

הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה!

את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמים
אישית ברוחב 0.5 בכל צד.

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את
חלון השוליים, לבחור שוליים מותאמים אישית
ולשנות ל 0.5 בכל הכיוונים

עריכה:

בדף הכנסנו כמה שיותר הסברים, נוסחאות ותמונות. אם מספר העמודים חורג ממספר
העמודים המותר בבחינה ניתן לערוך את קובץ ה WORD ולהוריד הסברים מורחבים,
תמונות או נוסחאות טריוויאליות. ניתן גם כמובן להוסיף הסברים שלכם או נוסחאות.
בכל מקרה מומלץ מאוד לעבור על הדף לפני המבחן!! הוא גם סיכום של החומר.
אין להוריד את הסמל של GOOL או כל סימן מסחרי אחר!!

מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.
ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.
בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו
עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון
עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא.
ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר
מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

הדף מיועד לכל שימוש שאינו מסחרי ובפרט לשימוש מרצים, מורים, סטודנטים ותלמידים
בקורסים שונים, ניתן לערוך את הדף אך יש להשאיר סימונים של אתר גול.

מבוא מתמטי

GOOL

קואורדינטות גליליות: (r, θ, z)

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

$$z = z$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$dl = dr/r d\theta$$
 (טבעת)

$$ds = r dr d\theta$$
 (דיסקה)

$$dv = r dr d\theta dz$$
 (קליפה גלילית עבה)

קואורדינטות כדוריות: (r, θ, φ)

$$z = r \cos \varphi$$

$$x = r \sin \varphi \cos \theta$$

$$y = r \sin \varphi \sin \theta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$\cos \varphi = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$dl = dr/r \sin \varphi d\theta / r d\varphi$$

$$ds = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$$
 (מעטפת כדור)

$$dv = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi dr$$
 (כדור מלא או קליפה כדורית עבה)

צפיפות נפחית/משטחית/אורכית:

$$\rho = \frac{M}{V}; \sigma = \frac{M}{S}; \lambda = \frac{M}{l}$$

$$V, S, l \text{ הם נפח, שטח ואורך הגוף.}$$

וקטור יחידה:

$$\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$$

מכפלה סקלרית: שתי דרכים לביצוע המכפלה:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$$

α - זווית בין הוקטורים.

- תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור).

- מכפלה בין וקטורים מאונכים מתאפסת, זו דרך לבדוק

האם וקטורים מאונכים.

וקטור בשלושה מימדים:

$$0 \leq \varphi \leq \pi$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi$$

$$\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{A_z}{|\vec{A}|} = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$$

$$A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi; A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$$

$$A_x = |\vec{A}| \sin \varphi \cos \theta; A_y = |\vec{A}| \sin \varphi \sin \theta$$

פתיחת סוגרים והעלאה בריבוע:

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C}$$

$$(\vec{A} + \vec{B})^2 = |\vec{A}|^2 + 2\vec{A} \cdot \vec{B} + |\vec{B}|^2$$

$$\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y}{|\vec{A}| |\vec{B}|} = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}$$

זווית בין שני וקטורים:

מכפלה וקטורית:

דרך 1 לעשות את המכפלה - דטרמיננטה:

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

דרך 2 - לפי גודל וכיוון בנפרד:

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \alpha$$

גודל המכפלה הוא:

וכיוון לפי כלל יד ימין

שימו לב שאתם עם יד ימין!! ובתמונה השמאלית, קודם לעשות אקדח ואחר כך לפתוח את האמה!

$$\vec{A} \times \vec{B} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial F_z}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial F_z}{\partial z} \hat{z} \right) \times \left(\frac{\partial F_x}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial F_x}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial F_x}{\partial z} \hat{z} \right)$$

בגליליות:

$$\vec{F} = \frac{\partial F}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial F}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial F}{\partial z} \hat{z}$$

בכדוריות (*):

$$\vec{F} = \frac{\partial F}{\partial r} \hat{r} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial F}{\partial \theta} \hat{\theta} + \frac{1}{r \sin \varphi} \frac{\partial F}{\partial \varphi} \hat{\varphi}$$

רוטור (Rot/Curl) בקרטזיות:

$$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}$$

חוק קולון:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

חוק גאוס:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

חוק ביוט-סבאר:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$$

חוק גאוס:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

חוק אמפר:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

חוק ביוט-סבאר:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$$

חוק גאוס:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r} = \frac{kq}{r^3} \vec{r}$$

וקטור מהמטען q אל הנקודה בה מחשבים את השדה.

שימו לב שבנוסחה הזו המטען הוא זה שיוצר את השדה.

כוח הפועל על מטען q הנמצא בשדה חשמלי $\vec{E}$:

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

שימו לב שבנוסחה הזו המטען q הוא המטען שמרגיש את הכוח (המטען בעצמו גם יוצר שדה אבל זה לא רלוונטי לנוסחה הזו והמטען לא מרגיש את השדה שהוא יוצר)

חישוב שדה או כוח שיוצרת התפלגות מטען רציפה:

נחלקת את הגוף לחתיכות קטנות, נחשב את השדה שיוצרת כל חתיכה בנקודה ונסכום על כל החתיכות. שימו לב שלסכום על כל רכיב (x, y, z) בנפרד.

אלמנט המטען של חתיכה קטנה הוא:

$$dq = \lambda dl / \sigma ds / \rho dv$$

כאשר dl , ds ו- dv הם אלמנט אורך, שטח ונפח בהתאמה. הביטוי של האלמנטים מופיע במבוא מתמטי תחת הקורדינטות המתאימות.

חוק גאוס

צפיפות מטען נפחית ρ , משטחית σ , אורכית λ , אחידה:

$$\rho = \frac{Q}{V}, \sigma = \frac{Q}{S}, \lambda = \frac{Q}{L}$$

Q - סך המטען שבגוף. V - נפח הגוף. S - שטח. L - אורך.

הקבוע הדיאלקטרי של הריק:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ϵ_0 .

השטף דרך משטח בשדה אחיד:

$$\phi_E = E_{\perp} \cdot s$$

$E_{\perp}$ רכיב השדה שמאונך למעטפת. s הוא שטח המעטפת.

אם השדה לא אחיד על המשטח ניתן לחלק את המשטח לחתיכות שבהן השדה אחיד ולסכום את השטף דרך כל חתיכה.

$$\phi_E = 4\pi k Q_{in}$$

חוק גאוס:

$$\phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Q_{in} - סך המטען הכלוא בנפח שסוגר המשטח.

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

הוא כמו של מטען נקודתי:

כאשר Q הוא סך כל המטען. r הוא המרחק ממרכז הקליפה/כדור.

כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נקי)

בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור מוליך הוא אפס.

שדה של כדור מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות אחידה: בכיוון רדיאלי

$$E = \begin{cases} \frac{kQr}{R^3}, & r < R \\ \frac{kQ}{r^2}, & r > R \end{cases}$$

Q הוא סך המטען של הכדור

r הוא המרחק ממרכז הכדור

הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא:

$$Q = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$$

$$E(r) = \frac{2k\lambda}{r}$$

שדה של תיל אינסופי (אחיד):

$$r$$
 - מרחק מהתיל. λ - צפיפות מטען ליחידת אורך של התיל

כיוון השדה רדיאלי (במאונך לתיל וכלפי חוץ/פנים עבור מטען חיובי/שלילי).

שדה של קליפה גלילית מתאפס בתוך הקליפה וכמו של תיל מחוץ לקליפה.

שדה של גליל מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות נפחית אחידה ρ : (בכיוון רדיאלי)

$$E = \begin{cases} \frac{\pi k \rho r}{r}, & r < R \\ \frac{2\pi R^2 \rho}{r}, & r > R \end{cases}$$

השדה של מישור אינסופי:

$$E = 2\pi k \sigma$$

כאשר σ היא צפיפות המטען

ליחידת שטח במישור ($\sigma = \frac{Q}{S}$).

כיוון השדה במאונך למישור (החוץ/הפנים עבור מטען חיובי/שלילי).

השדה של שני מישורים

אינסופיים עם צפיפות הפוכה

הוא $4\pi k \sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ

$$E = 4\pi k \sigma$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

מוליכים:

- המטענים בתוך מוליך חופשיים לזוז.
- במצב סטטי (ללא זרם או תנועת מטען) השדה (או הכוח) בתוך המוליך מתאפס.
- על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.
- במצב סטטי, המטען הכולל בכל נקודה בתוך המוליך הוא אפס למעט על השפה.
- הפוטנציאל במוליך אחיד (קבוע).
- הארקה:** חיבור לקרקע, מאפשרת את הפוטנציאל.
- שיטות לחישוב פוטנציאל:**
- 1. אם ניתן לחשב את השדה (בד"כ עם חוק גאוס) או אם השדה נתון, נעשה אינטגרל לא מסוים על השדה בכל תחום ונוסיף קבוע. את הקבועים מוציאים על ידי תנאי הרציפות של הפוטנציאל וכיוול (בחירת נק' האפס).
- 2. חלוקת הגוף לחתיכות קטנות, חישוב הפוטנציאל של כל חתיכה כמו גוף נקודתי $d\varphi = \frac{k dq}{r}$ וסכימיה. (הסבר על dq בחוק קולון)

GOOL

דיפול חשמלי

דיפול חשמלי הוא זוג מטענים בעלי מטען זהה וסימון הפוך הנמצאים במרחק d זה מזה.
מומנט הדיפול:
כיוונו מהמטען השלילי לחיובי.

הפוטנציאל שיוצר דיפול במרחק גדול $r \gg d$:

$$\varphi = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r})}{r^3} = \frac{k(\vec{p} \cdot \hat{r})}{r^2}$$

$$\vec{E} = \frac{k[3(\vec{p} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{p}]}{r^3}$$

השדה של דיפול במרחק גדול:

GOOL

חומרים דיאלקטרים

- חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)
- בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.

השדה השקול בתוך החומר (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה):

$\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$ - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר. $\vec{E}_0$ - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר). ϵ_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.
לפעמים נתון **המקדם הדיאלקטרי** (הלא יחסי) והקשר הוא: $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \frac{c^2}{N \cdot m^2}$ הוא המקדם הדיאלקטרי של הריק

GOOL

חיבור נגדים במעגל

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא הצד שבו הזרם נכנס לנגד.
חיבור נגדים בטור:
חיבור בטור נעשה כאשר **הזרם** בנגדים זהה

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ - המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים

$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$ **חיבור נגדים במקביל:**

- חיבור בטור נעשה כאשר **המתח** בנגדים זהה

$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$ - הזרם בנגד השקול שווה לסכום הזרמים

$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ **הספק המעגל** הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).

GOOL

חוקי קירכהוף

- מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.
 - 1. סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכם הזרמים שיוצאים מהצומת.
 - 2. סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס.
- נעשה לולאות מתחים עד אשר נעבור על כל הרכיבים במעגל. נוסיף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצא את הזרמים.

GOOL

נצילות במעגל החשמלי

נצילות: $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$
- נצילות המעגל.
- P_{out} - ההספק המופק/מוצל ברכיבים השימושיים במעגל
- P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

GOOL

קבלים

קבל הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען. קיבול הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא.
הנוסחה הבסיסית של קבל (הגדרת הקיבול): $C = \frac{Q}{V}$
- הקיבול של הרכיב. V - המתח בין שני החלקים.

Q - המטען על הלוח החיובי.

- יחידות הקיבול הן Farad: $1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}}$
- **סוגי קבלים נפוצים:** קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי.
בד"כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות).

הקיבול של קבל לוחות: $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$
- A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.

- **תכונת הקיבול:** **הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי** (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו) לכן הוא תמיד קבוע במעגל (אלא אם משנים את המבנה).
סימון הקבל במעגל: $\text{---}||\text{---}$

לאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נתק במעגל: כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפוך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא יזרום זרם דרך הקבל. והקבל מתנהג כמו נתק במעגל.

חיבור קבלים במקביל: $C_T = C_1 + C_2$
התנאי לחיבור במקביל הוא שהמתח על הקבלים זהה (וזה גם המתח על הקבל השקול)
חיבור קבלים בטור: $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
התנאי לחיבור בטור הוא שהמטען על כל הקבלים זהה (וזה גם המטען של הקבל השקול).

- המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים

אנרגיה האגורה בקבל: $U_c = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$
העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$W = QV = 2U_c$
חומרים דיאלקטרים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטנה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.

קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = \epsilon_r C_0$
- במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד, ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר.
חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.
טעינה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:

$$V_c(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$q_c(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

V_0 - המתח של הסוללה
 R - התנגדות המעגל

הזרם כתלות בזמן:

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

פריקה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:

$$V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q_c(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי $Q_0 = CV_0$)

- הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה.
זמן אופייני: $\tau = RC$, נהוג להגיד שלאחר זמן 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

GOOL

הכוח המגנטי - חוק לורנץ

חוק לורנץ - הכוח המגנטי: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$
ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.
- דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).
- דרך גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא: $F_B = qvB \sin \alpha$
כאשר α היא הזווית בין המהירות לשדה. וכיוון לפי כלל יד ימין:

- שימו לב שאתם עם **יד ימין!**
- כיוון הכוח הוא עבור **מטען חיובי** (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).
- לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדיף לעשות קודם אקדה).

תנועה בשדה אחיד: מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:

$R = \frac{mv}{qB}$
אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

$$R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

$v \cos \alpha$ היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.
עבודת הכוח המגנטי: תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

GOOL הכוח המגנטי על תיל נושא זרם

הכוח הפועל על חתיכת תיל קטנה באורך dl עם זרם I
הנמצאת בשדה מגנטי B הוא: $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$
- אם **התיל ישר בשדה אחיד** אז גודל הכוח הוא: $F = BIL \sin \alpha$

את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה- dl) מחליף את המהירות.
- הכוח על לולאה סגורה בשדה אחיד מתאפס.
- הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה לכוח הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

GOOL חוק אמפר - המשך השדה המגנטי

חוק אמפר: $\Sigma B_{||i} \Delta L_i = \mu_0 I_{in}$
- $\Sigma B_{||i} \Delta L_i$ - הוא סכום לאורך מסלול סגור על הרכיב המקביל למסלול של השדה המגנטי. בד"כ נעבוד במקרים סימטריים בהם הרכיב המקביל יהיה אחיד לאורך קטעים מהמסלול והחישוב יהיה פשוט לכפול את השדה באורך הקטעים.

- I_{in} - סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול. **המקרים של חוק אמפר:**
- 1. **תיל/גליל אינסופי** (עם זרם בכיוון ציר הסימטריה). נבחר לולאה בצורת עיגול ברדיוס r ו- $B \cdot 2\pi r$ $\Sigma B_{||i} \Delta L_i = B \cdot 2\pi r$
- 2. **סליל/גליל** (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $B \cdot l$ $\Sigma B_{||i} \Delta L_i = B \cdot l$
- 3. **מישור אינסופי** נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $B \cdot 2l$ $\Sigma B_{||i} \Delta L_i = B \cdot 2l$

GOOL

אפקט הזול

בפועל רק אלקטרונים זזים במוליך כשיש זרם. כתוצאה מהתנועה הזו הם מרגישים כוח (אם יש שדה מגנטי) שדוחף אותם לדופן המוליך ונוצרת הפרדת מטענים הגורמת לשדה חשמלי לרוחב המוליך. בשיווי משקל הכוח החשמלי שווה למגנטי. מהשוויון ניתן לחשב את השדה החשמלי ו- **המתח הנוצר לרוחב המוליך:** $V = \frac{IdB_{\perp}}{nqA} = \frac{2IB_{\perp}}{nqnR}$

V - המתח בין הקצוות של המוליך שמאונכות לכיוון הזרם וכיוון השדה המגנטי. I - הזרם במוליך.
 $B_{\perp}$ - הרכיב של השדה המגנטי שמאונך לזרם.
 n - מספר האלקטרונים ליחידת נפח במוליך.
 q - מטען האלקטרון. d - הרוחב של המוליך שמצדדיו נמדד המתח. A - שטח החתך של המוליך (מאונך לזרם)
השוויון השני למקרה של מוליך גלילי, R רדיוס הגליל.
מומנט דיפול מגנטי

דיפול מגנטי הוא לולאה זרם סגורה.
מומנט הדיפול המגנטי ($\vec{\mu}$ לפעמים מסומן ב- $\vec{m}$): $\vec{\mu} = I \vec{A}$

I - הזרם בלולאה. $\vec{A}$ - השטח הסגור על-ידי הלולאה.
כיוונו במאונך למשטח ובהתאם לכלל יד ימין של הזרם.
השדה שיוצר דיפול מגנטי במרחק הגדול בהרבה מממדי

הדיפול: $\vec{B} = \frac{\mu_0 [3(\vec{\mu} \cdot \hat{r})\hat{r} - \vec{\mu}]}{4\pi r^3}$
מומנט כוח שפועל על דיפול מגנטי הנמצא בשדה מגנטי

חיצוני: $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$
האנרגיה הפוטנציאלית של דיפול מגנטי בשדה מגנטי

חיצוני: $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$
חוק פארדי והשראות

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: $\epsilon = BLv \sin \alpha$
כאשר v היא מהירות המוט, L האורך שלו ו- α היא הזווית בין המהירות לשדה.
כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

חוק פארדי: $\epsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$
חוק פארדי: $\phi_B = \Sigma B_{\perp} \cdot \Delta S = B_{\perp} \cdot S$

השוויון השני נכון אם $B_{\perp}$ אחיד בכל השטח.
הכאמ מתנהג כמו מקור מתח במעגל.
בד"כ נמצא באמצעות החוק רק את גודל הכאמ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה: $P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$
כאשר v היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות