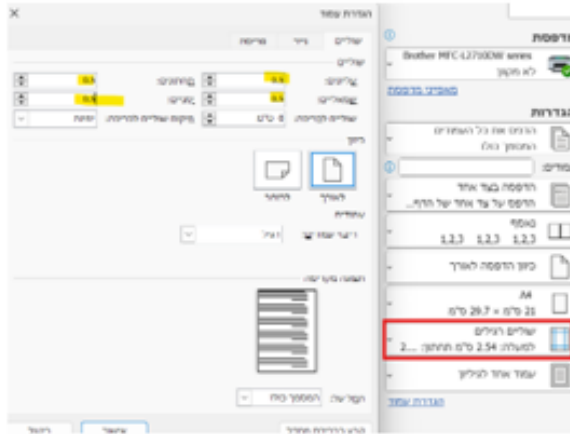


הוראות לדף הנוסחאות



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

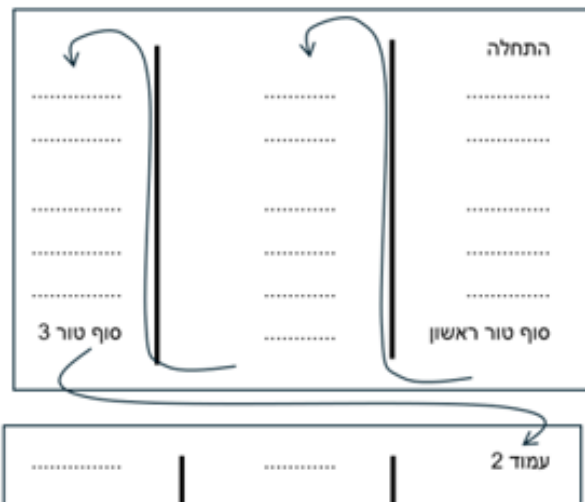
עריכה:

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.

פזיקה חופשית חזיקה אנכית

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

y(t) = y_0 + v_0(t - t_0) + 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
- בוריקה 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 * t_0

תנועה יחסית

נוסחה למיקום היחסי: 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)
כ"ל לגבי המהירות היחסית והתאוצה היחסית:

v_{1,2} = v_1 - v_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 תחום כוחות.

חיבור סטטי: פועל כאשר הגוף במנוחה (ביחס למשטח המגע).

כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.

גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.

עבר מקסימלי: f_s \le \mu_s N או f_{s,max} = \mu_s N

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

גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים)

כיוונו לטווח (לכיוון שווה ל: mg \cos(\theta))

המישור המשווה: כיוונו עם מישור משופע

מומלץ לבחור מערכת צירים כך שציר X מקביל למישור וציר Y מאונך.

הרכיב של mg במקביל למישור יהיה mg \sin(\theta)

ובמאונך למישור mg \cos(\theta), שימו לב לסימנים בהתאם לכיוון הצירים.

דינמיקה - חוק II של ניוטון

\vec{F} = m\vec{a}

חוק II של ניוטון: בגלל שהשוויון וקטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר

בנפרד. כלומר: \Sigma F_y = ma_y, \Sigma F_x = ma_x

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

קפיצים

חוק הוק - הכוח שמפעיל קפיץ: F = -k\Delta x

\Delta x - התארכות ממצב הרפוי של הקפיץ (מסומן גם ב \Delta l)

k - הוא קבוע הקפיץ ותלוי בחומר ממנו עשוי הקפיץ

חיבור במקביל: k_{eff} = k_1 + k_2

חיבור בטור: 1/k_{eff} = 1/k_1 + 1/k_2

כבידה והכוח הריבועי ההפוך

F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}

כוח הכבידה בין שני גופים בעלי מסה: 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.

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} ; x(t) = \int v(t)dt

התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה:

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

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

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

וקטורים

פירוק לרכיבים: A_y = |\vec{A}| \sin \theta

A_x = |\vec{A}| \cos \theta

למצא גודל וזווית: |\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} ; \tan \theta = \frac{A_y}{A_x}

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

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

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

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

בצורה פולרית, נכפיל/נחלק את הגודל בסקלר (הכיוון לא משתנה אלא אם הסקלר שלילי ואז הכיוון מתהפך)

מכפלה סקלרית בין שני וקטורים: \vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y + A_z \cdot B_z = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha

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

נוסחה למציאת זווית בין וקטורים: \cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|\vec{A}| |\vec{B}|}

וקטור יחידה: וקטור בשלושה מימדים: 0 \le \varphi \le \pi ; 0 \le \theta \le 2\pi ; \tan \theta = \frac{A_y}{A_x}

וקטור בשלושה מימדים: \vec{A} = \frac{\vec{A}}{|\vec{A}|}

וקטור בשלושה מימדים: \vec{A} = (A_x, A_y, A_z)

וקטור בשלושה מימדים: \cos \varphi = \frac{A_z}{|\vec{A}|} = \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}}

וקטור בשלושה מימדים: A_{xy} = |\vec{A}| \sin \varphi ; A_z = |\vec{A}| \cos \varphi

וקטור בשלושה מימדים: A_x = |\vec{A}| \sin \varphi \cos \theta ; A_y = |\vec{A}| \sin \varphi \sin \theta

מכפלה וקטורית: דרך 1 לעשות את המכפלה עם דטרמיננטה:

\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}

דרך 2 לפי גודל וכיוון בנפרד: גודל המכפלה הוא: |\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \alpha

וכיוון לפי כלל יד ימין:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

פונקציות טריגונומטריות

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

ניצב ליד: \tan \alpha = \frac{a}{b}

יתר: \cot \alpha = \frac{b}{a}

ניצב שמוח: \sin \alpha = \frac{a}{c}

יתר: \cos \alpha = \frac{b}{c}

G – הוא קבוע הנקרא **קבוע הכבידה העולמי** (או קבוע הגריטציה העולמי או קבוע ניוטון), ערכו נמדד בניסויים והוא: $G = 6.67384 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{s^2 kg} = 6.67384 \cdot 10^{-8} \frac{cm^3}{s^2 gr}$

כוח ציפה: פועל על גוף בנוזל. כיוונו הפוך לכוח הכובד.

$F_b = \rho_l Vg$

כאשר ρ_l היא צפיפות הנוזל ו- V הוא נפח הגוף.

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:

$W_{SF} = \Delta E_k$

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.

W_{NC} היא העבודה שנעשתה על ידי הכוחות הלא משמרים בתהליך שבין נקודת ההתחלה לסוף.

נוסחה לשינוי גובה של מטוטלת:

$h = l(1 - \cos \theta)$

h – הגובה מהתחתית

l – אורך החוט

θ – זווית ביחס לאנך מהתקרה.

חוס (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)

$Q = -W_{fk}$

- 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 הספק היא Watt (W) והיא שווה לאנרגיה 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)

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 אלו.

- 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.

תנועה מעגלית

תנועה מעגלית היא תנועה במעגל ברדיוס קבוע.

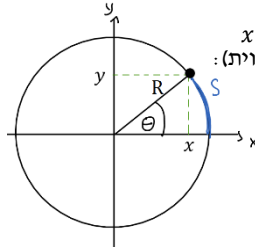
מיקום הגוף:

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

הדרך (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 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 לציר Y מאונך לו. בצייר X נשתמש בנוסחה של סכום הכוחות למרכז המעגל ובציר Y נשתמש בנוסחה 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:**

(ביחידות של רדיאן לשנייה בריבוע).

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

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:

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

תנועה מחזורית

תנועה מחזורית: היא תנועה מעגלית בקטע 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 שינוי המשקל. נקודת שינוי המשקל היא הנקודה שבה סכום הכוחות שווה לאפס (התאוצה גם שווה לאפס והמהירות מקסימלית).

- 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:

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

בדרכי נמצא את φ ו- ω מתנאי התחלה:

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

מהירות ותאוצה מקסימליות:

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

תוספת של כוח קבוע למערכת: משנה רק את נקודת שינוי המשקל (ולא את התדירות). במקרה כזה נקודת שינוי 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 שינוי 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:

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

גלים והתאבכות גלים

מהירות גל מחזורי:

$v = \lambda f$

λ – אורך הגל. f – תדירות הגל.

חוק השבירה:

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

θ – הזוויות 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 מישורים (ויותר)

$\sin \theta_n = \frac{x_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{d}$

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 .

d – סדר קווי המקסימום. λ – אורך הגל.

d – המרחק בין החריצים.

קווי מינימום בהתאבכות משני מקורות שווי-מופע:

$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = \left(n - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$

θ_n – זווית הסטייה של האור המגיע לנק' המינימום n 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 – המרחק בין החריצים.

נוסחת יאנג:

$\frac{\Delta X}{L} = \frac{\lambda}{d}$

ΔX – רוחב פס האור. L – מרחק האנך למסך מהחריצים.

λ – אורך הגל. d – המרחק בין החריצים.

קווי מקסימום בהתאבכות בסריג עקיפה:

$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{d} = n \cdot \lambda$

θ_n – הזווית למקסימום מסדר n .

d – המרחק בין שני חריצים צמודים. N – קבוע הסריג.

קווי צומת בעקיפה בסדר יחיד:

$\sin \theta_n = \frac{X_n}{L_n} = n \frac{\lambda}{w}$

θ_n – הזווית למינימום מסדר n .

X_n – מרחק מרכז המינימום מסדר n למרכז המקסימום המרכזי.

L_n – המרחק בין החריץ למינימום מסדר n .

w – רוחב החריץ.

מבוא לאופטיקה

חוק סנל:

$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

כאשר n הם מקדמי השבירה של התווך ו- θ 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:

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

מבנה החומר

גודל אטום המימן (הקטן ביותר):

$0.53 \cdot 10^{-10} m$

יחידת האנגסטרם:

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

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

מסת הפרוטון והנייטרון:

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

מסת האלקטרון:

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

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

מטען האלקטרון:

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

מטען הפרוטון זהה והפוך בסימנו:

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

הנייטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.

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

הכוח החשמלי - חוק קולון

חוק קולון: $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$

r - הוא המרחק בין הגופים
- קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$
- הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה אם הסימן הפוך.
- הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים הטעונים בצורה אחידה. משפט 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 E : $F = qE$
השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב: $E = \frac{kq}{r^2}$
 r - הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה. עקרון הסופרפוזיציה: השדה השקול בנקודה במרחב הוא סכום וקטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים באותה נקודה.
קווי שדה: מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות הקווים.

חוק גאוס

צפיפות מטען נפחית ρ , משטחית σ , אורכית λ , אחידה: $\rho = \frac{Q}{V}, \sigma = \frac{Q}{S}, \lambda = \frac{Q}{L}$
 Q - סך המטען שבגוף. V - נפח הגוף. S - שטח. L - אורך.
הקבוע דיאלקטרי של הריק: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$
ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k או עם ϵ_0 .
השטף דרך משטח בשדה אחיד: $\phi_E = E_{\perp} \cdot s$
 $E_{\perp}$ רכיב השדה שמאונך למשטח. s הוא שטח המעטפת. אם השדה לא אחיד על המשטח ניתן לחלק את המשטח לחתיכות שבהן השדה אחיד ולסכום את השטף דרך כל חתיכה.
חוק גאוס: $\phi_E = 4\pi k Q_{in}$
 ϕ_E - שטף דרך משטח סגור.
 Q_{in} - סך המטען הכלוא בנפח שסוגר המשטח.

השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה הוא כמו של מטען נקודתי: $E = \frac{kQ}{r^2}$
- כאשר Q הוא סך כל המטען. r הוא המרחק ממרכז הקליפה/כדור.
- כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נקי) בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור מוליך הוא אפס.
שדה של כדור מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות אחידה: בכיוון רדיאלי

Q הוא סך המטען של הכדור $E = \begin{cases} \frac{kQr}{R^3}, & r < R \\ \frac{kQ}{r^2}, & r > R \end{cases}$
 r הוא המרחק ממרכז הכדור

- הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא: $Q = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$
שדה של תיל אינסופי (אחיד): $E(r) = \frac{2k\lambda}{r}$
 r - מרחק מהתיל. λ - צפיפות מטען ליחידת אורך של התיל
- כיוון השדה רדיאלי (במאונך לתיל וכלפי חוץ/פנים עבור מטען חיובי/שלילי).
- שדה של קליפה גלילית מתאפס בתוך הקליפה וכמו של תיל מחוץ לקליפה.
שדה של גליל מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות נפחית אחידה ρ : (בכיוון רדיאלי)

$E = \begin{cases} \frac{\pi k \rho r}{R}, & r < R \\ \frac{2\pi k R^2 \rho}{r}, & r > R \end{cases}$

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 הוא $4\pi k \sigma$ בין המישורים ואפס מחוץ
 $E = 0$ $E = 4\pi k \sigma$ $E = 0$

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 והפוך לשדה עבור מטען שלילי

מוליכים

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

חומרים דיאלקטרים

- חומר דיאלקטרי הוא חומר מבודד (בפשטות, במקרים יותר מורכבים אפשר לדבר גם על חומרים דיאלקטרים מוליכים)
- בחומר דיאלקטרי יש דיפולים, כאשר החומר נמצא בשדה חשמלי הדיפולים מתיישרים בכיוון השדה ויוצרים שדה נגדי.
השדה השקול בתוך החומר (בהנחה שהחומר אחיד ובעל סימטריה): $\vec{E}_T = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$

$\vec{E}_T$ - 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: $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
הוא: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$

מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי

הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען העו 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 העו בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר): $U = \frac{kq_1q_2}{r}$
- שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!
העבודה שמבצע הכוח החשמלי שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנע): $\Delta U = -W_{\text{חשמלי}}$

העבודה הדרושה להזיז מטען היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ולא מינוס): $\Delta U = W_{\text{חשמלי}} - W$
פוטנציאל הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל היא פונקציה מתמטית שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.
האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל הוא V : $U = qV$
פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב: $V = \frac{kq}{r}$
 r - המרחק מהמטען.

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. החיבור הוא סקלרי ויותר פשוט מחיבור שדות. מתח: הפרש פוטנציאלים, מסומן ב ΔV אבל לפעמים מסומן גם ב V לבד כמו הפוטנציאל, כי פוטנציאל בנקודה הוא גם מתח (הפרש פוטנציאלים) מהאפס.
יחידת האלקטרון וולט [eV]: יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט. $1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$
הפרש הפוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:

$\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$
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.
פוטנציאל במוליכים קבוע (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס)
הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:

Q - סך המטען של הכדור
 R - רדיוס הכדור
 r - המרחק ממרכז הכדור
שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).
פוטנציאל של כדה"א: כדה"א הוא כדור מוליך מאוד גדול, $R = \infty$ ולכן הפוטנציאל אפס.
חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך: מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוואת הפוטנציאלים)
הארכה: חיבור מוליך לכדה"א, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדה"א).

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

- דרך 1: נסכום את העבודות להביא את המטענים אחד אחרי השני. עבור המטען הראשון, העבודה היא אפס (כי אין אף מטען אחד במרחב שיוצר פוטנציאל). עבור המטען השני, העבודה לקרב אותו למטען הראשון*. עבור המטען השלישי העבודה לקרב לשני המטענים**, וכן הלאה. במקרה של שלושה מטענים החישוב הוא:

$$W = 0 + q_2 \left(\frac{kq_1}{r_{12}} \right) + q_3 \left(\frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$$

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

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

זרם מתח ותנגדות

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן

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

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

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

מהירות סחיפה: $I = n_e A q_e v_d$

n_e - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.
 A - שטח חתך של המוליך. q_e - מטען האלקטרון.
 v_d - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלקי במוליך)

מהירות האות החשמלי היא המהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, המהירות שבה תידלק נורה כתוצאה מהדלקה של מתח). מהירות האות החשמלי היא מהירות האור והיא גדולה בהרבה ממהירות הסחיפה.
מקור מתח במבצע 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:

$R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$
כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)

r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.
כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית: $\epsilon = V + Ir$
 ϵ - כא"מ, המתח המקסימאלי של הסוללה.
 V - מתח הדקים. r - התנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.
נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה (R_T) וללא הזרם: $V_{\text{הדקים}} = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$

עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל

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

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

W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן Δt
- היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט: $1W = 1J/sec$
נוסחה נוספת להספק שנוכונה גם להספק רגעי:

$P = IV = I^2 R = V^2 / R$

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

חיבור נגדים במעגל

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא הצד שבו הזרם נכנס לנגד.
חיבור נגדים בטור:
- חיבור בטור נעשה כאשר הזרם בנגדים זהה

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

- המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים

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

חיבור נגדים במקביל:

- חיבור בטור נעשה כאשר המתח בנגדים זהה

$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$



מחוץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.
כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים GOOL

גודל הכוח הפועל על **תיל ישר בשדה אחיד** באורך L הנושא זרם I הוא:
 $F = BIL \sin \alpha$
 α - היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם.
את כיוון הכוח יש למצא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה-dl) מחליף את המהירות.

הכוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:
 $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

d - המרחק בין התיילים.
כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים

חוק פאראדי והשראות GOOL

כא"מ הנוצר במוט הנע בשדה מגנטי:
 $\mathcal{E} = BLv \sin \alpha$
כאשר v היא מהירות המוט, L האורך שלו ו- α היא הזווית בין המהירות לשדה.
כיוון הכא"מ הוא בכיוון של הכוח המגנטי הפועל על מטען חיובי בתוך המוט.

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

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



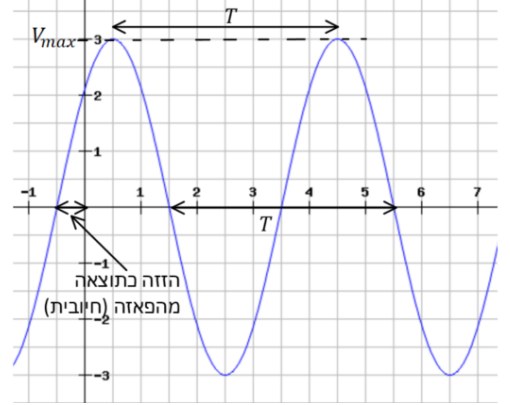
הספק של כוח הפועל על גוף בתנועה:
 $P = F \cdot v \cdot \cos \alpha$
כאשר v היא מהירות הגוף ו- α הזווית בין הכוח למהירות

מעגלי זרם חילופין GOOL

המתח והזרם במעגלי זרם חילופים:
 $V(t) = V_{\max} \sin(\omega t + \theta)$; $I(t) = I_{\max} \sin(\omega t)$
ניתן לעבוד גם עם פונקציית קוסינוס במקום סינוס ההבדל יהיה רק בפאזה. הפאזה בפונקציית סינוס גדולה ב- $\frac{\pi}{2}$ מהפאזה בקוסינוס.

תדירות הזוויתית:
 $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

T זמן המחזור ו-f - התדירות בהרץ
 θ - היא הפאזה של המתח ביחס לזרם
דוגמה לגרף של המתח כתלות בזמן:



- זמן מחזור הוא המרחק בין שיא לשיא וממנו ניתן לחשב את התדירות.
- הפאזה מזיזה את הגרף. פאזה חיובית מזיזה את הגרף שמאלה ושלילית ימינה.
חישוב הפאזה: $V(0) = V_{\max} \sin(\theta)$
הוא הערך באפס (חיתוך עם הציר האנכי בגרף) **נגד במעגל מתח חילופין**:
חוק אוהם: $V_R(t) = RI(t)$
R - התנגדות הנגד (קבוע).
הפאזה של המתח נגד היא אפס ביחס לזרם.
קבל במתח חילופין:

- הזרם כתלות בזמן זוהי לטעינה.
זמן אפייני: $\tau = RC$, נהוג להגיד שלאחר זמן של 5τ הקבל טעון/פרוק לגמרי

הכוח המגנטי - חוק לורנץ GOOL

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

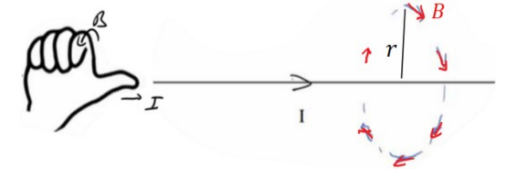


שימו לב שאתם עם יד ימין!
כיוון הכוח הוא עבור מטען חיובי (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).
לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדיף לעשות קודם אקדח).
תנועה בשדה אחיד: מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:

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

השדה המגנטי GOOL

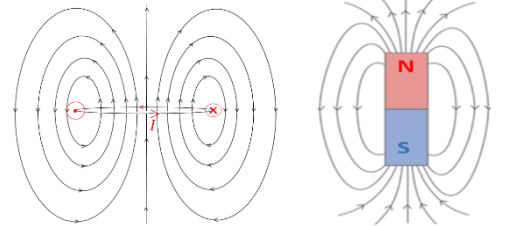
סימון וקטור לתוך הדף $\otimes$ והחוצה מהדף $\odot$ (אלינו)
שדה של תיל אינסופי:
כאשר r הוא המרחק מהתיל.
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ מקדם המגנטיות של הריק.
כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):



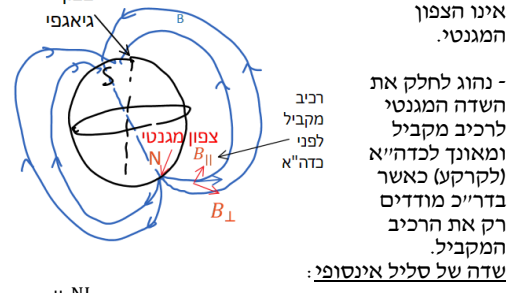
יחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי תן T (טסלה).
שדה במרכז של טבעת ברדיוס R:



קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):



השדה המגנטי של כדור הארץ:
- הצפון הגאוגרפי אינו הצפון המגנטי.



נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל ומאונך לכדה"א (לקרקע) כאשר בדרכ"מ מודדים רק את הרכיב המקביל.
שדה של סליל אינסופי:
בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל:
N - מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.
ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של הסליל:
n = $\frac{N}{L}$
- כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.

- הזרם נגד השקול שווה לסכום הזרמים

הספק המעגל הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).

חוקי קירכהוף GOOL

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

נצילות במעגל החשמלי GOOL

נצילות:
 $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$
 η - נצילות המעגל.

P_{out} - ההספק המופק/מנוצל ברכיבים השימושיים במעגל
 P_{in} - ההספק המושקע (של הסוללה)

קבלים GOOL

קבל הוא רכיב חשמלי היכול לאגור מטען.
קביב הוא היחס בין המטען על הקבל לבין המתח בו הוא נמצא.

הנוסחה הבסיסית של קבל (הגדרת הקיבול):
 $C = \frac{Q}{V}$

C - הקיבול של הרכיב. V - המתח בין שני החלקים.
Q - המטען על הלוח החיובי.

- יחידות הקיבול הן Farad: $1 \cdot \text{Farad} = \frac{1 \cdot \text{Coulomb}}{1 \cdot \text{Volt}}$
סוגי קבלים נפוצים: קבל לוחות, קבל כדורי וקבל גילילי. בדרכ"כ נעסוק בקבלים עם שני לוחות (קבל לוחות).

הקיבול של קבל לוחות:
 $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

A - שטח כל לוח. d - המרחק בין הלוחות.
תכונת הקיבול: הקיבול תלוי רק במבנה הגיאומטרי (אף פעם לא יהיה תלוי במטען על הקבל או במתח שנופל עליו) לכן הוא תמיד קבוע במעגל (אלא אם משנים את המבנה).
סימון הקבל במעגל: $\text{---}||\text{---}$

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

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

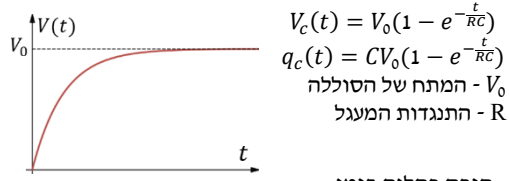
חיבור קבלים בטור:
 $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

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

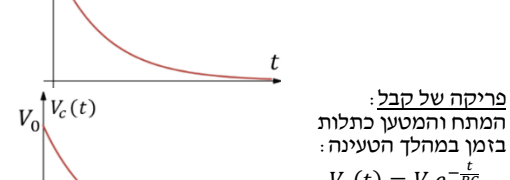
אנרגיה האגורה בקבל:
 $U_c = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$
העבודה שמבצעת הסוללה לטעינת קבל:

$W = QV = 2U_c$
חומרים דיאלקטריים בקבל: הכנסת חומר דיאלקטרי לקבל מקטינה את השדה והמתח בקבל ולכן מגדילה את הקיבול.

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



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



פריקה של קבל: המתח והמטען כתלות בזמן במהלך הטעינה:
 $V_c(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$
 $q_c(t) = CV_0 e^{-\frac{t}{RC}}$
V_0 - המתח ההתחלתי (המטען ההתחלתי $Q_0 = CV_0$)

הגדרת הקיבול, והקשר של המתח לזרם:

$$Q(t) = CV_C(t) ; I(t) = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow I(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt}$$

C - קיבול (קבוע).

הפאזה של המתח בקבל היא $\theta = -\frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

$$x_c = \frac{1}{\omega c}$$

היגב: מוגדר לפי $x = \frac{V_{max}}{I_{max}}$, להיגב יחידות של התנגדות

ונותן אומדן לסוג של התנגדות של הרכיב במעגל. בתדירות מאוד נמוכה, מתח המקור כמעט ולא משתנה ומקבלים מעגל מתח ישר, הקבל הופך לנתק. היגב גבוה מאוד.

בתדירות מאוד גבוהה, המתח משתנה מהר מאוד והקבל לא מספיק להטען. הקבל הופך לקצר (מתח אפס). היגב נמוך מאוד.

סליל במעגל מתח חילופין:

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

L - השראות (קבוע)

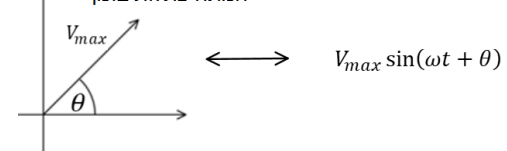
הפאזה של המתח בסליל היא $\theta = \frac{\pi}{2}$ ביחס לזרם.

היגב של סליל: $x_L = \omega L$. בתדירות מאוד נמוכה, אין שינוי בזרם ולכן המתח של הסליל אפס, הסליל מתנהג כמו קצר, היגב נמוך מאוד.

בתדירות מאוד גבוהה, שינוי זרם גדול יוצר מתח נגדי גדול בסליל. הסליל הופך לנתק. היגב גבוה מאוד.

פאזורים: פאזור הוא תאור של גודל סינוס המשתנה בזמן באמצעות וקטור. גודל הוקטור הוא הערך המקסימלי והזווית עם הציר האופקי היא הפאזה.

פאזור לתיאור פונקציית המתח כתלות בזמן



בשביל לחבר שני גדלים התלויים בזמן נחבר את הפאזורים שלהם (הקטור השקול מתאר את הערך המקסימאלי והפאזה של התוצאה).

העכבה (אימפדנס) של המעגל

עכבה היא "ההתנגדות השקולה" של מעגל מתח חילופין

$$Z = \frac{V_{smax}}{I_{max}} = \sqrt{(X_{LT} - X_{CT})^2 + R_T^2}$$

השוויון האחרון נכון רק למעגל טורי.

V_{smax} - המתח המקסימאלי של המקור.

X_{LT} , R_T , X_{CT} - הם ההתנגדות השקולה, סכום ההיגבים של הקבלים וסכום ההיגבים של המשרנים.

$$\tan \theta_s = \frac{X_{LT} - X_{CT}}{R_T}$$

זווית המופע של המקור:

זרם אפקטיבי ומתח אפקטיבי: $I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$; $V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$

- הם שורש הממוצע של ריבוע הגודל (סוג של ממוצע בזמן רק לגודל המתח והזרם).

תהודה: מצב שבו הזרם הזרם האפקטיבי מקסימאלי.

מתרחשת כאשר פאזות המקור מתאפסת.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{תדירות בה יש תהודה במעגל RLC טורי}$$

$$\bar{P}_R = I_{eff} V_{R_{eff}} = I_{eff} V_{s_{eff}} \cos \theta_s$$

θ_s - הפאזה של המקור

גורם ההספק: $\cos \theta_s$

- היחס בין ההספק בנגד להספק בקבל והמשרן.

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

האטום - התפתחות היסטורית ומודל בוהר

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} ; E_{ph} = |E_f - E_i|$$

m_e - מסת האלקטרון. v_n - מהירות האלקטרון ברדיוס מסדר n.

r_n - הרדיוס ה-n. n - מספר חיובי שלם n = 1,2,3 ...

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

E_{ph} - אנרגיית פוטון שנפלט/נבלע.

$$E_i \rightarrow E_f \text{ הן אנרגיות האלק לפני ואחרי התהליך.}$$

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

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

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

$$r_1 = r_1 n^2 ; r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} = 0.529 \text{ \AA}$$

$$r_1 - \text{רדיוס הבסיס של האלקטרון}$$

GOOL

האפקט הפוטואלקטרי

אנרגיה של פוטון: $E_{ph} = hf$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

ניתן לקבל את האנרגיה באלקטרון וולט על ידי הצבה של אורך הגל λ באנגסטרומים ($\text{\AA}$) או בנומטר (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.

GOOL

יחסות פרטית

תיאור של מאורעות מנקודת המבט של צופים הנמצאים במערכות ייחוס שונות (אינרציאליות).

עקרונות יסוד בתורת היחסות:

- חוקי הפיזיקה זהים בכל המערכות האינרציאליות.

- האור אינו צריך תווך בשביל לעבור בו.

- מהירות האור קבועה וזהה בכל מערכות הייחוס.

- אף גוף אינו יכול לנוע יותר מהר ממהירות האור.

- בוואקום, מכאן, מדידת הזמן שונה בין מערכות הייחוס.

- הזמן הופך לקואורדינטה רביעית (ביחד עם: x, y, z) שגורבת טרנספורמציה.

$$\gamma_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} ; \beta = \frac{v_0}{c}$$

γ_0 - תמיד גדולה מ-1

טרנספורמציות לורנץ למיקום והזמן:

$$x' = \gamma_0(x - v_0 t) ; y' = y ; z' = z$$

$$t' = \gamma_0 \left(t - \frac{v_0 x}{c^2} \right) ; \beta = \frac{v_0}{c} ; \gamma_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

טרנספורמציה הפוכה:

$$x = \gamma_0(x' + v_0 t') ; y = y' ; z = z'$$

$$t = \gamma_0 \left(t' + \frac{v_0 x'}{c^2} \right)$$

- הצירים של המערכות **חייבים** להיות מקבילים.

- בזמן $t = t' = 0$ **חייבים** שהראשיות מתלכדות.

המערכת העצמית: מערכת בה המאורע הנצפה נמצא במנוחה.

- **זמן עצמי** τ מוגדר להיות הפרש הזמנים בין שני מאורעות כפי שהוא נמדד במערכת העצמית שלהם.

- **אורך עצמי** l_0 האורך של גוף כפי שנמדד במערכת בו הגוף נמצא במנוחה.

התכווצות האורך: שינוי האורך ממערכת המנוחה (העצמית) למערכת נעה

$$l = \frac{l_0}{\gamma_0}$$

התארכות הזמן: שינוי הזמן ממערכת המנוחה (העצמית) למערכת נעה

$$\Delta t = \gamma_0 \tau$$

שינוי זווית במדידת אורך: $\tan \theta = \gamma_0 \tan \theta'$

θ' - זווית ביחס לציר ה-x (ציר התנועה) במערכת העצמית

θ - זווית ביחס לציר ה-x (ציר התנועה) במערכת אחרת.

אפקט דופלר היחסותי:

$$T = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \tau$$

זמן המחזור של הגל:

$$\lambda = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \lambda'$$

אורך הגל:

$$f = \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} f'$$

תדירות הגל:

$$v'_x = \frac{v_x - v_0}{1 - \frac{v_0 v_x}{c^2}} ; v'_y = \frac{v_y}{\gamma_0 \left(1 - \frac{v_0 v_x}{c^2} \right)}$$

$$v'_z = \frac{v_z}{\gamma_0 \left(1 - \frac{v_0 v_x}{c^2} \right)}$$

אברציה - שינוי זווית המהירות:

$$\tan \theta' = \frac{\sin \theta}{\gamma_0 \left(\cos \theta - \frac{v_0}{c} \right)}$$

שימו לב שפה השינוי הוא בזווית של וקטור המהירות (כיוון התנועה) ולא שינוי זווית של הגוף כמו למעלה.

תנע ואנרגיה יחסותיים: $\vec{p} = \gamma m \vec{v} ; E = \gamma mc^2$

הגודל γ קשור עכשיו למהירות הגוף עבורו נרצה לחשב את התנע ולא למעבר בין מערכות אינרציאליות שונות.

נוסחאות נוספות:

$$E^2 = |\vec{p}|^2 c^2 + m^2 c^4 ; |\vec{p}| = \sqrt{\gamma^2 - 1} \cdot mc$$

$$E_0 = mc^2$$

$$E_k = E - E_0 = mc^2(\gamma - 1)$$

עבור חלקיקים מסוימים מסת המנוחה היא אפס (פוטון, נייטרينو) והאנרגיה הקינטית היא:

$$E = |\vec{p}|c = h\nu$$

v היא התדירות ו- $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ קבוע פלאנק

טרנספורמציה של התנע והאנרגיה:

$$E' = \gamma_0(E - v_0 p_x) ; p'_x = \gamma_0(p_x - v_0 E/c^2)$$

$$p'_y = p_y ; p'_z = p_z$$

$$\left(p'_x, p'_y, p'_z, \frac{E'}{c} \right)$$

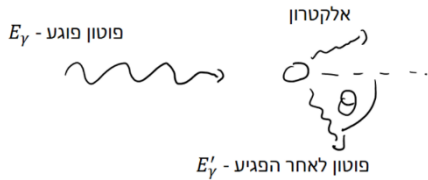
וקטור תנע אנרגיה: "גודל הוקטור" (מינוס באנרגיה) זהה בכל מערכות הייחוס:

$$p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - \left(\frac{E}{c} \right)^2 = \text{const}$$

- הנוסחה נכונה גם עבור מערכת עם יותר מגוף אחד כאשר התנע והאנרגיה הם התנע והאנרגיה של כל המערכת.

- עבור גוף יחיד הקבוע הוא: $m^2 c^2$.

פיזור קומפטון: פוטון הפוגע באטום הנמצא במנוחה, לאחר הפגיעה נפלט אלקטרון וכיוון התנועה של הפוטון משתנה.



$$\frac{1}{E'_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma} = \frac{1}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)$$

E_γ - אנרגיית הפוטון לפני הפגיעה

E'_γ - אנרגיית הפוטון אחרי הפגיעה

m_e - מסת אלקטרון

θ - זווית התנועה של הפוטון ביחס לכיוון הפגיעה.

$$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

יחידת האלקטרון וולט: חמרת מסת הגופים לאנרגיה:

$$m_e | \approx 8.19 \times 10^{-14} \text{ J} (\approx 511 \text{ keV})$$

$$m_p | \approx 1.50 \times 10^{-10} \text{ J} (\approx 938 \text{ MeV})$$

$$m_{Uranium} \approx 3.55 \times 10^{-8} \text{ J} (\approx 225 \text{ GeV})$$

- ניתן גם לרשום את היחידות של התנע של גופים כ- $\frac{eV}{c}$.

כלומר הכמות (המספר) זהה רק ביחידות נחלק ב c.

דעיכה של מקור רדיואקטיבי:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{או} \quad \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

N - מספר גרעיני האב בזמן t.

N_0 - מספר גרעיני האב בזמן t = 0.

$\frac{dN}{dt}$ - קצב ההתפרקות של החומר הרדיואקטיבי.

λ - קבוע דעיכה

פעילות (מינוס קצב ההתפרקות) של מקור רדיואקטיבי:

$$R = \lambda N$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

זמן מחצית החיים: