

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

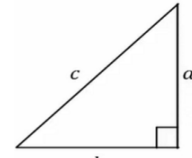
ניצב שמואל

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

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

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \quad \text{ניצב שמואל}$$

$$\cot \alpha = \frac{b}{a} \quad \text{ניצב שמואל}$$

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


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

GOOL

משוואת הקו הישר
 $y = mx + n$
 משוואת הקו הישר: $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$ כאשר α היא הזווית של הישר עם ציר ה- x . n היא נקודת חיתוך עם ציר ה- y .
מרחק בין שתי נקודות: $d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$
הפרבולה
משוואת הפרבולה: $y = ax^2 + bx + c$
 a חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.
קודקוד הפרבולה: $x_{\text{קודקוד}} = -\frac{b}{2a}$
נוסחת השורשים: $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

GOOL

מבוא פיזיקלי
חוקי הזקות: $(ab)^c = a^c b^c$; $a^b a^c = a^{b+c}$
 $(a^b)^c = a^{bc}$; $\frac{1}{a^b} = a^{-b}$
מעברים בין יחידות:
 קילו (k) זה 1000 : $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$; $1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$
 מילי (m) זה $\frac{1}{1000}$ לדוגמה: $1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$
 ומיליגרם $1 \text{ mg} = \frac{1}{1000} \text{ gr}$
 ליטר: $1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3$
 קוב: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$
 שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: $1 \text{ lightyear} = 9.4608 \cdot 10^{15} \text{ m}$

GOOL

צפיפות: $\rho = \frac{M}{V}$; $\rho = \frac{M}{S \cdot l}$ הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה
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: $x(t) = x_0 + v(t - t_0)$

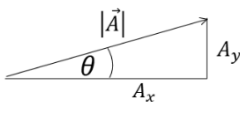
גרפים: גרף המיקום במקרה של תנועה במהירות קבועה יהיה קו ישר. שיפוע הגרף הוא המהירות.
 גרף המהירות במקרה של מהירות קבועה הוא קו ישר אופקי.
 השטח מתת לגרף המהירות הוא ההעתק, עובדה זו נכונה גם עבור מהירות לא קבועה.
 השטח החיובי מתחת לגרף המהירות הוא הדרך
תאוצה קבועה או ממוצעת: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$
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)

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.

GOOL

וקטורים
פירוק לרכיבים:
 $A_y = |\vec{A}| \sin \theta$
 $A_x = |\vec{A}| \cos \theta$
 למצא גודל וזווית:
 $|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$; $\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$

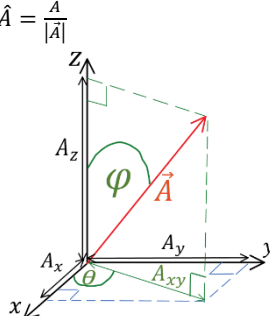


חיבור וקטורים:
 - בצורה גרפית נצימד ראש לזנב. וקטור הסכום יהיה וקטור מהזנב הראשון לראש הוקטור האחרון.
תמיד ניתן להזיז וקטור במרחב כל עוד שומרים על האורך והכיוון שלו.
 - בצורה אלגברית נסכום את הרכיבים:
 $\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x, A_y + B_y)$

- בצורה פולרית, נפרק לרכיבים ונסכום.
כפל/חלוקה בסקלר: צורה 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:
 $0 \leq \varphi \leq \pi$
 $0 \leq \theta \leq 2\pi$
 $\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$



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:
דבר 1 לעשות את המכפלה עם דטרמיננטה:
 $\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$
דבר 2 לפי גודל וכיוון בנפרד:
 גודל המכפלה הוא: $|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \alpha$
 וכיוון לפי כלל יד ימין:

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

תנועה בתאוצה קבועה g כלפי מטה, נבחר את ציר התנועה להיות ציר ה- Y , ולכן **משוואות התנועה הן**:
 $y(t) = y_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2} a(t - t_0)^2$
 $v(t) = v_0 + a(t - t_0)$
 $v_f^2 = v_i^2 + 2a(y_f - y_i)$
 - **נפילה 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 הני"ל).

GOOL

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

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 θ (באופקית הזווית אפס).
 - **נפריז 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** $(v_y(t) = 0)$: $t_{\text{גובה}} = \frac{v_0 \sin(\theta)}{g}$
 $y(t) = y_0 + \frac{(v_0 \sin(\theta))^2}{2g}$

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

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.
חיבור סטטי:
 - פועל כאשר הגוף במנוחה (ביחס למשטח המגע).
 - כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.
 - גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.

- **ערך מקסימאלי**: $f_s, \max = \mu_s N$ או $f_s \leq \mu_s N$
חיבור 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 וחוק שני לכל גוף בנפרד. אחי"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

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

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.
חיבור סטטי:
 - פועל כאשר הגוף במנוחה (ביחס למשטח המגע).
 - כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.
 - גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.

- **ערך מקסימאלי**: $f_s, \max = \mu_s N$ או $f_s \leq \mu_s N$
חיבור 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 וחוק שני לכל גוף בנפרד. אחי"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

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

$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$
 - הראשית היא בנקודת שיווי המשקל.
 - נקודת שיווי המשקל היא הנקודה שבה סכום הכוחות שווה לאפס (התאוצה גם שווה לאפס והמהירות מקסי' - A אמפליטודת התנועה, מרחק מקסימאלי משווי משקל.
 ω - תדירות זוויתית. φ - פאזה.
המהירות בתנועה הרמונית: $v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi)$
התאוצה בתנועה הרמונית: $a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi)$
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: $\varphi = \omega \cdot t_0$
 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- φ 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 הוא של **קפיץ אנכי**. בקפיץ אנכי כוח הכובד הוא כוח קבוע, הוא לא משפיע על התנועה למעט שיווי 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:

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

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

מוצקים	צפיפות (kg/m³)	נוזלים	צפיפות (kg/m³)
אלומיניום	2.70×10^3	מים (4°C)	1.00×10^3
ברזל ופלדה	7.8×10^3	פלזמת דם	1.03×10^3
נחושת	8.9×10^3	דם מלא	1.05×10^3
עופרת	11.3×10^3	מי ים	1.025×10^3
זהב	19.3×10^3	כספית	13.6×10^3
בטון	2.3×10^3	אתנול (אלכוהול אתילי)	0.79×10^3
גרניט	2.7×10^3	בנוי	0.68×10^3
עץ (טיפוסי)	$0.3-0.9 \times 10^3$	גזים	
זכוכית רגילה	$2.4-2.8 \times 10^3$	אוויר	1.29
קרח (H₂O)	0.917×10^3	הליום	0.179
עצם	$1.7-2.0 \times 10^3$	פחמן דו-חמצני (CO₂)	1.98
		אדי מים (100°C)	0.598

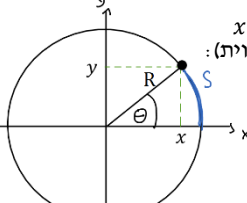
לחץ: $P = \frac{F}{A}$

F - גודל הכוח המאונך למשטח. A - שטח.
 הלחץ הוא סקלר. יחידות SI: $1Pa = 1N/m^2$
 - זורמים מפעילים לחץ בכל הכיוונים.
 - עבור גוף במנוחה, הלחץ זהה מכל הכיוונים.
 - אם אין זרימה או לחץ 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:
 $P_0 = 1.013 \cdot 10^5 Pa = 101.3 kPa = 1atm$
 $1bar = 10^5 Pa$

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

תנועה מעגלית
 תנועה מעגלית היא תנועה במעגל ברדיוס קבוע.
מיקום הגוף:
 $x = R \cos \theta$; $y = R \sin \theta$
הדבר (אורך הקשת שמול הזווית):
 $S = R \cdot \Delta \theta$
 - יש להציב את שינוי הזווית ברדיאנים


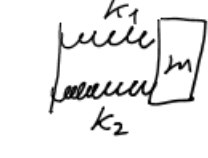
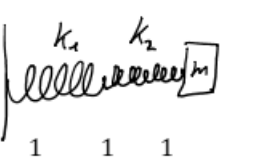
המהירות הזוויתית היא קצב שינוי הזווית בזמן.
מהירות זוויתית קבועה או ממוצעת:
 (ביחידות של רדיאן לשנייה)
 $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$
 f היא התדירות (יחידות הרץ או 1/sec). T זמן מחזור.
הקשר בין המהירות הזוויתית למהירות הקווית (לכון גם למהירויות שאינן קבוע):
 $|\vec{v}| = \omega R$
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 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 קבוע (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: $\Sigma F_\theta = m a_\theta$
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:
 $\theta(t) = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t - t_0)^2$

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:
 $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$
התנגשות 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 להתנגשות אלסטית לחלוטין.

התנגשות אלסטית מצחית (במימד אחד) בין מסות שוות
שאלת הגופים במנוחה: במקרה זה כל האנרגיה עוברת מהגוף הפוגע לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו הגוף הראשון.
תנועה מחזורית
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 ועבורו מתקיים $\vec{x}(t+T) = \vec{x}(t)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית. בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.
תנועה 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 ועבורו מתקיים $\vec{x}(t+T) = \vec{x}(t)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית. בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.

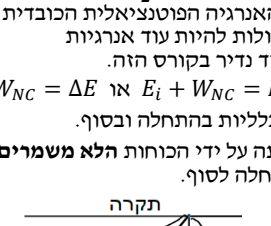
תנועה מחזורית
תנועה מחזורית: היא תנועה המורכבת מקטע תנועה מסוים החוזר על עצמו באופן מדויק כל מרווח זמן קבוע. הגדרה: תנועה מחזורית היא תנועה שבה קיים T קבוע ועבורו מתקיים $\vec{x}(t+T) = \vec{x}(t)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית. בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.
תנועה 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 ועבורו מתקיים $\vec{x}(t+T) = \vec{x}(t)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית. בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.
תנועה 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 ועבורו מתקיים $\vec{x}(t+T) = \vec{x}(t)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית. בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.

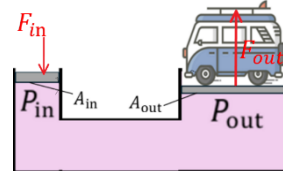
חיבור במקביל

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

 $k_{eff} = k_1 + k_2$

מומנט כוח
מומנט כוח: 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.
כבידה
החוק השלישי של קפלר:
 $\left(\frac{r_1}{r_2} \right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2$
 $\vec{r}$ - רדיוס הקפה ממוצע של כל גרם שמיים.
 T - זמן המחזור של כל גרם שמיים.
גודל כוח הכבידה בין שני גופים:
 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
 $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ - קבוע הכבידה האוניברסלי.
 m - מסות הגופים. r - המרחק בין מרכזי הגופים.

עבודה ואנרגיה
העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:
 $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = F \Delta x \cos \alpha$
 כאשר α היא הזווית בין הכוח להעתק
 - כוח שפועל במאונך לתנועה (למהירות) אינו מבצע עבודה.
 - אם הגוף לא נע העבודה אפס (לכן חיכוך סטטי אינו מבצע עבודה).
אנרגיה קינטית:
 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
העבודה הכוללת (כולל הכוחות המשמרים) שווה לשינוי באנרגיה קינטית:
 $W_{\Sigma F} = \Delta E_k$
האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:
 $U_g = mgh$
 h זה הגובה של הגוף. ניתן לבחור גובה אפס איפה שרוצים.
הפוטנציאלית הכובדית: העבודה שמבצע כוח הכובד שווה לשינוי באנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:
 $W_g = -\Delta U_g$
האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ):
 $U_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$
 k הוא קבוע הקפיץ
 Δx היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב Δl)
האנרגיה הכללית היא האנרגיה הקינטית של הגוף ועוד סך כל האנרגיות הפוטנציאליות:
 $E = E_k + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgh + \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$

*בשוויון השני רשמנו את האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית והאלסטית. תיאורטית יכולות להיות עוד אנרגיות פוטנציאליות אבל זה מאוד נדיר בקורס הזה.
משפט עבודה אנרגיה: $W_{NC} = \Delta E$ או $E_i + W_{NC} = E_f$
 E_i ו- E_f הם האנרגיות הכלליות בהתחלה ובסוף.
 W_{NC} היא העבודה שנעשתה על ידי הכוחות הלא משמרים בתהליך שבין נקודת ההתחלה לסוף. נוסחה לשינוי בגובה של מטוטלת:
 $h = l(1 - \cos \theta)$
 h - הגובה מהתחתית
 l - אורך החוט
 θ - זווית ביחס לאנך מהתקרה.
חום (Q): האנרגיה הנוצרת מחיכוך קינטי. כמות החום שנוצרת בתהליך שווה לעבודה של כוח החיכוך הקינטי (והפוכה בסימן, כי העבודה שמבצע החיכוך הקינטי על 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 לגאול חלקי שנייה.
יחידת נוספת היא כוח סוס (Hp): $1Hp = 746Watt$
נוסחה נוספת להספק:
 $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$
 - נוסחה ישנה מכפלה סקלרית של הכוח במהירות הגוף.
 - הנוסחה נכונה גם להספק רגעי (ולא רק להספק ממוצע או קבוע)

תקרה




$$F_{out} = \frac{A_{out}}{A_{in}} F_{in}$$

$$F_b = \rho_l V g$$

ρ_l - צפיפות הזורם. V - נפח הגוף.

GOOL

הידרודינמיקה

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):

$$Q_m = \frac{dm}{dt} = \rho A v$$

ρ - צפיפות הזורם, A - שטח חתך, v - מהירות הזורם.

ספיקה נפחית Q_V (נפח הזורם העובר דרך שטח חתך ביחידת זמן):

$$Q_V = \frac{dV}{dt} = A v$$

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:

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2$$

או

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h + P = \text{const}$$

הנחות למשוואת ברנולי: 1. הזרימה למינרית ובמצב יציב. 2. הנוזל אינו דחיס. 3. אין חיכוך (אין צמיגות)

חוק טוריצייל: מהירות הזרימה של נוזל דרך חור בתחתית של מיכל מלא בגובה h , זהה למהירות שצובר גוף בנפילה חופשית מאותו הגובה

$$v = \sqrt{2gh}$$

צינור ונטורי:



GOOL

התיאוריה הקינטית של הגזים

האנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולה בגז נמצאת

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m \bar{v}^2$$

$\bar{v}^2$ - ממוצע של המהירות בריבוע. m - מסת המולקולה.

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

מהירות rms:

$$v_{rms} = \sqrt{\bar{v}^2}$$

$$f(v) = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

N - מספר המולקולות הכולל.

תמידי נדבר על מספר המולקולות בטווח של מהירויות. השטח מתחת לגרף הפונקציה בין המהירויות v_1 ל v_2 נותן את מספר המולקולות עם מהירויות בין v_1 ל v_2

$$N = \int_0^\infty f(v) dv$$

v_p - השכיח, המהירות הכי נפוצה. עבור טמפרטורה גדולה יותר הגרף זז ימינה ומתרחב.

GOOL

טמפ' והתפשטות תרמית

$$1u = 1.6605 \cdot 10^{-27} kg \sim m_p$$

מסת האטום ביחידת מסה אטומית: $m_a \approx A \cdot 1u$

A - מספר המסה (מסר הפרוטונים והנויטרונים בגרעין)

$$T(^{\circ}C) = \frac{5}{9} [T(^{\circ}F) - 32]$$

מעבר מפרנהייט לצלזיוס:

$$\Delta l = \alpha_l \Delta T$$

$\Delta T = T - T_0$, $\Delta l = l - l_0$

α קבוע התהליי בחומר (בטבלה)

התפשטות תרמית משטחית: $\Delta A = \gamma A_0 \Delta T$

$\gamma = 2\alpha$; $\Delta A = A - A_0$ - חורים גדלים עם עליה בטמפרטורה

התפשטות נפחית: $\Delta V = \beta V_0 \Delta T$

$$\Delta V = V - V_0; \beta \approx 3\alpha$$

מוצקים

אלומיניום: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 25 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 25 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 2.7 \cdot 10^3$

פלז: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 19 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 56 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 180 \cdot 10^{-6}$

מוצקים

נחושת: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 17 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 17 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 8.9 \cdot 10^3$

זהב: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 14 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 14 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 19.3 \cdot 10^3$

ברזל / פלדה: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 12 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 12 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 7.8 \cdot 10^3$

עופרת: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 29 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 29 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 11.3 \cdot 10^3$

זכוכית (פיירקס): $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 3 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 3 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 2.6 \cdot 10^3$

זכוכית רגילה: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 9 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 9 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 2.5 \cdot 10^3$

קוורץ: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 0.4 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 0.4 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 2.65 \cdot 10^3$

בטון / לבנים: $\beta (^{\circ}C^{-1}) \approx 12 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) \approx 12 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) \approx 2.4 \cdot 10^3$

שיש: $\beta (^{\circ}C^{-1}) = 4 \cdot 10^{-6}$, $\alpha (^{\circ}C^{-1}) = 4 \cdot 10^{-6}$, $\rho (^{\circ}C^{-1}) = 2.7 \cdot 10^3$

האנומליה של המים

כאשר הטמפרטורה יורדת מתחת $4^{\circ}C$ המים מתרחבים (הצפיפות קטנה במקום לגדול) ולכן קרח צף על פני המים.

GOOL

חוק הגז האידיאלי

$$P = \frac{F}{A}$$

F - כוח. A - שטח עליו פועל הכוח.

הלחץ שלילי (תת לחץ): הוא לחץ יחסי (נמדד ביחס ללחץ אטמוספרי) ונמוך מהלחץ האטמוספרי.

הלחץ אבסולוטי: הוא הלחץ שנמדד ביחס ללחץ אפס מוחלט (כאשר הכוח הוא אפס).

מעבר מצלזיוס לקלווין: $T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$

מספר אבוגדרו: $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$

כמות של N_A חלקיקים (אטומים או מולקולות) נקראת **מול** (mol) של החומר

מסה מולרית (המסה של מול אחד, או מספר אבוגדרו של חלקיקים): $M_{mol} = N_A \cdot m_a$

m_a - מסה אטומית. N_A - מספר אבוגדרו.

המסה המולרית שווה למסה האטומית רק בגרם במקום ביחידת מסה אטומית

הקשר למסת כל החומר: $m = N \cdot m_a = n \cdot M_{mol}$

n - מספר המולים בחומר. N - מספר החלקיקים הכולל

m - מסת כל החומר. M_{mol} - המסה המולרית.

מסה מולקולרית: לפעמים הכוונה למסה של מולקולה אחת בחומר. ולפעמים למסה של מול אחד של מולקולות בחומר (כמו המסה המולרית רק של מולקולות).

משוואת המצב של גז האידיאלי:

$$PV = nRT \quad (PV = NkT \text{ או})$$

P - לחץ אבסולוטי. V - נפח. T - טמפ' בקלווין.

n - מספר המולים בחומר.

N - מספר החלקיקים הכולל בגז (אטומים או מולקולות)

$$R = 8.314 \frac{J}{mol \cdot K} = 0.0821 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K} = 1.99 \frac{cal}{mol \cdot K}$$

קבוע בולצמן $k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

הנוסחה תקפה כל עוד הלחץ בסדר גודל של לחץ אטמוספרי או פחות והטמפרטורה רחוקה מהטמפרטורה בה הגז הופך לנוזל (טמפרטורת הרתיחה)

Standard Temperature and Pressure-STP: $T = 0^{\circ}C = 273 K$, $P = 1 atm = 101,325 Pa$

חום וקול הראשון של התרמודינמיקה

$1 cal / 1 kcal$ היא כמות החום הדרושה בשביל להעלות גרם / קילוגרם של מים במעלה אחת (צלזיוס):

$$1 cal = 4.186 J$$

$1 kcal = 4.186 kJ$ (או Cal עם C גדולה) **אנרגיה פנימית** - סך האנרגיות של כל המולקולות בחומר.

אנרגיה פנימית של גז אידיאלי מונואטומי: $E_{int} = \frac{3}{2} nRT$

אנרגיה פנימית של גז אידיאלי דו-אטומי: $E_{int} = \frac{5}{2} nRT$

n - מספר המולים של החומר. T - טמפרטורה.

חישוב חום: $Q = mc\Delta T$

m - מסת הגוף. c (קטנה) קיבול החום **הסגולי** (קיבול חום של יחידת מסה) תלוי רק בסוג החומר. ΔT - שינוי בטמפ'. C (גדולה) קיבול החום הכולל של הגוף: $C = mc$

קיבול חום סגולי c בטמפרטורה $20^{\circ}C$ ובלחץ $1 atm$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

אלכוהול (אתילי) 0.58 2400

נזלים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\rho (^{\circ}C^{-1})$

בנוזל $950 \cdot 10^{-6}$ $75 \cdot 10^{-6}$ $25 \cdot 10^{-6}$

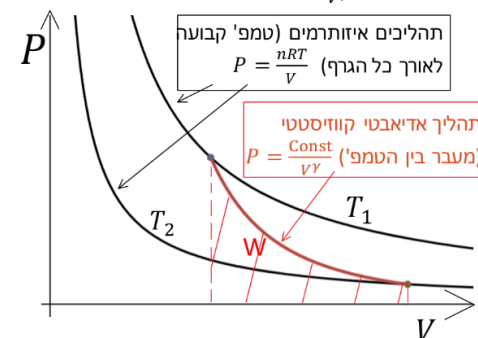
כספית $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

פליז $180 \cdot 10^{-6}$ $56 \cdot 10^{-6}$ $19 \cdot 10^{-6}$

חומר $c [cal/(g \cdot ^{\circ}C)]$ $c [J/(kg \cdot ^{\circ}C)]$

אלומיניום 0.22 900

- גז בתהליך איזותרמי נעשה אינטגרל ונציב $P = \frac{nRT}{V}$
 קיבול חום לגזים:
 בגזים קיבול החום משתנה בהתאם לתהליך
 $Q_V = nC_V \Delta T$
 $Q_P = nC_P \Delta T$
 n - מספר המולים של החומר.
 C_P/C_V (גדולה) - קיבול חום בנפח/לחץ קבוע **למול**
 (בניגוד ל C גדולה במוצקים ונוזלים, שם קיבול כל המסה)
 $C_V = m_{mol} c_V$; $C_P = m_{mol} c_P$
 c_P/c_V - קיבול חום בנפח/לחץ קבוע (ליחידת מסה)
 m_{mol} - מסה מולרית
הפרש קיבולי החום תמיד קבוע:
 $C_P - C_V = R$
 - גז בתהליך אדיאבטי קוויזיסטטי (מאד איטי) נעשה אינטגרל ונציב $P = \frac{const}{V^\gamma}$

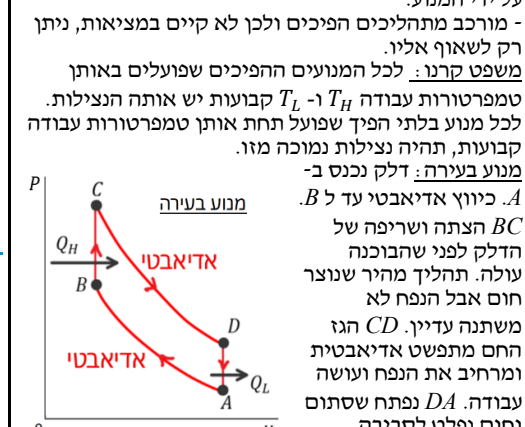
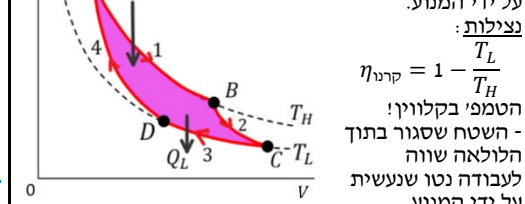


התפשטות חופשית: תהליך שבו גז מתפשט במרחב בצורה **אדיאבטית ומבלי לעשות עבודה**.
 אי אפשר לצייר התפשטות חופשית בדיאגרמת P-V מכיוון שמשתני המצב לא מוגדרים במהלך ההתפשטות (הגז עדיין לא תופס את כל הנפח של הכלי והלחץ לא אחיד)
הולכה הסעה וקרניה
הולכה - מעבר אנרגיה על ידי התגשוויות בין המולקולות
קצב הולכת חום:
 $\frac{dQ}{dt} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{l}$
 k - מוליכות תרמית - תלוי בסוג החומר
 A - שטח חתך. l - אורך
R-value:
 תלוי גם בגודל החומר ולא רק בסוג.
 ערכים גבוהים מסמלים מבודד טוב.
הסעה - מעבר חום באמצעות תנועה של המולקולות בחומר.
קרניה: מועברת דרך גלים אלקטרומגנטיים, אינו דורש תווך.
משוואת סטפן בולצמן (קצב החום הנפלט מגוף ע"י קרניה):
 $\frac{dQ}{dt} = \epsilon \sigma A T^4$
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
 A שטח הפנים של הגוף הפולט. T - הטמפרטורה של הגוף הפולט. ϵ - קירור (אמיסיביות) $0 < \epsilon < 1$, תכונה של פני הגוף שקורן. גופים שחורים, לדוגמה פחם, $\epsilon \approx 1$ מתכות מבריקות $\epsilon \approx 0$. האמיסיביות זהה לקליטה ופליטה.
חשבוש קצב פליטת הקרניה (פליטה פחות קליטה) הוא:
 $\frac{dQ}{dt} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$
 T_1 - הטמפרטורה של הגוף הפולט.
 T_2 - הטמפרטורה של הסביבה.
קרנית שמש:
 הקבועה סולרי הוא $1350 \frac{W}{m^2 \cdot s}$. האטמוספירה יכולה לספוג עד 70% מהקרניה. ביום בהיר נעדר את הקבוע כ 1000 וכמות החום שגוף סופג מקרנית השמש:
 $\frac{dQ}{dt} = (1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}) \epsilon A \cos \theta$
 θ - הזווית בין האנך למשטח של הגוף ובין קרני השמש.

החוק השני של התרמודינמיקה
החוק השני לפי קלאוזיוס: חום זורם בצורה ספונטנית מהגוף החם לגוף הקר, חום לא זורם ספונטנית מהגוף הקר לגוף החם.
מנועי חום: $Q_H = W + Q_L$
 Q_H - כמות החום שיוצאת מהמאגר החם.
 Q_L - כמות החום שנכנסת אל המאגר הקר.
 W - העבודה שהמנוע מבצע על הסביבה.
 - שימו לב: כל הסימנים חיוביים!
 T_H ו- T_L נקראות טמפרטורות העבודה



נצילות:
 $\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$
 - לא קיים מכשיר שיש לו נצילות 100% (גם ניסוח לחוק) תהליך הפיך תהליך שמתבצע באיטיות אינפיניטסימלית (או בצורה קוויזיסטטית) כך שניתן לתארו כסדרה של מצבי שיווי משקל, וניתן לבצעו בכיוון ההפוך כאשר העבודה והחום שנעשים בכיוון ההפוך שווים לעבודה והחום שנעשו בכיוון המקורי.
מנוע קרנו:
 השטח שסגור בתוך הלולאה שווה לעבודה נטו שנעשית על ידי המנוע.
נצילות:
 $\eta_{קרנו} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$
 הטמפי' בקלווין!
 - השטח שסגור בתוך הלולאה שווה לעבודה נטו שנעשית על ידי המנוע.
 - מורכב מתהליכים הפיכים ולכן לא קיים במציאות, ניתן רק לשאוף אליו.
משפט קרנו: לכל המנועים הפיכים שפועלים באותן טמפרטורות עבודה T_H ו- T_L קבועות יש אותה הנצילות. לכל מנוע בלתי הפיך שפועל תחת אותן טמפרטורות עבודה קבועות, תהיה נצילות נמוכה מזו.
מנוע בעירה: דלק כנס ב- A . כיוון אדיאבטי עד B . הצתה ושריפה של הדלק לפני שהוכנה עולה. תהליך מהיר שנוצר חום אבל הנפח לא משתנה עדיין. CD הגז החם מתפשט אדיאבטית ומרחיב את הנפח ועושה עבודה. DA נפתח שסתום וחום נפלט לסביבה.



מקדם יעילות מקרר/מזגן:
 $COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$
מקדם יעילות משאבת חום:
 $COP_{ideal} = \frac{T_H - T_L}{T_H}$
תמיד גדול מאחד
אנטרופיה

GOOL
 אנטרופיה - מדד לאי סדר של המערכת
 שינוי באנטרופיה בתהליך הפיך ובטמפרטורה קבועה:

$\Delta S = \frac{Q}{T}$
 - אם הטמפרטורה לא קבועה אז:
 $\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$
 - האנטרופיה היא משתנה מצב, השינוי באנטרופיה במעבר של המערכת ממצב אחד לאחר אינו תלוי בתהליך.
 - אם התהליך לא הפיך אפשר לחשב את השינוי באנטרופיה בתהליך אחר, הפיך, שמתחיל ומסתיים באותם מצבים.
החוק השני במונחים של אנטרופיה:
 האנטרופיה של מערכת מבודדת תמיד עולה (תהליך בלתי הפיך) או שאתר קבועה (תהליך הפיך).
 או, האנטרופיה הכוללת של מערכת והסביבה שלה כתוצאה מתהליך טבעי:
 $\Delta S_T = \Delta S_{sys} + \Delta S_{env} > 0$
פרשנות סטטיסטית לאנטרופיה והחוק השני
מצב מיקרוסקופי: מה המיקום והמהירות של כל מולקולה בחומר.
מצב מקרוסקופי: מתואר על ידי משתנה מצב כלליים לכל המערכת כמו - לחץ, נפח, טמפרטורה ומספר המולים.
האנטרופיה כתלות מספר המצבים:
 $S = k \ln \Omega$
 k - קבוע בולצמן
 Ω - פונקציית המתארת את מספר המצבים.
מקרוסקופיים המתאימים לאותו מצב מקרוסקופי.

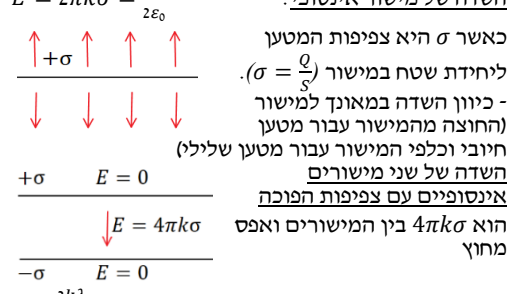
GOOL
גודל אטום המימן (הקטן ביותר): $0.53 \cdot 10^{-10} m$
יחידת האטומים: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} m$
 פרוטונים מסמנים ב- p נייטרונים ב- n ואלקטרונים ב- e
מסת הפרוטון והנייטרון: $m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$
מסת האלקטרון: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$
 - מסת האלק' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנייטרונים קובעים את מסת האטום.
מטען האלקטרון: $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} C$

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 חיובי כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

GOOL הכוח החשמלי - חוק קולון
חוק קולון:
 $F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$
 r - הוא המרחק בין הגופים
 קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$
 - הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.
 - הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים העתונים 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.

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 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.

GOOL
חוק גאוס ברמה איכותית
קבוע הדיאלקטרי של הריק: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$
 ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ϵ_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 σ היא צפיפות המטען
 ליחידת שטח במישור ($\sigma = \frac{Q}{A}$).
 - 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



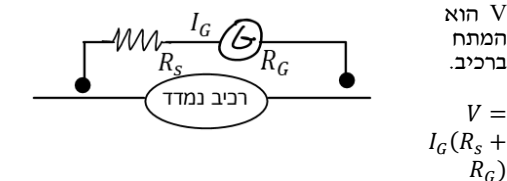
השדה של תיל אינסופי:
 $E = \frac{2k\lambda}{r}$
 λ - היא צפיפות המטען ליחידת אורך בתיל ($\lambda = \frac{Q}{L}$)
 r - הוא המרחק מהתיל.
 - אותה הנוסחה גם עבור גליל מלא או קליפה גלילית אינסופיים מחוץ לגליל או לקליפה.
 - בקליפה גלילית דקה ובגליל מלא מוליך השדה בתוך הקליפה/גליל מוליך הוא אפס.
 - כיוון השדה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

GOOL
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.
GOOL
חומרים דיאלקטרים
 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):
 $\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$

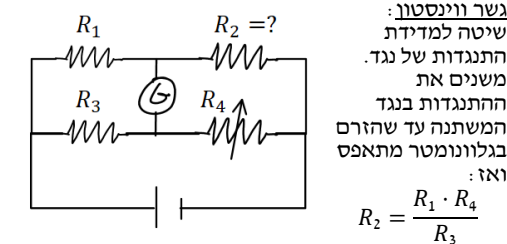
מכשירי מדידה

אמפרמטר(מד זרם):
נחבר את האמפרמטר בטור לרכיב בו נרצה למדוד את הזרם.
- התנגדות האמפרמטר צריכה להיות מאוד קטנה ביחס לגודל הזרם.
- 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 לגודל הזרם).
- וולטמטר אידיאלי הוא וולטמטר עם התנגדות מאוד מאוד גדולה או התנגדות אינסופית.
גליונומטר: מד זרם שהתנגדותו אינה זניחה.
- שימוש בגליונומטר כמד זרם:
נחבר במקביל לגנר (מימד) בעל התנגדות נמוכה (בשביל להקטין את ההשפעה של ההתנגדות 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.
- שימוש בגליונומטר כמד מתח:



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



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 - קיבול 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 נקת במעגל: כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והופך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא יזרום 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 על 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 דיאלקטריים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.
קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = \epsilon_r C_0$

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

- היחסות 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 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 האלקטרונים במוליך)

מהירות האות החשמלי היא המהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, מהירות 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.
ננד: מוליך שההתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.
 $R = \frac{l}{A} \cdot \rho$

תלות ההתנגדות במבנה הנד:
- l - אורך הנד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).
- A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.
- ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.
ההתנגדות של ננד משתנה:

$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$
כאשר x הוא אורך הנד (המשתנה)
- 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):
 $V = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$

ולא הזרם:
עבודה והספק ברכיבים במעגל

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד תחת מתח V היא:
 $W = qV = Q$
כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.

הספק קבוע או ממוצע:
 $P = \frac{W}{\Delta t}$
- W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt
- היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט: $1W = 1J/sec$
נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:

$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$
השוויון הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.
חיבור נגדים במעגל

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

מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.
1. סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים שיוצאים מהצומת.
2. סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס.
נעשה לולאות מתחים עד אשר נעבור על כל הרכיבים במעגל. נוסף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצא את הזרמים.

נצילות במעגל החשמלי

נצילות:
 $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$
- η - נצילות המעגל.
- P_{out} - ההספק המופק/מוצל ברכיבים השימושיים במעגל
- P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

$\vec{E}_T$ - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר. $\vec{E}_0$ - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר). ϵ_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שכלי בסוג החומר וקיים בטבלאות.
- לפעמים נתון המקדם הדיאלקטרי (הלא יחסי) והקשר הוא:
 $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
הוא: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

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

משוואת שימור אנרגיה:
 $\frac{1}{2} m v_f^2 + U_i = \frac{1}{2} m v_f^2 + U_f$

- 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 פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):

$U = \frac{k q_1 q_2}{r}$
- שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!
העבודה שמבצע הכוח החשמלי שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען 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):
 $\Delta U = -W_{\text{חשמלי}} = \text{להזיז מטען}$

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.

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

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

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

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

$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$
פוטנציאל של לוח אינסופי (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח):
 $U(x) = -2\pi k \sigma x$

- σ - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.
- x - המרחק מהלוח.
הפוטנציאל במוליכים קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס)
הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:

Q - סך המטען של הכדור
 R - רדיוס הכדור
 r - המרחק ממרכז הכדור
שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).
הפוטנציאל של כדור"א: כדור"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 השוויון הפוטנציאלים)

הארכה: חיבור מוליך לכדור"א, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדור"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:

$W = 0 + q_2 \left(\frac{k q_1}{r_{12}} \right) + q_3 \left(\frac{k q_1}{r_{13}} + \frac{k q_2}{r_{23}} \right)$

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

$W = \frac{k q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{k q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{k q_2 q_3}{r_{23}}$

זרם מתח והתנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן

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

במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד, ניתן לפצל אותו לקבליים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר חזר לפי החוקים של חיבור קבליים בטור או במקביל.
טעינה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:

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

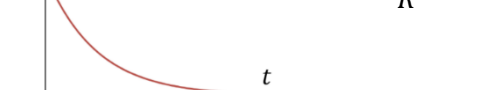
$$q_C(t) = CV_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$V_0 - \text{המתח של הסוללה}$$

$$R - \text{התנגדות המעגל}$$

הזרם כתלות בזמן:

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



פריקה של קבל:
המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:

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

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

V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי $Q_0 = CV_0$)
הזרם כתלות בזמן זהה לטעינה.

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

הכוח המגנטי - חוק לורנץ

חוק לורנץ - הכוח המגנטי:
ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.

דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).
דרך גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא: $F_B = qvB \sin \alpha$

כאשר α היא הזווית בין המהירות לשדה. וכיוון לפי כלל יד ימין:

שימו לב שאתם עם יד ימין!
כיוון הכוח הוא עבור מטען חיובי (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).

לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדף לעשות קודם אקדח).

טעונה בשדה אחיד: מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:

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

אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

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

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

השדה המגנטי

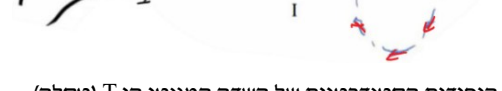
סימון וקטור לתוך הדף $\otimes$ והחוצה מהדף $\odot$ (אלינו)
שדה של תיל אינסופי:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

כאשר r הוא המרחק מהתיל.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):



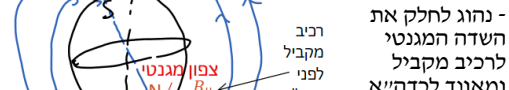
יחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה).
שדה במרכז של טבעת ברדיוס R:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):
השדה המגנטי של כדור הארץ:

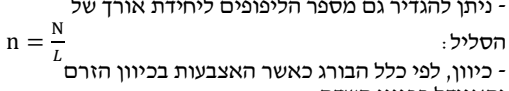
הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.
נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל ומאונך לכדה"א (לקרקע) כאשר רק את הרכיב המקביל שדה של סליל אינסופי:



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.



מוחץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.
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. בדרך נעבוד במקרים סימטריים בהם הרכיב המקביל יהיה אחיד לאורך קטעים מהמסלול והחישוב יהיה פשוט לכפול את השדה באורך הקטעים.

1. תיל/גליל אינסופי (עם זרם בכיוון ציר הסימטריה). נבחר לולאה בצורת עיגול ברדיוס r ו- $r \perp B$.
 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = B \cdot 2\pi r$

2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $l \perp B$.
 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = B \cdot l$

3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $l \perp B$.
 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{L} = B \cdot 2l$

כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים

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

α - היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם. את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה-dl) מחליף את המהירות.

הכוח ליחידת אורך בין שני 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

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי:
 $\mathcal{E} = BLv \sin \alpha$

כאשר v היא מהירות המוט, L האורך שלו ו- α היא הזווית בין המהירות לשדה.

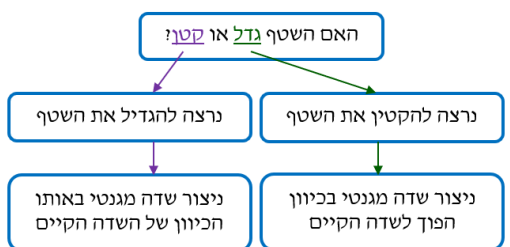
כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

חוק פאראדי:
 $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = B_{\perp} \cdot S$$

השוויון השני נכון אם $B_{\perp}$ אחיד בכל השטח. הכאמ מתנהג כמו מקור מוח במעגל.

בד"כ נמצא באמצעות החוק רק את גודל הכאמ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



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

הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:
 $P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$

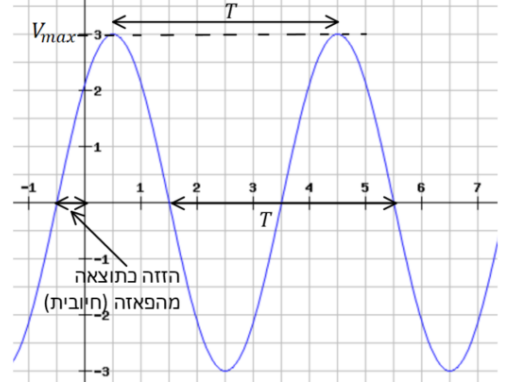
כאשר v היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות
מעגלי זרם חילופין

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
 θ - 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 מזוזה את הגרף. פאזה חיובית מזוזה את הגרף שמאלה ושלילית 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:
גדרת 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 $x_c = \frac{V_{max}}{I_{max}}$, 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:

$$V_L(t) = L \frac{dI(t)}{dt}$$

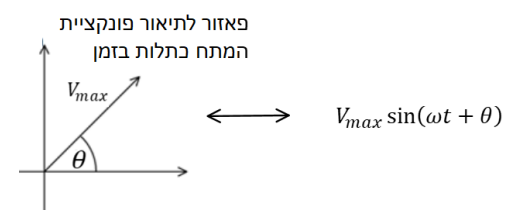
L - השראות (קבוע).
הפאזה של המתח בסליל היא $\theta = \frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

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 גבוה 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

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

השוויון האחרון נכון רק למעגל טורי.

$V_{s_{max}}$ - המתח המקסימאלי של המקור.

X_{L_T} , R_T , X_{C_T} הם ההתנגדות השקולה, סכום ההיגבים של הקבלים וסכום ההיגבים של המשרנים.

זווית המופע של המקור: $\tan \theta_s = \frac{X_{L_T} - X_{C_T}}{R_T}$

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 פאזה המקור מתאפסת.

התדירות בה יש תהודה במעגל RLC טורי: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

הספק ממוצע בנגד: $\bar{P}_R = I_{eff} V_{R_{eff}} = I_{eff} V_{s_{eff}} \cos \theta_s$

θ_s - הפאזה של המקור

גורם ההספק: $\cos \theta_s$

- היחס בין ההספק בנגד להספק בקבל והמשרן.

- ככל שהגורם גבוה יותר כך ניצול האנרגיה במעגל טוב יותר.