

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.

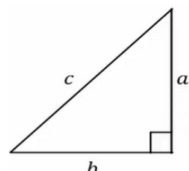
ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

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



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

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

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

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

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

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

GOOL

משוואת הקו הישר

משוואת הקו הישר: $y = mx + n$

הישר עם ציר ה- x : $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$ כאשר α היא הזווית של הישר עם ציר ה- x .

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

הפרבולה

GOOL

משוואת הפרבולה: $y = ax^2 + bx + c$

א חיוב הפרבולה מחייבת, שלילי בוכה.

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

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

GOOL

מבוא פיזיקלי

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

$(a^b)^c = a^{bc}$; $\frac{1}{a^b} = a^{-b}$

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

GOOL

ליטר: $1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3$

קוב: $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$; $1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$

שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: $1 \text{ lightyear} = 9.4608 \cdot 10^{15} \text{ m}$

GOOL

צפיפות: $\rho = \frac{M}{V}$; צפיפות משטחית: $\sigma = \frac{M}{S}$

צפיפות אורכית: $\lambda = \frac{M}{l}$

הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

GOOL

תנועה בקו ישר

העתק- השינוי במיקום הגוף: $\Delta x = x_2 - x_1$

דבר- אורך כל המסלול שעשה הגוף, סימון באות S

מהירות ממוצעת או קבועה: $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

המיקום כתלות בזמן במהירות קבועה: $x(t) = x_0 + v(t - t_0)$

גרפים: גרף המיקום במקרה של תנועה במהירות קבועה יהיה קו ישר. שיפוע הגרף הוא המהירות.

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 מחייבת, תאוצה שלילית פרבולה עצובה.

המהירות היא נגזרת של המיקום לפי הזמן והמיקום הוא אינטגרל על המהירות לפי הזמן:

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

התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה: $a(t) = \frac{dv}{dt}$; $v(t) = \int a(t) dt$

כשעושים אינטגרל צריך להוסיף קבוע, את הקבוע מוצאים מתנאי התחלה.

נגזרות של סינוס וקוסינוס: $(\cos x)' = -\sin x$; $(\sin x)' = \cos x$

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 להוסיף וקטור במרחב כל עוד שומרים על האורך והכיוון שלו.

בצורה אלגברית נסכום את הרכיבים: $\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x, A_y + B_y)$

בצורה פולרית, נפרק לרכיבים ונסכום. כפל/חלוקה בסקלר: בצורה אלגברית, נכפיל/נחלק כל רכיב בסקלר: $\vec{B} = \alpha \vec{A} = (\alpha A_x, \alpha A_y)$

בצורה פולרית, נכפיל/נחלק את הגודל בסקלר (הכיוון לא משתנה אלא אם הסקלר שלילי ואז הכיוון מתהפך) מכפלה סקלרית בין שני וקטורים: $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y + A_z \cdot B_z = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha$

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

GOOL

נפילה חופשית וזריקה אנכית

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

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

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

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

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

1. כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז $a = g$ (במשוואות הני"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 יהות.

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.

יש-אנובה כאשר $v(t) = 0$ הצבה במשוואה נותנת בשיא גובה ש: $y_0 = \frac{v_0^2}{2g}$; $t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0}{g}$

GOOL

דינמיקה - חוק I ו-II של ניוטון

החוק הראשון של ניוטון: אם גוף נע במהירות קבועה בקו ישר (או במנוחה) אז סכום הכוחות עליו מתאפס ולהפך.

החוק השלישי של ניוטון: לכל כוח שגוף אחד מפעיל על גוף שני (כוח פעולה) הגוף השני חייב להפעיל כוח בחזרה (כוח תגובה) השווה בגודלו והפוך בכיוונו.

שימו לב! הכוחות פועלים על שני גופים שונים ולכן לא יהיו באותו תרשים כוחות.

חיכוך סטטי:

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

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

חיכוך קינטי: פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע).

גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים בניגוד לסטטי) ושווה ל: $f_k = \mu_k N$

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.

GOOL

דינמיקה - חוק II של ניוטון

חוק II של ניוטון: $\vec{F} = m\vec{a}$

בגלל שהשוויון וקטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר - נבפרד. כלומר: $\Sigma F_y = ma_y$, $\Sigma F_x = ma_x$

בבעיות עם מספר גופים נעשה תרשים כוחות וחוק שני לכל גוף בנפרד. אחי"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

GOOL

כופים

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

חיבור במקביל

חיבור בטור

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

$k_{\text{eff}} = k_1 + k_2$

GOOL

מומנט כוח

מומנט כוח: $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$

כאשר $\vec{r}$ הוא וקטור שיוצא מהציר עד לנקודה שבה פועל הכוח (ניתן לחשב את המכפלה באמצעות דטרמיננטה או באמצעות גודל וכיוון)

גודל המומנט: $|\vec{\tau}| = |\vec{r}| |\vec{F}| \sin \alpha = |\vec{F}| r_{\perp}$

כאשר $r_{\perp}$ הוא הרכיב של $\vec{r}$ המאונך לכוח כיוון לפי כלל יד ימין או כלל הבורג.

GOOL

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 הקינטית: $W_{\Sigma F} = \Delta E_k$

האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית: $U_g = mgh$

h זה הגובה של הגוף. ניתן לבחור גובה אפס שרוצים. העבודה שמבצע כוח הכובד שווה 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

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

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 מוטטלת: $h = l(1 - \cos \theta)$

h - הגובה מהתחתית

l - אורך החוט

θ - זווית ביחס לאנך

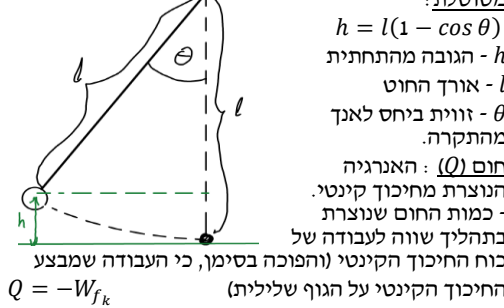
מהתקרה

חום (Q): האנרגיה הנוצרת מחיכוך קינטי.

כמות החום שנוצרת בתהליך שווה לעבודה של החיכוך הקינטי (והפוכה בסימן, כי העבודה שמבצע החיכוך הקינטי על הגוף שלילית)

$Q = -W_{f_k}$

תקרה



$v = \dot{x}$	$\omega = \dot{\theta}$
$a = \dot{v} = \ddot{x}$	$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\theta}$
m	I
p	L
F	τ

לגלול ללא החלקה: מהירות הנקודה שנוגעת במשטח

מתאפסת (ביחס למשטח) $\leftarrow a_{c.m.} = \alpha R$; $v_{c.m.} = \omega R$; $a_{c.m.} = \alpha R$ - בגלל החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

איך נגשים לשאלות?

דרכי כוחות ומומנטים	חוקי שימור
עושים:	בודקים מה נשמר:
1. חוק $\Sigma F = ma_{c.m.}$	1. אנרגיה אם כל הכוחות משמרים.
2. משוואת מומנטים: $\Sigma \tau = I\alpha$	2. תנע קווי אם סכום הכוחות החיצוניים מתאפס.
3. קשר בין התאוצות, לדוגמה $a_{c.m.} = \alpha R$	3. תנ"ז אם סכום המומנטים החיצוניים מתאפס.

GOOL

תנועה מחזורית

תנועה מחזורית: היא תנועה המורכבת מקטע תנועה מסוים החוזר על עצמו באופן מדויק כל מרווח זמן קבוע. הגדרה: תנועה מחזורית היא תנועה שבה קיים T קבוע ועבורו 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 שהכוח ביחס ישר למיקום.

GOOL

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. ω - תדירות זוויתית. ϕ - 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 וזמן המחזור: $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

עבור מסה המחוברת לקפיץ: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ כאשר k הוא קבוע הקפיץ ו- m היא מסת הגוף.

הפאזה: $\phi = \omega \cdot t_0$ כאשר t_0 הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש $t = 0$ (מתחילים למדוד את התנועה)

בדרי"כ נמצא את A ו- ϕ מתנאי התחלה: $x(t=0) = A \sin \phi$; $v(t=0) = -\omega A \cos \phi$ 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: $E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$

GOOL

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

דיסקה במרכז מסה סביב ציר x - במישור הדיסקה	$I_{c.m.} = \frac{1}{4}mR^2$
מוט במרכז המסה	$I_{c.m.} = \frac{1}{12}mL^2$
מוט בקצה	$I = \frac{1}{3}mL^2$
כדור מלא במרכז מסה	$I_{c.m.} = \frac{2}{5}mR^2$
תיבה או לוח במרכז מסה	$I_{c.m.} = \frac{m(a^2 + b^2)}{12}$

GOOL

תנע זוויתי (תנ"ז)

תנ"ז: $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ - $\vec{r}$ הוא וקטור המיקום של הגוף, $\vec{p}$ - התנע הקווי עבור גוף הנע בקו ישר ניתן לחשב את התנ"ז לפי: $|\vec{L}| = mvd$ כאשר d זה המרחק האפקטיבי. v - המהירות. הקשר בין תנ"ז למומנט כוח: $\Sigma \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$ חוק שימור התנע הזוויתי: אם $\Sigma \vec{\tau}_{ext} = 0$ אז התנע הזוויתי נשמר תנ"ז של תנועה משולבת, מערכת גופים שמסתובבים סביב מרכז מסה שני: $\vec{L} = \vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.} + \vec{L}_{c.m.}$ כאשר $\vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.}$ זה התנע הזוויתי של מרכז המסה כאילו הוא גוף נקודתי שהמסה שלו היא מסת כל המערכת ו- $\vec{L}_{c.m.}$ התנע הזוויתי ביחס למערכת מרכז המסה, כלומר סך התנ"ז של הגופים במערכת ביחס לצופה הנע בנקודת מרכז המסה. פרצסיה (נקיפה): לתנע הזוויתי יש רכיב במישור xy שמסתובב סביב ציר z . נגזרת בזמן של הרכיב הזה נותנת לנו את מומנט הכוח שפועל על המערכת.

GOOL

גוף קשיח

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל נקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה מהירות הזוויתית (אך לא באותה מהירות קווית) תנע קווי של גוף קשיח: $\vec{p} = M\vec{v}_{c.m.}$ תנ"ז: גוף הנע בקו ישר (ללא סיבוב פנימי, כלומר לכל החלקים בגוף אותה מהירות קווית): $\vec{L} = \vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.}$ - תנ"ז גוף קשיח המסתובב סביב ציר קבוע: $\vec{L} = I\vec{\omega}$ כאשר I מומנט ההתמד ביחס לציר - תנ"ז של תנועה משולבת (הגוף גם זז וגם מסתובב סביב מרכז המסה): $\vec{L} = \vec{r}_{c.m.} \times \vec{p}_{c.m.} + \vec{L}_{c.m.}$ כאשר $\vec{L}_{c.m.}$ הוא התנ"ז ביחס לציר העובר במרכז המסה ושווה ל- $\vec{L}_{c.m.} = I_{c.m.}\vec{\omega}$ אנרגיה קינטית סיבובית: $E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$ - סביב ציר קבוע כלשהו: - תנועה משולבת (גוף נע ומסתובב סביב מרכז המסה): $E_k = \frac{1}{2}mv_{c.m.}^2 + \frac{1}{2}I_{c.m.}\omega^2$ - תנועה משולבת שהסיבוב אינו סביב מרכז מסה (*): $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}I_0\omega^2 + m\vec{r}_{c.m.0} \cdot (\vec{v}_0 \times \vec{\omega})$ כאשר I_0 מומנט ההתמד ביחס לציר, $\vec{v}_0$ היא המהירות הציר ו- $\vec{r}_{c.m.0}$ הוא מיקום מרכז המסה ביחס לציר. (*השימוש בנוסחה מאוד נדיר טבלת השוואה בין תנועה סיבובית לתנועה בקו ישר

תנועה סיבובית

תנועה בקו ישר	תנועה סיבובית
x	θ

- 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 וואט (W) והיא שווה לגאול חלקי שנייה. יחידת נוספת היא כוח סוס (Hp): $1 \text{ Hp} = 746 \text{ Watt}$ נוסחה נוספת להספק: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$ בנוסחה יש מכפלה סקלרית של הכוח במהירות הגוף. - הנוסחה נכונה גם להספק רגעי (ולא רק להספק ממוצע או קבוע)

GOOL

מתקף ותנע

המתקף שמפעיל כוח קבוע או ממוצע על גוף: $\vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t$ התנגשות אלסטית: התנגשות שבה האנרגיה הקינטית נשמרת. 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 רגע: הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות. - משוואת שימור התנע הופכת ל-

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 המונע לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו הגוף הראשון.

GOOL

מרכז מסה

מיקום מרכז המסה: $\vec{r}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2}{m_1 + m_2}$ ניתן לרשום אותה לכל רכיב בנפרד, לדוגמה לרכיב x: $x_{c.m.} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$ מהירות מרכז המסה: $\vec{v}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$ תאוצת מרכז המסה: $\vec{a}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{a}_1 + m_2\vec{a}_2}{m_1 + m_2}$ עבור יותר משני גופים הנוסחאות ממשיכה 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.

GOOL

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. אדטיביות: ניתן לסכום את המומנט התמד של כל חלק וחלק בגוף על מנת לקבל את המומנט הכולל. $I_T = I_1 + I_2$

גוף נקודתי סביב ציר כלשהו: $I = mR^2$	גוף נקודתי
טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי: $I_{c.m.} = mR^2$	טבעת (חלולה)
דיסקה/גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z-אנך לדיסקה: $I_{c.m.} = \frac{1}{2}mR^2$	גליל חלול

Δ – פונקציה המתארת את מספר המצבים המיקרוסקופיים המתאימים לאותו מצב מקרוסקופי.
GOOL **גלים והתאבכות גלים**

מהירות גל מחזורי:
 $v = \lambda f$
 λ – אורך הגל. f – תדירות הגל.
חוק השבירה:
 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$
 θ – הזווית בין הקרן הפוגעת/ מוחזרת לאורך למשטח.
 n – מקדם השבירה של כל תווך.
 v – מהירות הגל בכל תווך.

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:
 $\ell = n \frac{\lambda}{2}$
 ℓ – אורך המיתר. n – מספר נקודות הקמר (מקסי/ מיני) קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות למישור החריצים.
שווי-מופע:
 $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$
 θ_n – זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המקסימום n .
 X_n – המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר n .
 L_n – המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n .
 d – המרחק בין החריצים.
קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-מופע:
 $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$
 θ_n – זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המינימום n .
 X_n – המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר n .
 L_n – המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר n .
 d – המרחק בין החריצים.

נוסחת יאנג:
 $\frac{\Delta x}{L} = \frac{\lambda}{d}$
 Δx – רוחב פס האור. L – מרחק האנך למסך מהחריצים.
 λ – אורך הגל. d – המרחק בין החריצים.
קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה:
 $\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = n \cdot \lambda$
 θ_n – הזווית למקסימום מסדר n .
 d – המרחק בין שני חריצים צמודים. N – קבוע הסריג.
קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד:
 $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w}$
 θ_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 השמיעה:
 $\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)}$
כאשר I_a היא עוצמת הקול של α דציבל. I_0 – סף השמיעה של אדם.
ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים:
 $\frac{I_a}{I_b} = 10^{\left(\frac{\alpha-\beta}{10}\right)}$
שונים α ו- β :
 $E = I \cdot S \cdot t$
האנרגיה של גל קול:
 E – האנרגיה הכוללת של גל הקול. I – העוצמה בדציבל.
 S – שטח החתך בו הגל פוגע.
 t – משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

GOOL **מבנה החומר**
גודל אטום המימן (הקטן ביותר):
 $0.53 \cdot 10^{-10} m$
יחידת האנגסטרם:
 $1 \text{ \AA} = 10^{-10} m$
פרוטונים מסמנים ב- p 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:
 $q_p = 1.6 \cdot 10^{-19} c$
הנייטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.
המטען החשמלי של כל גוף יהיה חיובי להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

GOOL **הכוח החשמלי - חוק קולון**
חוק קולון:
 $F = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$
 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 העוקפים 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.

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 אינפיניטסימאלית (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:
 $\eta_{קרנו} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$
הטמ' 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 ההפיכים 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 נכנס ב-
A. כיוון אדיאבטי עד ל-
BC הצתה ושריפה של הדלק לפני שהבוכנה 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:
 $COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$
 $COP_{ideal} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$
מקדם יעילות משאבת חום:
 $COP = \frac{Q_H}{W}$
תמיד גדול מאחד
אנטרופיה
GOOL

אנטרופיה - מדד לאי סדר של המערכת
שינוי באנטרופיה בתהליך הפיך ובטמפרטורה קבועה:
 $\Delta S = \frac{Q}{T}$
 $\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$
אם הטמפרטורה לא קבועה אז:
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 והחוק השני (תהליך בלתי הפיך) או נשאתר 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

איזוברי
 $P = const$
איזוכורי
 $V = const$
חישובי העבודה שנעשית בשינוי נפח:
 $W = \int P dV$
הנוסחה נכונה לגזים, נוזלים ומוצקים.
העבודה היא גם השטח מתחת לגרף $P(V)$
בתהליך איזוכורי העבודה מתאפסת (כי אין שינוי נפח).
בתהליך איזוברי העבודה שווה $P \Delta V$ כי הלחץ קבוע (לא צריך אינטגרל).
גז בתהליך איזותרמי נעשה אינטגרל ונציב $P = \frac{nRT}{V}$
קיבול חום לגזים:
בגזים קיבול החום משתנה בהתאם לתהליך
 $Q_V = n C_V \Delta T$
 $Q_P = n C_P \Delta T$
 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)
 $M_T = n m_{mol}$
 $M_T = n m_{mol}$
הפרש קיבולי החום תמיד קבוע:
 $C_P - C_V = R$
גז בתהליך אדיאבטי קוויזיסטטי (מאוד איטי) נעשה אינטגרל ונציב $P = \frac{const}{V^\gamma}$

תהליכים איזותרמים (טמ' קבועה)
לאורך כל הגרף $P = \frac{nRT}{V}$
תהליך אדיאבטי קוויזיסטטי (מעבר בין הטמ' 'const' $P = \frac{const}{V^\gamma}$)
התפשטות חופשית: תהליך שבו גז מתפשט במרחב בצורה אדיאבטית ומבלי לעשות עבודה.
אי אפשר לצירי התפשטות חופשית בדיאגרמת $P-V$ מכיוון שמשטחי המצב לא מוגדרים במהלך ההתפשטות (הגז עדיין לא תופס את כל הנפח של הכלי והלחץ לא אחיד)

GOOL **הולכה הסעה וקרינה**
הולכה – מעבר אנרגיה על ידי התנגשויות בין המולקולות
קצב הולכת חום:
 $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k A \frac{(T_1 - T_2)}{l}$
 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.
קרינה: מועברת דרך גלים אלקטרומגנטיים, אינו דורש תווך.
משוואת סטפן בולצמן (קצב החום הנפלט מגוף ע"י קרינה):
 $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T^4$
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
 A שטח הפנים של הגוף הפולט. T – הטמפרטורה של הגוף הפולט. ϵ – קירון (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.
הנטו של קצב פליטת הקרינה (פליטה פחות קליטה) הוא:
 $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$
 T_1 – הטמפרטורה של הגוף הפולט.
 T_2 – הטמפרטורה של הסביבה.
קרינת שמש:
הקבועה סולרי הוא $\frac{1350 W}{m^2 \cdot s}$. האטמוספירה יכולה לספוג עד 70% מהקרינה. ביום בהיר נעריך את הקבוע כ 1000 וכמות החום שגוף סופג מקרינת השמש:

$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \left(1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}\right) \epsilon A \cos \theta$
 θ – הזווית בין האנך למשטח של הגוף ובין קרני השמש.
GOOL **החוק השני של התרמודינמיקה**
החוק השני לפי קלאוזיוס: חום זורם בצורה ספונטנית מהגוף החם לגוף הקר, חום לא זורם ספונטנית מהגוף הקר

השדה החשמלי

GOOL

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E : $F = qE$
השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב: $E = \frac{kq}{r^2}$
 r - הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה.
עקרון הסופרפוזיציה: השדה השקול בנקודה במרחב הוא סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה נקודה.
קווי שדה: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

חוק גאוס ברמה איכותית

GOOL

הקבוע דיאלקטרי 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 דבור וקליפה כדורית מוחזק 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 ($\sigma = \frac{Q}{S}$).
כיוון השדה במאונך למישור (החוצה מהמישור עבור מטען חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)
השדה של שני מישורים אינסופיים עם צפיפות הפוכה הוא $4\pi k\sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ

השדה של תיל אינסופי:

$E = \frac{2k\lambda}{r}$
 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)

מוליכים

במוליך המטענים חופשיים לזוז.
השדה מתאפס (או ליתר דיוק הכוח) בתוך המוליך.
השדה יכול להיות שדה מאונך לשפה.
המטען הכולל בתוך המוליך מתאפס למעט על השפה (במבצב סטטי).
הפוטנציאל במוליך אחיד (קבוע).
הארקה: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.
תנועה חשיבה אחיד

הכוח החשמלי 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_i / v_f - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.
 U_i / U_f - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.
אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):
 $U = \frac{kq_1q_2}{r}$
שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!
העבודה שמבצע הכוח החשמלי שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנע):

$W_{\text{חשמלי}} = -\Delta U$
העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא מינוס):
 $\Delta U = W_{\text{חשמלי}}$ - 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:
 $V = \frac{kq}{r}$ - 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 לבד כמו הפוטנציאל, כי פוטנציאל בנקודה הוא גם מתח (הפרש פוטנציאלים) מהאפס.
יחידת האלקטרון וולט [eV]: יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט. $1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$
הפרש הפוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:

פוטנציאל של לוח אינסופי (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח):
 $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$
 $U(x) = -2\pi k\sigma x$
 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 כדורית: "כדה"א הוא כדור מוליך מאוד גדול, $R = \infty$ ולכן הפוטנציאל אפס.
חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוואת הפוטנציאלים)
הארקה: חיבור מוליך לכדה"א, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדה"א).
חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה (העבודה הדרושה לבניית המערכת):
דרג 1: 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:

$W = 0 + q_2 \frac{kq_1}{r_{12}} + q_3 \left(\frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$
דרג 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:
 $W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}}$

עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד 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:
 $P = IV = I^2R = V^2/R$
השווין הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

זרם מתח והתנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן
חישוב זרם קבוע או ממוצע:
 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$
 I הוא סקלר אבל כיוון הזרם נקבע לפי כיוון תנועת המטענים החיוביים.
יחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר $1A = 1C/sec$
גורף של $I(t)$ סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.
גורף 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:
 $V = IR$
 V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.
נגד מוליך שהתנגדותו שלו גדולה בהרבה מן החוטים.
תלות ההתנגדות במבנה הנגד:
 $R = \frac{l}{A} \cdot \rho$
 l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).

A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.
 ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.
ההתנגדות של נגד משתנה:

$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$
כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)
 r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.
כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית: $\epsilon = V + Ir$
 ϵ - כא"מ, המתח המקסימלי של הסוללה.
 V - מתח הדקים. r - התנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.
נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה (R_T):
 $V_{\text{הדקים}} = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$

וללא הזרם:
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. נוסיף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצוא את הזרמים.
נצילות במעגל חשמלי

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

מכשירי מדידה
אמפרמטר(מד זרם):
נחבר את האמפרמטר בטור לרכיב בו נרצה למדוד את הזרם.
התנגדות האמפרמטר צריכה להיות מאוד קטנה ביחס לנגד. אמפרמטר אידיאלי הוא ללא התנגדות בכלל.
וולטמטר(מד מתח):
נחבר את הוולטמטר במקביל לרכיב אותו נרצה למדוד.
התנגדות הוולטמטר צריכה להיות גדולה ככל הניתן (גדולה מאוד ביחס לנגד)
וולטמטר אידיאלי הוא וולטמטר עם התנגדות מאוד מאוד גדולה או התנגדות אינסופית.
גליונומטר: מד זרם שהתנגדותו אינה זניחה.
שימוש בגליונומטר כמד זרם:
נחבר במקביל לנגד (מיצד) בעל התנגדות נמוכה (בשביל להקטין את ההשפעה של 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:
 V הוא המתח
ברכיב.

$V = I_G (R_S + R_G)$
 V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.
נגד מוליך שהתנגדותו שלו גדולה בהרבה מן החוטים.
תלות ההתנגדות במבנה הנגד:
 $R = \frac{l}{A} \cdot \rho$
 l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).



