

חשמל ומגנטיות



תוכן העניינים

1.	הקדמה מתמטית לקורס.	1
2.	מבוא.	7
3.	קינמטיקה - תנועה בקו ישר.	15
4.	וקטורים.	38
5.	מבוא למבנה החומר (ללא ספר).	
6.	הכוח החשמלי- חוק קולון.	59
7.	השדה החשמלי.	63
8.	חוק גאוס ברמה איכותית בלבד.	67
9.	חוק גאוס - הסבר מלא- לא תמיד נלמד בקורס (יש לוודא בסילבוס או מול המרצה).	70
10.	תנועה בשדה חשמלי אחיד.	73
11.	מוליכים.	75
12.	מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית.	78
13.	זרם מתח ותנגדות.	94
14.	אנרגיה והספק במעגל החשמלי.	102
15.	חיבור נגדים וחוקי קירכהוף.	107
16.	קבלים.	117
17.	השדה המגנטי.	134
18.	הכוח המגנטי (חוק לורנץ).	137
19.	חוק פארדיי- השראה אלקטרו מגנטית.	144

חשמל ומגנטיות

פרק 1 - הקדמה מתמטית לקורס

תוכן העניינים

1. 0. פונקציות טריגונומטריות.....1
2. 1. משוואת הקו הישר.....5
3. 2. הפרבולה.....6

פונקציות טריגונומטריות:

רקע

במשולש ישר זווית:

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

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

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

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

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



משפט פיתגורס:

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

זהויות:

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

ערכים ששווה לזכור:

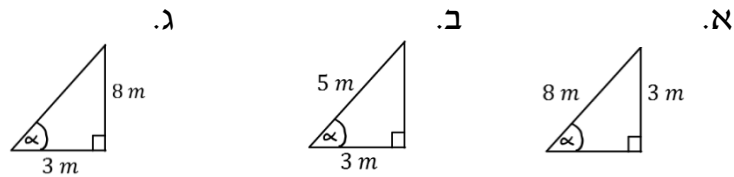
הזווית והפונקציה	0°	30°	45°	60°	90°
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0

$\tan \alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	לא מוגדר
---------------	---	----------------------	---	------------	----------

שאלות:

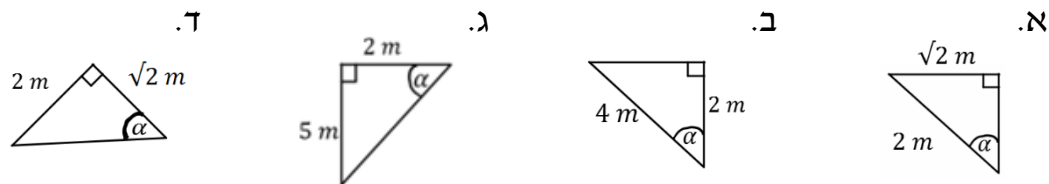
(1) חישוב אלפא

חשב את הזווית אלפא במקרים הבאים:

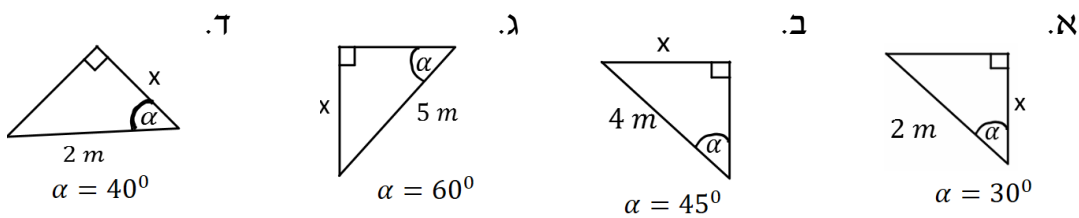


(2) משולשים שמסורטטים אחרת

חשב את הזווית אלפא במקרים הבאים:



(3) מציאת ניצבים

חשב את x במקרים הבאים:

תשובות סופיות:

	ג. $\alpha = 69^\circ$	ב. $\alpha = 53^\circ$	(1) א. $\alpha = 22^\circ$
ד. $\alpha = 55^\circ$	ג. $\alpha = 68.2^\circ$	ב. $\alpha = 60^\circ$	(2) א. $\alpha = 45^\circ$
ד. $1.53m$	ג. $\frac{5\sqrt{3}m}{2}$	ב. $2\sqrt{2}m$	(3) א. $\sqrt{3}m$

משוואת הקו הישר:

רקע:

משוואת הקו הישר:

$$y = mx + n$$

m - שיפוע

n - נקודת חיתוך עם ציר ה- y .

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$$

כאשר α היא הזווית של הישר עם ציר ה- x .

מכפלת השיפועים של שני ישרים מאונכים היא -1.

מרחק בין שתי נקודות:

$$d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$$

שאלות:

(1) משוואת הישר משתי נקודות

- א. מצא את משוואת הקו הישר העובר דרך שתי הנקודות: $(-1, 3)$, $(4, -2)$.
- ב. שרטט איור עבור הקו על גבי מערכת צירים.

תשובות סופיות:

(1) א. $y = -x + 2$

ב.



הפרבולה:

רקע:

משוואת הפרבולה:

$$y = ax^2 + bx + c$$

נוסחת השורשים:

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

שאלות:

(1) נתונה הפרבולה הבאה: $y = -x^2 + 2x + 3$.

- א. מצאו את נקודות החיתוך עם הצירים ואת נקודת הקודקוד של הפרבולה.
- ב. קבעו האם הפרבולה מחייכת או עצובה, ושרטטו איור מקורב של הפרבולה לפי הנתונים שקיבלתם.

תשובות סופיות:

- (1) א. חיתוך עם הציר האנכי: $(0,3)$, נקודות חיתוך עם הציר האופקי: $(-1,0)$, $(3,0)$, נקודת הקודקוד: $(1,4)$.
 ב. עצובה.



חשמל ומגנטיות

פרק 2 - מבוא

תוכן העניינים

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

יחידות פיזיקאליות:

רקע

חוקי חזקות:

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

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

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

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

שאלות:

(1) תרגיל

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

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

א. $\frac{A}{B} + CA$

ב. $\frac{AC}{B} + D$

ג. $\frac{C}{D} A + B$

תשובות סופיות:

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

מעברים בין יחידות:

נוסחאות:

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

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

$$\text{ליטר: } 1liter=1000cm^3$$

$$\text{קוב: } 1000m^3 = 1000liter = 1 \text{ קוב}$$

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

שאלות:

1) דוגמה 1 - מעברים של יחידות לא בסיסיות

$$\text{נתון: } A = 2km , B = 10gr$$

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

2) דוגמה 2 - מעברים של יחידות לא בסיסיות

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

$$\text{חשב את הגדלים הבאים ביחידות של m.k.s.}$$

$$\text{א. } D = 2 \cdot A$$

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

3) מעבר יחידות בחזקות

$$\text{מצא את הגדלים הבאים, ביחידות של ס"מ:}$$

$$\text{א. } A = 1m^2$$

$$\text{ב. } B = 1m^3$$

4) סנטימטר בשלישית

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

א. $5 \cdot 2\text{m}^3$

ב. 320mm^3

ג. 0.0054km^3

(5) ליטר - דוגמה

הבע את הגדלים הבאים ב-liter.

א. 5m^3

ב. 5mm^3

תשובות סופיות:

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

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

(3) א. 10^4cm^2 ב. 10^6cm^3

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

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

צפיפות:

רקע

צפיפות נפחית : $\rho = \frac{M}{V}$

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

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

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

שאלות:

(1) דיסקה עם חור

א. מצא את הצפיפות של דיסקה בעלת רדיוס R ומסה M .

ב. בדיסקה קדחו חור ברדיוס r .

מצא את המסה שהוצאה מהדיסקה.

תשובות סופיות:

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

הערכת סדרי גודל:

שאלות:

(1) נשימות

הערך את מספר הנשימות של אדם בחייו.

תשובות סופיות:

(1) $N = 10^9$

תרגילים:

שאלות:

(1) מסע של האור

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

א. חשב את המרחק שעובר האור בשנתיים.

ב. כמה זמן ייקח לאור לעבור בין שתי גלקסיות שהמרחק ביניהם הוא: $2 \cdot 10^{19} \text{ m}$?

(2) צפיפות אטום המימן

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

(3) שלג על הירח

הנח שעל הירח יורד שלג, השלג יורד בקצב שבו כל חצי שניה פוגע פתית שלג בפני הירח. הערך תוך כמה זמן יכוסה הירח כולו בשכבת שלג בגובה 2 מטר (הנח שהשלג לא נמס). רדיוס הירח: $1.74 \cdot 10^6 \text{ m}$, רדיוס פתית שלג הוא: 2 cm .

(4) אטומים בגרגיר חול

רדיוס אטום הוא בערך: 10^{-7} cm . רדיוסו של גרגיר חול הוא: 10^{-2} cm . הערך כמה אטומים יש בגרגיר חול.

הדרכה: השתמש בנוסחה של נפח כדור: $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ עבור נפח האטום ועבור נפח הגרגיר. התעלם מ"רווחים" בין האטומים בתוך גרגיר החול.

(5) כדורי פינגפונג בחדר

הערך כמה כדורי פינגפונג ניתן לדחוס בחדר ממוצע

תשובות סופיות:

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

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

(3) $t = 1.14 \cdot 10^{18} \text{ sec}$

(4) $N = 10^{15}$

(5) 750,000

חשמל ומגנטיות

פרק 3 - קינמטיקה - תנועה בקו ישר

תוכן העניינים

15	1. העתק.....
17	2. תנועה במהירות קבועה.....
22	3. מהירות ממוצעת.....
24	4. תאוצה.....
29	5. תרגול.....
35	6. מהירות רגעית ותאוצה רגעית.....
37	7. מהירות רגעית ותאוצה רגעית - אינטגרלים.....

העתק:

רקע

תנועה בקו ישר - תנועה על ציר אחד.

כאשר מגדירים ציר, צריך:

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

העתק - השינוי במיקום הגוף

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

העתק שלילי - תנועה בכיוון הפוך לכיוון החיובי של הציר

דרך - אורך כל המסלול שעשה הגוף, סימון באות S

שאלות:

(1) כדור

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

(2) דני ודנה

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

(3) העתק ודרך

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

תשובות סופיות:

- (1) -3m
- (2) בדרך הלך: 30m , הכיוון חיובי; בדרך חזר: -30m , הכיוון שלילי.
- (3) העתק: $\Delta x = 0$, דרך: $s = 200$.

תנועה במהירות קבועה:

רקע

מהירות קבועה או ממוצעת:

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

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

המיקום כתלות בזמן במהירות קבועה:

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

גרפים:

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

גרף המהירות במקרה של מהירות קבועה הוא קו ישר אופקי.

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

השטח החיובי מתחת לגרף המהירות הוא הדרך

שאלות:

(1) יוסי מאחר לשיעור

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

(2) מיקומו של גוף

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

(3) תנועה ביחס ל-A

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

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

(4) גוף חולף דרך שתי נקודות

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

(5) גוף נע שמאלה

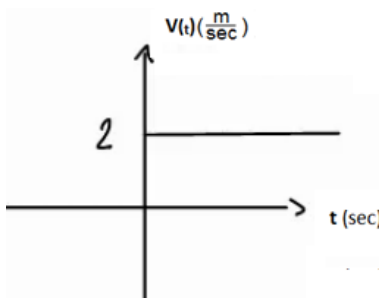
- גוף נע בקו ישר במהירות קבועה שגודלה $6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$. ברגע $t = 0$ מיקום הגוף הוא: $x = 50\text{m}$.
 בחר את כיוון ציר ה- x ימינה והנח שהגוף נע שמאלה.
 א. מהו מיקום הגוף כתלות בזמן?
 ב. היכן נמצא הגוף ב- $t = 2\text{sec}$ וב- $t = 3\text{sec}$?
 ג. מתי יהיה הגוף במרחק $x = 20\text{m}$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

(6) מהירות שלילית



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

(7) מיקום שלילי



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

(8) מהירות מתחלפת



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

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

9) שתי מכוניות זו לקראת זו

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

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

10) מכונית נוסעת מת"א לירושלים

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

11) אופנוע ומכונית מת"א לאילת

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

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

ג. $t(x=20) = 5\text{sec}$, ד. $t(x=-10) = 10\text{sec}$

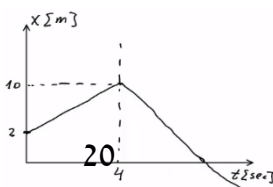
(6) א. $S = -6\text{m}$, ב. $x(t) = 2 - 3t$, ג.



(7) א. $x(t) = -8 + 2t$, ב.



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



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

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

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

10) א. השיפועים מייצגים מהירות.



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

ב. $x(t) = 80t$ ג. $x(t) = 340 + (-120)\left(t - \frac{1}{2}\right)$ ד. $x = 160 \text{ km}$; $t = 2 \text{ hr}$

מהירות ממוצעת:

שאלות:

(1) דני נוסע מחיפה לטבריה

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



(2) מהירות ממוצעת מתוך גרף

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

(3) מת"א לב"ש דרך חיפה

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

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

ומצא את ממוצע גודל המהירות של אורי (speed).

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

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

לבאר שבע באותו זמן שבו יגיע אורי?

מה ממוצע גודל המהירות של שילה (speed)?



(4) מהירות ממוצעת בגרף לינארי

מהירותו של גוף נתונה בגרף הבא:

א. מצא את המהירות הממוצעת של הגוף

(average velocity) ואת ממוצע גודל

המהירות (average speed) עבור כל התנועה.

ב. מצא את המהירות הממוצעת של הגוף

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

תשובות סופיות:

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

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

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

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

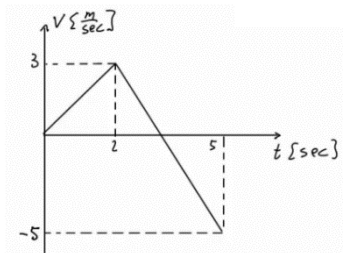
תאוצה:

שאלות:

- (1) מטוס מאיץ בתאוצה קבועה**
 מטוס מתחיל להאיץ ממנוחה בתאוצה קבועה.
 לאחר 10 שניות הגיע המטוס למהירות 150 מטר לשנייה.
 מהי תאוצת המטוס?
- (2) משאית מאיצה**
 משאית נוסעת במהירות של 70 קמ"ש ומאיצה תוך 10 שניות למהירות של 90 קמ"ש.
 מהי תאוצת המשאית?
- (3) אופנוע מאיץ ממנוחה**
 אופנוע מתחיל את נסיעתו ממנוחה, בתאוצה של 2 מטר לשנייה בריבוע.
 א. מצא את נוסחת מהירות-זמן עבור האופנוע.
 ב. מה תהיה מהירותו לאחר 7 שניות?
 ג. מתי תהיה מהירותו 20 מטר לשנייה?
- (4) אופנוע מאיץ אחרי מכונית**
 מכונית נוסעת במהירות קבועה של 20 מטר לשנייה.
 ברגע מסוים מתחילה המכונית להאיץ בתאוצה קבועה של 2 מטר לשנייה בריבוע.
 אופנוע מתחיל את תנועתו שנייה לאחר המכונית ומאיץ בתאוצה של 3 מטר לשנייה בריבוע, ממנוחה.
 מתי תהיה מהירות האופנוע שווה למהירות המכונית?
- (5) תאוצה**
 לפניך מספר מקרים בהם רכב משנה את מהירותו. מצא בכל מקרה את תאוצת הרכב וציין האם הרכב האיץ או שהרכב נמצא בתאוצה:
 א. רכב משנה את מהירותו ממהירות של 20 מטר לשנייה, למהירות של 10 מטר לשנייה, תוך 5 שניות.
 ב. רכב משנה את מהירותו ממהירות של 20 מטר לשנייה למהירות של 10 מטר לשנייה, תוך 4 שניות.
 ג. רכב משנה את מהירותו מ-5 מטר לשנייה ל-15 מטר לשנייה תוך 2 שניות.
 ד. רכב משנה את מהירותו מ-5 מטר לשנייה ל-15 מטר לשנייה תוך 5 שניות.
 ה. רכב משנה את מהירותו מ-10 מטר לשנייה ל-5 מטר לשנייה, תוך 4 שניות.

**(6) גרף מהירות**

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

**(7) גרף מהירות שלילית**

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

(8) דנה רצה בתאוצה קבועה

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

(9) אופנוע משיג מכונית

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

(10) דני ודנה רצים זה לקראת זה

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

**(11) גרפים של תאוצה, מהירות ומיקום**

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

(12) מסלול המראה של ססנה

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

(13) מרחק בלימה

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

(14) עומר עוצר לפני רמזור

עומר נסע במכוניתו במהירות של 50 קמ"ש.
 לפתע הבחין כי הרמזור שלפניו התחלף לאדום.
 עומר התחיל לבלום את רכבו, עד שהגיע לעצירה מוחלטת.
 הנח שהעצירה נעשית בקצב קבוע.
 א. מהי המהירות הממוצעת במהלך העצירה?
 ב. ברגע העצירה היה מרחקו של עומר מהרמזור 35 מטר.
 הזמן שלקח לעומר להגיע לעצירה מוחלטת היה 5 שניות,
 האם יספיק עומר לעצור לפני הרמזור?

תשובות סופיות:

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

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

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

$$t = 23 \text{sec} \quad (4)$$

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

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

$$\text{המהירות שלילית - בתאוצה } (V < 0).$$

(6) חלק 1 - כאשר $0 \leq t \leq 3$ או $a_1 = \frac{4}{3} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ - מאיץ. שרטוט:



חלק 2 - כאשר $3 \leq t \leq 6$ או $a_2 = 0$ - לא מאיץ ולא מאט; המהירות קבועה.

חלק 3 - כאשר $0 \leq t \leq 3$ או $a_3 = -4 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ - בתאוצה.

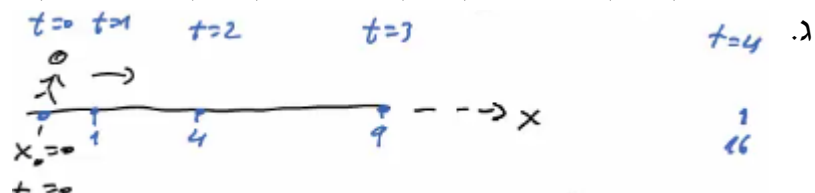
(7) חלק 1 - כאשר $0 \leq t \leq 2$ או $a_1 = 1.5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ - מאיץ. שרטוט:



חלק 2 - כאשר $2 \leq t \leq 5$ או $a_2 = \frac{-8}{3} \approx -2.67 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$ - כשהמהירות חיובית - בתאוצה $(V \geq 0)$, וכשהמהירות שלילית - בתאוצה $(V < 0)$.

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

$$X(t=1) = 1^2 \text{m}, X(t=2) = 4 \text{m}, X(t=3) = 9 \text{m}, X(t=4) = 16 \text{m} \quad \text{ב.}$$



$$t_1 = 18.79 \quad (9)$$

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

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

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

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

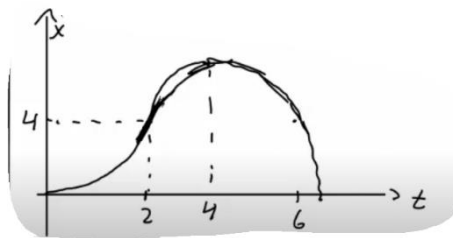
ג. שרטוט עבור מהירות:



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

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

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



תרגול:

שאלות:

(1) מאפס לארבעים בעשר שניות

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

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

(2) גרף של מהירות אופנוע בזמן

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



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

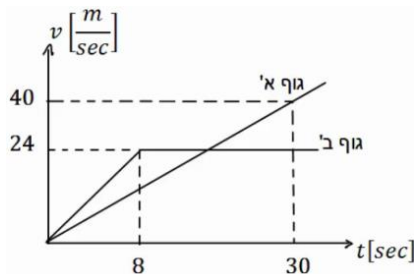
(3) דני שכח את הפלאפון

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

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

(4) גרף מהירויות של שני גופים

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



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

(5) גרף מהירות זמן בקו ישר

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

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



(6) תרגיל עם הכל

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

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

**(7) שני נתונים בזמנים שונים**

גוף נע בקו ישר בתאוצה קבועה.

- ב- $t = 2\text{sec}$ מהירותו היא 15 מטרים לשנייה ומיקומו 5 מטרים מהראשית, בכיוון החיובי. ידוע גם שב- $t = 4\text{sec}$ מהירותו היא 21 מטר לשנייה.

- א. מצא את תאוצת הגוף.
- ב. מצא נוסחת מיקום זמן של הגוף.
- ג. מהו מיקום הגוף ב- $t = 0$, ומתי יהיה בראשית?
- ד. מצא נוסחת מהירות זמן עבור הגוף.
- ה. מהי המהירות בה הגוף התחיל את התנועה (מהירות ב- $t = 0$)?

(8) שוטר רודף אחרי מכונית

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

(9) זמן מינימלי לסיים מסלול**

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

(10) כמה זמן הרכבת נסעה במהירות קבועה**

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

תשובות סופיות:

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

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

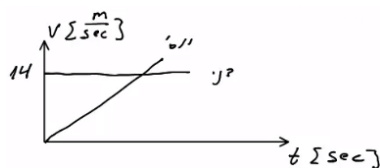
(2) א. כאשר $0 \leq t \leq 20$ (חלק I), התאוצה חיובית וקבועה, והמיקום הולך וגדל.
כאשר $20 \leq t \leq 50$ (חלק II), המהירות קבועה (אין תאוצה) והמיקום גדל.
כאשר $50 \leq t \leq 60$ (חלק III), התאוצה קבועה ושלילית - תאוצה - והמיקום הולך וגדל.

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

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

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

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



ב. $t = 1.75sec$; לא.

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



ד. ב- $t = 6.12$, המרחק: $149.82m$

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

ב. גוף א': $x(t) = \frac{2}{3}t^2$

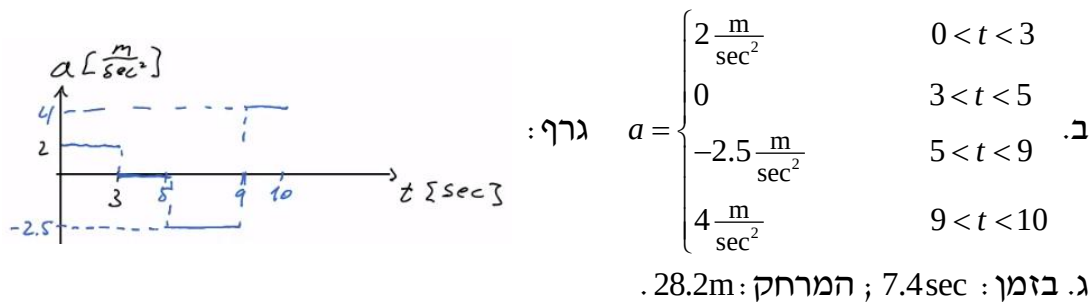
גוף ב': כאשר $0 \leq t \leq 8$, $x(t) = \frac{3}{2}t^2$. כאשר $8 \leq t \leq \infty$, $x(t) = 96 + 24(t-8)$

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

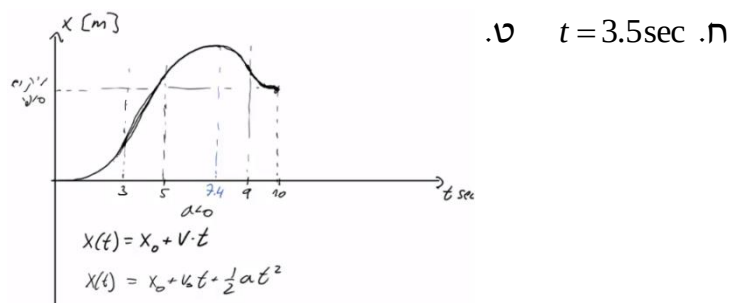
ד. $t = 18sec$ ה. כש- $t = 31.42sec$

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

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



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



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

ג. $x(t=1.65) = 0$; $x(t=0) = -19$

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



9) $T = 58 sec$

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

מהירות רגעית ותאוצה רגעית:

רקע

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

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

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

התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה:

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

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

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

נגזרות של סינוס וקוסינוס:

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

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

שאלות:

1) מהירות רגעית ותאוצה רגעית

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

א. מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן.

ב. מה המהירות הממוצעת בעשר השניות הראשונות של התנועה?

ומה המהירות הממוצעת בעשר השניות הבאות?

ג. חשב את התאוצה הרגעית. מהי תאוצת הגוף ב- $t = 7 \text{ sec}$?

ד. חשב את התאוצה הממוצעת בעשר השניות הראשונות של התנועה ובעשר השניות הבאות.

(2) מיקום עם קוסינוס

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

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

תשובות סופיות:

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

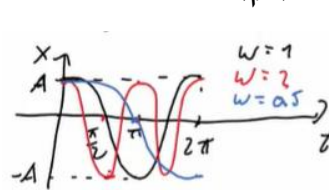
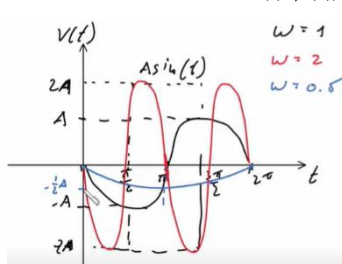
ד. $62 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$, $182 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$

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

ב. מיקום:

מהירות:

תאוצה:



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

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

מהירות רגעית ותאוצה רגעית - אינטגרלים:

שאלות:

(1) מצא מהירות ומיקום

גוף נע בתאוצה של: $a = 4t^3$.

א. מצא את מהירות הגוף כתלות בזמן אם ידוע שהתחיל לנוע ממנוחה.

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

תשובות סופיות:

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

חשמל ומגנטיות

פרק 4 - וקטורים

תוכן העניינים

38	1. הגדרות סימונים והצגות
43	2. פעולות בין וקטורים
47	3. מכפלה סקלרית
50	4. וקטור יחידה
51	5. מכפלה וקטורית בדו-מימד
53	6. וקטור בשלושה מימדים
55	7. מכפלה וקטורית בשלושה מימדים
56	8. חיבור וחיסור וקטורים בשיטת המקבילית
58	9. תרגילים נוספים

הגדרות סימונים והצגות:

רקע:

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

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

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

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

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



מעבר מפולרי לקרטזי (פירוק וקטור לרכיבים):

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

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

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

מעבר מקרטזי לפולרי (מציאת גודל וזווית)

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

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

שאלות:

(1) הצגה פולרית

צייר את הוקטורים הבאים על גבי מערכת צירים:

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

(2) הצגה קרטזית

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

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

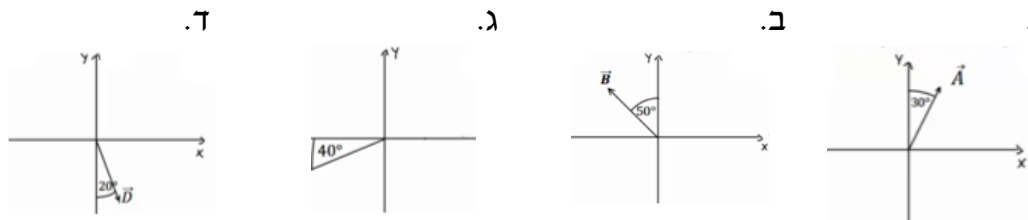
(3) מעבר מפולרי לקרטזי

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



(4) דרך שנייה לפירוק לרכיבים

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

**(5) פירוק לרכיבים**

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



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

(6) מקרטזי לפולרי

מצא את הגודל והכיוון של הוקטורים הבאים:

א. $\vec{A} = (2, -1)$

ב. $\vec{B} = (-0.5, -2)$

(7) מקרטזי לפולרי

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

א. $\vec{A} = (2, 3)$

ב. $\vec{B} = (-1, 2)$

ג. $\vec{C} = (0, -3)$

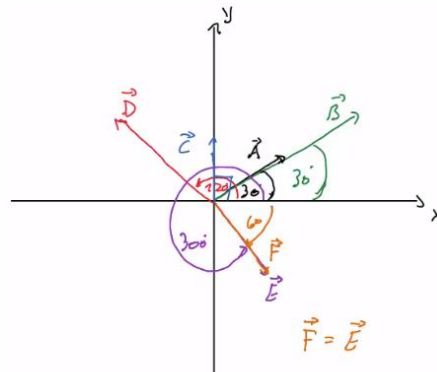
ד. $\vec{D} = (2, -2)$

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

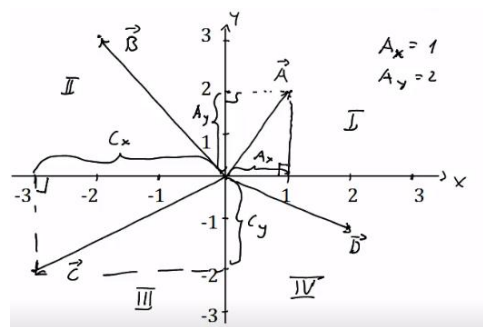
ו. $E_y = -1$, $|\vec{E}| = 3$ הוקטור ברביע השלישי.

תשובות סופיות:

(1) ראו שרטוט:



(2) ראו שרטוט:



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

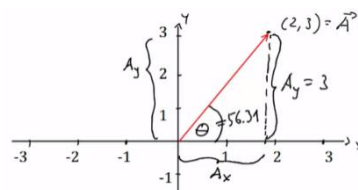
$$\vec{C} = (-2.30, -1.93) \quad \text{ג.} \quad \vec{B} = (-2.30, 1.93) \quad \text{ב.} \quad \vec{A} = \left(\frac{3}{2}, 2.60\right) \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$\vec{D} = (-2.30, -1.93) \quad \text{ד.}$$

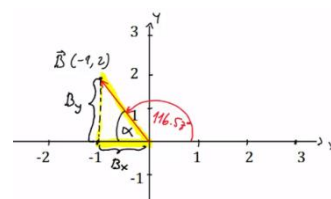
$$\vec{B} = (-4.33, -2.5) \quad \text{ב.} \quad \vec{A} = (-3.28, 2.29) \quad \text{א.} \quad (5)$$

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

$$\theta_A = 56.31^\circ; |\vec{A}| = \sqrt{13} \quad \text{א. שרטוט:} \quad (7)$$

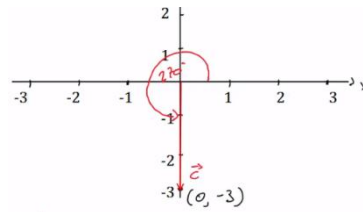


$$\theta_B = 116.57^\circ; |\vec{B}| = \sqrt{5}$$



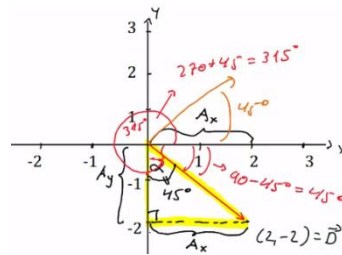
ב. שרטוט:

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



ג. שרטוט:

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



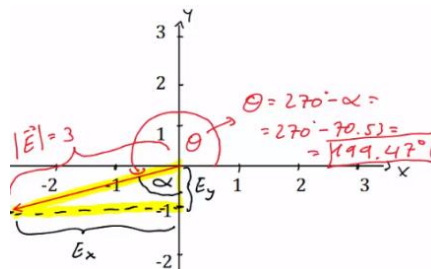
ד. שרטוט:

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



ה. שרטוט:

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



ו. שרטוט:

פעולות בין וקטורים:

רקע:



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

בצורה אלגברית נסכום את הרכיבים :

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

בצורה פולרית, נפרק לרכיבים ונסכום.

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

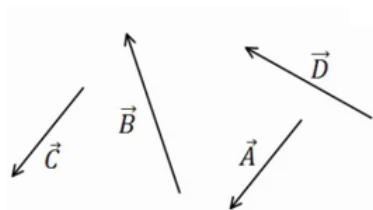
$$\vec{B} = \alpha \vec{A} = (\alpha A_x, \alpha A_y)$$

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

שאלות:

1) חיבור וקטורים לפי סימונים

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



2) דוגמה 1

נתונים הוקטורים הבאים :

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

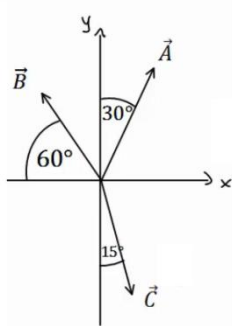
$$|\vec{B}| = 2, \theta_B = -30^\circ$$

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

א. שרטט את הוקטורים על גבי מערכת צירים.

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

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

(3) דוגמה 2

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

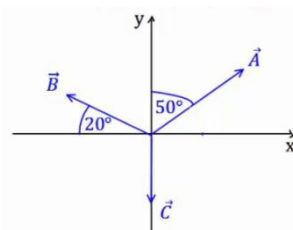
(4) חיסור לפי סימונים

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

(5) דוגמה 1

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

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

(6) דוגמה 2

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

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

(7) דוגמה 3

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

א. שרטט את הווקטור במערכת הצירים.

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

ג. מצא את הרכיבים של $\vec{A}$.

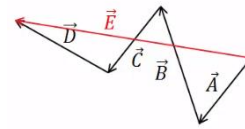
ד. חשב שוב את $\vec{B} = 3 \cdot \vec{A}$. הפעם דרך הרכיבים של $\vec{A}$.

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

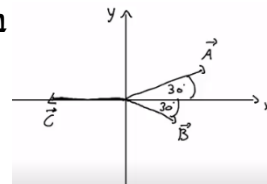
הראה כי התוצאה זהה לסעיף ב'.

תשובות סופיות:

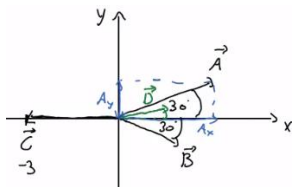
(1)



(2) א.

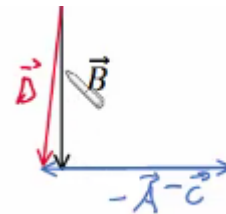


ב. $|\vec{D}| = 1.42, \theta_D = 20.60^\circ$



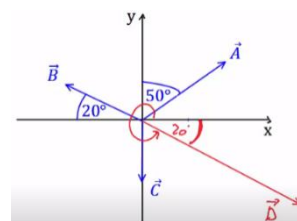
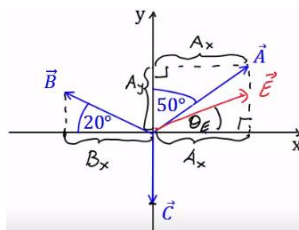
(3) $|\vec{D}| = 3.46, \theta_D = 58.84^\circ$

(4)

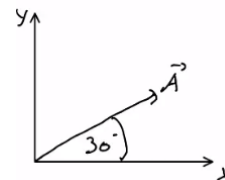
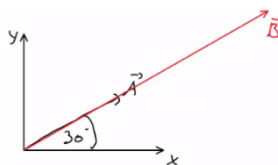


(5) א. $\vec{D} = (2, -8)$ ב. $\vec{E} = (10, 7)$ ג. $\vec{F} = (-4, -12)$

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



(7) א. ב. $|\vec{B}| = 6, \theta_B = \theta_A = 30^\circ$ ג. $\vec{A} = (\sqrt{3}, 1)$



ד. $\vec{B} = (3\sqrt{3}, 3)$ ה. ראה סרטון.

מכפלה סקלרית:

שאלות:

(1) דוגמה 1

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

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

ב.



(2) דוגמה 2

בדוק עבור זוגות הוקטורים הבאים האם הם מאונכים:

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

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

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

ד. שרטט כל זוג וקטורים מאונכים על מערכת צירים.

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

(3) דוגמה 3

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

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

ב. מצא את הגודל והזווית של כל וקטור.

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

דוגמה 4 (4)

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

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

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

דוגמה 5 (5)

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

חשב את :

א. $\vec{A} \cdot \vec{C}$

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

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

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

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

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

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

דוגמה 6 (6)

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

חשב את :

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

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

דוגמה 7 (7)

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

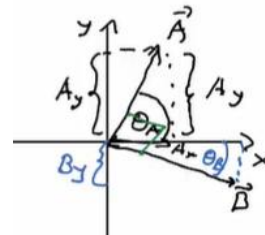
מצא את הזווית בין $\vec{A}$ ל- $\vec{B}$ ובין $\vec{B}$ ל- $\vec{C}$.

תשובות סופיות:

(1) א. 2 ב. -5.13

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

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



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

ג. $\vec{A} \cdot \vec{B} = -10$

(4) א. הוכחה. ב. הוכחה.

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

ו. (12,-8) ז. 36

(6) א. (-0.8, 2.4) ב. (-0.54, -2.69)

(7) $\alpha_{\vec{AB}} = 153.43^\circ, \alpha_{\vec{BC}} = 150.26^\circ$

וקטור יחידה:

שאלות:

(1) דוגמה וקטור יחידה

מצא וקטורי יחידה בכיוון של הוקטורים הבאים:

א. $\vec{A} = (-2, -3)$

ב. $\vec{B} = (3, 4)$

תשובות סופיות:

(1) א. $(-0.55, -0.83)$ ב. $(0.6, 0.8)$

מכפלה וקטורית בדו-מימד:

רקע:

מכפלה וקטורית (בדו-מימד):

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

-התוצאה של מכפלה וקטורית היא תמיד וקטור!

נוסחה נוספת רק לגודל של המכפלה:

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

שאלות:

(1) דוגמה – מכפלה וקטורית

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

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

ב. מצא את הגודל והזווית של כל וקטור.

ג. חשב את: $|\vec{A} \times \vec{B}|$ שוב, הפעם באמצעות הנוסחה של מכפלת הגדלים

בסינוס הזווית. בדוק כי התוצאה זהה לסעיף א'.

תשובות סופיות:

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

וקטור בשלושה מימדים:

רקע:



$$0 \leq \varphi \leq 180^\circ$$

$$0 \leq \theta \leq 360^\circ$$

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

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

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

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

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

$$\cos \varphi = \frac{A_z}{|\vec{A}|} = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$$

שאלות:

(1) חישוב וקטור יחידה

נתון הוקטור: $\vec{A}(2,3,4)$.

א. מהו גודלו של הוקטור?

ב. מהו וקטור היחידה של הוקטור $\vec{A}$?

(2) כשהסכום מאונך להפרש

הוכיחו שאם סכום של שני וקטורים מאונך להפרשם אזי אורכם שווה.

(3) מציאת וקטור מאונך

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

מצאו את מרכיבי וקטור $\vec{B}$ אם נתון כי הוא ניצב לוקטור $\vec{A}$ וגודלו 10.

תשובות סופיות:

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

$$(2) \quad \text{הוכחה בסרטון}$$

$$(3) \quad \left(-4 \frac{10}{\sqrt{17}}, \frac{10}{\sqrt{17}}, 0 \right)$$

מכפלה וקטורית בשלושה מימדים:

שאלות:

(1) מכפלה וקטורית

נתונים הוקטורים: $\vec{A}(1,2)$, $\vec{B}(1,-3)$, $\vec{C}(-1,2,-2)$, $\vec{D}(2,0,1)$.

א. מצא את: $\vec{A} \cdot \vec{B}$.

ב. מצא את: $\vec{A} \times \vec{B}$.

ג. מצא את: $\vec{C} \times \vec{D}$.

תשובות סופיות:

(1) א. -5 ב. $\hat{z}(-5)$ ג. $\vec{C} \times \vec{D} = 2\hat{x} - 3\hat{y} - 4\hat{z}$

חיבור וחיסור וקטורים בשיטת המקבילית:

שאלות:

(1) חיבור באמצעות מקבילית

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

(2) חיסור באמצעות מקבילית

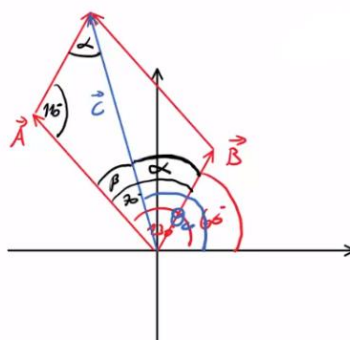
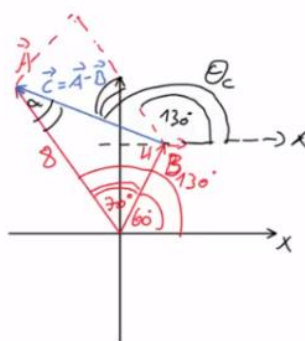
נתונים הוקטורים $\vec{A}$ ו- $\vec{B}$. גודלו של A הוא 8 והזווית שלו עם ציר ה- x החיובי היא: $\theta_A = 130^\circ$. גודלו של הוקטור B הוא 4 והזווית שלו עם ציר ה- x החיובי היא: $\theta_B = 60^\circ$. שרטט את הוקטורים על מערכת צירים ומצא את: $\vec{A} - \vec{B}$ באמצעות שיטת המקבילית.

(3) מציאת אורך של שקול

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

(4) מציאת זווית בין שני וקטורים

נתונים שני וקטורים שאורכם 10 ו-13 מטר. אורך השקול שלהם הוא 20 מטר. מצא את הזווית בין הווקטורים.

תשובות סופיות:
(1) 108.1° , 10.1

(2) 159.5° , 7.62

(3) $a \approx 14.6 \text{ c.m}$
(4) $\theta = 60^\circ$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) נתונים הווקטורים הבאים: $\vec{A} = 5, 20^\circ$, $\vec{B} = 2, 150^\circ$, $\vec{D} = 10, 220^\circ$. מצאו את גודל וכיוון הווקטור $\vec{C}$ אם: $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} = \vec{D}$.

(2) באיור הבא נתונים שלושה וקטורים. מצאו את גודל הווקטור $\vec{A}$ ואת גודל הווקטור $\vec{B}$, אם נתון שגודל הווקטור $\vec{C}$ הוא 50 ו- $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$.



תשובות סופיות:

(1) $\vec{C} = 14, 221^\circ$.

(2) $|\vec{A}| \approx 55$, $|\vec{B}| \approx 53$.

חשמל ומגנטיות

פרק 5 - מבוא למבנה החומר

תוכן העניינים

1. מבוא למבנה החומר (ללא ספר)

חשמל ומגנטיות

פרק 6 - הכוח החשמלי- חוק קולון

תוכן העניינים

59	1. חוק קולון.....
60	2. תרגילים.....

חוק קולון:

שאלות:

(1) אלקטרון ופרוטון

אלקטרון ופרוטון נמצאים במרחק של $3\text{\AA}$ אחד מהשני. מהו הכוח הפועל על כל אחד מהם? (גודל וכיוון).

(2) שני מטענים על ציר ה-X

שני גופים טעונים במטענים: $q_1 = 0.2\text{mc}$, $q_2 = 0.3\text{mc}$

מיקום הגוף הראשון הוא: $\vec{r}_1(3\text{m}, 0)$ ומיקום הגוף השני הוא: $\vec{r}_2(8\text{m}, 0)$

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

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

(3) שני מטענים במישור

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

מיקום הגוף הראשון הוא: $\vec{r}_1(0, 0)$ ומיקום הגוף השני הוא: $\vec{r}_2(5\text{m}, 3\text{m})$

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

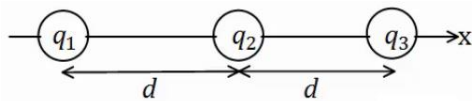
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן: $m_1 = 3\text{kg}$, $m_2 = 8\text{kg}$

(4) 3 מטענים על ציר ה-X

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

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

מצא את הכוח הפועל על כל מטען גודל וכיוון.



תשובות סופיות:

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

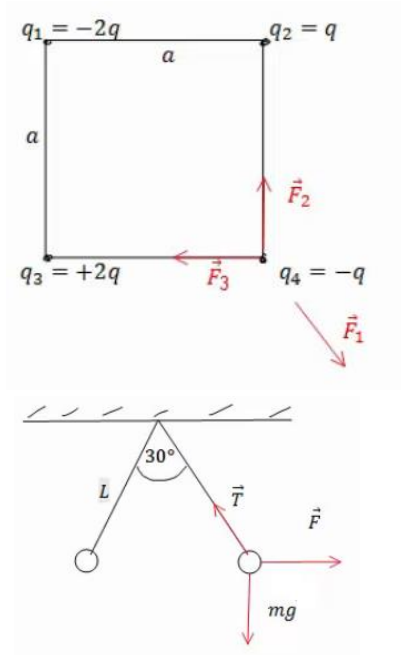
(2) א. שניהם נעים בכיוונים הפוכים, ב- $F = 21.6 \text{ N}$. ב. $a_1 = -7.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \hat{x}$, $a_2 = 2.7 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \hat{x}$

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

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

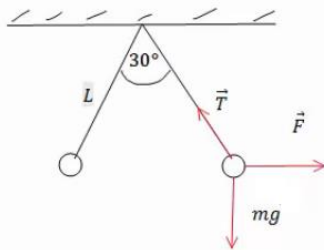
תרגילים:

שאלות:



(1) מטען בפינת ריבוע

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

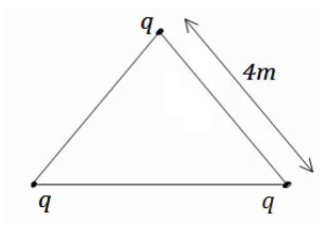


(2) שני כדורים תלויים

שני כדורים בעלי מסה m ומטען זהה תלויים מהתקרה ע"י חוטים בעלי אורך L , הזווית בין החוטים היא 30° 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: $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -q_p$.

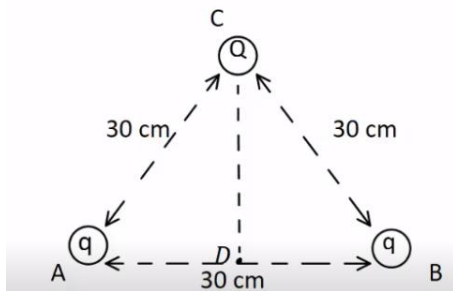


(4) מטענים בקודקודי משולש

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

מצא את הכוח שמרגיש כל מטען כתוצאה מהמטענים האחרים.

(5) כוח על כדור בקצה משולש

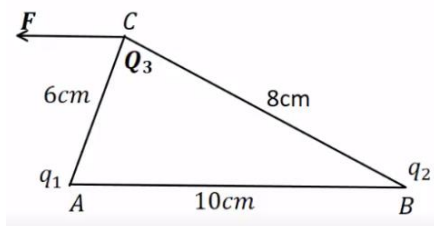


שני כדורים קטנים, שמטען כל אחד מהם הוא: $q = 10^{-5} \text{ C}$, קבועים בנקודות A ו-B באיור. המרחק בין הנקודות הוא 30 cm. בנקודה C הנמצאת במרחק של 30 cm מכל אחד מהמטענים האלה, נמצא כדור מוליך קטן שמסתו 20 gr והוא טעון במטען של: $Q = -2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

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.

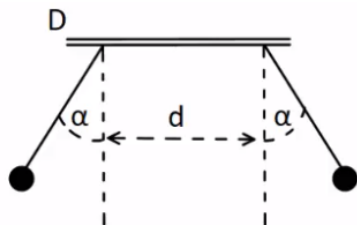
(6) נחש את סימן המטענים



שני מטענים נקודתיים ממוקמים בנקודות A ו-B. 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 ביניהם הוא $d = 2 \text{ cm}$. נתון: $\alpha = 30^\circ$ ו- $l = 3 \text{ cm}$. בטא את גודל המטען q באמצעות α , m , l , d וחשב את גודל המטען q .

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

$$\Sigma F_x = 37.5 \text{ N} \quad \text{ג.} \quad q_2 = 7.11 \mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad q_1 : \text{שלילי}, q_2 : \text{חיובי.} \quad \text{א.} \quad (6)$$

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

חשמל ומגנטיות

פרק 7 - 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.

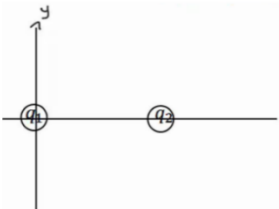
א. חשב את השדה בנקודות $(0, 2\text{m})$, $(1\text{m}, 3\text{m})$, אם נתון ש- $q = 5\text{C}$ (גודל וכיוון).

ב. חזור על סעיף א' אם $q = -7\text{C}$.

ג. מצא מה יהיה הכוח על מטען $q_2 = 3\text{C}$ המגיע לנקודה $(1\text{m}, 3\text{m})$ עבור סעיף א'.

ד. מצא מה יהיה הכוח על מטען $q_3 = -4\text{C}$ המגיע לנקודה $(1\text{m}, 3\text{m})$ עבור

סעיף א' ללא q_2 .



(2) חישוב שדה שקול בשלוש נקודות

מטען $q_1 = 5\mu\text{C}$ נמצא בראשית הצירים.

מטען $q_2 = 4\mu\text{C}$ נמצא במיקום $(3\text{cm}, 0)$.

מצא את השדה בנקודות הבאות:

א. $(5\text{cm}, 0)$

ב. $(2\text{cm}, 0)$

ג. $(2\text{cm}, 1\text{cm})$

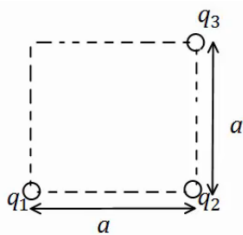
(3) חישוב שדה שקול בפינה של ריבוע

מטענים q_1 , q_2 , q_3 נמצאים בשלוש פינותיו של ריבוע

בעל צלע a .

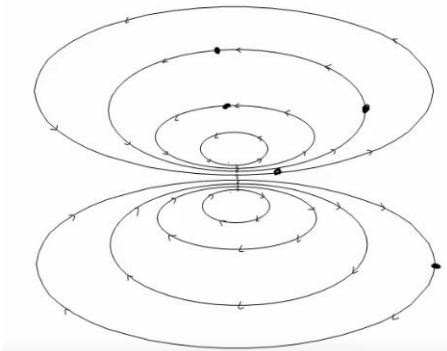
מהו השדה בפינה הרביעית?

a , q_1 , q_2 , q_3 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 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: $L = 8\text{cm}$.

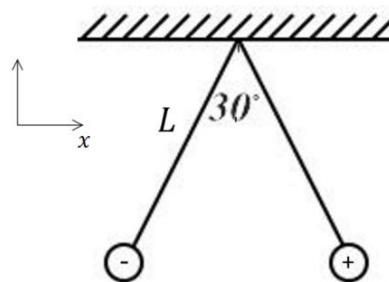
מסת הכדורים זהה ושווה ל- 4gr , מטעני הכדורים הם: $6 \cdot 10^{-8}\text{C}$

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:

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

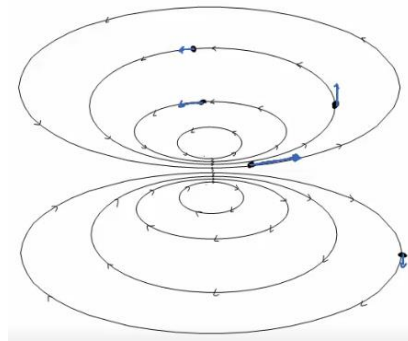
$$\vec{F} = 4.26 \cdot 10^9 \hat{x} + 12.81 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{ג.} \quad \vec{F}_3 = -4 \cdot (1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y}) \quad \text{ד.}$$

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

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

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

(4)



(5) לא.

(6) כן.

(7) לא.

(8) זהה.

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

(10) .

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

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

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

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

חשמל ומגנטיות

פרק 8 - חוק גאוס ברמה איכותית בלבד

תוכן העניינים

1. הסבר..... 67

חוק גאוס:

רקע:

הקבוע הדיאלקטרי של הריק:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \frac{c^2}{N \cdot m^2}$$

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ϵ_0 .

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי:

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

כאשר:

Q - הוא סך כל המטען

r - הוא המרחק ממרכז הקליפה/כדור

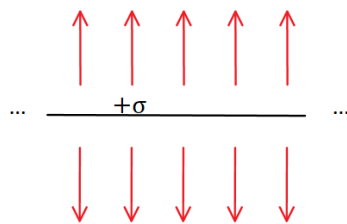
כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נקי)

בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור מוליך הוא אפס.

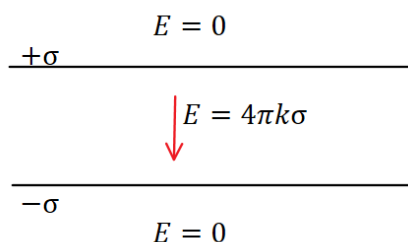
השדה של מישור אינסופי:

$$E = 2\pi k\sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

כאשר:



σ - היא צפיפות המטען ליחידת שטח במישור ($\sigma = \frac{Q}{S}$)
 כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)



השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה הוא $4\pi k\sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ

השדה של תיל אינסופי:

$$E = \frac{2k\lambda}{r}$$

כאשר :

λ - היא צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל $(\lambda = \frac{Q}{L})$

r - הוא המרחק מהתיל

אותה הנוסחה גם עבור גליל מלא או קליפה גלילית אינסופיים מחוץ לגליל או לקליפה.

בקליפה גלילית דקה ובגליל מלא מוליך השדה בתוך הקליפה/גליל מוליך הוא אפס.

כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (גלילי)

שאלות:

(1) שתי קליפות קונצנטריות

במערכת הבאה שתי קליפות (חלולות) בעלות מרכז משותף (קונצנטריות). רדיוס הקליפה הפנימית הוא

$R_1 = 3\text{cm}$ והמטען עליה הוא $Q_1 = 2\mu\text{C}$,

רדיוס הקליפה החיצונית הוא $R_2 = 6\text{cm}$

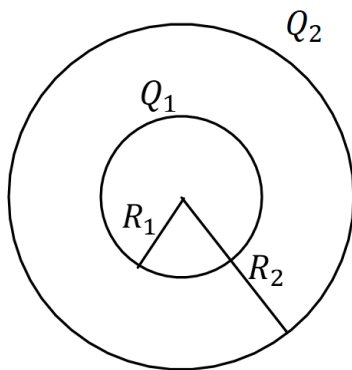
והמטען עליה הוא $Q_2 = 5\mu\text{C}$.

א. חשבו את פונקציות השדה החשמלי בכל המרחב. רמז : סופרפוזיציה.

ב. מה הכוח (גודל וכיוון) שירגיש מטען בגודל

$Q_3 = 0.03\mu\text{C}$ הנמצא במרחק $r = 8\text{cm}$

ממרכז הכדור?



(2) שני תיילים מקבילים

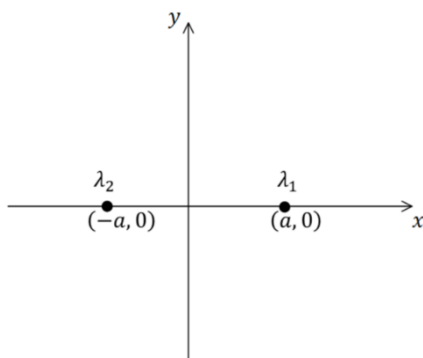
שני תיילים ארוכים מאוד טעונים בצפיפויות

מטען זהות, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, מונחים במקביל

לציר z בנקודות $(a, 0)$ ו $(-a, 0)$.

א. מצאו את השדה בנקודה כלשהיא על ציר ה y .

ב. חזרו על סעיף א עבור $\lambda = -\lambda_1 = \lambda_2$.



תשובות:

(1) א.

$$E = \begin{cases} \frac{63 \cdot 10^3 \frac{N \cdot m^2}{C}}{r^2} & 6cm < r \\ \frac{18 \cdot 10^3 \frac{N \cdot m^2}{C}}{r^2} & 3cm < r < 6cm \\ 0 & r < 3cm \end{cases}$$

בקיוון רדיאלי.

ב. 0.295N בקיוון רדיאלי.

$$\vec{E} = \frac{4k\lambda y}{y^2 + a^2} \hat{y} \quad \text{א. (2)}$$

$$\vec{E} = -\frac{4k\lambda y}{y^2 + a^2} \hat{x} \quad \text{ב.}$$

חשמל ומגנטיות

פרק 9 - חוק גאוס - הסבר מלא - לא תמיד נלמד בקורס (יש לוודא בסילבוס או מול המרצה)

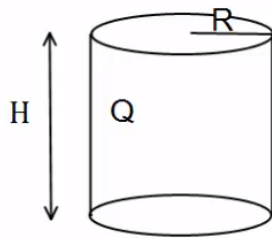
תוכן העניינים

- 70 1. צפיפות מטען.
- 71 2. חוק גאוס.
- 72 3. 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: $\pi r^2 h$).

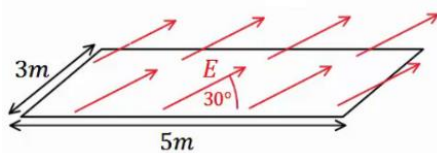
תשובות סופיות:

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

חוק גאוס:

שאלות:

(1) שדה באלכסון

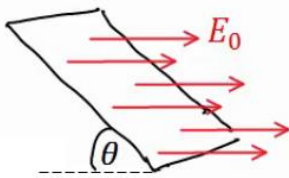


באיור הבא נתון כי השדה החשמלי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).

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

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

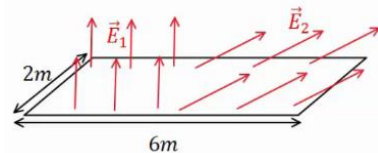
(2) משטח באלכסון



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

מצא מה השטף דרך משטח המונח בזווית θ 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:

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

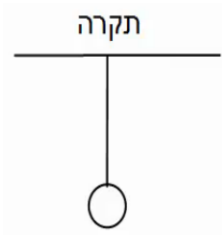
$$\Phi_E = E_0 \sin \theta \cdot a \cdot b \quad (2)$$

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

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

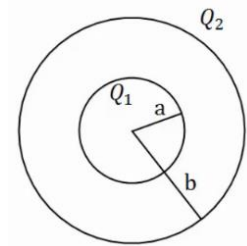
$$\text{צפיפות מטען משטחית: } \sigma = -\frac{30\mu\text{C}}{\text{m}^2}$$

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:

(1) א. $T = 83.93\text{N}$

ב. $T \approx 44.35\text{N}$

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

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

חשמל ומגנטיות

פרק 10 - תנועה בשדה חשמלי אחיד

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים.....73

הסבר ותרגילים:

שאלות:

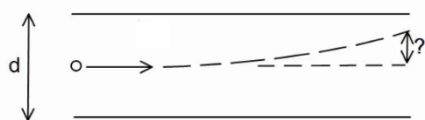
(1) מלוח אל לוח

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:

$$\left(\begin{array}{l} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{array} \right)$$

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

(2) חישוב סטייה



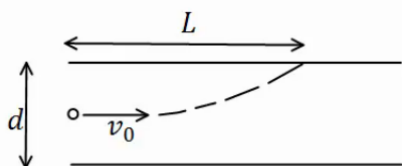
שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 5 ס"מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה. המטען הכולל על הלוח העליון הוא: $Q = 3 \cdot 10^{-11} \text{ C}$, והמטען הכולל על הלוח התחתון זהה והפוך בסימנו.

אלקטרון נע במהירות: $v_0 = 2 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ במקביל ללוחות:

$$\left(\begin{array}{l} q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{array} \right)$$

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

(3) מטען לא מזוהה



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

המטען המשטחית על הלוח העליון היא σ 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:

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

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

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

חשמל ומגנטיות

פרק 11 - מוליכים

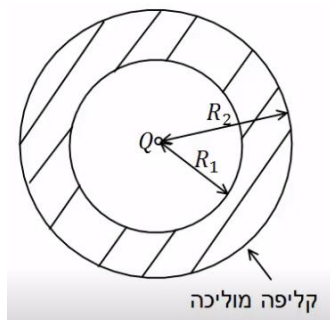
תוכן העניינים

1. הסבר על מוליכים (ללא ספר)

2. תרגילים 75

תרגילים:

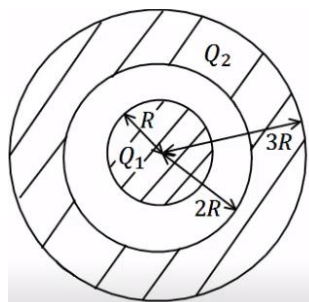
שאלות:



(1) מטען נקודתי וקליפה עבה

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

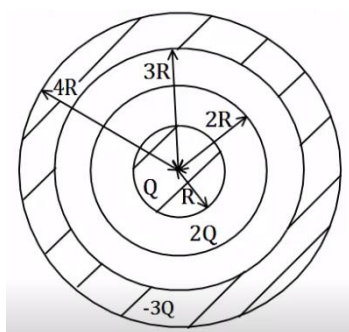
- מצא את השדה בכל המרחב אם הקליפה ניטרלית.
- מהי התפלגות המטען על שפת הקליפה?



(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 .

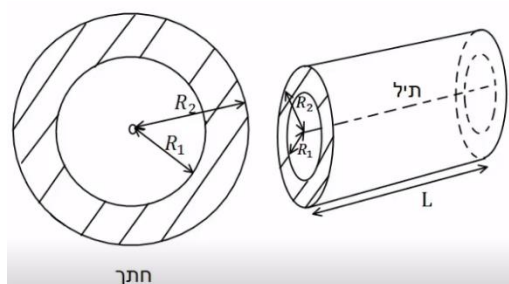
- מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.
- מהי התפלגות המטען על שפת הכדור ושפת הקליפה?
- מטען נקודתי q מונח ב- $r = 1.5R$. מהו הכוח הפועל על המטען אם ניתן להניח שההשפעה שלו על המערכת זניחה.



(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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

חשמל ומגנטיות

פרק 12 - מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית

תוכן העניינים

- 1. עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי..... 78
- 2. פוטנציאל ומתח..... 80
- 3. פוטנציאל במוליכים..... 84
- 4. תרגילים נוספים..... 86

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 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 זז 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 $d = 5cm$.

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

תשובות סופיות:

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

$$r = 90m \quad \text{א.} \quad v_F \approx 6.32 \frac{m}{sec} \quad \text{ב.} \quad (2)$$

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

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

$$W = 170J \quad (5)$$

$$W = 33.9J \quad (6)$$

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 $Q = 2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

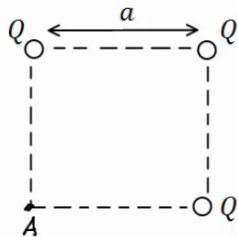
אורך צלע הריבוע היא $a = 3 \text{ cm}$.

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 $l = 5 \text{ cm}$.

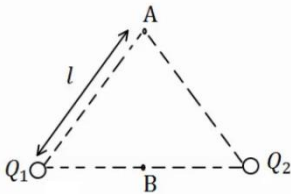
א. מצא את המתח בין הנקודה A הנמצאת בקדקוד

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.

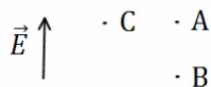
א. איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה

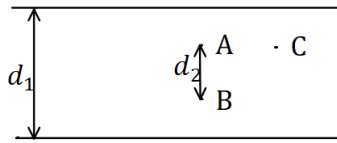
במטען שלילי?

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.

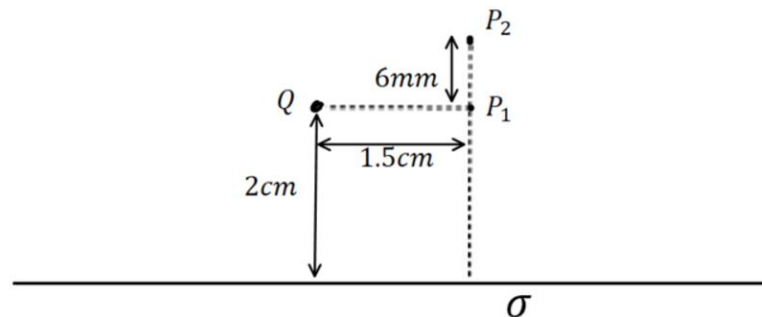
- איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?
- מהו השדה בין הלוחות (גודל וכיוון)?
- מהו המתח V_{BA} אם ידוע שהמרחק בין הנקודות A ו B הוא $d_2 = 5\text{cm}$?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ מ-A ל-B?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ מ-A ל-C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

(6) פוטנציאל של לוח ומטען נקודתי

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

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

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



(7) חישוב שדה ותנועה בין 3 לוחות

שלושה לוחות גדולים מאוד נמצאים אחד אחרי השני ומקביל כפי שמתואר באיור 1. הלוחות טעונים בצפיפויות מטען (אחידות) שונות.

הפוטנציאל כתלות במיקום נתון באיור 2.

א. חשבו את השדה החשמלי בתחומים:

$$0 < x < 15 \text{ cm} \quad \text{ו} \quad -15 \text{ cm} < x < 25 \text{ cm}$$

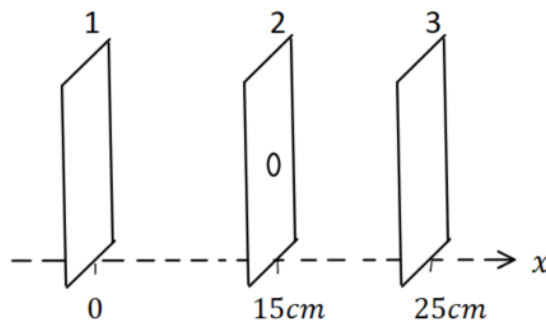
נתון כי צפיפות המטען המשטחית של לוח 1 היא: $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ C/m}^2$ וכי צפיפות המטען המשטחית של לוח 3 חיובית.
 ב. חשבו את σ_2 ו- σ_3 .

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: $3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

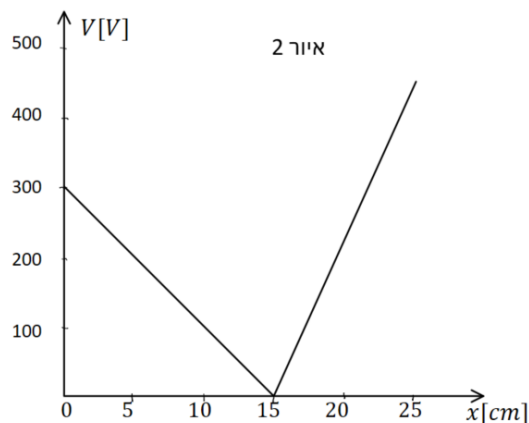
ג. מהו מטען החלקיק (כולל הסימן)?

ד. האם החלקיק יגיע ללוח 3? אם כן, מהי תהיה מהירותו? אם לא, היכן ייעצר?

איור 1



איור 2



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.

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

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

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

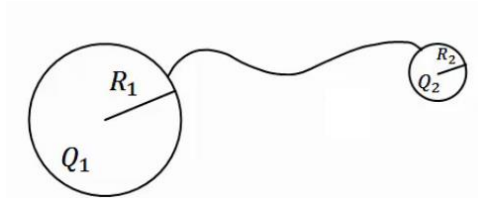
$$q = 7.5 \mu\text{C} \quad \text{ג.} \quad \sigma_3 = 4.21 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}, \quad \sigma_2 = -5.75 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \quad \text{ב.}$$

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

פוטנציאל במוליכים:

שאלות:

(1) שני כדורים מוליכים מחוברים



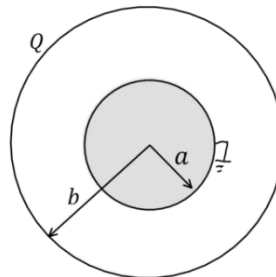
שני כדורים מוליכים בעלי רדיוסים R_1, R_2 נמצאים במרחק גדול מאוד אחד מהשני. הכדורים טעונים במטענים Q_1, Q_2 בהתאמה. מחברים את הכדורים באמצעות חוט מוליך. מה היה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

(2) מטען נקודתי במרכז קליפה מוארקת

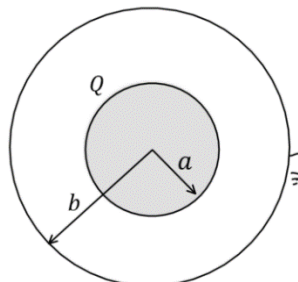
מטען נקודתי Q נמצא במרכזה של קליפה (חלולה) כדורית דקה ומוליכה ברדיוס R . מהו המטען על הקליפה אם ידוע שהיא מוארקת?

(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:

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

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

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

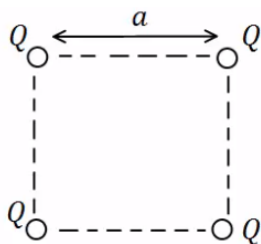
תרגילים נוספים:

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.

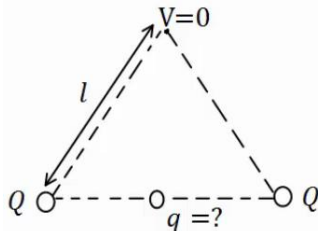
(2) מטענים בפינות ריבוע



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

- מהי העבודה הדרושה לבניית המערכת?
- מהו הפוטנציאל בנקודה הנמצאת באמצע אחת מצלעות הריבוע?
- מהי העבודה הדרושה להבאת מטען $q = 3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ לנקודה מסעיף ב'?
- 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: $l = 20 \text{ cm}$.

- מצא את גודלו של המטען q כך שהפוטנציאל בקודקוד השלישי יתאפס.
- חזור על סעיף א' אם המטען q נמצא במרכז של צלע אחרת במשולש.

(4) פוטנציאל בנקודה מסוימת

בנקודה מסוימת קיים פוטנציאל של 15V.

- מהי העבודה להביא מטען שגודלו 1C מהאינסוף לנקודה זו?
- מהי העבודה הדרושה להביא מטען של $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ לנקודה זו?
- מהי העבודה הדרושה להביא מטען של $Q = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ מפוטנציאל של $V = 5 \text{ V}$ לנקודה זו?
- 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 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?

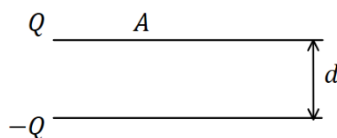
$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

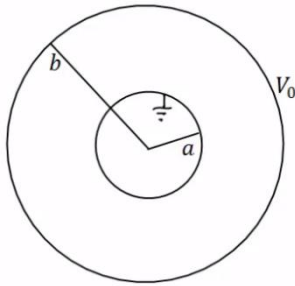
(8) פוטנציאל של כדור מוליך

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- $Q_2 = 6 \cdot 10^{-6}\text{C}$.

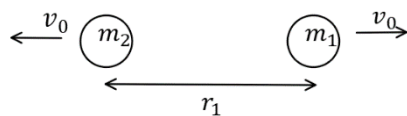
- א. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שפות הכדורים, אם הם מרוחקים מאוד זה מזה.
- ב. מהו הפרש הפוטנציאלים בין שתי הנקודות הכי קרובות של הכדורים, אם המרחק בין מרכזיהם הוא $d = 5\text{m}$.
- הנח שהתפלגות המטען על כל כדור עדיין אחידה.

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.



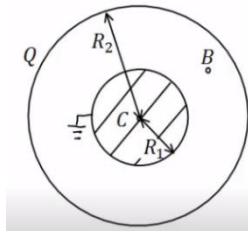
לגופים מהירות התחלתית כך שאחד מתרחק מהשני.

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

A

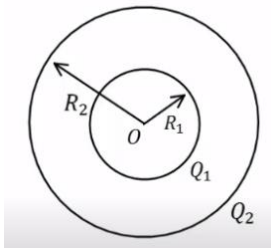
רדיוס הקליפה הוא: $R_2 = 10 \text{ cm}$. והמטען עליה

הוא: $Q = 3 \cdot 10^{-7} \text{ C}$. מאריקים את הכדור.

א. מצא את המטען על שפת הכדור.

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

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

**15) שתי קליפות קוצנטריות 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 מאוד 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 $4\pi R^2$.

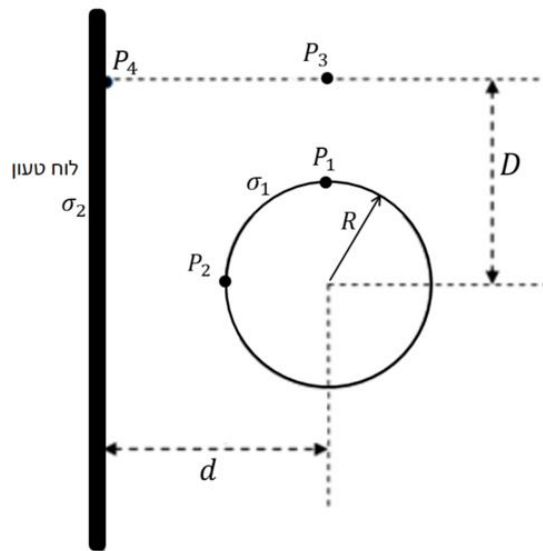
א. מה ערכו של השדה החשמלי השקול בנקודה P_2 ?

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**

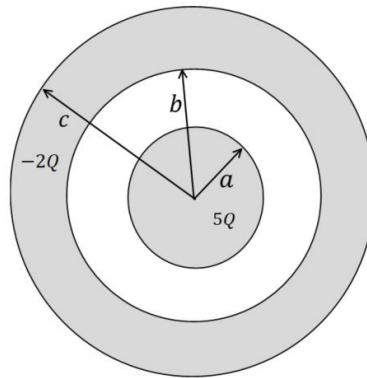
כדור מוליך בעל רדיוס a טעון במטען חיובי $5Q$ ונמצא בתוך קליפה כדורית מוליכה בעלת רדיוס פנימי b ורדיוס חיצוני c , הטעונה במטען $-2Q$.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

חשמל ומגנטיות

פרק 13 - זרם מתח ותנגדות

תוכן העניינים

94	1. הזרם החשמלי
96	2. המתח החשמלי וחוק אוהם
97	3. התנגדות
99	4. כאמ ומתח הדקים
(ללא ספר)	5. סיכום הפרק
100	6. תרגילים

הזרם החשמלי:

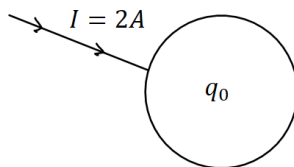
שאלות:

(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 $q_0 = 5c$.

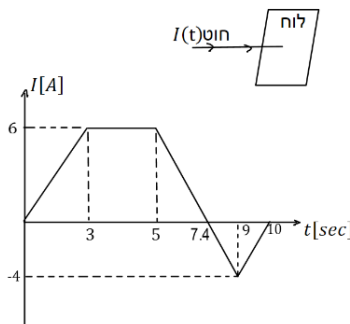
מחברים את הכדור לחוט מוליך והחוט מעביר

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:

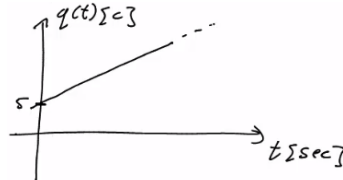
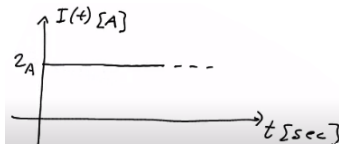
(1) א. $\Delta q = 3600c$

ב. $N_e = 2.25 \cdot 10^{22}$

(2) א. $q(t) = 5 + 2 \cdot t$

ג.

ב.



(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?

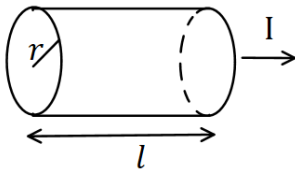
תשובות סופיות:

- 1) א. $R = 500\Omega$ ב. $I = 20mA$

התנגדות:

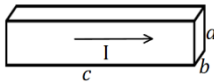
שאלות:

(1) נגד גלילי



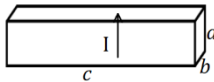
חשב את ההתנגדות של נגד בצורת גליל באורך $l = 1\text{m}$ ורדיוס בסיס של $r = 2\text{mm}$. הנגד עשוי מנחושת בעלת התנגדות סגולית $\rho = 1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (הזרם זורם לאורך ציר הסימטריה של הגליל).

(2) נגד בצורת תיבה



(א)

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



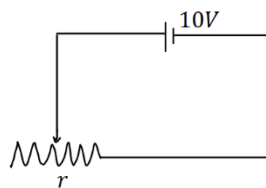
(ב)

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

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

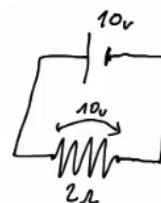
מה צריך להיות אורך הנגד על מנת שהזרם במעגל יהיה 2A?

תשובות סופיות:

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

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

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



$$x = 10cm \quad (4)$$

כאמ ומתח הדקים:

שאלות:

1) כאמ ומתח הדקים

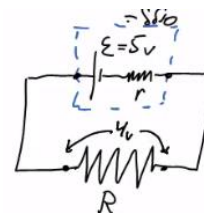
- סוללה מייצרת כא"מ של $5V$. לסוללה התנגדות פנימית של $r = 2\Omega$. מחברים את הסוללה לנגד חיצוני R שהתנגדותו אינה ידועה. נתון כי הזרם בכל רכיב במעגל זהה ושווה ל- $I = 0.5A$.
- שרטט תרשים המתאר את המעגל.
 - חשב את מתח ההדקים שמספקת הסוללה.
 - מהי ההתנגדות של הנגד?

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?

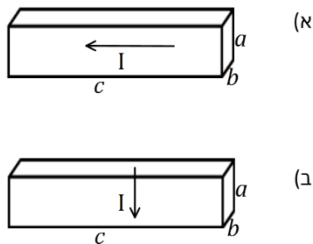
(2) תרגיל 2

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



תיבה בעלת צלעות: $a = 3mm, b = 2mm, c = 4cm$
עשויה מחומר בעל התנגדות סגולית $\rho = 10^{-8} \Omega \cdot m$.
מצא את התנגדות התיבה בשני המקרים הבאים:

(5) תרגיל 5

בנגד גלילי בעל שטח חתך $A = 2mm^2$ זורם זרם של $I = 20mA$.
צפיפות האלקטרונים החופשיים בנגד היא: $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{m^3}$.
מהי מהירות האלקטרונים בנגד?

(6) תרגיל 6

נגד בעל שטח חתך $A = 2cm^2$ ואורך $l = 4cm$ 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: $n = 8.5 \cdot 10^{28} \frac{1}{m^3}$?

תרגיל 7 (7)

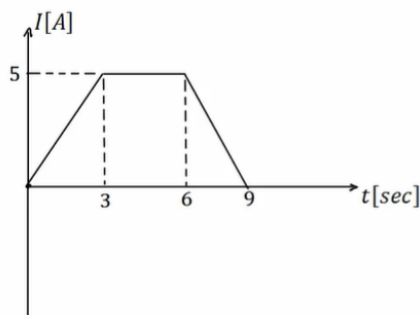
סוללה בעלת מתח $6V$ מחוברת לנגד משתנה.
 כאשר אורך הנגד הוא $l = 6\text{cm}$ הזרם במעגל הוא $1A$.
 מהי ההתנגדות ליחידת אורך של הנגד?

תרגיל 8 (8)

סוללה עם כא"מ של $4V$ מחוברת למעגל חשמלי.
 במעגל זורם זרם $I = 0.5A$.
 ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא $r = 0.5\Omega$.
 מהו מתח ההדקים של הסוללה?

תרגיל 9 (9)

בגרף הבא נתון הזרם במוליך כתלות בזמן.
 כמה מטען עבר במוליך?

**תשובות סופיות:**

$$I = 5A \quad (1)$$

$$N = 1.25 \cdot 10^{19} \quad (2)$$

$$R = 5.51 \cdot 10^{-4} \Omega \quad (3)$$

$$R = 3.75 \cdot 10^{-7} \Omega \quad \text{ב.} \quad R \approx 6.67 \cdot 10^{-5} \Omega \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$v_d = 7.35 \cdot 10^{-7} \frac{m}{sec} \quad (5)$$

$$v_d \approx 9.19 \cdot 10^{-7} \frac{m}{sec} \quad \text{ב.} \quad I = 2.5A \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$r = 100 \frac{\Omega}{m} \quad (7)$$

$$V = 3.75V \quad (8)$$

$$\Delta q = 30c \quad (9)$$

חשמל ומגנטיות

פרק 14 - אנרגיה והספק במעגל החשמלי

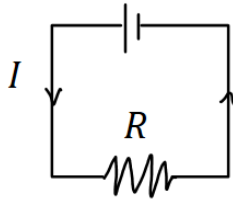
תוכן העניינים

- 1. עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים..... 102
- 2. הספק חשמלי..... 103
- 3. תרגילים נוספים..... 105

עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים:

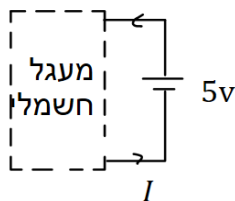
שאלות:

(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



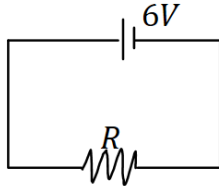
- סוללה מחוברת למעגל חשמלי כלשהו.
- המתח בסוללה הוא $V = 5 \text{ Volt}$
- והזרם במעגל (וגם בסוללה) הוא $I = 0.4A$.
- כמה מטען עובר דרך הסוללה במשך 2 שניות?
 - כמה עבודה ביצעה הסוללה במשך הזמן הנתון?

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:

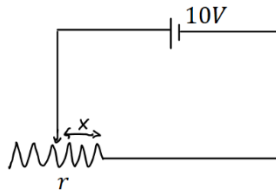
שאלות:



(1) הספק של מקור ושל נגד

במעגל הבא מקור מתח של 6 וולט מחובר לנגד שהתנגדותו $R = 12\Omega$.

- מהו ההספק של מקור המתח?
- 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 $r = 100 \frac{\Omega}{m}$.

- מהו ההספק של הנגד כאשר אורכו 5 ס"מ?
- מהו ההספק בנגד כאשר אורכו 10 ס"מ?
- מהו ההספק בנגד כפונקציה של האורך?

(3) נורה במתח אחר

נורה שההספק שלה הוא 100W במתח של 220V חוברת 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.

- מהי כמות האנרגיה שצורך המזגן בשעה אחת ביחידות של קוט"ש (קילו וואט שעה), כאשר היחס: $1hp = 746Watt$?
- 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:

$$\text{ג. } Q = 25 \text{ j} / \approx 5.9 \text{ cal.} \quad \text{ב. } \rho = 2.5 \text{ W} \quad \text{א. } I = 0.5 \text{ A} \quad (1)$$

$$\text{ג. } \rho \approx 15 \text{ W} \quad \text{ב. } \Delta q \approx 16.4 \text{ c} \quad \text{א. } R = 807 \Omega \quad (2)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1.5 \quad (3)$$

$$E = 1.8 \text{ kWh} \quad (4)$$

חשמל ומגנטיות

פרק 15 - חיבור נגדים וחוקי קירכהוף

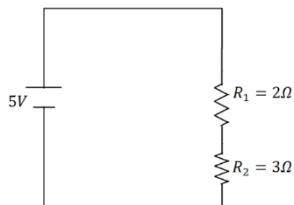
תוכן העניינים

107	1. חיבור נגדים במעגל
110	2. חוקי קירכהוף
111	3. תרגילים נוספים
(ללא ספר)	4. טעינה ופריקה של קבל
113	5. נצילות במעגל החשמלי
115	6. מקור מתח לא אידיאלי

חיבור נגדים במעגל

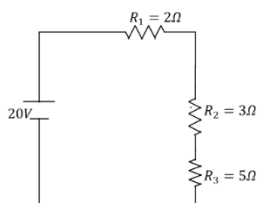
שאלות

(1) דוגמה 1



חשב את הזרם במעגל הבא וחשב את ערך הפוטנציאל בין הנגדים (הנח שההדק השלילי נמצא בפוטנציאל אפס).

(2) דוגמה 2

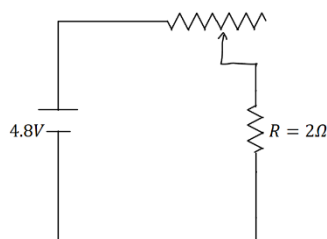


חשב את הזרם במעגל הבא ומצא את המתח על כל נגד.

(3) דוגמה 3

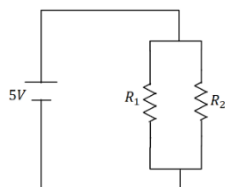
סוללה עם כ"מ של 3V והתנגדות פנימית $r = 2\Omega$ מחוברת לנגד $R = 10\Omega$.
 א. סרטט איור של המעגל.
 ב. מהו הזרם במעגל?
 ג. מהו מתח ההדקים של הסוללה?

(4) דוגמה 4



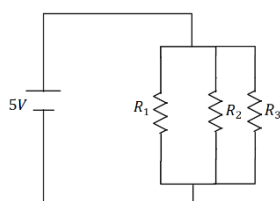
במעגל הבא ישנו מקור מתח אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) המחובר לנגד רגיל ונגד משתנה. אורך הנגד המשתנה הוא 20 ס"מ והתנגדותו ליחידת אורך היא: $r = 2 \frac{\Omega}{m}$.
 מהו הזרם במעגל ומהו המתח על כל נגד?

(5) דוגמה 5

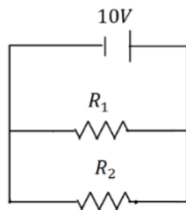


במעגל הבא: $R_2 = 2\Omega$, $R_1 = 6\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

(6) דוגמה 6

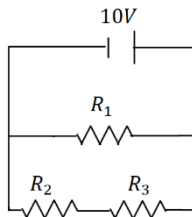


במעגל הבא: $R_3 = 4\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_1 = 1\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



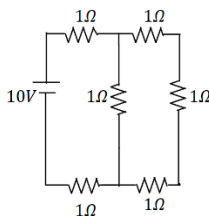
(7) דוגמה 7

במעגל הבא : $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



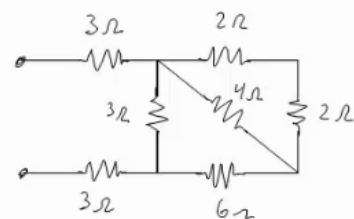
(8) דוגמה 8

במעגל הבא : $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 1\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



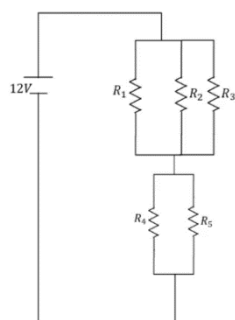
(9) דוגמה 9

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 $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega$, $R_5 = R_4 = 8\Omega$.

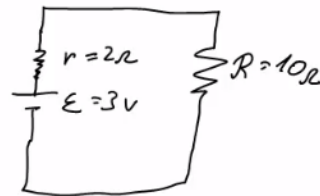
- מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.
- חשבו את הספק המעגל והראו כי הוא שווה להספק הסוללה.
- מוסיפים נגד כלשהו המחובר בטור לסוללה. האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

תשובות סופיות

$$I = 1A, V_3 = 3V \quad (1)$$

$$I = 2A, V_1 = 4V, V_2 = 6V, V_3 = 10V \quad (2)$$

$$V = 2.5V \quad \text{ג.} \quad I = 0.25A \quad \text{ב.} \quad \text{א.} \quad (3)$$



$$I = 2A, V_r = 0.8V, V_R = 4V \quad (4)$$

$$I = \frac{10}{3}A, V_1 = \frac{5}{6}A, V_2 = \frac{5}{2}A \quad (5)$$

$$I = 24.5A, I_1 = 14A, I_2 = 7A, I_3 = 3.5A \quad (6)$$

$$I = 5.33A, I_1 = 2A, I_2 = \frac{10}{3}A \quad (7)$$

$$I = 5A, I_1 = 2.5A, I_2 = 2.5A \quad (8)$$

$$I = \frac{40}{11}A, I_1 = \frac{10}{11}A, I_2 = \frac{30}{11}A \quad (9)$$

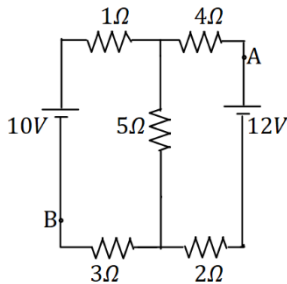
$$R_T = \frac{66 + 24}{11} \quad (10)$$

$$I_T = 2A, I_1 = I_2 = I_3 = \frac{2}{3}A, I_4 = I_5 = 1A \quad \text{א.} \quad (11) \quad \text{ב.} \quad 24W \quad \text{ג.} \quad \text{יקטן.}$$

חוקי קירכהוף:

שאלות:

(1) קירכהוף תרגיל 1

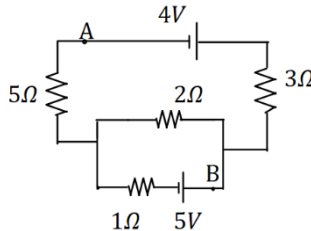


במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

ב. מצא את V_{AB} באמצעות שני מסלולים שונים.

(2) קירכהוף תרגיל 2



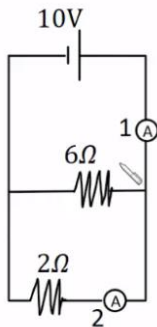
במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

ב. מצא את V_{AB} .

(3) דוגמה

מה יראה כל אמפרמטר במעגל הבא בהנחה שהם אידיאליים?



תשובות סופיות:

(1) א. $I_1 = 0.67A$, $I_2 \approx 1.46A$, $I_3 \approx 0.79A$ ב. $V_{AB} = 12.49V$

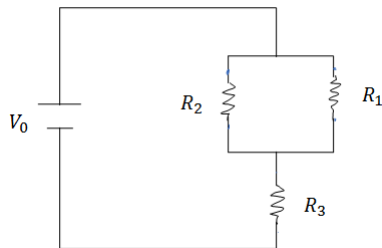
(2) א. $I_1 = 0.08A$, $I_2 \approx 1.69A$, $I_3 \approx -1.61A$ ב. $V_{AB} = -3.79V$

(3) $A_1 = \frac{20}{3}A$, $A_2 = 5A$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) תרגיל 1



במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור: $R_3 = 5\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_1 = 2\Omega$, $V_0 = 31V$.
 א. מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל.
 ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.
 חשב את הזרם והמתח על כל אחד מהנגדים.

(2) תרגיל 2

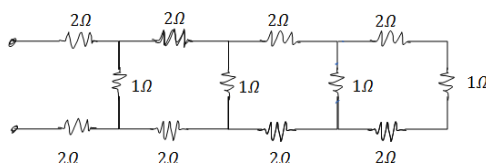
נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R .
 מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.
 מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

(3) תרגיל 3



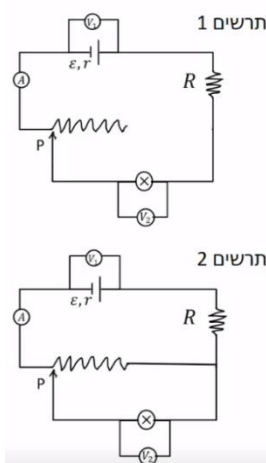
חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:

(4) תרגיל 4



מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים:

(5) תרגיל 5



במעגל הבא (תרשים 1) כל מכשירי המדידה אידיאליים $\epsilon = 5V$, $R = 2\Omega$, התנגדות הנגד המשתנה היא 8 אוהם. כאשר הגרר P נמצאת בנקודה הכי שמאלית של הנגד המשתנה מדידת האמפרמטר היא $0.2A$ והוולטמטר $V_1 = 4V$.

- א. מהי ההתנגדות הפנימית של הסוללה ומהי התנגדות הנורה?
 ב. מהי נצילות המעגל במצב הנתון?

ג. משנים את מיקום הגררה בצורה רציפה, האם הנצילות תגדל/תקטן/לא תשתנה?

מחברים את הקצה השני של הנגד המשתנה כפי שנראה בתרשים 2 כאשר הגררה נשארת בקצה השמאלי של הנגד.

ד. האם הספק הסוללה גדל/קטן או לא השתנה? נמק ללא חישוב.

ה. באיזה מעגל הנורה מאירה בעוצמה חזקה יותר? הסבר ללא חישוב.

תשובות סופיות:

$$V_3 = 25V, V_{1,2} = 6V, I_1 = 3A, I_2 = 2A \quad \text{and} \quad R_T = \frac{31}{5} \Omega \quad \text{Ans} \quad (1)$$

1)  , $R_{T_1} = 3R$, $R_{T_2} = \frac{3}{2}R$, $R_{T_3} = \frac{R}{3}$ **(2)**



$$I_1 = 2A, I_2 = 4A, I_3 = 9A, V_1 = 2V, V_2 = 8V, V_3 = 27V \quad (3)$$

$$R_T = \frac{169}{204} + 4 \quad (4)$$

5) א. התנגדות פנימית: $r = 5\Omega$, התנגדות הנורה: $R = 18\Omega$

ב. n = 72% ג. תקטן. ד. גדל. ה. ראה סרטון.

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. $V = 176\text{Litter}$

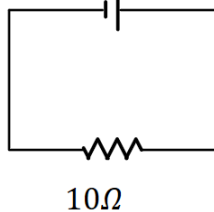
(3) א. $v \approx 139 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$ ב. $v = 76.2 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$ ג. $Q = 124,333\text{cal.}$

מקור מתח לא אידיאלי:

שאלות:

(1) דוגמה 1

סוללה לא אידיאלית

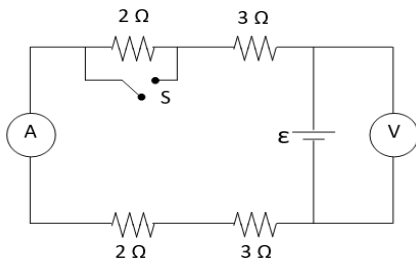


- המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית המחוברת לנגד של 10 אוהם. ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא 1 אוהם. במעגל זורם זרם של 2 אמפר.
- א. מהו הכא"מ של הסוללה?
- ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

(2) דוגמה 2

- מחברים סוללה לא אידיאלית לנגד של 10 אוהם ומודדים את הזרם במעגל. המדידה מראה כי הזרם הוא 2 אמפר. לאחר מכן מנתקים את הסוללה מהנגד ומחברים אותה לנגד של 6 אוהם.
- מודדים שוב את הזרם במעגל ורואים כי הזרם השתנה ל-3 אמפר.
- א. מצא את הכא"מ וההתנגדות הפנימית של הסוללה.
- ב. מצא את מתח ההדקים של הסוללה בכל אחד מהחיבורים.

(3) מעגל עם סוללה לא אידיאלית



- המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאליים, סוללה (לא אידיאלית) ומפסק. קריאת האמפרמטר נרשמה פעמיים, כאשר המפסק פתוח וכאשר המפסק סגור.
- אחת הקריאות הייתה 1.5A והאחרת הייתה 1.8A.
- א. האם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק/י!
- ב. מה הוראת מד המתח בשני מצבי המפסק? פרטי חישוביך!
- ג. חשב/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/י!

תשובות סופיות:

- (1) א. $\mathcal{E} = 22V$ ב. $V = 20V$
- (2) א. $\mathcal{E} = 24V$, $r = 21\Omega$ 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. $r = 2\Omega$, $\mathcal{E} = 18V$.
 ד. האמפרמטר: $I = 9A$, הוולטמטר: $V = 0$.

חשמל ומגנטיות

פרק 16 - קבלים

תוכן העניינים

117	1. הרצאות ותרגילים
127	2. תרגילים נוספים

הרצאות ותרגילים:

רקע:

קבל הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען
קיבול הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא
 הנוסחה הבסיסית של קבל:

$$C = \frac{Q}{V}$$

C - הקיבול של הרכיב
 V - המתח בין שני החלקים
 Q - המטען על הלוח החיובי

יחידות הקיבול הן Farad

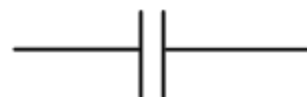
$$1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$$

סוגי קבלים נפוצים- קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי. בדרי"כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות)

הקיבול של קבל לוחות: $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$
 A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.

תכונת הקיבול - הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו) לכן הוא תמיד קבוע במעגל.

סימון הקבל במעגל הוא



כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפוך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא יזרום זרם דרך הקבל.
 לכן נהוג לומר שלאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נתק במעגל.

חיבור קבלים במקביל:

תנאי- המתח על הקבלים שווה וזהה למתח על הקבל השקול
נוסחה לקבל השקול :

$$C_T = C_1 + C_2$$

המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

חיבור קבלים בטור :

תנאי : המטען על כל הקבלים זהה

נוסחה לקבל השקול :

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים

אנרגיה האגורה בקבל :

$$U_c = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל :

$$W = QV = 2U_c$$

חומרים דיאלקטרים בקבל :

הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול

נוסחה לקבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד :

$$C' = \epsilon_r C_0$$

במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד , ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.

טעינה של קבל :

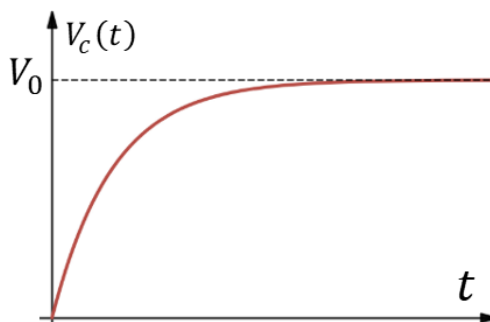
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

$$V_c(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

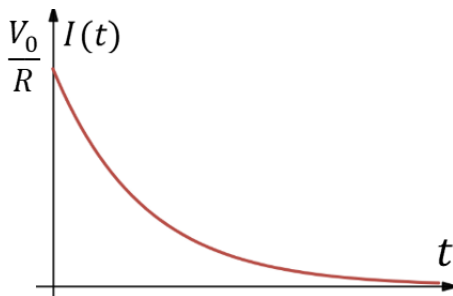
$$q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

V_0 - המתח של הסוללה

R - התנגדות המעגל



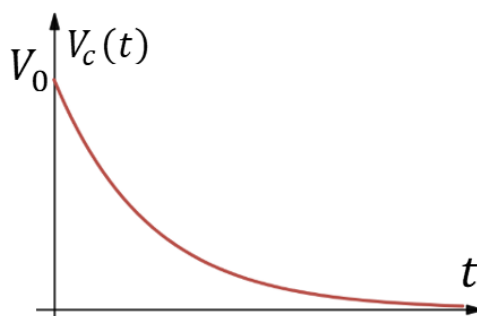
הזרם כתלות בזמן:



$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

פריקה של קבל:

המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה



$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q_c(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי)

$$(Q_0 = CV_0)$$

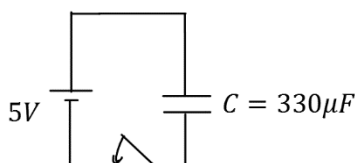
הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה

זמן אופייני $\tau = RC$ נהוג להגיד שלאחר זמן של 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

שאלות:

(1) קבל ומקור דוגמה בסיסית

קבל בעל קיבול $C = 330\mu F$ מחובר לסוללה במתח $V = 5V$. סוגרים את המפסק במעגל וממכים זמן רב.



א. מה יהיה הזרם במעגל?

ב. מה יהיה המתח בין לוחות הקבל?

ג. מה יהיה המטען על הלוחות? ציין איפה יהיה המטען החיובי ואיפה השלילי.

ד. חזור על הסעיפים במקרה שבו מחובר גם נגד בטור במעגל

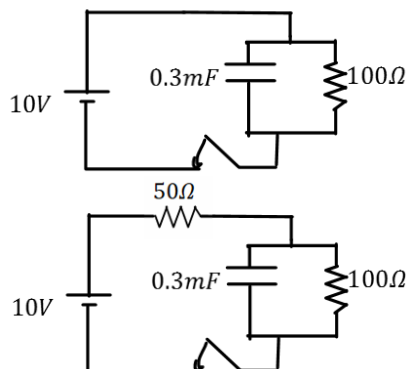
(2) מוציאים מטען מהקבל

קבל טעון במטען של $5\mu C$. מד מתח שמחובר לקבל מראה קריאה של 3 וולט.

א. מצא את הקיבול של הקבל.

כעת מוציאים $2\mu C$ מהמטען על הקבל (ו- $2\mu C$ מהצד השלילי).

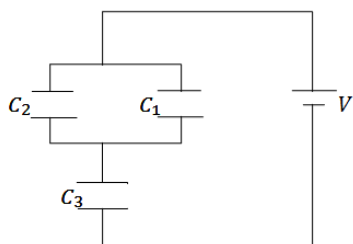
ב. מה יראה מד המתח?

(3) קבל במקביל לנגד

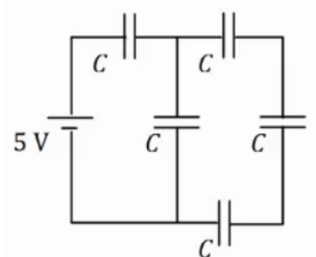
- במעגל הבא סוגרים את המפסק ומחכים זמן רב.
- מצא את המתח והמטען על הקבל.
 - האם יזרום זרם במעגל?
אם כן, מצא את גודלו וכיוונו.
 - חזור על הסעיפים עבור המקרה בו יש נגד נוסף במערכת (ראה תרשים).

(4) חישוב קיבול של קבל לוחות

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח 2cm^2 ומרחק בין הלוחות 0.3mm .
- 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 $V = 3\text{V}$ והקיבול של כל קבל: $C_1 = 2\mu\text{F}$, $C_2 = 3\mu\text{F}$, $C_3 = 5\mu\text{F}$.
- מצא את המטען על כל קבל.

(6) חיבור 5 קבלים

- במעגל הבא לכל הקבלים קיבול זהה $C = 200\mu\text{F}$.
- המתח של הסוללה הוא $V = 5\text{V}$.
- מצא את הקיבול השקול של המעגל.
 - מצא את המתח והמטען על כל קבל זמן רב לאחר סגירת המעגל.

(7) מרחיקים לוחות בקבל

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח 3cm^2 ומרחק בין הלוחות 0.4mm .
- א. חשב את הקיבול של הקבל
 - ב. מה יהיה המטען על הקבל אם נחבר אותו למקור מתח $V = 3\text{V}$ (לאחר זמן רב).
 - ג. כעת מנתקים את הקבל ממקור המתח ומגדלים את המרחק בין הלוחות פי 2.
 - ד. מצא את הקיבול החדש.
 - ה. מצא את המטען והמתח על הקבל החדש.
 - ו. 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 5cm^2 ומרחק בין הלוחות 2mm .
- א. חשב את הקיבול של הקבל.
 - ב. מחברים את הקבל לסוללה במתח 4 וולט.
 - ג. מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?

(9) מקרבים את הלוחות

- קבל לוחות מורכב מלוחות זהים בעלי שטח 6cm^2 ומרחק בין הלוחות 3mm .
- א. חשב את הקיבול של הקבל.
 - ב. מחברים את הקבל לסוללה במתח 5 וולט.
 - ג. מהי האנרגיה האגורה בקבל לאחר זמן רב?
 - ד. מקרבים את הלוחות הקבל למרחק 1mm .
 - ה. מצא את האנרגיה החדשה אם הקבל מחובר לסוללה במשך כל התהליך.
 - ו. רשום גם את שינוי האנרגיה בקבל.
 - ז. חזור על ג' עבור המקרה שבו מנתקים את הקבל מהסוללה לפני שמקרבים את הלוחות.

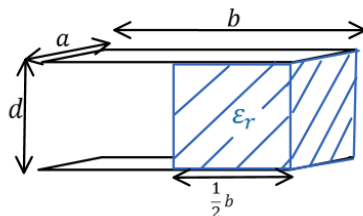
(10) מכניסים חומר לקבל בשתי דרכים

- קבל בעל קיבול של $5\mu\text{F}$ מחובר למקור מתח של 12V .
- א. חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור.
 - ב. מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי $\epsilon_r = 1.2$ הממלא את כל הרווח בין הלוחות הקבל.
 - ג. בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך.
 - ד. חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב.
 - ה. חשב את השינוי במטען ובאנרגיה בעקבות הכנסת החומר.
 - ו. 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 12V .

- א. חשב את המטען, המתח והאנרגיה האגורה בקבל זמן רב לאחר החיבור למקור.
 מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי $\epsilon_r = 1.4$ הממלא את כל הרווח בין לוחות הקבל.
 ב. בהנחה שהקבל מחובר למקור בכל התהליך.
 חשב את המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב.
 כעת מנתקים את הקבל מהמקור ומוציאים את החומר הדיאלקטרי.
 ג. מה יהיה המתח המטען והאנרגיה בקבל לאחר זמן רב?
 ד. חשב את שינוי האנרגיה בכל שלב בתהליך.

**12) קבל עם חצי ימין מלא**

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$ ומרחק d בין הלוחות. $a = 3\text{cm}$, $b = 4\text{cm}$, $d = 2\text{mm}$.
 א. מצא את הקיבול של הקבל.

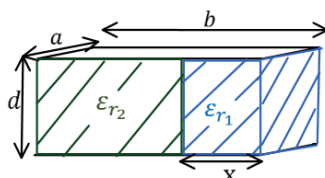
ממלאים את חציו הימני של הקבל בחומר דיאלקטרי

בעל מקדם $\epsilon_r = 3$ וחציו השמאלי נשאר ריק (ראה איור).

ב. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ג. מחברים את הקבל למקור מתח $V_0 = 5\text{V}$.

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

**13) קבל עם חלק ימין שונה מחלק שמאל**

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$ ומרחק d בין הלוחות. $a = 5\text{cm}$, $b = 6\text{cm}$, $d = 1\text{mm}$.

ממלאים את חלק של הקבל ברוחב $x = 1\text{cm}$ בחומר

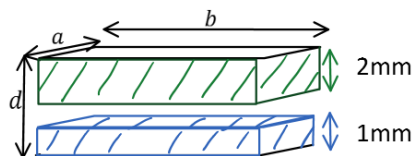
דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_{r1} = 4$, ואת החלק הנותר

בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_{r2} = 2$ (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח $V_0 = 5\text{V}$.

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

(14) קבל עם שלושה חלקים אחד מעל השני

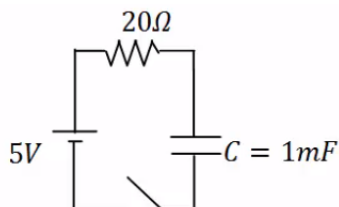
קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$, ומרחק d בין הלוחות. $a = 5\text{cm}$, $b = 6\text{cm}$, $d = 4\text{mm}$. ממלאים חלק של הקבל בגובה 1mm ולכל הרוחב בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_r = 4$.

את החלק מגובה 2mm ועד הלוח העליון ממלאים בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_r = 2$ (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח $V_0 = 5\text{V}$.

כמה מטען יהיה על כל לוח ומה תהיה האנרגיה של הקבל?

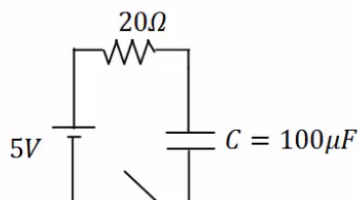
(15) טעינה

במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 1\text{mF}$, התנגדות הנגד היא: $R = 20\Omega$ ומתח המקור הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב- $t = 0$.

א. מהו המטען על הקבל לאחר 0.01 שניות?

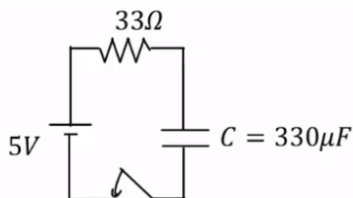
ב. המתח על הקבל באותו הרגע?

ג. מהם המטען והמתח על הקבל לאחר 0.1 שניות?

(16) זמן אופייני

במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 100\mu\text{F}$, התנגדות הנגד היא: $R = 100\Omega$ ומתח המקור הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב- $t = 0$.

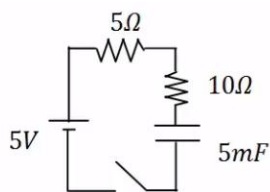
מהו המטען והמתח על הקבל לאחר 0.3 שניות?

(17) חישוב זרם

במעגל הבא הקיבול של הקבל הוא: $C = 330\mu\text{F}$, התנגדות הנגד היא: $R = 33\Omega$ ומתח המקור הוא: $V_0 = 5\text{V}$. סוגרים את המפסק ב- $t = 0$.

א. מהו הזרם במעגל ב- $t = 0.005\text{sec}$?

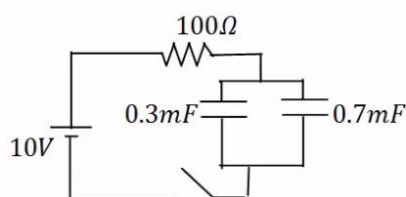
ב. מהו ההספק בנגד באותו הרגע?

(18) שני נגדים

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$.

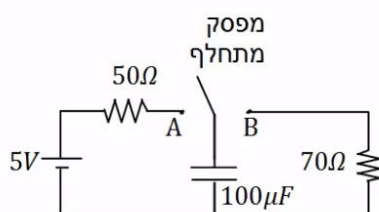
א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והזרם בקבל בזמנים: $t = 0.01, 0.6\text{sec}$.

**(19) שני קבלים**

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$.

- מהו הזמן האופייני במעגל?
- מצא את המתח והמטען בכל קבל בזמנים: $t = 0.2, 0.8 \text{ sec}$.

**(20) דוגמה מסכמת**

במעגל הבא מחברים את המפסק המתחלף

לנקודה A ומחכים זמן רב.

- רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן. מהו "זמן רב"?

לאחר מכן מעבירים את המפסק לנקודה B.

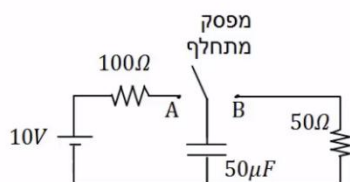
- רשום שוב את המתח על הקבל כתלות בזמן.

(21) מתג מתחלף

במעגל הבא מחברים ב- $t = 0$ את המפסק המתחלף לנקודה A.

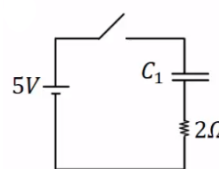
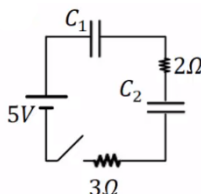
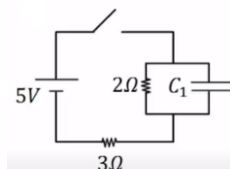
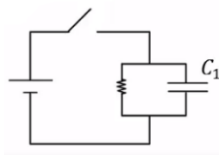
ב- $t = 0.01$ מעבירים את המפסק לנקודה B.

- רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.
- מה המטען על הקבל ב- $t = 0.02$?
- רשום את הזרם כתלות בזמן.
- צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

**(22) מציאת זרם במספר מעגלים**

מצא את הזרם, בכל נגד, במעגלים הבאים. ברגע סגירת המתג הנח שהקבלים אינם טעונים לפני הסגירה של המתג וכי הסוללה והחוטמים אידיאליים.

- א. ב. ג. ד.



23) קבלים במעגל בהתחלה ולאחר זמן רב

נתוני הרכיבים במעגל הבא הם :

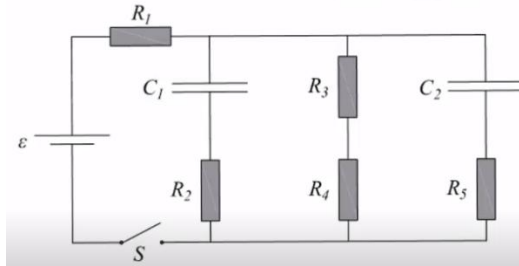
$$R_1 = 4\Omega, R_2 = 3\Omega, R_3 = 2\Omega, R_4 = 1\Omega, R_5 = 6\Omega, \varepsilon = 24V, C_1 = 2\mu F, C_2 = 4\mu F$$

לפני סגירת המפסק הקבלים אינם טעונים.

א. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל ברגע סגירת המפסק?

ב. מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים במעגל זמן רב לאחר סגירת המפסק?

ג. מהו המטען על כל אחד מהקבלים זמן רב לאחר סגירת המפסק?

**תשובות סופיות:**

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. $C_{T1} = \frac{C}{3}, C_{T2} = \frac{4C}{3}, C_T = 114\mu F$

ב. $q_1 = q_T = 571\mu C, q_2 = q_3 = q_4 = q_{T1} = 143\mu C$

$V_1 = 2.86V, V_5 = 2.14V, V_2 = V_3 = V_4 = 0.715V$

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. $V_c = 12V, Q = 60\mu C, U_c = 3.6 \cdot 10^{-4} J$ ב. $C' = 6\mu F, U_c' = 432\mu J, Q' = 72\mu C$

ג. $\Delta Q = 12\mu C, \Delta U = 72\mu J$ ד. $V' = 10V, U_c = 300\mu J$

11) א. $V_c = 12V, Q = 96\mu F, U_c = 576\mu J$ ב. $V_c' = 12V, Q' = 134.4\mu F, U_c' = 806.4\mu J$

ג. $V_c'' = 16.8V, Q'' = 134.4\mu F, U_c'' \approx 1129\mu J$

ד. במעבר מסעיף א' ל-ב': $\Delta U = 230.4\mu J$, במעבר מסעיף ב' ל-ג': $\Delta U \approx 323\mu J$

$$\text{12) א. } C = 5.31 \text{ pF} \quad \text{ב. } C_T = 10.62 \text{ pF} \quad \text{ג. } U_c = 132.75 \text{ pJ}$$

$$\text{13) א. } C_T = 61.95 \text{ pF} \quad \text{ב. } U_c = 1548.75 \text{ pJ}, Q = 309.75 \text{ pC}$$

$$\text{14) א. } C_T = 11.8 \text{ pF} \quad \text{ב. } U_c = 1.475 \cdot 10^{-7} \text{ J}, q = 59 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$\text{15) א. } q_C(t) \approx 1.97 \cdot 10^{-3} \text{ C} \quad \text{ב. } V_C = 1.97 \text{ V}$$

$$\text{ג. } V_C = 4.97 \text{ V}, q_C(t = 0.1) = 4.97 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$\text{16) } V_0 = 5 \text{ V}, V_C = 5 \text{ V}, q_C = 5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

$$\text{17) א. } I(0.005) \approx 0.096 \text{ A} \quad \text{ב. } P \approx 0.305 \text{ W}$$

$$\text{18) א. } \tau = 0.075 \text{ sec}$$

$$\text{ב. } I(t = \infty) = 0, V_C(t = \infty) = 5 \text{ V}, I(t = 0.01) \approx 0.292 \text{ A}, V_C(t = 0.01) = 0.624 \text{ V}$$

$$\text{19) א. } \tau = 0.1 \text{ sec}$$

$$\text{ב. } q_2(t = 0.2) = 6.01 \cdot 10^{-3} \text{ C}, q_1(t = 0.2) = 2.60 \cdot 10^{-3} \text{ C}, V_T(t = 0.2) = 8.65 \text{ V}$$

$$\text{20) א. } V_C(t) = 5V \left(1 - e^{-\frac{t}{5 \cdot 10^{-3}}} \right) \quad \text{ב. } V_C(t) = 5 \cdot e^{-\frac{t}{7 \cdot 10^{-3}}}$$

$$\text{21) א. } V_C(t) = \begin{cases} 10 \left(1 - e^{-\frac{t}{0.005}} \right) & 0 < t < 0.01 \\ 8.65 \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.01 < t \end{cases} \quad \text{ב. } q_C(t = 0.02) \approx 7.92 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$\text{ג. } I(t) = \begin{cases} \frac{10}{100} \cdot e^{-\frac{t}{0.005}} & 0 < t < 0.01 \\ \frac{8.65}{50} \cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1 < t \end{cases} \quad \text{ד. ראה סרטון.}$$

$$\text{22) א. } I(t = 0) = 2.5 \text{ A} \quad \text{ב. } I = 1 \text{ A} \quad \text{ג. } I = \frac{5}{3} \text{ A} \quad \text{ד. } I(t = 0) = \infty$$

$$\text{23) א. } I_5 \approx 0.92 \text{ A}, I_{3,4} = 1.85 \text{ A}, I_2 \approx 1.85 \text{ A}, I_T = I_1 \approx 4.62 \text{ A}$$

$$\text{ב. } I_{1,3,4} = 3.43 \text{ A}, I_{2,5} = 0 \quad \text{ג. } q_2 \approx 41.16 \cdot 10^{-6} \text{ C}, q_1 \approx 20.58 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

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 10V ?

(2) תרגיל 2 - קבל לוחות

קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = 4\text{cm}^2$, שביניהם מרחק של $d = 1\text{mm}$.

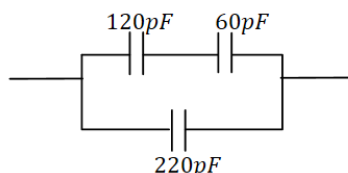
א. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות ריק?

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 5V .

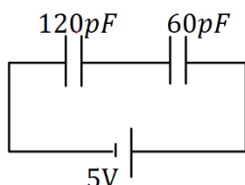
(3) תרגיל 3 - חיבור קבלים

מצא את הקיבול השקול של החיבור הבא.



(4) תרגיל 4 - חיבור קבלים

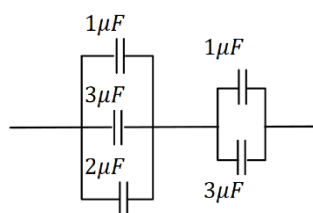
מה המטען והמתח על כל קבל במערכת הבאה (זמן רב לאחר חיבור הסוללה)?
ציין איפה המטען החיובי והיכן המטען השלילי בכל קבל.

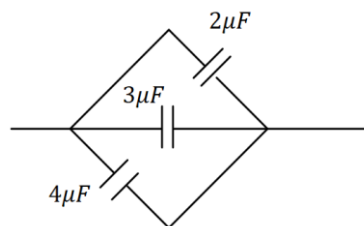


(5) תרגיל 5 - חיבור קבלים

נתונה מערכת הקבלים הבאה:

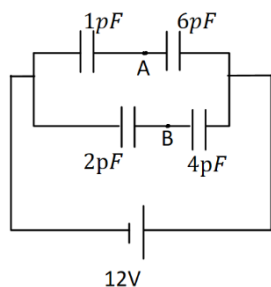
א. מצא את הקיבול השקול בין שני הקצוות של החוט.
ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של 10V .



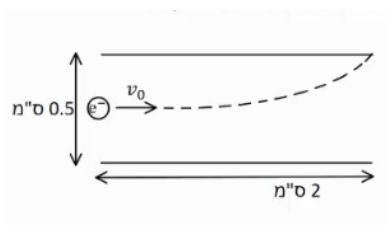
**(6) תרגיל 6 - יהלום**

נתונה מערכת הקבלים הבאה:

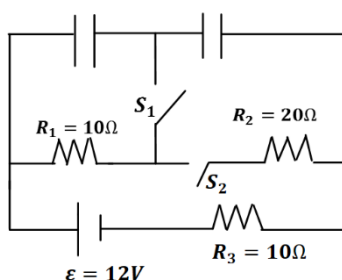
- מצא את הקיבול השקול במקרה הבא.
- מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של 10V.

**(7) תרגיל 7 - חיבור קבלים ומציאת מתח**

- במעגל הבא נתון הקיבול של כל קבל ומתח הסוללה:
- מצא את המתח על כל קבל והמטען על כל קבל.
- סמן על כל קבל היכן המטען החיובי.
- מהו V_{AB} המתח בין הנקודות A ל-B?

**(8) תרגיל 8 - אלקטרון נכנס לקבל לוחות**

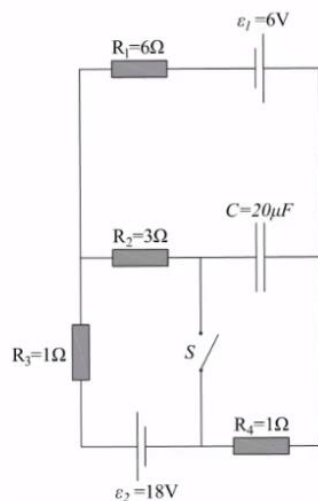
- קבל לוחות מורכב משני לוחות ריבועיים בעלי אורך צלע של 2 ס"מ ומרחק בין הלוחות של 0.5 ס"מ. אלקטרון נכנס במרכז הלוחות עם מהירות, המקבילה ללוחות, שגודלה $v_0 = 10^7 \frac{m}{sec}$ (ראה איור).
- האלקטרון פוגע בדיוק בקצה הלוח העליון.
- א. חשב את השדה בין הלוחות (גודל וכיוון).
- ב. חשב את המתח אליו מחובר הקבל.

תרגילים ברמה ב':**(9) תרגיל 1 - מעגלים חשמליים**

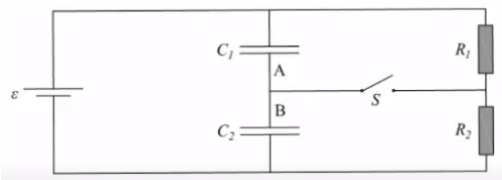
- ענה על הסעיפים הבאים עבור המעגל שבציור, זמן רב לאחר סגירת או פתיחת המתגים.
- א. מהו המתח והמטען על כל קבל, כאשר שני המפסקים פתוחים?
- ב. סוגרים את S_1 . S_2 פתוח. מהו המתח והמטען של כל קבל?
- ג. סוגרים את S_2 ופותחים את S_1 . מהו המתח על כל קבל?
- ד. הפעם שניהם סגורים. מהו המתח והמטען על כל קבל?

(10) תרגיל 2 - מעגלים חשמליים

שני קבלים, האחד של $10\mu\text{F}$ והשני של $15\mu\text{F}$, חוברו בנפרד למקורות מתח של 6V ו- 8V , 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 שוני סימן מחוברים זה לזה.

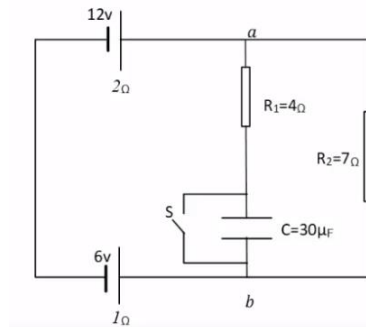
(11) תרגיל 3 - מעגלים חשמליים

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?

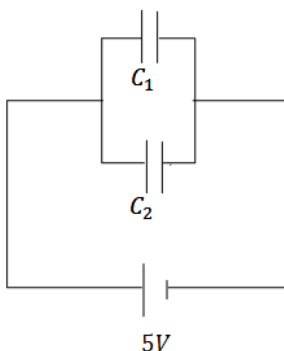
(12) תרגיל 4 - מעגלים חשמליים

נתונים שני קבלי לוחות C_1 ו- C_2 , ששטח כל לוח הוא 0.02m^2 . המרחק בין לוחות קבל C_1 הוא 1mm והמרחק בין לוחות קבל C_2 הוא 3mm .

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 המפסק S פתוח?
 ג. כאשר המפסק S סגור, מהו הזרם דרך כל אחד מהנגדים?
 ד. מהו סכום המטען שהצטבר על שני הלוחות A ו-B?

13) תרגיל 5 - מעגלים חשמליים (עם מקור לא אידיאלי)


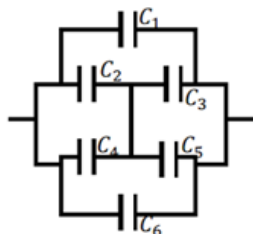
- נתון המעגל החשמלי שבאיור, לכל מקור יש התנגדות פנימית המצוינת מתחת לסימון המקור. כאשר המפסק סגור.
- מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
 - מהו המתח בין הנקודות a ו- b ?
 - מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
 - מהו המטען על לוחות הקבל, וכמה אנרגיה אגורה בו?


14) תרגיל 6 - שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי

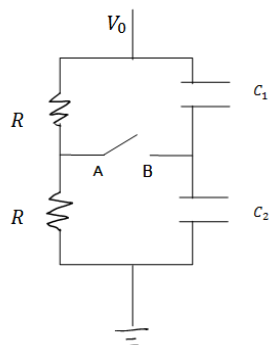
- במעגל הבא קיבול הקבלים הוא: $C_1 = 3\mu\text{F}$, $C_2 = 2\mu\text{F}$, והמתח בסוללה הוא 5V. לאחר שהקבלים נטענים מנתקים את המקור ומחליפים אותו בקבל של $C_3 = 5\mu\text{F}$. מצא את המטען המתח והאנרגיה של הקבל החדש, לאחר שהמערכת מתייצבת.

15) תרגיל 7 - מרחיקים לוחות בקבל לוחות

- קבל לוחות בעל אורך צלע $a = 2\text{cm}$ ומרחק בין הלוחות $d = 1\text{mm}$, נטען ע"י סוללה במתח 3V. אחרי שהקבל נטען במלואו מנתקים את הסוללה ומרחיקים את הלוחות למרחק $3d$.
- מצא את הפרש הפוטנציאל החדש על הקבל.
 - מצא את האנרגיה ההתחלתית והסופית האגורה בקבל.
 - מצא את העבודה הנדרשת ע"מ להרחיק את הלוחות ע"י הגדרת העבודה.


16) תרגיל 8 - חיבור קונפיגורציית קבלים

- נתונה מערכת קבלים המחוברים על פי השרטוט. מצא את הקיבול השקול של המערכת.


17) תרגיל 9 - קבלים עם מפסק

במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע, ונתון V_0 הקצה התחתון מוארק.

נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזזה של הנגדים.

א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים)

בין הנקודה A לנקודה B.

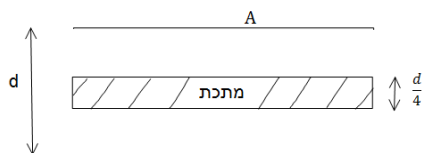
ב. סוגרים את המפסק AB.

כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת התייצבה?

18) תרגיל 10 - קבל עם פיסת מתכת

קבל לוחות מחובר למקור מתח V . שטח כל לוח בקבל הוא A ,

והמרחק בין הלוחות הוא d ($d \ll \sqrt{A}$).



א. מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך

הקבל ואת האנרגיה של המערכת.

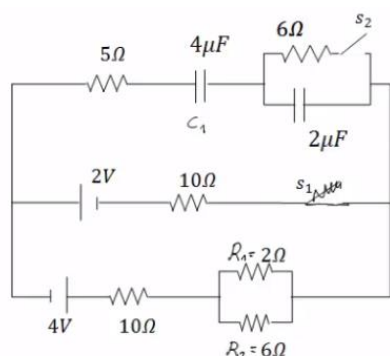
ב. כעת מכניסים לקבל פיסת מתכת בעובי $\frac{d}{4}$

עם שטח A ממרכז הקבל. חזור על סעיף א.

ג. כעת מוציאים את המתכת, מחכים שהקבל יטען שוב ומנתקים את

מקור המתח. לאחר הניתוק מכניסים את המתכת חזרה פעם שניה.

חזור על סעיף א' (סעיף ב' אינו משפיע על סעיף ג').


19) תרגיל 11

חשב את כל הזרמים במעגל ואת המטען על כל קבל במצב היציב כאשר המפסקים במצב הבא:

א. S_1 פתוח ו- S_2 סגור.

ב. S_2 פתוח ו- S_1 סגור.

ג. שני המפסקים סגורים.

20) תרגיל 12 - שתי נורות

במעגל הבא הספק נורה מס' 1 במתח של 10V

הוא 0.5W. ההספק של נורה מס' 2 באותו המתח

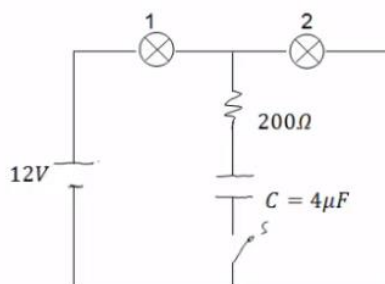
הוא 0.4W. התנגדות הנגד היא 200Ω.

א. חשב את התנגדות המתח וההספק החשמלי

של כל נורה כאשר המפסק פתוח.

ב. חשב את המתח על הקבל אם המפסק

סגור והמערכת התייצבה.



תשובות סופיות:

$$Q = 0.3\text{mF} \quad (1)$$

$$Q_A = 17.7\text{pC}, Q_B = 44.25\text{pC} \quad \text{ג.} \quad C' = 8.85\text{pF} \quad \text{ב.} \quad C = 3.54\text{pF} \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$C_T = 260\text{pF} \quad (3)$$

$$Q_1 = Q_2 = 200\text{pC}, V_{C_1} = 1.67\text{V}, V_{C_2} = 3.33\text{V} \quad (4)$$

$$C_T = 2.4\mu\text{F} \quad \text{א.} \quad (5)$$

$$V_{4,5} = 6\text{V}, V_{1,2,3} = 4\text{V}, Q_1 = 4\mu\text{C}, Q_2 = 12\mu\text{C}, Q_3 = 8\mu\text{C}, Q_4 = 6\mu\text{C}, Q_5 = 18\mu\text{C} \quad \text{ב.}$$

$$V_T = 10\text{V}, Q_1 = 20\mu\text{C}, Q_2 = 30\mu\text{C}, Q_3 = 40\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad C_T = 9\mu\text{F} \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$Q_{1,2} = 10.29\mu\text{C}, Q_{3,4} = 16\mu\text{C}, V_1 = 10.29\text{V}, V_2 = 1.71\text{V}, V_3 = 8\text{V}, V_4 = 4\text{V} \quad \text{א.} \quad (7)$$

$$V_{AB} = -2.28\text{V} \quad \text{ב.}$$

$$V \approx 35.5\text{V} \quad \text{ב.} \quad \vec{E} \approx -7.12 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}} \hat{y} \quad \text{א.} \quad (8)$$

$$V_{C_2} = 0, V_{C_1} = 12\text{V}, Q_1 = 36\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad Q_1 = Q_2 = 24\mu\text{C}, V_1 = 8\text{V}, V_2 = 4\text{V} \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$Q_{1,2} = 18\mu\text{C}, V_1 = 6\text{V}, V_2 = 3\text{V} \quad \text{ג.}$$

$$V_{C_1} = 6\text{V}, Q_{C_1} = 18\mu\text{C}, V_{C_2} = 3\text{V}, Q_2 = 18\mu\text{C} \quad \text{ד.}$$

$$q_2 = 36\mu\text{C}, q_1 = 24\mu\text{C}, V_1 = V_2 = 2.4\text{V} \quad \text{ב.} \quad q_2 = 108\mu\text{C}, q_1 = 72\mu\text{C}, V_1 = V_2 = 10.8\text{V} \quad \text{א.} \quad (10)$$

$$|V_S| = 15\text{V} \quad \text{ג.} \quad q_C = 240\mu\text{C} \quad \text{ב.} \quad I = 3\text{A} \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$q = 40.4\mu\text{C} \quad \text{ה.} \quad I_1 = 2.52\text{A}, I_2 = -3.87\text{A}, I_3 = 6.39\text{A} \quad \text{ד.}$$

$$I = 0.8\text{A} \quad \text{ג.} \quad I = 0.8\text{A} \quad \text{ב.} \quad C_1 = 1.77 \cdot 10^{-10}\text{F}, C_2 = 0.59 \cdot 10^{-10}\text{F} \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$q_1 = 7.08 \cdot 10^{-10}\text{C}, q_2 = 4.72 \cdot 10^{-10}\text{C} \quad \text{ד.}$$

$$V_{ab} = 2.756\text{V} \quad \text{ב.} \quad I_1 = 0.689\text{A}, I_2 = 0.393\text{A} \quad \text{א.} \quad (13)$$

$$q = 1.26 \cdot 10^{-4}\text{C} \quad \text{ד.} \quad I_1 = 0, I = 0.6\text{A} \quad \text{ג. כלפי מטה,}$$

$$q'_3 = 12.5\mu\text{C}, V'_3 = 2.5\text{V}, U = 15.625\text{J} \quad (14)$$

$$U_{C_1} = 15.93 \cdot 10^{-12}\text{J}, U_{C_F} = 47.79 \cdot 10^{-12}\text{J} \quad \text{ב.} \quad V' = 9\text{V} \quad \text{א.} \quad (15)$$

$$|W| = 31.86 \cdot 10^{-12}\text{J} \quad \text{ג.}$$

$$C_T = C_1 + C_6 + C_{2,3,4,5} \quad (16)$$

$$q_1 = \frac{C_1 V_0}{2}, q_2 = \frac{C_2 V_0}{2}, \Delta q = \frac{V_0}{2}(C_2 - C_1) \quad \text{ב.} \quad V_{AB} = \frac{V_0}{2} - \frac{V_0 C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{א.} \quad (17)$$

$$q = CV = \frac{\epsilon_0 A}{d} V, E = \frac{V}{d}, U = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 A}{d} V^2 \quad \text{א. (18)}$$

$$q_1 = q_2 = \frac{4\epsilon_0 AV}{3d}, E_1 = E_2 = \frac{4V}{3d}, U = \frac{1}{2} C_T V^2 = \frac{2\epsilon_0 A}{3d} V^2 \quad \text{ב.}$$

$$E_1 = E_2 = \frac{V}{d}, U = \frac{3\epsilon_0 AV^2}{8d} \quad \text{ג.}$$

$$\frac{136}{129} \mu C \quad \text{ג.} \quad \frac{12}{43} A \quad \text{ב.} \quad 16 \mu F \quad \text{א. (19)}$$

$$R_1 = 200 \Omega, R_2 = 250 \Omega, V_1 = 5.34 V, V_2 = 6.68 V, P_1 = 0.143 W, P_2 = 0.178 W \quad \text{א. (20)}$$

$$V_C = 6.68 V \quad \text{ב.}$$

חשמל ומגנטיות

פרק 17 - השדה המגנטי

תוכן העניינים

134	1. הסברים ודוגמאות.....
136	2. סיכום ותרגילים נוספים.....

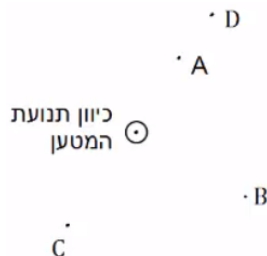
הסברים ודוגמאות:

שאלות:

(1) דוגמה 1

מטען נע מהדף אלינו.

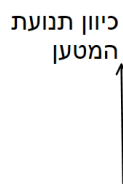
צייר את כיוון השדה המגנטי בנקודות: A, B, C, D.



(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

במערכת הבאה ישנם שני תיילים אינסופיים

הנושאים זרם $I_0 = 2A$.

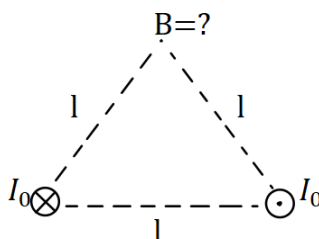
התיילים מונחים בקודקודי הבסיס של משולש

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

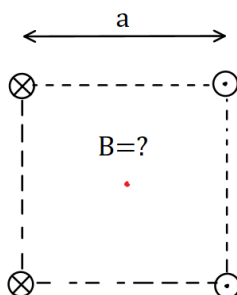
במערכת הבאה ישנם ארבעה תיילים אינסופיים

בפינותיו של ריבוע בעל אורך צלע $a = 10 \text{ cm}$.

גודל הזרם בכל התיילים זהה ושווה ל- $I = 3A$.

כיוון הזרם מתואר באיור.

מהו השדה המגנטי במרכז הריבוע?

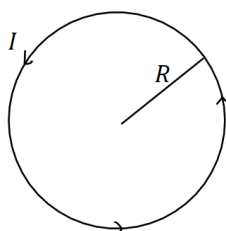


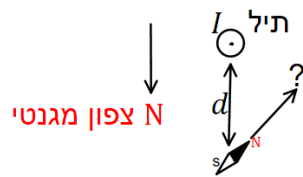
(5) דוגמה 5 - שדה במרכז טבעת

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 $d = 5c.m$.

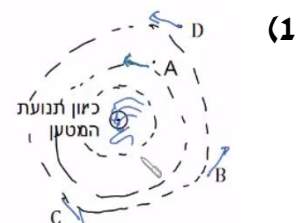
מהתיל לכיוון הצפון המגנטי של כדור הארץ נמצא מצפן,

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.

$$\vec{B} = -2 \cdot 10^{-6} \hat{y} \quad (3)$$

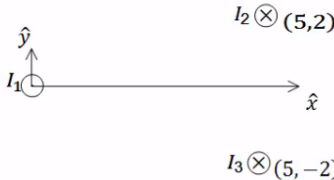
$$\vec{B} = -24.24 \cdot 10^{-6} T \hat{y} \quad (4)$$

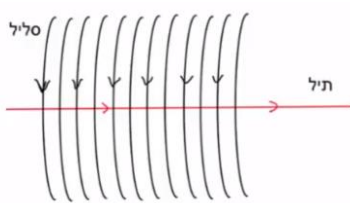
$$B = 8\pi \cdot 10^{-7} T \quad (5)$$

$$\theta \approx 55.4^\circ \quad (6)$$

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. $B_T \approx 5.4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

חשמל ומגנטיות

פרק 18 - הכוח המגנטי (חוק לורנץ)

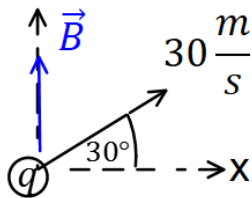
תוכן העניינים

137	1. הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה
(ללא ספר)	2. יישומים של הכוח המגנטי
139	3. כוח על תיל נושא זרם ובין תילים
(ללא ספר)	4. סיכום
141	5. תרגילים נוספים

הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה:

שאלות:

(1) דוגמה 1



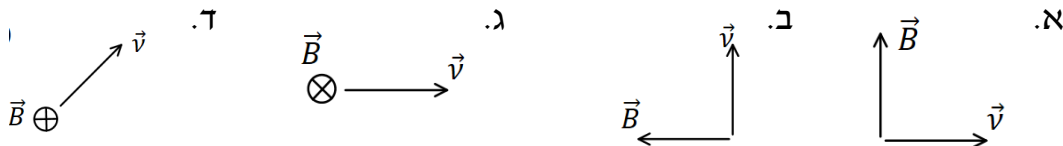
מטען $q = 2c$ נע במהירות $v = 30 \frac{m}{sec}$ בכיוון 30 מעלות ביחס לציר ה- x החיובי.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B} = 4T \hat{y}$.
מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

(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.

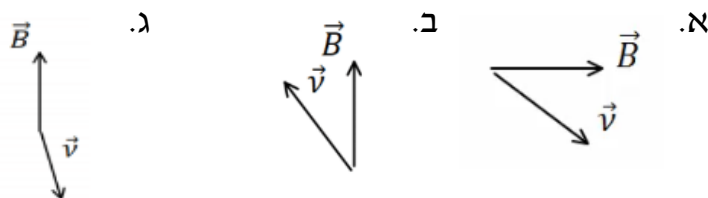
(3) דוגמה 3

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

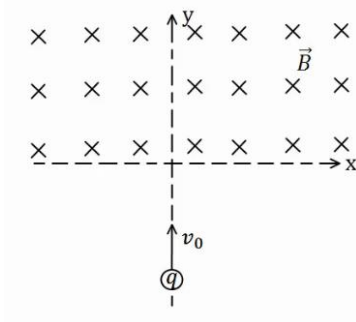


(4) דוגמה 4

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

$$v_0 = 20 \frac{m}{sec}$$

א. שרטט את תנועת המטען.

ב. מצא את המיקום בו יצא המטען מהתחום בו נמצא השדה המגנטי.

תשובות סופיות:

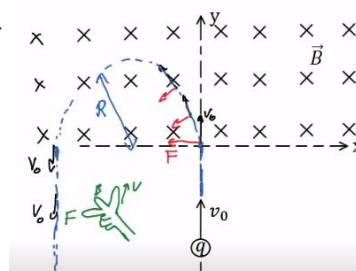
(1) $F_B \approx 207.8N$

(2) $F_B = 30N$

(3) א. $\vec{F} \odot$ ב. $\vec{F} \odot$ ג. $\vec{F} \uparrow$ ד. $\vec{F} \swarrow$

(4) א. $\vec{F} \odot$ ב. $\vec{F} \otimes$ ג. $\vec{F} \odot$

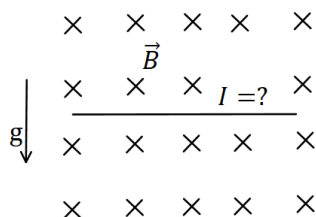
(5) א. ב. $x = -2cm, y = 0$



כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים:

שאלות:

(1) דוגמה 7

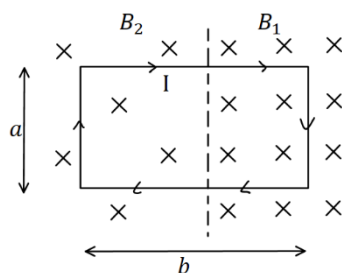


תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד $B = 10^{-2} \text{ T}$ לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך

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.

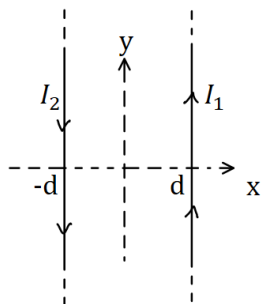
המסגרת מונחת כך, שחלק מהמסגרת נמצא

בשדה $B_1 = 4 \text{ T}$, וחלק 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

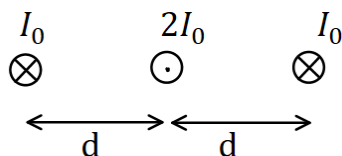
שלושה תיילים אינסופיים מונחים במקביל, כמתואר באיור.

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:

$$(1) \text{ כיוון: ימינה, גודל: } I = 2 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$(2) \sum F = 1 \text{ N, ימינה.}$$

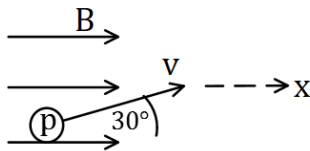
$$(3) F_1 = 10^{-6} \hat{x}, F_2 = -10^{-6} \hat{x}$$

$$(4) \sum F_1 = \frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}, \sum F_2 = 0, \sum F_3 = -\frac{3\mu_0 I_0^2}{4\pi d} \hat{x}$$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) תרגיל 1



פרוטון נכנס לאזור בו ישנו שדה מגנטי אחיד שעוצמתו 10 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?

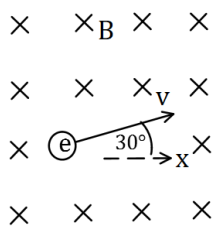
ב. מהי תאוצת הפרוטון?

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 T וכיוונו לתוך הדף.

לאלקטרון מהירות $v_0 = 10^5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ בכיוון 30° מעלות ביחס לציר ה- x .



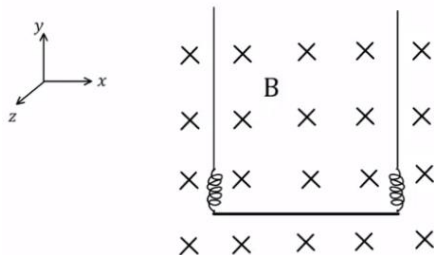
א. מהו הכוח הפועל על האלקטרון ברגע זה (גודל וכיוון)?

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 m ומסתו

הוא 0.03 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

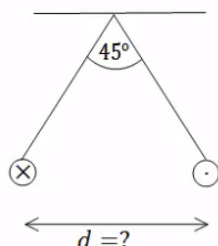
האנכיים ואת הכוחות שהם מפעילים על התיל האופקי.

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

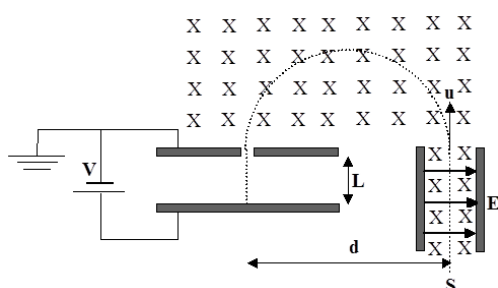
שמפעיל קפיץ הוא $F = k\Delta l$ כאשר Δl היא ההתארכות של הקפיץ מהמצב הרפוי.

**(4) שני תילים תלויים**

שני תילים ארוכים מאוד תלויים מהתקרה באמצעות חוטים באורך זהה ולא ידוע. בתילים זורם זרם של 100 אמפר בכיוונים מנוגדים. הזווית בין החוטים היא 45 מעלות ומסתם ליחידת

$$\mu = 2 \frac{gr}{m}$$

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: $\vec{B}, \vec{E}, m, q, L$.

- באיזו מהירות u יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?
- מהו המרחק d (ראה ציור)?
- תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?
- מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V , המופעל על הקבל השני, כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?
- מחברים את הקבל השני לסוללה, שמתחה גדול פי שניים 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° 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. $t = \frac{BL}{E}$

חשמל ומגנטיות

פרק 19 - חוק פארדיי- השראה אלקטרו מגנטית

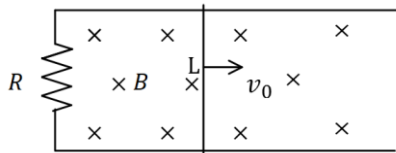
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 144

הרצאות ותרגילים:

שאלות:

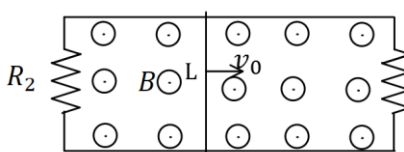
(1) מוט נע על מסילה



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?

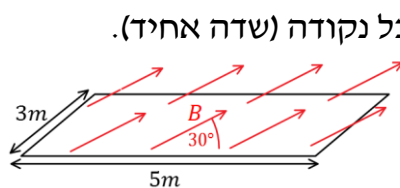
(2) המסילה מחוברת משני הצדדים



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 $B = 1T$.

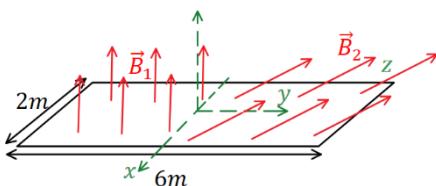
- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בכל נגד ובמוט (גודל וכיוון)?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

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

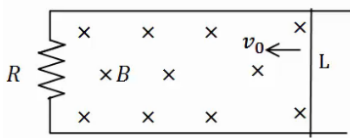
(4) חישוב שטף מפוצל



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.

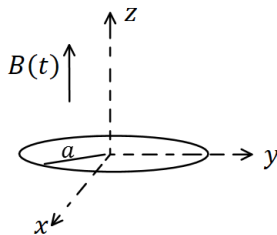
(5) עוד מוט ומסילה

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 .



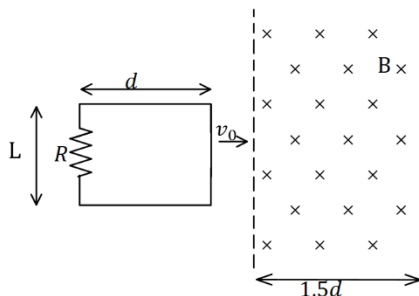
- מהו הכא"מ במעגל לפי חוק פארדיי (גודל וכיוון)?
- מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- חשב את הכא"מ לפי הנוסחה של כא"מ במוט ומצא את כיוון הזרם. הראה שהתוצאה זהה.

(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 α קבועה.
- מצא את הכא"מ בטבעת.
- 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.
- מצא את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).
- מצא את הזרם במסגרת, גודל וכיוון (כתלות בזמן).
- מצא את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת, על מנת שתנוע במהירות קבועה.
- מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \varepsilon = BLv_0 \quad \text{ב. נגד כיוון השעון,} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad F = \frac{B^2 L^2 v_0}{R}$$

$$F = \frac{B^2 L^2 v_0}{R} \quad \text{ד.}$$

$$(2) \quad \varepsilon = 1V \quad \text{ב.} \quad I_1 = 0.5A, I_2 = \frac{1}{3}A, I_3 = \frac{5}{6}A \quad \text{ג.} \quad F = \frac{1}{6}N$$

$$(3) \quad \phi_B = 15T \cdot m^2$$

$$(4) \quad \phi_B = 30T \cdot m^2$$

$$(5) \quad \text{א. עם כיוון השעון,} \quad |\varepsilon| = |BLv_0| \quad \text{ב.} \quad I = \frac{BLv_0}{R} \quad \text{ג.} \quad \varepsilon = BLv_0$$

$$(6) \quad \text{א.} \quad |\varepsilon| = \alpha \pi a^2 \quad \text{ב.} \quad I = \frac{\alpha \pi a^2}{R}$$

$$(7) \quad \varepsilon = \begin{cases} -BLv_0 & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ BLv_0 & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{א.}$$

$$I = \begin{cases} \frac{BLv_0}{R} \text{ anticlockwise} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{BLv_0}{R} \text{ clockwise} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ב.}$$

$$P = I^2 R = \begin{cases} \frac{B^2 L^2 v_0}{R} & x < d \\ \frac{B^2 L^2 v_0}{R^2} & d < x < 1.5d \\ \frac{B^2 L^2 v_0}{R} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ג.}$$

$$\vec{F} = \begin{cases} \frac{B^2 L^2 v_0}{R} \hat{x} & x < d \\ 0 & d < x < 1.5d \\ \frac{B^2 L^2 v_0}{R} \hat{x} & 1.5d < x < 2.5d \end{cases} \quad \text{ד.}$$