

01.02.04 אנרגיה פוטנציאלית

$$U = \frac{Kq_1q_2}{r} = q_1V_2 = q_2V_1$$

01.03 3. עקרון הסופרפוזיציה

01.03.01 שדה

$$\vec{E}_{tot} = \sum_i \vec{E}_i = \sum_i \frac{Kq_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

01.03.02 פוטנציאל (סקלר - קל יותר!)

$$V_{tot} = \sum_i V_i = \sum_i \frac{Kq_i}{r_i}$$

01.03.03 הבדל חשוב: שדה מול פוטנציאל

פוטנציאל V	שדה E	מצב
$V = \frac{2Kq}{a} \neq 0$	$\vec{E} = 0$ (מתקזזים)	שני מטענים שווים $+q, +q$ (באמצע)
$V = 0$ (מתקזזים)	$\vec{E} \neq 0$ (מתחברים)	דיפול $+q, -q$ (באמצע)

01.03.04 טריק המשושה

6 מטענים זהים בקודקודי משושה ← שדה אפס במרכז (סימטריה). 5.
מטענים (חסר אחד) ← השדה כאילו יש מטען $+Q$ יחיד בקודקוד החסר:

$$E = \frac{KQ}{a^2}$$

01.04 4. חוק גאוס - חשמלי

01.04.01 הנוסחה

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

01.04.02 מתי מתאים? רק עם סימטריה מתאימה

A	משטח גאוס	סימטריה
$4\pi r^2$	כדור	כדורית (מטען/כדור)
$2\pi rL$	גליל	גלילית (תיל/גליל)
$2A$	"קופסה" (pillbox)	מישורית (לוח)

01.04.03 שיטה

- זהה סימטריה
- בחר משטח גאוס שעליו E קבוע (או אפס)
- חשב Q_{enc} - רק המטען בתוך המשטח!
- פתור עבור E

מדובר בהמשך לדף הנוסחאות הראשון - הפעם עם דגש על חשמל ומגנטיות (אלקטרוסטטיקה, מגנטוסטטיקה, אינדוקציה, חוק אמפר, חוק גאוס, משוואות מקסוול ועוד). דף זה כולל גם טיפים לפתרון מהיר ושגיאות נפוצות.

תוכן עניינים:

- חלק א': אלקטרוסטטיקה
- חלק ב': מגנטיות
- חלק ג': אינדוקציה וכא"מ
- חלק ד': חוק אוהם ומעגלים
- חלק ה': משוואות מקסוול וגלים
- חלק ו': כלים מתמטיים
- חלק ז': יחידות וקבועים
- חלק ח': טיפים ושגיאות נפוצות

01 חלק א': אלקטרוסטטיקה

01.01 1. צפיפויות מטען

סוג	סימון	יחידות	dq
קווית (חוט/מוט)	λ	C/m	$dq = \lambda dl$
משטחית (לוח/קליפה)	σ	C/m ²	$dq = \sigma dA$
נפחית (כדור/גליל)	ρ	C/m ³	$dq = \rho dV$

01.01.01 מטען כולל מאינטגרציה

$$Q = \int \rho dV = \int \sigma dA = \int \lambda dl$$

01.01.02 דוגמה - כדור אחיד

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

01.01.03 דוגמה - כדור עם חלל פנימי ($R_1 < r < R_2$)

$$\rho = \frac{3Q}{4\pi(R_2^3 - R_1^3)}$$

01.02 2. חוק קולון

01.02.01 כוח בין שני מטענים

$$\vec{F} = \frac{Kq_1q_2}{r^2} \hat{r}$$

כאשר $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$

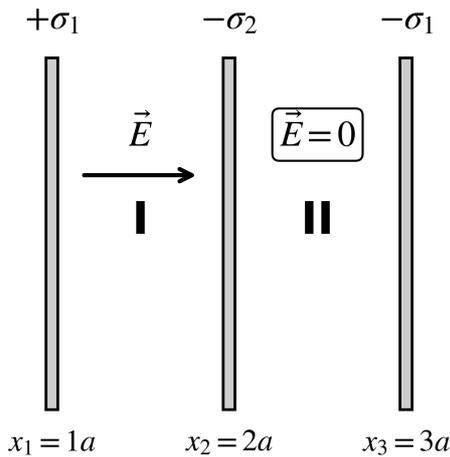
01.02.02 שדה חשמלי ממטען נקודתי

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

01.02.03 פוטנציאל ממטען נקודתי

$$V = \frac{KQ}{r}$$

שלושה לוחות אינסופיים



$$E_{plate} = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0} \quad ; \quad E = 0 \Rightarrow \sigma_2 = 2\sigma_1$$

$$\frac{1}{2}m_p v^2 = q_p E \cdot a$$

01.09.02 הפרש פוטנציאלים בין לוחות

$$\Delta V = E \cdot d$$

01.10 טבעת טעונה - שדה ופוטנציאל על הציר

01.10.01 שדה

$$E_z = \frac{KQz}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

01.10.02 פוטנציאל

$$V = \frac{KQ}{\sqrt{R^2 + z^2}}$$

01.10.03 מקסימום שדה ב- $z = \frac{R}{\sqrt{2}}$

01.10.04 טבעת עם $\lambda(\theta) = \lambda_0 \cos \theta$

$$V = \frac{K}{R} \int_0^{2\pi} \lambda_0 \cos \theta \cdot R d\theta = 0$$

כי $\int_0^{2\pi} \cos \theta d\theta = 0$ (מחזור שלם).

01.11 חצי טבעת - שדה בראשית

צפיפות: $\lambda = \frac{Q}{\pi R}$

מסימטריה: רכיב אחד שורד (ניצב למישור הסימטריה).

$$E_x = \int \frac{K dq}{R^2} \cos \theta = \frac{K\lambda}{R} \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \cos \theta d\theta$$

$$= \frac{K\lambda}{R} \cdot (-2) = -\frac{2KQ}{\pi R^2}$$

01.05 5. דעיכת שדה - גיאומטריות שונות

מקור	$E(r)$	דעיכה
מטען נקודתי / כדור (מחוץ)	$\frac{KQ}{r^2}$	$\propto \frac{1}{r^2}$
קו / גליל (מחוץ)	$\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$	$\propto \frac{1}{r}$
לוח אינסופי	$\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$	קבוע
כדור מלא (בפנים)	$\frac{KQr}{R^3}$	$\propto r$

01.06 6. כדור מלא טעון אחיד

01.06.01 שדה חשמלי

$$r < R: E = \frac{KQr}{R^3}$$

$$r > R: E = \frac{KQ}{r^2}$$

01.06.02 מקסימום: ב- $r = R$

01.07 7. קליפה כדורית

01.07.01 שדה

$$r < R: E = 0$$

$$r > R: E = \frac{KQ}{r^2}$$

01.07.02 פוטנציאל

$$r < R: V = \frac{KQ}{R} \quad (\text{constant!})$$

$$r > R: V = \frac{KQ}{r}$$

01.08 8. גליל עם חור - סופרפוזיציה

גליל אחיד ρ עם חור בהיסט \vec{d} .

$$\vec{E}_{total} = \vec{E}_{full} + \vec{E}_{hole}$$

01.08.01 בתוך החור: שדה אחיד!

$$\vec{E} = \frac{\rho \vec{d}}{2\epsilon_0}$$

01.09 9. לוח אינסופי

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0}$$

01.09.01 סופרפוזיציה - שלושה לוחות

חבר את התרומה מכל לוח בכל אזור בנפרד. אם $E = 0$ באזור מסוים ← מצא יחס בין σ -ים.

$$V(a < r < b) = - \int_b^r \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{b}{r}$$

חשוב: לא לאינטגרל ישר מאינסוף! פרק לאזורים.

01.17 **17. כדור חלול ($R_1 < r < R_2$), ρ אחיד)**

01.17.01 **מטען כלוא ב- r ($R_1 < r < R_2$)**

$$Q_{enc}(r) = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi(r^3 - R_1^3) = Q \cdot \frac{r^3 - R_1^3}{R_2^3 - R_1^3}$$

01.17.02 **שדה**

$$E(R_1 < r < R_2) = \frac{KQ(r^3 - R_1^3)}{r^2(R_2^3 - R_1^3)}$$

$$E(r > R_2) = \frac{KQ}{r^2}$$

$$E(r < R_1) = 0$$

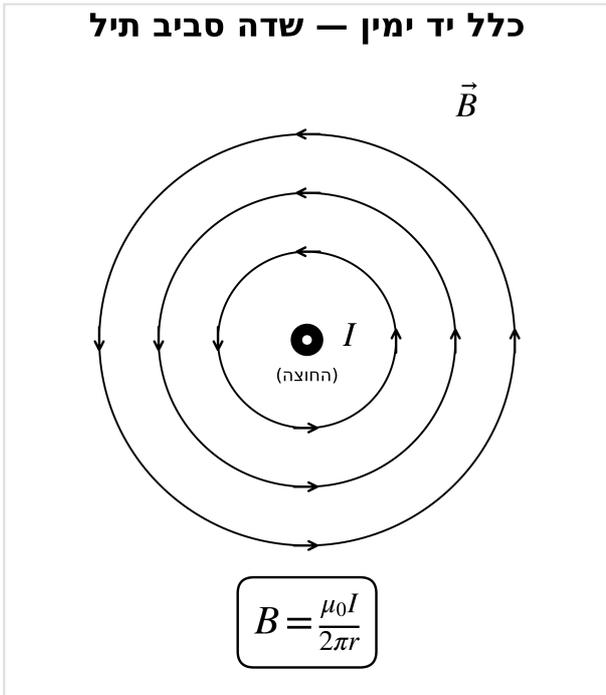
02 **חלק ב': מגנטיות**

02.01 **18. שדה מגנטי מתיל ישר ארוך**

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

02.01.01 **כלל יד ימין**

אגודל בכיוון הזרם ← האצבעות מצביעות בכיוון קווי השדה (מעגליים סביב התיל).



02.02 **19. כוחות בין תיילים מקבילים**

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

• אותו כיוון ← משיכה

01.12 **12. מוט ישר - שדה על צירו**

מוט באורך L , צפיפות λ , קצה עליון בראשית. שדה בנקודה $y > 0$:

מרחק מאלמנט ב- y' (שלילי) לנקודה ב- y : $r = y - y'$

$$E = K\lambda \int_{-L}^0 \frac{dy'}{(y - y')^2} = K\lambda \left[\frac{1}{y} - \frac{1}{y + L} \right]$$

01.13 **13. מוליכים בשיווי משקל**

01.13.01 **תכונות**

א. שדה בפנים: $\vec{E} = 0$

ב. פוטנציאל: קבוע בכל המוליך

ג. מטען: על פני השטח בלבד

ד. שדה ליד השטח: $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ (ניצב למשטח)

01.14 **14. קליפות קונצנטריות**

01.14.01 **פוטנציאל על קליפה - סופרפוזיציה**

כל מטען בתוך הקליפה תורם $\frac{Kq}{R_{shell}}$

כל מטען מחוץ לקליפה תורם $\frac{Kq}{r_{charge}}$

01.14.02 **דוגמה - שלוש קליפות ($R_1 < R_2 < R_3$)**

פוטנציאל על הפנימית:

$$V(R_1) = \frac{KQ_1}{R_1} + \frac{KQ_2}{R_2} + \frac{KQ_3}{R_3}$$

01.14.03 **הארקה**

כשמאריקים מוליך ← $V = 0$. מטען זורם מאל האדמה עד שזה קורה.

חשוב: מטען מושרה על צד פנימי של קליפה לא נשפע מהארקה!

01.14.04 **דוגמה - קליפה עם מטען Q ומטען q בחלל פנימי**

פני שטח פנימיים: $-q$ (מושרה), חיזוניים: $Q + q$

אחרי הארקה: האדמה מוציאה $q + Q$ מהחיזוני, נשאר $-q$ בפנים ו-0 בחוץ.

01.15 **15. שימור אנרגיה**

$$K_A + U_A = K_B + U_B$$

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + qV_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + qV_B$$

01.15.01 **עבודה**

$$W = q\Delta V = q(V_f - V_i)$$

01.16 **16. גלילים קואקסיאליים**

01.16.01 **שלושה אזורים**

אזור	E
$r < a$ (בתוך פנימי)	0
$a < r < b$ (ביניהם)	$\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$
$r > b$ (בחוץ)	0 (אם סך מטען = 0)

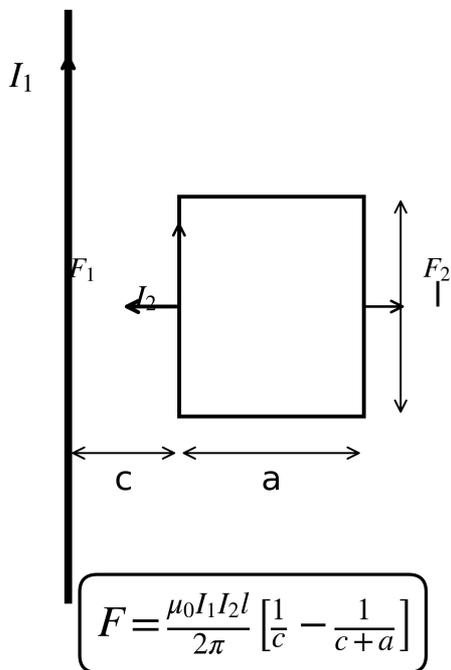
מכפלה	תוצאה
$\hat{x} \times \hat{y}$	$+\hat{z}$
$\hat{y} \times \hat{z}$	$+\hat{x}$
$\hat{z} \times \hat{x}$	$+\hat{y}$
$\hat{y} \times \hat{x}$	$-\hat{z}$
$\hat{a} \times \hat{a}$	0

02.06 23. מסגרת מלבנית ליד תיל ישר

$$F_{net} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi} \left[\frac{1}{c} - \frac{1}{c+a} \right]$$

צלעות מקבילות לתיל: כוחות לא שווים (מרחקים שונים).
צלעות מאונכות: מתקזזים (סימטריה).

מסגרת מלבנית ליד תיל ישר



02.07 24. חוק אמפר

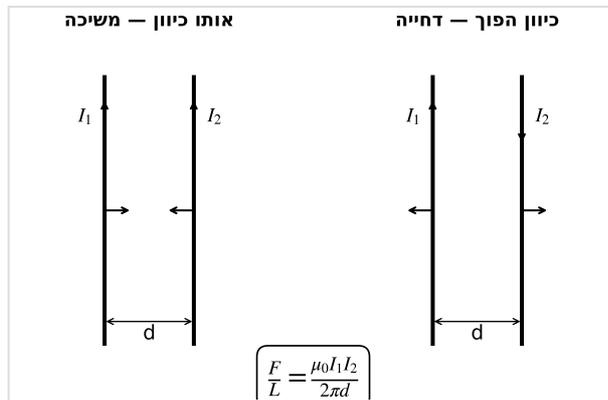
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc}$$

02.07.01 שדה בתוך תיל ($r < R$, צפיפות אחידה)

$$B(r) = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} \quad (\propto r)$$

02.07.02 שדה מחוץ לתיל ($r > R$)

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\propto 1/r)$$



02.02.01 שלושה תיילים - שיווי משקל

I_B מצטמצם! מיקום שיווי משקל:

$$\frac{I_A}{x} = \frac{I_C}{d-x}$$

02.03 20. סופרפוזיציה של שדות - שני תיילים

02.03.01 בין התיילים (זרמים באותו כיוון, $-a < x < a$)

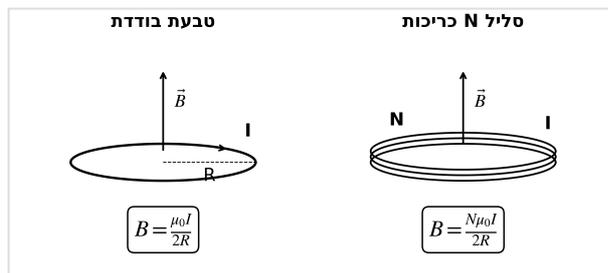
$$B(x) = \frac{\mu_0 I}{\pi} \cdot \frac{x}{a^2 - x^2}$$

02.03.02 שיטה

- א. מרחק מכל תייל
- ב. כיוון שדה מכל תייל (יד ימין)
- ג. חבר/חסר וקטורית
- ד. מכנה משותף: $(a+x)(a-x) = a^2 - x^2$

02.04 21. שדה במרכז טבעת / סליל

מקור	B במרכז
טבעת בודדת	$\frac{\mu_0 I}{2R}$
סליל N כריכות	$\frac{N\mu_0 I}{2R}$



02.05 22. כוח על מוליך נושא זרם

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

02.05.01 מכפלה וקטורית - כלל מעגלי

$$\hat{x} \rightarrow \hat{y} \rightarrow \hat{z} \rightarrow \hat{x}$$

כוח לורנץ

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

תנועה מעגלית

$r = \frac{mv}{qB} \quad T = \frac{2\pi m}{qB}$

תכונות חשובות 02.10.03

- שדה מגנטי לא עושה עבודה ($\vec{F} \perp \vec{v}$)
- אנרגיה קינטית לא משתנה, רק הכיוון
- T לא תלוי במהירות!

תנועה הליקלית 02.11

$$v_{\parallel} = v \cos \theta, \quad v_{\perp} = v \sin \theta$$

מרווח פסיעה (Pitch) 02.11.01

$$p = v_{\parallel} \cdot T = \frac{2\pi m v \cos \theta}{qB}$$

בורר מהירויות 02.12

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

לא תלוי במסה או במטען!

בורר מהירויות

$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$

הפרדת איזוטופים (אחרי בורר מהירויות) 02.12.01

$$\Delta r = \frac{v}{qB} (m_1 - m_2)$$

חוק אמפר – תיל מלא

$r < R: B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}$
 $r > R: B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

B(r)

02.08 25 טורואיד

$$B(r) = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$$

רק בתוך הטורואיד ($R \leq r \leq R + b$). מחוצה לו: $B = 0$.

טורואיד

$B = 0$

$B(r) = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$

בלבד $R \leq r \leq R + b$

02.09 26 צפיפות זרם מגליל מסתובב

$$\vec{J} = \rho(r) \cdot \vec{v}(r) = \rho(r) \cdot \omega r \hat{\theta}$$

ה- r מצטמצם כשמציבים $\rho \propto 1/r$!

02.10 27 כוח לורנץ

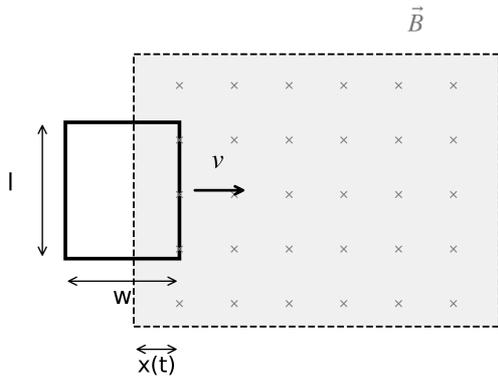
02.10.01 כוח

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

02.10.02 תנועה מעגלית

$$r = \frac{mv}{qB}, \quad T = \frac{2\pi m}{qB}, \quad f = \frac{qB}{2\pi m}$$

חוק פאראדיי – כא"מ מושרה



$$\Phi_B = B \cdot l \cdot x(t)$$

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

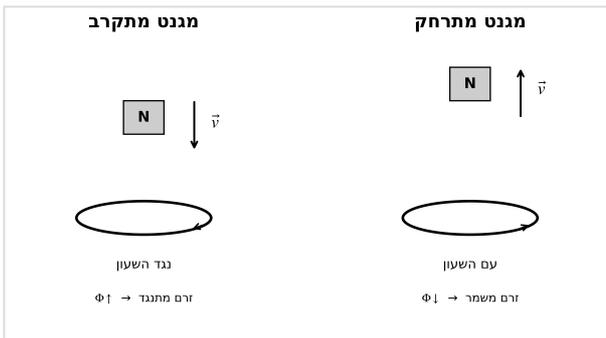
שטף מגנטי 03.01.01

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA \cos \theta$$

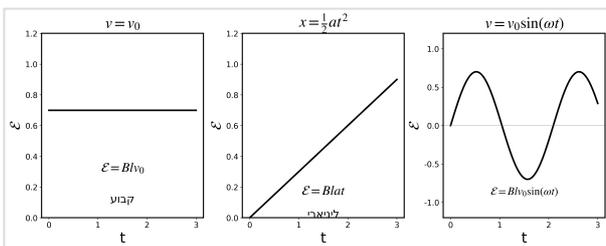
חוק לנץ 03.01.02

הזרם המושרה מתנגד לשינוי בשטף:

- שטף גדל ← זרם יוצר שדה נגדי
- שטף קטן ← זרם יוצר שדה באותו כיוון



03.02.32. כא"מ - מקרים שכיחים



03.02.01 מסגרת נכנסת במהירות קבועה v_0

$$\mathcal{E} = Blv_0 \quad (\text{constant})$$

03.02.02 מסגרת נכנסת בתאוצה a

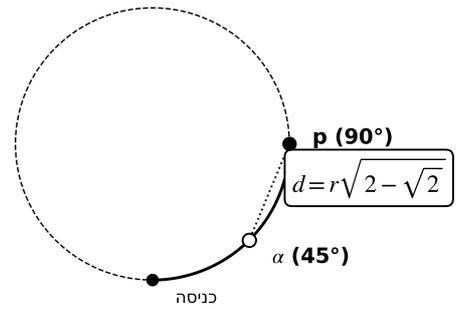
$$\mathcal{E}(t) = Blat \quad (\text{linear in time})$$

03.02.03 מוט על מסילה עם $v(t) = v_0 \sin(\omega t)$

$$\mathcal{E} = Blv_0 \sin(\omega t)$$

קיצור: $\mathcal{E} = Bl \frac{dx}{dt} = Blv(t)$ אם נתון $v(t)$, אין צורך ב- $x(t)$!

פרוטון מול אלפא – אותו רדיוס!



גודל	פרוטון	אלפא	יחס
מסה	m_p	$4m_p$	$\times 4$
מטען	q_p	$2q_p$	$\times 2$
מהירות	v_p	$v_p/2$	$\times 1/2$
רדיוס	r	r	שווה!
מחזור	T	$2T$	$\times 2$

02.13.30. פרוטון מול אלפא - השוואה

גודל	פרוטון	אלפא	יחס
מסה	m_p	$4m_p$	$4\times$
מטען	q_p	$2q_p$	$2\times$
מהירות (אותו E_k)	v_p	$v_p/2$	$1/2\times$
רדיוס	r	r	שווים!
מחזור	T	$2T$	$2\times$

02.13.01 מיקום על המעגל

כניסה ב- $(0, 0)$ בכיוון \hat{x} , מרכז ב- $(0, r)$:

$$x(\theta) = r \sin \theta, \quad z(\theta) = r(1 - \cos \theta)$$

02.13.02 מרחק אחרי זוויות שונות

$$d = r\sqrt{2} - \sqrt{2} \quad (\text{proton } 90^\circ \text{ and alpha } 45^\circ)$$

03 חלק ג': אינדוקציה וכא"מ

03.01.31 חוק פאראדיי - כא"מ מושרה

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

03.06 36. מסגרת על ציר - איזון מומנטים

כוח על צלע קצרה: $F = idB$

צלעות ארוכות ($\vec{L} \parallel \vec{B}$): $F = 0$

$$\tau_{mg} = \tau_{mag} \Rightarrow m^*g \cdot l = 2F \cdot l$$

גזירה בלייבניץ:

$$\mathcal{E} = Blat \cos(\omega t) - \frac{1}{2}Blawt^2 \sin(\omega t)$$

03.03 33. מסגרת מסתובבת בשדה משתנה

$$\vec{B}(t) = B_0 \sin(\omega t), \quad \theta(t) = \omega t$$

$$\Phi = a^2 B_0 \sin(\omega t) \cos(\omega t) = \frac{a^2 B_0}{2} \sin(2\omega t)$$

$$\mathcal{E} = -\omega a^2 B_0 \cos(2\omega t)$$

03.03.01 זהות טריגונומטרית חיונית

$$\sin \alpha \cos \alpha = \frac{1}{2} \sin(2\alpha)$$

03.04 34. מסגרת נופלת בשדה מגנטי

$$\mathcal{E} = Bwv, \quad i = \frac{Bwv}{R}, \quad F_{mag} = \frac{B^2 w^2 v}{R}$$

03.04.01 משוואת תנועה (ניוטון)

$$mg - \frac{B^2 w^2}{R} v = m\dot{v}$$

04 חלק ד': חוק אוהם ומעגלים

04.01 37. חוק אוהם

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

כאשר σ = מוליכות סגולית.

04.01.02 צורה מקרוסקופית

$$\mathcal{E} = IR$$

04.01.03 התנגדות

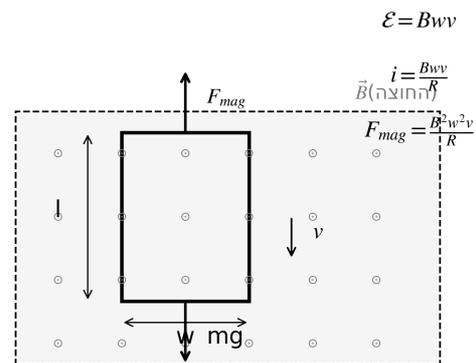
$$R = \frac{\ell}{\sigma A}$$

כאשר ℓ = אורך, A = שטח חתך.

04.01.04 צפיפות זרם וזרם

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{A} = ja$$

מסגרת נופלת בשדה מגנטי



$$mg - \frac{B^2 w^2}{R} v = m\dot{v}$$

03.05 35. שטף דרך טורואיד (חתך מלבני)

$$\Phi_B = \frac{a\mu_0 NI}{2\pi} \ln\left(\frac{R+b}{R}\right)$$

03.05.01 כא"מ מושרה (עם N_2 כריכות ו- ωt)

$$\mathcal{E} = -\frac{N_2 a \mu_0 N \omega I_0}{2\pi} \ln\left(\frac{R+b}{R}\right) \cos(\omega t)$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

זהויות ווקטוריות חשובות 05.03.03

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = 0$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \phi) = 0$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B}$$

חלק ו': כלים מתמטיים 06

41. אינטגרלים שימושיים 06.01

$$\int e^{-z/a} dz = -ae^{-z/a}$$

$$\int_0^\infty e^{-z/a} dz = a$$

$$\int_0^\infty ze^{-z/a} dz = a^2$$

$$\int \frac{1}{r} dr = \ln|r|$$

$$\int r^n dr = \frac{r^{n+1}}{n+1} \quad (n \neq -1)$$

$$\int \sin(kx) dx = -\frac{1}{k} \cos(kx)$$

$$\int \cos(kx) dx = \frac{1}{k} \sin(kx)$$

$$\int_0^{2\pi} \cos \theta d\theta = 0$$

$$\int_0^{2\pi} \sin \theta d\theta = 0$$

$$\int_0^\pi \sin \theta d\theta = 2$$

$$\int_{\pi/2}^{3\pi/2} \cos \theta d\theta = -2$$

$$\int \frac{dr}{r^2} = -\frac{1}{r}$$

$$\int x dx = \frac{x^2}{2}$$

38. משוואות מקסוול 05.01

צורה דיפרנציאלית 05.01.01

משוואה	נוסחה	שם
1	$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$	חוק גאוס
2	$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	חוק אמפר (מוכלל)
3	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	אין מונופולים
4	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	חוק פאראדיי

צורה אינטגרלית 05.01.02

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q_{enc}$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{enc} + \frac{d}{dt} \int \vec{D} \cdot d\vec{A}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

יחסי חומר (בוואקום) 05.01.03

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

39. משוואת הגלים 05.02

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

מהירות האור 05.02.01

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

פתרון גלי 05.02.02

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \phi_0)$$

$$\vec{B} = \frac{1}{\omega} \vec{k} \times \vec{E}$$

$$v = \frac{\omega}{k}, \quad k^2 = \frac{\omega^2}{c^2}$$

40. פוטנציאלים 05.03

פוטנציאל מגנטי 05.03.01

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

$$\frac{d}{dt} \sin(\omega t) = \omega \cos(\omega t)$$

$$\frac{d}{dt} \cos(\omega t) = -\omega \sin(\omega t)$$

$$\frac{d}{dt} e^{-\alpha t} = -\alpha e^{-\alpha t}$$

$$\frac{d}{dt} \ln(t) = \frac{1}{t}$$

$$\frac{d}{dt} t^n = n t^{n-1}$$

06.02.01 כלל המכפלה (לייבניץ)

$$\frac{d}{dt} [f(t) \cdot g(t)] = f'(t)g(t) + f(t)g'(t)$$

06.02.02 כלל השרשרת

$$\frac{d}{dx} f(g(x)) = f'(g(x)) \cdot g'(x)$$

06.02.03 כלל המנה

$$\frac{d}{dx} \frac{f}{g} = \frac{f'g - fg'}{g^2}$$

06.03 43. זהויות טריגונומטריות

$$\sin \alpha \cos \alpha = \frac{1}{2} \sin(2\alpha)$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\cos(2\alpha) = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

06.04 44. אלמנטי נפח ושטח

06.04.01 קרטזי

$$dV = dx dy dz$$

06.04.02 כדורי

$$dV = r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$$

$$dA = R^2 \sin \theta d\theta d\phi \quad (\text{on a sphere})$$

06.04.03 גלילי

$$dV = r dr d\theta dz$$

$$dA = r d\theta dz \quad (\text{side of a cylinder})$$

06.05 45. קואורדינטות

06.05.01 גליליות ← קרטזיות

$$x = r \cos \theta, \quad y = r \sin \theta$$

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

06.05.02 כדוריות ← קרטזיות

$$x = r \sin \theta \cos \phi, \quad y = r \sin \theta \sin \phi, \quad z = r \cos \theta$$

07 חלק ז': יחידות וקבועים

07.01 46. SI יחידות

גודל	סימון	יחידה
מטען	q, Q	קולון (C)
זרם	I	אמפר (A = C/s)
שדה חשמלי	\vec{E}	וולט/מטר (V/m = N/C)
שדה מגנטי	\vec{B}	טסלה (T = kg/(A · s ²))
פוטנציאל	V	וולט (V = J/C)
שטף מגנטי	Φ_B	וובר (Wb = T · m ²)
כא"מ	\mathcal{E}	וולט (V)
התנגדות	R	אוהם (Ω = V/A)
קיבול	C	פאראד (F = C/V)
כוח	\vec{F}	ניוטון (N = kg · m/s ²)
אנרגיה	U, W	ג'אול (J = N · m)

07.02 47. קבועים חשובים

קבוע	סימון	ערך	יחידות
חדירות הוואקום	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	T · m/A
חלחלות הוואקום	ϵ_0	8.85×10^{-12}	C ² /(N · m ²)
קבוע קולון	K	8.99×10^9	N · m ² /C ²
מטען אלמנטרי	e	1.6×10^{-19}	C
מסת פרוטון	m_p	1.67×10^{-27}	kg
מסת אלקטרון	m_e	9.1×10^{-31}	kg
מהירות האור	c	3×10^8	m/s

07.02.01 קשרים בין קבועים

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}, \quad \epsilon_0\mu_0 = \frac{1}{c^2}$$

מ-	ל-	כפול
cm	m	$\times 10^{-2}$
mm	m	$\times 10^{-3}$
$\mu\mathrm{C}$	C	$\times 10^{-6}$
nC	C	$\times 10^{-9}$
mA	A	$\times 10^{-3}$
eV	J	$\times 1.6 \times 10^{-19}$

08 חלק ח': טיפים ושגיאות נפוצות

08.01 49. טיפים כלליים לפתרון

- א. ציירו תרשים - תמיד! סמנו כיוונים, מרחקים, זוויות.
 ב. כלל יד ימין - לכל מקור שדה בנפרד.
 ג. סופרפוזיציה - קבעו כיוון לכל שדה, חברו וקטורית.
 ד. סימטריה - נצלו אותה (כוחות מתקזזים, שדה מתאפס).
 ה. יחידות - $\mathrm{cm} \rightarrow \mathrm{m}$ לפני הצבה!
 ו. בדקו מקרי קצה - $x = 0, r \rightarrow \infty, r \rightarrow 0$.
 ז. r מצטמצם - חפשו $\rho \propto 1/r$ עם $dV \propto r$.
 ח. שדה מגנטי לא עושה עבודה - E_k לא משתנה.
 ט. מספרים רק בסוף - איברים מצטמצמים.
 י. גאוס/אמפר - רק עם סימטריה! אחרת אינטגרל ישיר.

08.02 50. שגיאות נפוצות - היזהר

טיעות	תיקון
בלבול $V \propto 1/r$ עם $E \propto 1/r^2$	שדה דועך מהר יותר!
בלבול V (פוטנציאל) עם U (אנרגיה)	$U = qV$
שכחת מינוס ב- $\vec{E} = -\nabla V$	המינוס חיוני!
גאוס ללא סימטריה	אם אין סימטריה \leftarrow אינטגרל
Q_{enc} של כל המטען (במקום רק מה שבפנים)	רק המטען בתוך המשטח!
נפח כדור $4\pi R^2$ במקום $\frac{4}{3}\pi R^3$	$4\pi R^2$ = שטח פנים
שכחת ϵ_0 במכנה	$\Delta V = \frac{Q}{\epsilon_0} \cdot d$ לא $Q \cdot d$
אינטגרל מ- ∞ דרך כמה אזורים	פרקו לקטעים!
הארקה = מטען אפס	הארקה = פוטנציאל אפס
$\int_0^{2\pi} \cos \theta d\theta = 1$	0 (מחזור שלם)