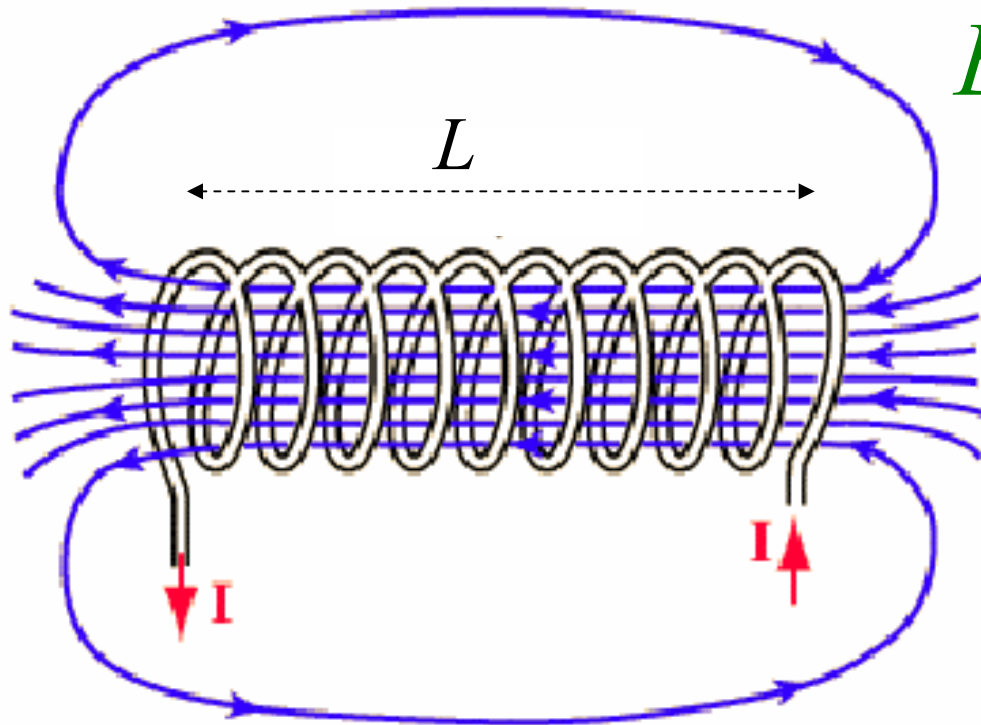


$$\mu_0 = 4\pi k'$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$$

הערה: במקום k ו- k' , ניתן להשתמש בקבועים האלה:

השדה של סילוניית (solenoid)



$$B = 4\pi k' I (N / L)$$

N - מספר הכריכות (לולאות)

לדוגמא:

$$B = 8 \text{ Gauss}$$

$$N = 200 \quad L = 10 \text{ cm}$$

נמצא את הזרם הנחויץ:

$$I = 8 \times 10^{-4} \text{ T} \cdot 0.1 \text{ m} / (4\pi 10^{-7} \text{ Tm/A} \cdot 200)$$

$$= 0.32 \text{ A}$$

הקשר בין שדה חשמלי ומגנטי - חוק פרדיי (Faraday)

עד עכשיו אמרנו:

$$Q \Rightarrow \vec{E} \Rightarrow \vec{F}_E$$

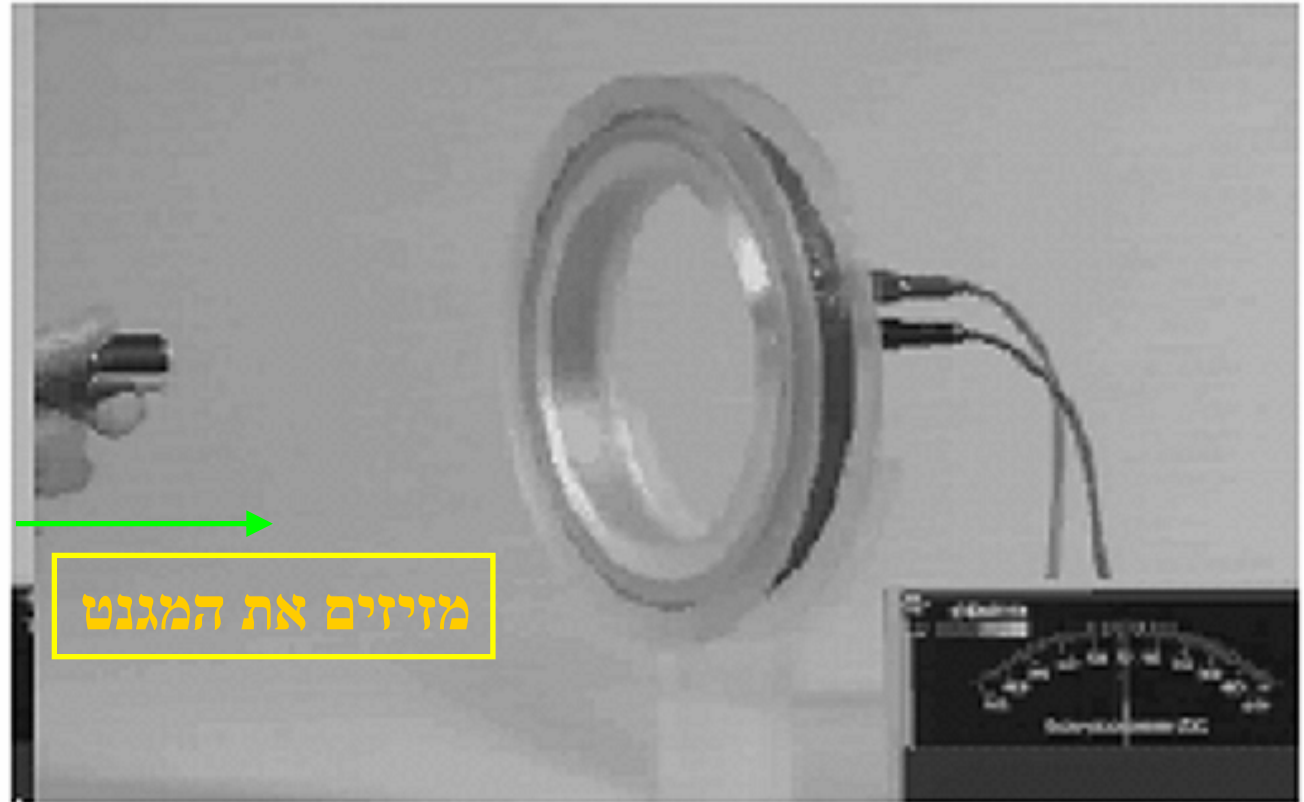
$$I \Rightarrow \vec{B} \Rightarrow \vec{F}_B$$

עכשיו נלמד על תופעה

נוספת:

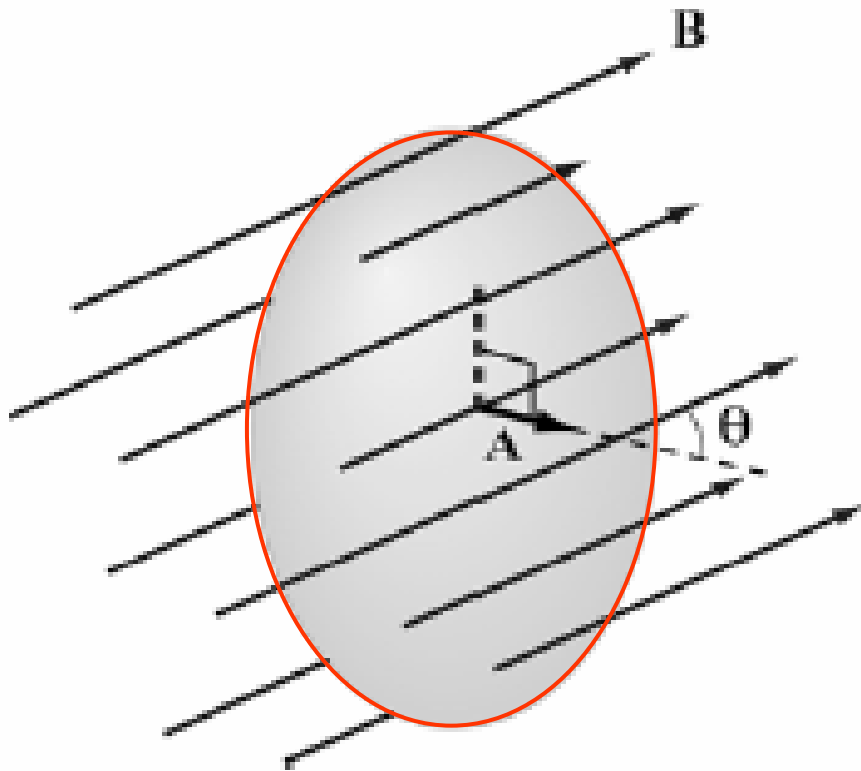
$$\frac{d\vec{B}}{dt} \Rightarrow I$$

$$\frac{d\vec{B}}{dt} \Rightarrow \vec{E} \Rightarrow \vec{F}_E \Rightarrow I$$



מבחינה פיסיקאלית, שינוי השדה המגנטי בזמן גורם להיווצרות שדה חשמלי מושרה, שדוחף את המטענים בלולאה ויוצר זרם:

השטף המגנטי



$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

θ היא הזווית בין השדה המגנטי לבין הניצב לשטח.

תזכורת:

שטף חשמלי
זרימה של מים

כאן: תמיד נתעניין
בשטף דרך לולאה.

$$1 \text{ Weber} = 1 \text{ W} = 1 \text{ T m}^2$$

היחידות של שטף מגנטי:

חוק פרדיי (1831)

שינוי השטף המגנטי דרך לולאה משרה (induces) מפל מתח (כוח אלקטרו-מניע).

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

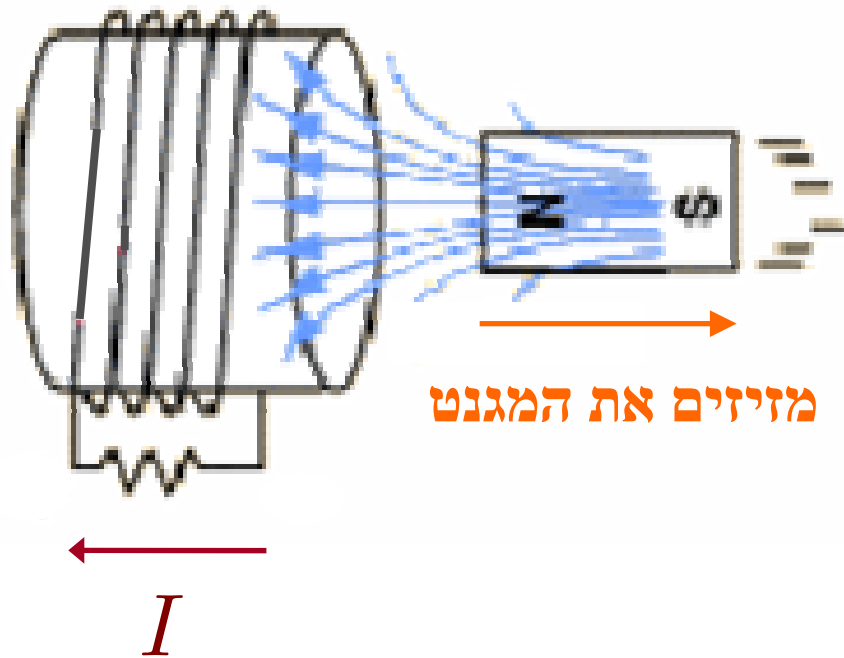
חוק לנץ (חוק זה קובע את כיוון הזרם המושרה)

הזרם המושרה במעגל זורם במגמה כזאת שהוא מתנגד, בפעולתו המגנטית, לסיבה היוצרת אותו. או בניסוח מדויק יותר: הזרם המושרה מייצר שטף מגנטי (בתוך הלולאה) המתנגד למגמת השינוי בשטף המגנטי המקורי.

$$\vec{B}_{\text{ind}} \xrightarrow{\text{כיוון}} - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \frac{d\Phi_B}{dt} \Rightarrow I \Rightarrow \vec{B}_{\text{ind}}$$

דוגמא

הזרם המושרה מייצר שטף מגנטי (בלולאה) המתנגד למגמת השינוי בשטף המגנטי המקורי.



מצא את כיוון הזרם בנגד:

ארבעה שלבים: (תרגילים כאלה לא יהיו במבחן)

$$\vec{B} \leftarrow$$

$$\frac{d\Phi_B}{dt} \rightarrow$$

$$\vec{B}_{\text{ind}} \leftarrow$$

ובעזרת חוק היד החובקת, מוצאים את כיוון הזרם בציור.

הערה חשובה

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

חוק פרדיי הוא נכון באופן כללי:

אבל הפירושים שונים במקרים שונים:

$$\frac{d\vec{B}}{dt} \Rightarrow \vec{E} \Rightarrow \vec{F}_E \Rightarrow I$$

כשמשתנה B (המגנט
זו והלולאה לא):

$$\vec{B} \Rightarrow \vec{F}_B \Rightarrow I$$

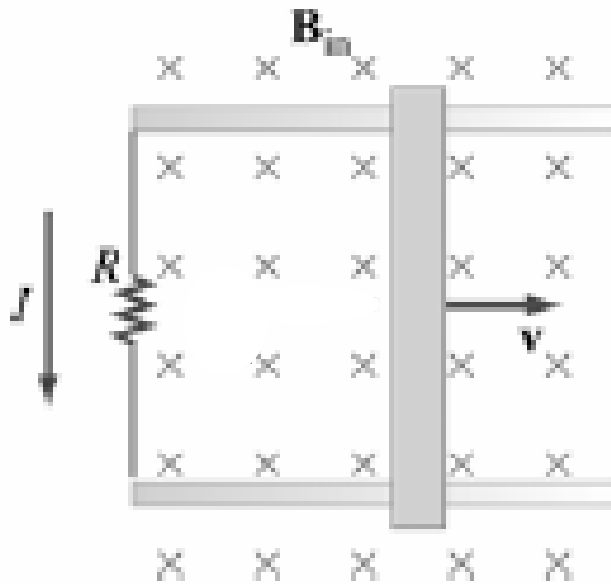
כשהלולאה זזה והמגנט לא:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \text{ז"א, לא שינינו את הכוח הכללי:}$$

$$\frac{d\vec{B}}{dt} \Rightarrow \vec{E}$$

אבל פרדיי הוסיף עוד תופעה:

דוגמא



מזיזים את המוט ימינה, ונוצר זרם בלולאה שבין המוט לבין הנגד. חישוב מחוק פרדיי (לא למבחן):

\vec{B}_{ind}	$\frac{d\Phi_B}{dt}$	\vec{B}
⊙	⊗	⊗

ולכן הזרם המושרה כמסומן בציור.

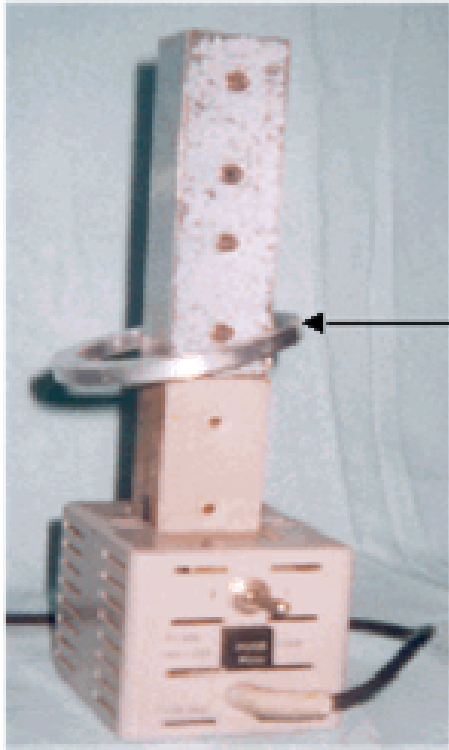
או, חישוב ישיר מהכוח המגנטי: $F = qvB$ בכיוון למעלה על המוט. כוח זה גורם לזרימת מטענים.

שתי הדרכים נותנות את אותו הכיוון של הזרם בלולאה.

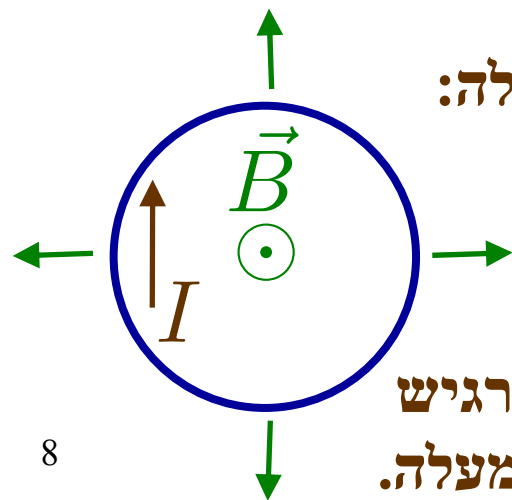
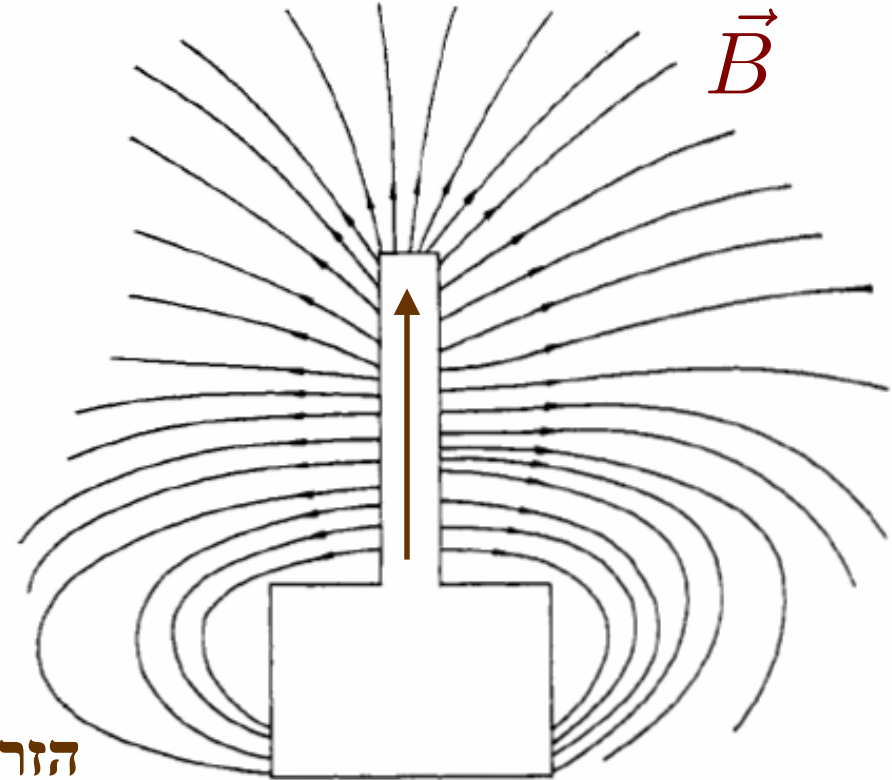
הדגמה

חוק לנץ – טבעת על סליל עם ליבה

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$



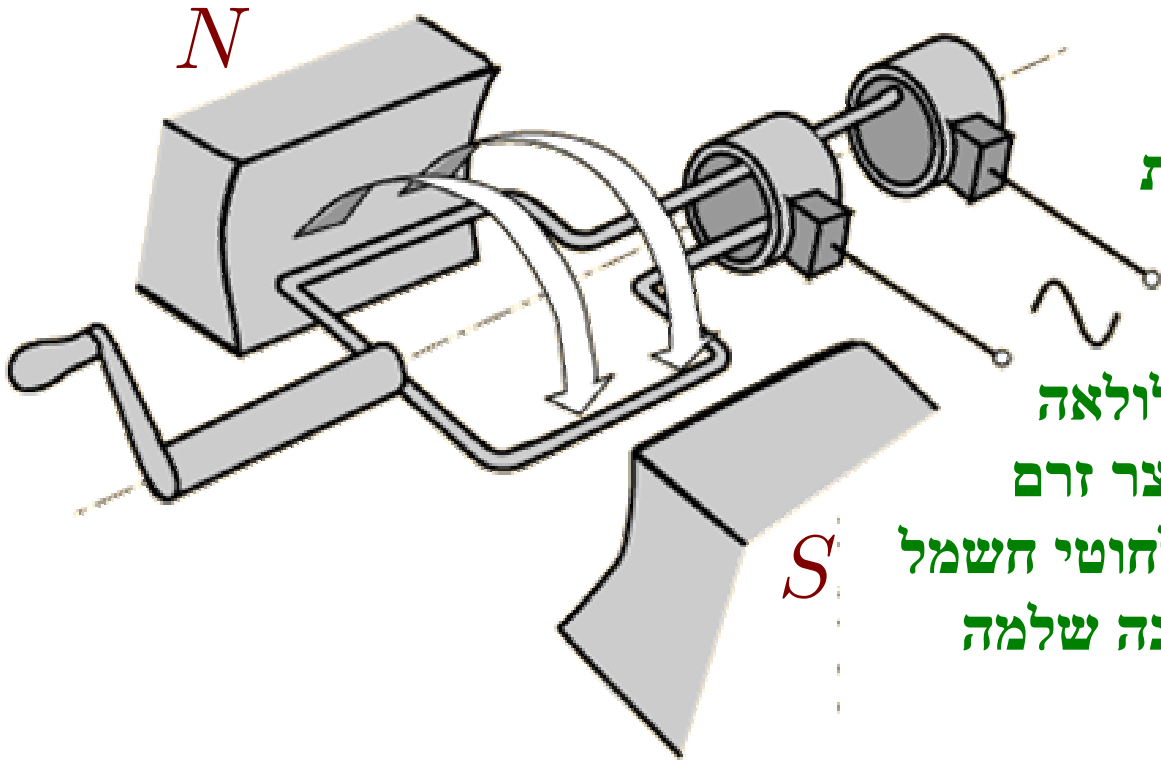
טבעת אלומיניום מרחפת
כתלות בעוצמת השדה המגנטי



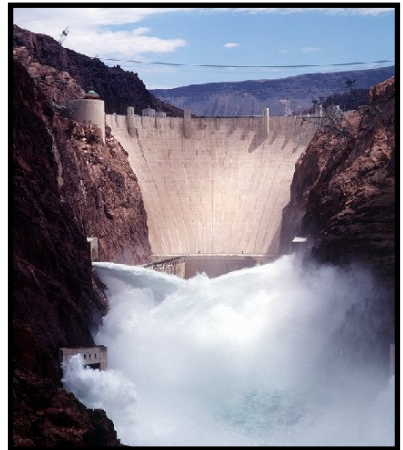
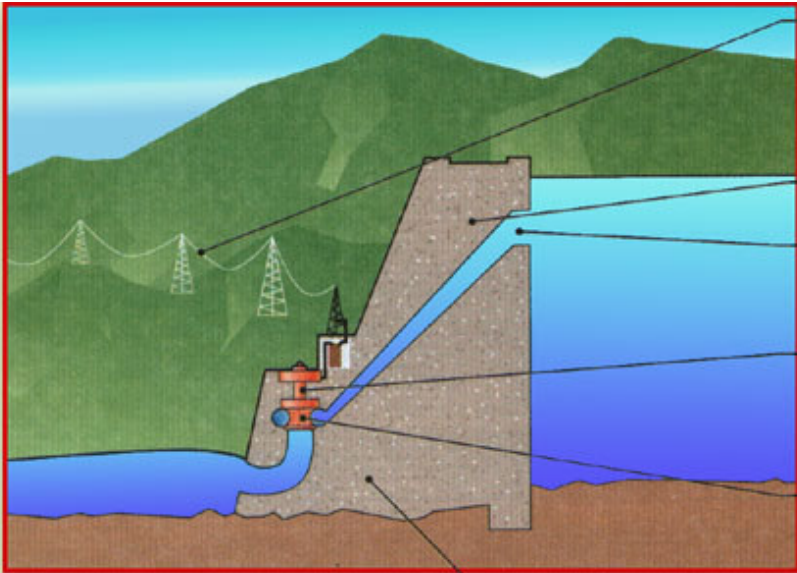
מבט מלמעלה:

הזרם המושרה מרגיש
כוח מגנטי כלפי מעלה.

יישום: גנראטור

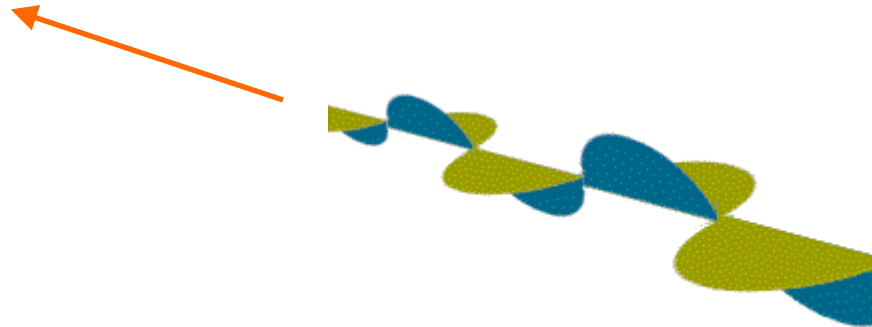


סכר <= האנרגיה הפוטנציאלית
הכבידתית של המים מסובבת
טורבינה או גלגל מים
שמחובר ללולאה <= השטף בלולאה
משתנה בזמן <= חוק פרדיי יוצר זרם
חילופין <= הלולאה מחוברת לחוטי חשמל
שמפעילים מוצרי חשמל במדינה שלמה
(מנורות, מחשבים, תנורים...)



מקסוול (Maxwell)

ניחש: אם $\frac{d\vec{B}}{dt} \Rightarrow \vec{E}$ אז אולי גם $\frac{d\vec{E}}{dt} \Rightarrow \vec{B}$
גילה פתרון של שדות באזור ללא מטענים.



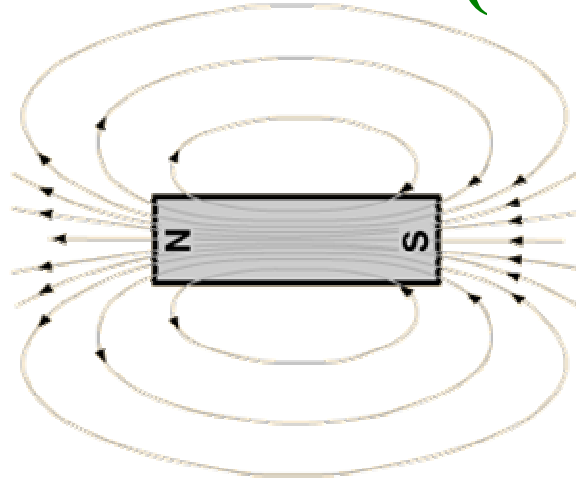
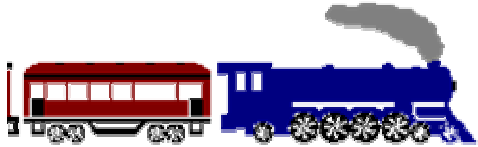
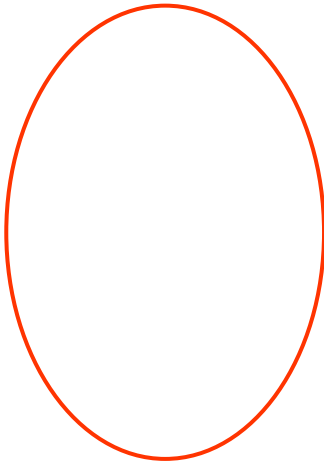
ניבא גל אלקטרומגנטי שבו E ו-B משתנים בזמן ביחד. מהו הגל? הוא קודם ניבא את מהירות הגל:

$$v = \sqrt{\frac{k}{k'}} = \sqrt{\frac{9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}}{10^{-7} \text{ T m A}^{-1}}} = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

תשובה: גל זה הוא אור! מקסוול בעצם גילה מהו אור.
אור באורכי גל שונים: אינפרא אדום, אולטרה סגול, רדיו, רנטגן, מיקרוגל.
יישומים: תקשורת (רדיו, טלוויזיה), רדאר

השדות בתדר זה כוללים אור נראה וגלי רדיו מתחנות רדיו ומגלקסיות רחוקות.

איינשטיין (Einstein)



הלולאה נמצאת ברכבת נעה. המגנט נמצא מחוץ לרכבת.

אני (צופה שמחזיק במגנט) רואה:

$$\vec{B} \Rightarrow \vec{F}_B \Rightarrow I$$

אבל צופה ברכבת רואה:

$$\frac{d\vec{B}}{dt} \Rightarrow \vec{E} \Rightarrow \vec{F}_E \Rightarrow I$$

שנינו מודדים את אותו הזרם,

כי חוק פרדיי נכון בשני המקרים:

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

אז האם הזרם נגרם ע"י כוח חשמלי או כוח מגנטי? מי צודק? איינשטיין: כולם!

איינשטיין הבין את עקרון היחסות: השדות החשמלי והמגנטי מתנהגים כך שכל

צופה רואה את אותם חוקי הפיסיקה (אך לא את אותם השדות). לכן,

B הוא שותף הכרחי של E ולא סתם תופעה אחרת.

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

השדה החשמלי $|\Sigma| |\Sigma| |\Sigma|$

הנושאים
החשובים בקורס:

מוליך חשמלי

$$\Phi_E = 4\pi k q_{in}$$

שטף, חוק גאוס

פוטנציאל

קבלים, נגדים, סוללות

$$V = IR$$

חוק אוהם:

חוקי קירקהוף

מעגל RC (טעינת ופריקת קבל)

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

חוק הכוחות של לורנץ

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

חוק היד הימנית

$$\Delta \vec{B} = k' I \frac{\Delta \vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

חוק ביוט-סבארט (Biot-Savart)

כלל היד (הימנית) החובקת

חוק לנץ

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

חוק פרדיי (1831)