

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.

כוּחַ גֶּרֶר וּכּוּחַ צִיפָה

GOOL
 $\vec{F} = -k\vec{v}$
כוּחַ גֶּרֶר הוּא כּוּחַ מֵהִירוֹת הַגּוֹף ו- k הוּא קִבּוּעַ כִּלְשֵׁהוּ.
כַּאֲשֶׁר $\vec{v}$ הִיא מֵהִירוֹת הַגּוֹף ו- k הוּא קִבּוּעַ כִּלְשֵׁהוּ.
מִשׁוּאוֹת תְּנוּעָה - מִשׁוּאוֹת הַכּוּלֵּלֶת אֶת x , v ו- a . בְּדֶרֶךְ מִגִּיעִים אֵלֶיהָ מִמִּשְׁוֹאוֹת הַכּוּחוֹת.
מֵהִירוֹת סוּפִית - הַמֵּהִירוֹת הַקְּבֻעָה שֶׁהוֹגֵף מִגִּיעַ אֵלֶיהָ לֵאחֹר זֶמֶן רֵב. (תִּאֲצוּעָה שׁוֹוֶה לֵאפֶס)
כוּחַ סְטוֹקְס - כּוּחַ גֶּרֶר שֶׁפּוֹעֵל עַל כִּדּוֹר בְּתוֹךְ נוֹזֵל:

$\vec{F}_v = -6\pi\eta R\vec{v}$ - η - צִמְיָאוֹת הַנוֹזֵל, R - רַדִּיוֹס הַכִּדּוֹר
כוּחַ צִיפָה: פּוֹעֵל עַל גּוֹף בְּנוֹזֵל. כּוֹיּוֹן הַפּוֹךְ לְכוּחַ הַכּוֹבֵד.
 $F_b = \rho_l Vg$

כַּאֲשֶׁר ρ_l הִיא צִפִּיּוֹת הַנוֹזֵל ו- V הוּא נֶפֶח הַגּוֹף.
דִּיפּוֹל חֲשֵׁמְלִי

דִּיפּוֹל חֲשֵׁמְלִי הוּא זֶג מִטְעָנִים בְּעֵלֵי מִטְעָן זֶהָ וְסִימּוֹן הַפּוֹךְ הַנִּמְצָאִים בְּמִרְחָק d זֶה מוֹת.
מוֹמֶנֶט הַדִּיפּוֹל: $\vec{p} = q\vec{d}$
כּוֹיּוֹן מֵהִמְטָעֵן הַשְּׁלִילִי לַחֲבִיבִי.

הַפּוֹטֶנְצִיָּאל שִׁיּוֹצֵר דִּיפּוֹל בְּמִרְחָק גָּדוֹל $r \gg d$:
 $\phi = \frac{k(\vec{p} \cdot \vec{r})}{r^3} = \frac{k(\vec{p} \cdot \hat{r})}{r^2}$
הַשְּׂדֵה שֶׁל דִּיפּוֹל בְּמִרְחָק גָּדוֹל:
מוֹמֶנֶט דִּיפּוֹל שֶׁל מַעֲרֶכֶת מִטְעָנִים:

$p_x = \sum x_i q_i = \int x dq$
מוֹמֶנֶט כּוּחַ הַפּוֹעֵל עַל דִּיפּוֹל הַנִּמְצָא בְּשֵׂדֵה חֲשֵׁמְלִי חִיצוֹנִי:
 $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

אֶנְרַגִּיָּה פּוֹטֶנְצִיָּאלִית שֶׁל דִּיפּוֹל בְּשֵׂדֵה חִיצוֹנִי:
 $U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$

כוּחַ הַפּוֹעֵל עַל דִּיפּוֹל הַנִּמְצָא בְּשֵׂדֵה חִיצוֹנִי:
 $\vec{F} = (\vec{p} \cdot \nabla) \cdot \vec{E} = -\nabla U$

הַשְּׁוִיוִן הָאֲחֵרוֹן נִכּוֹן רַק אִם הַשְּׂדֵה מִשְׁמֵר (שֵׂדֵה שְׁנוֹנֵר מִמְטְעִים) וּמוֹמֶנֶט הַדִּיפּוֹל אֶחָד (לֹא תִלּוֹי בְּקוֹאֲרִדִּינָטוֹת).

GOOL
אֶנְרַגִּיָּה הַדְּרוּשָׁה לְבִנְיַת מַעֲרֶכֶת

$U = \sum \frac{1}{2} \phi_i q_i = \int \frac{\epsilon_0}{2} E^2 dv$

- הַסְכּוֹם הוּא עַל כָּל הַמִּטְעָנִים כְּפּוֹל הַפּוֹטֶנְצִיָּאל שֶׁהֵם נִמְצָאִים בּוֹ.

בְּנוֹסָחָה עִם הָאֵינְטֵגְרָל עַל הַשְּׂדֵה אֶפְשֵׁר לְהַשְׁתַּמֵּשׁ רַק אִם אֵין מִטְעָנִים נִקְוֶדִיתִים אוֹ תִּפְלָגוֹת קוֹוִית

$\mu_E = \frac{\epsilon_0}{2} E^2$ נִקְרָאת צִפִּיּוֹת הָאֶנְרַגִּיָּה הַחֲשֵׁמְלִית

GOOL
חֹמֶרִים דִּיאֶלֶקְטְרִים

חֹמֶר דִּיאֶלֶקְטְרִי הוּא חֹמֶר שֶׁמְכִיל דִּיפּוֹלִים. בְּמִצַּע רִגִּיל כָּל דִּיפּוֹל לְכִיוּן שׁוֹנֵה וְהַשְּׂדֵה הַמְּמוּצֵעַ בְּחֹמֶר הוּא אֶפֶס. כְּשֶׁמְכַנְסִים אֶת הַחֹמֶר לְשֵׂדֵה חִיצוֹנִי הַדִּיפּוֹלִים מֵתִיַּשְׁרִים וְיוֹצֵרִים שֵׂדֵה מְנוּגָד לְשֵׂדֵה הַחִיצוֹנִי.

הַשְּׂדֵה בְּתוֹךְ חֹמֶר דִּיאֶלֶקְטְרִי לִינְאָרִי וְאֵיזוֹטְרופִי:
 $\vec{E} = \frac{\vec{E}_{free}}{\epsilon_r}$

$\vec{E}_{free}$ הוּא הַשְּׂדֵה שֶׁנוֹצֵר מִמִּטְעָנִים חוֹפְשִׁים/מִחוּץ לַחֹמֶר.

$\vec{E}$ הוּא הַשְּׂדֵה הַכּוֹלֵל בְּתוֹךְ הַחֹמֶר (מֵהִמְטְעָנִים הַחוּפְשִׁים וְהַדִּיפּוֹלִים שֶׁל הַחֹמֶר).

ϵ_r א - מִקְדָּם דִּיאֶלֶקְטְרִי שֶׁל הַחֹמֶר - תְּכוּנָה שֶׁל הַחֹמֶר בְּדִר"כ קְבֻעַ וְדוּעַ. $\epsilon_r > 1$ ו- $\epsilon_r \epsilon_0$

σ_{free} - צִפִּיּוֹת הַמִּטְעָן שִׁיּוֹצֵרֶת אֶת הַשְּׂדֵה הַחִיצוֹנִי:
 $\sigma_{free} = \epsilon_0 \Delta E_{free,1}$

$\sigma_T = \epsilon_0 \Delta E_{1,1}$ - צִפִּיּוֹת הַמִּטְעָן הַכּוֹלֵלֶת:
 σ_i - צִפִּיּוֹת מִטְעָן מוֹשֵׁרִית/קְשׁוּרָה: צִפִּיּוֹת מִטְעָן שֶׁנוֹצֵרֶת עַל שֵׁפֶת הַחֹמֶר הַדִּיאֶלֶקְטְרִי מֵהִקְטִיב שֶׁל הַדִּיפּוֹלִים.

$\sigma_i = \sigma_T - \sigma_{free}$
 $\vec{P}$ - וְקִטְרוֹר הַפּוֹלָרִיזָצִיָּה. צִפִּיּוֹת הַדִּיפּוֹלִים לִיחִידַת נֶפֶח:

$\vec{P} = N\vec{p}_1$
 $\vec{p}_1$ - מוֹמֶנֶט הַדִּיפּוֹל שֶׁל דִּיפּוֹל יָחִיד בְּחֹמֶר.

N - מִסְפַּר הַדִּיפּוֹלִים בִּיחִידַת נֶפֶח. יִחִידוֹת שֶׁל $\left[\frac{1}{m^3}\right]$.

מוֹמֶנֶט הַדִּיפּוֹל הַכּוֹלֵל בְּחֹמֶר:
 $\vec{p} = \int \vec{P} dv$

הַקֶּשֶׁר בֵּין $\vec{P}$ לַצִּפִּיּוֹת הַמוֹשֵׁרִית עַל הַשֻּׁפָּה:
 $\sigma_i \equiv \sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$

כַּאֲשֶׁר $\hat{n}$ הוּא וְקִטְרוֹר יִחִידָה הַמֵּאֻנָּךְ לְשֵׁפָה כִּלְפֵי חוּץ מֵהַגּוֹף.

אִם $\vec{P}$ לֹא אֶחָד אוֹ יֵשׁ גַּם צִפִּיּוֹת מִטְעָן מוֹשֵׁרִית נִפְחִית
 $\rho_i \equiv \rho_b = -\nabla \cdot \vec{P}$

וְקִטְרוֹר הַתֶּעֱקָה:
 $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

חֹק גָּאוֹס לַמִּטְעָן הַחוּפְשִׁי:
 $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_f \Leftrightarrow \oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q_{in,f}$

בְּחֹמֶרִים לִינְאָרִים (בְּדִר"כ בְּשֵׂאֻלוֹת):
 $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$

$= \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z}$
- בְּגִלְיוֹת:

$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial F_z}{\partial \theta} - \frac{\partial F_\theta}{\partial z} \right) \hat{r} + \left(\frac{\partial F_r}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial r} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (rF_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial F_r}{\partial \theta} \right) \hat{z}$
- בְּכִדּוּרִיּוֹת (*):

$\vec{\nabla} \times \vec{F} = \frac{1}{r \sin \varphi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} (F_\theta \sin \varphi) - \frac{\partial F_\varphi}{\partial \theta} \right) \hat{r} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} (rF_\varphi) - \frac{\partial F_r}{\partial \varphi} \right) \hat{\theta} + \frac{1}{r} \left(\frac{1}{\sin \varphi} \frac{\partial F_r}{\partial \theta} - \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot F_\theta) \right) \hat{\varphi}$

(*) שִׁימוּ לֵב שֶׁהַזֵּוֹיִת φ עִם צִיר ה- z וְהַזֵּוֹיִת θ עִם צִיר ה- x בְּמַעֲרֻכּוֹת צִירִים צָרִיךְ לְהִתְקַיֵּם:

$\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}$; $\hat{r} \times \hat{\theta} = \hat{\varphi}$; $\hat{r} \times \hat{\varphi} = -\hat{\theta}$; $\hat{\theta} \times \hat{\varphi} = -\hat{r}$
זֵהוֹיּוֹת כִּלְלִיּוֹת לַמִּכְפֵּלָה סְקָלָרִית וְקִטְרוֹרִית:

$\vec{A} \cdot (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B} \cdot (\vec{C} \times \vec{A}) = \vec{C} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$
 $\vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B}(\vec{A} \cdot \vec{C}) - \vec{C}(\vec{A} \cdot \vec{B})$
 $(\vec{A} \times \vec{B}) \cdot (\vec{C} \times \vec{D}) = (\vec{A} \cdot \vec{C})(\vec{B} \cdot \vec{D}) - (\vec{A} \cdot \vec{D})(\vec{B} \cdot \vec{C})$
 $\vec{A} \times (\vec{B} \times (\vec{C} \times \vec{D})) = \vec{B}(\vec{A} \cdot (\vec{C} \times \vec{D})) - (\vec{A} \cdot \vec{B})(\vec{C} \times \vec{D})$

GOOL
קְבֻעִים

מִסּוֹת הַפְּרוֹטוֹן, נְיֻטְרוֹן וְאֶלֶקְטְרוֹן:
 $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$

מִטְעָן הַפְּרוֹטוֹן וְהָאֶלֶקְטְרוֹן:
 $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} C = e = -q_e$

מִקְדָּם דִּיאֶלֶקְטְרִי שֶׁל הָרִיק ו- k :
 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$

GOOL
חֹק קוֹלוֹן

חֹק קוֹלוֹן: הַכּוּחַ הַחֲשֵׁמְלִי שֶׁמִּפְעִיל מִטְעָן q_1 כִּלְשֵׁהוּ עַל מִטְעָן q_2 כִּלְשֵׁהוּ:

$\vec{F} = \frac{kq_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{kq_1 q_2}{r^3} \vec{r}$
 $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$ וְקִטְרוֹר מ- q_1 אֶל q_2 , q_2 אֶל q_1 ו- $r = |\vec{r}|$

הַשְּׂדֵה הַחֲשֵׁמְלִי שִׁיּוֹצֵר מִטְעָן q בְּמִרְחָק:
 $\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r} = \frac{kq}{r^3} \vec{r}$

$\vec{r}$ - וְקִטְרוֹר מֵהִמְטָעֵן q אֶל הַנִּקְוֶדָה בַּה מְחַשְׁבִּים אֶת הַשְּׂדֵה. שִׁימוּ לֵב שֶׁבְּנוֹסָחָה הַזֶּה הַמִּטְעָן הוּא זֶה שִׁיּוֹצֵר אֶת הַשְּׂדֵה.

הַכּוּחַ הַפּוֹעֵל עַל מִטְעָן q הַנִּמְצָא בְּשֵׂדֵה חֲשֵׁמְלִי $\vec{E}$:

$\vec{F} = q\vec{E}$
שִׁימוּ לֵב שֶׁבְּנוֹסָחָה הַזֶּה הַמִּטְעָן q הוּא הַמִּטְעָן שֶׁמִּגְרִישׁ אֶת הַכּוּחַ (הַמִּטְעָן בְּעֵצְמוֹ גַּם יוֹצֵר שֵׂדֵה אֲבָל זֶה לֹא רִלוּנִטִי לְנוֹסָחָה הַזֶּה וְהַמִּטְעָן לֹא מִגְרִישׁ אֶת הַשְּׂדֵה שֶׁהוּא יוֹצֵר)

חִישוב שֵׂדֵה אוֹ כּוּחַ שִׁיּוֹצֵרֶת הַתִּפְלָגוֹת מִטְעָן רְצִיפָה: נַחֲלָקֶת אֶת הַגּוֹף לַחֲתִיכוֹת קִטְנוֹת, נַחֲשֵׁב אֶת הַשְּׂדֵה שִׁיּוֹצֵרֶת כָּל חֲתִיכָה בְּנִקְוֶדָה וְנִסְכּוֹם עַל כָּל הַחֲתִיכוֹת. שִׁימוּ לֵב שֶׁלְסִכּוֹם עַל כָּל רִכִּיב (z, y, x) בְּנִפְרֵד.

אֶלְמֶנֶט הַמִּטְעָן שֶׁל חֲתִיכָה קִטְנָה הוּא:

$dq = \lambda dl / \sigma ds / \rho dv$
כַּאֲשֶׁר dl ו- dv הֵם אֶלְמֶנֶט אֹרֶךְ, שֻׁטֵּחַ וְנֶפֶח בְּהַתְאֲמָה. הַבִּיטּוֹי שֶׁל הָאֶלְמֶנֶטִים מוֹפִיעַ בְּמִבּוֹא מִתְמַטִּי תַּחַת הַקּוֹרִדִּינָטוֹת הַמֵּתְאִימוֹת.

GOOL
פּוֹטֶנְצִיָּאל

הַגִּדְרַת הַפּוֹטֶנְצִיָּאל: $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$ אוֹ $\phi = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$

אֶנְרַגִּיָּה פּוֹטֶנְצִיָּאלִית חֲשֵׁמְלִית:
 $U = q\phi$

מִתַּח:
 $V = \Delta\phi$
הַעֲבֹדָה שֶׁל הַכּוּחַ הַחֲשֵׁמְלִי:
 $W = -\Delta U = -q\Delta\phi$

עֲבֹדָה לְהוֹיֵז מִטְעָן נֶגֶד הַכּוּחַ הַחֲשֵׁמְלִי:
 $W = \Delta U = q\Delta\phi$

פּוֹטֶנְצִיָּאל שֶׁל מִטְעָן נִקְוֶדִיתִי:
 $\phi = \frac{kq}{r}$

מּוֹלִיכִים:
- הַמִּטְעָנִים בְּתוֹךְ מּוֹלִיךְ חוֹפְשִׁים לּוֹזוֹ.

- בְּמִצַּע סְטָטִי (לֹא זֶרֶם אוֹ תְּנוּעָת מִטְעָן) הַשְּׂדֵה (אוֹ הַכּוּחַ) בְּתוֹךְ הַמּוֹלִיךְ מֵתְאֶפֶס.

- עַל הַשֻּׁפָּה יִכּוֹל לְהִיטֵר שֵׂדֵה מֵאֻנָּךְ לְשֵׁפָה.

- בְּמִצַּע סְטָטִי, הַמִּטְעָן הַכּוֹלֵל בְּכָל נִקְוֶדָה בְּתוֹךְ הַמּוֹלִיךְ הוּא אֶפֶס לַמִּטְעָן עַל הַשֻּׁפָּה.

- הַפּוֹטֶנְצִיָּאל בְּמּוֹלִיךְ אֶחָד (קְבֻעַ).
הָאֶרֶקָה - חִיבּוֹר לְקִרְקֵעַ, מֵאֶפֶסֶת אֶת הַפּוֹטֶנְצִיָּאל. שִׁיטוֹת לַחִישוב פּוֹטֶנְצִיָּאל:

1. אִם נִיתָן לַחֲשֵׁב אֶת הַשְּׂדֵה (בְּדִר"כ עִם חֹק גָּאוֹס) אוֹ אִם הַשְּׂדֵה נָתוּן, נִעֲשֶׂה אֵינְטֵגְרָל לֹא מְסוּיֵם עַל הַשְּׂדֵה בְּכָל תַּחֲסוֹם וְנוֹסִיף קְבֻעַ. אֶת הַקְּבֻעִים מוֹצִיאֵם עַל יְדֵי תִנְאֵי הַרְצִיפּוֹת שֶׁל הַפּוֹטֶנְצִיָּאל וְכִיּוֹל (בַּחִירַת נֶקִי הָאֶפֶס).

2. חֲלוקֶת הַגּוֹף לַחֲתִיכוֹת קִטְנוֹת, חִישוב הַפּוֹטֶנְצִיָּאל שֶׁל כָּל חֲתִיכָה כְּמוֹ גּוֹף נִקְוֶדִיתִי $d\phi = \frac{k dq}{r}$ וְסִכִּמָּה. (הַסְבֵּר עַל dq בְּחֹק קוֹלוֹן)

מִבּוֹא מִתְמַטִּי

GOOL
קוֹאֲרִדִּינָטוֹת גִּלְיוֹתִיּוֹת: (r, θ, z)
 $x = r \cos \theta$
 $y = r \sin \theta$
 $z = z$
 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$
 $\tan \theta = \frac{y}{x}$

$dl = dr / r d\theta$ (טֵבֶעֶת)
 $ds = r dr d\theta$ (קִלְפִּיָּה גִלְיוֹתִית דִּקָּה) / $rd\theta dz$ (דִּיסקָה)
 $dv = r dr d\theta dz$ (גִּלְלִי מִלָּא אוֹ קִלְפִּיָּה גִלְיוֹתִית עֵבֶה)

קוֹאֲרִדִּינָטוֹת כִּדּוּרִיּוֹת: (r, θ, φ)
 $z = r \cos \varphi$
 $x = r \sin \varphi \cos \theta$
 $y = r \sin \varphi \sin \theta$
 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
 $\tan \theta = \frac{y}{x}$
 $\cos \varphi = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$

$dl = dr / r \sin \varphi d\theta / r d\varphi$
 $ds = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi$ (מַעֲטֶפֶת כִּדּוֹר)
 $dv = r^2 \sin \varphi d\theta d\varphi dr$ (כִּדּוֹר מִלָּא אוֹ קִלְפִּיָּה כִדּוּרִית עֵבֶה)

צִפִּיּוֹת נִפְחִית/מִשְׁטָחִית/אֹרֶכֶת:
 $\rho = \frac{M}{V}$; $\sigma = \frac{M}{S}$; $\lambda = \frac{M}{l}$

V, S, l הֵם נֶפֶח, שֻׁטֵּחַ וְאֹרֶךְ הַגּוֹף.

וְקִטְרוֹר יִחִידָה:
 $\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$

מִכְפֵּלָה סְקָלָרִית: שְׁתֵּי דִרְכִּים לְבִיצּוֹעַ הַמְכְּפֵלָה:
 $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y = |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$

α - זֵוִיּוֹת בֵּין הַקְּטוֹרִים.
- תּוֹצֵאֹת הַמְכְּפֵלָה הִיא תִּמְדִּי סְקָלָר (וּלֹא וְקִטְרוֹר).

- מִכְפֵּלָה בֵּין וְקִטְרוֹרִים מֵאֻנָּכִים מֵתְאֶפֶסֶת, זֶה דֶּרֶךְ לְבִדּוֹק הָאֵם וְקִטְרוֹרִים מֵאֻנָּכִים.

וְקִטְרוֹרִים בְּשִׁלּוּשֵׁה מִימָדִים:
 $0 \leq \varphi \leq \pi$
 $0 \leq \theta \leq 2\pi$
 $\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$

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

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

- פִּירוֹק לְרִכִּיבִים: $A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi$; $A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$

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).

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 למצוא 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.

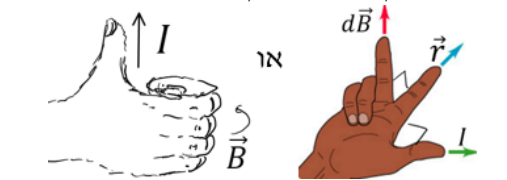
הכוח על תיל בשדה אחיד אינו תלוי בצורת התיל, הכוח יהיה זהה לזה הפועל על תיל ישר המתחיל ומסתיים באותם נקודות.

חוק ביו-סבר

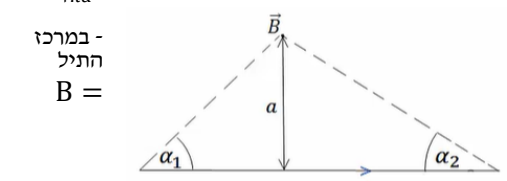
השדה המגנטי שיוצרת חתיכת זרם:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$\vec{r}$ הוא הוקטור מהחתיכה לנקודה בה מחפשים את השדה. $d\vec{l}$ הוא אורך החתיכה וכיוונו בכיוון הזרם. חישוב הכיוון לפי כלל יד ימין:



השדה של תיל סופי:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$


במרכז התיל $B =$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \frac{L}{((\frac{L}{2})^2 + a^2)^{3/2}}$$

שדה של טבעת לאורך ציר הסימטריה:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

כיוון השדה לפי כלל הבורג: כוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:

$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

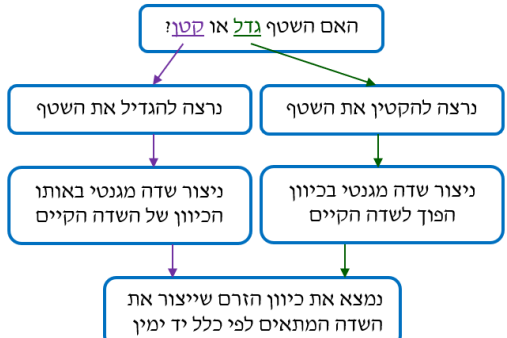
הכוח הוא כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון, ודחייה אם כיוון הזרמים הפוך.

חוק פאראדיי

חוק פאראדיי:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}; \quad \phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

הכא"מ מתנהג כמו מקור מתח במעגל. בד"כ נמצא באמצעות החוק את גודל הכא"מ ואת הכיוון חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

שדה בתוך קבל לוחות:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{V}{d}$$

σ - צפיפות המטען ליחידת שטח בכל לוח. V - המתח בין הלוחות. d - מרחק בין הלוחות.

קיבול של קבל גלילי:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$$

a - רדיוס הגליל הפנימי והחיצוני בהתאמה. L - אורך הגלילים, $b \ll L$.

הקיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = kC_0$ (או ϵ_r) - המקדם הדיאלקטרי של החומר. C_0 - הקיבול ללא החומר הדיאלקטרי. חיבור קבלים בטור (קבלים עם מטען זהה):

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

כאשר $V_T = V_1 = V_2$ ו- $Q_T = Q_1 = Q_2$

חיבור קבלים במקביל (מתח זהה): $C_T = C_1 + C_2$ $V_T = V_1 = V_2$ ו- $Q_T = Q_1 + Q_2$

שיטה 1 לחישוב קיבול - לפי הגדרה:

א. נניח שיש מטען Q על לוחות הקבל. ב. נחשב את השדה בין הלוחות. ג. נחשב את המתח בין הלוחות. ד. נציב בנוסחה (בד"כ Q יצטמצם).

שיטה 2 לחישוב קיבול - פירוק הקבל לקבלים חלקיים:

א. נפרק את הקבל לקבלים שמחוברים בטור או במקביל. ב. נחשב את הקיבול של כל אחד. ג. נחבר חזרה באמצעות הנוסחאות.

אנרגיה האגורה בקבל: $U_C = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV$

העבודה שמבצעת הסוללה: $W_S = \Delta q V_S = -2\Delta U_C$

Δq הוא המטען שעבר דרכה (זוה המטען שקיבל הקבל)

הכוח הפועל על חומר דיאלקטרי בקבל: $F = \left| \frac{dU_C}{dx} \right|$

הכוח תמיד מושך את החומר פנימה.

מבנה הנגד וצפיפות זרם

התלות של ההתנגדות במבנה הנגד: $R = \rho \frac{L}{S}$

ρ - התנגדות סגולית, תלויה בחומר (לא להתבלבל עם צפיפות מטען נפחית).

L - אורך הנגד, הדרך שהמטענים עושים בנגד. S (או A) - שטח החתך, משטח שמאונך לכיוון הזרם. הערה: **שטח החתך וההתנגדות הסגולית צריכים להיות אחידים לאורך הנגד.** במידה והם לא אחידים צריך לחלק את הנגד לחתיכות, לחשב התנגדות של כל חתיכה ולסכום לפי סוג החיבור (במקביל/בטור)

מוליכות (לא לבלבל עם צפיפות מטען משטחית): $\sigma = \frac{1}{\rho}$

צפיפות הזרם ליחידת שטח: $\vec{J} = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$

כאשר האינטגרל הוא על שטח החתך, שטח שמאונך ל- $\vec{J}$.

אם $\vec{J}$ אחידה אז: $I = JS$

חוק אוהם הדיפרנציאלי: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$

כאשר σ היא המוליכות ו- E השדה החשמלי. חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען נפחית בתנועה:

$$\vec{J} = \rho \vec{v}$$

כאשר ρ היא צפיפות נושאי המטען ליחידת נפח ו- $\vec{v}$ היא מהירות נושאי המטען. במוליך, $\rho = nq$ כאשר n הוא מספר נושאי המטען ליח נפח ו- q הוא המטען של נושא מטען יחיד, בד"כ אלקטרון. מהירות המטענים נקראת מהירות הסחיפה $\vec{v}_{drift}$.

צפיפות הזרם ליחידת אורך: $I = \int \vec{k} \cdot d\vec{l}$

כאשר האינטגרל הוא על אורך שמאונך ל- $\vec{k}$

אם $\vec{k}$ אחידה אז: $I = kl$

חישוב צפיפות זרם עבור צפיפות מטען משטחית בתנועה: $\vec{k} = \sigma \vec{v}$

עבור צפיפות מטען ליחידת אורך λ בתנועה נקבל: $I = \lambda v$

הכוח המגנטי - חוק לורנץ

חוק לורנץ - הכוח המגנטי: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$

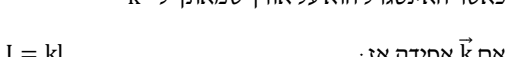
ניתן לחשב את הכוח בשני דרכים. דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).

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! **כיווני** (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).

לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדיף לעשות קודם אקדח).



חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חומר איזוטרופי: $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}_0$

חוק אוהם: $I = \frac{dq}{dt}$

כמות המטען שעוברת (דרך שטח חתך) ביחידת זמן.

חיבור נגדים בטור: נגדים עם זרם זהה: $R_T = R_1 + R_2$

כאשר R_T התנגדות הנגד השקול.

$V_T = V_1 + V_2$ $I_T = I_1 = I_2$

כאשר V_T ו- I_T הם המתח והזרם בנגד השקול.

חיבור נגדים במקביל: נגדים עם מתח זהה:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$I_T = I_1 + I_2$ $V_T = V_1 = V_2$

עבור יותר משני נגדים הנוסחאות ממשיות באופן דומה:

בטור: $R_T = \sum R_i$, $V_T = \sum V_i$, $I_T = I_i$

במקביל: $\frac{1}{R_T} = \sum \frac{1}{R_i}$, $I_T = \sum I_i$, $V_T = V_i$

מד זרם (אמפרמטר) אידיאלי: מחובר בטור ובעל התנגדות זניחה.

מד מתח (וולטמטר) אידיאלי: מחובר במקביל לרכיב הנמדד, בעל התנגדות מאוד גבוהה.

התפקיד בנגד: $P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$

$P = IV$ נכון לכל רכיב חשמלי, שני השוויונים האחרים הם לאחר שימוש בחוק אוהם ונכונים רק בנגד.

נתק: מצב בו לא עובר זרם - חוט חתוך או התנגדות אינסופית.

קצר: מצב בו אין התנגדות מקור מתח לא אידיאלי: $V = \mathcal{E} - Ir$

V - מתח הדקים, המתח בין קצוות הסוללה או המתח שמרגיש המעגל - תלוי בזרם.

$\mathcal{E}$ - כא"מ הסוללה, מתח פנימי שאינו משתנה. r - ההתנגדות הפנימית.

חוקי קירכהוף (לפתרון מעגלים מורכבים):

- נגדיר זרם לכל חוט במעגל.

- נרשום משוואות מתחים, סכום המתחים במסלול סגור שווה לאפס. (להוסיף משוואות עד שעוברים על כל הרכיבים במעגל).

- נרשום משוואות זרמים, בכל צומת סך הזרם שנכנס שווה לסך הזרם שיוצא.

- נפתור את מערכת המשוואות.

שיטת קרמר (לפתרון מערכת משוואות): $I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$

Δ - דטרמיננטה של מערכת המשוואות ההומוגנית (ללא הפתרונות). לדוגמה, עבור מערכת המשוואות הבאה:

$3I_1 + 4I_2 + 8I_3 = 5$ $2I_1 - 5I_2 + 9I_3 = 1$ $4I_1 + 3I_2 - 7I_3 = 3$

$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & 4 & 8 \\ 2 & -5 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$

Δ_1 - דטרמיננטה של מערכת המשוואות שהוחלפה בה העמודה ה-1 בעמודות התשובות. לדוגמה, במערכת הנ"ל:

$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 8 \\ 2 & 1 & 9 \\ 4 & 3 & -7 \end{vmatrix}$

זרמי חוגים:

- נחלק את המעגל למעגלים סגורים ונבחר זרמים לכל מעגל. לדוגמה:

2. נעשה משוואות מתחים לכל מעגל.

3. נפתור את מערכת המשוואות

5I₁ + 4 + 4 + 10(I₁ - I₂) - 2 = 0

חומרים דיאלקטרים

גדרת הקיבול: $C = \frac{|q|}{|V|}$

הקיבול היא תכונה קבועה ותלויה רק במבנה הגיאומטרי של הגוף (ולא במתח או במטען על הרכיב).

קיבול של קבל לוחות: $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

$d \ll \sqrt{A}$ - שטח כל לוח. d - מרחק בין הלוחות.

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

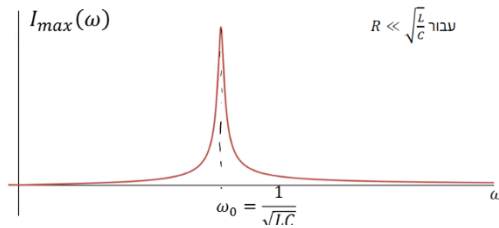
חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

חוק פאראדיי: $\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$

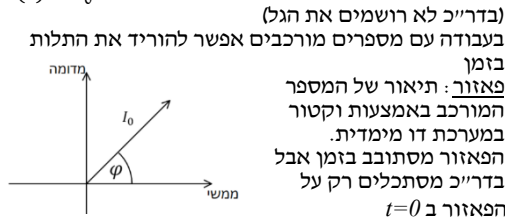
- בשביל למצוא את תדירות התהודה במקרה כללי צריך לגזור את I_{max} לפי ω ולהשוות לאפס. עבור $R \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$



מקבלים אמפליטודה מקסימאלית כאשר $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
פתרון עם מספרים מורכבים:
 אם כל המשתנים הם פונקציות מהצורה $A \cos(\omega t + \varphi)$ והמשוואות שלנו לינאריות. אז יותר נוח לעבוד עם מספרים מורכבים. כך ש:

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \varphi) = \text{Re}\{\tilde{I}(t)\}$$

$$\tilde{I}(t) = I_0 e^{i(\omega t + \varphi)}$$



עכבה Impedance:
 תכונה שתלויה רק במבנה (קבועה כל עוד המבנה קבוע).
הפאזה של העכבה היא הפאזה של המתח ביחס לזרם ברכיב:
 $\varphi_z = \varphi_v - \varphi_i$
הגודל של העכבה:
 $|Z| = \frac{V_{max}}{I_{max}}$

הרכיב	העכבה של הרכיב Z	הפאזה של המתח ביחס לזרם ברכיב
נגד	R	המתח והזרם בנגד הם באותה הפאזה
סליל	$i\omega L$	בסליל המתח מקדים את הזרם ב $\frac{\pi}{2}$
קבל	$\frac{1}{i\omega C}$	בקבל המתח מפגר אחרי הזרם ב $\frac{\pi}{2}$

ניתן לחבר עכבות בדיוק כמו חיבור של נגדים ולקבל את העכבה הכוללת של המעגל:
 $\tilde{V}_s = Z_T \tilde{I}_s$
 $\tilde{V}_s$ ו- $\tilde{I}_s$ הם הזרם והמתח של המקור (בייצוג המורכב).
ערכי RMS (ממוצע של ריבוע הגודל בזמן):

$$I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} ; V_{RMS} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

הספק רגעי:
 $P(t) = V(t)I(t)$
 לשים לב שההספק הרגעי הוא לא גודל לינארי ולכן אי אפשר לחשב אותו באמצעות הייצוג המורכב של המתח והזרם.

הספק ממוצע:

$$\bar{P} = \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \varphi = V_{RMS} I_{RMS} \cos \varphi$$
 כאשר φ היא הפאזה של המתח ביחס לזרם.
 $\cos \varphi$ הוא מקדם/גורם ההספק. מצביע על ניצול האנרגיה במעגל.

כאשר $\tilde{v}$ היא מהירות הגוף (שימו לב למכפלה הסקלרית)
כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי: $\varepsilon = BLv \sin \alpha$
 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.

מעגלי זרם חילופין

מעגל LC:

משוואת המעגל: $\frac{q}{C} + L\ddot{q} = 0$
 ו- $I = -\dot{q}$
 (ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)
 המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית פשוטה.

פתרון: $q(t) = A \cos(\omega t + \varphi) ; \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

האנרגיה האגורה במעגל:
 (האנרגיה הכוללת נשמרת)
 $E = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} LI^2$

מעגל RLC:

משוואת המעגל:
 $I = -\dot{q} - \ddot{q} + \frac{R}{L}\dot{q} + \frac{1}{LC}q = 0$
 (ניתן גם להגיע לאותה משוואה על הזרם)
 המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מרוסנת. נגדיר $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$
 ו- $\Gamma = \frac{R}{2L}$

הפתרון מתחלק לשלושה מקרים:

מקרה 1 - ריסון חזק: $\Gamma > \omega_0$
 $q(t) = Ae^{-\lambda_1 t} + Be^{-\lambda_2 t}$
 $\lambda_{1,2} = \Gamma \pm \sqrt{\Gamma^2 - \omega_0^2}$

מקרה 2 - ריסון קריטי: $\Gamma = \omega_0$
 $q(t) = Ae^{-\omega_0 t} + Bte^{-\omega_0 t}$
 בריסון קריטי קצב הדעיכה הוא הגבוה ביותר משלושת המקרים.

מקרה 3 - ריסון חלש: $\Gamma < \omega_0$
 $q(t) = Ae^{-\Gamma t} \cos(\tilde{\omega} t + \varphi)$
 $\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \Gamma^2}$

בכל המקרים האנרגיה של המעגל (שאגורה בסליל ובקבל) דועכת בקצב כפול:
 $E \propto e^{-2\Gamma t}$

(בריסון חזק קבוע הדעיכה הוא λ במקום Γ)

מעגלים עם מקור מתח חילופין:

משוואת המעגל:

$$\ddot{I} + \frac{R}{L}\dot{I} + \frac{1}{LC}I = -\omega V_0 \sin(\omega t)$$

ו- $I = \dot{q}$
 (ניתן גם להגיע למשוואה דומה עבור המטען)
 המשוואה היא משוואה של תנועה הרמונית מאולצת.
פתרון המשוואה:

פתרון הומוגני $I(t) = I_{max}(\omega) \cos(\omega t + \varphi)$
 - הפתרון ההומוגני הוא פתרון מעגל RLC והוא דועך בזמן.
 - הפתרון הפרטי נקרא הפתרון של המצב העמיד (לאחר זמן רב) בדרי"כ מתייחסים רק אליו.

$$I_{max}(\omega) = \frac{V_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2 + R^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R}$$

תהודה: מצב שבו $I_{max}(\omega)$ מקסימאלי.

- שימו לב, I_{max} הוא אמפליטודת הזרם במעגל עם מקור בעל תדירות ω מסוימת. תהודה מדברת על איזה תדירות צריך שתהיה למקור כך שהאמפליטודה הזו תהיה הכי גבוהה שאפשר.