

## 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 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!!

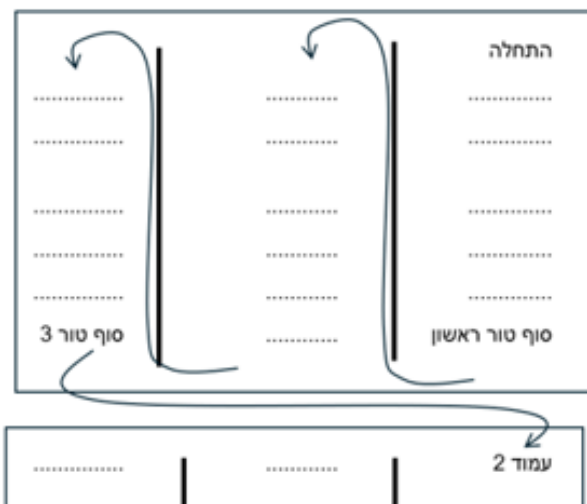
### מבנה הדף:

הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני 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.

**נפילה חופשית וזריקה אנכית**

תנועה בתאוצה קבועה  $g$  כלפי מטה, נבחר את ציר התנועה להיות ציר ה-Y, ולכן משוואות התנועה הן:

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

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

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

- **בנפילה חופשית** הגוף מתחיל ממנוחה ולכן  $v_0 = 0$  בדרי"כ נבחר לפתור באופן הבא:

$$1. \text{ כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז } a = g$$

(במשוואות הנ"ל).  
2. 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  $h$ :  
 $t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0}{g}$ ;  $h = \frac{v_0^2}{2g}$

**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:

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

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

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

- אם נבחר כיוון חיובי בציר Y כלפי מעלה או  $a_y = -g$ , תיתכן תאוצה גם בציר ה-X לדוגמה במקרה של רוח אופקית ואז צריך לשנות את הנוסחאות בציר X לנוסחאות של תאוצה קבועה.

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

$$h = y_0 + \frac{(v_0 \sin(\theta))^2}{2g}$$

- **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  $t$  מהביטוי של  $x(t)$  ומציבים ב- $y(t)$ .

**דינמיקה - חוק I ו-II של ניוטון**

**החוק הראשון של ניוטון**: אם גוף נע במהירות קבועה **בין 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**:  $f_{s,max} = \mu_s N$  או  $f_s \leq \mu_s N$   
**חיכוך קינטי**:

- פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע).  
- גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים).

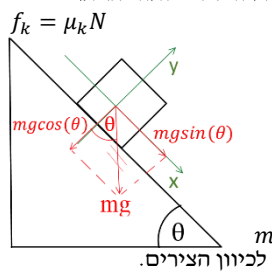
בניגוד לסטטי ושווה ל: **המישור המשופע**:  
בבעיות עם מישור משופע מומלץ לבחור מערכת צירים כך שציר X מקביל למישור וציר Y מאונך.

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

**דינמיקה - חוק II של ניוטון**

**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 ורוק שני לכל גוף בנפרד. אח"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.



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**:

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

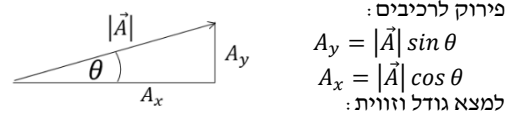
**התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה**:

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

- כשעושים אינטגרל צריך להוסיף קבוע, את הקבוע מוצאים מתנאי התחלה.  
**נגזרות של סינוס וקוסינוס**:

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

**וקטורים**



**פירוק לרכיבים**:  
 $A_y = |A| \sin \theta$   
 $A_x = |A| \cos \theta$   
למצא גודל וזווית:

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

**חיבור וקטורים**:  
- **בצורה גרפית** נצימד ראש לזנב. וקטור הסכום יהיה וקטור מהזנב הראשון לראש הווקטור 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:

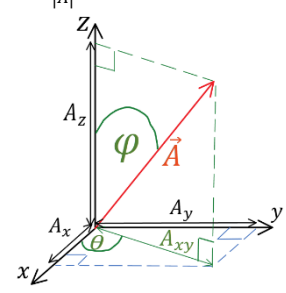
$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y + A_z \cdot B_z = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha$$

- תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור)  
- מכפלה סקלרית של וקטורים מאונכים מתאפסת.  
נוסחה למציאת זווית בין וקטורים:

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

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

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



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

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

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

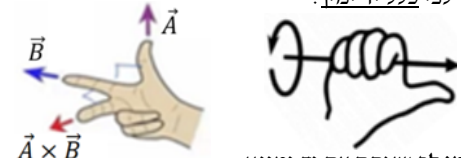
**מכפלה וקטורית**:  
ד-1 לכל לעשות את המכפלה עם דטרמיננטה:

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

ד-2 לפי גודל וכיוון בנפרד:

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

גודל המכפלה הוא: **כיוון לפי כלל יד ימין**:



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

**פונקציות טריגונומטריות**

**ניצב שמול יתר**:  $\sin \alpha = \frac{a}{c}$   
**ניצב ליד יתר**:  $\cos \alpha = \frac{b}{c}$   
**ניצב שמול ליד ניצב**:  $\tan \alpha = \frac{a}{b}$

$\frac{1}{\tan \alpha} = \frac{b}{a} = \cot \alpha$   
 $a^2 + b^2 = c^2$

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

**משוואת הקו הישר**

**משוואת הקו הישר**:  $y = mx + n$   
מ  $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$  כאשר  $\alpha$  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**

**משוואת הפרבולה**:  $y = ax^2 + bx + c$   
 $a$  חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.

**קודקוד הפרבולה**:  $x_{\text{קודקוד}} = -\frac{b}{2a}$   
 $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

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

**מבוא פיזיקלי**

**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**:  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ ;  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$   
**מילי (m) זה 1/1000**:  $1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$ ;  $1 \text{ mg} = \frac{1}{1000} \text{ gr}$

**ליטר**:  $1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3$   
**קוב**:  $1 \text{ קוב} = 1000 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$   
**שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה**:  
 $1 \text{ lightyear} = 9.4608 \cdot 10^{15} \text{ m}$

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

**תנועה בקו ישר**

**העתק**: השינוי במיקום הגוף:  $\Delta x = x_2 - x_1$   
**דבר**: 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  $t_0$  (בדרי"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  $t_0$  (בדרי"כ רגע התחלת התנועה)

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

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

חיבור במקביל
חיבור בטור
1/k\_eff = 1/k1 + 1/k2
k\_eff = k1 + k2
עבודה ואנרגיה
העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:

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
אנרגיה קינטית:  $W_{SF} = \Delta E_k$ 
האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ):

k הוא קבוע הקפיץ
 $U_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$ 
 $\Delta x$  היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב  $\Delta l$ )
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. יתארוטית יכולות להיות עוד אנרגיות
פוטנציאליות אבל זה מאוד נדיר בקורס הזה.
משפט עבודה אנרגיה:  $E_i + W_{NC} = E_f$  או  $W_{NC} = \Delta E$ 
-  $E_f$  ו-  $E_i$  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:

 $h = l(1 - \cos \theta)$ 
- הגובה מהתחתית
- l אורך החוט
-  $\theta$  זווית ביחס לאנך
מהתקרה.
חוס (Q): האנרגיה
הנוצרת מחיכוך קינטי.
- כמות החוס 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 החוס שנוצר גם מהשינוי באנרגיה
הכללית של הגוף.

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:  $W_g = -\Delta U_g$ 
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
לגואל חלקי שנייה.
יחידת נוספת היא כוח סוס (Hp):  $1 \text{ Hp} = 746 \text{ Watt}$ 
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
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):
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 הוא
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:
(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:

$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t - t_0)^2$ 
מבנה החומר
גודל אטום המימן (הקטן ביותר):  $0.53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ 
יחידת האנגסטרם:  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ 
פרוטונים מסמנים ב- p נייטרונים ב- n ואלקטרונים ב- e
מסת הפרוטון והנייטרון:  $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ 
מסת האלקטרון:  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ 
מסת האלק' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה
ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנייטרונים
קובעים את מסת האטום.

מטען האלקטרון:  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ 
מטען הפרוטון זהה והפוך בסימנו:  $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ 
הנייטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.
המטען החשמלי של כל גוף יהיה חיובי להיות כפולה
שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

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 הסופרפוזיציה: השדה השקול בנקודה במרחב הוא
סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה
נקודה.
כיוון שדה: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון
השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות
הקווים.

חוק גאוס ברמה איכותית
הקבוע הדיאלקטרי של הריק:  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}$ 
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:  $E = \frac{kQ}{r^2}$ 
- 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.

השדה של מישור אינסופי:  $E = 2\pi k\sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ 
כאשר  $\sigma$  היא צפיפות המטען
ליחידת שטח במישור ( $\sigma = \frac{Q}{S}$ ).
- כיוון השדה במאונך למישור
(החוצה מהמישור עבור מטען
חיובי וכפלי המישור עבור מטען שלילי)
השדה של שני מישורים
אינסופיים עם צפיפות הפוכה
הוא  $4\pi k\sigma$  בין המישורים ואפס
מחוץ
השדה של תיל אינסופי:  $E = \frac{2k\lambda}{r}$ 
-  $\lambda$  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)
תנועה בשדה חשמלי אחיד
אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה
בליסטית. גודל התאוצה הוא:
 $a = \frac{qE}{m}$ 
לשדה עבור מטען חיובי והפוך

מוליכים
- 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).
הארקה: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי
הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען הנע
בהשפעת הכוח החשמלי נשמרת.
משוואת שימור אנרגיה:  $\frac{1}{2}mv_f^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_i^2 + U_f$ 
- מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.
-  $U_f / U_i$  האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.
אנרגיה פוטנציאלית 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!
העבודה שמבצע הכוח החשמלי שווה למינוס השינוי
באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנו):

$W_{\text{חשמלי}} = -\Delta U$ 
העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים
כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח
החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא
מינוס):  $\Delta U = -W_{\text{חשמלי}}$ 
לחזו מטען
פוטנציאל הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל הוא
פונקציה מתמטית 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:
 $V = \frac{kq}{r}$ 
- המרחק מהמטען.

היחידות הסטנדרטיות של הפוטנציאל הן וולט [V]. אחד
וולט הוא גואל חלקי קולון.
סופרפוזיציה: על מנת לחשב את הפוטנציאל בנקודה
במרחב ניתן לחבר את הפוטנציאל שיוצר כל מטען באותה
נקודה. היחידה היא סקלרי ויותר פשוט מחיבור שדות.
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.  $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ 
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:

$Q$  - 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):

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:

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

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

**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"ר"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 תלוי 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 זורם זרם דרך הקבל. והקבל מתנהג כמו נתק במעגל.

חיבור קבלים במקביל:  $C_T = C_1 + C_2$

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

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:  $U_C = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

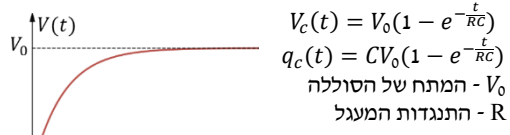
העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$W = QV = 2U_C$

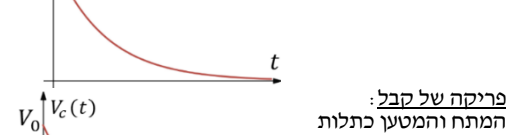
חומרים דיאלקטרים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.

קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד:  $C' = \epsilon_r C_0$

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:  $V_C(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ ,  $q_C(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

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

**GOOL חוק לורנץ - 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:



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

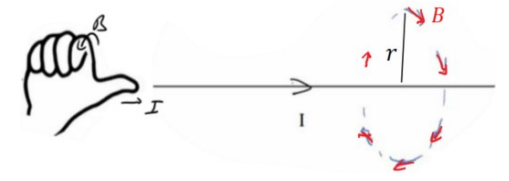
$v \cos \alpha$  היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה. עבודת הכוח המגנטי: תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

**GOOL השדה המגנטי**

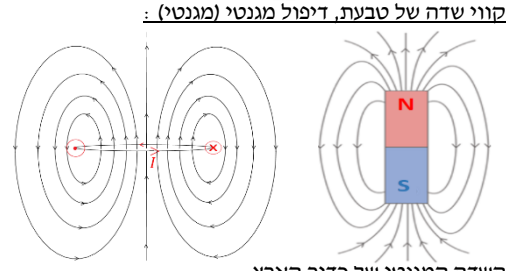
סימון וקטור לתוך הדף  $\otimes$  והחוצה מהדף (אלינו)  $\odot$

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

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



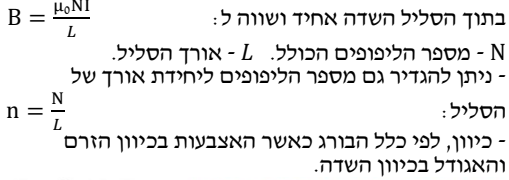
היחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה). שדה במרכזו של טבעת ברדיוס R:  $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$



השדה המגנטי של כדור הארץ - הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי. הנהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל ומאונך לכד"ה"א (לקרקע) כאשר בד"ר"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.



מחוץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.

**GOOL הירוסטטיקה**

זורמים: נוזלים וגזים (כל חומר שיכול לזרום) צפיפות (מסה חלקי נפח):  $\rho = \frac{M}{V}$

מוצקים	נוזלים	צפיפות (kg/m³)
אלומיניום	מים (4°C)	$2.70 \times 10^3$
ברזל ופלדה	פלזמת דם	$7.8 \times 10^3$
נחושת	דם מלא	$8.9 \times 10^3$
עופרת	מי ים	$11.3 \times 10^3$

מוצקים	נוזלים	צפיפות (kg/m³)
זהב	כספית	$19.3 \times 10^3$
בטון	אתנול (אלכוהול אתילי)	$2.3 \times 10^3$
גרניט	בנזין	$2.7 \times 10^3$
עץ (טיפוסי)	גזים	$0.3-0.9 \times 10^3$
זכוכית רגילה	אוויר	$2.4-2.8 \times 10^3$
קרח (H₂O)	הליום	$0.917 \times 10^3$
עצם	פחמן דו-חמצני (CO₂)	$1.7-2.0 \times 10^3$
	אדי מים (100°C)	0.598

לחץ:  $P = \frac{F}{A}$

F - גודל הכוח המאונך למשטח. A - שטח. הלחץ הוא סקלר. יחידות ב SI:  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

זורמים מפעילים לחץ בכל הכיוונים. עבור גוף במנוחה, הלחץ זהה מכל הכיוונים. אם אין זרימה אז הלחץ מאונך לדופן, רכיב מקביל לדופן יגרום לזרימה.

הלחץ בעומק h בתוך נוזל/בעל צפיפות אחידה:  $P = \rho gh$

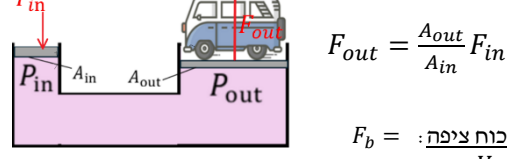
\*הנוסחה היא ללחץ שפועל מהנוזל בלבד, לחישוב הלחץ המוחלט יש להוסיף את הלחץ בפני הנוזל. לחץ בזורם בעל צפיפות משתנה:  $P(y_2) - P(y_1) = -\int_{y_1}^{y_2} \rho g dy$

לחץ אטמוספרי:  $P_0 = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 101.3 \text{ kPa} = 1 \text{ atm}$

$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

לחץ יחסי (הלחץ ביחס ללחץ האטמוספרי):  $P = P_0 + P_G$

P - לחץ אבסולוטי.  $P_0$  - לחץ אטמוספרי.  $P_G$  - לחץ יחסי. עקרון פסקל: אם לחץ חיצוני מופעל על זורם תחום או הלחץ בכל נקודה בזורם גדל באותה ערך. מערכת הידראולית:



כוח ציפה:  $F_b = \rho_l V g$

$\rho_l$  - צפיפות הזורם. V - נפח הגוף.

**GOOL הירודינמיקה**

זרימה למינרית (שכבתית): זורם הנע בשכבות מקבילות ללא הפרעה בין השכבות. זרימה טורבולנטית (עירבולית): זרימה באופן לא מסודר ואקראי. בדרכ מכילה מערבולות שנקראות זרמי אדי. איבוד אנרגיה גבוה.

ספיקה מסית  $Q_m$  (המסה של הזורם שעוברת דרך שטח חתך ביחידת זמן):  $Q_m = \frac{dm}{dt} = \rho Av$

$\rho$  - צפיפות הזורם, A - שטח חתך, v - מהירות הזורם. ספיקה נפחית  $Q_V$  (נפח הזורם העובר דרך שטח חתך ביחידת זמן):  $Q_V = \frac{dV}{dt} = Av$

במצב יציב הספיקה לא משתנה לאורך הזרימה:  $Q_{m1} = Q_{m2}$

משוואת הרציפות:  $\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$

עבור זורם לא דחיס  $\rho_1 = \rho_2$  ואז המשוואה  $A_1 v_1 = A_2 v_2$  עקרון ברנולי: הלחץ הפוך למהירות הזורם משוואת ברנולי:

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 + P_2$$

או  $\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + P = const$

הנחות למשוואת ברנולי: 1. הזרימה למינרית ובמצב יציב. 2. הנוזל אינו דחיס. 3. אין חיכוך (אין צמיגות) חוק טורצילי: מהירות הזרימה של נוזל דרך חור בתחתית של מיכל מלא בגובה h, זהה למהירות שצובר גוף בנפילה חופשית מאותו הגובה  $v = \sqrt{2gh}$  צנור ונטורי:

