

סיכום במכניקה
מאת: הלל בן חנוך

הערה:

לא יודע מה איתכם אני לא ידעתי את זה עד לפני שבועיים אז

• Δ : גודל קטן אבל קיים.

• d : מספר פצפון ששואף ל-0 (גודל אינפיטיסימלי).

טור טיילור(מסדר ראשון)

$$F(x) = F(x_0) + \frac{dF}{dx}(x_0) \cdot (x - x_0)$$

וקטורים

מכפלה סקלרית:

• הגדרה גאומטרית: המכפלה הסקלרית בין שני וקטורים $\vec{a}$ ו- $\vec{b}$ מוגדרת כ:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cdot \cos(\theta_{ab})$$

כאשר θ_{ab} היא הזווית בין הווקטורים.

• הגדרה אלגברית: המכפלה הסקלרית בין שני וקטורים $\vec{a}$ ו- $\vec{b}$ מוגדרת גם כ:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y$$

מכפלה וקטורית (3 מימדים בלבד):

• הגדרה גאומטרית: גודל המכפלה הווקטורית בין שני וקטורים $\vec{a}$ ו- $\vec{b}$ מוגדר כ:

$$\|\vec{a} \times \vec{b}\| = ab \cdot \sin(\theta_{ab})$$

כאשר θ_{ab} היא הזווית בין הווקטורים.

• הגדרה אלגברית: המכפלה הווקטורית בין שני וקטורים $\vec{a}$ ו- $\vec{b}$ מוגדרת כ:

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - a_z b_y)\hat{x} + (a_z b_x - a_x b_z)\hat{y} + (a_x b_y - a_y b_x)\hat{z}$$

תכונות חשובות של מכפלה וקטורית:

- מכפלה וקטורית של וקטור בעצמו:

$$\vec{v} \times \vec{v} = 0$$

- אנטי-סימטריות:

$$\vec{a} \times \vec{b} = -\vec{b} \times \vec{a}$$

- מכפלה וקטורית של וקטורי היחידה הסטנדרטיים:

$$\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}$$

קינמטיקה

מיקום:

מיקום של גוף כפונקציה של הזמן t מסומן ע"י וקטור המיקום:

$$\vec{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$$

מהירות:

- מהירות ממוצעת: המהירות הממוצעת מוגדרת כהעתק חלקי זמן:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

- מהירות רגעית: המהירות הרגעית מוגדרת כגבול של המהירות הממוצעת כאשר פרק הזמן שואף לאפס:

$$\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{x}(t + \Delta t) - \vec{x}(t)}{\Delta t}$$

בסימון אחר נכתוב:

$$\vec{v}(t) = \frac{d}{dt} \vec{x}(t) = \dot{\vec{x}}(t)$$

תאוצה:

התאוצה מוגדרת כנגזרת של המהירות לפי הזמן:

$$\vec{a} = \frac{d}{dt} \vec{v}(t) = \ddot{\vec{x}}(t)$$

משפט :

נתון על ידי האינטגרל הבא:

$$\vec{x}(t) - \vec{x}(t_0) = \int_{t_0}^t \frac{d}{dt} \vec{x}(t) dt$$

תנועה בחומר צמיג:

כאשר מקבלים משוואה מהסוג הזה $a(t) = -kv(t)$, הפתרון הוא $v(t) = Ae^{Bt}$ כאשר $B = -k$, ואת A מקבלים מתנאי ההתחלה.

קואורדינטות פולריות:

• נגזרות:

$$\dot{\hat{r}} = \dot{\theta} \hat{s}$$

$$\dot{\hat{s}} = -\dot{\theta} \hat{r}$$

• "מיקום":

$$\vec{r}(t) = r \hat{r}$$

• מהירות:

$$\vec{v}(t) = \dot{r} \hat{r} + r \dot{\theta} \hat{s}$$

• תאוצה:

$$\vec{a}(t) = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) \hat{r} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}) \hat{s}$$

• מקרטזיות לפולריות:

$$\hat{x} = \cos(\theta(t)) \hat{r} - \sin(\theta(t)) \hat{\theta}$$

$$\hat{s} = \sin(\theta(t)) \hat{r} + \cos(\theta(t)) \hat{\theta}$$

• מפולריות לקרטזיות:

$$\hat{r} = \cos(\theta(t)) \hat{x} + \sin(\theta(t)) \hat{y}$$

$$\hat{s} = -\sin(\theta(t)) \hat{x} + \cos(\theta(t)) \hat{y}$$

• זמן מחזור:

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

• תנועה מעגלית:

– זווית (רק במהירות קבועה)

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega t$$

– מיקום

$$\vec{r} = R_0 \hat{r}$$

– מהירות

$$\vec{v} = R_0 \dot{\theta} \hat{s}$$

– תאוצה

$$\vec{a} = -R_0(\dot{\theta})^2 \hat{r} + R_0 \ddot{\theta} \hat{s}$$

ובמהירות זוויתית קבועה:

$$\vec{a}(t) = \frac{v^2}{R_0} \hat{r}$$

דינמיקה

חוקי ניוטון:

• החוק הראשון: אם אין כוחות, אין תנועה (או תנועה במהירות קבועה).

• החוק השני: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. כאשר

$$[F] = N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

• החוק השלישי: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

מערכת אינרציאלית:

מערכת שמקיימת את חוקי ניוטון (נעה במהירות קבועה או לא נעה).

כוחות בטבע:

• כוח הכבידה:

$$\vec{F}_{12} = \frac{Gm_1m_2}{|r_{12}|^2} \hat{r}_{12}$$

שהוא כוח משמר ופועל על מרכז המסה בלבד.

• כוח קולון:

$$\vec{F}_{12} = -\frac{kq_1q_2}{|r_{12}|^2} \hat{r}_{12}$$

אם המטענים בעלי אותו סימן הוא דוחה אם לא הוא מושך, הכוח הוא כוח משמר.

- **כוח נורמל:** מאונך למישור התנועה, מונע מהגופים לשקוע במשטח.

- **כוח חיכוך:**

- *** חיכוך קינטי (דינמי):**

$$F_d = \mu_k N$$

- *** חיכוך סטטי:**

$$F_s \leq \mu_s N$$

- *** בדרך כלל:** $\mu_k < \mu_s$.

- *** בקורס שלנו:** $\mu_k = \mu_s$.

צפיפות מסה:

צפיפות המסה היא המסה חלקי הנפח:

$$\rho = \frac{M}{V_{TOT}}$$

כאשר V_{TOT} הוא נפח הגוף.

מתנד הרמוני:

- **כוח של קפיץ:**

$$F = -k(x - l_0)$$

כאשר k הוא קבוע הקפיץ וחיובי (תמיד) ו- l_0 הוא אורך הקפיץ במנוחה.

- **משוואת התנועה:**

$$\ddot{x} = -\frac{k}{m}(x - l_0)$$

נסמן $y = x - l_0$ ונקבל:

$$\ddot{y} = -\frac{k}{m}y$$

- **פתרונות כלליים:**

1

$$y(t) = A \cdot \cos(\omega t) + B \cdot \sin(\omega t)$$

2

$$y(t) = A \cdot \cos(\omega t + \phi)$$

3

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

כאשר $\omega^2 = \frac{k}{m}$, ובמטולטלת $\omega^2 = \frac{g}{l}$. את שאר הקבועים נקבל מנתוני ההתחלה.

מד"ר:

כאשר נקבל משוואה מהצורה

$$\ddot{x} = Ax$$

יש שני אופציות:

•

$$A < 0 \rightarrow x(t) = -A \sin(\omega t + \phi)$$

•

$$A > 0 \rightarrow x(t) = Be^{\sqrt{A}t} + Ce^{-\sqrt{A}t}$$

וכאשר נקבל משוואה מהצורה

$$\dot{x} = Ax$$

יש את האופציה:

$$x = Be^{At}$$

תנע קווי:

• עבור חלקיק יחיד:

$$\dot{\vec{p}} = \vec{F}$$

• עבור מערכת של חלקיקים:

$$\dot{\vec{p}}_{\text{tot}} = \sum_i \dot{\vec{p}}_i = \vec{F}_{\text{ext}}$$

כאשר אין כוחות חיצוניים:

$$\Delta \vec{p} = 0$$

כאשר יש כוחות חיצוניים:

$$\Delta \vec{p} = \int_0^t F_{\text{ext}} dt$$

סדר פעולה:

• הגדרת מערכת

• האם יש כוחות חיצוניים?

* כן:

$$\Delta \vec{p} = F \cdot \Delta t$$

* לא:

$$\Delta \vec{p} = 0 \rightarrow \text{יש שימור תנע}$$

• בניית טבלת תנעים ברגע t וברגע $t + \Delta t$

- בונים משוואות תנע
- פותחים סוגריים, מצמצמים ומזניחים איברים קטנים מסדר שני (כמו $\Delta v \Delta m$)
- משאיפים $\Delta t \rightarrow 0$ ומקבלים מד"ר
- פותרים את המד"ר.

אנרגיה ועבודה:

- אנרגיה קינטית: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
- עבודה: $W_{r_1 \rightarrow r_2} = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F}(r) \cdot d\vec{r}$
כוח מאונך למסלול לא מבצע עבודה.
- משפט עבודה אנרגיה: $\Delta E_k = E_f^k - E_i^k = W_{TOT} = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F}(r) \cdot d\vec{r}$
אם העבודה חיובית אז האנרגיה הקינטית עלתה.

כוח משמר:

- כוח שהעבודה שלו לא תלויה במסלול, אלה רק בנקודת ההתחלה והסוף
- כוח שהעבודה שלו על מסלול סגור היא 0.
- $\vec{\nabla} \times \vec{F} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z} \right) \hat{y} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \hat{z} = 0$
(בדו מימד, כל הביטויים שתלויים ב- z מתבטלים.)

איך בודקים אם כוח הוא משמר? ישנן שלושה דרכים:

- לבדוק כל מסלול מנקודה אחת לשנייה, אם האנרגיה שווה אז הכוח משמר.
- העבודה של כל מסלול סגור תהיה שווה 0.
- $\left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) = 0$ (בדו מימד).

דוגמאות לכוחות משמרים:

- כוח קבוע
- כוח חד ממדי
- חשוב: כוח מרכזי, תמיד משמר.

אנרגיה פוטנציאלית:

אנרגיה פוטנציאלית היא הפוטנציאל לקבל אנרגיה קינטית.
אפשר להגדיר אנרגיה פוטנציאלית אך ורק עבור כוח משמר

$$U_a - U_b = \Delta U = - \int_a^b \vec{F}(r) \cdot d\vec{r} = -W_{a \rightarrow b}$$

$$\Delta E = W_{\text{כוחות לא משמרים}} + W_{\text{כוחות משמרים}} = -\Delta U + W_{\text{כוחות לא משמרים}}$$

• **אנרגיית גובה פוטנציאלית:**

$$U_{\text{גובה}} = mgh$$

כאשר h הוא הגובה ביחס לנקודת היחוס. אנרגיה פוטנציאלית יכולה להיות שלילית, אבל אנרגיה קינטית לא.

• **אנרגיה פוטנציאלית של קפיץ:**

$$U_{\text{קפיץ}} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$$

כאשר k הוא קבוע הקפיץ ו- Δx הוא ההתמתחות של הקפיץ.

• **אנרגיה פוטנציאלית של מטוטלת:**

$$U_{\text{מטוטלת}} = mg(1 - \cos \theta)$$

• **אנרגיה פוטנציאלית של כבידה (כאשר לא בכדור הארץ):**

$$U_{\text{כבידה}} = -\frac{Gm_1m_2}{r}$$

אנרגיה מכנית:

$$E_{\text{tot}} = E_{\text{kin}} + U_{\text{פוטנציאלית}}$$

חוק שימור האנרגיה: כאשר אין כוחות לא משמרים מתקיים שהאנרגיה הכוללת לא משתנה
כלומר $E_i = E_f$

• **מעבר מאנרגיה פוטנציאלית לכוח:**

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad F_y = -\frac{\partial U}{\partial y}, \quad F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

• **מעבר מכוח לאנרגיה פוטנציאלית :**

$$\Delta U = - \int F \cdot d\vec{r} = - \int (F_x \hat{x} + F_y \hat{y} + F_z \hat{z})(dx \hat{x} + dy \hat{y} + dz \hat{z}) = - \int F_x dx + F_y dy + F_z dz$$

• **נקודות שיווי משקל:**

- בייסקלי נקודות קיצון של האנרגיה הפוטנציאלית,
- * יציבה כאשר הנגזרת של הכוח בנקודה חיובית (מינימום)
- * לא יציבה כאשר הנגזרת של הכוח בנקודה שלילית (מקסימום)
- * בנקודת מינימום אפשר לעשות קירוב הרמוני

• **איך למצוא אנרגיה בריחה:**

- * למצוא את הנקודות מינימום (למקסימום כל אנרגיה תספיק והוא יברח)
- גוזרים את פונקציית האנרגיה הפוטנציאלית: $U'(x)$
- פותרים את המשוואה $0 = U'(x)$ כדי למצוא נקודות קיצון
- מחשבים את הנגזרת השנייה $U''(x)$
- אם $U''(x) > 0$ בנקודה, זו נקודת מינימום
- אם $U''(x) < 0$ בנקודה, זו נקודת מקסימום (לא צריך להתחשב בה כי כל אנרגיה תספיק לבריחה)

* למצוא את האנרגיה הפוטנציאלית בנקודת המינימום

- מציבים את נקודת המינימום x_{min} בפונקציה $U(x)$ ומחשבים: $U_{min} = U(x_{min})$

* לחשב את אנרגיית הבריחה

- אם יש נקודת יציאה מוגדרת (x_{escape}) שבה $U(x)$ גבוה יותר:

$$E_{escape} = U(x_{escape}) - U_{min}$$

- אם צריך לברוח לאינסוף והפוטנציאל מתאפס שם:

$$E_{escape} = -U_{min}$$

תנע זוויתי:

תנע זוויתי מוגדר כ:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

$$\dot{\vec{L}} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{\tau}$$

וגודל התנע הזוויתי הוא

$$|\vec{L}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{p}| \cdot \sin \alpha$$

- צריך לשים לב לכיוון. וקטור התנע מאונך למישור $\vec{r}$ ולא תלוי בראשית.

תנע זוויתי משומר אם:

- אין כוח בציר $\hat{\theta}$

- התנע הזוויתי נשאר קבוע בכיוון ובגודל

$$\vec{\tau} = 0$$

דוגמאות:

- תנועה מעגלית: $\vec{L} = mr^2\dot{\theta}\hat{z}$

- גוף שנע בקו ישר: $\vec{L} = -mvy_0\hat{z}$

לסיכום:

שימור תנע:

משתמר אם אין כוחות חיצוניים ומתקיים $P_i = P_f$

שימור אנרגיה:

שימור אנרגיה פירושו שאין אנרגיה שהולכת לאיבוד, כל מה שהיה אנרגיה קינטית ונעלם נהפך לאנרגיה פוטנציאלית. כאשר $0 = \Delta W$, האנרגיה משומרת ומתקיים:

$$E_f = E_i$$

שימור תנע זוויתי:

תנע זוויתי משומר אם:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$$

חוק שימור התנע הזוויתי:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \times \vec{F}_{\text{TOT}} = \vec{\tau}$$

U אפקטיבי

כשיש שימור תנע נשתמש בתנע זוויתי:

$$E_{\text{TOT}} = E_k + U = \frac{1}{2}mv^2 + U = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + \frac{1}{2}m(r\dot{\theta})^2 + U(r)$$

כאשר $\frac{1}{2}m\dot{r}^2$ היא האנרגיה הקינטית הרדיאלית, ו- $\frac{|\vec{L}|^2}{2mr^2} + U(r)$ היא האנרגיה הפוטנציאלית האפקטיבית. אם אנחנו במסלול מעגלי הנגזרת של הפוטנציאל האפקטיבי שווה ל-0.

מרכז המסה:

בכל מערכת גופים אפשר להגדיר מרכז מסה.

• במקרה הבדיד (כשיש כמה גופים):

$$\vec{r}_{cm} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$$

• במקרה הרציף (כשיש גוף אחד):

$$\vec{r}_{cm} = \frac{1}{M_T} \int \rho \cdot \vec{r} \cdot dV$$

• תנע כולל:

$$\vec{p}_{\text{tot}} = M_{\text{tot}} \vec{v}_{cm}$$

• **תאוצת מרכז המסה:**

$$\vec{a}_{cm} = \frac{\vec{F}_{ext}}{M_{tot}}$$

אם אין כוחות חיצוניים, מרכז המסה נע במהירות קבועה.

• **במערכת מרכז מסה** (שהיא אינרציאלית רק אם אין כוחות חיצוניים):

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{r}_{cm}$$

* שימוש במערכת מרכז המסה:

* בעיות התנגשות:

- הופכת את החישובים לפשוטים כי סכום התנע מתאפס.
- בהתנגשות אלסטית, המהירויות סימטריות סביב V_{CM} .

* מכניקת גופים קשיחים:

- ניתוח תנועה סיבובית קל יותר סביב מרכז המסה.
- שימושי למציאת מומנטי אינרציה ותנע זוויתי.

* שימור תנע:

- אם פועלים רק כוחות פנימיים, תנע מרכז המסה נשמר.
- חוסך חישובים כאשר מנתחים תנועה של מערכת שלמה.
- * כבידה ותנועה מסלולית:
- שני גופים מושפעים מכבידה נעים סביב R_{CM} .
- לדוגמה, כדור הארץ והירח מסתובבים סביב מרכז המסה המשותף שלהם.

התנגשויות:

בכל התנגשות כולשהי מתקיים שימור תנע זוויתי

מתקף:

מתקף הוא כוח שפועל לאורך זמן מסוים.

$$\vec{J} = \vec{F}\Delta t$$

התנגשות פלסטית:

אחרי ההתנגשות שני הגופים מתחברים ומתחילים לזוז ביחד.

• אין שימור אנרגיה.

• יש שימור תנע בשני הצירים.

התנגשות אלסטית:

אחרי ההתנגשות הגופים ממשיכים במהירויות שונות.

- יש שימור אנרגיה.
- יש שימור תנע בשני הצירים.

מערכת מרכז המסה:

במערכת מרכז המסה הזווית שבה המסות התנגשו שווה לזווית שבה הן נפרדו (בהתנגשות אלסטית) ומסומנת θ_{cm}

$$\begin{aligned} & \text{כשיש שימור תנע: } P_1^{cm} = -P_2^{cm} \\ & \text{כשיש שימור אנרגיה: } |P_1^{cm}| = |P_2^{cm}| \end{aligned}$$

חוקי קפלר:

- התנועה של כוכבי הלכת היא בצורת אליפסה, כאשר השמש היא באחד מהמוקדים שלה.
- שטחים שווים בזמנים שווים - המהירות של כדור הארץ תלויה במרחק שלו מהשמש.
- כאשר T הוא זמן המחזור, ו- a הוא חצי הציר הגדול של האליפסה, אז $\frac{a^3}{T^2}$ הוא קבוע עבור כל כוכבי הלכת.

תנועה אליפטית:

$$r(\theta) = \frac{r_0}{1 + \varepsilon \cdot \cos(\theta)}$$

כאשר:

$$\varepsilon = \frac{c}{a}, r_0 = \frac{a^2 - c^2}{a}$$

$$0 \leq \varepsilon < 1$$

מסלול היפרבולי:

$$r(\theta) = \frac{r_0}{1 + \varepsilon \cdot \cos(\theta)}$$

$$\varepsilon < 1$$

$$r_{min} = \frac{r_0}{1 + \varepsilon}$$

גוף קשיח:

- גוף שלא משנה את צורתו הוא גוף קשיח.
- בגוף קשיח יש תנועה של מרכז המסה ותנועה סיבובית.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad \text{טורק:}$$

קוויט	סיבובית	תנועה
קרטזיות	פולרית	קואורדינטות
תנע קווי $\vec{P}$	תנע זוויתי $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$	תנע
$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = m\vec{a}$	$\sum \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} = I\ddot{\theta}$	כוחות
$E_K = \frac{1}{2}mv^2$	$E_{K\text{סיבובית}} = \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2$	אנרגיה
$E_T = E_k + E_{K\text{סיבובית}} + U$		

מומנט אינרציה/התמד:

מבטא כמה קשה לטורק לסובב את הגוף עבור גוף בדיד:

$$I = \sum_i m_i r_i^2$$

עבור גוף רציף:

$$I = \int r_i^2 dm = \int r_i^2 \rho dV$$

דוגמאות נפוצות:

$$\frac{ML^2}{12} = \text{I מוט}$$

$$MR^2 = \text{I טבעת}$$

$$\frac{2}{5}MR^2 = \text{I כדור}$$

משפט שטיינר:

$$I_r = I_{cm} + Mr^2$$

כאשר הגוף מסתובב סביב ציר קבוע נרצה לעבוד אם נקודת יחוס שהיא מרכז המסה או על ציר הסיבוב

כאשר גוף מסתובב סביב ציר נע:

סדר פעולה:

1. מתעלמים מטורקים - מבחינתנו יש גוף נקודתי במרכז המסה שפועלים עליו כוחות, בונים את משוואת ניוטון כרגיל

2. עבודה עם טורקים - נבדוק איפה כל כוח עובד ביחס לציר הסיבוב ונבנה בהתאם את משוואת הטורקים של הגוף הצפיד $\sum \vec{\tau} = I\dot{\omega}$

גלגול ללא החלקה:

המהירות של הגלגל תלויה במהירותו הזוויתית

$$V_c = \omega R$$

משוואות:

אנרגיה קינטית

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2\left(1 + \frac{I}{mr^2}\right)$$

תנע זוויתי

$$\vec{L} = M\vec{R}_{cm} \times \vec{v}_{cm} + I\omega$$

טורק

$$\tau = \vec{R}_{cm} \times \vec{F} + I\dot{\omega}$$

סדר פעולה לפתירת שאלות:

פתרון בעיות קינמטיקה

- זיהוי משתני הבעיה: מיקום התחלתי, מהירות התחלתית, תאוצה, זמן.

- שימוש במשוואות קינמטיקה:

$$v = v_0 + at -$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 -$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) -$$

- אם התנועה מעגלית, מעבר לקואורדינטות פולריות (r, θ) ושימוש במהירות ותאוצה זוויתית.
- בדיקת יחידות והתוצאה הפיזיקלית.

פתרון בעיות דינמיקה

- שרטוט דיאגרמת כוחות לכל גוף.

- כתיבת משוואות ניוטון לכל ציר בנפרד $\sum F = ma$.

- זיהוי כוחות חיצוניים, פנימיים, אילוצים (כגון חיכוך, נורמל, מתח).

- שימוש בשימור תנע אם אין כוחות חיצוניים.

- פתרון משוואות ואימות התוצאה הפיזיקלית.

פתרון בעיות שימור אנרגיה

- זיהוי האם יש כוחות לא משמרים (חיכוך, התנגשויות פלסטיות וכו').

- כתיבת משוואת שימור אנרגיה:

$$E_{\text{initial}} = E_{\text{final}} \text{ אם אין כוחות לא משמרים: } -$$

$$E_{\text{initial}} + W = E_{\text{final}} \text{ אם יש עבודה של כוח חיצוני: } -$$

- חישוב הפרשי אנרגיה קינטית ופוטנציאלית.

פתרון בעיות תנע קווי וזוויתי

- בדיקת שימור תנע $\sum p_{\text{initial}} = \sum p_{\text{final}}$ אם אין כוחות חיצוניים.

- עבור תנועה סיבובית: כתיבת משוואת תנע זוויתי $\sum \tau = I\alpha$.

- שימוש במשוואות גלגול ללא החלקה $v = \omega R$ אם נדרש.

פתרון בעיות של גוף קשיח

- חישוב מומנטי אינרציה לפי הגאומטריה של הגוף.

- כתיבת משוואות מומנט מסביב לציר הסיבוב $\sum \tau = I\alpha$.

- אם יש תנועה משולבת (תנועה קווית וסיבובית), שימוש בשימור תנע זוויתי.

- פתרון באמצעות האנרגיה הכוללת של המערכת $E = E_k + E_{K_{\text{סיבובית}}} + U$.

בדיקה ואימות

- בדיקת יחידות (ממדים) לוודא שהתוצאה תקפה.
- ניתוח פיזיקלי: האם התוצאה סבירה?
- בדיקת מקרי קצה (למשל, האם גוף נופל אם אין כוח נורמלי?).