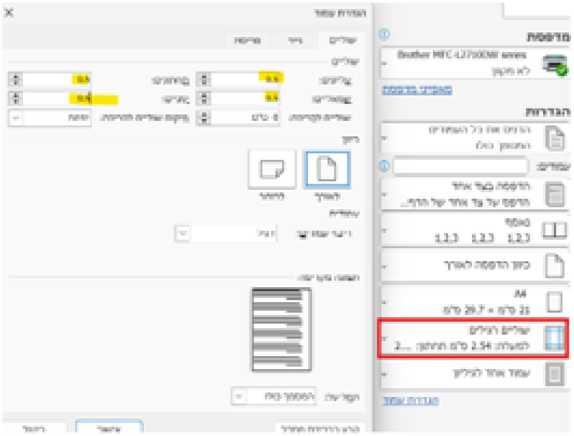
הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה! :

את הדף יש להדפיס עם <u>שוליים מותאמות אישית ברוחב 0.5 בכל צד</u>.

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השולים, לבחור שולים 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.

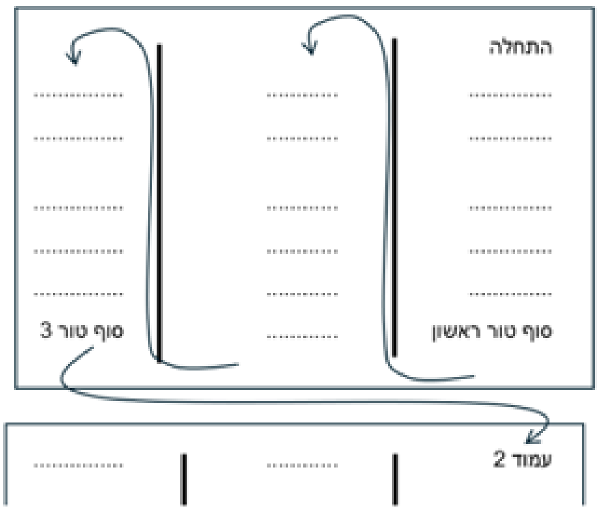
בכל מקרה מומלץ מאוד לעבור על הדף לפני המבחן!! הוא גם סיכום של החומר.

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 <u>באותו עמוד</u> (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.

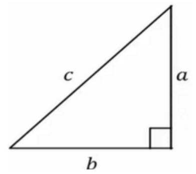


פונקציות טריגונומטריות GOOL

$\sin\alpha = \frac{a}{c} = \frac{\text{ניצב שמול}}{\text{יתר}}$

$\cos\alpha = \frac{b}{c} = \frac{\text{ניצב ליד}}{\text{יתר}}$

$\tan\alpha = \frac{a}{b} = \frac{\text{ניצב שמול}}{\text{ניצב ליד}}$



$\tan\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$; $\cot\alpha = \frac{b}{a} = \frac{\text{ניצב ליד}}{\text{ניצב שמול}} = \frac{1}{\tan\alpha}$

$a^2 + b^2 = c^2$

$\sin(90^\circ-\alpha)=\cos\alpha$; $\cos(90^\circ-\alpha)=\sin\alpha$ $\tan(90^\circ-\alpha)=\cot\alpha$; $\cot(90^\circ-\alpha)=\tan\alpha$	$90^\circ-\alpha$
$\sin(90^\circ+\alpha)=\cos\alpha$; $\cos(90^\circ+\alpha)=-\sin\alpha$ $\tan(90^\circ+\alpha)=-\cot\alpha$; $\cot(90^\circ+\alpha)=-\tan\alpha$	$90^\circ+\alpha$
$\sin(180^\circ-\alpha)=\sin\alpha$; $\cos(180^\circ-\alpha)=-\cos\alpha$ $\tan(180^\circ-\alpha)=-\tan\alpha$; $\cot(180^\circ-\alpha)=-\cot\alpha$	$180^\circ-\alpha$
$\sin(-\alpha)=-\sin\alpha$; $\cos(-\alpha)=\cos\alpha$ $\tan(-\alpha)=-\tan\alpha$; $\cot(-\alpha)=-\cot\alpha$	$-\alpha$
$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha = 1-2\sin^2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$	2α
$\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cos\beta\pm\sin\beta\cos\alpha$ $\cos(\alpha\pm\beta)=\cos\alpha\cos\beta\mp\sin\alpha\sin\beta$	$\alpha\pm\beta$

משוואת הקו הישר GOOL

משוואת הקו הישר: $y = mx + n$

$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan\alpha$ היא השיפוע, כאשר α היא הזווית של הישר עם ציר ה-x. n היא נקודת חיתוך עם ציר ה-y.

מרחק בין שתי נקודות: $d^2 = (x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2$

הפרבולה GOOL

משוואת הפרבולה: $y = ax^2 + bx + c$

a חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.

קודקוד הפרבולה: $x_{\text{קודקוד}} = -\frac{b}{2a}$

נוסחת השורשים: $x_{1,2} = \frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

מבוא פיזיקאלי GOOL

חוקי חזקות: $(ab)^c = a^c b^c$; $a^b a^c = a^{b+c}$

$(a^b)^c = a^{bc}$; $\frac{1}{a^b} = a^{-b}$

מעברים בין יחידות:

קילו (k) זה 1000 : $1km=1000m$; $1kg=1000gr$

מילי (m) זה $\frac{1}{1000}$ לדוגמה: מילימטר $1mm = \frac{1}{1000}m$, ומיליגרם $1mg = \frac{1}{1000}gr$

ליטר: $1liter=1000cm^3$

קוב: $1 = 1000m^3 = 1000liter$ קוב

שנת אור היא **המרחק** שהאור עושה בשנה:

$1lightyear = 9.4608\cdot 10^{15}m$

צפיפות:

צפיפות נפחית: $\rho = \frac{M}{V}$; צפיפות משטחית: $\sigma = \frac{M}{S}$

צפיפות אורכית: $\lambda = \frac{M}{l}$

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

תנועה בקו ישר GOOL

העתק- השינוי במיקום הגוף: $\Delta x = x_2 - x_1$

דרך - אורך כל המסלול שעשה הגוף, סימון באות S

מהירות **ממוצעת או קבועה**: $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}$

המיקום כתלות בזמן **במהירות קבועה**:

$x(t) = x_0 + v(t-t_0)$

גרפים: גרף המיקום במקרה של תנועה במהירות קבועה יהיה קו ישר. שיפוע הגרף הוא המהירות.

- גרף המהירות במקרה של מהירות קבועה הוא קו ישר אופקי.
- השטח מתחת לגרף המהירות הוא ההעתק, עובדה זו נכונה גם עבור תאוצה לא קבועה.
- השטח החיובי מתחת לגרף המהירות הוא הדרך

תאוצה **קבועה או ממוצעת**: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}$

מהירות כתלות בזמן בתנועה **בתאוצה קבועה**:

$v(t) = v_0 + a(t-t_0)$

כאשר v_0 היא המהירות בזמן t_0 (בדר"כ רגע תחילת התנועה)

מיקום כתלות בזמן בתנועה **בתאוצה קבועה**:

$x(t) = x_0 + v_0(t-t_0) + \frac{1}{2}a(t-t_0)^2$

כאשר x_0 ו v_0 הן המיקום והמהירות בזמן t_0 (בדר"כ רגע התחלת התנועה)

נוסחה נוספת המקשרת בין המהירות למיקום (ללא תלות בזמן) **בתאוצה קבועה**: $v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$

גרפים:
- התאוצה היא השיפוע בגרף של המהירות כתלות בזמן.
- השטח מתחת לגרף של התאוצה כתלות בזמן שווה לשינוי המהירות.
- הגרף של המיקום כתלות בזמן בתאוצה קבועה הוא פרבולה. תאוצה חיובית פרבולה מחייכת, תאוצה שלילית פרבולה עצובה.

המהירות היא נגזרת של המיקום לפי הזמן והמיקום הוא אינטגרל על המהירות לפי הזמן:

$v(t) = \frac{dx}{dt}$; $x(t) = \int v(t)dt$

התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה:

$a(t) = \frac{dv}{dt}$; $v(t) = \int a(t)dt$

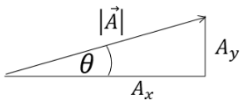
- כשעושים אינטגרל צריך להוסיף קבוע, את הקבוע מוצאים מתנאי התחלה.

נגזרות של סינוס וקוסינוס:

$(cosx)' = -sinx$; $(sinx)' = cosx$

וקטורים GOOL

פירוק לרכיבים:



$A_y = |\vec{A}|\sin\theta$

$A_x = |\vec{A}|\cos\theta$

למצוא גודל וזווית:

$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$; $\tan\theta = \frac{A_y}{A_x}$

חיבור וקטורים:
- בצורה גרפית נצמיד **ראש לזנב**. וקטור הסכום יהיה וקטור מהזנב הראשון לראש הוקטור האחרון.
- **תמיד ניתן להזיז וקטור במרחב כל עוד שומרים על האורך והכיוון שלו.**
- בצורה אלגברית נסכום את הרכיבים:

$\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x, A_y + B_y)$

- בצורה פולרית, נפרק לרכיבים ונסכום.

כפל/חלוקה בסקלר: בצורה אלגברית, נכפיל/נחלק כל רכיב בסקלר:

$\vec{B} = \alpha\vec{A} = (\alpha A_x, \alpha A_y)$

- בצורה פולרית, נכפיל/נחלק את הגודל בסקלר (הכיוון לא משתנה אלא אם הסקלר שלילי ואז הכיוון מתהפך)

מכפלה סקלרית בין שני וקטורים:

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

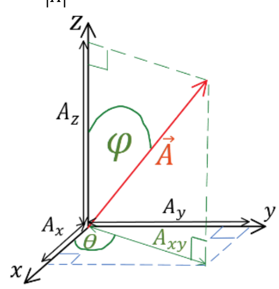
- תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור)
- מכפלה סקלרית של וקטורים מאונכים מתאפסת.

נוסחה למציאת זווית בין וקטורים:

$$\cos\alpha = \frac{A_xB_x + A_yB_y + A_z\cdot B_z}{|\vec{A}|\cdot|\vec{B}|}$$

וקטור יחידה: $\hat{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$

וקטור בשלושה מימדים:



$0 \le \varphi \le \pi$

$0 \le \theta \le 2\pi$

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

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

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

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

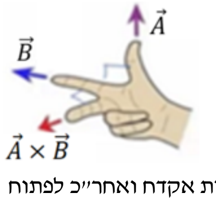
מכפלה וקטורית:
- דרך 1 לעשות את המכפלה עם דטרמיננטה:

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

- דרך 2 לפי גודל וכיוון בנפרד:

גודל המכפלה הוא: $|\vec{A}\times\vec{B}| = |\vec{A}||\vec{B}||\sin\alpha|$

וכיוון לפי כלל יד ימין:



- **שימו לב** שאתם עם יד ימין!!
- בתמונה השמאלית, קודם לעשות אקדח ואחר"כ לפתוח את האמה!

נפילה חופשית וזריקה אנכית GOOL

תנועה בתאוצה קבועה g כלפי מטה, נבחר את ציר התנועה להיות ציר הY, ולכן משוואות התנועה הן:

$y(t) = y_0 + v_0(t-t_0) + \frac{1}{2}a(t-t_0)^2$

$v(t) = v_0 + a(t-t_0)$

$v_f^2 = v_i^2 + 2a(y_f - y_i)$

- בנפילה חופשית הגוף מתחיל ממנוחה ולכן $v_0 = 0$ בדר"כ נבחר לפתור באופן הבא:
1. כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז $a = g$ (במשוואות הנ"ל).
2. נבחר את הראשית בנקודת ההתחלה ואז $y_0 = 0$
- בזריקה אנכית: יש לגוף מהירות התחלתית כלפי מעלה או מטה. התנועה היא בתאוצה קבועה g כלפי מטה (כמו נפילה חופשית) ומשוואות התנועה זהות.
- עדיף לבחור את הכיוון החיובי כלפי מעלה ואז $a = -g$, המהירות ההתחלתית תהיה חיובית אם היא כלפי מעלה ושלילית אם היא כלפי מטה.
- מומלץ לבחור את הראשית בקרקע.
- שיא גובה כאשר $v(t) = 0$ הצבה במשוואה נותנת בשיא גובה ש:

$y_{\text{שיא גובה}} = y_0 + \frac{v_0^2}{2g}$; $t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0}{g}$

תנועה במישור - בליסטיות GOOL

וקטור המיקום: $\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} = (x,y)$

העתק: $\Delta\vec{r} = \Delta x\hat{x} + \Delta y\hat{y} = (\Delta x, \Delta y)$

מהירות ממוצעת או קבועה: $\vec{v}_{avg} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$

זריקה משופעת (ואופקית): הגוף נזרק במהירות התחלתית v_0 בזווית θ (באופקית הזווית אפס).

- **נפריד לתנועה במהירות קבועה בציר X ותנועה בתאוצה קבועה בציר Y (זריקה אנכית)**. משוואות התנועה יהיו:

$x(t) = x_0 + v_0\cos(\theta)t$; $v_x(t) = v_0\cos(\theta)$

$y(t) = y_0 + v_0\sin(\theta)t + \frac{1}{2}a_yt^2$

$v_y(t) = v_0\sin(\theta) + a_yt$

- אם נבחר כיוון חיובי בציר Y כלפי מעלה אז $a_y = -g$
- תיתכן תאוצה גם בציר הX לדוגמה במקרה של רוח אופקית ואז צריך לשנות את הנוסחאות בציר X לנוסחאות של תאוצה קבועה.
- שיא גובה ($v_y(t) = 0$):

$t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0\sin(\theta)}{g}$

$y_{\text{שיא גובה}} = y_0 + \frac{(v_0\sin(\theta))^2}{2g}$

- טווח (בהנחה שהזריקה מהקרקע): $R = \frac{v_0^2\sin(2\theta)}{g}$
- טווח מקסימלי בזווית 45 מעלות
- משוואת המסלול: משוואה של $y(x)$. על מנת למצא משוואת מסלול מבודדים את t מהביטוי של $x(t)$ ומציבים ב - $y(t)$.

תנועה יחסית GOOL

נוסחה למיקום היחסי: $\vec{r}_{1,2} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$

$\vec{r}_1, \vec{r}_2$ הם וקטורי המיקומים של גוף 1 ו- 2 ביחס למעבדה/קרקע. $\vec{r}_{1,2}$ הוא המיקום של גוף 1 ביחס לגוף 2 (כלומר המיקום של גוף 1 ביחס לראשית צירים הנמצאת על גוף 2)

כנ"ל לגבי המהירות היחסית והתאוצה היחסית:

$\vec{v}_{1,2} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$; $\vec{a}_{1,2} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$

דינמיקה – חוק I ו- III של ניוטון GOOL

החוק הראשון של ניוטון: אם גוף נע במהירות קבועה **בקו ישר** (או מנוחה) אז סכום הכוחות עליו מתאפס ולהפך.

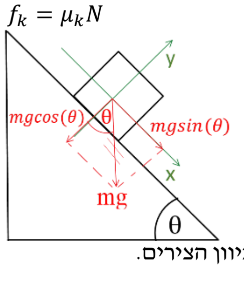
החוק השלישי של ניוטון: לכל כוח שגוף אחד מפעיל על גוף שני (כוח פעולה) הגוף השני חייב להפעיל כוח בחזרה (כוח תגובה) השווה בגודלו והפוך בכיוונו.

- שימו לב!! הכוחות פועלים על שני גופים שונים ולכן לא יהיו באותו תרשים כוחות.

חיכוך סטטי:
- פועל כאשר הגוף במנוחה (ביחס למשטח המגע).
- כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.
- גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.
- ערך מקסימאלי: $f_s \le \mu_sN$ או $f_{s,max} = \mu_sN$

חיכוך קינטי:
- פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע).
- גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים בניגוד לסטטי) ושווה ל: $f_k = \mu_kN$

המישור המשופע:



בבעיות עם מישור משופע מומלץ לבחור מערכת צירים כך שציר X מקביל למישור וציר Y מאונך.

הרכיב של mg במקביל למישור יהיה $mgsin(\theta)$ ובמאונך למישור $mgcos(\theta)$, שימו לב לסימנים בהתאם לכיוון הצירים.

דינמיקה – חוק II של ניוטון GOOL

חוק II של ניוטון: $\Sigma\vec F = m\vec a$

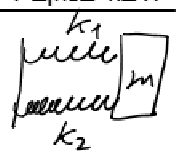
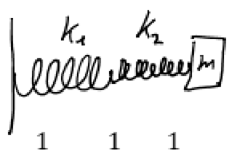
- בגלל שהשוויון וקטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר בנפרד. כלומר: $\Sigma F_y = ma_y$, $\Sigma F_x = ma_x$
- בבעיות עם מספר גופים נעשה תרשים כוחות וחוק שני לכל גוף בנפרד. אח"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

קפיצים GOOL

חוק הוק - הכוח שמפעיל קפיץ: $F = -k\Delta x$

Δx - התארכות ממצב הרפוי של הקפיץ (מסומן גם ב Δl)

k - הוא קבוע הקפיץ ותלוי בחומר ממנו עשוי הקפיץ

חיבור במקביל	חיבור בטור
	
$k_{eff} = k_1 + k_2$	$\frac{1}{k_{eff}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

כבידה והכוח הריבועי ההפוך GOOL

כוח הכבידה בין שני גופים בעלי מסה: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$

- כאשר m_1 ו- m_2 הן שתי המסות ביניהם פועל הכוח.

— r הוא המרחק בין מרכזי הכובד של הגופים. מפה השם הכוח הריבועי ההפוך.

— G הוא קבוע הנקרא **קבוע הכבידה העולמי** (או קבוע הגרביטציה העולמי או קבוע ניוטון), ערכו נמדד בניסויים והוא: $G = 6.67384\cdot10^{-11}\frac{m^3}{s^2kg} = 6.67384\cdot10^{-8}\frac{cm^3}{s^2gr}$

עבודה ואנרגיה GOOL

העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:

$$W = \vec F\cdot\Delta\vec x = F\Delta x\cos\alpha$$

כאשר α היא הזווית בין הכוח להעתק

- כוח שפועל במאונך לתנועה (למהירות) אינו מבצע עבודה.
- אם הגוף לא נע העבודה אפס (לכן חיכוך סטטי אינו מבצע עבודה).

אנרגיה קינטית: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

העבודה הכוללת (כולל הכוחות המשמרים) שווה לשינוי באנרגיה קינטית: $W_{\Sigma F} = \Delta E_k$

האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית: $U_g = mgh$

h זה הגובה של הגוף. ניתן לבחור גובה אפס איפה שרוצים.

העבודה שמבצע כוח הכובד שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית הכובדית: $W_g = -\Delta U_g$

אנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ): $U_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$

k הוא קבוע הקפיץ

Δx היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב Δl)

האנרגיה הכללית היא האנרגיה הקינטית של הגוף ועוד סך כל האנרגיות הפוטנציאליות:

$$E = E_K + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$$

*בשוויון השני רשמנו את האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית והאלסטית. תיאורטית יכולות להיות עוד אנרגיות פוטנציאליות אבל זה מאוד נדיר בקורס הזה.

משפט עבודה אנרגיה: $W_{NC} = \Delta E$ או $E_i + W_{NC} = E_f$

E_i ו- E_f הם האנרגיות הכלליות בהתחלה ובסוף.

W_{NC} היא העבודה שנעשתה על ידי הכוחות **הלא משמרים** בתהליך שבין נקודת ההתחלה לסוף.

נוסחה לשינוי בגובה של מטוטלת: $h = l(1-\cos\theta)$

h - הגובה מהתחתית

l - אורך החוט

θ - זווית ביחס לאנך מהתקרה.

חום (Q): האנרגיה הנוצרת מחיכוך קינטי.

- כמות החום שנוצרת בתהליך שווה לעבודה של כוח החיכוך הקינטי (והפוכה בסימן, כי העבודה שמבצע החיכוך הקינטי על גוף שלילית) $Q = -W_{f_k}$
- ניתן לחשב את החום שנוצר גם מהשינוי באנרגיה הכללית של הגוף.

הספק (P): העבודה שנעשית ביחידת זמן.

ההספק של כוח קבוע או הספק ממוצע: $P = \frac{W}{\Delta t}$

היחידה הסטנדרטית של הספק היא Watt (W) והיא שווה לג'אול חלקי שנייה.

יחידה נוספת של הספק היא כוח סוס (Hp): 1Hp=746Watt

נוסחה נוספת להספק: $P = \vec F\cdot\vec v$

- בנוסחה יש מכפלה סקלרית של הכוח במהירות הגוף.
- הנוסחה נכונה גם להספק רגעי (ולא רק להספק ממוצע או קבוע)

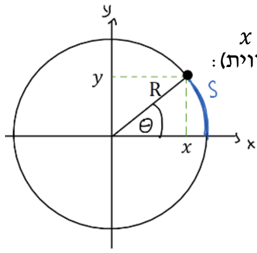
תנועה מעגלית GOOL

תנועה מעגלית היא תנועה במעגל ברדיוס קבוע.

מיקום הגוף: $x = R\cos\theta$; $y = R\sin\theta$

הדרך (אורך הקשת שמול הזווית): $S = R\cdot\Delta\theta$

- יש להציב את שינוי הזווית ברדיאנים



המהירות הזוויתית היא קצב שינוי הזווית בזמן.

מהירות זוויתית קבועה או ממוצעת: (ביחידות של רדיאן לשנייה) $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

f היא התדירות (יחידות הרץ או 1/sec). T זמן מחזור.

הקשר בין המהירות הזוויתית למהירות הקווית (נכון גם למהירויות שאינן קבוע): $|\vec v| = \omega R$

תאוצה רדיאלית (למרכז המעגל): $a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2R$

סכום הכוחות למרכז המעגל:

$$\Sigma F_r = m\left(\frac{v^2}{R}\right) = m(\omega^2R)$$

- בתרגילים, נבחר מערכת צירים כך שכיוון ציר ה X למרכז המעגל וציר Y מאונך לו. בציר X נשתמש בנוסחה של סכום הכוחות למרכז המעגל ובציר Y סכום הכוחות שווה לאפס (בתנועה שבה גודל המהירות קבוע).
- אם גודל המהירות אינו קבועה (תנועה לא קצובה) אז ישנה גם תאוצה משיקית. התאוצה המשיקית שווה לשינוי גודל המהירות בזמן (בדיוק כמו תאוצה רגילה בתנועה בקו ישר).

עבור תאוצה משיקית קבועה או ממוצעת: $a_\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

סכום הכוחות בכיוון המשיק (ציר Y) יהיה: $\Sigma F_\theta = ma_\theta$

תאוצה זוויתית: קצב שינוי המהירות הזוויתית בזמן.

עבור תאוצה זוויתית קבועה או ממוצעת: $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

(ביחידות של רדיאן לשנייה בריבוע).

הקשר בין תאוצה זוויתית לתאוצה המשיקית (גם עבור תאוצה משתנה): $a_\theta = \alpha R$

מהירות זוויתית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:

$$\omega(t) = \omega_0 + \alpha\cdot(t-t_0)$$

זווית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0(t-t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t-t_0)^2$$

מתקף ותנע GOOL

המתקף שמפעיל כוח קבוע או ממוצע על גוף: $\vec J = \vec F\cdot\Delta t$

התנגשות אלסטית: התנגשות שבה האנרגיה הקינטית נשמרת. נוסיף למשוואת שימור התנע את משוואת שימור האנרגיה: $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$

בהתנגשות אלסטית במימד אחד (מצחית) בלבד, ניתן להחליף את משוואת שימור האנרגיה במשוואה הבאה:

$$v_1 - v_2 = -(u_1 - u_2)$$

התנגשות פלסטית: הגופים נעים יחד אחרי ההתנגשות.

- משוואת שימור התנע הופכת ל-

$$m_1\vec v_1 + m_2\vec v_2 = (m_1+m_2)\vec u$$

- $\vec u$ היא המהירות המשותפת לאחר ההתנגשות

רתע: הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות.

- משוואת שימור התנע הופכת ל –

$$(m_1+m_2)\vec v = m_1\vec u_1 + m_2\vec u_2$$

- התנגשות פלסטית ורתע הן אף פעם לא התנגשויות אלסטיות! כלומר לא יכול להתקיים שימור אנרגיה בהתנגשויות האלו.
- שימו לב שקיימות התנגשויות שהן לא אלסטיות ולא פלסטיות (סתם התנגשויות) בהן יש רק משוואת שימור התנע הרגילה.
- הערה: בספרים מסוימים השם התנגשות אלסטית מתייחס להתנגשות רגילה שהיא לא פלסטית ואין בה שימור אנרגיה. להתנגשות שיש בה גם שימור אנרגיה קוראים התנגשות אלסטית **לחלוטין**.

התנגשות **אלסטית מצחית** (במימד אחד) בין **מסות שוות שאחד הגופים במנוחה**: במקרה זה כל האנרגיה עוברת מהגוף הפוגע לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו הגוף הראשון.

תנועה מחזורית GOOL

תנועה מחזורית: היא תנועה המורכבת מקטע תנועה מסוים החוזר על עצמו באופן מדויק כל מרווח זמן קבוע.

הגדרה: תנועה מחזורית היא תנועה שבה קיים T קבוע עבורו מתקיים $\vec x(t) = \vec x(t+T)$ לכל $\vec x(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית.

בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.

תנועה הרמונית GOOL

המיקום כתלות בזמן בתנועה הרמונית: $x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$

- הראשית היא בנקודת שיווי המשקל.
- נקודת שיווי המשקל היא הנקודה שבה סכום הכוחות שווה לאפס (התאוצה גם שווה לאפס והמהירות מקסי')

A - אמפליטודת התנועה, מרחק מקסימאלי משווי משקל.

ω - תדירות זוויתית. φ – פאזה.

המהירות בתנועה הרמונית: $v(t) = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$

התאוצה בתנועה הרמונית: $a(t) = -\omega^2A\cos(\omega t + \varphi)$

קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות וזמן המחזור:

המחזור: $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

עבור מסה המחוברת לקפיץ: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

כאשר k הוא קבוע הקפיץ ו- m היא מסת הגוף.

הפאזה: $\varphi = \omega\cdot t_0$

כאשר t_0 הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש $t=0$ (מתחילים למדוד את התנועה)

בדר"כ נמצא את A ו- φ מתנאי התחלה:

$$x(t=0) = A\sin\varphi \quad ; \quad v(t=0) = -\omega A\sin\varphi$$

מהירות ותאוצה מקסימליים:

$$v_{max} = \pm\omega A \quad ; \quad a_{max} = \pm\omega^2A$$

תוספת של כוח קבוע למערכת: משנה רק את נקודת שיווי המשקל (ולא את התדירות). במקרה כזה נקודת שיווי המשקל לא תהיה הנקודה שבה הקפיץ רפוי וצריך להבחין ביניהם. מקרה נפוץ הוא **קפיץ אנכי.** בקפיץ אנכי כוח הכובד הוא כוח קבוע, הוא לא משפיע על התנועה למעט שינוי נקודת שיווי המשקל. אפשר לחשוב שכוח הכובד גורם למתיחה התחלתית של הקפיץ עד לנקודה שבה כוח הקפיץ שווה לכוח הכובד (נקי ש.מ. חדשה) משם התנועה תהיה כרגיל. אפשר לקבוע את x=0 בנקודת ש.מ ולהתעלם מהכובד.

האנרגיה בתנועה הרמונית:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$$

כבידה GOOL

החוק השלישי של קפלר: $\left(\frac{\bar r_1}{\bar r_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$

$\bar r$ – רדיוס הקפה ממוצע של כל גרם שמיים.

T – זמן המחזור של כל גרם שמיים.

גודל כוח הכבידה בין שני גופים: $F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$

$G = 6.67\cdot10^{-11}$ – קבוע הכבידה האוניברסלי.

m – מסות הגופים. r - המרחק בין מרכזי הגופים.

אנרגיה פוטנציאלית כובדית:

$$U_G = -\frac{GMm}{r} \qquad (U_{G(r\to\infty)} = 0)$$

M – מסת הגוף המשפיע. m – מסת הגוף המושפע.

r – מרחק בין הגופים.

אנרגיה של לוויין במסלול מעגלי:

קינטית: $E_k = \frac{GMm}{2r} = -\frac{U_G}{2}$

כוללת: $E = -\frac{GMm}{2r}$

מרכז מסה GOOL

מיקום מרכז המסה: $\vec r_{c.m.} = \frac{m_1\vec r_1 + m_2\vec r_2}{m_1+m_2}$

ניתן לרשום אותה לכל רכיב בנפרד , לדוגמה לרכיב x :

$$x_{c.m.} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1+m_2}$$

מהירות מרכז המסה: $\vec v_{c.m.} = \frac{m_1\vec v_1 + m_2\vec v_2}{m_1+m_2}$

תאוצת מרכז המסה: $\vec a_{c.m.} = \frac{m_1\vec a_1 + m_2\vec a_2}{m_1+m_2}$

עבור יותר משני גופים הנוסחאות ממשיכה בהתאמה.

מספר גופים קשיחים (לא נקודתיים): עושים מרכז מסה בין מרכזי המסה.

תאוצת מרכז המסה תלויה רק בכוחות החיצוניים:

$$\Sigma F_{ext} = ma_{c.m}$$

אם אין כוחות חיצוניים (ומרכז המסה במנוחה בהתחלה) אז מיקום מרכז המסה נשמר. ניתן לעשות "שימור מרכז מסה" - לחשב אותו בהתחלה ובסוף ולהשוות.

מומנט התמד GOOL

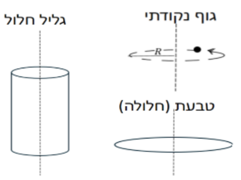
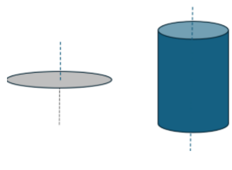
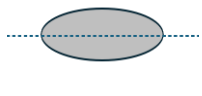
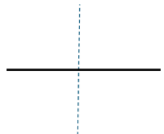
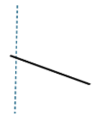
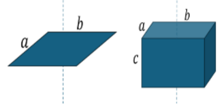
אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב **כל הנקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה המהירות הזוויתית** (אך לא באותה מהירות קווית)

מומנט התמד של מערכת גופים נקודתיים: $I = \Sigma m_ir_i^2$

משפט שטיינר: $I' = I_{c.m.} + md^2$

כאשר d הוא המרחק בין הצירים ו m היא המסה הכוללת של הגוף. הערה: משפט שטיינר פועל רק **לצירים מקבילים**, ורק כאשר אחד הצירים עובר **במרכז המסה**.

אדטיביות: ניתן לסכום את המומנט התמד של כל חלק וחלק בגוף על מנת לקבל את המומנט הכולל. $I_T = I_1 + I_2$

גוף נקודתי סביב ציר כלשהו: $I = mR^2$ טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי: $I_{c.m.} = mR^2$	
דיסקה/ גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z -אנך לדיסקה $I_{c.m.} = \frac{1}{2}mR^2$	
דיסקה במרכז מסה סביב ציר x -במישור הדיסקה $I_{c.m.} = \frac{1}{4}mR^2$	
מוט במרכז המסה $I_{c.m.} = \frac{1}{12}mL^2$	
מוט בקצה $I = \frac{1}{3}mL^2$	
כדור מלא במרכז מסה $I_{c.m.} = \frac{2}{5}mR^2$	
תיבה או לוח במרכז מסה $I_{c.m.} = \frac{m(a^2+b^2)}{12}$	

מומנט כוח GOOL

<u>מומנט כוח:</u> $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

כאשר $\vec{r}$ הוא וקטור שיוצא מהציר עד לנקודה שבה פועל הכוח (ניתן לחשב את המכפלה באמצעות דטרמיננטה או באמצעות גודל וכיוון)

<u>גודל המומנט:</u> $|\vec{\tau}| = |\vec{r}||\vec{F}|\sin\alpha = |\vec{F}|r_{\perp}$

כאשר $r_{\perp}$ הוא הרכיב של $\vec{r}$ המאונך לכוח

כיוון לפי כלל יד ימין או כלל הבורג.

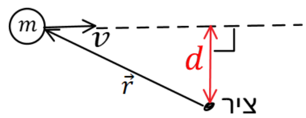
תנע זוויתי (תנ"ז) GOOL

<u>תנ"ז:</u> $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$

$\vec{r}$ - הוא וקטור המיקום של הגוף, $\vec{p}$ - התנע הקווי

<u>עבור גוף הנע בקו ישר ניתן לחשב את התנ"ז לפי:</u>

$|\vec{L}| = mvd$



כאשר d זה המרחק האפקטיבי.

v – המהירות.

<u>הקשר בין תנ"ז למומנט כוח:</u> $\sum \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$

<u>חוק שימור התנע הזוויתי:</u>

אם $\sum \vec{\tau}_{ext} = 0$ אז התנע הזוויתי נשמר

גוף קשיח GOOL

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב **כל נקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה מהירות הזוויתית** (אך לא באותה מהירות קווית)

<u>תנע **קווי** של גוף קשיח:</u> $\vec{p} = M\vec{v}_{c.m.}$

אנרגיה קינטית סיבובית סביב ציר קבוע כלשהו:

$$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$$

טבלת השוואה בין תנועה סיבובית לתנועה בקו ישר

תנועה סיבובית	תנועה בקו ישר
θ	x
$\omega = \dot{\theta}$	$v = \dot{x}$
$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\theta}$	$a = \dot{v} = \ddot{x}$
I	m
L	p
τ	F

<u>גלגול ללא החלקה</u>: מהירות הנקודה שנוגעת במשטח מתאפסת (ביחס למשטח)← $v_{c.m.} = \omega R$; $a_{c.m.} = \alpha R$

- בגל"ה החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

<u>איך נגשים לשאלות?</u>

חוקי שימור

בודקים מה נשמר:
1. אנרגיה אם כל הכוחות משמרים.
2. תנע קווי אם סכום הכוחות החיצוניים מתאפס.
3. תנ"ז אם סכום המומנטים החיצוניים מתאפס.

דרך כוחות ומומנטים

עושים:
1. חוק II: $\Sigma F = ma_{c.m}$
2. משוואת מומנטים: $\Sigma\tau = I\alpha$
3. קשר בין התאוצות, לדוגמה $a_{c.m} = \alpha R$

מבנה החומר GOOL

<u>גודל אטום המימן (הקטן ביותר):</u> $0.53 \cdot 10^{-10}m$

<u>יחידת האנגסטרום:</u> $1\dot{A} = 10^{-10}m$

פרוטונים מסמנים ב- p נויטרונים ב- n ואלקטרונים ב- e

<u>מסת הפרוטון והנויטרון:</u> $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}kg$

<u>מסת האלקטרון:</u> $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}kg$

- מסת האלקי' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנויטרונים קובעים את מסת האטום.

<u>מטען האלקטרון:</u> $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}c$

<u>מטען הפרוטון</u> זהה והפוך בסימנו: $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19}c$

<u>הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי</u> ולכן אין לו מטען.

המטען החשמלי של כל גוף יהיה חייב להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

הכוח החשמלי - חוק קולון GOOL

<u>חוק קולון:</u> $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

r - הוא המרחק בין הגופים

- קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{c^2}$

- הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.

- הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים הטעונים בצורה אחידה. *<u>מטען נקודתי</u>* הוא גוף שהגודל שלו קטן בהרבה מ- r, המרחק שבו מחשבים את הכוח.

- הנוסחה נכונה עבור שני מטענים הנמצאים בריק, כאשר המטענים נמצאים בתוך (לדוגמה מים או שמן) הכוח משתנה.

השדה החשמלי GOOL

<u>הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E</u>: $F = qE$

<u>השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב:</u> $E = \frac{kq}{r^2}$

r - הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה.

<u>עקרון הסופרפוזיציה</u>: השדה השקול בנקודה במרחב הוא סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה נקודה.

<u>קווי שדה</u>: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

חוק גאוס GOOL

<u>צפיפות מטען נפחית ρ, משטחית σ, אורכית λ, אחידה:</u>

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

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

<u>הקבוע הדיאלקטרי של הריק:</u> $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85\frac{c^2}{N \cdot m^2}$

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ε_0.

<u>השטף דרך משטח בשדה אחיד:</u> $\phi_E = E_{\perp} \cdot s$

$E_{\perp}$ 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.

חוק גאוס: $\phi_E = 4\pi kQ_{in}$

ϕ_E - שטף דרך **משטח סגור**.

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

<u>השדה של כדור וקליפה כדורית</u> מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי: $E = \frac{kQ}{r^2}$

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

- כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נק')

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

<u>שדה של כדור מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות אחידה:</u> בכיוון רדיאלי

Q הוא סך המטען של הכדור

r הוא המרחק ממרכז הכדור

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

- <u>הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא:</u>

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

<u>שדה של תיל אינסופי (אחיד):</u> $E(r) = \frac{2k\lambda}{r}$

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

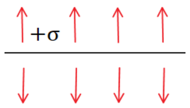
- כיוון השדה רדיאלי (במאונך לתיל וכלפי חוץ/פנים עבור מטען חיובי/שלילי).

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

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

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

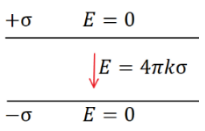
<u>השדה של מישור אינסופי:</u> $E = 2\pi k\sigma = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$



כאשר σ היא צפיפות המטען ליחידת שטח במישור ($\sigma = \frac{Q}{S}$).

- כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)

<u>השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה</u> הוא $4\pi k\sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ



תנועה בשדה חשמלי אחיד GOOL

אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה בליסטית. <u>גודל התאוצה</u> הוא: $a = \frac{qE}{m}$

- כיוון התאוצה בכיוון השדה עבור מטען חיובי והפוך לשדה עבור מטען שלילי

מוליכים GOOL

- במוליך המטענים חופשיים לזוז.
- **השדה מתאפס** (או ליתר דיוק הכוח) בתוך המוליך.
- על השפה יכול להיות **שדה מאונך לשפה**.
- **המטען הכולל בתוך המוליך מתאפס למעט על השפה**(במצב סטטי).
- **הפוטנציאל במוליך אחיד** (קבוע).

<u>הארקה</u>: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

חומרים דיאלקטרים GOOL

- 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.

<u>השדה השקול בתוך החומר</u> (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה): $\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r}$

$\vec{E}_T$ - 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 <u>המקדם הדיאלקטרי</u> (הלא יחסי) והקשר הוא: $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$

$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85\frac{c^2}{N \cdot m^2}$ הוא המקדם הדיאלקטרי של הריק

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען הנע בהשפעת הכוח החשמלי נשמרת.

<u>משוואת שימור אנרגיה</u>: $\frac{1}{2}mv_i^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + U_f$

v_i / v_f - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.

U_i / U_f - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.

<u>אנרגיה פוטנציאלית</u> של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר): $U = \frac{kq_1q_2}{r}$

- שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!

<u>העבודה שמבצע הכוח החשמלי</u> שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנע):

$W_{\text{כוח חשמלי}} = -\Delta U$

<u>העבודה הדרושה להזיז מטען</u> היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא מינוס): $W_{\text{להזיז מטען}} = -W_{\text{כוח חשמלי}} = \Delta U$

<u>פוטנציאל</u> הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל היא פונקציה מתמטית שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.

<u>האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל הוא V</u>: $U = qV$

<u>פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב</u>: $V = \frac{kq}{r}$

r - המרחק מהמטען.

היחידות הסטנדרטיות של הפוטנציאל הן וולט [V]. אחד וולט הוא גאול חלקי קולון.

סופרפוזיציה: על מנת לחשב את הפוטנציאל בנקודה במרחב ניתן לחבר את הפוטנציאל שיוצר כל מטען באותה נקודה. החיבור הוא סקלרי ויותר פשוט מחיבור שדות.

מתח : הפרש פוטנציאלים, מסומן ב ΔV אבל לפעמים מסומן גם ב V לבד כמו הפוטנציאל, כי פוטנציאל בנקודה הוא גם מתח (הפרש פוטנציאלים) מהאפס.

יחידת האלקטרון וולט [eV] : יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט. $1eV = 1.6\cdot 10^{-19}J$

הפרש הפוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:

$$\Delta V = -\vec{E}\cdot\Delta\vec{x} = -|\vec{E}||\Delta\vec{x}|\cos\alpha$$

פוטנציאל של לוח אינסופי (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח): $U(x) = -2\pi k\sigma x$

σ - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.

x - המרחק מהלוח.

הפוטנציאל במוליכים קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס)

הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:

Q – סך המטען של הכדור

R – רדיוס הכדור

r – המרחק ממרכז הכדור

$$V(r)=\begin{cases}\frac{kQ}{R}, & r\le R\\ \frac{kQ}{r}, & r\ge R\end{cases}$$

שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).

הפוטנציאל של כדה"א : כדה"א הוא כדור מוליך מאוד גדול, $R=\infty$ ולכן הפוטנציאל אפס.

חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוואת הפוטנציאלים)

הארקה: חיבור מוליך לכדה"א, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדה"א).

חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה (העבודה הדרושה לבניית המערכת):

- דרך 1: נסכום את העבודות להביא את המטענים אחד אחרי השני. עבור המטען הראשון, העבודה היא אפס (כי אין אף מטען אחד במרחב שיוצר פוטנציאל). עבור המטען השני, העבודה לקרב אותו למטען הראשון*. עבור המטען השלישי העבודה לקרב לשני המטענים**, וכן הלאה. במקרה של שלושה מטענים החישוב הוא:

$$W = 0 + \underbrace{q_2\frac{kq_1}{r_{12}}}_{*} + \underbrace{q_3\left(\frac{kq_1}{r_{13}}+\frac{kq_2}{r_{23}}\right)}_{**}$$

- דרך 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

$$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}}+\frac{kq_1q_3}{r_{13}}+\frac{kq_2q_3}{r_{23}}$$

זרם מתח והתנגדות GOOL

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן

חישוב זרם קבוע או ממוצע: $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$

I הוא סקלר אבל כיוון הזרם נקבע לפי כיוון תנועת המטענים החיוביים.

- היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר $1A=1C/1sec$
- בגרף של $I(t)$ סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.
- בגרף של $q(t)$ שיפוע הגרף שווה לזרם. אם הגרף **ליניארי**

ניתן לרשום: $q(t) = I\cdot\Delta t + q_0$

מהירות סחיפה: $I = n_eAq_ev_d$

n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.

A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.

v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלק' במוליך)

מהירות האות החשמלי היא המהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, המהירות שבה תידלק נורה כתוצאה מהדלקה של מתג). מהירות האות החשמלי היא מהירות האור והיא גדולה בהרבה ממהירות הסחיפה.

מקור מתח מבצע עבודה במעגל חשמלי סגור וגורם לתנועה של המטענים(זרם). **המקור אינו מוסיף מטענים** למעגל.

חוק אוהם: $V=IR$

V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.

נגד: מוליך שהתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.

תלות ההתנגדות במבנה הנגד: $R=\frac{l}{A}\cdot\rho$

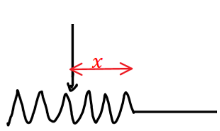
l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).

A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.

ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.

ההתנגדות של נגד משתנה:

$$R(x) = \rho\cdot\frac{x}{A} = rx$$



כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)

r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.

כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית: $\varepsilon = V + Ir$

ε - כא"מ, המתח המקסימאלי של הסוללה.

V - מתח הדקים. r - התנגדות פנימית. I – זרם בסוללה.

נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה (R_T)

ולא הזרם: $V_{\text{הדקים}} = \frac{\varepsilon R_T}{R_T+r}$

עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגלGOOL

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד תחת מתח V היא: $W = qV = Q$

כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.

הספק קבוע או ממוצע: $P=\frac{W}{\Delta t}$

W – העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt

- היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט: 1W=1J/1sec

נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:

$$P = IV = I^2R = V^2/R$$

השוויון הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

חיבור נגדים במעגל GOOL

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא הצד שבו הזרם נכנס לנגד.

חיבור נגדים בטור :

- חיבור בטור נעשה כאשר <u>הזרם</u> בנגדים זהה

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$$

- המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots$$

חיבור נגדים במקבילי :

- חיבור בטור נעשה כאשר <u>המתח בנגדים זהה</u>

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

- הזרם בנגד השקול שווה לסכום הזרמים

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots$$

הספק המעגל הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).

חוקי קירכהוף GOOL

מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.

1. סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום 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 למצוא את הזרמים .

נצילות במעגל החשמלי GOOL

נצילות: $\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}$

η - נצילות המעגל.

P_{out} - ההספק המופק/מנוצל ברכיבים השימושיים במעגל

P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

קבלים GOOL

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): $C=\frac{Q}{V}$

C - הקיבול של הרכיב. V - המתח בין שני החלקים.

Q - המטען על הלוח החיובי.

- יחידות הקיבול הן Farad: $1\cdot\text{Farad}=\frac{1\cdot\text{Coulomb}}{1\cdot\text{Volt}}$

סוגי קבלים נפוצים: קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גלילי. בדר"כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות).

הקיבול של קבל לוחות: $C=\frac{\varepsilon_0A}{d}$

A - שטח של 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 הקיבול תמיד קבוע במעגל (אלא אם משנים את המבנה).

סימון הקבל במעגל: --| |--

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 במקבילי: $C_T = C_1 + C_2$

התנאי לחיבור במקבלי הוא שהמתח על הקבלים זהה (וזה גם המתח על הקבל השקול)

- המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

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: $W = QV = 2U_c$

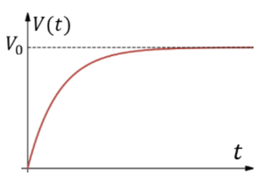
חומרים דיאלקטרים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.

קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C'=\varepsilon_rC_0$

- 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:



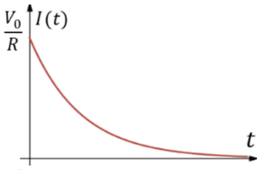
$$V_c(t) = V_0(1-e^{-\frac{t}{RC}})$$

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

V_0 - המתח של הסוללה

R - התנגדות המעגל

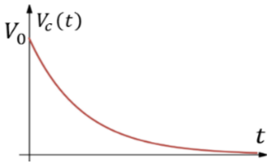
- הזרם כתלות בזמן:



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

פריקה של קבל:

המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:



$$V_C(t)=V_0e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q_C(t)=CV_0e^{-\frac{t}{RC}}$$

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

- הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה.

זמן אופייני: $\tau = RC$, נהוג להגיד שלאחר זמן של 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

הכוח המגנטי -חוק לורנץ GOOL

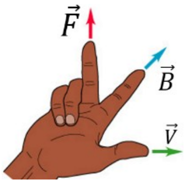
חוק לורנץ - הכוח המגנטי: $\vec{F}_B = q\vec{v}\times\vec{B}$

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 אקדח).



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).

השדה המגנטי GOOL

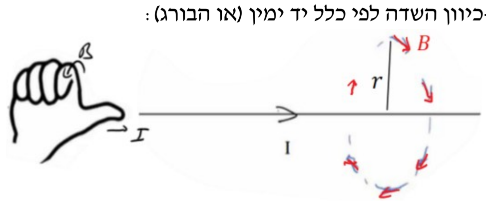
סימון וקטור לתוך הדף ⊗ והחוצה מהדף (אלינו) ⊙

שדה של תיל אינסופי: $B=\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

כאשר r הוא המרחק מהתיל.

$\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}N/A^2$ מקדם המגנטיות של הריק.

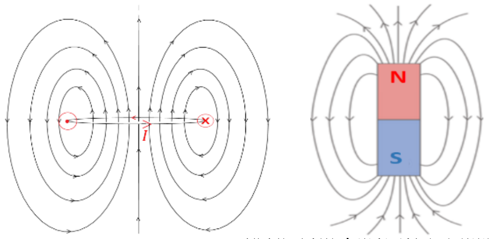
-כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):



היחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה).

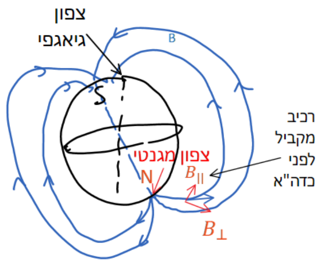
שדה במרכזו של טבעת ברדיוס R: $B=\frac{\mu_0 I}{2R}$

קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי) :



השדה המגנטי של כדור הארץ :

- הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.



- נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל ומאונך לכדה"א (לקרקע) כאשר בדר"כ מודדים רק את הרכיב המקביל.

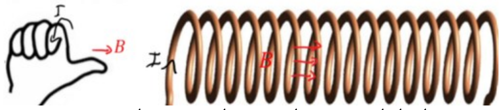
שדה של סליל אינסופי :

בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל: $B = \frac{\mu_0 N I}{L}$

N - מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.

- ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל: $n = \frac{N}{L}$

- כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.



- מחוץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.

חוק אמפר – המשך השדה המגנטי GOOL

חוק אמפר : $\Sigma B_{\parallel_i} \Delta L_i = \mu_o I_{in}$

$\Sigma B_{\parallel_i} \Delta L_i$ - הוא סכום לאורך מסלול סגור על הרכיב המקביל למסלול של השדה המגנטי. בדר"כ נעבוד במקרים סימטרים 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- $\Sigma B_{\parallel_i} \Delta L_i = B \cdot 2\pi r$
2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\Sigma B_{\parallel_i} \Delta L_i = B \cdot l$
3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\Sigma B_{\parallel_i} \Delta L_i = B \cdot 2l$

כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים GOOL

גודל הכוח הפועל על **תיל ישר** **בשדה אחיד** באורך L הנושא זרם I הוא: $F = BIL \sin\alpha$

α - היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם.

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 ליחידת אורך בין שני תיילים מקבילים: $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

d – המרחק בין התיילים.

- כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים

חוק פארדיי והשראות GOOL

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.

חוק פארדיי : $\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$

$\phi_B = \Sigma B_{\perp} \cdot \Delta S = B_{\perp} \cdot S$

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.

האם השטף גדל או קטן?

- גדל → נרצה להקטין את השטף → ניצור שדה מגנטי בכיוון הפוך לשדה הקיים
- קטן → נרצה להגדיל את השטף → ניצור שדה מגנטי באותו הכיוון של השדה הקיים

נמצא את כיוון הזרם שייצור את השדה המתאים לפי כלל יד ימין

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