

חשמל גלים ואופטיקה



תוכן העניינים

1.	גלים.....	1
2.	אופטיקה.....	21
3.	מבוא למבנה החומר..... (ללא ספר)	37
4.	הכוח החשמלי- חוק קולון.....	41
5.	השדה החשמלי.....	45
6.	חוק גאוס.....	48
7.	הסבר על אינטגרלים.....	54
8.	הסבר על צפיפות מטען וקואורדינטות.....	60
9.	חוק גאוס-תרגילים נוספים.....	65
10.	תנועה בשדה חשמלי אחיד.....	67
11.	מוליכים.....	70
12.	חומרים דיאלקטריים.....	73
13.	מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית.....	89
14.	פוטנציאל עם אינטגרלים.....	96
15.	דיפול חשמלי.....	99
16.	זרם מתח ותנגדות.....	107
17.	אנרגיה והספק במעגל החשמלי.....	112
18.	חיבור נגדים וחוקי קירכהוף.....	122
19.	מכשירי מדידה.....	123
20.	קבלים.....	140
21.	השדה המגנטי.....	143
22.	הסבר מתקדם על חוק ביו סבר כולל אינטגרלים ותרגילים מתקדמים.....	147
23.	חוק אמפר.....	

תוכן העניינים

148	24. הכוח המגנטי (חוק לורנץ).....
155	25. תרגילים נוספים לחוק לורנץ.....
164	26. חוק פארדיי.....
167	27. מעגלי זרם חילופין.....

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 1 - גלים

תוכן העניינים

1. גלים והתאבכות גלים.....1

גלים והתאבכות גלים:

רקע:

מהירות גל מחזורי: $v = \lambda f$

λ – אורך הגל.

f – תדירות הגל.

$$\text{חוק השבירה: } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

θ – הזוויות בין הקרן הפוגעת/ מוחזרת לאנך למשטח.

n – מקדם השבירה של כל תווך.

v – מהירות הגל בכל תווך.

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

ℓ – אורך המיתר.

n – מספר נקודות הקמר (מקס"/ מיני)

λ – אורך הגל

קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר) שווי-מופע:

$$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$$

θ_n – זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המקסימום n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.

X_n – המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר n .

L_n – המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n .

n – סדר קו המקסימום.

λ – אורך הגל.

d – המרחק בין החריצים.

$$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} : \text{קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שוי-מופע}$$

θ_n – זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המינימום n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.

X_n – המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר n .

L_n – המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר n .

n – סדר קו המינימום.

λ – אורך הגל.

d – המרחק בין החריצים.

$$\frac{\Delta X}{L} = \frac{\lambda}{d} : \text{נוסחת יאנג}$$

ΔX – רוחב פס האור

L – מרחק האנך למסך מהחריצים.

λ – אורך הגל.

d – המרחק בין החריצים.

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = nN \cdot \lambda : \text{קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה}$$

θ_n – הזווית למקסימום מסדר n .

d – המרחק בין שני חריצים צמודים.

N – קבוע הסריג.

$$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w} : \text{קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד}$$

θ_n – הזווית למינימום מסדר n .

X_n – מרחק מרכז המינימום מסדר n למרכז המקסימום המרכזי.

L_n – המרחק בין החריץ למינימום מסדר n .

w – רוחב החריץ.

$$\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)} \quad \text{עוצמה של גלי קול ביחס לסף השמע:}$$

כאשר I_a היא עוצמת הקול של α דציבל. I_0 - סף השמע של אדם.

ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים שונים α ו- β :

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

האנרגיה של גל קול:

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

E - האנרגיה הכוללת של גל הקול.

I - העוצמה בדציבל.

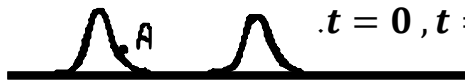
S - שטח החתך בו הגל פוגע.

t - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

שאלות:

(1) תרגול גל 1

פולס נע ימינה בחבל.

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

א. מה משרעת הפולס?

ב. מה מהירות התקדמותו?

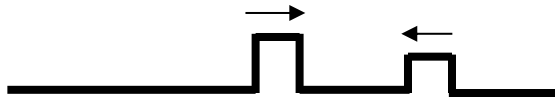
ג. מה כיוון תנועת החלקיק בחבל שנמצא בנקודה A ברגע $t = 0$?

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

(2) תרגול גל 2

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

שרטט את החבל בזמנים הבאים:

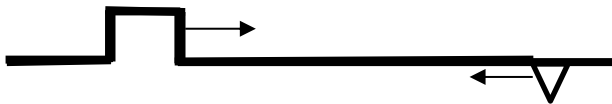
א. $t = 8\text{sec}$ ב. $t = 16\text{sec}$ ג. $t = 18\text{sec}$ ד. $t = 22\text{sec}$

(3) תרגול גל 3

בחבל מייצרים שתי הפרעות שונות בשני קצותיו שמתקדמות אחת לקראת

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

שרטט את צורת החבל בזמנים הבאים:

א. $t = 8\text{sec}$ ב. $t = 12\text{sec}$ ג. $t = 13\text{sec}$ ד. $t = 16\text{sec}$

(4) תרגול גל 4

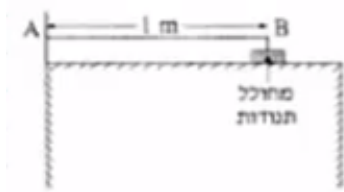
פולס משולש נע בחבל ומגיע לקצהו. שרטט את החבל + הפולס במקרים הבאים:

א. קצה החבל קשור לקיר.

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

ג. קצה החבל קשור לחבל כבד יותר.

ד. קצה החבל קשור לחבל קל יותר.

5 תרגול גל עומד


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

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

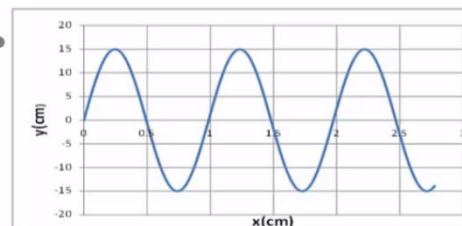
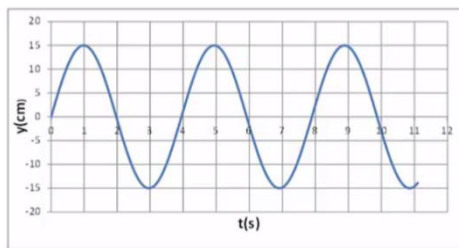
התייחס לנקודה B כנקודת צומת.

- העתק את הטבלה למחברתך, ורשום בעמודה את אורך הגל λ , לכל אחד מארבעת הגלים העומדים שנוצרו בחוט?
 - רשום בעמודה המתאימה בטבלה את הערך $\frac{1}{\lambda}$ לכל אחד מארבעת הגלים, וסרטט גרף של התדירות f כפונקציה של $\frac{1}{\lambda}$.
 - מצא בעזרת הגרף את מהירות התפשטותו של גל בחוט AB.
 - התלמיד ממשיך להגדיל את תדירות מחולל התנודות.
- מהי התדירות הראשונה (הגבוהה מ-88Hz) שייוצר בה גל עומד בחוט AB? נמק.

6 תרגול גל מחזורי 1

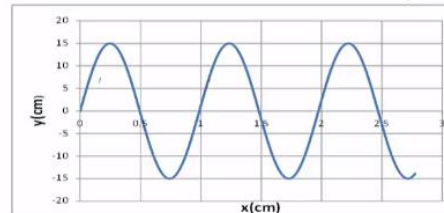
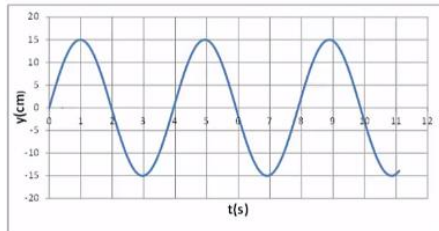
מופיעים לפניכם גרפי העתק זמן והעתק מקום של חבל מסוים.

- מהי משרעת הגל?
- מהו אורך הגל המתקדם בחבל?
- מה זמן המחזור של הגל?
- מה מהירות הגל?
- לאיזה נקודה/נקודות בחבל יכול להתאים גרף ההעתק זמן (השמאלי)?



7) תרגול גל מחזורי 2

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

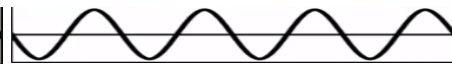

8) תרגול גל מחזורי 3

- לפניך שני תצלומים (נראים זהים). הימני: גל מתקדם, השמאלי: גל עומד בקהל.
 א. קבע את אורך הגל של כל אחד מהגלים בחבל.
 ב. שרטט את החבל $\frac{1}{4}$ זמן מחזור לאחר תצלום זה.
 ג. שרטט את החבל $\frac{1}{2}$ זמן מחזור לאחר תצלום זה.
 ד. בחר בכל תצלום נקודה מימין ומשמאל למשרעת, וצייר את כיוון תנועתה מיד לאחר צילום זה.

גל עומד



גל מתקדם


9) תרגיל 1

מהירות גל במיתר מתוח 25 מטר בשנייה. קושרים את היתר בין שני כנים שהמרחק ביניהם 3 מטר.
 מניעים את המיתר בעזרת מתנד.
 באיזו תדירות יש לנדנד אותו כך שייווצר בו גל עומד עם 12 נקודות צומת (כולל הקצוות)?

- א. 45.8 הרץ.
 ב. 70 הרץ.
 ג. 8.3 הרץ.
 ד. 75 הרץ.
 ה. 80.7 הרץ.

(10) תרגיל 2

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

א. $15.3 \frac{m}{sec}$

ב. $38.6 \frac{m}{sec}$

ג. $17 \frac{m}{sec}$

ד. $34.3 \frac{m}{sec}$

(11) תרגיל 3

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

א. $150 \frac{m}{sec}$

ב. $100 \frac{m}{sec}$

ג. $330 \frac{m}{sec}$

ד. $20 \frac{m}{sec}$

ה. $340 \frac{m}{sec}$

(12) תרגיל 4

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

א. אין כל דרך להפיק את התדירות הנ"ל מהמיתר.

ב. יש להקטין את המתיחות במיתר פי 3.

ג. יש לקצר את המיתר פי 3.

ד. יש להאריך את המיתר פי 3.

ה. יש להגדיל את המתיחות פי 2.

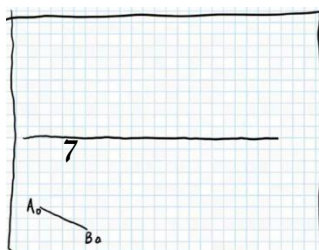
(13) תרגיל החזרה גלים דו ממדיים

נתון אמבט הגלים הבא בו מתקדם גל ישר A_0B_0 . באמבט קיים גם מחסום.

א. הוסף לתרשים חץ המתאר את כיוון התקדמות הגל A_0B_0 .

ב. הוסף לתרשים את חזית הגל לאחר שהוחזרה מהמחסום.

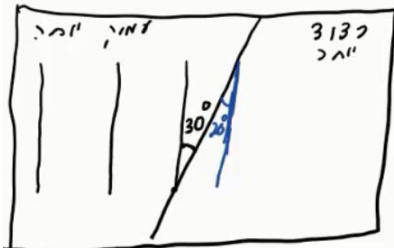
ג. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעת והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לאור.



- ד. הוסף לתרשים חיצים המתארים את זוויות פגיעת והחזרת הגל כפי שהן מוחזרות לגלי מים.
 ה. הוסיפו לתרשים את חזית הגל, ברגע שבו אמצע חזית הגל נוגעת במחסום.

14) תרגול מעבר תווך גלי מים

- נתון אמבט גלים בו נע גל לפי התרשים הבא.
 במרכז האמבט מוקם מחסום כך שגובה המים בחלק הימני נמוך יותר.
 מקור גלים בקצה השמאלי של האמבט מייצר גל ישר מחזורי בתדירות 4 הרץ.
 מהירות הגל במים בחלק העמוק היא 20 ס"מ לשנייה. הגל מתקדם ועובר לתווך הימני כמתואר בתרשים.
 א. מה מהירות גל המים בתווך הרדוד יותר?
 ב. מהו אורך הגל λ_1 בחלק העמוק?
 ג. מהו אורך הגל λ_2 בחלק הרדוד?
 ד. הוסיפו לתרשים (איכותית) עוד 2 אורכי גלים לאחר מעבר גל המים לתווך הרדוד.

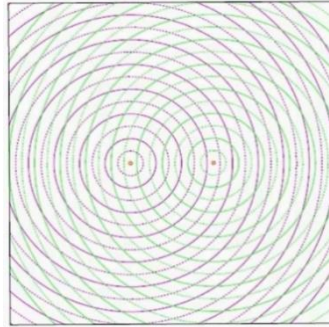


15) תרגול אנרגיה ומשרעת של גל

- גל מעגלי מתפשט באמבט גלים. משרעתו, כשהיה מעגל ברדיוס 3cm, הייתה 1cm.
 א. פי כמה תהיה קטנה האנרגיה שלו כשיתפשט לרדיוס של 15cm?
 ב. מה תהיה משרעתו במצב זה?

16) התאבכות גלי מים – תרגיל 1

נתון תרשים של אמבט גלים ובו 2 מקורות בעלי אורך גל זהה ושווי מופע.
 קווים רציפים מייצגים שיא בגל וקווים מקווקוים – שפל.
 זהו את קווי המקסימום והמינימום בתרשים.


17) התאבכות גלי מים – תרגיל 2

- נתון אמבט גלים בו 2 מקורות שהמרחק ביניהם 7 ס"מ.
 המקורות מכים במים במופע זהה בתדירות 20 הרץ.
 מהירות התקדמות הגלים באמבט היא 25 ס"מ לשנייה.
 א. מה אורך הגל של הגלים שיוצרים המקורות?
 ב. קבע, לגבי כל אחת מהנקודות הבאות: A, B, C, D בתרשים, האם היא על קו מקסימום, על קו מינימום או נקי ביניים:
- A - מרחקה מהמקור הראשון - 4 ס"מ ומהמקור השני - 2.8 ס"מ.
 - B - מרחקה מהמקור הראשון - 5 ס"מ ומהמקור השני - 3.2 ס"מ.
 - C - מרחקה מהמקור הראשון - 7 ס"מ ומהמקור השני - 3.4 ס"מ.
 - D - מרחקה מהמקור הראשון - 8 ס"מ ומהמקור השני - 6.5 ס"מ.
- ג. כמה קווי מקסימום וכמה קווי מינימום יופיעו באמבט?

18) שאלה 1 בהתאבכות גלי מים

שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות (0,0) ו-(6,0). המקורות משדרים באורך גל של 1cm לכל הכיוונים. על ציר y מתקבלת התאבכות בונה בנקודות הבאות (המספרים בס"מ):

- $(0, 1.1)$ $(0, 2.5)$ $(0, 4.5)$ $(0, 8)$ $(0, 17.5)$
- $(0, 1)$ $(0, 2)$ $(0, 4)$ $(0, 8)$ $(0, 16)$ $(0, 32)$
- $(0, 6)$ $(0, 12)$ $(0, 18)$ $(0, 24)$ $(0, 30)$
- $(3, 2)$ $(4, 4.5)$ $(4, 8)$ $(4, 17.5)$
- $(0, 4.2)$ $(0, 8.7)$ $(0, 16.5)$ $(0, 0)$
- $(0, 4.5)$ $(0, 8)$ $(0, 17.5)$

19) שאלה 2 בהתאבכות גלי מים

שני מקורות גל זהים ושווי מופע ממוקמים בנקודות (0,0) ו-(5,0)

(הערכים בס"מ). אורך הגל של כל אחד מהם 2 ס"מ.
 היכן על ציר y תתקבל התאבכות בונה מסדר ראשון? (הערכים בס"מ).

- א. $(5, 2.5)$.
- ב. $(0, 5.25)$.
- ג. $(0, 6)$.
- ד. $(0, 2.5)$.
- ה. $(0, -5.25)$.

20) שאלה 3 בהתאבכות גלי מים

שני מקורות גל זהים A ו-B נמצאים בנקודות $(0, 5)$ ו- $(0, -5)$. בנקודה $(10, 10)$ מתקבלת התאבכות בונה מסדר ראשון (כל המספרים נתונים בס"מ)
 אורך הגל הוא בקירוב:

- א. 8.5 ס"מ.
- ב. 5 ס"מ.
- ג. 7.3 ס"מ.
- ד. 15 ס"מ.
- ה. 6.8 ס"מ.

21) שאלה 4 בהתאבכות גלי מים

באמבט גלים ממקמים שני מתנדים בשתי נקודות $(4, 2)$ ו- $(7, 6)$. המתנדים רוטטים בתדירות זהה ובאותו מופע. בנקודה $(10, 10)$ מתקבלת התאבכות בונה מסדר שלישי.
 מהו אורך הגל? (הגדלים המספריים במטרים).

- א. $1.67m$.
- ב. $0.62m$.
- ג. $2.79m$.
- ד. $6.83m$.
- ה. $1.23m$.

(22) התאבכות אור תרגיל 1

מאירים בלייזר בעל אורך גל 500 ננומטר לוחית בעלת 2 סדקים בעלי $d = 0.2\text{mm}$. במרחק $L = 3\text{m}$ נמצא מסך.

- מהו רוחב פס אור כל עוד אנחנו בזווית קטנות?
- מהו מרחקו ממרכז התבנית של מרכז פס האור מסדר רביעי?
- מהו מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של קו החושך מסדר שביעי?
- מה מרחקו ממרכז תבנית ההתאבכות של מרכז פס האור מסדר 200?

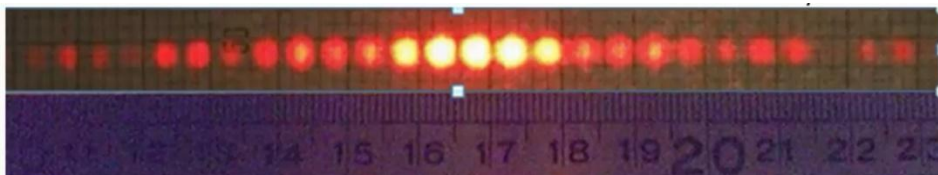
(23) התאבכות אור תרגיל 2

מאירים בלייזר ירוק בעל אורך גל לא ידוע על לוחית ובה 2 סדקים שהמרחק ביניהם 0.15 מ"מ. מניחים מסך שאורכו $h = 1\text{m}$ במרחק 3 מטר מהלוחית כך שמרכז המסך בדיוק מול הסדקים. הזווית למקסימום מסדר חמישי נמדדת ושווה ל-1 מעלה.

- מה אורך הגל של הלייזר?
- מה מרחקו של המינימום מסדר חמישי ממרכז המסך?
- כמה קווי חושך התקבלו על המסך?
- אם נחליף המסך במסך ארוך מאוד שיונח באותו מיקום, כמה פסי אור ייווצרו על המסך?

(24) התאבכות אור תרגיל 3

לוקחים לייזר אדום בעל אורך גל לא ידוע ומציבים לפניו לוחית בעלת 2 סדקים שהמרחק ביניהם 0.25 מ"מ. ממקמים מסך במרחק 1.8 מטר מהלוחית. על המסך מתקבלת תבנית ההתאבכות הבאה, לצד סרגל שהודבק למסך מראש.



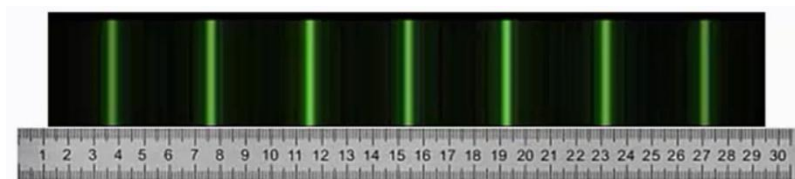
- מצא את אורך הגל של הלייזר בדרך המדויקת ביותר.
- איזה מהנקודות בצילום הינה נקודת המקסימום המרכזי?
- לאיזה נקודה בצילום מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-3 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- לאיזה נקודה על המסך מגיע אור שמרחקו מאחד הסדקים גדול ב-4.5 אורכי גל מאשר מרחקו מהסדק השני?
- מהן 3 הדרכים אשר ניתן לצופף בהן את תבנית ההתאבכות?

(25) התאבכות אור בסריג – תרגיל 4

- מאירים בלייזר בעל אורך גל לא ידוע על סריג בעל קבוע של 100 חריצים למ"מ. מציבים מסך במרחק 1 מטר מהסריג כך שמרכזו מול מרכז הסריג ומול קרן הלייזר. אורך המסך 4 מטר.
- מיקומו של קו המקסימום הראשון נמדד ושווה ל-6.5 ס"מ ממרכז המסך.
- מהו אורך הגל של הלייזר?
 - מה מיקומו של קו המקסימום מסדר שני?
 - מה מיקומו של קו המקסימום מסדר חמישי?
 - כמה קווי מקסימום יתקבלו על המסך?
 - בהנחה שמחליפים מסך זה במסך ארוך מאוד באותו המיקום, כמה קווי מקסימום יתקבלו עליו?

(26) התאבכות אור בסריג – תרגיל 5

- מאירים בלייזר ירוק בעל אורך גל 550 ננומטר על סריג בעל קבוע לא ידוע, ומציבים מסך במרחק 2.5 מטר מהסריג.
- על המסך שעליו מודבק סרגל מתקבלת התמונה הבאה:



- מצאו את קבוע הסריג בדרך המדויקת ביותר.
- באיזה זווית ביחס לאנך האמצעי יתקבל קו המקסימום מסדר 20?
- מה יקרה לתבנית ההתאבכות אם נחליף את הלייזר הירוק בלייזר כחול?

(27) התאבכות אור בסריג – תרגיל 6

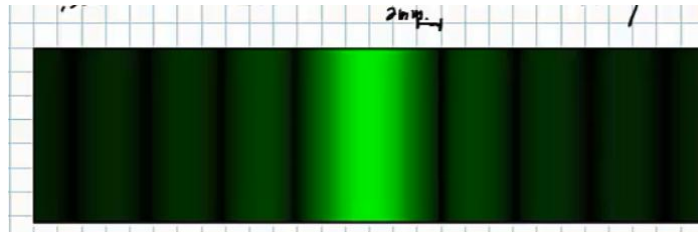
- אור לבן פוגע בסריג עקיפה בעל קבוע 300 חריצים למ"מ. מסך ארוך מונח במרחק 2 מטר מהסריג.
- מה רוחב הפס הצבעוני מסדר ראשון?
 - מה הזווית שנפתחת בין המקסימום האדום מסדר שני, והסגול מסדר שני?
 - הוכח שקיימת חפיפה בצבעים בין הסדר השני לסדר השלישי.

(28) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 1

- תלמיד מאיר בלייזר אדום בעל אורך גל 670 ננומטר סדק שרוחבו 0.3 מ"מ. תבנית עקיפה מתקבלת על מסך במרחק 1.5 מטר.
- מה רוחבו של המקסימום המרכזי?
 - מה רוחבו של מקסימום משני, מסדר נמוך?

29) עקיפה מסדק יחיד – תרגיל 2

לוקחים לייזר ירוק בעל אורך גל 530 ננומטר. מציבים אותו לפני סדק בעל רוחב לא ידוע, ועל מסך משבצות במרחק 3 מטר מהסדק מתקבלת תבנית ההתאבכות הבאה:



נתון שרוחב משבצת על הלוח הוא 2 מ"מ.

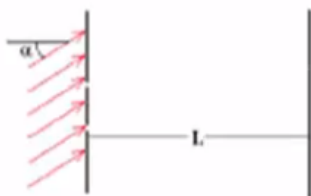
א. מה רוחב הסדק?

ב. כמה קווי צומת יתקבלו על מסך ארוך מאוד?

ג. מה יקרה לתבנית ההתאבכות אם נגדיל את רוחב הסדק?

30) שאלה בהתאבכות גלי אור

דרך משטח מישורי עם שני סדקים צרים מאוד מעבירים גל מישורי בעל אורך גל λ המתקדם בכיוון היוצר זווית קטנה α עם האנך למשטח (ראו ציור).



המרחק בין הסדקים הוא d כאשר $d \gg \lambda$.

מודדים את העוצמה במרכז לוח מישורי הנמצא

במרחק $L \gg d$ מהמשטח עם הסדקים, כלומר

בנקודה הנמצאת מול נקודת האמצע בין שני הסדקים.

העוצמה הנמדדת היא 0.

מהי הזווית הקטנה ביותר α המסבירה מדידה זו?

א. $\alpha = 0$

ב. $\alpha = \frac{\lambda}{2d}$

ג. $\alpha = \frac{2\lambda}{\pi d}$

ד. $\alpha = \frac{2\lambda}{d}$

ה. $\alpha = \frac{2\pi\lambda}{d}$

ו. $\alpha = \frac{\lambda}{\pi d}$

31) שאלה 2 בהתאבכות גלי אור

שני גלים אלקטרומגנטיים העוברים כל אחד דרך סדק צר יוצרים תבנית התאבכות

על פני מסך רחוק. הגל העובר דרך הסדק הראשון מתואר ע"י: $\vec{E}_1 = A_1 \cdot e^{i(kz-\omega t)} \hat{x}$

הגל העובר דרך הסדק השני מתואר ע"י: $\vec{E}_2 = A_1 \cdot e^{i(kz-\omega t)} (-\hat{y})$
היחס בין העוצמה המקסימלית לעוצמה המינימלית הוא:

א. $1 : \sqrt{2}$

ב. $1 : 0$

ג. $1 : 1$

ד. $1 : 2$

ה. $1 : 4$

ו. $2 : 3$

32) שאלה 1 – גלי קול

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

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

א. $14 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$

ב. $10^{-14} \frac{W}{cm^2}$

ג. $140 \frac{W}{cm^2}$

ד. $10^4 \frac{W}{cm^2}$

ה. $10^{-2} \frac{W}{cm^2}$

33) שאלה 2 – גלי קול

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

א. פי 10

ב. פי 100

ג. פי 1,000

ד. פי 10,000

ה. פי 1,000,000

ו. פי 1,000,000,000

ז. פי 10,000,000,000

34) שאלה 3 – גלי קול

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

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

35) שאלה 4 – גלי קול

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

- א. $E = 5.8J$ ו- $I = 12 \cdot 10^{-16} \frac{W}{cm^2}$.
- ב. $E = 5.8J$ ו- $I = 13 \cdot 10^{-14} \frac{W}{cm^2}$.
- ג. $E = 1.01J$ ו- $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$.
- ד. $E = 10.1J$ ו- $I = 10^{-4} \frac{W}{cm^2}$.
- ה. $E = 1.2 \cdot 10^6J$ ו- $I = 120 \frac{W}{cm^2}$.

36) שאלה 5 – גלי קול

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

- א. $0.08J$.
- ב. $0.75J$.
- ג. $25J$.
- ד. $2.5 \cdot 10^{-5}J$.

ה. $5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$.

37) שאלה 6 – גלי קול

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

א. 0.125 Joule .

ב. 1.130 Joule .

ג. 37.52 Joule .

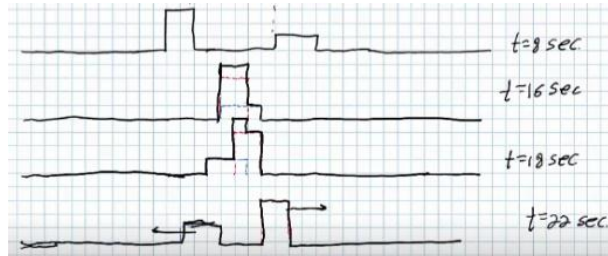
ד. $3.8 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$.

ה. $7.5 \cdot 10^{-11} \text{ Joule}$.

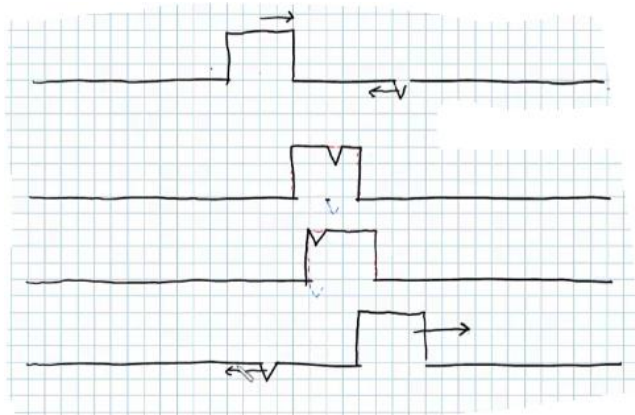
תשובות סופיות:

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

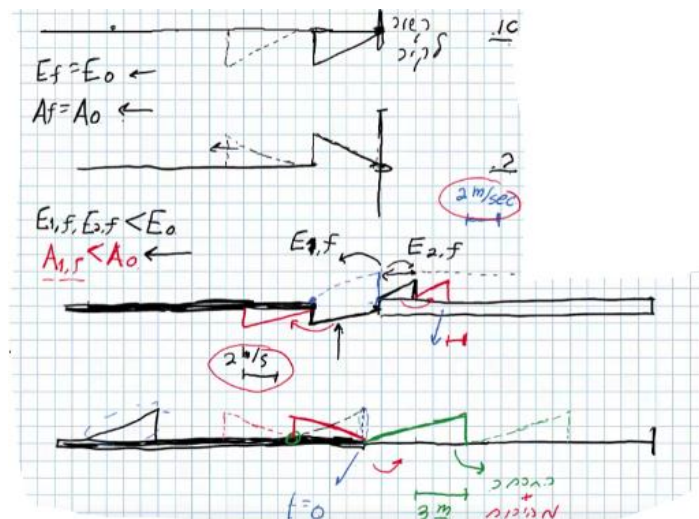
(2)



(3)



(4)

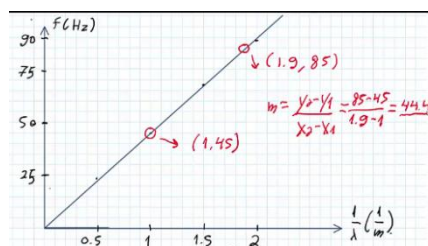


(5) א.

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

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

ב.



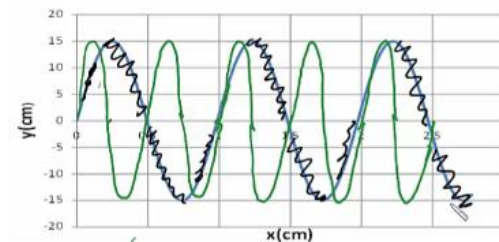
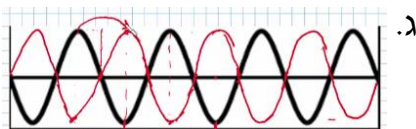
$$v = \text{ד.}$$

$$A = 0.15 \text{ m} \quad \text{ב.} \quad \lambda = 1 \text{ m} \quad \text{ג.} \quad t = 4$$

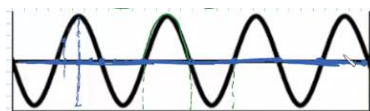
$$25 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

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

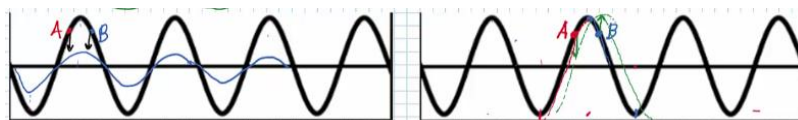
(7) הגל הירוק בשרטוט:

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

ג.



ב.



ד.

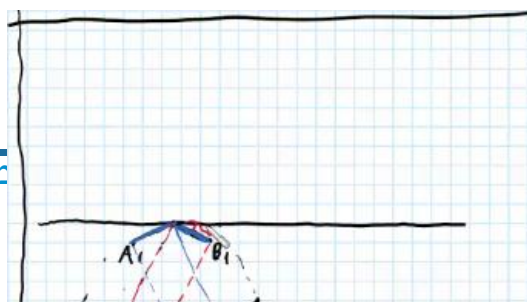
(9) א.

(10) ב.

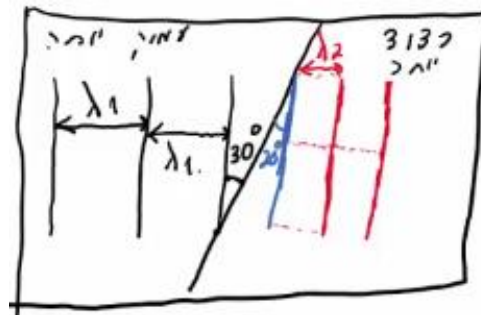
(11) א.

(12) ג.

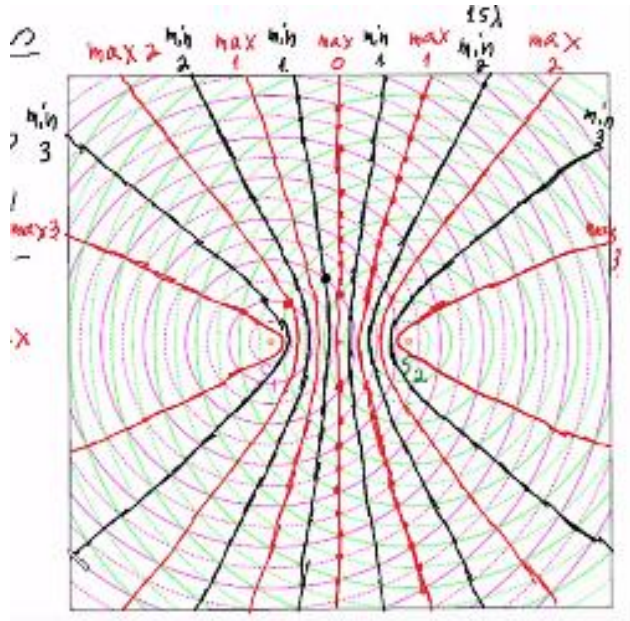
(13)



(14) א. $v_2 = 13.7 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ ב. $\lambda_1 = 5\text{cm}$ ג. $\lambda_2 = 3.42\text{cm}$ ד.



(15) א. 5 ב. 0.45cm (16)



(17) א. 1.2 ס"מ.

- ב.i. A - נקי מקסימום מסדר ראשון.
 ב.ii. B - נקי צומת מסדר שני.
 ב.iii. C - נקי מקסימום מסדר שלישי, נקי על קו מקסימום.

iv. D - נק' ביניים.

ג. 11 קווי מקסימום, 12 קווי מינימום.

(18) א' מלאה ו-ו' חלקית.

(19) ב' ו-ה.

(20) ה.

(21) א'.

(22) א. 7.5nm ב. 3 ס"מ ג. $\theta = 0.93^\circ$ ד. $x_{200} = 1.73$

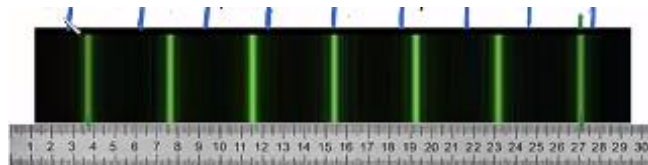
(23) א. 524 נ"מ ב. 4.72 ס"מ ג. 94 קווי חושך ד. 573 פסי מקסימום

(24) א. 5 מ"מ ב. $\lambda = 694\text{ ג}$ ג. 3λ ד. 4.5λ ה. ראה סרטון.

(25) א. 649 נ"מ ב. 13 ס"מ ג. 34.3 ס"מ ד. 27 קווים ה. 31 קווים

(26) א. $282 \frac{\text{haritsim}}{\text{cm}}$ ב. 18.1°

ג.



(27) א. 0.188 מ' ב. 10.9° ג. הוכחה.

(28) א. 6.7 מ"מ ב. 3.35 מ"מ

(29) א. 0.265 מ"מ ב. $1,000\text{ קווי צומת בתבנית}$

ג. האור ינוע בקווים ישרים ולא מבצע עקיפה.

(30) ב'.

(31) ג'.

(32) ה.

(33) ו'.

(34) ה.

(35) ג'.

(36) א'.

(37) א'.

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 2 - אופטיקה

תוכן העניינים

1. מבוא לאופטיקה 21

מבוא לאופטיקה:

רקע:

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

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

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

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

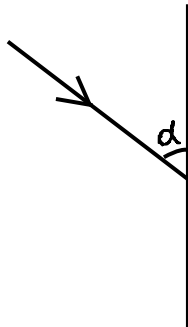
שאלות:

(1) תרגול אור במרחב

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

(2) תרגול אור במרחב 2

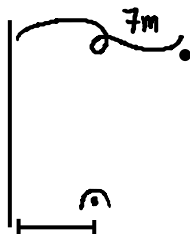
- מהירות האור בריק היא: $C = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.
 א. היעזר בדף הנוסחאות, ומצא תוך כמה זמן מגיעה קרן אור שמוחזרת מהירח – אל כדור הארץ.
 ב. מצא תוך כמה זמן מגיעה קרן היוצאת מהשמש אל כדור הארץ.
 ג. אם אני מדליק פנס עכשיו, וחבר נמצא במרחק 3m ממני, תוך כמה זמן יגיע אליו האור מהפנס,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

(3) החזרה תרגיל 1

- נתון מקור אור הפולט אור ומולו מוצבת מראה.
 הזווית α בשרטוט שווה 76° .
 א. מה זווית ההחזרה של הקרן המשורטטת בתרשים?
 ב. מצא, בעזרת שתי קרניים נוספות לבחירתך, את מיקום הדמות המדומה של העצם הנ"ל.
 ג. מצא את שדה הראייה של העצם הנ"ל.
 ד. מכסים בבד סגול את החצי העליון של המראה. האם עדיין תיווצר דמות של העצם?

(4) החזרה תרגיל 2

- נתון התרשים הבא, בו נער בגובה 1.7m עומד לפני מראה.
 א. שרטט קרן אור היוצאת מידו הימנית של הנער, פוגעת במראה וחוזרת לעיניו (הקרן מייצגת את הקרן/ הקרניים, שבזכותן הנער רואה את ידו במראה).
 ב. שרטט (הכי מדויק שאפשר), את דמות הנער במראה.
 ג. מציבים מאחורי המראה מסך סגול. האם עדיין יראה הנער את דמותו?
 ד. מה הגובה המינימאלי של המראה שיש להציב, כדי שדמות הנער תתקבל במלואה?
 ה. מרחיקים את המראה למרחק כפול מגוף הנער. כיצד תשתנה תשובתך לסעיף ד'?

(5) החזרה תרגיל 3

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

(6) תרגול חוק סנל 1

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

(7) תרגול חוק סנל 2

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

θ_1	θ_2
0	0
10	7.33
20	14.57
30	21.57
40	28.21
50	34.28
60	39.55
70	43.71
80	46.40

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

(8) החזרה גמורה תרגיל 1

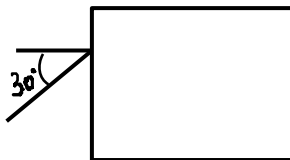
קרן אור מתקדמת בזכוכית ($n = 1.5$), ופוגעת בגבול בין זכוכית זו ובין מים ($n = 1.33$), בזוויות:

א. $\theta_1 = 0^\circ$

ב. $\theta_1 = 30^\circ$

ג. $\theta_2 = 70^\circ$

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

(9) החזרה גמורה תרגיל 2

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

(10) עדשה מרכזת - תרגיל 1

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

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

א. מצא בעזרת שרטוט את:

i. מיקום הדמות הנוצרת.

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

11) עדשה מרכזת - תרגיל 2

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

12) עדשה מפזרת – תרגיל 1

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

(13) בגרות 2017 שאלה 6

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

א. הגדר את תופעת השבירה של האור, וציין את סיבתה.

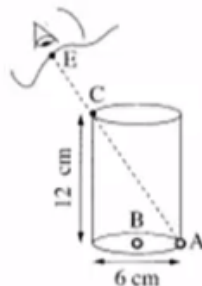
ב. הסבר מדוע ראה רמי את המטבע רק לאחר שהבריכה התמלאה חלקית במים. לווה את תשובתך בסרטוט מהלך קרניים.

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

ג. חשב את עומק המים.

(14) בגרות 2016 שאלה 7

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



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

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

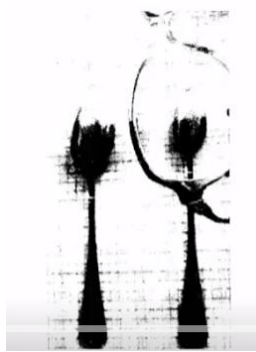
סמן בתרשים שבמחברתך את זווית הפגיעה (α) ואת זווית השבירה (β) במעבר של קרן האור מהנוזל לאוויר.

ב. חשב את מקדם השבירה של הנוזל.

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

(15) בגרות 2016 שאלה 6

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



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

16) בגרות 2015 שאלה 7

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



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

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

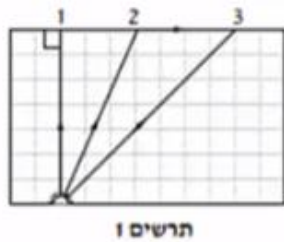
- חשב בתוך כמה זמן יהיה המרחק בין הילד ובין דמותו 0.5 מטר.
 ג. לפניך ארבע צורות IV-I של האות F. העתק למחברתך את המספר של צורת הדמות של האות F, כפי שהילד שמסתכל במראה רואה אותה.

**17) בגרות 2014 שאלה 6**

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

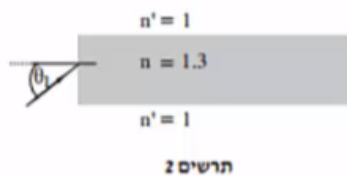
לאחר שיאיר הדליק את הנורה הוא התבונן בשמשת החלון של מכוניתו. הוא לא ראה את הסביבה שבחוץ, אלא את דמותו המשתקפת בשמשת החלון.
 ב. הסבר באמצעות תרשים כיצד נוצרת הדמות המשתקפת בשמשת החלון.

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

(18) בגרות 2014 שאלה 7

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

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

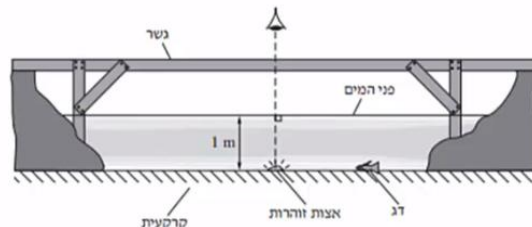


אפשר להעביר מידע למרחקים גדולים באמצעות סיבים אופטיים שאור מתפשט דרכם כמעט בלי הפסדי אנרגיה. בתרשים 2 מתואר חתך של סיב אופטי העשוי מחומר שקוף שמקדם השבירה שלו: $n = 1.3$, וקרן אור נכנסת לתוכו מן האוויר בזווית פגיעה θ_1 .

- ג. כאשר האור נכנס לסיב מהצד (כמתואר בתרשים 2), זווית הפגיעה θ_1 צריכה להיות קטנה מ- 57° כדי למנוע דליפת (יציאת) אור מהסיב לאוויר. הסבר מדוע. בתשובתך היעזר בתרשים.

(19) בגרות 2013 תרגיל 1

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

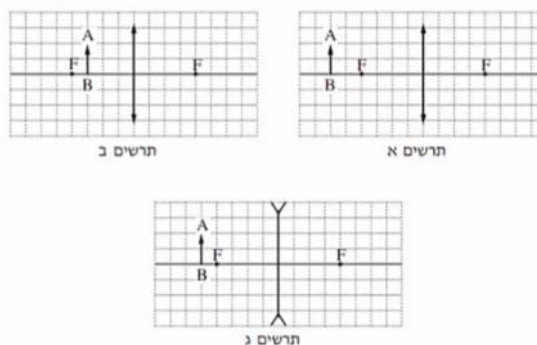


- א. האור שנפלט ממושבת האצות לעבר פני המים עובר לאוויר דרך משטח מעגלי של פני המים. הסבר מדוע. היעזר בתרשים מתאים.
 ב. חשב את הרדיוס של המשטח המעגלי שהאור עובר דרכו לאוויר.
 ג. אדם הניצב על הגשר בדיוק מעל מושבת האצות רואה אותה בעומק קטן יותר מהעומק האמיתי שהיא נמצאת בו. הסבר מדוע.

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

20 בגרות 2013 שאלה 6

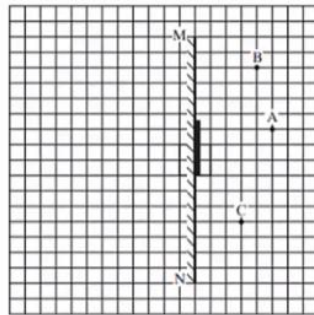
- אדם המרכיב משקפיים עם עדשות מרכזות זהות רואה בעזרתם את הדמות המדומה של עצם.
- א. הסבר את המושגים "דמות ממשית" ו"דמות מדומה", בהסברך תוכל להיעזר בתרשימים.
- ב. בתרשימים אי-ג' שלפניך החץ AB מייצג את העצם. קבע איזה תרשים מתאים לתיאור שבפתיח. נמק את קביעתך.



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

21 בגרות 2012 שאלה 1

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

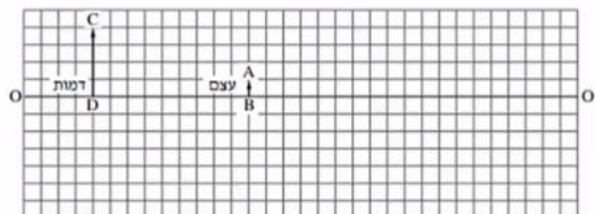


העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך.

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

22) בגרות 2011 שאלה 1

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



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

העתק למחברתך את התרשים כך שכל משבצת בתרשים תיוצג על ידי משבצת במחברתך. השתמש בתרשים שסרטטת כדי לענות על סעיפים ב'-ג'.

ב. מצא, בעזרת סרטוט של מהלך קרני האור, את מיקום העדשה, והוסף אותה לתרשים.

ג. מצא את רוחק המוקד של העדשה בשתי דרכים:

i. סרטוט של מהלך קרני האור.

ii. חישוב.

ד. כשהמרחק בין העצם לעדשה גדול מערך מסוים u_1 , נוצרת דמות הפוכה

ביחס לעצם. קבע מהו u_1 .

ה. כשהמרחק בין העצם לעדשה שווה לערך מסוים u_2 , הגדול מ- u_1 , נוצרת

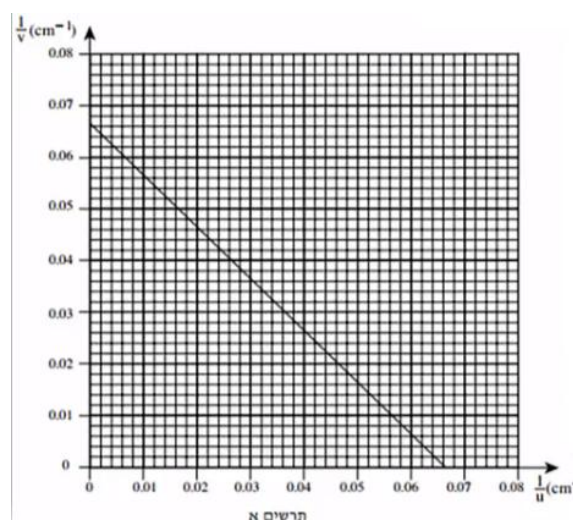
דמות באותו גובה של הדמות CD שבתרשים. מצא את u_2 .

(23) בגרות 2009 שאלה 1

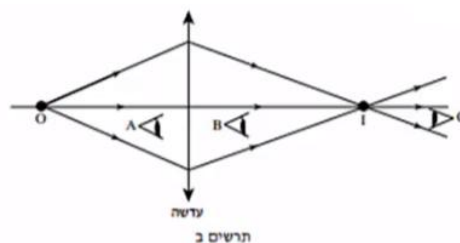
ברק הציב מקור אור במרחקים שונים מעדשה דו-קמורה דקה. בכל פעם הוא מדד את המרחק של מקור האור מן העדשה (u), ואת המרחק של המסך שעליו התקבלה דמות חדה של מקור האור מן העדשה (v). לאחר מכן הוא חישב את ערכי $\frac{1}{u}$ ו- $\frac{1}{v}$, ועל פי ערכים אלה סרטט גרף של $\frac{1}{v}$ (ביחידות cm^{-1}) כפונקציה

של $\frac{1}{u}$ (ביחידות cm^{-1}).

הגרף מוצג בתרשים א'.



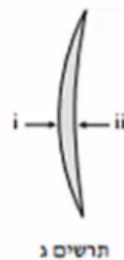
- א. הסבר מדוע הגרף שהתקבל הוא קו ישר.
- ב. מצא בעזרת הגרף את רוחק המוקד של העדשה. פרט את חישוביך.
- ג. כאשר הציב ברק את מקור האור במרחק 10 ס"מ מן העדשה, הוא לא הצליח למקם את המסך כך שתתקבל עליו דמות חדה של מקור האור. הסבר מדוע.
- ד. בתרשים ב' שלפניך מתואר עצם נקודתי O ודמותו I, הנוצרת על ידי עדשה מרכזת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



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

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

במקרה i אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקמור.
 במקרה ii אלומת האור פוגעת תחילה במשטח הקעור.



- העתק למחברתך את המספר של המשפט הנכון מבין המשפטים i-iv שלפניך:
- i. העדשה מרכזת את האור בשני המקרים.
 - ii. העדשה מרכזת את האור במקרה i ומפזרת אותו במקרה ii.
 - iii. העדשה מפזרת את האור במקרה i ומרכזת אותו במקרה ii.
 - iv. העדשה מפזרת את האור בשני המקרים.

24 בגרות 2007 שאלה 2

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

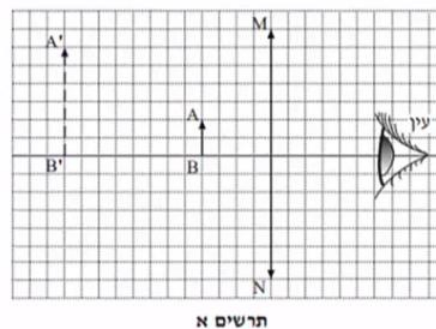
האיור שלפניך הוא העתק של תצלום שבו מראה מישורית המונחת על לוח עץ, ופנס הפנס פולט אלומת אור הפוגעת בלוח העץ ובמראה שעליו. מלבד הפנס אין מקורות אור נוספים.



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

25) בגרות 2004 שאלה 1

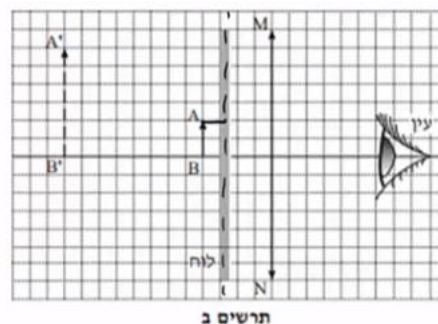
בתרשים א' מוצגת מערכת, ובה עדשה מרכזת, MN , הציר האופטי שלה, בול דואר, AB , הדמות של הבול, $A'B'$, הנוצרת על ידי העדשה, ועין הצופה המתבונן בבול. אורך הצלע של כל משבצת בתרשים מייצג מרחק של 5 ס"מ במציאות.



א. ענה על הסעיפים הבאים:

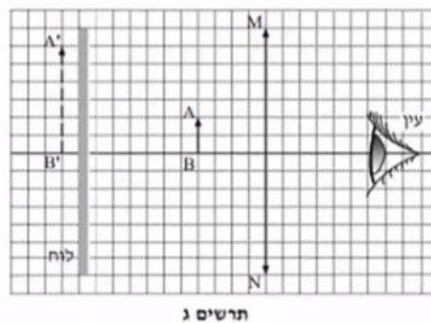
- i. מצא את אורך מוקד העדשה.
- ii. חשב את עוצמת העדשה. הצג את תשובתך בדיופטר.

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



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

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



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

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

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

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

תאר כיצד קבעת את מהלך הקרן שסרטטת.

תשובות סופיות:

- (1) א. ראה סרטון. ב. i. 6m ii. 6m ג. 2.4m ד. ראה סרטון.
- (2) א. $t = 1.28 \text{ sec}$ ב. $t \cong 8\frac{1}{3} \text{ min}$ ג. $t = 10^{-9}$ ד. $9.47 \cdot 10^{15} \text{ m}$
- (3) ראה סרטון.
- (4) א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. כן. ד. 0.85m
- (5) 2.43m
- (6) א. 26.3° ב. ראה סרטון.
- (7) א. לא. ב. $\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \theta_1$ ג. ראה סרטון.
- (8) ד. 1.353 ראה סרטון.
- (9) ראה סרטון.
- (10) א. ראה סרטון. ב. i. $V = 24 \text{ cm}$ ii. $H_i = 8 \text{ cm}$ ג. הפוכה, מוגדלת, ממשית. ד. ראה סרטון.
- (11) א. ראה סרטון. ב. i. $V \approx 6.5 \text{ cm}$ ii. $H_i \approx 7.95 \text{ cm}$ ג. לא. ד. כן. ה. כן.
- (12) א. i. $V = -4.4 \text{ cm}$ ii. $H_i = 2.2 \text{ cm}$ iii. מדומה, מוקטנת, ישרה. ב. ראה סרטון. ג. ראה סרטון.
- (13) א. ראה סרטון. ב. ראה סרטון. ג. $h = 0.6 \text{ m}$
- (14) א. ראה סרטון. ב. 1.85 ג. נמוך יותר.
- (15) א. i. ישרה. ii. מדומה. iii. מוקטנת. ב. מפזרת. ג. ראה סרטון.
- (16) א. החזרה מסודרת, מתקבלת דמות במפגש הקרניים המוחזרות. ב. 1.5sec ג. IV.
- (17) א. לעבר המפה. ב. ראה סרטון. ג. כל משטח מתפקד כמראה עצמאית. ד. דמות 1.
- (18) א. ראה סרטון. ב. $\theta_c = 23.2^\circ$ ג. ראה סרטון.
- (19) א. ראה סרטון. ב. $r = 1.14 \text{ m}$ ג. ראה סרטון. ד. $x = 2.28 \text{ m}$ ה. ראה סרטון.
- (20) א. דמות ממשית – מתקבלת במפגש המשכי הקרניים הממשיות. דמות מדומה – מתקבלת בנקודת מפגש המשכי הקרניים המדומות. ב. תרשים ב'. ג. 50cm ד. $u = 27.3 \text{ cm}$

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 3 - מבוא למבנה החומר

תוכן העניינים

1. מבוא למבנה החומר (ללא ספר)

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 4 - הכוח החשמלי- חוק קולון

תוכן העניינים

37	1. חוק קולון.....
38	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: $\vec{r}_1(8\text{m}, 0)$.

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: $\vec{r}_1(5\text{m}, 3\text{m})$.

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

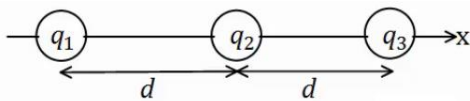
ב. מהי תאוצת כל גוף באותו הרגע אם מסותיהן הן: $m_1 = 3\text{kg}$, $m_2 = 8\text{kg}$.

(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:

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

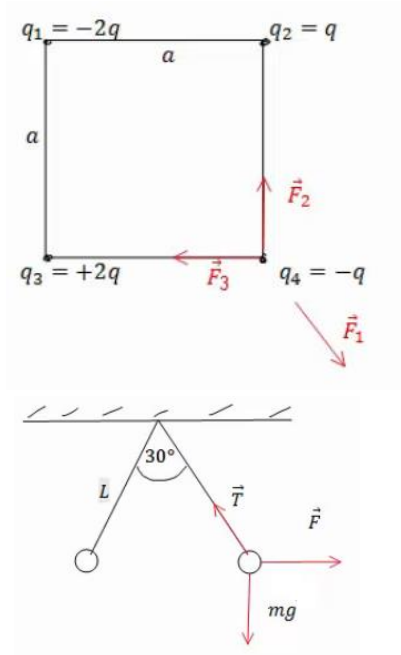
$$(2) \quad \text{א. שניהם נעים בכיוונים הפוכים, ב- } F = 21.6 \text{ N. ב. } a_1 = -7.2 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \hat{x}, a_2 = 2.7 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \hat{x}.$$

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

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

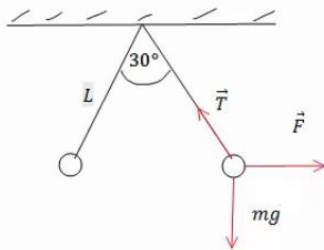
תרגילים:

שאלות:



(1) מטען בפינת ריבוע

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

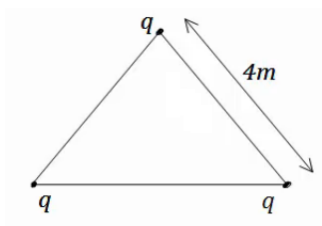


(2) שני כדורים תלויים

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: $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -q_p$.

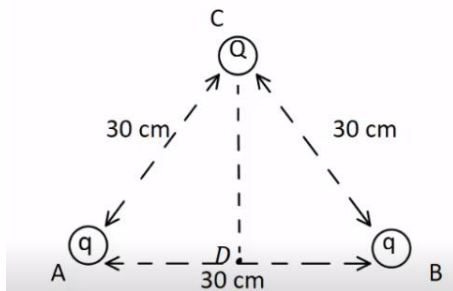


(4) מטענים בקודקודי משולש

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

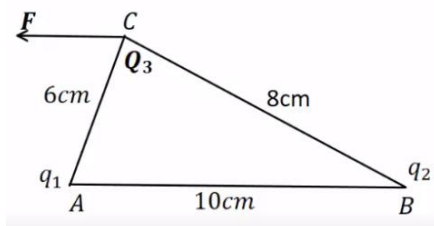


שני כדורים קטנים, שמטען כל אחד מהם הוא: $q = 10^{-5} \text{ C}$, קבועים בנקודות A ו-B באיור. המרחק בין הנקודות הוא 30cm. בנקודה C הנמצאת במרחק של 30cm מכל אחד מהמטענים האלה, נמצא כדור מוליך קטן שמסתו 20gr והוא טעון במטען של: $Q = -2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

משחררים את הכדור הנמצא בנקודה C.

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

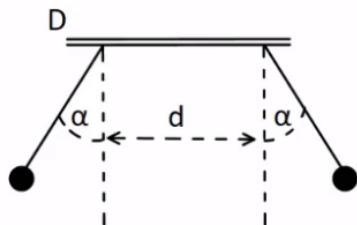
(6) נחש את סימן המטענים



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

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

(7) שני מטענים תלויים



שני כדורים שמסתם זהות $m = 8\text{gr}$ ומטען זהה q , תלויים באמצעות חוטים משתי נקודות שהמרחק 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 גלים ואופטיקה

פרק 5 - השדה החשמלי

תוכן העניינים

1. שדה חשמלי של מטענים נקודתיים..... 41

שדה חשמלי של מטענים נקודתיים:

שאלות:

(1) שדה בשתי נקודות

מטען q נמצא בראשית הצירים.

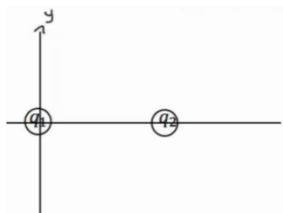
א. חשב את השדה בנקודות $(0, 2\text{m})$, $(1\text{m}, 3\text{m})$, אם נתון ש- $q = 5\text{c}$ (גודל וכיוון).

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. $(2\text{cm}, 1\text{cm})$

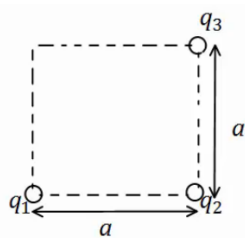
(3) חישוב שדה שקול בפינה של ריבוע

מטענים q_1 , q_2 , q_3 נמצאים בשלוש פינותיו של ריבוע

בעל צלע a .

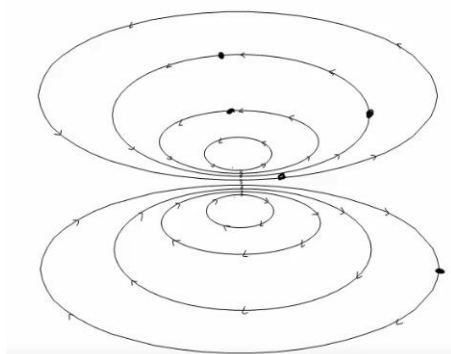
מהו השדה בפינה הרביעית?

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: $L = 8\text{cm}$.

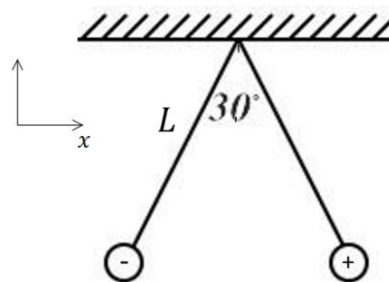
מסת הכדורים זהה ושווה ל- 4gr , מטעני הכדורים הם: $6 \cdot 10^{-8}\text{C}$

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:

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

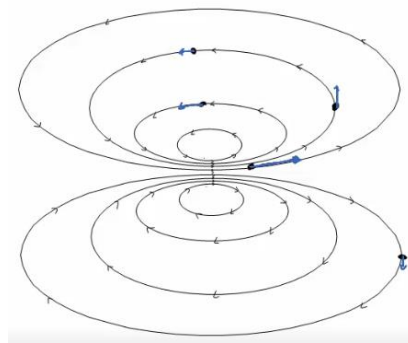
$$\vec{F} = 4.26 \cdot 10^9 \hat{x} + 12.81 \cdot 10^9 \hat{y} \quad \text{ג.} \quad \vec{F}_3 = -4 \cdot (1.42 \cdot 10^9 \hat{x} + 4.27 \cdot 10^9 \hat{y}) \quad \text{ד.}$$

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

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

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

(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 גלים ואופטיקה

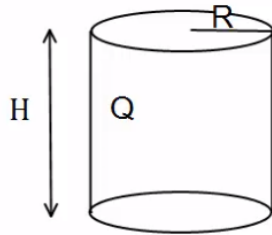
פרק 6 - חוק גאוס

תוכן העניינים

45	1. צפיפות מטען.....
46	2. חוק גאוס.....
(ללא ספר)	3. סיכום חוק גאוס.....
47	4. תרגילים נוספים.....

צפיפות מטען:

שאלות:



(1) גליל עם חור

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

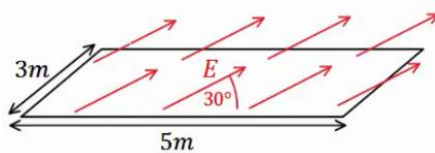
תשובות סופיות:

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

חוק גאוס:

שאלות:

(1) שדה באלכסון

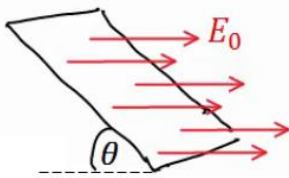


באיור הבא נתון כי השדה החשמלי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).

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

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

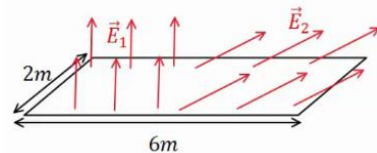
(2) משטח באלכסון



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:

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

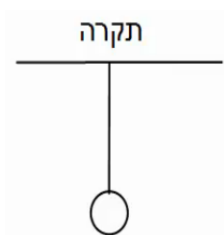
$$\Phi_E = E_0 \sin \theta \cdot a \cdot b \quad (2)$$

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

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

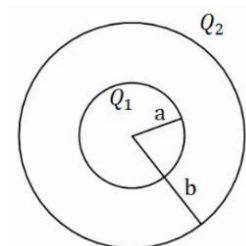
$$\text{צפיפות מטען משטחית: } \sigma = -\frac{30\mu\text{C}}{\text{m}^2}$$

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 גלים ואופטיקה

פרק 7 - הסבר על אינטגרלים

תוכן העניינים

1. נגזרות ואינטגרלים בסיסיים.....48

נגזרות ואינטגרלים בסיסיים:

רקע

נגזרות:

הנגזרת נותנת את שיפוע המשיק לפונקציה בנקודה כלשהיא.

אם y היא פונקציה של x אז הסימון של הנגזרת של y לפי x הוא $\frac{dy}{dx}$ או y' .

נגזרת של פולינום:

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

כפל בקבוע אפשר להוציא מהנגזרת:

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

נגזרת של מכפלה:

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

כלל שרשרת:

אם y היא פונקציה של x ו- x היא פונקציה של t אז:

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

נגזרות של פונקציות נוספות:

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

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

אינטגרל:

פעולה הפוכה לנגזרת.

אינטגרל של פולינום

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

אינטגרל לא מסוים, מוסיפים קבוע לתוצאת האינטגרל.

אינטגרל מסוים, מציבים גבולות בתוצאה של האינטגרל.

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

מה עושה האינטגרל?

האינטגרל מבצע סכימה על ערכי הפונקציה.

האינטגרל נותן את השטח מתחת לגרף הפונקציה.

שאלות:

(1) דוגמה 1

חשב את הנגזרות הבאות:

א. $y = 5x^4$, $\frac{dy}{dx} = ?$

ב. $y = ax^5$, $\frac{dy}{dx} = ?$

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

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

ה. $y = 6t^2$, $\frac{dy}{dt} = ?$

ו. $x = 5t^3$, $\frac{dx}{dt} = ?$

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

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

(2) דוגמה 2

חשב את הנגזרות הבאות:

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

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

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

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

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

(3) דוגמה 3-נגזרת פנימית

חשב את הנגזרות הבאות :

א. $y = (x+2)^4$, $\frac{dy}{dx} = ?$

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

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

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

(4) דוגמה 4-כלל שרשרת

חשב את הנגזרות הבאות :

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

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

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

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

(5) דוגמה 5-נגזרות של פונקציות נוספות

מצאו את הנגזרות של הפונקציות הבאות :

א. $y = \sin(ax)$ כאשר a קבוע.

ב. $y = e^{-x^2}$

(6) דוגמה 1-אינטגרלים בסיסיים

חשב את האינטגרלים הבאים :

א. $\int x^7 dx$

ב. $\int x dx$

ג. $\int dx$

ד. $\int 3 dx$

ה. $\int 7x^4 dx$

ו. $\int (5x^2 + 3) dx$

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

$$\int Ax^7 dx \quad \text{ח.}$$

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

(7) דוגמה 2-אינטגרל מסוים

חשב את האינטגרלים הבאים:

$$\int_0^2 x^5 dx \quad \text{א.}$$

$$\int_1^5 4 dx \quad \text{ב.}$$

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

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

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

(8) דוגמה 3-אינטגרל של פונקציות נוספות

חשב את האינטגרלים הבאים:

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

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

$$\int e^{3x} dx \quad \text{ג.}$$

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

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

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

$$\int e^{ax} dx \quad \text{ז.}$$

תשובות סופיות:

- (1) א. $20x^3$ ב. $5a \cdot x^4$ ג. $5 + 36x^{17}$ ד. $16x$ ה. $12 \cdot t$
ו. $15t^2$ ז. $20t^3 + 3t^2$ ח. $6At^5 + B$
- (2) א. $20x^3 \cdot (5x + 2x^{18}) + (5x^4 + 2)(5 + 36x^{17})$ ב. $5Ax^4(B + Cx^3) + 3ACx^7$ ג. $5 + 4x \cdot (4x + 5x^5) + 2x^2(4 + 25x^4)$
ד. $(10t)(2t + 27 + 5t^3) + (5t^2 + 1)(2 + 0 + 15t^2)$
ה. $(6t^2 + 0)(4t + 3 + 6t^2) + (2t^3 + 7)(4 + 0 + 12t)$
- (3) א. $4(x + 2)^3 \cdot 1$ ב. $25(8x^2 + x)^4(16x + 1)$ ג. $5 + 560t^3(5t^4 + 4)^{13}$ ד. $16(5t^4 + t^3 + 4)(20t^3 + 3t^2)$
- (4) א. $8(2t + 2)^3$ ב. $500t^3(8(5t^4 + 4)^2 + 5t^4 + 4) \cdot (16(5t^4 + 4) + 1)$ ג. $(5 + 2 \cdot 14(5x^4 + 4)^{13} \cdot (5 \cdot 4x^3 + 0)) \cdot (3 + 2t + 1)$ ד. $4t^3$
- (5) א. $\cos(ax) \cdot a$ ב. $e^{-x^2} \cdot (-2x)$
- (6) א. $\frac{x^8}{8} + C$ ב. $\frac{x^2}{2} + C$ ג. $x + C$ ד. $3x$ ה. $\frac{7x^5}{5} + C$
ו. $x^8 + \frac{5}{2}x^2 + C$ ז. $A \cdot \frac{x^8}{8} + C$ ח. $A \frac{x^8}{8} + B \frac{x^2}{2} + C$ ט. $31.875A + 1.5B$
- (7) א. 10.67 ב. 16 ג. 341.6 ד. 58.67 ה. $\ln\left(\frac{5}{3}\right)$
- (8) א. 2 ב. 0 ג. $\frac{e^{3x}}{3} + C$ ד. $\frac{2}{3}$ ה. $\ln\left(\frac{5}{3}\right)$
ו. $-\frac{1}{x} + C$ ז. $\frac{e^{ax}}{a}$

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 8 - הסבר על צפיפות מטען וקואורדינטות

תוכן העניינים

- 1. צפיפות מטען.....54
- 2. קואורדינטות ואלמנטים דיפרנציאליים.....55
- 3. אינטגרל כפול ומשולש.....58

צפיפות מטען:

רקע:

צפיפות נפחית – כמות המטען ביחידת נפח.

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

צפיפות משטחית – כמות המטען ביחידת שטח.

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

צפיפות אורכית – כמות המטען ביחידת אורך.

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

אלמנט מטען אינפיניטסימלי:

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

שאלות:

(1) תרגיל - דיסקה עם חור

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

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

(2) תרגיל – מטען כולל בכדור

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

תשובות:

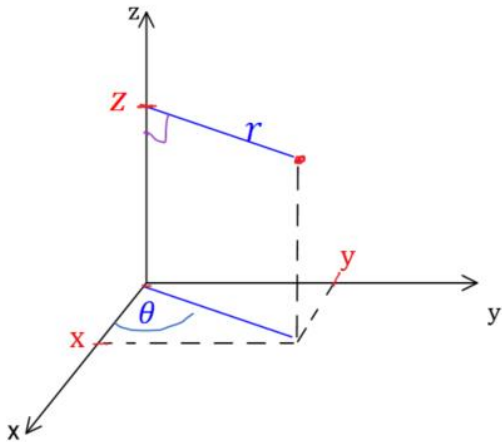
$$Q \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (1)$$

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

קואורדינטות ואלמנטים דיפרנציאליים:

רקע:

קואורדינטות גליליות: (r, θ, z)



$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = z$$

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

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

טבעת

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

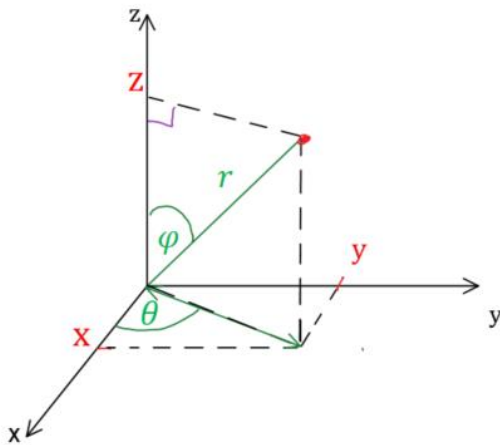
דיסקה

מעטפת
גלילית

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

גליל מלא

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



קואורדינטות כדוריות: (r, θ, φ)

$$z = r \cos \varphi$$

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

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

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

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

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

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

מעטפת כדור

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

כדור מלא

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

שאלות:

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

תשובות סופיות:

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

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

אינטגרל כפול ומשולש:

שאלות:

פתרו את האינטגרלים הבאים :

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

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

(12) דוגמה – אינטגרל משולש

תשובות סופיות:

(1) 108

(2) 18

(3) 13.33

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

(5) 512

(6) 56.55

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

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

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

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

(11) $4\pi r^2$

(12) 39

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 9 - חוק גאוס-תרגילים נוספים

תוכן העניינים

60	1. הסברים בסיסיים
61	2. תרגול נוסף

הסברים בסיסיים:

שאלות:

(1) לוח עם עובי



נתון מישור בעל שטח A ועובי d .
 המישור טעון בצפיפות מטען קבועה
 ליחידת נפח ρ .

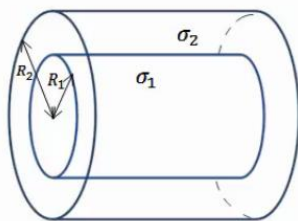
- א. מצא את השדה רחוק מאוד מהמישור.
- ב. מצא את השדה קרוב מאוד למישור ובתוכו (השתמש בקירובים).
- ג. מניחים אלקטרון בגובה $Z_0 < \frac{d}{2}$, מצא את מיקום האלקטרון כפונקציה של הזמן בהנחה שצפיפות המטען במישור חיובית.

תשובות סופיות:

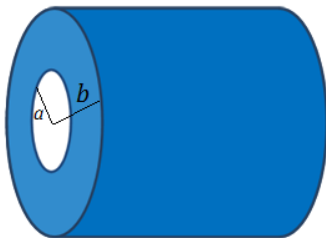
$$z(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{|e|\rho}{\epsilon_0 m}} t\right) \quad \text{ג.} \quad \vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z > \frac{d}{2} \\ -\frac{\rho d}{2\epsilon_0} \hat{z} & z < -\frac{d}{2} \end{cases} \quad \text{ב.} \quad \vec{E} = \frac{k\rho d A}{r^2} \hat{r} \quad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

תרגול נוסף:

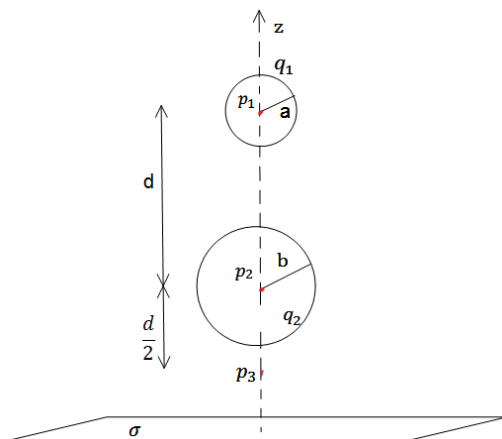
שאלות:



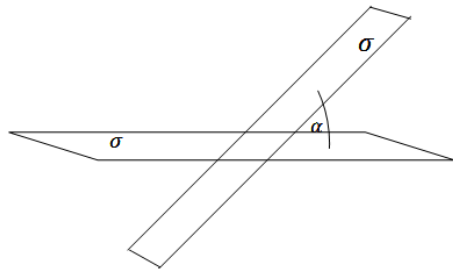
- (1) שתי קליפות גליליות חלולות נתונות שתי קליפות (חלולות) גליליות אינסופיות בעלות ציר סימטריה משותף. רדיוס הקליפה הפנימית הוא R_1 וצפיפות המטען המשטחית בה היא σ_1 . רדיוס הקליפה החיצונית הוא R_2 וצפיפות המטען בה היא σ_2 . מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.



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



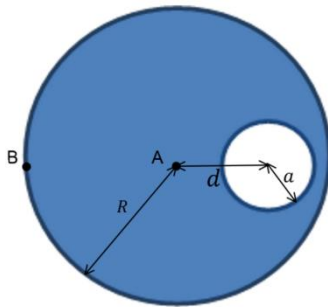
- (3) משטח ושתי קליפות כדוריות שתי קליפות כדוריות בעלות רדיוסים שונים $a < b$, נמצאות במרחק $d > 2b$ אחת מעל השנייה. הקליפות טעונות במטענים q_1, q_2 בהתאמה. במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחת לקליפה התחתונה (עם רדיוס b) מונח מישור אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח σ . מצא את השדה בנקודות הבאות.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

(4) שני מישורים בזווית

שני מישורים אינסופיים טעונים בצפיפות מטען ליחידת שטח σ . המישורים נמצאים בזווית α אחד מהשני.

א. מצא את השדה החשמלי בין המישורים ומעל המישור האופקי.

ב. מצא את השדה מעל שני המישורים.

(5) כדור עם חור

בתוך כדור הטעון בצפיפות מטען אחידה ρ קיים חלל כדורי בעל רדיוס a . המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא d , רדיוס הכדור הגדול הוא R .

א. מצאו את השדה בנקודה A.

ב. מצאו את השדה בנקודה B.

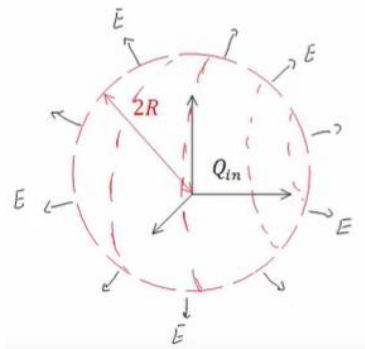
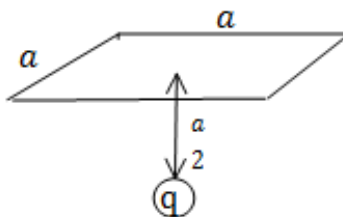
ג*. מצאו את השדה החשמלי בתוך החלל (בכל נקודה).

(6) מטען כלוא

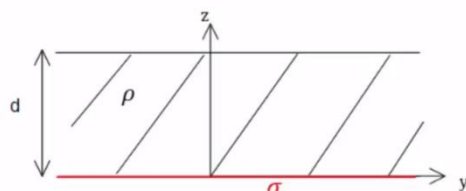
נתונה פונקציית השדה החשמלי

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

במרחב: כאשר ρ_0 , R קבועים נתונים, ו- r הוא המרחק מהראשית בקואורדינטות כדוריות, מצא את כמות המטען הכלואה בתוך מעטפת כדורית בעלת רדיוס $2R$.

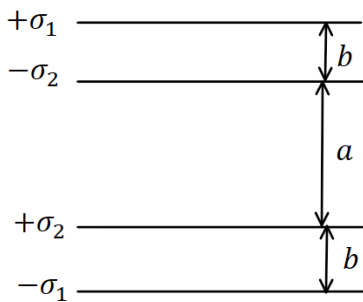
**(7) שטף דרך משטח ריבועי**

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

(8) מישור עבה צמוד למישור דק

מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען אחידה σ נמצא על מישור $x-y$. מישור אינסופי נוסף בעל עובי d טעון בצפיפות מטען אחידה ρ , מונח מעל

המישור הדק (תחתית המישור העבה נמצא גם על מישור $x-y$). מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.

**(9) ארבעה לוחות**

במערכת הבאה ישנם ארבעה לוחות הטעונים

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

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

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

(10) מלוח אל לוח

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

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

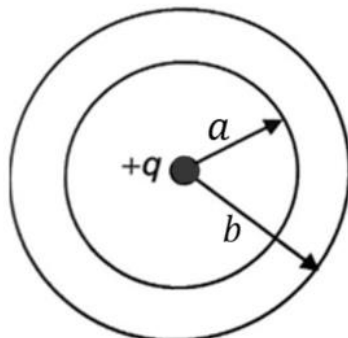
(11) קליפה כדורית עבה עם צפיפות משתנה

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

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

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

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



תשובות סופיות:

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

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

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

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{z} - \frac{kq_2}{\frac{d^2}{4}} \hat{z} - \frac{kq_1}{\frac{9d^2}{4}} \hat{z} \quad \text{ג.}$$

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

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

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

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

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

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

$$\vec{E} = -5.65 \cdot 10^9 \frac{N}{C} \hat{y} \quad \text{א.} \quad \vec{E} = -5.65 \cdot 10^9 \frac{N}{C} \hat{y} \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$v = 1.04 \cdot 10^8 \frac{m}{sec} \quad \text{ג.} \quad 2.53 \cdot 10^{-11} J \quad \text{ב.}$$

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

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

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 10 - תנועה בשדה חשמלי אחיד

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים..... 65

הסבר ותרגילים:

שאלות:

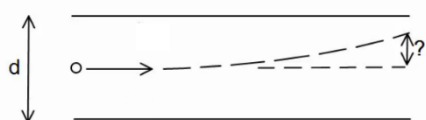
(1) מלוח אל לוח

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



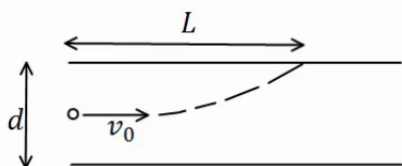
שני לוחות ריבועיים נמצאים אחד מעל השני. אורך הצלע של כל לוח היא 5 ס"מ והמרחק בין הלוחות הוא 2 מ"מ. הלוחות טעונים בצפיפות מטען אחידה. המטען הכולל על הלוח העליון הוא: $Q = 3 \cdot 10^{-11} \text{ C}$, והמטען הכולל על הלוח התחתון זהה והפוך בסימנו.

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 גלים ואופטיקה

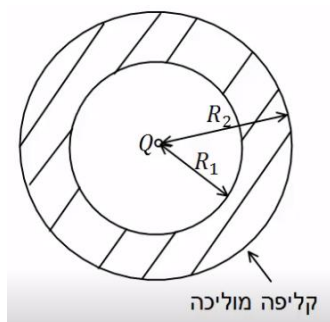
פרק 11 - מוליכים

תוכן העניינים

1. הסבר על מוליכים (ללא ספר)
2. תרגילים 67

תרגילים:

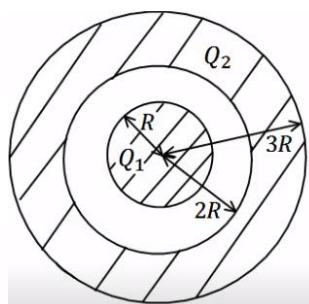
שאלות:



(1) מטען נקודתי וקליפה עבה

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

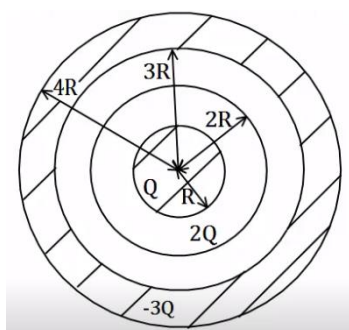
- מצא את השדה בכל המרחב אם הקליפה ניטרלית.
- מהי התפלגות המטען על שפת הקליפה?



(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 .

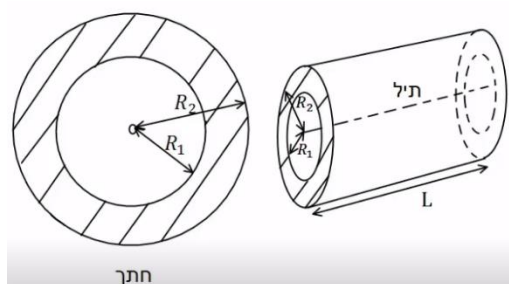
- מצא את השדה החשמלי בכל המרחב.
- מהי התפלגות המטען על שפת הכדור ושפת הקליפה?
- מטען נקודתי q מונח ב- $r = 1.5R$. מהו הכוח הפועל על המטען אם ניתן להניח שההשפעה שלו על המערכת זניחה.



(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 גלים ואופטיקה

פרק 12 - חומרים דיאלקטריים

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים 70

הסברים ותרגילים:

רקע:

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

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

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

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

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

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

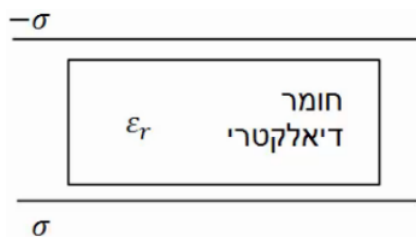
ϵ_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.

לפעמים נתון המקדם הדיאלקטרי (הלא יחסי) והקשר הוא:

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

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

שאלות:



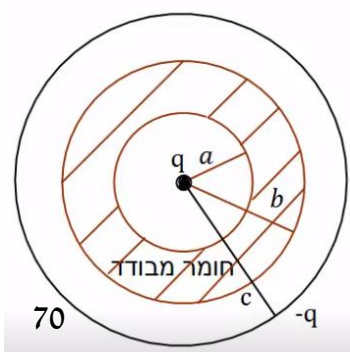
(1) חומר דיאלקטרי בין שני לוחות

חומר דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_r = 2$ מוכנס בין

שני לוחות גדולים מאוד, הטעונים בצפיפות

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

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



(2) מטען נקודתי בתוך מעטפת דיאלקטרית

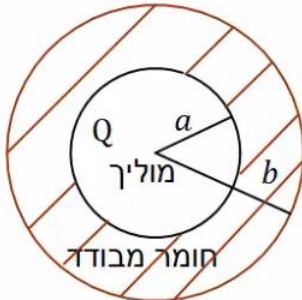
מטען נקודתי $q = 2 \cdot 10^{-6} C$ מוקף במעטפת כדורית

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

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

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

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



(3) כדור מוליך בתוך מעטפת דיאלקטרית

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

תשובות סופיות:

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

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

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 13 - מתח, פוטנציאל ואנרגיה פוטנציאלית חשמלית

תוכן העניינים

1. עבודה ואנרגיה של הכוח החשמלי.....73
2. פוטנציאל ומתח.....75
3. פוטנציאל במוליכים.....79
4. תרגילים נוספים.....81

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 $d = 5 \text{ cm}$.

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

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

פוטנציאל ומתח:

שאלות:

(1) פוטנציאל שיוצר מטען בשתי נקודות

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

ובמרחק $r_2 = 0.3 \text{ m}$ מהמטען.

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

(2) 3 מטענים בפינות של ריבוע

בשלוש פינות של ריבוע מקובעים שלושה מטענים זהים $Q = 2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

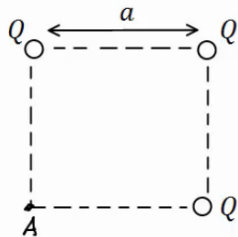
אורך צלע הריבוע היא $a = 3 \text{ cm}$.

א. חשב את הפוטנציאל בפינה הרביעית של הריבוע.

ב. חשב את הפוטנציאל במרכז הריבוע.

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

ממרכז הריבוע לקצה הריבוע.



(3) שני מטענים על משולש שווה צלעות

שני מטענים זהים $Q_1 = Q_2 = 10^{-6} \text{ C}$ נמצאים על קדקודיו של

משולש שווה צלעות בעל אורך צלע $l = 5 \text{ cm}$.

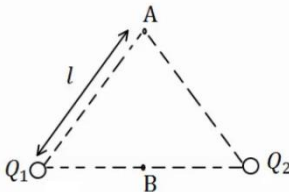
א. מצא את המתח בין הנקודה A הנמצאת בקדקוד

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.

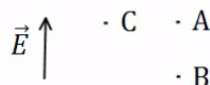
א. איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה

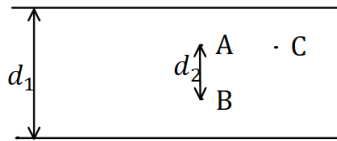
במטען שלילי?

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.

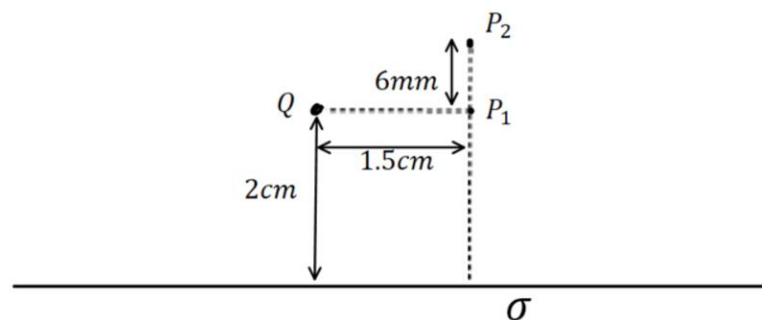
- איזה מהלוחות טעון במטען חיובי ואיזה במטען שלילי?
- מהו השדה בין הלוחות (גודל וכיוון)?
- מהו המתח V_{BA} אם ידוע שהמרחק בין הנקודות A ו B הוא $d_2 = 5\text{cm}$?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ מ-A ל-B?
- מהי העבודה הדרושה להזיז מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ מ-A ל-C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

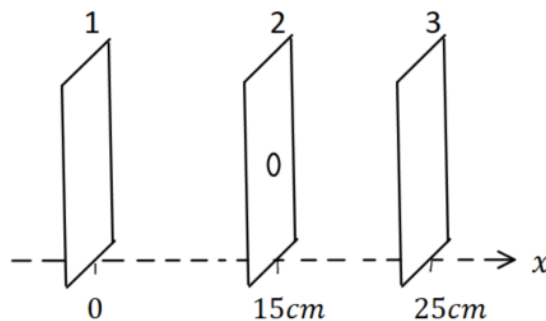
ב. חשבו את σ_2 ו- σ_3 .

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

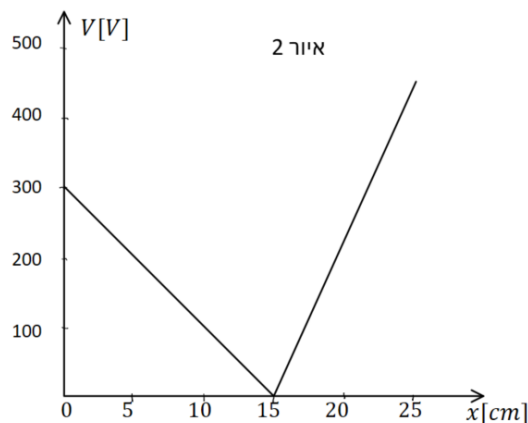
ג. מהו מטען החלקיק (כולל הסימן)?

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.

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

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

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

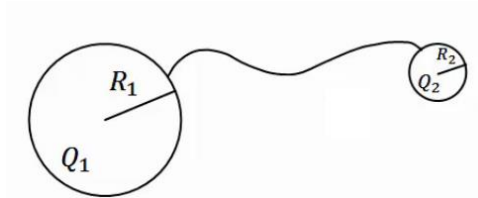
$$q = 7.5 \mu\text{C} \quad \text{ג.} \quad \sigma_3 = 4.21 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}, \quad \sigma_2 = -5.75 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \quad \text{ב.}$$

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

פוטנציאל במוליכים:

שאלות:

(1) שני כדורים מוליכים מחוברים



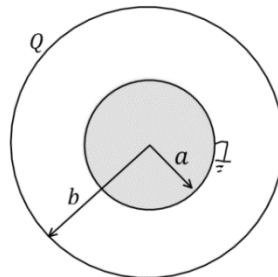
שני כדורים מוליכים בעלי רדיוסים R_1, R_2 נמצאים במרחק גדול מאוד אחד מהשני. הכדורים טעונים במטענים Q_1, Q_2 בהתאמה. מחברים את הכדורים באמצעות חוט מוליך. מה היה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

(2) מטען נקודתי במרכז קליפה מוארקת

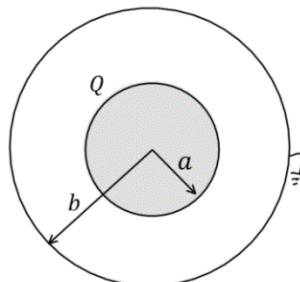
מטען נקודתי Q נמצא במרכזה של קליפה (חלולה) כדורית דקה ומוליה ברדיוס R . מהו המטען על הקליפה אם ידוע שהיא מוארקת?

(3) כדור בתוך קליפה

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



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



תשובות סופיות:

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

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

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

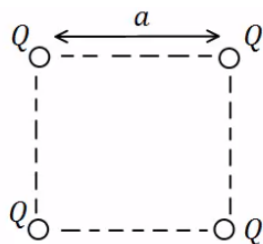
תרגילים נוספים:

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.

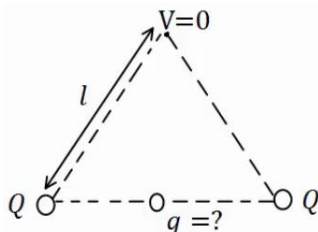
(2) מטענים בפינות ריבוע



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 300V .

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?

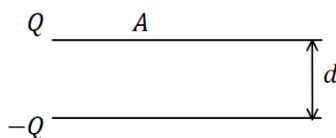
$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

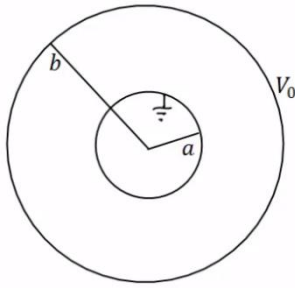
(8) פוטנציאל של כדור מוליך

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

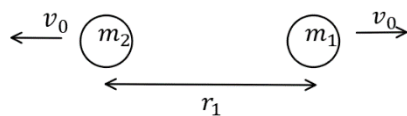
- מהו הפרש הפוטנציאלים בין שפות הכדורים, אם הם מרוחקים מאוד זה מזה.
- מהו הפרש הפוטנציאלים בין שתי הנקודות הכי קרובות של הכדורים, אם המרחק בין מרכזיהם הוא $d = 5\text{m}$.
- הנח שהתפלגות המטען על כל כדור עדיין אחידה.

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.



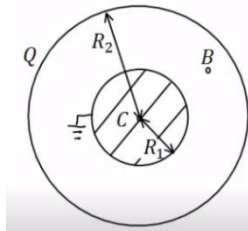
לגופים מהירות התחלתית כך שאחד מתרחק מהשני.

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

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

(13) 1000 טיפות שמן

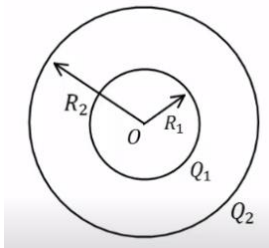
1000 טיפות שמן זהות טעונות במטען זהה ונמצאות בפוטנציאל זהה v_1 .
 הטיפות מתחברות לטיפה אחת גדולה. מהו הפוטנציאל של הטיפה הגדולה (v_1 נתון)?
 רמז: ניתן להתייחס לכל טיפה ככדור מוליך.

(14) כדור מוליך מוארק בתוך קליפה כדורית

כדור מוליך ברדיוס $R_1 = 5\text{cm}$ נמצא בתוך
 ובמרכזה של קליפה כדורית דקה.
 רדיוס הקליפה הוא: $R_2 = 10\text{cm}$ והמטען עליה
 הוא: $Q = 3 \cdot 10^{-7}\text{C}$. מאריקים את הכדור.
 א. מצא את המטען על שפת הכדור.

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

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 $4\pi R^2$.

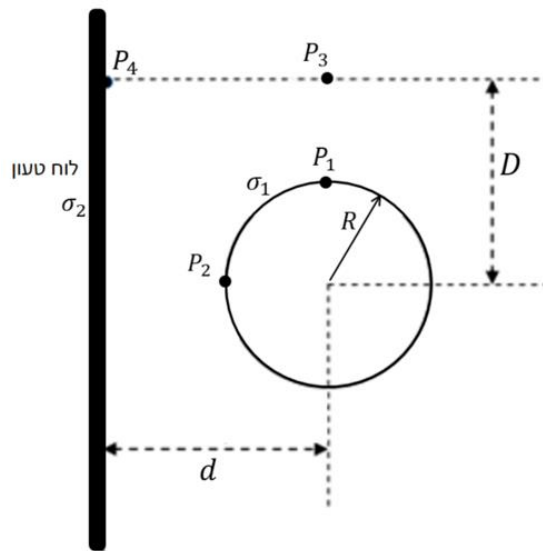
א. מה ערכו של השדה החשמלי השקול בנקודה P_2 ?

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**

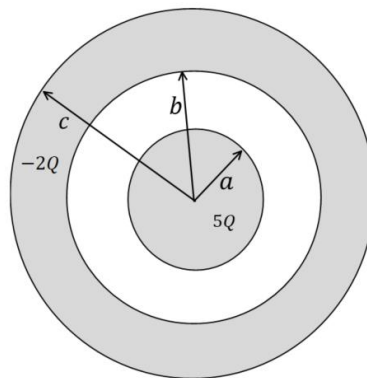
כדור מוליך בעל רדיוס a טעון במטען חיובי $5Q$ ונמצא בתוך קליפה כדורית מוליכה בעלת רדיוס פנימי b ורדיוס חיצוני c , הטעונה במטען $-2Q$.

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 גלים ואופטיקה

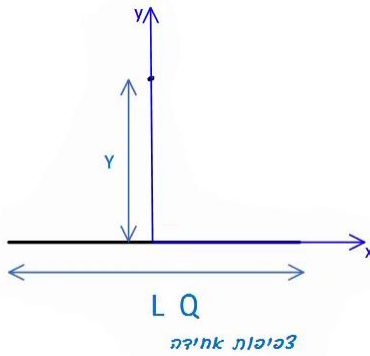
פרק 14 - פוטנציאל עם אינטגרלים

תוכן העניינים

89	1. שיטה 1, סופרפוזיציה
90	2. שיטה 2, שאלות חוק גאוס
92	3. סיכום ותרגילים נוספים

שיטה 1, סופרפוזיציה:

שאלות:



(1) שיטה ראשונה, סופרפוזיציה

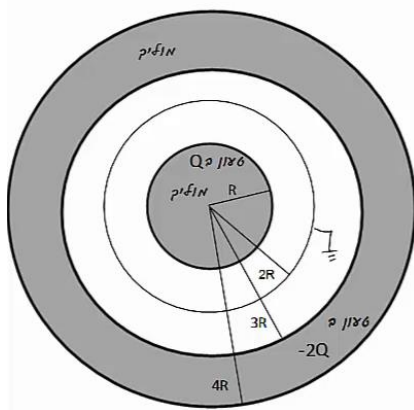
תיל באורך L טעון במטען כולל Q המפולג בתיל בצורה אחידה. התיל מונח על ציר ה- x . מצא את הפוטנציאל על ציר ה- y העובר במרכז התיל.

תשובות סופיות:

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

שיטה 2, שאלות חוק גאוס:

שאלות:



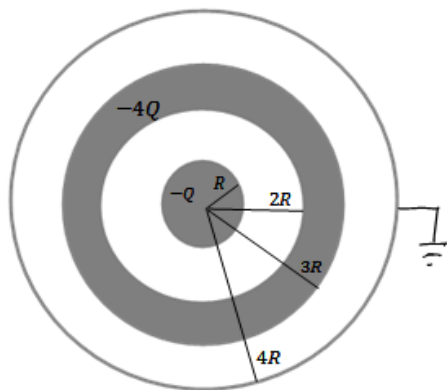
(1) דרך שניה, שאלות חוק גאוס

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

(2) פוטנציאל של קליפה כדורית

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של קליפה כדורית ברדיוס R הטעונה במטען כולל Q . הנח שהמטען מפוזר בצורה אחידה על השפה.

(3) קליפות גליליות מוליכות



גליל מוליך בעל רדיוס R ואורך L טעון במטען $-Q$.
 סביב הגליל נמצאת קליפה גלילית עבה ומוליכה, בעלת רדיוס פנימי $2R$ ורדיוס חיצוני $3R$.
 אורך הקליפה הוא L גם כן.
 הקליפה טעונה במטען כולל של $-4Q$.
 מסביב לקליפה העבה נמצאת קליפה דקה מוליכה ומוארקת ברדיוס $4R$ ואורך זהה.
 הנח כי $L \gg R$ ולקליפות ציר מרכזי משותף.

א. כיצד מתפלג המטען במערכת?

ב. מה הפוטנציאל בכל המרחב?

ג. פרוטון בעל מסה m_p ומטען $|e|$ משוחרר ממנוחה במרחק $r=2R$.

מהי מהירות הפרוטון לאחר שעבר מרחק R ?

(4) שדה ופוטנציאל של כדור מלא

נתון כדור מלא בעל רדיוס R וצפיפות מטען נפחית אחידה p .

א. מצא את פונקציית השדה בכל המרחב.

ב. מצא את פונקציית הפוטנציאל בכל המרחב.

תשובות סופיות:

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

התפלגות: ראה סרטון

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

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

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

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

$$E = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r} & r < R \\ \frac{\rho R^3}{3\epsilon_0 r^2} \hat{r} & R < r \end{cases} \quad \text{א. } (4)$$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) יצירת היסוד קיריום

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

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

(2) דיפול

במרחב נמצאים שני מטענים:

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

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

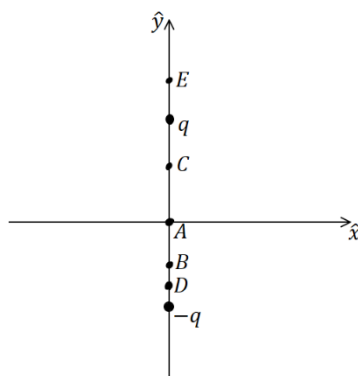
א. מה הפוטנציאל (יחסית לאינסוף), ומה השדה החשמלי בכל אחת מהנקודות

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

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

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

ד. ציירו את קווי השדה ואת המשטחים שווי הפוטנציאל.



(3) מטען q ומטען $3q$

במרחב נמצאים שני מטענים.

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

א. מה הפוטנציאל φ (יחסית לאינסוף) ומה השדה

החשמלי בראשית הצירים.

ב. מצאו על ציר x שתי נקודות בהן הפוטנציאל

מתאפס.

ג. מה השדה החשמלי בשתי הנקודות שמצאתם

בסעיף ב'?

ד. הראו שהמקום הגאומטרי של כל הנקודות בהן הפוטנציאל

יחסית לאינסוף מתאפס הוא כדור.

מצאו את הרדיוס שלו ואת מרכזו (בשביל למצוא את הרדיוס והמרכז

אפשר להיעזר בתוצאה של סעיף ב').

ה. מצאו איפה השדה החשמלי מתאפס. מה הפוטנציאל שם?

ו. ציירו גרף סכמתי של הפוטנציאל לאורך ציר x .

צינו את המיקומים של נקודות בהן הפוטנציאל ידוע ואת ערכו בהן.

(4) כדור זז מחבר בין שני כדורים

הכדורים 1 ו-2 בתמונה הם מוליכים המקובעים

במקומם וטעונים במטען זהה.

הנח שהכדורים מאוד מרוחקים זה מזה

וידוע שהכוח הפועל עליהם הוא F .

הכדור השלישי גם הוא זהה אך אינו טעון.

מצמידים את הכדור השלישי לכדור

הראשון וממתינים עד שהמערכת תתייצב.

לאחר מכן מנתקים את הכדור השלישי ומצמידים

אותו לכדור השני. שוב ממתינים עד שהמערכת תתייצב.

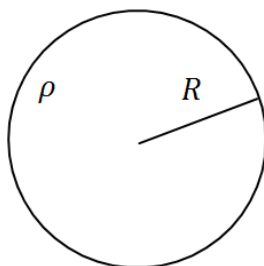
לבסוף מרחיקים את הכדור השלישי לגמרי.

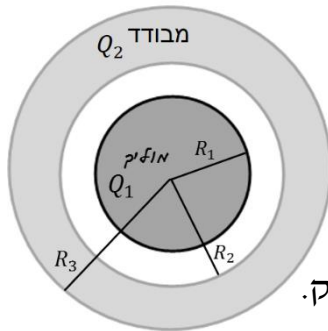
מהו הכוח בין הכדורים 1 ו-2 לאחר כל התהליך?

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

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של גליל אינסופי

ברדיוס R וצפיפות מטען אחידה ונתונה ρ .




6) כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת

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

תשובות סופיות:

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{ו. ראו סרטון.}$$

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

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

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

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 15 - דיפול חשמלי

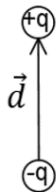
תוכן העניינים

1. הכל על דיפול 96

הכל על דיפול:

רקע:

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



מומנט הדיפול :

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

כיוונו מהמטען השלילי לחיובי.

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

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

השדה של דיפול במרחק גדול:

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

מומנט דיפול של מערכת מטענים:

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

מומנט כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חשמלי חיצוני:

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

אנרגיה פוטנציאלית של דיפול בשדה חיצוני:

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

כוח הפועל על דיפול הנמצא בשדה חיצוני:

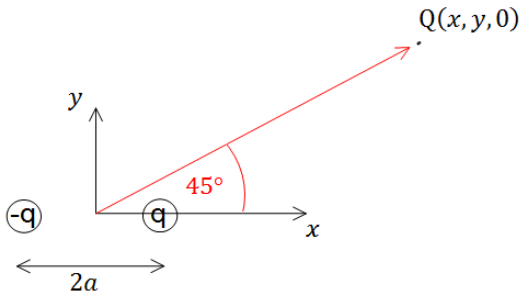
$$\vec{F} = (\vec{p} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{E} = -\vec{\nabla}U$$

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

שאלות:

1) תרגיל ופיתוח הנוסחה של דיפול מהשדה

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



א. חשב את הכוח הפועל על מטען

שלישי Q הנמצא בנקודה $(x, y, 0)$.

ב. הנח שמרחק המטען מהראשית

גדול בהרבה מהמרחק בין

המטענים והזווית של וקטור

מיקום המטען עם ציר ה- x הוא 45° .

השתמש בתשובה של סעיף א' ובקירובים

וחשב מה הכוח הפועל על המטען.

ג. חשב את וקטור מומנט הדיפול שיוצרים המטענים.

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

דיפול והראה כי התשובה זהה לתשובה של סעיף ב'.

2) דיפול בראשית מזיז אלקטרון

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

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

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

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

מהירות $(0, 0, v)$ יבצע תנועה מעגלית.

תשובות סופיות:

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

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

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 16 - זרם מתח ותנגדות

תוכן העניינים

99	1. הזרם החשמלי
101	2. המתח החשמלי וחוק אוהם
102	3. התנגדות
104	4. כאמ ומתח הדקים
(ללא ספר)	5. סיכום הפרק
105	6. תרגילים

הזרם החשמלי:

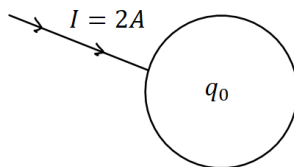
שאלות:

(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 $q_0 = 5c$.

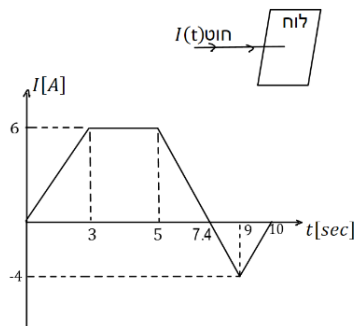
מחברים את הכדור לחוט מוליך והחוט מעביר

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:

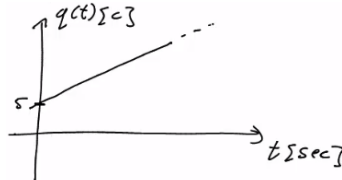
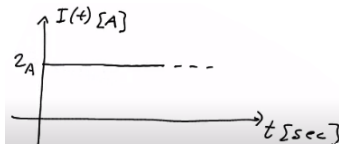
(1) א. $\Delta q = 3600c$

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?

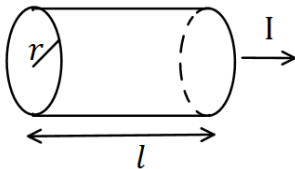
תשובות סופיות:

- 1) א. $R = 500\Omega$ ב. $I = 20mA$

התנגדות:

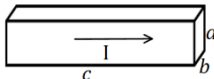
שאלות:

(1) נגד גלילי



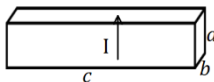
חשב את ההתנגדות של נגד בצורת גליל באורך $l = 1\text{m}$ ורדיוס בסיס של $r = 2\text{mm}$. הנגד עשוי מנחושת בעלת התנגדות סגולית $\rho = 1.72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (הזרם זורם לאורך ציר הסימטריה של הגליל).

(2) נגד בצורת תיבה



(א)

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



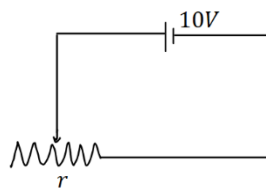
(ב)

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

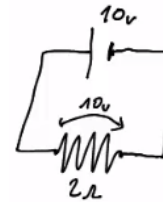
מה צריך להיות אורך הנגד על מנת שהזרם במעגל יהיה 2A?

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

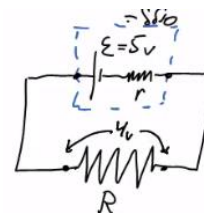
- סוללה מייצרת כא"מ של $5V$. לסוללה התנגדות פנימית של $r = 2\Omega$. מחברים את הסוללה לנגד חיצוני R שהתנגדותו אינה ידועה. נתון כי הזרם בכל רכיב במעגל זהה ושווה ל- $I = 0.5A$.
- שרטט תרשים המתאר את המעגל.
 - חשב את מתח ההדקים שמספקת הסוללה.
 - מהי ההתנגדות של הנגד?

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?

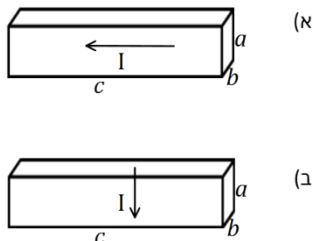
(2) תרגיל 2

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)

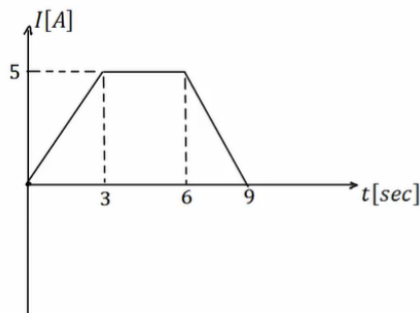
סוללה בעלת מתח $6V$ מחוברת לנגד משתנה.
 כאשר אורך הנגד הוא $l = 6\text{cm}$ הזרם במעגל הוא $1A$.
 מהי ההתנגדות ליחידת אורך של הנגד?

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:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 17 - אנרגיה והספק במעגל החשמלי

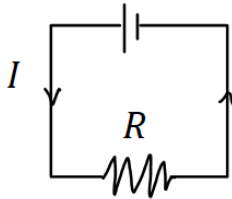
תוכן העניינים

107	1. עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים
108	2. הספק חשמלי
110	3. תרגילים נוספים

עבודה ואנרגיה ברכיבים חשמליים:

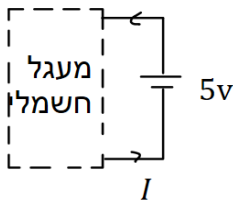
שאלות:

(1) חישובי עבודה ואנרגיה בנגד



- בנגד בעל התנגדות $R = 30\Omega$ זורם זרם $I = 0.3A$.
- כמה מטען עובר בנגד במשך 3 שניות?
 - מהו המתח על הנגד?
 - מהי העבודה שמתבצעת על המטען?
 - כמה חום נוצר בנגד במשך הזמן הנתון?
 - כמה אנרגיה איבדה הסוללה במשך הזמן הנתון?

(2) חישובי עבודה של סוללה



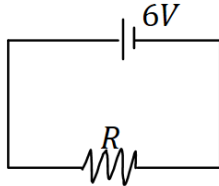
- סוללה מחוברת למעגל חשמלי כלשהו.
 המתח בסוללה הוא $V = 5 \text{ Volt}$
 והזרם במעגל (וגם בסוללה) הוא $I = 0.4A$.
- כמה מטען עובר דרך הסוללה במשך 2 שניות?
 - כמה עבודה ביצעה הסוללה במשך הזמן הנתון?

תשובות סופיות:

- | | | | | | |
|-----|----------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| (1) | א. $\Delta q = 0.9c$ | ב. $V = 9V$ | ג. $W = 8.1J$ | ד. $Q = 8.1J$ | ה. $W = 8.1J$ |
| (2) | א. $\Delta q = 0.8c$ | ב. $W = 4J$ | | | |

הספק חשמלי:

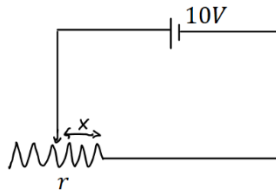
שאלות:



(1) הספק של מקור ושל נגד

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

- 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.

א. מהי כמות האנרגיה שצורך המזגן בשעה אחת ביחידות של קוט"ש

(קילו וואט שעה), כאשר היחס: $1hp = 746Watt$?

ב. תעריף חברת החשמל לצריכת ביתית הוא בערך חצי שקל לקוט"ש.

כמה עולה להפעיל את המזגן כל הלילה (8 שעות)?

(5) חום שנוצר בנגד

בנגד של 10 אוהם זרם של 0.5 אמפר במשך 4 דקות. כמה חום נוצר במשך הזמן שבו זרם זרם בנגד?

תשובות סופיות:

- (1) א. $\rho = 3W$ ב. $\rho = 3W$
- (2) א. $\rho = 20W$ ב. $\rho = 10W$ ג. $\rho = \frac{1}{x}$
- (3) $\rho = 25W$
- (4) א. $W = 1.119kWhr$ ב. 4 ש.
- (5) $Q = 600J$

תרגילים נוספים:

שאלות:

(1) תרגיל 1

- מקור מתח אידיאלי בעל מתח של $5V$ מחובר לנגד בעל התנגדות של 10 אוהם.
- מהו הזרם בנגד?
 - מהו ההספק בנגד?
 - כמה חום מיוצר בנגד בעשר שניות?

(2) תרגיל 2

- על נורה רשום $60W/220V$.
- מהי התנגדות הנורה?
 - מהי כמות המטען שעברה בנורה במשך דקה אחת?
 - מהו ההספק הנורה במתח של $110V$ בהנחה שההתנגדות שלה לא משתנה.

(3) תרגיל 3

- למזגן שני מצבי קירור, במצב הראשון הספקו $1000W$ ובמצב השני הספקו $1500W$. מצא את היחס בין ההתנגדויות בשני המצבים.

(4) תרגיל 4

- נורה של $60W$ דולקת במשך שעה כל יום.
- מהי צריכת האנרגיה של הנורה במשך חודש ביחידות של kWh ?

תשובות סופיות:

- | | | |
|---|------------------------------------|---------------------------------------|
| $I = 0.5A$ א. (1) | $\rho = 2.5W$ ב. (1) | $Q = 25j / \approx 5.9cal.$ ג. (1) |
| $R = 807\Omega$ א. (2) | $\Delta q \approx 16.4c$ ב. (2) | $\rho \approx 15W$ ג. (2) |
| $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1.5$ (3) | | |
| $E = 1.8kWh$ (4) | | |

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 18 - חיבור נגדים וחוקי קירכהוף

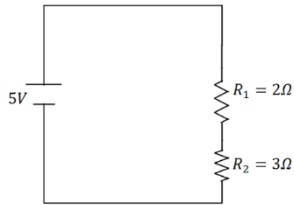
תוכן העניינים

112	1. חיבור נגדים במעגל
115	2. חוקי קירכהוף
116	3. תרגילים נוספים
118	4. מקור מתח לא אידיאלי
(ללא ספר)	5. טעינה ופריקה של קבל
120	6. נצילות במעגל החשמלי

חיבור נגדים במעגל

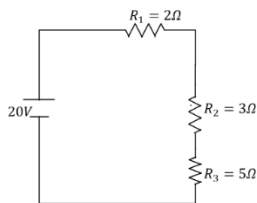
שאלות

(1) דוגמה 1



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

(2) דוגמה 2

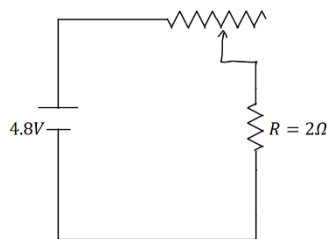


חשב את הזרם במעגל הבא ומצא את המתח על כל נגד.

(3) דוגמה 3

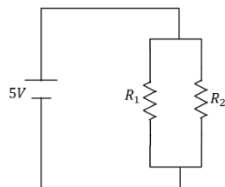
סוללה עם כ"מ של 3V והתנגדות פנימית $r = 2\Omega$ מחוברת לנגד $R = 10\Omega$.
 א. סרטט איור של המעגל.
 ב. מהו הזרם במעגל?
 ג. מהו מתח ההדקים של הסוללה?

(4) דוגמה 4



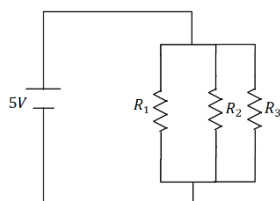
במעגל הבא ישנו מקור מתח אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) המחובר לנגד רגיל ונגד משתנה. אורך הנגד המשתנה הוא 20 ס"מ והתנגדותו ליחידת אורך היא: $r = 2 \frac{\Omega}{m}$.
 מהו הזרם במעגל ומהו המתח על כל נגד?

(5) דוגמה 5

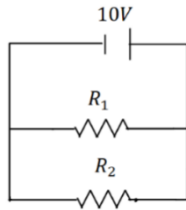


במעגל הבא: $R_2 = 2\Omega$, $R_1 = 6\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

(6) דוגמה 6

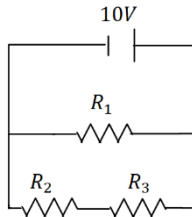


במעגל הבא: $R_3 = 4\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_1 = 1\Omega$ מצא את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.



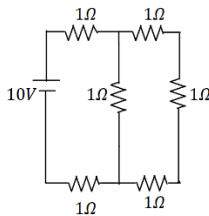
(7) דוגמה 7

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



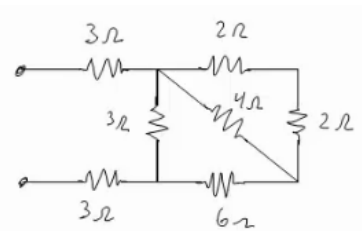
(8) דוגמה 8

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



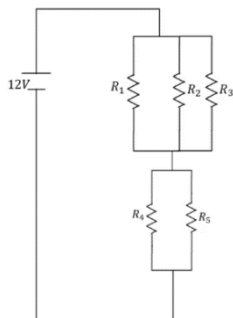
(9) דוגמה 9

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

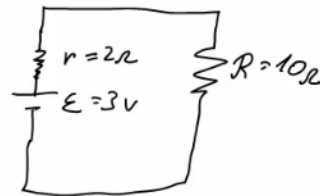
- מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.
- חשבו את הספק המעגל והראו כי הוא שווה להספק הסוללה.
- מוסיפים נגד כלשהו המחובר בטור לסוללה. האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

תשובות סופיות

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

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

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



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

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

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

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

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

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

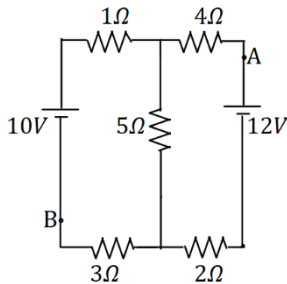
$$R_T = \frac{66 + 24}{11} \quad (10)$$

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

חוקי קירכהוף:

שאלות:

(1) קירכהוף תרגיל 1

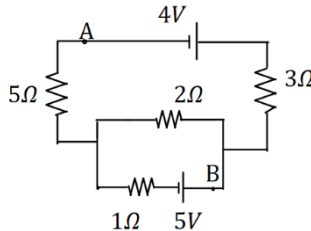


במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

א. מצא את הזרמים במעגל.

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

(2) קירכהוף תרגיל 2



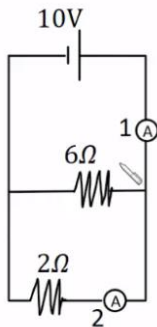
במעגל הבא התנגדות הנגדים ומתח המקורות נתונים באיור.

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. $V_{AB} = 12.49V$

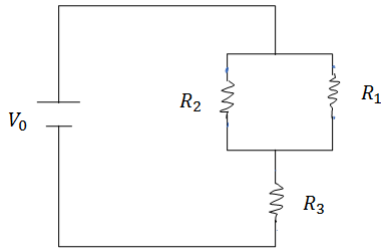
(2) א. $I_1 = 0.08A$, $I_2 \approx 1.69A$, $I_3 \approx -1.61A$ ב. $V_{AB} = -3.79V$

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

(2) תרגיל 2

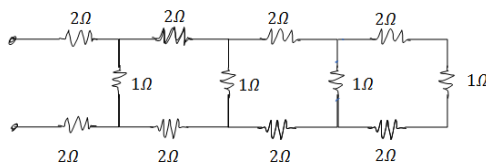
נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R .
 מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.
 מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

(3) תרגיל 3



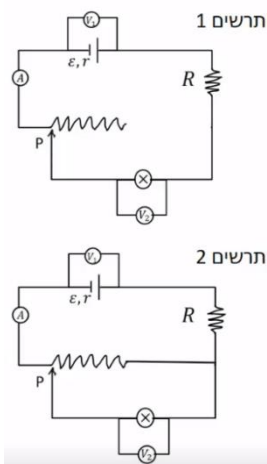
חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:

(4) תרגיל 4



מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים:

(5) תרגיל 5



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

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

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

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

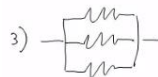
ד. האם הספק הסוללה גדל/קטן או לא השתנה? נמק ללא חישוב.

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: $R = 18\Omega$

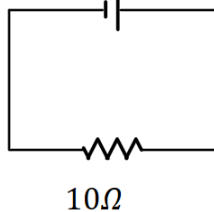
ב. 72% n ג. תקטן. ד. גדל. ה. ראה סרטון.

מקור מתח לא אידיאלי:

שאלות:

(1) דוגמה 1

סוללה לא אידיאלית

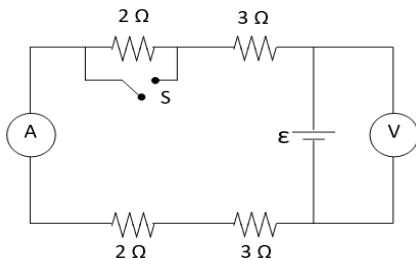


- המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית המחוברת לנגד של $10\ \Omega$ אוהם. ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא $1\ \Omega$ אוהם. במעגל זורם זרם של 2 אמפר.
- א. מהו הכא"מ של הסוללה?
- ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

(2) דוגמה 2

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

(3) מעגל עם סוללה לא אידיאלית



- המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאליים, סוללה (לא אידיאלית) ומפסק. קריאת האמפרמטר נרשמה פעמיים, כאשר המפסק פתוח וכאשר המפסק סגור.
- אחת הקריאות הייתה 1.5A והאחרת הייתה 1.8A .
- א. האם הזרם הגבוה יותר נמדד כאשר המפסק היה פתוח או כאשר הוא היה סגור? נמק/י!
- ב. מה הוראת מד המתח בשני מצבי המפסק? פרטי/י חישוביך!
- ג. 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. $\varepsilon = 22V$ ב. $V = 20V$
- (2) א. $\varepsilon = 24V$, $r = 21\Omega$ ב. $V_1 = 20V$, $V_2 = 18V$
- (3) א. ככל שההתנגדות השקולה נמוכה יותר, הזרם יהיה גבוה יותר.
 לכן, הזרם הגבוה יהיה כאשר המפסק סגור.
 ב. סגור: $V_{AB} = 14.4V$, פתוח: $V_{AB} = 15V$. ג. $\varepsilon = 18V$, $r = 2\Omega$.
 ד. האמפרמטר: $I = 9A$, הוולטמטר: $V = 0$.

נצילות במעגל החשמלי:

שאלות:

(1) דוגמה נצילות

במעגל הבא נתונה התנגדות הנגד, התנגדות הנורה והמתח של

$$V = 5V, R_1 = 3\Omega, R_2 = 5\Omega$$

- מהו הזרם בנורה ומהו הזרם בסוללה?
- מהו ההספק המתפתח בנורה ומהו ההספק של הסוללה?
- מהי הנצילות של המעגל?
- מהו אחוז ההספק שהולך לאיבוד במעגל?

(2) מנוע של משאבה

מנוע של משאבה עובד במתח של 220V ובזרם של 10A.

- מהי כמות המים שניתן לשאוב במשך דקה מבאר בעומק 30m? הנח שהנצילות של המנוע היא 100 אחוז.
- חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 40 אחוז.

(3) מנוע של מכונית

למנוע של מכונית יש הספק מרבי של 100 כוח סוס. המכונית מתחילה לנסוע ממנוחה ומסתה 1 טון.

- מהי המהירות המרבית אליה יכולה להגיע המכונית לאחר 10 שניות? הנח שנצילות המנוע היא 100 אחוז ומצא את התשובה בקמ"ש.
- חזור על סעיף א' אם נצילות המנוע היא 30 אחוז.
- חזור על סעיף א' וב' ובדוק כמה חום נוצר במשך 10 השניות, ביחידות של קלוריות.

תשובות סופיות:

(1) א. בנורה: $I = 1A$, בסוללה: $I = \frac{8}{3}A$.

ב. בנורה: $\rho = 5W$, בסוללה: $\rho = \frac{40}{3}W$.

ג. $\eta = 37.5\%$ ד. 62.5%

(2) א. $V = 440\text{Litter}$ ב. $V = 176\text{Litter}$

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 19 - מכשירי מדידה

תוכן העניינים

1. גלונומטר 122
2. גשר ווינסטון (ללא ספר)

גלוונומטר:

שאלות:

(1) דוגמה 1

אמפרמטר מורכב מגלוונומטר בעל התנגדות של 60 אוהם ומיצד בעל התנגדות של 3 אוהם.

א. מהי התנגדות האמפרמטר?

ב. מהו הזרם המקסימאלי אותו יכול למדוד האמפרמטר אם הזרם המקסימאלי אותו יכול למדוד הגלוונומטר הוא 2mA ?

(2) דוגמה 2

גלוונומטר מסוגל למדוד זרם מקסימלי של 5mA .

התנגדות הגלוונומטר היא 20 אוהם. התנגדות המיצד היא 0.5 אוהם.

א. מהו הזרם המקסימאלי הניתן למדידה באמפרמטר?

ב. מה צריכה להיות התנגדות המיצד על מנת שהזרם המקסימלי הנמדד באמפרמטר יהיה 505mA ?

(3) דוגמה 3

נתון גלוונומטר שהתנגדותו 50 אוהם והזרם המקסימאלי בו הוא 2mA . איזה נגד יש לחבר לגלוונומטר בטור כדי להפוך אותו לוולטמטר היכול למדוד מתח מקסימאלי של 5V ?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad R_T \approx 2.86\Omega \quad \text{א.} \quad I_{\max} = 42\text{A} \quad \text{ב.}$$

$$(2) \quad I_{\max} = 205\text{mA} \quad \text{א.} \quad R_S = 0.2\Omega \quad \text{ב.}$$

$$(3) \quad R_S = 2450\Omega$$

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 20 - קבלים

תוכן העניינים

123	1. הרצאות ותרגילים
133	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

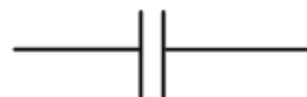
$$1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$$

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 דיאלקטריים בקבל:

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

נוסחה לקבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:

$$C' = \epsilon_r C_0$$

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

טעינה של קבל:

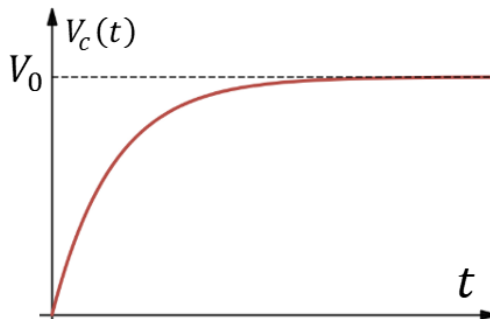
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה

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

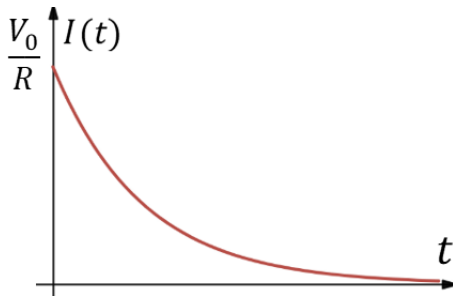
$$q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

V_0 - המתח של הסוללה

R - התנגדות המעגל



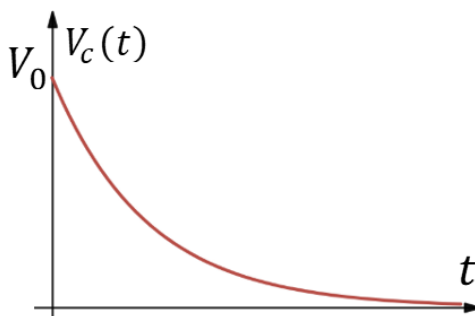
הזרם כתלות בזמן:



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

פריקה של קבל:

המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה



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

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

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי)

$$(Q_0 = CV_0)$$

הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה

זמן אופייני $\tau = RC$ נהוג להגיד שלאחר זמן של 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

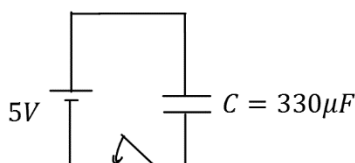
ומחכים זמן רב.

א. מה יהיה הזרם במעגל?

ב. מה יהיה המתח בין לוחות הקבל?

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

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



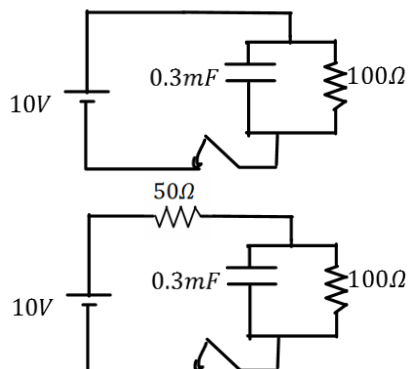
(2) מוציאים מטען מהקבל

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

א. מצא את הקיבול של הקבל.

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

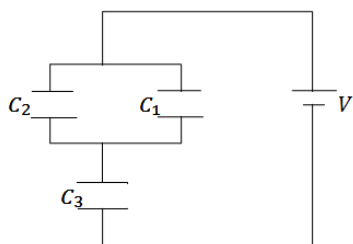
ב. מה יראה מד המתח?

(3) קבל במקביל לנגד

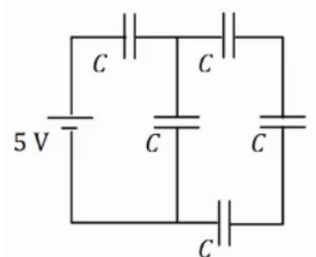
- במעגל הבא סוגרים את המפסק ומחכים זמן רב.
- מצא את המתח והמטען על הקבל.
 - האם יזרום זרם במעגל?
אם כן, מצא את גודלו וכיוונו.
 - חזור על הסעיפים עבור המקרה בו יש נגד נוסף במערכת (ראה תרשים).

(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.

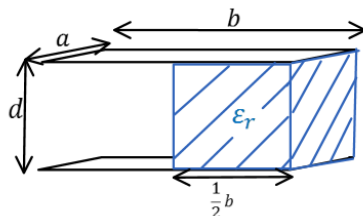
(10) מכניסים חומר לקבל בשתי דרכים

- 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. $a = 3\text{cm}$, $b = 4\text{cm}$, $d = 2\text{mm}$.

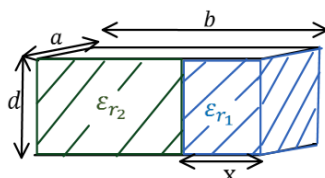
א. מצא את הקיבול של הקבל.

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

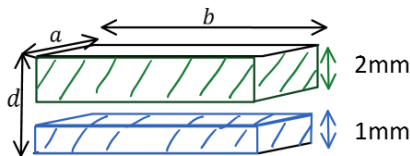
דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_{r1} = 4$, ואת החלק הנותר

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

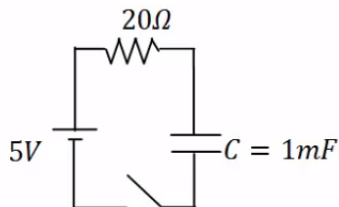
קבל לוחות מורכב משני לוחות בעלי שטח $A = a \times b$, ומרחק d בין הלוחות. $a = 5\text{cm}$, $b = 6\text{cm}$, $d = 4\text{mm}$. ממלאים חלק של הקבל בגובה 1mm ולכל הרוחב בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_{r1} = 4$.

את החלק מגובה 2mm ועד הלוח העליון ממלאים בחומר דיאלקטרי בעל מקדם $\epsilon_{r2} = 2$ (ראה איור).

א. מצא את הקיבול החדש של הקבל.

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

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

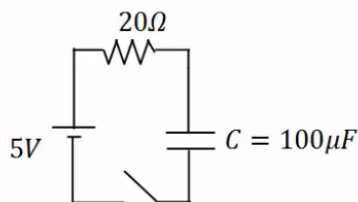
(15) טעינה

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?

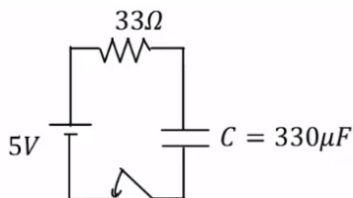
ב. המתח על הקבל באותו הרגע?

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- $t = 0$.

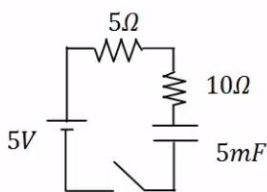
מהו המטען והמתח על הקבל לאחר 0.3 שניות?

(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- $t = 0.005\text{sec}$?

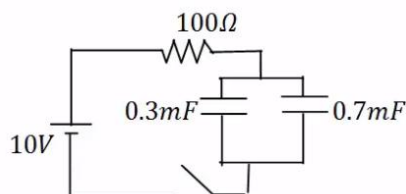
ב. מהו ההספק בנגד באותו הרגע?

(18) שני נגדים

במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t = 0$.

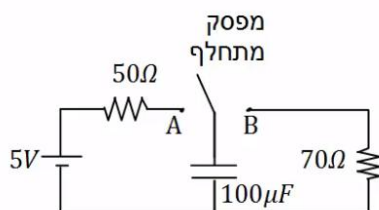
א. מהו הזמן האופייני במעגל?

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.

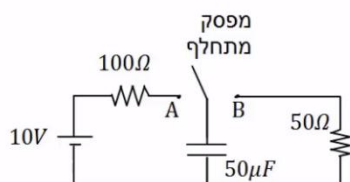
- רשום שוב את המתח על הקבל כתלות בזמן.

(21) מתג מתחלף

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

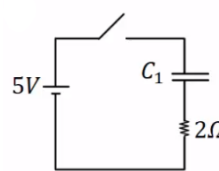
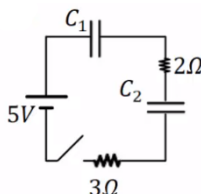
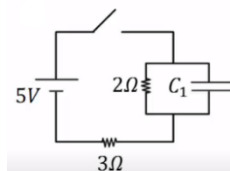
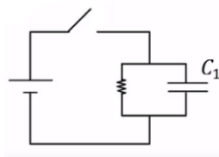
ב- $t = 0.01$ מעבירים את המפסק לנקודה B.

- 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 :

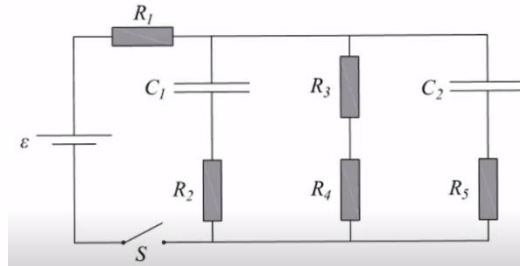
$$R_1 = 4\Omega, R_2 = 3\Omega, R_3 = 2\Omega, R_4 = 1\Omega, R_5 = 6\Omega, \varepsilon = 24V, C_1 = 2\mu F, C_2 = 4\mu F$$

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 $d = 1\text{mm}$.

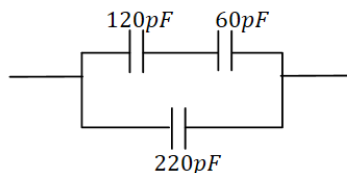
א. מה הקיבול של הקבל אם המרווח בין הלוחות ריק?

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.

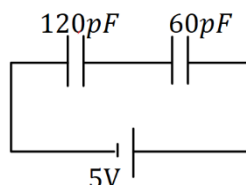


(4) תרגיל 4 - חיבור קבלים

מה המטען והמתח על כל קבל במערכת הבאה

(זמן רב לאחר חיבור הסוללה)?

ציין איפה המטען החיובי והיכן המטען השלילי בכל קבל.



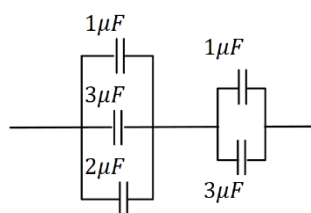
(5) תרגיל 5 - חיבור קבלים

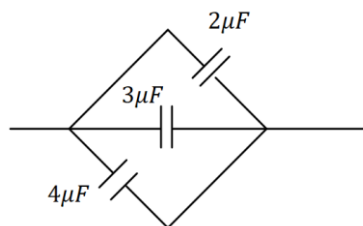
נתונה מערכת הקבלים הבאה:

א. מצא את הקיבול השקול בין שני הקצוות של החוט.

ב. מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים

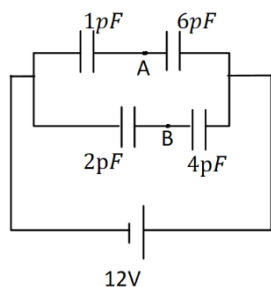
את הקצוות למקור מתח של 10V .



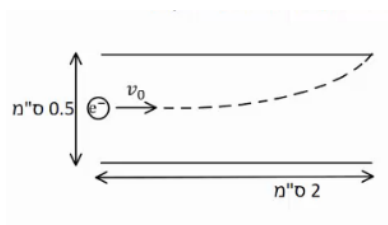
**6) תרגיל 6 - יהלום**

נתונה מערכת הקבלים הבאה:

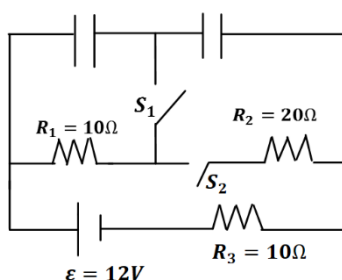
- מצא את הקיבול השקול במקרה הבא.
- מצא את המתח והמטען על כל קבל אם מחברים את הקצוות למקור מתח של 10V.

**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**

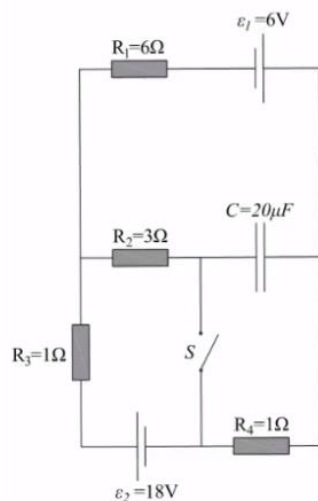
- קבל לוחות מורכב משני לוחות ריבועיים בעלי אורך צלע של 2 ס"מ ומרחק בין הלוחות של 0.5 ס"מ. אלקטרון נכנס במרכז הלוחות עם מהירות, המקבילה ללוחות, שגודלה $v_0 = 10^7 \frac{m}{sec}$ (ראה איור).
- האלקטרון פוגע בדיוק בקצה הלוח העליון.
- א. חשב את השדה בין הלוחות (גודל וכיוון).
- ב. חשב את המתח אליו מחובר הקבל.

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

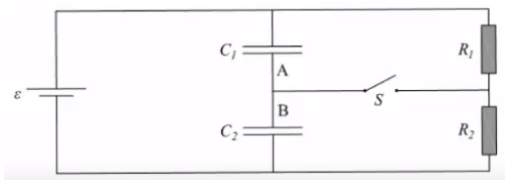
- ענה על הסעיפים הבאים עבור המעגל שבציור, זמן רב לאחר סגירת או פתיחת המתגים.
- א. מהו המתח והמטען על כל קבל, כאשר שני המפסקים פתוחים?
- ב. סוגרים את S_1 . S_2 פתוח. מהו המתח והמטען של כל קבל?
- ג. סוגרים את S_2 ופותחים את S_1 . מהו המתח על כל קבל?
- ד. הפעם שניהם סגורים. מהו המתח והמטען על כל קבל?

(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.

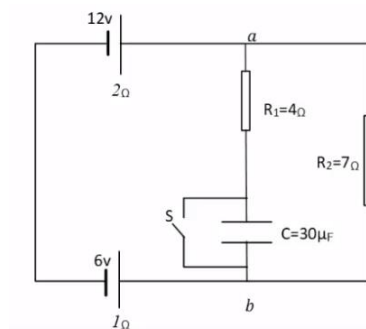
(11) תרגיל 3 - מעגלים חשמליים

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

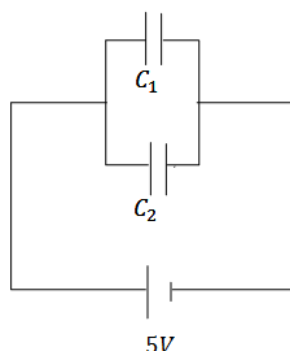
נתונים שני קבלי לוחות C_1 ו- C_2 , ששטח כל לוח הוא 0.02m^2 . המרחק בין לוחות קבל C_1 הוא 1mm והמרחק בין לוחות קבל C_2 הוא 3mm .

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

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


נתון המעגל החשמלי שבאיור, לכל מקור יש התנגדות פנימית המצוינת מתחת לסימון המקור. כאשר המפסק סגור.

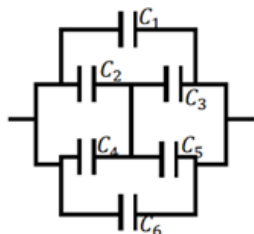
- מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
- מהו המתח בין הנקודות a ו- b ?
- כעת פותחים את המפסק ומחכים זמן רב.
- מהם הזרמים (גודל וכיוון) שעוברים בנגדים?
- מהו המטען על לוחות הקבל, וכמה אנרגיה אגורה בו?


14) תרגיל 6 - שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי

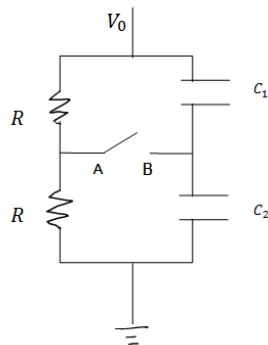
במעגל הבא קיבול הקבלים הוא: $C_1 = 3\mu\text{F}$, $C_2 = 2\mu\text{F}$, והמתח בסוללה הוא 5V. לאחר שהקבלים נטענים מנתקים את המקור ומחליפים אותו בקבל של $C_3 = 5\mu\text{F}$. מצא את המטען המתח והאנרגיה של הקבל החדש, לאחר שהמערכת מתייצבת.

15) תרגיל 7 - מרחיקים לוחות בקבל לוחות

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

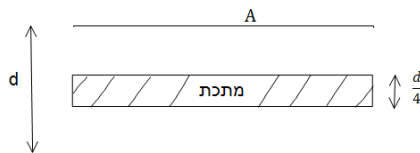
ב. סוגרים את המפסק AB.

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.

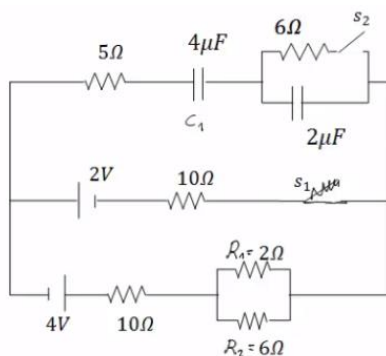
ב. כעת מכניסים לקבל פיסת מתכת בעובי $\frac{d}{4}$

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

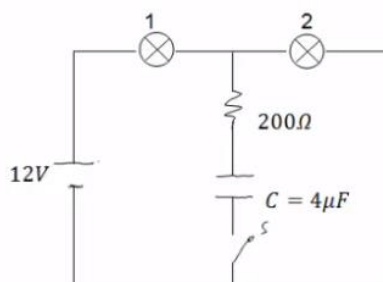
הוא 0.4W. התנגדות הנגד היא 200Ω.

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 גלים ואופטיקה

פרק 21 - השדה המגנטי

תוכן העניינים

140	1. הסברים ודוגמאות.....
142	2. סיכום ותרגילים נוספים.....

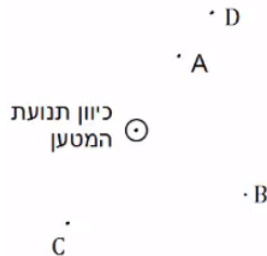
הסברים ודוגמאות:

שאלות:

(1) דוגמה 1

מטען נע מהדף אלינו.

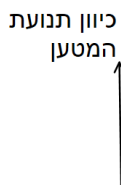
צייר את כיוון השדה המגנטי בנקודות: A, B, C, D.



(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 $I_0 = 2A$.

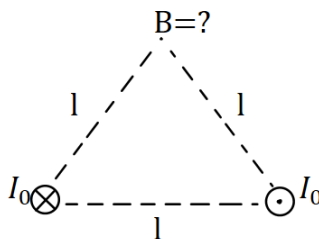
התיילים מונחים בקודקודי הבסיס של משולש

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

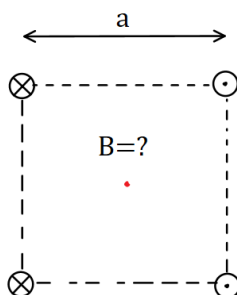
במערכת הבאה ישנם ארבעה תיילים אינסופיים

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?

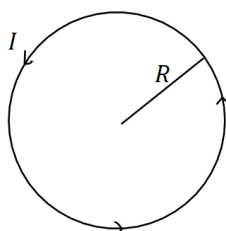


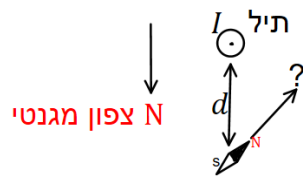
(5) דוגמה 5 - שדה במרכז טבעת

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 $d = 5c.m$.

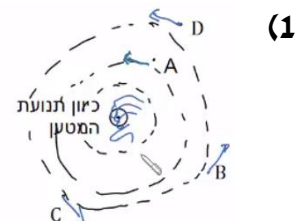
מהתיל לכיוון הצפון המגנטי של כדור הארץ נמצא מצפן,

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.

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

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

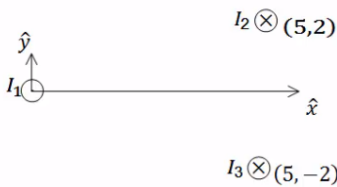
$$B = 8\pi \cdot 10^{-7} T \quad (5)$$

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

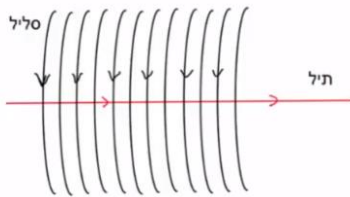
סיכום ותרגילים נוספים:

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 גלים ואופטיקה

פרק 22 - הסבר מתקדם על חוק ביו סבר כולל אינטגרלים ותרגילים
מתקדמים

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 143

הרצאות ותרגילים:

רקע:

חוק ביו-סבר :

השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם

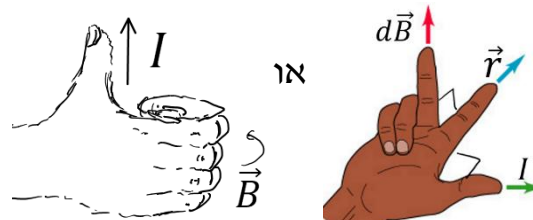
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi |\vec{r}|^3} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi |\vec{r}|^2}$$

$\vec{r}$ - הוא הוקטור מהחתיכה לנקודה בה מחפשים את השדה.

$d\vec{l}$ - אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם.

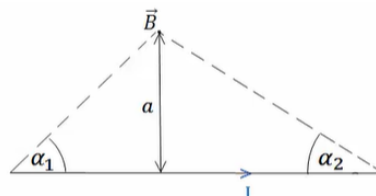
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ - מקדם הפרמביליות של הריק

- חישוב הכיוון :



השדה של תיל סופי :

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$



במרכז התיל:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \frac{L}{\left(\left(\frac{L}{2}\right)^2 + a^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

כאשר L הוא אורך התיל.

השדה של תיל אינסופי:

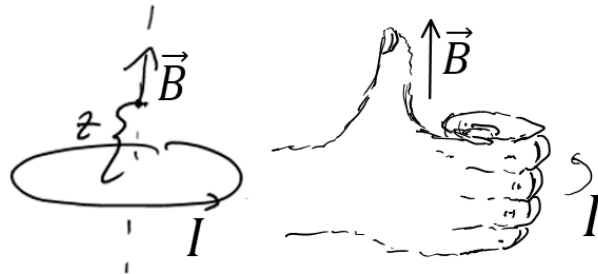
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

כאשר r הוא המרחק מהתיל.

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$$

- כיוון השדה לפי כלל הבורג:

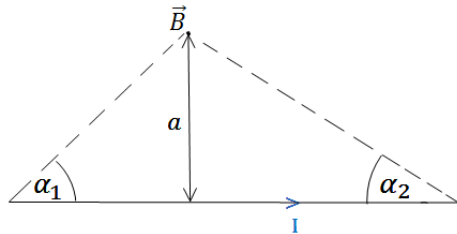


כוח ליחידת אורך בין שני תיילים מקבילים:

$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

הכוח הוא כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון, ודחייה אם כיוון הזרמים הפוך.

שאלות:

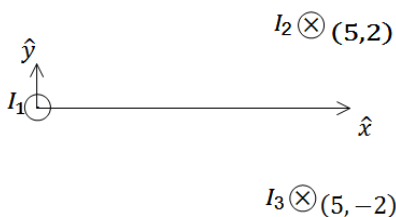


- (1) חישוב שדה של תיל סופי לפי זוויות
הראה כי גודלו של השדה המגנטי שיוצר תיל
בנקודה הנמצאת במרחק a מהתיל הוא:
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

כאשר I הוא הזרם בתיל.



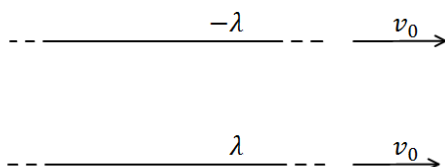
- (2) חישוב שדה של טבעת
חשב את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה
של טבעת ברדיוס R כאשר בטבעת זרם I .



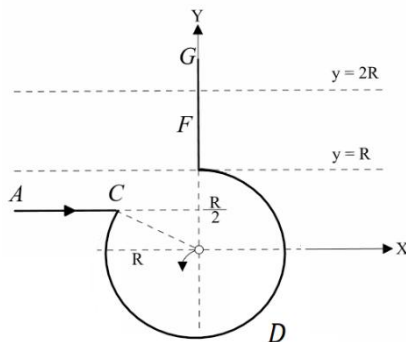
- (3) שדה של שלושה תילים אינסופיים
שלושה תילים אינסופיים המקבילים לציר ה- z
מונחים במיקומים הבאים:
 $\vec{r}_1(0,0)$, $\vec{r}_2(5,2)$, $\vec{r}_3(5,-2)$
הזרמים בתילים הם:
 $I_1 = 3A$ החוצה מהדף, $I_2 = 5A$ לתוך הדף, $I_3 = 4A$ גם כן לתוך הדף.
מצא באיזה נקודה לאורך ציר ה- x מתאפס הרכיב של השדה המגנטי בכיוון y ?

(4) מצולע עם אן צלעות

- במצולע משוכלל (כל הצלעות שוות) בעל n צלעות זורם זרם I .
נתון כי המצולע חסום ע"י מעגל ברדיוס R .
א. מהו השדה המגנטי במרכז המצולע?
ב. בדוק עבור $n \rightarrow \infty$.



- (5) כוח מגנטי מתבטל עם חשמלי
שני תילים אינסופיים טעונים בצפיפות
מטען λ ו- $-\lambda$.
התילים מקבילים ונמשכים במהירות
קבועה v_0 ימינה.
מצא את גודל המהירות כך שהכוח המגנטי יתבטל עם הכוח החשמלי?



6 חישוב שדה של תיל מיוחד

תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים.

המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).

בתיל זרם זרם I, כיוון הזרם מסומן בשרטוט.

א. מהו גודלו וכיוונו של וקטור השדה המגנטי במרכז החלק המעגלי של התיל?

ב. חלקיק טעון עובר דרך מרכז החלק המעגלי של התיל מסלולו מתעקם עקב השפעת השדה המגנטי של התיל.

צורת המסלול וכיוון התנועה נתונים בשרטוט. מהו סימן מטענו של החלקיק?

ג. בניסוי נוסף יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחום $R < y < 2R$.

חלק של התיל FG נמצא בתוך תחום זה (ראו בשרטוט).

נתון וקטור השדה $\vec{B}(0,0, ay^2)$, כאשר הקבוע a נתון. מהו הכוח המגנטי ששדה זה מפעיל על התיל?

תשובות סופיות:

1 שאלת הוכחה.

$$B_x = B_y = 0, \quad B_z = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

$$x_1 = -2.76, \quad x_2 = 5.26 \quad (3)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad \text{ב.} \quad B = \frac{n\mu_0 I}{2\pi R} \tan\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$V = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (5)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2 - \sqrt{3}) \quad \text{א.} \quad B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2 - \sqrt{3}) \quad \text{א.} \quad (6)$$

$$\vec{F} = \frac{Ia}{3} 7R^3 \hat{x} \quad \text{ג.}$$

ב. שלילי

חשמל גלים ואופטיקה

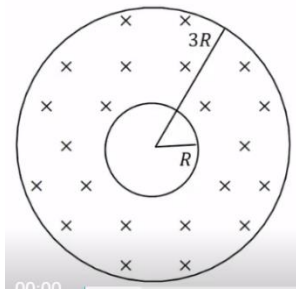
פרק 23 - חוק אמפר

תוכן העניינים

1. הסבר ותרגילים.....147

הסבר ותרגילים:

שאלות:



(1) שדה בתוך מעטפת גלילית עבה

נתונה מעטפת גלילית עבה ואינסופית בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני $3R$.

במעטפת זורם זרם I בהתפלגות (צפיפות) אחידה לתוך הדף.

א. מצא את השדה המגנטי במרחק $2R$ ממרכז הקליפה.

ב. מוסיפים תיל אינסופי במרכז המעטפת, מה צריך להיות הזרם בתיל (גודל וכיוון) כך שהשדה ב- $2R$ יתאפס?

ג. מה השדה במרחק $5R$ של המערכת (גליל + תיל שחישבת בסעיף הקודם)?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } B = \frac{3\mu I}{32\pi R} \quad \text{ב. } I' = \frac{3}{8}I, \text{ החוצה מהדף.} \quad \text{ג. } B = \frac{\mu I}{16\pi R}$$

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 24 - הכוח המגנטי (חוק לורנץ)

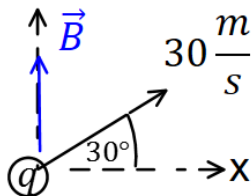
תוכן העניינים

1. הכוח על מטען בודד ותנועה בשדה 148
2. יישומים של הכוח המגנטי (ללא ספר)
3. כוח על תיל נושא זרם ובין תילים 150
4. סיכום (ללא ספר)
5. תרגילים נוספים 152

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

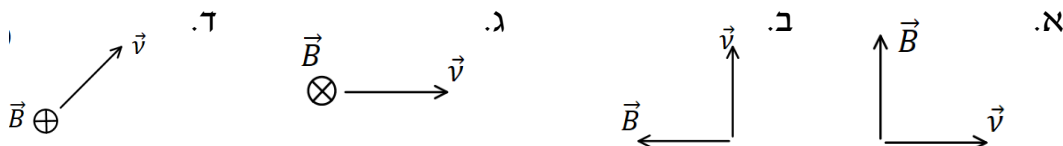
מטען $q = 3c$ נע במהירות $\vec{v} = 2 \frac{m}{sec} \hat{x} + 4 \frac{m}{sec} \hat{y}$

במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד $\vec{B} = 5T \hat{y}$.

מצא את גודל הכוח המגנטי שפועל על המטען.

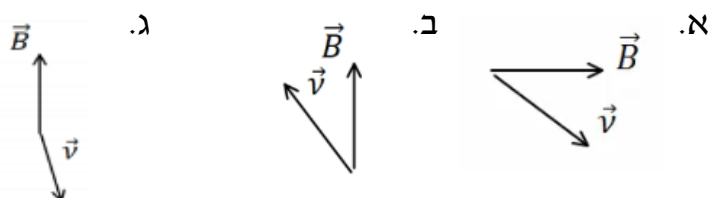
(3) דוגמה 3

מצא את כיוון הכוח המגנטי במקרים הבאים:

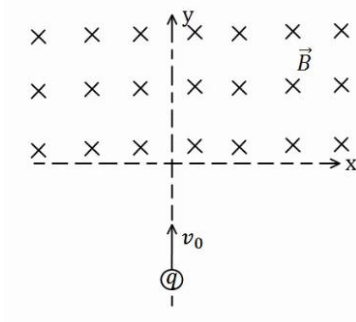


(4) דוגמה 4

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:

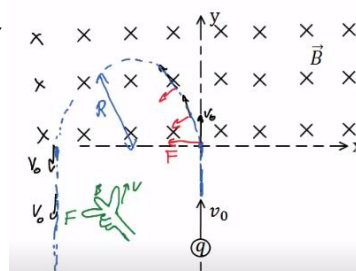
(1) $F_B \approx 207.8N$

(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. $\vec{F} \odot$

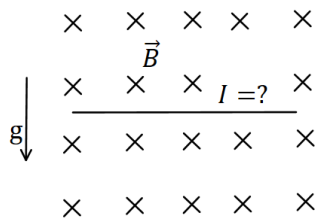
(5) א. ב. $x = -2cm, y = 0$



כוח על תיל נושא זרם ובין תיילים:

שאלות:

(1) דוגמה 7

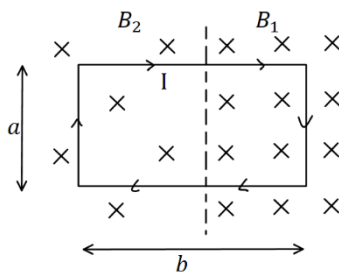


תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד $B = 10^{-2} \text{ T}$ לתוך הדף. צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך

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.

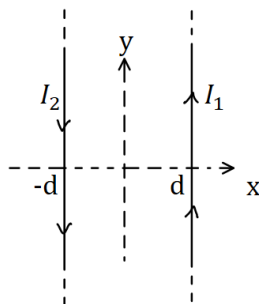
המסגרת מונחת כך, שחלק מהמסגרת נמצא

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

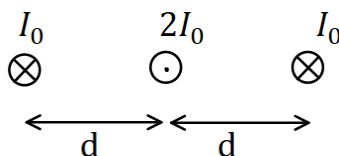
שלושה תיילים אינסופיים מונחים במקביל, כמתואר באיור.

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:

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

$$(2) \sum F = 1 \text{ N, ימינה.}$$

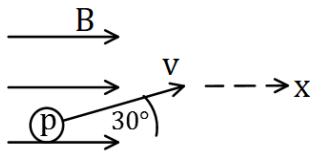
$$(3) F_1 = 10^{-6} \hat{x}, F_2 = -10^{-6} \hat{x}$$

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

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?

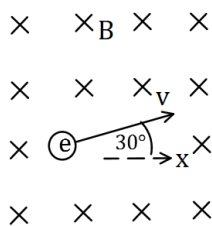
ב. מהי תאוצת הפרוטון?

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 .



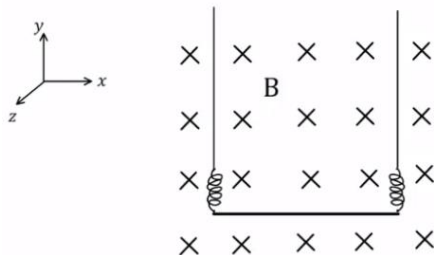
א. מהו הכוח הפועל על האלקטרון ברגע זה (גודל וכיוון)?

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

היא 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

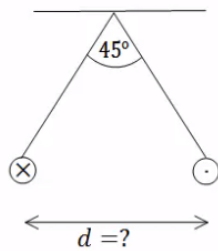
האנכיים ואת הכוחות שהם מפעילים על התיל האופקי.

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

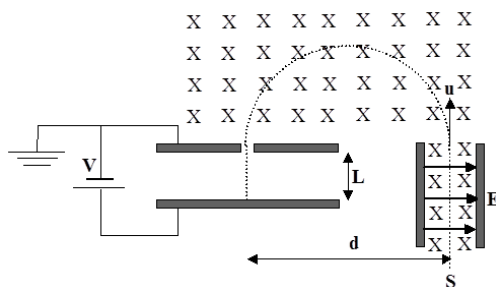
שמפעיל קפיץ הוא $F = k\Delta l$ כאשר Δl היא ההתארכות של הקפיץ מהמצב הרפוי.

**(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 גלים ואופטיקה

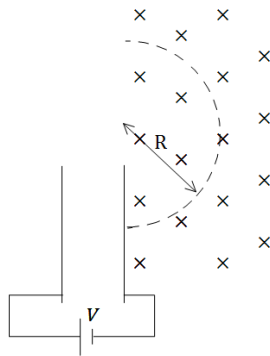
פרק 25 - תרגילים נוספים לחוק לורנץ

תוכן העניינים

155	1. חוק לורנץ
160	2. כוח על תיל נושא זרם

חוק לורנץ:

שאלות:



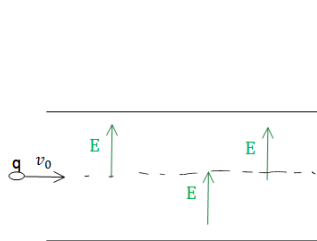
(1) ספקטוגרף המסות של דמפסטר

המערכת הבאה מתארת את ספקטוגרף המסות של דמפסטר. מטרתה היא להפריד בין חלקיקים בעלי מסות שונות. חלקיקים עם מטען חיובי משוחררים ממנוחה ליד לוח הקבל החיובי. החלקיקים מואצים ע"י מקור מתח V המחובר בין הלוחות. החלקיקים עוברים דרך הלוח השלילי ונכנסים לשדה מגנטי אחיד הפועל לתוך הדף. מצא את רדיוס הסיבוב כתלות במסת החלקיק. נתונים: B, q, V .

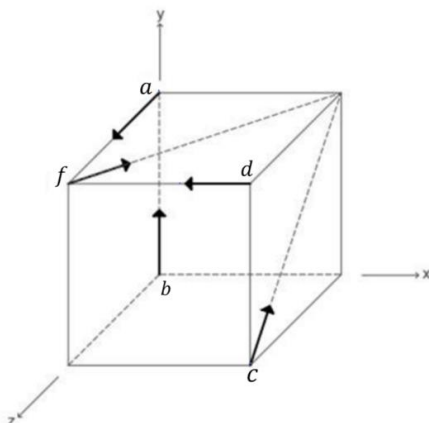
(2) פרוטון בזווית

פרוטון נכנס בזווית של 30° מעלות לשדה מגנטי אחיד בעוצמה של 0.15T . מצא את רדיוס הסיבוב של הפרוטון אם ידוע שגודל מהירותו $V = 10^6 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.

(3) מטען עובר קבל



מטען נע בתוך קבל לוחות עם מהירות קבועה V_0 בקו ישר ובמקביל ללוחות הקבל. בתוך הקבל (ורק בתוכו) ישנו שדה חשמלי אחיד ונתון E . כאשר המטען יוצא מהקבל הוא מבצע תנועה מעגלית כלפי מעלה. ידוע כי בכל המרחב (בתוך ומחוץ לקבל) יש שדה מגנטי אחיד אך לא ידוע מה גודלו וכיוונו. הזנח את כוח הכובד הפועל על המטען.
א. מה הסימן של המטען?
ב. מצא את כיוון וגודל השדה המגנטי.



(4) מצאו את הכוח על כל חלקיק

החיצים בציור מציינים מהירויות של חלקיקים חיוביים שונים. החלקיקים נמצאים בשדה מגנטי אחיד שכיוונו הוא $\hat{x}$. עבור כל חלקיק מצא: מהו כיוון הכוח ברגע הנתון באיור? מהי צורת המסלול?

(5) חלקיק זז בשדה מגנטי

חלקיק הטעון במטען q נע במהירות $\vec{v}$ באזור בו שורר שדה

מגנטי $\vec{B} = -2\hat{x} + 3\hat{y}$ טסלה.

חשב את הכוח המגנטי שיפעל על החלקיק אם נתון:

א. $\vec{v} = 2\hat{x} + 3\hat{y}$ מטר לשניה ו- $q = 2C$

ב. $\vec{v} = -\hat{x} + 2\hat{z}$ מטר לשניה ו- $q = -1\mu C$

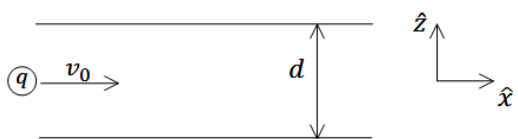
(6) מטען פוגע בלוחות קבל

חלקיק בעל מסה m ומטען $q > 0$ נכנס

במרכז של קבל לוחות עם מהירות $\vec{v} = v_0\hat{x}$.

לוחות הקבל מקבילים למישור xy והמרחק

ביניהם הוא d .



הקבל מחובר למקור מתח V , כאשר הלוח העליון נמצא בפוטנציאל הגבוה.

א. מצא את המרחק מקצה הלוח של הקבל בו יפגע המטען.

ב. כעת הנח שהקבל אינו מחובר למקור ואינו טעון אך במרחב קיים שדה

מגנטי אחיד $\vec{B} = B_0\hat{y}$.

מצא את המרחק מקצה הלוח בו יפגע המטען.

ג. לאיזה כיוון יסטה המטען אם הקבל מחובר למקור מתח ובמרחב קיים

שדה מגנטי.

(7) פרוטון פוגע במסך

פרוטון מואץ בקבל הנמצא במתח של $10^5 V$.

לאחר מכן הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד

לפגיעתו במסך הנמצא במרחק $15c.m.$ מהקבל.

עוצמת השדה המגנטי היא $0.2T$.

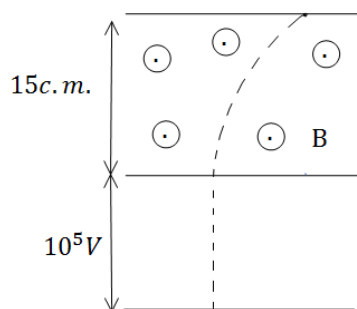
א. מצא את המרחק האופקי שעבר הפרוטון

עד לפגיעתו במסך.

ב. מצא את הזמן עד לפגיעה במסך.

ג. מהו המתח המינימלי הדרוש על מנת שהפרוטון

יפגע במסך?



(8) מטען בשדה מגנטי וחשמלי

שדה חשמלי קיים בתחום $x < 0$ כך שמעל ציר ה- x ($y > 0$)

השדה הוא: $\vec{E} = -E_0 \hat{y}$ ומתחת לציר ה- x ($y < 0$)

השדה הוא: $\vec{E} = E_0 \hat{y}$, ראה שרטוט.

בכל המרחב קיים גם שדה מגנטי אחיד,

שכיוונו וגודלו אינם ידועים.

חלקיק בעל מסה m ומטען $|q|$ מגיע

מ- $x = -\infty$ ונע בקו ישר ובמהירות קבועה.

גובה המסלול של החלקיק הוא $y = -R$.

כאשר החלקיק חוצה את ציר ה- y הוא מבצע רבע מעגל ברדיוס R (ראה ציור).

נתון: $E_0, |q|, m, R$.

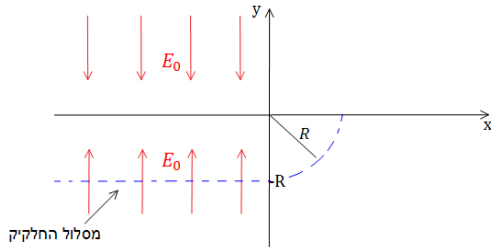
א. שרטט את המשך מסלול המטען.

ב. מה סימן המטען?

ג. מצא את המהירות של המטען, והשדה המגנטי.

ד. מצא את המסה הדרושה על מנת לבצע אותו מסלול בשדה מגנטי הגדול

פי 3 מהשדה הקיים, כאשר שאר התנאים אינם משתנים.

**(9) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית**

אלומות חלקיקים בעלי מסה m ומטען q נקלעות לאזור

בו שורר שדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ המאונך למישור הדף

במגמה פנימה. לחלקיקים אנרגיה קינטית E_k והם

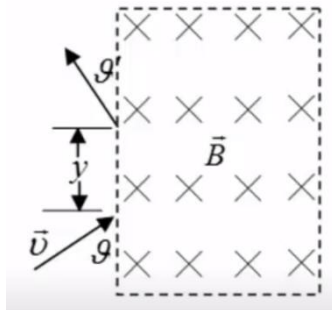
נכנסים לאזור המגנטי בזווית θ , כמתואר בציור.

א. חשבו את המרחק האנכי y אותו יעברו

החלקיקים מנקודת כניסתם לאזור המגנטי

ועד ליציאתם ממנו.

ב. חשבו את זווית היציאה θ' (ראו איור).

**(10) עוד מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית**

שדה מגנטי אחיד B נמצא בתחום מלבני בגודל $a \times b$.

מחוץ לתחום השדה הוא אפס. כיוון השדה החוצה מהדף.

מטען $|q|$ נכנס לתחום המלבני בדיוק במרכז המלבן,

במהירות שגודלה v וכיוונה מאונך לשפת המלבן

(ראה איור).

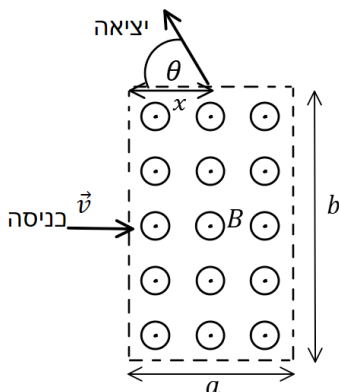
ידוע שהמטען יוצא מהצלע העליונה של המלבן.

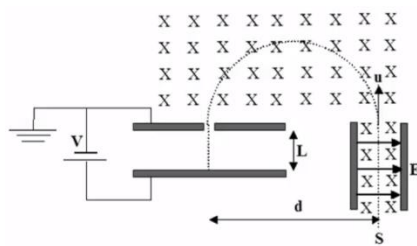
א. מהו סימן המטען? ומהו גודל מהירותו ביציאה?

ב. מהו המרחק x מקצה המלבן בו יוצא המטען?

ג. מהי הזווית θ של וקטור המהירות ביציאה ביחס

לצלע המלבן?



11) בורר מהירויות ומתח עצירה

חלקיקים בעלי מטען $+q$ ומסה m נפלטים ממקור S במהירויות שונות ונכנסים אל בין לוחות קבל.

בין לוחות הקבל פועלים שדה חשמלי אחיד $\vec{E}$ וכיוונו ימינה ושדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ והמכוון אל תוך הדף, כמוראה בתרשים.

השדה המגנטי פועל על החלקיקים גם לאחר יציאתם מהקבל.

במרחק d מנקודת היציאה של החלקיקים מהקבל, נמצא נקב קטן דרכו נכנסים החלקיקים אל תוך הקבל השני אשר בין לוחותיו לא פועל שדה מגנטי. על הקבל השני מופעל מתח עצירה V . ידוע כי המרחק בין לוחות הקבל השני הינו L . ניתן להזניח את כוח הכובד הפועל על החלקיקים.

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

- א. באיזו מהירות v יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?
- ב. מהו המרחק d (ראה ציור)?
- ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?
- ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V המופעל על הקבל השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?
- ה. מחברים את הקבל השני לסוללה שמתח גדול פי שתיים ממה שחישבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

תשובות סופיות:

$$R = \sqrt{\frac{2V}{qB^2}} \cdot \sqrt{m} \quad (1)$$

$$R \approx 3.48 \cdot 10^{-2} m \quad (2)$$

$$B \odot, B = \frac{E}{V} \quad \text{א. שלילי} \quad \text{ב. } B = \frac{E}{V} \quad (3)$$

$$\vec{F}_a = qvB\hat{y}, \vec{F}_b = qvB(-\hat{z}), \vec{F}_c = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y} - \hat{z}), \vec{F}_d = 0, \vec{F}_f = \frac{qvB}{\sqrt{2}}(-\hat{y}) \quad (4)$$

$\vec{F}_a$: מעגל אנכי במישור yz , $\vec{F}_b$: מעגל אנכי במישור yz , $\vec{F}_c$: מעגל אנכי במישור yz , $\vec{F}_d$: תנועה בקו ישר, $\vec{F}_f$: ספירלה במישור yz שמתקדמת סביב ציר x .

$$\vec{F} = (6\hat{x} + 4\hat{y} + 3\hat{z}) \mu N \quad \text{א. } \vec{F} = 24N\hat{z} \quad \text{ב. } \vec{F} = (6\hat{x} + 4\hat{y} + 3\hat{z}) \mu N \quad (5)$$

$$x^2 = R^2 - \left(R - \frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{א. } x = V_0 \sqrt{\frac{md^2}{qV}} \quad \text{ב. } x^2 = R^2 - \left(R - \frac{d}{2}\right)^2 \quad (6)$$

$$\varepsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) > 0 \quad \text{ג. המטען יסטה למעלה אם: } \varepsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) > 0$$

$$\varepsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) < 0 \quad \text{המטען יסטה למטה אם: } \varepsilon F_z = q \left(V_0 B_0 - \frac{V}{d} \right) < 0$$

$$V = 4.312 \cdot 10^4 V \quad \text{א. } \Delta x = 0.0315 \quad \text{ב. } t = 3.371 \text{ sec} \quad \text{ג. } V = 4.312 \cdot 10^4 V \quad (7)$$

$$V = \sqrt{\frac{qRE_0}{m}}, \vec{B} = \sqrt{\frac{mE_0}{qR}} \hat{z} \quad \text{א. ראה סרטון} \quad \text{ב. } \text{sign}(q) = -1 \quad \text{ג. } V = \sqrt{\frac{qRE_0}{m}}, \vec{B} = \sqrt{\frac{mE_0}{qR}} \hat{z} \quad (8)$$

$$m_2 = qm_1 \quad \text{ד. } m_2 = qm_1$$

$$y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \vartheta}{Bq} \quad \text{א. } y = \frac{\sqrt{8mE_k} \sin \vartheta}{Bq} \quad \text{ב. } \vartheta' = \vartheta \quad (9)$$

(10) א. אם כיוון הכוח הפוך לכיוון המכפלה $\vec{V} \times \vec{B}$ אז המטען שלילי.
 $\vec{F}$ תמיד מאונך ל- $\vec{V}$ ול- $\vec{B}$ לכן ה- $\vec{F}_B$ אף פעם לא ישנה את גודל המהירות,
 רק את הכיוון (V כניסה V יציאה).

$$\cos \theta = \frac{b}{2R} - 1 \quad \text{א. } x = \sqrt{b \left(\frac{b}{4} - \frac{mV}{qB} \right)} \quad \text{ב. } \cos \theta = \frac{b}{2R} - 1$$

$$\frac{2BL}{E} \quad \text{ה. } \frac{mE^2}{2qB^2} \quad \text{ד. } \frac{\pi m}{qB} \quad \text{ג. } \frac{2mE}{qB^2} \quad \text{ב. } \frac{E}{B} \quad \text{א. } \frac{2BL}{E} \quad (11)$$

כוח על תיל נושא זרם:

רקע:

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I הנמצאת בשדה מגנטי B הוא:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$$

גודל הכוח הפועל על תיל ישר בשדה אחיד הוא:

$$F = BIL \sin \alpha$$

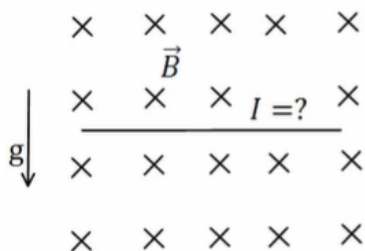
את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- dl) מחליף את המהירות.

הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.

הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה לכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

שאלות:

(1) דוגמה-תיל מרחף



תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי

אחיד $B = 10^{-2} \text{ T}$ לתוך הדף.

צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך

היא: $\lambda = 20 \frac{\text{gr}}{\text{c.m}}$

מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל כך שהתיל ירחף באוויר?

(2) דוגמה-מסגרת מלבנית בשדה לא אחיד

מסגרת מלבנית בעלת צלעות a , b נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף. גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.

המסגרת מונחת כך שחלק מהמסגרת נמצא בשדה $B_1 = 4 \text{ T}$

והחלק השני נמצא בשדה $B_2 = 3T$.

במסגרת זורם $I = 2A$ עם כיוון השעון. נתון: $a = 0.5m$.
מצא את הכוח השקול הפועל על המסגרת?

(3) כוח על תיל מכופף

תיל הנושא זרם I מכופף כפי שנראה באיור.
החלק העגול הוא רבע מעגל

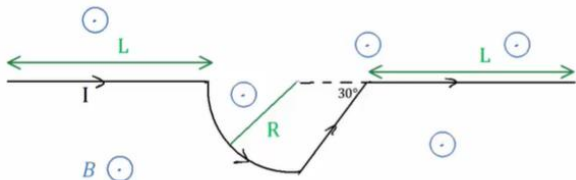
בעל רדיוס R .

בכל המרחב יש שדה מגנטי

אחיד B החוצה מהדף.

מצא את הכוח השקול על התיל

אם L, I, B, R נתונים.



(4) כוח על תיל מכופף עם חלוקה לחתיכות

הנח נתונים זהים לשאלה קודמת.

מצא את הכוח השקול על התיל ע"י חלוקה לחתיכות,

חישוב הכוח ע"י כל חתיכה בנפרד וסכימה.

(5) לולאה תלויה

לולאה ריבועית בעלת צלע a ומסה m תלויה על ציר ה- x

(הצלע שנמצאת על הציר מקובעת לציר) ויכולה להסתובב סביבו.

בלולאה זורם זרם I כך שהזרם בצלע שנמצאת על ציר ה- x

חיובי (זורם בכיוון ציר ה- x).

א. מצא את גודל השדה המגנטי

שדרוש להפעיל בכיוון ציר ה- z על

מנת שהלולאה תתייצב במנוחה

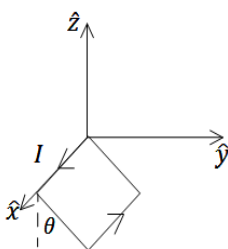
בזווית θ ביחס לציר ה- z .

ב. מצא את גודל השדה המגנטי שדרוש

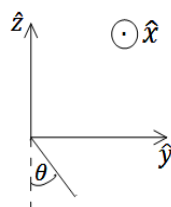
להפעיל בכיוון ציר ה- y על מנת

שהלולאה תתייצב במנוחה בזווית θ

ביחס לציר ה- z .



מבט תלת מימדי



מבט דו-מימדי

(6) כוח על לולאה סגורה

הראו כי:

א. הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד הניצב למישור הלולאה מתאפס.

ב. הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד המקביל למישור הלולאה מתאפס.

ג. הכוח המגנטי על לולאת זרם ריבועית בשדה אחיד מתאפס.

ד. הכוח המגנטי על לולאת זרם סגורה בעלת כל צורה שהיא בשדה אחיד מתאפס.

7) לולאה בצורת חצי גליל ותיל אינסופי - סמי שמעון

- לולאה מורכבת משני חצאי עיגול מקבילים ושני קווים ישרים מקבילים כך שנוצרת השפה של חצי גליל, ראו איור. תיל אינסופי עובר לאורך ציר הסימטריה של גליל. רדיוס חצאי העיגול הוא R ואורך הקווים הישרים הוא h . בלולאה ובתיל זורמים הזרמים I_1 ו- I_2 וכיונם מתואר באיור.
- א. חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל חצי מעגל של הלולאה.
- ב. חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל אחד מהקווים הישרים (גודל וכיוון).
- ג. מה הכוח השקול שמפעיל התיל על הלולאה?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad I = 2 \cdot 10^3 \text{ A, ימינה.}$$

$$(2) \quad F = 1 \text{ N, ימינה.}$$

$$(3) \quad F = BI(2L + (1 + \sqrt{3})R)$$

$$(4) \quad F_x = 0, F_y = IB(2L + (1 + \sqrt{3})R)(-1)\hat{y}$$

$$(5) \quad \text{א. } B = \frac{mg}{2aI} \tan \theta \hat{z} \quad \text{ב. } \vec{B} = -\frac{mg}{2aI} \hat{y}$$

$$(6) \quad \text{שאלת הוכחה.}$$

(7) א. 0. ב. עבור שניהם, שמאלה, $\frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{2\pi R}$ ג. שמאלה, $\frac{\mu_0 I_1 I_2 h}{\pi R}$

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 26 - חוק פארדיי

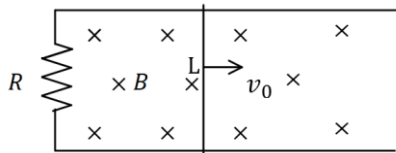
תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 164

הרצאות ותרגילים:

שאלות:

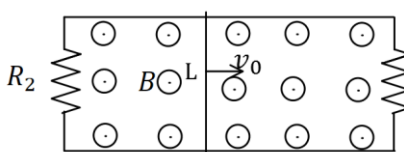
(1) מוט נע על מסילה



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?

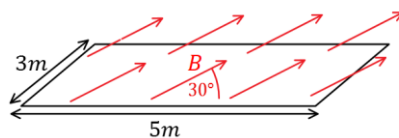
(2) המסילה מחוברת משני הצדדים



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: $v_0 = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ואורכו: $L = 20\text{cm}$.
במרחב ישנו שדה מגנטי אחיד החוצה מהדף $B = 1\text{T}$.

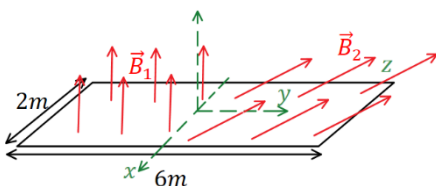
- מהו הכא"מ במוט?
- מהו הזרם בכל נגד ובמוט (גודל וכיוון)?
- מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת להזיז את המוט במהירות קבועה?

(3) חישוב שטף אחיד



באיור הבא נתון כי השדה המגנטי על המשטח זהה בכל נקודה (שדה אחיד).
גודלו הוא $B = 2\text{T}$ והזווית בינו למשטח היא 30° .
אורך המשטח הוא 5m ורוחבו הוא 3m .
מצא מהו השטף דרך המשטח.

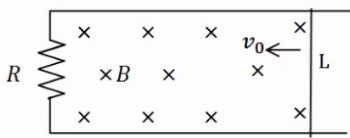
(4) חישוב שטף מפוצל



באיור הבא נתון משטח המונח על מישור xy .
אורך המשטח הוא 6m ורוחבו הוא 2m .
השדה המגנטי בחציו השמאלי של המשטח
הוא: $\vec{B}_1 = 2\text{T}\hat{z}$, שדה אחיד.
בחציו הימני של המשטח השדה הוא: $\vec{B}_2 = 7\text{T}\hat{y} + 3\text{T}\hat{z}$.
מצא מהו השטף דרך המשטח.

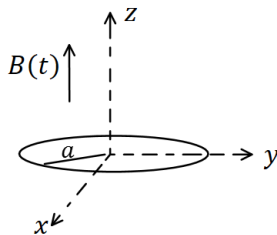
(5) עוד מוט ומסילה

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 .



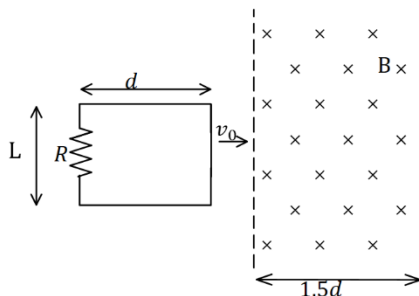
- מהו הכא"מ במעגל לפי חוק פארדיי (גודל וכיוון)?
- מהו הזרם בנגד גודל וכיוון?
- חשב את הכא"מ לפי הנוסחה של כא"מ במוט ומצא את כיוון הזרם. הראה שהתוצאה זהה.

(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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

חשמל גלים ואופטיקה

פרק 27 - מעגלי זרם חילופין

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 167

הרצאות ותרגילים:

רקע:

המתח והזרם במעגלי זרם חילופים :

$$V(t) = V_{\max} \sin(\omega t + \theta) ; I(t) = I_{\max} \sin(\omega t)$$

ניתן לעבוד גם עם פונקציית קוסינוס במקום סינוס ההבדל יהיה רק בפאזה. הפאזה בפונקציית סינוס גדולה ב- $\frac{\pi}{2}$ מהפאזה בקוסינוס

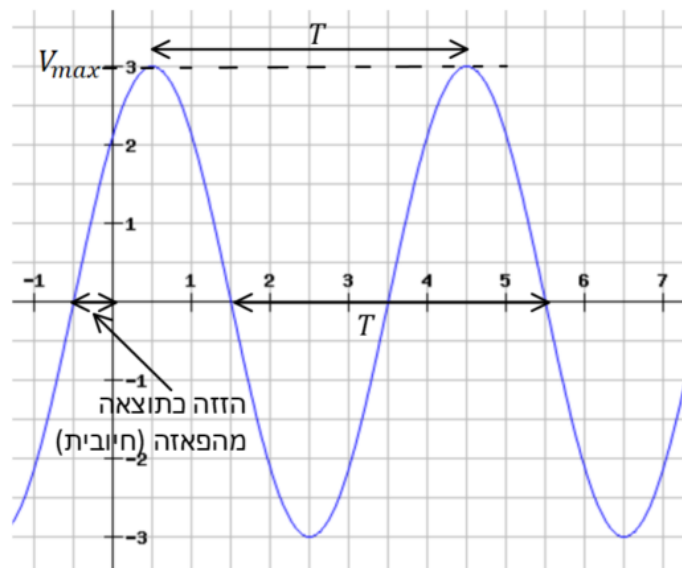
תדירות הזוויתית :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

T זמן המחזור ו f - התדירות בהרץ

θ - היא הפאזה של המתח ביחס לזרם

דוגמה לגרף של המתח כתלות בזמן :



זמן מחזור הוא המרחק בין שיא לשיא וממנו ניתן לחשב את התדירויות. הפאזה מזיזה את הגרף. פאזה חיובית מזיזה את הגרף שמאלה ושלישית ימינה. לחישוב הפאזה ניתן לקחת מהגרף את הערך באפס (חיתוך עם הציר האנכי) ואת

$V_{\max}$:

$$V(0) = V_{\max} \sin(\theta)$$

נגד במעגל מתח חילופין :

חוק אוהם :

$$V_R(t) = RI(t)$$

R - התנגדות הנגד (קבוע).

הפאזה של המתח בנגד היא אפס ביחס לזרם.

קבל במתח חילופין :

הגדרת הקיבול, והקשר של המתח לזרם :

$$Q(t) = CV_C(t) ; I(t) = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow I(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt}$$

C - קיבול (קבוע)

הפאזה של המתח בקבל היא $\theta = -\frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

ההיגב של קבל :

$$x_c = \frac{1}{\omega C}$$

היגב מוגדר לפי $x = \frac{V_{\max}}{I_{\max}}$, להיגב יחידות של התנגדות ונותן אומדן לסוג של התנגדות של הרכיב במעגל.

בתדירות מאוד נמוכה, מתח המקור כמעט ולא משתנה ומקבלים מעגל מתח ישר, הקבל הופך לנתק. היגב גבוהה מאוד.

בתדירות מאוד גבוהה, המתח משתנה מהר מאוד והקבל לא מספיק להטען. הקבל הופך לקצר (מתח אפס). היגב נמוך מאוד.

סליל במעגל מתח חילופין :

הקשר בין המתח לזרם :

$$V_L(t) = L \frac{dI(t)}{dt}$$

L - השראות (קבוע)

הפאזה של המתח בסליל היא $\theta = \frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

ההיגב של סליל :

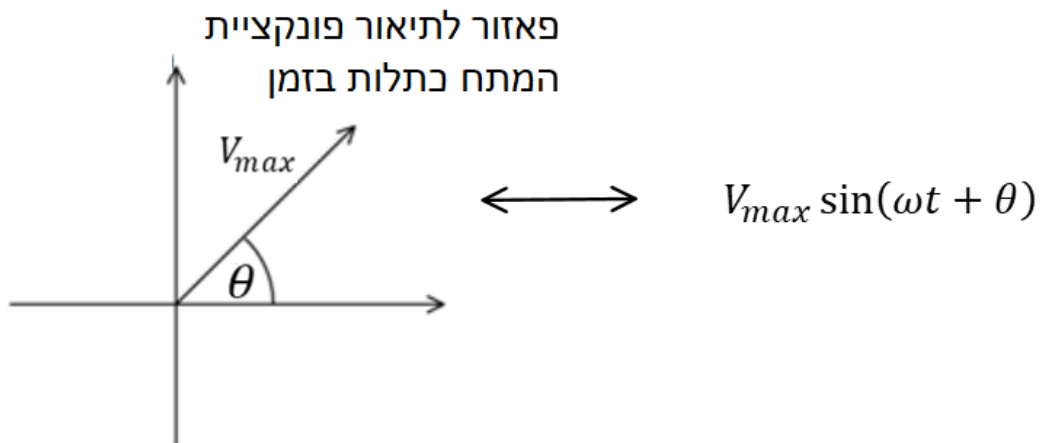
$$x_L = \omega L$$

בתדירות מאוד נמוכה, אין שינוי בזרם ולכן המתח של הסליל אפס, הסליל מתנהג כמו קצר, היגב נמוך מאוד.

בתדירות מאוד גבוהה, שינוי זרם גדול יוצר מתח נגדי גדול בסליל. הסליל הופך לנתק. היגב גבוה מאוד.

פאזורים:

פאזור הוא תאור של גודל סינוס המשתנה בזמן באמצעות וקטור. גודל הוקטור הוא הערך המקסימלי והזווית עם הציר האופקי היא הפאזה.



בשביל לחבר שני גדלים התלויים בזמן נחבר את הפאזורים שלהם (הקטור השקול מתאר את הערך המקסימאלי והפאזה של התוצאה).

העכבה (אימפדנס) של המעגל

עכבה היא "ההתנגדות השקולה" של מעגל מתח חילופין

$$Z = \frac{V_{smax}}{I_{max}} = \sqrt{(X_{LT} - X_{CT})^2 + R_T^2}$$

השוויון האחרון נכון רק למעגל טורי.

V_{smax} - המתח המקסימאלי של המקור

X_{LT} , R_T ו- X_{CT} הם ההתנגדות השקולה, סכום ההיגבים של הקבלים וסכום ההיגבים של המשרנים.

זווית המופע של המקור:

$$\tan \theta_s = \frac{X_{LT} - X_{CT}}{R_T}$$

זרם אפקטיבי ומתח אפקטיבי:

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} ; \quad V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

הם שורש הממוצע של ריבוע הגודל (סוג של ממוצע בזמן רק לגודל המתח והזרם).

תהודה :

מצב שבו הזרם הזרם האפקטיבי מקסימאלי. מתרחשת כאשר פאזת המקור מתאפסת.

התדירות בה יש תהודה במעגל RLC טורי :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

הספק ממוצע בנגד :

$$\bar{P}_R = I_{\text{eff}} V_{R_{\text{eff}}} = I_{\text{eff}} V_{s_{\text{eff}}} \cos \theta_s$$

θ_s - הפאזה של המקור

גורם ההספק :

$$\cos \theta_s$$

היחס בין ההספק בנגד להספק בקבל והמשרן.

ככל שהגורם גבוה יותר כך ניצול האנרגיה במעגל טוב יותר.

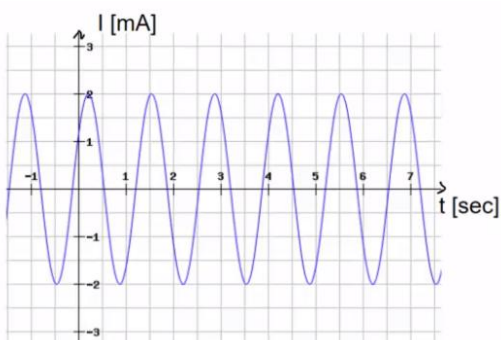
שאלות:

(1) חישוב נוסחה

- מקור מתח חילופין מספק מתח מקסימלי של 220 וולט בתדירות 50 הרץ.
 א. מהו זמן המחזור של הפונקציה ומהי התדירות הזוויתית?
 ב. רשום נוסחה למתח כתלות בזמן.

(2) גרפים

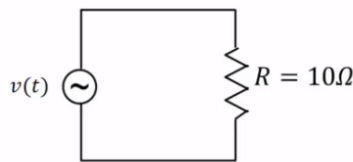
בניסוי עם מעגל זרם חילופין הזרם במעגל נמדד באמצעות אמפרמטר המחובר למחשב. הזרם כפונקציה של הזמן ניתן מהמחשב בגרף הבא.



- א. מהו הזרם המקסימאלי במעגל?
 ב. מהו זמן המחזור של המקור ומהי התדירות הזוויתית?
 ג. מהי זווית המופע של הזרם?
 ד. רשום את הפונקציה של הזרם כתלות בזמן.

(3) נגד ומקור בלבד

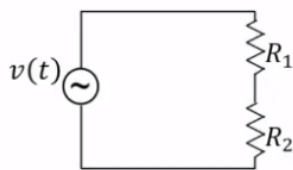
נגד בעל התנגדות של $10\ \Omega$ אוהם מחובר למקור מתח חילופין אידיאלי (ללא התנגדות פנימית) בעל מתח מקסימאלי של 5 וולט ותדירות של 50 הרץ.



- מהי התדירות הזוויתית של המקור?
- רשום נוסחה למתח המקור כתלות בזמן.
- מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?

(4) שני נגדים בטור

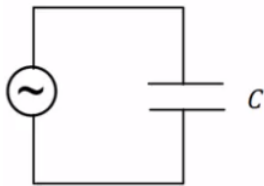
במעגל הבא שני נגדים: $R_1 = 5\ \Omega$, $R_2 = 10\ \Omega$ המחברים בטור למקור מתח חילופין אידיאלי בעל מתח מקסימאלי 5V ותדירות 10Hz.



- מהו המתח כתלות בזמן של המקור?
- מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?
- מהו הזרם בכל אחד מהנגדים?
- מהו המתח כתלות בזמן על כל נגד?

(5) קבל ומקור

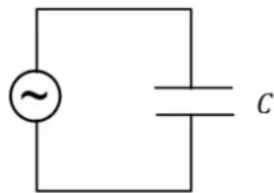
מקור מתח חילופין בעל מתח מקסימאלי של 5 וולט ותדירות של 100 הרץ מחובר לקבל בעל קיבול $C = 150\ \mu\text{F}$.



- מצא את המתח של המקור כתלות בזמן.
- חשב את ההיגב של הקבל.
- מצא את הזרם בקבל כתלות בזמן.

(6) חישוב קיבול מהיגב

במעגל של מקור אידיאלי וקבל בלבד נתון כי



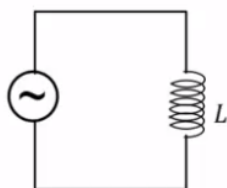
מתח המקור הוא: $V_s(t) = 3 \sin\left(120t - \frac{\pi}{2}\right)$ בוולט,

והזרם הוא: $I(t) = 0.02 \sin(120t)$ באמפר.

- מצא את ההיגב של הקבל.
- חשב את הקיבול של הקבל.

(7) סליל ומקור

סליל בעל השראות $L = 30\text{mH}$ מחובר למקור מתח חילופין אידיאלי בעל מתח מקסימאלי של 8 וולט ותדירות של 40 הרץ.



- רשום נוסחה למתח המקור כתלות בזמן.
- חשב את העכבה של הסליל ואת הזרם המקסימאלי.
- מהו הזרם כתלות בזמן במעגל?

(8) מצא את המתח

במעגל עם מקור מתח חילופין מחברים אמפרמטר בטור לסליל. השראת הסליל היא: $L = 50\text{mH}$. מדידת האמפרמטר מראה כי הזרם כתלות בזמן הוא: $I(t) = 0.03 \sin(20\pi \cdot t)$.

א. חשב את העכבה של הסליל.
ב. מהו המתח על הסליל כתלות בזמן?

(9) בניית פאזורים

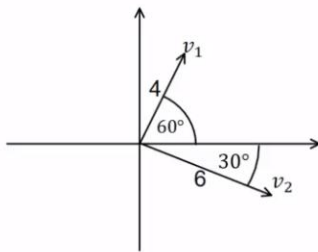
צייר את הפאזור המתאים לכל אחת מהפונקציות הבאות על מערכת צירים:

א. $v_1(t) = 2 \sin\left(50t + \frac{\pi}{6}\right)$

ב. $v_2(t) = 4 \sin\left(50t + \frac{\pi}{2}\right)$

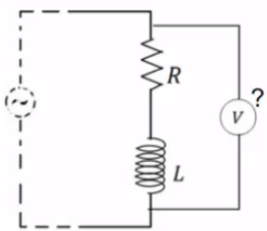
(10) חישוב הפונקציות מהפאזורים

חשב את הפונקציה המתאימה לפאזורים הבאים אם ידוע כי תדירות המקור היא 50 הרץ.

**(11) חיבור שתי פונקציות**

חבר את הפונקציות הבאות באמצעות פאזורים ובדוק כי התוצאה שקיבלת נכונה עבור הזמן $t = 1\text{sec}$:

$$V_1(t) = 5 \sin\left(20t + \frac{\pi}{6}\right), V_2(t) = 8 \sin\left(20t - \frac{\pi}{4}\right)$$

(12) חיבור סליל ונגד

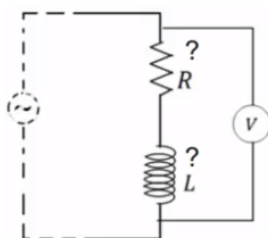
סליל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.

המתח על הסליל כתלות בזמן הוא: $V_L(t) = 4 \sin\left(50t + \frac{\pi}{2}\right)$

והמתח על הנגד כתלות בזמן הוא: $V_R(t) = 3 \sin(50t)$

מד מתח מודד את המתח על הסליל והנגד ביחד.

מהי פונקציית המתח כתלות בזמן שיראה מד המתח?

(13) פירוק של סליל ונגד

סליל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.

מד מתח מודד את המתח על הסליל והנגד ביחד.

המתח שמודד מד המתח כתלות בזמן

הוא: $V_{LR}(t) = 20 \sin\left(20t + \frac{\pi}{3}\right)$ כאשר הפאזה היא

ביחס לזרם במעגל (כלומר הפאזה של הזרם היא אפס).
מהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הנגד ומהי פונקציית המתח
כתלות בזמן של הסליל?

14 פירוק קבל ונגד

קבל ונגד מחוברים בטור במעגל עם מקור מתח חילופין.
מד מתח מודד את המתח על הקבל והנגד ביחד.

פונקציית המתח שמודד מד המתח כתלות בזמן היא : $V_{RC}(t) = 5 \sin\left(10t - \frac{\pi}{5}\right)$

כאשר הפאזה היא ביחס לזרם במעגל (כלומר הפאזה של הזרם היא אפס).
מהי פונקציית המתח כתלות בזמן של הנגד ומהי פונקציית המתח כתלות בזמן
של הקבל?

15 חישוב מתחים RLC

במעגל RLC נתון : $R = 100\Omega$, $L = 30\text{mH}$, $C = 330\mu\text{F}$ והזרם כתלות בזמן
הוא : $I(t) = 0.03 \sin(2\pi \cdot 40 \cdot t)$ באמפר.
מצא את המתח כתלות בזמן בכל רכיב.

16 חישוב זרם

מקור מתח חילופין מחובר בטור לנגד סליל וקבל.
נתון כי : $R = 10\Omega$, $L = 33\text{mH}$, $C = 100\mu\text{F}$.
תדירות המקור היא 50Hz והמתח המקסימאלי שלו הוא 5V .
א. חשב את העכבה של המעגל.
ב. מה יהיה הזרם המקסימאלי במעגל?
ג. נגדיר את זווית המופע של הזרם להיות אפס, רשום נוסחה לזרם כתלות בזמן.

17 חישוב עכבה של סליל ונגד בלבד

נגד וסליל מחוברים בטור למקור מתח חילופין. התנגדות הנגד היא R , השראת
הסליל היא L והתדירות הזוויתית של המקור היא ω .
חשב את העכבה של המעגל (התייחס לפרמטרים בשאלה כנתונים).

18 חישוב מתח מקור כתלות בזמן

במעגל מתח חילופין המכיל נגד, סליל וקבל המחברים בטור
נתון : $R = 20\Omega$, $L = 30\text{mH}$, $C = 100\mu\text{F}$.
הזרם במעגל כתלות בזמן הוא : $I(t) = 0.1 \sin(20\pi t)$ באמפר.
א. מצא את המתח כתלות בזמן בנגד, בקבל ובסליל.
ב. מצא את העכבה של המעגל וזווית המופע של המקור.
ג. רשום נוסחה למתח של המקור כתלות בזמן.

(19) מתח מקסימאלי בארהב

בארה"ב המתח בשקע הוא 110 וולט, מהו המתח המקסימאלי בשקע אמריקאי?

(20) תרגיל 1

מקור מתח חילופין בעל מתח מקסימאלי 120V ותדירות 40 הרץ מחובר לקבל בעל קיבול של $100\mu\text{F}$. המתח של הקבל בזמן אפס הוא אפס.

- רשום ביטוי למתח על הקבל כפונקציה של הזמן.
- רשום ביטוי לזרם בקבל כתלות בזמן.
- מהו המתח האפקטיבי והזרם האפקטיבי במעגל?

(21) תרגיל 2

מקור מתח חילופין עם מתח מקסימאלי של 110 וולט ותדירות 40 הרץ מחובר לסליל של 100mH עם התנגדות פנימית של 30Ω .

- הנח כי הזרם בזמן אפס שווה לאפס.
- חשב את העכבה של המעגל.
- מה הביטוי לזרם בסליל כפונקציה של הזמן?
- מה הביטוי למתח של הסליל ומתח המקור כתלות בזמן?

(22) תרגיל 3

מקור מתח חילופין עם מתח מקסימאלי של 200 וולט ותדירות 50 הרץ מחובר לסליל של 80mH עם התנגדות פנימית של 50Ω .

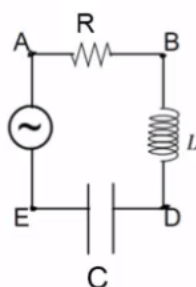
- הנח כי מתח המקור שווה לאפס בזמן אפס.
- מה הביטוי למתח על הסליל כתלות בזמן?
- מה הביטוי לזרם בסליל כפונקציה של הזמן?
- מה הקבל שיביא את המעגל לתהודה?

(23) תרגיל 4

נתון המעגל שבאיור.

$$V_s(t) = 110 \sin(200t), \quad R = 50\Omega, \quad L = 50\text{mH}, \quad C = 70\mu\text{F}$$

- מהו המתח האפקטיבי בין הנקודות AD?
- מהו המתח האפקטיבי בין הנקודות BE?
- מהו הפרש המופע בין הזרם ל- V_{AD} ?
- מהו הפרש המופע בין הזרם במעגל לבין V_{BE} ?



תשובות סופיות:

$$(1) \quad V(t) = 220\text{V} \sin(314 \cdot t) \quad \text{ב.} \quad T = 0.02 \text{ sec}, \quad \omega = 314 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{א.}$$

$$(2) \quad I_{\max} = 2\text{mA} \quad \text{א.} \quad T = \frac{4}{3} \text{ sec}, \quad \omega = 1.5\pi \quad \text{ב.} \quad \theta = 0.675\text{rad} \quad \text{ג.}$$

$$\text{ד.} \quad I(t) = 2\text{mA} \sin(1.5\pi \cdot t + 0.675)$$

$$(3) \quad \omega \approx 314 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{א.} \quad V(t) = 5\text{V} \sin(314 \cdot t) \quad \text{ב.} \quad I = 0.5\text{A} \sin(314 \cdot t) \quad \text{ג.}$$

$$(4) \quad V(t) = 5 \cdot \sin(62.8 \cdot t) \quad \text{א.} \quad I_R = \frac{1}{3} \sin(62.8 \cdot t) \quad \text{ב.}$$

$$\text{ג.} \quad I_1 = I_2 = I_R = \frac{1}{3} \sin(62.8 \cdot t) \quad \text{ד.} \quad V_1(t) = \frac{5}{3} \sin(62.8 \cdot t), \quad V_2(t) = \frac{10}{3} \sin(62.8 \cdot t)$$

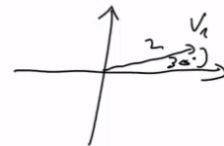
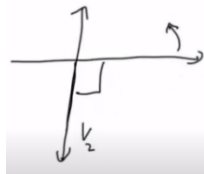
$$(5) \quad V_s(t) = 5 \sin(628t) \quad \text{א.} \quad x_C \approx 10.3\Omega \quad \text{ב.} \quad I_C(t) = 0.485\text{A} \sin\left(628t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ג.}$$

$$(6) \quad x_C = 150\Omega \quad \text{א.} \quad C = 55.6\mu\text{F} \quad \text{ב.}$$

$$(7) \quad V_s(t) = 8 \sin(251t) \quad \text{א.} \quad x_L = 7.56\Omega, \quad I_{\max} \approx 1.06\text{A} \quad \text{ב.} \quad I(t) = 1.06 \sin\left(251t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ג.}$$

$$(8) \quad x_L = 3.14\Omega \quad \text{א.} \quad V_L(t) = 9.42\text{V} \sin\left(20\pi \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ב.}$$

$$(9) \quad \text{א.} \quad \text{ב.}$$



$$(10) \quad V_1(t) = 4 \sin\left(314t + \frac{\pi}{3}\right), \quad V_2(t) = 6 \sin\left(314t - \frac{\pi}{6}\right)$$

$$(11) \quad V_3(t) = 12.9 \sin(20t + 0.684)$$

$$(12) \quad V_{LR}(t) = 5 \sin(50t + 0.93)$$

$$(13) \quad V_R(t) = 10 \sin(20t), \quad V_L(t) = 10\sqrt{3} \cdot \sin\left(20t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$V_R(t) = 4.05 \sin(10t), V_C(t) = 2.94 \sin\left(10t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (14)$$

$$V_R(t) = 3 \sin(2\pi \cdot 40 \cdot t), V_L(t) = 0.226 \sin\left(2\pi \cdot 40 \cdot t + \frac{\pi}{2}\right), V_C(t) = 0.317 \sin\left(2\pi \cdot 40 \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (15)$$

$$I(t) = 0.211 \sin(314t) \quad \text{ג.} \quad I_{\max} \approx 0.211 \text{ A} \quad \text{ב.} \quad \omega = 23.7 \Omega \quad \text{א.} \quad (16)$$

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (17)$$

$$V_R(t) = 2 \sin(20\pi t), V_L(t) = 0.188 \sin\left(20\pi t + \frac{\pi}{2}\right), V_C(t) = 15.9 \sin\left(20\pi t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{א.} \quad (18)$$

$$V_S(t) = 16 \sin(20\pi t + 1.45) \quad \text{ג.} \quad z = 160 \Omega \quad \text{ב.}$$

$$V_{\max} \approx 156 \text{ V} \quad (19)$$

$$I(t) = 3.02 \text{ A} \sin\left(80\pi t + \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{ב.} \quad V_C(t) = 120 \text{ V} \sin(80\pi \cdot t) \quad \text{א.} \quad (20)$$

$$V_{\text{eff}} \approx 84.85 \text{ V}, I_{\text{eff}} \approx 2.135 \text{ A} \quad \text{ג.}$$

$$I(t) = 2.81 \text{ A} \sin(80\pi t) \quad \text{ב.} \quad z_{Lr} = 39.1 \Omega \quad \text{א.} \quad (21)$$

$$V_{LR}(t) = 110 \text{ V} \sin(80\pi t + 0.696) \quad \text{ג.}$$

$$I(t) = 3.574 \cdot \sin(100\pi t - 0.466) \quad \text{ב.} \quad V_{Lr}(t) = 200 \sin(100\pi \cdot t) \quad \text{א.} \quad (22)$$

$$C = 127 \mu\text{F} \quad \text{ג.}$$

$$\theta_{AD} \approx 0.198 \text{ rad} \quad \text{ג.} \quad V_{BE\text{eff}} \approx 60.3 \text{ V} \quad \text{ב.} \quad V_{AD\text{eff}} = 50.1 \text{ V} \quad \text{א.} \quad (23)$$

$$\theta_{BE} = -\frac{\pi}{2} \quad \text{ד.}$$