

פרק 7-חוקי ניוטון וכוחות

7.1 הקדמה:

התיאור הקינמטי עוסק בשאלה איך גוף זז אבל לא בשאלה למה גוף זז. התשובה שנקבל בפרק זה היא שגוף נע במהירות קבועה בקו ישר באופן טבעי, וכל תנועה אחרת מקורה בכוחות הפועלים על הגוף. שלושת חוקי ניוטון קושרים את גורמי התנועה והכוחות, לאופי התנועה.

כוח הוא השפעה של גוף אחד על אחר, כוחות הם וקטורים, יש להם כיוון וגודל שנמדד ביחידות ניוטון N. על פי ניוטון, כוח הוא הגורם לשינוי מהירותו של גוף. כלומר, אם לא פועלים על הגוף כוחות, הוא מתמיד במצבו הקודם. אם פועל כוח יחיד- הגוף יאיץ, אם פועלים מספר כוחות- הכוח השקול הוא שיקבע את התנהגות הגוף. שקול הכוחות- הוא החיבור הוקטורי של הכוחות.

למשל אם על גוף פועלים $\vec{F}_1 = 2\hat{y}$ ו- $\vec{F}_2 = 3\hat{x}$ אז הכוח השקול הפועל על הגוף הוא $\vec{F}_T = \sum \vec{F} = 3\hat{x} + 2\hat{y}$.

7.2 חוקי ניוטון

החוק הראשון של ניוטון (נקרא גם חוק ההתמדה):

"כל גוף מתמיד במצבו- גוף במנוחה נשאר במנוחה, וגוף בתנועה ממשיך לנוע במהירות קבועה בקו ישר, חוץ מהמקרים בהם כוח מאלץ את הגוף לשנות את מצבו."

חשוב לציין שגם אם פועלים על הגוף כוחות אבל שקול הכוחות מתאפס, $\sum \vec{F} = 0$, הגוף ימשיך לנוע במהירות קבועה בקו ישר.

החוק השני של ניוטון:

"תאוצת גוף פרופורציונאלית לכוח השקול הפועל על הגוף. קבוע הפרופורציה הוא מסת הגוף."

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

המסה m היא מדד לכמות החומר. ככל שהמסה גדולה יותר, כך היא מתנגדת יותר לשינוי מהירות הגוף. נשים לב שזהו חוק וקטורי, והוא מתקיים בנפרד עבור כל אחד מהצירים. כיוון התאוצה הוא ככיוון הכוח השקול.

דוגמא: על מסה $m = 2\text{kg}$ פועלים שני כוחות: $\vec{F}_1 = 3\hat{x} + 3\hat{y}$ N ו- $\vec{F}_2 = 3\hat{x} - 3\hat{y}$ N, מהי תאוצת המסה?

נחשב שקול כוחות: $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 6\hat{x}$ N

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} = 3\hat{x} \frac{m}{s^2}$$

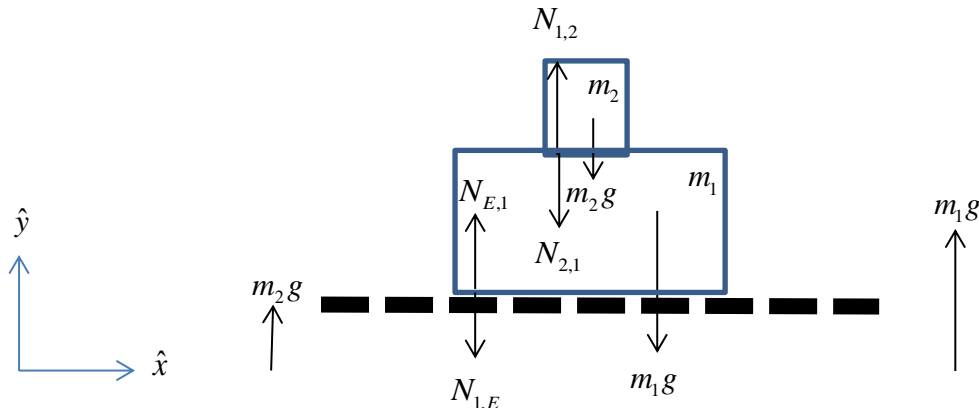
כעת נחשב את התאוצה בעזרת החוק השני של ניוטון:

החוק השלישי של ניוטון (חוק הפעולה והתגובה):

1. כוחות באים בזוגות. אם גוף 1 מפעיל על גוף 2 כוח, גוף 2 מפעיל כוח על גוף 1.
2. גודל הכוחות בזוג זהה, וכיונם הפוך: הכוח שגוף 1 מפעיל על גוף 2 שווה בגודלו והפוך בכיוונו מהכוח שגוף 2 מפעיל על גוף 1.

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$$

דוגמא: קופסה שמסתה m_1 מונחת על הרצפה. על הקופסה מונחת קופסה שנייה שמסתה m_2 . ננסה לרשום את כל הכוחות הפועלים על הקופסאות ולמצוא את כוחות התגובה שלהם.



שימו לב שגם כדור הארץ משתתף. כמו שכדור הארץ מפעיל על הקופסאות **כוחות משיכה** גם הקופסאות מושכות את כדור הארץ בכוחות הפוכים.

בדוגמא משתתפים גם כוחות מגע נורמליים: כוח המשיכה מושך את הקופסה העליונה מטה, אך הקופסה התחתונה מונעת את תנועתה - מפעילה עליה כוח במגע שכיוונו כלפי מעלה. כוח זה מאונך למשטחים שבמגע ולכן נקרא **כוח נורמלי**.

על ידי שימוש בחוק השני והשלישי נוכל לכתוב את משוואות הכוחות:

המערכת במנוחה, ולכן סכום הכוחות על הקופסאות מתאפס. עבור הקופסה העליונה: $\vec{N}_{1,2} - m_2g\hat{y} = 0$, לכן $N_{1,2} = m_2g$. עבור הקופסה התחתונה: $m_1g\hat{y} - \vec{N}_{2,1} + \vec{N}_{E,1} = 0$, על פי החוק השלישי $\vec{N}_{1,2} = -\vec{N}_{2,1}$ ולכן נוכל לכתוב $\vec{N}_{E,1} = (m_1 + m_2)\vec{g}$.

כמובן שיש כוחות נוספים כמו הכוח החשמלי, כוח הכבידה העולמי, כוח המתיחות, חיכוך ועוד עליהם תלמדו בהרחבה בהמשך.

7.3 הכוחות המכניים השונים

כוח הכבידה: כיוונו תמיד מכון כלפיי מטה, זהו כוח שנובע מהעובדה שכדור הארץ מושך את הגופים שעל פניו לכיוון

מרכזו. כוח הכבידה הפועל על גוף שווה לתאוצת הכובד - $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ כפול מסת הגוף:

$$\vec{F} = m\vec{g}$$

הכוח הנורמלי: כפי שהצגנו קודם, זהו הכוח שמשטח מפעיל על גוף המונח עליו. כוח זה תמיד פועל במאונך למשטח ונסמן אותו ב- \vec{N} . זהו הכוח שמונע מהגופים "ליפול" לתוך המשטח עליו הם מונחים.

כוח המתיחות: לשם פשטות נדון בחבל בעל מסה הניתנת להזנחה. אם חבל כזה מחובר לקיר מצד אחד ומצדו השני גוף מפעיל עליו כוח בשיעור מסוים עד שהחבל מתוח, במצב כזה הגוף לא זז מה שאומר שהחבל בנקודת האיחיה מפעיל על הגוף כוח באותה העוצמה שהגוף מפעיל על החבל, כוח זה, שהחבל מפעיל על הגוף הוא כוח המתיחות, כוח זה הוא בעצם הכוח שהחבל מפעיל על מנת להתנגד למתיחתו. בחבלים חסרי מסה (בעלי מסה זניחה), המתיחות אחידה לאורך כל החוט. כוח זה פועל תמיד במקביל לכיוון מתיחת החוט לחבל והוא יסומן ב- \vec{T} .

הכוח הקפיצי: זהו הכוח שקפיץ מפעיל על הגוף המחובר אליו כתוצאה מכיוונו או מתיחתו. לכן, כוח זה פרופורציונאלי לאורך המתיחה לכיוונו. לכל קפיץ יש קבוע המאפיין אותו, קבוע זה מעיד על מידת הנוקשות של הקפיץ, תכונה שתלויה

בחומר ממנו עשוי הקפיץ. קבוע זה מסומן באות K והוא נמדד ביחידות של $\frac{N}{m}$.

כיוון הכוח הקפיצי נקבע לפי מצבו ביחס למצב בו הוא רפוי, הקפיץ תמיד שואף לחזור למצבו הרפוי, לכן אם מתוח- ישאף לחזור למצב מכווץ יותר, ולהיפך. הכוח הקפיצי הפועל על גוף שווה לקבוע הקפיץ כפול מידת ההתארכות/התכווצות ביחס למצב הרפוי:

$$\vec{F} = k \cdot \Delta x$$

כוח החיכוך: כשגוף נמצא במגע עם משטח כלשהו (עליו הוא מונח או גוף אחר), ביניהם פועל כוח חיכוך, זהו הכוח המנסה להתנגד לתנועה והוא נובע מתכונות של החומרים מהם עשויים הגופים הבאים במגע זה עם זה. כוח זה תמיד יפעל בכיוון הפוך לכיוון התנועה. החיכוך מתחלק לשני סוגים של חיכוך- החיכוך הסטטי, זהו החיכוך הפועל כאשר פועל על הגוף כוח השואף לגרום לתנועתו אך הוא לא מספיק חזק ולכן אין תנועה בפועל- החיכוך מתגבר על הכוח המנסה לגרום לתנועה אך כוח זה מוגבל, באיזשהו שלב, אם הכוח השואף להניע את הגוף יתגבר, לבסוף הם ישתוו, לאחר הנקודה הזו בה הם משתווים הגוף יתחיל לנוע (גודל כוח החיכוך של הרגע הזה, הוא החיכוך הסטטי המקסימלי). כאשר הגוף בתנועה, הכוח הפועל בין הגוף למשטח הוא החיכוך הקינטי (לרוב זהו חיכוך קטן יותר מהחיכוך הסטטי המקסימלי) והוא קבוע בגודלו לאורך כל התנועה.

החיכוך משתנה לפי החומרים הבאים במגע, סוגי המשטחים משפיעים על גודל הכוח, זאת בא לידי ביטוי בקבוע שנקרא קבוע החיכוך- קבוע זה מסומן ב- μ והוא חסר יחידות. כל משטח מאופיין ב- μ_s עבור החיכוך הסטטי וב- μ_k עבור החיכוך הקינטי.

באופן כללי, כוח החיכוך מחושב לפי קבוע החיכוך (בהתאם למצב- תנועה- קינטי, ללא תנועה- סטטי) כפול גודלו של הכוח הנורמלי:

$$\vec{f}_{s,k} = \mu_{s,k} \cdot N$$