פיזיקה 1 לפיזיקאים

רמי ברושטיין

הרצאה מספר 2 – מערכות ייחוס וחוקי ניוטון

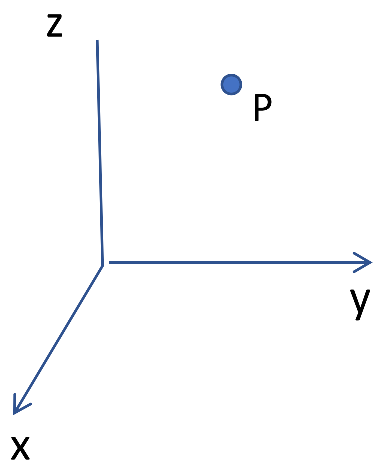
מטרות ההרצאה:

- הכרת המושג תנועה יחסית, הכרת חוקי ניוטון, יישום חוקי ניוטון במקרים פשוטים.
- ללמוד איך לומדים פיזיקה

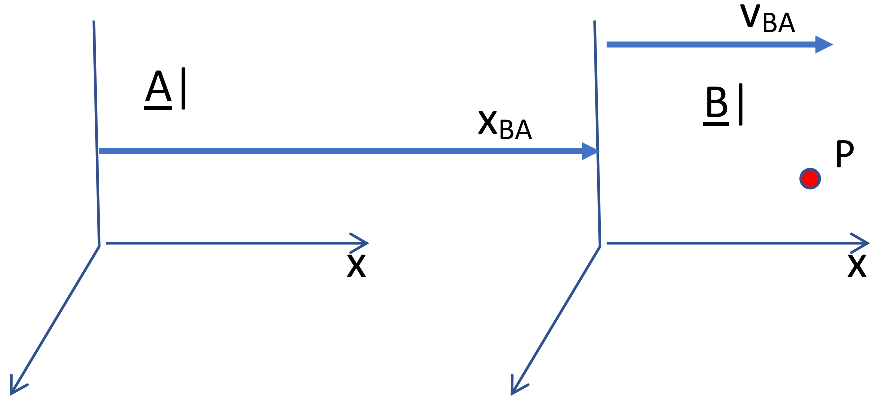
ההרצאה עוקבת אחר פרקים 12.4, 12.5 ופרק 2 בספר הלימוד.

מערכת ייחוס: מערכת קואורדינטות של צופה O. הצופה מתאר תנועה של גוף P באמצעות מדידות של מיקום מהירות ותאוצה. צופים שונים יתארו את אותה תנועה בצורות שונות.

הזמן מוגדר בצורה אחידה – שעונים מסונכרנים בכל המרחב ומודדים זמן בצורה אחידה (לא נכון בעולמינו).



תנועה יחסית במימד אחד: נניח שיש שתי מערכות ייחוס (קואורדינטות) A, B. שני הצופים נמצאים בראשית הצירים של כל מערכת. המרחק בין ראשית הצירים של מערכת B לראשית הצירים של מערכת A מסומן כ X_{BA} המהירות היחסית של מערכת B ביחס למערכת A מסומנת כ V_{BA}

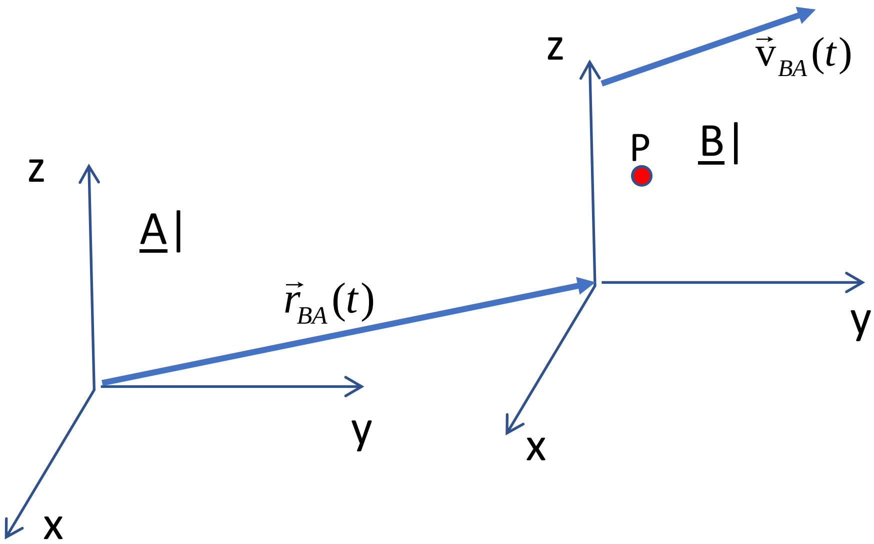


<u>קשרים בין מיקום, מהירות ותאוצה</u>

$$x_{PA}(t) = x_{BA}(t) + x_{PB}(t)$$
$$\mathrm{v}_{PA}(t) = \mathrm{v}_{BA}(t) + \mathrm{v}_{PB}(t)$$
$$a_{PA}(t) = a_{BA}(t) + a_{PB}(t)$$

אם המהירות של המערכת B ביחס למערכת A קבועה בזמן, התאוצה היחסית מתאפסת ולכן $a_{PA}(t)=a_{PB}(t)$. מערכות הנעות במהירות יחסית הקבועה בזמן נקראות מערכות התמדה (אינרציאליות) ויש להן חשיבות מיוחדת.

<u>תנועה יחסית בשלושה מימדים:</u> כמו קודם, נניח שיש שתי מערכות ייחוס (קואורדינטות) A, B. שני הצופים נמצאים בראשית הצירים של כל מערכת. המיקום של ראשית הצירים של מערכת B במערכת A מסומן כווקטור $\vec{r}_{BA}(t)$ והמהירות היחסית של מערכת B ביחס למערכת A מסומנת כווקטור $\vec{\mathrm{v}}_{BA}(t)$,



<u>קשרים בין מיקום, מהירות ותאוצה</u>

$$\vec{r}_{PA}(t) = \vec{r}_{BA}(t) + \vec{r}_{PB}(t)$$
$$\vec{\mathrm{v}}_{PA}(t) = \vec{\mathrm{v}}_{BA}(t) + \vec{\mathrm{v}}_{PB}(t)$$
$$\vec{a}_{PA}(t) = \vec{a}_{BA}(t) + \vec{a}_{PB}(t)$$

מערכות התמדה מוגדרות ככאלה שהמהירות היחסית שלהן קבועה בזמן.

חוק חיבור המהירויות שהצענו כאן אינו נכון בעולמינו. החוק הנכון קשור לעובדה שהזמן אינו אחיד והוצע במסגרת תורת היחסות הפרטית. החוק הנכון מבטא את העובדה שמהירות האור קבועה בכל מערכת ייחוס ושמהירות זו היא הגבוהה ביותר בטבע.

חוקי ניוטון:

חוקי ניוטון את הקשר בין "כוח" – כלומר, ההשפעה של גופים אחד על השני, לבין תנועה.

- החוקים חלים על העולם הדמיוני המתואר על ידי משוואות מתמטיות, ולא על העולם הממשי.
- החוקים הם מרשם לניבוי תנועת גופים בכל מיני מצבים והם תערובת של ציפיות, תצפיות והגדרות.

החוק הראשון: ניתן לבודד גופים כך שלא יפעל עליהם כוח. במקרה זה ניתן למצוא מערכות קואורדינטות בהן מהירות הגוף קבועה. מערכות אלו נקראות "מערכות התמדה" (אינרציאליות).

החוק השני: מתקיים קשר בין הכוח, המסה והתאוצה: $\vec{F} = m\vec{a}$
המסה היא תכונה עצמית של הגוף, הכוח מתאר את השפעת הגופים האחרים על הגוף הנידון.

החוק השלישי: הכוחות שגופים מפעילים האחד על השני שווים בגודלם והפוכים

בכיוונם. אם אין גוף נוסף, $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. החוק השלישי נחוץ כדי להפריד בין כוח לתאוצה ולכן מעניק משמעות לחוק השני. כוח "אמיתי" הוא כזה שמופעל על ידי גוף אחר, ולכן, בנוסף לו, חייב להיות גם כוח הפוך בכיוונו ושווה בגודלו המופעל על ידי הגוף שאנו מעוניינים בו על גוף אחר. כוח "אמיתי" מובדל מכוח מדומה הנובע מכך שהצופה בגוף נמצא במערכת שאינה אינרציאלית.

כוח הוא גודל ווקטורי בעל יחידות הנקראות ניוטון, ק"ג מ'\ש'^{2}, ולכן אם שני כוחות מנוגדים פועלים על גוף כלשהו, סכומם יכול להתאפס.

חוקי ניוטון הם חוקים מקורבים, כלומר, תקפים רק בתנאים מסוימים. הם אינם נכונים עקרונית, אבל בהרבה מקרים מנבאים בדיוק רב תנועת גופים. חוקי הטבע הבסיסיים מתוארים אחרת לגמרי, על ידי המודל הסטנדרטי של פיזיקת החלקיקים ועל ידי תורת היחסות הכללית של איינשטיין.

יישום של חוקי ניוטון:

שאלה על גולש סקייטבורד (קלה)

גולש סקייטבורד מתחיל לגלוש מראש מתקן גלישה משולש. משטח הגלישה חופשי לנוע על גלגלים. נתון, זוויות הבסיס של המשולש θ , מסת הגולש m2 ומסת מתקן הגלישה m1.

א. מצאו את תאוצת הגולש

ב. מצאו את תאוצת מתקן הגלישה

ניישם את חמשת השלבים

1. תמונה מחשבתית, חוקי תנועה: החוק השני, החוק השלישי
הערכה איכותית של הפתרון, אם משנים את יחס המסות, הזווית, מה קורה בגבולות השונים?
2. נתון לא מפורש: הגולש נשאר על המשטח, המשטח נשאר על הקרקע.

תרשים
נעלמים a1, a2, N
תרשים כוחות
משוואות
פתרון (אפשר גם לבדוק ב Mathematica, Wolfram Alpha), אחרי שפותרים.

$$a2 = g\frac{m1}{m2}\frac{sin\theta\ cos\theta}{1-\frac{m1}{m2}sin^2\theta}$$

$$a1 = gsin\theta\left[1+\frac{m1}{m2}\frac{sin\theta\ cos\theta}{1-\frac{m1}{m2}sin^2\theta}\right]$$

דיון בתוצאות:
m2 >> m1, m1 >> m2
$\frac{m1}{m2}sin^2\theta = 1$??

אתגר: שני גולשים

<u>שאלה על גוף בתוך חרוט מסתובב (קשה)</u>

גוף נקודתי בעל מסה m מונח בתוך חרוט. קדקוד החרוט מונח על משטח אופקי חסר חיכוך והוא מסתובב סביב ציר העובר במרכז החרוט ומאונך למשטח במהירות זוויתי ω. זווית הראש של החרוט היא α . הגוף נמצא בגובה h מעל קדקוד החרוט. מקדם החיכוך הסטאטי בין הגוף לחרוט הוא μ_s .
חשבו את המהירות הזוויתית המרבית והמזערית עבורן המסה לא תחליק במורד או במעלה החרוט.

תמונה מחשבתית + תרשים
המסה במנוחה ביחס לחרוט ולכן רדיוס הסיבוב R נתון למעשה מהגיאומטריה של החרוט והגובה h.
המסה מבצעת תנועה סיבובית במהירות קבועה ולכן ידועה גם התאוצה הרדיאלית
נתונים: ω, h, α ולכן גם R
נעלמים ω_{max} , ω_{min}

למה יש מהירות מרבית ומזערית?
מה קורה אם יוצאים מהתחום?
מתי התחום קטן ומתי הוא גדול?

תרשים כוחות
משוואות
<u>מקרה 1</u> : המסה "רוצה" לעלות
<u>מקרה 2</u> : המסה "רוצה" לרדת
מספיק לפתור אחד ולהחליף μs ↔ -μs

פתרון (אפשר גם לבדוק ב Mathematica, Wolfram Alpha), אחרי שפותרים.

$$\omega_{min}^2 = \frac{g}{h\ \tan\alpha}\left[\frac{1-\mu_s\ \tan\alpha}{\tan\alpha+\mu_s}\right]$$
$$\omega_{max}^2 = \frac{g}{h\ \tan\alpha}\left[\frac{1+\mu_s\ \tan\alpha}{\tan\alpha-\mu_s}\right]$$

בדיקה:
יחידות
תשובה הגיונית? גבולות
מה קורה כאשר $\mu_s > \tan\alpha$?