

# פרק 9- תנע ואנרגיה

## 9.1 תנע

הסבר אינטואיטיבי:

בואו נחשוב על תאונת דרכים בה שני כלי רכב מתנגשים, בעקבות ההתנגשות תנועתם משתנה. במה תלויות תוצאות ההתנגשות? האם יש הבדל בין התנגשות של משאית כבדה באופנוע קל לבין התנגשות האופנוע במשאית? כאשר משאית מתנגשת באופנוע הוא יזרק למרחק רב ואילו המשאית תמשיך במסלולה כמעט ללא שינוי. במצב הפוך- סביר להניח שהאופנוע יעצר ואילו המשאית כמעט שלא תחוש בהתנגשות. אילו פרמטרים משפיעים על עוצמת ההתנגשות? קיימים פרמטרים רבים אך העיקריים הם מסת הרכבים, המהירות שלהם וכיוון ההתנגשות.

מושג התנע הוגדר לראשונה על ידי דקארט ששיער כי כמות התנועה בעולם קבועה- למשל, במשחק סנוקר, התנועה מועברת מכדור לכדור וכמות התנועה הכללית נשמרת. את חוק שימור התנע כמו שאנו מכירים היום ניסח ניוטון, חוק זה מאפשר לנו לחזות תנועה של גופים לאחר התנגשות ביניהם מבלי להזדקק לתיאור מפורט של הכוחות והתהליכים שקרו בין המצב ההתחלתי והסופי. זהו אחד החוקים החשובים ביותר בפיזיקה.

**תנע קווי:**

התנע הקווי של גוף נקודתי שמסתו  $m$  הנע במהירות  $\vec{v}$  שווה למכפלת מסת הגוף במהירותו

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

**חוק שימור התנע הקווי:**

אם שקול הכוחות החיצוניים הפועל על המערכת מתאפס, התנע הקווי של המערכת נשמר.

$$\sum \vec{F}^{ext} = 0 \Rightarrow \vec{p}(t) = \vec{p}(0)$$

בהתנגשויות נהוג להתבונן במצב ההתחלתי ובמצב הסופי. כאשר התנע נשמר, התנע הכולל בהתחלה שווה לתנע הכולל בסוף. עבור שני גופים בעלי  $m_1$  ו-  $m_2$  נוכל לכתוב:

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = m_1\vec{u}_{1,f} + m_2\vec{u}_{2,f}$$

כאשר  $v$  היא המהירות לפני ההתנגשות ו-  $u$  היא המהירות לאחר ההתנגשות.

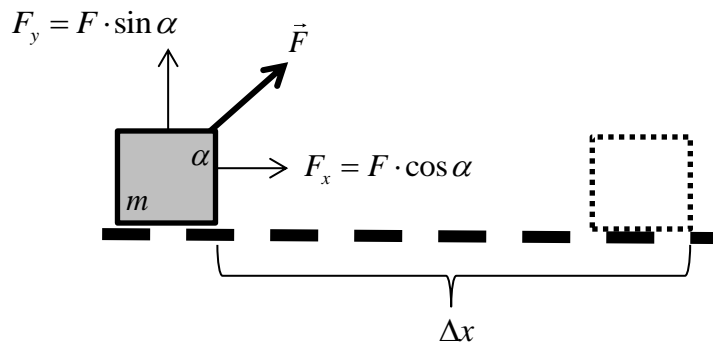
## 9.2 עבודה:

עד כה עסקנו בחוקי ניוטון, ובקינמטיקה. חוקי ניוטון מתארים התנהגות רגעית של גופים, התאוצה המתקבלת מחוקי ניוטון מתארת את שינוי מהירות הגוף בפרק זמן קצר מאוד (אינפיניטסימלי). חוקי ניוטון נכונים תמיד- אך המתמטיקה והמשוואות המתקבלות מהשימוש בהם עלולות להיות מסובכות מאוד. האנרגיה המכנית ושימורה קושרים בין המצב הראשוני של הגוף למצבו הסופי מבלי לתאר את התנועה בין לבין (בדומה לחוק שימור התנע).

### עבודה של כוח

הגדרה: עבודה של כוח הפועל לאורך דרך היא מכפלת רכיב הכוח המקביל לדרך באורך הדרך.

$$W = F \cdot \cos(\alpha) \cdot \Delta x$$



אם הכוח מקביל לכיוון התנועה ( $\alpha = 0$ ) אז  $W = F \cdot \Delta x$ .

יחידות המידה של אנרגיה ועבודה הן ג'אול. עבודה של  $1J$  מתבצעת על ידי כוח של  $1N$  כאשר הוא פועל על גוף ומזיז  $1m$  בכיוון פעולת הכוח.

## 9.3 אנרגיה

אנרגיה היא היכולת לעשות עבודה. אנרגיה היא בעצם כמות העבודה שניתן להפיק. לדוגמא, אם לגוף יש אנרגיה של  $100J$ , הכוונה היא שניתן לייצר מן הגוף עבודה של  $100J$ .

שלוש צורות האנרגיה המכנית הפשוטות ביותר:

**אנרגיה קינטית:** האנרגיה שיש לגוף הנע במהירות  $v$  או כמה עבודה דרושה כדי להביא גוף ממנוחה למהירות  $v$ .

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

**אנרגיה פוטנציאלית כובדית:** כמות העבודה הדרושה להעלאת גוף לגובה  $h$ . לאורך הדרך פועל על הגוף כוח הכבידה  $F = mg$  ועלינו לבצע עבודה הפוכה לעבודה שהוא מבצע על הגוף, כלפי מעלה.

אם נציב בנוסחה לעבודה  $F = mg$ ,  $\Delta x = h$ , ו-  $\alpha = 0$  נקבל את הביטוי לאנרגיה פוטנציאלית כובדית:

$$U_p = mgh$$

**אנרגיה פוטנציאלית אלסטית:** כאשר מותחים או מכווצים גוף אלסטי (קפיץ) מצטברת בו אנרגיה פוטנציאלית הנקראת אנרגיה פוטנציאלית אלסטית.

הביטוי לאנרגיה הפוטנציאלית האלסטית:

$$U_p = \frac{1}{2} kx^2$$

### חוק שימור האנרגיה:

בטבע קיימים כוחות משמרים וכוחות שאינם משמרים (מבזבזים). כאשר לא פועלים על מערכת כוחות חיצוניים או כוחות שאינם משמרים אז אין כניסה ויציאה של אנרגיה מהמערכת (כוח הכבידה והכוח הקפיצי הם כוחות משמרים). כלומר, אין שינוי באנרגיה הכללית של המערכת ואז ניתן להגדיר את חוק שימור האנרגיה המכנית-

$$E_{k,1} + U_{p,1} = E_{k,2} + U_{p,2}$$

דוגמה: גוף שנזרק אנכית כלפי מטה מגובה  $h$

בתחילה האנרגיה היחידה שיש לגוף היא אנרגיה כובדית  $E_i = mgh \Leftarrow$  וככל שהוא מתקרב לקרקע מהירותו עולה

והאנרגיה הכובדית שלו הולכת וקטנה ( $h$  הולך וקטן), עד שלבסוף יש לו אנרגיה קינטית בלבד  $E_f = \frac{1}{2}mv^2 \Leftarrow$ .

לפי חוק שימור האנרגיה נוכל לכתוב  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$  ולחלץ על ידי חישוב פשוט את מהירותו ברגע הפגיעה בקרקע.

$$v = \sqrt{2gh}$$

### 9.4 מתקף

כאשר כוח פועל על גוף, הוא מאיץ אותו ולכן משנה את התנע שלו (שינוי במהירות גורר שינוי בתנע). קצב שינוי התנע תלוי באורך הזמן בו פועל הכוח.

הגודל הפיזיקלי המביע את השפעת הכוח לאורך זמן על תנועת הגוף נקרא מתקף.

מתקף- $\vec{I}$  של כוח, הוא סיכום פעולת הכוח לאורך זמן. המתקף של כוח  $\vec{F}$  בין הזמנים  $t_1$  ל- $t_2$  הוא:

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

והוא נמדד ביחידות של  $[N \cdot \text{sec}]$ .

הקשר בין מתקף לשינוי התנע:

לגוף בעל תנע  $\vec{P}$  פועל הכוח השקול  $\sum \vec{F}$ , נוכל לכתוב את החוק השני של ניוטון באופן הבא:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

כעת, כדי לחלץ מכך ביטוי למתקף נעשה אינטגרציה לפי הזמן לשני האגפים:

$$\int_{t_1}^{t_2} \sum \vec{F} dt = \int_{p_1}^{p_2} \frac{d\vec{p}}{dt} dt$$

$$\vec{I} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$$

כלומר, גילינו כי השינוי בתנע שווה למתקף-  $\vec{I} = \Delta \vec{P}$ .

$$\Delta \vec{P} = \vec{F} \Delta t = \vec{I}$$

אם הכוח קבוע, נוכל לכתוב-

ואם הכוח אינו קבוע, נוכל להתייחס לכוח הממוצע שפעל על הגוף בפרק הזמן  $\Delta t$ , הכו הממוצע הוא הכוח הקבוע שהיה יוצר מתקף זהה באותו פרק זמן:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$$