



פתרון הבחינה

בפיזיקה

קיץ תשפ"ה, 2025

שאלון חשמל ומגנטיות 36371

מוגש ע"י צוות מורי הפיזיקה של "יואל גבע"

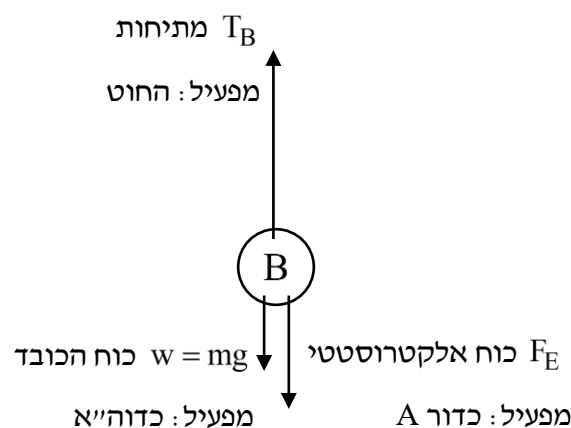
הערות:

1. התשובות המוצגות כאן הן בגדר הצעה לפתרון השאלון.
 2. תיתכנה תשובות נוספות, שאינן מוזכרות כאן, לחלק מהשאלות.
- הנבחנים נדרשו לענות על שלוש מהשאלות 1-6



שאלה 1

א(1).



א(2).

לפי חוק קולון $|F_E| = \frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$ ולפי החוק הראשון של ניוטון (כדור B במנוחה) מתקבל הקשר

$$T_B = \frac{k \cdot q^2}{r^2} + mg$$

ב.

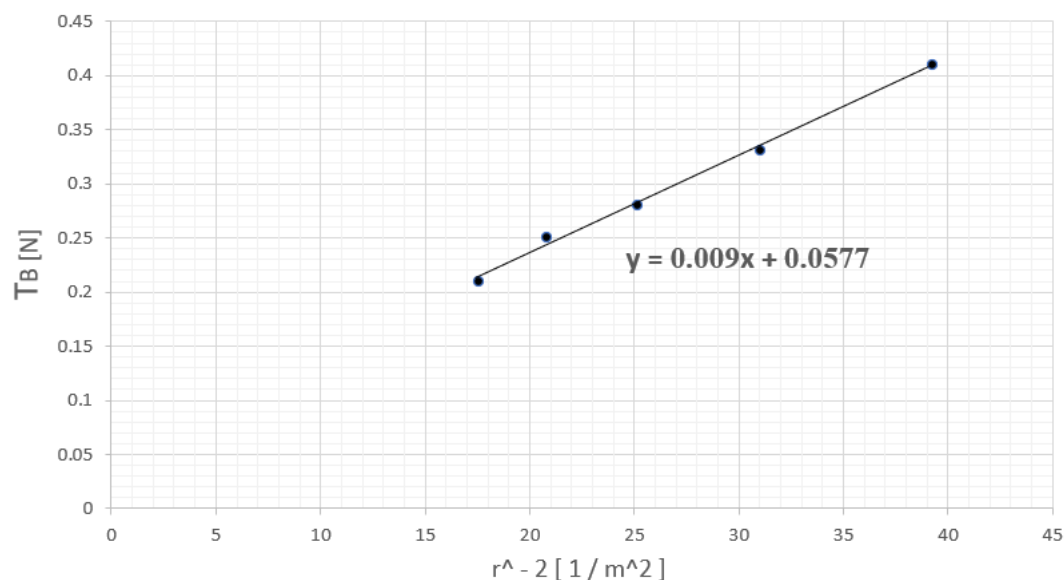
המשתנה החדש הוא $\frac{1}{r^2}$ והיחידות שלו הן $\left[\frac{1}{m^2} \right]$

עבור משתנה זה מתקבל קשר ליניארי $T_B = k \cdot q^2 \cdot \left(\frac{1}{r^2} \right) + mg$

T_B (N)	0.41	0.33	0.28	0.25	0.24
$\frac{1}{r^2} \left(\frac{1}{m^2} \right)$	39.0	30.9	25.0	20.7	17.4



ג(1) + ג(2)



ד.

לפי הקשר הליניארי $T_B = k \cdot q^2 \cdot \left(\frac{1}{r^2}\right) + mg$ שיפוע הגרף הוא $S = k \cdot q^2$.

נציב: $S = 0.009$, $k = 9 \cdot 10^9$ (הערכים ביחידות SI המתאימות). מתקבלת המשוואה $0.009 = 9 \cdot 10^9 \cdot q^2$

ולאחר חישוב: $q = 1 \times 10^{-6} C = 1 \mu C$

לפי אותו קשר ליניארי, ערך נקודת החיתוך עם הציר האנכי הוא mg

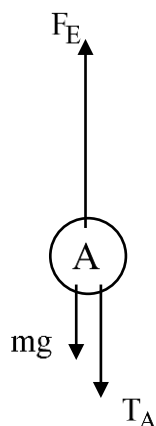
נציב $mg = 0.0577$, $g = 10 m/s^2$ ונחשב, ונקבל $m = 0.00577 kg = 5.77 gr$



ה.

חוט B נקרע ראשון.

בעוד $T_B = F_E + mg$ הוא כוח המתיחות בחוט B, כוח המתיחות בחוט A הוא $T_A = F_E - mg$ כפי שניתן ללמוד מתרשים הכוחות הבא:



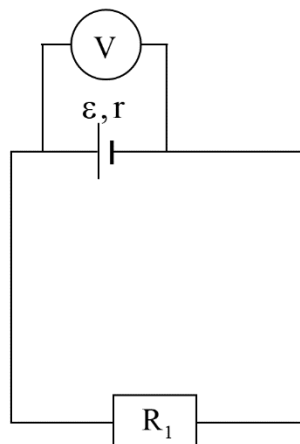
$$F_E = T_A + mg$$

$$T_A = F_E - mg$$

מכאן ניתן להסיק שכוח המתיחות שפועל על הכדור A יהיה תמיד קטן יותר מכוח המתיחות שפועל על הכדור B וככל שעוצמת הכוח האלקטרוסטטי תגדל גודלן של שתי המתיחויות תגדל במידה שווה והחוט של B ייקרע ראשון, כי המתיחות בו, בכל רגע, גדולה יותר.



שאלה 2



א. (1)

א. (2)

נשתמש בנוסחה למתח הדקים, נציב נתונים ונחשב את הזרם במעגל הטורי הפשוט:

$$V = \varepsilon - rI \Rightarrow 16 = 20 - 2I \Rightarrow \boxed{I = 2A}$$

כעת נשתמש בחוק אוהם עבור הנגד R_1 :

$$V = R_1 I \Rightarrow R_1 = \frac{V}{I} = \frac{16}{2} = 8\Omega$$

לסיכום: $\boxed{R_1 = 8\Omega}$

ב.

תשובה: V_1 קטן מ- $\frac{V_2}{2}$.

הסבר:

הנגד המשתנה מחובר בחיבור פוטנציומטרי.

מהנתון שהמגע הנייד P הוצב ביוק באמצע הנגד המשתנה, נסיק: $R_{MP} = R_{PN}$.

מכיוון ש- R_1 מחובר במקביל לנגד R_{MP} , ההתנגדות השקולה שלהם קטנה מההתנגדות של הנגד R_{MP} .

הזרם הכולל זהה משני צידי הנקודה P, לפי חוק אוהם המתח V_1 קטן מהמתח V_{PN} .

סכום שני המתחים הללו הוא V_2 ולכן $V_1 < \frac{V_2}{2}$.



ג.

נחשב את הזרם דרך המקור לפי הנתון על מתח ההדקים ונוסחה לחישוב מתח הדקים :

$$v = \varepsilon - rI \Rightarrow 15 = 20 - 2I \Rightarrow I = 2.5A$$

הביטוי להתנגדות השקולה של R_1 ו- R_{MP} המחוברים במקביל זה לזה : $\frac{R_1 R_{MP}}{R_1 + R_{MP}} \xrightarrow{R_1=8\Omega} \frac{8R_{MP}}{8 + R_{MP}}$

לפי חוק אוהם : $V_1 = \frac{8R_{MP}}{8 + R_{MP}} \cdot I$. נציב נתונים ומסקנות מחישובים קודמים :

$$12 = \frac{8R_{MP}}{8 + R_{MP}} \cdot 2.5 \Rightarrow 96 + 12R_{MP} = 20R_{MP} \Rightarrow \boxed{R_{MP} = 12\Omega}$$

ד.

מחיסור המתחים נקבל : $V_{PN} = V_2 - V_1 = 15 - 12 = 3V$.

נשתמש בחוק אוהם ונציב את ערך הזרם שחישבנו לעיל ונקבל : $V_{PN} = R_{PN} \cdot I \Rightarrow R_{PN} = \frac{V_{PN}}{I} = \frac{3}{2.5} \Rightarrow R_{PN} = 1.2\Omega$

ונחבר את ההתנגדויות, כך נקבל $\boxed{R_{MN} = 13.2\Omega}$

ה.(1)

V_1 יגדל לפי הקשר מחוק אוהם. R_{PM} גדל והזרם קבוע.

V_2 לא ישתנה, מכיוון שהזרם קבוע (ומהביטוי למתח הדקים).

ה.(2)

V_1 קבוע (אפס). כי במקרה זה מד המתח מקוצר.

V_2 יקטן. זאת מכיוון שבמקרה זה ההתנגדות השקולה קטנה, הזרם גדל ומתח ההדקים קטן.



שאלה 3

א.

$$r = \frac{18}{6} \Rightarrow \boxed{r = 3\Omega}, \boxed{\varepsilon = 18V}$$

ב.

לפי הביטוי למתח הדקים: $V = \varepsilon - rI$, נבודד את הזרם: $I = \frac{\varepsilon}{r} - \frac{V}{r}$. $Ir = \varepsilon - V$

$$P = V \cdot I = V \cdot \left(\frac{\varepsilon}{r} - \frac{V}{r} \right) = \frac{V\varepsilon}{r} - \frac{V^2}{r} \Rightarrow \boxed{P = -\frac{V^2}{r} + \frac{V\varepsilon}{r}}$$

נכפול במתח ההדקים לחישוב ההספק לפי חוק גיול:

ג.

לפי הגרף הנתון, ההספק המירבי הוא $27W$ ומתאים למתח הדקים של $9V$.

$$P = VI \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{27}{9} = 3A$$

נבודד את הזרם מחוק גיול:

$$R_{QN} = \frac{V}{I} = \frac{9}{3} \Rightarrow \boxed{R_{QN} = 3\Omega}$$

ונבודד את ההתנגדות מחוק אוהם:



ד.

היגד (1) לא נכון.

נימוק: ככל שהזרם גדול יותר, כך ההספק המתבזבז על ההתנגדות הפנימית בסוללה גדול יותר. ולכן כאשר ההתנגדות במעגל מירבית והזרם במעגל מזערי נקבל נצילות מירבית. וכאמור המצב המתואר הוא לא המצב בו הזרם הוא מזערי.

היגד (2) נכון.

נימוק: הספק מוגדר בתור קצב המרת אנרגיה $\left(P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \right)$. ולכן יחידות מידה של אנרגיה חלקי זמן, יתארו הספק.

אלקטרון וולט היא יחידת מידה של אנרגיה.

ה.

נבחר בגרף מספר 2.

נימוק: הביטוי למתח ההדקים $(V = \varepsilon - rI)$, ייראה זהה כיוון שהקבועים המאפיינים את הישר $(\varepsilon - r)$ נותרים ללא שינוי.

עבור מיקומים זהים בנגד המשתנה, נקבל זרמים שונים עקב ההתנגדות השקולה השונה, אך נקודות אלו "ישבו" על אותו הישר.



שאלה 4

א. (1)

איור a מתאר את כיוון סטיית המצפן.

א. (2)

איור c מתאר את כיוון סטיית המצפן.

נימוק:

כיווני הזרמים בשני הסלילים הפוכים. ולכן כיווני השדות שהם מייצרים הפוכים.

השדה הנוצר ע"י סליל 2 חזק יותר כיוון שרדיוסו קטן יותר ומספר הכריכות בשני הסלילים זהה.

$$B = \mu_0 \cdot \frac{Ni}{2R} \quad \text{וזאת לפי הביטוי לשדה המגנטי הנוצר ע"י סליל דק}$$

ב. (1)

נקודת חיתוך עם הציר האופקי: $\tan \theta = 0$, תתקבל עבור $\theta = 0$.

מצב זה יתקבל כאשר השדות הנוצרים ע"י שני הסלילים שווים בגודלם והפוכים בכיוונם.

$$|B_1| = |B_2|$$

$$\frac{\mu_0 \cdot N \cdot |i_1|}{2R_1} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i_2}{2R_2}$$

$$\frac{|i_1|}{i_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

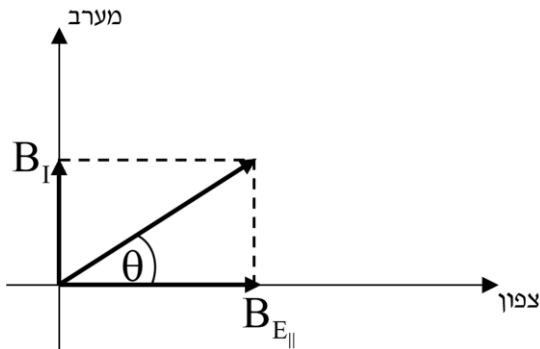
ב. (2)

נבודד את i_2 מהביטוי שהתקבל בתת הסעיף הקודם. ונציב את הערכים מהגרף הנתון:

$$i_2 = \frac{|i_1| \cdot R_2}{R_1} = \frac{0.75 \cdot 0.1}{0.15} \Rightarrow \boxed{i_2 = 0.5A}$$



ג.



נבטא את משוואת הישר הקושר בין $\tan \theta$ ל- i_1 :

$$B_I = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 N}{2R_1} \cdot i_1 + \frac{\mu_0 N i_2}{2R_2}$$

לפי הגדרת הטנגנס : $\tan \theta = \frac{B_I}{B_{E||}}$. נציב את הביטוי לעיל ונקבל :

$$\tan \theta = \frac{\mu_0 N}{2R_1 B_{E||}} \cdot i_1 + \frac{\mu_0 N i_2}{2R_2 B_{E||}}$$

נזהה קשר לינארי בו שיפוע הישר הוא המקדם של i_1 : $\text{Slope} = \frac{\mu_0 N}{2R_1 B_{E||}}$

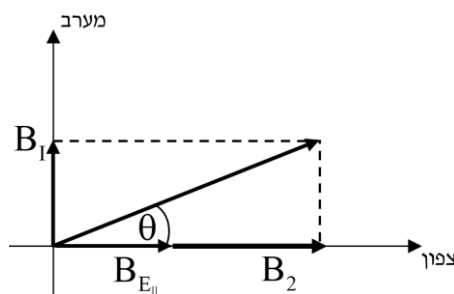
נחשב את שיפוע הגרף, נציב בביטוי ונבודד את $B_{E||}$:

$$\text{Slope} = \frac{\Delta \tan \theta}{\Delta i_1} = \frac{0.7 - 0}{-0.25 - (-0.75)} = 1.4 [A^{-1}]$$

$$B_{E||} = \frac{\mu_0 N}{2R_1 \text{Slope}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2 \cdot 0.15 \cdot 1.4} = 2.99 \cdot 10^{-5} \approx 3 \cdot 10^{-5} T$$

$$B_{E||} = 29.9 \mu T$$

ד.



ה.

נחשב את גודלו של B_2 הנוצר ע"י i_2 :

$$B_2 = \frac{\mu_0 N i_2}{2R_2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.1} = 3.14 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

נבטא מחדש את טנגנס זווית הסטייה לפי האיור בסעיף ד' :

$$\tan \theta = \frac{B_1}{B_2 + B_{E_{\parallel}}}$$

$$B_1 = (B_2 + B_{E_{\parallel}}) \tan \theta$$

נבודד את i_1 מתוך B_1 :

$$\frac{\mu_0 N i_1}{2R_1} = (B_2 + B_{E_{\parallel}}) \tan \theta$$

$$i_1 = \frac{2R_1 \cdot (B_2 + B_{E_{\parallel}}) \tan \theta}{\mu_0 N}$$

$$i_1 = \frac{2 \times 0.15 \times (3.14 + 3) \cdot 10^{-5} \times 1.4}{4\pi \cdot 10^{-7} \times 10}$$

$$\boxed{i_1 = 2.05 \text{ A}}$$



שאלה 5

א.(1)

נמצא את עוצמת השדה האחיד בין לוחות הקבל: $|E| = \left| \frac{\Delta V}{\Delta x} \right| = \frac{88}{6 \cdot 10^{-3}} = \frac{44000}{3} \frac{V}{m}$

נמצא את המתח בין לוחות הקבל: $E = \frac{|V|}{d}$

$$|V| = E \cdot d = \frac{44000}{3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 220V$$

לפי הנייל והגדרת הקיבול: $C_1 = \left| \frac{Q}{V} \right| = \frac{1.3 \cdot 10^{-9}}{220}$

$$C_1 = 5.91 \cdot 10^{-12} F$$

א.(2)

לפי הנוסחה לקיבול של קבל לוחות, נבודד את הביטוי לשטח הלוח:

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \Rightarrow A = \frac{C_1 d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} = \frac{\frac{1.3 \cdot 10^{-9}}{220} \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 1}$$

$$A = 0.01 m^2 = 100 c.m.^2$$

ב.

משימור אנרגיה, וכך שהשדה הא.ס. הינו שדה משמר: $\Delta E_k = -\Delta U$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = qV \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3.2 \cdot 10^{-19} \cdot 220}{6.64 \cdot 10^{-27}}}$$

המהירות המינימלית שבעבורה יגיע החלקיק ללוח העליון: $v_0 = 145.6 \cdot 10^3 \frac{m}{s}$

ג.(1)

המהירות המינימלית לא תשתנה.

נימוק: כאשר הקבל מחובר למקור המתח, המתח בין הלוחות נותר קבוע. ולכן, לפי הביטוי שפיתחנו בסעיף ב', המהירות לא תשתנה.



ג. (2)

המהירות המינימלית תקטן.

נימוק:

כאשר המקור מנותק, המטען על הלוחות נשאר קבוע. ולכן השדה השורר בין הלוחות נותר קבוע. ומכאן, הקטנת המרחק, תקטין את המתח בין הלוחות. ולפי הביטוי מסעיף ב' המהירות המינימלית תקטן.

ד.

באופן החיבור (הטורי) המתואר בתרשים 2.א.:

לפי הנתונים ונוסחה לקיבול של קבל לוחות, הקיבול C_2 שווה למחצית מהקיבול של C_1 .
בחיבור טורי של קבלים, המטען על הקבלים זהה וסכום המתקים שווה למתח המקור.

$$C_{eq} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 \cdot \frac{1}{2}C_1}{C_1 + \frac{1}{2}C_1} = \frac{1}{3}C_1$$

לפי נוסחה לחיבור טורי של קבלים הקיבול השקול:

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow Q = CV \Rightarrow Q = \frac{1}{3}C_1 V = \frac{1}{3} \cdot \frac{1.3 \cdot 10^{-9}}{220} \cdot 220$$

$$Q = 0.43 \cdot 10^{-9} C$$

באופן החיבור (הטורי) המתואר בתרשים 2.ב.:

המתח זהה למתח שחישבנו במצב המתואר בתחילת השאלה, ולכן מטען הקבל זהה למטענו בתחילת השאלה.

$$Q = 1.3 \cdot 10^{-9} C$$

ה.

גודל המטען Q על הקבל C_1 לא השתנה.

כיוון בכדי שתהיה זרימת מטענים דרוש הפרש פוטנציאלים.

ומכיוון שהקבלים חוברים במקביל לאותו המתח, הפרש הפוטנציאלים על כל אחד מהם נותר זהה.



שאלה 6

א.

הטענה אינה נכונה.

השדה המגנטי העובר דרך הטבעת המוליכה מכיל את השדה המגנטי הנוצר בסילונית.

השדה המגנטי הנוצר בסילונית משתנה ברציפות בזמן, כך שיש שינוי בזמן של השטף המגנטי העובר דרך הטבעת המוליכה.

לפי חוק פארדיי, כאשר יש שינוי בזמן של השטף המגנטי במרחב נוצר כא"מ מושרה וכתוצאה מכך גם זרם מושרה בטבעת.

הזרם המושרה בטבעת יצור הספק חשמלי בנורה והיא תאיר.

ב.

גרף 4.

גרף הזרם I_1 הוא גרף שצורתו $\sin(\omega \cdot t)$.

השדה המגנטי בסילונית הוא $B_1 = \mu_0 \frac{N}{L} \cdot I_1$ והשטף המגנטי בסילונית הוא $\phi_B = B_1 \cdot \pi r^2$.

שניהם פרופורציוניים לזרם I_1 ולכן משוואתם תהיה פרופורציונית ל- $\sin(\omega \cdot t)$.

לפי חוק פארדיי-לנץ $\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt}$ הכא"מ המושרה בטבעת המוליכה יהיה פרופורציוני לנגזרת של $\sin(\omega \cdot t)$

הנגזרת היא $-\omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$

הזרם בטבעת המוליכה פרופורציוני לכא"מ המושרה ולכן הגרף המתאר אותו הוא גרף שצורתו $-\cos(\omega \cdot t)$ וזהו גרף 4.

נוסיף הסבר נוסף:

בזמן $t = 0$ הזרם I_1 מתחזק לכיוון החיובי ושיפועו חיובי ומקסימאלי.

לפי חוק פארדיי, גודל הכא"מ המושרה פרופורציוני לקצב השינוי של השטף המגנטי, לכן בזמן $t = 0$ גודלו של הכא"מ יהיה מקסימאלי, מה שמתאפשר רק בגרפים 3 ו-4.

מגמת הזרם I_2 תהיה מנוגדת למגמת הזרם I_1 ולכן נותרה האפשרות של גרף 4 בלבד.



ג.

נפתח את הביטוי עבור $\varepsilon_{2,\max}$

$$I_1 = I_0 \sin(\omega \cdot t)$$

$$B_1 = \mu_0 \frac{N}{L} \cdot I_1 = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I_0}{L} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\phi_B = B_1 \cdot \pi r^2 = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot \pi r^2 \cdot I_0}{L} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} = -\frac{\mu_0 \cdot N \cdot \pi r^2 \cdot I_0}{L} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

הערך המקסימלי של $\cos(\omega \cdot t)$ הוא 1 ומכאן נובע ערכו המקסימלי של הכא"מ המושרה:

$$\varepsilon_{2,\max} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot \pi r^2 \cdot I_0 \cdot \omega}{L}$$

ד.

נתונים: $\omega = 314 \text{ s}^{-1}$, $I_0 = 2.42 \text{ A}$, $r = 10 \text{ cm}$, $\frac{N}{L} = 4000 \text{ m}^{-1}$, $R = 12 \text{ cm}$, $V_{\max} = 3 \text{ V}$

נחשב את $\varepsilon_{2,\max}$ המתקבל עבור הערכים הנתונים. $\varepsilon_{2,\max} = 0.12 \text{ V}$

אנו רוצים להגדיל את הכא"מ המושרה ל- 3 V ולכן צריך להגדיל אותו פי 25, לפי החישוב $\frac{3}{0.12} = 25$.

לפי חוק פאראדיי-לנץ $\varepsilon = -N \cdot \frac{d\phi_B}{dt}$ מספר הכריכות הרצוי הוא $N = 25$. יש להוסיף 25 כריכות.

ה.

במצב המתואר בהצעה השנייה המתח אמנם יגדל, אך לא יגיע ל- 3 V .

אם נציב במשוואה $\varepsilon_{2,\max} = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot \pi r^2 \cdot I_0 \cdot \omega}{L}$ את רדיוס הטבעת $r = R = 0.12 \text{ m}$ נקבל $\varepsilon_{2,\max} = 0.144 \text{ V}$.

השטף המגנטי העובר דרך הטבעת המוליכה יעבור דרך שטח הטבעת בלבד והגדלת הרדיוס מעבר לרדיוס הטבעת לא תוסיף לעוצמת השטף המגנטי העובר דרך הטבעת.