גליון 1

מה שוקל יותר: קילו נוצות או סבתא. תחשבו לבד.

גליון 2

העקרונות המנחים בגיליון זה:

$$dq = \rho_{(r)} dv \quad \Rightarrow \quad Q_{in} = \int_v \rho_{(r)} dv$$

$$dv = 4\pi r^2 dr \quad \Rightarrow \quad Q_{in} = \int_r \rho_{(r)} 4\pi r^2 dr$$

$$E = \frac{Q_{in}}{r^2} k$$

פתרון לשאלה 1

$$dE = \frac{dq}{r^2} = \frac{\lambda dl}{r^2} = \frac{\lambda_{(x)} dx}{x^2} \quad , \quad E = \int_0^L \frac{\lambda_{(x)} dx}{x^2}$$

פתרון לשאלה 2

ע״פ העיקרון המנחה שרשום למעלה, נחשב את Q_{in}:

$$Q_{in} = \int_r \rho_{(r)} 4\pi r^2 dr = \int_0^R \rho_0 \frac{1}{R} 4\pi r^2 dr = \pi \rho_0 R^3$$

פתרון לשאלה 3

חישוב שטח מעטפת בקואו׳ כדוריות כאשר R קבוע:

$$\int_{\varepsilon=0}^{2\pi} \int_{\varphi=0}^{\theta} R^2 \sin(\varphi) d\varepsilon d\varphi = \ldots = 2\pi R^2 (1 - \cos(\theta))$$

פתרון לשאלה 4

הדיברגנץ של E שווה אפס, כלומר לשדה אין מקורות ולכן גם השטף שווה לאפס.

$$\nabla \vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 0$$

פתרון לשאלה 5

כוחות קולון בציר Y שווים, כלומר $F_{31_y} = F_{32_y}$. נשים לב כי הדרך היחידה שבה השוויון הווקטורי מתקיים היא אם q_2 נמשך ל- q_1 וגם דוחה את q_3. הדרך היחידה שבה זה אפשרי זה אם q_2 ו- q_3 הם בעלי מטען חיובי (כי q_1 בעל מטען שלילי). לכן נתעלם מסימנים ונתייחס רק לגדלים של המטענים. נסמן:

$$\cos\alpha = \frac{r_3}{r_1} \; , \; \sin\alpha = \frac{r_2}{r_1} \, . \quad q_2 = \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^3 q_1 \quad \Leftarrow \quad k\frac{q_3 q_1}{r_3^2}\sin\alpha = k\frac{q_3 q_2}{r_2^2}\cos\alpha$$

פתרון לשאלה 6

ראשית נחשב את Q_{in} של הכדור ונשים לב לגבולות האינטגרציה (a עד r) :

$$Q_{in}=\int_v \rho(r)dv=4\pi A\frac{1}{2}r^2\Big|_a^r=2\pi A(r^2-a^2)$$

כעת נחשב את השדה. נתיחס לכדור כעל מטען נקודתי :

$$E=k\left(\frac{Q}{r^2}+\frac{Q_{in}}{r^2}\right)=k\left(\frac{Q-2\pi Aa^2}{r^2}+2\pi A\right)$$

דורשים חוסר תלות ב-r ולכן נבדוק איזה A יאפס את המונה :

$$k\left(Q-2\pi Aa^2\right)=0 \quad\Rightarrow\quad A=\frac{Q}{2\pi a^2}$$

פתרון לשאלה 7

נחשב בעזרת העיקרון המנחה שלמעלה את Q_{in} ובעזרתו את E. נשים לב כי בגלל ש- $r<R$ גבולות האינטגרציה הם מ-0 ועד r.

$$E=\frac{k}{r^2}Q_{in}=\frac{k}{r^2}\int_0^r (A+Br)4\pi r^2dr=4\pi kr\left(\frac{A}{3}+\frac{Br}{4}\right)$$

פתרון לשאלה 8

נבצע את אותו חישוב כמו קודם עם ההבדל החשוב שבגלל ש- $r>R$, נתייחס לכל הכדור כעל מטען נקודתי, וגבולות האינגרציה כעת הם מ-0 ועד R.

$$E=\frac{k}{r^2}Q_{in}=\frac{k}{r^2}\int_0^R (A+Br)4\pi r^2dr=\frac{4\pi k}{r^2}R^3\left(\frac{A}{3}+\frac{BR}{4}\right)$$

גליון 3

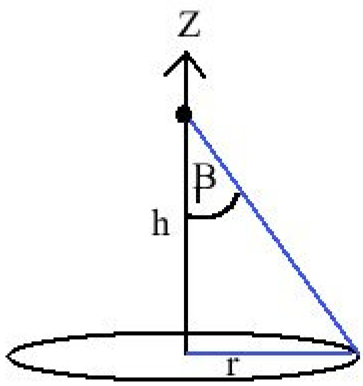
חוק גאוס: השטף הכולל דרך גוף הכולא בתוכו מטען כלל אינו תלוי בצורת הגוף, ואז: $\Phi = 4\pi Q_{in}$

כמו כן: $\Phi = \oint_s \vec{E} \cdot \vec{da} = 4\pi Q_{in}$

פתרון לשאלה 1

התשובה הסופית היא: $\vec{E} = \frac{4\pi\sigma_0}{3}\hat{z}$. הסבר:

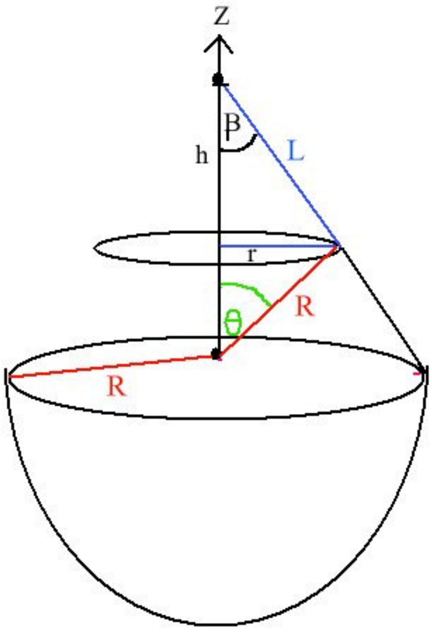
נתחיל בלחשב <u>באופן כללי</u> מהו השדה הנוצר בנקודה הנמצאת על ציר Z במרחק h מטבעת בעלת צפיפות מטען אורכית $\lambda(\theta)$ (במקרה זה קבועה, זוהי הזווית θ עם ציר ה-Z) שמרכזה גם כן בציר Z.



$dE = \frac{dq}{L^2} = \frac{\lambda(\theta) r d\varphi}{r^2+h^2}$ כאשר $rd\varphi$ הוא אלמנט קשת. אנו מעוניינים רק בשדה בכוון Z ולכן נכפיל ב-$\cos(\beta)$. נסכום על כל הטבעת, כלומר $0 \le \varphi \le 2\pi$ ולכן נקבל לאחר האינטגרציה:

$\vec{E}_z = \frac{2\pi r \lambda(\theta)}{r^2+h^2}\cos(\beta)$.

כעת נחזור לבעיה המקורית:



כעת נסכום על כל הטבעות בעלי הרדיוס r. עלינו לבטא כל פרמטר לפי θ :

$$r = R\sin(\theta)$$

$$\sqrt{r^2+h^2} = L = 2R\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$ לפי משפט הקוסינוסים :

$$\lambda(\theta) = \sigma_0 \sin(\theta) R d\theta$$

$$\beta = 90 - \frac{\theta}{2}$$

נציב את הפרמטרים ונבצע את האינטגרציה ע"פ θ :

$$\vec{E}_z = \int_0^{\pi} \frac{2\pi R^2 \sigma_0 \sin^2(\theta)\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{4R^2\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} d\theta(\hat{z}) = \ldots = \frac{\pi\sigma_0}{2}\int_0^{\pi}\frac{\sin^2(\theta)}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} d\theta(\hat{z}) = \frac{4\pi\sigma_0}{3}(\hat{z})$$

פתרון לשאלה 2

עלינו לחשב את השטף הכולל דרך שטח פנים של גוף כלשהו. הגוף כולא בתוכו מטען q יחיד ונתון.
נשתמש בחוק גאוס (להבדיל ממשפט גאוס!). נתעלם מנתוני הגליל, ופשוט נחשב :

$$\Phi = 4\pi Q_{in} = 4\pi q$$

פתרון לשאלה 3

<u>גרסא א':</u>

שדה של משטח אינסופי הטעון בצפיפות מטען σ : $\vec{E} = 2\pi\sigma$ בכוון הניצב למשטח. לכן נחשב :

$$E = 2\pi\int_{\frac{-d}{2}}^{\frac{d}{2}} \rho dx = 2\pi\rho d .$$

נשים לב כי אם $r > 0$ אז גודל השדה חיובי (בכוון X), אחרת השדה מכוון בכוון (-X) ולכן גודלו הוא שלילי.

<u>גרסא ב':</u>

ראשית נחשב את Q_{in} : $Q_{in} = \int_v \rho dv = \frac{4}{3}\pi\rho r^3\Big|_a^r = \frac{4}{3}\pi\rho(r^3-a^3)$.

כעת לפי חוק גאוס : $\Phi = 4\pi r^2\cdot E = 4\pi Q_{in} = 4\pi\cdot\frac{4}{3}\pi\rho(r^3-a^3)$.

נקבל תשובה סופית : $E = \frac{4}{3r^2}\pi\rho(r^3-a^3)$.

פתרון לשאלה 4

נפתור שוב לפי חוק גאוס: נבחר גוף המתאים לנו ביותר לשאלה זו – גוף גלילי בעל רדיוס r ואורך h כלשהו.
מתקיים: $E \cdot 2\pi rh = 4\pi Q_{in}$.
עבור $r < a$: $Q_{in} = 0$ (כי איך כלל מטען), ולכן נקבל: $E = 0$.
עבור $a < r < b$: $E \cdot 2\pi rh = 4\pi Q_{in} = 4\pi \cdot (2\pi a\sigma_1 h)$ ומכאן נקבל: $\vec{E} = \frac{4\pi a\sigma_1}{r}\hat{r}$.
עבור $r > b$: $E \cdot 2\pi rh = 4\pi Q_{in} = 4\pi \cdot \left[2\pi h(a\sigma_1 + b\sigma_2)\right]$ ומכאן נקבל: $\vec{E} = \frac{4\pi}{r}\left(a\sigma_1 + b\sigma_2\right)\hat{r}$.

פתרון לשאלה 5

שוב, לפי חוק גאוס, ונעבור לקואו' גליליות: $|J| = r$ $\quad \left.\begin{aligned} x &= r\cos(\theta) \\ y &= r\sin(\theta) \\ z &= z \end{aligned}\right\}$

$$E \cdot 2\pi rh = 4\pi Q_{in} = 4\pi \int_V \rho dv = 4\pi \int_0^h \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho r \cdot dr d\varphi dz.$$

נקבל: $E = \frac{4\pi AR^3}{3L}$.

פתרון לשאלה 6

נשים לב לשיקולי הסימטריה ונסיק כי כמות השטף דרך הקוביה היא בדיוק שמינית מהשטף הכולל.
לכן:

$$\Phi_{question} = \frac{1}{8}\Phi_{tot} = \frac{1}{8} \cdot 4\pi Q_{in} = \frac{1}{2}\pi q$$

גליון 4

פתרון לשאלה 1

גרסא א':

על מנת לחשב את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ל-B, נחשב את ההפרש בין A ל-C ואח"כ בין C ל-B.

הפרש פוטנציאלים הנובע מטבלה אינסופית מישורית: $\varphi_{(Z_2)} - \varphi_{(Z_1)} = 2\pi\sigma(z_2 - z_1)$.

לכן: עבור הטבלה בציר ה-X, ההפרש הוא רק ברכיב ה-X: $\Delta\varphi_{AC} = 2\pi\sigma k(8-3) = 6\pi\sigma k$.

עבור הטבלה בציר ה-Y, ההפרש הוא רק ברכיב ה-Y: $\Delta\varphi_{CB} = 2\pi\sigma k(8-3) = 6\pi\sigma k$.

לכן סה"כ: $\Delta\varphi_{AB} = \Delta\varphi_{AC} + \Delta\varphi_{CB} = 12\pi\sigma k$

גרסא ב':

נחשב את תרומת כל אלמנט קשת לפוטנציאל: $d\varphi = \frac{dq}{r} = \frac{\lambda_0 Rkd\theta}{R} = \lambda_0 kd\theta$.

נבצע אינטגרציה ונקבל: $\varphi = \int_0^{\pi} \lambda_0 kd\theta = \lambda_0 \pi k$

פתרון לשאלה 2

נחלק את התיל לאלמנטי אורך בשם dz, ונחשב מהי תרומת הפוטנציאל של כל אלמנט אינפיניטיסימלי כזה לנקודה P:

$$d\varphi = \frac{dq}{r} = \frac{\lambda dz}{\sqrt{x^2+z^2}}$$

$$\varphi = \int_{\frac{-d}{2}}^{\frac{d}{2}} \lambda \frac{dz}{\sqrt{x^2+z^2}} = \frac{\lambda}{x}\int_{\frac{-d}{2}}^{\frac{d}{2}} \frac{dz}{\sqrt{1+\left(\frac{z}{x}\right)^2}}$$

כעת נבצע החלפת משתנים. נסמן: $t = \frac{z}{x}$ <= $z = xt$. נגזור ונקבל: $dz = xdt$.

נשים לב כי אם קודם גבולות האינטגרציה היו עבור Z: $\frac{d}{2} < z < \frac{-d}{2}$, אז עבור t הם יהיו: $\frac{d}{2x} < \frac{z}{x} < \frac{-d}{2x}$.

נציב בחזרה באינטגרל, נשתמש ברמז ונקבל:

$$\varphi = \frac{\lambda}{x}\int_{\frac{-d}{2x}}^{\frac{d}{2x}} \frac{xdt}{\sqrt{1+t^2}} = \frac{\lambda \arcsin h^{-1}(t)}{1}\Bigg|_{\frac{-d}{2x}}^{\frac{d}{2x}} = \lambda\left[\sin h^{-1}\left(\frac{d}{2x}\right) - \sin h^{-1}\left(\frac{-d}{2x}\right)\right]$$

פתרון לשאלה 3

נבחן מהי תרומתו של אלמנט קשת $Rd\theta$ לפוטנציאל במרכז המעגל, ונסכום באינטגרציה על כל המעגל.

$$d\varphi = k\frac{dq}{r} = k\frac{\lambda(\theta)Rd\theta}{R} = k\lambda(\theta)d\theta$$

$$\varphi_{(0,0)} = \int_0^{2\pi} k\lambda_0 \sin^2(\theta)d\theta = \frac{k\lambda_0}{2}\int_0^{2\pi}(1-\cos(2\theta))d\theta = k\lambda_0\pi$$

פתרון לשאלה 4

בשאלה זו נשתמש בנוסחא: $\varphi_{(Z_2)} - \varphi_{(Z_1)} = -\int_{Z_1}^{Z_2}\vec{E}\cdot\vec{dl}$.

נשתמש בנתוני השאלה $\varphi_{(r)} = \varphi_{(R)} - \int_R^r \vec{E}\cdot\vec{dl} = \int_r^R \vec{E}\cdot\vec{dl}$.

כעת, לאט ובזהירות נחשב את $\vec{E}_{(r)}$.

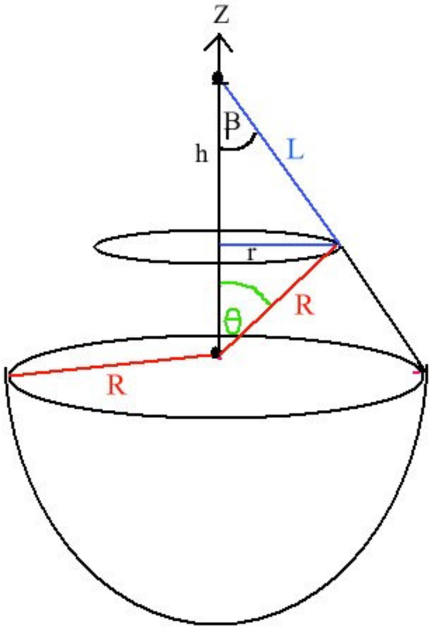
$$Q_{(r)} = \int_V \rho dv = \int_0^r 4\pi r^2\rho_{(r)}dr = a\pi r^4 + 2\pi br^2$$

$$E_{(r)} = k\frac{Q_{(r)}}{r^2} = k\pi(ar^2+2b)$$

$$\varphi_{(r)} = -\int_r^R k\pi(ar^2+2b)dr' = k\left[\frac{a\pi}{3}\left(R^3-r^3\right)+2\pi b\left(R-r\right)\right]$$

פתרון לשאלה 5

נזכר באיור שהיה לנו בגיליון 3 בשאלה 1:



עלינו בעצם לחשב את הפוטנציאל בנקודה $R\hat{z}$, בנקודה $-R\hat{z}$ ולחשב לפי הנוסחא: $W = q\cdot\Delta\varphi$.

נחשב את את תרומת הפוטנציאל של כל אלמנט טבעת לנקודה $R\hat{z}$:

$$\left.\begin{aligned} & dq = \lambda(\theta) r d\varphi \\ & r = R\sin(\theta) \\ & \lambda(\theta) = \sigma(\theta) R d\theta = \sigma_0 \sin(\theta) R d\theta \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad dq = \sigma_0 R^2 \sin^2(\theta) d\varphi d\theta$$

ע"פ משפט הקוסינוסים:

$$L = 2R\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$d\varphi = \frac{dq}{L} = \frac{2\pi\sigma_0 R^2 \sin^2(\theta) d\theta}{2R\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{\pi\sigma_0 R \sin^2(\theta) d\theta}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

נבצע את האינטגרציה:

$$\varphi_{(R\hat{z})} = \pi\sigma_0 R \int_0^{\pi} \frac{\sin^2(\theta)}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} d\theta = \frac{-8\pi\sigma_0 R}{3}$$

כעת נבצע את אותו החישוב עבור הנקודה $-R\hat{z}$. נשים לב כי החישוב יהיה זהה בכל הפעולות שעשינו.
לכן נקבל:

$$W = q\cdot\Delta\varphi = q\cdot\left(\frac{-8\pi\sigma_0 R}{3} - \frac{-8\pi\sigma_0 R}{3}\right) = 0$$

פתרון לשאלה 6

נחשב את הפוטנציאל החדש פשוט ע"י חישוב הפוטנציאל הישן פחות החלק אותו הורדנו.

שוב, נשתמש בנוסחא: $\varphi_{(Z_2)} - \varphi_{(Z_1)} = -\int_{Z_1}^{Z_2} \vec{E}\cdot\vec{dl}$.

$$\varphi = \varphi_0 - \int_V \frac{\rho}{r} dv = \varphi_0 - \int_{r=0}^{R} \frac{4\pi r^2 \rho}{r} dr = \varphi_0 - 2\pi R^2 \rho$$

פתרון לשאלה 7

פשוט נחשב ע"פ הנוסחא: $\vec{E} = -\nabla\varphi$ ונקבל: $\vec{E} = Ake^{-kz}\left[\sin(kz)\hat{x} + \cos(kz)\hat{z}\right]$.

פתרון לשאלה 8

נשים לב כי ע"פ הנוסחא: $\vec{E} = -\nabla\varphi$: רק פוני הפוטנציאל $\varphi_{(x,y)} = -\frac{x^3}{3} - y^2 x$ נכונה עבור השדה הנתון.

גליון 5

באופן כללי, הפוטנציאל של קליפה כדורית ברדיוס R:

$$\varphi_{(r)}=\begin{cases}\dfrac{Q}{r} & r\ge R\\ \dfrac{Q}{R} & r<R\end{cases}$$

פתרון לשאלה 1

עבור שאלות מסוג זה העיקרון הוא פשוט וברור:
אם נמצאים מחוץ לכדור אז מתיחסים אליו כאל מטען נקודתי, ואם נמצאים בתוך כדור – אז הפוטנציאל שלו על השפה שווה לפוטנציאל בכל נקודה בפנים.
עבור הפוטנציאל על הקליפה הפנימית בעלת רדיוס R:

$$\varphi_{(R)}=k\left[\frac{q}{R}+\frac{-2q}{2R}+\frac{3q}{3R}\right]=\frac{kq}{R}$$

ועבור הפוטנציאל על הקליפה האמצעית בעלת רדיוס 2R החישוב יהיה זהה.

פתרון לשאלה 2

כאשר מחברים קליפות במוליך דק יש להזניח את כמות המטען על המוליך עצמו.
כמובן שכמות המטען הכוללת על 2 הקליפות לא משתנה. המטען רק מסתדר בצורה אחרת.
נניח כי מחברים את הקליפה שברדיוס R עם זאת שברדיוס 3R. נסמן את כמות המטען החדשה על R ב- q' (לא ידוע), ואת כמות המטען על הקליפה 3R ב- $4q-q'$.
הפוטנציאלים בקליפות המחוברות הוא כעת זהה, לכן נבנה משוואה המבטאת זאת:

$$\varphi_{(R)}=k\left[\frac{q'}{R}+\frac{-2q}{2R}+\frac{4q-q'}{3R}\right]=k\left[\frac{q'}{3R}+\frac{-2q}{3R}+\frac{4q-q'}{3R}\right]=\varphi_{(3R)}$$

נקבל: $q'=\frac{q}{2}$. נציב במשוואה ונקבל: $\varphi_{(R)}=\frac{2kq}{3R}$.

פתרון לשאלה 3

זוהי שאלה פשוטה ומאוד טכניות. סה״כ יש ליישם את עקרונות הקיבול במקביל ובטור, לפשט לאט לאט את המעגל ולקבל תשובה סופית.

חיבור 2 קבלים בטור: $\frac{1}{C_{eff}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$

חיבור 2 קבלים במקביל: $C_{eff}=C_1+C_2$

פתרון לשאלה 4

הפיתרון בשאלה זו דומה מאוד לפיתרון שאלה 2.
מחברים את הקליפות, המטען הכולל לא משתנה, הפוטנציאלים כעת שווים.
נניח כי הקליפות ברדיוסים $R,\ 2R,\ 3R$ טעונות במטענים $q,\ -2q,\ 3q$ בהתאמה.
מחברים את הקליפות 2R עם 3R. המטען על 2R יהיה q':

$$\varphi_{(2R)}=k\left[\frac{q}{2R}+\frac{q'}{2R}+\frac{q-q'}{3R}\right]=k\left[\frac{q}{3R}+\frac{q'}{3R}+\frac{q-q'}{3R}\right]=\varphi_{(3R)}$$

נקבל $q'=-q$.

פתרון לשאלה 5

מכיוון שהנקודה A נמצאת מחוץ לטבלה, נתיחס לטבלה כאל טעונה בצפיפות משטחית.

כלומר: $\sigma=\int_{\frac{-d}{2}}^{\frac{d}{2}}\rho dx=\rho d$.

נסיק ממשוואת הפרש פוטנציאלים הנובע מטבלה מישורית אינסופית: $\varphi_{(L')}-\varphi_{\left(\frac{d}{2}\right)}=2\pi k\rho d\left(L-\frac{d}{2}\right)$.

ע"פ נוסחת העבודה: $W=q\cdot\Delta\varphi=2\pi k\rho dQ\left(L-\frac{d}{2}\right)$.

נתון כי מהירות החלקיק בהגיעו לנקודה B $\left(x=\frac{d}{2}\right)$ הוא 0, ולכן משוואות האנרגיה שוות:

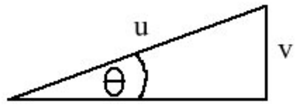
$$2\pi k\rho dQ\left(L-\frac{d}{2}\right)=\frac{1}{2}mV_0^2\qquad\Rightarrow\qquad V_0=\sqrt{\frac{4\pi k\rho dQ\left(L-\frac{d}{2}\right)}{m}}$$

פתרון לשאלה 6

נפתור שאלה זו ע"י הנוסחה $C=\frac{A}{4\pi D}$ כאשר A הוא שטח כל לוח ו- D הוא המרחק בין הלוחות.

נפרק את A ל- $a\cdot a$ בהתאם לנתונים שלנו. עלינו לבצע אינטגרציה על מרחק הלוחות זה מזה (D) לאורך הלוח (מ-0 ועד a).

באופן כללי, כאשר θ זווית קבועה:



נקבל $v=u\sin\theta$.

נשים לב כי $D=d+2v=d+2u\sin\theta$. נבצע את האינטגרציה:

$$C=\int_0^a\frac{a}{4\pi\left(d+2u\sin\theta\right)}du=\frac{a}{4\pi}\ln\left(d+2u\sin\theta\right)\cdot\frac{1}{2\sin\theta}\Big|_0^a=\frac{a}{8\pi\sin\theta}\cdot\ln\left(\frac{d+2a\sin\theta}{d}\right)$$

גליון 6

פתרון לשאלה 1

נסמן את המקום בו נמצא Q כראשית הצירים. על מנת לאפס את הפוטנציאל בנקודה a עלינו לשים מטען $\left(-Q\right)$ בנקודה $2a\hat{x}$. אך כעת הפוטנציאל ב- $\left(-a\hat{x}\right)$ איננו אפס ולכן יש לשקף את כל המערכת שוב, הפעם בכוון השלילי. נמשיך בפעולות השיקוף אינסוף פעמים, בכל פעם מצד אחר של הציר. לכן מופיע $\left(-1\right)^n$. לכן נקבל:

$$\sum_{n=-\infty}^{n=\infty}\frac{\left(-1\right)^n Q}{|\vec{r}-2na\hat{x}|}$$

פתרון לשאלה 2

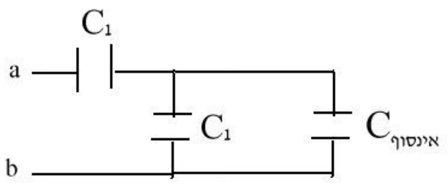
נשים לב כי בקלות ניתן לחשב את האנרגיה ליח' שטח עבור כל אחד ממערכת הקבלים בנפרד. נסמן גודל זה ב- U_1.

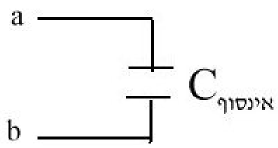
ע"פ נוסחת הקיבול, נקבל כי קיבול ליח' שטח הוא: $\frac{C}{S}=\frac{1}{4\pi a}$ (כאשר S הוא שטח כל לוח ו- a הוא המרחק בין הלוחות). לכן האנרגיה הכוללת ליח' שטח היא:

$$\frac{U_{tot}}{S}=4\frac{U_1}{S}=4\frac{1}{S}\frac{CV^2}{2}=4\frac{C}{S}\frac{V^2}{2}=4\frac{1}{4\pi a}\frac{V^2}{2}=\frac{V^2}{2\pi a}$$

פתרון לשאלה 3

נשתמש ברמז ונזניח לרגע את 2 הקבלים הראשונים. מכיוון שיש מספר אינסופי של קבלים, הקיבול השקול של 2 המערכות הבאות <u>שווה</u>:





נבטא זאת באמצעות משוואות, ולשם הנוחות נסמן: $C_{\text{אינסוף}}=b$, $C_1=a$. אנו מחפשים כמובן את b.

$$b=\frac{a\left(a+b\right)}{2a+b}\qquad\Rightarrow\qquad b=a\left(\frac{\sqrt{5}-1}{2}\right)$$

פתרון לשאלה 4

נפתור בקלות ע"י נוסחת R:

$$R=\int_0^L\frac{1}{\sigma_{(x)}A}dx=\int_0^L\frac{x}{\sigma_0 LA}dx=\frac{L}{2a\sigma_0}$$

פתרון לשאלה 5

V נתון ואת R מצאנו בסעיף הקודם. (נשים לב כי A איננו נתון בסעיף זה אך הוא יצטמצם לנו בהמשך).
הזרם קבוע במערכת, אחרת היתה נוצרת הצטברות של מטענים. אם הזרם קבוע אז גם צפיפות הזרם קבועה.
שטח החתך A גם הוא קבוע, ולכן ניתן לרשום:

$$JA = I = \frac{V}{R} \qquad \Rightarrow \qquad J = \frac{V}{AR} = \frac{2\sigma_0 V}{L}$$

פתרון לשאלה 6

נחשב פשוט ע"י נוסחת צפיפות הזרם: $J = \sigma_{(x)} E_{(x)}$

$$E_{(x)} = \frac{J}{\sigma_{(x)}} = \frac{2V}{L^2} x$$

פתרון לשאלה 7

בשאלה זו הזרם עובר באופן אחיד רדיאלית מהקליפה הפנימית לחיצונית ולכן ניתן להתייחס למערכת כאל חיבור נגדים בטור. נגדיר את הקליפה הפנימית כנגד R_1 ואת החיצונית כנגד R_2. נרצה לחשב: $R = R_1 + R_2$.
ע"פ נוסחת ההתנגדות עבור חומר דיאלקטרי הכלוא בין שני כדורים:

$$R_1 = \frac{1}{4\pi\sigma_1}\left(\frac{1}{a} - \frac{2}{a+b}\right) \qquad R_2 = \frac{1}{4\pi\sigma_2}\left(\frac{2}{a+b} - \frac{1}{b}\right)$$

ולכן התשובה היא $R = R_1 + R_2$.

נשים לב כי הנוסחאות הנ"ל הן מקרה פרטי של הנוסחא $R = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{\sigma A} dr$ עבור שטח חתך $A = 4\pi r^2$.

פתרון לשאלה 8

V נתון ואת R מצאנו בסעיף הקודם. שטח החתך הוא $A = 4\pi b^2$. לכן:

$$I = \frac{V}{R} \quad , \quad J = \sigma_{(x)} E_{(x)}$$

$$J_{(b)} = \frac{I}{A} = \frac{I}{4\pi b^2} = \frac{V}{4\pi b^2 R} = \sigma_{(b)} E_{(b)} \qquad \Rightarrow \qquad E_{(b)} = \frac{V}{4\pi b^2 \sigma_2 R}$$

פתרון לשאלה 9

שוב, לפי נוסחת ההתנגדות $R=\int_{r_1}^{r_2}\frac{1}{\sigma_{(r)}A_{(r)}}dr$, כאשר הפעם שטח החתך $A=2\pi rL$ הוא של מעטפת של גליל ברדיוס r ואורך L וללא הבסיסים, ו- $\rho=\frac{1}{\sigma}$.

$$R=\int_a^b ar^2\frac{1}{2\pi rL}dr=\frac{a}{4\pi L}\left(b^2-a^2\right)$$

פתרון לשאלה 10

V נתון ואת R מצאנו בסעיף הקודם. $A=2\pi bL$.

$$I=\frac{V}{R}=\frac{4\pi LV}{a\left(b^2-a^2\right)}$$

$$JA=I=\frac{V}{R}\qquad\Rightarrow\qquad J=\frac{I}{A}=\frac{2V}{ab\left(b^2-a^2\right)}$$

גליון 7

עבור טרנספורמציות הכוחות:

P – המערכת בה המטען עליו פועל הכח נמצא במנוחה (המערכת העצמית שלו):

$$\vec{F}_{\parallel}^{'}=\vec{F}_{\parallel}^{p}$$

$$\vec{F}_{\perp}^{'}=\frac{1}{\gamma}\vec{F}_{\perp}^{p}$$

פתרון לשאלה 1

התנועה היחסית של שני המטענים בשאלה היא על ציר X בלבד. כמו כן הכח בין שני מטענים אלו גם הוא מכוון על ציר ה-X. התנועה מקבילה לכוון הכח ולכן ע״פ טרנספורמצית הכוחות מתקיים:

$$F_{\parallel}^{'}=F_{\parallel}^{p}=\left(\frac{q^2}{a^2}\right)\hat{x}$$

פתרון לשאלה 2

$$\vec{F}=\frac{4q\lambda_0 v^2}{c^2 r}\hat{r}$$

פתרון לשאלה 3

הכח הפועל על המטען q_1 מחולק לשניים: הכח מהמטען q_2 והכח מהמטען Q.

המטען q_2 נמצא במנוחה ביחס ל- q_1 ולכן אין שום אפקט יחסותי ביניהם: $\vec{F}_{12}=\frac{q^2}{d^2}(-\hat{z})$

עבור הכח מהמטען Q נבצע טרנספורמציה ע״פ הנוסחא מכיוון שהכח הפועל הוא בניצב לכוון התנועה. נקבל שהכח במערכת המטען q_1 הוא:

$$\vec{F}_{1Q}=\gamma\frac{qQ}{\left(\frac{d}{2}\right)^2}(-\hat{z})=4\gamma\frac{qQ}{d^2}(-\hat{z})$$

נחבר את הגדלים ונקבל: $\vec{F}=\frac{-q}{d^2}[4\gamma Q+q](\hat{z})$

פתרון לשאלה 4

קל לראות משיקולי סימטריה כי הכוחות הפועלים על Q הם שווים בגודלם והפוכים בכיוונם, ולכן הכח הפועל עליו הוא אפס.

פתרון לשאלה 5

עלינו לחשב את השטף כפונקציה של הזווית θ כאשר $0 \le \theta \le \theta_0$.

ע"פ חוק גאוס השטף הוא: $\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{a}$. $E = \frac{Q}{r^2}$, $da = r^2 \sin\theta dr d\varphi d\theta$ ולכן:

$$\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{a} = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\theta_0} \frac{Q}{r^2} \cdot r^2 \sin\theta dr d\varphi d\theta = 2\pi Q \int_{\theta=0}^{\theta_0} \sin\theta d\varepsilon = 2\pi Q \left(1-\cos\theta_0\right)$$

פתרון לשאלה 6

כעת עלינו לבצע טרנספורמציית שדה. כעת השדה הוא $E = \frac{Q\left(1-\beta^2\right)}{r^2\left(1-\beta^2\sin\varepsilon\right)}$. $\left(0 \le \varepsilon \le \varphi_0\right)$

נבצע את אותו חישוב כמו קודם אך עם השדה החדש:

$$\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{a} = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\varepsilon=0}^{\varphi_0} \frac{Q\left(1-\beta^2\right)}{r^2\left(1-\beta^2\sin\varepsilon\right)} \cdot r^2 \sin\left(\varepsilon\right) dr d\varphi d\varepsilon =$$

$$= 2\pi Q \int_{\varepsilon=0}^{\varphi_0} \frac{\left(1-\beta^2\right)}{\left(1-\beta^2\sin\varepsilon\right)} \sin\left(\varepsilon\right) d\varepsilon = 2\pi Q \left[1 - \frac{\cos\varphi_0}{\sqrt{1-\beta^2\sin^2\varphi_0}}\right]$$

גליון 8

כלל יד ימין לכיוון השדה המגנטי: אגודל בכוון הזרם $\vec{I}$ (ציר האגודל כאילו מונח על התיל), שאר האצבעות בכוון המרחק $\vec{r}$ מהנקודה שבה רוצים לבחון את השדה, כיוון השדה המגנטי בנקודה הוא הווקטור היוצא מכף היד החוצה (כמו כאפה...).

כלל יד ימין לכיוון הכח הפועל על אלמנט מטען הנע במהירות $\vec{V}$ בתוך שדה מגנטי $\vec{B}$: אגודל בכוון המהירות $\vec{V}$, שאר האצבעות בכוון השדה המגנטי, נקבל כי הכח הפועל על המטען הוא בכיוון הווקטור היוצא מכף היד החוצה.

- נשים לב כי בשאלות בהן השאלה מוצגת ביחידות של $c.g.s.$ הגודל של c יהיה $c = 3\cdot 10^{10}$.

פתרון לשאלה 1

הזרם הוא $I = \frac{2\pi J_0 a^2}{3}$, או בגרסא השניה: השדה המגנטי עבור $0 < r < a$ הוא:

$$\vec{B}_{(r)} = \frac{4\pi J_o}{3c}\left(\frac{r^2}{a} - \frac{a^2}{r}\right)\hat{\theta}$$

פתרון לשאלה 2

ידוע כי השדה המגנטי הנוצר מתיל אינסופי שלם הוא $\frac{2I}{rc}$, ולכן תיל חצי אינסופי יצור מחצית מזה: $B = \frac{I}{rc}$.

פתרון לשאלה 3

ראשית נשים לב כי לפי כיוון הזרם כי כל רכיבי הזרם מוסיפים שדה מגנטי באותו הכוון (ע"פ כלל יד ימין), ולכן יש לבצע סכימה:

ראינו בשאלה הקודמת כי השדה המגנטי הנוצר מתיל חצי אינסופי הוא $\frac{I}{cR}$. נסכום 2 רכיבים כאלה.

נותר לסכום רבע של טבעת ברדיוס R הנושאת זרם I: $\frac{1}{4}\cdot\left(\frac{2\pi I}{cR}\right)$.

נקבל:

$$B = 2\frac{I}{cR} + \frac{1}{4}\cdot\left(\frac{2\pi I}{cR}\right) = \frac{I(4+\pi)}{2cR}$$

פתרון לשאלה 4

נבחן ראשית מהי תרומת זרם בטבעת אינפיניטיסימלית לשדה במרכז הקליפה. נסמן ב- x את רדיוס הטבעת וב- z את מרחק מרכזה ממרכז הקליפה הכדורית. נשים לב כי אם a הוא רדיוס הקליפה אז מתקיים $x^2 + z^2 = a^2$.
נציב בנוסחא המתאימה ונקבל:

$$(*) \qquad dB = \frac{2\pi x^2 dI}{c\left(x^2+z^2\right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{2\pi x^2 dI}{ca^3}$$

נבטא את כל הגדלים בעזרת המשתנים שיש לנו:

נסמן ב- θ את הזווית הנוצרת בין הניצב z לרדיוס a. ע"פ טריגונומטריה: $x = a\sin\theta$.

מהירות המטענים הם: $V = \omega x = \omega a \sin\theta$.

נבחן את אלמנט הזרם dI: $dI = \sigma V \underbrace{a d\theta}_{dr} = \sigma\omega a^2 \sin\theta d\theta$

נציב את מה שקיבלנו במשוואה $(*)$:

$$dB=\frac{2\pi\left(a\sin\theta\right)^2\cdot\left(\sigma\omega a^2\sin\theta d\theta\right)}{ca^3}$$

$$B=\frac{2\pi a\sigma\omega}{c}\int_0^{\pi}\sin^3\theta d\theta=\frac{8}{3c}\pi a\sigma\omega$$

פתרון לשאלה 5

גרסא א':

פשוט נשתמש בנוסחא לחישוב שדה מגנטי במרכז גזרת טבעת: $B=\frac{\theta I}{R}$, כאשר אצלנו: $B=\frac{\left(\frac{\pi}{2}\right)I}{R}$

גרסא ב':

שואלים מהו גודל השדה המגנטי ולכן בשאלה זו נתעלם מכוונו.
נשים לב כי 2 התילים האינסופיים בעלי הזרם i יוצרים שדה מגנטי באותו כוון, ולכן:

$$B_1=2\cdot\left(\frac{2i}{R}\right)=\frac{4i}{R}$$

עבור הטבעת:

$$B_2=\int dB=\int\frac{Idl}{R^2}=\int_0^{2\pi}\frac{I\left(Rd\theta\right)}{R^2}=\int_0^{2\pi}\frac{I}{R}d\theta=\frac{2\pi I}{R}$$

נחבר את שני הגדלים ונקבל:

$$B_{tot}=\sqrt{B_1^{\,2}+B_2^{\,2}}=\frac{\sqrt{4\pi^2I^2+16i^2}}{R}$$

פתרון לשאלה 6

השדה מחוץ לטורוס הוא 0.

פתרון לשאלה 7

פשוט מאוד נשתמש בנוסחא: $B_{(r)}=\frac{2NI}{cr}$.

גליון 9

פתרון לשאלה 1

השדה החשמלי והמגנטי במערכת S' ניצבים זה לזה.

פתרון לשאלה 2

$$\vec{V} = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|}\frac{\vec{E}\times\vec{B}}{|\vec{E}\times\vec{B}|}$$

פתרון לשאלה 3

$$\vec{V} = \frac{|\vec{B}|}{|\vec{E}|}\frac{\vec{E}\times\vec{B}}{|\vec{E}\times\vec{B}|}$$

פתרון לשאלה 4

קיימת מערכת אינרציאלית S' שבה $\vec{B}'=0$.

פתרון לשאלה 5

אף תשובה אינה נכונה.

פתרון לשאלה 6

$$\vec{E} = 2\sqrt{3}\frac{\lambda_0}{b}\hat{x} \qquad , \qquad \vec{B}'=0$$

גליון 10

נוסחת פאראדיי (לחישוב כא״מ) ביחידות $c.g.s.$: $\varepsilon = -\frac{1}{c}\frac{d\Phi}{dt}$. ביחידות $m.k.s.$ נשמיט את c.

נוסחת ההשראות העצמית : $-\frac{1}{c}\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$

פתרון לשאלה 1

נסמן את שטח המסגרת ב- A (אצלנו $A = a^2$).
נבדוק את תנאי ההתחלה על מנת לקבוע את מחזוריות הנורמל של המסגרת ביחס לכיוון השדה המגנטי :
אם ב- $t = 0$ הנורמל למסגרת מקביל לכיוון השדה המגנטי אז השטף מבוטא ע״י $\Phi_B = B\cos(\omega t)\cdot A$.
אם ב- $t = 0$ הנורמל למסגרת ניצב לכיוון השדה המגנטי אז השטף מבוטא ע״י
$\Phi_B = B\cos\left(\frac{\pi}{2} - \omega t\right)\cdot A = B\sin(\omega t)\cdot A$.
נשתמש בנוסחת הכא״מ :

$$\varepsilon = -\frac{1}{c}\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{1}{c}\frac{d}{dt}BA\sin(\omega t) = -\frac{1}{c}BA\omega\cos(\omega t)$$

מבקשים את הכא״מ בערך מוחלט, נציב את A, ונשמיט את c :

$$\varepsilon = Ba^2\omega\cos(\omega t)$$

פתרון לשאלה 2

נחשב תחילה עבור $0 < t < \frac{a}{v}$, כלומר עבור הזמן בו לוקח לריבוע להכנס במלואו לתחום בעל השדה.
שטח המלבן האינפיניטיסימלי הנכנס לתחום בזמן dt הוא vdt, ולכן השינוי בשטף יהיה : $d\Phi_B = a\cdot vdt\cdot B$.
נחלק ב- dt ונקבל $\frac{d\Phi_B}{dt} = avB$. מכאן נובע : $\varepsilon = -\frac{avB}{c}$.

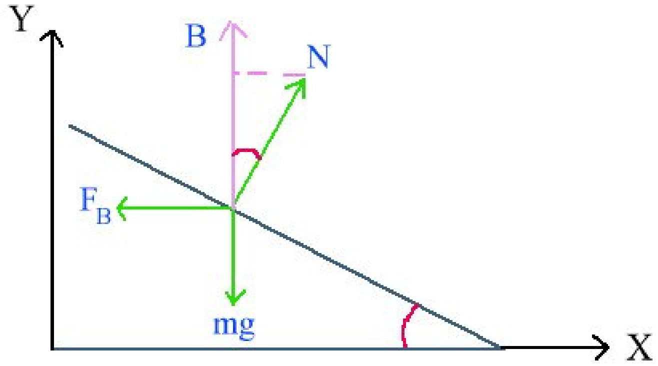
עבור $\frac{a}{v} < t < \frac{2a}{v}$ שהו הזמן שיקח למסגרת לצאת מהתחום : נבצע חישוב דומה. השטף נתון ע״י :

$$\Phi_B = \left[a(a - vt)\right]B = a^2B - avtB$$

נגזור לפי t ונקבל $\frac{d\Phi_B}{dt} = -avB$. מכאן נובע : $\varepsilon = \frac{avB}{c}$

פתרון לשאלה 3

המוט נע מטה ולמעשה מקטין את שטח המסגרת. מכיוון שהשדה המגנטי B קבוע בזמן ובמרחב, נסיק כי תנועת המוט מקטינה את השטף המגנטי (כי באופן הכי כללי, שטף הוא מכפלת שדה מגנטי בשטח $\Phi_B = B\cdot S$).
לכן הזרם שיווצר יהיה בכוון כזה שירצה להגדיל בחזרה את השטף, כלומר יצור כח שירצה להגדיל בחזרה את המסגרת. ע״פ כלל יד ימין : הכח F_B יפעל בכיוון $(-\hat{x})$. נצייר את תרשים הכוחות :



נרשום משוואות:

$$\begin{cases} N\cos\theta = mg \\ N\sin\theta = F_B \end{cases} \quad \Rightarrow \quad F_B = mg\tan\theta$$

נסמן את המרחק בין המוט לבין הנקודה בה המסילה נוגעת ברצפה ב- h. שטח המלבן קטן אם כך ב- $(h-vt)$.
השטף המגנטי הכולל הוא: $\Phi_B = B\cos\theta \cdot L(h-vt)$. ה- $\cos\theta$ מופיע כי כיוון הנורמל למסגרת אינו מקביל ל-B, אלא רק רכיב ה- $\cos\theta$ מקביל לו. נגזור לפי t ונקבל: $\frac{d\Phi_B}{dt} = -vLB\cos\theta$. מכאן נובע:
$\varepsilon = \frac{vLB}{c}\cos\theta$. כמו כן: $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{vLB}{cR}\cos\theta$.

ע"פ הנוסחא לכח המפעיל שדה מגנטי על מוט: $F_B = \frac{IBL}{c} = \frac{B^2L^2\cos\theta}{c^2R}\cdot v$. נשווה עם משוואת הכוחות שרשמנו קודם:

$$\frac{B^2L^2\cos\theta}{c^2R}\cdot v = mg\tan\theta \quad \Rightarrow \quad F_B = \frac{mgRc^2}{B^2L^2}\cdot\frac{\tan\theta}{\cos\theta}$$

פתרון לשאלה 4

בתחום $a<r<b$ השדה המגנטי בכל נקודה הוא $B = \frac{2I}{cr}$ בכוון משיקי (מתיחסים רק לגליל הפנימי). נבנה מלבן בעל אורך h וגובה $(b-a)$ כך ששני בסיסיו יגעו בשני הגלילים. נמצא את השטף המגנטי העובר דרך המלבן:

$$\Phi_B = \int \vec{B}d\vec{s} = \int_0^l dx\int_a^b \frac{2I}{cr}dr = \frac{2lI}{c}\ln\left(\frac{b}{a}\right).$$

ע"פ נוסחת ההשראות העצמית:

$$-\frac{1}{c}\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{1}{c}\cdot\frac{\left(\frac{d\Phi_B}{dt}\right)}{\left(\frac{dI}{dt}\right)} = \frac{1}{c}\cdot\frac{d\Phi_B}{dt}\frac{dt}{dI} = \frac{1}{c}\frac{d\Phi_B}{dI}$$

$$\frac{d\Phi_B}{dI} = \frac{2l}{c}\ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

ולכן נקבל: $L = \frac{2l}{c^2}\ln\left(\frac{b}{a}\right)$.

נשים לב שאם נכפיל את התוצאה שקיבלנו ב- 10^{21} אז נקבל את התוצאה ביחידות של $10^{-21}\dfrac{\sec^2}{cm}$,

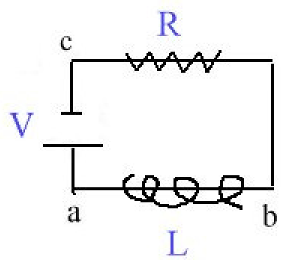
ואילו אם נכפיל את התוצאה שקיבלנו ב- $\dfrac{10\times10^{12}}{1.113}$ אז נקבל את התוצאה ביחידות של 10^{-7} הנרי.

פתרון לשאלה 5

באינסוף הזרם הוא $I=\dfrac{V}{R}$. לכן 90% ממנו זה: $I=0.9\dfrac{V}{R}$.

האנרגיה המגנטית נתונה ע"י $U=\dfrac{LI^2}{2}$, לכן נציב ונקבל: $U=\dfrac{L}{2}\left(0.9\dfrac{V}{R}\right)^2$.

נבנה כעת מעגל סכימטי כאשר נפצל את תכונת הנגד מתכונת ההשראות בסליל.

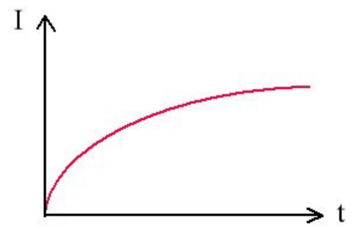


ע"פ חוקי קירכהוף מתקיים: $V_{ac}=V_{ab}+V_{bc}$.

נתרגם זאת למעגל שלנו: $V=L\dfrac{dI}{dt}+IR$. נחלק ב-L, נעביר אגפים ונקבל: $\dfrac{dI}{dt}=-\dfrac{R}{L}I+\dfrac{V}{L}$.

פתרון משוואה מסוג כזה הוא: $I_{(t)}=\dfrac{\left(\dfrac{V}{L}\right)}{\left(\dfrac{R}{L}\right)}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)=\dfrac{V}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)$.

הגרף נראה כך:



עבור איזה t נקבל את הזרם המבוקש $I_{(t=?)}=0.9\dfrac{V}{R}$?

$$0.9\frac{V}{R}=\frac{V}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)\quad\Rightarrow\quad e^{-\frac{R}{L}t}=0.1\quad\Rightarrow\quad t=\frac{L}{R}\ln(10)$$

גליון 11

פתרון לשאלה 1

הפונקציה המבוקשת צריכה לקיים את משוואת הגלים, כלומר במקרה שלנו צריך להתקיים: $\frac{\partial\psi}{\partial x^2}=\frac{1}{u}\frac{\partial\psi}{\partial t^2}$

כאשר u היא מהירות הגל.
רק אחרי שגוזרים את כל הפונ' לפי משוואת הגלים (נגזרת שניה לפי x, ואח"כ נגזרת שניה לפי t) ומציבים במשוואה ניתן לזהות כי רק הפונקציה $\psi(x,t)=A\cos^3(kx+\omega t)$ מקיימת את הדרישה, וכמו כן היא גם בכיוון המבוקש (הכיוון השלילי של ציר X).
לדוגמא הפונקציות $\psi(x,t)=A\cos(kx-\omega t)\sin(kx-\omega t)$, $\psi(x,t)=A\exp(kx-\omega t)$
אמנם מקיימות את משוואת הגלים אך הן מתקדמות בכיוון הלא נכון.

פתרון לשאלה 2

מהירות הפאזה: $V_{ph}=\frac{\omega}{k}=\frac{1}{k}\sqrt{\omega_0+\alpha^2k^2}$.

מהירות החבורה: $V_g=\frac{\partial\omega}{\partial k}=\frac{\alpha^2k}{\sqrt{\omega_0+\alpha^2k^2}}$.

תשובה סופית: $\frac{V_g}{V_{ph}}=\frac{\alpha^2k^2}{(\omega_0+\alpha^2k^2)}$

פתרון לשאלה 3

באפון כללי: $\lambda=\frac{2\pi}{|\vec{k}|}$. אצלנו: $\lambda_2=\frac{2\pi}{k_2}$, $\lambda_1=\frac{2\pi}{k_1}$.

ע"פ נתוני השאלה: $\lambda=\frac{\lambda_1+\lambda_2}{2}=\frac{\pi(k_1+k_2)}{k_1\cdot k_2}$, $D=\frac{2\pi}{\left(\frac{k_2-k_1}{2}\right)}=\frac{4\pi}{k_2-k_1}$.

תשובה סופית: $\frac{D}{\lambda}=\frac{4k_1\cdot k_2}{k_2^2-k_1^2}$.

פתרון לשאלה 4

באופן כללי, ע"פ הדף נוסחאות: $k=\frac{2\pi f}{V_{ph}}=\frac{\sqrt{\rho}2\pi f}{\sqrt{T}}$, $V_{ph}=\sqrt{\frac{T}{\rho}}$.

הגודל המבוקש הוא $T=\left|\frac{A_T}{A_i}\right|^2$, ולכן:

$$T=\left(\frac{A_T}{A_i}\right)^2=\left(\frac{2k_1}{k_1+k_2}\right)^2=\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{\sqrt{\rho}+\sqrt{\rho'}}\right)^2$$

פתרון לשאלה 5

החישוב הוא דומה לחישוב בשאלה הקודמת, רק שעכשיו מחפשים את $R=\left|\frac{A_R}{A_i}\right|^2$:

$$R=\left(\frac{A_T}{A_i}\right)^2=\left(\frac{k_1-k_2}{k_1+k_2}\right)^2=\left(\frac{\sqrt{\rho'}-\sqrt{\rho}}{\sqrt{\rho'}+\sqrt{\rho}}\right)^2$$

גליון 12

פתרון לשאלה 1

נציב תנאי התחלה : $$\psi\left(x,t=0\right)=f\left(x\right)=\frac{1}{1+\left(\frac{x}{a}\right)^2}$$

נעזר בנוסחת דלאמברט, ונניח כי הנגזרת $g\left(x\right)=0$. נציב בנוסחא, כלומר בעצם עלינו לחשב ממוצע חשבוני של הפונקציות הבאות : $f\left(x-vt\right)$ ושל $f\left(x+vt\right)$, כלומר :

$$\psi=\frac{f\left(x-vt\right)+f\left(x+vt\right)}{2}=\frac{1}{2}\left[\frac{1}{1+\left(\frac{x-vt}{a}\right)^2}+\frac{1}{1+\left(\frac{x+vt}{a}\right)^2}\right]$$

פתרון לשאלה 2

מקדם ההעברה לתחום $x>L$ תחת ההנחה כי $\rho<\rho'$ הוא 1.

פתרון לשאלה 3

$$2\cos\left(a\right)$$

פתרון לשאלה 5

$$\frac{\lambda}{2\pi-4}$$

<u>**גליון 13**</u>

פתרון לשאלה 1

מהירות גל באופן כללי היא $V=\frac{\omega}{k}$, וזהו הגודל גם במקרה שלנו.

כיוון מהירות הגל ניצב גם לכיוון השדה החשמלי וגם לכיוון השדה המגנטי, ע"פ כלל יד ימין $\hat{k}\times\vec{B}=\vec{E}$ נקבל:

$$\vec{V}=\frac{\omega}{k}\vec{x}$$

פתרון לשאלה 2

באופן כללי האנרגיה ליח' שטח ניתנת ע"י הנוסחא $U=\frac{c}{8\pi}\left(E^2+B^2\right)\hat{k}$.

אצלנו $\hat{k}=\vec{E}\times\vec{B}=\vec{y}\times\vec{z}=\vec{x}$ כלומר כיוון הגל <u>מקביל</u> למשטח הנתון (הנמצא במישור XZ),
ולכן כמות האנרגיה העוברת <u>דרך</u> המשטח היא אפס.

פתרון לשאלה 3

נתון כי הגל נע בריק ולכן $V=c$. נציב את הנתון בנוסחא $f=\frac{V}{\lambda}$ ונקבל: $f=\frac{c}{\lambda}=\frac{3\cdot10^{10}}{1\cdot10^{10}}=3$.

(נשים לב כי למרות שכתוב בשאלה כי הגודל הוא v , מתכוונים <u>לתדירות</u> ולכן הכוונה היא ל- f).

פתרון לשאלה 4

הגל הנתון איננו גל א"מ.
ראשית נתייחס לכיוון הגל בלבד. נדרוש קיום הקשר: $\hat{k}=\vec{E}\times\vec{B}=\left(\vec{x}\times\vec{y}\right)=\vec{z}$ כלומר צריך להתקבל וקטור k בכוון z בלבד. קל לראות כי בנתוני השאלה לווקטור k יש רכיבים בכיוונים נוספים (בתוך חזקת ה- e) ולכן הצמד אינו מתאר גל א"מ.

פתרון לשאלה 5

הגל הנתון הוא גל א"מ בעל קיטוב מעגלי עם כיוון התקדמות $\frac{1}{\sqrt{2}}\left(1,1,0\right)$.

גליון 14

פתרון לשאלה 1

המרחק Δx שעבורו יופיע מקסימום ההתאבכות מסדר אפס הוא $-\frac{(l_2 - l_1)L}{d}$

פתרון לשאלה 2

המרחק Δy בין 2 מינימום התאבכות עוקבים הוא $\frac{L\lambda}{d}$

פתרון לשאלה 3

לאחר עיכוב הפאזה, מקסימום ההתאבכות מסדר אפס יופיע ב- $\frac{L\phi\lambda}{2\pi d} - \frac{(l_2 - l_1)L}{d}$

פתרון לשאלה 4

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{2}$$

פתרון לשאלה 5

$$C_{eff} = C_0 \left(\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_3}} + \frac{\varepsilon_1}{2} \right)$$