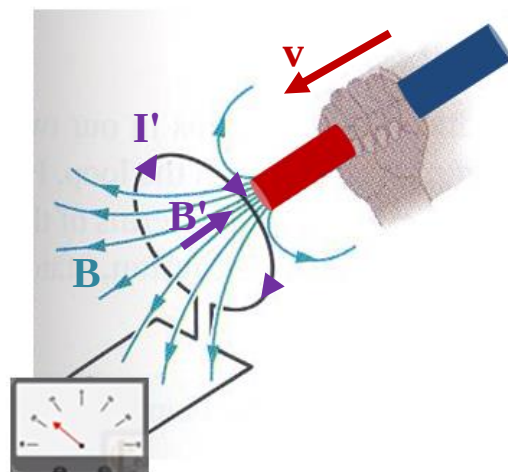


מגנטיות

שטף מגנטי

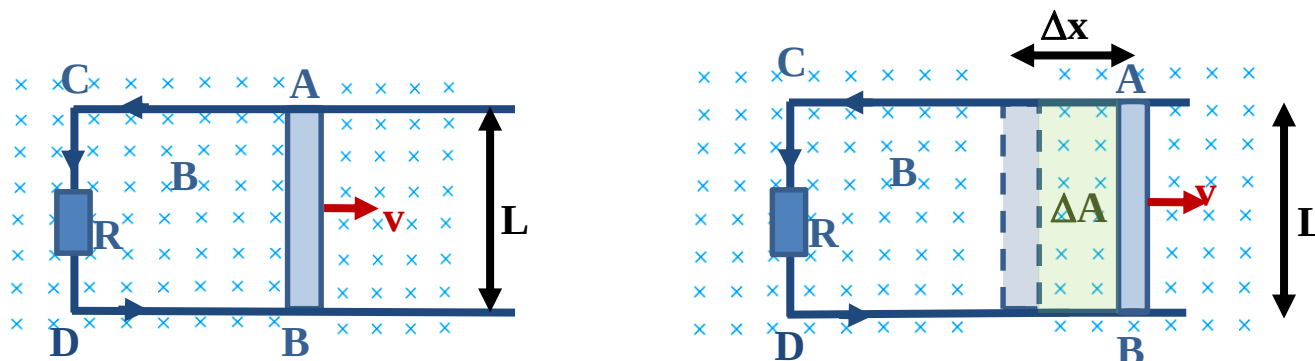


◀ הגדרת שטף מגנטי

◀ חוק פרדיי

◀ חוק לנץ

עד כה תיארנו את תהליך יצירת הכא"מ המושרה במקרה מסוים, במעגל בו מוט מוליך שאורכו L נע ימינה במהירות קבועה v בתוך שדה מגנטי אחיד B .
הצגנו גם מקרים אחרים, בהם נוצר כא"מ מושרה ללא תנועה, למשל עקב שינוי עוצמת השדה המגנטי בלבד. ננצל את המקרה המסוים של תנועת מוט מוליך בשדה מגנטי כדי לפתח את החוק הכללי- חוק ההשראה של פרדיי, אחד החוקים החשובים בפיזיקה.



כאשר המוט מועתק ימינה בשיעור Δx , יגדל שטח הכריכה ABCD בשיעור: $\Delta A = L \cdot \Delta x$.
כתוצאה מכך, תגדל המכפלה של השדה המגנטי בשטח שהוא עובר דרכו.
מכפלת זו, של השדה המגנטי בשטח שהוא עובר דרכו ובניצב לו, מוגדרת כשטף מגנטי.
גודל זה מסומן ב- ϕ , כך ש:

$$\phi = B_{\perp} \cdot A$$

שינוי השטף $\Delta\phi$, עקב תנועת המוט AB בשיעור Δx , יהיה (עבור שדה מגנטי קבוע במרחב ובזמן):

$$\Delta\phi = B \cdot \Delta A = B \cdot L \cdot \Delta x$$

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = B \cdot L \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

במשך הזמן Δt , שבו עובר המוט את המרחק Δx , מתרחש שינוי בשטף. **קצב השינוי בשטף** הוא (שוב, עבור שדה מגנטי קבוע):

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = v \cdot B \cdot L$$

הגודל $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ שווה למהירות המוט v , מכאן:

ביטוי זה שווה לביטוי שקיבלנו, כאשר חישבנו את הכא"מ המושרה הנוצר עקב תנועת המוט. מכאן:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

מסקנה:

גודלו של הכא"מ המושרה במעגל חשמלי סגור שווה לקצב השינוי בשטף המגנטי דרכו.

חוק ניסיוני זה נקרא "חוק פרדיי"

את כיוונו של הכא"מ המושרה נלמד לקבוע בהמשך.

האם משוואה זו היא מקרה פרטי בלבד או שהיא תקפה לכל המצבים שראינו קודם?
נבחן זאת עבור מספר מקרים (בהם עסקנו קודם):

מקרה 1:

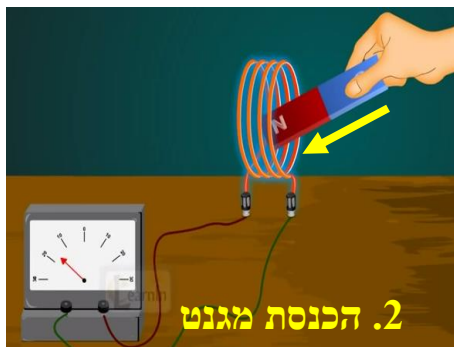
כאשר המגנט והסליל במנוחה: אין שינוי בשטף דרך הכריכה, לכן לא נוצר כא"מ מושרה ואין זרם מושרה.

מקרה 2:

כאשר המגנט נע לעבר הסליל: יותר קווי שדה חודרים דרך השטח הכלוא ע"י הסליל, כלומר השטף גדל ויתקבל כא"מ מושרה, שיגרום לזרם מושרה בכיוון אחד.

מקרה 3:

כאשר המגנט מתרחק מהכריכה: פחות קווי שדה חודרים דרך השטח הכלוא ע"י הסליל, כלומר השטף קטן, ושוב יתקבל כא"מ מושרה שיגרום לזרם מושרה בכיוון הפוך למקרה הקודם.



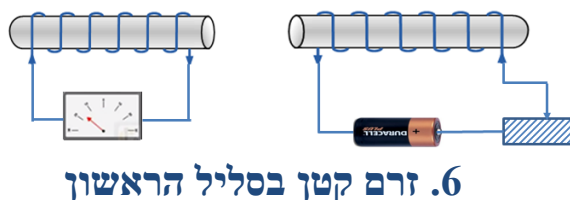
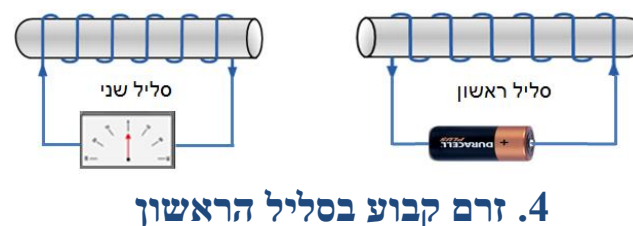
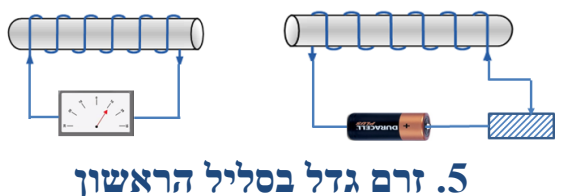
מסקנה: כא"מ מושרה מתקבל במעגל חשמלי נתון בכל פעם שיש שינוי בשטף במעגל זה.

ננתח מקרים נוספים בהם צפינו, אלא שהפעם השינוי בשטף המגנטי מתבצע **ללא תנועה כלשהי**.

מקרה 4: כאשר בסליל הראשון הזרם קבוע: אין שינוי בשטף המגנטי דרך הסליל השני, לא נוצר כא"מ מושרה ואין זרם.

מקרה 5: כאשר מגדילים את עצמת הזרם בסליל הראשון: גדל השטף דרך הסליל השני, נוצר כא"מ מושרה הגורם לזרם מושרה.

מקרה 6: כאשר מקטינים את עצמת הזרם בסליל הראשון: קטן השטף דרך הסליל השני, נוצר כא"מ מושרה הגורם לזרם מושרה שכיוונו הפוך לזה שבמקרה הקודם.



מסקנה: כא"מ מושרה מתקבל בכל פעם שיש שינוי בשטף המגנטי במעגל חשמלי.

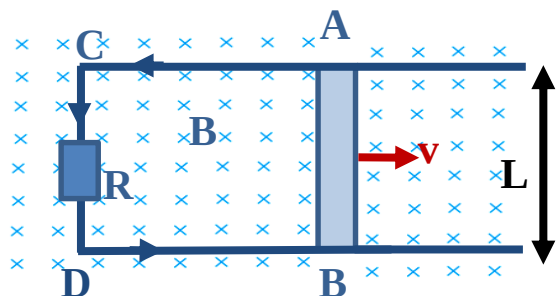
אם כן, חוק ההשראה של פרדיי הוא בעל משמעות כללית ואינו מוגבל למקרה מסוים.

▶ כא"מ מושרה נוצר כאשר יש שינוי בשטף המגנטי.

▶ הכרנו שתי דרכים בהן ניתן לגרום לשינוי בשטף המגנטי:

1. בשל תנועתו של מוליך, בהיותו חלק ממעגל חשמלי סגור.

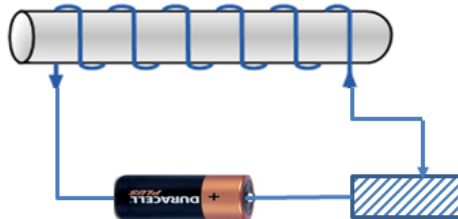
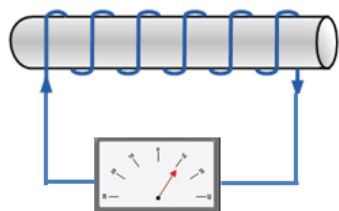
במקרה זה ניתן לחשב את הכא"מ המושרה לפי הנוסחאות:



$$\varepsilon = v \cdot B \cdot L$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

2. שינוי בגודל השטף במעגל קבוע ניח. במקרה זה ניתן לחשב את הכא"מ המושרה בעזרת הנוסחה:



$$\varepsilon = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

▶ אפשר, כמובן, גם לשלב בין שתי הדרכים: גם תנועה וגם שינוי שטף.

▶ כאשר ישנן N כריכות המחוברות בטור, שהשטף המגנטי משתנה בכולן באותו הקצב, אזי בכל אחת מהן

מושרה כא"מ, כך שהכא"מ הכללי הוא:

$$\varepsilon = N \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

ראינו שבעקבות שינוי בשטף נוצר כא"מ מושרה שיוצר זרם מושרה.

כידוע, כל זרם יוצר סביבו שדה מגנטי. לכן הזרם המושרה יוצר מסביבו שדה מגנטי מושרה.

שדה מגנטי זה **מתווסף** לשדה המגנטי החיצוני, שהשינוי שלו יצר את הכא"מ המושרה.



חוק פרדיי מאפשר לנו למצוא את גודלו של הכא"מ המושרה ומידיעת ההתנגדות ניתן למצוא גם את גודלו של

הזרם המושרה. אך מהו כיוונו של הזרם המושרה הנוצר? לשם כך בא לעזרתנו **חוק לנץ** האומר:

כיוון הזרם המושרה הוא כזה, שהשדה המגנטי הנוצר על ידו

מנוגד לשינוי בשטף המגנטי שיצר אותו.

בעזרת חוק לנץ ניתן לקבוע את הסימן במשוואה המבטאת את הקשר בין הכא"מ המושרה לבין קצב שינוי

השטף שבחוק פרדיי:

$$\mathcal{E} = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

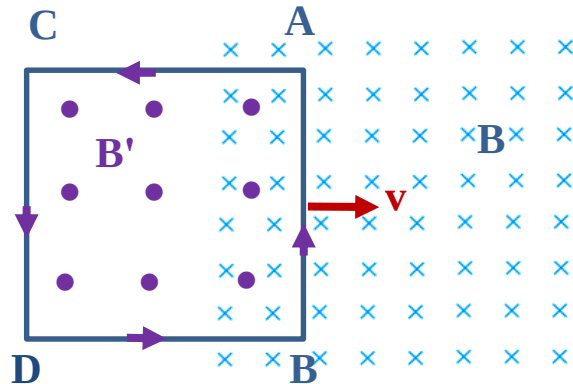
הסבר לסימן המינוס: הגדלת השטף תיצור כא"מ, שישאף להקטין את השטף.

ניתוח תנועת מסגרת בשדה מגנטי באמצעות חוק לנץ (1)

ננתח מספר מצבים, בהם ניתן לקבוע את כיוון הזרם והשדה המגנטי המושרה בעזרת חוק לנץ.

מסגרת ריבועית מוליכה נעה במהירות קבועה v , ונכנסת לאזור בו קיים שדה מגנטי חיצוני B אחיד, המאונך

למישור המסגרת.



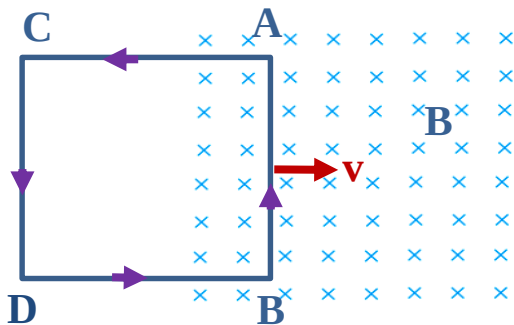
מקרה #1:

המסגרת נכנסת לתוך אזור בו קיים שדה מגנטי חיצוני B .

השטף המגנטי דרך המסגרת הולך וגדל (בכיוון פנימה), לכן על פי

חוק לנץ, הזרם המושרה בכריכה ייצור שדה מגנטי מושרה B' ,

שכיוונו החוצה, כלומר הפוך לכיוון השדה המגנטי החיצוני B .

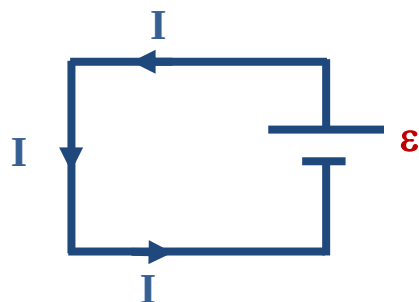


ניתן לאמת תוצאה זו באמצעות כוח לורנץ הפועל על האלקטרונים.

כאשר הצלע AB נכנסת לתוך האזור בו ישנו שדה מגנטי חיצוני B ,

על האלקטרונים פועל כוח לורנץ F_B , שעל פי כלל היד הימנית

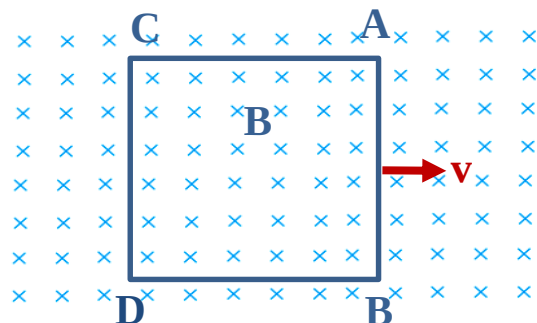
כיוונו כלפי מטה. ומתקבל המעגל השקול הבא:



כלומר, הזרם I יוצר שדה מגנטי כזה שבתוך הלולאה כיוונו החוצה.

ניתוח תנועת מסגרת בשדה מגנטי באמצעות חוק לנץ (2)

מקרה #2:

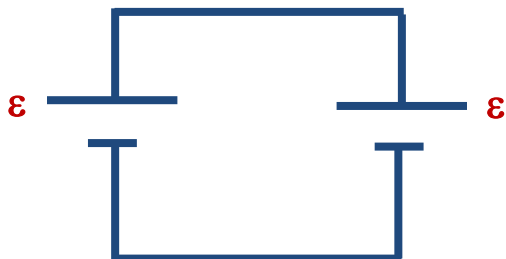


המסגרת נעה כשכולה נמצאת בתוך האזור בו ישנו שדה מגנטי חיצוני B .

השטף המגנטי דרך המסגרת אינו משתנה, לכן על פי חוק לנץ, בכריכה לא נוצר כ"מ מושרה, אין זרם מושרה ואין שדה מגנטי מושרה.

ניתן לאמת תוצאה זו באמצעות כוח לורנץ הפועל על האלקטרונים.

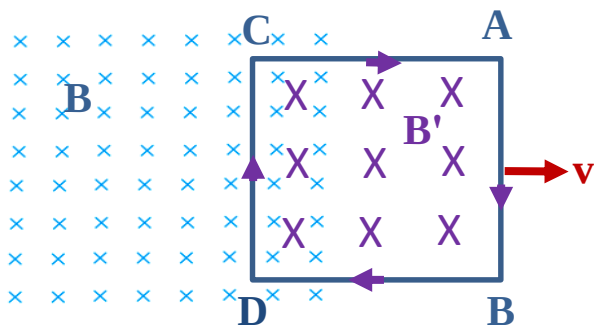
כאשר הצלעות AB ו- CD נעות בתוך האזור בו ישנו שדה מגנטי חיצוני B , על האלקטרונים פועל כוח לורנץ F_B , שעל פי כלל היד הימנית כיוונו כלפי מטה בכל אחת מהן. ומתקבל המעגל השקול הבא:



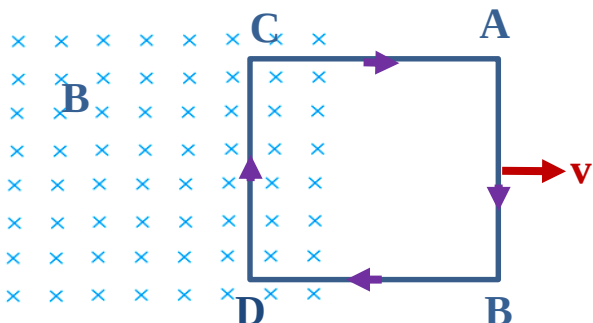
לכן לא זורם זרם במעגל.

ניתוח תנועת מסגרת בשדה מגנטי באמצעות חוק לנץ (3)

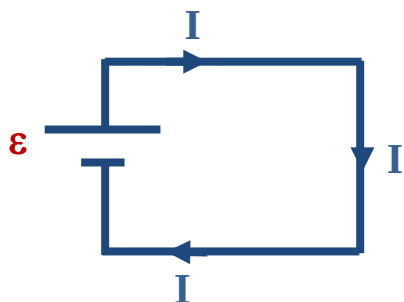
מקרה #3:



המסגרת יוצאת מתוך האזור, בו ישנו שדה מגנטי חיצוני B .
השטף המגנטי דרך המסגרת הולך וקטן, לכן על פי חוק לנץ,
הזרם המושרה בכריכה יוצר שדה מגנטי מושרה B' , שכיוונו פנימה
בכיוון השדה המגנטי החיצוני B .



ניתן לאמת תוצאה זו באמצעות כוח לורנץ הפועל על האלקטרונים.
כאשר הצלע DC יוצאת מתוך האזור בו ישנו שדה מגנטי חיצוני B ,
על האלקטרונים פועל כוח לורנץ F_B , שעל פי כלל היד הימנית
כיוונו כלפי מטה.

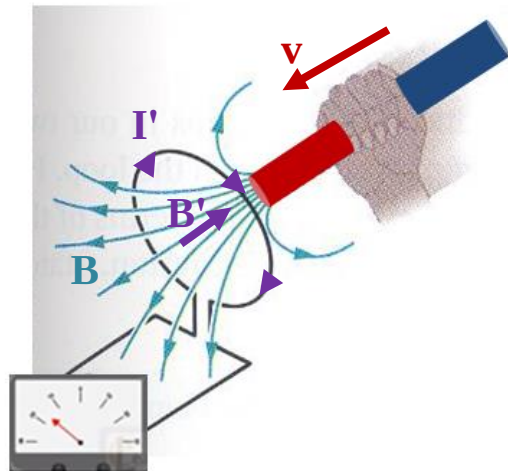


מתקבל המעגל שווה הערך הבא:

כלומר, הזרם I יוצר שדה מגנטי כזה, שבתוך הלולאה כיוונו פנימה.

קירוב והרחקת קוטב מגנטי צפוני של מגנט לכריכה מעגלית

ננתח מקרה נוסף בו ניתן לקבוע את כיוון הזרם והשדה המגנטי המושרה בעזרת חוק לנץ:

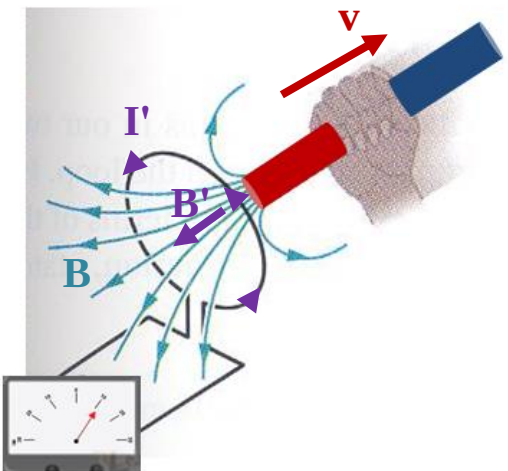


▶ כאשר מניעים את המגנט לעבר הכריכה השטף גדל.

לכן, בכריכה נוצר זרם מושרה כזה, שייצור שדה מגנטי

מושרה B' , כך שכיוונו בתוך הכריכה הפוך לכיוון השדה המגנטי

החיצוני B .



▶ כאשר מרחיקים את המגנט מהכריכה השטף קטן.

לכן, בכריכה נוצר זרם מושרה כזה שייצור בתוך הכריכה,

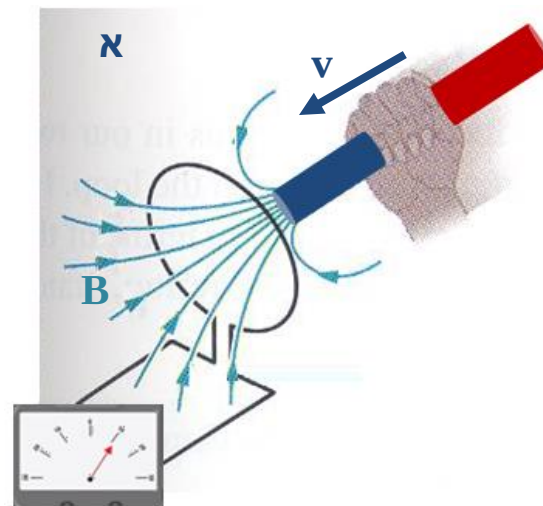
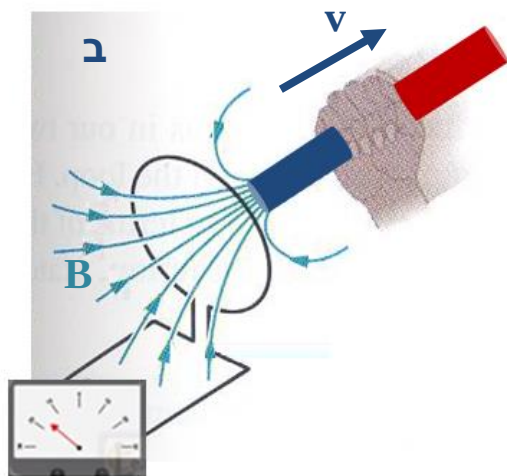
שדה מגנטי מושרה B' , בכיוון השדה החיצוני B .

תרגיל כיתה: קירוב והרחקת קוטב מגנטי דרומי לכריכה מעגלית

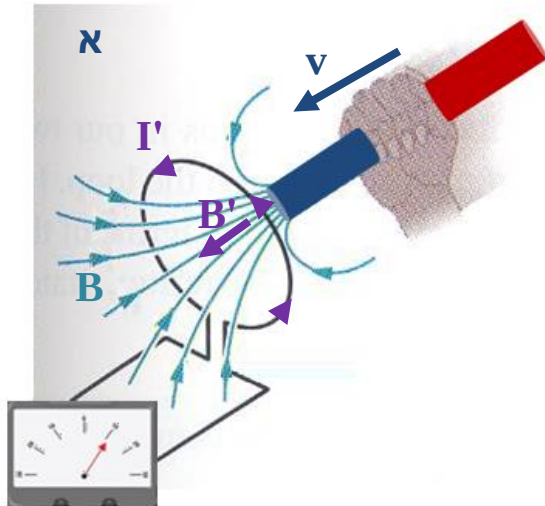
עבור כל אחד משני המצבים הבאים קבעו, בעזרת חוק לנץ, מהו כיוון הזרם והשדה המגנטי המושרה:

א. כאשר מניעים את המגנט לעבר הכריכה כמתואר בתרשים א.

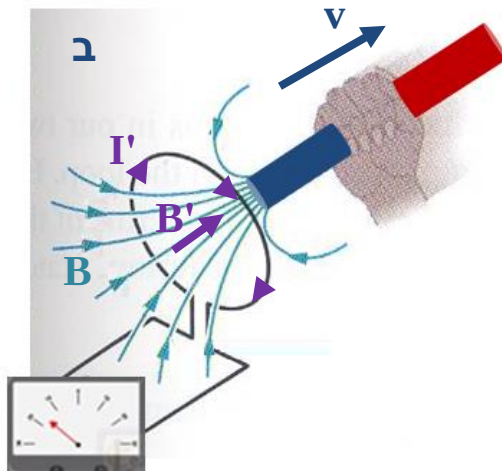
ב. כאשר מניעים את המגנט לעבר הכריכה כמתואר בתרשים ב.



פתרון תרגיל כיתה: קירוב והרחקת קוטב מגנטי דרומי לכריכה מעגלית



א. כאשר המגנט נע לעבר הכריכה עם קוטביות הפוכה, השטף גדל. לכן, בכריכה נוצר כ"מ מושרה היוצר זרם מושרה כזה שייצור שדה מגנטי מושרה B' , שכיוונו הפוך לכיוון השדה המגנטי החיצוני B . (הכיוון הפוך הפוך למקרה בו מקרבים את הקוטב הצפוני).



ב. כאשר המגנט מתרחק מהכריכה, אבל הפעם בקוטביות הפוכה, השטף קטן. לכן, בכריכה נוצר כ"מ מושרה היוצר זרם מושרה כזה שייצור שדה מגנטי מושרה B' , בכיוון השדה החיצוני B .

בכל המקרים אותם ניתחנו, התקבל שהזרם המושרה מתנגד לסיבת היווצרותו - השינוי בשטף.

כאשר השטף גדל, הזרם המושרה יוצר שדה מגנטי מושרה, שכיוונו הפוך לשדה החיצוני שיצר את השטף.

כאשר השטף קטן, הזרם המושרה יוצר שדה מגנטי מושרה בכיוון השדה החיצוני שיצר את השטף.

ההסבר מתבסס על חוק שימור האנרגיה, שאותו מקיים כמובן גם חוק לנץ:

אילו הכא"מ המושרה היה גורם לזרם מושרה בכיוון שהיה **מסייע** לסיבה שייצרה אותו, ולא היה מתנגד לה,

הרי שהזרם המושרה היה הולך וגדל עד לאינסוף ומתקיים מאליו, תוך ביצוע עבודה אינסופית, וזו סתירה

לחוק שימור האנרגיה.

מכיוון ש:

$$\mathcal{E} = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

כאשר הכא"מ המושרה $\mathcal{E}$ חיובי, זה סימן שהזרם במסגרת יוצר שדה בכיוון השדה החיצוני.

כאשר הכא"מ המושרה $\mathcal{E}$ שלילי, זה סימן שהזרם במסגרת יוצר שדה הפוך לשדה החיצוני.

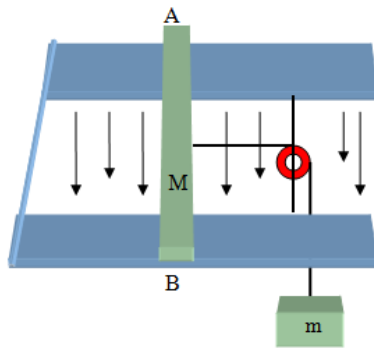
במקרים בהם קצב השינוי בשטף המגנטי במעגל אינו קבוע במהלך הזמן, אז נוסחת חוק פרדיי מקבלת את

צורתה הדיפרנציאלית:

$$\mathcal{E} = -N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

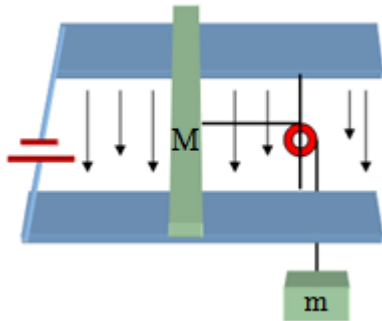
במקרים אלה מבטאת הנוסחה את הכא"מ המושרה **הרגעי**.

מוט מוליך AB שאורכו L , מסתו M והתנגדותו החשמלית R , מונח על מסילה אופקית חלקה, העשויה אף היא מחומר מוליך. בין שני חלקי המסילה מחובר תיל מוליך שהתנגדותו זניחה. המוט קשור באמצעות חוט אל גוף שמסתו m . החוט מחליק ללא חיכוך על גלגלת קטנה האחוזת בציר מבודד. כל המתקן מצוי באזור בו שורר שדה מגנטי אחיד, שעוצמתו B וכיוונו מצוין בתרשים. הנח כי המערכת משוחררת ממנוחה, והזנח את כוחות החיכוך ואת התנגדות התילים והמסילה.



- א. מהו כיוון הזרם המושרה במוט? נמק.
- ב. תאר במילים את תנועת המוט (מבחינת המהירות והתאוצה).
- ג. חשב את המהירות המרבית אליה יגיע המוט.

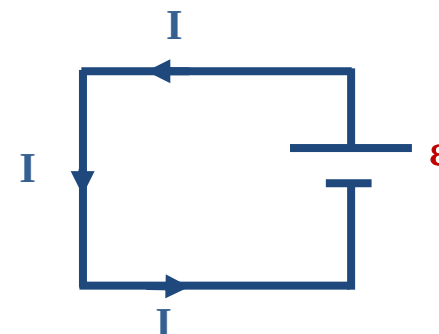
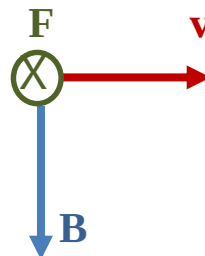
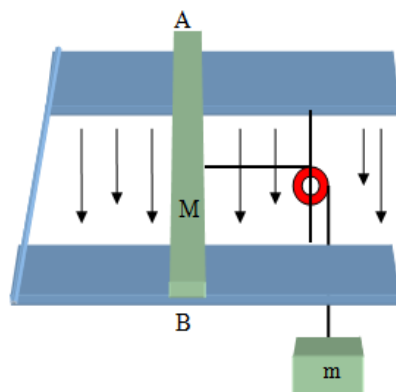
במקום התיל המוליך מחברים בקצות המסילה מקור מתח ε שהתנגדותו הפנימית זניחה. כאשר משחררים את המערכת ממנוחה מתברר שהמוט AB לא זז.



- ד. מהו הכא"מ ε של מקור המתח?
- ה. החוט המחבר את המשקולת אל המוט ניקרע (כאשר הכא"מ ε מחובר).
 1. לאיזה כיוון ינוע המוט, ומהי תאוצתו ההתחלתית?
 2. לאיזו מהירות סופית מגיע המוט, ומהו הזרם העובר דרכו בזמן שהוא נע במהירות זו?

א. פתרון על פי כוח לורנץ: מ- B ל- A .

על פי כלל יד ימין האלקטרונים ינועו לעבר B, וב- A יצטבר עודף מטען חיובי.



פתרון על פי חוק לנץ:

כאשר המוט נע ימינה השטף פנימה גדל. לכן, על פי חוק לנץ, כאשר השטף פנימה גדל הזרם המושרה

יוצר שדה מגנטי מושרה שכיוונו החוצה. מכאן שכיוון הזרם המושרה הוא מ- B ל- A .

ב. תנועה בתאוצה עד למהירות מכסימלית, ולאחר מכן תנועה קצובה.

ג. במצב בו המוט מגיע למהירותו המרבית מתקיים: $F_{\text{מושרה}} = mg$:

$$F = I \cdot L \cdot B = \frac{\varepsilon}{R} \cdot L \cdot B = \frac{vLB}{R} \cdot L \cdot B = \frac{vL^2 B^2}{R} = mg \Rightarrow v = \frac{mgR}{L^2 B^2}$$

ד. במצב בו המוט במנוחה מתקיים: $F=mg$:

$$F = I \cdot L \cdot B = \frac{\varepsilon}{R} \cdot L \cdot B = mg \Rightarrow \varepsilon = \frac{mgR}{LB}$$

ה. (1) שמאלה. הכוח ההתחלתי: $F=mg$. על פי החוק השני של ניוטון: $F=mg=ma$, לכן: $a=g$.

(2) כאשר החוט נקרע המוט יחל לנוע שמאלה, על פי כלל יד ימין נוצר כא"מ מושרה המנוגד

לכא"מ החיצוני. תהיה זרימה עד אשר הכא"מ המושרה יהיה שווה בגודלו לכא"מ החיצוני, ואז

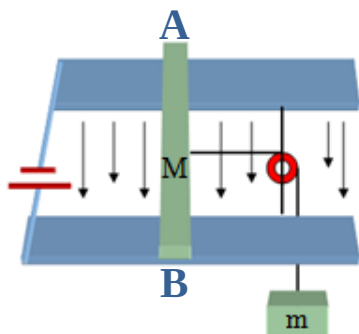
הזרימה תיפסק.

פתרון על פי חוק לנץ:

כאשר המוט נע שמאלה השטף פנימה לתוך המסגרת קטן. לכן, על פי חוק לנץ, כאשר השטף

פנימה לתוך המסגרת קטן, הזרם המושרה יוצר שדה מגנטי מושרה שכיוונו פנימה לתוך

המסגרת. מכאן, שכיוון הזרם המושרה הוא מ-A ל-B.



$$\varepsilon = \varepsilon'$$

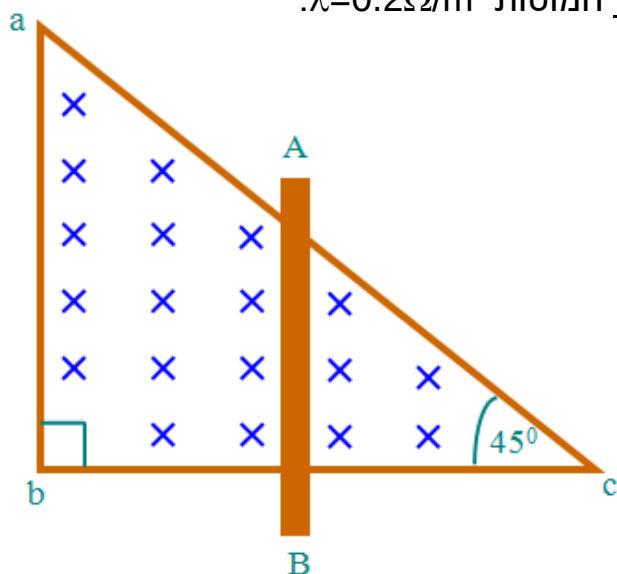
$$\frac{mgR}{LB} = vLB \Rightarrow v = \frac{mgR}{L^2 B^2}$$



מוט נחושת ארוך abc , הכפוף בצורת משולש שווה שוקיים, שזוויות הבסיס שלו 45° ואורכי הניצבים שלו $ab=bc=0.5\text{m}$, מוצב במישור אופקי. שדה מגנטי אחיד שעוצמתו $B=0.4\text{T}$ מאונך למישור המוט.

מוט נחושת ארוך AB נע על פני המוט המכופף, כך שהמוטות יוצרים בכל רגע משולש נוסף cAB . ברגע $t=0$ המוט היה במנוחה בנקודה c במקביל לצלע ab .

מהירות המוט היא קבועה וגודלה $V=0.5\text{m/sec}$. ההתנגדות ליחידת אורך של כל המוטות $\lambda=0.2\Omega/\text{m}$.



א. רשמו ביטוי לכא"מ המושרה במוט כפונקציה של הזמן וחשבו את גודלו ברגע $t=0.4\text{sec}$.

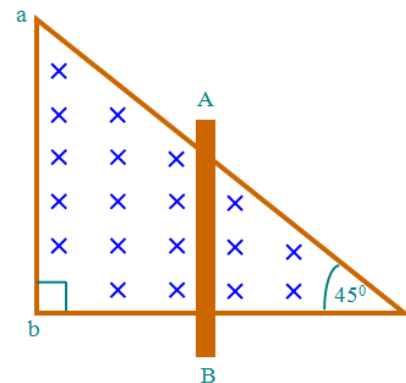
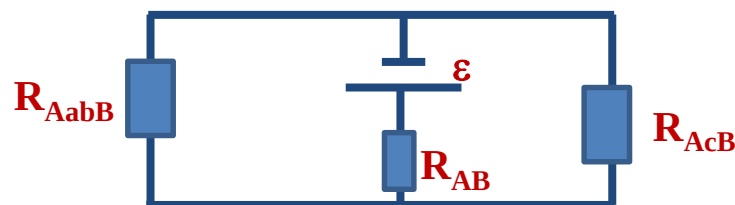
ב. 1. חשבו את עוצמת הזרם ואת כיוונו במוט AB ברגע $t=0.4\text{sec}$.

2. האם הזרם במוט קבוע בעוצמתו? נמקו.

ג. חשבו את עוצמת הזרם העובר דרך ab ודרך Bc ברגע $t=0.4\text{sec}$.

ד. הסבירו מדוע דרוש כוח חיצוני כדי לקיים את התנועה הקצובה, ציינו את כיוונו וחשבו את גודלו ברגע $t=0.4\text{sec}$.

$$\varepsilon = v \cdot B \cdot L = v \cdot B \cdot v \cdot t = v^2 \cdot B \cdot t = 0.5^2 \cdot 0.4 \cdot t = 0.1 \cdot t = 0.1 \cdot 0.4 = 0.04V \quad \text{א.}$$



ב. נחשב את אורכי הקטעים:

$$AB = Bc = v \cdot t = 0.5 \cdot 0.4 = 0.2m$$

$$Ac = \sqrt{(AB)^2 + (Bc)^2} = \sqrt{(0.2)^2 + (0.2)^2} = 0.282m$$

$$Bb = 0.5 - 0.2 = 0.3m$$

$$ab = 0.5m$$

$$aA = ac - Ac = \sqrt{(ab)^2 + (bc)^2} - Ac = \sqrt{(0.5)^2 + (0.5)^2} - 0.282 = 0.4251m$$

$$R_{AabB} = L_{AabB} \cdot \lambda = (0.4251 + 0.5 + 0.3) \cdot 0.2 = 0.245\Omega$$

ההתנגדויות במעגל:

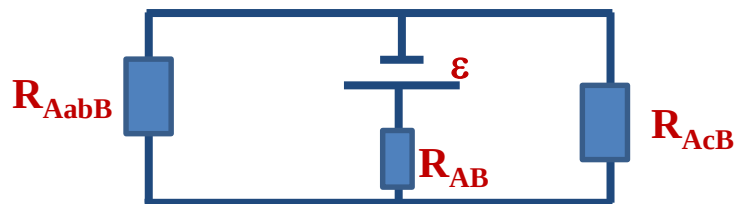
$$R_{AcB} = L_{AcB} \cdot \lambda = (0.282 + 0.2) \cdot 0.2 = 0.0964\Omega$$

$$R_{AB} = L_{AB} \cdot \lambda = 0.2 \cdot 0.2 = 0.04\Omega$$

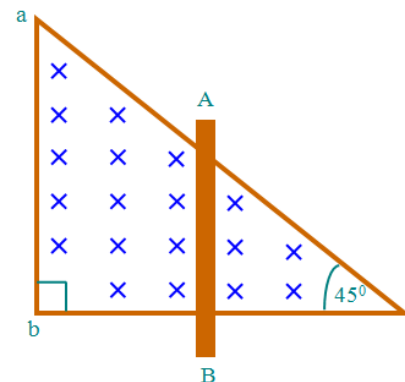
$$R_T = \frac{R_{AabB} \cdot R_{AcB}}{R_{AabB} + R_{AcB}} + R_{AB} = \frac{0.245 \cdot 0.0964}{0.245 + 0.0964} + 0.04 = 0.109\Omega$$

ההתנגדות השקולה:

המשך ב:



$$I = \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{0.04}{0.109} = 0.366A$$



ב. 2. כן, הזרם במוט קבוע בעוצמתו הוא אינו תלוי בזמן (הזמן מצטמצם).

$$V_{AB} = \varepsilon - I \cdot R_{AB} = 0.04 - 0.366 \cdot 0.04 = 0.0256V$$

ג.

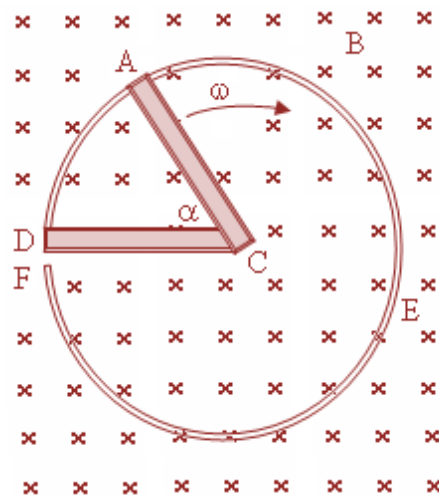
$$I_{AcB} = \frac{V_{AB}}{R_{AcB}} = \frac{0.02536}{0.0964} = 0.263A$$

$$I_{AaB} = \frac{V_{AB}}{R_{AaB}} = \frac{0.02536}{0.245} = 0.1035A$$

ד. בזמן תנועת המוט שמאלה פועל על המוט כוח מושרה בכיוון ימינה, לכן בכדי שהמוט ינוע במהירות קבועה יש להפעיל כוח חיצוני בכיוון שמאלה.

$$F = I \cdot L \cdot B = 0.366 \cdot 0.2 \cdot 0.4 = 0.02928N$$

המסילה המתוארת בציר מורכבת משני קטעים ישרים AC – CD ומקשת DEF . רדיוס הקשת הוא r . כל חלקי המסילה עשויים מתכת. מישור המסילה מאונך לשדה מגנטי אחיד B .

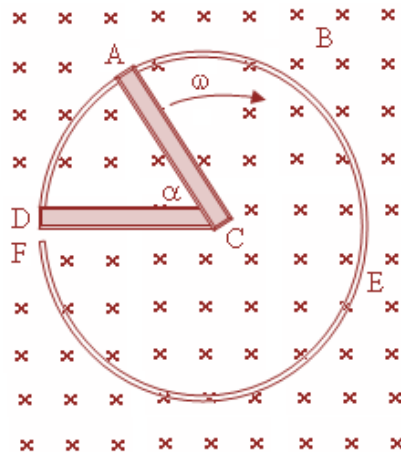


- א. הביעו באמצעות נתוני השאלה את השטף המגנטי הכלוא בתחום ACD , במצב שבו הזווית בין AC ל- CD היא α ברדיאנים. הקטע AC נייד ומסתובב בכיוון תנועת מחוגי השעון סביב ציר הקבוע במרכז C בתדירות זוויתית ω קבועה. בכל מהלך התנועה יש מגע בין הקצה A לבין המסילה DEF .
- ב. הביעו באמצעות נתוני השאלה את הכא"מ הנוצר כתוצאה מכך.
- ג. מהי מגמת הזרם החשמלי הזורם בקטע AC : מ- A ל- C או מ- C ל- A ? הסבירו.
- ד. נתון שכל חלקי המסילה עשויים מאותו תיל, שהתנגדותו ליחידת אורך היא קבועה. הניחו שהקטע AC ממשיך לנוע עד F באותה תדירות זוויתית ω . האם הזרם (בערכו המוחלט) גדל או קטן במשך תנועת הקטע? הסבירו.

א. השטף שווה ל: $\phi = B \cdot A_{ACD}$

היחס בין השטח A_{ACD} ושטח המעגל כולו, שווה ליחס בין הזווית α ובין הזווית הכללית של המעגל

π , 2, מכאן:



$$\frac{A_{ACD}}{\pi \cdot r^2} = \frac{\alpha}{2\pi} \Rightarrow A_{ACD} = \frac{\alpha \cdot r^2}{2}$$

$$\phi = B \cdot A_{ACD} = B \cdot \frac{\alpha \cdot r^2}{2}$$

ב. הכא"מ שווה בגודלו לקצב השינוי בשטף, מאחר והזווית משתנה בקצב קבוע נקבל:

$$\alpha = \omega \cdot t$$

$$\phi = B \cdot \frac{r^2}{2} \cdot \omega \cdot t$$

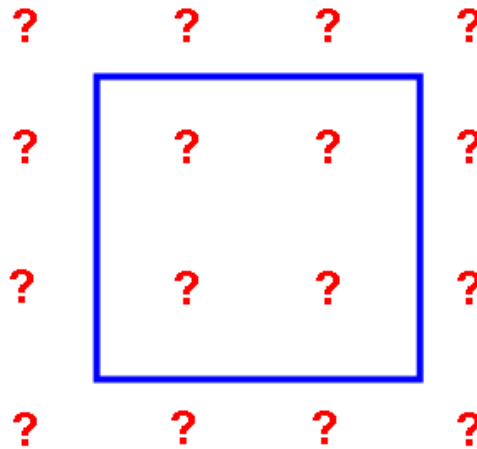
$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{\omega \cdot B \cdot r^2}{2}$$

מאחר וכל הגדלים הם קבועים גם הכא"מ קבוע.

ג. מגמת הזרם היא מ- C ל- A על פי כלל יד ימין.

ד. ככל שהקשת DA גדולה יותר ההתנגדות גדלה, ומאחר והכא"מ קבוע, הזרם קטן.

בשדה מגנטי המשתנה בזמן נימצא ריבוע העשוי מתיל מוליך, שאורכו $L=0.4(m)$ ובעל התנגדות ליחידת אורך $\lambda=2 \Omega/m$. השדה המגנטי מכוון בניצב למישור הריבוע, והוא מתחיל לדעוך בקצב אחיד של $0.8 (T/sec)$ מערך התחלתי של $4T$. כיוון השדה אינו ידוע.



- א. מה גודלו של הכא"מ המושרה שנוצר בזמן דעיכת השדה המגנטי?
- ב. מהו הזרם המושרה במסגרת במשך כל תהליך דעיכת השדה המגנטי?
- ג. אם הזרם המושרה הוא בכוון השעון, מהו כווננו של השדה המגנטי? נמקו.
- ד. במשך כל תהליך דעיכת השדה המגנטי, מהי כמות המטען, שעברה דרך חתך כלשהו של התיל?
- ה. אילו קצב דעיכת השדה המגנטי היה גדול פי 2 (יתר נתוני השאלה בלא שינוי), האם הערכים של הכא"מ המושרה, הזרם המושרה והמטען שעבר היו זהים לאלה שחישבתם בסעיפים הקודמים? נמקו.

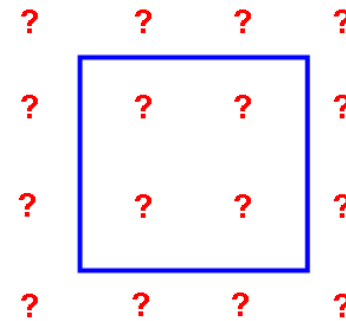
א. נמצא כעבור כמה זמן תתאפס עצמת השדה המגנטי:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{B_T - B_0}{\Delta t} = -0.8$$

$$\frac{0 - 4}{\Delta t} = -0.8 \Rightarrow \Delta t = \frac{4}{0.8} = 5 \text{ sec}$$

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \phi_2}{\Delta t} = -\left(\frac{\phi_T - \phi_0}{\Delta t}\right) = -\left(\frac{L^2 \cdot 0 - L^2 \cdot B_0}{\Delta t}\right) = -\left(\frac{0 - 0.4^2 \cdot 4}{5}\right) = 0.128 \text{ V}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_T} = \frac{\varepsilon}{4 \cdot L \cdot \lambda} = \frac{0.128}{4 \cdot 0.4 \cdot 2} = 0.04 \text{ A}$$



ב.

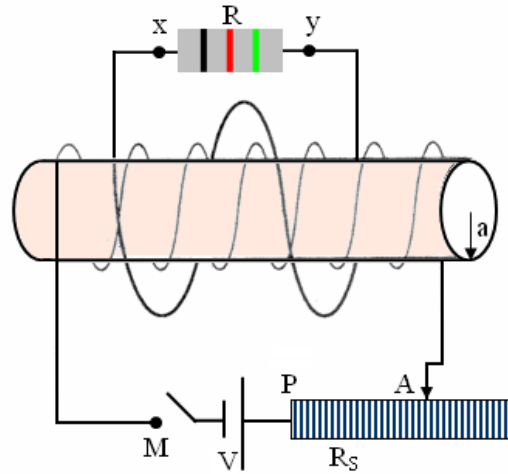
ג. השדה המושרה מגדיל את השטף פנימה, מכאן, על פי חוק לנץ כיוון השדה החיצוני הוא פנימה.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = I \cdot \Delta t = 0.04 \cdot 5 = 0.2 \text{ C}$$

ד.

ה. אם קצב הדעיכה גדל פי 2, זמן הדעיכה קטן פי 2, לכן הכא"מ המושרה והזרם המושרה יגדלו פי 2. כמות המטען שתעבור דרך חתך כלשהו של התיל לא תשתנה $\Delta q = I \cdot \Delta t$. (הזרם גדל פי 2 והזמן קצר פי 2)

נתון סליל שאורכו L , ורדיוס החתך שלו הוא a . לסליל N_1 כריכות מבודדות זו מזו. את הסליל מחברים למעגל חשמלי המכיל: מקור מתח V , נגד משתנה R_S ומפסק M . סביב הסליל הנתון נמצא סליל משני, שמספר כריכותיו N_2 , וקצותיו מחוברים לנגד R .



א. ציין את כיוון הזרם המושרה שעובר דרך הנגד R (סמן $x \leftarrow y$ או $y \leftarrow x$):

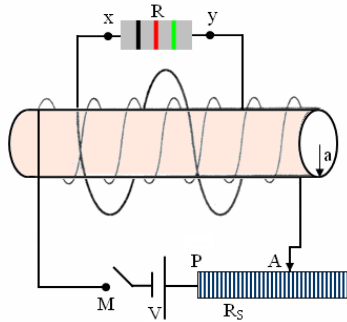
(1) תוך כדי סגירת המפסק M . הסבירו.

(2) כאשר המפסק M סגור, תוך כדי הזזת המגע הזחית A לכיוון הנקודה P . הסבירו.

ב. חשבו עד לאיזה ערך מגיע הזרם במעגל הראשוני, אם ידוע שכאשר סוגרים את המפסק M , בפרק

זמן של $t = 4 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, הערך הממוצע של הזרם המושרה בסליל N_2 הוא $I = 8.22 \text{ mA}$.

נתונים: $L = 20 \text{ cm}$, $N_1 = 500$, $N_2 = 20$, $a = 2 \text{ cm}$, $R = 12 \Omega$.



א. (1) סגירת המפסק M גורמת לעליית הזרם בסילונית; כתוצאה מכך נבנה בסילונית שטף מגנטי ימינה, הגורם לכך שבסליל המשוני ייווצר- לפי חוק לנץ - זרם בעל שטף מגנטי שמאלה, לכן הזרם בנגד הוא בכיוון מ - x ל - y.

(2) הזזת המגע ימינה תגרום להקטנת ההתנגדות, וכתוצאה מכך להגדלת הזרם

בסילונית; כתוצאה מכך גדל בסילונית השטף המגנטי ימינה, הגורם לכך שבסליל

המשני ייווצר- על פי

חוק לנץ- זרם בעל שטף שמאלה, לכן הזרם בנגד הוא בכיוון מ - x ל

$$\phi_{2T} = N_2 \cdot B \cdot A$$

y -

$$\phi_{20} = 0$$

ב. נמצא תחילה את שינוי השטף בסליל המשני:

$$\Delta \phi_2 = \phi_{2T} - \phi_{20} = N_2 \cdot B \cdot \pi \cdot r^2 - 0 = N_2 \cdot B \cdot \pi \cdot r^2$$

$$B = \frac{N_1 \cdot \mu_0 \cdot I_1}{L}$$

השדה המגנטי הוא של סילונית ארוכה לכן:

$$\Delta \phi_2 = N_2 \cdot \frac{N_1 \cdot \mu_0 \cdot I_1}{L} \cdot \pi \cdot r^2$$

נציב בביטוי לשינוי בשטף בסליל המשני:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta \phi_2}{\Delta t} = \frac{N_2 \cdot N_1 \cdot \mu_0 \cdot I_1 \cdot \pi \cdot r^2}{R \cdot \Delta t \cdot L} = \frac{500 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot 0.02^2}{12 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0.2} = 8.22 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

$$I_1 = 0.5 \text{ A}$$

◀ מכפלת השדה המגנטי בשטח שהוא עובר דרכו ובניצב לו, מוגדרת כשטף מגנטי המסומן ב- ϕ :

$$\phi = B \cdot A$$

◀ "חוק פרדיי": גודלו של הכא"מ המושרה במעגל חשמלי סגור שווה לקצב השינוי השטף בשטף

המגנטי דרכו.

$$\varepsilon = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

◀ כאשר ישנן N כריכות המחוברות בטור, שהשטף המגנטי משתנה בכולן באותו הקצב, אזי בכל אחת מהן מושרה כא"מ, כך שהכא"מ הכללי הוא:

$$\varepsilon = N \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

◀ "חוק לנץ": כיוון הזרם המושרה הוא כזה שהשדה המגנטי הנוצר על ידו מנוגד לשינוי בשטף

המגנטי שיצר אותו.

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

◀ במקרים בהם קצב השינוי בשטף המגנטי במעגל אינו קבוע במשך הזמן נוסחת חוק פרדיי מקבלת את צורתה הדיפרנציאלית:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$