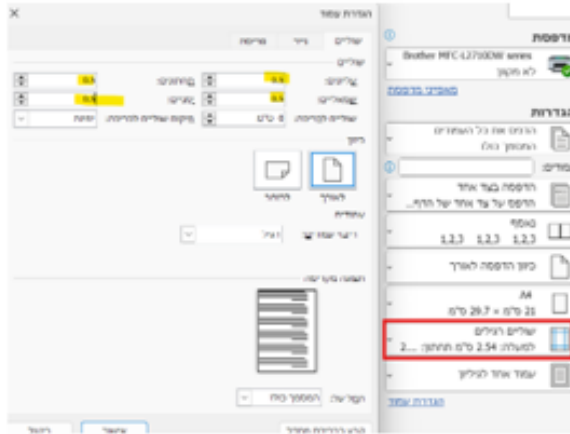


הוראות לדף הנוסחאות



הוראות הדפסה!

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

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

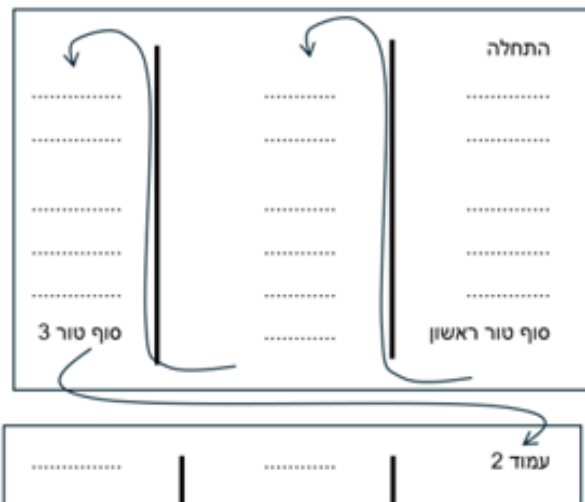
עריכה:

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

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

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

מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים.

ההתחלה היא בפינה הימנית העליונה.

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

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

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

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

פזיקה חופשית זריקה אנכית

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

y(t) = y_0 + v_0(t - t_0) + 1/2 a(t - t_0)^2

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

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

בנפילה חופשית הגוף מתחיל ממנוחה ולכן v_0 = 0

בדרי"כ נבחר לפתור באופן הבא:

- 1. כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז a = g (במשוואות הנ"ל).
 - 2. נבחר את הראשית בנקודת ההתחלה ואז y_0 = 0
- בזריקה אנכית: יש לגוף מהירות התחלתית כלפי מעלה או מטה. התנועה היא בתאוצה קבועה g כלפי מטה (כמו נפילה חופשית) ומשוואות התנועה זהות.
- עדיף לבחור את הכיוון החיובי כלפי מעלה ואז a = -g, המהירות ההתחלתית תהיה חיובית אם היא כלפי מעלה ושלילית אם היא כלפי מטה.
- מומלץ לבחור את הראשית בקרקע.

שיא גובה כאשר v(t) = 0 הצבה במשוואה נותנת בשיא גובה ש: v_0^2 = 2g y_0 ; t_גובה = v_0 / g

תנועה במישור - בליסטית

r = x i + y j = (x, y)

Δr = Δx i + Δy j = (Δx, Δy)

Δr / Δt = v_avg

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(θ) t ; v_x(t) = v_0 cos(θ)

y(t) = y_0 + v_0 sin(θ) t + 1/2 a_y t^2

v_y(t) = v_0 sin(θ) + a_y t

אם נבחר כיוון חיובי בציר Y כלפי מעלה אז a_y = -g

ניתכן תאוצה גם בציר ה-X לדוגמה במקרה של רוח אופקית ואז צריך לשנות את הנוסחאות בציר X לנוסחאות של תאוצה קבועה.

שיא גובה (v_y(t) = 0): t_גובה = v_0 sin(θ) / g

שיא גובה y_0 + (v_0 sin(θ))^2 / 2g

טווח (בהנחה שהזריקה מהקרקע): R = v_0^2 sin(2θ) / g

טווח מקסימלי בזווית 45 מעלות

משוואת המסלול: משוואה של y(x). על מנת למצא משוואת מסלול מבודדים t מהביטוי של x(t) ומציבים ב-y(t).

תנועה יחסית

נוסחה למיקום היחסי: r_1,2 = r_1 - r_2

r_1, r_2 הם וקטורי המיקומים של גוף 1 ו-2 ביחס למעבדה/קרקע. r_1,2 הוא המיקום של גוף 1 ביחס לגוף 2 (כלומר המיקום של גוף 1 ביחס לראשית צירים הנמצאת על גוף 2)

כ"ל לגבי המהירות היחסית והתאוצה היחסית:

r_1,2 = r_1 - r_2 ; 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 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 המופעלים.

ערך מקסימלי: f_s,max = μ_s N או f_s ≤ μ_s N

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



נוסחה נוספת המקשרת בין המהירות למיקום (ללא תלות בזמן) בתאוצה קבועה: v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)

גרפים: התאוצה היא השיפוע בגרף של המהירות כתלות בזמן. השטח מתחת לגרף של התאוצה כתלות בזמן שווה לשינוי המהירות. הגרף של המיקום כתלות בזמן בתאוצה קבועה הוא פרבולה. תאוצה חיובית פרבולה מחייכת, תאוצה שלילית פרבולה עצובה.

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

v(t) = dx/dt ; x(t) = ∫ v(t) dt

התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה:

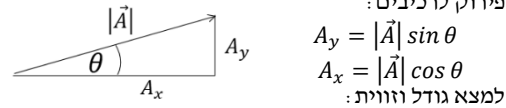
a(t) = dv/dt ; v(t) = ∫ a(t) dt

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

נגזרות של סינוס וקוסינוס:

(cos x)' = -sin x ; (sin x)' = cos x

וקטורים



למצא גודל וזווית: |A| = sqrt(A_x^2 + A_y^2) ; tan theta = A_y / A_x

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

תמיד ניתן להזיז וקטור במרחב כל עוד שומרים על האורך והכיוון שלו.

בצורה אלגברית נסכום את הרכיבים:

A + B = (A_x + B_x, A_y + B_y)

בצורה פולרית, נפרק לרכיבים ונסכום.

כפל/חלוקה בסקלר: בצורה אלגברית, נכפיל/נחלק כל רכיב בסקלר: B = alpha 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:

A · B = A_x · B_x + A_y · B_y + A_z · B_z = |A| |B| cos alpha

תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור) מכפלה סקלרית של וקטורים מאונכים מתאפסת.

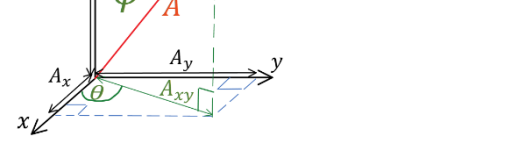
נוסחה למציאת זווית בין וקטורים:

cos alpha = (A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z) / (|A| |B|)

וקטור יחידה

וקטור בשלושה מימדים: 0 ≤ phi ≤ pi ; 0 ≤ theta ≤ 2pi

tan theta = A_y / A_x



sqrt(A_x^2 + A_y^2 + A_z^2) ; cos phi = A_z / |A| = A_z / sqrt(A_x^2 + A_y^2 + A_z^2)

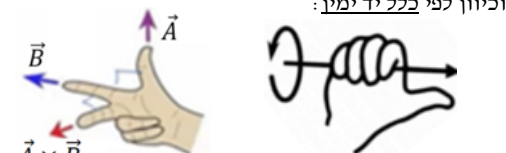
פירוק לרכיבים: A_xy = |A| sin phi ; A_z = |A| cos phi

A_x = |A| sin phi cos theta ; A_y = |A| sin phi sin theta

מכפלה וקטורית: דרך 1 לעשות את המכפלה עם דטרמיננטה:

A x B = | i j k ; A_x A_y A_z ; B_x B_y B_z |

דרך 2 לפי גודל וכיוון בנפרד: גודל המכפלה הוא: |A x B| = |A| |B| sin alpha ; וכיוון לפי כלל יד ימין:



שימו לב שאתם עם יד ימין!! בתמונה השמאלית, קודם לעשות אקדח ואחר"כ לפתוח את האמה!

פונקציות טריגונומטריות

ניצב שמואל: sin alpha = a/c ; יתר: cos alpha = b/c ; ניצב ליד: tan alpha = a/b ; יתר: cot alpha = b/a

ניצב שמואל: sin alpha = a/c ; יתר: cos alpha = b/c ; ניצב ליד: tan alpha = a/b ; יתר: cot alpha = b/a

ליד ניצב: 1/tan alpha = cot alpha ; ניצב שמואל: 1/cot alpha = tan alpha ; ניצב שמואל: a^2 + b^2 = c^2

sin(90° - α) = cos α ; cos(90° - α) = sin α	90° - α
tan(90° - α) = cot α ; cot(90° - α) = tan α	
sin(90° + α) = cos α ; cos(90° + α) = -sin α	90° + α
tan(90° + α) = -cot α ; cot(90° + α) = -tan α	
sin(180° - α) = sin α ; cos(180° - α) = -cos α	180°
tan(180° - α) = -tan α ; cot(180° - α) = -cot α	- α
sin(-α) = -sin α ; cos(-α) = cos α	-α
tan(-α) = -tan α ; cot(-α) = -cot α	
sin 2α = 2 sin α cos α	
cos 2α = cos^2 α - sin^2 α = 1 - 2 sin^2 α = 2 cos^2 α - 1	2α
sin(α ± β) = sin α cos β ± sin β cos α	
cos(α ± β) = cos α cos β ∓ sin α sin β	α ± β

משוואת הקו הישר

משוואת הקו הישר: y = mx + n

משוואת הקו הישר: m = dy/dx = tan alpha כאשר alpha היא הזווית של הישר עם ציר ה-x. n היא נקודת חיתוך עם ציר ה-y.

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

הפרבולה

משוואת הפרבולה: y = ax^2 + bx + c

a חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה.

קודקוד הפרבולה: x_קודקוד = -b/(2a)

נוסחת השורשים: x_1,2 = (-b ± sqrt(b^2 - 4ac)) / 2a

מבוא פיזיקלי

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

(a^b)^c = a^{bc} ; 1/a^b = a^{-b}

מעברים בין יחידות: קילו (k) זה 1000 ; ליטר = 1000 cm^3 ; קוב = 1000 m^3 = 1000 liter ; שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: 1 lightyear = 9.4608 · 10^15 m

צפיפות: צפיפות נפחית: rho = M/V ; צפיפות משטחית: sigma = M/S ; צפיפות אורכית: lambda = M/l

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

תנועה בקו ישר: 1 liter = 1000 cm^3 ; 1 km = 1000 m ; 1 kg = 1000 gr ; 1 mm = 1/1000 m ; 1 mg = 1/1000 gr

ליטר: 1 liter = 1000 cm^3 ; קוב: 1000 m^3 = 1000 liter ; שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: 1 lightyear = 9.4608 · 10^15 m

צפיפות: צפיפות נפחית: rho = M/V ; צפיפות משטחית: sigma = M/S ; צפיפות אורכית: lambda = M/l

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

תנועה בקו ישר: 1 liter = 1000 cm^3 ; 1 km = 1000 m ; 1 kg = 1000 gr ; 1 mm = 1/1000 m ; 1 mg = 1/1000 gr

ליטר: 1 liter = 1000 cm^3 ; קוב: 1000 m^3 = 1000 liter ; שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: 1 lightyear = 9.4608 · 10^15 m

צפיפות: צפיפות נפחית: rho = M/V ; צפיפות משטחית: sigma = M/S ; צפיפות אורכית: lambda = M/l

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

תנועה בקו ישר: 1 liter = 1000 cm^3 ; 1 km = 1000 m ; 1 kg = 1000 gr ; 1 mm = 1/1000 m ; 1 mg = 1/1000 gr

ליטר: 1 liter = 1000 cm^3 ; קוב: 1000 m^3 = 1000 liter ; שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: 1 lightyear = 9.4608 · 10^15 m

צפיפות: צפיפות נפחית: rho = M/V ; צפיפות משטחית: sigma = M/S ; צפיפות אורכית: lambda = M/l

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

תנועה בקו ישר: 1 liter = 1000 cm^3 ; 1 km = 1000 m ; 1 kg = 1000 gr ; 1 mm = 1/1000 m ; 1 mg = 1/1000 gr

ליטר: 1 liter = 1000 cm^3 ; קוב: 1000 m^3 = 1000 liter ; שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: 1 lightyear = 9.4608 · 10^15 m

צפיפות: צפיפות נפחית: rho = M/V ; צפיפות משטחית: sigma = M/S ; צפיפות אורכית: lambda = M/l

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

תנועה בקו ישר: 1 liter = 1000 cm^3 ; 1 km = 1000 m ; 1 kg = 1000 gr ; 1 mm = 1/1000 m ; 1 mg = 1/1000 gr

ליטר: 1 liter = 1000 cm^3 ; קוב: 1000 m^3 = 1000 liter ; שנת אור היא המרחק שהאור עושה בשנה: 1 lightyear = 9.4608 · 10^15 m

צפיפות: צפיפות נפחית: rho = M/V ; צפיפות משטחית: sigma = M/S ; צפיפות אורכית: lambda = M/l

V, S, l הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

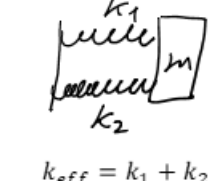
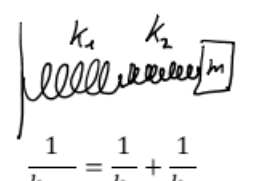
דינמיקה - חוק II של ניוטון

GOOL

חוק II של ניוטון:
 בגלל שהשוויון וקטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר
 בנפרד. כלומר: $\Sigma F_y = ma_y$, $\Sigma F_x = ma_x$
 - בבניות עם מספר גופים נעשה תרשים כוחות וחוק של כלל גוף בנפרד. אח"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של הגופים.

GOOL

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

עבודה ואנרגיה

העבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:

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

אנרגיה קינטית:

$E_k = \frac{1}{2}mv^2$

העבודה הכוללת (כולל הכוחות המשמרים) שווה לשינוי

באנרגיה קינטית:

$W_{\Sigma F} = \Delta E_k$

האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:

$U_g = mgh$

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

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 הכוללת 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.

האנרגיה הכוללת היא האנרגיה הקינטית על ידי הכוחות הלא משמרים

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.

הספק (P): העבודה שנעשית ביחידת זמן.

ההספק של כוח קבוע או הספק ממוצע:

$P = \frac{W}{\Delta t}$

היחידה הסטנדרטית של הספק היא Watt (W) והיא שווה

לגואל חלקי שניה.

יחידת נוספת היא כוח סוס (Hp):

$1 \text{ Hp} = 746 \text{ Watt}$

נוסחה נוספת להספק:

$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$

- בנוסחה יש מכפלה סקלרית של הכוח במהירות הגוף.

- הנוסחה נכונה גם להספק רגעי (ולא רק להספק ממוצע

או קבוע)

GOOL

תנועה מעגלית

תנועה מעגלית היא תנועה במעגל ברדיוס קבוע.

מיקום הגוף:

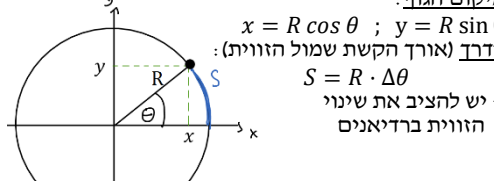
$x = R \cos \theta$; $y = R \sin \theta$

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 (נכון גם

למהירויות שאינן קבועות):

$|\vec{v}| = \omega R$

תאוצה רדיאלית (למרכז המעגל):

$a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$

סכום הכוחות למרכז המעגל:

$\Sigma F_r = m \left(\frac{v^2}{R} \right) = m(\omega^2 R)$

- בתרגילים, נבחר מערכת צירים כך שכיוון ציר X

למרכז המעגל וציר Y מאונך לו. בציר X נשתמש בנוסחה

של סכום הכוחות למרכז המעגל ובציר Y סכום הכוחות

שווה לאפס (בתנועה שבה גודל המהירות קבוע).

- אם גודל המהירות אינו קבוע (תנועה לא קבועה) אז

ישנה גם תאוצה משקיית. התאוצה המשקיית שווה לשינוי

גודל המהירות בזמן (בדיוק כמו תאוצה רגילה בתנועה בקו

ישר).

עבור תאוצה משקיית קבועה או ממוצעת:

$a_\theta = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

סכום הכוחות בכיוון המשק (ציר Y) יהיה: $\Sigma F_\theta = ma_\theta$

תאוצה זוויתית: קצב שינוי המהירות הזוויתית בזמן.

עבור תאוצה זוויתית קבועה או ממוצעת:

(ביחידות של רדיאן לשנייה בריבוע).

הקשר בין תאוצה זוויתית לתאוצה המשקיית (גם עבור

תאוצה משתנה):

$a_\theta = \alpha R$

מהירות זוויתית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:

$\omega(t) = \omega_0 + \alpha \cdot (t - t_0)$

זווית כתלות בזמן בתאוצה זוויתית קבועה:

$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t - t_0)^2$

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

רתע: הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות.

- משוואת שימור התנע הופכת ל-

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

- התנגשות פלסטית ורתע הן אף פעם לא התנגשויות

אלסטיות! כלומר לא יכול להתקיים שימור אנרגיה

בהתנגשויות האלו.

- שימו לב שקיימות התנגשויות שהן לא אלסטיות ולא

פלסטיות (סתם התנגשויות) בהן יש רק את משוואת שימור

התנע הרגילה.

- הערה: בספרים מסוימים השם התנגשות אלסטית

מתייחס להתנגשות רגילה שהיא לא פלסטית ואין בה

שימור אנרגיה. להתנגשות שיש בה גם שימור אנרגיה

קוראים התנגשות אלסטית **לחלוטין**.

התנגשות אלסטית מצחית (במימד אחד) בין מסות שוות

שאחד הגופים במנוחה: במקרה זה כל האנרגיה עוברת

מהגוף הפוגע 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 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

מומנט התמד

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל הנקודות על

הגוף (ניתן לחשב את המכפלה באמצעות דטרמיננטה או

באמצעות גודל וכיוון)

(אך לא באותה מהירות קווית)

מומנט התמד של מערכת גופים נקודתיים: $I = \Sigma m_i r_i^2$

משפט שטיינר: $I' = I_{c.m.} + md^2$

כאשר d הוא המרחק בין הצירים ו m היא המסה הכוללת

של הגוף. **הערה:** משפט שטיינר פועל רק לצירים

מקבילים, ורק כאשר אחד הצירים עובר במרכז המסה.

אדטיביביות: ניתן לסכום את המומנט התמד של כל חלק

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

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

$I_{c.m.} = \frac{1}{12}mL^2$

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

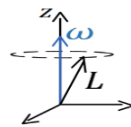
תנ"ז של תנועה משולבת, מערכת גופים שמסתובבים סביב

מרכז מסה שנוע:

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 המ

פרצטיה (נקיפה):



לתנע הזוויתי יש רכיב במישור xy שמסתובב סביב ציר z . נגזרת בזמן של הרכיב הזה נותנת לנו את מומנט הכוח שפועל על המערכת.

גוף קשיח

אם גוף קשיח מסתובב סביב ציר סיבוב כל נקודות על הגוף מבצעות תנועה מעגלית באותה מהירות הזוויתית (אך לא באותה מהירות קווית)

$$\vec{p} = M\vec{v}_{c.m.}$$

תנע קווי של גוף קשיח:

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:

$$E_k = \frac{1}{2}mv_{c.m.}^2 + \frac{1}{2}I_{c.m.}\omega^2$$

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

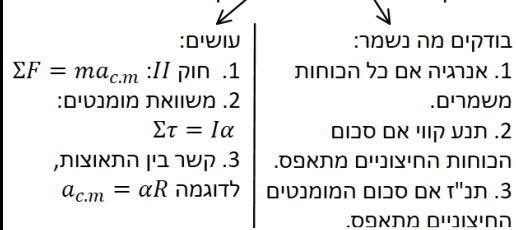
לגולל ללא החלקה: מהירות הנקודה שנוגעת במשטח

$$v_{c.m.} = \omega R; a_{c.m.} = \alpha R$$

מתאפסת (ביחס למשטח) - $\leftarrow$

בגל"ה החיכוך הוא סטטי ולכן אין איבוד אנרגיה.

איך נגשים לשאלות?



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

$$\vec{x}(t) = \vec{x}(t + T)$$

עבורו מתקיים $\vec{x}(t)$ לכל $\vec{x}(t)$ כאשר T הוא זמן המחזור. שימו לב, כל תנועה הרמונית היא תנועה מחזורית אבל לא כל תנועה מחזורית היא הרמונית.

בתנועה הרמונית יש תנאים נוספים שהכוח ביחס ישר למיקום.

תנועה 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 מקסימלית)

A אמפליטודת התנועה, מרחק מקסימאלי משיווי משקל.

omega תדירות זוויתית. phi פאזה.

המהירות בתנועה הרמונית:

$$v(t) = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$$

התאוצה בתנועה הרמונית:

$$a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi)$$

קשר בין התדירות הזוויתית (אומגה) לתדירות זמן המחזור:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

עבור מסה המחוברת לקפיץ:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

כאשר k הוא קבוע הקפיץ ו- m היא מסת הגוף.

הפאזה:

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

בדרי"כ נמצא את 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:

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

כבידה

$$\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

החוק השלישי של קפלר:

$\vec{r}$ - רדיוס הקפה ממוצע של כל גרם שמיים.

T - זמן המחזור של כל גרם שמיים.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

גודל כוח הכבידה בין שני גופים:

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11}$$

m - מסות הגופים. r - המרחק בין מרכזי הגופים.

אנרגיה פוטנציאלית כובדית:

$$U_G = -\frac{GMm}{r} \quad (U_{G(r \rightarrow \infty)} = 0)$$

M - מסת הגוף המשפיע. m - מסת הגוף המושפע.

r - מרחק בין הגופים.

אנרגיה של לוויין במסלול מעגלי:

$$E_k = \frac{GMm}{2r} = -\frac{U_G}{2}$$

קינטית:

$$E = -\frac{GMm}{2r}$$

מבנה החומר

גודל אטום המימן (הקטן ביותר):

$$1\text{\AA} = 10^{-10}m$$

יחידת האנגסטרם:

פרוטונים מסמנים ב- p נייטרונים ב- n ואלקטרונים ב- e

$$m_n \approx m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}kg$$

מסת הפרוטון והנייטרון:

$$m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}kg$$

מסת האלקטרון:

מסת האלק' קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והנייטרונים קובעים את מסת האטום.

$$q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}C$$

מטען האלקטרון:

$$q_p = 1.6 \cdot 10^{-19}C$$

מטען הפרוטון זהה והפוך בסימנו:

הנייטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.

המטען החשמלי של כל גוף יהיה חיובי להיות כפולה שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

הכוח החשמלי - חוק קולון

$$F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$$

חוק קולון:

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 הטעונים 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.

השדה החשמלי

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי:

$$F = qE$$

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

הקבוע הדיאלקטרי של הריק:

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

ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ϵ_0 .

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

הוא כמו של מטען נקודתי:

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

הוא כמו של מטען נקודתי:

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

הוא כמו של מטען נקודתי:

$$E = \frac{kQ}{r^2}$$

הוא כמו של מטען נקודתי:

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:

$$E = 2\pi k\sigma$$

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

$$E = 4\pi k\sigma$$

הוא $4\pi k\sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

$$E = 0$$

תנועה בשדה חשמלי אחיד

אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה בליסטית. גודל התאוצה הוא:

$$a = \frac{qE}{m}$$

כיוון התאוצה בכיוון השדה עבור מטען חיובי וחפוף לשדה עבור מטען שלילי

מוליכים

במוליך המטענים חופשיים לזוז.

השדה מתאפס (או ליתר דיוק הכוח) בתוך המוליך.

על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.

השפה הכוללת בתוך המוליך מתאפסת למעט על השפה (במצב סטטי).

הפוטנציאל במוליך אחיד (קבוע).

הארכה: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.

חומרים דיאלקטריים

חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטריים מוליכים).

בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי דיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.

השדה השקול בתוך החומר (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה):

$$\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$$

$\vec{E}_T$ - השדה השקול בתוך החומר, זה השדה שמרגיש מטען בתוך החומר. $\vec{E}_0$ - שדה שנוצר מהמטען חיצוני (ולא מהדיפולים של החומר). ϵ_r - מקדם דיאלקטרי יחסי, קבוע חסר יחידות שתלוי בסוג החומר וקיים בטבלאות.

לפעמים נתון **המקדם הדיאלקטרי** (הלא יחסי) והקשר הוא:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ הוא המקדם הדיאלקטרי של הריק

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

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

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

v_f / v_i - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.

U_f / U_i - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.

אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):

$$U = \frac{kq_1q_2}{r}$$

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

$W_{\text{חשמלי}} = -\Delta U$ כוח חשמלי

העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא מינוס):

$$\Delta U = -W_{\text{חשמלי}} = W_{\text{מטען}}$$

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 במרחק

r - המרחק מהמטען.

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

סופרפוזיציה: על מנת לחשב את הפוטנציאל בנקודה במרחב ניתן לחבר את הפוטנציאל שיוצר כל מטען באותה נקודה. חיבור 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 עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט. $1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$

הפרש הפוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:

$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$

פוטנציאל של לוח אינסופי (כאשר בוחרים פוטנציאל אפס על הלוח):

$$U(x) = -2\pi k \sigma x$$

σ - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.

x - המרחק מהלוח.

הפוטנציאל במוליכים קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס)

הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:

Q - סך המטען של הכדור

R - רדיוס הכדור

r - המרחק ממרכז הכדור

שימו לב הפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).

הפוטנציאל של כדור כדור"א הוא כדור מוליך מאוד גדול, $R = \infty$ ולכן הפוטנציאל אפס.

$V(r) = \begin{cases} \frac{kQ}{R}, & r \leq R \\ \frac{kQ}{r}, & r \geq R \end{cases}$

חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוואת הפוטנציאלים)

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

חיבור אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה (העבודה הדרושה לבניית המערכת):

דרג 1: נסכים 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: נסכים את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

$$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}}$$

זרם מתח והתנגדות

זרם 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.

היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר $1A = 1C/sec$

בגרף של $I(t)$ סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.

בגרף של $q(t)$ שיפוע הגרף שווה לזרם. **אם הגרף לינארי**

ניתן לרשום: $q(t) = I \cdot \Delta t + q_0$

מהירות סחיפה: $I = n_e A q_e v_d$

n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.

A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.

v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלק' במוליך)

מהירות האות החשמלי היא המהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, המהירות שבה תידלק נורה כתוצאה מהדלקה של מתג).

מהירות האות החשמלי היא מהירות האור והיא גדולה בהרבה ממהירות הסחיפה.

מקור מתח מבצע עבודה במעגל חשמלי סגור וגורם לתנועה של המטענים(זרם). **המקור אינו מוסיף מטענים** למעגל.

חוק אוהם: $V = IR$

V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב.

נגד: מוליך שההתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.

תלות ההתנגדות במבנה הנגד: $R = \frac{l}{A} \cdot \rho$

l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).

A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.

ρ - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.

ההתנגדות של נגד משתנה:

כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)

$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$

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)

ולא הזרם: $V_{\text{הדקים}} = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$

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: $P = IV = I^2 R = \frac{\epsilon^2 R}{R_T + r}$

השווין הראשון נכון לכל רכיב חשמלי והשניים האחרונים (עם R) נכונים רק לנגד.

חיבור נגדים במעגל

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא

הצד שבו הזרם נכנס לנגד.

חיבור נגדים בטור:

חיבור בטור נעשה כאשר הזרם בנגדים זהה

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים

$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$

חיבור נגדים 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 במעגל

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא

הצד שבו הזרם נכנס לנגד.

חיבור נגדים בטור:

חיבור בטור נעשה כאשר הזרם בנגדים זהה

לאחר שעבר זמן רב הקבל מתנהג כמו נטק במעגל: כאשר מחברים קבל למקור הוא מתחיל לאגור מטען, תהליך זה נקרא טעינה. התהליך נפסק כאשר המתח בקבל שווה והפוך למתח המופעל עליו, ברגע זה כבר לא זורם זרם דרך הקבל. והקבל מתנהג כמו נטק במעגל.

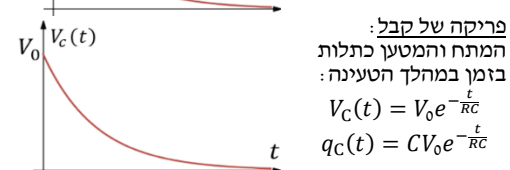
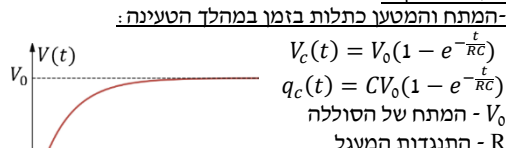
חיבור קבלים במקביל:
 $C_T = C_1 + C_2$
 התנאי לחיבור במקביל הוא שהמתח על הקבלים זהה (וזה גם המתח על הקבל השקול)
 - המטען על הקבל השקול שווה לסכום המטענים על כל הקבלים.

חיבור קבלים בטור:
 $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
 התנאי לחיבור בטור הוא שהמטען על כל הקבלים זהה (וזה גם המטען של הקבל השקול).
 - המתח על הקבל השקול שווה לסכום המתחים של כל הקבלים.

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

חומרים דיאלקטריים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.

קיבול של קבל המלא בחומר דיאלקטרי אחיד: $C' = \epsilon_r C_0$
 - במידה והקבל אינו מלא בחומר אחיד, ניתן לפצל אותו לקבלים חלקיים, לחשב את הקיבול של כל אחד ולחבר חזר לפי החוקים של חיבור קבלים בטור או במקביל.
 טעינה של קבל:



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

הכוח המגנטי - חוק לורנץ

חוק לורנץ - הכוח המגנטי:
 $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$
 ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.
 - דרך דטרמיננטה (או מכפלה וקטורית בוקטורים).
 - דרך גודל וכיוון: $F_B = qvB \sin \alpha$ הגודל הוא: α היא הזווית בין המהירות לשדה. וכיוון לפי כלל יד ימין:

שימו לב שאתם עם **יד ימין**!
 כיוון הכוח הוא עבור מטען **חיובי** (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).
 - לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדף לעשות קודם אקדה).
 תנועה בשדה אחיד: מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:

$R = \frac{mv}{qB}$
 אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:

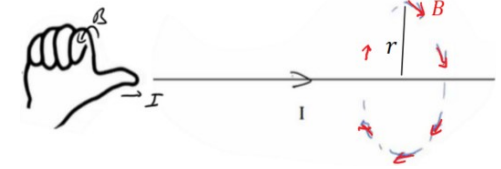
$R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$
 α היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.
עבודת הכוח המגנטי: תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

השדה המגנטי

סימון וקטור לתוך הדף $\otimes$ והחוצה מהדף $\odot$
שדה של תיל אינסופי:
 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
 כאשר r הוא המרחק מהתיל.

השדה המגנטי
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$
 מקדם המגנטיות של הריק.

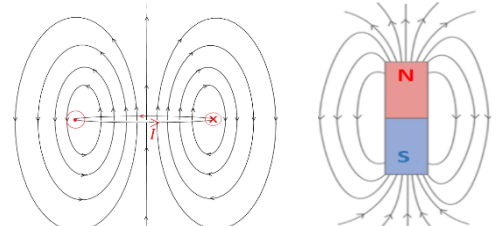
כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):



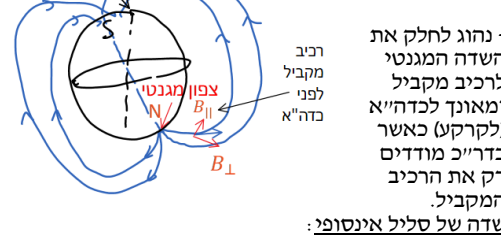
היחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה).
שדה במרכז של טבעת ברדיוס R:
 $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$



קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):

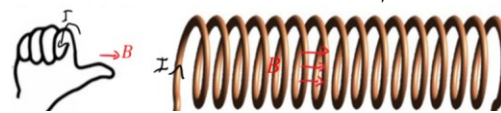


השדה המגנטי של כדור הארץ:
 - הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.
 - נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל לכדה"א (לכרקה) וכך כדור הארץ נראה כדיפול מגנטי.



שדה של סליל אינסופי:
 בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל:

$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$
 N - מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.
 - ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל: $n = \frac{N}{L}$
 - כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.



מחוץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.

חוק אמפר - המשך השדה המגנטי

חוק אמפר:
 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{in}$
 הוא סכום לאורך מסלול סגור על הרכיב המקביל למסלול של השדה המגנטי. בדרכי עבוד במקרים סימטריים בהם הרכיב המקביל יהיה אחיד לאורך קטעים מהמסלול והחישוב יהיה פשוט לכפול את השדה באורך הקטעים.

1. תיל/גליל אינסופי (עם זרם בכיוון ציר הסימטריה). נבחר לולאה בצורת עיגול ברדיוס r ו- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2\pi r$
2. סליל/גליל (עם זרם מעגלי) נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot l$
3. מישור אינסופי נבחר לולאה בצורת ריבוע בעל צלע l ו- $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot 2l$

חוק על תיל נושא זרם ובין שני תילים

גודל הכוח הפועל על **תיל ישר בשדה אחיד** באורך L הנושא זרם I הוא:

$F = BIL \sin \alpha$
 α היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם.

את כיוון הכוח יש למצוא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה-dl) מחליף את המהירות.

הכוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:
 $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$
 d - המרחק בין התילים.
 כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים.

חוק פאראדי והשראות

חוק פאראדי והשראות
 $\epsilon = BLv \sin \alpha$
 כ"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי:

כאשר v היא מהירות המוט, L האורך שלו ו- α היא הזווית בין המהירות לשדה.
 כיוון הכ"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

חוק פאראדי:
 $\epsilon = - \frac{d\phi_B}{dt}$
 $\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = B_{\perp} \cdot S$

השוויון השני נכון אם $B_{\perp}$ אחיד בכל השטח. הכאמ מתנהג כמו מקור מתח במעגל.
 בד"כ נמצא באמצעות החוק רק את גודל הכאמ ואת הכיוון נמצא לפי חוק לנץ.
חוק לנץ: הזרם נוצר בניגוד לשינוי בשטף.



הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:
 $P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$
 כאשר v היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות

גלים והתאבכות גלים

מהירות גל מחזורי:
 $v = \lambda f$
 λ - אורך הגל. f - תדירות הגל.

חוק השבירה:
 $\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$
 θ - הזווית בין הקרן הפוגעת/מוחזרת לאנך למשטח.
 n - מקדם השבירה של כל תווך.
 v - מהירות הגל בכל תווך.

גל עומד במיתר שקצותיו קשורים:
 $\ell = n \frac{\lambda}{2}$
 ℓ - אורך המיתר. n - מספר נקודות הקמר (מקס/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 לנק' המקסימום n ביחס לכיוון המאונך למישור החריצים.
 X_n - המרחק בין אמצע הלוח והמקסימום מסדר n.
 L_n - המרחק בין המרכז של החריצים למקסימום מסדר n.
 n - סדר קו המקסימום. λ - אורך הגל.
 d - המרחק בין החריצים.

קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-מופע:
 $\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = (n - \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{d}$
 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.
 n - אורך הגל. 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:

$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = n N \cdot \lambda$
 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 השמיע:
 כאשר I_a היא עוצמת הקול של α דציבל. I_0 סף השמיע של אדם.
 - ניתן לרשום גם את היחס בין העוצמות של שני דציבלים שונים α ו-β:

$\frac{I_a}{I_b} = 10^{\frac{\alpha - \beta}{10}}$
האנרגיה של גל קול:
 $E = I \cdot S \cdot t$
 E - האנרגיה הכוללת של גל הקול. I - העוצמה בדציבל.
 S - שטח החתך בו הגל פוגע.
 t - משך הזמן שהקול פוגע בשטח החתך.

האפקט הפוטואלקטרי

אנרגיה של פוטון:
 $E_{ph} = hf$

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

$E_{ph} = E_k + B$ אפקט פוטואלקטרי:

B – פונקציית העבודה של המתכת.

m_e – מסת האלק', v_n – מהירות האלק' ברדיוס מסדר n .

$$E_{ph} - \text{אנרגיית פוטון שנפלט/נבלע.}$$
$$E_n = -\frac{R^*}{n^2} \quad (U_\infty = 0) \quad \text{רמות אנרגיה באטום מימן:}$$
$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{c^2} - \text{קבוע קולון}.$$

רדיוסי המסלולים המותרים של האלקטרון באטום מימן:

$$r_1 - \text{רדיוס הבסיס של האלק'}$$