

## הוראות לדף הנוסחאות



### הוראות הדפסה!

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

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השוליים, לבחור שוליים מותאמים אישית ולשנות ל 0.5 בכל הכיוונים

### עריכה:

בדף הכנסנו כמה שיותר הסברים, נוסחאות ותמונות. אם מספר העמודים חורג ממספר העמודים המותר בבחינה ניתן לערוך את קובץ ה WORD ולהוריד הסברים מורחבים, תמונות או נוסחאות טריוויאליות. ניתן גם כמובן להוסיף הסברים שלכם או נוסחאות.

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

אין להוריד את הסמל של GOOL או כל סימן מסחרי אחר!!

### מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא.

ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

הדף מיועד לכל שימוש שאינו מסחרי ובפרט לשימוש מרצים, מורים, סטודנטים ותלמידים בקורסים שונים, ניתן לערוך את הדף אך יש להשאיר סימונים של אתר גול.

פזיקה 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) + 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. כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז a = g (במשוואות הנ"ל).
- 2. נבחר את הראשית בנקודת ההתחלה ואז y\_0 = 0
- בזריקה אנכית: יש לגוף מהירות התחלתית כלפי מעלה או מטה. התנועה היא בתאוצה קבועה g כלפי מטה (כמו נפילה חופשית) ומשוואות התנועה זהות.
- עדיף לבחור את הכיוון החיובי כלפי מעלה ואז a = -g, המהירות ההתחלתית תהיה חיובית אם היא כלפי מעלה ושלילית אם היא כלפי מטה.
- מומלץ לבחור את הראשית בקרקע.

- שיא גובה כאשר v(t) = 0 הצבה במשוואה נותנת בשיא גובה ש: v\_0^2 = 2g \* t\_0^2 ; שיא גובה = y\_0 + v\_0^2 / 2g

תנועה במישור - בליסטית

וקטור המיקום: r = x i + y j = (x, y)  
העתק: dr = dx i + dy j = (dx, dy)  
מהירות ממוצעת או קבועה: v\_avg = dr/dt  
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 + 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.

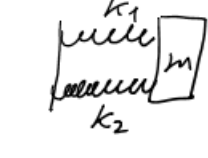
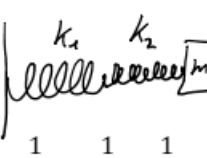
- שיא גובה (v\_y(t) = 0): t\_0 sin(theta) = g  
v\_0 sin(theta) = g  
v\_0 = g / sin(theta)  
שיא גובה = y\_0 + (v\_0 sin(theta))^2 / 2g

דינמיקה - חוק II של ניוטון

חוק II של ניוטון:  $\vec{F} = m\vec{a}$   
- בגלל שהשוויון קטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר  
בנפרד. כלומר:  $\Sigma F_x = m a_x$ ,  $\Sigma F_y = m a_y$   
- בבעיות עם מספר גופים נעשה תנאים כוחות וחוק של כלל גוף בנפרד. אח"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

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

| חיבור במקביל                                                                                                 | חיבור בטור                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>$k_{eff} = k_1 + k_2$ | <br>$\frac{1}{k_{eff}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$ |

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

עבודה ואנרגיה

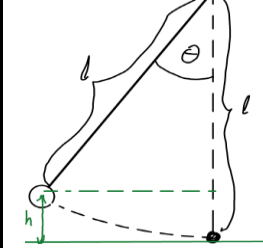
העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:  $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = F \Delta x \cos \alpha$   
כאשר  $\alpha$  היא הזווית בין הכוח להעתק  
כוח שפועל במאונך לתנועה (למהירות) אינו מבצע עבודה.  
- אם הגוף לא נע העבודה אפס (לכן חיכוך סטטי אינו מבצע עבודה).

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 הכובד שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:  $W_g = -\Delta U_g$   
האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ):  $U_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$   
 $k$  הוא קבוע הקפיץ  
 $\Delta x$  היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב  $\Delta l$ )  
כל האנרגיות הפוטנציאליות:

$E = E_k + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$   
\*בשוויון השני רשמנו את האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית והאלסטית. תיאורטית יכולות להיות עוד אנרגיות פוטנציאליות אבל זה מאוד נדיר בקורס הזה.  
משפט עבודה אנרגיה:  $W_{NC} = \Delta E$  או  $E_i + W_{NC} = E_f$  או  $E_i$  ו-  $E_f$  הם האנרגיות הכלליות בהתחלה ובסוף.

$W_{NC}$  היא העבודה שנעשתה על ידי הכוחות הלא משמרים בתהליך שבין נקודת ההתחלה לסוף.  
נוסחה לשינוי בגובה של מטוטלת:

$h = l(1 - \cos \theta)$   
 $h$  - הגובה מהתחתית  
 $l$  - אורך החוט  
 $\theta$  - זווית ביחס לאנך מהתקרה.  
חוס (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 הספק ממוצע:  $P = \frac{W}{\Delta t}$   
היחידה הסטנדרטית של הספק היא Watt (W) והיא שווה לגאול חלקי שניה.  
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:  $x = R \cos \theta$ ;  $y = R \sin \theta$   
חדר (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:  $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$  (ביחידות של רדיאן לשניה)  
 $f$  היא התדירות (יחידות הרץ או 1/sec).  $T$  זמן מחזור.  
הקשר בין המהירות הזוויתית למהירות הקווית (נכון גם למהירויות שאינן קבוע):  $|\vec{v}| = \omega R$   
תאוצה רדיאלית (למרכז המעגל):  $a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$   
סכום הכוחות למרכז המעגל:  $\Sigma F_r = m \left( \frac{v^2}{R} \right) = m(\omega^2 R)$

המהירות הזוויתית היא קצב שינוי הזווית בזמן.  
מהירות זוויתית קבועה או ממוצעת:  $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$  (ביחידות של רדיאן לשניה)  
 $f$  היא התדירות (יחידות הרץ או 1/sec).  $T$  זמן מחזור.  
הקשר בין המהירות הזוויתית למהירות הקווית (נכון גם למהירויות שאינן קבוע):  $|\vec{v}| = \omega R$   
תאוצה רדיאלית (למרכז המעגל):  $a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$   
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 ה  $X$  למרכז המעגל וציר ה  $Y$  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 קבוע (תנועה לא קבועה) אז ישנה גם תאוצה משקיית. התאוצה המשקיית שווה לשינוי גודל המהירות בזמן (בדיוק כמו תאוצה רגילה בתנועה בקו ישר).

עבור תאוצה משקיית קבועה או ממוצעת:  $a_\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t}$   
סכום הכוחות בכיוון המשיק (ציר ה  $Y$ ) 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 התאוצה הזוויתית לתאוצה המשקיית (גם עבור תאוצה משתנה):  $a_\theta = \alpha R$   
מהירות זוויתית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:  $\omega(t) = \omega_0 + \alpha \cdot (t - t_0)$   
זווית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:  $\theta(t) = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t - t_0)^2$

מתקף ותנע

המתקף שמפעיל כוח קבוע או ממוצע על גוף:  $\vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t$   
התנגשות אלסטית: התנגשות שבה האנרגיה הקינטית נשמרת. נוסף למשוואת שימור התנע את משוואת שימור האנרגיה:  $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$   
בהתנגשות אלסטית במימד אחד (מצחית) בלבד, ניתן להחליף את משוואת שימור האנרגיה במשוואה הבאה:  $v_1 - v_2 = -(u_1 - u_2)$   
התנגשות פלסטית: הגופים נעים יחד אחרי ההתנגשות. משוואת שימור התנע הופכת ל-  
 $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$   
 $\vec{u}$  היא המהירות המשותפת לאחר ההתנגשות.  
רתע: הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות. משוואת שימור התנע הופכת ל-  
 $(m_1 + m_2)\vec{v} = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$

התנגשות פלסטית ורתע הן אף פעם לא התנגשויות אלסטיות! כלומר לא יכול להתקיים שימור אנרגיה בהתנגשויות האלו.  
- שימו לב שקיימות התנגשויות שהן לא אלסטיות ולא פלסטיות (סתם התנגשויות) בהן יש רק 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 מצחית (במימד אחד) בין מסות שוות שאחד הגופים במנוחה: במקרה זה כל האנרגיה עוברת מהגוף הנופל לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו הגוף הראשון.

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.

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.

תנועה הרמונית

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

- 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.  $\phi$  - פאזה.  
המהירות בתנועה הרמונית:  $v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$   
התאוצה בתנועה הרמונית:  $a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi)$   
קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות זמן 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:  $\phi = \omega \cdot t_0$   
כאשר  $t_0$  הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש  $t = 0$  (מתחילים למדוד את התנועה)

בדר"כ נמצא את  $\phi$  - מתנאי התחלה:  $x(t=0) = A \sin \phi$ ;  $v(t=0) = -\omega A \sin \phi$   
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 הוא של **קפיץ אנכי**. בקפיץ אנכי כוח הכובד הוא כוח קבוע, הוא לא משפיע על התנועה למעט שינוי נקודת שיווי המשקל. אפשר לחשוב שכוח הכובד גורם למתיחה התחלתית של הקפיץ עד לנקודה שבה כוח הקפיץ שווה לכוח הכובד (נק' ש.מ. חדשה) משם התנועה תהיה כרגיל. אפשר לקבוע את  $x=0$  בנקודת ש.מ ולהתעלם מהכובד.  
האנרגיה בתנועה הרמונית:

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

כבידה

החוק השלישי של קפלר:  $\left(\frac{\bar{r}_1}{\bar{r}_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$   
 $\bar{r}$  - רדיוס הקפה ממוצע של כל גרם שמיים.  
 $T$  - זמן המחזור של כל גרם שמיים.  
גודל כוח הכבידה בין שני גופים:  $F = G \frac{m_1m_2}{r^2}$   
 $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  - 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 המושפע.  
 $r$  - מרחק בין הגופים.  
אנרגיה של לוויין במסלול מעגלי:

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

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 בהתאמה. מספר גופים קשיחים (לא נקודתיים): עושים מרכז מסה בין מרכזי המסה.  
תאוצת מרכז המסה תלויה רק בכוחות החיצוניים:

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

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

מומנט התמד

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל הנקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה המהירות הזוויתית (אך לא באותה מהירות קווית)  
מומנט התמד של מערכת גופים נקודתיים:  $I = \Sigma m_i r_i^2$   
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. אדטיביביות: ניתן לסכום את המומנט התמד של כל חלק וחלק בגוף על מנת לקבל את המומנט הכולל.  $I_T = I_1 + I_2$

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.



**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.  
נעשה לולאות מתאים עד אשר נעבור על כל הרכיבים במעגל. נוסף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצוא את הזרמים.

**נצילות במעגל החשמלי GOOL**

**נצילות:**  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$

$\eta$  - 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.  
- גליונות: מד זרם שהתנגדותו אינה זניחה.

- שימוש בגליונות כמד זרם:  
נחבר במקביל לנגד (מיצד) בעל התנגדות נמוכה (בשביל להקטין את ההשפעה של ההתנגדות הגליונותית על המעגל)

-

**חוק אוהם:**  $V = IR$   
- מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.  
נגד: מוליך שההתנגדות 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 שתלוייה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.  
ההתנגדות של נגד משתנה:

$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$   
כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)

r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.  
כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית:  $\varepsilon = V + Ir$

$\varepsilon$  - 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:  $V_{דקים} = \frac{\varepsilon R_T}{R_T + r}$

**יחידת האלקטרון וולט [eV]:** יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: אנרגיה 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 בחוט מוליך:** (מטען יזרום ממוליך (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:

$W = 0 + q_2 \frac{kq_1}{r_{12}} + q_3 \left( \frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$   
- דרך 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

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

**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 החיביים.

- היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר  $1A=1C/sec$   
- 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 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:**  $V = IR$   
- מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.  
נגד: מוליך שההתנגדות 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 שתלוייה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.  
ההתנגדות של נגד משתנה:

$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$   
כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)

r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.  
כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית:  $\varepsilon = V + Ir$

$\varepsilon$  - 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:  $V_{דקים} = \frac{\varepsilon R_T}{R_T + r}$

שדה של קליפה גלילית מתאפס בתוך הקליפה וכמו של תיל מחוץ 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 (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)

**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:

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

**מוליכים GOOL**

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

- **הפוטנציאל במוליך אחיד** (קבוע).  
**הארקה:** חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

**חומרים דיאלקטרים GOOL**

- חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)  
- בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.

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:  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$   
 $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$

**מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי**

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

**משוואת שימור אנרגיה:**  $\frac{1}{2}mv_i^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + U_f$   
 $v_f / v_i$  - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.  
 $U_f / U_i$  - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.

**אנרגיה פוטנציאלית** של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):  $U = \frac{kq_1 q_2}{r}$

- שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!  
**העבודה שמבצע הכוח החשמלי** שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנע):

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

**פוטנציאל** הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל היא פונקציה מתמטית שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.

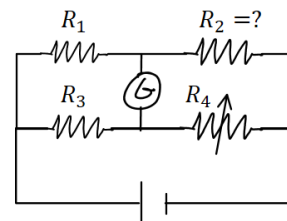
**האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל הוא V:**  $U = qV$   
**פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:**

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.

**גשר ווינסטון:**  
שיטה למדידת התנגדות של נגד משנים את ההתנגדות בנגד המשתנה עד שהזרם בבולבומטר מתאפס ואז:



$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3}$$

## GOOL

## 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. בדרכי 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:** -||-

**לאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נקת 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 זרם זרם דרך הקבל. והקבל מתנהג כמו נקת במעגל.

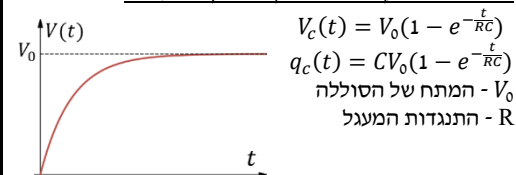
**חיבור קבלים במקביל:**  $C_T = C_1 + C_2$   
התנאי לחיבור במקביל הוא שהמתח על הקבלים זהה (וזה גם המתח על הקבל השקול)  
- המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

**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.

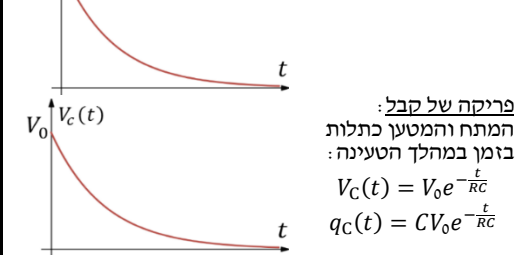
**אנרגיה האגורה בקבל:**  $U_C = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$   
**העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:**

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

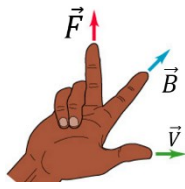
$V_0$  - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי  $Q_0 = CV_0$ )  
- הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה.  
**זמן אופייני:**  $\tau = RC$ , נהוג להגיד שלאחר זמן של  $5\tau$  הקבל טעון/פרוק לגמרי

## GOOL

## הכוח המגנטי - חוק לורנץ

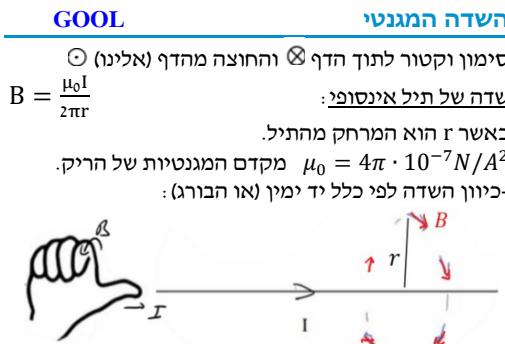
**חוק לורנץ - הכוח המגנטי:**  $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$   
ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.  
- דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).

- 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 אקדה).

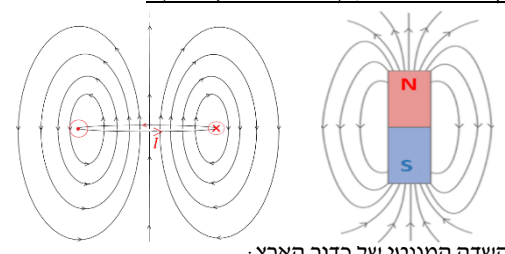


תנועה בשדה אחיד: מטען  $q$  בעל מסה  $m$  הנע במהירות  $v$  בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:  
 $R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$   
אם  $v$  לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

**השדה המגנטי**  
סימון וקטור לתוך הדף  $\otimes$  והחוצה מהדף  $\odot$  (אלינו)  
שדה של תיל אינסופי:  
כאשר  $r$  הוא המרחק מהתיל.  
 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$   
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$  מקדם המגנטיות של הריק.  
כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):



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



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



**חוק אמפר - המשך השדה המגנטי**  
**חוק אמפר:**  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$   
הוא סכום לאורך מסלול סגור על הרכיב המקביל למסלול של השדה המגנטי. בדרכי נעבוד במקרים

סימטרים בהם הרכיב המקביל יהיה אחיד לאורך קטעים מהמסלול והחישוב יהיה פשוט לכפול את השדה באורך הקטעים.

$I_{in}$  - סך הזרם שעובר דרך השטח הסגור במסלול. **המקרים של חוק אמפר:**  
1. תיל/גליל אינסופי (עם זרם בכיוון ציר הסימטריה). נבחר לולאה בצורת עיגול ברדיוס  $r$ :  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2\pi r$   
2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע  $l$  ו- $l$ :  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot l$   
3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע  $l$  ו- $l$ :  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2l$

**כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים GOOL**  
גודל הכוח הפועל על **תיל ישר בשדה אחיד** באורך  $L$  הנושא זרם  $I$  הוא:  
 $F = BIL \sin \alpha$

$\alpha$  - 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 משיכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים

**חוק פאראדי והשראות GOOL**  
**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 פאראדי:**  $\epsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$   
 $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = B \cdot S$

השוויון השני נכון אם  $B \perp$  אחיד בכל השטח. הכאמ מתנהג כמו מקור מתח במעגל. בדרכי 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  $v$  היא מהירות הגוף ו- $\alpha$  הזווית בין הכוח למהירות

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

**חוק השבירה:**  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$   
 $\theta$  - 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  $n$ .  
 $n$  - סדר קו המקסימום.  $\lambda$  - אורך הגל.  
 $d$  - המרחק בין החריצים.  
קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-מופע:

$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$   
 $\theta_n$  - 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  $n$ .  
 $\lambda$  - אורך הגל.  $d$  - המרחק בין החריצים.

**נוסחת יאנג:**  $\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d}$

$$\tan \theta_s = \frac{X_{LT} - X_{CT}}{R_T} \quad \text{זווית המופע של המסור:}$$

**זרם אפקטיבי ומתח אפקטיבי:**  $I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} ; V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$   
 - הם שורש הממוצע של ריבוע הגודל (סוג של ממוצע בזמן רק לגודל המתח והזרם).  
**תהודה:** מצב שבו הזרם הזרם האפקטיבי מקסימאלי. מתרחשת כאשר פאזת המקור מתאפסת.

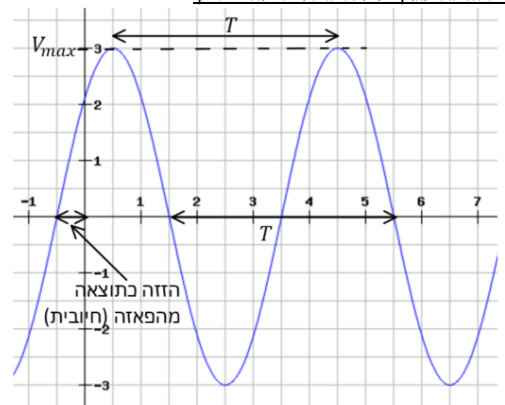
**התדירות בה יש תהודה במעגל RLC טורי:**  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$   
**הספק ממוצע בנגד:**  $\bar{P}_R = I_{\text{eff}} V_{R_{\text{eff}}} = I_{\text{eff}} V_{S_{\text{eff}}} \cos \theta_s$   
 $\theta_s$  - הפאזה של המקור

**גורם ההספק:**  $\cos \theta_s$   
 - היחס בין ההספק בנגד להספק בקבל והמשר. ככל שהגורם גבוה יותר כך ניצול האנרגיה במעגל טוב יותר.

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  $f$  -תדירות בהרץ  
 $\theta$  - היא הפאזה של המתח ביחס לזרם  
**- דוגמה לגרף של המתח כתלות בזמן:**



- זמן מחזור הוא המרחק בין שיא לשיא וממנו ניתן לחשב את התדירות.

- הפאזה מזיזה את הגרף. פאזה חיובית מזיזה את הגרף שמאלה ושלילית ימינה.

- ישיב הפאזה:  $V(0) = V_{\text{max}} \sin(\theta)$   
 $V(0)$  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.

ההיגב של קבל:  $x_c = \frac{1}{\omega c}$   
**היגב:** מוגדר לפי  $x = \frac{V_{\text{max}}}{I_{\text{max}}}$ , להיגב 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. היגב גבוהה מאוד.

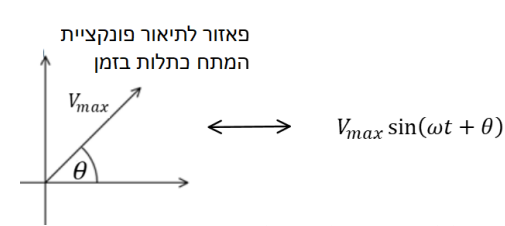
- בתדירות מאוד גבוהה, המתח משתנה מהר מאוד והקבל לא מספיק להטען. הקבל הופך לקצר (מתח אפס). היגב נמוך מאוד.

**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.

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



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

$$Z = \frac{V_{s_{\text{max}}}}{I_{\text{max}}} = \sqrt{(X_{LT} - X_{CT})^2 + R_T^2}$$

השוויון האחרון נכון רק למעגל טורי.  
 $V_{s_{\text{max}}}$  - המתח המקסימאלי של המקור.  
 $X_{LT}, R_T, X_{CT}$  הם ההתנגדות השקולה, סכום ההיגבים של הקבלים וסכום ההיגבים של המשרנים.

$\Delta X$  - רוחב פס האור.  $L$  - מרחק האנך למסך מהחריצים.  
 $d$  - 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 השמיע:**  $\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)}$

כאשר  $I_a$  היא עוצמת הקול של  $\alpha$  דציבל.  $I_0$  - סף השמיע של אדם.  
**ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים**

**שונים  $\alpha$  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.

## 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.

**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

**נחות בוהר:**  $m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} ; E_{ph} = |E_f - E_i|$

$m_e$  - מסת האלקטרון.  $v_n$  - מהירות האלקטרון ברדיוס מסדר  $n$ .  
 $r_n$  - הרדיוס ה-  $n$ .  $n = 1, 2, 3, \dots$  מספר חיובי שלם  
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  הוא קבוע פלאנק.  
 $E_{ph}$  - אנרגיית פוטון שנפלט/נבלע.

$E_f$  ו-  $E_i$  הן אנרגיות האלקטרון לפני ואחרי התהליך.

**רמות אנרגיה באטום מימן:**  $E_n = -\frac{R^*}{n^2} (U_\infty = 0)$

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

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$  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 האלקטרון

## האפקט הפוטואלקטרי

**אנרגיה של פוטון:**  $E_{ph} = hf$

$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  הוא קבוע פלאנק.  $f$  - תדירות הפוטון.

- ניתן לקבל את האנרגיה באלקטרון וולט על ידי הצבה של אורך הגל  $\lambda$  באנגסטרם ( $\text{\AA}$ ) או בננומטר ( $\text{nm}$ ):

$E(\text{eV}) = \frac{12400}{\lambda(\text{\AA})} = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$

**אפקט פוטואלקטרי:**  $E_{ph} = E_k + B$

$E_k$  - האנרגיה הקינטית של אלקטרון 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:**

$R = \lambda N$   
 $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

## מעגלי זרם חילופין

**המתח והזרם במעגלי זרם חילופין:**  $V(t) = V_{\text{max}} \sin(\omega t + \theta) ; I(t) = I_{\text{max}} \sin(\omega t)$