שיעור 1 – יחידות ומימדים – סיכום

חוקי חזקות

פעולות בין מערכים עבור בסיס אחד	מעריך אפס, שלילי ושבר	פעולות בין מערכים עבור שני בסיסים
$a^n \cdot a^m = a^{n+m}$ $\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$ $(a^n)^m = a^{n \cdot m}$	$a^0 = 1$ $a^{-n} = \frac{1}{a^n}$ $a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m]{a^n}$	$(a \cdot b)^n = a^n \cdot b^n$ $\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}$

מהי פיסיקה

פיסיקה היא מדע המתאר בצורה כמותית (בעזרת משוואות מתמטיות) את התופעות הבסיסיות המתרחשות בטבע.

ערך פיסיקלי

את התופעות הפיסיקליות מתארים באמצעות ערכם פיסיקליים שניתנים למדידה לדוגמא: זמן, מרחק, טמפרטורה, כוח וכולי.

יחידה פיסיקלית

ערך פיסיקלי ניתן למדידה, ואפשר לבטא את הכמות שלו באופן מספרי ע"י מדידתו. יחידת צריכה להיות ידועה לכולם כדי לאפשר חילופי מידע בין אנשים.

שיטת הקיצורים המבוססת על חזקות של 10

מכיוון שיש מקרים שבהם הכמות הנמדדדת של ערך פיסיקלי מסויים היא גדולה מאד או קטנה מאד הוכנסה שיטה של קיצורים הנכונה לעל היחידות הפיסיקליות. שיטה זט מבוססת על החזקות של 10.

סימון	תחילית	חזקה של 10
T	Tera	10^{12}
G	Giga	10^{9}
M	Mega	10^{6}
K	Kilo	10^{3}
d	deci	10^{-1}
c	centi	10^{-2}
m	milli	10^{-3}
μ	$\mu icro$	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}

יחידות פיסיקליות בסיסיות

מדענים בחרו 3 ערכים פיסיקליים כערכים בסיסיים והיחידות הפיסיקליות שלהם הוגדרו כיחידות פיסקליות בסיסיות. שיטת היחידות הבסיסיות נקראת **m.k.s.**: יחידת אורך תמדד במטרים(m), יחידת מסה תמדד בק"ג (kg) ויחידת זמן תמדד בשניות (sec).
כל שאר היחידות הפיסיקליות במכניקה הוגדרו בעזרת שלוש היחידות הפיסיקליות הבסיסיות.

יחידות נוספות של הערכים הפיסיקליים הבסיסיים

יחידות אורך	$1m = 10dm = 10^2 cm = 10^3 mm$
יחידות שטח	$1m^2 = (10dm)^2 = 100dm^2$ $1m^2 = (100cm)^2 = 10^4 cm^2$ $1m^2 = (1000mm)^2 = 10^6 mm^2$
יחידות נפח	$1liter = 1dm^3$ $1m^3 = (10dm)^3 = 1000dm^3 = 1000liter$ $1m^3 = (100cm)^3 = 10^6 cm^3$ $1m^3 = (1000mm)^3 = 10^9 mm^3$
יחידות מסה	$1kg = 1000gr$ $1ton = 1000kg$
יחידות זמן	$1\min = 60\sec$ $1hr = 60\min = 3600\sec$ $1day = 24hr$ $1year = 365day$
יחידת צפיפות המסה ρ - צפיפות מסה זה מסה (m) ליחידת נפח (V) : $\boxed{\rho = \frac{m}{V}}$ או מסה (כמות החומר) שווה לצפיפות המסה כפול נפח הגוף : $\boxed{m = \rho \cdot V}$	$1\frac{gr}{cm^3} = \frac{10^{-3}kg}{(10^{-2}m)^3} = \frac{10^{-3}kg}{10^{-6}m^3} = 10^3\frac{kg}{m^3}$

מעברי יחידות

כאשר רוצים להעביר ערך פיסיקלי לצורת יחידות אחרת מציבים במקום היחידות הישנות את הנוסחא המקשרת עם היחידות החדשות.

לדוגמא :

$$12m = 12 \cdot 1m = 12 \cdot 100cm = 1200cm$$
$$5mm = 5 \cdot 1mm = 5 \cdot 10^{-3} m = 0.005m$$

חישובים מתמטיים עם ערכים פיסיקליים

חיבור וחיסור בין ערכים פיסיקליים : אפשר לחבר, לחסר או להשוות 2 ערכים פיסיקליים בעלי אותן יחידות.
כפל וחילוק בין ערכים פיסיקליים : מבצעים את הפעולה גם על המספר וגם על היחידות שלו.

דיוק וספרות ערך

ספרות ערך אלו הן הספרות המשמעותיות במספר.
תוצאה מספרית לא תכלול יותר ספרות ערך מאשר המספרים מהן היא מחושבת.
בבעיות שנפתור המספרים הנתונים מדוייקים עד 3 או 4 ספרות ערך. למשל אם נתון מספר בעל 3 ספרות ערך – התוצאה תהיה בת 3 ספרות ערך. לכן יש לעגל או להוסיף ספרה אחת לכל היותר.

הערות לדף תרגילי בית מספר 1

המעגל	היקף מעגל	$p = 2\pi r$
	שטח עיגול	$s = \pi r^2$
כדור	נפח כדור	$v = \frac{4}{3}\pi r^3$
	שטח מעטפת של כדור	$s = 4\pi r^2$

בתנועה במהירות קבועה : $\boxed{s = v \cdot t}$ כאשר : v - מהירות הגוף, t - זמן, x - הדרך

<u>וקטורים במרחב - סיכום</u>

<u>תצוגת וקטור במרחב ע"פ רכיביו:</u> $\vec{R} = \vec{R}_x \hat{x} + \vec{R}_y \hat{y} + \vec{R}_z \hat{z}$

<u>תצוגת וקטור ע"פ אורכו וכיוונו:</u> אורכו : $\boxed{\left|\vec{R}\right| = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2 + (R_y)^2}}$

כיוונו : θ - הזוית בין $\vec{R}$ לבין ציר z : $\cos\theta = \dfrac{R_z}{\left|\vec{R}\right|}$, ϕ - הזוית בין הוקטור $\vec{R}_{xy}$ לבין ציר x : $\cos\phi = \dfrac{R_x}{R_{xy}}$

<u>פעולות חשבון בוקטורים תלת מימדיים:</u>

עבור 2 הוקטורים הבאים במרחב : $\vec{B} = B_x \hat{x} + B_y \hat{y} + B_z \hat{z}$ $\vec{A} = A_x \hat{x} + A_y \hat{y} + A_z \hat{z}$

1. **<u>כפל וקטור בסקלר</u>**: $\vec{C} = m\vec{A} = m\left(A_x \hat{x} + A_y \hat{y} + A_z \hat{z}\right) = mA_x \hat{x} + mA_y \hat{y} + mA_z \hat{z}$

2. **<u>חיבור וקטורים</u>**: $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x)\hat{x} + (A_y + B_y)\hat{y} + (A_z + B_z)\hat{z}$

3. **<u>חיסור וקטורים</u>**: $\vec{C} = \vec{A} - \vec{B} = (A_x - B_x)\hat{x} + (A_y - B_y)\hat{y} + (A_z - B_z)\hat{z}$

4. **<u>מכפלה סקלרית</u>**: מכפלה סקלרת בין 2 וקטורים, $\vec{A} \bullet \vec{B}$, זו פעולה מתמטית של מכפלה של גודל של וקטור אחד בהיטל של הוקטור השני עליו. מכפלה סקלרית בין 2 וקטורים נותנת <u>סקלר.</u>

<u>חישוב לפי גודל הוקטורים והזוית שבניהם</u> : $\boxed{\vec{A} \bullet \vec{B} = \left|\vec{A}\right|\left|\vec{B}\right| \cos\alpha}$

<u>חישוב לפי רכיבי הוקטורים</u> : $\boxed{\vec{A} \bullet \vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}$

<u>הערות :</u> 1. התוצאה המתקבלת במכפלה סקלרית היא סקלר.
2. מתקיים חוק החילוף $\vec{A} \bullet \vec{B} = \vec{B} \bullet \vec{A}$.
3. אם $\vec{A} \perp \vec{B}$ $\Leftarrow$ $\alpha = 90^0$ $\Leftarrow$ $\cos 90^0 = 0$ $\Leftarrow$ $\vec{A} \bullet \vec{B} = 0$.
4. אם $\vec{A} \parallel \vec{B}$ $\Leftarrow$ $\alpha = 0$ $\Leftarrow$ $\cos 0 = 1$ $\Leftarrow$ $\vec{A} \bullet \vec{B} = \left|\vec{A}\right|\left|\vec{B}\right|$.
5. מציאת הזוית בין 2 הוקטורים $\vec{A}$ ו- $\vec{B}$: $\cos\alpha = \dfrac{\vec{A} \bullet \vec{B}}{\left|\vec{A}\right|\left|\vec{B}\right|}$.

5. **<u>מכפלה וקטורית</u>** - מכפלה וקטורית בין 2 וקטורים, $\vec{A} \times \vec{B}$, זוהי פעולה מתמטית הנותנת וקטור ה<u>ניצב</u> לשני הווקטורים המוכפלים.

<u>חישוב לפי גודל הוקטורים והזוית שבניהם</u> :

<u>כוון וקטור התוצאה</u> : לפי כלל יד ימין : פרוש את יד ימין כך שארבעת האצבעות מורות לכוון הוקטור הראשון. כופף את ארבעת האצבעות לכוון הוקטור השני. וקטור התוצאה הוא בכוון האגודל.

<u>גודל וקטור התוצאה</u> : $\boxed{\left|\vec{C}\right| = \left|\vec{A} \times \vec{B}\right| = \left|\vec{A}\right|\left|\vec{B}\right| \sin\alpha}$

<u>חישוב לפי רכיבי הוקטורים</u> :

$$\boxed{\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = \hat{x}\underbrace{\left(A_y B_z - A_z B_y\right)}_{C_x} - \hat{y}\underbrace{\left(A_x B_z - A_z B_x\right)}_{C_y} + \hat{z}\underbrace{\left(A_x B_y - A_y B_x\right)}_{C_z}}$$

<u>הערות</u> :1. התוצאה המתקבלת במכפלה וקטורית היא וקטור.
2. לא מתקיים חוק החילוף , אלא : $\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$.

וקטורים דו מימדיים - סיכום

חזרה על טריגונומטריה

במשולש ישר זוית	**משפט פיתגורס** במשולש ישר זוית בעל הניצבים a,b והיתר c (הערה: שלשות פיתגוריות: 3:4:5, 5:12:13, 8:15:17)	$c^2 = a^2 + b^2$
במשולש ישר זוית	**הגדרת סינוס, קוסינוס וטנגנס:** במשולש ישר זוית בעל הניצבים a,b, היתר c והזוית α היא מול הניצב a	$\sin\alpha = \frac{a}{c}$ $\cos\alpha = \frac{b}{c}$ $\tan\alpha = \frac{a}{b}$
במשולש כלשהו	**משפט הסינוסים** – במשולש כלשהו כאשר הזויות α,β,γ מונחות בהתאמה מול הצלעות a,b,c ו- R הוא רדיוס המעגל החוסם	$\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma} = 2R$
במשולש כלשהו	**משפט הקוסינוסים** – במשולש כלשהו בעל צלעות a,b,c כאשר הזוית γ מונחת מול הצלע c	$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$

וקטור וסקלר

גודל פיסיקלי סקלרי - הוא גודל פיסיקלי המוגדר ע"י ערכו המספרי בלבד (טמפ T, זמן t, אורך, נפח, שטח).
גודל פיסיקלי וקטורי - הוא גודל פיסיקלי המוגדר ע"י ערכו המספרי וכיוונו (כוח $\vec{F}$, מהירות $\vec{v}$).

וקטור דו מימדי

תצוגת וקטור בשני אופנים:

תצוגת וקטור ע"פ רכיביו/היטליו על הצירים: $\boxed{\vec{R} = \vec{R}_x\hat{x} + \vec{R}_y\hat{y}}$

R_x - רכיבו/היטלו בציר x, R_y - רכיבו/היטלו בציר y.

אם R_x בכוון ציר x החיובי – הרכיב R_x חיובי, ואם R_x בכוון ציר x השלילי – הרכיב R_x שלילי

אם R_y בכוון ציר y החיובי – הרכיב R_x חיובי, ואם R_x בכוון ציר y השלילי – הרכיב R_y שלילי

תצוגת וקטור ע"פ אורכו וכיוונו גודלו: $\left|\vec{R}\right|$

כיוונו: למשל ציון כיוונו ע"פ הזוית α הנמדדת מציר x החיובי.

מציאת רכיבי הוקטור לפי אורכו וכיוונו

$\boxed{R_y = \left|\vec{R}\right|\sin\alpha}$ $\boxed{R_x = \left|\vec{R}\right|\cos\alpha}$

מציאת אורך הוקטור וכיוונו לפי רכיביו

$\boxed{\tan\alpha = \left|\frac{R_y}{R_x}\right|}$ $\boxed{\left|\vec{R}\right| = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2}}$ **אורך הוקטור**

שוויון וקטורים: 2 וקטורים יהיו שווים כאשר הם בעלי אותו גודל ואותו כיוון.

וקטור נגדי: וקטור נגדי זהו וקטור שווה בגודל אך מנוגד בכיוון.

פעולות חשבון בוקטורים דו מימדיים

עבור 2 הוקטורים הבאים : $\vec{B} = B_x\hat{x} + B_y\hat{y}$ $\vec{A} = A_x\hat{x} + A_y\hat{y}$

1. **<u>כפל וקטור בסקלר</u>** ניתן לכפול או לחלק כל וקטור בסקלר. התוצאה המתקבלת היא וקטור שכיוונו זהה לוקטור המקורי וגודלו שווה למכפלה של גודל הוקטור בסקלר או למנת גודל הוקטור בסקלר . כופלים בסקלר את רכיבי הוקטור. כאשר הסקלר הוא שלילי הוקטור המתקבל מנוגד לכוון הוקטור המקורי

$$\vec{C} = m\vec{A} = m\left(A_x\hat{x} + A_y\hat{y}\right) = mA_x\hat{x} + mA_y\hat{y}$$

2. **<u>חיבור וקטורים</u>** $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \ldots$ - $\vec{R}$ נקרא הסכום הוקטורי או הוקטור השקול

בחיבור וקטורים סוכמים את הרכיבים של כל הוקטורים ומוצאים את רכיבי הוקטור השקול :

$$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B} = \left(A_x + B_x\right)\hat{x} + \left(A_y + B_y\right)\hat{y}$$

3. **<u>חיסור וקטורים</u>** חיסור וקטורים זה חיבור הוקטור הנגדי :

$$\vec{C} = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) = \left(A_x - B_x\right)\hat{x} + \left(A_y - B_y\right)\hat{y}$$

4. **<u>מכפלה סקלרית</u>** הסבר בדף על וקטורים במרחב.

<u>חיבור וקטורים לפי רכיבים– לחיבור 2 וקטורים או יותר</u>

1. מפרקים כל וקטור שאינו מקביל לצירים לרכיביו.
2. סוכמים את הרכיבים של כל הוקטורים ומוצאים את רכיבי הוקטור השקול :

כאשר $R_x = A_x + B_x + C_x + \ldots$ ו- $R_y = A_y + B_y + C_y + \ldots$

3. מרכיבי הוקטור השקול ניתן למצוא את אורכו וכיוונו של הוקטור השקול :

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{\left(R_x\right)^2 + \left(R_y\right)^2} \qquad \tan\alpha = \frac{R_y}{R_x}$$

<u>חיבור וקטורים בשיטה גרפית</u>

1. **שיטת המקבילית -** לחיבור 2 וקטורים

מעבירים ישרים מקבילים לשני הוקטורים שרוצים לחבר ומקבלים מקבילית.

האלכסון היוצא מנקודת היציאה המשותפת הוא הוקטור השקול.

2. **שיטת המשולש** - לחיבור 2 וקטורים

מציירים בקנה מידה וקטור ראשון ובהמשכו וקטור שני .

הוקטור הסוגר את המשולש הוא הוקטור השקול. תחילתו בתחילת הוקטור הראשון וסופו בראש הוקטור השני.

3. **שיטת המצולע -** לחיבור של יותר משני וקטורים

יש לצייר את הוקטורים בקנה מידה ובכוון המתאים, וקטור אחד בהמשכו של השני (לא חשוב הסדר)

הוקטור הסוגר את המצולע הוא הוקטור השקול.

<u>חיסור וקטורים בשיטה גרפית</u>

חיסור וקטורים זה חיבור הוקטור הנגדי. לכן אם רוצים להחסיר מ- $\vec{A}$ את $\vec{B}$ אז נשרטט את הוקטור הנגדי ל- $\vec{B}$ כלומר את וקטור $\left(-\vec{B}\right)$, ונחבר את $\vec{A}$ עם $\left(-\vec{B}\right)$ בשיטת המקבילית למשל ואז וקטור התוצאה הוא האלכסון של המקבילית היוצא מנקודת המוצא של הוקטורים.

חזרה על קו ישר ופרבולה

קו ישר

הגדרה: קו ישר הוא פונקציה מהצורה $\boxed{y(x) = mx + n}$

כאשר m הוא שיפוע הישר ו- n הוא נקודת חיתוך של הישר עם ציר ה- y.

- עבור $m > 0$ הישר עולה ועבור $m < 0$ הישר יורד.
- דוגמאות לישרים: $y = 2x + 3, y = -x + 2, y = -2x$

ישרים מיוחדים: ישרים מקבילים לצירים שהם ישרים מהצורה:

$\boxed{y = a}$ ישר המקביל לציר x, ו- $\boxed{x = b}$ ישר המקביל לציר y.

שרטוט קו ישר: נשרטט קו ישר ע"י מתיחת קו ישר בין 2 נקודות שהישר עובר דרכן.

- דוגמא: שרטט את הישר $y = 2x + 1$

מציאת שיפוע של ישר: $\boxed{m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}}$ שיפוע הישר

כאשר $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ הן 2 נקודות שנמצאות על הישר

- דוגמא: מצא שיפוע של ישר שעובר דר 2 הנקודות: $(2,3), (6,5)$.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{5-3}{6-2} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

פרבולה

הגדרה: פרבולה היא פונקציה מהצורה $\boxed{y(x) = ax^2 + bx + c}$.

עבור $a > 0$ הפרבולה צוחקת, כלומר נקודת הקיצון היא נקודת מינימום.

ועבור $a < 0$ הפרבולה בוכה, כלומר נקודת הקיצון היא נקודת מקסימום.

שיפוע המשיקים לפרבולה

נתבונן בפרבולה צוחקת בעלת נקודת מינימום שערך ה- x שלה הוא x_0. נתבונן בשיפוע המשיקים לפונקציה:

- עבור $x < x_0$ הפונקציה יורדת ולכן שיפוע המשיקים בכל נקודה ונקודה הוא שלילי.

  עבור $x > x_0$ הפונקציה עולה ולכן שיפוע המשיקים בכל נקודה ונקודה הוא חיובי.
- עבור $x < x_0$ ככל שמתקדמים בכוון ציר x החיובי שיפוע המשיקים הופך מתלול למתון.

  עבור $x > x_0$ ככל שמתקדמים בכוון ציר x החיובי שיפוע המשיקים הופך ממתון לתלול.

  עבור $x = x_0$ שיפוע המשיק הוא אפס.

תנועה גוף לאורך קו ישר - הגדרות

ציר מקום: נבחר ציר מקום. ציר מאופיין ע"י כוון וראשית.

1. כוון הציר – נבחר באופן שרירותי (למשל בכוון התנועה ההתחלתי).
2. ראשית הציר – על הציר נבחר נקודה שנקרא לה אפס (ראשית הצירים) .

העתק: העתק הוא השינוי במיקום הגוף : מיקום סופי פחות מיקום התחלתי : $\boxed{\Delta\vec{x} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1}$

הערות על העתק: 1. ההעתק הוא וקטור

2. יחידות תיקניות של העתק : m

3. העתק יכול להיות חיובי – אם $x_2 > x_1$ (הגוף נע סה"כ בכוון החיובי של הציר)

שלילי – אם $x_2 < x_1$ (הגוף נע סה"כ בכוון השלילי של הציר)

או אפס – אם $x_2 = x_1$ (הגוף חזר לנקודת המוצא).

4. העתק לעומת דרך : דרך היא האורך הכולל של המסלול והיא סקלר, לעומתה העתק זהו השינוי במיקום הגוף והוא וקטור

מהירות: מהירות היא מידה לתיאור קצב תנועתו של גוף - המרחק שהוא עובר ביחידת זמן.

מהירות ממוצעת: המהירות הממוצעת באה לתאר את מהירותו של גוף לאורך דרך מסוימת.

מהירות ממוצעת היא היחס בין ההעתק לבין פרק הזמן Δt או קצב שינוי ההעתק : $\boxed{\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{x}}{\Delta t} = \frac{\vec{x}_2 - \vec{x}_1}{t_2 - t_1}}$

מהירות רגעית : המהירות הרגעית היא המידה למהירות של גוף ברגע מסוים, כאשר "רגע" הוא נקודת זמן. ניתן לדמות זאת על ידי כך שנאמר שהמהירות הרגעית של רכב היא מה שמראה מד המהירות של הרכב בכל רגע. מהירות רגעית היא המהירות הממוצעת שבפרק הזמן שבין אותו רגע ובין רגע אחר שקרוב אליו ביותר, כאשר פרק זמן זה שואף לאפס. כלומר הנגזרת של ההעתק לפי הזמן: $\boxed{v = v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'(t) = \frac{dx}{dt}}$

הערות על מהירות:

1. המהירות היא וקטור. כוון וקטור המהירות ככוון ההעתק.
2. יחידות תיקניות של מהירות : m/s
3. כדי לעבור מקמ"ש ל- m/s יש לחלק ב - 3.6
4. כאשר נשתמש במונח מהירות נתכוון למהירות רגעית ולא למהירות ממוצעת. כדי לציין מהירות ממוצעת, נאמר מהירות ממוצעת.

הערה על גדלים וקטורים בתנועה בקו ישר : $\Delta\vec{x}, \vec{x}, \vec{v}, \vec{a}$ - כולם גדלים וקטוריים. אולם כאשר דנים בתנועה בקו ישר לכל הוקטורים יש רק רכיב בציר x ולכן אין זה חיוני להבחין בין הוקטור לבין רכיב ה- x שלו.

תנועה גוף לאורך קו ישר – הגדרות נוספות

תאוצה: תאוצה הינה קצב השינוי במהירות של גוף. כאשר מהירותו של גוף משתנה (גדלה או קטנה) אנו אומרים שלגוף יש תאוצה. גם הגדלת המהירות וגם הקטנתה נקראים בפיסיקה בשם תאוצה, אם כי יש המכנים את התאוצה השלילית בשם "תאוטה" (deceleration). מכיון שהמהירות היא וקטור גם שינוי בכיוון התנועה זוהי תאוצה.

תאוצה ממוצעת: תאוצה ממוצעת היא היחס בין שינוי המהירות בפרק זמן לבין שינוי הזמן Δt .

$$\boxed{\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}}$$

תאוצה ריגעית: תאוצה רגעית היא הגבול שאליו שואף היחס בין שינוי וקטור המהירות בפרק זמן ובין משכו של פרק הזמן, כאשר פרק הזמן שואף לאפס. כלומר הנגזרת של המהירות לפי הזמן.

$$\boxed{a = a(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = v'(t) = \frac{dv}{dt}}$$

הערות על תאוצה:

1. התאוצה היא וקטור. כוון וקטור התאוצה ככוון וקטור שינוי המהירות.
2. יחידות תיקניות של תאוצה: m/s^2
3. כאשר נשתמש במונח תאוצה נתכוון לתאוצה ריגעית ולא לתאוצה ממוצעת. כדי לציין תאוצה ממוצעת, נאמר תאוצה ממוצעת.
4. כוון וקטור התאוצה ככוון וקטור שינוי המהירות:
   אם שינוי המהירות חיובי – התאוצה חיובית.
   אם שינוי המהירות שלילי – התאוצה שלילית.
   אם שינוי המהירות אפס – התאוצה אפס.

תאוצה חיובית תתכן כאשר $\Delta v > 0$, כלומר כאשר $v_2 > v_1$:
מקרה 1: כאשר הגוף נע בכוון החיובי ומגדיל את מהירותו.
מקרה 2: כאשר הגוף נע בכוון השלילי ומקטין את מהירותו.

תאוצה שלילית תתכן כאשר $\Delta v < 0$, כלומר כאשר $v_2 < v_1$:
מקרה 1: כאשר הגוף נע בכוון החיובי ומקטין את מהירותו.
מקרה 2: כאשר הגוף נע בכוון השלילי ומגדיל את מהירותו.

כלל אצבע לגבי כוון המהירות וכוון התאוצה;
כאשר המהירות והתאוצה באותו כוון (שניהם חיוביים או שניהם שליליים). הגוף מגביר את מהירותו.
כאשר המהירות והתאוצה בכוון מנוגד כוון (מהירות חיובית ותאוצה שלילית או מהירות שלילית ותאוצה חיובית). הגוף מקטין את מהירותו.

<u>תנועה בקו ישר במהירות קבועה</u>

<u>הגדרה 1</u>: תנועה בה הגוף עובר העתקים שווים בזמנים שווים.

<u>הגדרה 2</u>: תנועה במהירות קבועה בקו ישר היא תנועה בה המהירות הריגעית היא קבועה ושווה למהירות הממוצעת.

<u>משוואת התנועה במהירות קבועה</u>

$x = x_0 + \underbrace{vt}_{\Delta x}$	משוואת מיקום - זמן

כאשר: $x_0(m)$ - מיקום הגוף ברגע $t = 0$ ביחס לראשית

$x(m)$ - מיקום הגוף בזמן t ביחס לראשית

$v(m/\sec)$ - מהירות הגוף

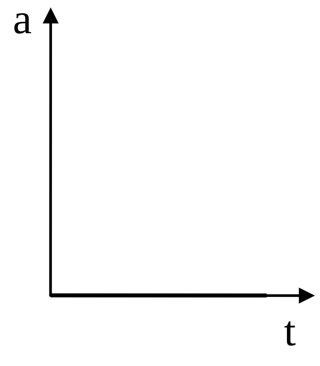
$t(\sec)$ או Δt - זמן התנועה במקטע

$\Delta x = vt$ - העתק הגוף במשך פרק הזמן Δt

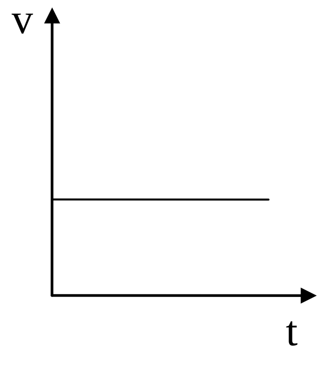
- ***זכור; כאשר הגוף נע בכוון החיובי מהירותו חיובית- וכאשר הגוף נע בכוון השלילי מהירותו שלילית.***

<u>גרפים בתנועה שוות מהירות בקו ישר</u>

<u>גרף תאוצה - זמן</u>

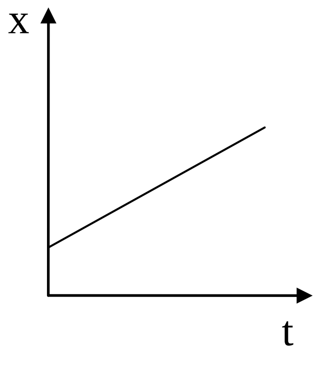


<u>גרף מהירות - זמן</u>



התאוצה היא שיפוע הישר (אפס).
ההעתק הוא השטח מתחת לגרף.

<u>גרף מיקום - זמן</u>



המהירות היא שיפוע הישר.

תנועה בקו ישר בתאוצה קבועה

<u>הגדרה:</u> תנועה בתאוצה קבועה בקו ישר היא תנועה בה המהירות משתנה בקצב קבוע (או קצב שינוי המהירות הוא קבוע). בתנועה שוות תאוצה התאוצה הריגעית היא קבועה ושווה לתאוצה הממוצעת.

<u>משוואות התנועה בתנועה בתאוצה קבועה</u>

$v = v_0 + \underbrace{at}_{\Delta v}$	מהירות – זמן
$x = x_0 + \underbrace{\frac{(v_0 + v)t}{2}}_{\Delta x}$	מיקום - זמן
$x = x_0 + \underbrace{v_0 t + \frac{1}{2}at^2}_{\Delta x}$	מיקום - זמן
$v^2 = v_0^2 + 2a\underbrace{\Delta x}_{x - x_0}$	מהירות - העתק

$x_0(m)$ - מיקום הגוף ברגע $t = 0$ ביחס לראשית

$x(m)$ - מיקום הגוף כעבור זמן t ביחס לראשית

$t(\sec)$ או Δt - זמן התנועה במקטע

$v_0(m/\sec)$ - מהירות התחלתית במקטע

$v(m/\sec)$ - מהירות סופית במקטע

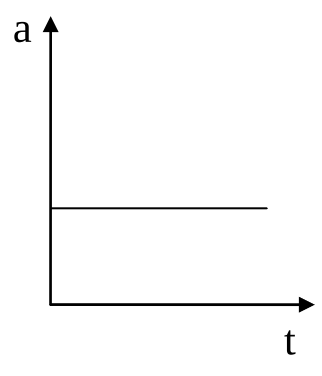
$a(m/\sec^2)$ - תאוצה

$\Delta x = vt$ - העתק הגוף במשך פרק הזמן Δt

$\Delta v = at$ - שינוי מהירות הגוף במשך פרק הזמן Δt

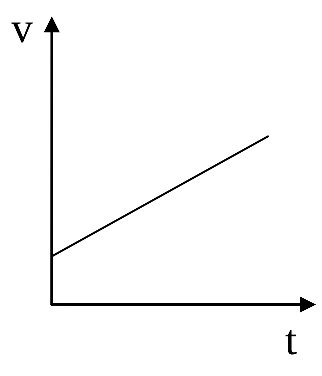
<u>גרפים בתנועה שוות תאוצה בקו ישר</u>

<u>גרף תאוצה - זמן</u>



שינוי המהירות הוא השטח מתחת לגרף.

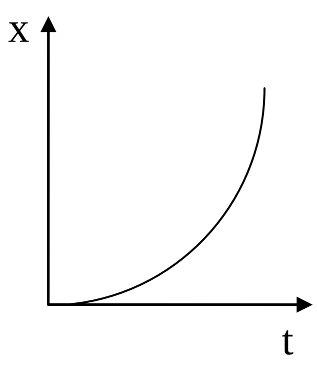
<u>גרף מהירות - זמן</u>



התאוצה היא שיפוע הישר.

ההעתק הוא השטח מתחת לגרף.

<u>גרף מיקום - זמן</u>



מהירות ממוצעת היא שיפוע המיתר.
מהירות ריגעית היא שיפוע המשיק באותה הנקודה.

תנועת גופים באויר – זריקה בזוית

מערכת הצירים :

כוון הצירים : נבחר את ציר y כלפי מעלה, ואת ציר x לפי כוון הזריקה.

ראשית כל ציר : ראשית ציר x : בנקודת הזריקה. ראשית ציר y : בגובה הזריקה או בגובה פגיעת הגוף בקרקע.

ציר y	**ציר x**
בציר y התנועה היא בתאוצה קבועה – תאוצת הכובד בעצם בציר y התנועה היא של זריקה אנכית למעלה	בציר x התנועה היא במהירות קבועה
תנאי התחלה : $y_0 =$ $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$ $g = +10\dfrac{m}{s^2}$	תנאי התחלה : $x_0 =$ $v_{0x} = v_0 \cos\alpha$
משוואות התנועה : $v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin\alpha - gt$ $y = y_0 + v_{0y}\cdot t - \dfrac{1}{2}gt^2 = y_0 + v_0 \sin\alpha \cdot t - \dfrac{1}{2}gt^2$ $v_y^2 = {v_{0y}}^2 - 2g(y-y_0) = (v_0 \sin\alpha)^2 - 2g(y-y_0)$	משוואות התנועה : $x = x_0 + v_{0x}\cdot t = x_0 + v_0 \cos\alpha \cdot t$

מהירות הגוף ברגע כלשהו:

גודל המהירות : $\boxed{v_{\text{שקול}} = \sqrt{(v_{0x})^2 + (v_y)^2}}$

כיוון המהירות (משיקה למסלול): $\boxed{\tan\alpha = \dfrac{v_y}{v_{0x}}}$

הערות על זריקה בזוית:

1. בשיא הגובה : $v_y = 0$.
2. פגיעה בקרקע מאופיינת ב- $y = 0$ (אם ראשית ציר y היא בקרקע).
3. בכל גובה מתקיים : גודל המהירות : גודל המהירות בעליה שווה לגודל המהירות בירידה .
   כוון המהירות : בעליה הזוית היא מעל האופק, בירידה זו אותה הזוית - מתחת לאופק.
4. שיא הגובה :

$$\boxed{t_{max} = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}}$$

$$\boxed{y_{max} = y_0 + \frac{(v_{0y})^2}{2g} = y_0 + \frac{(v_0 \sin\alpha)^2}{2g}}$$

5. משוואת המסלול הבליסטי :

$$\boxed{y(x) = y_0 + (x - x_0)\tan\alpha - \frac{g}{2{v_0}^2}(x-x_0)^2(1+\tan^2\alpha)}$$

6. עבור מקרה פרטי בו נקודת הזריקה ונקודת הפגיעה הן באותו גובה מתקיים :

א. זמן העליה מנקודת הזריקה ועד שיא הגובה שווה לזמן הירידה משיא הגובה ועד לנקודת הזריקה .

ב. נוסחת הטווח : $Range = \dfrac{{v_0}^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$

ג. טווח מקסימלי מתקבל עבור זוית זריקה של 45^0 .

ד. עבור 2 זויות זריקה $\alpha_0, 90-\alpha_0$ יתקבל אותו הטווח.

נכתב ע"י שירלי עידן

תנועת גופים באויר – זריקה אנכית למעלה ולמטה

נדון בשני מקרים:

מקרה 1 : זריקה אנכית כלפי למטה $(v_0 \neq 0)$ או נפילה חופשית $(v_0 = 0)$

מקרה 2 : זריקה אנכית כלפי מעלה

- התנועה מתנהלת לאורך הציר האנכי - ציר y.

תאוצת הכובד

1. על גופים באויר פועלת תאוצה קבועה - תאוצה הכובד. היא לא תלויה במשקל הגוף.
2. לכן נתשמש במשוואות של תנועה שוות תאוצה. כלומר זו דוגמא לתנועה בתאוצה קבועה לאורך ציר אנכי.
3. תאוצת הכובד מסומנת באות g . גודל תאוצת הכובד הוא $g = 10\,m/s^2$.
ותאוצת הכובד מכוונת תמיד כלפי מטה - כלפי מרכז כדה"א. לא משנה אם הגוף בעליה בירידה או בשיא הגובה בעצירה ריגעית.

הנחות:

1. מזניחים את התנגדות האויר , כלומר לא פועלים על הגוף כוחות פרט לכוח הכובד שגורם לתאוצת הכובד.
2. תנועת הגוף תחת תאוצת הכובד מתחילה כאשר הגוף עוזב את היד, הרובה , התותח ועד רגע לפני שהגוף פוגע בקרקע.

נוסחאות לזריקה אנכית

ציר מיקום : כוון הציר : **נבחר ציר y כלפי מעלה.**
ראשית הציר : נבחר כרצוננו, למשל : בגובה הזריקה או בגובה פגיעת הגוף בקרקע.

בהתאם לציר y שבחרנו שכיוונו כלפי מעלה :

- התאוצה : תאוצת הכובד תמיד למטה, ולכן בהתאם לציר y שבחרנו כלפי מעלה היא שלילית. לכן נכניס לנוסחאות של תנועה שוות תאוצה מינוס מובנה ונציב בנוסחא $g = +10\,m/s^2$.
- המהירות : בעליה המהירות חיובית (בכוון ציר y) בירידה המהירות שלילית (נגד כוון ציר y).
- y - מיקום הגוף ביחס לראשית הצירים. מעל הראשית y חיובי, מתחת לראשית y שלילי.

תנאי התחלה :

$y_0 =$ מיקום התחלתי של הגוף ביחס לראשית

$v_0 =$ מהירות התחלתית של הגוף

$$g = +10\,m/s^2$$

משוואות התנועה : משוואות של תנועה שוות תאוצה

זריקה אנכית	תנועה שוות תאוצה
$v = v_0 - gt$	$v = v_0 + \underbrace{at}_{\Delta v}$
$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$	$x = x_0 + \underbrace{v_0 t + \frac{1}{2} a t^2}_{\Delta x}$
$v^2 = v_0^2 - 2g(y - y_0)$	$v^2 = {v_0}^2 + 2a \underbrace{\Delta x}_{x - x_0}$

הערות על זריקה אנכית למעלה:

1. בשיא הגובה v=0 ולכן נקבל : $\boxed{y_{max} = y_0 + \frac{(v_0)^2}{2g}}$ $\boxed{t_{max} = \frac{v_0}{g}}$
2. זמן העליה מנקודת הזריקה ועד שיא הגובה שווה לזמן הירידה משיא הגובה ועד לנקודת הזריקה .
3. בכל גובה מתקיים : גודל המהירות בעליה שווה לגודל המהירות בירידה.
4. הנוסחאות מתארות את התנועה מתחילתה ועד סופה . הן מכילות אינפורמציה גם לשלב העליה וגם לשלב הירידה. אין צורך ולא מומלץ לחלק את התנועה לחלקי תנועה ולפתור בנפרד.

קינמטיקה בתנועה מעגלית - סיכום

1. הגדרות

$T(\sec)$ - זמן מחזור – הזמן הדרוש להשלמת סיבוב	$T=\dfrac{1}{f}$
$f(Hz)$ - תדירות – מספר סיבובים בשניה	$f=\dfrac{1}{T}$
$\omega\left(\dfrac{rad}{s}\right)$ - מהירות זוויתית	$\omega=\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}=\dfrac{2\pi}{T}=2\pi f$

2. הקשר בין גדלים קוויים לגדלים זוויתיים

$\Delta s(m)$ - מעתק קווי, $\Delta\theta(rad)$ - מעתק זוויתי	$\Delta s=\Delta\theta\cdot R$
$v\left(\dfrac{m}{s}\right)$ - מהירות משיקית , $\omega\left(\dfrac{rad}{s}\right)$ - מהירות זוויתית	$v=\omega\cdot R$
$a_t\left(\dfrac{m}{s^2}\right)$ - תאוצה משיקית, $\alpha\left(\dfrac{rad}{s^2}\right)$ - תאוצה זוויתית	$a_t=\alpha\cdot R$

3. הגדרת הרדיאן ומעבר ממעלות לרדיאנים ולהיפך

זוית ברדיאנים היא היחס בין הקשת לרדיוס : $\Delta\theta=\dfrac{\Delta S}{R}$

הקשר בין מעלות לרדיאנים: $1(rad)=57.3^0 \qquad \Rightarrow \qquad 2\pi(rad)=360^0$

מעבר ממעלות לרדיאנים: $\dfrac{\theta(^0)\cdot 2\pi}{360^0}=\dfrac{\theta(^0)}{57.3}=\theta(rad)$

מעבר מרדיאנים למעלות : $\dfrac{\theta(rad)\cdot 360^0}{2\pi}=\theta(rad)\cdot 57.3=\theta(^0)$

4. תאוצות בתנועה מעגלית

כדי שתתקיים תנועה מעגלית חייב ת להיות תאוצה רדיא לית הגורמת לשינוי בכיוון התנועה כלומר לתנועה מעגלית .
אך אם בנוסף יש גם תאוצה משיקית היא גורמת לשינוי בגודל המהירות.

$a_R(m/s^2)$ - תאוצה רדיאלית / צנטריפטלית	גודל : $a_R=\dfrac{v^2}{R}=\omega^2 R$, כיוון : למרכז המעגל
$a_t\left(\dfrac{m}{s^2}\right)$ - תאוצה משיקית	כיוון : משיקה למעגל (בכיוון מהמהירות או נגד כיון המהירות)
$a_{\text{כוללת}}\left(\dfrac{m}{s^2}\right)$ - תאוצה כוללת	גודל : $a_{\text{כוללת}}=\sqrt{(a_R)^2+(a_t)^2}$, כוון : $\tan\theta=\dfrac{a_R}{a_t}$

נכתב ע"י שירלי עידן

5. משוואות התנועה בתנועה מעגלית בהתאם לסוג התנועה

סוג התנועה	גדלים קוויים	גדלים זוויתיים	סוג בתאוצה
מהירות קבועה	$x = x_0 + vt$	$\theta = \theta_0 + \omega t$	$a_t, \alpha \to o$ $a_R = \frac{v^2}{R} \to const$
תאוצה משיקית קבועה	$v = v_0 + a_t t$ $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_t t^2$ $v^2 = v_0{}^2 + 2a_t(x - x_0)$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$ $\omega^2 = \omega_0{}^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$	$a_t, \alpha \to const$ $a_R = \frac{v^2}{R} \to$ תלוי_בזמן
תאוצה משיקית משתנה	$v = \frac{dx}{dt}$ $a_t = \frac{dv}{dt}$	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$ $\alpha = \frac{dw}{dt}$	$a_t, \alpha \to$ תלוי_בזמן $a_R = \frac{v^2}{R} \to$ תלוי_בזמן

6. מספר סיבובים

$$\boxed{\text{מספר\_סיבובים}\; n = \frac{\Delta S}{2\pi R} = \frac{\Delta\theta}{2\pi}}$$

7. חישוב מהירות ותאוצות לפי הגדרת המכפלה הוקטורית

כיווני הווקטורים	הגדרה
$\vec{\omega}$ - ציר הסיבוב $\vec{R}$ - רדיאלית החוצה מהמעגל $\vec{v}$ - משיק למעגל	$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R}$
$\vec{\alpha}$ - ציר הסיבוב $\vec{R}$ - רדיאלית החוצה מהמעגל $\vec{a}_t$ - משיק למעגל	$\vec{a}_t = \vec{\alpha} \times \vec{R}$
$\vec{\omega}$ - ציר הסיבוב $\vec{v}$ - משיק למעגל $\vec{a}_R$ - רדיאלית פנימה למרכז המעגל	$\vec{a}_R = \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{R}) = \vec{\omega} \times \vec{v}$

סיכום - מומנטים במישור

מומנט של כוח זו מידה לנטייתו או ליכולתו של כוח לסובב את הגוף אשר עליו הוא פועל.
יכולת זו תלויה בגודל הבכוח, בכיוונו ובנקודה בה הוא פועל.

הגדרה של מומנט של כוח

$\vec{M}_o = \vec{r} \times \vec{F}$

$\vec{F}$ - וקטור כוח הפועל בנקודה כלשהיא

$\vec{r}$ - וקטור מיקום שזנבו בנקודת הייחוס בה נמדד המומנט וראשו בנקודה בה פועל הכוח

θ - הזוית בין 2 הוקטורים

גודל המומנט של הכוח $\left|\vec{M}_o\right| = \left|\vec{r}\right| \cdot \left|\vec{F}\right| \cdot \sin\theta = \left|\vec{F}\right| \cdot \left|\vec{r}\right| \cdot \sin\theta = \left|\vec{F}\right| \cdot l$

$l = \left|\vec{r}\right| \cdot \sin\theta$ זו הזרוע, כלומר האנך מקו פעולת הכוח או המשכו לנקודת הייחוס בה נמדד המומנט

כיוון המומנט של הכוח

כוח שנוטה לסיבוב עם כיוון השעון – המומנט שלו שלילי

כוח שנוטה לסיבוב נגד כיוון השעון – המומנט שלו חיובי

הערה :

כאשר הזרוע שווה לאפס לכוח אין מומנט , כלומר כאשר וקטור הכוח או המש כו עוברים דרך נקודת הייחוס בה מחושב המומנט – לכוח אין מומנט יחסית לנקודה זו.

מומנט שקול

אם על גוף פועלים מספר כוחות והם מפעילים מו מנט והגוף נמצא בשווי משקל (לא מסתובב) אזי סכום המומנטים שווה לאפס (ביחס לכל נקודה שנבחר, גם לנקודה מחוץ לגוף).

ואם סכום המומנטים שפועלים על הגוף שווה לאפס אזי הגוף לא יסתובב.

כוח החיכוך

מבחינים בשני סוגים של כוחות חיכוך :

f_s - כוח חיכוך סטטי

מהו? זהו כוח שאותו המשטח מפעיל על גוף המונח עליו ומונע את החלקתו על פניו.
מתי קיים? כאשר אין תנועה יחסית בין 2 הגופים.
כוון הכוח: במקביל למשטח מנוגד לכוון הכוח המנסה להזיז את הגוף.
גודל הכוח: מקבל ערכים בתחום $0 \le f_s \le f_{s\max}$ - תלוי בכוח המנסה להזיז את הגוף.
כל עוד הגוף לא זז f_s שווה לכוח המנסה להזיז את הגוף לפי החוק הראשון של ניוטון ($\Sigma F_X = 0$)
כאשר הגוף על סף תנועה ערכו של f_s מקבל את ערכו המקסימלי שהוא $f_{s\max}$ כאשר $\boxed{f_{s\max} = \mu_s N}$.
N – הכוח הנורמלי שהמשטח מפעיל על הגוף.
μ_s - מקדם חיכוך סטטי. חסר יחידות.

f_k - כוח חיכוך קינטי

מהו? זהו כוח שאותו המשטח מפעיל על גוף המחליק עליו.
מתי קיים? כאשר יש תנועה יחסית בין 2 הגופים.
כוון הכוח: במקביל למשטח מנוגד לכוון התנועה.
גודל הכוח: $\boxed{f_k = \mu_k N}$
N – הכוח הנורמלי שהמשטח מפעיל על הגוף.
μ_k - מקדם חיכוך קינטי . חסר יחידות.

לסיכום, כדי להזיז גוף ממקומו עלינו להתגבר על התנגדות כלשהי המופעלת על הגוף ע"י המשטח עליו הוא מונח. להתנגדות הזו אנו קוראים כוח חיכוך סטטי. לאחר שהצלחנו להזיז גוף ממקומו כוח החיכוך ממשיך לפעול אך משנה את סוגו והופך לכוח חיכוך קינטי.

נבחין בשלושה מצבים שגוף יכול להמצא בהם :

- אם אין תנועה – החיכוך הוא סטטי - f_s - וניתן לחשב אותו לפי חוק 1 של ניוטון ($\Sigma F_X = 0$).
- בסף החלקה - החיכוך הוא סטטי מקסימאלי - $f_{s\max}$ - וניתן לחשב אותו לפי הנוסחא : $f_{s\max} = \mu_s N$.
- אם יש תנועה – החיכוך הוא קינטי - f_k - וניתן לחשב אותו לפי הנוסחא : $f_k = \mu_k N$.

נשאלת השאלה : איך נדע האם הגוף לא זז (ואז החיכוך הוא סטטי או סטטי מקסימאלי)
או האם הגוף בתנועה (ואז החיכוך הוא קינטי).
שלב 1 : נחשב מהו $f_{s\max}$ לפי הנוסחא $f_{s\max} = \mu_s N$.
שלב 2 : נבדוק האם $F_{דשומ}$ (הכוח השקול המנסה להזיז את הגוף או המזיז את הגוף - כל הכוחות הפועלים על הגוף פרט לכוח החיכוך) גדול , קטן או שווה ל- $f_{s\max}$.
שלב 3 : אם $F_{דשומ} > f_{s\max}$, אזי יש תנועה --> החיכוך הוא קינטי, וגודלו הוא $f_k = \mu_k N$.
אם $F_{דשומ} < f_{s\max}$, אזי אין תנועה --> החיכוך הוא סטטי, ונחשב אותו לפי חוק 1 של ניוטון : $\Sigma F_X = 0$.
ואם $F_{דשומ}$ שווה ל - $f_{s\max}$ אזי הגוף נמצא במצב של סף תנועה --> החיכוך הוא סטטי מקסימאלי.

הערות

1. מקדמי החיכוך הקינטי והסטטי הם חסרי יחידות.
2. $\mu_k \le \mu_s$ ולכן $f_k \le f_{s\max}$ כי קשה יותר להתחיל תנועה מאשר להמשיך תנועה.
3. המשוואות $f_k = \mu_k N$ ו- $f_{s\max} = \mu_s N$ הן משוואות סקלריות ולא וקטוריות המתייחסות לגודלו של כוח החיכוך בלבד. f - וקטור שכוונו מקביל למשטח, N - וקטור ניצב למשטח, μ - סקלר.

3 חוקי ניוטון

החוק הראשון של ניוטון – חוק ההתמדה

ניסוח החוק	גוף ששקול הכוחות הפועלים עליו הוא אפס מתמיד במצבו הקודם: אם היה במנוחה ימשיך במנוחה, ואם נע במהירות – ימשיך במהירות קבועה בקו ישר.
ניסוח מתמטי וקטורי	$\Sigma\vec{F}=0 \Leftrightarrow \vec{a}=0$
ניסוח מתמטי לפי רכיבים	$\Sigma F_x=0 \Leftrightarrow a_x=0$ $\Sigma F_y=0 \Leftrightarrow a_y=0$
הערות	• החוק הוא דו כווני: אם שקול הכוחות הפועל על הגוף שווה לאפס - הגוף יהיה במנוחה או במהירות קבועה, ואם הגוף נמצא במנוחה או נע במהירות קבועה בקו ישר - אזי שקול הכוחות הפועלים עליו שווה לאפס. • המצב בו הכוח השקול הפועל על הגוף שווה לאפס נקרא מצב שווי משקל של הגוף.

החוק השני של ניוטון

ניסוח החוק	אם הכוח השקול הפועל על גוף שונה מאפס אז הוא שווה למכפלת מסת הגוף בתאוצת הגוף שהכוח מעניק לגוף.
ניסוח מתמטי וקטורי	$\Sigma\vec{F}\neq 0=m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a}\neq 0$
ניסוח מתמטי לפי רכיבים	$\Sigma F_x\neq 0=ma_x \Leftrightarrow a_x\neq 0$ $\Sigma F_y\neq 0=ma_y \Leftrightarrow a_y\neq 0$
הערות	• החוק הוא דו כווני: אם שקול הכוחות הפועל על הגוף שונה מאפס - הגוף ינוע בתאוצה, ואם הגוף נע בתאוצה - אזי שקול הכוחות הפועלים עליו שונה מאפס. • כיוון הכוח השקול ככוון התאוצה, וכוון התאוצה ככיוון הכוח השקול.

החוק השלישי של ניוטון – חוק הפעולה והתגובה

ניסוח החוק	לכל כוח שמפעיל גוף אחד על גוף שני קיים כוח תגובה שווה בגודל והפוך בכוון שמפעיל הגוף השני על הגוף הראשון.
ניסוח מתמטי וקטורי	$\vec{F}_{1\rightarrow 2}=-\vec{F}_{2\rightarrow 1}$
הערות	• הכוחות ששני הגופים מפעילים הדדית זה על זה נקראים פעולה ותגובה. • צמד הכוחות האלה תמיד פועלים על 2 גופים שונים ולכן לא מבטלים זה את זה.

כוחות שכיחים במכניקה

שם הכוח	מהו	כוון הכוח	גודל הכוח
W- כוח הכובד או המשקל	הכוח שכדור הארץ מפעיל על כל גוף אשר נמצא בקירבתו	כלפי מטה	$w=m\cdot g$
N- הכוח הנורמלי	כוח שאותו מפעיל המשטח על גוף הנשען עליו. הנורמל הוא תגובת המשטח לכוח המופעל עליו.	המשטח דוחף את הגוף-הכוח דוחף את הגוף ומאונך למשטח	עוצמתו תלויה במקרה
T – כוח המתיחות	כוח המופעל על גוף באמצעות חוט הקשור אל הגוף. המתיחות בחוט נובעת מהפעלת כוח על החוט. הערות: 1. כאשר החוט חסר מסה, המתיחות זהה לכל אורכו. 2. גלגלת אידאלית – מסה זניחה, ללא חיכוך – המתיחות בחוט בשני הענפים של הגלגלת זהה.	המתיחות היא תמיד כוח מושך – כוון הכוח בכוון החוט (חבל אפשר רק למשוך, לא לדחוף).	עוצמתו תלויה במקרה

טכניקת פתרון תרגילים בכוחות

1. תרשים כוחות לכל גוף – סימון כוחות הפועלים על כל גוף. (נשרטט את הכוחות כיוצאים ממרכז הגוף)
2. מערכת צירים לכל גוף. (למשל: אחד הצירים יכול להיות בכוון התנועה או הנסיון לתנועה)
3. כוחות שאינם מקבילים לצירים – נפרק לרכיבים.
4. משוואות כוחות לכל גוף לכל ציר:

ציר y	ציר x
אם בציר אין תנועה או יש תנועה במהירות קבועה או אם ידוע שהכוח השקול בציר הוא אפס אזי $\Sigma F_y=0$ אם בציר יש תנועה בתאוצה או אם ידוע שבציר הכוח השקול שונה מאפס אזי $\Sigma F_y=ma_y$	אם בציר אין תנועה או יש תנועה במהירות קבועה או אם ידוע שהכוח השקול בציר הוא אפס אזי $\Sigma F_x=0$ אם בציר יש תנועה בתאוצה או אם ידוע שבציר הכוח השקול שונה מאפס אזי $\Sigma F_x=ma_x$

סיכום - מומנטים במרחב - טכניקת פתרון תרגילים במומנטים במרחב

את ההסבר נדגים על המקרה הבא : נתונה קורה חסרת מסה , מחובר אליה תלוי גוף שמשקלו W, פועל עליה כוח חיצוני F, והיא מוחזקת על ידי 2 חוטים ועל ידי פרק כדורי.

<u>שלב 1:</u> דג"ח על הקורה או על המוט : W – משקל הקורה או משקל גוף תלוי , F- כוח חיצוני, T_1, T_2 - מתיחות החוטים או הכבלים, O_x, O_y, O_z - רכיבי הכוח שמפעיל הפרק.

<u>שלב 2:</u> יש לסמן בשרטוט את שיעורי הנקודות הבאות :

- נקודות פעולת הכוח (כדי לחשב את הזרוע)
- שיעורי נקודות קצות החוט – שיעור נקודת תחילת החוט ושיעור נקודת סוף החוט (כדי לחשב את אורך החוט ואת היטל החוט על הצירים למציאת קוסינוס הזוית).

<u>שלב 3:</u> יש לבחור נקודת ייחוס סביבה נחשב מומנטים.

בדוגמא שלנו : סביב נקודה O : $\sum \vec{M}_{(O)} = \vec{M}_{W_{(O)}} + \vec{M}_{F_{(O)}} + \vec{M}_{T_{1(O)}} + \vec{M}_{T_{2(O)}}$

<u>שלב 4:</u> יש לרשום דטרמיננטות של מומנטים לכל אחד מהכוחות סביב הנקודה שבחרנו :

$$\vec{M}_F = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \hat{x}\underbrace{(\;)}_{M_{F\,x}} - \hat{y}\underbrace{(\;)}_{M_{F\,y}} + \hat{z}\underbrace{(\;)}_{M_{F\,z}}$$

שורה 2 בדטרמיננטה : רכיבי וקטור הזרוע : $\vec{r}(r_x, r_y, r_z)$ - וקטור שזנבו בנקודת הייחוס בה מחושב המומנט וראשו בנקודה בה מופעל הכוח.

שורה 3 בדטרמיננטה : רכיבי וקטור הכוח $\vec{F}(F_x, F_y, F_z)$ - היטלי וקטור הכוח על ציר x, על ציר y ועל ציר z.

ניתן למצוא את הטלי הוקטורים לפי שיטת קוסינוסי הכיוון :

$$\cos\theta_x = \frac{\Delta x}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}} \qquad \cos\theta_y = \frac{\Delta y}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}} \qquad \cos\theta_z = \frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}}$$

$$\Rightarrow \qquad F_x = F\cos\theta_x \qquad F_y = F\cos\theta_y \qquad F_z = F\cos\theta_z$$

<u>שלב 5</u>: $\sum \vec{M}_{(O)} = 0$: יש לקחת את רכיבי המומנטים מתוצאת הדטרמיננטה – מהתוצאה של המכפלה הוקטורית.

בדוגמא שלנו : $\sum \vec{M}_{(O)} = \vec{M}_{W_{(O)}} + \vec{M}_{F_{(O)}} + \vec{M}_{T_{1(O)}} + \vec{M}_{T_{2(O)}} = 0$

$$\sum M_x = 0 \qquad \text{אמגודב\_ונלש} \rightarrow \qquad (M_W)_x + (M_F)_x + (M_{T_1})_x + (M_{T_2})_x = 0$$

$$\sum M_y = 0 \qquad \text{אמגודב\_ונלש} \rightarrow \qquad (M_W)_y + (M_F)_y + (M_{T_1})_y + (M_{T_2})_y = 0$$

$$\sum M_z = 0 \qquad \text{אמגודב\_ונלש} \rightarrow \qquad (M_W)_z + (M_F)_z + (M_{T_1})_z + (M_{T_2})_z = 0$$

<u>שלב 6</u>: $\sum \vec{F} = 0$: יש לקחת את רכיבי הכוחות מהשורה השלישית בתוך הדטרמיננטה.

ולא לשכוח להוסיף את רכיבי הכוח שמפעיל הפרק הכדורי O_x, O_y, O_z.

$$\sum F_x = 0 \qquad \text{אמגודב\_ונלש} \rightarrow \qquad O_x + W_x + F_x + T_{1x} + T_{2x} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad \text{אמגודב\_ונלש} \rightarrow \qquad O_y + W_y + F_y + T_{1y} + T_{2y} = 0$$

$$\sum F_z = 0 \qquad \text{אמגודב\_ונלש} \rightarrow \qquad O_z + W_z + F_z + T_{1z} + T_{2z} = 0$$

עבודה W

.1 עבודה של כוח קבוע

כאשר גוף נע על קו ישר העבודה הנעשית ע״י כוח קבוע F היא :

$$\boxed{W_F = \vec{F} \bullet \Delta\vec{x} = \left|\vec{F}\right| \cdot \left|\Delta\vec{x}\right| \cdot \cos\theta}$$

כאשר θ היא הזוית בין כוון הכוח לכוון התנועה

.2 עבודה של כוח משתנה

$$W_{F(r)} = \int_{r_1}^{r_2} dw = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F}(r) \bullet d\vec{r}$$

ועבור תנועה על קו ישר

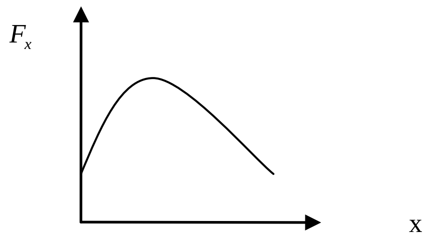
$$\boxed{W_{F(x)} = \int_{x_1}^{x_2} dw = \int_{x_1}^{x_2} \vec{F}(x) \bullet d\vec{x}}$$

.3 הערות על עבודה

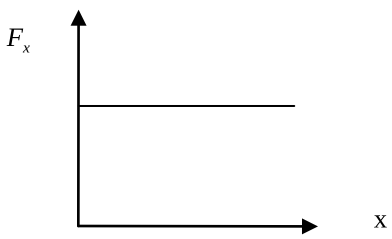
1. העבודה היא סקלר.
2. יחידות של עבודה : J $\quad N \cdot m = \dfrac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m = \dfrac{kg \cdot m^2}{s^2} = J$
3. כוח עושה עבודה רק כאשר הוא פועל על גוף הנמצא בתנועה ויש לו רכיב בכיוון התנועה .
4. כאשר לכוח יש רכיב בכוון התנועה – הכוח מבצע עבודה חיובית ,כאשר לכוח יש רכיב מנוגד לכוון התנועה – הכוח מבצע עבודה שלילית וכאשר הכוח ניצב לכוון התנועה $(\alpha = 0)$ - הכוח לא מבצע עבודה.
5. אם הכוח הנורמלי ניצב לכיוון התנועה אז : $W_N = N \cdot \Delta x \cdot \cos 90 = N \cdot \Delta x \cdot 0 = 0$
6. תמיד עבודת כוח החיכוך היא שלילית ואם הוא קבוע אז : $W_{f_k} = f_k \cdot \Delta x \cdot \cos 180 = f_k \cdot \Delta x \cdot (-1) = -f_k \cdot \Delta s$

.4 גרף כוח – מיקום

בגרף כוח- מיקום העבודה שמבצע F_x (זהו רכיב הכוח $F_x = F\cos\theta$ F לאורך מסלול התנועה) לאורך העתק Δx הוא השטח מתחת לעקום :



הכוח משתנה



הכוח קבוע

.5 הספק P - זהו קצב ביצוע העבודה :

$$\boxed{P = \frac{dW}{dt}} \quad \Rightarrow W = \int_{t_1}^{t_2} P(t)dt$$

- יחידות תקניות של הספק : $Watt = \dfrac{J}{\sec}$
- עבור כוח קבוע ומהירות קבועה נקבל :

$$\boxed{P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(F \cdot dx) \underset{F\_const}{=} F \cdot \frac{dx}{dt} = F \cdot v}$$

כאשר F זהו הכוח הקבוע ו – v זוהי מהירות הגוף.

- כוח סוס : יחידות נוספות של הספק הן כוח סוס $HP = Horse\_Power$:

$1HP$ זהו ההספק של העבודה שמבצע סוס שמרים אדם שמסתו 75 ק״ג לגובה של 1 מטר במשך שניה אחת :

$$W = mgh = 75 \cdot 10 \cdot 1 = 750J \quad \Rightarrow \quad P = \frac{dW}{dt} = \frac{750J}{1\sec} = 750Watt = 1HP \quad \Rightarrow \quad 1HP = 750Watt$$

אנרגיה E

1. אנרגיה היא יכולת של מערכת כלשהי לבצע עבודה. מערכת יכולה להיות גוף יחיד או מספר גופים. אנרגיה האגורה בגוף היא כמות האנרגיה שניתן להפיק ממנו.

אנרגיה היא סקלר ונמדדת ביחידות של ג'אול.

---

2. שלושה סוגי אנרגיה מכנית:

אנרגיה קינטית E_k - אנרגיה שיש לגוף כתוצאה מהיותו בעל מהירות: $\boxed{E_k = \frac{1}{2}mv^2}$

אנרגיה פוטנציאלית כובדית $E_{p(grav)}$ - אנרגיה המתווספת לגוף כאשר מרימים אותו לגובה h: $\boxed{E_{p(grav)} = mgh}$

כאשר g היא תאוצת הכובד של כדה"א. את הגובה h מודדים ממישור הנקרא מישור הייחוס.
את מישור הייחוס ניתן לבחור כרצוננו, אך צריך להקפיד על הסימנים בנוסחא: כלומר, אם הגוף נמצא מעל מישור הייחוס האנרגיה הפוטנציאלית שלו חיובית, אם הגוף נמצא מתחת למישור הייחוס האנרגיה הפוטנציאלית שלו שלילית ואם הגוף נמצא במישור הייחוס האנרגיה הפוטנציאלית שלו אפס.

אנרגיה פוטנציאלית אלסטית $E_{p(el)}$- אנרגיה הקיימת בכל קפיץ שהזיזו אותו מהמצב הרפוי שלו: $\boxed{E_{p(el)} = \frac{1}{2}k \cdot (\Delta x)^2}$

$\Delta x(m)$ - העתק הקפיץ ממצב רפוי.

$k(\frac{N}{m})$ - קבוע הקפיץ – גודל סקלרי המשתנה מקפיץ לקפיץ ומביע את חוזקו.

קבוע הקפיץ זהו הכוח הדרוש למתיחת או לכיווץ קפיץ מסוים ביחידת אורך של 1 מטר מהמצב הרפוי שלו.
ככל ש k גדל הקפיץ יותר חזק, כלומר יש להשקיע כוח רב יותר כדי להאריכו או לכווצו.

סימני האנרגיה
האנרגיה הקינטית של גוף בעל מהירות תמיד חיובית ולא תלויה בכוון התנועה.
האנרגיה האלסטית של הקפיץ בתזוזה ממצב רפוי תמיד חיובית ולא תלויה בכוון התזוזה של הקפיץ.
האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית של גוף יכולה להיות חיובית או שלילית או אפס, תלוי במישור הייחוס.

---

3. כוח משמר

- כוח משמר הוא כוח שמשמר את האנרגיה – אם הכוח היחיד שפועל על הגוף הוא כוח משמר אזי כאשר הגוף יחזור לאותו מקום תהיה לו את אותה האנרגיה קינטית, או בכל נקודה יש לו את סך כל האנרגיה המכנית.
- כוח הכובד וכוח הקפיץ הם כוחות משמרים.

עבודה של כוח משמר

- לעבודה הנעשית ע"י כוח משמר יש את התכונות הבאות:
  1. היא איננה תלויה במסלול של הגוף אלא רק בנקודות ההתחלה והסוף.
  2. לאורך מסלול סגור עבודת הכוח המשמר היא אפס, כלומר כשנקודת הסוף היא בנקודת ההתחלה שווה העבודה הכללית לאפס.
  3. לכוח משמר מגדירים אנרגיה פוטנציאלית, ועבודת הכוח המשמר שווה להפרש בין הערך התחילי לערך הסופי של האנרגיה הפוטנציאלית.

  או עבודת כוח משמר שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית: $W_C = U_f - U_i = -\Delta U$

  כלומר $\boxed{W_{mg} = -\Delta E_{p(grav)}}$ ו- $\boxed{W_{el} = -\Delta E_{p(el)}}$

---

4. משוואת מאזן עבודה אנרגיה

E_i - סך כך האנרגיה של המערכת במצב התחלתי, E_f - סך כך האנרגיה של המערכת במצב סופי,

W_{ext} - עבודת כוחות לא משמרים: עבודת כל הכוחות החיצוניים הפועלים על המערכת פרט לעבודת כוח הכובד ועבודת כוח הקפיץ (להם הגדרנו אנרגיה פוטנציאלית).

$$\boxed{E_i + W_{ext} = E_f} \quad \Rightarrow \quad \boxed{W_{ext} = E_f - E_i = \Delta E} \quad \Rightarrow \quad \boxed{W_{ext} = \Delta E_k + \Delta E_{p(grav)} + \Delta E_{p(el)}}$$

נבחין בשלושה מצבים:

אם $W_{ext} > 0$ אזי $\Delta E > 0$ - אנרגית המערכת גדלה.

אם $W_{ext} < 0$ אזי $\Delta E < 0$ - אנרגית המערכת קטנה.

אם $W_{ext} = 0$ אזי $\Delta E = 0$ $\Leftarrow$ $E_i = E_f$ $\Leftarrow$ סך כל האנרגיה במערכת נשמר, המצב נקרא: שימור אנרגיה.

כוחות בתנועה מעגלית - סיכום

מקרה 1: תנועה מעגלית במהירות קבועה בגודלה

כאשר גוף נע ופועל עליו כוח שקול הניצב לכוון התנועה הגוף יבצע תנועה במסלול מעגלי במהירות קבועה. את הכוח השקול הפונה למרכז המעגל אנו מכנים בשם : כוח רדיאלי/צנטריפטלי.
הכוח הרדיאלי גורם לתאוצה הרדיאלית המכוונת גם היא למרכז המעגל וגורמת לשינוי בכיוון המהירות, אך לא לשינוי בגודל המהירות.

לפי חוק שני של ניוטון : $\sum F_R = ma_R$ כאשר $a_R = \frac{v^2}{R} = w^2 R$

טכניקת פתרון תרגילים בתנועה מעגלית במהירות קבועה בגודלה

1. יש לזהות את מישור התנועה המעגלית – המישור התחום ע"י התנועה במעגל.
2. יש לסמן את הכוחות הפועלים על הגוף.
3. מערכת צירים : ציר r – על פני מישור התנועה המעגלית לכוון מרכז המעגל.
   ציר y – ניצב למישור התנועה המעגלית.
4. פירוק כוחות שאינם מקבילים לצירים לרכיבים.
5. משוואות כוחות לכל ציר :

עבור צופה חיצוני		עבור צופה במערכת המאיצה (לאחר שהוספנו כוח דלמבר "ma_R" רדיאלית החוצה)	
ציר y	ציר r	ציר y	ציר r
$\sum F_y = 0$ כי אין תנועה בציר y	$\sum F_R = ma_R$ כי יש תנועה מעגלית	$\sum F_{y(rel)} = 0$ כי אין תנועה בציר y	$\sum F_{R(rel)} = 0$ כי אין תנועה בציר r

דוגמא לתנועה מעגלית במהירות קבועה בגודלה: תקליט מסתובב במהירות קבועה w ועליו מונח מטבע במרחק R ממרכזו. נרשום משוואות כוחות לכל ציר :

עבור צופה חיצוני		עבור צופה על התקליט	
ציר y	ציר r	ציר y	ציר r
$\sum F_y = 0$	$\sum F_R = ma_R$	$\sum F_{y(rel)} = 0$	$\sum F_{R(rel)} = 0$
$N - mg = 0$	$f_s = ma_R$	$N - mg = 0$	$f_s - "ma_R" = 0$

מתי תהיה החלקה? כאשר w יגדל כך ש $"ma_R" > f_{s\max}$

נכתב ע"י שירלי עידן

מקרה 2: תנועה מעגלית במהירות משתנה בגודלה

נדון בתנועה מעגלית בה המהירות משתנה גם בגודלה.
כאמור, כדי שתתקיים תנועה מעגלית חייב להיות כוח רדיאלי . הכוח הרדיאלי גורם לתאוצה רדיאלית הגורמת לשינוי בכיוון התנועה כלומר לתנועה מעגלית.
אך אם בנוסף לכוח הרדיאלי יש גם רכיב של כוח בכיוון משיק למעגל , הכוח גורם לתאוצה משיקית שגורמת לשינוי בגודל המהירות . אם כיוון הכוח המשיקי (ואיתו כוון התאוצה המשיקית) הם בכוון התנועה אזי מהירות הגוף תגדל , ולהיפך: אם כיוון הכוח המשיקי (ואיתו כוון התאוצה המשיקי ת) מנוגדים לכיוון התנועה אזי מהירות הגוף תקטן.

טכניקת פתרון תרגילים בתנועה מעגלית במהירות משתנה בגודלה

1. יש לזהות את מישור התנועה המעגלית – המישור התחום ע"י התנועה במעגל.
2. יש לסמן את הכוחות הפועלים על הגוף.
3. מערכת צירים: ציר r – על פני מישור התנועה המעגלית לכיוון מרכז המעגל.
   ציר t – בכיוון משיק לכיוון תנועת הגוף באותו הרגע.
4. פירוק כוחות שאינם מקבילים לצירים לרכיבים.
5. משוואות כוחות לכל ציר:

עבור צופה חיצוני		עבור צופה במערכת המאיצה (לאחר שהוספנו 2 כוחות דלמבר - "ma_R" רדיאלית החוצה ו- "ma_t" נגד כוון a_t)	
ציר t	ציר r	ציר t	ציר r
$\sum F_t = ma_t$ כי יש תאוצה בציר t	$\sum F_R = ma_R$ כי יש תנועה מעגלית	$\sum F_{t(rel)} = 0$ כי אין תנועה בציר t	$\sum F_{R(rel)} = 0$ כי אין תנועה בציר r

דוגמא לתנועה מעגלית במהירות משתנה בגודלה: תקליט מתחיל לה סתובב ממנוחה בתאוצה זוויתית קבועה α. על התקליט מונח מטבע במרחק R ממרכזו. נרשום משוואות כוחות לכל ציר:

עבור צופה חיצוני		עבור צופה על התקליט	
ציר t	ציר r	ציר t	ציר r
$\sum F_t = ma_t$	$\sum F_R = ma_R$	$\sum F_{t(rel)} = 0$	$\sum F_{R(rel)} = 0$
$f_{st} = ma_t$	$f_{sr} = ma_R$	$f_{st} - "ma_t" = 0$	$f_{sr} - "ma_R" = 0$

תנועה הרמונית פשוטה

1. תנועה הרמונית פשוטה וכוח מחזיר

ת.ה.פ. היא תנועה של גוף המתנודד סביב מצב שווי משקל תחת השפעת כוח מחזיר.

זוהי תנועה מחזורית (תנועה שחוזרת על עצמה במרווחי זמן קבועים).

כוח מחזיר זהו כוח המכוון תמיד כלפי מרכז התנועה – נקודת שווי משקל – בה שקול הכוחות שווה לאפס.

הכוח המחזיר תלוי בהעתק ממצב שווי משקל.

הערה: בת.ה.פ. יש שימור אנרגיה והתנועה תימשך לעד.

2. דוגמא לכוח מחזיר בקפיץ אופקי המבצע ת.ה.פ.

$$\Sigma F = ma$$

$$k\Delta x = ma$$

כיוון הכוח: לכיוון מצב שווי משקל

עוצמת הכוח: הכוח פרופורציונאלי למעתק מנקודת שווי משקל.

בקצוות: $x = \pm A$ ← הכוח מקבל ערך מקסימאלי

ולכן התאוצה מקסימאלית.

בנ.ש.מ: $x = 0$ ← הכוח אפס ולכן התאוצה גם אפס.

3. נקודת שווי משקל בקפיץ אופקי ואנכי

הגוף מבצע ת.ה.פ סביב נקודת שווי משקל.

בקפיץ אופקי - נקודת שווי משקל היא הנקודה בה הקפיץ רפוי.

בקפיץ אנכי - נקודת שווי משקל היא הנקודה של השקיעה הסטטית של הקפיץ.

4. משוואות התנועה בת.ה.פ.

משוואות תנועה כתלות במעתק	משוואות תנועה כתלות בזמן
$v(x) = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$ $a(x) = -\omega^2 x$	$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$ $v(t) = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \varphi)$ $a(t) = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$

5. **אמפליטודה,מהירות זויתית וזווית מופע**

A - משרעת/אמפליטודה – מעתק מקסימאלי מנקודת שווי משקל .

ω - מהירות זוויתית - $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ כאשר : T הוא זמן מחזור של התנודה.

בקפיץ $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

במטוטלת $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$

φ -זווית מופע התחלתית - קובעת את מעתק הגוף בתחילת המדידה.

6. **המעתק, המהירות, הכוח המחזיר והתאוצה בת.ה.פ.של קפיץ אופקי**

	כאשר הגוף חולף בקצה התנודה	כאשר הגוף חולף בנ.ש.מ.	כאשר הגוף חולף בקצה התנודה
המעתק	$x_{\max} = +A$	$x = 0$	$x_{\max} = -A$
מהירות הגוף	$v = 0$	$v_{\max} = \pm\omega A$	$v = 0$
הכוח המחזיר	$F_{\max} = -kA$	$F = 0$	$F_{\max} = +kA$
תאוצת הגוף	$a_{\max} = -\omega^2 A$	$a = 0$	$a_{\max} = +\omega^2 A$

תנועה סיבובית של גוף קשיח

1. מומנט התמד

$$\boxed{I_O = \int_m r^2 dm}$$

המשמעות הפיסיקלית של מומנט האינרציה הוא מידת פיזור המסה בגוף סביב ציר מסויים . מומנט ההתמד הוא תכונה של גוף עבור ציר סיבוב מסוים. אם הגוף משוכלל והציר הוא במרכז הגוף אזי ככל שמסת הגוף יותר רחוקה מהמרכז ממומנט האינרציה של הגוף גדל. מומנט ההתמד של גוף הוא מדד להתנגדות של גוף לשינוי במהירות הזוויתית שלו (בדומה למסה בתנועה קווית).
<u>לדוגמא</u>: נתבונן על מומנט ההתמד של דיסקה ושל חישוק דק דופן (עובי הדופן קטן מאד מאד) בעלי אותה מסה ואותו רדיוס ביחס לציר העובר במרכז הגוף: $I_{O\ \text{דיסקה}} = 0.5MR^2$, $I_{O\ \text{חישוק\_דק\_דופן}} = MR^2$.
ההבדל בינהם הוא בפיזור המסה סביב המרכז . בחישוק רוב המסה רחוקה מציר הסיבוב לעומת דיסקה שבה יש מסות קרובות לציר הסיבוב ויש מסות רח וקות מציר הסיבוב. המומנט הדרוש כדי להאיץ את החישוק גדול פי 2 מאשר המומנט הדרוש כדי להאיץ את הדיסקה לאותה תאוצה זויתית.

2. מומנט התמד של כמה גופים משוכללים

הגוף	מומנט ההתמד – הציר במרכז הגוף (אלא אם כן מצויין אחרת)
דיסקה (גליל מלא)	$I_O = \frac{1}{2}MR^2$
חישוק דק דופן	$I_O = MR^2$
מוט דק - הציר מאונך לו ועובר במרכז המוט	$I_O = \frac{1}{12}ML^2$
מוט דק - הציר מאונך לו ועובר באחד הקצוות של המוט	$I = \frac{1}{3}ML^2$

3. <u>משפט שטיינר</u>

אם ידוע לנו מומנט ההתמד של גוף שמסתו m דרך מרכז הכובד שלו (I_{CM}), אזי נוכל למצוא את מומנט ההתמד שלו (I) סביב כל ציר מקביל אחר המרוחק מרחק d מהציר הראשון: $\boxed{I = I_{CM} + md^2}$

4. <u>חוק שני של ניוטון למומנטים</u>

אם סכום המומנטים שפועלים על הגוף שונה מאפס אזי הגוף יסתובב בתאוצה זוויתית לפי הקשר להל"ן, ואם גוף מסתובב בתאוצה זוויתית אז סכום המומנטים שפועל עליו שונה מאפס לפי הקשר הבא: $\boxed{\vec{M}_0 = I_0\vec{\alpha}}$

5. <u>מומנט חיובי ומומנט שלילי</u>

אם הכוח עוזר לסיבוב (בכוון הסיבוב) אז המומנט שלו חיובי.
ואם הכוח מתנגד לסיבוב (נגד כוון הסיבוב) אז המומנט שלו שלילי.

6. אנרגיה קינטית של גוף קשיח בתנועה סיבובית

<u>מקרה 1 : גוף קשיח מסתובב סביב ציר קבוע</u> $\boxed{E_k = \frac{1}{2}I\omega^2}$

האנרגיה הקינטית של הגוף הקשיח היא רק אנרגיה קינטית של סיבוב.

<u>מקרה 2 : גוף קשיח בגלגול ללא החלקה</u> $\boxed{E_k = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mv_{CM}^2}$

האנרגיה הקינטית של הגוף הקשיח היא אנרגיה קינטית של תנועה סיבובית וגם אנרגיה קינטית של תנועה קווית של מרכז המסה כאשר $v_{CM} = \omega R$.

7. גוף קשיח בגלגול ללא החלקה

- נרשום את משוואת הכוחות עבור נקודת מרכז המסה של הגוף: $\boxed{\sum F = Ma_{CM}}$
- הקשר בין גדלים של מרכז המסה לגדלים זויתיים הוא:

$\boxed{a_{CM} = \alpha R}$ $\boxed{v_{CM} = \omega R}$ $\boxed{s_{CM} = \theta R}$

תנע זוויתי

1. מומנט התמד של גוף נקודתי m

$$\boxed{I_O = mR^2}$$

R- המרחק בין החלקיק m לבין ציר הסיבוב

---

2. מומנט התמד של גוף המורכב ממספר גופים סימטריים

עבור גוף המורכב ממספר גופים סימטריים (למשל גוף נקודתי המחובר למוט) מומנט האינרציה המשותף יהיה סכום מומנטי האינרציה של הגופים הנפרדים, כשהמומנטים שלהם מחושבים כולם ביחס לאותו ציר.

---

3. תנע זוויתי

$$\vec{L}_0 = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times (m\vec{v}) = I_0\vec{\omega}$$

לכל גוף שמסתובב יש תנע זוויתי, שמעניק לו יציבות. התנע הזוויתי למעשה מבטא את נטייתו של גוף להסתובב.

על התנע הזוויתי חל חוק שימור ולמעשה סכום התנע הזוויתי ביקום הינו קבוע. התנע הזוויתי מושפע ממסת הגוף, מהירותו ורדיוס הסיבוב, כאשר פרמטר אחד משתנה, גם האחרים ישתנו על מנת לפצות על השינוי.

התנע הקווי של גוף נקודתי שמוגדר כמכפלת מהירותו של הגוף במסתו, $p = mv$, מהווה מדד ליכולתו להתמיד בתנועתו.
באופן דומה, מהווה התנע הזוויתי מדד ליכולתו של גוף, בפרט קשיח, להתמיד בתנועתו הסיבובית.

תנע זוויתי של גוף קשיח בעל מומנט התמד I יחסית לציר מסויים ואשר מסתובב סביב ציר זה במהירות זוויתית ω	$L_o = I_0\omega$
תנע זוויתי של גוף נקודתי שמסתו m שנמצא במרחק R מנקודה O.	$L_o = I\omega = (mR^2)(\frac{v}{R}) = mvR$

---

4. חוק שימור התנע הזוויתי

המתקף הזויתי $J_\theta = \int(\sum M_O)dt$ שווה לשינוי בתנע הזוויתי ΔL : $\Delta L = J_\theta = \int(\sum M_O)dt$.

ולכן כאשר לא פועל מתקף זוויתי חיצוני $J_\theta = \int(\sum M_O)dt$ לא יהיה שינוי בתנע הזוויתי ΔL , כלומר אם המומנט השקול החיצוני הפועל על מערכת סביב ציר O שווה לאפס, התנע הזוויתי של המערכת סביב ציר O נותר ללא שינוי.

$$\boxed{L = L^{'}}$$

$$\boxed{I_1\omega_1 + I_2\omega_2 = I_1^{'}\omega_1^{'} + I_2^{'}\omega_2^{'}}$$

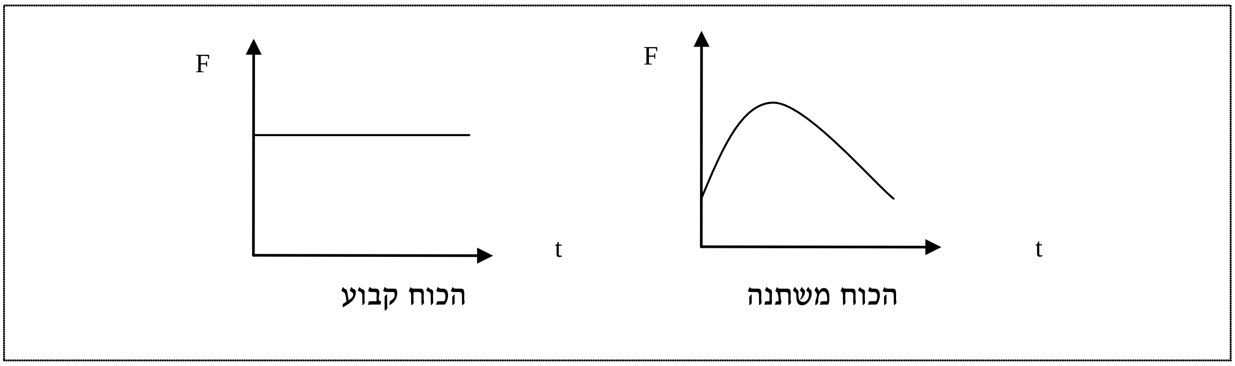
מתקף ותנע

1. מתקף של כוח

1. אם הכוח קבוע : המתקף שווה למכפלת הכוח הקבוע בזמן פעולתו : $\boxed{\vec{J}_F = \vec{F} \cdot \Delta t}$

2. אם הכוח משתנה : $\boxed{\vec{J}_F = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t)dt}$

3. מציאת המתקף לפי גרף כוח-זמן : בגרף כוח-זמן המתקף של הכוח במשך זמן Δt הוא השטח מתחת לעקום :



4. הערות : המתקף הוא וקטור, כיוון וקטור המתקף ככיוון וקטור הכוח.

יחידת המתקף היא : $(N \cdot s)$

2. תנע של גוף

תנע של גוף זו מכפלת מסת הגוף במהירותו : $\boxed{\vec{p} = m\vec{v}}$

הערות : התנע הוא וקטור, כיוון וקטור התנע ככיוון וקטור המהירות.

יחידת התנע היא : $\left(\frac{kg \cdot m}{s}\right)$, והיא שווה ליחידת המתקף ($N \cdot s$).

3. השפעתו של המתקף הכולל על שינוי התנע של הגוף

המתקף הכולל הפועל על גוף במשך מרווח זמן מסויים שווה לשינוי בתנע של הגוף במהלך אותו מרווח ז מן :

$$\vec{J}_{\Sigma F} = \Delta \vec{p}$$

או :

$$\int_{t_1}^{t_2} \Sigma \vec{F}(t)dt = \vec{p}_f - \vec{p}_i = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

4. מערכת סגורה ותנע של מערכת

<u>מערכת סגורה</u> : מערכת גופים שאין פועלים עליהם כוחות חיצוניים מכונה מערכת סגורה. הכוחות היחידים הפועלים במערכת סגורה הם אלה שהגופים מפעילים זה על זה. מערכת סגורה עשויה לכלול 2 גופים או יותר. מערכת גופים נחשבת לסגורה גם כאשר פועלים על גופי המערכת כוחות חיצוניים , בתנאי ששקול הכוחות החיצוניים הפועלים על כל גוף שווה לאפס, כלומר המתקף שהם מפעילים על כל גוף שווה לאפס.

<u>תנע כולל של מערכת</u> : מוגדר כסכום וקטורי של התנעים של גופי המערכת :

$$\vec{p}_{\text{גופית\_דו\_מערכת}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$$

5. חוק שימור התנע למערכת גופים סגורה

כל עוד מערכת הגופים סגורה, התנע הכולל $\vec{p}_{\text{מערכת}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ של המערכת קבוע כפונקציה של הזמן :

$$\vec{p}_{\text{מערכת}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = const \quad \Rightarrow \quad \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1^{'} + \vec{p}_2^{'} \quad \Rightarrow \quad \boxed{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2}$$

$\vec{v}_1, \vec{v}_2$ - מהירויות הגופים לפני ההתנגשות

$\vec{u}_1, \vec{u}_2$ - מהירויות הגופים אחרי ההתנגשות

כלומר, במהלך האינטרקציה בין גופי המערכת התנע של כל אחד מגופי המערכת עשוי להשתנות בגודלו ובכיוונו , אולם התנע הכולל של המערכת נשמר.

(רשמנו את חוק שימור התנע עבור מערכת דו גופית, אך הוא מתקיים גם עבור מערכת רב גופית).

6. חוק שימור התנע בהתנגשות חד מימדית ודו מימדית

<u>התנגשות חד מימדית או התנגשות מיצחית :</u>

מסלולי התנועה של הגופים לפני ההתנגשות ואחריה נמצאים על קו ישר אחד.

שימור תנע בציר x :

$$\boxed{m_1v_1 + m_2v_2 = m_1u_1 + m_2u_2}$$

<u>התנגשות דו מימדית :</u>

מסלולי התנועה של הגופים לפני ההתנגשות ואחריה כלולים במישור אחד ולא על קו ישר .

שימור תנע בציר x :

$$m_1v_{1x} + m_2v_{2x} = m_1u_{1x} + m_2u_{2x}$$

שימור תנע בציר y :

$$m_1v_{1y} + m_2v_{2y} = m_1u_{1y} + m_2u_{2y}$$

7. 3 סוגי התנגשויות ורתע

התנגשות היא מפגש בין 2 גופים המתרחש בפרק זמן קצר מאד.

אם המערכת היא סגורה מתקיים חוק שימור התנע.

<u>1. התנגשות פלסטית לחלוטין</u>

- הגדרה : הגופים נצמדים זה לזה בעקבות ההתנגשות ונעים כגוף אחד.
- שימור תנע בהתנגשות פלסטית לחלוטין : $\boxed{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}}$
- לא מתקיים שימור אנרגיה אלא האנרגיה קטנה ומשתחררת כחום.

2. התנגשות אלסטית לחלוטין

- הגדרה : 2 הגופים מתנגשים ונפרדים ויש שימור אנרגיה בתהליך ההתנגשות.
- שימור תנע בהתנגשות אלסטית לחלוטין : $\boxed{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2}$
- מתקיים שימור אנרגיה במהלך ההתנגשות : $\boxed{\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2}$
- עבור מקרה פרטי של התנגשות אלסטית לחלוטין <u>מיצחית</u> אפשר להשתמש במשוואת שימור אנרגיה הבאה : $\boxed{(v_2 - v_1) = -(u_2 - u_1)}$ במקום משוואת שימור אנרגיה .

3. התנגשות אלסטו - פלסטו

- הגדרה : 2 הגופים מתנגשים ונפרדים ואין שימור אנרגיה במהלך ההתנגשות.
- שימור תנע בהתנגשות אלסטו-פלסטו : $\boxed{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2}$
- לא מתקיים שימור אנרגיה אלא האנרגיה קטנה ומשתחררת כחום .

4. רתע

- הגדרה : 2 הגופים נפרדים בעקבות הרתע או ההתפוצצות (מצב הפוך להתנגשות פלסטית לחלוטין).
- שימור תנע : $\boxed{(m_1 + m_2)\vec{v} = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2}$
- לא מתקיים שימור אנרגיה אלא האנרגיה גדלה.

8. שינוי האנרגיה (האנרגיה קינטית) בהתנגשויות וברתע

$$\boxed{\Delta E_k = E_{k(\text{סופי})} - E_{k(\text{התחלתי})} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)}$$

בהתנגשות פלסטית לחלוטין : $E_{k(\text{סופי})} < E_{k(\text{התחלתי})}$ $\Delta E_k < 0$ האנרגיה הקינטית אובדת לחום.

בהתנגשות אלסטית לחלוטין : $E_{k(\text{סופי})} = E_{k(\text{התחלתי})}$ $\Delta E_k = 0$ האנרגיה הקינטית נשמרת.

בהתנגשות אלסטו – פלסטו : $E_{k(\text{סופי})} < E_{k(\text{התחלתי})}$ $\Delta E_k < 0$ האנרגיה הקינטית אובדת לחום.

ברתע : $E_{k(\text{סופי})} > E_{k(\text{התחלתי})}$ $\Delta E_k > 0$ האנרגיה הקינטית גדלה.

9. מקדם תקומה

בהתנגשות מיצחית מגדירים מקדם תקומה : $\boxed{e = -\frac{u_2 - u_1}{v_2 - v_1}}$

בהתנגשות פלסטית לחלוטין : $e = 0$.

בהתנגשות אלסטית לחלוטין : $e = 1$ (זו בעצם משוואת שימור אנרגיה בהתנגשות מיצחית אלסטית לחלוטין).

בהתנגשות אלסטו – פלסטו : $0 < e < 1$.

המשמעות הפיסיקלית של מקדם התקומה היא עד כמה ההתנגשות היתה אלסטית לחלוטין או פלסטית לחלוטין .