

## הוראות לדף הנוסחאות



### הוראות הדפסה! :

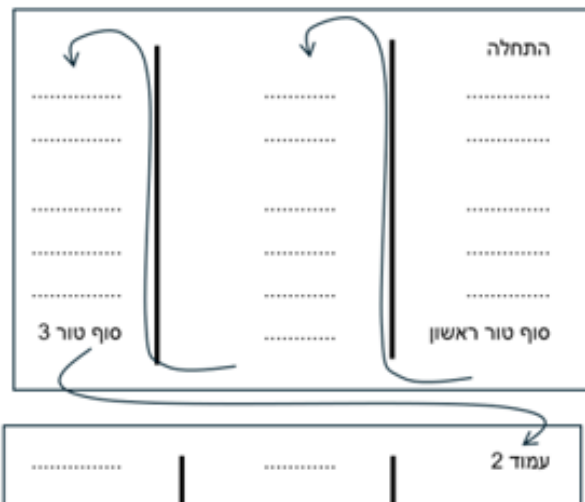
את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמות אישית ברוחב 0.5 בכל צד.

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

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

ניצב ליד יתר

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

ניצב שמול ליד ניצב

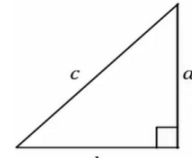
$$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

ליד ניצב

$$\cot \alpha = \frac{b}{a} = \frac{1}{\tan \alpha}$$

1 ניצב ליד ניצב שמול

$$\tan \alpha = \frac{1}{\cot \alpha}$$

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


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

**GOOL**

**משוואת הקו הישר**

משוואת הקו הישר:

$$y = mx + n$$

הישר עם ציר ה-x הוא השיפוע, כאשר  $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$

הישר עם ציר ה-y הוא הנקודה חיתוך עם ציר ה-y.

מכפלת השיפועים של שני ישרים מאונכים היא -1.

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

מרקב נקודה מישר:  $d = \frac{|mx_0 - y_0 + n|}{\sqrt{m^2 + 1}}$

**GOOL**

**הפרבולה**

משוואת הפרבולה:

$$y = ax^2 + bx + c$$

חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.

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

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

**GOOL**

**מבוא פיזיקלי**

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

מעברים בין יחידות:

קילו (k) זה 1000:  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ ;  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$

מילי (m) זה  $\frac{1}{1000}$  לדוגמה: מילימטר  $1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$

ומיליגרם  $1 \text{ mg} = \frac{1}{1000} \text{ gr}$

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

**GOOL**

**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.

הגוף 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  $t_0$  בדרייב 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  $t_0$  בדרייב 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 עוצבה.

**GOOL**

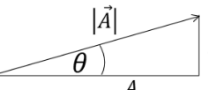
**וקטורים**

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 נמציד 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)

מטעלה 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:

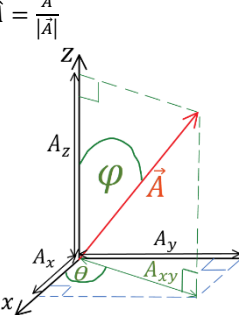
$$\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|}$$

וקטור יחידה:

וקטור בשלושה מימדים:

$$0 \leq \varphi \leq \pi$$

$$0 \leq \theta \leq 2\pi$$

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


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:

דדך 1 לעשות את המכפלה עם דטרמיננטה:


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

דדך 2 לפי גודל וכיוון בנפרד:

גודל המכפלה הוא:

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

וכיוון לפי כלל יד ימין:



**GOOL**

**נפילה חופשית וזריקה אנכית**

תנועה בתאוצה קבועה g כלפי מטה, נבחר את ציר התנועה להיות ציר 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 מנוחה ולכן  $v_0 = 0$

בדרייב נבחר לפתור באופן הבא:

- כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז  $a = g$  (במשוואות הנייל).
- 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 וההתחלתית 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 זה:

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

**GOOL**

**דינמיקה - חוק I ו-II 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 גוף תרשים כוחות.

חיכוך סטטי:

פועל כאשר הגוף במנוחה (ביחס למשטח המגע).

כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.

גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.

ערך מקסימלי:  $f_{s, \text{max}} = \mu_s N$  או  $f_s \leq \mu_s N$

חיכוך קינטי:

פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע).

גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים)

כיוונו לנגד כיוון תנועת הגוף.

חיכוך קינטי:  $f_k = \mu_k N$

המישור המשופע:

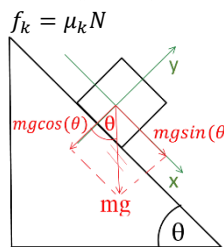
בניגוד לסטטי ושווה ל:

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.



**GOOL**

**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.

**GOOL**

**קפיצים**

חוק הוק - 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

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:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

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 שרוצים. העבודה שמבצע כוח הכובד שווה לשינוי באנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:

$$W_g = -\Delta U_g$$

האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (של קפיץ):

$$U_{el} = \frac{1}{2} k (\Delta x)^2$$

k הוא קבוע הקפיץ

$\Delta x$  היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב  $\Delta l$ )

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

$$E = E_k + U = \frac{1}{2} m v^2 + mgh + \frac{1}{2} k (\Delta x)^2$$

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

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

$E_f$  -  $E_f$  הם האנרגיות הכלליות בהתחלה ובסוף.

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

נוסחה לשינוי גובה של מטוטלת:

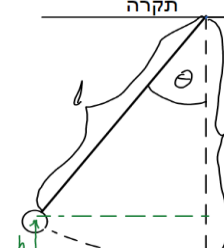
$$h = l(1 - \cos \theta)$$

h - הגובה מהתחתית

l - אורך החוט

$\theta$  - זווית ביחס לאנך מהתקרה.

חום (Q): האנרגיה הנוצרת מחיכוך קינטי. כמות החום שנוצרת בתהליך שווה לעבודה של



**כוח החיכוך הקינטי** (הפוכה בסימן), כי העבודה שמבצע החיכוך הקינטי על הגוף שלילית)  $Q = -W_{fk}$   
 - ניתן לחשב את החום שנוצר גם מהשינוי באנרגיה הכללית של הגוף.  
**הספק (P)**: העבודה שנגשית ביחידת זמן.  
**ההספק של כוח קבוע או הספק ממוצע**:  $P = \frac{W}{\Delta t}$   
 היחידה הסטנדרטית של הספק היא וואט (W) והיא שווה לגאול 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)

**מבנה החומר**

**גודל אטום המימן (הקטן ביותר)**:  $0.53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$   
**יחידת האנגסטרם**:  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$   
 פרוטונים מסומנים ב-p נויטרונים ב-n ואלקטרונים ב-e  
**מסת הפרוטון והנויטרון**:  $m_p \approx m_n = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
**מסת האלקטרון**:  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$   
 מסת האלקטרון קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנויטרונים קובעים את מסת האטום.  
**מטען האלקטרון**:  $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
**מטען הפרוטון** זהה והפוך בסימנו:  $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
**הנויטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.**  
**המטען החשמלי של כל גוף יהיה חיובי להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.**

**הכוח החשמלי - חוק קולון**

**חוק קולון**:  $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$   
 r - הוא המרחק בין הגופים  
 קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי:  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$   
 - הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.  
 הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים הטהורים בצורה אחידה. **מטען נקודתי** הוא גוף שהגודל שלו קטן בהרבה מ-r, המרחק שבו מחשבים את הכוח. הנוסחה נכונה עבור שני מטענים הנמצאים בריק, כאשר המטענים נמצאים בתווך (לדוגמה מים או שמן) הכוח משתנה.

**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.  
**קווי שדה**: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

**חוק גאוס ברמה איכותית**

**הקבוע דיאלקטרי 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:  $E = \frac{Q}{r^2}$   
 - 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 וכלפי 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)

**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**:  $\frac{1}{2}mv_f^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_i^2 + U_f$   
 v\_f / v\_i - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.  
 U\_f / U\_i - האנרגיה פוטנציאלית 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 שנע):  $W_{\text{חשמלי}} = -\Delta U$

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

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- $\Delta V$  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**:  $V(r) = \begin{cases} \frac{kQ}{R}, & r \leq R \\ \frac{kQ}{r}, & r \geq R \end{cases}$   
 Q - סך המטען של הכדור  
 R - רדיוס הכדור  
 r - המרחק ממרכז הכדור  
 שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).  
**הפוטנציאל של כדור**: כדור 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 לכדור"א, מאלץ את הפוטנציאל המוליך להיות אפס (כמו כדור"א).  
**חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה** (העבודה הדרושה לבניית המערכת):

דך 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:

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

דך 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**

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן  
**חישוב זרם קבוע או ממוצע**:  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

**GOOL**

I הוא סקלר אבל כיוון הזרם נקבע לפי כיוון תנועת המטענים החיוביים.  
 - היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר  $I = IC/Isec$   
 - בגרף של  $I(t)$  סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.  
 - בגרף של  $q(t)$  שיפוע הגרף שווה לזרם. **אם הגרף לינארי**  
**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 האלקטרון)

**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.  
 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**:  $\epsilon = V + Ir$   
 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)**

**וללא הזרם**:  $V_{\text{הדקים}} = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$   
**עבודה אנרגיה והספק ברכיבים ב 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 Δt  
 - היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט:  $IW = IJ/Isec$   
**נוסחה נוספת להספק שכוננה גם להספק רגעי**:  $P = IV = I^2R = V^2/R$   
 השווין הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

**גלים והתאבכות גלים**

**מהירות גל מחזורי**:  $v = \lambda f$   
 λ - אורך הגל. f - תדירות הגל.  
**חוק השבירה**:  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$   
 θ - הזוויות בין הקרן הפוגעת/ מוחזרת לאנך למשטח.  
 n - מקדם השבירה של כל תווך.  
 v - מהירות הגל בכל תווך.  
**גל עומד במיתר שקצותיו קשורים**:  $\ell = n \frac{\lambda}{2}$   
 ℓ - אורך המיתר. n - מספר נקודות הקמר (מקסי/מיני) קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר) שווי-מופע:  $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$   
 θ\_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנקי 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.  
 n - סדר קו המקסימום. λ - אורך הגל.  
 d - המרחק בין החריצים.  
**קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-מופע**:  $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$   
 θ\_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנקי 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.  
 λ - אורך הגל. d - המרחק בין החריצים.

**GOOL**

**נוסחת יאנג**:  $\frac{\Delta X}{L} = \frac{\lambda}{d}$   
 ΔX - 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.

### GOOL

### מבוא לאופטיקה

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.