{C}$ ,  $q_2 = 7 \cdot 10^{-3} \text{C}$     (2)

$V_1 = V_2 \approx 8.65 \text{V}$ ,  $q_1 = 2.6 \cdot 10^{-3} \text{C}$ ,  $q_2 = 6.01 \cdot 10^{-3} \text{C}$     :  $0.2 \text{sec}$

א.  $\frac{6V}{7R}$     ב. זרם סוללה:  $\frac{V}{2R}$ , מתח קבלים:  $\frac{V}{2}$     (3)

ג. מטען קבלים:  $\frac{CV}{2}$

$$q(t) = \frac{VR_1 \cdot C}{R_2 + R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R_2 + R_1}{R_1 C R_2} t} \right) \quad \text{א. (4)}$$

א.  $\frac{C_1 + C_2}{2RC_1 C_2} \cdot q_1 + q_1 - \frac{Q_0}{2RC_2} = 0$     ב.  $q_1(t) = (\tau \cdot A - Q_0) e^{-\frac{t}{\tau}}$     (5)

ג.  $I = \left( \frac{Q_0}{\tau} - A \right) e^{-\frac{t}{\tau}}$      $q_2(t) = (-\tau \cdot A + Q_0) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

א.  $U = \frac{KQ^2}{2} \left( \frac{b+a}{a \cdot b} \right)$     ב.  $C = \frac{a \cdot b}{K(a+b)}$     ג.  $\tau = RC = \frac{Rab}{K(a+b)}$     (6)

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

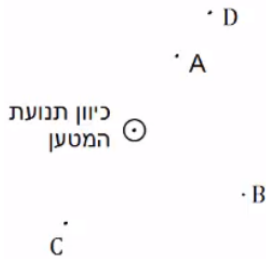
פרק 25 - השדה המגנטי

תוכן העניינים

160	.....	1. הסברים ודוגמאות
162	.....	2. סיכום ותרגילים נוספים

## הסברים ודוגמאות:

### שאלות:



**1 דוגמה (1)**

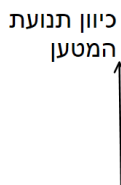
מטען נע מהדף אלינו.

צייר את כיוון השדה המגנטי בנקודות: A, B, C, D.

**2 דוגמה (2)**

מטען נע במישור הדף כלפי מעלה.

מה כיוון השדה המגנטי שיוצר המטען משני הצדדים של הקו עליו נע המטען?



**3 דוגמה 3 - שדה בפינת משולש (3)**

במערכת הבאה ישנם שני תיילים אינסופיים

הנושאים זרם  $I_0 = 2A$ .

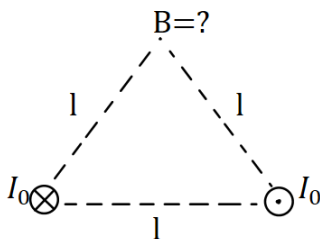
התיילים מונחים בקודקודי הבסיס של משולש

שווה צלעות בעל אורך צלע  $l = 20\text{cm}$ .

התיילים מונחים במקביל כך שבאחד הזרם

נכנס לתוך הדף ובשני יוצא מן הדף.

חשב את השדה המגנטי בקודקוד השלישי של המשולש (גודל וכיוון).



**4 דוגמה 4 - שדה במרכז ריבוע (4)**

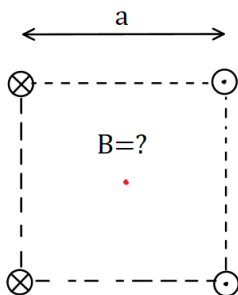
במערכת הבאה ישנם ארבעה תיילים אינסופיים

בפינותיו של ריבוע בעל אורך צלע  $a = 10\text{cm}$ .

גודל הזרם בכל התיילים זהה ושווה ל- $3A$ .

כיוון הזרם מתואר באיור.

מהו השדה המגנטי במרכז הריבוע?

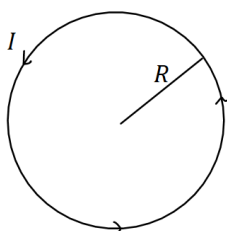


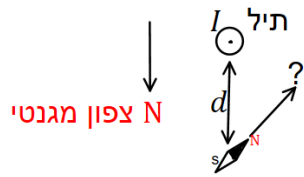
**5 דוגמה 5 - שדה במרכז טבעת (5)**

מצא את גודל וכיוון השדה המגנטי במרכז הטבעת שבאיור.

רדיוס הטבעת הוא  $R = 5\text{cm}$  והזרם בה הוא  $I = 0.2A$ .

בכיוון השעון.





**6) דוגמה 6 - שדה של תיל וכדה"א**

תיל ארוך מונח במאונך לפני כדור הארץ

ונושא זרם  $I = 5A$  במרחק  $d = 5c. m$ .

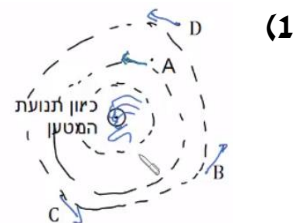
מהתיל לכיוון הצפון המגנטי של כדור הארץ נמצא מצפן,

המוחזק אופקית לכדור הארץ.

מצא את הכיוון אליו תצביע המחט.

(רכיב השדה המגנטי המקביל לפני כדה"א הוא :  $B_t = 2.9 \cdot 10^{-5} T$ .)

**תשובות סופיות:**



(2) מצד ימין השדה נכנס, מצד שמאל השדה יוצא.

(3)  $\vec{B} = -2 \cdot 10^{-6} \hat{y}$

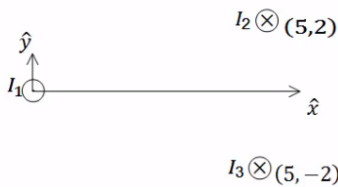
(4)  $\vec{B} = -24.24 \cdot 10^{-6} T \hat{y}$

(5)  $B = 8\pi \cdot 10^{-7} T$

(6)  $\theta \approx 55.4^\circ$

## סיכום ותרגילים נוספים:

### שאלות:



#### (1) שדה של שלושה תילים אינסופיים

שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- $z$

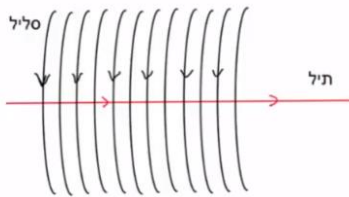
מונחים במיקומים הבאים:  $\vec{r}_1(0,0)$ ,  $\vec{r}_2(5,2)$ ,  $\vec{r}_3(5,-2)$

הזרמים בתילים הם:  $I_1 = 3A$  החוצה מהדף,  $I_2 = 5A$

לתוך הדף,  $I_3 = 4A$  גם כן לתוך הדף.

מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה- $x$  מתאפס

הרכיב של השדה המגנטי בכיוון  $y$ ?



#### (2) תיל בתוך סליל

סליל ארוך מאוד מונח כך שהציר המרכזי שלו

לאורך ציר  $z$ . צפיפות הליפופים בסליל היא 15

ליפופים לס"מ והזרם בו הוא 2.5mA.

מניחים תיל ארוך מאוד בתוך הסליל ולאורך

הציר המרכזי. הזרם בתיל הוא 0.8A.

כיווני הזרמים מתוארים בתרשים.

א. מהו המרחק הרדיאלי מהציר בו השדה המגנטי שנוצר יהיה בזווית 30

מעלות עם ציר ה- $z$ ?

ב. מהו גודלו של השדה בנקודה זו?

### תשובות סופיות:

(1)  $x_1 = -2.76$ ,  $x_2 = 5.26$

(2) א.  $r = 5.9\text{cm}$ . ב.  $B_T \approx 5.4 \cdot 10^{-6}\text{T}$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 26 - חוק ביו סבר

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים ..... 163

## הרצאות ותרגילים:

רקע:

חוק ביו-סבר:

השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם

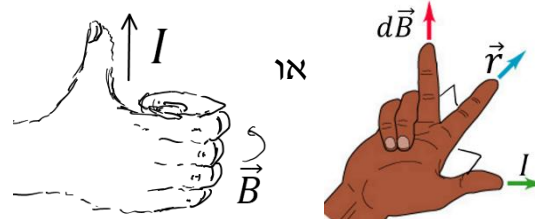
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi |r|^3} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi |r|^2}$$

$\vec{r}$  - הוא הוקטור מהחתיכה לנקודה בה מחפשים את השדה.

$d\vec{l}$  - אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.

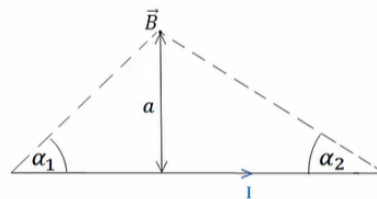
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$  - מקדם הפרמביליות של הריק

- חישוב הכיוון:



השדה של תיל סופי:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$



במרכז התיל:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \frac{L}{\left(\left(\frac{L}{2}\right)^2 + a^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

כאשר  $L$  הוא אורך התיל.

השדה של תיל אינסופי:

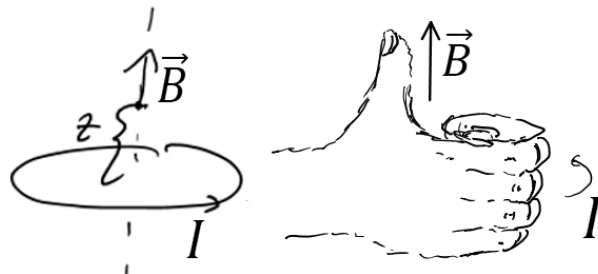
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

כאשר  $r$  הוא המרחק מהתיל.

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$$

- כיוון השדה לפי כלל הבורג:

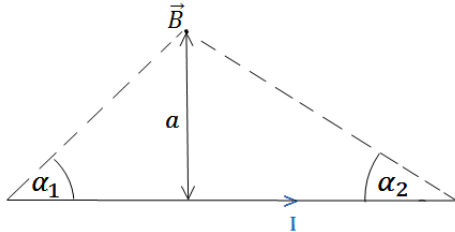


כוח ליחידת אורך בין שני תיילים מקבילים:

$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

הכוח הוא כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון, ודחייה אם כיוון הזרמים הפוך.

**שאלות:**

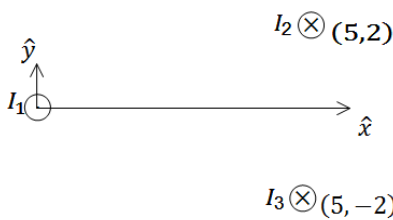


- (1) **חישוב שדה של תיל סופי לפי זוויות**  
 הראה כי גודלו של השדה המגנטי שיוצר תיל בנקודה הנמצאת במרחק  $a$  מהתיל הוא:  

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$
  
 כאשר  $I$  הוא הזרם בתיל.

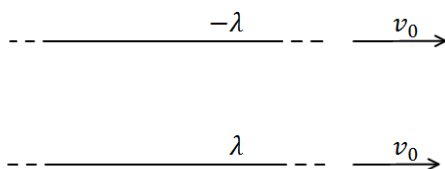


- (2) **חישוב שדה של טבעת**  
 חשב את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה של טבעת ברדיוס  $R$  כאשר בטבעת זרם  $I$ .

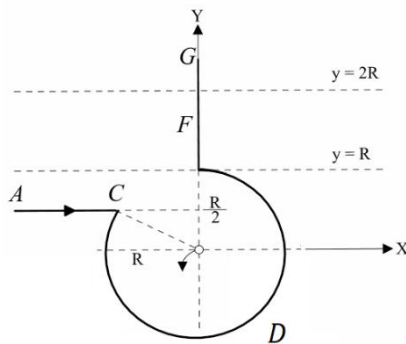


- (3) **שדה של שלושה תילים אינסופיים**  
 שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- $z$  מונחים במיקומים הבאים:  
 $\vec{r}_1(0,0)$ ,  $\vec{r}_2(5,2)$ ,  $\vec{r}_3(5,-2)$   
 הזרמים בתילים הם:  
 $I_1 = 3A$  החוצה מהדף,  $I_2 = 5A$  לתוך הדף,  $I_3 = 4A$  גם כן לתוך הדף.  
 מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה- $x$  מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון  $y$ ?

- (4) **מצולע עם אן צלעות**  
 במצולע משוכלל (כל הצלעות שוות) בעל  $n$  צלעות זורם זרם  $I$ .  
 נתון כי המצולע חסום ע"י מעגל ברדיוס  $R$ .  
 א. מהו השדה המגנטי במרכז המצולע?  
 ב. בדוק עבור  $n \rightarrow \infty$ .



- (5) **כוח מגנטי מתבטל עם חשמלי**  
 שני תילים אינסופיים טעונים בצפיפות מטען  $\lambda$  ו- $-\lambda$ .  
 התילים מקבילים ונמשכים במהירות קבועה  $v_0$  ימינה.  
 מצא את גודל המהירות כך שהכוח המגנטי יתבטל עם הכוח החשמלי?



### 6 חישוב שדה של תיל מיוחד

תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים. המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט). בתיל זרם I, כיוון הזרם מסומן בשרטוט.

א. מהו גודלו וכיוונו של וקטור השדה המגנטי במרכז החלק המעגלי של התיל?

ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכז החלק המעגלי של התיל מסלולו מתעקם עקב השפעת השדה המגנטי של התיל.

צורת המסלול וכיוון התנועה נתונים בשרטוט. מהו סימן מטענו של החלקיק?

ג. בניסוי נוסף יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחום  $R < y < 2R$ . חלק של התיל FG נמצא בתוך תחום זה (ראו בשרטוט).

נתון וקטור השדה  $\vec{B}(0,0, ay^2)$ , כאשר הקבוע a נתון. מהו הכוח המגנטי ששדה זה מפעיל על התיל?

### תשובות סופיות:

1) שאלת הוכחה.

$$B_x = B_y = 0, \quad B_z = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2)$$

$$x_1 = -2.76, \quad x_2 = 5.26 \quad (3)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad \text{ב.} \quad B = \frac{n\mu_0 I}{2\pi R} \tan\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$V = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (5)$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} \quad \text{ג.} \quad \text{ב. שלילי} \quad B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2 - \sqrt{3}) \quad \text{א.} \quad (6)$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

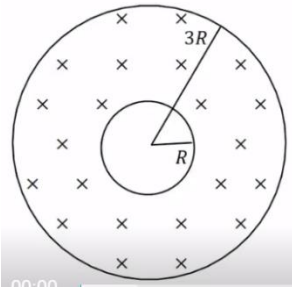
פרק 27 - חוק אמפר

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים.....167

## הסבר ותרגילים:

### שאלות:



#### 1) שדה בתוך מעטפת גלילית עבה

נתונה מעטפת גלילית עבה ואינסופית בעלת רדיוס פנימי  $R$  ורדיוס חיצוני  $3R$ . במעטפת זורם זרם  $I$  בהתפלגות (צפיפות) אחידה לתוך הדף.

א. מצא את השדה המגנטי במרחק  $2R$  ממרכז הקליפה.

ב. מוסיפים תיל אינסופי במרכז המעטפת, מה צריך להיות הזרם בתיל (גודל וכיוון) כך שהשדה ב- $2R$  יתאפס?

ג. מה השדה במרחק  $5R$  של המערכת (גליל + תיל שחישבת בסעיף הקודם)?

### תשובות סופיות:

ג.  $B = \frac{\mu I}{16\pi R}$

ב.  $I' = \frac{3}{8}I$ , החוצה מהדף.

א.  $B = \frac{3\mu I}{32\pi R}$  (1)

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 28 - הכוח המגנטי (חוק לורנץ)

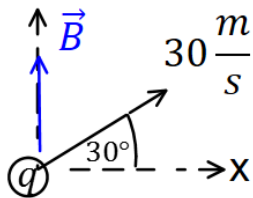
תוכן העניינים

1. הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה ..... 168
2. יישומים של הכוח המגנטי ..... (ללא ספר)
3. כוח על תיל נושא זרם ובין תילים ..... 170
4. סיכום ..... (ללא ספר)
5. תרגילים נוספים ..... 172

## הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה:

שאלות:

**(1) דוגמה 1**



מטען  $q = 2c$  נע במהירות  $v = 30 \frac{m}{sec}$  בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה- $x$  החיובי.

במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד  $\vec{B} = 4T \hat{y}$ . מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

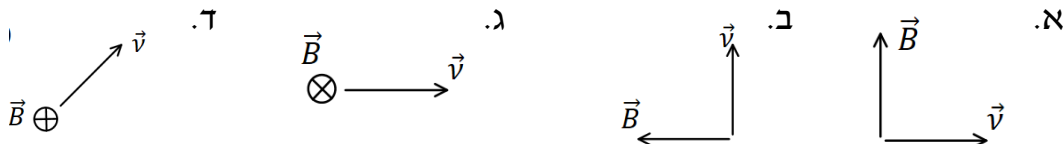
**(2) דוגמה 2**

מטען  $q = 3c$  נע במהירות  $\vec{v} = 2 \frac{m}{sec} \hat{x} + 4 \frac{m}{sec} \hat{y}$

במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד  $\vec{B} = 5T \hat{y}$ . מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

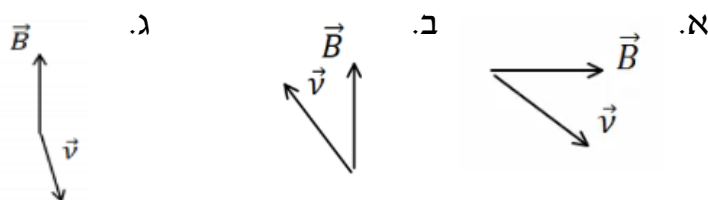
**(3) דוגמה 3**

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

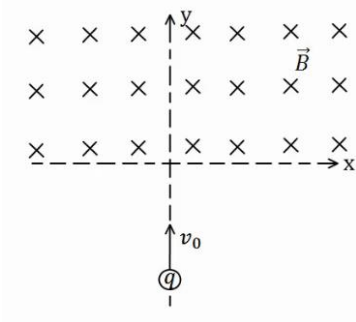


**(4) דוגמה 4**

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:



**5 דוגמה (5)**



מטען  $q = 4c$  נע מ- $y = -\infty$  לאורך הכיוון החיובי של ציר ה- $y$ . בכל התחום  $y > 0$  קיים שדה מגנטי אחיד  $B = 5T$  לתוך הדף. מסת המטען היא  $m = 10gr$  ומהירותו

היא  $v_0 = 20 \frac{m}{sec}$ .

א. שרטט את תנועת המטען.

ב. מצא את המיקום בו יצא המטען מהתחום בו נמצא השדה המגנטי.

**תשובות סופיות:**

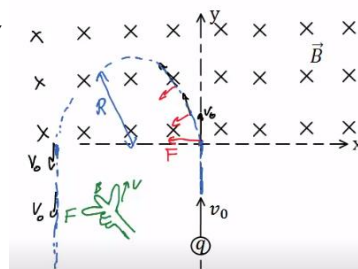
(1)  $F_B \approx 207.8N$

(2)  $F_B = 30N$

(3) א.  $\vec{F} \odot$     ב.  $\vec{F} \otimes$     ג.  $\vec{F} \uparrow$     ד.  $\vec{F} \searrow$

(4) א.  $\vec{F} \odot$     ב.  $\vec{F} \otimes$     ג.  $\vec{F} \odot$

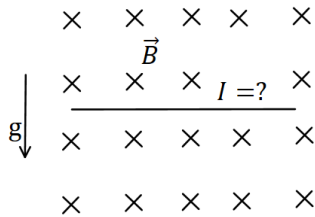
(5) א.    ב.  $x = -2cm, y = 0$



## כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים:

### שאלות:

#### (1) דוגמה 7

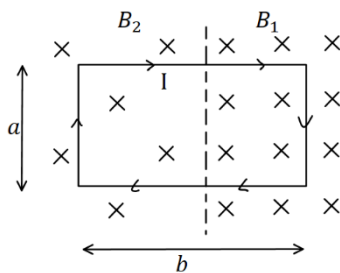


תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד  $B = 10^{-2} \text{T}$  לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך

היא  $\lambda = 20 \frac{\text{gr}}{\text{cm}}$ .

מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל, כך שהתיל ירחף באוויר.

#### (2) דוגמה 8



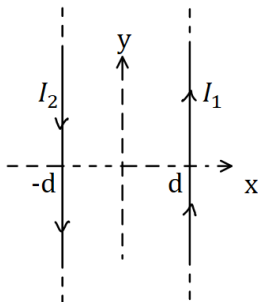
מסגרת מלבנית בעל צלעות  $a, b$  נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף. גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.

המסגרת מונחת כך, שחלק מהמסגרת נמצא בשדה  $B_1 = 4 \text{T}$ , והחלק השני נמצא בשדה  $B_2 = 3 \text{T}$ .

במסגרת זורם זרם  $I = 2 \text{A}$  עם כיוון השעון.

מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת ( $a = 0.5 \text{m}$ ).

#### (3) דוגמה 9



תיל ארוך מאוד מונח במקביל לציר ה- $y$  וב- $x = d$ . בתיל זורם זרם  $I_1 = 1 \text{A}$  בכיוון.

תיל ארוך נוסף מונח גם כן במקביל לציר ה- $y$  וב- $x = -d$ .

הזרם בתיל זה הוא  $I_2 = 2 \text{A}$  בכיוון הפוך לציר ה- $y$ .

מהו הכוח ליחידת אורך על כל תיל, אם  $d = 20 \text{cm}$ ?

#### (4) דוגמה 10

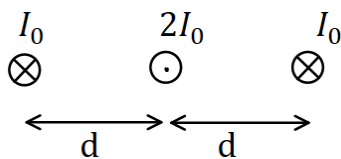
שלושה תיילים אינסופיים מונחים במקביל, כמתואר באיור.

המרחקים בין התיילים קבועים ושווים ל- $d$ .

הזרם בתיל האמצעי הוא  $2I_0$  החוצה מהדף,

והזרם בתיילים האחרים הוא  $I_0$  לתוך הדף.

מהו הכוח על כל תיל?



### תשובות סופיות:

$$(1) \text{ כיוון: ימינה, גודל: } I = 2 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$(2) \sum F = 1 \text{ N, ימינה.}$$

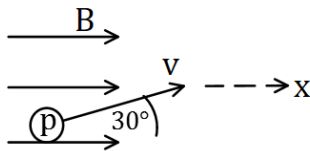
$$(3) F_1 = 10^{-6} \hat{x}, F_2 = -10^{-6} \hat{x}$$

$$(4) \sum F_1 = \frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}, \sum F_2 = 0, \sum F_3 = -\frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}$$

## תרגילים נוספים:

### שאלות:

#### (1) תרגיל 1



פרוטון נכנס לאזור בו ישנו שדה מגנטי אחיד שעוצמתו  $10\text{T}$  בכיוון ציר ה- $x$ . מהירות הפרוטון היא  $10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  וכיוונה בזווית  $30$  מעלות ביחס לשדה.

א. מהו גודל וכיוון הכוח הפועל על הפרוטון?

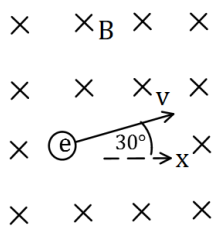
ב. מהי תאוצת הפרוטון?

נתון:  $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ,  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$

#### (2) תרגיל 2

אלקטרון נמצא בשדה מגנטי אחיד שגודלו  $5\text{T}$  וכיוונו לתוך הדף.

לאלקטרון מהירות  $v_0 = 10^5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  בכיוון  $30$  מעלות ביחס לציר ה- $x$ .



א. מהו הכוח הפועל על האלקטרון (גודל וכיוון)?

ב. צייר את תנועת האלקטרון בשדה.

מהו רדיוס הסיבוב?

נתון:  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ,  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$

#### (3) תיל תלוי על שני קפיצים-ביולוגיה תא

תחל מוליך נושא זרם תלוי לאורך ציר  $x$  על

ידי שני תילים דקים ושני קפיצים זהים.

בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד לתוך הדף.

אורך התיל המוליך הוא  $0.4\text{m}$  ומסתו

היא  $0.03\text{kg}$ . גודל השדה המגנטי הוא  $B = 0.2\text{T}$

וקבוע הקפיץ הוא  $k = 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ , ניתן להזניח את השדות שיוצרים התילים

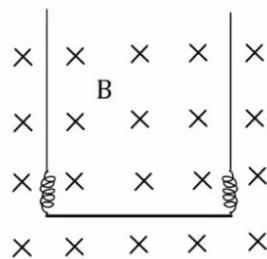
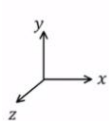
האנכיים ואת הכוחות שהם מפעילים על התיל האופקי.

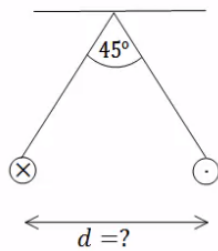
א. מהו גודל וכיוון הזרם בתיל אם ידוע שהתיל בשיווי משקל כאשר

הקפיצים רפויים (לא מפעילים כוח)?

ב. בכמה יתארכו הקפיצים אם יהפכו את הזרם בתיל? תזכורת: גודל הכוח

שמפעיל קפיץ הוא  $F = k\Delta l$  כאשר  $\Delta l$  היא ההתארכות של הקפיץ מהמצב הרפוי.



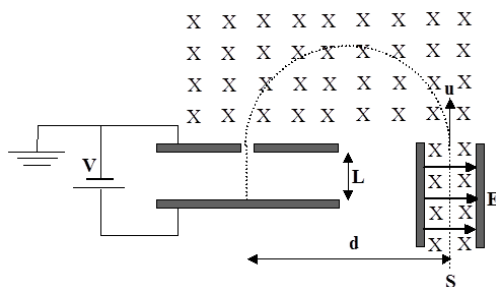


**(4) שני תילים תלויים**

שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקרה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע. בתילים זרם של 100 אמפר בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת

אורך היא  $\mu = 2 \frac{gr}{m}$ .

מצא את המרחק בין התילים.



**(5) בורר מהירויות ומתח עצירה**

חלקיקים, בעלי מטען +q ומסה m, נפלטים ממקור S במהירויות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל. בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד  $\vec{E}$  שכיוונו ימינה, ושדה מגנטי אחיד  $\vec{B}$  המכוון אל תוך הדף, כמו בתרשים.

השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל. במרחק d מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל נמצא נקב קטן, דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני, אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקבל השני מופעל מתח עצירה V. ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו L. ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על חלקיקים.

נתונים:  $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$ .

- א. באיזו מהירות u יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?
- ב. מהו המרחק d (ראה ציור)?
- ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?
- ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V, המופעל על הקבל השני, כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?
- ה. מחברים את הקבל השני לסוללה, שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

### תשובות סופיות:

(1) א.  $F = 8 \cdot 10^{-13} \text{ N}$ , כיוון: לתוך הדף. ב.  $a = 4.79 \cdot 10^{14} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

(2) א.  $F = 8 \cdot 10^{-11} \text{ N}$ , כיוון  $60^\circ$  מתחת לציר ה-x. ב.  $R = 1.14 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

(3) א.  $I = 3.75 \text{ A}$ , כיוון: חיובי של ציר x. ב.  $\Delta l = 0.03 \text{ m}$

(4)  $d = 0.241 \text{ m}$

(5) א.  $u = \frac{E}{B}$  ב.  $d = \frac{2mE}{qB^2}$  ג.  $t = \frac{\pi}{qB} \text{ m}$  ד.  $V = \frac{mE^2}{2qB^2}$  ה.  $t = \frac{BL}{E}$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

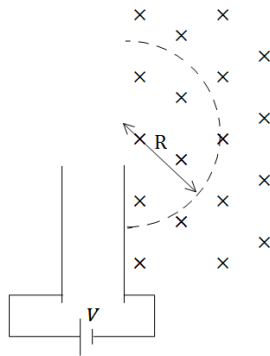
פרק 29 - תרגילים נוספים לחוק לורנץ הכוח המגנטי והכוח הפועל על תיל נושא זרם

תוכן העניינים

- 175 ..... 1. חוק לורנץ
- 180 ..... 2. כוח על תיל נושא זרם

## חוק לורנץ:

### שאלות:



#### 1) ספקטוגרף המסות של דמפסטר

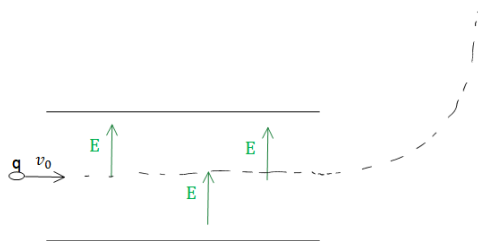
המערכת הבאה מתארת את ספקטוגרף המסות של דמפסטר. מטרתה היא להפריד בין חלקיקים בעלי מסות שונות. חלקיקים עם מטען חיובי משוחררים ממנוחה ליד לוח הקבל החיובי. החלקיקים מואצים ע"י מקור מתח  $V$  המחבר בין הלוחות. החלקיקים עוברים דרך הלוח השלילי ונכנסים לשדה מגנטי אחיד הפועל לתוך הדף. מצא את רדיוס הסיבוב כתלות במסת החלקיק.

נתונים:  $B, q, V$ .

#### 2) פרוטון בזווית

פרוטון נכנס בזווית של  $30^\circ$  מעלות לשדה מגנטי אחיד בעוצמה של  $0.15T$ . מצא את רדיוס הסיבוב של הפרוטון אם ידוע שגודל מהירותו  $V = 10^6 \frac{m}{sec}$ .

#### 3) מטען עובר קבל



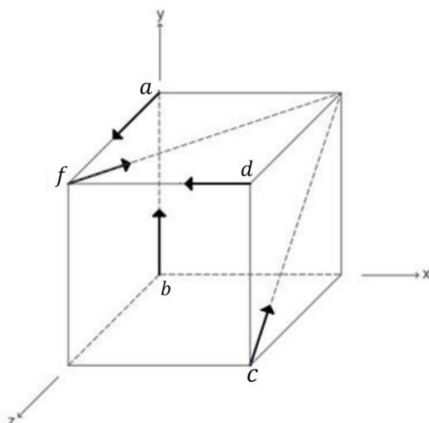
מטען נע בתוך קבל לוחות עם מהירות קבועה  $V_0$  בקו ישר ובמקביל ללוחות הקבל. בתוך הקבל (ורק בתוכו) ישנו שדה חשמלי אחיד ונתון  $E$ . כאשר המטען יוצא מהקבל הוא מבצע תנועה מעגלית כלפי מעלה. ידוע כי בכל המרחב (בתוך ומחוץ לקבל) יש שדה מגנטי אחיד אך לא ידוע מה גודלו וכיוונו. הזנח את כוח הכובד הפועל על המטען.

א. מה הסימן של המטען?

ב. מצא את כיוון וגודל השדה המגנטי.

#### 4) מצאו את הכוח על כל חלקיק

החיצים בציור מציינים מהירויות של חלקיקים חיוביים שונים. החלקיקים נמצאים בשדה מגנטי אחיד שכיוונו הוא  $\hat{x}$ . עבור כל חלקיק מצא: מהו כיוון הכוח ברגע הנתון באיור? מהי צורת המסלול?



**(5) חלקיק זז בשדה מגנטי**

חלקיק הטעון במטען  $q$  נע במהירות  $\vec{v}$  באזור בו שורר שדה מגנטי  $\vec{B} = -2\hat{x} + 3\hat{y}$  טסלה.

חשב את הכוח המגנטי שיפעל על החלקיק אם נתון:

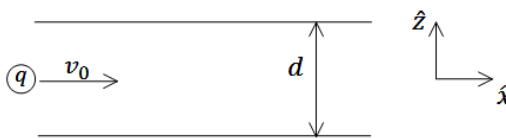
א.  $\vec{v} = 2\hat{x} + 3\hat{y}$  מטר לשניה ו- $q = 2C$

ב.  $\vec{v} = -\hat{x} + 2\hat{z}$  מטר לשניה ו- $q = -1\mu C$

**(6) מטען פוגע בלוחות קבל**

חלקיק בעל מסה  $m$  ומטען  $q > 0$  נכנס

במרכז של קבל לוחות עם מהירות  $\vec{v} = v_0\hat{x}$ . לוחות הקבל מקבילים למישור  $xy$  והמרחק ביניהם הוא  $d$ .



הקבל מחובר למקור מתח  $V$ , כאשר הלוח העליון נמצא בפוטנציאל הגבוה.

א. מצא את המרחק מקצה הלוח של הקבל בו יפגע המטען.

ב. כעת הנח שהקבל אינו מחובר למקור ואינו טעון אך במרחב קיים שדה

מגנטי אחיד  $\vec{B} = B_0\hat{y}$ .

מצא את המרחק מקצה הלוח בו יפגע המטען.

ג. לאיזה כיוון יסטה המטען אם הקבל מחובר למקור מתח ובמרחב קיים שדה מגנטי.

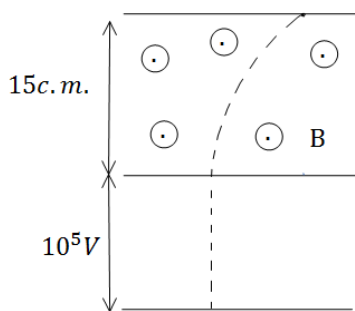
**(7) פרוטון פוגע במסך**

פרוטון מואץ בקבל הנמצא במתח של  $10^5V$ . לאחר מכן הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד לפגיעתו במסך הנמצא במרחק  $15c.m.$  מהקבל. עוצמת השדה המגנטי היא  $0.2T$ .

א. מצא את המרחק האופקי שעבר הפרוטון עד לפגיעתו במסך.

ב. מצא את הזמן עד לפגיעה במסך.

ג. מהו המתח המינימלי הדרוש על מנת שהפרוטון יפגע במסך?



**8) מטען בשדה מגנטי וחשמלי**

שדה חשמלי קיים בתחום  $x < 0$  כך שמעל ציר ה- $x$  ( $y > 0$ )

השדה הוא:  $\vec{E} = -E_0 \hat{y}$  ומתחת לציר ה- $x$  ( $y < 0$ )

השדה הוא:  $\vec{E} = E_0 \hat{y}$ , ראה שרטוט.

בכל המרחב קיים גם שדה מגנטי אחיד, שכיוונו וגודלו אינם ידועים.

חלקיק בעל מסה  $m$  ומטען  $|q|$  מגיע

מ- $x = -\infty$  ונע בקו ישר ובמהירות קבועה.

גובה המסלול של החלקיק הוא  $y = -R$ .

כאשר החלקיק חוצה את ציר ה- $y$  הוא מבצע רבע מעגל ברדיוס  $R$  (ראה ציור).

נתון:  $E_0, |q|, m, R$ .

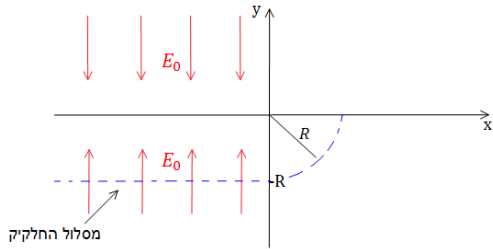
א. שרטט את המשך מסלול המטען.

ב. מה סימן המטען?

ג. מצא את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.

ד. מצא את המסה הדרושה על מנת לבצע אותו מסלול בשדה מגנטי הגדול

פי 3 מהשדה הקיים, כאשר שאר התנאים אינם משתנים.



**9) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית**

אלומות חלקיקים בעלי מסה  $m$  ומטען  $q$  נקלעות לאזור

בו שורר שדה מגנטי אחיד  $\vec{B}$  המאונך למישור הדף

במגמה פנימה. לחלקיקים אנרגיה קינטית  $E_k$  והם

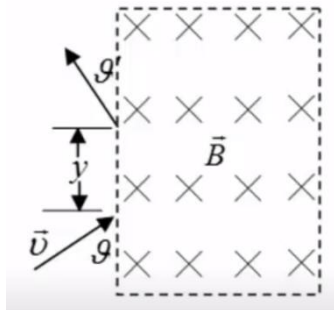
נכנסים לאזור המגנטי בזווית  $\theta$ , כמתואר בציור.

א. חשבו את המרחק האנכי  $y$  אותו יעברו

החלקיקים מנקודת כניסתם לאזור המגנטי

ועד ליציאתם ממנו.

ב. חשבו את זווית היציאה  $\theta'$  (ראו איור).



**10) עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית**

שדה מגנטי אחיד  $B$  נמצא בתחום מלבני בגודל  $a \times b$ .

מחוץ לתחום השדה הוא אפס. כיוון השדה החוצה מהדף.

מטען  $|q|$  נכנס לתחום המלבני בדיוק במרכז המלבן,

במהירות שגודלה  $v$  וכיוונה מאונך לשפת המלבן

(ראה איור).

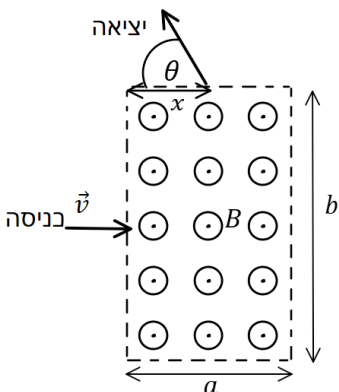
ידוע שהמטען יוצא מהצלע העליונה של המלבן.

א. מהו סימן המטען? ומהו גודל מהירותו ביציאה?

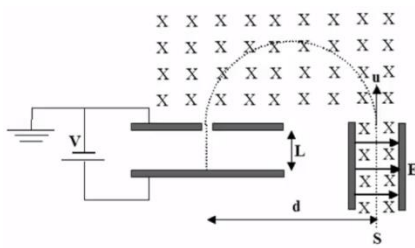
ב. מהו המרחק  $x$  מקצה המלבן בו יוצא המטען?

ג. מהי הזווית  $\theta$  של וקטור המהירות ביציאה ביחס

לצלע המלבן?



**11) בורר מהירויות ומתח עצירה**



חלקיקים בעלי מטען  $+q$  ומסה  $m$  נפלטים ממקור  $S$  במהירויות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל.

בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד  $\vec{E}$  וכיוונו ימינה ושדה מגנטי אחיד  $\vec{B}$  והמכוון אל תוך הדף, כמוראה בתרשים.

השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל.

במרחק  $d$  מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל, נמצא נקב קטן דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקבל השני מופעל מתח עצירה  $V$ . ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו  $L$ . ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על החלקיקים.

נתונים:  $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$ .

- א. באיזו מהירות  $v$  יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?
- ב. מהו המרחק  $d$  (ראה ציור)?
- ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?
- ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר  $V$  המופעל על הקבל השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?
- ה. מחברים את הקבל השני לסוללה שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

## תשובות סופיות:

$$R = \sqrt{\frac{2V}{qB^2}} \cdot \sqrt{m} \quad (1)$$

$$R \approx 3.48 \cdot 10^{-2} m \quad (2)$$

$$B \odot, B = \frac{E}{V} \quad \text{ב. א. שלילי} \quad (3)$$

$$\vec{F}_a = qvB\hat{y}, \vec{F}_b = qvB(-\hat{z}), \vec{F}_c = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y} - \hat{z}), \vec{F}_d = 0, \vec{F}_f = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y}) \quad (4)$$

$\vec{F}_a$ : מעגל אנכי במישור  $yz$ ,  $\vec{F}_b$ : מעגל אנכי במישור  $yz$ ,  $\vec{F}_c$ : מעגל אנכי במישור  $yz$  שמתקדמת סביב ציר  $x$ .

$$\vec{F} = 24N\hat{z} \quad \text{א.} \quad \vec{F} = (6\hat{x} + 4\hat{y} + 3\hat{z})\mu N \quad \text{ב.} \quad (5)$$

$$x = V_0 \sqrt{\frac{md^2}{qV}} \quad \text{א.} \quad x^2 = R^2 - \left(R - \frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{ב.} \quad (6)$$

$$\varepsilon F_z = q \left( V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) > 0 \quad \text{ג. המטען יסטה למעלה אם:}$$

$$\varepsilon F_z = q \left( V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) < 0 \quad \text{המטען יסטה למטה אם:}$$

$$V = 4.312 \cdot 10^4 V \quad \text{ג.} \quad t = 3.371 \text{ sec} \quad \text{ב.} \quad \Delta x = 0.0315 \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$V = \sqrt{\frac{qRE_0}{m}}, \vec{B} = \sqrt{\frac{mE_0}{qR}} \hat{z} \quad \text{ג.} \quad \text{sign}(q) = -1 \quad \text{ב.} \quad \text{א. ראה סרטון} \quad (8)$$

$$m_2 = qm_1 \quad \text{ד.}$$

$$y = \frac{\sqrt{8mE_k \sin \vartheta}}{Bq} \quad \text{א.} \quad \vartheta' = \vartheta \quad \text{ב.} \quad (9)$$

(10) א. אם כיוון הכוח הפוך לכיוון המכפלה  $\vec{V} \times \vec{B}$  אז המטען שלילי.  $\vec{F}$  תמיד מאונך ל- $\vec{V}$  ול- $\vec{B}$  לכן ה- $\vec{F}_B$  אף פעם לא ישנה את גודל המהירות, רק את הכיוון ( $V$  כניסה =  $V$  יציאה).

$$\cos \theta = \frac{b}{2R} - 1 \quad \text{ג.} \quad x = \sqrt{b \left( \frac{b}{4} - \frac{mV}{qB} \right)} \quad \text{ב.}$$

$$\frac{2BL}{E} \quad \text{ה.} \quad \frac{mE^2}{2qB^2} \quad \text{ד.} \quad \frac{\pi m}{qB} \quad \text{ג.} \quad \frac{2mE}{qB^2} \quad \text{ב.} \quad \frac{E}{B} \quad \text{א.} \quad (11)$$

## כוח על תיל נושא זרם:

רקע:

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך  $dl$  עם זרם  $I$  הנמצאת בשדה מגנטי  $B$  הוא:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

גודל הכוח הפועל על תיל ישר בשדה אחיד הוא:

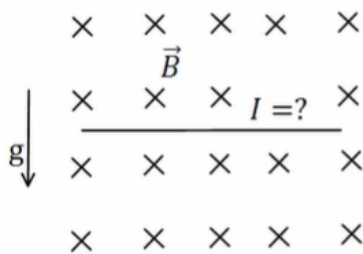
$$F = BIL \sin \alpha$$

את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- $dl$ ) מחליף את המהירות.

הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.

הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה לכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

### שאלות:



(1) **דוגמה-תיל מרחף**  
תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד  $B = 10^{-2} T$  לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך היא:

$$\lambda = 20 \frac{gr}{c.m}$$

מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל כך שהתיל ירחף באוויר?

(2) **דוגמה-מסגרת מלבנית בשדה לא אחיד**

מסגרת מלבנית בעלת צלעות  $a$ ,  $b$  נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף. גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.

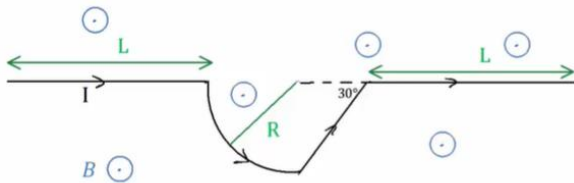
המסגרת מונחת כך שחלק מהמסגרת נמצא בשדה  $B_1 = 4T$

והחלק השני נמצא בשדה  $B_2 = 3T$ .

במסגרת זורם זרם  $I = 2A$  עם כיוון השעון. נתון:  $a = 0.5m$ . מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת:

**(3) כוח על תיל מכופף**

תיל הנושא זרם  $I$  מכופף כפי שנראה באיור. החלק העגול הוא רבע מעגל בעל רדיוס  $R$ .



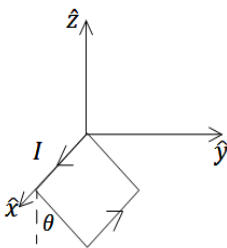
בכל המרחב יש שדה מגנטי אחיד  $B$  החוצה מהדף. מצא את הכוח השקול על התיל אם  $L, I, B, R$  נתונים.

**(4) כוח על תיל מכופף עם חלוקה לחתיכות**

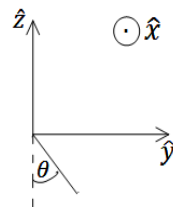
הנח נתונים זהים לשאלה קודמת. מצא את הכוח השקול על התיל ע"י חלוקה לחתיכות, חישוב הכוח ע"י כל חתיכה בנפרד וסכימה.

**(5) לולאה תלויה**

לולאה ריבועית בעלת צלע  $a$  ומסה  $m$  תלויה על ציר ה- $x$  (הצלע שנמצאת על הציר מקובעת לציר) ויכולה להסתובב סביבו. בלולאה זורם זרם  $I$  כך שהזרם בצלע שנמצאת על ציר ה- $x$  חיובי (זורם בכיוון ציר ה- $x$ ).



מבט תלת מימדי



מבט דו-מימדי

- א. מצא את גודל השדה המגנטי שדרוש להפעיל בכיוון ציר ה- $z$  על מנת שהלולאה תתייצב במנוחה בזווית  $\theta$  ביחס לציר ה- $z$ .
- ב. מצא את גודל השדה המגנטי שדרוש להפעיל בכיוון ציר ה- $y$  על מנת שהלולאה תתייצב במנוחה בזווית  $\theta$  ביחס לציר ה- $z$ .

**(6) כוח על לולאה סגורה**

הראו כי:

- א. הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד הניצב למישור הלולאה מתאפס.
- ב. הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד המקביל למישור הלולאה מתאפס.
- ג. הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד מתאפס.

ד. הכוח המגנטי על לולאת זרם סגורה בעלת כל צורה שהיא בשדה אחיד מתאפס.

**(7) לולאה בצורת חצי גליל ותיל אינסופי - סמי שמעון**

- לולאה מורכבת משני חצאי עיגול מקבילים ושני קווים ישרים מקבילים כך שנוצרת השפה של חצי גליל, ראו איור. תיל אינסופי עובר לאורך ציר הסימטריה של גליל. רדיוס חצאי העיגול הוא  $R$  ואורך הקווים הישרים הוא  $h$ . בלולאה ובתיל זורמים הזרמים  $I_1$  ו- $I_2$  וכיונם מתואר באיור.
- א. חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל חצי מעגל של הלולאה.
- ב. חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל אחד מהקווים הישרים (גודל וכיוון).
- ג. מה הכוח השקול שמפעיל התיל על הלולאה?

**תשובות סופיות:**

(1)  $I = 2 \cdot 10^3 \text{ A}$ , ימינה.

(2)  $F = 1 \text{ N}$ , ימינה.

(3)  $F = BI(2L + (1 + \sqrt{3})R)$

(4)  $F_x = 0, F_y = IB(2L + (1 + \sqrt{3})R)(-1)\hat{y}$

(5) א.  $B = \frac{mg}{2aI} \tan \theta \hat{z}$  . ב.  $B = -\frac{mg}{2aI} \hat{y}$

(6) שאלת הוכחה.

(7) א. 0. ב. עבור שניהם, שמאלה,  $\frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{2\pi R}$  ג. שמאלה,  $\frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{\pi R}$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 30 - חוק פארדיי

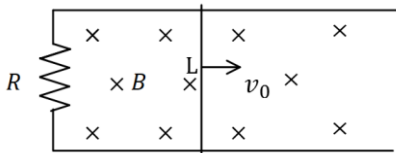
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים ..... 184

## הרצאות ותרגילים:

### שאלות:

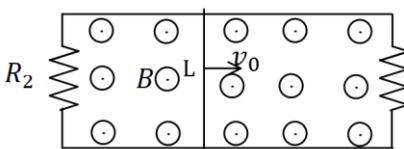
#### (1) מוט נע על מסילה



מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן. בקצה המסילה ישנו נגד  $R$ . מהירות המוט היא  $v_0$  ואורכו  $L$ . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף  $B$ .

- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- מהו הכוח המגנטי הפועל על המוט?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

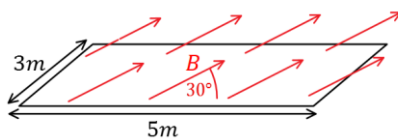
#### (2) המסילה מחוברת משני הצדדים



מוט מוליך נע על מסילה, העשויה ממוליכים גם כן. בשני קצוות המסילה ישנם נגדים:  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 3\Omega$ . מהירות המוט היא:  $v_0 = 5 \frac{m}{sec}$  ואורכו:  $L = 20cm$ . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד החוצה מהדף  $B = 1T$ .

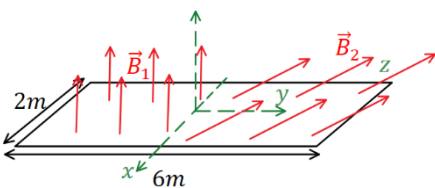
- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בכל נגד ובמוט (גודל וכיוון)?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

#### (3) חישוב שטף אחיד



באיור הבא נתון כי השדה המגנטי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד). גודלו הוא  $B = 2T$  והזווית בינו למשטח היא  $30^\circ$ . אורך המשטח הוא  $5m$  ורוחבו הוא  $3m$ . מצא מהו השטף דרך המשטח.

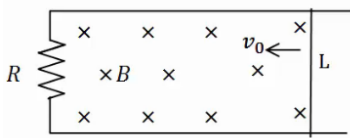
#### (4) חישוב שטף מפוצל



באיור הבא נתון משטח המונח על מישור  $xy$ . אורך המשטח הוא  $6m$  ורוחבו הוא  $2m$ . השדה המגנטי בחציו השמאלי של המשטח הוא:  $\vec{B}_1 = 2T\hat{z}$ , שדה אחיד. בחציו הימני של המשטח השדה הוא:  $\vec{B}_2 = 7T\hat{y} + 3T\hat{z}$ . מצא מהו השטף דרך המשטח.

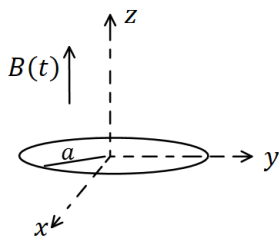
**(5) עוד מוט ומסילה**

מוט מוליך נע על מסילה העשויה ממוליכים גם כן. בקצה המסילה ישנו נגד  $R$ , מהירות המוט היא  $v_0$  ואורכו  $L$ . במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד לתוך הדף  $B$ .



- א. מהו הכא"מ במעגל לפי חוק פארדיי (גודל וכיוון)?
- ב. מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- ג. חשב את הכא"מ לפי הנוסחה של כא"מ במוט ומצא את כיוון הזרם. הראה שהתוצאה זהה.

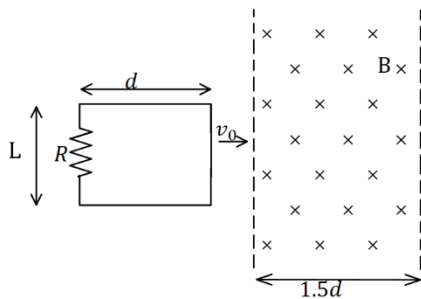
**(6) טבעת ושדה משתנה בזמן**



טבעת עשויה מחומר מוליך מונחת על מישור  $xy$ . רדיוס הטבעת הוא  $a$  והתנגדותה הכוללת  $R$ . בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד בכיוון  $z$ , המשתנה בזמן לפי הנוסחה  $B(t) = \alpha t$  כאשר  $\alpha$  קבועה.

- א. מצא את הכא"מ בטבעת.
- ב. מהו הזרם בטבעת גודל וכיוון.

**(7) מסגרת נכנסת לשדה**



מסגרת מלבנית בעלת אורך  $d$  ורוחב  $L$ , נעה במהירות קבועה  $v_0$ , לכיוון אזור בו שורר שדה מגנטי אחיד  $B$ . אורך האזור הוא  $1.5d$  ורוחבו ארוך מאוד. למסגרת התנגדות כוללת  $R$ . הנח כי ב- $t = 0$  הצלע הימנית של המסגרת נכנסת לאזור עם השדה.

- א. מצא את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).
- ב. מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון(כתלות בזמן).
- ג. מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת, על מנת שתנוע במהירות קבועה.
- ד. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?

## תשובות סופיות:

$$(1) \quad \varepsilon = BLv_0 \quad \text{א.} \quad \text{ב. נגד כיוון השעון,} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad F = \frac{B^2L^2v_0}{R}$$

$$F = \frac{B^2L^2v_0}{R} \quad \text{ד.}$$

$$(2) \quad \varepsilon = 1V \quad \text{א.} \quad \text{ב.} \quad I_1 = 0.5A, I_2 = \frac{1}{3}A, I_3 = \frac{5}{6}A \quad \text{ג.} \quad F = \frac{1}{6}N$$

$$\phi_B = 15T \cdot m^2 \quad (3)$$

$$\phi_B = 30T \cdot m^2 \quad (4)$$

$$(5) \quad \text{א. עם כיוון השעון,} \quad |\varepsilon| = |BLv_0| \quad \text{ב.} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad \varepsilon = BLv_0$$

$$(6) \quad \text{א.} \quad |\varepsilon| = \alpha\pi a^2 \quad \text{ב.} \quad I = \frac{\alpha\pi a^2}{R}$$

$$(7) \quad \varepsilon = \begin{cases} -BLv_0 & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ BLv_0 & 1.5d < x < 2.5d \end{cases}$$

$$I = \begin{cases} \frac{BLv_0}{R} \text{ anticlockwise} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{BLv_0}{R} \text{ clockwise} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases}$$

$$P = I^2R = \begin{cases} \frac{B^2L^2v_0}{R} \\ \frac{B^2L^2v_0}{R^2} \end{cases} \quad \text{ד.}$$

$$\vec{F} = \begin{cases} \frac{B^2L^2v_0}{R} \hat{x} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{B^2L^2v_0}{R} \hat{x} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ה.}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 31 - השראות

תוכן העניינים

187 ..... 1. השראות עצמית

## השראות עצמית:

רקע:

ההשראות ברכיב:

$$L = \frac{\Phi_B}{I}$$

כאשר  $\Phi_B$  הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו-  $I$  הוא הזרם ברכיב.  
 - ההשראות היא תכונה שתלויה רק במבנה ולכן היא בדי"כ קבועה.

חישוב השראות לפי הגדרה:

1. נניח שזורם זרם  $I$  ברכיב.
2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.

השראות של סליל:

$$L = \frac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{l}$$

כאשר  $N$  מספר הליפופים הכולל,  $l$  אורך הסליל ו-  $a$  רדיוס טבעת.  
 כא"מ ברכיב עם השראות  $L$ :

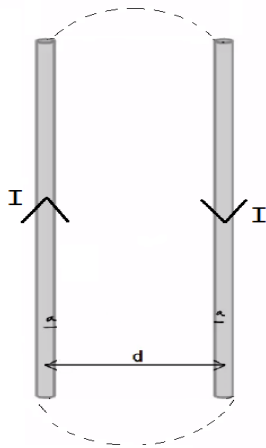
$$\varepsilon = -L\dot{I}$$

האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

$$U_L = \frac{1}{2} LI^2$$

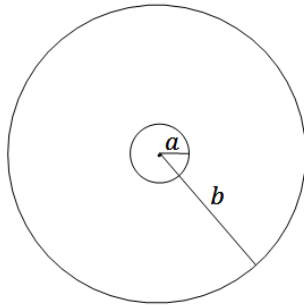
**שאלות:**

**(1) שני תיילים ארוכים**



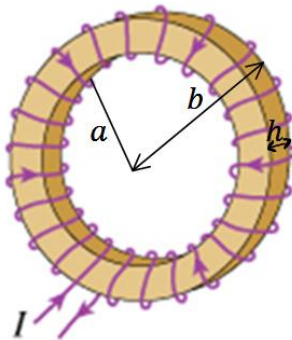
נתונים שני תיילים מאוד ארוכים שהמרחק ביניהם הוא  $d$ . רדיוס כל אחד מהתיילים הוא  $a$  ונתון שהתיילים מחוברים ביניהם באינסוף. נתון זרם  $I$  במערכת. הנח כי  $d \gg a$  והתיילים אינם משפיעים אחד על השני. חשבו השראות של המערכת ליחידת אורך. ניתן להזניח את השדה בתוך התיילים.

**(2) השראות בכבל קואקסיאלי**



כבל קו אקסיאלי מורכב מתיל פנימי ברדיוס  $a$  ומעטפת דקה ברדיוס  $b$ . התיל והמעטפת באורך  $l \gg a, b$ . בתיל הפנימי זורם זרם  $I$  נתון, ובמעטפת זורם זרם זהה בכיוון ההפוך. מצאו את ההשראות העצמית ליחידת אורך של המערכת. הזנח את השדה המגנטי בתוך התיל הפנימי.

**(3) השראות בטורואיד**



בתמונה נתון טורואיד. הרדיוס הפנימי של הטורואיד הוא  $a$  והחיצוני  $b$ . גובה (או עובי) הטורואיד הוא  $h$  ומספר הליפופים  $N$ . א. מצאו את ההשראות של הטורואיד. ב. מצאו את האנרגיה האגורה בטורואיד אם זורם בו זרם  $I$ .

**תשובות סופיות:**

$$L = \frac{l\mu_0}{\pi} \ln \frac{d-a}{a} \quad (1)$$

$$\frac{L}{l} = \frac{\mu_0 \ln \frac{b}{a}}{2\pi} \quad (2)$$

$$L = \frac{\mu_0 N^2 h \ln \frac{b}{a}}{2\pi} \quad (3) \quad \text{א.}$$

$$U_L = \frac{1}{2} LI^2 \quad \text{ב.}$$

## מעגלי RL:

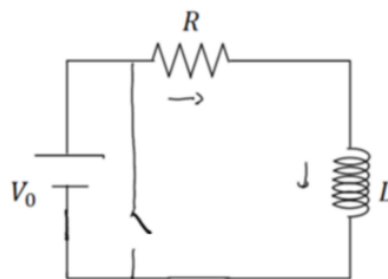
**רקע:**

המתח על סליל (משרן) במעגל:

$$V_L = L\dot{I}$$

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

**טעינה:**



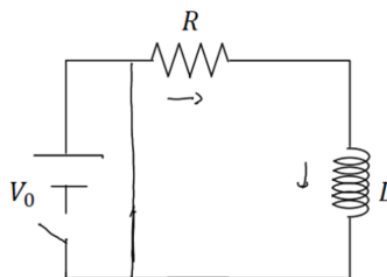
$$V_0 - IR - L\dot{I} = 0$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

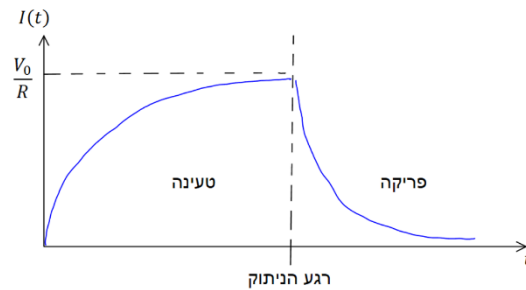
סליל (משרן) בהתחלה מתנהג כמו נתק ולאחר זמן רב כמו קצר.

**פריקה:**



$$-IR - L\dot{I} = 0$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$



**חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים :**

בטור :

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots$$

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots$$

$$I_T = I_1 = I_2 = \dots$$

במקביל :

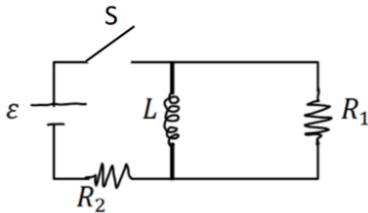
$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$

$$V_T = V_1 = V_2 = \dots$$

$$I_T = I_1 + I_2 + \dots$$

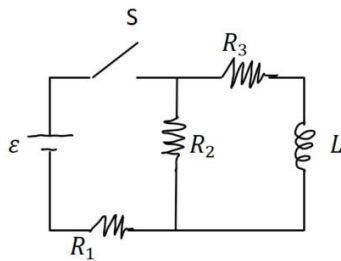
**שאלות:**

**(1) תרגיל 1 ב-RL**



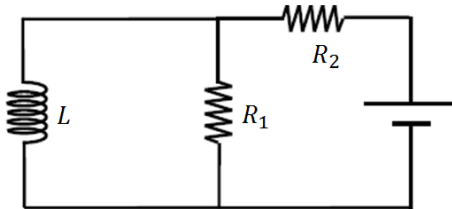
- במעגל הבא המפסק סגור זמן רב, התנגדות הנגדים והשראות הסליל נתונה.  
 א. מצאו את הזרם בכל נגד ואת הזרם בסליל.  
 ב. פותחים את המפסק, מהו הזרם ברגע פתיחת המפסק ולאחר זמן רב?  
 ג. מהו הזרם כתלות בזמן לאחר פתיחת המפסק?

**(2) תרגיל 2 ב-RL**



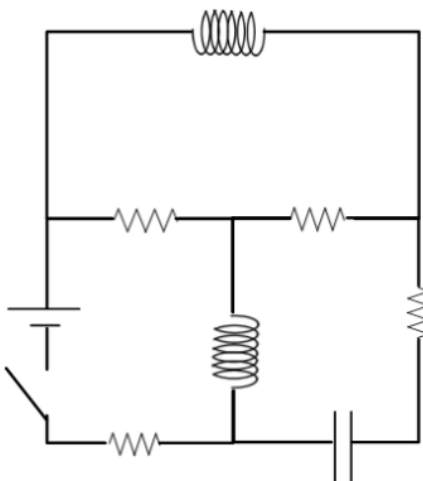
- במעגל הבא מתקיים:  
 $\varepsilon = 5V, R_1 = 100\Omega, R_2 = 200\Omega, R_3 = 300\Omega, L = 30mH$   
 א. מה המתח שמייצר הסליל עם סגירת המפסק?  
 ב. מה הזרם בכל נגד לאחר זמן רב?  
 ג. מהו קבוע הזמן של המעגל?

**(3) תרגיל 3 ב-RL**



- במעגל הבא נתון כא"מ המקור, התנגדות הנגדים והשראות הסליל.  
 מצאו את הזרם בסליל כפונקציה של הזמן אם  $\varepsilon$  נתון שהזרם בו שווה לאפס ב- $t=0$ .

**(4) תרגיל 4 ב-RL**



- במעגל הבא התנגדות כל הנגדים היא R ומתח הסוללה הוא V (R ו-V נתונים).  
 א. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג (הניחו שהקבל אינו טעון ואין זרמים במעגל לפני סגירת המתג).  
 ב. מצאו את הזרם בסוללה ובסלילים לאחר זמן רב. מהו המתח על הקבל?  
 ג. חזרו על סעיפים א ו-ב אם במקום כל סליל היה קבל ובמקום הקבל היה סליל.

## תשובות סופיות:

$$I_L(0) = I_1 = \frac{\varepsilon}{R_2}, \quad I_L(\infty) = 0 \quad \text{ב.} \quad I_L = I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2}, \quad I_1 = 0 \quad \text{א. (1)}$$

$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R_2} e^{-\frac{t}{\frac{R_1}{L}}} \quad \text{ג.}$$

$$I_1 = 22.7\text{mA}, \quad I_2 = 13.6\text{mA}, \quad I_3 = 9.09\text{mA} \quad \text{ב.}$$

$$V_L = 3.3\text{V} \quad \text{א. (2)}$$

$$\tau = 81.7\mu\text{s} \quad \text{ג.}$$

$$I_3(t) = \frac{\varepsilon}{R_2} \left( 1 - e^{-\frac{R_1}{L}t} \right) \quad \text{א. (3)}$$

$$\frac{V}{4R} \quad \text{א. (4)}$$

$$\text{ב. סוללה: } I = \frac{2V}{3R}, \quad \text{סליל עליון: } I = \frac{V}{3R}, \quad \text{סליל תחתון: } I = \frac{2V}{3R}, \quad \text{קבל: } V = \frac{V}{3}$$

$$\text{ג. א: } I = \frac{2V}{3R}, \quad \text{ב: סוללה: } I = \frac{V}{4R}, \quad \text{סליל: } I = \frac{V}{4R}, \quad \text{קבל עליון: } V = \frac{V}{2},$$

$$\text{קבל תחתון: } V = \frac{V}{2}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 32 - משוואות מקסוואל

תוכן העניינים

1. המשוואות והמעברים ..... 193

## המשוואות והמעברים:

רקע:

משוואות מקסוואל:

הערות	הצורה האינטגרלית	הצורה הדיפרנציאלית	
חוק גאוס	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dV$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$	1
השטף המגנטי על משטח סגור תמיד = מתאפס = אין מטען מגנטי	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	2
מהמשוואה ניתן לקבל את חוק פארדי $\epsilon = -\phi_B$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s}$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$	3
חוק אמפר והתיקון של מקסוואל (שנקרא גם זרם העתקה)	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \int \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \cdot d\vec{s}$	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$	4

## שאלות:

## (1) שדה מגנטי רדיאלי והיקפי מתאפסים

באזור מסוים במרחב נתון כי ישנו שדה מגנטי בכיוון ציר  $z$  בעל סימטריה גלילית. כמו כן נתון כי אין זרמים באזור זה. הראו כי  $B_r$  ו- $B_\theta$  מתאפסים.

## (2) מסגרת נעה בשדה מגנטי

שדה מגנטי בתחום המרחבי:  $x > 0$  נתון בביטוי:

$$\vec{B}(x, y, z) = 4A\mu_0 \frac{z\hat{x} - (x+2l)\hat{z}}{(x+2l)^2 + z^2}$$

כאשר  $A$  קבוע נתון. מסילה ריבועית שאורך הצלע שלה  $l$  מונחת במישור:  $z = 0$ . ב- $t = 0$  מרכז המסילה נמצא בנקודה  $(2l, 0, 0)$ . ההתנגדות החשמלית של המסילה היא  $R$ . מושכים את המסילה במהירות קבועה  $v$  בכיוון החיובי של ציר ה- $x$ .

א. חשבו את צפיפות הזרם במרחב בתחום:  $x > 0$ .

ב. חשבו באופן מפורש את  $\nabla \cdot \vec{B}$ , האם התוצאה שקיבלתם הגיונית?

ג. מהו גול וכיוון הזרם במסילה כפונקציה של הזמן?

## תשובות סופיות:

(1) הוכחה בסרטון.

(2) א. 0, ב. כן, דיב  $B$  שווה אפס לפי המשוואה השנייה של מקסוול

ג. עם השעון, 
$$\frac{4l^2 A\mu_0 V}{\left(Vt + \frac{9}{2}l\right)\left(Vt + \frac{7}{2}l\right)R}$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 33 - גלים אלקטרומגנטיים

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים ..... 195

## הסברים ותרגילים:

רקע:


ממשוואות מקסוול למשוואות הגלים בריק ( $\rho = J = 0$ ):

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{B}}{dt^2}$$

$\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{c^2}$  - מהירות האור

המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2}$$


$$\vec{\nabla}^2 E_x = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 E_x}{dt^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 E_y = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 E_y}{dt^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 E_z = \frac{1}{c^2} \frac{d^2 E_z}{dt^2}$$

תזכורת ללאפליסיאן:

$$\vec{\nabla}^2 E_i = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2}$$

פתרון המשוואה עבור רכיב כלשהו של  $\vec{E}$  או של  $\vec{B}$ :

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$

$\vec{k} = (k_x, k_y, k_z)$  - וקטור הגל, כיוונו הוא כיוון התקדמות הגל

$$\vec{k} \cdot \vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$$

$\omega$  - התדירות הזוויתית

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

f - התדירות בהרץ

T - זמן המחזור

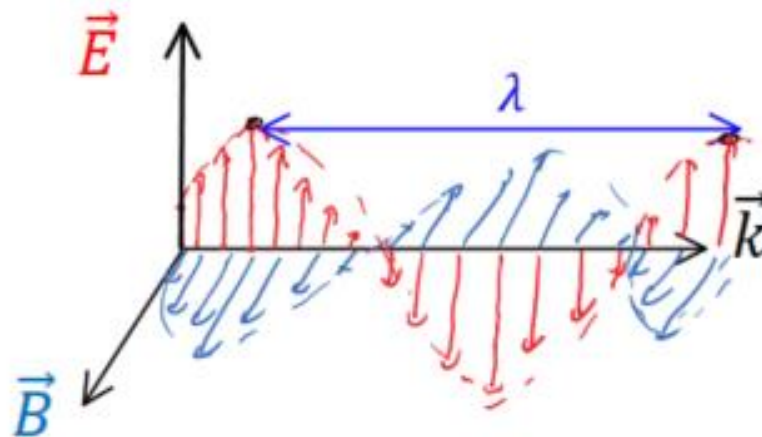
הקוסינוס בפתרון זהה לכל הרכיבים של השדה החשמלי והמגנטי, ההבדל בין הרכיבים הוא רק במקדם  $A_i$

איך למצא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך:

$$\vec{B} = \frac{1}{c} \hat{k} \times \vec{E}$$

$$\vec{E} = c\vec{B} \times \hat{k}$$

צורת הגל במרחב:



$\lambda$  - אורך הגל, המרחק בין שיא לשיא:

$$|k| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

יחס הדיספרסיה:

$$\omega = c|k|$$

היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואת הגלים

השדה החשמלי תמיד מאונך לשדה המגנטי ושניהם תמיד מאונכים לכיוון התקדמות הגל.

פתרון נוסף:

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t)$$

במקרה הזה הגל מתקדם בכיוון הפוך ל  $-\vec{k}$

## שאלות:

## 1 תרגיל (1)

נתון השדה המגנטי:  $\vec{B} = B_0 \cos(Ax - 2Ay - \omega t) \hat{z}$ .

- מצא את וקטור הגל של השדה?
- הבא את התדירות באמצעות הפרמטר  $A$ .
- מצא את השדה החשמלי?
- מה הכוח הפועל על מטען  $Q$  הנמצא בראשית עם מהירות  $\vec{v} = v_0 \hat{x}$  ב- $t = 0$ ?
- מצא את הוקטור פויטינג?

## 2 מצא שדה מגנטי (2)

השדה החשמלי בגל אלקטרו מגנטי נתון לפי:  $\vec{E} = E_0 (1, 1, 2) e^{i(2x - z - \omega t)}$ . מצא את השדה המגנטי.

## 3 גל עומד (3)

משוואת הגלים בצורה כללית היא:  $\nabla^2 \phi = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$  כאשר  $\phi$  היא פונקציית הגל

במרחב ו- $v$  היא מהירות הגל  $\left(v = \frac{\omega}{k}\right)$ . במקרה של גלים אלקטרו מגנטיים  $\phi$

תהיה הפונקציה של השדה החשמלי או המגנטי,  $v = c$ .

א. הראה שהפונקציה  $\phi(x, t) = A \cos(kx) \sin(\omega t)$  מקיימת את משוואת

הגלים ולכן היא פתרון אפשרי למשוואה.

ב. פתרון דלמבר למשוואת הגלים אומר שכל פתרון צריך להיות

מהצורה  $f(x - vt) + g(x + vt)$ , כאשר  $f$  ו- $g$  הם פונקציות כלשהן.

הראה שהפונקציה מסעיף א' היא גם פיתרון מהצורה הכללית של

הפתרון של דלמבר.

רמז: השתמש בזהויות טריגונומטריות.

## 4 תרגיל (4)

השדה החשמלי של גל אלקטרו מגנטי המתפשט בריק בכיוון  $x$  נתון לפי:

$$\vec{E} = E_0 e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} \hat{y} + E_0 e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} \hat{z}$$

כאשר  $E_0$  ו- $a$  הם קבועים חיוביים.

- מהו השדה המגנטי של הגל?
- הראו כי השדה המגנטי מאונך לשדה החשמלי.
- כתבו ביטוי לצפיפות האנרגיה של הגל.

## תשובות סופיות:

$$\omega = C \cdot A \cdot \sqrt{S} \quad \text{ב.} \quad \vec{k} = (A, -2A, 0) \quad \text{א.} \quad (1)$$

$$\vec{E} = +C^2 2AB_0 \cos(Ax - 2Ay - \omega t) \cdot \frac{1}{+\omega} \hat{x} + C^2 2AB_0 \cos(Ax - 2Ay - \omega t) \cdot \frac{1}{+\omega} \hat{y} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{S} \cdot \vec{E} = 0 \quad \text{ה.} \quad \vec{F} = Q \left( \frac{C^2 AB_0}{\omega} (2\hat{x} + \hat{y}) + V_0 B_0 (-\hat{y}) \right) \quad \text{ד.}$$

$$\vec{B} = \frac{E_0}{\sqrt{5}c} (1, -5, 2) e^{i(2x - z - \omega t)} \quad (2)$$

שאלת הוכחה. (3)

$$2\varepsilon_0 E_0^2 e^{-2\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} \quad \text{ג.} \quad \text{א.} \quad \frac{E_0}{c} e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2} (\hat{z} - \hat{y}) \quad \text{ב. הוכחה.} \quad (4)$$

# פיזיקה כללית 2 לרוקחות 77134

פרק 34 - מעגלי זרם חילופין

תוכן העניינים

1. מעגלי זרם חילופין.....199

## מעגלי LC ו-RLC:

רקע:

### מעגל LC:

משוואות המעגל:

$$I = -\dot{q} - \frac{q}{C} + L\ddot{q} = 0$$

(ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית פשוטה.

פתרון:

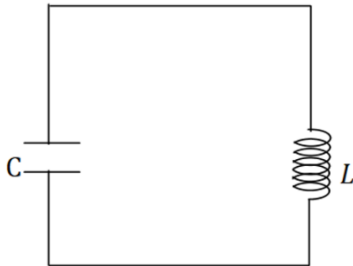
$$q(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \text{ כאשר}$$

האנרגיה האגורה במעגל:

$$E = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2$$

(האנרגיה הכוללת נשמרת)



### מעגל RLC:

משוואת המעגל:

$$I = -\dot{q} - \ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$$

(ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מרוסנת.

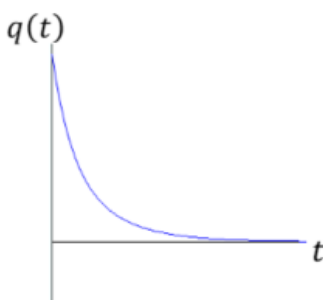
$$\Gamma = \frac{R}{2L} \text{ ו- } \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \text{ נגדיר}$$

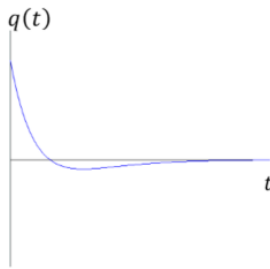
הפתרון מתחלק לשלושה מקרים:

מקרה 1 - ריסון חזק:  $\Gamma > \omega_0$

$$q(t) = Ae^{-\lambda_1 t} + Be^{-\lambda_2 t}$$

$$\lambda_{1,2} = \Gamma \pm \sqrt{\Gamma^2 - \omega_0^2}$$



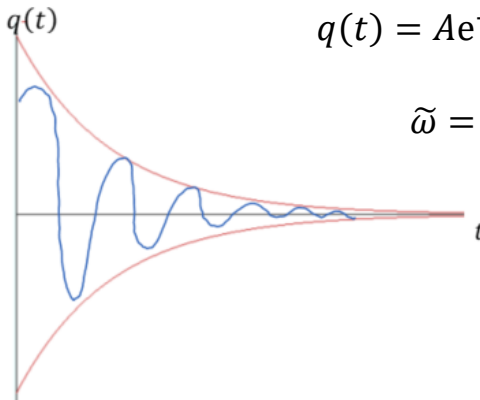


מקרה 2 - ריסון קריטי:  $\Gamma = \omega_0$

$$q(t) = Ae^{-\omega_0 t} + Bte^{-\omega_0 t}$$

בריסון קריטי קצב הדעיכה הוא הגבוה ביותר משלושת המקרים.

מקרה 3 - ריסון חלש:  $\Gamma < \omega_0$



$$q(t) = Ae^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega}t + \varphi)$$

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \Gamma^2}$$

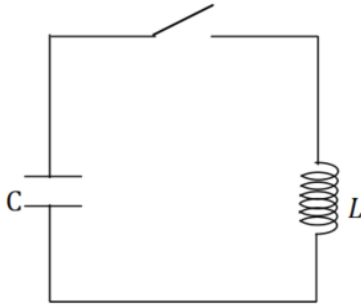
בכל המקרים האנרגיה של המעגל (שאגורה בסליל ובקבל) דועכת בקצב כפול.

$$E \propto e^{-2\Gamma t}$$

(בריסון חזק קבוע הדעיכה הוא  $\lambda$  במקום  $\Gamma$ )

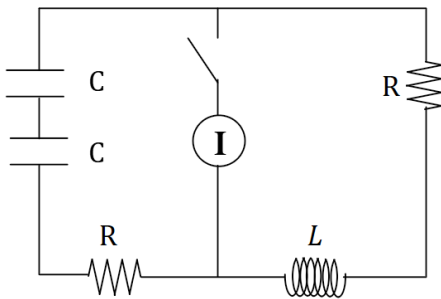
## שאלות:

## (1) LC



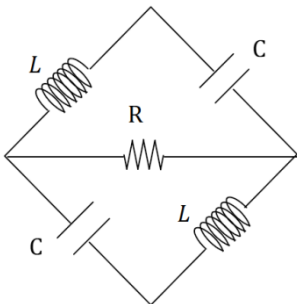
- במעגל הבא  $C = 100\mu\text{F}$  ו- $L = 40\text{mH}$ .  
 בהתחלה המתג פתוח והקבל טעון ב- $12\mu\text{C}$ .  
 א. מה הזרם במעגל ברגע סגירת המתג?  
 ב. מהי התדירות וזמן המחזור של המעגל?  
 ג. מתי הזרם מקסימאלי?  
 ד. מהי האנרגיה בסליל כתלות בזמן?  
 מהי האנרגיה בקבל כתלות בזמן?  
 ומהי האנרגיה הכוללת כתלות בזמן?

## (2) RLC עם מקור זרם



- במעגל הבא ישנו מקור המספק זרם קבוע.  
 ברגע  $t=0$  סוגרים את המפסק.  
 א. מהם הזרמים במעגל כתלות בזמן אם ידוע ש- $R^2C < 2L$ ?  
 ב. מצא את המתח כתלות בזמן של המקור.

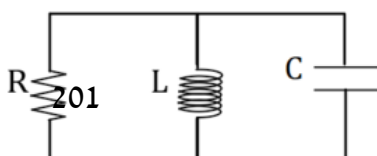
## (3) מעגל RLC יהלום



- במעגל הבא הקבל העליון טעון ב- $t=0$  במטען  $Q$  והקבל התחתון פרוק.  
 באותו הזמן גם אין זרם במעגל.  
 א. כתוב את המשוואות הדיפרנציאליות עבור ההתפתחות בזמן של המטען על כל אחד מהקבלים.  
 ב. פתור את המשוואות בצורה כללית (אין צורך להציב את תנאי ההתחלה).  
 הדרכה: בצע החלפת משתנים ל- $q_+ = q_1 + q_2$  ו- $q_- = q_1 - q_2$ .  
 ג. מהם הזרמים בנגד ובקבל לאחר זמן רב? כמה אנרגיה תהפוך לחום מ- $t=0$  ועד זמן רב מאוד?

## (4) סליל נגד וקבל במקביל

- קבל בעל קיבול  $C$ , סליל בעל השראות  $L$  ונגד  $R$  מחוברים במקביל.



- א. נתון כי ב- $t=0$  המטען על הקבל הוא  $q_0$ .  
 הראו כי המטען על הקבל כתלות בזמן  
 מקיים את המשוואה:  $\ddot{q} + \frac{\dot{q}}{RC} + \frac{q}{LC} = 0$ .
- ב. הראו כי  $q(t) = q_0 e^{-\alpha t} \cos(\omega t)$  הוא פתרון  
 למשוואה ומצאו מה הערכים של  $\alpha$  ו- $\omega$  כפונקציה של  $L, R$  ו- $C$ .
- ג. הראו כי אם אמפליטודת המטען במעגל יורדת לחצי לאחר  $n$  מחזורים  
 אז:  $\frac{\sqrt{\omega_0^2 - \omega^2}}{\omega} = \frac{\ln 2}{2\pi n}$  כאשר  $\omega_0$  היא תדירות התהודה של המעגל.

## מעגלים עם מקור מתח חילופין

רקע:

משוואת המעגל:

$$I = \dot{q} - \ddot{I} + \frac{R}{L} \dot{I} + \frac{1}{LC} I = -\omega V_0 \sin(\omega t)$$

(ניתן גם להגיע למשוואה דומה עבור המטען)

המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מאולצת.

פתרון המשוואה:

$$I(t) = I_{max}(\omega) \cos(\omega t + \varphi) + \text{פתרון הומוגני}$$

הפתרון ההומוגני הוא הפתרון של מעגל RLC והוא דועך בזמן.

הפתרון הפרטי נקרא הפתרון של המצב העמיד (לאחר זמן רב) בד"כ מתייחסים רק אליו.

$$I_{max}(\omega) = \frac{V_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2 + R^2}}$$

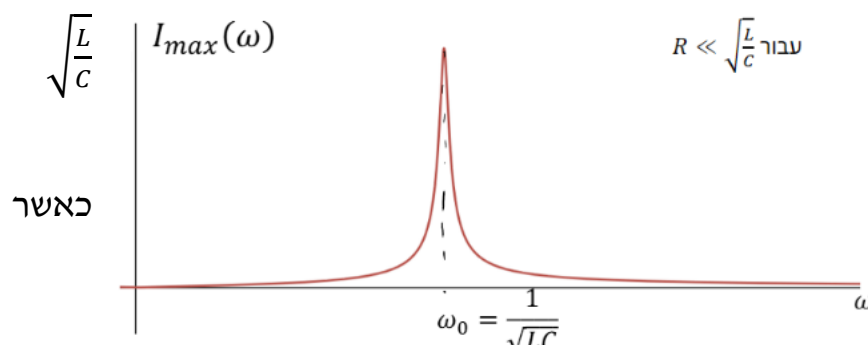
$$\tan \varphi = \frac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R}$$

תהודה:

מצב שבו  $I_{max}(\omega)$  מקסימאלי.

- שימו לב,  $I_{max}$  הוא אמפליטודת הזרם במעגל עם מקור בעל תדירות  $\omega$  מסוימת. תהודה מדברת על איזה תדירות צריך שתהיה למקור כך שהאמפליטודה הזו תהיה הכי גבוהה שאפשר.

- בשביל למצוא את תדירות התהודה במקרה כללי צריך לגזור את  $I_{max}$  לפי  $\omega$  ולהשוות לאפס.



עבור  $R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$

מקבלים  
אמפליטודה  
מקסימאלית

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

**פתרון עם מספרים מורכבים :**

אם כל המשתנים הם פונקציות מהצורה  $A \cos(\omega t + \varphi)$  והמשוואות שלנו לינאריות. אז יותר נוח לעבוד עם מספרים מורכבים.

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \varphi) = \text{Re}\{\tilde{I}(t)\}$$

$$\tilde{I}(t) = I_0 e^{i(\omega t + \varphi)}$$

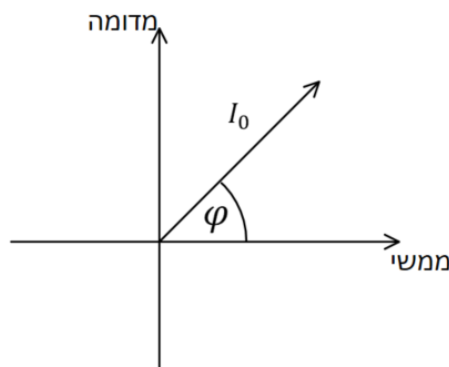
(בדרי"כ לא רושמים את הגל)

בעבודה עם מספרים מורכבים אפשר להוריד את התלות בזמן

**פאזור :**

תאור של המספר המורכב באמצעות וקטור במערכת דו מימדית.

הפאזור מסתובב בזמן אבל בדרי"כ מסתכלים רק על הפאזור ב  $t=0$

**עכבה Impedance :**

$$Z = \frac{\tilde{V}}{\tilde{I}}$$

תכונה שתלויה רק במבנה (קבועה)

הפאזה של העכבה היא הפאזה של המתח ביחס לזרם ברכיב

$$\varphi_Z = \varphi_V - \varphi_I$$

הגודל של העכבה

$$|Z| = \frac{V_{max}}{I_{max}}$$

הרכיב	העכבה של הרכיב Z	הפאזה של המתח ביחס לזרם ברכיב המתח והזרם בנגד הם באותה הפאזה
נגד	R	בסליל המתח מקדים את הזרם ב $\frac{\pi}{2}$
סליל	$i\omega L$	בקבל המתח מפגר אחרי הזרם ב $\frac{\pi}{2}$
קבל	$\frac{1}{i\omega C}$	

ניתן לחבר עכבות בדיוק כמו חיבור של נגדים ולקבל את העכבה הכוללת של המעגל

$$\tilde{V}_S = Z_T \tilde{I}_S$$

כאשר  $\tilde{V}_S$  ו- $\tilde{I}_S$  הם הזרם והמתח של המקור (בייצוג המורכב)

### ערכי RMS:

ממוצע של ריבוע הגודל בזמן

$$V_{RMS} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}, \quad I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

### הספק רגעי:

$$P(t) = V(t)I(t)$$

לשים לב שההספק הרגעי הוא לא גודל לינארי ולכן אי אפשר לחשב אותו באמצעות הייצוג המורכב של המתח והזרם.

### הספק ממוצע:

$$\bar{P} = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \varphi = V_{RMS} I_{RMS} \cos \varphi$$

כאשר  $\varphi$  היא הפאזה של המתח ביחס לזרם

$\cos \varphi$  הוא מקדם/גורם ההספק. מצביע על ניצול האנרגיה במעגל

## שאלות:

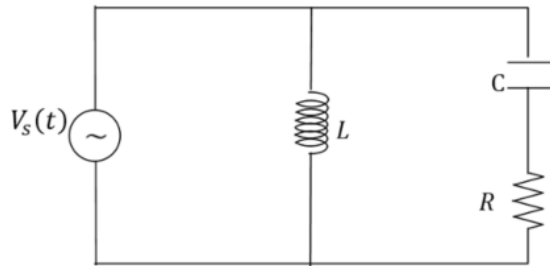
## 5) קבל ונגד בטור ובמקביל לסליל

במעגל הבא נתון:

$$R = 50\Omega, L = 30mH, V_s(t) = 3 \cos(10t)$$

$$C = 300\mu F$$

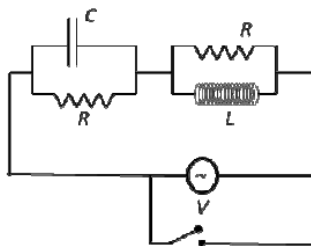
- א. מהי העכבה הכוללת של המעגל?  
 ב. מהי הפאזה של המתח של המקור ביחס לזרם במקור?  
 ג. רשמו את פונקציית הזרם במקור כתלות בזמן.  
 ד. רשמו את הזרם בסליל כתלות בזמן.  
 ה. רשמו את המתח על הקבל כתלות בזמן.



## 6) מקור, סליל ונגד בטור עם קבל ונגד

במעגל הבא נתונים:  $R, C, L$  ומתח המקור

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t)$$



- א. מהי העכבה הכוללת של המעגל?  
 ב. עבור איזה תדר של המקור אין הפרש מופע בין הזרם למתח?  
 ג. מקצרים את המקור, ונתון המטען ההתחלתי על הקבל  $Q_0$ .  
 i. עבור אילו ערכים של  $R$  תהיה דעיכה ללא תנודות?  
 ii. מה הזמן האופייני לאיבוד אנרגיה?

## 7) מעגל טורי עם שני קבלים

במעגל הבא נתון:

$$I(t) = 4 \cos(2000t + \varphi), (2000t)$$

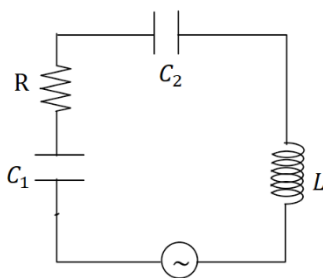
$$C_1 = 100\mu F, L = 10mH, R = 10\Omega$$

המתח והזרם בוולט ואמפר

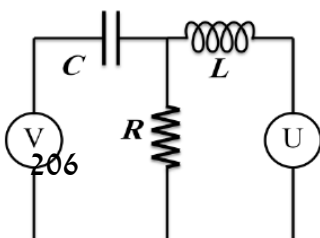
א. מצאו את הקיבול  $C_2$ .

ב. מצאו את הפאזה של הזרם.

ג. מצאו את ההספק הממוצע של המקור.



## 8) שני מקורות סליל וקבל במקביל לנגד

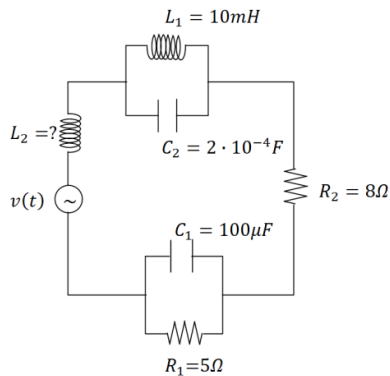
במעגל הבא  $U$  ו- $V$  הם שני מקורות מתח חילופין.

נתון:  $R, L, C$ .

והמתחים:  $U(t) = U_0 \cos(\omega t), V(t) = V_0 \cos(\omega t)$ .

א. מצא את הזרם בנגד במצב העמיד.

ב. מה התנאי לכך שהזרם יתאפס?



### 9) מעגל זרם חילופין

במעגל הבא נתון כי מתח המקור הוא:

$$v(t) = 50 \cos(1000t)$$

כמו כן הזרם העובר בנגד  $R_2$  הוא:

$$I_2(t) = I_0 \cos\left(1000t - \frac{\pi}{4}\right)$$

א. מצא את השראות הסליל  $L_2$  ואת  $I_0$ .

ב. מצא את הזרם בקבל  $C_1$  ב- $t = 2$ .

ג. חשב את ההספק הממוצע של מקור המתח.

## תשובות סופיות:

$$\omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, f = 80\text{Hz}, T = 4\pi \cdot 10^{-3}\text{sec} \quad \text{א. 0} \quad (1)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots \text{ כאשר: } \pi \cdot 10^{-3} + 2\pi n \cdot 10^{-3} \quad \text{ג.}$$

$$U_L(t) = 720 \cdot 10^{-9} J \sin^2(500t) \quad \text{ד. בסליל:}$$

$$U_C(t) = 720 \cdot 10^{-9} J \cos^2(500t) \quad \text{בקבל:}$$

$$E(t) = 720 \cdot 10^{-9} J \quad \text{כוללת:}$$

$$I_2(t) = I e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t), I_1(t) = I(1 - e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t)) \quad \text{א. 2}$$

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \Gamma^2}, \Gamma = \frac{R}{L}, \omega_0^2 = \frac{2}{LC} \quad \text{כאשר}$$

$$V_S(t) = I[R(1 - e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t)) + L(\Gamma e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t) - \tilde{\omega} \sin(\tilde{\omega} t))] \quad \text{ב.}$$

$$L\dot{I}_1 + \frac{q_1}{C} + (I_1 - I_2)R = 0, L\dot{I}_2 + \frac{q_2}{C} + (I_2 - I_1)R = 0 \quad \text{א. 3}$$

$$q_2(t) =, q_1(t) = \frac{1}{2}(A \cos(\omega t + \varphi) + B e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t + \theta)) \quad \text{ב.}$$

$$\frac{1}{2}(A \cos(\omega t + \varphi) - B e^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t + \theta))$$

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \Gamma^2}, \Gamma = \frac{R}{L}, \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{כאשר}$$

$$\text{ג. הזרמים בקבלים זהים ושווים ל } I = -\frac{1}{2} A \omega \sin(\omega t + \varphi) \text{ הזרם בנגד}$$

$$\frac{Q^2}{4C} \quad \text{מתאפס. האנרגיה שהפכה לחום}$$

$$\text{שאלת הוכחה.} \quad (4)$$

$$I_S(t) = 12_A \cos(10t - 2.16) \quad \text{ג. } 2.16\text{rad} \quad \text{א. } -0.138 + 0.209i \quad (5)$$

$$V_C(t) = 2.9_V \cos\left(10t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ה.} \quad I_L(t) = 10_A \cos\left(10t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ד.}$$

$$Z = \left(\frac{\omega^2 L^2}{R^2 + \omega^2 L^2} + \frac{1}{(\omega RC)^2 + 1}\right) R + i \left(\frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} - \frac{\omega C}{(\omega RC)^2 + 1}\right) R^2 \quad \text{א. 6}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \text{ב.}$$

$$\tau = \frac{RC}{2} \quad \text{ii. } \frac{1}{R} > \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{i. ג.}$$

$$\bar{P}_S = 253W \quad \text{ג. } \varphi = 0.886\text{rad} \quad \text{א. } C_2 = 18.35\mu F \quad (7)$$

$$\omega^2 = \frac{U_0}{LcV_0} \quad \text{ב.} \quad I_3 = \frac{(\omega c V_0 - \frac{U_0}{\omega L})(i - R(\omega c - \frac{1}{\omega L}))}{1 + R^2(\omega c - \frac{1}{\omega L})^2} \quad \text{א. 8}$$

$$43.5W \quad \text{ג.} \quad I_{C1} = 9.38A \quad \text{ב.} \quad I_0 = 2.46A, L_2 = 40.3 \cdot 10^3 H \quad \text{א. 9}$$

