

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!!

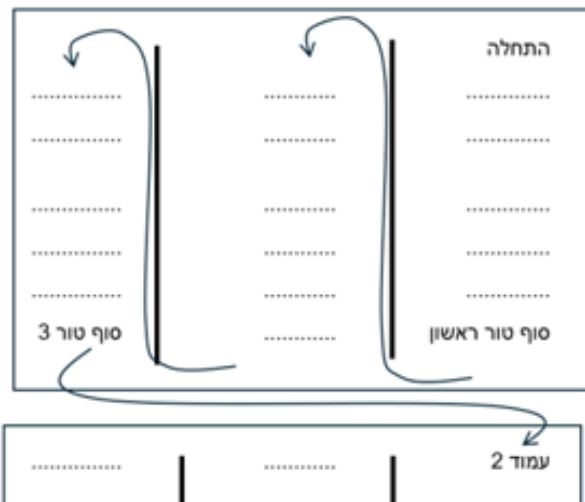
מבנה הדף:

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.

פנילה חופשית זריקה אנכית

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

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

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

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

- **בפנילה חופשית** הגוף מתחיל ממנוחה ולכן $v_0 = 0$ בדרי"כ נבחר לפתור באופן הבא:

$$1. \text{ כיוון הצייר החיובי יהיה כלפי מטה ואז } a = g \text{ (במשוואות הנ"ל)}$$

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

קטור המיקום

$$\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} = (x, y)$$

$$\Delta\vec{r} = \Delta x\hat{x} + \Delta y\hat{y} = (\Delta x, \Delta y)$$

$$\vec{v}_{\text{avg}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

זריקה משופעת (ואופקית): הגוף נורק במהירות התחלתית v_0 בזווית θ (באופקית הזווית אפס).

נפריד לתנועה במהירות קבועה בציר X ותנועה בתאוצה קבועה בציר Y (זריקה אנכית). משוואות התנועה יהיו:

$$x(t) = x_0 + v_0 \cos(\theta)t; \quad v_x(t) = v_0 \cos(\theta)$$

$$y(t) = y_0 + v_0 \sin(\theta)t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

$$v_y(t) = v_0 \sin(\theta) + a_y t$$

- אם נבחר כיוון חיובי בציר Y כלפי מעלה או $a_y = -g$ תיתכן תאוצה גם בציר ה-X לדוגמה במקרה של רוח אופקית ואז צריך לשנות את הנוסחאות בציר X לנוסחאות של תאוצה קבועה.

$$\text{שיא גובה } (v_y(t) = 0): \quad t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0 \sin(\theta)}{g}$$

$$y_{\text{שיא גובה}} = y_0 + \frac{(v_0 \sin(\theta))^2}{2g}$$

$$\text{טווח (בהנחה שהזריקה מהקרקע):} \quad R = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$$

- 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- $y(t)$.

תנועה יחסית

$$\text{נוסחה למיקום היחסי:} \quad x_{1,2} = x_1 - x_2$$

הם המיקומים של גוף 1 ו-2 ביחס למעבדה/קרקע. $x_{1,2}$ הוא המיקום של גוף 1 ביחס לגוף 2 (כלומר המיקום של גוף 1 ביחס לראשית צירים הנמצאת על גוף 2) כנייל לגבי המהירות היחסית והתאוצה היחסית:

$$v_{1,2} = v_1 - v_2; \quad a_{1,2} = a_1 - a_2$$

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 מפעיל עליו כוח תגובה (כוח שווה 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.

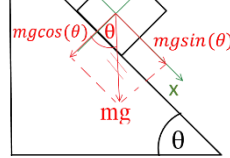
$$f_s \leq \mu_s N \quad \text{או} \quad f_{s,max} = \mu_s N$$

חיכוך קינטי: פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע). גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים).

$$f_k = \mu_k N$$

בינוגרף לטסטו ושווה ל: המישור המשופע: בעציות 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.



נוסחה נוספת המקשרת בין המהירות למיקום (ללא תלות בזמן):

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

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.

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

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

התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה:

$$a(t) = \frac{dv}{dt}; \quad v(t) = \int a(t)dt$$

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

נגזרות של סינוס וקוסינוס:

$$(\cos x)' = -\sin x; \quad (\sin x)' = \cos x$$

קוטורים

פירוק לרכיבים: $A_y = |\vec{A}| \sin \theta$; $A_x = |\vec{A}| \cos \theta$

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}; \quad \tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

חיבור וקטורים: בצורה גרפית נצימד ראש לזנב. וקטור הסכום יהיה וקטור מהזנב הראשון לראש הווקטור האחרון.

תמיד ניתן להזיז וקטור ומרחב 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:

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

וקטור יחידה: וקטור בשלושה מימדים: $0 \leq \varphi \leq \pi$; $0 \leq \theta \leq 2\pi$

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

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 מפעיל עליו כוח תגובה (כוח שווה 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.

$$f_s \leq \mu_s N \quad \text{או} \quad f_{s,max} = \mu_s N$$

חיכוך קינטי: פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע). גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים).

$$f_k = \mu_k N$$

בינוגרף לטסטו ושווה ל: המישור המשופע: בעציות 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.

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 מפעיל עליו כוח תגובה (כוח שווה 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.

$$f_s \leq \mu_s N \quad \text{או} \quad f_{s,max} = \mu_s N$$

חיכוך קינטי: פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע). גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים).

$$f_k = \mu_k N$$

בינוגרף לטסטו ושווה ל: המישור המשופע: בעציות 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.



פונקציות טריגונומטריות

ניצב שמול יתר: $\sin \alpha = \frac{a}{c}$
ניצב ליד יתר: $\cos \alpha = \frac{b}{c}$
ניצב שמול ליד ניצב: $\tan \alpha = \frac{a}{b}$

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

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

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

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

משוואת הקו הישר

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: $y = ax^2 + bx + c$
 חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.

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

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

מבוא פיזיקלי

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

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

מעברים בין יחידות: קילו (k) זה 1000: $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$; $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$

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

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

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

שוב: שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: $1 \text{ km} = 1000 \text{ m} = 1000 \text{ liter}$

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

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

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

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)

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.
omega - תדירות זוויתית. phi - פאזה.

v(t) = -omega A sin(omega t + phi)
המהירות בתנועה הרמונית:
a(t) = -omega^2 A cos(omega t + phi)
התאוצה בתנועה הרמונית:
קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות זמן המחזור:
omega = 2pi f = 2pi / T

עבור מסה מחוברת לקפיץ:
omega = sqrt(k/m)
כאשר k הוא קבוע הקפיץ ו-m היא מסת הגוף.

הפאזה:
phi = omega * t_0
כאשר t_0 הוא הזמן שעבר מהרגע שבו הגוף היה בקצה החיובי עד ש t = 0 (מתחילים למדוד את התנועה)
בדר"כ נמצא את phi ומתנאי התחלה:
x(t=0) = A sin phi ; v(t=0) = -omega A cos phi
מהירות ותאוצה מקסימליות:

v_max = omega A ; a_max = 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 (נקי ש.מ. חדשה) משם התנועה תהיה כרגיל. אפשר לקבוע את x=0 בנקודת ש.מ ולהתעלם מהכובד.

האנרגיה בתנועה הרמונית:
E = 1/2 mv^2 + 1/2 kx^2 = 1/2 kA^2 = 1/2 mv_max^2

GOOL

תמך' והתפשטות תרמית

יחידת מסה אטומית:
1u = 1.6605 * 10^-27 kg ~ m_p
מסת האטום ביחידת מסה אטומית:
m_a approx A * 1u
A - מספר המסה (מסר הפרוטונים והנויטרונים בגרעין)
מעבר מפרנהייט לצלזיוס:
T(C) = 5/9 [T(F) - 32]

התפשטות תרמית לינארית:
Delta l = alpha_0 Delta T
Delta T = T - T_0 ; l = l_0 - Delta l
alpha קבוע התלוי בחומר (בטבלה)

התפשטות תרמית משטחית:
Delta A = gamma A_0 Delta T
- חורים גדלים עם עליה בטמפרטורה

התפשטות נפחית:
Delta V = beta V_0 Delta T
Delta V = V - V_0 ; beta approx 3alpha

Table with 4 columns: מוצקים, נוזלים, גזים, and values for alpha and beta coefficients.

האנומליה של המים
כאשר הטמפרטורה יורדת מתחת 4°C המים מתרחבים (הצפיפות קטנה במקום לגדול) ולכן קרח צף על פני המים.

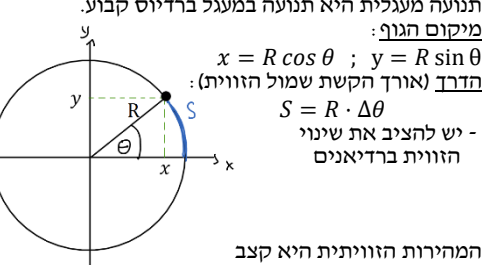
GOOL

חוק הגז האידיאלי

לחץ:
P = F/A
F - כוח. A - שטח עליו פועל הכוח.
הלחץ שמפעיל נוזל בנקודה מסוימת:
P = rho_l g h
h - גובה הנוזל מעל אותה הנקודה. rho_l - צפיפות הנוזל.
הלחץ של נוזל תלוי רק בגובה הנוזל (ובסוג הנוזל) ולא בכמות הנוזל.

הנוסחה כנונה גם להספק רגעי (ולא רק להספק ממוצע או קבוע)

GOOL תנועה מעגלית



המהירות הזוויתית היא קצב שינוי הזווית בזמן.
מהירות זוויתית קבועה או ממוצעת:
(ביחידות של רדיאן לשנייה)
omega = Delta theta / Delta t = 2pi f = 2pi / T
f היא התדירות (יחידות הרץ או 1/sec). T זמן מחזור.
הקשר בין המהירות הזוויתית למהירות הקווית (נכון גם למהירויות שאינן קבועות):
|v| = omega R
תאוצה רדיאלית (למרכז המעגל):
a_r = v^2 / R = omega^2 R
סכום הכוחות למרכז המעגל:
Sigma F_r = m(v^2 / R) = m(omega^2 R)

בתרגילים, נבחר מערכת צירים כך שכיוון ציר X הוא 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 משקיית. התאוצה המשקיית שווה לשינוי גודל המהירות בזמן (בדיקו כמו תאוצה רגילה בתנועה בקו ישר).

עבור תאוצה משקיית קבועה או ממוצעת:
a_theta = Delta v / Delta t
סכום הכוחות בכיוון המשק (ציר Y) יהיה:
Sigma F_theta = m a_theta
תאוצה זוויתית: קצב שינוי המהירות הזוויתית בזמן.

עבור תאוצה זוויתית קבועה או ממוצעת:
alpha = Delta omega / Delta t
(ביחידות של רדיאן לשנייה בריבוע).
הקשר בין התאוצה הזוויתית לתאוצה המשקיית (גם עבור תאוצה משתנה):
a_theta = alpha R
מהירות זוויתית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:
omega(t) = omega_0 + alpha * (t - t_0)
זווית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:
theta(t) = theta_0 + omega_0(t - t_0) + 1/2 alpha(t - t_0)^2

GOOL מתקף ותנע

המתקף שמפעיל כוח קבוע או ממוצע על גוף:
j = F * Delta t
התנגשות אלסטית: התנגשות שבה האנרגיה הקינטית נשמרת. נוסף למשוואת שימור התנע את משוואת שימור האנרגיה:
1/2 m_1 v_1^2 + 1/2 m_2 v_2^2 = 1/2 m_1 u_1^2 + 1/2 m_2 u_2^2
בהתנגשות אלסטית במימד אחד (מצחיית) בלבד, ניתן להחליף את משוואת שימור האנרגיה במשוואת הבאה:
v_1 - v_2 = -(u_1 - u_2)
התנגשות פלסטית: הגופים נעים יחד אחרי ההתנגשות. משוואת שימור התנע הופכת ל-
m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u

u - המהירות המשותפת לאחר ההתנגשות
רצף: הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות.
משוואת שימור התנע הופכת ל-
(m_1 + m_2) v = m_1 u_1 + m_2 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 להתנגשות אלסטית מתייחס להתנגשות רגילה שהיא לא פלסטית ואין בה שימור אנרגיה. להתנגשות שיש בה גם שימור אנרגיה קוראים להתנגשות אלסטית לחלוטין.
התנגשות אלסטית מצחיית (במימד אחד) בין מסות שוות
שאחד הגופים במנוחה: במקרה זה כל האנרגיה עוברת מהגוף הפוגע לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף שהיה במנוחה ינעו לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו הגוף הראשון.

GOOL תנועה מחזורית

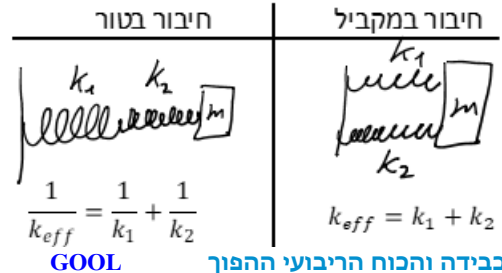
היא תנועה המורכבת מקטע תנועה מסוים החוזר על עצמו באופן מדויק כל מרווח זמן קבוע.
הגדרה: תנועה מחזורית היא תנועה שבה קיים T קבוע, עבורו מתקיים x(t) = x(t + T)
כאשר x(t) הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית.
תנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהוכחו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

דינמיקה - חוק II של ניוטון

חוק II של ניוטון:
Sigma F = m a
בגלל שהשוויון סטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר
נבנדר. כלומר:
Sigma F_y = m a_y, Sigma F_x = m a_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
התארכות ממצב הרפוי של הקפיץ (מסומן גם ב Delta l)
k - הוא קבוע הקפיץ ותלוי בחומר ממנו עשוי הקפיץ



GOOL כוח הכבידה בין שני גופים בעלי מסה

F = G * m_1 * m_2 / r^2
כאשר m_1 ו- m_2 הן שתי המסות ביניהם פועל הכוח.
r - הוא המרחק בין מרכזי הכובד של הגופים. מפה השם הכוח הריבועי ההפוך.
G - הוא קבוע הנקרא קבוע הכבידה העולמי (או קבוע הגרביטציה העולמי או קבוע ניוטון), ערכו נמדד בניסויים
והוא:
G = 6.67384 * 10^-11 m^3 / s^2 kg = 6.67384 * 10^-8 cm^3 / s^2 gr

GOOL עבודה ואנרגיה

העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:
W = F * Delta x = F Delta x cos alpha

כאשר alpha היא הזווית בין הכוח להעתק
כוח שפועל במאונך לתנועה (למהירות) אינו מבצע עבודה.
אם הגוף לא נע לעבודה אפס (לכן חיכוך סטטי אינו מבצע עבודה).

אנרגיה קינטית:
E_k = 1/2 m v^2
העבודה הכוללת (כולל הכוחות המשמרים) שווה לשינוי באנרגיה קינטית:
W_SF = Delta E_k
האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:
U_g = mgh
h זה הגובה של הגוף. ניתן לבחור גובה אפס שרורים.
העבודה שמבצע כוח הכובד שווה לשינוי באנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:
W_g = -Delta U_g
האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ):
U_el = 1/2 k (Delta x)^2
k הוא קבוע הקפיץ

Delta x היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב Delta l)
האנרגיה הכללית היא האנרגיה הקינטית של הגוף ועוד סך כל האנרגיות הפוטנציאליות:
E = E_k + U = 1/2 m v^2 + mgh + 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
theta - 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 הספק ממוצע:
P = W / Delta t
היחידה הסטנדרטית של הספק היא Watt (W) והיא שווה לגאול חלקי שנייה.
יחידת נוספת היא כוח סוס (Hp):
1 Hp = 746 Watt
נוסחה נוספת להספק:
P = F * v
בנוסחה יש מכפלה סקלרית של הכוח במהירות הגוף.

$$Q_P = nC_P \Delta T$$

n - מספר המולים של החומר.

C_P/C_V (גדולה) - קיבול חום בנפח/לחץ קבוע למוול

(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)

$$M_T = nm_{mol}$$

m_{mol} - מסה מולרית

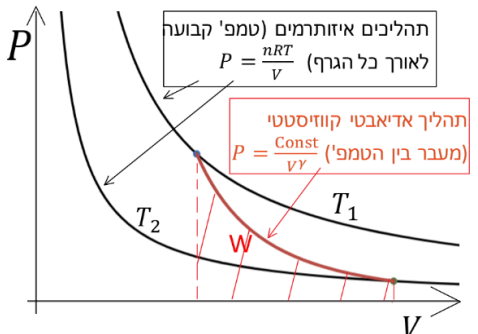
$$C_P - C_V = R$$

הפרש קיבולי החום תמיד קבוע:

- גז בתהליך אדיאבטי קוויזיסטטי (מאוד איטי) נעשה

$$P = \frac{Const}{V^\gamma}$$

אינטגרל ונציב



תהליכים איזותרמים (טמפ' קבועה)
לאורך כל הגרף $P = \frac{nRT}{V}$

תהליך אדיאבטי קוויזיסטטי
(מעבר בין הטמפ' $P = \frac{Const}{V^\gamma}$)

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 וקרניה

הולכה - מעבר אנרגיה על ידי התנגשויות בין המולקולות

$$\frac{dQ}{dt} = kA \frac{(T_1 - T_2)}{l}$$

קצב הולכת חום:

k - מוליכות תרמית - תלוי בסוג החומר

l - שטח חתך. A - אורך

$$R = \frac{l}{k}$$

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 עייי

$$\frac{dQ}{dt} = \epsilon \sigma A T^4$$

קרניה):

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

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:

$$\frac{dQ}{dt} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

T_1 - הטמפרטורה של הגוף הפולט.

T_2 - הטמפרטורה של הסביבה.

קרנית שמש:

הקבועה סולרי הוא $\frac{w}{m^2 \cdot s}$ 1350. האטמוספירה יכולה

לספוג עד 70% מהקרינה. ביום בהיר נעריך את הקבוע כ

1000 וכמות החום שגוף סופג מקרינת השמש:

$$\frac{dQ}{dt} = \left(1000 \frac{w}{m^2 \cdot s}\right) \epsilon A \cos \theta$$

θ - הזווית בין האנך למשטח של הגוף ובין קרני השמש.

גלים והתאבכות גלים

מהירות גל מחזורי: $v = \lambda f$

λ - אורך הגל. f - תדירות הגל.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

חוק השבירה:

θ - הזווית בין הקרן הפוגעת/ מוחזרת לאנך למשטח.

n - מקדם השבירה של כל תווך.

v - מהירות הגל בכל תווך.

$$\ell = n \frac{\lambda}{2}$$

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:

ℓ - אורך המיתר. n - מספר נקודות הקמר (מקסי/ מיני) קווי מקסימום ראשיים בהתאבכות משני מקורות (ויותר)

שווי-מופע: $\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$

θ_n - זווית הסטייה של האור המגיע לנקי המקסימום n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.

X_n - המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר n .

L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n

λ - אורך הגל. n - סדר קו המקסימום.

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

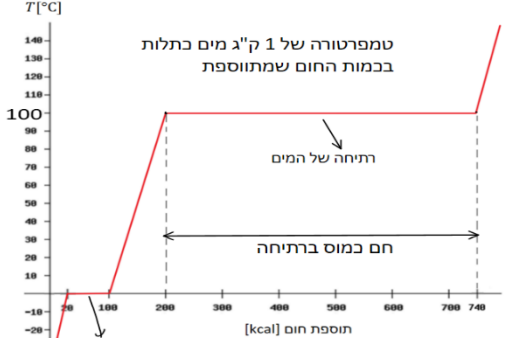
חומר	$c [J/(kg \cdot ^\circ C)]$	$c [cal/(g \cdot ^\circ C)]$
שיש	860	0.21
כספית	140	0.033
כסף	230	0.056
עץ	1700	0.40
קרח ($-5^\circ C$)	2100	0.50
מים נוזליים ($15^\circ C$)	4186	1.00
קיטור ($110^\circ C$)	2010	0.48
גוף האדם (ממוצע)	3470	0.83

חום כמוס: 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).



טמפרטורה של 1 ק"ג מים בתלות בכמות החום שמתווספת

התיחה של המים

חום כמוס בריחה

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

$Q - W$ חום. אם חום נכנס למערכת אז Q חיובי ואם חום

יוצא מהמערכת אז Q שלילי

W - עבודה שנעשת 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 קוויזיסטטי (מאוד איטי)

$$T = const \Rightarrow \Delta E_{int} = 0 \Rightarrow Q = W$$

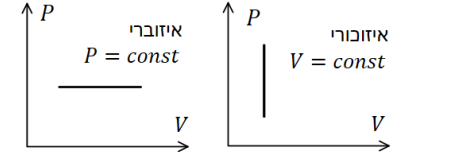
תהליך אדיאבטי (אין מעבר חום $Q = 0$)

מתרחש אם המערכת מבודדת מאוד או אם התהליך מהיר

ואז חום (שזורם לאט בדריי"כ) לא מספיק לעבור.

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta E_{int} = W$$

תהליך איזוברי (לחץ קבוע) ותהליך איזוכורי (נפח קבוע):



חישובי העבודה שנעשת 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

$$Q_V = nC_V \Delta T$$

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

לחץ שלילי (תת לחץ): הוא לחץ יחסי (נמדד ביחס ללחץ

אטמוספרי) ונמדד מהלחץ האטמוספרי.

לחץ אבסולוטי: הוא הלחץ שנמדד ביחס ללחץ אפס

מוחלט (כאשר הכוח הוא אפס).

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

מעבר מצלזיוס לקלווין:

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 התיחה)

Standard Temperature and Pressure - STP:

$$T = 0^\circ C = 273 K, P = 1 atm = 101,325 Pa$$

התאוריה הקינטית של הגזים

האנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולה בגז נמצאת

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

ביחס ישר לטמפרטורה:

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

התפלגות מקסוול-בולצמן למהירויות:

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

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) $1 kcal = 4.186 kJ$

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	$c [J/(kg \cdot ^\circ C)]$	$c [cal/(g \cdot ^\circ C)]$
אלומיניום	900	0.22
אלכוהול (אתיל) 2400	0.58	
נחושת	390	0.093
זכוכית	840	0.20
ברזל / פלדה	450	0.11
עופרת	130	0.031

d - המרחק בין החריצים.
 קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שוו-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
 ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.
 X_n - המרחק בין אמצע הלוח והמינימום מסדר n .
 L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למינימום מסדר n .
 d - אורך הגל. המרחק בין החריצים.

נוסחת יאנג:

$$\frac{\Delta X}{L} = \frac{\lambda}{d}$$
 ΔX - רוחב פס האור. L - מרחק האנך למסך מהחריצים.
 d - אורך הגל. המרחק בין החריצים.
 קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה:

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = nN \cdot \lambda$$
 θ_n - הזווית למקסימום מסדר n .
 d - המרחק בין שני חריצים צמודים. N - קבוע הסריג.

$$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w}$$
 קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד:
 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 השמע:

$$\frac{I_a}{I_0} = 10^{\left(\frac{\alpha}{10}\right)}$$
 כאשר I_a היא עוצמת הקול של α דציבל. I_0 - סף השמע של אדם.

ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים
 שונים α ו- β :

$$\frac{I_a}{I_b} = 10^{\left(\frac{\alpha-\beta}{10}\right)}$$
האנרגיה של גל קול:

$$E = I \cdot S \cdot t$$
 E - האנרגיה הכוללת של גל קול. I - העוצמה בדציבל.
 S - שטח החתך בו הגל פוגע.
 t - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

GOOL מבוא לאופטיקה

חוק סנל:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$
 כאשר n הם מקדמי השבירה של התווך ו- θ הן הזוויות בין הקרן שפוגעת/מוחזרת לבין האנך למשטח.

נוסחת העדשות:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$
 u - מרחק העצם מהעדשה. v - מרחק הדמות מהעדשה.
 f - מוקד העדשה.

הגדלה קווית:

$$m = \frac{H_i}{H_o} = \frac{|v|}{|u|}$$
 H_i - גובה הדמות. H_o - גובה העצם.

עוצמת העדשה:

$$C = \frac{1}{f}$$

האטום - התפתחות היסטורית ומודל בוהר

הנחות בוהר:

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}; E_{ph} = |E_f - E_i|$$
 m_e - מסת האלק' v_n - מהירות האלק' ברדיוס מסדר n .
 r_n - הרדיוס ה- n . $n = 1, 2, 3, \dots$ מספר חיובי שלם.
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ הוא קבוע פלאנק.
 E_{ph} - אנרגיית פוטון שנפלט/נבלע.
 E_i ו- E_f הן אנרגיות האלק לפני ואחרי התהליך.

רמות אנרגיה באטום מימן:

$$E_n = -\frac{R^*}{n^2} \quad (U_\infty = 0)$$
 קבוע רידברג:

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

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ - קבוע קולון.
 $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$ - קבוע הפרמטיביות של הריק.
רדיוסי המסלולים המותרים של האלקטרון באטום מימן:

$$r_n = r_1 n^2; r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} = 0.529 \text{ \AA}$$
 r_1 - רדיוס הבסיס של האלק'

GOOL האפקט הפוטואלקטרי

אנרגיה של פוטון:

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

ניתן לקבל את האנרגיה באלקטרון וולט על ידי הצבה של אורך הגל λ באנגסטרומ (\AA) או בננומטר (nm):

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

אפקט פוטואלקטרי:

$$E_{ph} = E_k + B$$
 E_k - האנרגיה הקינטית של אלק' הנפלט מהמתכת.
 B - פונקציית העבודה של המתכת.