פיזיקה 2 חשמל 20164



תוכן העניינים

1. מבוא מתמטי 1
2. הכוח והשדה החשמלי - חוק קולון 10
3. חוק גאוס 19
4. פוטנציאל 28
5. דיפול חשמלי 41
6. מציאת התפלגות מטען 43
7. אנרגיה הדרושה לבניית מערכת 46
8. חומרים דיאלקטריים 48
9. נגדים במעגל- מעגלים עם זרם ישר 51
10. קבלים 60
11. נגדים זרם וצפיפות זרם 85
12. חוק לורנץ וכוח על תייל נושא זרם 90
13. חוק ביו סבר 103
14. חוק אמפר 109
15. מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון 114
16. חוק פאראדיי 116
17. מומנט דיפול מגנטי 127
18. השראות 130
19. מבוא לגלים 139
20. גלים רוחביים במיתר 140
21. התאבכות בגלים דו ותלת מימדיים 147
22. משוואות מקסוואל 157
23. גלים אלקטרומגנטיים (בפרק הזה חסרה הנוסחה של עוצמה של גל אלקטרומגנטי) 158

תוכן העניינים

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 1 - מבוא מתמטי

תוכן העניינים

1. אינטגרל כפול ומשולש 1
2. קואורדינטות ואלמנטים דיפרנציאלים 3
3. צפיפות מטען 6
4. וקטורים 7
5. אופרטור הנאבלה 9

אינטגרל כפול ומשולש:

שאלות:

פתרו את האינטגרלים הבאים:

1) **דוגמה 1** $\int_0^3\int_0^2 3\cdot x^3y^2dxdy$

2) **דוגמה 2** $\int_1^2\int_0^3\left(x^2+2y\right)dxdy$

3) **דוגמה 3** $\int_0^2\int_1^3\left(x^2+y\right)dydx$

4) **דוגמה 4** $\int_0^1\int_0^2 x\cdot z^2dxdz$

5) **דוגמה 5** $\int_1^5\int_0^4 2\cdot y^3dydz$

6) **דוגמה 6** $\int_0^{2\pi}\int_0^3 r^2drd\theta$

7) **דוגמה 7** $\int_a^b\int_0^c 4\cdot x^2ydxdy$

8) **דוגמה 8** $\int_a^b\int_0^c\left(4z+r^2\right)drdz$

9) **דוגמה 9** $\int_0^{2\pi}\int_0^R 4\mathrm{a}\cdot r^2drd\theta$

10) **דוגמה 10** $\int_0^{2\pi}\int_0^R 4yr^2drd\theta$

11) **דוגמה 11** $\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi} r^2\sin\varphi d\theta d\varphi$

12) **דוגמה – אינטגרל משולש** $\int_1^2\int_0^2\int_0^3\left(zx^2+3y\right)dydxdz$

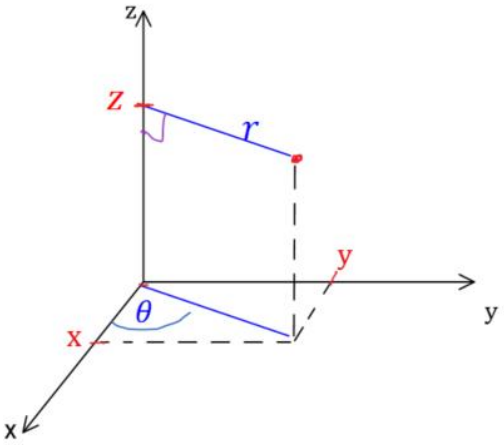
תשובות סופיות:

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

קואורדינטות ואלמנטים דיפרנציאלים:

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

$$dl = r\,d\theta/d\,r/d\,z$$

דיסקה

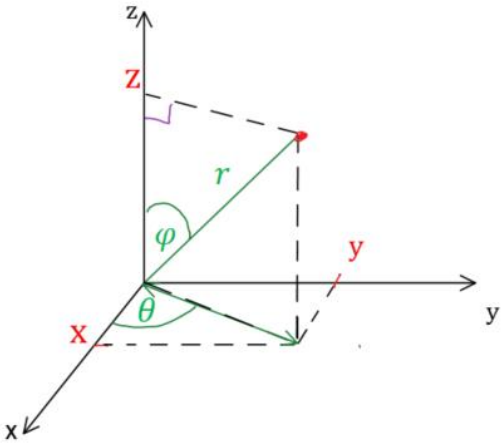
מעטפת גלילית

$$dS = rd\theta\,d\,r/r\,d\theta\,d\,z/d\,r\,dz$$

גליל מלא

$$dV = rd\theta\,dr\,dz$$

קואורדינטות כדוריות: (r,θ,φ)



$$z = r\cos\varphi$$

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

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

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

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

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

$$dl = d\,r/r\sin\varphi d\theta/r\,\mathrm{d}\varphi$$

מעטפת כדור

$$dS = r^2\sin\varphi d\theta\,\mathrm{d}\varphi$$

כדור מלא

$$dV = r^2\sin\varphi dr d\theta\,\mathrm{d}\varphi$$

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:

1) $S = \pi R^2$

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

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 אינפיטיסימלי:

$$\mathrm{d}q = \lambda d\,l / \sigma\,\mathrm{d}\,s / \rho\,dv$$

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:

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

2) $\rho_0 \pi R^3$

וקטורים:

רקע:

וקטור יחידה:

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

מכפלה סקלרית:

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

מציאת זווית בין וקטורים:

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

מכפלה וקטורית:

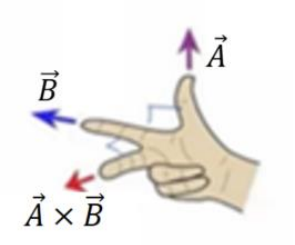
<u>דרך 1 – דטרמיננטה</u>:

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

<u>דרך 2 – לפי גודל וכיוון בנפרד</u>:

גודל המכפלה - $|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}||\sin\alpha|$

כיוון לפי כלל יד ימין -



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

דרך נוספת לכלל יד ימין נקראת כלל הבורג -



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

בחירת מערכת צירים:

במערכת צירים צריך להתקיים: $\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}$.

זהויות:

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

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

$$(\vec{A} \times \vec{B}) \cdot (\vec{C} \times \vec{D}) = (\vec{A} \cdot \vec{C}) \cdot (\vec{B} \cdot \vec{D}) - (\vec{A} \cdot \vec{D})(\vec{B} \cdot \vec{C})$$

$$\vec{A} \times \left(\vec{B} \times (\vec{C} \times \vec{D})\right) = \vec{B}\left(\vec{A} \cdot (\vec{C} \times \vec{D})\right) - (\vec{A} \cdot \vec{B})(\vec{C} \times \vec{D})$$

אופרטור נאבלה:

רקע:

$$\vec{\nabla}=\left(\hat{x}\frac{\partial}{\partial x}+\hat{y}\frac{\partial}{\partial y}+\hat{z}\frac{\partial}{\partial z}\right)\equiv\left(\frac{\partial}{\partial x},\frac{\partial}{\partial y},\frac{\partial}{\partial z}\right)$$

	קרטזיות	גליליות	כדוריות
grad $\vec{\nabla}f$	$\frac{\partial f}{\partial x}\hat{x}+\frac{\partial f}{\partial y}\hat{y}+\frac{\partial f}{\partial z}\hat{z}$	$\frac{\partial f}{\partial r}\hat{r}+\frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\hat{\theta}+\frac{\partial f}{\partial z}\hat{z}$	$\frac{\partial f}{\partial r}\hat{r}+\frac{1}{rsin\varphi}\frac{\partial f}{\partial \theta}\hat{\theta}+\frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\hat{z}$
div $\vec{\nabla}\cdot\vec{F}$	$\frac{\partial F_x}{\partial x}+\frac{\partial F_y}{\partial y}+\frac{\partial F_z}{\partial z}$	$\frac{1}{r}\frac{\partial (rF_r)}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial F_\theta}{\partial \theta}+\frac{\partial F_z}{\partial z}$	$\frac{1}{r^2}\frac{\partial (r^2F_r)}{\partial r}+\frac{1}{r\,sin\,\varphi}\frac{\partial F_\theta}{\partial \theta}+\frac{1}{r\,sin\,\varphi}\frac{\partial}{\partial \varphi}(A_\varphi \sin\varphi)$
Rot/curl $\vec{\nabla}\times\vec{F}$	$\left(\frac{\partial F_z}{\partial y}-\frac{\partial F_y}{\partial z}\right)\hat{x}-\left(\frac{\partial F_z}{\partial x}-\frac{\partial F_x}{\partial z}\right)\hat{y}+\left(\frac{\partial F_y}{\partial x}-\frac{\partial F_x}{\partial y}\right)\hat{z}$	$\left(\frac{1}{r}\frac{\partial F_z}{\partial \theta}-\frac{\partial F_\theta}{\partial z}\right)\hat{r}+\left(\frac{\partial F_r}{\partial z}-\frac{\partial F_z}{\partial r}\right)\hat{\theta}+\frac{1}{r}\left(\frac{\partial (rF_\theta)}{\partial r}-\frac{\partial F_r}{\partial \theta}\right)\hat{z}$	$\frac{1}{r\,sin\,\theta}\left(\frac{\partial}{\partial \theta}(F_\theta\,sin\,\varphi)-\frac{\partial F_\varphi}{\partial \theta}\right)\hat{r}+\frac{1}{r}\left(\frac{\partial}{\partial r}(rF_\varphi)-\frac{\partial F_r}{\partial \varphi}\right)\hat{\theta}+\frac{1}{r}\left(\frac{1}{sin\,\theta}\frac{\partial F_r}{\partial \theta}-\frac{\partial}{\partial r}(r\cdot F_\theta)\right)\hat{\varphi}$

זהויות:

$$\vec{\nabla}(f+g)=\vec{\nabla}f+\vec{\nabla}g$$
$$\vec{\nabla}(\vec{A}+\vec{B})=(\vec{\nabla}\cdot\vec{A})+(\vec{\nabla}\cdot\vec{B})$$
$$\vec{\nabla}\times(\vec{A}+\vec{B})=(\vec{\nabla}\times\vec{A})+(\vec{\nabla}\times\vec{B})$$
$$\vec{\nabla}(\vec{A}\cdot\vec{B})=\vec{A}\times(\vec{\nabla}\times\vec{B})+\vec{B}\times(\vec{\nabla}\times\vec{A})+(\vec{A}\cdot\vec{\nabla})\vec{B}+(\vec{B}\cdot\vec{\nabla})\vec{A}$$
$$\vec{\nabla}(f\cdot g)=(\vec{\nabla}f)\cdot g+(\vec{\nabla}g)\cdot f$$
$$\vec{\nabla}(f\cdot\vec{A})=f(\vec{\nabla}\cdot\vec{A})+\vec{A}\cdot(\vec{\nabla}f)$$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 2 - הכוח והשדה החשמלי - חוק קולון

תוכן העניינים

1. חוק קולון וסופרפוזיציה 10
2. התפלגות מטען רציפה 14

חוק קולון וסופרפוזיציה:

רקע:

חוק קולון :

הכוח החשמלי שמפעיל מטען q_1 כלשהו על מטען q_2 כלשהו

$$\vec{F} = \frac{kq_1 \cdot q_2}{r^2}\hat{r} = \frac{kq_1q_2}{r^3}\vec{r}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

$\vec{r}$ - וקטור מ- q_1 אל q_2

$r = |\vec{r}|$ ו- $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$

השדה החשמלי שיוצר מטען q במרחב :

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

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

שימו לב שבנוסחה הזו המטען הוא זה שיוצר את השדה.

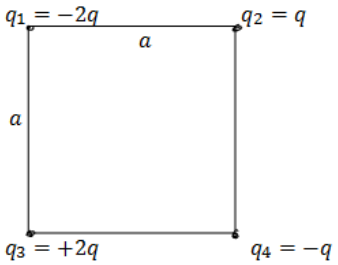
הכוח הפועל על מטען q הנמצא בשדה חשמלי $\vec{E}$:

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

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

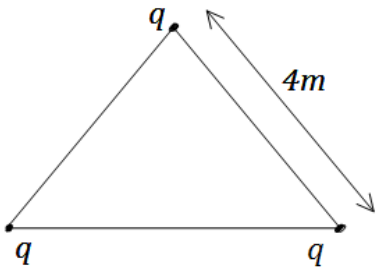
שאלות:

1) מטען בפינת ריבוע



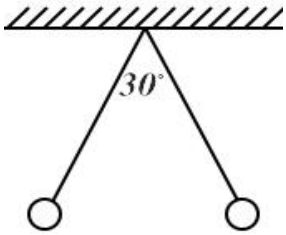
חשב את הכוח הפועל על המטען שבפינה התחתונה הימנית של הריבוע שבשרטוט.
q ו- a נתונים.

2) מטענים בקודקודי משולש



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

3) שני כדורים תלויים



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

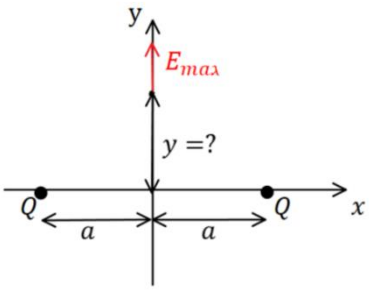
4) שדה מקסימלי בין שני מטענים

שני מטענים בעלי מטען זהה Q נמצאים על ציר ה- x בנקודות $(a,0)$ ו- $(-a,0)$.

א. מצאו את הנקודה על ציר ה- y כלומר $(0,y)$ שבה השדה החשמלי מקסימאלי.

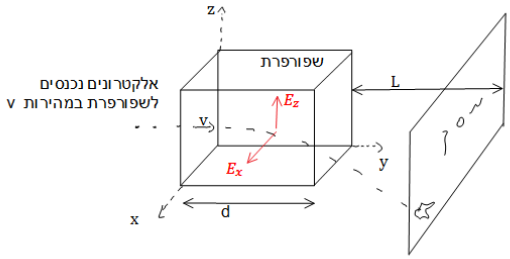
ב. מה גודל השדה בנקודה זו?

ג. באיזה נקודה השדה מקסימאלי בציר ה- z?

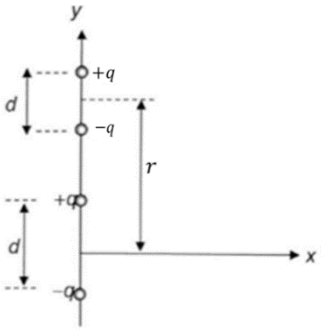


5) שפורפרת טלוויזיה

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



6) דיפול מפעיל כוח על דיפול



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

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

ב. השתמשו בתוצאת הסעיף הקודם וחשבו את הכוח שמפעיל הדיפול הנ"ל על דיפול נוסף שמטעניו גם כן $\pm q$ המרוחקים זה מזה מרחק d (המצוי על ציר ה- y גם כן) ואשר מרכזו במרחק r ממרכז הדיפול הראשון. הניחו ש- $r > d$.

ג. למה תצטמצם תשובתכם לסעיף קודם עבור $r >> d$? *

הדרכה: השתמשו בפיתוח לטור טיילור (או מקלורן) של פונקציית החזקה: $(1+x)^n \approx 1+nx+\frac{n(n-1)}{2}x^2 \ldots +$.

תשובות סופיות:

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

2) $3.897\cdot10^{-3}\ \mathrm{N}$

3) $\sqrt{\frac{mg}{k}}\tan(15°)L^2\left(2-\sqrt{3}\right)$

4) א. $\frac{1}{\sqrt{2}}a$ ב. $\frac{4kQ}{\sqrt{27}a^2}$ ג. $\frac{1}{\sqrt{2}}a$

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

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

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

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

התפלגות מטען רציפה:

רקע:

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

אלמנט המטען של חתיכה קטנה הוא:

$$dq = \lambda d\,l / \sigma\, d\,s / \rho\, dv$$

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

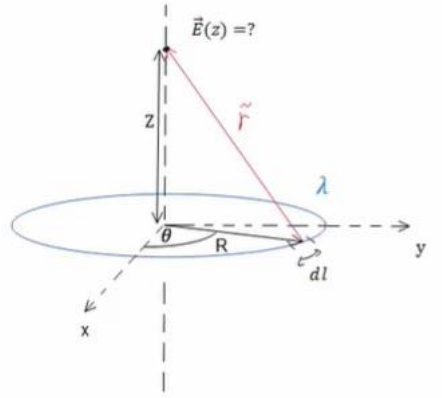
שאלות:

1) התפלגות מטען רציפה-תיל מכופף



תיל אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליח' אורך λ מכופף לחצי מעגל בעל רדיוס R.
מצא את השדה במרכז חצי המעגל.

2) שדה של טבעת ודסקה



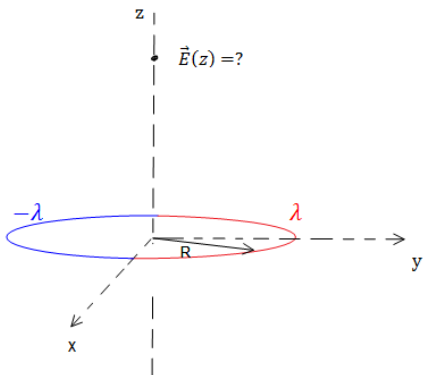
נתונה טבעת בעלת רדיוס R וצפיפות מטען ליחידת אורך λ.

א. חשב את השדה של טבעת ברדיוס R הטעונה בצפיפות מטען ליחידת אורך λ לאורך ציר הסימטריה של הטבעת.

ב. חשב את השדה החשמלי של דיסקה ברדיוס R הטעונה בצפיפות מטען σ לאורך ציר הסימטריה של הדיסקה.

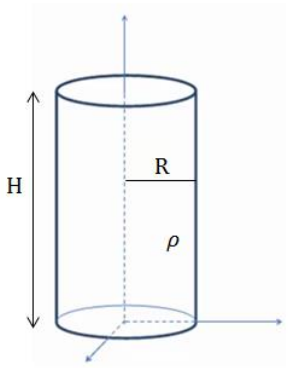
3) טבעת חצי חצי

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



4) שדה של גליל מלא

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



5) טבעת עם צפיפות לא אחידה

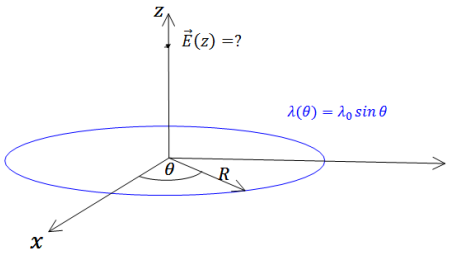
טבעת ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משתנה התלויה בזווית עם ציר ה- x .
$\lambda(\theta)=\lambda_0 \sin\theta$.

R , λ_0 קבועים נתונים.

א. מהו סך המטען על הטבעת?

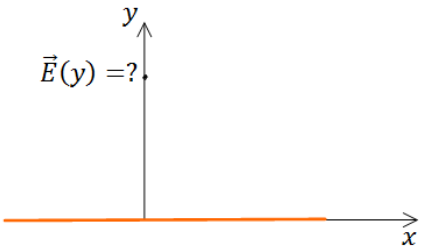
ב. מצא את השדה החשמלי בכל נקודה על ציר הסימטריה של הטבעת (גודל וכיוון).

ג. מצא מהו השדה החשמלי עבור $z >> R$.
איזה שדה מאפיין מתקבל? ומדוע? (סעיף זה קשור לנושא של דיפולים).

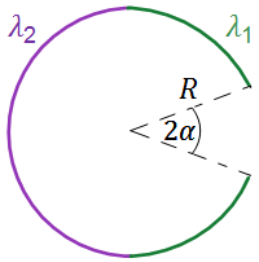


6) שדה של תיל סופי

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

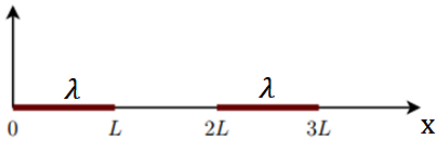


7) שדה של טבעת עם חלק חסר



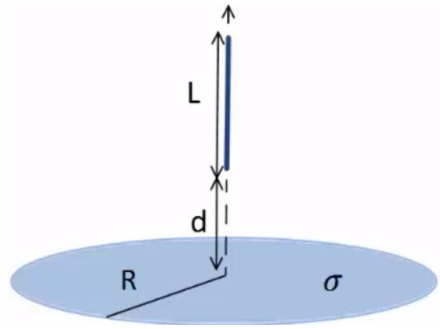
במערכת הבאה ישנה טבעת ברדיוס R שחציה הימני טעון בצפיפות מטען λ_1 וחציה השמאלי טעון בצפיפות מטען λ_2.
לחציה הימני חסר חלק באורך קשת הנשען מול הזווית 2α.
מצא את השדה במרכז הטבעת.

8) כוח של מוט על מוט



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

9) כוח של מוט על דסקה



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

10) חרוט קטום**

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

החרוט טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידית שטח σ .

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

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

ב. חשבו את הכוח הפועל על המטען מהחרוט.
(הדרכה: השתמש בסופרפוזיציה של טבעות, השטח של טבעת אינפיניטסימלית בעובי dr הנמצאת במרחק r מקודקוד החרוט הוא: $dS = 2\pi r \sin\theta dr$ בקואורדינטות כדוריות).

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

תשובות סופיות:

1) 0

2) א. $\frac{k\lambda R\pi z}{\left(R^2+z^2\right)^{\frac{3}{2}}}\begin{cases}\hat{z} & z>0\\ -\hat{z} & z<0\end{cases}$ ב. $2\pi k\sigma z\left(\frac{1}{z}-\frac{1}{\sqrt{R^2+z^2}}\right)$

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

4) $2\pi\sigma k$

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

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

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

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

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

10) א. לא, כי המרחק בין המטען למטענים בקודקוק הוא אפס ואי אפשר לחשב כוח כאשר המרחק הוא אפס. ב. $\vec{F}=q\pi\sigma k\sin\left(2\theta\right)\ln 2\cdot\hat{z}$.
ג. החרוט הקטום הופך לדיסקה עם חור והשדה במרכז מתאפס.

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 3 - חוק גאוס

תוכן העניינים

1. הסברים בסיסיים 19
2. תרגול נוסף 24

הסברים בסיסיים:

רקע:

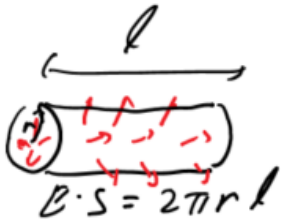
חוק גאוס:

$$\oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = \frac{1}{\varepsilon_0} Q_{in}$$

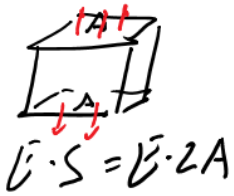
$$Q_{in} = \int \rho \, \mathrm{d}V$$

$\oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$ נקרא השטף של השדה החשמלי ומסומן ב ϕ_E

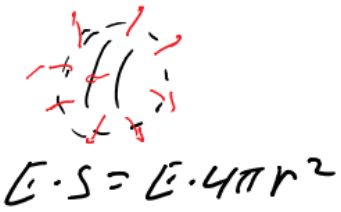
המקרים של חוק גאוס:



1. תיל / גליל / מעטפת גלילית אינסופיים.
במקרים האלו נבנה מעטפת גלילית והשטף
יהיה $E2\pi rl$, כאשר l ו- r הם אורך ורדיוס המעטפת.



2. מישור אינסופי.
במקרים האלו נבנה מעטפת בצורת קובייה והשטף
יהיה $E2A$, כאשר A זה שטח הפאות המקבילות למשטח.



3. כדור / קליפה כדורית.
במקרים האלו נבנה מעטפת כדורית והשטף
יהיה $E4\pi r^2$, כאשר r זה רדיוס המעטפת.

שדה של תיל אינסופי:

$$\vec{E} = \frac{\lambda \hat{r}}{2\pi\varepsilon_0 r}$$

λ צפיפות מטען ליחידת אורך של התיל.

שדה של מישור אינסופי (דק):

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

σ צפיפות מטען ליחידת שטח של הלוח.

שדה מחוץ לכדור / קליפה כדורית:

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

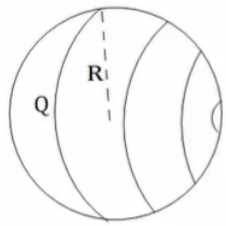
כמו מטען נקודתי.

חוק דאוס הדיפרנציאלי:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

שאלות:

1) שדה של קליפה כדורית

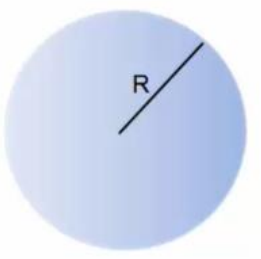


נתונה קליפה כדורית בעלת רדיוס R.
מצאו את השדה בכל המרחב.

2) שדה של כדור

נתון כדור בעל רדיוס R וצפיפות מטען פחית אחידה ρ.
מצאו את השדה בכל המרחב.

3) שדה של כדור עם צפיפות לא אחידה

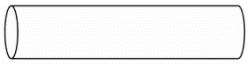


נתון כדור בעל רדיוס R וצפיפות התלויה במרחק ממרכז הכדור. r קבוע ונתון: $\rho(r)=\rho_0\frac{r}{R}$.
מצאו את התפלגות השדה במרחב (בתוך ומחוץ לכדור).

4) שדה של תיל אינסופי

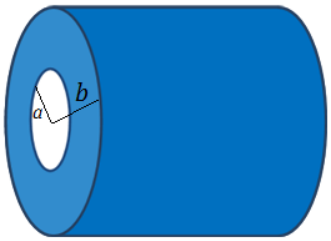
נתון תיל אינסופי בעל צפיפות λ.
מצאו את השדה במרחב.

5) שדה של גליל אינסופי



נתון גליל אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת נפח ρ ורדיוס ב-R.
מצאו את השדה במרחב.

6) קליפה גלילית עבה



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: $H>>a\ ,\ b$.

7) שדה של לוח אינסופי



נתון משטח אינסופי בעל צפיפות מטען ליחידת שטח σ.
מצאו את השדה במרחב.

8) לוח עם עובי



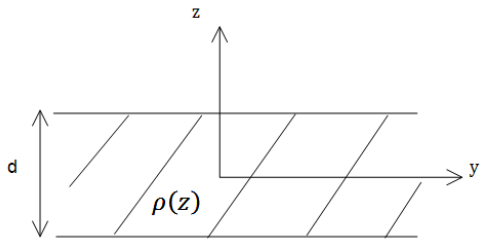
נתון מישור בעל שטח A ועובי d.
המישור טעון בצפיפות מטען קבועה ליחידת נפח ρ.

א. מצאו את השדה רחוק מאוד מהמישור.

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

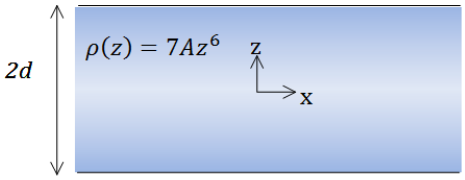
ג. מניחים אלקטרון בגובה $Z_0 < \frac{d}{2}$, מצאו את מיקום האלקטרון כפונקציה של הזמן בהנחה שצפיפות המטען במישור חיובית.

9) מישור עבה עם צפיפות אנטי סימטרית



מישור אינסופי בעל עובי d טעון בצפיפות מטען כתלות במרחק ממרכז המישור $\rho(z) = Az$,
A קבוע נתון.
מצאו את השדה החשמלי בכל המרחב שיוצר המטען במישור.

10) מישור עבה עם צפיפות משתנה



מישור אינסופי בעובי 2d טעון בצפיפות מטען משתנה $\rho(z) = 7Az^6$, כאשר A קבוע נתון.
ציר ה-z אנך למישור וראשיתו במרכז המישור (המישור אינסופי ב-y , x, ראה ציור).

א. מצאו את השדה החשמלי בכל המרחב.

ב. הראו שחוק גאוס הדיפרנציאלי מתקיים בכל המרחב.

ג. מצאו את הרוטור של השדה החשמלי $\vec{\nabla} \times \vec{E}$ בכל המרחב, והסבר את התוצאה.

תשובות סופיות:

1) $\vec{E}=\begin{cases}0 & r<R\\ \frac{KQ}{r^2}\hat{r} & R<r\end{cases}$

2) $E=\begin{cases}\frac{\rho r}{3\varepsilon_0}\hat{r} & r<R\\ \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 r^2}\hat{r} & R<r\end{cases}$

3) $E=\begin{cases}\frac{\rho_0 r^2}{4\varepsilon_0 R} & r<R\\ \frac{\rho_0 R^3}{4\varepsilon_0 r^2} & r>R\end{cases}$

4) $\vec{E}=\frac{2k\lambda}{r}\hat{r}$

5) $\vec{E}=\frac{\rho r}{2\varepsilon_0}\hat{r}$

6) $\vec{E}=\frac{C(b-a)}{\varepsilon_0 r}\hat{r}$

7) $\vec{E}=\begin{cases}\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{z} & z>0\\ -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{z} & z<0\end{cases}$

8) א. $\vec{E}=\frac{kpdA}{r^2}\hat{r}$ ב. $\vec{E}=\begin{cases}\frac{\rho d}{2\varepsilon_0}\hat{z} & z>\frac{d}{2}\\ -\frac{\rho d}{2\varepsilon_0}\hat{z} & z<-\frac{d}{2}\end{cases}$ ג. $z(t)=A\cos\left(\sqrt{\frac{|e|\rho}{\varepsilon_0 m}}t\right)$

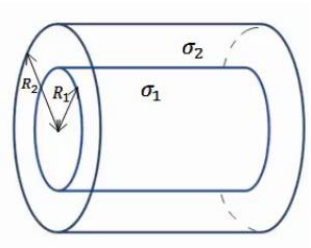
9) $\vec{E}=-\frac{A}{\varepsilon_0 z}\left[\left(\frac{d}{2}\right)^2-z^2\right]\hat{z}$

10) א. $\vec{E}=\frac{1}{\varepsilon_0}A\cdot z^7\hat{z}$ ב. שאלת הוכחה. ג. שאלת הוכחה.

תרגול נוסף:

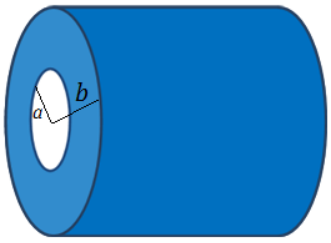
שאלות:

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

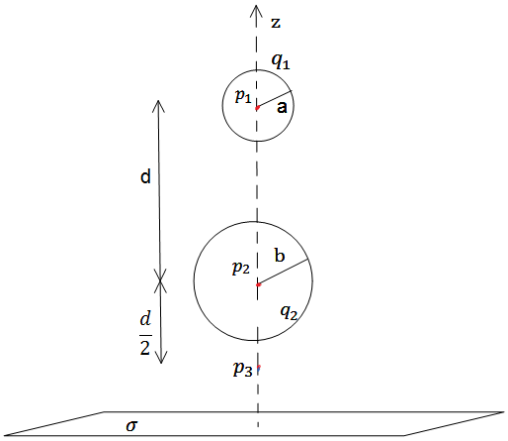


קליפה גלילית עבה בעלת רדיוס פנימי a,
רדיוס חיצוני b וגובה H טעונה בצפיפות מטען
נפחית $\rho(r)=\frac{c}{r}$, כאשר c קבוע נתון ו-r הוא
המרחק מציר הסימטריה של הקליפה.

א. מצא את המטען הכולל בקליפה.

ב. מצא את השדה בכל המרחב אם: $H >> a\ ,\ b$.

3) משטח ושתי קליפות כדוריות



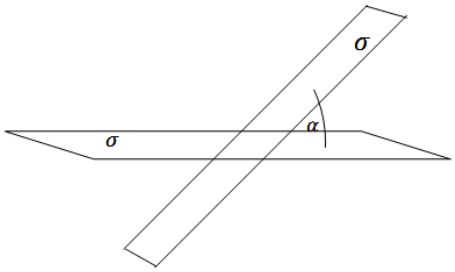
שתי קליפות כדוריות בעלות רדיוסים
שונים $a < b$, נמצאות במרחק $d > 2b$
אחת מעל השנייה.
הקליפות טעונות במטענים q_1 , q_2 בהתאמה.
במאונך לציר המחבר בין הקליפות ומתחת
לקליפה התחתונה (עם רדיוס b) מונח מישור
אינסופי הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח σ.
מצא את השדה בנקודות הבאות.

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

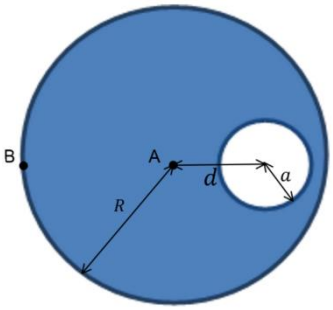


שני מישורים אינסופיים טעונים בצפיפות מטען ליחידת שטח σ. המישורים נמצאים בזווית α אחד מהשני.

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

ב. מצא את השדה מעל שני המישורים.

5) כדור עם חור



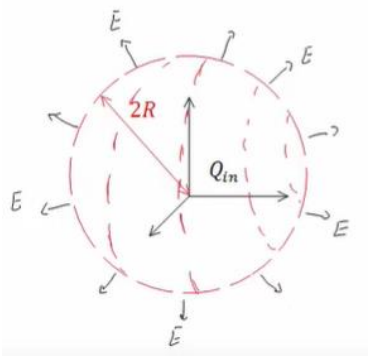
בתוך כדור הטעון בצפיפות מטען אחידה ρ קיים חלל כדורי בעל רדיוס a. המרחק של מרכז החלל ממרכז הכדור הוא d , רדיוס הכדור הגדול הוא R

א. מצאו את השדה בנקודה A .

ב. מצאו את השדה בנקודה B .

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

6) מטען כלוא

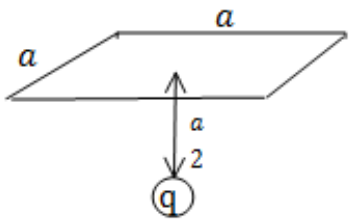


נתונה פונקציית השדה החשמלי

במרחב : $\vec{E} = \frac{\rho_0 R^3}{\varepsilon_0(r^2+R^2)}\hat{r}$.

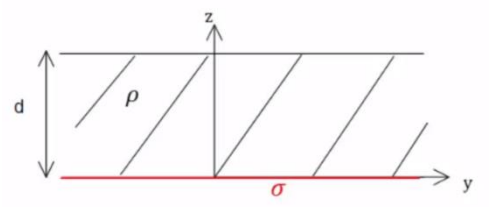
כאשר R , ρ_0 קבועים נתונים, ו-r הוא המרחק מהראשית בקואורדינטות כדוריות,
מצא את כמות המטען הכלואה בתוך מעטפת כדורית בעלת רדיוס 2R.

7) שטף דרך משטח ריבועי



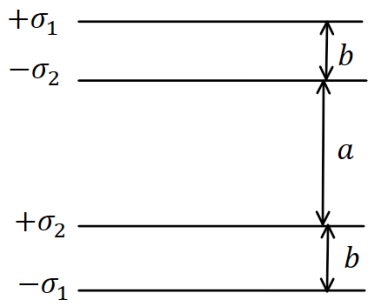
מצא את השטף העובר דרך משטח ריבועי (לא טעון) בעל צלע באורך a הנמצא בגובה $\frac{a}{2}$ מעל מטען נקודתי q.

8) מישור עבה צמוד למישור דק



מישור אינסופי דק בעל צפיפות מטען אחידה 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 בצפיפויות מטען $\sigma_1 = 0.05\ \frac{c}{m^2}$, $\sigma_2 = 0.02\ \frac{c}{m^2}$.
המרחקים בין הלוחות הם: $a = 3\ c.m$, $b = 1\ c.m$
כפי שמצוין בציור וניתן להניח כי מרחקים אלו קטנים בהרבה מצלעות הלוחות.

א. מצא את השדה החשמלי בכל מקום במרחב (בין הלוחות ומעליהן, אין צורך להתייחס למה שקורה בצידי הלוחות).

ב. משחררים פרוטון ממנוחה מהלוח $-\sigma_2$. כמה אנרגיה קינטית "ירוויח" מן המערכת? (הנח שהפרוטון עובר דרך הלוחות ללא הפרעה).

ג. 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: $Q = 6\cdot10^{-6}c$ והמטען הכולל על הלוח העליון זהה בגודלו והפוך בסימנו. משחררים אלקטרון ממנוחה קרוב מאוד ומתחת ללוח העליון: $\left(q_e = -1.6\cdot10^{-19}c\ ,\ m_e = 9.1\cdot10^{-31}kg\right)$.

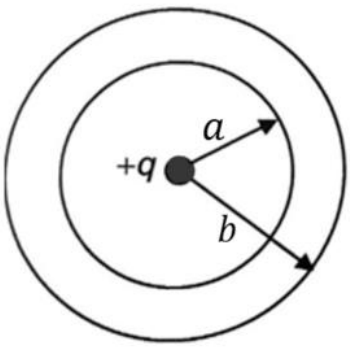
א. כמה זמן ייקח לאלקטרון להגיע אל הלוח התחתון?

ב. מהי מהירותו בזמן פגיעתו בלוח?

ג. 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:

1) $\vec{E}=\left(\sigma_1 R_1+\sigma_2 R_2\right)\frac{1}{\varepsilon_0 r}\hat{r}$

2) $\vec{E}=\frac{C\left(b-a\right)}{\varepsilon_0 r}\hat{r}$

3) א. $\vec{E}=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{z}+\frac{kq_2\hat{z}}{d^2}+0$ ב. $\vec{E}=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{z}+0+\left(-\frac{kq_1}{d^2}\hat{z}\right)$

ג. $\vec{E}=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{z}-\frac{kq_2}{\frac{d^2}{4}}\hat{z}-\frac{kq_1}{\frac{9d^2}{4}}\hat{z}$

4) בין המישורים: $\vec{E}_T=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(\left(1+\cos\alpha\right)+\sin\alpha\hat{y}\right)$

מעל המישורים: $\vec{E}_T=\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(\left(1+\cos\alpha\right)-\sin\alpha\hat{y}\right)$

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

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

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

8) $\frac{q}{3\varepsilon_0}$

9) א. $\vec{E}=-5.65\cdot10^{q}\frac{N}{C}\hat{y}$ ב. $2.53\cdot10^{-11}\text{J}$ ג. $v=1.04\cdot10^{8}\frac{m}{sec}$

10) א. $t\approx1.1\cdot10^{-12}\,\text{sec}$ ב. $V\left(t\right)=3.65\cdot10^{9}\frac{m}{sec}$

ג. $E_k=6.06\cdot10^{-12}\text{J}$

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

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 4 - פוטנציאל

תוכן העניינים

1. מהו פוטנציאל 28
2. שיטה 1, סופרפוזיציה 30
3. שיטה 2, שאלות חוק גאוס 31
4. שיטה 3, חישוב מפורש 33
5. סיכום ותרגילים נוספים 34

מהו פוטנציאל:

רקע:

פוטנציאל:

$$\varphi = -\int \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$$

אנרגיה פוטנציאלית חשמלית:

$$U = q\varphi$$

מתח:

$$V = \Delta\varphi$$

עבודה של הכוח החשמלי:

$$W = -\Delta U = -q\Delta\varphi$$

עבודה להזיז מטען:

$$W = \Delta U = q\Delta\varphi$$

פוטנציאל של מטען נקודתי:

$$\varphi = \frac{kq}{r}$$

מוליכים:

- מטענים חופשיים לזוז.
- השדה (או ליתר דיוק הכוח) יהיה אפס בתוך המוליך.
- על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.
- המטען הכולל בתוך המוליך הוא אפס (במצב סטטי) למעט על השפה.
- הפוטנציאל במוליך אחיד (קבוע).

הארקה - חיבור לקרקע , מאפסת את הפוטנציאל.

שאלות:

1) עבודה להביא מטען מהאינסוף

מהי העבודה הדרושה להביא מטען $Q = 2 \cdot 10^{-6} c$

מהאינסוף למרחק $r = 50 c.m$ ממטען $Q = 3 \cdot 10^{-6} c$

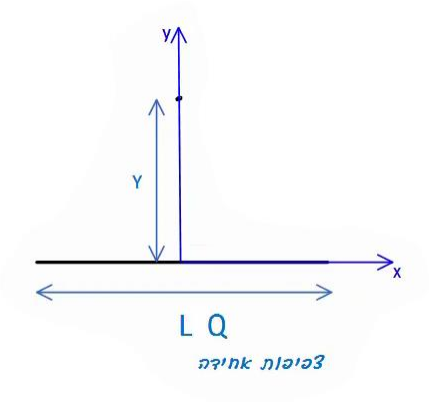
המקובע במקום?

תשובות סופיות:

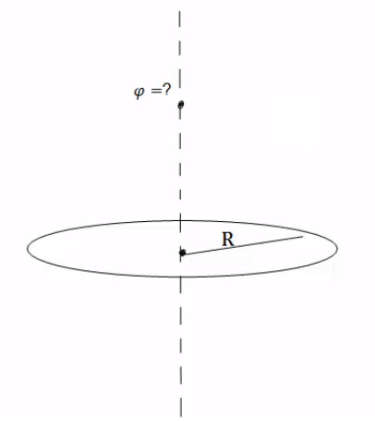
1) $W = 108 \cdot 10^{-3} J$

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.



2) **פוטנציאל של טבעת לאורך ציר הסימטריה**
מצא את הפוטנציאל של טבעת ברדיוס R עם צפיפות מטען ליחידת אורך λ לאורך ציר הסימטריה.

תשובות סופיות:

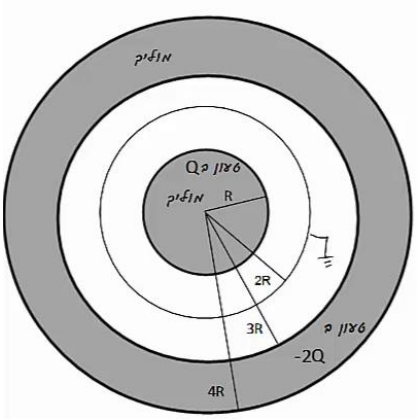
1) $$\varphi = k\lambda \ln \left| \frac{\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}}{-\frac{L}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}} \right|$$

2) $$\varphi = \frac{2\pi k \lambda R}{\sqrt{R^2 + z^2}}$$

שיטה 2, שאלות חוק גאוס:

שאלות:

1) דרך שניה, שאלות חוק גאוס



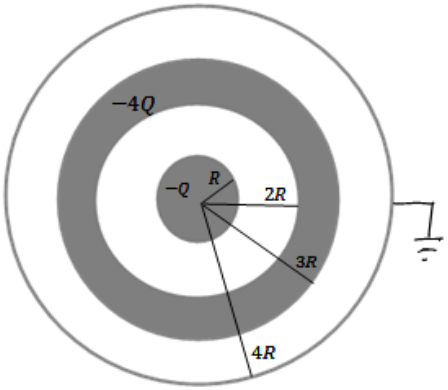
כדור מוליך בעל רדיוס R טעון במטען Q.
מסביב לכדור ברדיוס 2R, נמצאת מעטפת כדורית דקה, מוליכה ומוארקת.
כל המערכת מוקפת במעטפת עבה ומוליכה עם רדיוס פנימי 3R ורדיוס חיצוני 4R.
המעטפת החיצונית טעונה במטען 2Q- (ראה ציור).
לכדור ולמעטפות מרכז משותף, R , Q נתונים.

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 מוליכה, 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 $L >> R$ 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 ρ.

א. מצא את פונקציית השדה בכל המרחב.

ב. מצא את פונקציית הפוטנציאל בכל במרחב.

תשובות סופיות:

1) א. פוטנציאל: התפלגות: ראה סרטון

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

2)

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

3) א. ראה סרטון

ב.

$$\varphi=\frac{Q}{2\pi L\varepsilon_0}\cdot\begin{cases}\ln\frac{1}{2}+5\ln\frac{3}{4} & r<R\\ \ln\frac{r}{2R}+5\ln\frac{3}{4} & R<r<2R\\ 5\ln\frac{3}{4} & 2R<r<3R\\ 5\ln\frac{r}{4R} & 3R<r<4R\\ 0 & 4R<r\end{cases}$$

ג.

$$v=\sqrt{\frac{|e|Q\ln 2}{\pi L\varepsilon_0 m_p}}$$

4) א.

$$E=\begin{cases}\frac{\rho r}{3\varepsilon_o}\hat{r} & r<R\\ \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 r^2}\hat{r} & R<r\end{cases}$$

ב.

$$\varphi=\begin{cases}-\frac{\rho r^2}{6\varepsilon_o}+C_1 & r<R\\ -\left(-\frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 r}\right)+C_2 & R<r\end{cases}$$

שיטה 3, חישוב מפורש:

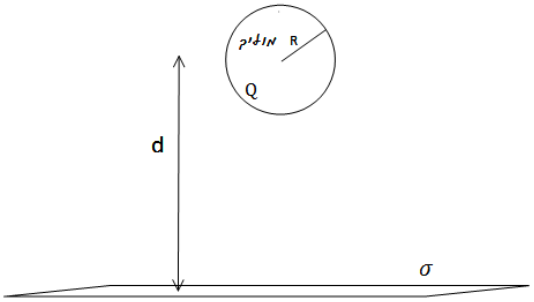
שאלות:

1) דרך שלישית, חישוב מפורש

נתון משטח אינסופי הטעון בצפיפות מטען משטחית σ.

במרחק d מעל המשטח ממוקם כדור מוליך בעל רדיוס R ומטען Q.

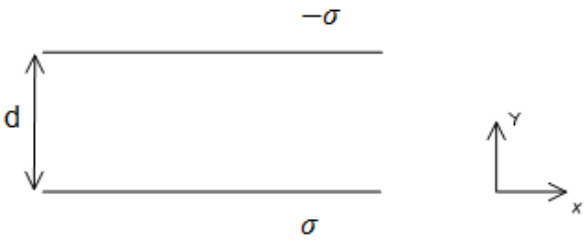
מצא את הפרש הפוטנציאלים בין המישור לבין שפת הכדור.



2) מתח בין לוחות

מצא את הפרש הפוטנציאלים בין שני לוחות, כאשר לוח אחד טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת שטח σ והלוח השני טעון בצפיפות אחידה ליחידת שטח $-\sigma$.

נתון כי המרחק בין הלוחות הוא d וכי שטח הלוחות גדול בהרבה מהמרחק ביניהם.



תשובות סופיות:

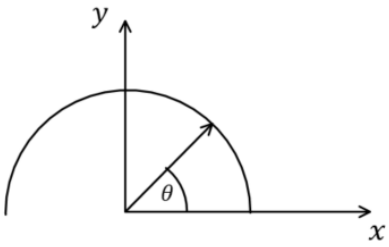
1) $\Delta\varphi_{B\to A}=-\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(d-R)+\frac{kQ}{R}-\left[Q+\frac{KQ}{\lambda}\right]$

2) $V=|E|d$

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) חישוב פוטנציאל במרכז חצי טבעת עם צפיפות משתנה



תיל מכופף לחצי טבעת ברדיוס R. מרכז הטבעת (או מרכז המעגל השלם) הוא בראשית הצירים וחצי הטבעת נמצאת בחלק החיובי של ציר ה-y (ראו איור).
חצי הטבעת טעונה בצפיפות מטען לא אחידה ליחידת אורך: $\lambda(\theta)=\lambda_0\sin\theta$ כאשר θ והיא הזווית עם ציר ה-x החיובי ו- $\lambda_0=2\cdot10^{-12}\frac{C}{m}$.
מצאו את הפוטנציאל בראשית.

2) יצירת היסוד קיריום

בשנת 1944 המדענים גלן סיבורג (חתן פרס נובל לכימיה), ראלף ג'יימס 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: $M=6.6\times10^{-27}\,\text{kg}$.

א. אפשר להתייחס בקירוב אל גרעין הפלוטוניום כאל כדור ברדיוס: $R=7\times10^{-15}\,\text{m}$, בו המטען של 94 הפרוטונים מפוזר באופן אחיד בנפחו.
אם כך, מה הפוטנציאל על פניו (יחסית לאינסוף)?

ב. מה צריכה להיות האנרגיה של גרעין ההליום בשביל שהוא יוכל להגיע אל פני גרעין הפלוטוניום?
תנו את התשובה גם ביחידות eV וגם ביחידות J .

ג. מה צריכה להיות המהירות שלו רחוק מהגרעין ("באינסוף")?

ד. באיזה מרחק ממרכז הגרעין המהירות שלו יורדת ל-80% מהמהירות בסעיף ג'?

3) דיפול

במרחב נמצאים שני מטענים:

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

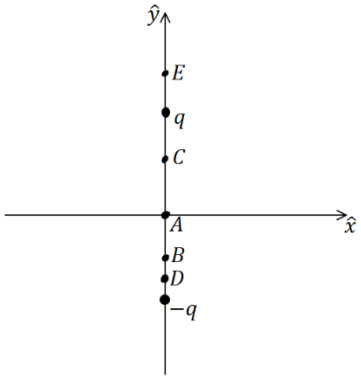
$q_2=-q$ בנקודה $\vec{r}_2=a\hat{y}=(a,0,0)$

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



4) 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.
ציינו את המיקומים של נקודות בהן הפוטנציאל ידוע ואת ערכו בהן.

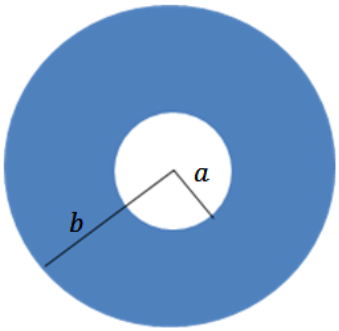
5) מטען על השפה בצורה לא אחידה

מטען Q מפוזר בצורה לא אחידה על שפה של קליפה כדורית ברדיוס R.

א. מה הפוטנציאל במרכז הקליפה?

ב. האם ניתן לחשב את הפוטנציאל על השפה?

6) דסקה עם חור



בדסקה בעלת רדיוס b קדחו חור במרכזה ברדיוס a.
הדסקה טעונה בצפיפות מטען ליחידת שטח: $\sigma(r)=\frac{D}{r^2}$, D קבוע לא נתון.

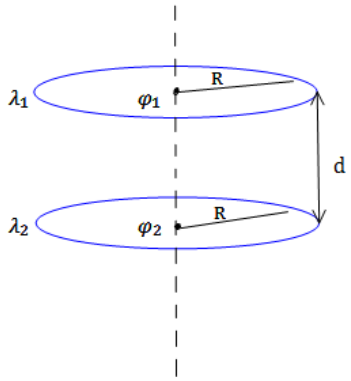
א. מצא את היחידות של D.

ב. מצא את D אם נתון גם המטען הכולל בדסקה Q.

ג. מצא את הפוטנציאל במרכז הדסקה.

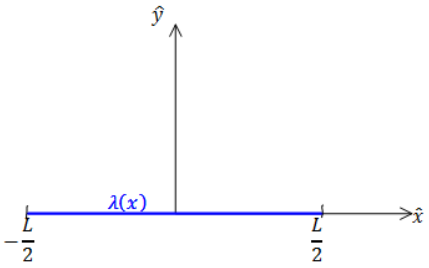
ד. בדוק מה קורה בגבול של $a \to b$.

7) טבעת מעל טבעת



שתי טבעות זהות בעלות רדיוס R מונחות האחת מעל ובמקביל לשנייה כך שהמרחק בניהן הוא d.
הטבעת העליונה טעונה בצפיפות מטען ליחידת אורך λ_1 ונתון כי הפוטנציאל במרכזה הוא φ_1 .
הטבעת התחתונה טעונה בצפיפות מטען ליחידת אורך λ_2 ונתון כי הפוטנציאל במרכזה הוא φ_2 .
מצא את צפיפויות המטען של הטבעות אם נתון כי הפוטנציאל באינסוף מתאפס.

8) תיל עם צפיפות משתנה



תיל דק מונח על ציר ה-x כך שמרכזו בראשית הצירים. אורך התיל הוא L והוא טעון בצפיפות מטען ליחידת אורך: $\lambda(x)=\lambda_0\frac{x}{L}$.

א. מצא את המטען הכולל בתיל.

ב. מצא את הפוטנציאל על ציר ה-x למעט בתחום בו נמצא התיל.

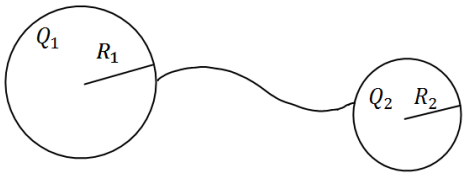
9) כדור זז מחבר בין שני כדורים



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?

10) שני כדורים מוליכים מחוברים בחוט

שני כדורים מוליכים טעונים ונמצאים במרחק גדול מאוד זה מזה.
רדיוסי הכדורים והמטענים שלהם הם: R_1, R_2, Q_1, Q_2.
מחברים בין הכדורים באמצעות חוט מוליך.

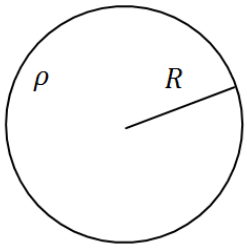


א. מה יהיה המטען על כל כדור לאחר זמן רב?

ב. כמה מטען זרם דרך החוט ולאיזה כיוון?

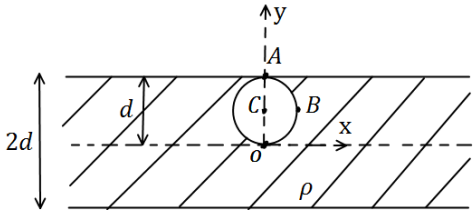
11) פוטנציאל של גליל מלא טעון בצפיפות אחידה

מצא את הפוטנציאל בכל המרחב של גליל אינסופי ברדיוס R וצפיפות מטען אחידה ונתונה ρ.



12) חור במישור

לוח אינסופי בעובי 2d טעון בצפיפות מטען אחידה וחיובית ליחידת נפח ρ.
בתוך הלוח ישנו חלל כדורי בקוטר d.



א. חשב את השדה החשמלי בנקודות: $O(0,0), A(0,d), B(0.5d,0.5d), C(0,0.5d)$.

ב. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ו-B.

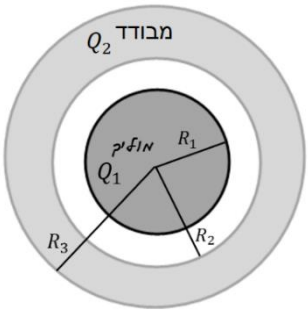
ג. משחררים מטען $q>0$ בעל מסה m מהנקודה C.

i. לאיזה כיוון יתחיל לנוע המטען אם מתעלמים מהשפעת כוח הכובד?

ii. מהי מהירות המטען רגע לפני שהוא מגיע לדופן החלל?

13) כדור מוליך מוקף בקליפה מבודדת

כדור מוליך בעל רדיוס R_1 טעון במטען Q_1.
הכדור נמצא במרכזה של קליפה כדורית מבודדת בעלת רדיוס פנימי R_2 ורדיוס חיצוני R_3.
הקליפה טעונה באופן הומוגני במטען Q_2.



א. חשב השדה החשמלי והפוטנציאל בכל המרחב.

ב. חזור על החישוב הזה במקרה שבו הכדור מוארק.

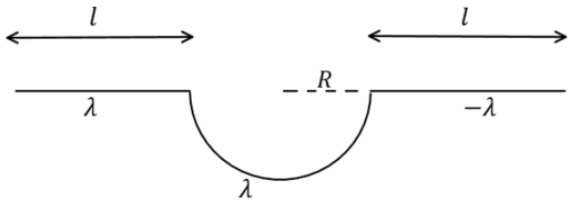
14) שדה ופוטנציאל במרכז של תיל עם חצי עיגול

תיל טעון מורכב משלושה חלקים, שני קווים ישרים בעלי אורך l וחצי עיגול ברדיוס R שמחבר ביניהם, ראו איור. החלק הישר השמאלי וחצי העיגול טעונים בצפיפות מטען אחידה λ שאינה נתונה. החלק הישר הימני טעון ב $-\lambda$.

א. מצאו את λ אם ידוע שסך כל המטען במערכת הוא Q.

ב. חשבו את השדה החשמלי במרכז חצי העיגול.

ג. חשבו את הפוטנציאל החשמלי במרכז חצי העיגול.



תשובות סופיות:

1) $3.6\cdot10^{-2}$

2) א. $1.93\cdot10^{7}\,\mathrm{V}$ ב. $6.17\cdot10^{-12}\,\mathrm{J}$

ג. $v=4.32\cdot10^{7}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sec}}$ ד. $r=1.95\cdot10^{-14}\,\mathrm{m}$

3) א. ראה סרטון ב. $y=0$

ג. ראה סרטון ד. ראה סרטון

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

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

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

ו. ראו סרטון.

5) א. $\frac{kQ}{R}$ ב. לא

6) א. $[D]=[c]$ ב. $D=\frac{Q}{2\pi\ln\frac{b}{a}}$ ג. $\varphi=\frac{kQ}{\ln\frac{b}{a}}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$

ד. $\frac{kQ}{a}$

7) $\varphi_1=2\pi k\lambda_1+\frac{2\pi k\lambda_2 R}{\sqrt{R^2+d^2}}\ ,\ \varphi_2=2\pi k\lambda_2+\frac{2\pi k\lambda_1 R}{\sqrt{R^2+\left(-d^2\right)}}$

8) א. 0 ב. $\varphi=\frac{k\lambda_0}{L}\left(-L+x\ln\left(\frac{x+\frac{L}{2}}{x-\frac{L}{2}}\right)\right)$

9) $\frac{3}{8}F$

10) א. $q_2'=\frac{R_2\left(Q_1+Q_2\right)}{R_1+R_2}$ ב. אם $\frac{Q_1}{Q_2}>\frac{R_1}{R_2}$ אז המטען עבר משמאל לימין,

אם $\frac{Q_1}{Q_2}<\frac{R_1}{R_2}$ אז עבר מימין לשמאל.

11) $$\varphi=\begin{cases}-\frac{\rho}{4\varepsilon_0}\left(r^2-R^2\right) & r\le R\\ -\frac{\rho R^2}{2\varepsilon_0}\ln\frac{r}{R} & r\ge R\end{cases}$$

12 א. $\vec{E}_O=\frac{\rho d}{6\varepsilon_0}\hat{z}$, $\vec{E}_A=\frac{5\rho d}{6\varepsilon_0}\hat{z}$, $\vec{E}_B=\frac{\rho d}{6\varepsilon_0}\hat{x}$, $\vec{E}_C=\frac{\rho d}{2\varepsilon_0}\hat{z}$

ב. $\frac{3\rho d}{8\varepsilon_0}$ ג. i. למעלה. ii. $V=\sqrt{\frac{2q\rho d^2}{3\varepsilon_0 m}}$

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

ב.
$$\varphi(r)=\begin{cases}C_1 & r<R_1\\ \frac{kQ_1}{r}+C_2 & R_1<r<R_2\\ \frac{kQ_1}{r}-\frac{kQ_2r^2}{2(R_3^3-R_2^3)}-\frac{kQ_2R_2^3}{(R_3^3-R_2^3)r}+C_3 & R_2<r<R_3\\ \frac{k(Q_1+Q_2)}{r}+C_4 & R_3<r\end{cases}$$

14 א. $\lambda=\frac{Q}{\pi R}$ ב. $\vec{E}=\frac{2K\lambda}{R}\hat{y}+2K\lambda\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{l+R}\right)\hat{x}$

ג. $\varphi=K\lambda\pi$

פיזיקה 2 חשמל 20164

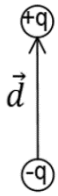
פרק 5 - דיפול חשמלי

תוכן העניינים

1. הכל על דיפול 41

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:

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

שאלות:

1) 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 $\left(a,-\sqrt{2}a,0\right)$ עם מהירות $(0,0,v)$ יבצע תנועה מעגלית.

תשובות סופיות:

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

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 6 - מציאת התפלגות מטען

תוכן העניינים

1. מציאת התפלגות מטען 43

מציאת התפלגות מטען:

רקע:

<u>צפיפות נפחית</u>:

$$\rho = \varepsilon_0 \vec{\nabla} \cdot \vec{E}$$

(הנוסחה הופיעה גם בפרק של חוק גאוס)

<u>צפיפות משטחית</u>:

$$\sigma = \varepsilon_0 \Delta E_\perp$$

<u>מטען נקודתי</u>: אם יש שדה מהצורה $\vec{E} = \frac{\alpha}{r^2}\hat{r}$ (בקורדינטות **כדוריות**) באזור הכולל את הראשית אז יש מטען נקודתי כך ש $q = \frac{\alpha}{\mathrm{k}}$.

<u>צפיפות מטען אורכית</u>: אם יש שדה מהצורה $\vec{E} = \frac{\alpha}{r}\hat{r}$ (בקורדינטות **גליליות**) באזור הכולל את הראשית אז יש צפיפות מטען אורכית כך ש $\lambda = 2\pi\varepsilon_0\alpha$.

<u>מציאת שדה מהפוטנציאל</u>:

$$\vec{\mathrm{E}} = -\vec{\nabla}\varphi$$

(הנוסחה הופיעה גם בפרק של פוטנציאל)

	קרטזיות	גליליות	כדוריות
grad $\vec{\nabla} f$	$\frac{\partial f}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y}\hat{y} + \frac{\partial f}{\partial z}\hat{z}$	$\frac{\partial f}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\hat{\theta} + \frac{\partial f}{\partial z}\hat{z}$	$\frac{\partial f}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{rsin\varphi}\frac{\partial f}{\partial \theta}\hat{\theta} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\hat{z}$
div $\vec{\nabla} \cdot \vec{F}$	$\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}$	$\frac{1}{r}\frac{\partial (rF_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial F_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial F_z}{\partial z}$	$\frac{1}{r^2}\frac{\partial (r^2F_r)}{\partial r} + \frac{1}{r\,sin\,\varphi}\frac{\partial F_\theta}{\partial \theta} + \frac{1}{r\,sin\,\varphi}\frac{\partial}{\partial \varphi}(A_\varphi \sin\varphi)$
Rot/curl $\vec{\nabla} \times \vec{F}$	$\left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}\right)\hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z}\right)\hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y}\right)\hat{z}$	$\left(\frac{1}{r}\frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_\theta}{\partial z}\right)\hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r}\right)\hat{\theta} + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial (rF_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta}\right)\hat{z}$	$\frac{1}{r\,sin\,\theta}\left(\frac{\partial}{\partial \theta}(F_\theta\, sin\,\varphi) - \frac{\partial F_\varphi}{\partial \theta}\right)\hat{r} + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial}{\partial r}(rF_\varphi) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi}\right)\hat{\theta} + \frac{1}{r}\left(\frac{1}{sin\,\theta}\frac{\partial F_r}{\partial \theta} - \frac{\partial}{\partial r}(r \cdot F_\theta)\right)\hat{\varphi}$

(הטבלה הופיע גם בפרק המבוא המתמטי)

שאלות:

1) מציאת צפיפות נפחית משטחית קווית ונקודתית

נתונה פונקציית הפוטנציאל הבאה במרחב (בקואורדינטות גליליות):

$$\varphi(r)=\begin{cases}Ar^2, & r<a\\ B\,ln(r)+C, & a<r<b\\ D\,ln(r), & b<r\end{cases}$$

A , B , C , D נתונים.

א. מצאו קשר בין הקבועים.

ב. מצאו את התפלגות המטען במרחב.

ג. כעת נתון כי עוטפים את כל המערכת בגליל אינסופי מוליך מוארק ברדיוס $c>b$. מצאו את פונקציית הפוטנציאל החדשה בכל המרחב.

2) שדה התלוי בזווית

השדה החשמלי במרחב נתון ע"י הפונקציה הבאה בקואורדינטות כדוריות:

$$\vec{E}=\frac{C}{r}\left(\hat{r}+\cos\theta\,\hat{\theta}+\sin\theta\cos\varphi\hat{\varphi}\right)$$

א. מצאו את צפיפות המטען במרחב.

ב. מצאו את כמות המטען הנמצאת בתוך כדור ברדיוס R ע"י אינטגרל על צפיפות המטען.

ג. מצאו שוב את כמות המטען הנמצאת בתוך כדור ברדיוס R ע"י חישוב של השטף של השדה החשמלי ושימוש בחוק גאוס.

3) התפלגות בכדוריות

השדה החשמלי במרחב נתון לפי הפונקציה הבאה:

$$:\vec{E}(r)=\begin{cases}-\frac{72\pi\cdot10^5\left(N\cdot\frac{m}{C}\right)}{r}\hat{r}, & r<1\\ -\frac{144\pi\cdot10^5\left(N\cdot\frac{m^2}{C}\right)}{r^2}\hat{r}, & r>1\end{cases}$$

הקואורדינטות כדוריות.

מצאו את התפלגות המטען במרחב ותארו את המבנה שלה.

תשובות סופיות:

1) ראה סרטון.

2) א. $\vec{\nabla}\vec{E}=\frac{\varepsilon_0 c}{r^2}\left(1-\frac{\sin\theta}{\sin\varphi}+\frac{\sin\theta\cos 2\varphi}{\sin\varphi}\right)$ ב. $4\pi\varepsilon_0 cR$ ג. $4\pi\varepsilon_0 cR$.

3) $\rho(r)=\begin{cases}-\dfrac{2\cdot 10^{-4}\left(\frac{c}{m}\right)}{r^2} & r<1\\ 0 & 1<r\end{cases}$, $\sigma(r=1)=-2\cdot 10^{-4}\frac{c}{m^2}$.

המבנה הוא כדור ברדיוס 1 מטר המלא בצפיפות המטען נפחית ועטוף במעטפת בעלת צפיפות המטען המשטחית.

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 7 - אנרגיה הדרושה לבניית מערכת

תוכן העניינים

1. הרצאה 46
2. תרגילים 47

הרצאה:

רקע:

$$U = \Sigma \frac{1}{2}\varphi_i q_i = \int \frac{\varepsilon_0}{2} E^2 \, dv$$

- הסכום הוא על כל המטענים כפול הפוטנציאל שהם נמצאים בו.
- בנוסחה עם האינטגרל על השדה אפשר להשתמש רק אם אין מטענים נקודתיים או התפלגות קווית.

$\mu_E = \frac{\varepsilon_0}{2} E^2$ נקראת צפיפות האנרגיה החשמלית .

שאלות:

1) הסבר נוסחאות ודוגמה

מצא את האנרגיה הדרושה לבניית קליפה כדורית בעלת רדיוס R וצפיפות מטען משטחית σ.

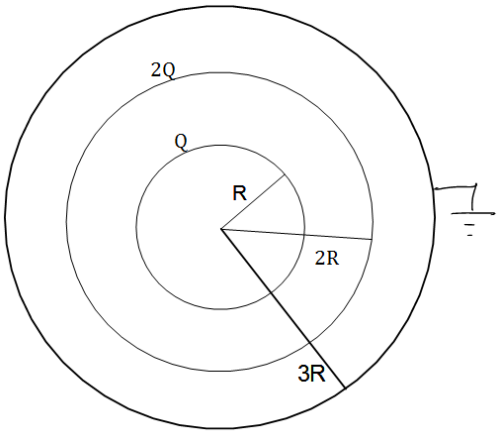
תשובות סופיות:

1) $U = \frac{1}{2}\frac{KQ^2}{R}$

תרגילים:

שאלות:

1) אנרגיה של מערכת שלוש קליפות



קליפה כדורית ברדיוס R טעונה במטען Q המפלג בצורה אחידה. הקליפה מוקפת קליפה נוספת ברדיוס 2R הטעונה במטען 2Q.
שתי הקליפות מוקפות בקליפה שלישית מוליכה ומוארקת ברדיוס 3R.
מצא את האנרגיה הדרושה לבניית המערכת.

2) שתי טיפות מים כדוריות וזהות בעלות רדיוס R טעונות כל אחת במטען Q המפולג באופן אחיד על פניהן. מחברים את הטיפות ויוצרים טיפה אחת חדשה וגדולה שגם בה המטען מפולג באופן אחיד על השפה.

א. מהי האנרגיה העצמית של הטיפות לפני שהתחברו?

ב. מהי האנרגיה העצמית של הטיפה החדשה?

ג. מהי האנרגיה העצמית של מערכת שתי הטיפות בדיוק לפני ההתחברות (כלומר, הטיפות כמעט נוגעות אחת בשניה)?
הנח שהתפלגות המטען על כל טיפה עדיין אחידה.

ד. מהו היחס בין האנרגיה שחישבת בסעיף ב' לסעיף ג'?

תשובות סופיות:

1) $\frac{KQ^2}{R}$

2) א. $\frac{KQ^2}{R}$ ב. $\frac{2KQ^2}{\sqrt[3]{2}R}$ ג. $\frac{3}{2}\frac{KQ^2}{R}$ ד. ≈ 1.058

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 8 - חומרים דיאלקטריים

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים בסיסיים 48

הרצאות ותרגילים בסיסיים:

רקע:

חומר דיאלקטרי - חומר שמכיל דיפולים

במצב רגיל כל דיפול לכיוון שונה והשדה הממוצע בחומר הוא אפס.

כשמכנסים את החומר לשדה חצוני הדיפולים מתיישרים ויוצרים שדה מנוגד לשדה החיצוני.

נסמן:

$\vec{E}_0$ או $\vec{E}_{free}$ - השדה החיצוני

$\vec{E}$ - השדה הכולל

ε_r או κ - מקדם דיאלקטרי של החומר -תכונה של החומר בדר"כ קבוע וידוע.

$$\varepsilon_r > 1$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

השדה בתוך החומר יהיה:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r}$$

(בהנחה שהחומר לינארי ואיזוטרופי).

σ_i - צפיפות מטען מושרית /קשורה. צפיפות מטען שנוצרת על שפת החומר הדיאלקטרי מהקיטוב של הדיפולים.

σ_{free} - צפיפות המטען שיוצרת את השדה החיצוני.

$$\sigma_{free} = \varepsilon_0 \Delta E_{0_\perp}$$

σ_T - צפיפות המטען הכוללת.

$$\sigma_T = \varepsilon_0 \Delta E_\perp$$

$$\sigma_i = \sigma_T - \sigma_{free}$$

$\vec{P}$ - וקטור הפולריזציה. צפיפות הדיפולים ליחידת נפח.

$$\vec{P} = N\vec{p}_1$$

$\vec{p}_1$ - מומנט הדיפול של דיפול יחיד בחומר.

N - מספר הדיפולים ביחידת נפח. יחידות של $\left[\frac{1}{m^3}\right]$.

מומנט הדיפול הכולל בחומר:

$$\vec{p} = \int \vec{P}\,\mathrm{d}V$$

על השפה:

$$\sigma_i \equiv \sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$$

כאשר $\hat{n}$ הוא וקטור יחידה המאונך לשפה כלפי חוץ מהגוף.

אם $\vec{P}$ לא אחיד אז יש גם צפיפות מטען מושרית נפחית בתוך החומר:

$$\rho_i \equiv \rho_b = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}$$

וקטור העתקה:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_f \Leftrightarrow \oint \vec{D} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = Q_{in_f}$$

בחומרים לינארים:

$$\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$$

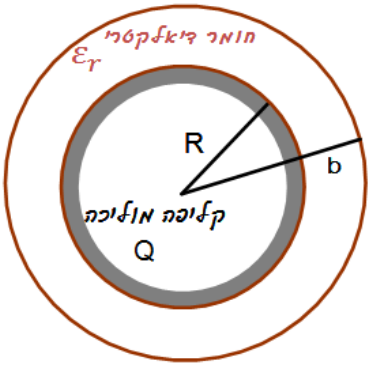
חומר איזוטרופי:

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E}_0$$

שאלות:

1) חומר דיאלקטרי מסביב לקליפה מוליכה

קליפה מוליכה (דקה) ברדיוס R טעונה במטען Q.
מסביב לקליפה נמצאת קליפה נוספת עבה עם רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני b.
מצא את השדה בכל המרחב ואת התפלגות המטען המושרית (קשורה).



תשובות סופיות:

1) השדה במרחב:

$$\vec{E}(r)=\begin{cases}0 & r<\mathrm{R}\\ \dfrac{\mathrm{kQ}}{\varepsilon_{\mathrm{r}}r^2}\hat{r} & \mathrm{R}<r<\mathrm{b}\\ \dfrac{\mathrm{kQ}}{r^2} & \mathrm{b}<r\end{cases}$$

התפלגות המטען המושרית:

$$\sigma_i(\mathrm{b})=\varepsilon_0\left(\frac{\mathrm{kQ}}{\mathrm{b}^2}-\frac{\mathrm{kQ}}{\varepsilon_{\mathrm{r}}\mathrm{b}^2}\right),\ \sigma_i(\mathrm{R})=\frac{\varepsilon_0\mathrm{kQ}}{\mathrm{R}^2}\left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{r}}}-1\right)$$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 9 - נגדים במעגל- מעגלים עם זרם ישר

תוכן העניינים

1. מעגלי זרם ישר בסיסיים 51
2. שיטות מתקדמות לפתרון מעגלים 56
3. מעגלים אינסופיים 58

מעגלי זרם ישר בסיסיים:

רקע:

המעגל החשמלי מורכב מרכיבים חשמליים ומחוטים מוליכים.

הסוללה (או מקור המתח) מספקים רק את המתח או הכוח להניע את המטענים ולא את המטענים עצמם. אלו כבר נמצאים בחוטים המוליכים וברכיבים.

חוט אידיאלי - אינו מפריע לתנועת המטענים , ללא התנגדות.
הפוטנציאל לאורך החוט אחיד.

תנועת המטענים במעגל נקראת זרם. בשביל שיזרום זרם קבוע חייבים מעגל סגור.

זרם:

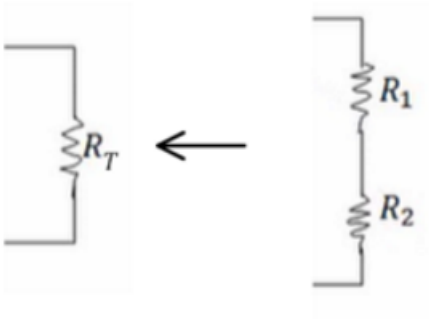
כמות המטען שעוברת (דרך שטח חתך) ביחידת זמן.

$$I = \frac{dq}{dt}$$

חוק אוהם - הקשר בין המתח לזרם בנגד:

$$V = IR$$

חיבור נגדים בטור - נגדים עם זרם זהה:



$$R_T = R_1 + R_2$$

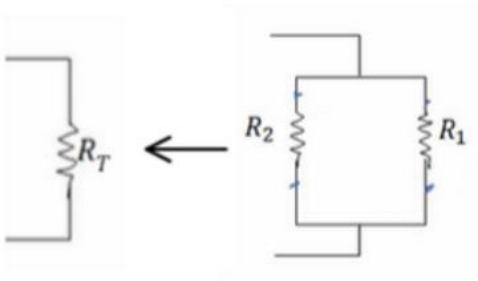
כאשר R_T התנגדות הנגד השקול.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$I_T = I_1 = I_2$$

כאשר V_T ו- I_T הן המתח והזרם בנגד השקול.

חיבור נגדים במקביל - נגדים עם מתח זהה:



$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$
$$I_T=I_1+I_2$$
$$V_T=V_1=V_2$$

עבור יותר משני נגדים הנוסחאות ממשיכות באופן דומה:

בטור: $R_T=\Sigma R_i\ ,\ V_T=\Sigma V_i\ ,\ I_T=I_i$

במקביל: $\frac{1}{R_T}=\Sigma\frac{1}{R_i}\ ,\ I_T=\Sigma I_i\ ,\ V_T=V_i$

מד זרם (אמפרמטר) אידיאלי - מחובר בטור ובעל התנגדות זניחה.

מד מתח (וולטמטר) אידיאלי - מחובר במקביל לרכיב הנמדד, בעל התנגדות מאוד גבוהה.

ההספק בנגד:

$$P=IV=I^2R=\frac{V^2}{R}$$

($P=IV$ נכון לכל רכיב חשמלי , שני השוויונים האחרים הם לאחר שימוש בחוק אוהם ונכונים רק בנגד).

נתק - מצב בו לא עובר זרם - חוט חתוך או התנגדות אינסופית.

קצר - מצב בו אין התנגדות

מקור מתח לא אידיאלי:

$$V=\varepsilon-Ir$$

V - מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח שמרגיש המעגל - תלוי בזרם.

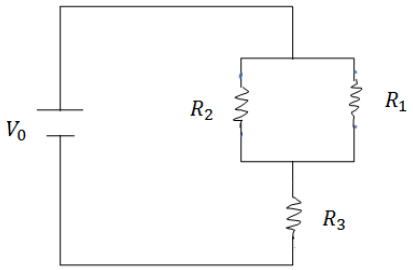
ε - כא"מ הסוללה, מתח פנימי שאינו משתנה.

r - ההתנגדות הפנימית.

שאלות:

1) שנים במקביל אחד בטור

במעגל הבא נתונים ההתנגדות של כל נגד ומתח המקור: $R_1 = 2\Omega, R_2 = 3\Omega, R_3 = 5\Omega, V_0 = 31V$.



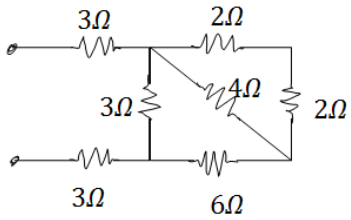
א. מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל.

ב. מצא את הזרם העובר בסוללה.

חשב את הזרם והמתח על כל אחד מהנגדים.

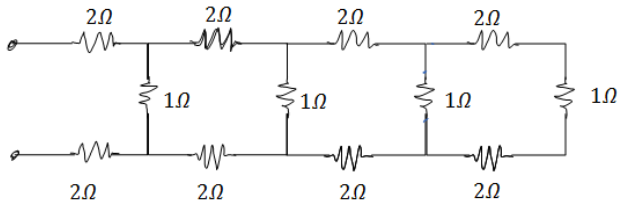
2) מרובע עם אלכסון

חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל הבא בין שני ההדקים.



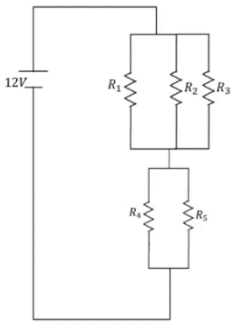
3) 4 חוליות

מצא את ההתנגדות השקולה של המעגל בין שני ההדקים.



4) חישוב הספק מעגל

נתון המעגל הבא: $R_3 = R_2 = R_1 = 6\Omega, \quad R_5 = R_4 = 8\Omega$.



א. מצאו את הזרם במעגל והזרם בכל נגד.

ב. חשבו את הספק המעגל והראו כי הוא שווה להספק הסוללה.

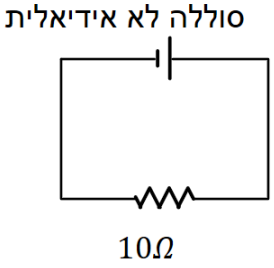
ג. מוסיפים נגד כלשהו המחובר בטור לסוללה.
האם ההספק של המעגל יקטן, יגדל או לא ישתנה?

5) התנגדות של נורה

מצאו את ההתנגדות של נורה בעלת הספק של 60w במתח של 220V

6) סוללה לא אידיאלית דוגמה 1

המעגל הבא מורכב מסוללה לא אידיאלית המחוברת לנגד של 10 אוהם. ההתנגדות הפנימית של הסוללה היא 1 אוהם. במעגל זורם זרם של 2 אמפר.



א. מהו הכא"מ של הסוללה?

ב. מהו מתח ההדקים שמספקת הסוללה במעגל?

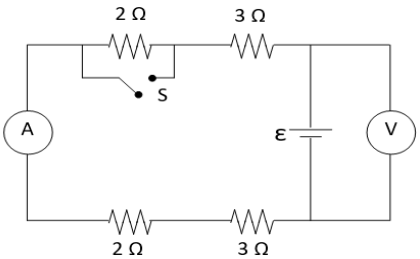
7) סוללה לא אידיאלית דוגמה 2

מחברים סוללה לא אידיאלית לנגד של 10 אוהם ומודדים את הזרם במעגל.
המדידה מראה כי הזרם הוא 2 אמפר. לאחר מכן מנתקים את הסוללה מהנגד ומחברים אותה לנגד של 6 אוהם.
מודדים שוב את הזרם במעגל ורואים כי הזרם השתנה ל-3 אמפר.

א. מצא את הכא"מ וההתנגדות הפנימית של הסוללה.

ב. מצא את מתח ההדקים של הסוללה בכל אחד מהחיבורים.

8) מעגל עם סוללה לא אידיאלית



המעגל שבתרשים מכיל ארבעה נגדים, מד מתח ומד זרם אידיאלים, 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? פרט/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!

9) שלושה נגדים

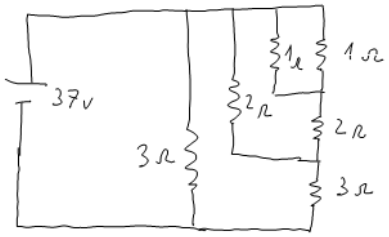
נתונים שלושה נגדים זהים עם התנגדות ידועה R.

א. מצא את כל האפשרויות השונות לחבר את הנגדים.

ב. מצא את ההתנגדות השקולה של כל אפשרות.

10) שניים של 1 שניים של 2 ושניים של 3

חשב את הזרם והמתח בכל נגד במעגל הבא:



תשובות סופיות:

1) א. $R_T=\frac{31}{5}\Omega$ ב. $I_1=3A\ ,\ I_2=2A\ ,\ V_{1,2}=3A\ ,\ I_2=2A$

2) $\frac{90}{11}$

3) $R_T=\frac{985}{204}$

4) א. $I_T=2A,\ I_1=I_2=I_3=\frac{2}{3}A,\ I_4=I_5=1A$ ב. 24w ג. יקטן.

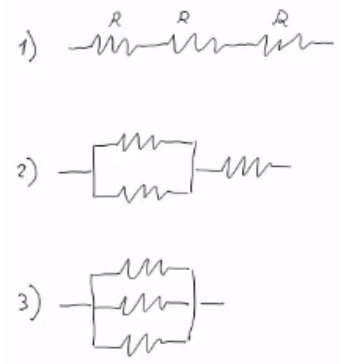
5) 807Ω

6) א. $\varepsilon=22V$ ב. $V=20V$

7) א. $r=21\Omega\ ,\ \varepsilon=24V$ ב. $V_1=20V\ ,\ V_2=18V$

8) א. ככל שההתנגדות השקולה נמוכה יותר, הזרם יהיה גבוה יותר.
לכן, הזרם הגבוה יהיה כאשר המפסק סגור.
ב. סגור: $V_{AB}=14.4V$, פתוח: $V_{AB}=15V$. ג. $r=2\Omega\ ,\ \varepsilon=18V$
ד. האמפרמטר: $I=9A$, הוולטמטר: $V=0$.

9) א.



ב. i. $3R$ ii. $\frac{3}{2}R$ iii. $\frac{R}{3}$

10) נגד 1- מתח: 2V זרם: 2A, נגד 2- מתח: 8V זרם: 4A,
נגד 3- מתח: 27V זרם: 9A.

שיטות מתקדמות לפתרון מעגלים:

רקע:

חוקי קירכהוף:

- נגדיר זרם לכל חוט במעגל
- נרשום משוואות מתחים - סכום המתחים במסלול סגור שווה לאפס. (להוסיף משוואות עד שעוברים על כל הרכיבים במעגל)
- נרשום משוואות זרמים - בכל צומת סך הזרם שנכנס שווה לסך הזרם שיוצא
- נפתור את מערכת המשוואות

שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות):

$$I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$$

Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא הפתרונות)
לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

$$\begin{aligned} 3I_1 + 4I_2 + 8I_3 &= 5 \\ 2I_1 - 5I_2 + 9I_3 &= 1 \\ 4I_1 + 3I_2 - 7I_3 &= 3 \end{aligned}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$$

Δ_i - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה ה i בעמודת התשובות.
לדוגמה, במערכת הנ"ל:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 8 \\ 2 & 1 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$$

זרמי חוגים:

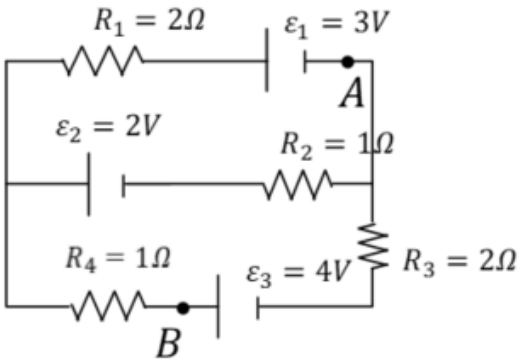
- נחלק את המעגל למעגלים סגורים ונבחר זרמים לכל מעגל.
- נעשה משוואת מתחים לכל מעגל.
- נפתור את מערכת המשוואות

שאלות:

1) חוקי קירכהוף

א. חשבו את הזרם בכל נגד במעגל הבא.

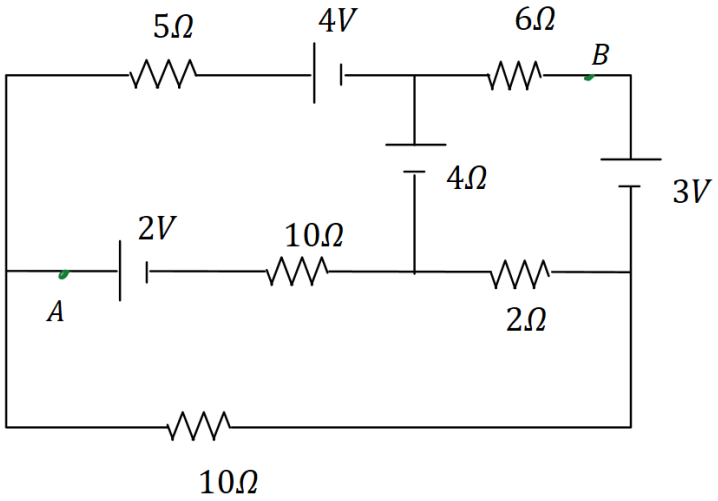
ב. מצאו את המתח V_{AB}.



2) תרגיל חוגים

א. חשבו את הזרם בכל נגד במעגל הבא.

ב. מצאו את המתח V_{AB}.



תשובות סופיות:

1) א. $I_1 = \frac{2}{11}A\ ,\ I_2 = \frac{7}{11}A\ ,\ I_3 = \frac{5}{11}A$ ב. $V_{AB} = \frac{34}{11}V$

2) א. $I_1 = -0.658\ A\ ,\ I_2 = 0.628\ A\ ,\ I_3 = -0.103\ A$

ב. $V_{AB} = -0.877\ V$

מעגלים אינסופיים:

רקע:

במעגלים אינסופיים ניתן להניח שההתנגדות השקולה של המעגל שווה להתנגדות השקולה של המעגלת ללא החוליה הראשונה.

- נחליף את כל החוליות במעגל למעט החוליה הראשונה ב R_T
- נחשב את ההתנגדות של המעגל הסופי שהתקבל ונשווה אותה לאותו R_T

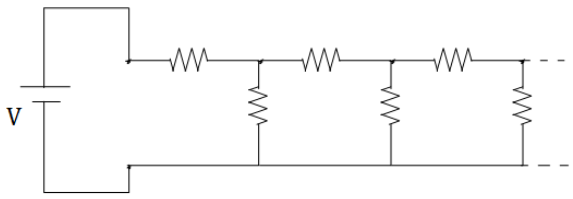
שאלות:

1) חישוב התנגדות של טור אינסופי

במעגל הבא טור אינסופי של נגדים.

התנגדות כל הנגדים זהה ושווה R.

מצא את ההתנגדות השקולה והזרם במקור המתח.



2) מתח וזרם בטור אינסופי

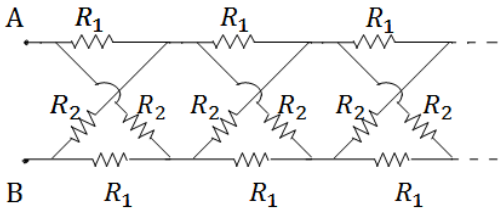
א. מצא נוסחה למתח על כל נגד במעגל של התרגיל הקודם.

ב. חשב את הזרם בנגד האנכי ה-23 אם נתון מתח המקור.

3) טור אינסופי של נגדים בהצלבה

א. חשב את ההתנגדות הכוללת במעגל האינסופי הבא (ההתנגדות בין A ל-B).

ב. מצא את הזרם בכל נגד במקרה בו $R_1 = R_2$.



תשובות סופיות:

1) $R_T = \frac{1+\sqrt{5}}{2}R$

2) א. $V_{n+1} = V\left(\frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1}\right)^n$ ב. $\tilde{I}_{23} = \frac{V}{R}\left(\frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1}\right)^{23}$

3) א. $R_T = R$ ב. הזרם שווה ביניהם והוא 2A.

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 10 - קבלים

תוכן העניינים

1. הגדרות, חישובי קיבול, אנרגיה והתנהגות במעגל חשמלי 60
2. פריקה וטעינה של קבל (מעגלי RC) 70
3. תרגילים נוספים בקבלים 76

הגדרות, חישובי קיבול, אנרגיה והתנהגות במעגל חשמלי:

רקע:

הגדרת הקיבול:

$$C = \frac{|q|}{|V|}$$

הקיבול היא תכונה קבועה ותלויה רק במבנה הגיאומטרי של הגוף (ולא במתח או במטען על הרכיב).

קיבול של קבל לוחות:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

A - שטח כל לוח. d - מרחק בין הלוחות, $d \ll \sqrt{A}$.

שדה בתוך קבל לוחות:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{V}{d}$$

σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח.

V - המתח בין הלוחות. d - מרחק בין הלוחות.

קיבול של קבל גלילי:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\frac{b}{a}}$$

a ו- b - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה.

L - אורך הגלילים, $a, b \ll L$

הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:

$$C' = kC_0$$

k (או ε_r) - המקדם הדיאלקטרי של החומר.

C_0 - הקיבול ללא החומר הדיאלקטרי.

חיבור קבלים בטור (קבלים עם מטען זהה):

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

כאשר $Q_T=Q_1=Q_2$ ו- $V_T=V_1+V_2$

חיבור קבלים במקביל (<u>מתח זהה</u>):

$$C_T=C_1+C_2$$

כאשר $Q_T=Q_1+Q_2$ ו- $V_T=V_1=V_2$

שיטה 1 לחישוב קיבול - לפי הגדרה:

א. נניח שיש מטען Q על לוחות הקבל.

ב. נחשב את השדה בין הלוחות

ג. נחשב את המתח בין הלוחות

ד. נציב בנוסחה (בדר"כ Q יצטמצם)

שיטה 2 לחישוב קיבול - פירוק הקבל לקבלים חלקיים:

א. נפרק את הקבל לקבלים שמחוברים בטור או במקביל

ב. נחשב את הקיבול של כל אחד

ג. נחבר חזרה באמצעות הנוסחאות

אנרגיה האגורה בקבל:

$$U_c=\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}qV$$

העבודה שמבצעת הסוללה:

$$W_s=\Delta qV_s=-2\Delta U_c$$

Δq הוא המטען שעבר דרכה (וזה המטען שקיבל הקבל)

הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל:

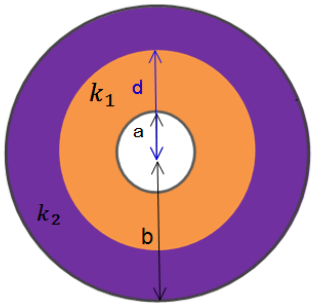
$$F = \left|\frac{dU_c}{dx}\right|$$

הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

שאלות:

1) קבל גלילי

קבל גלילי מורכב משתי קליפות גליליות מוליכות באורך L ורדיוסים a , b .

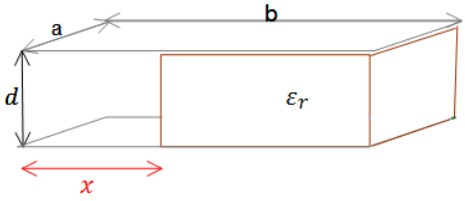


א. מצא את הקיבול של הקבל $L >> a , b$.

ב. כעת ממלאים את הקבל בחומר דיאלקטרי בעל קבוע משתנה.
k_1 כאשר $a < r < d$ ו-k_2 כאשר $d < r < b$.
מצא את הקיבול החדש.

ג. טוענים את הקבל במטען Q, מצא את התפלגות המטען במרחב (חופשי ומושרה).

2) דרך שניה לחשב קיבול וחיבור קבלים



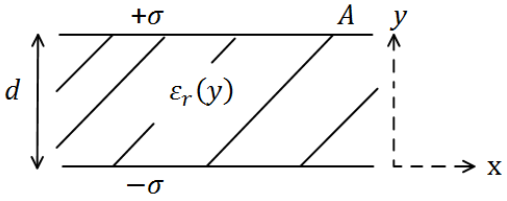
$d \ll a, b$

קבל לוחות מורכב משני לוחות מלבנים בעלי אורך b ורוחב a. המרחק בין הלוחות הוא d. לתוך הקבל מכניסים חומר דיאלקטרי הממלא את כל החלל בין הלוחות עד למרחק x מקצה הלוחות. הקבוע הדיאלקטרי של החומר נתון ε_r.

א. מצא את הקיבול של הקבל כתלות ב-x.

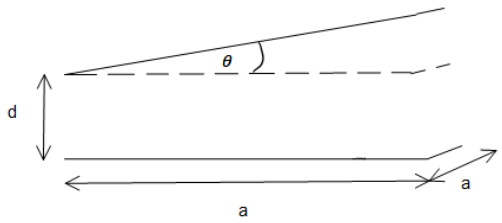
ב. מחברים את הקבל למקור מתח V, מה תהיה התפלגות המטען החופשי על הלוחות? ומהי צפיפות המטען המושרה בחומר?

3) קבל לוחות עם חומר דיאלקטרי התלוי בגובה



קבל לוחות טעון בצפיפות מטען $\pm\sigma$.
שטח הלוחות הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d. בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק בין הלוחות: $\varepsilon_r(y) = 1 + \left(\frac{y}{d}\right)^2$,
כאשר הלוח התחתון נמצא ב-$y = 0$.
מצא את הקיבול של הקבל.

4) קבל לוחות בזווית

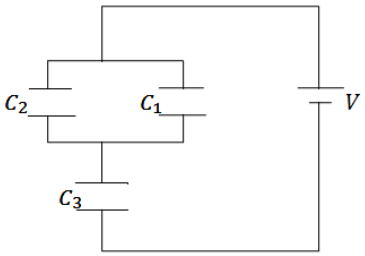


נתון קבל לוחות בעל שטח A ומטען Q.
אורך כל צלע בלוחות הקבל הינה a.
עקב טעות בייצור נוצרה זווית θ קטנה מאוד בין הלוחות.

א. חשב את קיבולו של הקבל כפונקציה של θ.

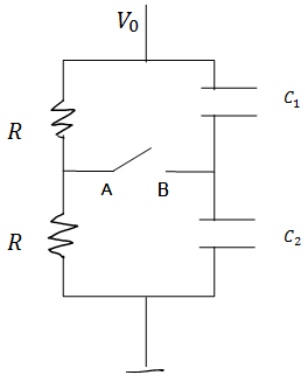
ב. מחברים את הקבל למקור מתח V, מצא את התפלגות המטען המשטחית על לוחות הקבל.

5) שלושה קבלים



במעגל הבא נתון מתח הסוללה $V = 3v$.
והקיבול של כל קבל: $C_1 = 2\mu F, C_2 = 3\mu F, C_3 = 5\mu F$.
מצא את המטען על כל קבל.

6) קבלים עם מפסק

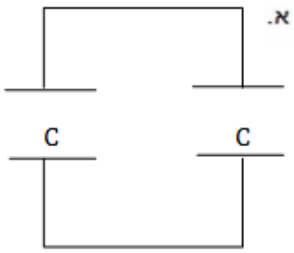


במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע ונתון V_0. הקצה התחתון מוארק.
נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזהה של הנגדים.

א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין הנקודה A לנקודה B.

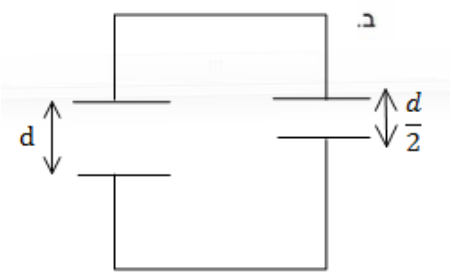
ב. סוגרים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת התייצבה?

7) שני קבלים טעונים מחוברים אחד לשני



טוענים בנפרד שני קבלי לוחות זהים ע"י מקור מתח V_0.
לאחר הטעינה מנתקים את הקבלים ומחברים אותם אחד לשני, הדק חיובי לחיובי ושלילי לשלילי.

א. מצא את האנרגיה של המערכת אם קיבול הקבלים הוא C.

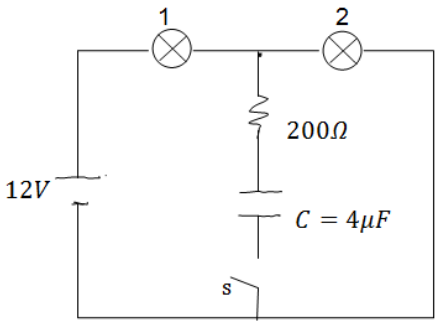


כעת מקטינים את המרחק בין אחד הקבלים פי 2.

ב. מצא את המתח על כל קבל לאחר זמן רב, ואת האנרגיה של המערכת.

ג. חשב את שינוי האנרגיה והסבר לאן עברה?

8) שתי נורות

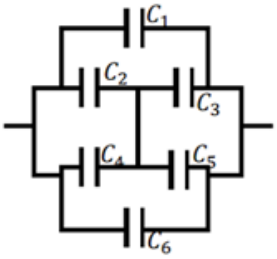


במעגל הבא הספק נורה מס׳ 1 במתח של 10V הוא 0.5W. ההספק של נורה מס׳ 2 באותו המתח הוא 0.4W. התנגדות הנגד היא 200Ω.

א. חשב את ההתנגדות, המתח וההספק החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.

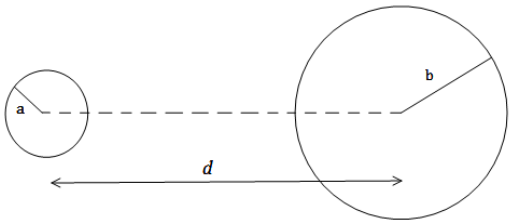
ב. חשב את המתח על הקבל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.

9) חיבור קונפיגורציית קבלים



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

10) שני כדורים מרוחקים



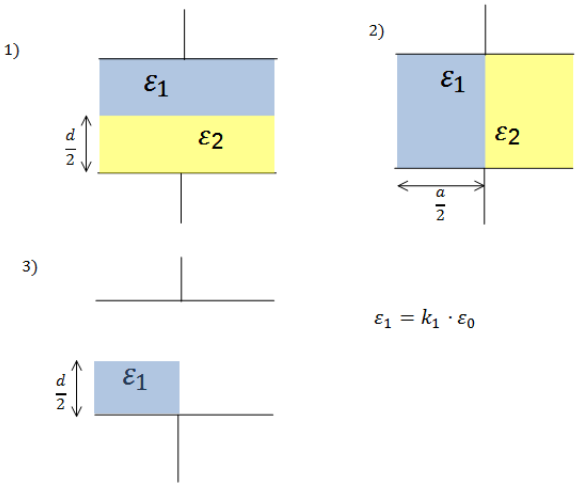
שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים שונים ונתונים a , b טעונים במטענים שווים ומנוגדים q+ , q-.
המרחק בין מרכזי הכדורים הוא d.
נתון כי $d \gg a, b$

א. מהו השדה החשמלי לאורך הציר המחבר בין הכדורים (ומחוצה להם)?

ב. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין משטחי הכדורים.

ג. הראה כי קיבול המערכת הוא: $C \approx \frac{4\pi\varepsilon_0}{\frac{1}{a}+\frac{1}{b}-\frac{2}{d}}$.

11) חומרים דיאלקטרים בתוך קבל



נתון קבל לוחות ריבועיים בעל צלע a ומרחק בין הלוחות d.
אל הקבל מכניסים חומרים דיאלקטרים שונים עם מקדמים נתונים.
החומרים מוכנסים בשלוש צורות שונות כפי שמוצג בציור (במצב השלישי מוכנס רק חומר אחד, החומרים ממלאים את כל הצלע שנכנסת ללוח).

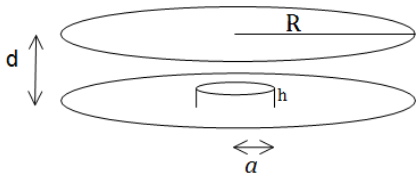
א. מצא עבור כל מצב את הקיבול של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח V נתון, מהו השדה החשמלי בתוך הקבל בכל אחד מהמצבים?

ג. מצא את התפלגות המטען החופשית והמושרית בכל אחד מהמצבים.

12) קבל לוחות עם בליטה

במערכת הבאה ישנו קבל לוחות עם לוחות מעגליים ברדיוס R, ומרחק בין הלוחות d ($d \ll R$).
בלוח התחתון ישנה בליטה בצורת גליל ברדיוס a ($a \gg d$) ועובי h.
מרכז הבליטה במרכז הלוח התחתון.

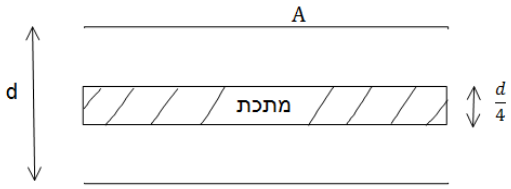


א. מצא את הקיבול של הקבל.

ב. מהו השדה בכל מקום בתוך הקבל אם נתון שהקבל מחובר למקור מתח V.

ג. מצא את התפלגות המטען על הלוחות.

13) קבל עם פיסת מתכת



קבל לוחות מחובר למקור מתח V.
שטח כל לוח בקבל הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d, ($d \ll \sqrt{A}$).

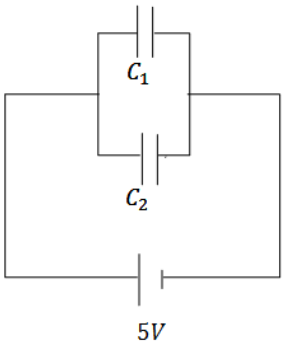
א. מצא את המטען על הקבל, את השדה בתוך הקבל ואת האנרגיה של המערכת.

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').

14) שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי

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



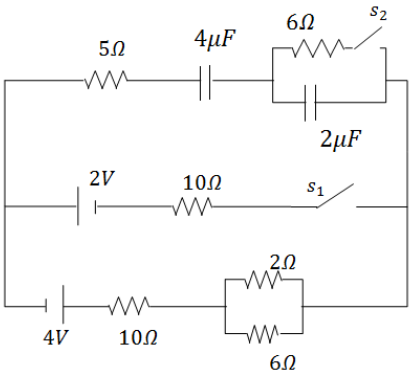
15) מעגל עם קבלים

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.



תשובות סופיות:

1) א. $C=\frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\frac{b}{a}}$ ב. $C=\frac{Q}{V}$ ג. $\sigma_i=\frac{Q}{2\pi bc}\left(1-\frac{1}{k_2}\right)$

2) א. $C_T=\frac{\varepsilon_0 a}{d}\left(x+\varepsilon_r\left(b-x\right)\right)$

ב. $q_1=\frac{\varepsilon_0 axV_0}{d}$, $q_2=\frac{\varepsilon_0 a\left(b-x\right)V_0\varepsilon_r}{d}$ E , $\sigma_1=\frac{\varepsilon_0 V_0}{d}$, $\sigma_2=\frac{\varepsilon_0 V_0\varepsilon_r}{d}$

3) $\frac{\pi d}{4\varepsilon_0 A}$

4) א. $\frac{\varepsilon_0 a}{\theta}\ln\left(1+\frac{a}{b}\theta\right)$ ב. $\sigma_{(x)}=\frac{\varepsilon_0 V_0}{d+xty\theta}$

5) $q_1=3\mu C$, $q_2=4.5\mu C$, $q_3=7.5\mu C$

6) א. $V_{AB}=\frac{V_0}{2}-\frac{V_0 C_2}{C_1+C_2}$ ב. $\Delta q=\frac{V_0}{2}\left(C_2-C_1\right)$

7) א. $U_T=2U_1=CV_0^2$ ב. $V'=\frac{2}{3}V_0$, $U'_T=\frac{2}{3}CV_0^2$

8) א. נורה 1: $R_1=200\Omega$, $V_1=5.34V$, $P_1=0.143W$

נורה 2: $R_2=250\Omega$, $V_2=6.68V$, $P_2=0.178W$

ב. $V_0=V_2=6.68V$

9) $C_T=C_1+C_6+C_{2345}$

10) א. $\vec{E}=\left(\frac{kq}{x^2}+\frac{kq}{\left(d-x\right)^2}\right)\hat{x}$ ב. $\Delta\varphi\approx kq\left(\frac{2}{d}-\frac{1}{b}-\frac{1}{a}\right)$ ג. הוכחה.

11) מצב 1:

א. $C_T=\frac{\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)a^2}{2d}$ ב. $E_1=E_2=\frac{V}{d}$

ג. $\sigma_{free_1}=\frac{\varepsilon_1}{d}V$, $\sigma_{i_1}=\left(\varepsilon_0-\varepsilon_1\right)\frac{V}{d}$, $\sigma_{free_2}=\frac{\varepsilon_2}{d}V$, $\sigma_{i_2}=\left(\varepsilon_0-\varepsilon_2\right)\frac{V}{d}$

מצב 2:

א. $C_T=\frac{\varepsilon_1\varepsilon_2 a^2\cdot 2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}$ ב. $E_1=\frac{2\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$, $E_2=\frac{2\varepsilon_1}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$

ג. לוח עליון- $\sigma_{free_1}=\frac{2\varepsilon_1\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$, $\sigma_{i_1}=\left(\varepsilon_0-\varepsilon_1\right)\frac{2\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$

לוח תחתון- $\sigma_{free_2}=\frac{-2\varepsilon_1\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$, $\sigma_{i_2}=-\left(\varepsilon_0-\varepsilon_2\right)\frac{2\varepsilon_1}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$

בין החומרים- $\sigma_{free_3}=0\ ,\ \sigma_{i_3}=\frac{(\varepsilon_2-\varepsilon_1)2\varepsilon_0}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_2)}$

מצב 3:

א. $C_T=\frac{\varepsilon_0 a^2}{a}\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1+\varepsilon_0}+\frac{1}{2}\right)$ ב. $E_1=\frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_0)}\ ,\ E_2=\frac{2\varepsilon_1 V}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_0)}\ ,\ E_3=\frac{V}{d}$

ג. לוח עליון צד ימין- $\sigma_T=\sigma_{free}=\varepsilon_0\frac{V}{d}$

לוח עליון צד שמאל- $\sigma_T=\sigma_{free}=\varepsilon_0\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_1 V}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_0)}$

לוח תחתון צד ימין- $\sigma_{T_{down}}=-\varepsilon_0\frac{V}{d}$

לוח תחתון צד שמאל- $\sigma_i=\frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_0)}(\varepsilon_1-\varepsilon_0)$

באמצע- $\sigma_T=\frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_0)}(\varepsilon_0-\varepsilon_1)\ ,\ \sigma_{free}=0$

12) א. $C_T=\varepsilon_0\pi\left(\frac{a^2}{d-h}+\frac{R^2-a^2}{d}\right)$ ב. $E_1=\frac{V}{d-h}\ ,\ E_2=\frac{V}{d}$

ג. $\sigma_1=\varepsilon_0\frac{V}{d-h}\ ,\ \sigma_2=\varepsilon_0\frac{V}{d}$

13) א. $U=\frac{1}{2}\frac{\varepsilon_0 A}{d}V^2\ ,\ E=\frac{V}{d}\ ,\ q=\frac{\varepsilon_0 A}{d}V$

ב. $U=\frac{2\varepsilon_0 A}{3d}V^2\ ,\ E_1=E_2=\frac{4V}{3d}\ ,\ q_T=\frac{4\varepsilon_0 AV}{3d}$

ג. $U=\frac{3\varepsilon_0 AV^2}{8d}\ ,\ E_1=E_2=\frac{V}{d}\ ,\ q_T=\frac{\varepsilon_0 A}{d}V$

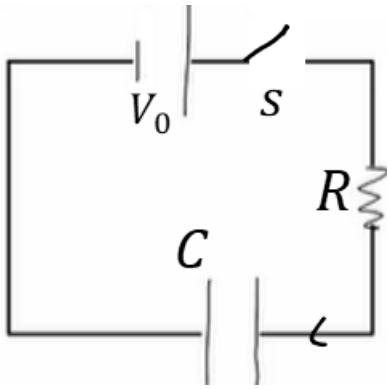
14) $q'_3=12.5\mu C\ ,\ V'_3=2.5V\ ,\ U=15.625J$

15) א. $q_1=16\mu C$, זרם=0. ב. $I=\frac{12}{43}A\ ,\ q_1=\frac{136}{129}\mu C$ ג. $I=\frac{12}{43}A\ ,\ q_1=\frac{136}{43}\mu C$

פריקה וטעינה של קבל - מעגלי RC :

רקע:

מעגל טעינה :



- משוואת המתחים :

$$V_0 - \frac{q}{C} - IR = 0$$

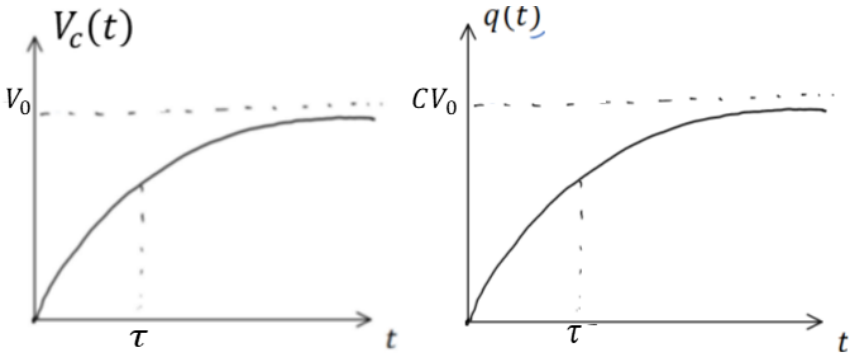
$$I = \frac{dq}{dt}$$

- המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן :

$$q(t) = CV_0\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

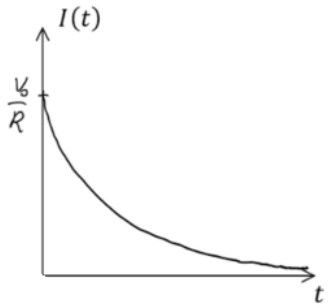
$$V_c(t) = V_0\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$\tau = RC$ הוא קבוע הזמן אופייני



- הזרם כתלות בזמן:

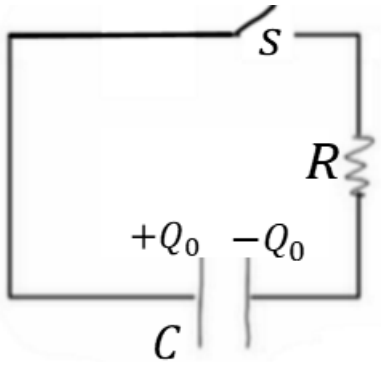
$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$



בהתחלה $(t = 0)$ הקבל מתנהג כמו קצר, המתח והמטען על הקבל הם אפס והזרם הוא $\frac{V_0}{R}$.

לאחר זמן רב $(t > 5\tau)$ הקבל מתנהג כמו נתק, המטען והמתח קבועים והזרם מתאפס.

מעגל פריקה:



- משוואת המתחים:

$$\frac{q}{C} - IR = 0$$

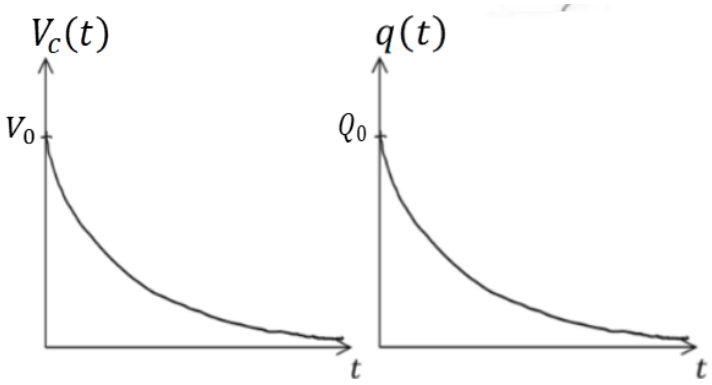
$$I = -\frac{dq}{dt}$$

- המטען והמתח על הקבל כתלות בזמן:

$$q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

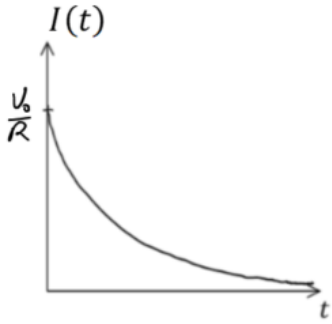
$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$Q_0 = CV_0$$



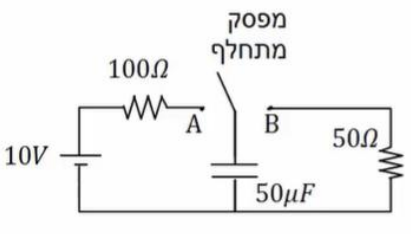
- הזרם כתלות בזמן:

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



שאלות:

1) מתג מתחלף



במעגל הבא מחברים ב- $t=0$ את המפסק המתחלף לנקודה A. ב- $t=0.01$ מעבירים את המפסק לנקודה B.

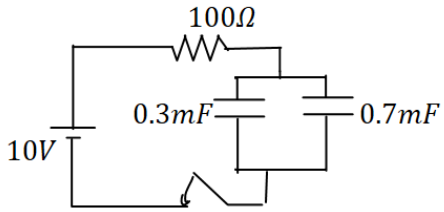
א. רשום את המתח על הקבל כתלות בזמן.

ב. מה המטען על הקבל ב- $t=0.02$.

ג. רשום שוב את הזרם כתלות בזמן.

ד. צייר גרפים עבור המתח והזרם כתלות בזמן.

2) טעינה של שני קבלים

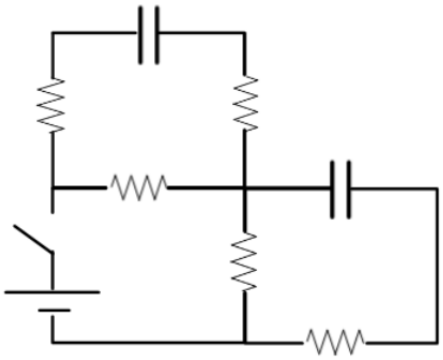


במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$.

א. מהו הזמן האופייני במעגל?

ב. מצא את המתח והמטען בכל קבל בזמנים: $t=0.2\sec$, $0.8\sec$.

3) קבלים בהתחלה ובסוף



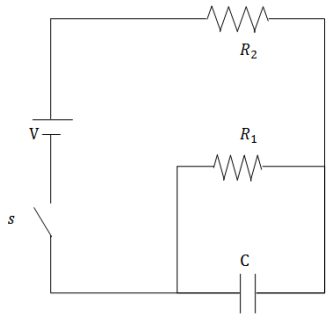
במעגל הבא הקיבול של הקבלים זהה ושווה ל-C התנגדות הנגדים זהה ושווה ל-R ומתח הסוללה הוא V.
הקבלים אינם טעונים כאשר המפסק פתוח.

א. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג.

ב. מצאו את הזרם בסוללה והמתח על כל קבל לאחר זמן רב.

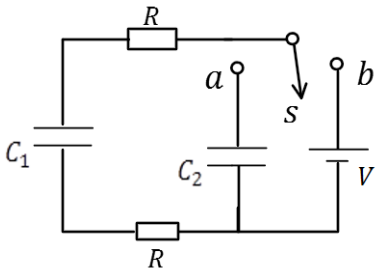
ג. מהו המטען על כל קבל לאחר זמן רב?

4) מטען על קבל במקביל לפי הזמן



במעגל הבא סוגרים את המפסק ב- $t=0$
כאשר הקבל אינו טעון.
מצא את המטען על הקבל והזרם בכל נגד כפונקציה של הזמן.
נתון: V, R_1, R_2, C.

5) פריקה בין שני קבלים



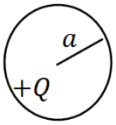
במעגל הבא הקבל C_1 טעון במטען Q_0 לפני סגירת המתג s לנקודה a.

א. רשום את המשוואה ממנה ניתן לקבל את המטען על הקבל C_1 כתלות בזמן.

ב. פתור את המשוואה ומצא את המטען על כל קבל כתלות בזמן.

ג. מהם הזרמים בשני הנגדים כתלות בזמן?

6) קבל של שני כדורים



שני כדורים בעלי רדיוסים a ו- b מרוחקים מאוד זה מזה.
טוענים את הכדורים במטענים $+Q$ ו- $-Q$ בהתאמה.



א. חשב את האנרגיה האלקטרוסטטית הכוללת של המערכת.

ב. חשב את הקיבול של המערכת דרך התוצאה שקיבלת עבור האנרגיה.

ג. אם מחברים את הכדורים בחוט ארוך מאוד עם התנגדות כוללת R, מה זמן הפריקה האופייני של המערכת?

תשובות סופיות:

1) א. $V_C(t)=\begin{cases}10\left(1-e^{-\frac{t}{0.05}}\right) & 0<t<0.01\\ 8.65\cdot e^{-\frac{t-0.01}{0.0025}} & 0.1<t\end{cases}$

ב. $q_0(t=0.02)\approx 7.92\cdot 10^{-6}\text{C}$

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

2) א. 0.1sec ב. 0.8sec : $V_1=V_2=10\text{V}$, $q_1=3\cdot 10^{-3}\text{C}$, $q_2=7\cdot 10^{-3}\text{C}$

0.2sec : $V_1=V_2\approx 8.65\text{V}$, $q_1=2.6\cdot 10^{-3}\text{C}$, $q_2=6.01\cdot 10^{-3}\text{C}$

3) א. $\frac{6\text{V}}{7\text{R}}$ ב. זרם סוללה : $\frac{\text{V}}{2\text{R}}$, מתח קבלים : $\frac{\text{V}}{2}$.

ג. מטען קבלים : $\frac{\text{CV}}{2}$

4) $q(t)=\frac{VR_1\cdot C}{R_2+R_1}\left(1-e^{\frac{R_2+R_1}{R_1C\cdot R_2}t}\right)$

5) א. $\frac{C_1+C_2}{2RC_1C_2}\cdot q_1+q_1-\frac{Q_0}{2RC_2}=0$ ב. $q_1(t)=(\tau\cdot A-Q_0)e^{-\frac{t}{\tau}}$,

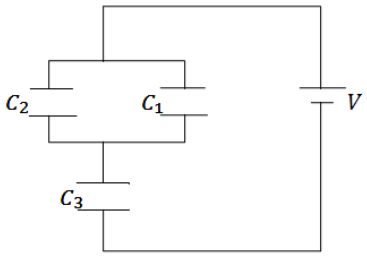
$q_2(t)=(-\tau\cdot A+Q_0)\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ ג. $I=\left(\frac{Q_0}{\tau}-A\right)e^{-\frac{t}{\tau}}$

6) א. $U=\frac{KQ^2}{2}\left(\frac{b+a}{a\cdot b}\right)$ ב. $C=\frac{a\cdot b}{K(a+b)}$ ג. $\tau=RC=\frac{Rab}{K(a+b)}$

תרגילים נוספים בקבלים:

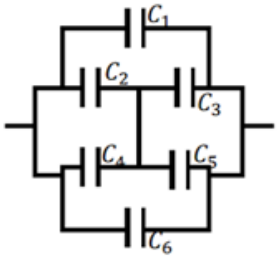
שאלות:

1) שלושה קבלים



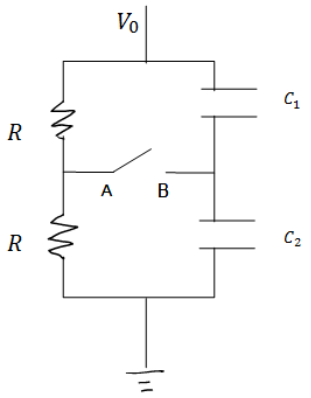
במעגל הבא נתון מתח הסוללה $V=3v$.
והקיבול של כל קבל: $C_1=2\mu F, C_2=3\mu F, C_3=5\mu F$.
מצא את המטען על כל קבל.

2) חיבור קונפיגורציית קבלים



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

3) קבלים עם מפסק

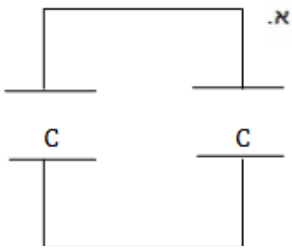


במעגל הבא מחזיקים את הקצה העליון בפוטנציאל קבוע ונתון V_0. הקצה התחתון מוארק.
נתון: הקיבול של כל קבל, ההתנגדות הזהה של הנגדים.

א. מצא את המתח (הפרש הפוטנציאלים) בין הנקודה A לנקודה B.

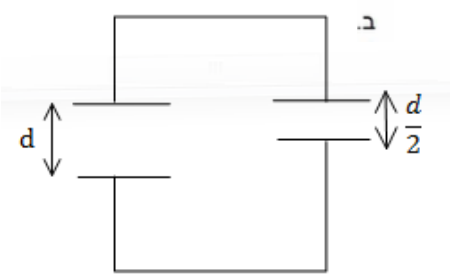
ב. סוגרים את המפסק AB, כמה מטען עבר דרך המפסק עד שהמערכת התייצבה?

4) שני קבלים טעונים מחוברים אחד לשני



טוענים בנפרד שני קבלי לוחות זהים ע"י מקור מתח V_0.
לאחר הטעינה מנתקים את הקבלים ומחברים אותם אחד לשני, הדק חיובי לחיובי ושלילי לשלילי.

א. מצא את האנרגיה של המערכת אם קיבול הקבלים הוא C.

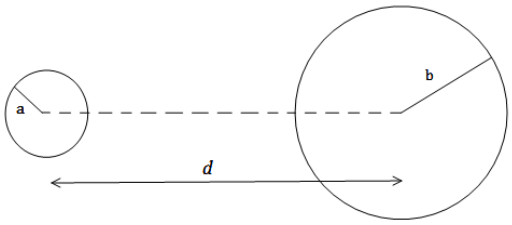


כעת מקטינים את המרחק בין אחד הקבלים פי 2.

ב. מצא את המתח על כל קבל לאחר זמן רב, ואת האנרגיה של המערכת.

ג. חשב את שינוי האנרגיה והסבר לאן עברה?

5) שני כדורים מרוחקים



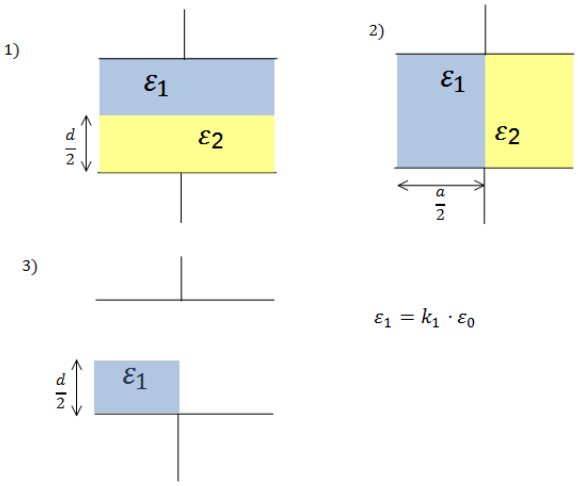
שני כדורים מוליכים, בעלי רדיוסים שונים ונתונים a , b טעונים במטענים שווים ומנוגדים q- , q+.
המרחק בין מרכזי הכדורים הוא d.
נתון כי $d \gg a, b$

א. מהו השדה החשמלי לאורך הציר המחבר בין הכדורים (ומחוצה להם)?

ב. מצא את הפרש הפוטנציאלים בין משטחי הכדורים.

ג. הראה כי קיבול המערכת הוא: $C \approx \frac{4\pi\varepsilon_0}{\frac{1}{a}+\frac{1}{b}-\frac{2}{d}}$.

6) חומרים דיאלקטרים בתוך קבל



נתון קבל לוחות ריבועיים בעל צלע a ומרחק בין הלוחות d.
אל הקבל מכניסים חומרים דיאלקטרים שונים עם מקדמים נתונים.
החומרים מוכנסים בשלוש צורות שונות כפי שמוצג בציור (במצב השלישי מוכנס רק חומר אחד, החומרים ממלאים את כל הצלע שנכנסת ללוח).

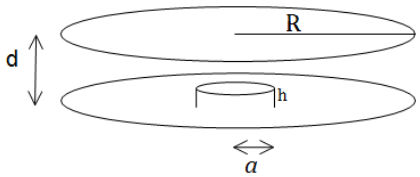
א. מצא עבור כל מצב את הקיבול של הקבל.

ב. מחברים את הקבל למקור מתח V נתון, מהו השדה החשמלי בתוך הקבל בכל אחד מהמצבים?

ג. מצא את התפלגות המטען החופשית והמושרית בכל אחד מהמצבים.

7) קבל לוחות עם בליטה

במערכת הבאה ישנו קבל לוחות עם לוחות מעגליים ברדיוס R, ומרחק בין הלוחות d ($d \ll R$).
בלוח התחתון ישנה בליטה בצורת גליל ברדיוס a ($a \ll d$) ועובי h.
מרכז הבליטה במרכז הלוח התחתון.

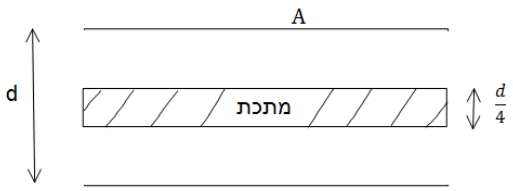


א. מצא את הקיבול של הקבל.

ב. מהו השדה בכל מקום בתוך הקבל אם נתון שהקבל מחובר למקור מתח V.

ג. מצא את התפלגות המטען על הלוחות.

8) קבל עם פיסת מתכת



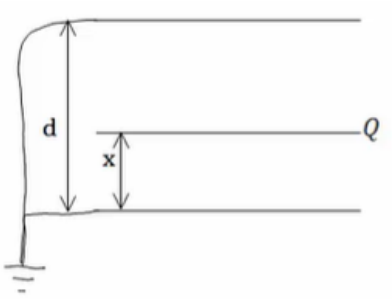
קבל לוחות מחובר למקור מתח V.
שטח כל לוח בקבל הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d, ($d \ll \sqrt{A}$).

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').

9) שלושה לוחות



נתונה מערכת המורכבת משני לוחות מוארקים במרחק d. בין הלוחות, במרחק x מהלוח התחתון, מכניסים לוח נוסף זהה עם מטען Q.
שטח הלוחות הוא $A \gg d^2$.

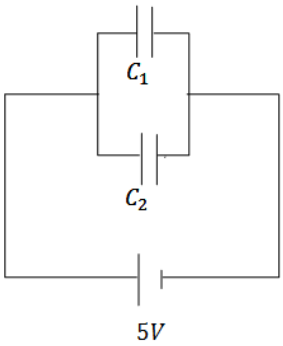
א. מצא את הקיבול של המערכת.

ב. מצא את המטען על כל לוח.

ג. מצא את האנרגיה של המערכת כפונקציה של x.

ד. מהו הכוח הפועל על הלוח?

10) שני קבלים טעונים מחוברים לקבל שלישי



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

11) קבל כדורי עם חומר דיאלקטרי מפוצל

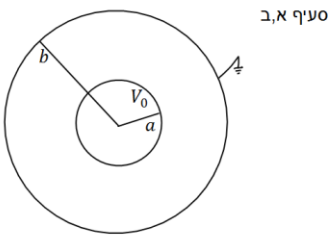
קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות דקות ברדיוסים a , b.
הקליפה הפנימית מוחזקת במתח V_0 והקליפה החיצונית מוארקת.

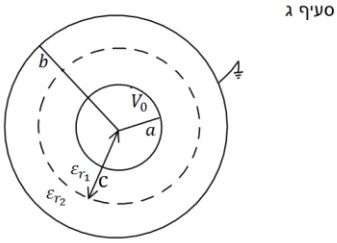
א. חשב את המטען על כל קליפה.

ב. חשב את הקיבול של הקבל.

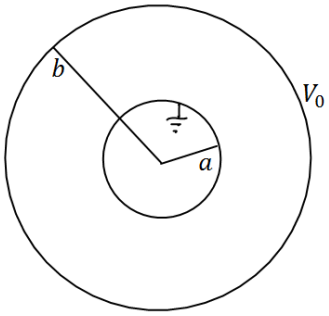
ממלאים את הקבל בשני חומרים דיאלקטריים.
חומר אחד בעל מקדם ε_{r_1} הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל-c
וחומר שני בעל מקדם ε_{r_2} הממלא את החלל בין הרדיוסים c ל-b.

ג. חשב את הקיבול החדש.





12) קבל לא אידיאלי



קבל כדורי מורכב משתי קליפות כדוריות מוליכות
דקות ברדיוסים a , b.
הקליפה החיצונית מוחזקת במתח V_0 והקליפה הפנימית מוארקת.

א. חשב את המטען על כל קליפה, שים לב שיש שדה מחוץ לקבל!

ב. חשב את הקיבול של הקבל.

מכניסים לקבל חומר דיאלקטרי בעל מקדם ε_r הממלא את החלל בין הרדיוסים a ל-b.

ג. חשב את הקיבול החדש וחשב את המטען החופשי על הקליפה המוארקת.

13) מרחיקים לוחות בקבל לוחות

קבל לוחות בעל אורך צלע $a = 2\ \text{c.m.}$ ומרחק בין הלוחות $d = 1\ \text{mm}$ נטען ע"י סוללה במתח 3V. לאחר 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.

14) מושכים לוח מקבל גלילי

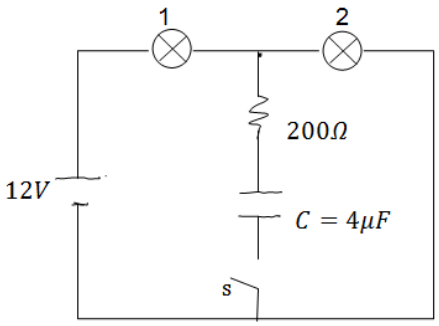
קבל גלילי עשוי משני קליפות גליליות באורך L ורדיוסים $a < b \ll L$.
נתון כי הגליל הפנימי טעון במטען Q והחיצוני ב- $-Q$.

א. מצא את הקיבול של הקבל.

ב. מושכים את הגליל הפנימי כלפי מעלה לאורך הציר המשותף כך שהוא בולט בשיעור $\Delta L \ll L$ בחלקו העליון.
מהו הכוח החשמלי הפועל על הגליל הפנימי? (ניתן להניח כי השדה החשמלי מתאפס באזורים בהם אין חפיפה בין הגלילים).

15) 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.

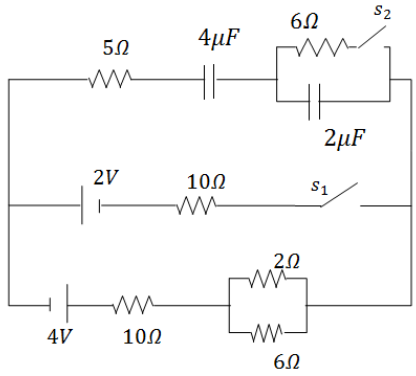


א. חשב את ההתנגדות, המתח וההספק החשמלי של כל נורה כאשר המפסק פתוח.

ב. חשב את המתח על הקבל אם המפסק סגור והמערכת התייצבה.

16) מעגל עם קבלים

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.

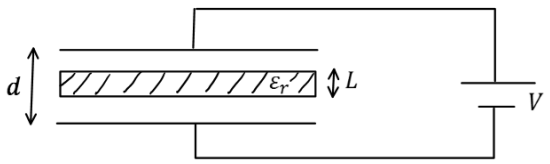
17) קבל לוחות עם חומר דיאלקטרי הממלא רק חלק מהקבל

קבל לוחות בנוי משני לוחות ריבועיים בעלי צלעות a המרוחקים מרחק d זה מזה.
בין לוחות הקבל הוכנס חומר דיאלקטרי בעובי $L < d$ ומקדם דיאלקטרי ε_r.
מחברים את הקבל למקור מתח V.

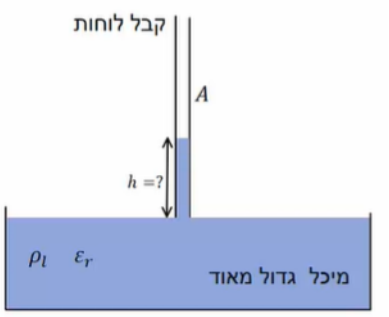
א. מהו השדה החשמלי באזור ללא החומר הדיאלקטרי?

ב. מהו השדה החשמלי בתוך החומר הדיאלקטרי?

ג. מהו המטען המושרה על השפה של החומר הדיאלקטרי?



18) גובה נוזל בתוך קבל



קבל לוחות ריבועיים מחובר למקור מתח V.
שטח כל לוח הוא A והמרחק בין הלוחות הוא d.
מחזיקים את הקבל כך שקצהו טבול במיכל גדול מאוד המכיל נוזל בעל מקדם דיאלקטרי ε_r וצפיפות מסה ליחידת נפח ρ_l.
המטרה היא למצא עד איזה גובה עולה הנוזל בקבל.

א. הנח שהגובה ידוע ומצא את האנרגיה כובדית של המים והאנרגיה הפוטנציאלית של הקבל.

ב. מצא מה השינוי באנרגיה של הסוללה ע"י חישוב העבודה שביצעה הסוללה (התייחס לגובה כנתון עדיין).

ג. מצא באיזה גובה המערכת תתייצב? השתמש בשיקול שמערכת שואפת להתייצב במינימום של האנרגיה שלה.

19) קבל לוחות עם חומר לא אחיד

בקבל לוחות שטח הלוחות הוא A והמרחק ביניהם הוא d.
בין הלוחות ישנו חומר דיאלקטרי בעל מקדם דיאלקטרי המשתנה עם המרחק בין הלוחות $\varepsilon_r(y) = \frac{2d}{y+d}$ כאשר הלוח התחתון נמצא ב- $y = 0$.
הקבל מחובר למקור מתח V.

א. מצאו את הקיבול של הקבל.

ב. חשבו את צפיפות המטען על לוחות הקבל.

ג. חשבו את השדה החשמלי בין לוחות הקבל, גודל וכיוון.

ד. מהי האנרגיה האגורה בקבל.

תשובות סופיות:

1) $q_1=3\mu C\ ,\ q_2=4.5\mu C\ ,\ q_3=7.5\mu C$

2) $C_T=C_1+C_6+C_{2345}$

3) א. $V_{AB}=\frac{V_0}{2}-\frac{V_0C_2}{C_1+C_2}$ ב. $\Delta q=\frac{V_0}{2}\left(C_2-C_1\right)$

4) א. $U_T=2U_1=CV_0^2$ ב. $U'_T=\frac{2}{3}CV_0^2\ ,\ V'=\frac{2}{3}V_0$

ג. $\Delta U=\frac{1}{3}CV_0^2$, האנרגיה ירדה ועברה לכוח שהזיז את הלוחות.

5) א. $\vec{E}=\left(\frac{kq}{x^2}+\frac{kq}{\left(d-x\right)^2}\right)\hat{x}$ ב. $\Delta\varphi\approx kq\left(\frac{2}{d}-\frac{1}{b}-\frac{1}{a}\right)$ ג. הוכחה

6) מצב 1:

א. $C_T=\frac{\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)a^2}{2d}$ ב. $E_1=E_2=\frac{V}{d}$

ג. $\sigma_{free_1}=\frac{\varepsilon_1}{d}V\ ,\ \sigma_{i_1}=\left(\varepsilon_0-\varepsilon_1\right)\frac{V}{d}\ ,\ \sigma_{free_2}=\frac{\varepsilon_2}{d}V\ ,\ \sigma_{i_2}=\left(\varepsilon_0-\varepsilon_2\right)\frac{V}{d}$

מצב 2:

א. $C_T=\frac{\varepsilon_1\varepsilon_2a^2\cdot2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}$ ב. $E_1=\frac{2\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V\ ,\ E_2=\frac{2\varepsilon_1}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$

ג. לוח עליון- $\sigma_{free_1}=\frac{2\varepsilon_1\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V\ ,\ \sigma_{i_1}=\left(\varepsilon_0-\varepsilon_1\right)\frac{2\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$

לוח תחתון- $\sigma_{free_2}=\frac{-2\varepsilon_1\varepsilon_2}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V\ ,\ \sigma_{i_2}=-\left(\varepsilon_0-\varepsilon_2\right)\frac{2\varepsilon_1}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}V$

בין החומרים- $\sigma_{free_3}=0\ ,\ \sigma_{i_3}=\frac{\left(\varepsilon_2-\varepsilon_1\right)2\varepsilon_0}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2\right)}$

מצב 3:

א. $C_T=\frac{\varepsilon_0a^2}{a}\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1+\varepsilon_0}+\frac{1}{2}\right)$ ב. $E_1=\frac{2\varepsilon_0V}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_0\right)}\ ,\ E_2=\frac{2\varepsilon_1V}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_0\right)}\ ,\ E_3=\frac{V}{d}$

ג. לוח עליון צד ימין- $\sigma_T=\sigma_{free}=\varepsilon_0\frac{V}{d}$

לוח עליון צד שמאל- $\sigma_T=\sigma_{free}=\varepsilon_0\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_1V}{d\left(\varepsilon_1+\varepsilon_0\right)}$

לוח תחתון צד ימין- $\sigma_{T_{down}}=-\varepsilon_0\frac{V}{d}$

לוח תחתון צד שמאל- $\sigma_i = \frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_0)}(\varepsilon_1-\varepsilon_0)$

באמצע- $\sigma_T = \frac{2\varepsilon_0 V}{d(\varepsilon_1+\varepsilon_0)}(\varepsilon_0-\varepsilon_1)$, $\sigma_{free}=0$

7) א. $C_T = \varepsilon_0\pi\left(\frac{a^2}{d-h}+\frac{R^2-a^2}{d}\right)$ ב. $E_1=\frac{V}{d-h}$, $E_2=\frac{V}{d}$

ג. $\sigma_1=\varepsilon_0\frac{V}{d-h}$, $\sigma_2=\varepsilon_0\frac{V}{d}$

8) א. $U=\frac{1}{2}\frac{\varepsilon_0 A}{d}V^2$, $E=\frac{V}{d}$, $q=\frac{\varepsilon_0 A}{d}V$

ב. $U=\frac{2\varepsilon_0 A}{3d}V^2$, $E_1=E_2=\frac{4V}{3d}$, $q_T=\frac{4\varepsilon_0 AV}{3d}$

ג. $U=\frac{3\varepsilon_0 AV^2}{8d}$, $E_1=E_2=\frac{V}{d}$, $q_T=\frac{\varepsilon_0 A}{d}V$

9) א. $C_T=\varepsilon_0 A\left(\frac{d}{x(d-x)}\right)$ ב. $q_1=Q\frac{d-x}{d}$, $q_2=Q\left(\frac{x}{d}\right)$

ג. $U(x)=\frac{Q^2\cdot x(d-x)}{2\varepsilon_0 Ad}$ ד. $\vec{F}=\frac{Q^2}{2\varepsilon_0 Ad}(d-2x)$

10) $q'_3=12.5\mu C$, $V'_3=2.5V$, $U=15.625J$

11) א. $q_1=\frac{V_0}{k\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)}$, $q_2=-q_1$ ב. $C=\frac{1}{k\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)}$

ג. $C=\frac{q}{\left|kq\left(\frac{1}{\varepsilon_{r_1}}\left(\frac{1}{c}-\frac{1}{a}\right)+\frac{1}{\varepsilon_{r_2}}\left(\frac{1}{b}-\frac{1}{c}\right)\right)\right|}$

12) א. $q_1=\frac{V_0}{k\left(\frac{1}{b}-\frac{1}{a}\right)}$, $q_2=\frac{bV_0}{ak\left(\frac{1}{b}-\frac{1}{a}\right)}$ ב. $C_T=\frac{1}{k\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)}+\frac{b}{k}$

ג. $q_1=\frac{-\varepsilon_r}{k\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)}V_0$, $C_T=\frac{\varepsilon_r}{k\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)}+\frac{b}{k}$

13) א. $V'=9V$ ב. $U_{C_i}=15.93\cdot10^{-12}J$, $U_{C_p}=47.79\cdot10^{-12}J$

ג. $W=31.86\cdot10^{-12}J$

14) א. $C=\frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\frac{b}{a}}$ ב. $|F|=\frac{q^2\ln\frac{b}{a}}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{(L-x)^2}$

15) א. נורה 1: $R_1=200\Omega\ ,\ V_1=5.34V\ ,\ P_1=0.143W$

נורה 2: $R_2=250\Omega\ ,\ V_2=6.68V\ ,\ P_2=0.178W$

ב. $V_0=V_2=6.68V$

16) א. $q_1=16\mu C$, זרם=0. ב. $I=\frac{12}{43}A\ ,\ q_1=\frac{136}{129}\mu C$ ג. $I=\frac{12}{43}A\ ,\ q_1=\frac{136}{43}\mu C$

17) א. $E_0=\frac{q}{\varepsilon_0 a^2}=\frac{V}{d-L\left(1-\frac{1}{\varepsilon_r}\right)}$ ב. $E=\frac{V}{d\cdot\varepsilon_r-L(\varepsilon_r-1)}$

ג. $\sigma_T=\varepsilon_0\left(\frac{V}{\varepsilon_r d-L(\varepsilon_r-1)}-\frac{V}{d-L\left(1-\frac{1}{\varepsilon_r}\right)}\right)$

18) א. $U_C=\frac{1}{2}C_{(h)}U^2$, $U_g=\rho_l adg\frac{1}{2}h^2$ ב. $\Delta U=-\Delta C_{(h)}V^2$

ג. $h=\frac{\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)V^2}{2d^2\rho_l g}$

19) א. $\frac{4\varepsilon_0 A}{3d}$ ב. $\frac{4\varepsilon_0 V}{3d}$, חיובי ב- $y=d$ ושלילי ב- $y=0$.

ג. $\frac{2V(y+d)}{3d^2}$ ד. $\frac{2\varepsilon_0 AV^2}{3d}$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 11 - נגדים זרם וצפיפות זרם

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 85

הרצאות ותרגילים:

רקע:

התלות של ההתנגדות במבנה הנגד:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ρ - התנגדות סגולית, תלויה בחומר (לא להתבלבל עם צפיפות מטען נפחית).

L - אורך הנגד, הדרך שהמטענים עושים בנגד.

S (או A) - שטח החתך, משטח שמאונך לכיוון הזרם.

הערה: <u>שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הנגד</u>. במידה והם לא אחידים צריך לחלק את הנגד לחתיכות, לחשב התנגדות של כל חתיכה ולסכום לפי סוג החיבור (במקביל/בטור)

מוליכות:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

(לא להתבלבל עם צפיפות מטען משטחית).

$\vec{J}$ - צפיפות הזרם ליחידת שטח (צפיפות זרם משטחית לפעמים גם נקראת נפחית):

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

כאשר האינטגרל הוא על שטח החתך, שטח שמאונך ל - $\vec{J}$.

אם הצפיפות אחידה אז:

$$I = JS$$

חוק אוהם הדיפרנציאלי:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

כאשר σ היא המוליכות ו- E השדה החשמלי

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען נפחית בתנועה:

$$\vec{J} = \rho\vec{v}$$

כאשר ρ היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{v}$ היא מהירות נושאי המטען במוליך, $\rho = nq$ כאשר n הוא מספר נושאי המטען ליח נפח ו- q הוא המטען של נושא מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת מהירות הסחיפה $\vec{v}_{drift}$.

$\vec{k}$ - צפיפות הזרם ליחידת אורך (צפיפות זרם אורכית לפעמים גם נקראת משטחית):

$$I = \int \vec{k} \cdot d\vec{l}$$

כאשר האינטגרל הוא על אורך שמאונך ל - $\vec{k}$.

אם הצפיפות אחידה אז:

$$I = kl$$

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען משטחית σ בתנועה:

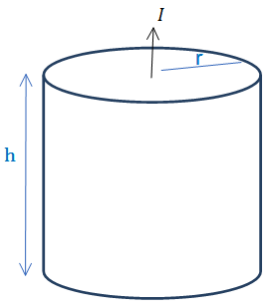
$$\vec{k} = \sigma\vec{v}$$

עבור תנועה של צפיפות מטען ליחידת אורך λ נקבל:

$$I = \lambda v$$

שאלות:

1) נוסחה לחישוב התנגדות ודוגמה עבור נגד גלילי



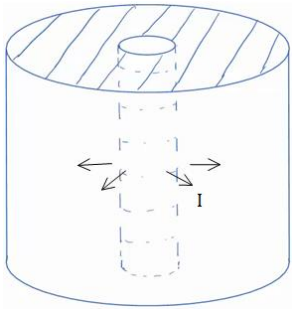
גליל מלא בעל רדיוס r וגובה h עשוי מחומר בעל התנגדות סגולית משתנה $\rho = \rho_0 \frac{z}{h}$ כאשר ρ_0 נתון ו-z הוא המרחק מבסיס הגליל.

א. חשב את ההתנגדות השקולה.
נתון שהזרם עובר בין הבסיסים (לאורך z)
מחברים את הגליל למקור מתח נתון V_0
(המתח הוא בין בסיס אחד לבסיס שני).

ב. מצא את הזרם הכולל בגליל.

ג. מצא את צפיפות הזרם והשדה החשמלי בגליל (פתרון בסרטון הבא).

2) זרם רדיאלי



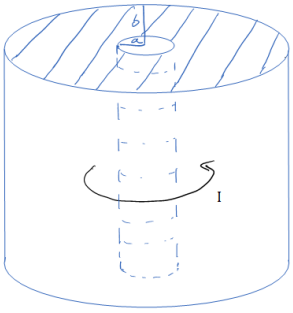
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה ונתונה.

א. מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה אם הזרם זורם בכיוון הרדיאלי.

ב. מחברים מקור מתח V_0 בין המעטפת הפנימית למעטפת החיצונית של הקליפה.
מצא את צפיפות הזרם בקליפה.

ג. מצא את השדה החשמלי בתוך הקליפה.

3) זרם מעגלי בגליל



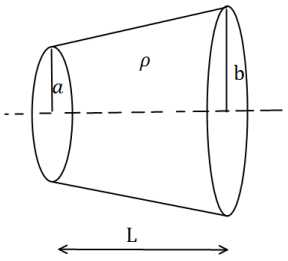
קליפה גלילית עבה עם רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b מלאה בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה ונתונה.

א. מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה אם הזרם זורם בכיוון טטה (ז"א זרם מעגלי).

ב. נתון הזרם הכולל הזורם בנגד.
מצא את הצפיפות כתלות במרחק ממרכז הנגד.

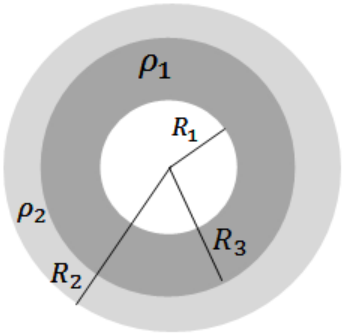
ג. מצא את השדה החשמלי בתוך הקליפה.

4) חרוט קטום



נתון חרוט קטום שאורכו L, רדיוס בסיסו הקטן a ורדיוס בסיסו הגדול b.
בין שני הבסיסים נתון הפרש פוטנציאלים.
ההתנגדות הסגולית של החרוט היא ρ.
חשבו את ההתנגדות השקולה של החרוט.

5) נגד כדורי מחולק לשני חומרים שונים



נגד בצורת קליפה כדורית בעלת רדיוס פנימי R_1 ורדיוס חיצוני R_2 מורכב מחומר בעל התנגדות סגולית ρ_1 בתחום $R_1 < r < R_3$ $(R_3 < R_2)$ והתנגדות סגולית ρ_2 בתחום $R_3 < r < R_2$.

א. מצא את ההתנגדות השקולה של הקליפה (זרם בכיוון רדיאלי).

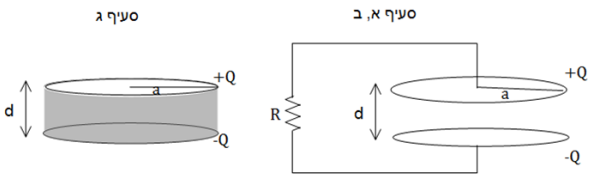
ב. מצא את צפיפות הזרם בנגד אם נתון שמחברים את הנגד למקור מתח קבוע V.

ג. מהו השדה החשמלי בנגד?

ד. מצא את התפלגות המטען (משטחית ונפחית) בקליפה.

6) צפיפות זרם בתוך לוח של קבל לוחות

קבל לוחות עגולים טעון במטען Q ומחובר לנגד. רדיוס הלוחות הוא a והמרחק בין הלוחות הוא $d \ll a$, התנגדות הנגד היא R.



א. מצא את הזרם במעגל.

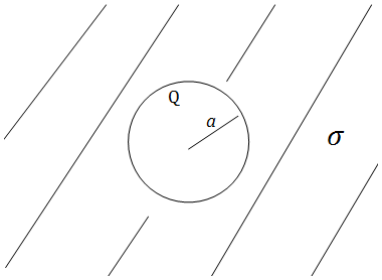
ב. מצא את צפיפות הזרם על פני לוח הקבל.

הדרכה: הנח כי צפיפות המטען על הקבל תמיד אחידה.
חשב את הזרם שיוצא מחלק הלוח בין r כלשהו ל-a.
חשוב איזו סוג של צפיפות ישנה על הלוח.
מצא את הצפיפות ע"י חלוקה של הזרם בחתך.

ג. בסעיף זה הנגד לא קיים, במקומו ממלאים את הקבל בחומר בעל התנגדות סגולית ρ אחידה. חזור על סעיפים א' ו-ב'.

7) קליפה טעונה מוליכה בתוך נגד

קליפה מוליכה (מוליכות אידיאלית) ברדיוס a נמצאת בתוך חומר אינסופי עם מוליכות סגולית σ.
נתון כי המטען על הקליפה ב- t=0 הוא Q.

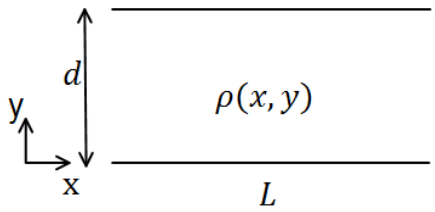


א. מצא את המטען על הקליפה כפונקציה של הזמן.

ב. מצא את צפיפות הזרם ואת השדה החשמלי בנגד.

8) התנגדות תלויה באורך וברוחב

נתונים שני לוחות מקבילים בעלי ממדים $L \times L$, המרוחקים זה מזה מרחק d, אשר ביניהם הפרש פוטנציאלים $(L \gg d)$.
בין שני הלוחות ישנו חומר מוליך בעל התנגדות סגולית $\rho(x,y)$.
חשבו את ההתנגדות בשני המקרים הבאים:



א. $\rho = \rho_0 \sin\left(\frac{\pi y}{d}\right)$

ב. $\rho = \rho_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi y}{d}\right)}{\sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)}$

תשובות סופיות:

1) א. $R_T=\frac{\rho_0 h}{2\pi r^2}$ ב. $I=\frac{V_0}{R_T}$ ג. $E=\rho_0\frac{z}{h}\frac{I}{\pi r^2}\hat{z}\ ,\ \vec{J}=\frac{I}{\pi r^2}\hat{z}$

2) א. $R_T=\frac{\rho}{2\pi h}\ln\frac{b}{a}$ ב. $\vec{J}=\frac{V_0}{R_T 2\pi rh}\hat{r}$ ג. $E=\frac{\rho V_0}{R_T 2\pi rh}\hat{r}$

3) א. $R_T=\frac{1}{\frac{h}{2\pi\rho}\ln\frac{b}{a}}$ ב. $\vec{J}=\frac{V_T}{\rho 2\pi r}\hat{\theta}$ ג. $\vec{E}=\rho\cdot\vec{J}$

4) $R=\frac{\rho L}{\pi ab}$

5) א. $R_T=\frac{\rho_1}{4\pi}\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_3}\right)+\frac{\rho_2}{4\pi}\left(\frac{1}{R_3}-\frac{1}{R_2}\right)$ ב. $\vec{J}_{(r)}=\frac{I}{4\pi r^2}\hat{r}$

ג. $$\vec{E}=\begin{cases}\rho_1\frac{I}{4\pi r^2}\hat{r} & R_1<r<R_3\\ \rho_2\frac{I}{4\pi r^2}\hat{r} & R_3<r<R_2\end{cases}$$

ד. $\not{V}=0\ ,\ \not{V}_{(R_1)}=\varepsilon_0\rho_1\frac{I}{4\pi R_1^2}-0\ ,\ \not{V}_{(R_3)}=\frac{I\varepsilon_0}{4\pi R_3^2}(\rho_2-\rho_1)\ ,\ \not{V}_{(R_2)}=-\varepsilon_0\frac{I}{4\pi R_2^2}\rho_2$

6) א. $I=\frac{Q}{RC}\cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ ב. $k=\frac{a^2-r^2}{2\pi ra^2}\frac{Q}{RC}e^{-\frac{t}{RC}}$

ג. $\vec{J}=\frac{I}{\pi a^2}\hat{z}\ ,\ k=0!\ ,\ I=\frac{Q}{RC}\cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

7) א. $q(t)=Qe^{-\frac{\sigma}{\varepsilon_0}t}$ ב. $\vec{J}=\frac{\sigma q(t)}{\varepsilon_0 4\pi r^2}\hat{r}\ ,\ \vec{E}=\frac{kq(t)}{r^2}\hat{r}$

8) א. $R=\frac{2\rho_0 d}{\pi L^2}$ ב. $R_T=\frac{\rho_0 d}{L^2}$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 12 - חוק לורנץ וכוח על תייל נושא זרם

תוכן העניינים

1. חוק לורנץ 90
2. כוח על תיל נושא זרם 97
3. תרגילים נוספים 101

חוק לורנץ:

רקע:

כאשר שני מטענים נעים פועל ביניהם כוח נוסף הנקרא הכוח המגנטי.

ניתן לחלק את האינטראקציה לשני חלקים, מטען 1 יוצר שדה מגנטי. מטען 2 שנע בשדה המגנטי מרגיש כוח כתוצאה מהשדה המגנטי.

חוק לורנץ - הכוח המגנטי הפועל על מטען הנע בשדה מגנטי:

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$$

ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים:

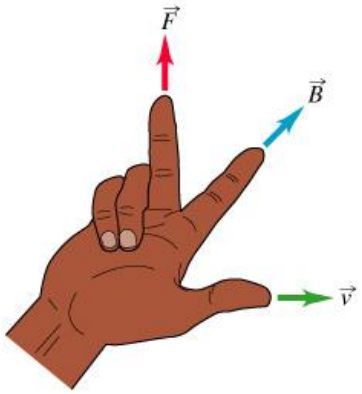
דרך דטרמיננטה:

$$\vec{F}_B = q\begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ v_x & v_y & v_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

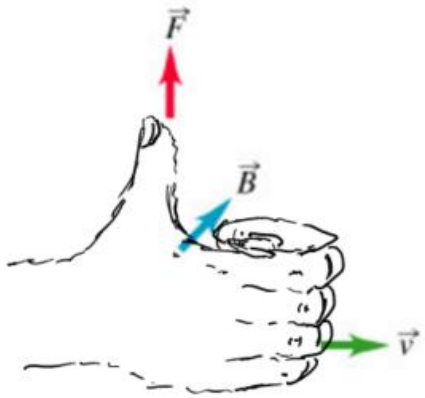
דרך גודל וכיוון בנפרד:

הגודל הוא $F_B = qvB\sin\alpha$ כאשר α היא הזווית בין המהירות לשדה

הכיוון לפי כלל יד ימין:



אופציה נוספת לכלל יד ימין:



שימו לב:

לעשות רק עם יד ימין!

כיוון הכוח הוא עבור **מטען חיובי** (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).

לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה בצורה הראשונה (עדיף לעשות קודם אקדח).

תנועה בשדה אחיד:

מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

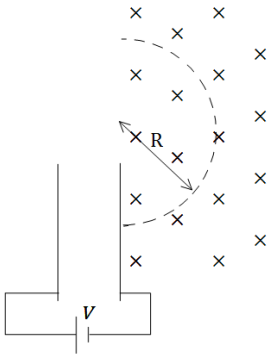
$$R = \frac{mv\sin\alpha}{qB}$$

ו- $v\cos\alpha$ היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.

עבודת הכוח המגנטי תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

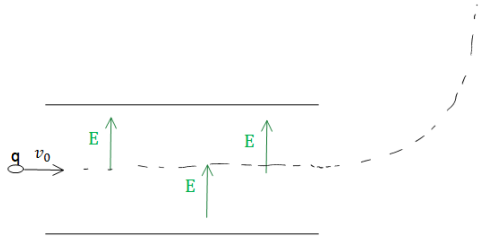
שאלות:

1) ספקטוגרף המסות של דמפסטר



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

2) מטען עובר קבל

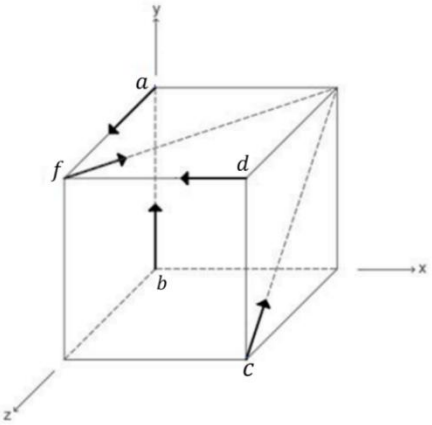


מטען נע בתוך קבל לוחות עם מהירות קבועה V_0 בקו ישר ובמקביל ללוחות הקבל.
בתוך הקבל (ורק בתוכו) ישנו שדה חשמלי אחיד ונתון E. כאשר המטען יוצא מהקבל הוא מבצע תנועה מעגלית כלפי מעלה.
ידוע כי בכל המרחב (בתוך ומחוץ לקבל) יש שדה מגנטי אחיד אך לא ידוע מה גודלו וכיוונו.
הזנח את כוח הכובד הפועל על המטען.

א. מה הסימן של המטען?

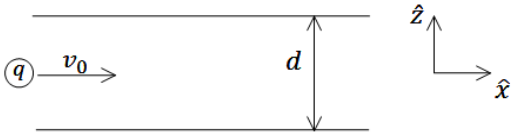
ב. מצא את כיוון וגודל השדה המגנטי.

3) 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?

4) 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.

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-$q = 2C$

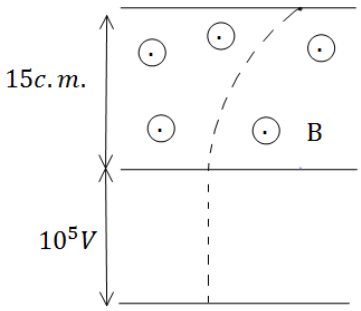
ב. $\vec{v} = -\hat{x} + 2\hat{z}$ מטר לשניה ו-$q = -1\mu C$

6) 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 $V = 10^6 \frac{m}{sec}$.

7) פרוטון פוגע במסך



פרוטון מואץ בקבל הנמצא במתח של 10^5V.
לאחר מכן הפרוטון עובר בשדה מגנטי אחיד עד לפגיעתו במסך הנמצא במרחק $15c.m.$ מהקבל.
עוצמת השדה המגנטי היא $0.2T$.

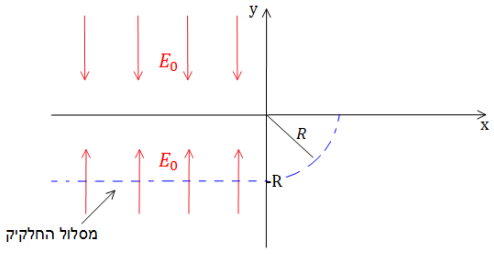
א. מצא את המרחק האופקי שעבר הפרוטון עד לפגיעתו במסך.

ב. מצא את הזמן עד לפגיעה במסך.

ג. מהו המתח המינימלי הדרוש על מנת שהפרוטון יפגע במסך?

8) מטען בשדה מגנטי וחשמלי

שדה חשמלי קיים בתחום $x<0$ כך שמעל ציר ה-x ($y>0$)
השדה הוא: $\vec{E}=-E_0\hat{y}$ ומתחת לציר ה-x ($y<0$)
השדה הוא: $\vec{E}=E_0\hat{y}$, ראה שרטוט.
בכל המרחב קיים גם שדה מגנטי אחיד,
שכיוונו וגודלו אינם ידועים.
חלקיק בעל מסה m ומטען $|q|$ מגיע
מ- $x=-\infty$ ונע בקו ישר ובמהירות קבועה.
גובה המסלול של החלקיק הוא $y=-R$.



כאשר החלקיק חוצה את ציר ה-y הוא מבצע רבע מעגל ברדיוס R (ראה ציור).
נתון: $R, m, |q|, E_0$.

א. שרטט את המשך מסלול המטען.

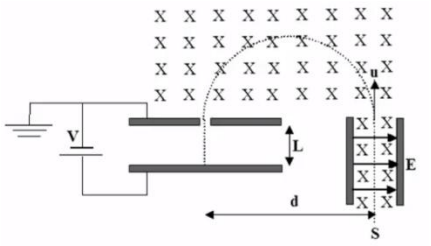
ב. מה סימן המטען?

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

א. באיזו מהירות v יוצאים החלקיקים מהקבל הראשון?

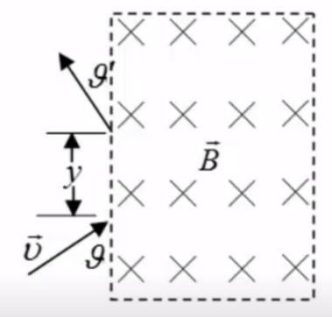
ב. מהו המרחק d (ראה ציור)?

ג. תוך כמה זמן משלים החלקיק את חצי הסיבוב?

ד. מה צריך להיות ערכו המינימלי של מתח העוצר V המופעל על הקבל השני כדי שהחלקיקים הנכנסים לתוכו יעצרו לחלוטין?

ה. מחברים את הקבל השני לסוללה שמתחה גדול פי שתיים ממה שחישבת בסעיף ד'. תוך כמה זמן יעצור החלקיק מרגע כניסתו אל בין לוחות הקבל השני כעת?

10) מטען נכנס ויוצא משדה מגנטי בזווית

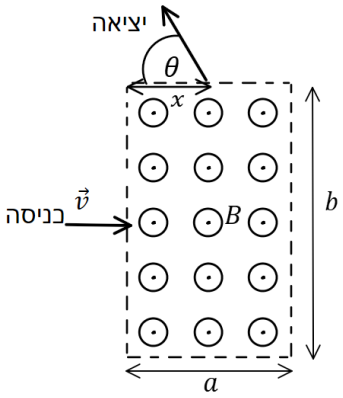


אלומות חלקיקים בעלי מסה m ומטען q נקלעות לאזור בו שורר שדה מגנטי אחיד $\vec{B}$ המאונך למישור הדף במגמה פנימה. לחלקיקים אנרגיה קינטית E_k והם נכנסים לאזור המגנטי בזווית ϑ, כמתואר בציור.

א. חשבו את המרחק האנכי y אותו יעברו החלקיקים מנקודת כניסתם לאזור המגנטי ועד ליציאתם ממנו.

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

11) 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?

תשובות סופיות:

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

2) א. שלילי ב. $B=\frac{E}{V}$, $B\,e$

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

$\vec{F}_a$: 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.

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

ג. המטען יסטה למעלה אם: $\varepsilon F_z=q\left(V_0B_0-\frac{V}{d}\right)>0$

המטען יסטה למטה אם: $\varepsilon F_z=q\left(V_0B_0-\frac{V}{d}\right)<0$

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

6) $R\approx 3.48\cdot10^{-2}m$

7) א. $\Delta x=0.0315$ ב. $t=3.371\sec$ ג. $V=4.312\cdot10^4V$

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

ד. $m_2=qm_1$

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

10) א. $y=\frac{\sqrt{8mE_k}\sin\vartheta}{Bq}$ ב. $\vartheta'=\vartheta$

11) 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).

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

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 **<u>תיל ישר</u>** **<u>בשדה אחיד</u>** הוא:

$$F = BIL\sin\alpha$$

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

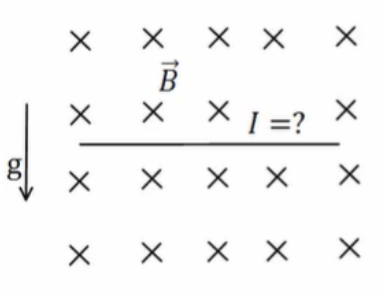
הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.

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

שאלות:

1) דוגמה-תיל מרחף

תיל ישר נמצא במאונך לשדה מגנטי אחיד $B = 10^{-2}\,T$ לתוך הדף.
צפיפות המסה של התיל ליחידת אורך היא: $\lambda = 20\frac{gr}{c.m}$.
מצא מה צריך להיות גודל וכיוון הזרם בתיל כך שהתיל ירחף באוויר?



2) דוגמה-מסגרת מלבנית בשדה לא אחיד

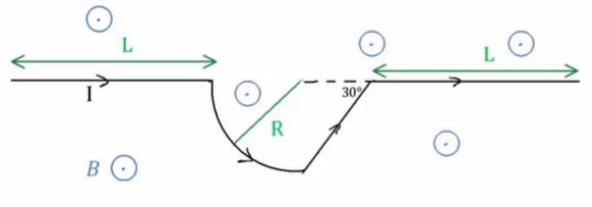
מסגרת מלבנית בעלת צלעות a , b נמצאת במישור של הדף ובתוך שדה מגנטי שכיוונו לתוך הדף. גודלו של השדה המגנטי אינו אחיד.
המסגרת מונחת כך שחלק מהמסגרת נמצא בשדה $B_1 = 4T$

והחלק השני נמצא בשדה $B_2 = 3T$.

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

3) כוח על תיל מכופף

תיל הנושא זרם I מכופף כפי שנראה באיור.
החלק העגול הוא רבע מעגל
בעל רדיוס R.
בכל המרחב יש שדה מגנטי
אחיד B החוצה מהדף.
מצא את הכוח השקול על התיל
אם L, I, B, R נתונים.



4) כוח על תיל מכופף עם חלוקה לחתיכות

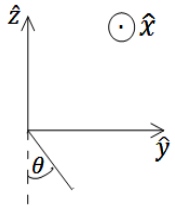
הנח נתונים זהים לשאלה קודמת.
מצא את הכוח השקול על התיל ע"י חלוקה לחתיכות,
חישוב הכוח ע"י כל חתיכה בנפרד וסכימה.

5) לולאה תלויה

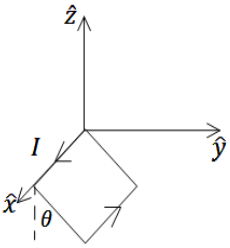
לולאה ריבועית בעלת צלע a ומסה m תלויה על ציר ה-x
(הצלע שנמצאת על הציר מקובעת לציר) ויכולה להסתובב סביבו.
בלולאה זורם זרם I כך שהזרם בצלע שנמצאת על ציר ה-x
חיובי (זורם בכיוון ציר ה-x).

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 דו-מימדי



מבט תלת 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 וכיוונם מתואר באיור.

א. חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל חצי מעגל של הלולאה.

ב. חשבו את הכוח שמפעיל התיל על כל אחד מהקווים הישרים (גודל וכיוון).

ג. מה הכוח השקול שמפעיל התיל על הלולאה?

תשובות סופיות:

1) $I=2\cdot10^3\,A$, ימינה.

2) $F=1N$, ימינה.

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

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

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

6) שאלת הוכחה.

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

תרגילים נוספים:

שאלות:

1) מטען בשדה מגנטי עם משוואות דיפרנציאליות

נתון שדה חשמלי $\vec{E} = \alpha x \hat{x}$ ושדה מגנטי קבוע ואחיד $\vec{B} = B_0 \hat{z}$.
חלקיק בעל מסה m ומטען q נמצא בראשית בזמן $t = 0$.
מהירותו ההתחלתית היא: $\vec{v} = v_0 \hat{x}$.

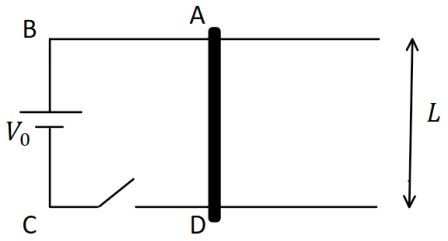
א. מהו מיקום החלקיק כתלות בזמן בכל אחד מהמקרים הבאים:

$\alpha > \frac{q}{m} B_0^2$, $\alpha < \frac{q}{m} B_0^2$, $\alpha = \frac{q}{m} B_0^2$.

2) מטען בשדה חשמלי רדיאלי

נתון שדה חשמלי $\vec{E} = \alpha(x\hat{x} + y\hat{y})$ ושדה מגנטי קבוע ואחיד $\vec{B} = B_0 \hat{z}$.
חלקיק בעל מסה m ומטען q נמצא בראשית בזמן $t = 0$.
מהירותו ההתחלתית היא: $\vec{v} = v_0 \hat{x}$.
כתוב 4 משוואות דיפרנציאליות מסדר ראשון עבור המיקום והמהירות.
הסבר את דרך הפתרון, אין צורך לפתור.

3) מוט נע על מסילה עם חיכוך וסוללה



מקור מתח V_0 מחובר לשני תילים מוליכים ומקבילים במרחק L אחד מהשני.
לתילים התנגדות ליחידת אורך r.
על התילים מניחים מוט מוליך בעל מסה m וחסר התנגדות המחבר בין הנקודות A ו-D באויר.
המערכת נמצאת בתוך שדה מגנטי B המאונך לדף אך לא ידוע האם הוא לתוך או החוצה מהדף.
ברגע $t = 0$ סוגרים את המתג והמוט מתחיל לנוע ימינה.
על המוט פועל חיכוך קינטי ומקדם החיכוך הוא μ.
התנגדות הקטע ABCD (כולל המקור) היא R_0.
ניתן להזניח השפעות של השראות מגנטיות.

א. מהו כיוון השדה המגנטי?
ב. מהו הזרם במעגל כתלות במרחק אותו עבר המוט מתחילת התנועה?
ג. באיזה מרחק תתאפס תאוצת המוט?
ד. תאר את תנועת המוט במילים.

תשובות סופיות:

1) $\alpha=\frac{q}{m}B_0^2$: $x(t)=V_0\cdot t\ ,\ y=\frac{1}{2}\left(-\frac{qB_0V_0}{m}\right)t^2$.

$\alpha<\frac{q}{m}B_0^2$: $x(t)=\frac{V_0}{\sqrt{\frac{q}{m}\left(\frac{qB_0^2}{m}-\alpha\right)}}\sin\left(\sqrt{\frac{q}{m}\left(\frac{qB_0^2}{m}-\alpha\right)}\cdot t\right)$.

$\alpha>\frac{q}{m}B_0^2$: $x(t)=\frac{V_0}{\sqrt{\frac{q}{m}\left(\alpha-\frac{qB_0^2}{m}\right)}}\sinh\left(\sqrt{\frac{q}{m}\left(\alpha-\frac{qB_0^2}{m}\cdot t\right)}\right)$.

2) $\begin{cases}qB_0V_y+q\alpha x=m\dot{V}_x\\-qB_0V_x+q\alpha y=m\dot{V}_y\\\dot{x}=V_x\\\dot{y}=V_y\end{cases}$.

3) א. B לתוך הדף. ב. $I=\frac{V_0}{R_0+2rx}$. ג. $x=\frac{1}{2r}\left(\frac{BLV_0}{\mu mg}-R_0\right)$.

ד. ראה סרטון.

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 13 - חוק ביו סבר

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 103

הרצאות ותרגילים:

רקע:

חוק ביו-סבר :

השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם

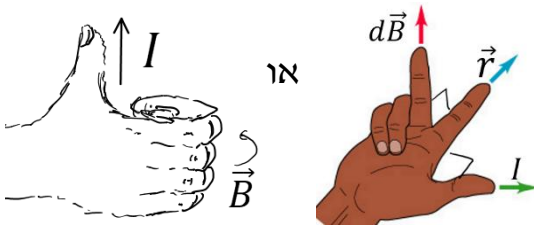
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\vec{l}\times\vec{r}}{|r|^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\vec{l}\times\hat{r}}{|r|^2}$$

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

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

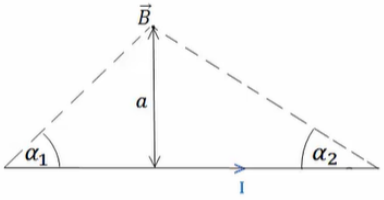
$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\,{}^{N}/_{A^2}$ - מקדם הפרמביליות של הריק

- חישוב הכיוון :



השדה של תיל סופי :

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



במרכז התיל:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \frac{L}{((\frac{L}{2})^2 + a^2)^{\frac{1}{2}}}$$

כאשר L הוא אורך התיל.

השדה של תיל אינסופי:

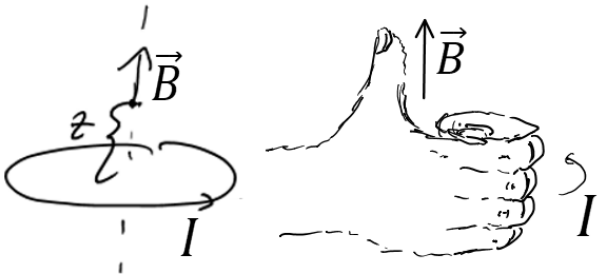
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

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:



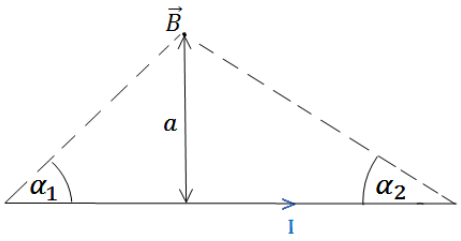
כוח ליחידת אורך בין שני תיילים מקבילים:

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

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

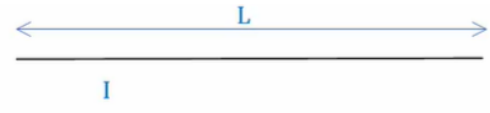
שאלות:

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 תיל סופי לפי וקטורים



נתון תיל סופי באורך L וזרם I.
השדה נמצא במרחק y מהראשית.
חשב את השדה המגנטי של תיל סופי.

3) חישוב שדה של טבעת



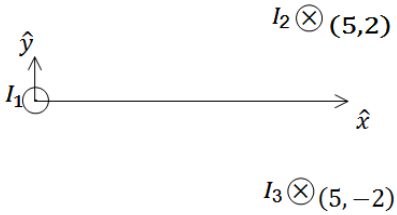
חשב את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה של טבעת ברדיוס R כאשר בטבעת זורם זרם I.

4) חישוב שדה של דיסקה



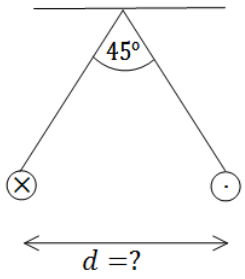
דיסקה ברדיוס R טעונה בצפיפות מטען משטחית σ.
הדיסקה מסתובבת במהירות זוויתית ω סביב ציר הסימטריה שלה.
מצא את השדה המגנטי לאורך ציר הסימטריה.

5) 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?

6) 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 אורך היא: $\mu = 2\frac{gr}{m}$.
מצא את המרחק בין התילים.

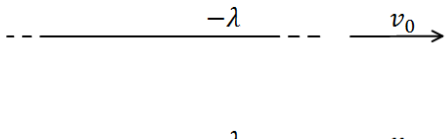
7) מצולע עם אן צלעות

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?

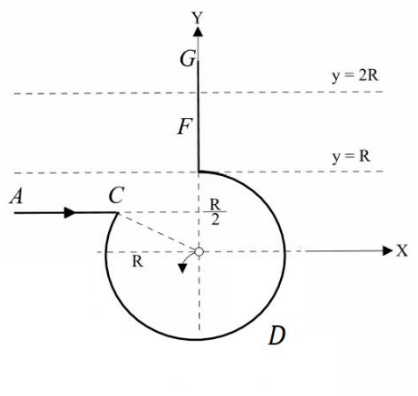
ב. בדוק עבור $n \to \infty$.

8) 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?

9) חישוב שדה של תיל מיוחד



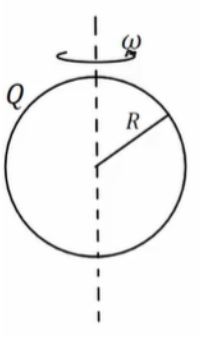
תיל ACDFG כולל חלק מעגלי שרדיוסו R ושני קטעים ישרים אינסופיים.
המשך הקו AC חותך את רדיוס המעגל במרכזו (ראו בשרטוט).
בתיל זורם זרם I, כיוון הזרם מסומן בשרטוט.

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?

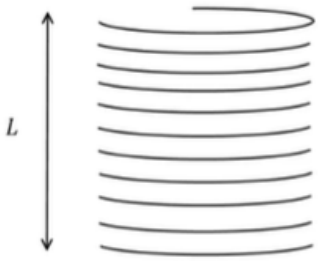
ג. בניסוי נוסף יוצרים שדה מגנטי לא אחיד בכל התחום $R < y < 2R$.
חלק של התיל FG נמצא בתוך תחום זה (ראו בשרטוט).
נתון וקטור השדה $\vec{B}(0,0,\ ay^2)$, כאשר הקבוע a נתון.
מהו הכוח המגנטי ששדה זה מפעיל על התיל?

10) שדה במרכז קליפה כדורית מסתובבת



קליפה כדורית ברדיוס R טעונה במטען Q המפולג באופן אחיד על פני הקליפה.
הקליפה מסתובבת סביב צירה במהירות זוויתית קבועה ω.
הנח כי הסיבוב אינו משפיע על התפלגות המטען וחשב את השדה המגנטי במרכז הקליפה.

11) שדה של סליל סופי



בסליל סופי באורך L, רדיוס R וצפיפות ליפופים אחידה ליחידת אורך n זורם זרם I.
חשבו את השדה המגנטי ב:

א. מרכז הסליל.

ב. הקצה העליון של הסליל.

תשובות סופיות:

1) שאלת הוכחה.

2) $\vec{B}=\frac{\mu_0}{4\pi y}\frac{IL\hat{z}}{\left(\left(\frac{L}{2}\right)^2+y^2\right)^{\frac{1}{2}}}$

3) $Bx=By=0\ ,\ Bz=\frac{\mu_0 IR^2}{2\left(R^2+z^2\right)^{\frac{3}{2}}}$

4) $\vec{B}_T=\frac{\mu_0\sigma w}{2}\left(\left(R^2+z^2\right)^{\frac{1}{2}}+z^2\left(R^2+z^2\right)^{-\frac{1}{2}}-2z\right)$

5) $x_1=-2.76\ ,\ x_2=5.26$

6) $d=0.241m$

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

8) $V=3\cdot10^8\frac{m}{sec}$

9) א. $Bz=\frac{\mu_0 I}{4\pi R}\left(2-\sqrt{3}\right)$ ב. שלילי ג. $\vec{F}=\frac{Ia}{3}7R^3\hat{x}$

10) $B_z=\frac{\mu_0 Qw}{6\pi R}$

11) א. $\frac{\mu_0 InL}{2\left(R^2+\left(\frac{L}{2}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}}$ ב. $\frac{\mu_0 InL}{2\left(R^2+(L)^2\right)^{\frac{1}{2}}}$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 14 - חוק אמפר

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 109

הרצאות ותרגילים:

רקע:

חוק אמפר :

$$C_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$$

$$I_{in} = \int \vec{J} \cdot d\vec{s}$$

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

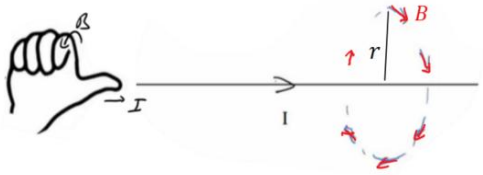
כאשר האינטגרל הוא על הרכיב המשיק של B לאורך מסלול סגור. בדרכ, נבחר מקרים שבהם B אחיד לאורך המסלול והאינטגרל יהיה B כפול אורך המסלול.
הזרם הוא סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול.

המקרים הנפוצים של חוק אמפר :

1. תיל / גליל / מעטפת גלילית אינסופיים
2. מישור אינסופי
3. סליל אינסופי / טוראויד

שדה של תיל אינסופי (ראינו גם בחוק ביו-סבר) :

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



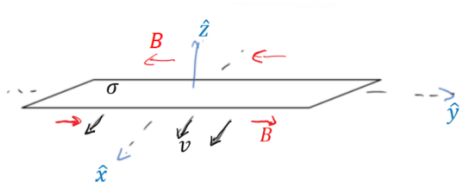
כאשר r הוא המרחק מהתיל.

כיוון השדה מעגלי מסביב לזרם ולפי כלל הבורג כאשר הזרם בכיוון האגודל והשדה בכיוון האצבעות , ניתן להגיד שכיוון השדה הוא בכיוון $\hat{\theta}$ כאשר הזרם בכיוון $\hat{z}$.

שדה של מישור אינסופי:

עבור מישור דק הטעון בצפיפות מטען ליחידת שטח σ ונע בכיוון $\hat{x}$ במהירות v.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \sigma v}{2} \begin{cases} -\hat{y}, & z > 0 \\ \hat{y}, & z < 0 \end{cases}$$

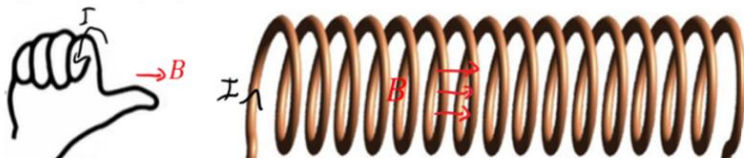


שדה של סליל אינסופי:

$$B = \mu_0 I n$$

כאשר n הוא מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל.

כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.

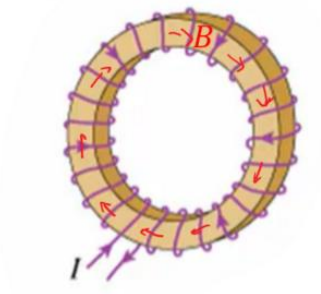


טורואיד:

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

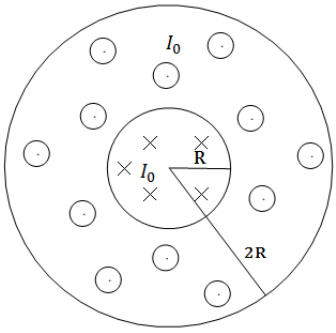
N - מספר הליפופים הכולל.

r - המרחק ממרכז הטורואיד.



שאלות:

1) כבל קו-אקסיאלי

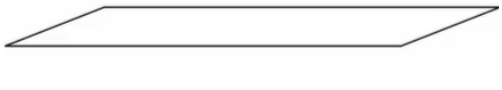


כבל קו-אקסיאלי מורכב מגליל מוליך בעל רדיוס R ומעטפת מוליכה עבה בעלת רדיוס פנימי R ורדיוס חיצוני 2R (ניתן להניח כי קיים מבודד דק בין הגליל הפנימי למעטפת).
בגליל הפנימי זורם זרם I_0 בצפיפות זרם אחידה לתוך הדף.
במעטפת זורם גם כן זרם I_0 בצפיפות אחידה החוצה מהדף.

א. מצא את צפיפות הזרם בגליל ובמעטפת.

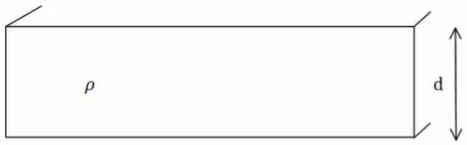
ב. מהו השדה המגנטי בכל המרחב?

2) שדה של מישור דק אינסופי



נתון מישור אינסופי דק אשר זורם בו זרם.
נניח שהמישור טעון בצפיפות מטען σ.
המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה-x במהירות קבועה V_0.
חשב את השדה המגנטי.

3) שדה של מישור עבה

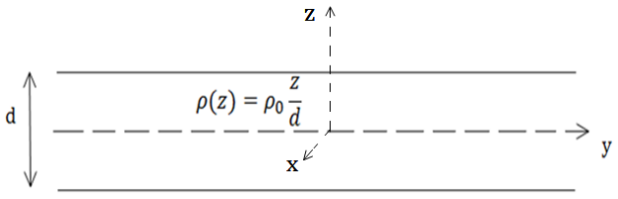


מישור אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען אחידה ליחידת נפח ρ.
המישור מונח במקביל למישור xy וראשית הצירים במרכזו.
המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה-x (החוצה מהדף) במהירות קבועה V_0.
מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

4) שדה של סליל אינסופי

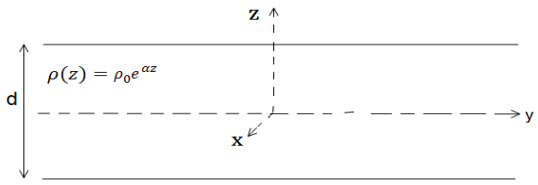
נניח אורך סליל l ומספר ליפופים כולל של סליל N.
צפיפות הליפופים n, רדיוס טבעת a ושטח חתך הסליל של כל טבעת הינו S.
קיימת סימטריה בציר ה-z.
חשב את השדה המגנטי.

5) מישור עם צפיפות מטען משתנה



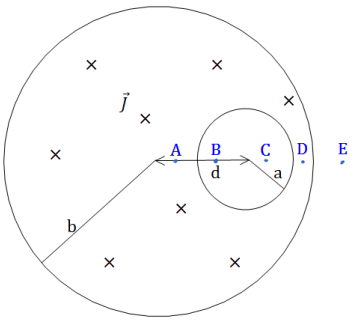
מישור אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען משתנה ליחידת נפח $\rho(z)=\rho_0\frac{z}{d}$.
המישור מונח במקביל למישור xy וראשית הצירים במרכזו.
המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה-x (החוצה מהדף) במהירות קבועה V_0 .
מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

6) מישור אינסופי עם צפיפות אקספוננציאלית



מישור אינסופי בעובי d טעון בצפיפות מטען משתנה ליחידת נפח $\rho(z)=\rho_0 e^{\alpha z}$ כאשר אלפה קבוע.
המישור מונח במקביל למישור xy וראשית הצירים.
המישור מתחיל לנוע בכיוון ציר ה-x (החוצה מהדף) במהירות קבועה V_0 .
מצא את השדה המגנטי מחוץ ובתוך המישור.

7) חור בגליל

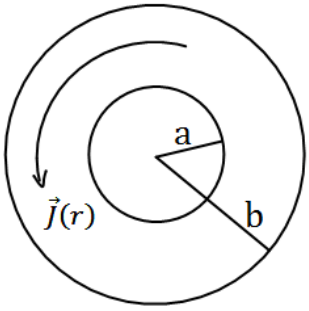


בגליל אינסופי ברדיוס a קודחים חור גלילי ברדיוס b.
מרכז החור נמצא במרחק d ממרכז הגליל.
בגליל זורם זרם לתוך הדף בצפיפות זרם אחידה ונתונה J .

א. מצא את השדה המגנטי בנקודות A , B , C , D , E המסומנות בסרטוט.
הנח כי מרחק הנקודות מהמרכז ידוע וכי כל הנקודות נמצאות על הציר העובר בשני מרכזי הגלילים.

ב. מצא את השדה המגנטי בכל נקודה בתוך החור.
רמז : $\hat{\theta}=\hat{z}\times\hat{r}$ והשדה בתוך החור אחיד.

8) שדה מגנטי של זרם היקפי



בגליל אינסופי בעל רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b
זורם זרם היקפי בעל צפיפות זרם $\vec{J}(r)=Ar^3\hat{\theta}$.
מצא את השדה המגנטי בכל המרחב.
A קבוע נתון.

תשובות סופיות:

1) א. $\vec{J}_{in}=\frac{I_0}{\pi R^2}\hat{z}\quad r<R$, $\vec{J}=\frac{-I_0}{\pi 3R^2}\hat{z}\quad R<r<2R$

ב. $\vec{B}=\frac{I_0 r}{2\pi R^2}\theta\quad r<R$, $B=0\quad R<r<2R$

2) $\vec{B}=\frac{\sigma V_0\mu_0}{2}\begin{cases}(-\hat{y}) & z>0\\ (+\hat{y}) & z<0\end{cases}$

3) $\vec{B}=\rho_0 V_0 z(-\hat{y})$, $\vec{B}=\frac{\rho V_0 d\mu_0}{2}\begin{cases}-\hat{y} & z>\frac{d}{2}\\ \hat{y} & z<-\frac{d}{2}\end{cases}$

4) $\vec{B}=\mu_0 In\hat{z}$

5) $\vec{B}=0\quad z>\frac{d}{2}$, $\vec{B}=0\quad z<-\frac{d}{2}$, $\vec{B}=\frac{\mu_0\rho_0 V_0}{2d}\left(\left(\frac{d}{2}\right)^2-z^2\right)\hat{y}\quad -\frac{d}{2}<z<\frac{d}{2}$

6) $\vec{B}=\frac{\rho_0 V_0}{2\alpha}\left(e^{-\alpha\frac{d}{2}}-e^{\alpha\frac{d}{2}}\right)\hat{y}\cdot\begin{cases}(+1) & z>\frac{d}{2}\\ (-1) & z<-\frac{d}{2}\end{cases}$,

$\vec{B}=\frac{\rho_0 V_0}{2\alpha}\left(e^{-\alpha\frac{d}{2}}+e^{\alpha\frac{d}{2}}-2e^{\alpha z}\right)\hat{y}\quad -\frac{d}{2}<z<\frac{d}{2}$

7) א. $\vec{B}_A=\frac{\mu_0 J}{2}\left(r+\frac{b^2}{d-r}\right)\hat{\theta}$, $\vec{B}_B=\frac{\mu_0 Jd}{2}\hat{\theta}$, $\vec{B}_C=\frac{\mu_0 Jd}{2}\hat{\theta}$, $\vec{B}_D=\frac{\mu_0 Jr}{2}\hat{\theta}-\frac{\mu_0 Jb^2}{2(r-d)}\hat{\theta}$

ב. $\vec{B}=\frac{\mu_0 J}{2}\hat{z}\times d$ $\qquad$ $\vec{B}_E=\frac{\mu_0 Ja^2}{2r}-\frac{\mu_0 Jb^2}{2(r-d)}\hat{\theta}$

8) $\vec{B}=\frac{b^4-r^4}{4}\mu_0\hat{z}\quad a<r<b$, $\vec{B}=A\frac{b^4-a^4}{4}\mu_0\hat{z}\quad 0<r<a$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 15 - מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון

תוכן העניינים

1. חוק אמפר הדיפרנציאלי 114

חוק אמפר הדיפרנציאלי:

רקע:

מציאת צפיפות זרם משטחית $\vec{j}$ משדה מגנטי נתון (חוק אמפר הדיפרנציאלי):

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

מציאת צפיפות זרם קווית $\vec{k}$ משדה מגנטי נתון (כאשר יש אי רציפות בשדה):

$$\hat{n}_{1\to 2} \times \Delta\vec{B} = \mu_0 \vec{k}$$

כאשר $\hat{n}_{1\to 2}$ הוא וקטור יחידה בכיוון הקפיצה מתחום 1 לתחום 2

$$\Delta\vec{B} = \vec{B}_2 - \vec{B}_1$$

בשביל למצא זרם של תיל נחפש שדה מהצורה:

$$\vec{B} = \frac{c}{r}\hat{\theta}$$

בקואורדינטות גליליות ובאזור הכולל את הראשית, לאחר מכן נשווה אותו לשדה של תיל אינסופי ($\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$) ונקבל $I = \frac{c2\pi}{\mu_0}$

שאלות:

1) מציאת צפיפות זרם משדה מגנטי נתון

מצאו את צפיפות הזרם (משטחית וקווית) היוצרת את השדה המגנטי הבא:

$$B_\theta = \begin{cases} \mathrm{Ar} + \frac{C}{r} r < a \\ \frac{D}{r} + \frac{C}{r} a < r \end{cases}.$$

r הוא המרחק מציר ה-z (קואורדינטות גליליות).

2) שדה בכיוון z

מצאו את צפיפות הזרם (משטחית וקווית) היוצרת את השדה המגנטי הבא:

$$\vec{\mathrm{B}} = \begin{cases} (\mathrm{Ar}+\mathrm{C})\hat{z} & \mathrm{r} < \mathrm{a} \\ 0 & \mathrm{a} < \mathrm{r} \end{cases}.$$

r הוא המרחק מציר ה-z (קואורדינטות גליליות).

תשובות סופיות:

1) $I = \frac{2\pi C}{\mu_0}$, $\vec{K} = \frac{1}{\mu_0}\left(\frac{D}{A} - Aa\right)\hat{z}$, $\vec{J} = \frac{1}{\mu_0}\begin{cases} 2A\hat{z} & r < a \\ 0 & a < r \end{cases}$

2) $\vec{K}(a) = \frac{Aa + C}{\mu_0}\hat{\theta}$, $\vec{J} = \begin{cases} -\frac{A}{\mu_0}\hat{\theta} & r < a \\ 0 & a < r \end{cases}$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 16 - חוק פאראדיי

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 116

הרצאות ותרגילים:

רקע:

חוק פארדיי :

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

הכא"מ מתנהג כמו מקור מתח במעגל.

בד"כ נמצא באמצעות החוק את גודל הכא"מ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.

חוק לנץ :

הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה :

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

כאשר $\vec{v}$ היא מהירות הגוף.

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי:

$$\varepsilon = BLv\sin\alpha$$

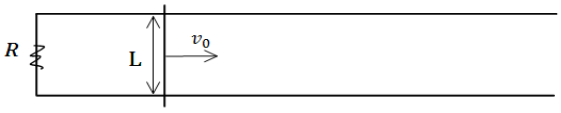
כאשר v היא מהירות המוט, L האורך שלו ו- α היא הזווית בין המהירות לשדה.

כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

שאלות:

1) מוט שזז על מסילה

במערכת הבאה ישנה מסילה המורכבת ממוליכים אידיאליים.



בתחילת המסילה נמצא נגד R.
המרחק בין פסי המסילה הוא L.
על המסילה נמצא מוט מוליך נוסף המחבר בין שני פסי המסילה, המוט הנוסף נע במהירות קבועה V_0.

א. מהו הכא"מ במעגל?

ב. מהו הזרם במעגל?

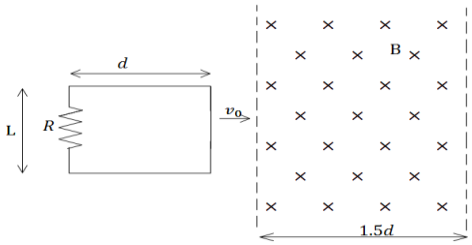
ג. מהו הכוח החיצוני הדרוש על מנת למשוך את המוט במהירות קבועה?

ד. מהו ההספק של הכוח החיצוני?

ה. מהו ההספק בנגד?

2) מסגרת נעה בתוך שדה

מסגרת מלבנית בעלת אורך d ורוחב L, נעה במהירות קבועה v_0, לכיוון אזור בו שורר שדה מגנטי אחיד B.



אורך האזור הוא 1.5d ורוחבו ארוך מאוד.
למסגרת התנגדות כוללת R.
הנח כי ב- $t=0$ הצלע הימנית של המסגרת נכנסת לאזור עם השדה.

א. מצאו את הכא"מ במסגרת (כתלות בזמן).

ב. מצאו את הזרם במסגרת, גודל וכיוון (כתלות בזמן).

ג. מצאו את הכוח הדרוש להפעיל על המסגרת על מנת שתנוע במהירות קבועה.

ד. מהו ההספק של הכוח ומהו ההספק שהופך לחום בנגד?

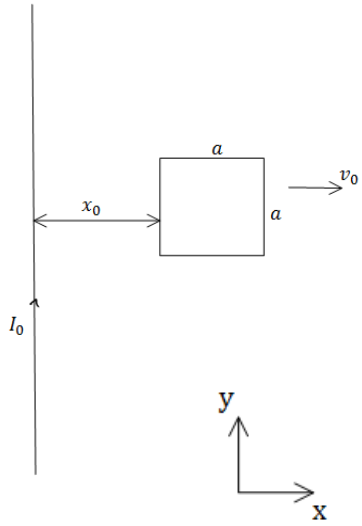
3) מסגרת נעה ליד תיל אינסופי

מסגרת ריבועית מוליכה עם צלע a נמצאת על מישור xy.

ונע במהירות קבועה V_0 בכיוון ציר ה- x.

מיקום המסגרת ב- $t=0$ הוא x_0.

תיל אינסופי מונח לאורך ציר ה- y וזורם בו זרם I_0 בכיוון החיובי של ציר ה- y.



א. מצא את הכא"מ במסגרת.

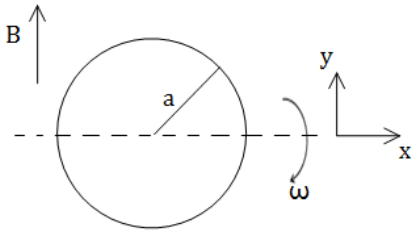
ב. מצא את הזרם במסגרת אם ידוע שההתנגדות הכללית שלה היא R.

ג. מצא את הכוח הדרוש על מנת להזיז את המסגרת במהירות קבועה.

4) טבעת מסתובבת

טבעת מוליכה ברדיוס a מונחת במישור xy ומתחילה להסתובב במהירות זוויתי קבועה ω סביב ציר ה-x.

במרחב קיים שדה מגנטי אחיד B_0 בכיוון ציר y.



א. מצא את הכא"מ בטבעת כפונקציה של הזמן.

ב. מצא את הכא"מ בטבעת אם גם השדה המגנטי משתנה בזמן לפי $B(t)=B_0\cos(\omega t)$.

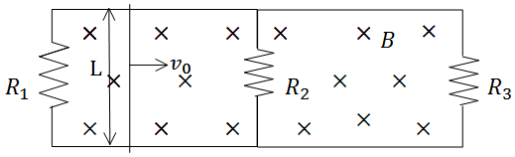
5) מוט זז בתוך מעגל

מוט מוליך באורך L נע על צלעותיו של המעגל הבא.

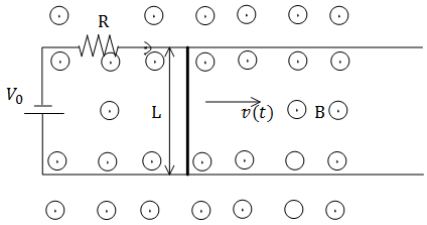
בתוך המעגל קיים שדה מגנטי אחיד וקבוע לתוך הדף B.

נתונים: L, v_0, R_1, R_2, R_3, B.

מצא את הזרם משני צידי המוט עבור המקרה בו המוט נמצא בין הנגד הראשון לשני ועבור המקרה בו המוט נמצא בין הנגד השני לשלישי.



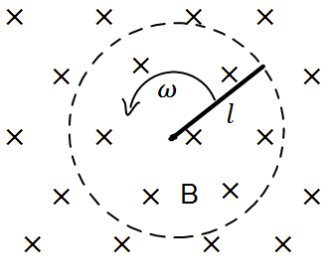
6) מוט נע על מסגרת עם מקור מתח



מוט מוליך באורך L ומסה M נע על גבי מסילה מוליכה במהירות שאינה קבועה בזמן.
למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R ומקור מתח V_0 .
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

א. מצא את הכא"מ במוט כתלות במהירות המוט, ומצא את הזרם במעגל גודל וכיוון.
ב. רשום משוואת תנועה עבור המוט, מהי מהירותו הסופית.
ג. מצא את מהירות המוט כתלות בזמן אם התחיל ממנוחה.
ד. מהו הספק החום בנגד?

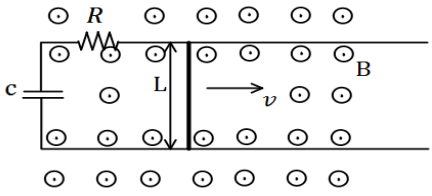
7) מוט מסתובב



מוט בעל אורך l מסתובב סביב אחד הקצוות שלו במהירות זוויתית קבועה ω.
המוט נמצא בשדה מגנטי אחיד B הניצב למישור בו הוא מסתובב.

א. מצא את המתח בין קצות המוט באמצעות אינטגרציה על חוק לורנץ.
ב. מצא את המתח במוט באמצעות חוק פארדיי.

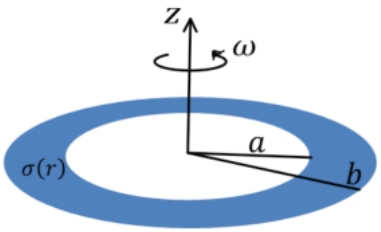
8) פארדיי עם קבל ונגד ביחד



מוט מוליך באורך L נע על גבי מסילה מוליכה במהירות קבועה בזמן v.
למסילה מחוברים נגד בעל התנגדות R וקבל בעל קיבול C.
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

א. מצא את הזרם במעגל גודל וכיוון (כתלות בזמן).
ב. מה הכוח בו צריך למשוך את המוט על מנת שיישאר במהירות קבועה?
ג. מצא מהו ההספק של הכוח הנ"ל (כתלות בזמן).
ד. מצא מהו ההספק בנגד ובקבל (כתלות בזמן).
ה. הראה כי ההספק של הכוח החיצוני שווה להספק של הקבל והנגד. הסבר מדוע ההספקים שווים.

9) טבעת בתוך טבעת רחבה



טבעת מבודדת בעלת רדיוס פנימי a ורדיוס חיצוני b טעונה בצפיפות מטען משטחית חיובית ולא אחידה.

$$\sigma(r)=\begin{cases}0 & r<a\\ \sigma_0\dfrac{a}{r} & a\le r\le b\\ 0 & b<r\end{cases}.$$

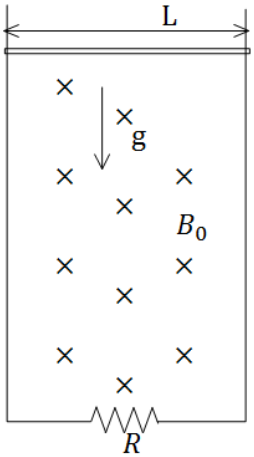
הטבעת מונחת במישור xy כך שמרכזה מתלכד עם ראשית הצירים וציר z עובר דרך מרכז הטבעת ומאונך לפני הטבעת.
מסובבים את הטבעת סביב ציר z (המאונך למישור הטבעת) במהירות זוויתית שהולכת וגדלה עם הזמן לפי הנוסחה $\omega=\alpha t^3$.

א. מהו השדה המגנטי במרכז הטבעת?

ב. במרכז הטבעת מניחים טבעת קטנה ודקה במישור xy כך שמרכזה מתלכד עם ראשית הצירים ורדיוסה r_0 $(r_0 \ll a)$.
חשבו את השטף בטבעת הקטנה, מאחר והטבעת הקטנה מאוד קטנה יחסית לטבעת הגדולה תוכלו להזניח את השינוי במרחב של השדה המגנטי העובר דרך הטבעת הקטנה.

ג. חשבו את הזרם שייווצר בטבעת הקטנה אם התנגדותה R.

10) מוט נופל מחובר למסילה



מוט מוליך מונח על מסילה אנכית ונופל בהשפעת כוח הכובד. במרחב קיים שדה מגנטי B_0 לתוך הדף.
רוחב המסילה הוא L ומסת המוט היא M.
התנגדות המסילה קבועה ושווה ל-R.

א. מצא את הכא"מ במעגל כתלות במהירות המוט v.

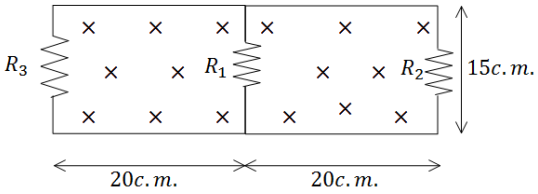
ב. מצא את כיוון השדה המושרה ואת כיוון הזרם שנוצר במעגל.

ג. מצא את הכוח המגנטי הפועל על המוט (עדיין כתלות במהירות).

ד. רשום משוואת כוחות על המוט.
מהי המהירות הסופית של המוט?

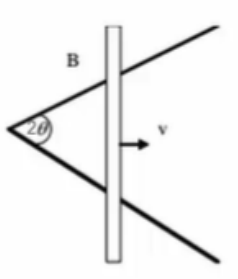
ה. מצא את המהירות והזרם כפונקציה של הזמן.

11) כא"מ בשני מעגלים



במעגל הבא התנגדות הנגדים היא:
$R_1 = 1\Omega, R_2 = 2\Omega, R_3 = 3\Omega$.
במרחב קיים שדה מגנטי $B = 2\frac{T}{sec} \cdot t$
אחיד לתוך הדף.
ממדי המעגל נתונים בשרטוט.
מצא את הזרם בכל נגד.

12) מוט נע על מסילות בזווית



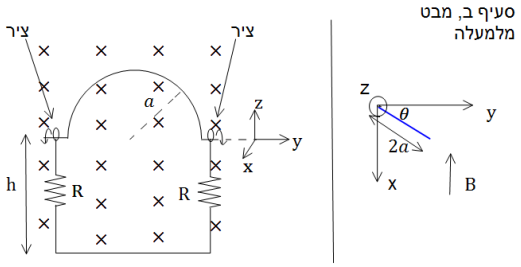
שתי מסילות מוליכות יוצרות זווית 2θ ביניהן.
מוט מוליך מונח עליהן ויוצר משולש שווה שוקיים.
המוט נע לאורכם במהירות קבועה v, ומתחיל את תנועתו בקדקוד המשולש.
כל המערכת נמצאת בשדה מגנטי אחיד B היוצא מהדף.

א. מצא את הכא"מ המושרה כפונקציה של הזמן.

ב. אם התנגדותו של המוט ליחידת אורך היא R_1, והמסילות חסרות התנגדות, חשב את הזרם המושרה כפונקציה של הזמן.

ג. חשב את ההספק שמועבר למערכת ליצירת הזרם.

13) כבל מסתובב



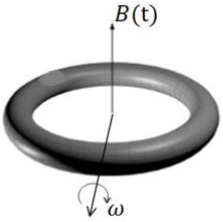
במערכת הבאה ישנו כבל מוליך אידיאלי בצורת חצי מעגל ברדיוס a.
בשתי הקצוות של חצי המעגל הכבל מחובר לצירים כך שניתן לסובבו סביבם (סביב ציר ה-y בציור).
הצירים מחוברים למסגרת מלבנית בגובה $h > a$, המסגרת קבועה במקום.
בכל צד של המסגרת קיים נגד R.
במרחב קיים שדה מגנטי אחיד B לתוך הדף (במינוס x).
ב-$t = 0$ הכבל נמצא במצב המתואר בציור ומתחילים לסובבו סביב הצירים (ציר ה-y) במהירות זוויתית ω (להמחשה, ברגע הראשון כל הנקודות במעגל מתקדמות אלינו).

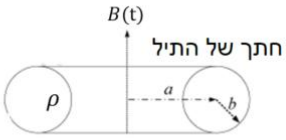
א. מהו הזרם בכבל?

ב. נניח כי העמוד השמאלי של המסגרת נמצא בראשית וניתן לסובב את כל המערכת סביב עמוד זה.
מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שהזרם יקטן פי 2.

ג. מצא את הזווית בה צריך לסובב את המסגרת כך שההספק יקטן פי 2.

14) גוש נחושת מעוצב לטבעת





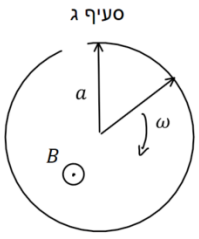
נתון גוש נחושת בעל מסה m צפיפות מסה α והתנגדות סגולית ρ .
מעבדים את הנחושת לתיל שרדיוס שטח החתך שלו הוא b.
יוצרים מהתיל טבעת שרדיוסה a
כך ש-a >> b.
מניחים את הטבעת מקובעת במרחב כך שקיים שדה מגנטי אחיד המשתנה בזמן $B(t)$ במאונך לטבעת.
קצב השינוי של השדה הוא $\beta = \frac{dB}{dt}$.

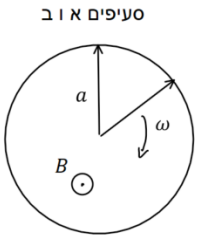
א. חשב את הזרם המושרה בטבעת.

ב. הראה כי אפשר לבטא את הזרם כתלות של β, ρ, α, m וללא תלות במימדי התיל (כלומר אינו תלוי ב-a ו-b).

ג. כעת מתחילים לסובב את הטבעת במהירות זוויתית ω סביב ציר העובר במרכזה ומאונך לשדה המגנטי.
חשב את הזרם הנוצר בטבעת כתלות בזמן.
האם כעת הוא תלוי במימדי התיל?

15) שעון פארדיי





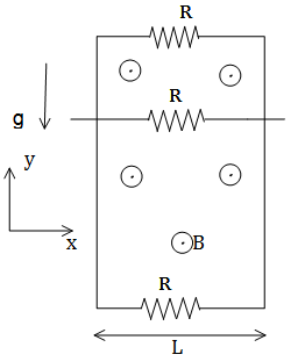
לטבעת מוליכה שאורך מחוגה a והתנגדותה ליחדת אורך היא r מחברים שני מחוגים מוליכים שהתנגדות כל אחד מהם היא R.
המחוגים מחוברים אחד לשני במרכז הטבעת ובקצה השני נוגעים בטבעת.
מחוג אחד קבוע במקומו והשני מסתובב במהירות זוויתית קבועה ω.
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B החוצה מהדף.

א. חשבו את ההתנגדות הכוללת של המעגל כתלות בזווית θ.

ב. חשבו את גודל וכיוון הזרם כתלות בזמן בכל מחוג עבור הסיבוב הראשון (הניחו שהמוט הנע מתחיל תנועתו בצמוד למוט הנייח).

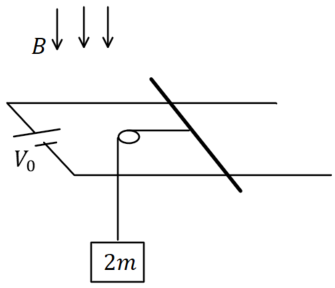
ג. חותכים חתיכה בסוף המעגל של הטבעת (ראה ציור).
חזור על סעיף ב.

16) נגד נופל במסגרת



מסגרת מלבנית מוליכה, ארוכה מאוד ובעלת רוחב L, נמצאת בשדה הכובד. אורכה נמצא על ציר ה-y ורוחבה על ציר ה-x. בצלע העליונה ובצלע התחתונה של המסגרת קיימים נגדים עם התנגדות זהה R.
מוט מוליך בעל התנגדות זהה R מחליק לאורך ציר ה-y על המסגרת.
מצא את המהירות הסופית של המוט אם במרחב קיים שדה מגנטי אחיד B בכיוון z ונתונה מסת המוט.

17) מוט על מסילה מחובר למשקולת



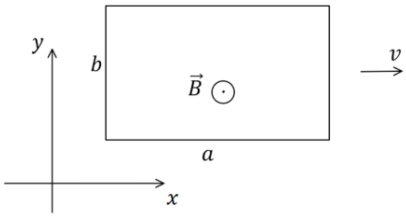
מוט מוליך בעל אורך L, מסה m והתנגדות R מונח על מסילה אופקית חלקה העשויה משני מוליכים ארוכים מאוד וחסרי התנגדות.
המוליכים מחוברים בקצה למקור מתח V_0.
בכל המרחב קיים שדה מגנטי אחיד B המאונך למישור המסילה וכלפי מטה.
משקולת שמסתה $2m$ מחוברת למוט באמצעות חוט דרך גלגלת אידיאלית.

א. חשבו את V_0 אם נתון שהמוט במנוחה.

ב. חותכים את החוט.
רשמו משוואת תנועה עבור המוט ומצאו את המהירות המירבית של המוט, מה הזרם במהירות זו?

ג. מצאו את מהירות המוט כתלות בזמן והשוו לתשובה של סעיף ב.

18) מסגרת נעה בשדה מגנטי משתנה לינארית



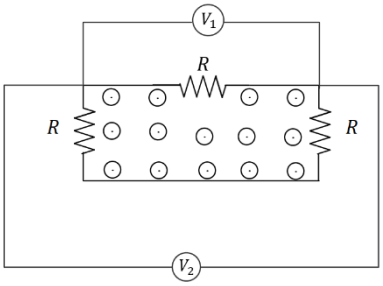
מסגרת מלבנית בגודל $a \times b$ מסה m והתנגדות R נמצאת על מישור xy. המסגרת נעה באיזור בו קיים שדה מגנטי $\vec{B}(x) = \alpha(x_0 - x)\hat{z}$.
ברגע $t = 0$ מהירות המסגרת היא $v_0\hat{x}$
כאשר α , x_0 , v_0 קבועים נתונים.

א. מצא את הכא"מ בלולאה כתלות במהירות הלולאה.
הראה כי הוא אינו תלוי במיקום ההתחלתי של המסגרת.

ב. מצא את מהירות הלולאה כתלות בזמן.

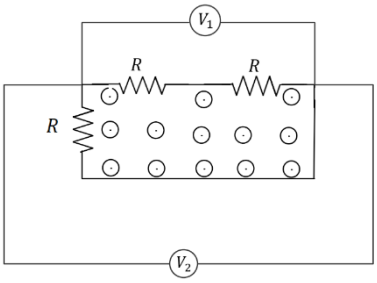
ג. מהו המרחק אותו עברה הלולאה עד לעצירתה?

19) מעגל עם פארדיי



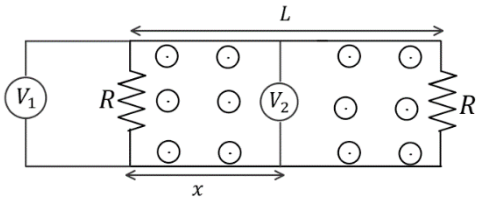
במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד.
אם מד המתח V_1 מורה 1mV מה מורה מד המתח V_2?

20) מעגל עם פארדיי 2



במעגל המכיל שלושה נגדים זהים קיים שדה מגנטי משתנה בזמן בחלק הפנימי של המעגל בלבד.
אם מד המתח V_1 מורה 1mV מה מורה מד המתח V_2?

21) מעגל עם פארדיי 3



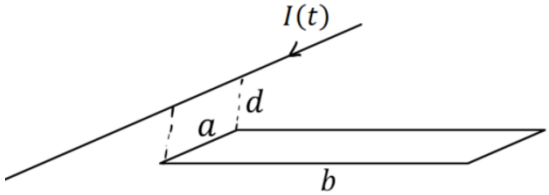
במעגל הבא שני נגדים זהים. בין הנגדים (ורק ביניהם) קיים שדה מגנטי אחיד המשתנה בזמן. המרחק בין הנגדים הוא L. מחברים שני מדי מתח אידיאלים כפי שמתואר באיור כאשר x הוא המרחק של מד המתח V_2 מהנגד השמאלי.
נתון כי מד המתח V_1 מודד 1mV .
מה ימדוד מד המתח V_2 אם:

א. $x=\frac{1}{2}L$

ב. $x=\frac{1}{4}L$

22) תיל מעל מסגרת

בתיל אינסופי זורם זרם התלוי בזמן $I(t)$. התיל נמצא בגובה d מעל מסגרת מלבנית ובמקביל לאחת מצלעות המסגרת, ראו שרטוט. גודל המסגרת הוא $a\times b$ מהו השטף של השדה המגנטי דרך המסגרת כתלות ב-$I(t)$?



תשובות סופיות:

1) א. $\varepsilon=-BLV_0$ ב. $I=\frac{BLV_0}{R}$ ג. $\vec{F}_{0xt}=\frac{B_0^2L^2V_0}{R}\hat{x}$

ד. $\rho_{ext}=\frac{B_0^2L^2V_0}{R}$ ה. $\rho_R=\frac{BLV}{R}$

2) א. $|\varepsilon|=BLV_0$ ב. $I=\frac{BLV_0}{R}$ ג. $\vec{F}_{ext}=\frac{B^2L^2V_0}{R}\hat{x}$

ד. $\rho_{ext}=\frac{B^2L^2V_0^{\,2}}{R}$

3) א. $\varepsilon=-\frac{\mu_0I_0a}{2\pi}\left(\frac{1}{x+a}-\frac{1}{x}\right)V_0$ ב. $I=\frac{-\frac{\mu_0I_0a}{2\pi}\left(\frac{1}{x+a}-\frac{1}{x}\right)V_0}{R}$

ג. $\left|\vec{F}\right|=F_1-F_2$

4) א. $\varepsilon=-B_0\pi a^2(-\omega)\sin(\omega t)$ ב. $\varepsilon=\omega B_0\pi a^2\sin(2\omega t)$

5) בין הראשון לשני: $I_L=I_1\ ,\ I_R=I_2+I_3$

בין השני לשלישי: $I_L=I_1+I_2\ ,\ I_R=I_3$

6) א. $|\varepsilon|=BLV(t)$ ב. $a=\frac{BL}{MR}\left(-BLV(t)+V_0\right)\ ,\ V_{final}=\frac{V_0}{BL}$

ג. $V(t)=\frac{V_0}{BL}\left(1-e^{-\frac{B^2L^2}{MR}t}\right)$ ד. $P_R=\left(\frac{BLV(t)-V_0}{R}\right)^2R$

7) א. $\varepsilon=B\frac{l^2}{2}\omega$ ב. $\varepsilon=-B\cdot\omega\frac{l^2}{2}$

8) א. $I(t)=\frac{BLV}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$ ב. $\vec{F}_{ext}=\frac{B^2L^2V}{R}e^{\frac{-t}{RC}}\hat{x}$ ג. $P_F=\frac{B^2L^2V^2}{R}e^{-\frac{t}{RC}}\neq I^2R$

ד. $P_C=\frac{B^2L^2V^2}{R}\left(e^{-\frac{t}{RC}}-e^{-\frac{2t}{RC}}\right)\ ,\ P_R=\frac{B^2L^2V^2}{R}e^{-\frac{2t}{RC}}$ ה. הוכחה

9) א. $\vec{B}=\mu_0\sigma_0a\omega\cdot\frac{1}{2}\ln\frac{b}{a}\hat{z}$ ב. $\varphi=\mu_0\sigma_0a\omega\frac{1}{2}\ln\frac{b}{a}\pi r_0^2$

ג. $I=\frac{3\mu_0\sigma_0a\pi r_0^2\alpha\ln\frac{b}{a}}{2R}$

10) א. $|\varepsilon|=B_0LV_y$ ב. כיוון השדה המושרה בכיוון השדה שקיים, לתוך הדף.

ג. $F=\frac{B_0^{\,2}L^2}{R}V\hat{y}$ ד. $V_{final}=\frac{mgR}{B_0^2\cdot L^2}$ ה. $V(t)=\left(1-e^{-\frac{k}{m}t}\right)\frac{mg}{k}\ ,\ k=\frac{B_0^2L^2}{R}$

11 $I_{R1}=\frac{0.6}{110}A\ ,\ I_{R2}=\frac{3}{110}A\ ,\ I_{R3}=\frac{2.4}{110}A$

12 א. $\varepsilon=2V^2\tan\theta tB$ ב. $I=\frac{V\cdot B}{R_1}$ ג. $P_{out}=\frac{V^2B^2}{R_1}2\cdot V\cdot t\cdot\tan\theta$

13 א. $I=\frac{B\pi a^2\omega}{4R}\sin\omega t$ ב. $\theta=60°$ ג. $\theta=45°$

14 א. $I=\frac{\beta\pi b^2a}{2\rho}$ ב. $I=\frac{\beta m}{4\pi\rho\alpha}$ ג. $I=\frac{m\left(\beta\cos\theta-B\sin\theta\omega\right)}{4\rho\alpha\pi}$

15 א. $R_T=2R+\frac{ar\theta\left(2\pi-\theta\right)}{2\pi}$

ב. $I_T=\frac{B\omega a^2\pi}{4\pi R+ar\omega t\left(2\pi-\omega t\right)}$, במחוג שעומד בכיוון הרדיאלי ובמחוג שנע בכיוון $\hat{r}$.

ג. $I(t)=\frac{B\omega\frac{a^2}{2}}{2R+ra\omega t}$

16 $V=\frac{3Rmg}{2B^2L^2}$

17 א. $V_0=\frac{2mgR}{BL}$ ב. $\frac{BL}{R}\left(V_0-BLV\right)=ma\ ,\ V_{max}=\frac{V_0}{BL}$

ג. $V(t)=\frac{V_0}{BL}\left(1-e^{-\frac{B^2L^2}{MR}t}\right)$

18 א. $|\varepsilon|=\alpha baV$ ב. $V(t)=V_0e^{-kt}$ ג. $\Delta x=\frac{V_0}{k}$

19 $1mV$

20 $0.5mV$

21 א. 0 ב. $0.5mV$

22 $\frac{\mu_0aI(t)}{4\pi}\ln\left|\frac{b^2+d^2}{d^2}\right|$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 17 - מומנט דיפול מגנטי

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים 127

הסברים ותרגילים:

רקע:

דיפול מגנטי הוא לולאת זרם סגורה.

מומנט הדיפול המגנטי:

$$\vec{\mu} = I\vec{A}$$

I - הזרם בלולאה

$\vec{A}$ - השטח הסגור על-ידי הלולאה. כיוונו במאונך למשטח ובהתאם לכלל יד ימין של הזרם.

מומנט הדיפול מסומן לעיתים גם באות m.

השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדיי הדיפול:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0[3(\vec{\mu}\cdot\hat{r})\hat{r} - \vec{\mu}]}{4\pi r^3}$$

מומנט כוח שפועל על דיפול מגנטי הנמצא בשדה מגנטי חיצוני:

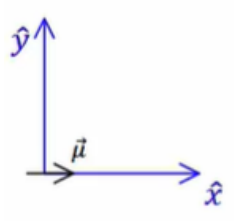
$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

האנרגיה הפוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי חיצוני:

$$U = -\vec{\mu}\cdot\vec{B}$$

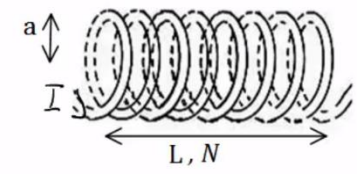
שאלות:

1) מטען מסתובב סביב דיפול בראשית



נתון דיפול מגנטי הממוקם בראשית $\mu = (\mu, 0,0)$.
מצא את μ כך שאלקטרון הממוקם בנקודה $(0, -a, 0)$ עם מהירות $(0,0, v)$ יבצע תנועה מעגלית.

2) מומנט דיפול מגנטי של סליל



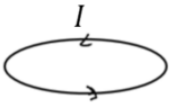
חשב את מומנט הדיפול המגנטי של סליל.

3) טבעת משרה זרם בטבעת



נתונות שתי טבעות מוליכות הנמצאות זו מעל זו.
מזרימים זרם בטבעת התחתונה נגד כיוון השעון שעוצמתו הולכת וגדלה.

א. מה כיוון הזרם בטבעת העליונה?



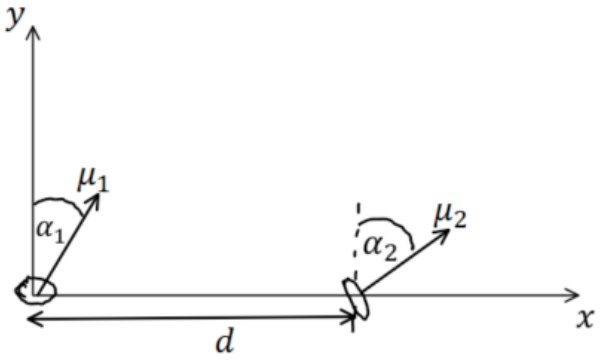
ב. ניתן להסתכל על דיפול מגנטי כמגנט קטן כך שכיוון מומנט הדיפול הוא הכיוון מדרום לצפון של המגנט.
לאן יפעל הכוח בין הטבעות?
מזיזים את הטבעת העליונה להיות לצד הטבעת התחתונה .



ג. חזרו על סעיף א.

4) אנרגיית דיפול דיפול

שני דיפולים מגנטיים נמצאים במרחק d זה מזה לאורך ציר ה-x.
לשני הדיפולים מומנט מגנטי הזהה בגודלו: $|\overrightarrow{\mu_1}| = |\overrightarrow{\mu_2}| = \mu$.
שני וקטורי מומנט הדיפול נמצאים על מישור $x-y$ והזוויות שלהם עם ציר ה-y הן α_1 ו- α_2 בהתאמה. מצאו את העבודה הדרושה להרחיק את הדיפולים ממצב זה עד אינסוף. הניחו שהדיפולים אינם משנים את כיוונם בזמן שהם מתרחקים.



תשובות סופיות:

1) $|e|\frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi a^2} = m_e v$

2) $\mu_T = NI\pi a^2$

3) א. עם השעון. ב. כוח דחייה. ג. נגד השעון.

4) $\frac{\mu_0\mu_1\mu_2}{4\pi d^3}\left(2\sin(\alpha_1)\sin(\alpha_2)-\cos(\alpha_1)\cos(\alpha_2)\right)$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 18 - השראות

תוכן העניינים

1. השראות עצמית 130
2. השראות הדדית 136

השראות עצמית:

רקע:

ההשראות ברכיב:

$$L = \frac{\phi_B}{I}$$

כאשר ϕ_B הוא השטף המגנטי דרך הרכיב ו- I הוא הזרם ברכיב.

- ההשראות היא תכונה שתלויה רק במבנה ולכן היא בד"כ קבועה.

חישוב השראות לפי הגדרה:

1. נניח שזורם זרם I ברכיב.
2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם בתוך הרכיב.
3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב.
4. נציב בנוסחה של ההשראות והזרם יצטמצם.

השראות של סליל:

$$L = \frac{\mu_0 \pi a^2 N^2}{l}$$

כאשר N מספר הליפופים הכולל, l אורך הסליל ו- a רדיוס טבעת.

כא"מ ברכיב עם השראות L:

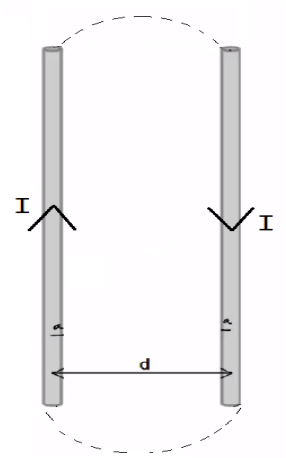
$$\varepsilon = -L\dot{I}$$

האנרגיה האגורה בסליל (או בכל רכיב בעל השראות):

$$U_L = \frac{1}{2}LI^2$$

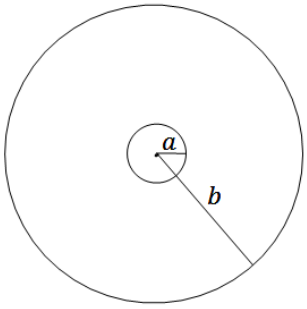
שאלות:

1) שני תיילים ארוכים



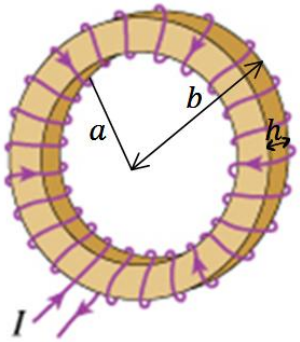
נתונים שני תיילים מאוד ארוכים שהמרחק ביניהם הוא d.
רדיוס כל אחד מהתיילים הוא a ונתון שהתיילים מחוברים ביניהם באינסוף. נתון זרם I במערכת.
הנח כי $d >> a$ והתיילים אינם משפיעים אחד על השני.
חשבו השראות של המערכת ליחידת אורך.
ניתן להזניח את השדה בתוך התיילים.

2) השראות בכבל קואקסיאלי



כבל קו אקסיאלי מורכב מתיל פנימי ברדיוס a ומעטפת דקה ברדיוס b. התיל והמעטפת באורך $l \gg a, b$.
בתיל הפנימי זורם זרם I נתון, ובמעטפת זורם זרם זהה בכיוון ההפוך.
מצאו את ההשראות העצמית ליחידת אורך של המערכת.
הזנח את השדה המגנטי בתוך התיל הפנימי.

3) השראות בטורואיד



בתמונה נתון טורואיד.
הרדיוס הפנימי של הטורואיד הוא a והחיצוני b.
גובה (או עובי) הטורואיד הוא h ומספר הליפופים N.

א. מצאו את ההשראות של הטורואיד.

ב. מצאו את האנרגיה האגורה בטורואיד אם זורם בו זרם I.

תשובות סופיות:

1) $L = \frac{l\mu_0}{\pi}\ln\frac{d-a}{a}$

2) $\frac{L}{l} = \frac{\mu_0 \ln\frac{b}{a}}{2\pi}$

3) א. $L = \frac{\mu_0 N^2 h \ln\frac{b}{a}}{2\pi}$ ב. $U_L = \frac{1}{2}LI^2$

מעגלי RL:

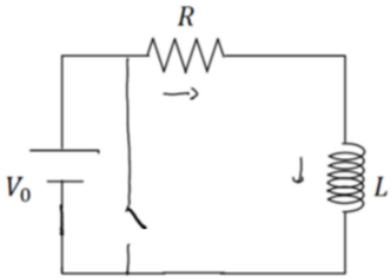
רקע:

המתח על סליל (משרן) במעגל:

$$V_L = L\dot{I}$$

הצד הגבוה הוא בנקודה שבה נכנס הזרם לסליל.

טעינה:



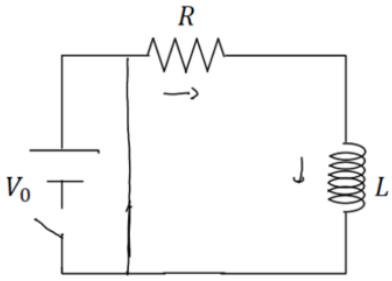
$$V_0 - IR - L\dot{I} = 0$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

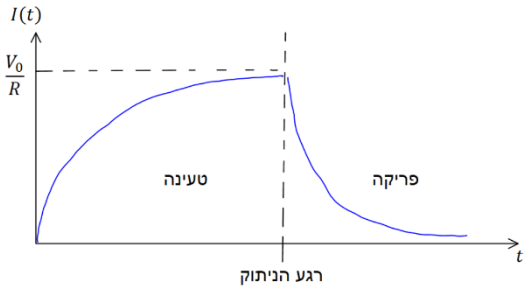
סליל (משרן) בהתחלה מתנהג כמו נתק ולאחר זמן רב כמו קצר.

פריקה:



$$-IR - L\dot{I} = 0$$

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



חיבור סלילים (משרנים) במעגל הוא כמו חיבור נגדים:

בטור:

$$L_T = L_1 + L_2 + \cdots$$

$$V_T = V_1 + V_2 + \cdots$$

$$I_T = I_1 = I_2 = \cdots$$

במקביל:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots$$

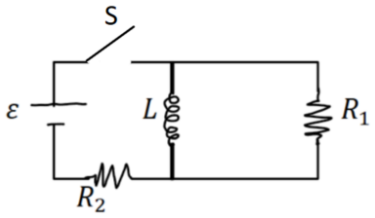
$$V_T = V_1 = V_2 = \cdots$$

$$I_T = I_1 + I_2 + \cdots$$

שאלות:

1) תרגיל 1 ב-RL

במעגל הבא המפסק סגור זמן רב, התנגדות הנגדים והשראות הסליל נתונה.



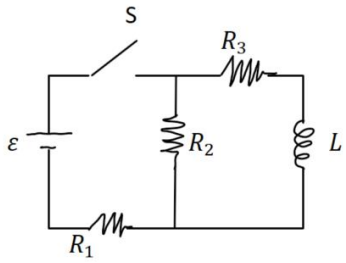
א. מצאו את הזרם בכל נגד ואת הזרם בסליל.

ב. פותחים את המפסק, מהו הזרם ברגע פתיחת המפסק ולאחר זמן רב?

ג. מהו הזרם כתלות בזמן לאחר פתיחת המפסק?

2) תרגיל 2 ב-RL

במעגל הבא מתקיים:



$\varepsilon = 5V\,,\ R_1 = 100\Omega\,,\ R_2 = 200\Omega\,,\ R_3 = 300\Omega\,,\ L = 30mH$.

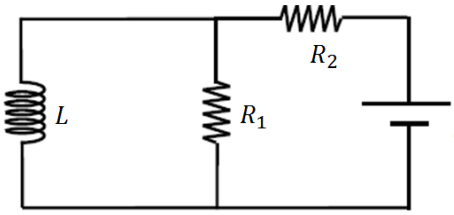
א. מה המתח שמייצר הסליל עם סגירת המפסק?

ב. מה הזרם בכל נגד לאחר זמן רב?

ג. מהו קבוע הזמן של המעגל?

3) תרגיל 3 ב-RL

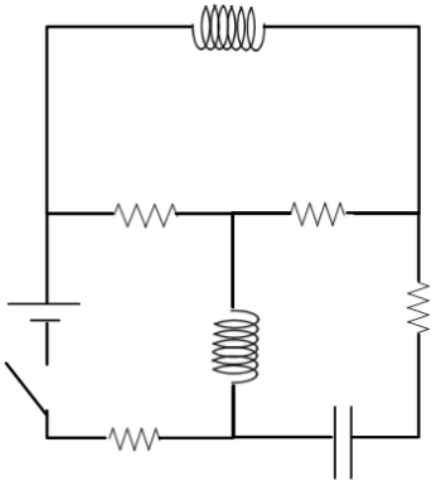
במעגל הבא נתון כא"מ המקור, התנגדות הנגדים והשראות הסליל.



מצאו את הזרם בסליל כפונקציה של הזמן אם נתון שהזרם בו שווה לאפס ב-t=0.

4) תרגיל 4 ב-RL

במעגל הבא התנגדות כל הנגדים היא R ומתח הסוללה הוא V (R ו-V נתונים).



א. מצאו את הזרם בסוללה ברגע סגירת המתג (הניחו שהקבל אינו טעון ואין זרמים במעגל לפני סגירת המתג).

ב. מצאו את הזרם בסוללה ובסלילים לאחר זמן רב. מהו המתח על הקבל?

ג. חזרו על סעיפים א ו-ב אם במקום כל סליל היה קבל ובמקום הקבל היה סליל.

תשובות סופיות:

1) א. $I_L = I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2}\ ,\ I_1 = 0$ ב. $I_L(0) = I_1 = \frac{\varepsilon}{R_2}\ ,\ I_L(\infty) = 0$

ג. $I(t) = \frac{\varepsilon}{R_2} e^{-\frac{t}{\frac{R_1}{L}}}$

2) א. $V_L = 3.3V$ ב. $I_1 = 22.7mA\ ,\ I_2 = 13.6mA\ ,\ I_3 = 9.09mA$

ג. $\tau = 81.7\mu s$

3) $I_3(t) = \frac{\varepsilon}{R_2}\left(1 - e^{-\frac{RT}{L}t}\right)$

4) א. $\frac{V}{4R}$

ב. סוללה: $I = \frac{2V}{3R}$, סליל עליון: $I = \frac{2V}{3R}$, סליל תחתון: $I = \frac{V}{3R}$, קבל: $V = \frac{V}{3}$

ג. א: $I = \frac{2V}{3R}$, ב: סוללה: $I = \frac{V}{4R}$, סליל: $I = \frac{V}{4R}$, קבל עליון: $V = \frac{V}{2}$,

קבל תחתון: $V = \frac{V}{2}$

השראות הדדיות:

רקע:

השראות הדדית:

$$M_{1,2} = \frac{\Phi_1}{I_2}$$

חישוב השראות הדדית:

1. נניח שזורם זרם I_2 ברכיב 2.
2. נחשב את השדה המגנטי הנוצר מהזרם ברכיב 1.
3. נחשב את השטף המגנטי ברכיב 1.
4. נציב בנוסחה של ההשראות ו- I_2 יצטמצם.

- השראות הדדית תמיד סימטרית $M_{1,2} = M_{2,1} = M$

ולכן ניתן תמיד לחשב $M_{1,2}$ ולהסיק על $M_{2,1}$ (או להפך).

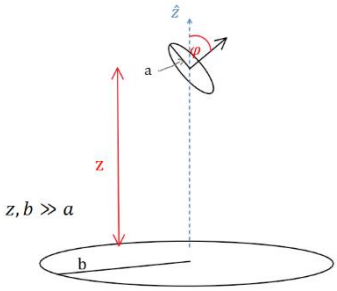
יחס המתחים בשנאי:

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

N הוא מספר הליפופים בכל צד.

שאלות:

1) טבעת בזווית מעל טבעת גדולה



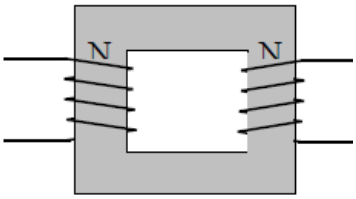
טבעת ברדיוס b מונחת על מישור $x-y$ במקביל לקרקע.
טבעת נוספת ברדיוס a שקטן מאוד ביחס ל-b מונחת בגובה z מעל מישור $x-y$.
מרכזי הטבעות נמצאים על ציר ה-z אחד מעל השני.
הטבעת הקטנה גם מוטת ביחס למישור $x-y$ כך שהוקטור המאונך למישור הטבעת יוצר זווית φ עם ציר ה-z.

א. מצא את $M_{1,2}$.

ב. התנגדות הטבעת הקטנה נתונה ומסומנת ב-R_a.
כמו כן ידוע הזרם כתלות בזמן בטבעת הגדולה והוא שווה ל-$I_b = I_0 \cos(\omega t)$. I_0 ו-ω קבועים נתונים.
מצא את הזרם בטבעת הקטנה.

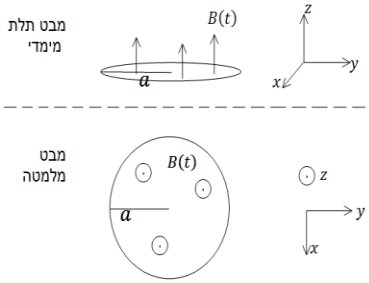
ג. מהו מומנט הכוח הפועל על הטבעת הגדולה?

2) שנאי



שנאי מורכב משני סלילים בעלי מספר ליפופים שונה המקיפים ליבה מגנטית מלבנית משני צידי הליבה.
הנח כי ליבה מגנטית שומרת את כל קווי השדה המגנטי בתוכה, או לחלופין, כי השטף המגנטי אחיד בכל חתך של הליבה.
נתון כי המתח על הסליל השמאלי הוא מתח חילופין (מתח מהצורה $V(t) = V_0 \sin \omega t$).
מצא את המתח על הסליל הימני כתלות במתח של הסליל השמאלי.
נתון N_1 , N_2 מספר הליפופים בכל סליל.

3) שטף חיצוני השראות ונגד בטבעת



טבעת מוליכה ברדיוס a והתנגדות R נמצאת בתוך שדה מגנטי אחידה במרחב ומשתנה בזמן $B(t) = At$ כאשר A קבוע חיובי.
כיוון השדה בניצב למישור בו נמצאת הטבעת (השטף מקסימאלי).

א. מצא את סך הכא"מ הפועל על הטבעת כתלות בזרם, אם ההשראות העצמית של הטבעת L נתונה.

ב. מצא משוואה על הזרם כתלות בזמן ופתור אותה למציאת הזרם כתלות בזמן.
(היעזר בפתרון של סליל במעגל טעינה).

ג. מצא את הזרם והשטף הכולל כתלות בזמן בקירוב $R \to 0$,
התעלם מהרגעים הראשונים.

תשובות סופיות:

1) א. $M=\frac{\mu_0 b^2 \pi a^2 \cos\varphi}{2}\left(b^2+z^{\alpha}\right)^{-\frac{3}{2}}$ ב. $I_a=\frac{-MI_0\left(-\omega\sin\omega t\right)}{R_a}$

ג. $\left|\vec{\tau}\right|=\mu_a B_z \sin\varphi$

2) $\varepsilon_2=\frac{N_2}{N_1}V_0\sin\omega t$

3) א. $\varepsilon=-A\pi a^2-LI$ ב. $I(t)=-\frac{A\pi a^2}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)$

ג. $\phi_{BT}=0\ ,\ I(t)=-\frac{A\pi a^2}{L}t$

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 19 - מבוא לגלים

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגילים 139

הרצאות ותרגילים – מערכת של שתי מסות

שאלות

1) מסה מחוברת למסה שמחוברת לתקרה

מסה m מחוברת לתקרה באמצעות קפיץ אנכי בעל קבוע 2k . מסה m נוספת מחוברת למסה הראשונה באמצעות קפיץ אנכי נוסף בעל קבוע k . המסות זזות רק בציר האנכי.

א. הסבירו מדוע ניתן להתעלם מכוח הכובד בבעיה זאת, כאשר אנו באים למצוא את התדירויות העצמיות ואת אופני התנודה.

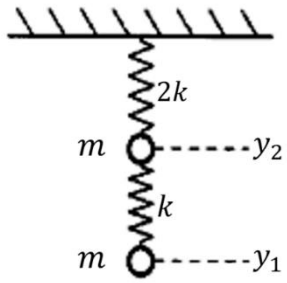
ב. כתבו את מערכת המשוואות בצורה מטריציונית ומצאו את התדירויות העצמיות.

ג. מצאו את אופני התנודה, ותארו אותם.

ד. בזמן $t=0$ נותנים מכה קטנה למסה התחתונה, כך שהיא מקבלת מהירות התחלתית v_0.

מצאו את תנועת המסות כתלות זמן.

רמז: במקרה זה יהיה יותר פשוט לפרוש את תנאֵי ההתחלה כאשר הפתרון רשום באמצעות סכום של סינוסים וקוסינוסים.



תשובות סופיות

1) א. כוח הכובד הוא כוח קבוע. כוחות קבועים מתבטלים על ידי תוספת קבועה של מתיחה לקפיץ. לכן, כוחות קבועים משנים רק את נקודת שיווי המשקל ואינם משפיעים על התדירויות או על אופני התנודה.

ב. $w_{1,2}=\pm\sqrt{2+\sqrt{2}}w_0,\quad w_{3,4}=\pm\sqrt{2-\sqrt{2}}w_0$

ג. $v_1=\begin{pmatrix}1\\-2.41\end{pmatrix},\ v_2=\begin{pmatrix}1\\0.41\end{pmatrix}$

ד.
$$\begin{pmatrix}y_1(t)\\y_2(t)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0.63\\-1.52\end{pmatrix}\cdot\frac{v_0}{w_0}\sin\left(\sqrt{2+\sqrt{2}}w_0t\right)+\begin{pmatrix}0.9\\0.37\end{pmatrix}\cdot\frac{v_0}{w_0}\sin\left(\sqrt{2+\sqrt{2}}t\right)$$
$$w_0=\sqrt{\frac{k}{m}}$$

bagrut.co.il לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר
כתב ופתר – מני גבאי ©

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 20 - גלים רוחביים במיתר

תוכן העניינים

1. הרצאות ותרגולים 140

גלים רוחביים במיתר

משוואת הגלים במיתר

משוואת הגלים היא $\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}=\frac{\rho}{T}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}$, כאשר

T – המתיחות במיתר

ρ – צפיפות המסה ליחידת אורך

ψ – פונקציית הגל, מתארת את התנועה הרוחבית של כל חתיכה במיתר.

מהירות הגל היא $v=\sqrt{\frac{T}{\rho}}$.

פתרון המשוואה:

$$\psi(x,t)=A\,cos(kx-\omega t)+B\,sin(kx-\omega t)+C\,cos(kx+\omega t)+D\,sin(kx+\omega t)$$

יחס הדיספרסיה: $\omega=v\cdot k$.

אפשרויות נוספות לפתרון (על ידי שימוש בזהויות טריגונומטריות)

$$\psi(x,t)=A_1\,cos(kx-\omega t+\phi_1)+A_2\,cos(kx-\omega t+\phi_2)=$$
$$B_1\,cos\,k\,x\,cos\,\omega\,t+B_2\,cos\,k\,x\,sin\,\omega\,t+B_3\,sin\,k\,x\,cos\,\omega\,t+B_4\,sin\,k\,x\,sin\,\omega\,t=$$
$$C_1\,cos\,k\,x\,cos(\omega t+\phi_1)+C_2\,sin\,k\,x\,cos(\omega t+\phi_2)$$

שתי האפשרויות האחרונות עדיפות לגלים עומדים.

פתרון במספרים מרוכבים(העשרה בלבד)

$$\psi(x,t)=A_1e^{i(kx+\omega t)}+A_2e^{i(kx-\omega t)}+A_3e^{-i(kx+\omega t)}+A_4e^{-i(kx-\omega t)}$$

אם הפונקציה ממשית, אז $A_3=A_1^*$ ו-$A_4=A_2^*$, והפתרון מתכנס לחלק הממשי של

$$\psi(x,t)=Ae^{i(kx-\omega t)}+Be^{-i(kx+\omega t)}$$

שאלות

1) תרגיל – סטודנטית מודדת את כוח הכובד

סטודנטית רוצה למדוד את תאוצת כוח הכבידה (g) המקומי, הסטודנטית תולה חוט אנכי ומחברת אליו משקולת בעלת מסה $M = 2\text{kg}$.
נתון שלחבל יש מסה של $m = 5\text{gr}$ (ניתן להניח התפלגות אחידה) ואורך של $l = 1.2m$. הסטודנטית שולחת מספר פולסים לאורך החבל ומודדת שהזמן הממוצע שלוקח לפולס להגיע מקצה לקצה הוא $t = 17.5\text{ms}$ (מילי שניות).
חשבו את g (ניתן להזניח את משקל החוט ולהשתמש רק במשקל המשקולת, כאשר מחשבים את המתיחות בו).

2) תרגיל - גל קוסינוס מעורר במיתר

צפיפות המסה הקווית במיתר היא $1.2 \times 10^{-4}\frac{\text{kg}}{m}$, במיתר מעורר גל מהצורה: $\psi(x,t) = 0.005\,cos(3x - 90t)$.
חשבו את מהירות הגלים במיתר, את המתיחות ואת המהירות המקסימלית בכיוון רוחבי של נקודה כלשהיא במיתר. הניחו יחידות סטנדרטיות.

3) תרגיל - גל סינוס מתקדם במיתר

נתון גל סינוס המתקדם במיתר.

א. כתבו פונקציה שתתאר גל סינוס הנע על מיתר בכיוון החיובי של ציר ה-x, בעל זמן מחזור של 5 שניות, מהירות של 20 מטר לשנייה ואמפליטודה של 6 מילימטר.

ב. רשמו ביטוי לתאוצה של כל אלמנט מסה במיתר.

ג. איפה נמצאים אלמנטי המסה במיתר בעלי התאוצה הגדולה ביותר (בערך מוחלט) בזמן $t = 3sec$?

ד. עבור אילו זמנים התאוצה של אלמנט המסה בנקודה $x = 2\text{cm}$ היא הנמוכה ביותר (בערך מוחלט)?

ה. מקטינים את התדירות f של הגל, תארו כיצד ישתנו מהירות אלמנט מסה במיתר, מהירות הגל ואורך הגל?

4) תרגיל – פונקציה ריבועית

נתונה פונקציה $y(x,t) = 32x^2 + 128t^2$. הניחו יחידות סטנדרטיות.

א. הראו שפונקציה זו היא פתרון של משוואת הגלים במיתר.
הדרכה: נסו לרשום את הפונקציה כצירוף של פונקציות, אשר כל אחת מהן מתארת גל במיתר.

ב. מהי מהירות הגלים במיתר זה.

ג. נתון שצפיפות המסה ליחידת אורל של המיתר היא $0.03\frac{\text{kg}}{m}$ חשבו את מתיחותו.

ד. האם הפונקציה $\sqrt{32x^2 + 128t^2}$ היא גם פתרון של משוואת הגלים?

5) תרגיל – מיתר בתוך צמיג *

מיתר בעל מתיחות T וצפיפות ρ נמצא בתוך תווך צמיג, כך שכוח החיכוך שפועל על אלמנט אורך dx , הוא $F = -bdx\frac{\partial \Psi}{\partial t}$ כאשר b פרמטר נתון.

א. מצאו משוואה המתארת תנודות קטנות של המיתר (משוואת הגלים).

ב. מצאו את אופני התנודה של המערכת, כלומר פתרונות בהם בכל נקודה x תהיה אותה תלות זמנית. הניחו ריסון חלש.
הדרכה: הציבו פתרון מופרד משתנים $\Psi(x,t) = X(x)f(t)$ זהו כי המשוואה עבור $f(t)$ היא משוואה של מתנד הרמוני מרוסן, מהו Γ במקרה הזה?

ג. נתון שבזמן $t = 0$ צורת המיתר היא $\Psi(x, t = 0) = a\,cos(k_0 x)$ ושהמהירות ההתחלתית היא אפס. מצאו את צורת המיתר בזמן $t > 0$.

תשובות סופיות

1) $9.8\frac{m}{s}$

2) $30\frac{m}{s}; 0.102\text{N}; 0.45\frac{m}{s}$

3) א. $y(x,t) = 0.006_m \sin\left(\frac{\pi}{50}x - \frac{2\pi}{5}t\right)$ ב. $a(x,t) = 0.00096\pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{50}x - \frac{2\pi}{5}t\right)$
ג. $x = 85_m + 50n$, כאשר n מספר שלם בין מינוס אינסוף לאינסוף.
ד. $t = 0.001_s - 2.5_s n$
ה. מהירות אלמנט מסה במיתר קטנה, מהירות הגל לא משתנה ואורך הגל גדל.

4) א. $y(x,t) = (4x+8t)^2 + (4x-8t)^2$ ב. $2\frac{m}{s}$ ג. $0.12N$ ד. לא.

5) א. $\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} = \frac{b}{T}\frac{\partial\psi}{2t} + \frac{\rho}{T}\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2}$
ב. $\psi(x,t) = [A\cos(kx) + B\sin(kx)]e^{-\frac{\Gamma}{2}t}[\cos(\omega t)\, 2C\sin(\omega t)]$, כאשר $\Gamma = \frac{b}{\rho}$.
ג. $\psi(x,t) = a\cos(k_0 x)\, e^{-\frac{\Gamma}{2}t}\left[\cos(\omega t)\frac{\Gamma}{2\omega}\sin(\omega t)\right]$, כאשר $\omega = \sqrt{\frac{k_0^2 T}{\rho} - \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}$.

גלים עומדים

רקע

<u>מיתר חצי אינסופי</u>

<u>קצה קשור</u>

$$\Psi(x=0,t)=0 \;\Rightarrow$$
$$\Psi(x,t)=C\sin(kx)\sin(\omega t+\varphi)$$



<u>קצה חופשי</u>

$$\left.\frac{\partial\Psi}{\partial x}\right|_{x=0}=0 \;\Rightarrow\; \Psi(x,t)=C\cos(kx)\cos(\omega t+\varphi)$$



<u>מיתר סופי</u>

<u>מיתר סופי עם 2 קצוות קשורים</u>

$$\Psi(x=0,t)=\Psi(x=\mathrm{L},t)=0$$

$$k_n=\frac{\pi n}{L} \qquad n=0,1,2,3\ldots \quad f_n=\frac{vn}{2L}$$

$$\lambda_n=\frac{2L}{n}$$

$$\Psi(x,t)=\sum_{n=0}^{\infty}C_n\sin(\mathrm{k}_n x)\sin(\omega_n t+\varphi_n)$$

מיתר סופי עם קצה קשור וקצה חופשי

$$\Psi(x=0,t)=0\,,\left.\frac{\partial\Psi}{\partial x}\right|_{x=\mathrm{L}}=0$$

$$k_n=\frac{\pi}{L}(\mathrm{n}+\frac{1}{2})\qquad n=0,1,2,3\ldots$$

$$\lambda_n=\frac{2L}{(\mathrm{n}+\frac{1}{2})}$$

$$f_n=\frac{v}{2L}(\mathrm{n}+\frac{1}{2})$$

$$\Psi(x,t)=\sum_{n=0}^{\infty}C_n\sin(\mathrm{k}_n x)\sin(\omega_n t+\varphi_n)$$

מיתר סופי עם 2 קצוות חופשיים

$$\left.\frac{\partial\Psi}{\partial x}\right|_{x=0}=0\,,\qquad\left.\frac{\partial\Psi}{\partial x}\right|_{x=\mathrm{L}}=0$$

$$k_n=\frac{\pi n}{L}\qquad n=0,1,2,3\ldots$$

$$\lambda_n=\frac{2L}{n}$$

$$f_n=\frac{vn}{2L}$$

$$\Psi(x,t)=\sum_{n=0}^{\infty}C_n\cos(\mathrm{k}_n x)\sin(\omega_n t+\varphi_n)$$

שאלות

1) תרגיל – גל פוגע וגל חוזר כביטוי של שני גלים עומדים

הראו כי הגל $\Psi(x,t) = A\,cos(\omega t - kx) + rA\,cos(\omega t + kx)$, כאשר r קבוע כלשהו, ניתן לביטוי כסופרפוזיציה של שני גלים עומדים: $\Psi(x,t) =$
$A(1+r)\,cos(\omega t)\,cos(kx) + A(1-r)\,sin(\omega t)\,sin(kx)$

2) תרגיל - מיתר פלדה בפסנתר

מיתר פסנתר מיוצר מפלדה בעלת צפיפות מסה ל**יחידת נפח** $\rho = 4800\frac{\text{kg}}{m^3}$ רדיוס המיתר הוא r, היצרן ממליץ להפעיל את המיתר תחת לחץ (כוח ליחידת שטח חתך) של $1.3 \cdot 10^9\,\frac{N}{m^2}$.

א. הראו שמהירות הגלים במיתר אינה תלויה ברדיוס שלו, וחשבו אותה.

ב. מה צריך להיות אורך המיתר כדי שישמיע את הצליל 'לה', שתדירותו 440Hz ? כמנגנים במיתר בד"כ שומעים את התדירות הבסיסית.

ג. מגדילים את המתיחות פי α ללא שינוי באורך המיתר, מה צריכה להיות α כדי להעלות את תדירות המיתר פי 1.2?

תשובות סופיות

1) הוכחה בסרטון.

2) א. $520\frac{m}{s}$ ב. 59cm ג. 1.44

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 21 - התאבכות בגלים דו ותלת מימדיים

תוכן העניינים

1. התאבכות בשני סדקים 147
2. התאבכות ב N סדקים 149
3. עקיפה 153
4. התאבכות ועקיפה ביחד 154
5. תרגילים נוספים 155

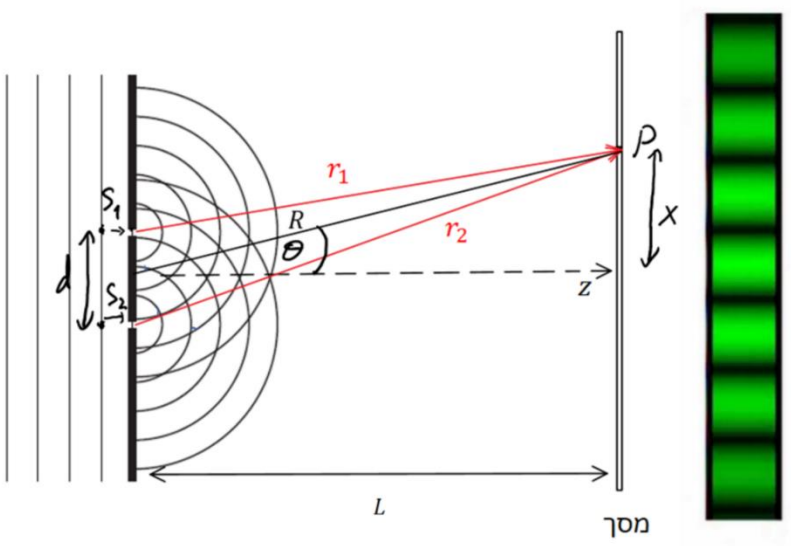
התאבכות בשני סדקים

רקע

עיקרון הוייגנס - ניתן להתייחס לכל נקודה בחזית הגל כמקור נקודתי של גל חדש.

אמפליטודה בגלים גליליים - $A \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$, גלים כדוריים - $A \propto \frac{1}{r}$.

ניסוי שני הסדקים:



קירוב השדה הרחוק far field limit : $L \gg d$

1. $A_1 \approx A_2 \leftarrow \Delta r << r$
2. $\Delta r = d \sin\theta \leftarrow r_1 \parallel r_2$

העוצמה היחסית:

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \cos^2\left(\frac{k\,d\sin\theta}{2}\right)$$

קירוב זוויות קטנות:

$$\sin\theta \approx \tan\theta \approx \frac{x}{L}$$

בגלל התלות של האמפליטודה במרחק, צריך להכפיל את התוצאה לעוצמה בקוסינוס טטה עבור גלים גליליים ובקוסינוס בריבוע עבור גלים כדוריים.
התוספת הזו קשורה למבנה של המסך והיא לא תופיע במסך עגול.
בדר"כ מניחים קירוב זוויות קטנות ואז היא זניחה.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

שאלות

1) חישוב מרחק בין כתמים ואורך גל

קרן לייזר עוברת דרך שני סדקים. מרכזו של כתם האור הראשון (לצד כתם האור המרכזי), התקבל בזווית של 8 מעלות.

א. באיזו זווית יופיע כתם האור השני?

ב. מהו אורך הגל של הלייזר אם המרחק בין הסדרים הוא: $d = 2.4\mu m$?

2) תחנת רדיו

תחנת שידור משדרת אותות רדיו בתדר $1200Hz$ באמצעות שתי אנטנות הנמצאות במרחק של $300m$ זו מזו. אם נמקם מקלט במרחק רב משתי האנטנות, באילו כיוונים תתקבל העוצמה הגבוהה ביותר ובאילו הנמוכה ביותר? רשמו את הכיוונים ביחס ל**ישר המחבר בין שתי האנטנות.**

תשובות סופיות

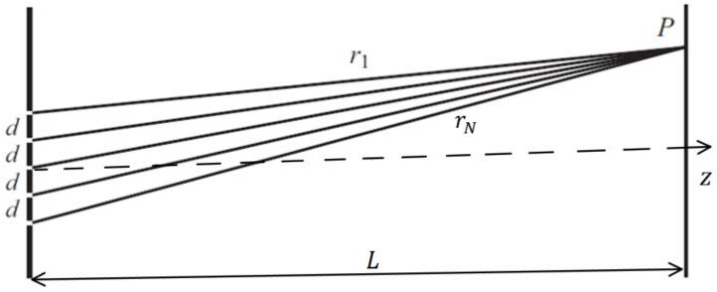
1) א. $16°$ ב. $0.33\mu m$

2) $\cos\alpha_{\max n} = 9.5\cdot10^{-4}n$, $\cos\alpha_{\min n} = 9.5\cdot10^{-4}\left(n+\frac{1}{2}\right)$

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

התאבכות ב N סדקים

רקע



קירוב השדה הרחוק:

$$A_1 \approx A_2 \approx A_3 \approx A_4 \leftarrow \Delta r << r$$

$$\Delta r = d\sin\theta \leftarrow r_1 \parallel r_2 \parallel r_3 \parallel r_4$$

$$\frac{I_{tot}(\alpha)}{I_{tot}(0)} \approx \left(\frac{\sin\left(\frac{N\alpha}{2}\right)}{N\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right)^2$$

$$\alpha = kd\sin\theta$$

פיק גדול - כשהמכנה מתאפס:

$$\alpha_n = 2\pi n$$

נקודות התאפסות - כשהמונה מתאפס והמכנה לא.

$\alpha_n = \frac{2\pi n}{N}$ ו- $n \neq mN$.

פיק קטן - נגזרת שווה לאפס ומכנה לא מתאפס. עבור $N \gg 1$:

$$\alpha_n = \frac{2\pi}{N}\left(n + \frac{1}{2}\right)$$

מספר הפיקים באחד הצדדים (ללא הפיק המרכזי) הוא: $\frac{kd}{2\pi}$ (לעגל למטה).

מספר הפיקים (הגדולים) הכולל שווה למספר הפיקים באחד הצדדים כפול 2 ועוד 1.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

שאלות

1) פריזמה מתקליטור

בתמונה רואים תקליטור העשוי מחריצים מעגליים בגודל של מיקרון בערך.
האור שפוגע בתקליטור מוחזר למצלמה ומקבלים פריזמה של צבעים.
הסבירו את התופעה (ללא חישוב) וציינו אלו פרמטרים משפעים עליה.



2) סטייה בזווית פגיעה

הראו שבמקרה שהקרן הפוגעת היא בזווית θ_0 ביחס לאנך עם קיר הסדקים אז תתקבל אותה תבנית התאבכות מוזזת בזווית θ_0. הניחו קירוב זוויות קטנות.

3) 3 מינימות ראשונות

אור מונוכרומטי מלייזר ארגון בעל אורך גל של: $\lambda = 488nm$ עובר דרך סריג בעל 6,000 חריצים בצפיפות של 40,000 חריצים לס״מ ופוגע במסך.
מהן הזוויות של שלושת נקודות המינימום הראשונות (בכיוון החיובי).
הניחו שהחריצים נקודתיים.

4) מרחק בין צבעים

מקרינים אור לבן על סריג בעל 5,000 סדקים לס״מ.

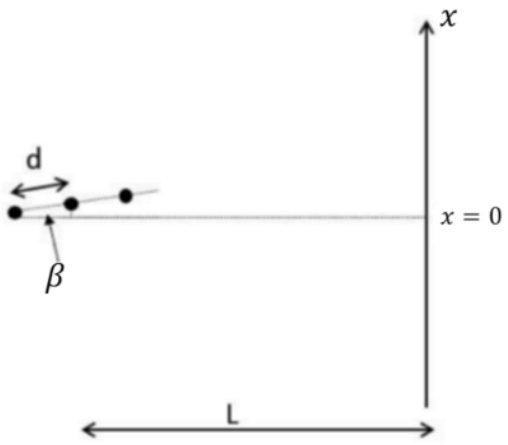
א. תארו מה נראה על המסך מול הסריג.

ב. חשבו את המרחק בין כתם האור האדום השני לכתם האור הכחול השני אם המסך נמצא במרחק 1.5 מטר מהסריג ואורכי הגל של האור האדום והכחול הם $632nm$ ו-$420nm$ בהתאמה.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

5) שלושה מקורות קוהרנטיים באוריינטציה שונה

המערכת המתוארת בסרטוט מכילה שלושה מקורות קוהרנטיים במרחק d אחד מהשני הנמצאים בזווית β ביחס לאנך למסך. המרחק למסך הוא L.



מצאו את העוצמה היחסית כתלות ב- x בהנחה כי β זווית קטנה וכי $\theta > \beta$.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

תשובות סופיות

1) החריצים בתקליטור יוצרים תבנית התאבכות התלויה באורך הגל, זווית הפגיעה של המקור, בזווית התקליטור ובמיקום הצופה. בכל אזור בתקליטור נוצרת התאבכות בונה עבור אורך גל אחר ולכן רואים את הצבעים השונים בכל אזור. שינוי של הפרמטרים הנ"ל יביא לשינוי התבנית.

2) ראו סרטון.

3) $\theta_1 \approx 0.0186°$

$\theta_2 \approx 0.0373°$

$\theta_3 \approx 0.0560°$

4) א. נקבל תבנית התאבכות של N סדקים שכתם האור המרכזי שלה לבן ובמקום כל כתם אחר נקבל קשת של צבעים כי מיקום הפיק הגדול שאינו במרכז גדל עם אורך הגל.

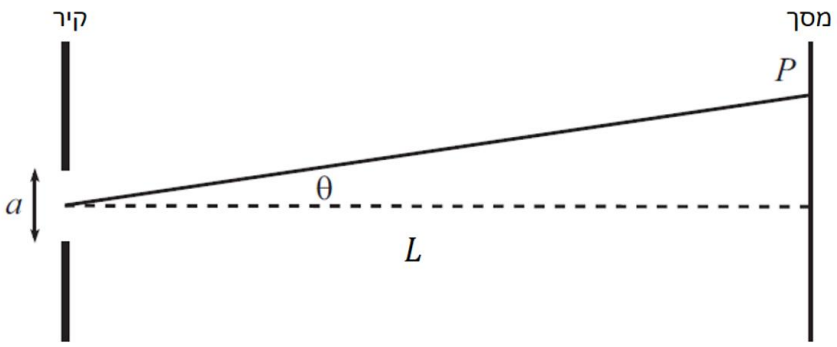
ב. 70 ס"מ.

5) $$\alpha = kd\frac{L}{\sqrt{L^2+x^2}}\left[1+\beta\frac{x}{L}\right] \quad , \quad \frac{I(\alpha)}{I(0)} = \left(\frac{\sin\left(\frac{3}{2}\alpha\right)}{3\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)^2$$

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

עקיפה

רקע



קירוב השדה הרחוק $L \gg a$:

$$\frac{I(\beta)}{I(0)} = \left(\frac{\sin\left(\frac{1}{2}\beta\right)}{\frac{1}{2}\beta} \right)^2$$

$$\beta = ka\sin\theta$$

נק' התאפסות : $\beta_n = 2\pi n$

- אם $\lambda > a$ אז רוחב הפיק המרכזי גדול מאינסוף ולא יהיו נק' התאפסות וזה אומר שהסדק מתנהג כמו מקור אור נקודתי.
- אם $a \gg \lambda$ אז מקבלים עוצמה קבועה ברוחב הסדק, מתאים למקרה הקלאסי בו מניחים שהאור נע בקווים ישרים.

מקסימום מקומי - נגזרת מתאפסת :

$$\beta_n \approx 2\pi\left(n + \frac{1}{2}\right)$$

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

התאבכות ועקיפה ביחד

רקע

$$\frac{I(\theta)}{I(0)} = \left(\sin c \left(\frac{ka \sin\theta}{2} \right) \frac{\sin\left(\frac{Nkd \sin\theta}{2} \right)}{N \sin\left(\frac{kd \sin\theta}{2} \right)} \right)^2$$

כאשר a הוא רוחב כל סדק, d המרחק בין שני סדקים ו- N מספר הסדקים.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

תרגילים נוספים

שאלות

1) שני סדקים ברוחב לא זניח

נתונים שני סדקים בעלי רוחב a (שאינו זניח) במרחק d אחד מהשני ובמרחק L מהמסך. הניחו קירוב שדה רחוק וזוויות קטנות.

א. כתבו את הנוסחה המתארת את העוצמה כתלות במרחק ממרכז המסך ביחס לעוצמה המקסימלית. ציינו איזה חלק מהעוצמה הוא פונקציית המעטפת וממה הוא נובע, ואיזה חלק הוא הפונקציה הפנימית (פונקציית המודולציה) וממה הוא נובע.

ב. מהו רוחב פונקציית המעטפת (FWHM) אם נתון שרוחב פונקציית $\sin c^2(x)$ הוא $2.8rad$?

ג. כמה מחזורים של הפונקציה הפנימית נכנסים ברוחב פונקציית המעטפת?

ד. על מנת שנוכל להבחין בהתאבכות של שני הסדקים צריך שיהיו לפחות שני פיקים של הפונקציה הפנימית בתוך הרוחב של פונקציית המעטפת, אחרת נראה רק את פונקציית המעטפת.
מה התנאי על a ו- d כך שנוכל להבחין בהתאבכות הסדקים.

2) שני סדקים עם קיטובים שונים

בניסוי שני הסדקים מסוים הקיטוב של השדה היוצא מכל סדק שונה ונתון לפי: $\vec{E}_1 = E_0\hat{x}$ ו- $\vec{E}_2 = E_0(\cos\varphi\,\hat{x} + \sin\varphi\,\hat{y})$.
הניחו שהמרחק בין הסדקים הוא d והמרחק למסך הוא L וש- $L \gg d$.

א. מה תהיה האמפליטודה של כל אחד מן השדות בפגיעה במרכז המסך? הניחו שהגלים גליליים.

ב. מצאו את השדה השקול והעוצמה במרכז המסך כתלות ב φ.
הסבירו את התוצאות המתקבלות עבור: $\varphi = 0$, $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ו- $\varphi = \pi$.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

תשובות סופיות

1) א. $\frac{I(x)}{I(0)}=\sin c^2\left(\frac{kax}{2L}\right)\cos^2\left(\frac{kd}{2L}x\right)$

פונקציית המעטפת היא ה-$\sin c$ בריבוע והיא נובעת מרוחב הסדקים.
הפונקציה הפנימית היא הקוסינוס בריבוע והיא נובעת מההתאבכות בין הסדקים.

ב. $5.6\frac{L}{ka}$ ג. $0.89\frac{d}{a}$ ד. $d\approx 2.24a$

2) א. $A_1=A_2=\frac{E_0}{\sqrt{L}}$

ב. $E_{tot}=\left(\left(1+\cos\varphi\right)\hat{x}+\sin\varphi\hat{y}\right)$, $I\alpha\frac{E_0^{\ 2}}{L}4\cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$

ב-$\varphi=0$ התאבכות מלאה כי השדות באותו קיטוב
ב-$\varphi=\frac{\pi}{2}$ השדות מאונכים אין התאבכות, העוצמה הכוללת היא סכום העוצמות.
ב-$\varphi=\pi$ השדות בפאזה הפוכה, התאבכות הורסת, עוצמה אפס.

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – מני גבאי ©

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 22 - משוואות מקסוואל

תוכן העניינים

1. המשוואות והמעברים 157

המשוואות והמעברים:

רקע:

משוואות מקסוול:

	הצורה הדיפרנציאלית	הצורה האינטגרבילית	הערות
1	$\vec{\nabla}\cdot\vec{E}=\frac{1}{\varepsilon_0}\rho$	$\oint\vec{E}\cdot d\vec{s}=\frac{1}{\varepsilon_0}\int\rho\,dV$	חוק גאוס
2	$\vec{\nabla}\cdot\vec{B}=0$	$\oint\vec{B}\cdot d\vec{s}=0$	השטף המגנטי על משטח סגור תמיד מתאפס= אין מטען מגנטי
3	$\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\frac{d\vec{B}}{dt}$	$\oint\vec{E}\cdot d\vec{l}=-\int\frac{d\vec{B}}{dt}\cdot d\vec{s}$	מהמשוואה ניתן לקבל את חוק פארדי $\varepsilon=-\dot{\phi}_B$
4	$\vec{\nabla}\times\vec{B}=\mu_0\vec{J}+\mu_0\varepsilon_0\frac{d\vec{E}}{dt}$	$\oint\vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0\int\vec{J}\cdot d\vec{s}+\mu_0\int\varepsilon_0\frac{d\vec{E}}{dt}d\vec{s}$	חוק אמפר והתיקון של מקסוול (שנקרא גם זרם העתקה)

פיזיקה 2 חשמל 20164

פרק 23 - גלים אלקטרומגנטיים (בפרק הזה חסרה הנוסחה של עוצמה של גל אלקטרומגנטי)

תוכן העניינים

1. הסברים ותרגילים 158

הסברים ותרגילים:

רקע:

ממשוואות מקסוול למשוואות הגלים בריק ($\rho = J = 0$):

$$\vec{\nabla}^2\vec{E} = \frac{1}{c^2}\frac{d^2\vec{E}}{dt^2}$$

$$\vec{\nabla}^2\vec{B} = \frac{1}{c^2}\frac{d^2\vec{B}}{dt^2}$$

c - מהירות האור $\mu_0\varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$

המשוואה מתקיימת עבור כל רכיב בנפרד:

$$\vec{\nabla}^2\vec{E} = \frac{1}{c^2}\frac{d^2\vec{E}}{dt^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 E_x = \frac{1}{c^2}\frac{d^2E_x}{dt^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 E_y = \frac{1}{c^2}\frac{d^2E_y}{dt^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 E_z = \frac{1}{c^2}\frac{d^2E_z}{dt^2}$$

תזכורת ללאפלסיאן:

$$\vec{\nabla}^2 E_i = \frac{\partial^2 E_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_i}{\partial z^2}$$

פתרון המשוואה עבור רכיב כלשהו של $\vec{E}$ או של $\vec{B}$:

$$E_i(\vec{r},t) = A_i\cos\left(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t\right)$$

$\vec{k} = (k_x, k_y, k_z)$ - וקטור הגל, כיוונו הוא כיוון התקדמות הגל

$$\vec{k}\cdot\vec{r} = k_x x + k_y y + k_z z$$

ω - התדירות הזוויתית

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

f - התדירות בהרץ

T - זמן המחזור

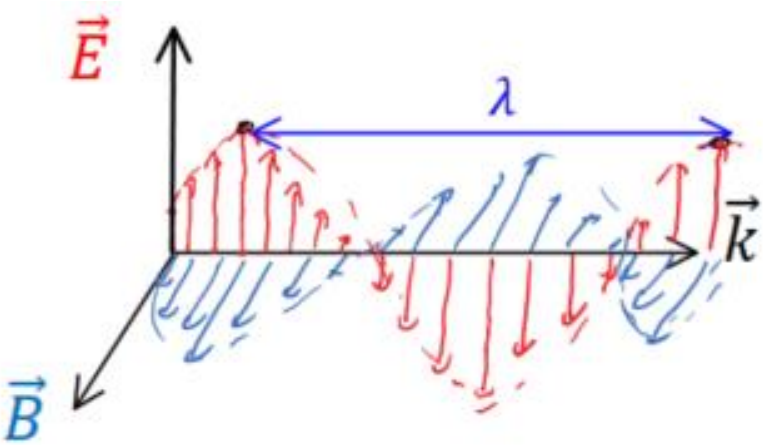
הקוסינוס בפתרון זהה לכל הרכיבים של השדה החשמלי והמגנטי, ההבדל בין הרכיבים הוא רק במקדם A_i

איך למצא שדה מגנטי מחשמלי ולהפך:

$$\vec{B} = \frac{1}{c}\hat{k} \times \vec{E}$$

$$\vec{E} = c\vec{B} \times \hat{k}$$

צורת הגל במרחב:



λ - אורך הגל, המרחק בין שיא לשיא:

$$|k| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

יחס הדיספרסיה:

$$\omega = c|k|$$

היחס מתקבל מהצבה של הפתרון במשוואת הגלים

השדה החשמלי תמיד מאונך לשדה המגנטי ושניהם תמיד מאונכים לכיוון התקדמות הגל.

פתרון נוסף:

$$E_i(\vec{r}, t) = A_i \cos\left(\vec{k} \cdot \vec{r} + \omega t\right)$$

במקרה הזה הגל מתקדם בכיוון הפוך ל $-\vec{k}$

שאלות:

1) תרגיל 1

נתון השדה המגנטי: $\vec{B}=B_0\cos(Ax-2Ay-\omega t)\hat{z}$.

א. מצא את וקטור הגל של השדה?

ב. הבא את התדירות באמצעות הפרמטר A.

ג. מצא את השדה החשמלי?

ד. מה הכוח הפועל על מטען Q הנמצא בראשית עם מהירות $\vec{v}=v_0\hat{x}$ ב- $t=0$?

ה. מצא את הוקטור פויטינג?

2) מצא שדה מגנטי

השדה החשמלי בגל אלקטרו מגנטי נתון לפי: $\vec{E}=E_0(1,1,2)e^{i(2x-z-\omega t)}$.

מצא את השדה המגנטי.

3) גל עומד

משוואת הגלים בצורה כללית היא: $\nabla^2\phi=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2}$ כאשר ϕ היא פונקציית הגל במרחב ו- v היא מהירות הגל $\left(v=\frac{\omega}{k}\right)$. במקרה של גלים אלקטרו מגנטים ϕ תהיה הפונקציה של השדה החשמלי או המגנטי, $v=c$.

א. הראה שהפונקציה $\phi(x,t)=A\cos(kx)\sin(\omega t)$ מקיימת את משוואת הגלים ולכן היא פתרון אפשרי למשוואה.

ב. פתרון דלמבר למשוואת הגלים אומר שכל פתרון צריך להיות מהצורה $f(x-vt)+g(x+vt)$, כאשר f ו- g הם פונקציות כלשהן.
הראה שהפונקציה מסעיף א' היא גם פיתרון מהצורה הכללית של הפתרון של דלמבר.
רמז: השתמש בזהויות טריגונומטריות.

4) תרגיל 4

השדה החשמלי של גל אלקטרו מגנטי המתפשט בריק בכיוון x נתון לפי:

$$\vec{E}=E_0e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2}\hat{y}+E_0e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2}\hat{z}$$

כאשר E_0 ו- a הם קבועים חיוביים.

א. מהו השדה המגנטי של הגל?

ב. הראו כי השדה המגנטי מאונך לשדה החשמלי.

ג. כתבו ביטוי לצפיפות האנרגיה של הגל.

תשובות סופיות:

1) א. $\vec{k}=(A,-2A,0)$ ב. $\omega=C\cdot A\cdot\sqrt{S}$

ג. $\vec{E}=+C^2\,2AB_0\cos(Ax-2Ay-\omega t)\cdot\frac{1}{+\omega}\hat{x}+C^2\,2AB_0\cos(Ax-2Ay-\omega t)\cdot\frac{1}{+\omega}\hat{y}$

ד. $\vec{F}=Q\left(\frac{C^2AB_0}{\omega}(2\hat{x}+\hat{y})+V_0B_0(-\hat{y})\right)$ ה. $\vec{S}\cdot\vec{E}=0$

2) $\vec{B}=\frac{E_0}{\sqrt{5}c}(1,-5,2)e^{i(2x-z-\omega t)}$

3) שאלת הוכחה.

4) א. $(\hat{z}-\hat{y})\frac{E_0}{c}e^{-\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2}$ ב. הוכחה. ג. $2\varepsilon_0E_0^{\,2}e^{-2\left(\frac{x-ct}{a}\right)^2}$