

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.

- כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.

- גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.

ערך מקסימלי: $f_s \leq \mu_s N$ 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:

המישור המשווה:

בבעיות עם מישור משופע

מומלץ לבחור מערכת צירים

כך שציר X מקביל למישור

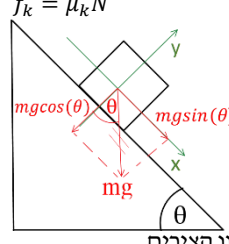
וציר Y מאונך.

הרכיב של mg במקביל

למישור יהיה $mg \sin(\theta)$

ובמאונך למישור $mg \cos(\theta)$

, שימו לב לסימנים בהתאם לכיוון הצירים.



GOOL

דינמיקה - חוק II של ניוטון

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

- בגלל שהשוויון קטורי 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. אח"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של

הגופים.

GOOL

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

חיבור במקביל	חיבור בטור

GOOL

קפיצים

חוק הוק - הכוח של קפיץ: $F = -k(x - x_0)$

כאשר x הוא מיקום הגוף ו- x_0 המיקום שבו הקפיץ רפוי.

חיבור במקביל	חיבור בטור

GOOL

כוחות מדומים

כוח מדומה מוסיפים רק כאשר **הצופה** נמצא בתאוצה

(מערכת לא אינרציאלית). אם הצופה לא בתאוצה (מערכת

אינרציאלית) אין כוחות מדומים ולא תלוי בתנועת הגוף.

החוק השני של ניוטון עבור צופה נמצא בתאוצה:

$m\vec{a}' = m\vec{a} + \Sigma \vec{F}_{אמיתיים}$

$\vec{a}'$ היא תאוצת הגוף **ביחס לצופה**.

$\vec{F}_{אמיתיים}$ הם כוחות שיש מי שמפעיל אותם, מופיעים גם

במערכת המעבדה.

" $-m\vec{a}_0$ " - הוא הכוח המדומה כאשר m היא מסת הגוף

הנמדד ו- $\vec{a}_0$ היא תאוצת **הצופה**.

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 קינטית: $W_{\Sigma F} = \Delta E_k$

האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ):

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

Δx הוא קבוע הקפיץ

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

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)

- ניתן לחשב את החום שנוצר גם מהשינוי באנרגיה

הכללית של הגוף.

האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:

$U_g = mgh$

h זה הגובה של הגוף. ניתן לבחור גובה אפס איפה שרוצים.

העבודה שמבצע כוח הכובד שווה למינוס השינוי באנרגיה

הפוטנציאלית הכובדית: $W_g = -\Delta U_g$

הספק (P): העבודה שנעשית ביחידת זמן.

ההספק של כוח קבוע או הספק ממוצע: $P = \frac{W}{\Delta t}$

היחידה הסטנדרטית של ההספק היא Watt (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)

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 ה 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: $\Sigma F_\theta = ma_\theta$

תאוצה זוויתית: קצב שינוי המהירות הזוויתית בזמן.

עבור תאוצה זוויתית קבועה או ממוצעת:

$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$

(ביחידות של רדיאן לשנייה בריבוע).

הקשר בין 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: $\vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t$

התנע של גוף: $\vec{p} = m\vec{v}$

התנע של גוף: $\vec{p} = m\vec{v}$

נשמרת. נוסף למשוואת שימור התנע את משוואת שימור

האנרגיה: $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$

האנרגיה:

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

רצו: הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות.

- משוואת שימור התנע הופכת ל-

$(m_1 + m_2)\vec{v} = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2$

- התנגשות פלסטית ורתע הן אף פעם לא התנגשויות

אלסטיות! כלומר לא יכול להתקיים שימור אנרגיה

בהתנגשויות האלו.

- שימו לב שקיימות התנגשויות שהן לא אלסטיות ולא

פלסטיות (סתם התנגשויות) בהן יש רק את משוואת שימור

התנע הרגילה.

- הערה: בספרים מסוימים השם התנגשות אלסטית

מתייחס להתנגשות רגילה שהיא לא פלסטית ואין בה

שימור אנרגיה. להתנגשות שיש בה גם שימור אנרגיה

קוראים התנגשות אלסטית לחלוטין.

התנגשות אלסטית מצחית (במימד אחד) בין מסות שוות

שאלה הגופים במנוחה: במקרה זה כל האנרגיה עוברת

מהגוף הפועל לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפועל ייעצר והגוף

שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו

הגוף הראשון.

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:

$x_{c.m.} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$

$\vec{v}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$

מהירות מרכז המסה:

$\vec{a}_{c.m.} = \frac{m_1\vec{a}_1 + m_2\vec{a}_2}{m_1 + m_2}$

תאוצת מרכז המסה:

עבור יותר משני גופים הנוסחאות ממשיות בהתאמה.

מספר גופים קשיחים (לא נקודתיים): נעשים מרכז מסה

בין מרכזי המסה.

גוף עם חור: נעשה מרכז מסה של הגוף המלא עם מרכז

מסה של החור כאשר המסה של החור שלילית.

תאוצת מרכז המסה תלויה רק בכוחות החיצוניים:

אם אין כוחות חיצוניים (ומרכז המסה במנוחה בהתחלה)

אז מיקום מרכז המסה נשמר. ניתן לעשות "שימור מרכז

מסה" לחשב אותו בהתחלה ובסוף ולהשוות.

במקרה של גוף עם צפיפות לא אחידה ρ (תלויה ב x):

$x_{c.m.} = \int x dm = \int x \rho dx$

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

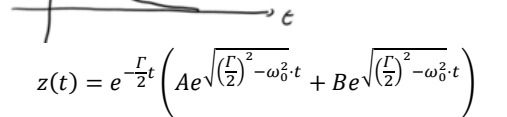
וחלק בגוף על מנת לקבל את המומנט הכולל. $I_T = I_1 + I_2$

גוף נקודתי סביב ציר כלשהו:		$I = mR^2$
טבעת וגליל חלול סביב הציר המרכזי:		$I_{c.m.} = mR^2$
דיסקה/גליל מלא במרכז מסה סביב ציר z-אנך לדיסקה:		$I_{c.m.} = \frac{1}{2}mR^2$
דיסקה במרכז מסה סביב ציר x-במישור הדיסקה:		$I_{c.m.} = \frac{1}{4}mR^2$
מוט במרכז המסה:		$I_{c.m.} = \frac{1}{12}mL^2$

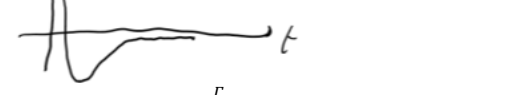
$$\ddot{z} + \Gamma \dot{z} + \omega_0^2 z = 0$$

משוואת התנועה:
כאשר $z = x - x_0$, $\Gamma = \frac{\lambda}{m}$, $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$
פתרון המשוואה מתחלק לשלושה מקרים:

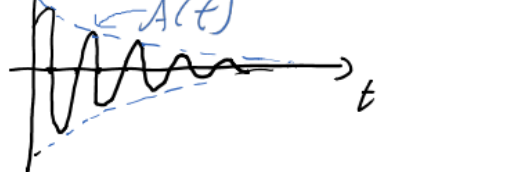
מקרה (I) - ריסון חזק: $\frac{\Gamma}{2} > \omega_0$
אין תנודות



מקרה (II) - ריסון קריטי: $\frac{\Gamma}{2} = \omega_0$
 $z(t) = (A + B \cdot t) \cdot e^{-\omega_0 t}$
דעיכה הכי מהירה לשינוי משקל עם תנודה אחת.



מקרה (III) - ריסון חלש: $\frac{\Gamma}{2} < \omega_0$
 $z(t) = Ae^{-\frac{\Gamma}{2}t} \cos(\tilde{\omega}t + \varphi)$; $\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2}$
יש תנודות דועכות, $\tilde{\omega}$ היא תדירות התנודות.



טמפ' והתפשטות תרמית

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

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

A - מספר המסה (מסר הפרוטונים והנויטרונים בגרעין)

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

התפשטות תרמית ליניארית:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$$

$$\Delta T = T - T_0 \text{ ו- } \Delta l = l - l_0$$

α קבוע התלוי בחומר (בטבלה)

התפשטות תרמית משטחית:

$$\Delta A = \gamma A_0 \Delta T$$

γ - חורים גדלים עם עליה בטמפרטורה

התפשטות נפחית:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

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

מוצקים $\beta (^{\circ}C^{-1})$ $\alpha (^{\circ}C^{-1})$ $\beta (^{\circ}C^{-1})$ **נוזלים** $\beta (^{\circ}C^{-1})$

אלומיניום 25×10^{-6} 75×10^{-6} 75×10^{-6} **בנוי** 950×10^{-6}

פלז 19×10^{-6} 56×10^{-6} 56×10^{-6} **כספית** 180×10^{-6}

נחושת 17×10^{-6} 50×10^{-6} 50×10^{-6} **אתיל אלכוהול** 1100×10^{-6}

זהב 14×10^{-6} 43×10^{-6} 43×10^{-6} **גליצרין** 500×10^{-6}

ברזל / פלדה 12×10^{-6} 35×10^{-6} 35×10^{-6} **מים** 210×10^{-6}

עופרת 29×10^{-6} 87×10^{-6} 87×10^{-6} **גזים** $\beta (^{\circ}C^{-1})$

זכוכית (פיירקס) 3×10^{-6} 9×10^{-6} 9×10^{-6} **אוויר*** 3400×10^{-6}

זכוכית רגילה 9×10^{-6} 21×10^{-6} 21×10^{-6} **בלחץ אטמוספרי**

קוורץ 0.4×10^{-6} 1×10^{-6} 1×10^{-6}

בטון / לבנים $12 \times 10^{-6} \approx 36 \times 10^{-6}$

שיש 1.4×10^{-6} 4×10^{-6}

האנומליה של המים

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

חוק הגז האידיאלי

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

לחץ:

F - כוח. **A - שטח** עליו פועל הכוח.

הלחץ שמפעיל נוזל בנקודה מסוימת:

$$P = \rho_l gh$$

h - גובה הנוזל מעל אותה הנקודה. **ρ_l - צפיפות הנוזל.**

הלחץ של נוזל תלוי רק בגובה הנוזל (ובסוג הנוזל) ולא בכמות הנוזל.

לחץ אטמוספרי: $1 atm = 1.013 \cdot 10^5 Pa$

לחץ שלילי (תחת לחץ): הוא לחץ יחסי (נגמדת ביחס ללחץ אטמוספרי) נגמדת מהלחץ האטמוספרי.

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

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

תנועה מחזורית

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

תנועה הרמונית

המיקום כתלות בזמן בתנועה הרמונית:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

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 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: $\varphi = \omega \cdot t_0$

כאשר t_0 הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש $t = 0$ (מתחילים למדוד את התנועה)

בדר"כ נמצא את A ו- φ מתנאי התחלה:

$$x(t=0) = A \sin \varphi ; v(t=0) = -\omega A \cos \varphi$$

מהירות ותאוצה מקסימאליים:

$$v_{max} = \pm \omega A ; a_{max} = \pm \omega^2 A$$

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:

$$E = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} kA^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$$

תנועה הרמונית פשוטה

משוואת התנועה:

$$-k(x - x_0) = m\ddot{x}$$

k ו- m הם קבועים חיוביים כלשהם.

x_0 - קבוע שיכול להיות חיובי או שלילי.

x - משתנה כלשהו, יכול להיות גם זוויתי או משתנה אחר.

$\ddot{x}$ - נגזרת שנייה של המשתנה.

חייב להיות מינוס לפני k .

פתרון המשוואה:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi) + x_0$$

x_0 - נקודת שיווי המשקל, הנקודה שבה $\Sigma \vec{F} = 0$.

A - אמפליטודה, המרחק המקסימאלי משווי המשקל.

ω - תדירות זוויתית $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

φ - פאזה.

מציאת הקבועים בפתרון:

x_0 - אפשר למצוא ישירות מהקבוע שבמשוואה או למצוא אותו מסכום הכוחות שווה לאפס.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{\text{של המקדם}}{\text{של המקדם}}}$$

φ, A מוצאים מתנאי התחלה $x(0)$ ו- $\dot{x}(0)$.

נוסחה למהירות המקסימאלית:

$$v_{max} = \omega A$$

מטוטלת פיזיקאלית:

גוף קשיח שתולים בנקודה כלשהי

$$\omega = \sqrt{\frac{mgr_{c.m.}}{I_0}}$$

I_0 - מומנט ההתמד בנקודת התליה

האנרגיה: $E = \frac{1}{2} m\dot{x}^2 + \frac{1}{2} k(x - x_0)^2 = \frac{1}{2} mA^2$

- האנרגיה הכוללת קבועה ואפשר לחשב אותה דרך האמפליטודה.

- חילופי האנרגיה בין האנרגיה הקינטית לפוטנציאלית, הפוטנציאלית מקסי' בקצוות והקינטית בשיווי משקל.

תנועה הרמונית מרוסנת

בנוסף לכוח הקפיץ נוסף כוח מרוסן מהצורה: $F = -\lambda v$

- מהירות הגוף ו- λ קבוע.

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	$I_{c.m.} = \frac{m(a^2 + b^2)}{12}$

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.

תנע זוויתי (תנ"ז)

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

תנ"ז: $\vec{L}$ - 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

$$\Sigma \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

למומנט כוח:

חוק שימור התנע הזוויתי:

אם $\Sigma \vec{\tau}_{ext} = 0$ אז התנע הזוויתי נשמר

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:

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 (*):

$$E_k = \frac{1}{2} mv_0^2 + \frac{1}{2} I_0 \omega^2 + m \vec{r}_{c.m.o} \cdot (\vec{v}_0 \times \vec{\omega})$$

כאשר I_0 מומנט ההתמד ביחס לציר, $\vec{v}_0$ היא מהירות הציר ו- $\vec{r}_{c.m.o}$ הוא מיקום מרכז המסה ביחס לציר.

(*) השימוש בנוסחה מאוד נדיר

טבלת השוואה בין תנועה סיבובית לתנועה בקו ישר

תנועה סיבובית	תנועה בקו ישר
θ	x
$\omega = \dot{\theta}$	$v = \dot{x}$
$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\theta}$	$a = \dot{v} = \ddot{x}$
I	m
L	p
τ	F

גלגול ללא החלקה: מהירות הנקודה שנוגעת במשטח מתאפסת (ביחס למשטח) $v_{c.m.} = \omega R$; $a_{c.m.} = aR$

- בגל"ה החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

איך נגשים לשאלות?

דרך כוחות ומומנטים

בדקים מה נשמר:

1. אנרגיה אם כל הכוחות משמרים.

2. תנע קווי אם סכום הכוחות החיצוניים מתאפס.

3. תנ"ז אם סכום המומנטים החיצוניים מתאפס.

1. חוק $\Sigma F = ma_{c.m.}$

2. משוואת מומנטים: $\Sigma \tau = I \alpha$

3. קשר בין התאוצות, לדוגמה $a_{c.m.} = aR$

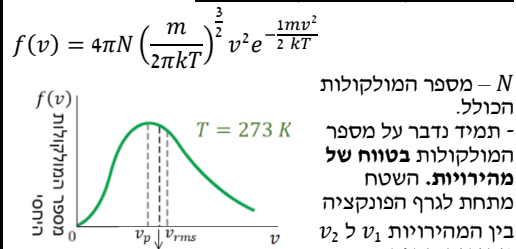
מספר אבוגדרו: $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$
 כמות של N_A חלקיקים (אטומים או מולקולות) נקראת **מול** (mol) של החומר
מסה מולרית (המסה של מול אחד, או מספר אבוגדרו של חלקיקים):
 $M_{mol} = N_A \cdot m_a$
 m_a - מסה אטומית. N_A - מספר אבוגדרו.
 המסה המולרית שווה למסה האטומית רק בגרם במקום ביחידת מסה אטומית
הקשר 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:

$PV = nRT$ (או $PV = NkT$)
לחץ אבסולוטי. V - נפח. T - טמפרטורה 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 אטמוספירי או פחות והטמפרטורה רחוקה מהטמפרטורה בה הגז הופך לנוזל (טמפרטורת הרתיחה)
STP - Standard Temperature and Pressure:
 $T = 0^\circ C = 273 K$, $P = 1 atm = 101,325 Pa$

התאוריה הקינטית של הגזים

האנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולה בגז נמצאת ביחס ישר לטמפרטורה:
 $\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m \bar{v}^2$
 $\bar{v}^2$ - ממוצע של המהירות בריבוע. m - מסת המולקולה.
 T - טמפרטורה. קבוע בולצמן $k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
מהירות rms :
התפלגות מקסוול-בולצמן למהירויות:



N - מספר המולקולות הכולל.
 - תמיד 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
 - סך כל המולקולות:
 $N = \int_0^\infty f(v) dv$
 v_p - השכיח, המהירות הכי נפוצה.
 - עבור טמפרטורה גדולה יותר הגרף זז ימינה ומתרחב.

חום וחוק 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) גדולה 1000 פעמים.
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 בטמפרטורה.
 C (גדולה) קיבול החום הכולל של הגוף: $C = mc$

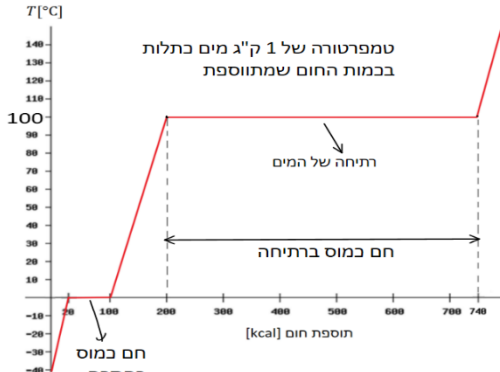
קיבול חום סגולי c בטמפרטורה $20^\circ C$ ובלחץ $1 atm$

חומר	$c [cal/(g \cdot ^\circ C)]$	$c [J/(kg \cdot ^\circ C)]$
אלומיניום	0.22	900
אלכוהול (אתילי)	0.58	2400
נחושת	0.093	390
זכוכית	0.20	840
ברזל / פלדה	0.11	450
עופרת	0.031	130
שיש	0.21	860
כספית	0.033	140
כסף	0.056	230
עץ	0.40	1700

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

חומר	$c [cal/(g \cdot ^\circ C)]$	$c [J/(kg \cdot ^\circ C)]$
קרח ($-5^\circ C$)	0.50	2100
מים נוזליים ($15^\circ C$)	1.00	4186
קיטור ($110^\circ C$)	0.48	2010
גוף האדם (ממוצע)	0.83	3470

חום כמס: חום שהולך לשינוי מצב הצבירה של החומר ואינו משנה את הטמפרטורה:
 $Q = m \cdot L$
 Q - החום הכמוס בחומר. m - מסת הגוף.
 L - חום כמוס ליחידת מסה (תלוי בחומר ונמצא בטבלה).



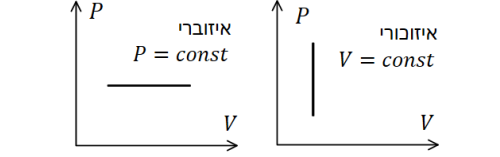
חומר	נק' היתוך ($^\circ C$)	L_f היתוך (kJ/kg)	נק' רתיחה ($^\circ C$)	L_v אידוי (kJ/kg)
חמצן	-219	14	-183	210
חנקן	-210	26	-195.8	200
אתנול	-114	104	78	850
אמוניה	-117	33	-33.4	137
מים	0	333	100	2260
עופרת	327	25	1750	870
כסף	961	88	2193	2300
ברזל	1808	289	3023	6340
סונגסטון	3410	184	5900	4800

החוק הראשון של התרמודינמיקה:
 $\Delta E_{int} = Q - W$
 או בצורה רחבה יותר: $\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_{int} = Q - W$
 ΔE_{int} - שינוי באנרגיה פנימית.

Q - חום. אם חום נכנס למערכת אז Q חיובי ואם חום יוצא מהמערכת אז Q שלילי
 W - עבודה שנעשית מכל סיבה אחרת. אם המערכת מבצעת עבודה אז W יהיה חיובי ואם מתבצעת עבודה על המערכת אז W יהיה שלילי.
תהליך איזותרמי (טמפרטורה קבועה):
 מתרחש כאשר המערכת צמודה למאגר חום גדול והתהליך הוא קוויסטטי (מאוד איטי)

$T = const \Rightarrow \Delta E_{int} = 0 \Rightarrow Q = W$
תהליך אדיאבטי (אין מעבר חום $Q = 0$):
 מתרחש אם המערכת מבודדת מאוד או אם התהליך מהיר ואז חום (שזורם לאט בדרך"כ) לא מספיק לעבור.

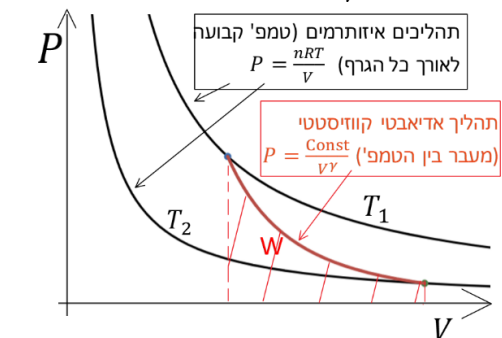
$Q = 0 \Rightarrow \Delta E_{int} = W$
תהליך איזוברי (לחץ קבוע) ותהליך איזוכורי (נפח קבוע):



חישובי העבודה שנעשית בשינוי נפח:
 - 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
 $Q_V = nC_V\Delta T$
 $Q_P = nC_P\Delta T$
 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
 $M_T = nm_{mol}$
 $C_P - C_V = R$
הפרש קיבולי החום תמיד קבוע:
 - גז בתהליך אדיאבטי קוויסטטי (מאוד 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 שמשטחי המצב לא מוגדרים במהלך ההתפשטות (הגז עדיין לא תופס את כל הנפח של הכלי והלחץ לא אחיד)

הולכה הסעה וקרינה

הולכה - מעבר אנרגיה על ידי התנגשויות בין המולקולות
קצב הולכת חום:
 $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{l}$
 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.
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 - 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.
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 $1350 \frac{W}{m^2 \cdot s}$. האטמוספירה יכולה לספוג עד 70% מהקרינה. ביום בהיר נעדר את הקבוע כ 1000 וכמות החום שגוף סופג מקרינת השמש:

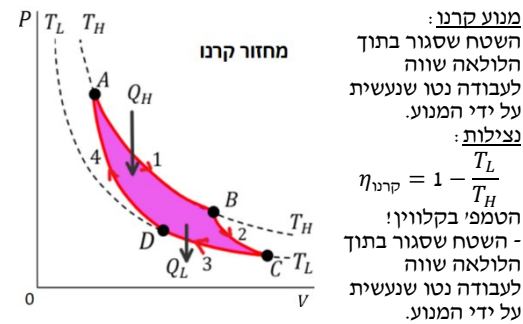
$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (1000 \frac{W}{m^2 \cdot s}) \epsilon A \cos \theta$
 θ - הזווית בין האנך למשטח של הגוף ובין קרני השמש.

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 קוויסטטית) כך שניתן לתארו כסדרה של מצבי שיווי משקל, וניתן לבצעו בכיוון ההפוך כאשר העבודה והחום שנעשים בכיוון ההפוך שווים לעבודה והחום שנעשו בכיוון המקורי.



- 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-



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

COOL

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 תמיד עולה (תהליך בלתי הפיך) או נשארת קבועה (תהליך הפיך).
 או, האנטרופיה הכוללת של מערכת והסביבה שלה

$$\Delta S_T = \Delta S_{sys} + \Delta S_{env} > 0$$

כתוצאה מתהליך טבעי:

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.

$$S = k \ln \Omega$$

האנטרופיה כתלות מספר המצבים:

k - קבוע בולצמן

Ω - פונקציה המתארת את מספר המצבים

המיקרוסקופיים המתאימים לאותו מצב מקרוסקופי.