

## הוראות לדף הנוסחאות



### הוראות הדפסה!

את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמות 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:



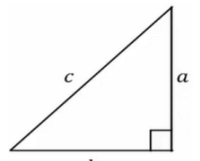
הדף בנוי משלושה טורים. ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה. בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא. ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

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.

**פונקציות טריגונומטריות**

**GOOL**



ניצב שמול יתר  
 $\sin \alpha = \frac{a}{c}$   
ניצב ליד יתר  
 $\cos \alpha = \frac{b}{c}$   
ניצב שמול ליד ניצב  
 $\tan \alpha = \frac{a}{b}$   
 $\cot \alpha = \frac{b}{a}$   
 $\frac{1}{\tan \alpha} = \cot \alpha$   
 $a^2 + b^2 = c^2$

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

**משוואת הקו הישר**

**GOOL**

משוואת הקו הישר:  $y = mx + n$   
משוואת הקו הישר:  $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$  כאשר  $\alpha$  היא הזווית של הישר עם ציר ה-x.  
מכפלת השיפועים של שני ישרים מאונכים היא -1.  
מרחק בין שתי נקודות:  $d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$   
מרחק נקודה מישר:  $d = \frac{|mx_0 - y_0 + n|}{\sqrt{m^2 + 1}}$

**הפרבולה**

**GOOL**

משוואת הפרבולה:  $y = ax^2 + bx + c$   
חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.  
קודקוד הפרבולה:  $x_{קודקוד} = -\frac{b}{2a}$   
נוסחת השורשים:  $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

**מבוא פיזיקלי**

**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 1000 לדוגמה: מילימטר  $1mm = \frac{1}{1000}m$   
ומיליגרם  $1mg = \frac{1}{1000}gr$   
ליטר:  $1liter = 1000cm^3$   
קוב:  $1000m^3 = 1000liter$   
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:  $\lambda = \frac{M}{l}$

**תנועה בקו ישר**

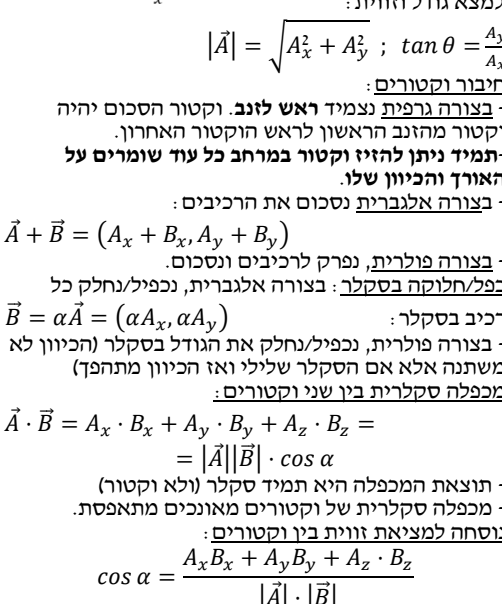
**GOOL**

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 מתת לגרף המהירות הוא ההעתק, עובדה זו נכונה גם עבור מהירות 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  $t_0$  (בדרך"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  $v_0$  ו  $x_0$  הן המיקום והמהירות בזמן  $t_0$  (בדרך"כ רגע תחילת 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:

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:  
 $(\cos x)' = -\sin x$ ;  $(\sin x)' = \cos x$

**וקטורים**  
פירוק לרכיבים:  
 $A_y = |\vec{A}| \sin \theta$   
 $A_x = |\vec{A}| \cos \theta$   
למצא 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:  
 $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y + A_z \cdot B_z = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha$   
- תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור)  
- מכפלה סקלרית של וקטורים מאונכים מתאפסת.  
נוסחה למציאת זווית בין וקטורים:  
 $\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|}$



וקטור יחידה:  
וקטור בשלושה מימדים:  
 $0 \leq \varphi \leq \pi$   
 $0 \leq \theta \leq 2\pi$   
 $\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$

וקטור בשלושה מימדים:  
 $\vec{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}$   
 $\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ ;  $\cos \varphi = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}$   
פירוק לרכיבים:  
 $A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi$ ;  $A_z = |\vec{A}| \cos \varphi$   
מכפלה וקטורית:  
 $A_x = |\vec{A}| \sin \varphi \cos \theta$ ;  $A_y = |\vec{A}| \sin \varphi \sin \theta$   
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:  $|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| |\sin \alpha|$   
כיוון לפי כלל יד ימין:



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

**נפילה חופשית זריקה אנכית**

תנועה בתאוצה קבועה g כלפי מטה, נבחר את ציר התנועה להיות ציר ה-Y, ולכן משוואות התנועה הן:  
 $y(t) = y_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$   
 $v(t) = v_0 + a(t - t_0)$   
 $v_f^2 = v_i^2 + 2a(y_f - y_i)$   
- הנפילה חופשית הגוף מתחיל ממנוחה ולכן  $v_0 = 0$   
בדרך"כ נבחר לפתור באופן הבא:

- כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז  $a = g$  (במשוואות הני"ל).
  - נבחר את הראשית בנקודת ההתחלה ואז  $y_0 = 0$
- זריקה 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:  $t_{שיא גובה} = \frac{v_0}{g}$ ;  $y_{שיא גובה} = y_0 + \frac{v_0^2}{2g}$

**תנועה במישור - בליסטית**

**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 נורק במהירות התחלתית  $v_0$  בזווית  $\theta$  (באופקית הזווית אפס).  
- נפריד לתנועה במהירות קבועה בציר X ותנועה בתאוצה קבועה בציר Y (זריקה אנכית). משוואות התנועה יהיו:  
 $x(t) = x_0 + v_0 \cos(\theta)t$ ;  $v_x(t) = v_0 \cos(\theta)$   
 $y(t) = y_0 + v_0 \sin(\theta)t + \frac{1}{2}a_y t^2$   
 $v_y(t) = v_0 \sin(\theta) + a_y t$   
- אם נבחר כיוון חיובי בציר Y כלפי מעלה אז  $a_y = -g$   
- תיתכן תאוצה גם בציר ה X לדוגמה במקרה של רוח אופקית ואז צריך לשנות את הנוסחאות בציר X לנוסחאות של תאוצה קבועה.

שיא גובה ( $v_y(t) = 0$ ):  $t_{שיא גובה} = \frac{v_0 \sin(\theta)}{g}$ ;  $y_{שיא גובה} = \frac{(v_0 \sin(\theta))^2}{2g}$   
- 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**

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

החוק הראשון של ניוטון: אם גוף נע במהירות קבועה בקו ישר (או במנוחה) 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 מקסימלי:  $f_s \leq \mu_s N$  או  $f_{s,max} = \mu_s N$   
חיכוך קינטי:  
פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע).  
גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים)  
בניגוד לסטטי ושווה ל:  
המישור המשופע:  
בעצות עם מישור משופע מומלץ לבחור מערכת צירים כך שציר X מקביל למישור וציר Y מאונך.  
הרכיב של  $mg$  במקביל למישור יהיה  $mg \sin(\theta)$



ובמאונך למישור  $mg \cos(\theta)$ , שימו לב לסימנים בהתאם לכיוון הצירים.

**GOOL**

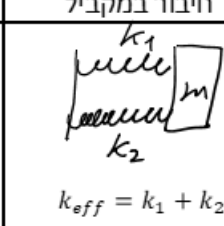
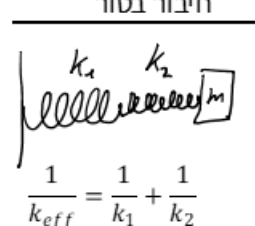
**דינמיקה - חוק II של ניוטון**

חוק II של ניוטון:  $\vec{F} = m\vec{a}$   
- 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. אחי"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

**GOOL**

**קפיצים**

חוק חוק - הכוח שמפעיל קפיץ:  $F = -k\Delta x$   
-  $\Delta x$  - התארכות ממצב הרפוי של הקפיץ (מסומן גם ב  $\Delta l$ )  
-  $k$  - הוא קבוע הקפיץ ותלוי בחומר ממנו עשוי הקפיץ

חיבור במקביל	חיבור בטור
	

**GOOL** **כבידה והכוח הריבועי ההפוך**

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 הגריטטיבה העולמי או קבוע ניוטון), ערכו נמדד בניסויים והוא:  $G = 6.67384 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{s^2kg} = 6.67384 \cdot 10^{-8} \frac{cm^3}{s^2gr}$

**GOOL** **עבודה ואנרגיה**

העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:

$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = F\Delta x \cos \alpha$   
כאשר  $\alpha$  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 קבוע שווה לשינוי באנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:  $W_g = -\Delta U_g$   
האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ):  
 $U_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$   
הוא קבוע הקפיץ

$\Delta x$  היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב  $\Delta l$ )  
האנרגיה הכללית היא האנרגיה הקינטית של הגוף ועוד  $\Sigma$  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:  $W_{NC} = \Delta E = E_f + W_{NC} = E_f$   
 $E_f$  ו-  $E_i$  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 מההתחלתית  
-  $l$  - אורך החוט  
-  $\theta$  - 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 הגוף 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 ההספק ממוצע:  $P = \frac{W}{\Delta t}$   
היחידה הסטנדרטית של ההספק היא Watt ( $W$ ) והיא שווה לאגול חלקי שנייה.

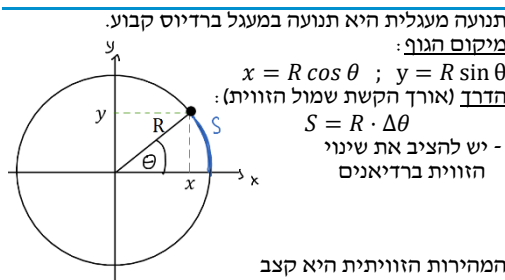
יחידת נוספת היא כוח סוס ( $Hp$ ):  $1Hp = 746Watt$

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

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

**GOOL**

**תנועה מעגלית**



המהירות הזוויתית היא קצב שינוי הזווית בזמן.  
המהירות 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 קבועות):  $|\vec{v}| = \omega R$

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

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

- בתרגילים, נבחר מערכת צירים כך שכיוון ציר  $X$  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:  
 $\theta(t) = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t - t_0)^2$

**GOOL**

**מתקף ותנע**

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:

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 (מצחיית) 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 רגע: 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 את 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 מצחיית (במימד אחד) בין מסות שוות שאת הגופים במנוחה: במקרה זה לא האנרגיה עוברת מהגוף הפוגע לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו הגוף הראשון.

**GOOL**

**תנועה מחזורית**

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 שהוכחו ביחס ישר למיקום.

**GOOL**

**תנועה הרמונית**

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.  
-  $\omega$  - תדירות זוויתית.  $\varphi$  - פאזה.

המהירות בתנועה הרמונית:  $v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$   
התאוצה בתנועה הרמונית:  $a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$   
קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות וזמן 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)

בדרי"כ נמצא את  $A$  ו-  $\varphi$  מתנאי התחלה:

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

מהירות ותאוצה מקסימליות:

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

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 שבה גודל המהירות קבוע.  
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. כן). חדשה) משם התנועה תהיה כרגיל. אפשר לקבוע את  $x=0$  בנקודת ש.מ ולהתעלם מהכובד.

האנרגיה בתנועה הרמונית:

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

**GOOL**

**כבידה**

החוק השלישי של קפלר:  $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$   
 $r$  - רדיוס הקפה ממוצע של כל גרם שמיים.  
 $T$  - זמן המחזור של כל גרם שמיים.

גודל כוח הכבידה בין שני גופים:  $F = G \frac{m_1m_2}{r^2}$   
 $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  - קבוע הכבידה האוניברסלי.  
 $m$  - מסות הגופים.  $r$  - המרחק בין מרכזי הגופים.  
אנרגיה פוטנציאלית כובדית:

$U_G = -\frac{GMm}{r}$  ( $U_G(r \rightarrow \infty) = 0$ )  
 $M$  - מסת הגוף המשפיע.  $m$  - מסת הגוף המשופע.  
 $r$  - מרחק בין הגופים.  
אנרגיה של לוויין במסלול מעגלי:

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

**GOOL**

**מרכז מסה**

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 להתאמה. 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 שמור. ניתן לעשות "שימור מרכז מסה" - לחשב אותו בהתחלה ובסוף ולהשוות.

**GOOL**

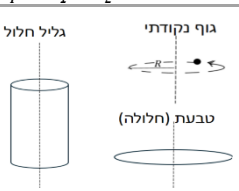
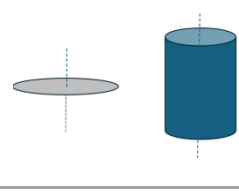
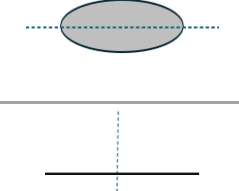
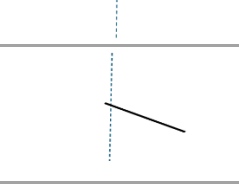
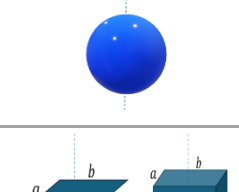

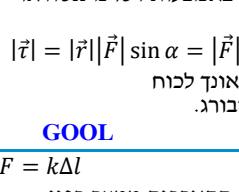
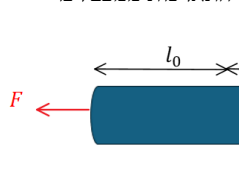
**מומנט התמד**

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

מומנט התמד של מערכת גופים נקודתיים:  $I = \Sigma m_i r_i^2$   
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 אחד בגוף על מנת לקבל את המומנט הכולל.  $I_T = I_1 + I_2$

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

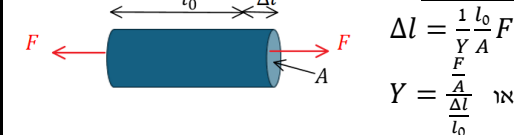
**GOOL מומנט כוח**

**מומנט כוח:**  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$   
 כאשר  $\vec{r}$  הוא וקטור שיוצא מהציר עד לנקודה שבה פועל הכוח (ניתן לחשב את המכפלה באמצעות דטרמיננטה או באמצעות גודל וכיוון)

**גודל המומנט:**  $|\vec{\tau}| = |\vec{r}| |\vec{F}| \sin \alpha = |\vec{F}| r_{\perp}$   
 כאשר  $r_{\perp}$  הוא הרכיב של  $\vec{r}$  המאונך לכוח כיוון לפי כלל יד ימין או כלל הבורג.

**GOOL אלסטיות**

**חוק הוק:**  $F = k\Delta l$   
 F- הכוח שפועל על הגוף.  $\Delta l$  - התארכות ממצב רפוי  
 k- קבוע פורפורציה  
**מודול יאנג:**  $\Delta l = \frac{1}{Y} \frac{F}{A} l_0$



או  $Y = \frac{F/A}{\Delta l/l_0}$   
 Y - מודול יאנג, קבוע שתלוי בסוג החומר  
 $\Delta l$  - התארכות  $l_0$  - אורך במצב רפוי  
 A - שטח חתך.  $F/A$  - מאמץ מתיחה.  $\frac{\Delta l}{l_0}$  - מעוות  
**מודול יאנג / מודול האלסטיות בגיגה פסקל ( $10^9 Pa$ ):**  
 ניילון 2-4. אלומיניום 69. ברונזה 103-124. ברזל ופלדה 190-210. 1050-1200 ( $Pa = N/m^2$ )

**GOOL מאמץ גזירה Shear**

$\Delta l = \frac{1}{S} \frac{F}{A} l_0$   
 או  $S = \frac{F/A}{\Delta l/l_0}$   
 S - מודול גזירה  
 $F/A$  - מאמץ גזירה.  
 $\Delta l/l_0$  - מעוות גזירה.  
**מאמץ גזירה Shear בגיגה פסקל ( $10^9 Pa$ ):**  
 אלומיניום 25. ברזל ופלדה 80. עצם אדם 80.

**GOOL מודול הנפח Bulk Modulus**

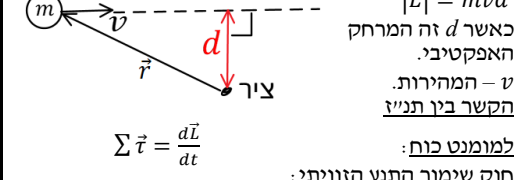
$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V_0}$   
 $V_0$  - נפח במצב שיווי משקל.  $\Delta V$  - שינוי הנפח.  
 $\Delta P$  - שינוי בלחץ, לחץ הוא כוח ליחידת שטח  $P = \frac{F}{A}$   
**מודול הנפח Bulk Modulus בגיגה פסקל ( $10^9 Pa$ ):**  
 אלומיניום 70. ברזל ופלדה 140. גרניט 45. מים 2. אלכוהול 1. ספינת 2.5. אוויר  $10^{-4}$ .

**GOOL שבייה**

**מאמץ מקסימאלי של (מתיחה, כיווץ, גזירה) במגה פסקל ( $10^6 Pa$ ):**  
 פלדה (250, 500, 500). אלומיניום (200, 200, 250). בטון (2, 20, 2). עץ (5, 35, 40). ניילון (00, 00, 500). עצם (00, 170, 130).

**GOOL תנע זוויתי (תנ"ז)**

**תנ"ז:**  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$   
 $\vec{r}$  - הוא וקטור המיקום של הגוף,  $\vec{p}$  - התנע הקווי  
 עבור גוף הענ בקו ישר ניתן לחשב את התנ"ז לפי:



**GOOL גוף קשיח**

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל נקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה מהירות הזוויתית (אך לא באותה מהירות קווית)  
**תנע קווי של גוף קשיח:**  
 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
$\theta$	$x$
$\omega = \dot{\theta}$	$v = \dot{x}$
$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\theta}$	$a = \dot{v} = \ddot{x}$
I	m
L	p
$\tau$	F

לגולל ללא החלקה: מהירות הנקודה שנוגעת במשטח מתאפסת (ביחס למשטח)  $a_{c.m.} = \alpha R$ ;  $v_{c.m.} = \omega R$   
 - בגלייה החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

**אילו נגשים לשאלות?**

- |   |   |
|---|---|
| <p>דרך כוחות ומומנטים</p> <p>עושים:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\Sigma F = ma_{c.m.}</math> חוק II</li> <li>2. משוואת מומנטים: <math>\Sigma \tau = I\alpha</math></li> <li>3. קשר בין התאוצות, לדוגמה <math>a_{c.m.} = \alpha R</math></li> </ol> | <p>חוקי שימור:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. אנרגיה אם כל הכוחות משמרים.</li> <li>2. תנע קווי אם סכום הכוחות החיצוניים מתאפס.</li> <li>3. תנ"ז אם סכום המומנטים החיצוניים מתאפס.</li> </ol> |
|---|---|

**GOOL מבנה החומר**

גודל אטום המימן (הקטן ביותר):  $0.53 \cdot 10^{-10} m$   
 יחידת האנגסטרם:  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} m$   
 פרוטונים מסמנים ב-p נויטרונים ב-n ואלקטרונים ב-e  
**מסת הפרוטון והנויטרון:**  $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$   
**מסת האלקטרון:**  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$   
 מסת האלקטרון קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנויטרונים קובעים את מסת האטום.

**מטען האלקטרון:**  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} c$   
**מטען הפרוטון:** זהה והפוך בסימנו:  $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} c$

הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.  
**המטען החשמלי של כל גוף יהיה חייב להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.**

**GOOL הכוח החשמלי - חוק קולון**

**חוק קולון:**  $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$   
 r - הוא המרחק בין הגופים  
 k - 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 כונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים הטעונים בצורה אחידה. **מטען נקודתי** הוא גוף שהגודל שלו קטן בהרבה מ-r, המרחק שבו מחשבים את הכוח. הנוסחה כונה עבור שני מטענים הנמצאים בריק, כאשר המטענים נמצאים בתוך (לדוגמה מים או שמן) הכוח משתנה.

**GOOL השדה החשמלי**

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E:  $F = qE$   
 השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב:  $E = \frac{kq}{r^2}$

r - הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה. **עקרון הוסופרפוזיציה:** השדה השקול בנקודה במרחב הוא סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה נקודה.  
 שונו שדה: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

**GOOL חוק גאוס ברמה איכותית**

הקבוע הדיאלקטרי של הריק:  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \frac{c^2}{N \cdot m^2}$   
 ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם  $\epsilon_0$ .  
 השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה 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.

**GOOL השדה של מישור אינסופי**

כאשר  $\sigma$  היא צפיפות המטען  
 ליחידת שטח במישור ( $\sigma = \frac{Q}{S}$ )  
 כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)  
**השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה**  
 הוא  $4\pi k\sigma$  בין המישורים ואפס מחוץ

**GOOL השדה של תיל אינסופי**

$E = \frac{2k\lambda}{r}$   
 λ - היא צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל ( $\lambda = \frac{Q}{L}$ )  
 r - הוא המרחק מהתיל.  
 - אותה הנוסחה גם עבור גליל מלא או קליפה גלילית אינסופיים מחוץ לגליל או לקליפה.  
 - בקליפה גלילית דקה ובגליל מלא מוליך השדה בתוך הקליפה/גליל מוליך הוא אפס.  
 - כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (גלילי)

**GOOL חוק גאוס**

צפיפות מטען נפחית  $\rho$ , משטחית  $\sigma$ , אורכית  $\lambda$ , 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:  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \frac{c^2}{N \cdot m^2}$

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם  $\epsilon_0$ .

**השטף דרך משטח בשדה אחיד:**  $\Phi_E = E_{\perp} \cdot s$   
 $E_{\perp}$  רכיב השדה שמאונך למשטח. s הוא שטח המשטח.  
 - אם השדה לא אחיד על המשטח ניתן לחלק את המשטח לחתיכות שבהן השדה אחיד ולסכום את השטף דרך כל חתיכה.

חוק גאוס:  $\Phi_E = 4\pi kQ_{in}$

$\Phi_E$  - שטף דרך משטח סגור.

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

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה 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  
 Q הוא סך המטען של הכדור  
 r הוא המרחק ממרכז הכדור

הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא:

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

שדה של תיל אינסופי (אחיד):

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

התנגדות 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:  $\epsilon = V + Ir$

$\epsilon$  - כא"מ, המתח המקסימלי של הסוללה.

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

נוסחה נוספת למתח הדקים עם התנגדות השקולה ( $R_T$ ):

$$V_{\text{הדקים}} = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$$

וללא הזרם:

### עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל GOOL

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  $\Delta t$

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

נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:

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

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 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).

### 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.

במעגל גדול לולאות מתחים עד אשר נעבור על כל הרכיבים

במעגל. סך הזרמים משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות

ממנה ניתן למצוא את הזרמים.

### נצילות במעגל החשמלי GOOL

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$\eta$  - נצילות המעגל.

$P_{out}$  - ההספק המופק/מונצל ברכיבים השימושיים במעגל

$P_{in}$  - ההספק המושקע (של הסוללה)

### מכשירי מדידה GOOL

אמפרמטר(מד זרם):

נחבר את האמפרמטר בטור לרכיב בו

נרצה למדוד את הזרם.

- התנגדות האמפרמטר צריכה להיות מאוד קטנה ביחס

לנגד. אמפרמטר אידיאלי הוא ללא התנגדות בכלל.

וולטמטר(מד מתח):

נחבר את הוולטמטר במקביל לרכיב אותו נרצה למדוד.

- התנגדות הוולטמטר צריכה להיות גדולה ככל הניתן

(גדולה מאוד ביחס לנגד)

וולטמטר אידיאלי הוא וולטמטר עם התנגדות מאוד

מאוד גדולה או התנגדות אינסופית.

גליונומטר: מד זרם שהתנגדותו אינה זניחה.

- שימוש בגליונומטר כמד זרם:

נחבר במקביל לנגד (מיצד) בעל התנגדות נמוכה (בשביל

להקטין את ההשפעה של התנגדות הגליונומטר על

המעגל)

$$I = I_G \left( 1 + \frac{R_G}{R_S} \right)$$

$I$  - הזרם במעגל.  $I_G$  - הזרם בגליונומטר.  $R_G$  - התנגדות

הגליונומטר.  $R_S$  - התנגדות המיצד.

פוטנציאל הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל היא

פונקציה של המטען שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה

הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.

האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל

הוא  $V$ :  $U = qV$

פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:

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

$r$  - 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 פדיות.

מתח: הפרש פוטנציאלים, מסומן ב  $\Delta V$  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):  $U(x) = -2\pi k \sigma x$

$\sigma$  - 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:

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

$Q$  - סך המטען של הכדור

$R$  - רדיוס הכדור

$r$  - המרחק ממרכז הכדור

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):

דרג 1: נסכים את העבודות להביא את המטענים אחד

אחריו 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:

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

דרג 2: נסכים את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת.

במקרה של שלושה מטענים:

$$W = \frac{kq_1 q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1 q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2 q_3}{r_{23}}$$

### 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  $IA = IC/sec$

- 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:

$$I = n_e A q_e v_d$$

$n_e$  - 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 שהתנגדותו 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.

$\rho$  - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר

ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.

- כיוון השדה הוא [במאונך לתלי וכלפי חוץ/פנים עבור

מטען חיובי/שלילי).

- שדה של קליפה גלילית מתאפס בתוך הקליפה וכמו של

תיל ממוח לקליפה.

שדה של גליל מלא ברדיוס  $R$  הטעון בצפיפות נפחית

אחידה  $\rho$ : (בכיוון רדיאלי)

$$E = \begin{cases} \frac{\pi k \rho r}{\epsilon_0}, & r < R \\ \frac{2\pi R^2 \rho}{r}, & r > R \end{cases}$$

השדה של מישור אינסופי:

$$E = 2\pi k \sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

כאשר  $\sigma$  היא צפיפות המטען

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

כיוון השדה במאונך למישור

(להוצאה מהמישור עבור מטען

חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)

השדה של שני מישורים

אינסופיים עם צפיפות הפוכה

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. גודל התאוצה הוא:

$$a = \frac{qE}{m}$$

- כיוון התאוצה בכיוון השדה עבור מטען חיובי והפוך

לשדה עבור מטען שלילי

### דיפול חשמלי GOOL

השדה של דיפול בצורה כללית:

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

כאשר מומנט הדיפול הוא:  $\vec{p} = q\vec{d}$

$q$  - גודל המטען החיובי.  $\vec{d}$  - המרחק בין המטענים וכיוונו

מהמטען השלילי אל החיובי.  $\hat{r}$  - וקטור מהדיפול לנקודה

בה מחשבים את השדה.

- הנוסחה היא קירוב עבור:  $r \gg d$

- עבור דיפול חשמלי המכוון בכיוון ציר  $y$  ונמצא בראשית.

הנוסחה על ציר  $x$   $y$  בלבד הופכת ל:

$$\vec{E}(y) = \frac{2kp}{y^3} \hat{y}$$

מומנט דיפול של מערכת מטענים:

$$\vec{p}_T = \sum \vec{p}_i = \sum q_i \vec{r}_i$$

### מוליכים GOOL

המוליך הטבעיים 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).

**הארקה:** חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

### חומרים דיאלקטריים GOOL

- חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים

יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטריים

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):

$$\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$$

$\vec{E}_T$  - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען

בתוך החומר.  $\vec{E}_0$  - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא

מהדיפולים של החומר).  $\epsilon_r$  - 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

### מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען הנע

בהשפעת הכוח החשמלי נשמרת.

**משוואת שימור אנרגיה:**

$$\frac{1}{2} m v_i^2 + U_i = \frac{1}{2} m v_f^2 + U_f$$

$v_f / v_i$  - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.

$U_f / U_i$  - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.

אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים (או

האנרגיה פוטנ



**חוק אמפר - המשך השדה המגנטי**

מחוץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.  
 $\Sigma B_{\parallel} \Delta L_i = \mu_0 I_{in}$   
 חוק אמפר:  $\Sigma B_{\parallel} \Delta L_i = \mu_0 I_{in}$   
 - הוא סכום לאורך מסלול סגור על הרכיב המקביל למסלול של השדה המגנטי. בד"כ נעבוד במקרים סימטריים בהם הרכיב המקביל יהיה אחיד לאורך כמעט 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 -  $\Sigma B_{\parallel} \Delta L_i = B \cdot 2\pi r$
  2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l -  $\Sigma B_{\parallel} \Delta L_i = B \cdot l$
  3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l -  $\Sigma B_{\parallel} \Delta L_i = B \cdot 2l$

**חוק על תיל נושא זרם ובין שני תילים**

גודל הכוח הפועל על תיל ישר בשדה אחיד באורך L הנושא זרם I הוא:  $F = BIL \sin \alpha$   
 -  $\alpha$  היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם. 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 ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:  $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

d - המרחק בין התילים.  
 - כוח משכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים

**חוק פארדי והשראות**

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

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

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 s היא מהירות הגוף ו- $\alpha$  הזווית בין הכוח למהירות

**מומנט כוח מגנטי**

מומנט הכוח הפועל על מסגרת מלבנית הנמצאת בשדה מגנטי אחיד:  $\tau = BIS \sin \alpha$   
 S - שטח המסגרת.  
 -  $\alpha$  - הזווית בין האנך למסגרת לבין השדה. הערות: לא תלוי בציר הסיבוב. אותה הנוסחה גם עבור לולאה סגורה בכל צורה שהיא.

**מעגלי זרם חילופיים**

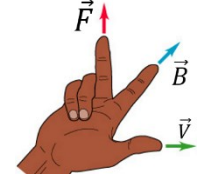
המתח והזרם במעגלי זרם חילופיים:  $V(t) = V_{max} \sin(\omega t + \theta)$ ;  $I(t) = I_{max} \sin(\omega t)$   
 ניתן לעבוד גם עם פונקציית קוסינוס במקום סינוס ההבדל יהיה רק בפאזה. הפאזה בפונקציית סינוס גדולה ב- $\frac{\pi}{2}$  מהפאזה בקוסינוס.  
 - תדירות הזוויתית:  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

T זמן המחזור ו-f התדירות בהרץ  
 -  $\theta$  היא הפאזה של המתח ביחס לזרם  
 - דוגמה לגרף של המתח כתלות בזמן:

$V_0$  - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי  $Q_0 = CV_0$ )  
 - הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה.  
 זמן אופייני:  $\tau = RC$ , נהוג להגיד שלאחר זמן של  $5\tau$  הקבל טעון/פרוק לגמרי

**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  $\alpha$  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).

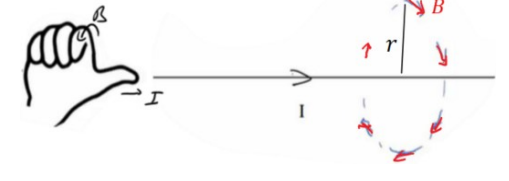
תנועה בשדה אחיד: מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:  
 $R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$   
 אם v לא מאונך למהירות או התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

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

**השדה המגנטי**

סימון וקטור לתוך הדף  $\otimes$  והחוצה מהדף  $\odot$  (אלינו)  
 שדה של תיל אינסופי:  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

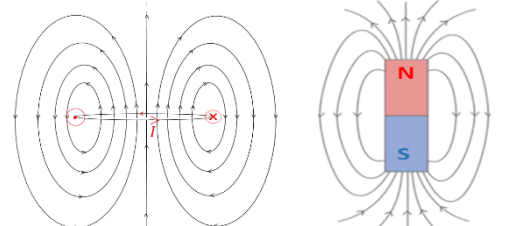
כאשר r הוא המרחק מהתיל.  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$  מקדם המגנטיות של הריק.  
 כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):



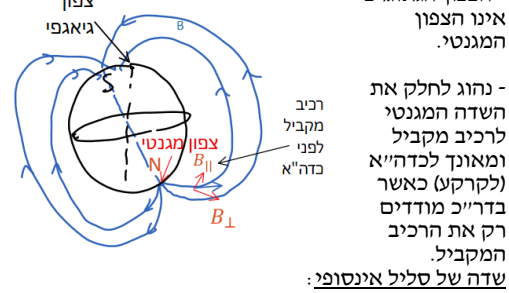
יחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה).  
 שדה במרכזו של טבעת ברדיוס R:  $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$



קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):

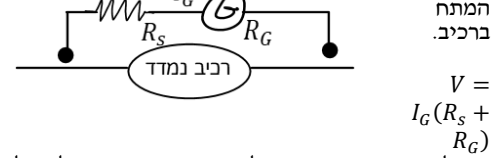


השדה המגנטי של כדור הארץ - הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.

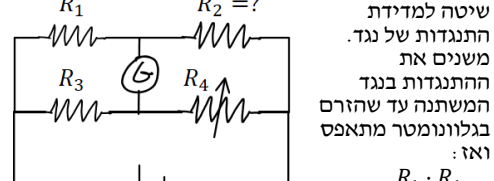


נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל ומאונך לכדור הארץ (לקרקע) כאשר בד"כ מודדים רק את הרכיב המקביל. שדה של סליל אינסופי:  $B = \frac{\mu_0 NI}{L}$   
 בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל: N מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.  
 ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל:  
 $n = \frac{N}{L}$   
 - כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.

**שימוש בגליונומטר כמד מתח:**



V הוא המתח הרכיב.  
 $V = I_G(R_s + R_g)$   
 - בכל אחד מהמקרים, מגבלת המדידה היא המגבלה של הזרם המקסימלי שיכול למדוד הגליונומטר.



גשר ווינסטון: שיטה למדידת התנגדות של נגד. משנים את ההתנגדות בנגד המשתנה עד שהזרם בגליונומטר מתאפס ואז:  $R_2 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3}$

**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):  $C = \frac{Q}{V}$   
 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. 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 להפוך 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 (זהו גם המתח על הקבל השקול)

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

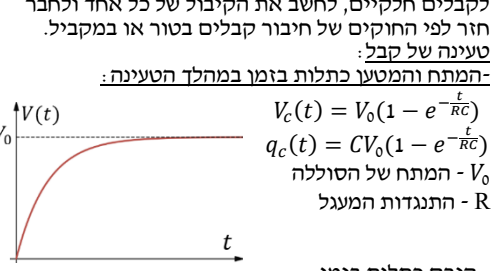
חיבור קבלים בטור:  $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$   
 התנאי לחיבור בטור הוא שהמטען על כל הקבלים זהה (וזהו גם המטען של הקבל השקול).

- המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים.

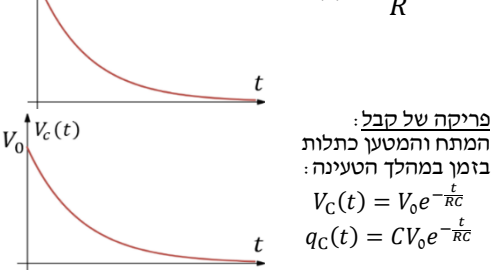
אנרגיה האגורה בקבל:  $U_c = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$   
 העבודה שמבצעת הסוללה (טעינת קבל):

$W = QV = 2U_c$   
 חומרים דיאלקטריים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה 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:



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



פריקה של קבל: המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:  $V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ ,  $q_c(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

קבוע רידברג:  $R^* = \frac{2\pi^2 k^2 m_e e^4}{h^2} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13.6 eV$

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$  - קבוע קולון.  
 $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$  - קבוע הפרמטיביות של הריק.  
 רדיוסי המסלולים המותרים של האלקטרון באטום מימן:

$r_n = r_1 n^2$ ;  $r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} = 0.529 \text{ \AA}$   
 $r_1$  - רדיוס הבסיס של האלק' **האפקט הפוטואלקטרי**

**GOOL**

$E_{ph} = hf$  - אנרגיה של פוטון;  
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot s$  - קבוע פלאנק.  $f$  - תדירות הפוטון.  
 - ניתן לקבל את האנרגיה באלקטרון וולט על ידי הצבה של אורך הגל  $\lambda$  באנגסטרום (Å) או בננומטר (nm):

$E(eV) = \frac{12400}{\lambda(\text{Å})} = \frac{1240}{\lambda(nm)}$   
**אפקט פוטואלקטרי:**  
 $E_{ph} = E_k + B$   
 $E_k$  - האנרגיה הקינטית של אלק' הנפלט מהמתכת.  
 $B$  - פונקציית העבודה של המתכת.  
 דעיכה של מקור רדיואקטיבי:

$N = N_0 e^{-\lambda t}$  או  $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$   
 $N$  - מספר גרעיני האב בזמן  $t$ .  
 $N_0$  - מספר גרעיני האב בזמן  $t = 0$ .  
 $\frac{dN}{dt}$  - קצב ההתפרקות של החומר הרדיואקטיבי.  
 $\lambda$  - קבוע דעיכה  
 פעילות (מינוס קצב ההתפרקות) של מקור רדיואקטיבי:

$R = \lambda N$   
 $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$  - זמן מחצית החיים:

**הספק ממוצע בנגד:**  $\bar{P}_R = I_{eff} V_{R,eff} = I_{eff} V_{s,eff} \cos \theta_s$

$\theta_s$  - הפאזה של המקור  
**גורם ההספק:**  
 - היחס בין ההספק בנגד להספק בקבל והמשרן.  
 - ככל שהגורם גבוה יותר כך ניצול האנרגיה במעגל טוב יותר.

**גלים והתאבכות גלים**

**מהירות גל מחזורי:**  
 $v = \lambda f$   
 $\lambda$  - אורך הגל.  $f$  - תדירות הגל.

**חוק השבירה:**  
 $\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2} = \frac{v_1}{v_2}$   
 $\theta$  - הזווית בין הקרן הפוגעת/ מוחזרת לאנך למשטח.  
 $n$  - מקדם השבירה של כל תווך.  
 $v$  - מהירות הגל בכל תווך.

**גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:**  
 $\ell = n \frac{\lambda}{2}$   
 $\ell$  - אורך המיתר.  $n$  - מספר נקודות הקמר (מקסי/מיני) קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר) שווי-מופע:

$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$   
 $\theta_n$  - זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המקסימום  $n$  ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.  
 $X_n$  - המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר  $n$ .  
 $L_n$  - המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר  $n$ .  
 $d$  - סדר קו המקסימום.  $\lambda$  - אורך הגל.

**קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-מופע:**  
 $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$   
 $\theta_n$  - זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המינימום  $n$  ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.  
 $X_n$  - המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר  $n$ .  
 $L_n$  - המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר  $n$ .  
 $d$  - אורך הגל.  $\lambda$  - המרחק בין החריצים.

**נוסחת יאנג:**  
 $\frac{\Delta X}{L} = \frac{\lambda}{d}$   
 $\Delta X$  - רוחב פס האור.  $L$  - מרחק האנך למסך מהחריצים.  
 $\lambda$  - אורך הגל.  $d$  - המרחק בין החריצים.  
 קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה:

$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = nN \cdot \lambda$   
 $\theta_n$  - הזווית למקסימום מסדר  $n$ .  
 $d$  - המרחק בין שני חריצים צמודים.  $N$  - קבוע הסריג.  
**קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד:**  
 $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w}$   
 $\theta_n$  - הזווית למינימום מסדר  $n$ .  
 $X_n$  - מרחק מרכז המינימום מסדר  $n$  למרכז המקסימום המרכזי.  
 $L_n$  - המרחק בין החריץ למינימום מסדר  $n$ .  
 $w$  - רוחב החריץ.

**עוצמה של גלי קול ביחס לסף השמע:**  
 $\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)}$   
 כאשר  $I_a$  היא עוצמת הקול של  $\alpha$  דציבל.  $I_0$  - סף השמע של אדם.  
 - ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים

**סונים  $\alpha$  ו- $\beta$ :**  
 $\frac{I_a}{I_b} = 10^{\left(\frac{\alpha-\beta}{10}\right)}$   
**האנרגיה של גל קול:**  
 $E = I \cdot S \cdot t$   
 $E$  - האנרגיה הכוללת של גל הקול.  $I$  - העוצמה בדציבל.  
 $S$  - שטח החתך בו הגל פוגע.  
 $t$  - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

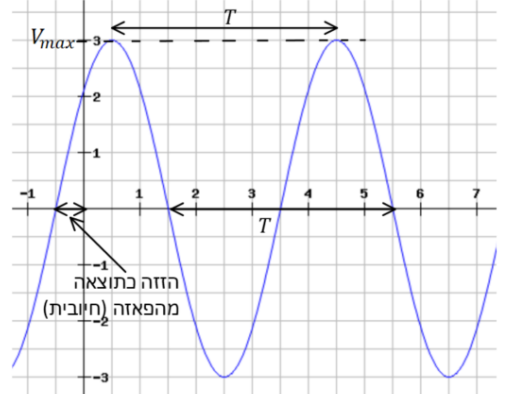
**GOOL**

**חוק סנל:**  
 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$   
 כאשר  $n$  הם מקדמי השבירה של התווך ו- $\theta$  הן הזוויות בין הקרן שפוגעת/מוחזרת לבין האנך למשטח.  
**נוסחת העדשות:**  
 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$   
 $u$  - מרחק העצם מהעדשה.  $v$  - מרחק הדמות מהעדשה.  
 $f$  - מוקד העדשה.

**הגדלה קווית:**  
 $m = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{|u|}$   
 $H_i$  - גובה הדמות.  $H_o$  - גובה העצם.  
**עוצמת העדשה:**  
 $C = \frac{1}{f}$

**האטום - התפתחות היסטורית ומודל בוהר**

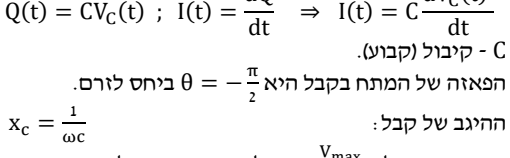
**תנחות בוהר:**  
 $m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$ ;  $E_{ph} = |E_f - E_i|$   
 $m_e$  - מסת האלק'.  $v_n$  - מהירות האלק' ברדיוס מסדר  $n$ .  
 $r_n$  - הרדיוס ה- $n$ .  $n$  - מספר חיובי שלם.  $n = 1, 2, 3, \dots$   
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot s$  - קבוע פלאנק.  
 $E_{ph}$  - אנרגיית פוטון שנפלט/נבלע.  
 $E_i$  ו- $E_f$  הן אנרגיות האלק לפני ואחרי התהליך.  
**רמות אנרגיה באטום מימן:**  
 $E_n = -\frac{R^*}{n^2}$  ( $U_\infty = 0$ )



- זמן מחזור הוא המרחק בין שיא לשיא וממנו ניתן לחשב את התדירויות.  
 - הפאזה מזיזה את הגרף. פאזה חיובית מזיזה את הגרף שמאלה ושילילית מימנה.  
 - חישוב הפאזה:  
 $V(0) = V_{max} \sin(\theta)$   
 $V(0)$  הוא הערך באפס (חיתוך עם הציר האנכי בגרף) נגד במעגל מתח חילופין:  
**חוק אוהם:**  
 $V_R(t) = RI(t)$   
 $R$  - התנגדות הנגד (קבוע).  
 הפאזה של המתח בנגד היא אפס ביחס לזרם.  
**קבל במתח חילופין:**  
 הגדרת הקיבול, והקשר של המתח לזרם:

$Q(t) = CV_C(t)$ ;  $I(t) = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow I(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt}$   
 $C$  - קיבול (קבוע).  
 הפאזה של המתח בקבל היא  $\theta = -\frac{\pi}{2}$  ביחס לזרם.  
**הייגב של קבל:**  
 $X_C = \frac{1}{\omega C}$   
**הייגב:** מוגדר לפי  $X = \frac{V_{max}}{I_{max}}$ , להייגב יחידות של התנגדות ונותן אומדן לסוג של התנגדות של הרכיב במעגל.  
 - בתדירות מאוד נמוכה, מתח המקור כמעט ולא משתנה ומקבלים מעגל מתח ישר, הקבל הופך לנתק. הייגב גבוהה מאוד.  
 - בתדירות מאוד גבוהה, המתח משתנה מהר מאוד והקבל לא מספיק להטען. הקבל הופך לקצר (מתח אפס). הייגב נמוך מאוד.  
**סליל במעגל מתח חילופין:**  
**הקשר בין המתח לזרם:**  
 $V_L(t) = L \frac{di(t)}{dt}$   
 $L$  - השראות (קבוע)  
 הפאזה של המתח בסליל היא  $\theta = \frac{\pi}{2}$  ביחס לזרם.

**הייגב של סליל:**  
 $X_L = \omega L$   
 - בתדירות מאוד נמוכה, אין שינוי בזרם ולכן המתח של הסליל אפס, הסליל מתנהג כמו קצר, הייגב נמוך מאוד.  
 - בתדירות מאוד גבוהה, שינוי זרם גדול יוצר מתח נגדי גדול בסליל. הסליל הופך לנתק. הייגב גבוה מאוד.  
**פאזורים:** פאזור הוא תאור של גודל סינוס המשתנה בזמן באמצעות וקטור. גודל הוקטור הוא הערך המקסימלי והזווית עם הציר האופקי היא הפאזה.



פאזור לתיאור פונקציית המתח כתלות בזמן  
 $V_{max} \sin(\omega t + \theta)$

בשביל לחבר שני גדלים התלויים בזמן נחבר את הפאזורים שלהם (הקטור השקול מתאר את הערך המקסימאלי והפאזה של התוצאה).  
**העכבה (אימפדנס) של המעגל**  
 עכבה היא "ההתנגדות השקולה" של מעגל מתח חילופין

$Z = \frac{V_{S,max}}{I_{max}} = \sqrt{(X_{LT} - X_{CT})^2 + R_T^2}$   
 השוויון האחרון נכון רק למעגל טורי.  
 $V_{S,max}$  - המתח המקסימאלי של המקור.  
 $X_{LT}$  ו- $R_T X_{CT}$  הם ההתנגדות השקולה, סכום ההייגבים של הקבלים וסכום ההייגבים של המשרנים.

**זווית המופע של המקור:**  
 $\tan \theta_s = \frac{X_{LT} - X_{CT}}{R_T}$   
**זרם אפקטיבי ומתח אפקטיבי:**  
 $I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$ ;  $V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$   
 - הם שורש הממוצע של ריבוע הגודל (סוג של ממוצע בזמן רק לגודל המתח והזרם).  
**תהודה:** מצב שבו הזרם הזרם האפקטיבי מקסימאלי. מתרחשת כאשר פאזות המקור מתאפסת.  
**התדירות בה יש תהודה במעגל RLC טורי:**  
 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$