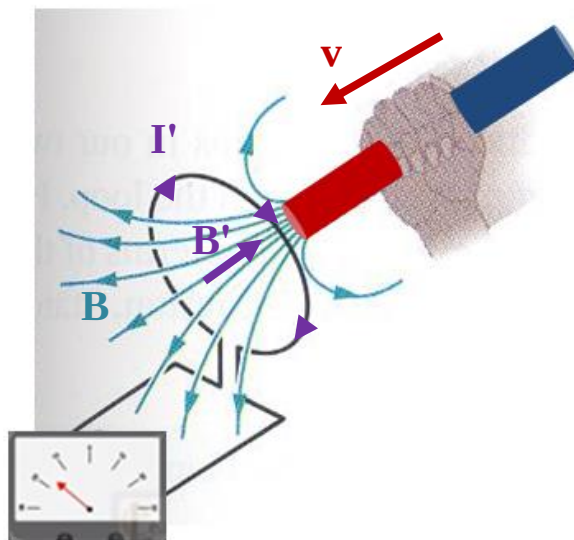


אלקטרודינמיקה

שטף מגנטי וחוק פאראדיי



◀ 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

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

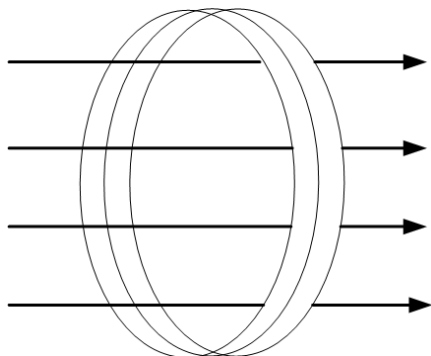
המגנטי שיצר אותו.

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

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

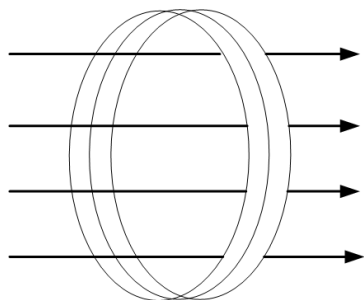
צורתה הדיפרנציאלית:

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



השדה המגנטי העובר במאונך לחתך הסליל שבתרשים משתנה מ-0 ל-18T במשך 3 שניות. נתון כי לסליל 10 כריכות, רדיוס 50 מ"מ והתנגדות 2 אום.

- א- הסבירו: מדוע יתפתח זרם בסליל?
- ב- מהו גודלו הזרם המושרה שמתפתח בסליל?
- ג- מה כיוונו של הזרם?
- ד- כמה זמן נמשכת הזרימה? מדוע?



השדה המגנטי העובר במאונך לחתך הסליל שבתרשים משתנה מ-0 ל-18T במשך 3 שניות. נתון כי לסליל 10 כריכות, רדיוס 50 מ"מ והתנגדות 2 אום.

א- הסבירו: מדוע יתפתח זרם בסליל?

◀ השינוי בגודלו של השדה המגנטי גורם לשינוי בשטף המגנטי בחלל הסליל.

◀ כתוצאה מהשינוי בשטף מתפתח כא"מ מושרה שיוצר בסליל זרם מושרה.

השדה המגנטי העובר במאונך לחתך הסליל שבתרשים משתנה מ-0 ל-18T במשך 3 שניות. נתון כי לסליל 10 כריכות, רדיוס 50 מ"מ והתנגדות 2 אום.

ב- מהו גודלו של הזרם המושרה שמתפתח בסליל?

◀ על פי חוק פאראדיי, גודלו של הכא"מ המושרה הוא:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1}$$

◀ השטף המגנטי (כשהשדה ניצב לשטח) הוא: $\Phi = BA$. במקרה של 10

כריכות השטף יהיה $\Phi = 10BA$

◀ לכן, השינוי בשטף:

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 10B_2A - 0 = 10B_2 \cdot \pi R^2$$

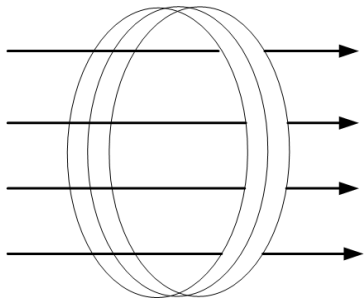
$$\Delta \Phi = 10 \cdot 18 \cdot \pi 0.05^2 = 0.141 \text{ Wb}$$

◀ גודלו של הכא"מ

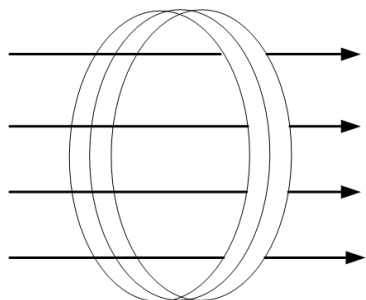
$$\varepsilon = \frac{\Phi_2 - 0}{3 - 0} = \frac{1.41}{3} = 0.47 \text{ V}$$

◀ ולכן, גודלו של הזרם המושרה הוא:

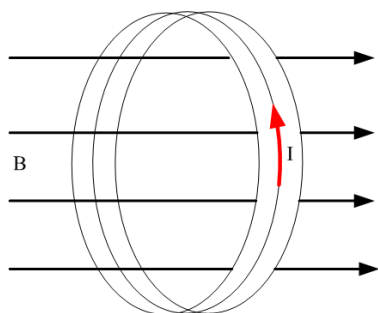
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0.47}{2} = 0.235 \text{ A}$$



ג- מה כיוונו של הזרם?



- ▶ את כיוון הזרם נקבע על פי **חוק לנץ**: כיוון הזרם המושרה הוא כך שהשדה המגנטי שהוא יוצר מתנגד לשינוי בשדה החיצוני שיצר אותו.
- ▶ על פי התרשים העליון, השטף המגנטי שבתוך הסליל הולך וגדל בכיוון ימין.
- ▶ לכן, כיוון הזרם המושרה בחלק הסליל הקרוב אלינו יהיה כלפי מעלה. באופן זה נוצר שדה מגנטי מושרה שכיוונו הפוך לכיוון השדה החיצוני (תרשים תחתון).



ד- כמה זמן נמשכת הזרימה? מדוע?

- ◀ הואיל והשינוי בשטף נמשך 3 שניות, משך הזרימה בסליל יהיה גם כן 3 שניות.
- ◀ הסיבה: לאחר 3 שניות השדה נותר קבוע, אין שינוי בשטף ולכן גם אין כא"מ מושרה.

כריכה ריבועית מוליכה שצלעה 10 ס"מ נופלת חופשית ממנוחה ולאחר נפילה של 1 מטר חודרת במאונך לקווי שדה מגנטי אחיד כמוראה בתרשים.

מסת הכריכה 0.5 ק"ג והתנגדותה 0.5 אום.

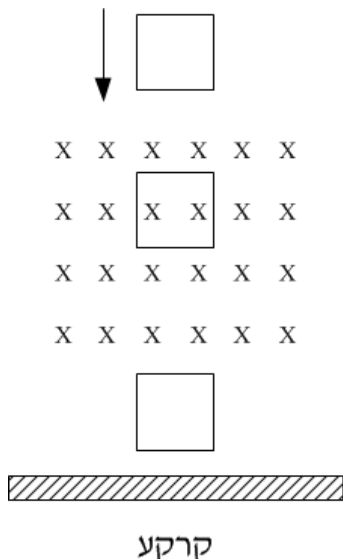
שאלה הזו יש לפתור בעזרת חוק פאראדיי בלבד.

א- תארו במילים את תנועת הכריכה מרגע הנפילה ועד הגיעה לקרקע.

ב- מדוע הכריכה מאטה את מהירותה בזמן כניסתה לשדה ובזמן יציאתה ממנו?

ג- נתון כי החל מכניסתה לשדה ועד לזמן בו כולה בתוך השדה הכריכה נעה במהירות קבועה. חשבו באמצעות חוק פאראדיי את עוצמת השדה המגנטי.

ד- מהי תאוצת הכריכה כאשר כולה מצויה בתוך השדה? מדוע?



כריכה ריבועית מוליכה שצלעה 10 ס"מ נופלת חופשית ממנוחה ולאחר נפילה של 1 מטר חודרת במאונך לקווי שדה מגנטי אחיד כמוראה בתרשים.
מסת הכריכה 0.5 ק"ג והתנגדותה 0.5 אום.

א- תארו במילים את תנועת הכריכה מרגע הנפילה ועד הגיעה לקרקע.

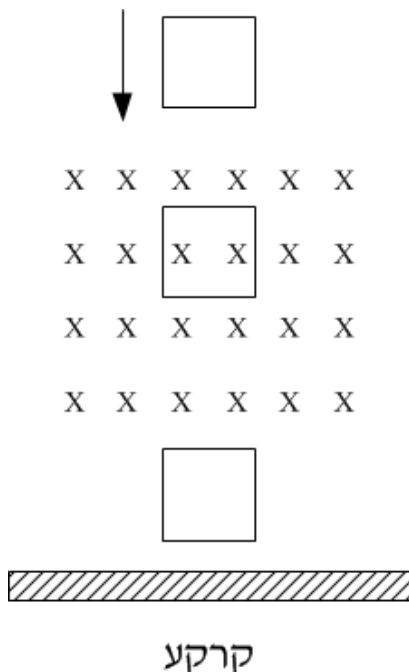
▶ לפני כניסתה לאזור השדה הכריכה נעה בתאוצה שגודלה g .

▶ מרגע הכניסה לאזור השדה הכריכה מתחילה להאט את מהירותה.

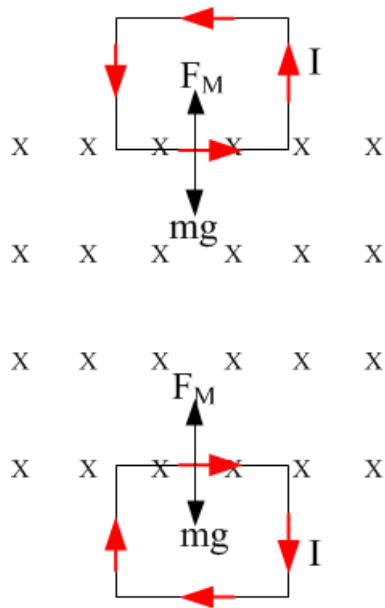
▶ כאשר כל הכריכה מצויה בתוך השדה היא נעה שוב בתאוצה g .

▶ מרגע היציאה מהשדה הכריכה שוב מאטה את מהירותה.

▶ כאשר כל הכריכה מצויה מחוץ לשדה היא שוב בתאוצה g .



ב- מדוע הכריכה מאטה את מהירותה בזמן כניסתה לשדה ובזמן יציאתה ממנו?



- ▶ ברגע שהכריכה נכנסת לאזור השדה מתחיל להיווצר שינוי בשטף המגנטי העובר דרכה: מ-0 ועד לשטף המקסימלי שערכו $\Phi = BA$.
- ▶ כל זמן שיש שינוי בשטף מתקיים בכריכה כא"מ מושרה היוצר בה זרם.
- ▶ זרם זה יוצר שדה מגנטי שמתנגד לשינוי שיצר אותו, ולכן הוא זורם בכיוון מנוגד לשעון (כמוראה בחלק האיור העליון).
- ▶ ברגע שהזרם המושרה מתחיל לזרום, על החלק התחתון של הכריכה מתחיל לפעול כוח כלפי מעלה (כוח לורנץ) המאט את הנפילה החופשית של הכריכה.
- ▶ כאשר הכריכה מתחילה לצאת מהשדה, שוב חל שינוי בשטף הגורם לזרם מושרה. על פי חוק לנץ, הפעם כיוון הזרם הוא הפוך ועל החלק העליון של הכריכה יפעל שוב כוח לורנץ שיאט את תנועתה (כמוראה בחלק האיור התחתון).

ג- נתון כי החל מכניסת לשדה ועד לזמן בו כולה בתוך השדה הכריכה נעה במהירות קבועה. חשבו באמצעות חוק פאראדיי את עוצמת השדה המגנטי.

כאמור בסעיף הקודם, ברגע הכניסה של הכריכה לשדה המגנטי מתחיל לפעול עליה כוח כלפי מעלה (כוח לורנץ). אם בזמן זה הכריכה נעה במהירות קבועה הרי שמתקיים:

$$F_M = mg$$

נבטא את F_M באמצעות חוק פאראדיי, כאשר L הוא אורך הצלע של הכריכה, ו- Δx היא התוספת לאורך הצלע במהלך הכניסה לשדה (ראו איור תחתון).

$$F_M = ILB$$

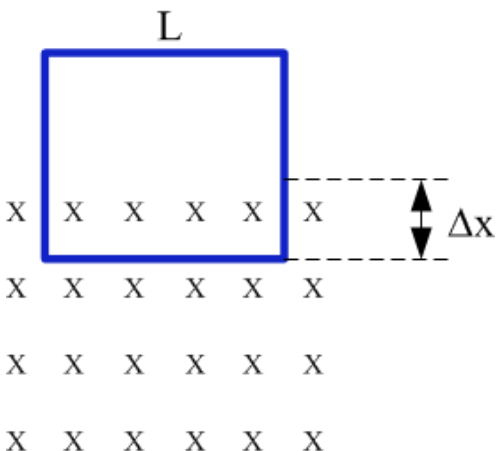
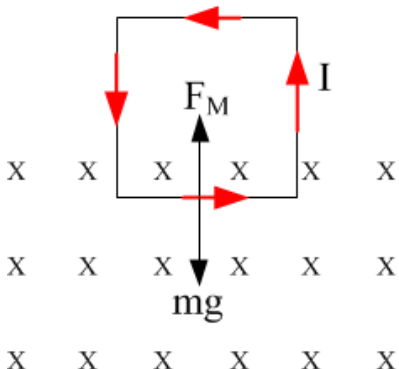
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1}{R} \cdot \left| -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \frac{1}{R} \cdot B \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{1}{R} \cdot BL \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{BLv}{R}$$

הואיל והכריכה נופלת מגובה 1 מטר, מהירותה ברגע הכניסה לשדה היא:

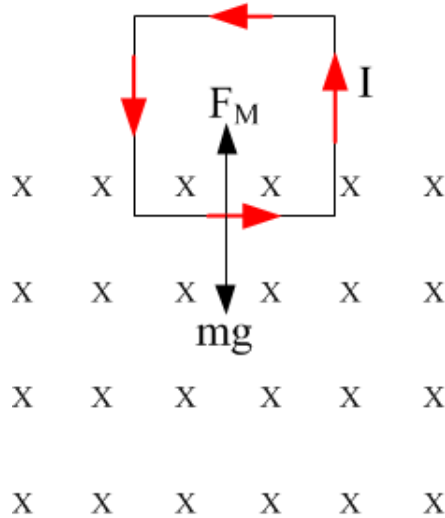
$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1} = 4.47 \text{ m/s}$$

המשך הפתרון בעמוד הבא



משווין הכוחות נקבל: ◀



$$ILB = mg$$

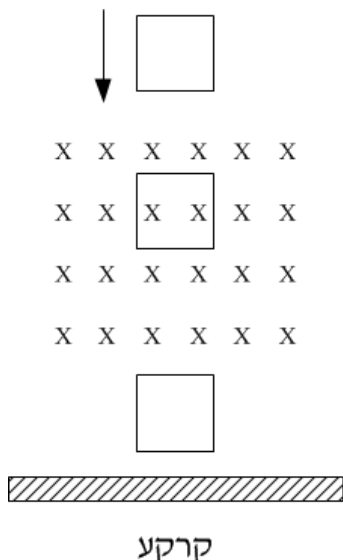
$$\frac{BLv}{R} LB = mg$$

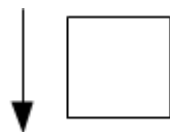
$$\frac{B^2 L^2}{R} v = mg$$

$$B = \sqrt{\frac{mgR}{L^2 v}} = \sqrt{\frac{0.5 \cdot 10 \cdot 0.5}{0.1^2 \cdot 4.47}} = 7.47T$$

ד- מהי תאוצת הכריכה כאשר כולה מצויה בתוך השדה? מדוע?

במהלך תנועת הכריכה בתוך השדה אין שינוי בשטף, ולכן לא נוצר כוח מגנטי המעכב את תנועתה. הכוח היחיד שפועל עליה הוא mg , והיא תנוע בפילה חופשית.





X X X X X X
X X X X X X
X X X X X X
X X X X X X



כריכה ריבועית מוליכה שצלעה 10 ס"מ נופלת חופשית ממנוחה ולאחר נפילה של 1 מטר חודרת במאונך לקווי שדה מגנטי אחיד כמוראה בתרשים. מסת הכריכה 0.5 ק"ג והתנגדותה 0.5 אום.

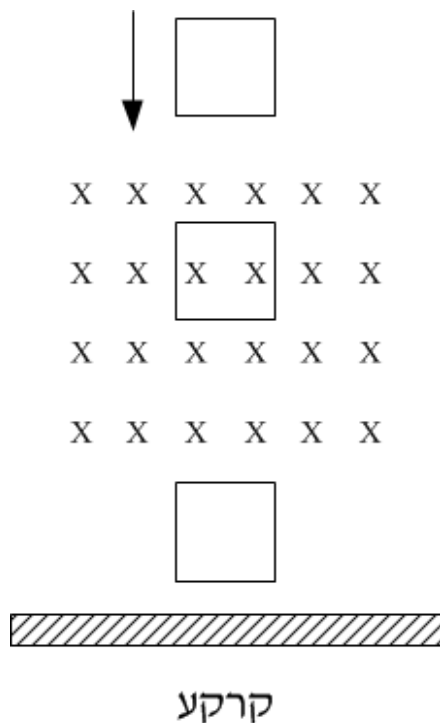
שאלה הזו יש לפתור בעזרת שימוש בנוסחה של כא"מ מושרה במוט.

- א-** תארו במילים את תנועת הכריכה מרגע הנפילה ועד הגיעה לקרקע.
- ב-** מדוע הכריכה מאטה את מהירותה בזמן כניסתה לשדה ובזמן יציאתה ממנו?
- ג-** נתון כי החל מכניסתה לשדה ועד לזמן בו כולה בתוך השדה הכריכה נעה במהירות קבועה. חשבו את עוצמת השדה המגנטי.
- ד-** מהי תאוצת הכריכה כאשר כולה מצויה בתוך השדה? מדוע?

קרקע

כריכה ריבועית מוליכה שצלעה 10 ס"מ נופלת חופשית ממנוחה ולאחר נפילה של 1 מטר חודרת במאונך לקווי שדה מגנטי אחיד כמוראה בתרשים. מסת הכריכה 0.5 ק"ג והתנגדותה 0.5 אום.

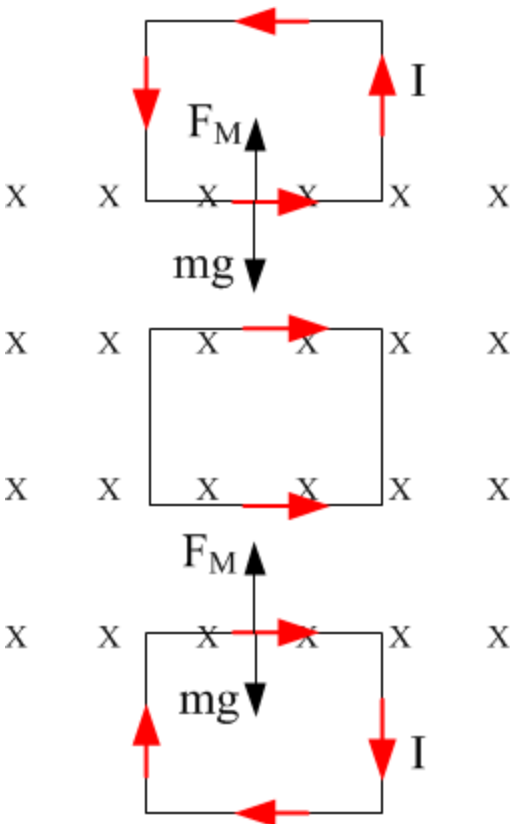
א- תארו במילים את תנועת הכריכה מרגע הנפילה ועד הגיעה לקרקע.



- ▶ לפני כניסתה לאזור השדה הכריכה נעה בתאוצה שגודלה g .
- ▶ מרגע הכניסה לאזור השדה הכריכה מתחילה להאט את מהירותה.
- ▶ כאשר כל הכריכה מצויה בתוך השדה היא נעה שוב בתאוצה g .
- ▶ מרגע היציאה מהשדה הכריכה שוב מאטה את מהירותה.
- ▶ כאשר כל הכריכה מצויה מחוץ לשדה היא נעה שוב בתאוצה g .

ב- מדוע הכריכה מאטה את מהירותה בזמן כניסתה לשדה ובזמן יציאתה ממנו?

- ברגע שהכריכה נכנסת לאזור השדה פועל על החלק התחתון כוח לורנץ, היוצר בו קיטוב מטענים, כלומר כא"מ בגודל $\varepsilon = V/B$. על פי כלל היד הימנית, הזרם זורם בכיוון מנוגד לשעון (כמוראה בחלק האזור העליון). ברגע שהזרם בקטע התיל התחתון מתחיל לזרום, על קטע זה מתחיל לפעול כוח כלפי מעלה (כוח לורנץ) המאט את הנפילה החופשית של הכריכה.
- כשהכריכה כולה בתוך השדה, בחלק התחתון ובחלק העליון שלה נוצר כא"מ בכיוונים מנוגדים (תרשים אמצעי). לכן לא יזרום בה זרם, והכוח המאט את התנועה לא יפעל.
- כאשר הכריכה מתחילה לצאת מהשדה, פועל על החלק העליון כוח לורנץ, היוצר בו קיטוב מטענים, כלומר כא"מ בגודל $\varepsilon = V/B$. על פי כלל היד הימנית, הזרם זורם בכיוון השעון (איזור תחתון). ברגע שהזרם בקטע התיל העליון מתחיל לזרום, על קטע זה מתחיל לפעול כוח כלפי מעלה (כוח לורנץ) המאט את הנפילה החופשית של הכריכה.



ג- נתון כי החל מכניסתה לשדה ועד לזמן בו כולה בתוך השדה הכריכה נעה במהירות קבועה. חשבו את עוצמת השדה המגנטי.

כאמור בסעיף הקודם, ברגע הכניסה של הכריכה לשדה המגנטי מתחיל לפעול עליה כוח כלפי מעלה (כוח לורנץ). אם בזמן זה הכריכה נעה במהירות קבועה הרי שמתקיים:

$$F_M = mg$$

נבטא את F_M כאשר L הוא אורך הצלע (איור תחתון).

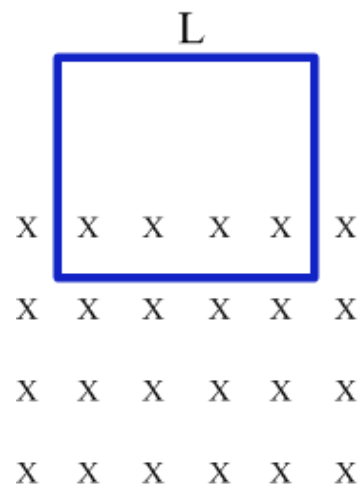
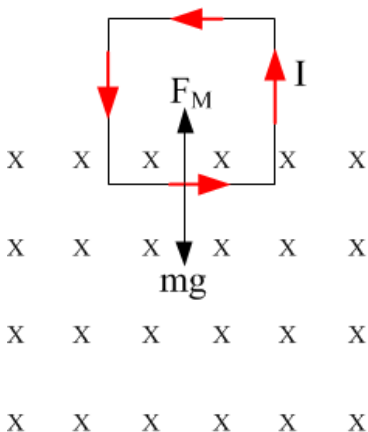
$$F_M = ILB = \frac{\varepsilon}{R} LB$$

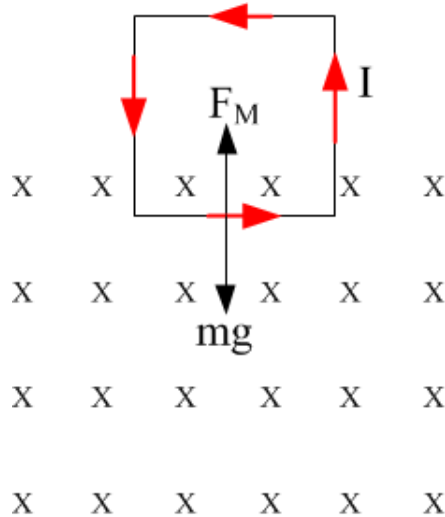
הכא"מ המושרה

$$\varepsilon = vLB$$

$$\varepsilon = \left(\frac{vLB}{R} \right) LB = \frac{vL^2 B^2}{R}$$

המשך הפתרון בעמוד הבא





◀ הוואיל והכריכה נופלת מגובה 1 מטר, מהירותה ברגע הכניסה לשדה היא:

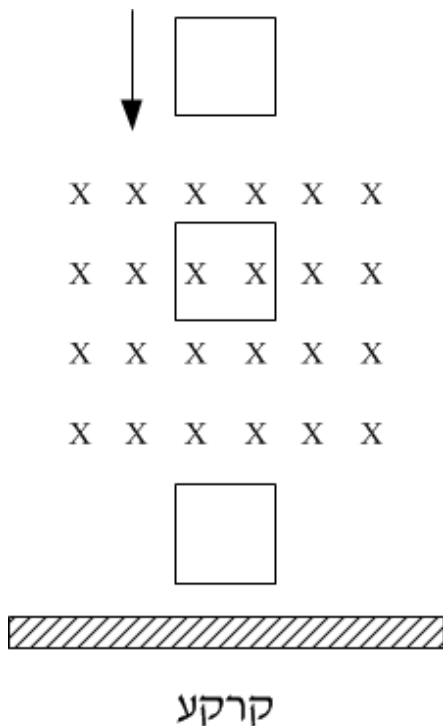
$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1} = 4.47 \left[\frac{m}{s} \right]$$

◀ משווין הכוחות נקבל:

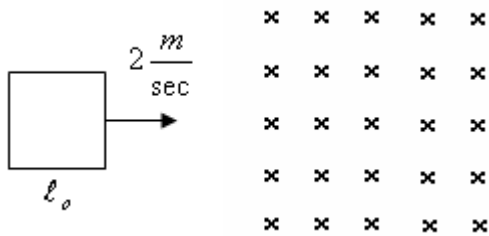
$$F_M = \frac{vB^2L^2}{R} = mg$$

$$B = \sqrt{\frac{mgR}{L^2v}} = \sqrt{\frac{0.5 \cdot 10 \cdot 0.5}{0.1^2 \cdot 4.47}} = 7.47 [T]$$



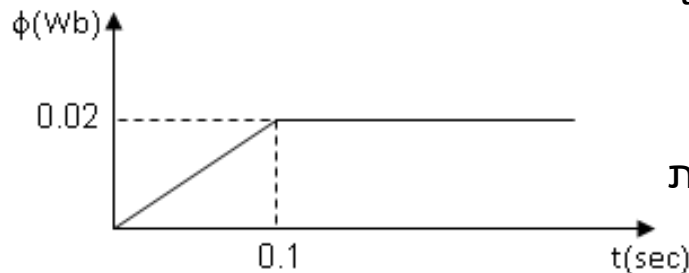
ד- מהי תאוצת הכריכה כאשר כולה מצויה בתוך השדה? מדוע?

במהלך תנועת הכריכה בתוך השדה הכא"מ המושרה בחלר העליון של התיל מנוגד לזה שבחלק התחתון ולכן לא נוצר בה זרם, ולכן גם לא נוצר כוח מגנטי המעכב את תנועתה. הכוח היחיד שפועל עליה הוא mg , והיא תנוע בפילה חופשית.

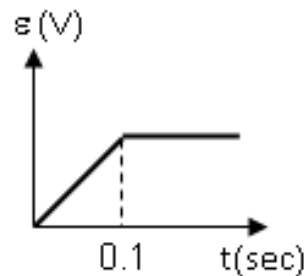


מסגרת בצורת ריבוע, שאורך צלעה L_0 , נעה ימינה במהירות קבועה של 2 m/s . ברגע $t_0 = 0$ המסגרת נכנסת לאזור ששורר בו שדה מגנטי אחיד שעוצמתו B . כיוון השדה הוא לתוך הדף (ראה תרשים).

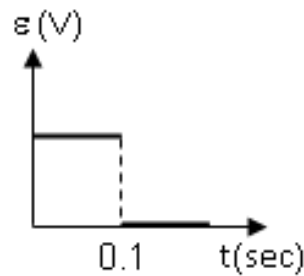
הגרף שמשמאל מתאר את השטף שעבר דרך המסגרת מהרגע $t_0 = 0$



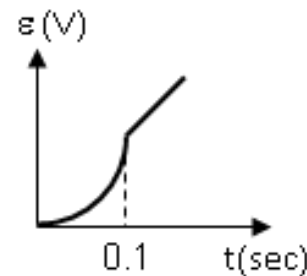
- א מדוע חל שינוי בשיפוע הגרף בנקודה $t = 0.1 \text{ s}$?
- ב בעזרת הנתונים בגרף, חשב את הכא"מ המושרה שנוצר במסגרת בזמן $0 < t < 0.1 \text{ s}$.
- ג הראה באמצעות חישוב ש- $L_0 = 0.2 \text{ m}$
- ד חשב את B , עוצמת השדה המגנטי.
- ה איזה מבין שלושת הגרפים שלפניך מתאר את הכא"מ המושרה שנוצר במסגרת? נמק את תשובתך.



גרף 3



גרף 2

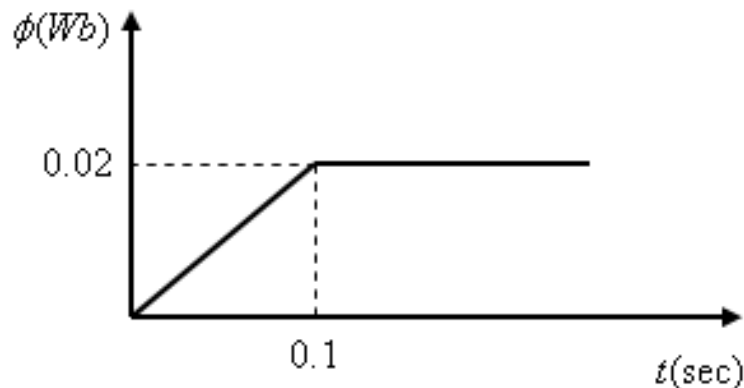
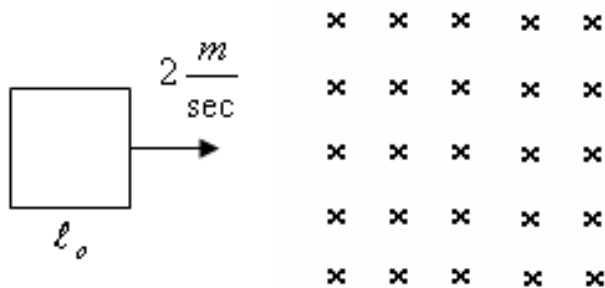


גרף 3

מסגרת בצורת ריבוע, שאורך צלעה L_0 , נעה ימינה במהירות קבועה של 2 m/sec . ברגע $t_0 = 0$ המסגרת נכנסת לאזור ששורר בו שדה מגנטי אחיד שעוצמתו B . כיוון השדה הוא לתוך הדף (ראה תרשים).

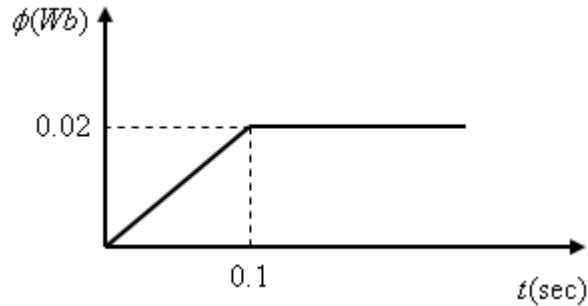
א- מדוע חל שינוי בשיפוע הגרף בנקודה $t = 0.1 \text{ s}$?

חל שינוי בשיפוע הגרף בנקודה $t = 0.1 \text{ sec}$ מכיוון שמהרגע הזה כל המסגרת כבר בתוך השדה, ואין יותר שינוי בשטף.



ב- בעזרת הנתונים בגרף, חשב את הכא"מ המושרה שנוצר במסגרת.

לפי הגרף: ◀



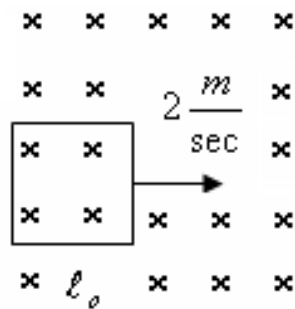
$$\phi_{(t)} = 0.2 \cdot t$$

$$\varepsilon = \left| -\frac{d\phi}{dt} \right| = |-\phi(t)| = 0.2V$$

ג- הראה באמצעות חישוב שמתקיים $L_0 = 0.2 \text{ m}$

בדיוק ברגע $t=0.1\text{sec}$ הצלע השמאלית של המסגרת נכנסה לשדה המגנטי, כלומר המסגרת עברה מרחק L_0 ב 0.1 שניות.

מהנתון שמהירות המסגרת היא 2 m/sec נמצא את L_0 :



$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{L_0}{0.1} = 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

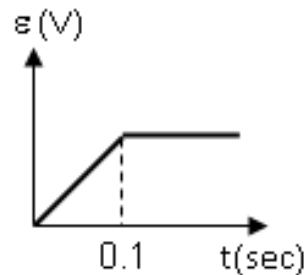
$$L_0 = 0.2 \text{ m}$$

ד - חשב את B, עוצמת השדה המגנטי.

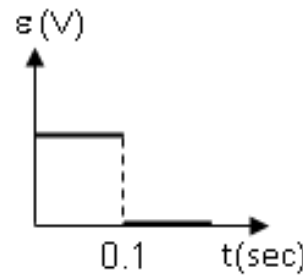
$$\varepsilon = v \cdot B \cdot L_0$$

$$0.2 = 2 \cdot B \cdot 0.2 \Rightarrow B = \frac{0.2}{2 \cdot 0.2} = 0.5T$$

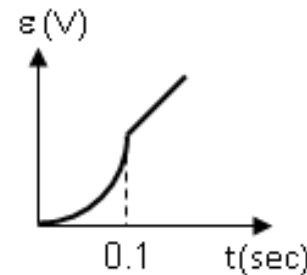
ה- איזה מבין שלושת הגרפים שלפניך מתאר את הכא"מ המושרה שנוצר במסגרת? נמק את תשובתך.



גרף 1



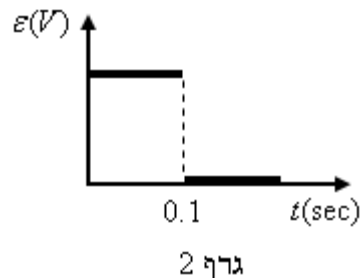
גרף 2

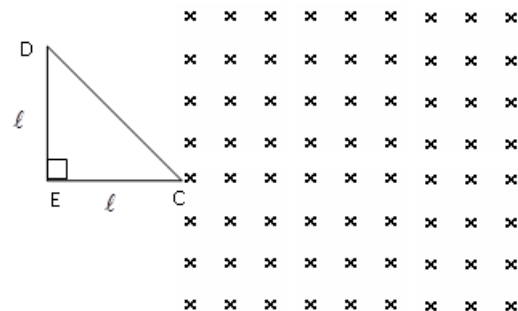


גרף 3

גרף 2 מתאר את הכא"מ המושרה שנוצר במסגרת. כשכל המסגרת בשדה המגנטי, אין שינוי בשטף ולכן לא נוצר כא"מ מושרה.

דרכ אחרת: בחלק הראשון שיפוע הגרף הוא קבוע והוא שווה לכא"מ המושרה שנוצר. לכן בחלק הראשון הכא"מ קבוע.





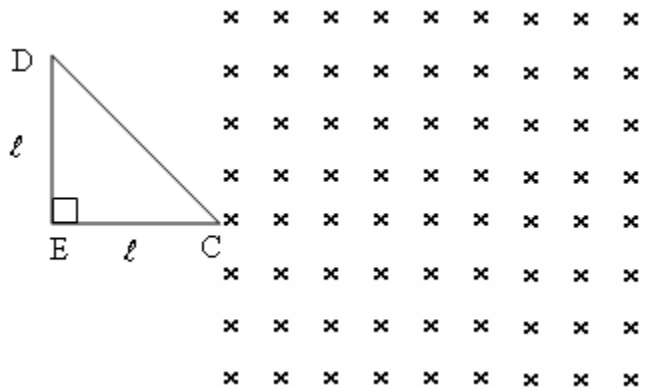
בתרשים שלפניך מוצג תיל מוליך, CDE, שצורתו משולש ישר-זווית שווה-שוקיים: אורך כל אחד משני הניצבים הוא L , וההתנגדות הכוללת של התיל היא R . מושכים את התיל ימינה במהירות קבועה v , שכיוונה מאונך לניצב DE (בכל מהלך תנועתו, התיל נמצא במישור הדף).

ברגע $t = 0$ הקדקוד C של התיל מגיע לגבול של אזור שבו שורר שדה מגנטי אחיד שגודלו B וכיוונו "לתוך הדף" (מאונך למישור התיל) (ראה תרשים). גבול האזור מקביל לניצב DE. האורך והרוחב של החתך של האזור שבו שורר השדה המגנטי גדולים מאוד לעומת ממדי המשולש.

- א- בתיל עובר ברציפות זרם חשמלי מושרה מרגע $t = 0$ עד רגע מסוים $t = t'$. בטא את t' באמצעות נתוני השאלה (B , R , L , v).
- ב- נסח את כלל לנץ.
- ג- קבע, באמצעות כלל לנץ, את כיוון הזרם בניצב DE (מ- D ל- E או מ- E ל- D) בפרק הזמן מ- $t = 0$ עד $t = t'$. הסבר את קביעתך.
- ד- בטא באמצעות נתוני השאלה ובעזרת המשתנה t , את עוצמת הזרם בתיל כפונקציה של הזמן t (בפרק הזמן מ- $t = 0$ עד $t = t'$).
- ה- כיצד משתנה הערך המוחלט של עוצמת הזרם בתיל בפרק הזמן מ- $t = 0$ עד $t = t'$: הוא הולך וגדל כפונקציה של הזמן, הוא נשאר קבוע, או הוא הולך וקטן? נמק.

א- בתיל עובר ברציפות זרם חשמלי מושרה מרגע $t = 0$ עד רגע מסוים $t = t'$.
בטא את t' באמצעות נתוני השאלה (L, v, R ו- B).

פרק הזמן t' הדרוש שהניצב ED יגיע לשדה המגנטי הוא: ◀



$$x = v \cdot t$$

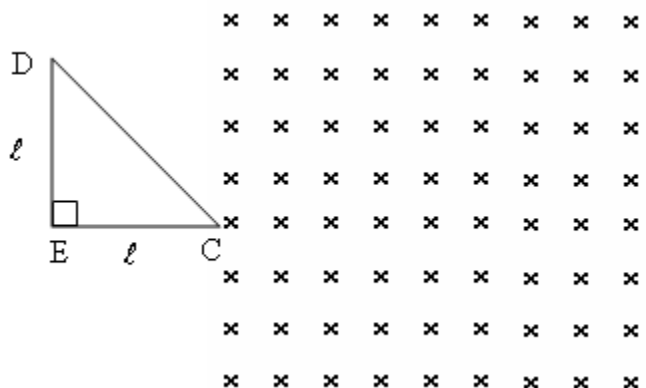
$$L = v \cdot t' \Rightarrow t' = \frac{L}{v}$$

ב- נסח את כלל לנץ.

- ▶ כלל לנץ: זרם מושרה מעכב את סיבת יצירתו.
- ▶ ניסוח אחר: השדה המגנטי, המושרה על ידי זרם, "שואף" לבטל את השינוי בשטף המגנטי היוצר אותו.
- ▶ חוק זה נובע מחוק שימור האנרגיה: אילו הכא"מ המושרה היה גורם להגדלת השינוי בשטף המגנטי, אז השטף המגנטי היה גדל עוד יותר (בגלל הגידול בזרם), ויוצר בכך גידול נוסף בזרם, וכך הלאה עד אינסוף, תוך ביצוע עבודה אינסופית.

ג- קבע, באמצעות כלל לנץ, את כיוון הזרם בניצב DE (מ- D ל- E או מ- E ל- D) בפרק הזמן $t = 0$ עד $t = t'$. הסבר את קביעתך.

◀ כיוון הזרם הוא מ- E ל- D. במצב זה השטף דרך המסגרת גדל פנימה, וכדי ליצור שטף החוצה המנוגד לשינוי, הזרם במסגרת יהיה נגד כיוון השעון על פי כלל יד ימין.



ד- בטא באמצעות נתוני השאלה ובעזרת המשתנה t , את עוצמת הזרם בתיל כפונקציה של הזמן t (בפרק הזמן מ- $t = 0$ עד $t = t'$).

◀ דרך א':

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

$$L = v \cdot t$$

$$\varepsilon = vB \cdot v \cdot t = v^2 \cdot B \cdot t$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{v^2 \cdot B \cdot t}{R}$$

◀ דרך ב':

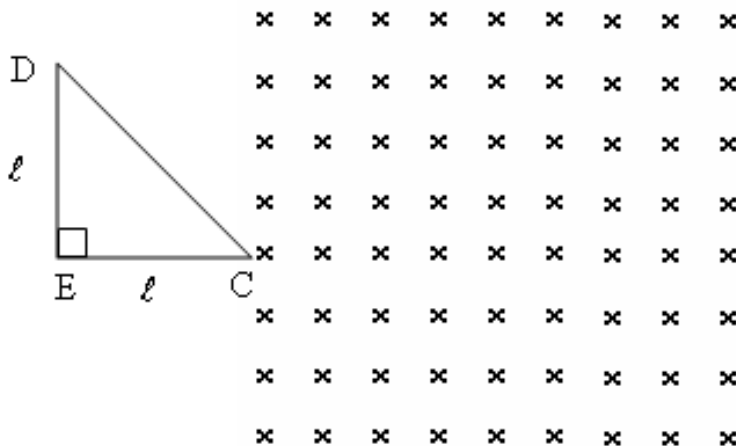
השטח A ברגע ($t' > t$) של המשולש שווה השוקיים:

$$A = \frac{(v \cdot t)^2}{2} = \frac{v^2 \cdot t^2}{2}$$

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

$$\varepsilon = \frac{-d}{dt} \left(B \cdot \frac{v^2 \cdot t^2}{2} \right) = -B \cdot v^2 \cdot t$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-B \cdot v^2 \cdot t}{R}$$



- ה- כיצד משתנה הערך המוחלט של עוצמת הזרם בתיל בפרק הזמן $t = 0$ עד $t' = t$: הוא הולך וגדל כפונקציה של הזמן, הוא נשאר קבוע, או הוא הולך וקטן? נמק.
- ◀ עוצמת הזרם בערכה המוחלט, הולכת וגדלה כפונקציה של הזמן, על פי הביטוי שהראנו בסעיף הקודם.

מסגרת העשויה תילים קשיחים ומוליכים, שהתנגדותה זניחה מתנודדת בשדה מגנטי אחיד B , שכיוונו מלמעלה למטה (ראה תרשים).

צלע אחת של המסגרת מתלכדת עם ציר הסיבוב PQ (ראה תרשים). בצלע התחתונה, שאורכה L , יש נורה שהתנגדותה R . המהירות של הצלע התחתונה, כאשר היא עוברת בתחתית מסלולה, היא v . החיכוך והתנגדות האוויר ניתנים להזנחה.

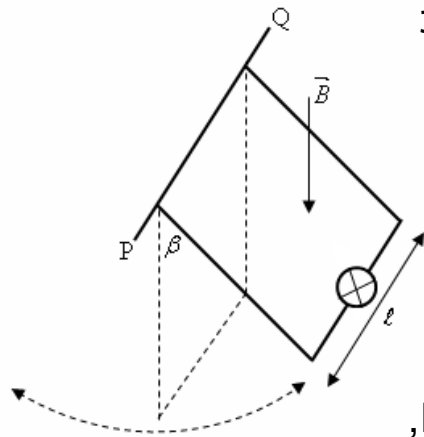
א- באיזה מקום לאורך מסלול המסגרת תימדד בנורה עוצמת זרם מרבית? נמק.

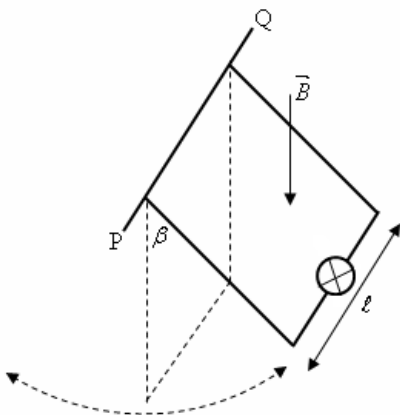
ב- בטא את עוצמתו המרבית של הזרם בנורה באמצעות נתוני השאלה.

ג- מהי עוצמת הזרם בנורה, כאשר הצלע התחתונה נמצאת במקום הגבוה ביותר במסלולה?

ד- מהי עוצמת הזרם בנורה כאשר $\beta = 10^\circ$ (ראה תרשים). נתון כי מהירות הצלע התחתונה היא 2 m/s , אורך הצלע הוא $L = 0.5 \text{ m}$ התנגדות הנורה היא $R = 10 \Omega$, ועוצמת השדה המגנטי היא $B = 0.5 \text{ T}$.

ה- האם עוצמת הזרם המרבית תשתנה מתנודה לתנודה? נמק.





א- באיזה מקום לאורך מסלול המסגרת תימדד בנורה עוצמת זרם מרבית? נמק.

◀ עוצמת הזרם בנורה תהיה מרבית כאשר הנורה תימצא בנקודה הנמוכה ביותר.

◀ נימוקים אפשריים:

- כאשר הנורה נמצאת בנקודה הנמוכה ביותר השינוי בשטף הוא מרבי (השטף עצמו אפסי).
- בנקודה זו המהירות היא מרבית.
- במצב זה וקטור המהירות מאונך לווקטור השדה המגנטי, ולכן הכא"מ יהיה מרבי

$$\varepsilon = v \cdot B \cdot L \cdot \sin \alpha \Rightarrow (\alpha = 90^\circ)$$

ב- בטא את עוצמתו המרבית של הזרם בנורה באמצעות נתוני השאלה.

◀ על פי חוק אוהם:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{v \cdot B \cdot L \cdot \sin \alpha}{R} = \frac{v \cdot B \cdot L}{R}$$

ג- מהי עוצמת הזרם בנורה, כאשר הצלע התחתונה נמצאת במקום הגבוה ביותר במסלולה?

◀ כאשר הנורה נמצאת במקום הגבוה ביותר, המסגרת נעצרת רגעית, ולכן הזרם יהיה אפס.

◀ או: השינוי בשטף המגנטי שווה לאפס, ולכן לא נוצר כ"מ מושרה ואין זרם.

ד- מהי עוצמת הזרם בנורה כאשר $\beta = 10^\circ$ (ראה תרשים). נתון כי מהירות הצלע התחתונה היא 2 מ/ש, אורך הצלע הוא $L = 0.5 \text{ m}$ התנגדות הנורה היא $R = 10 \Omega$, ועוצמת השדה המגנטי היא $B = 0.5 \text{ T}$.

כאשר המסגרת נמצאת בזווית של 10° ביחס לאנך, הזווית שבין ווקטור המהירות של הצלע שעליה נמצאת הנורה ובין כיוון השדה המגנטי היא 80° .

עוצמת הזרם ברגע זה תהיה:

$$I = \frac{v \cdot B \cdot L \cdot \sin \alpha}{R} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot \sin 80}{10} = 0.049 \text{ A}$$

ה- האם עוצמת הזרם המרבית תשתנה מתנודה לתנודה? נמק.

- ◀ עוצמת הזרם המרבית תלך ותקטן, הנורה פולטת אור הגורם לאיבוד אנרגיה.
- ◀ נימוק אחר: השדה המגנטי יפעיל על המסגרת כוח שיאט את תנועתה (ע"פ חוק לנץ).