# מכניקה 90903

## פרק 4 - תנועה יחסית

### תוכן העניינים

1. הסבר על טרנספורמציית גלילי ..... 1
2. שיטה שניה-פתרון באמצעות תרשימי וקטורים ..... 6
3. מהירות יחסית בכיוון הצופה (מד לייזר) ..... 8

# טרנספורמציית גלילי:

## רקע:

$$\vec{r}_{1,2} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$$
$$\vec{v}_{1,2} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$$
$$\vec{a}_{1,2} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$$

## שאלות:

**1) כלב קופץ בתוך רכבת**

כלב נמצא ברכבת הנעה במהירות $8\frac{\text{m}}{\text{sec}}$ ביחס לקרקע. הכלב קופץ בכיוון התקדמות הקרון מרחק של 7 מטרים ביחס לקרון. במהלך הקפיצה מהירות הכלב קבועה ביחס לקרון ושווה ל-$3\frac{\text{m}}{\text{sec}}$.
מהו המרחק שעבר הכלב ביחס לקרקע?

**2) מדרגות נעות**

כאשר אדם עומד על מדרגות נעות בחנות, הוא מגיע לקומה הרצויה תוך 50 שניות. יום אחד, המדרגות הנעות מתקלקלות והאדם צריך לעלות אותן ברגל בכוחות עצמו, כאשר הוא נע במלוא היכולת שלו, הוא מצליח להגיע לקומה הרצויה תוך 80 שניות. למחרת, המדרגות הנעות עובדות כרגיל, אך האדם מחליט לרוץ בהן במלוא יכולתו בכל זאת.

א. תוך כמה זמן יגיע לקומה הרצויה?

ב. האדם מנסה עתה לרדת חזרה לקומה המקורית במדרגות העולות (אלה בהן הוא עלה קודם).
האם הוא יכול להצליח בכך?
אם כן תוך כמה זמן יגיע לקומה המקורית?

**3) כדור נזרק במעלית ***

מרצפת מעלית הנמצאת במנוחה נזרק כדור כלפי מעלה במהירות התחלתית לא ידועה. הכדור עובר ליד שעון עצר, המחובר למעלית, ונמצא בגובה 2 מטרים מרצפת המעלית. שעון העצר מופעל ברגע שהכדור חולף לידו בפעם הראשונה ומפסיק ברגע שהכדור חולף לידו בפעם השנייה (בדרכו למטה). השעון מדד זמן של 0.5 שניות.

א. מהו זמן התנועה של הכדור מרגע הזריקה עד לפגיעה ברצפת המעלית?

ב. מהי הדרך אותה עשה הכדור ביחס למעלית וביחס לכדה"א עד אשר הגיע לשעון בפעם השנייה?

ג. חוזרים על הניסוי, אבל כעת המעלית נעה (מלפני זריקת הכדור) במהירות קבועה כלפי מעלה של $4\frac{m}{sec}$. הזמן שמודד השעון הוא שוב 0.5 שניות. מהו זמן התנועה של הכדור מרגע הזריקה ועד לפגיעה ברצפת המעלית?

ד. מהי הדרך אותה עשה הכדור ביחס למעלית וביחס לכדה"א עד אשר הגיע לשעון בפעם השנייה?

ה. מהי מהירות הכדור ביחס לכדה"א ברגע הפגיעה ברצפת המעלית?

**4) כדור נזרק במעלית מאיצה****

מעלית נעה בתאוצה קבועה כלפי מעלה של $2\frac{m}{sec^2}$.

ברגע שמהירות המעלית היא $4\frac{m}{sec}$ נזרק מרצפת המעלית כדור כלפי מעלה במהירות התחלתית לא ידועה.
הכדור עובר ליד שעון עצר המחובר למעלית ונמצא בגובה 1 מטר מרצפת המעלית. שעון העצר מופעל ברגע שהכדור חולף לידו בפעם הראשונה ומפסיק ברגע שהכדור חולף לידו בפעם השנייה (בדרכו למטה). השעון מדד זמן של 0.5 שניות.

א. מהו הזמן עד לפגיעת הכדור ברצפת המעלית?

ב. מהי הדרך הכוללת שעבר הכדור ביחס למעלית עד אשר עבר ליד השעון בפעם השנייה?

ג. מהי הדרך הכוללת שעבר הכדור ביחס לכדה"א עד אשר עבר ליד השעון בפעם השנייה?

ד. מהי מהירות הכדור יחסית לכדה"א ברגע הפגיעה ברצפת המעלית?

**5) דוגמה - מכונית ביחס לאוטובוס**

מכונית נוסעת במהירות של 30 מטר לשנייה בכיוון 30 מעלות עם ציר ה-$x$.
אוטובוס נוסע במהירות של 50 מטר לשנייה בכיוון ציר ה-$x$.

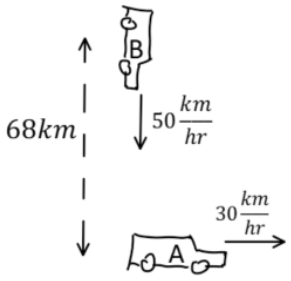
א. מצא את המהירות היחסית בין האוטובוס למכונית.

ב. מצא את הזווית בה האוטובוס יראה את המכונית נוסעת.

**6) אבן נזרקת מכדור פורח – תעשיה טכניון**

סטודנטית נמצאת על משטח שעולה אנכית במהירות קבועה $v_0 = 6\frac{m}{sec}$,
נסמן ב- $t = 0$ את הרגע בו התחיל לעלות המשטח מהקרקע.
ברגע $t_1 = 3sec$ הסטודנטית זורקת אבן במהירות $v_1 = 8\frac{m}{sec}$, אופקית ביחס אליה.
מהו הזמן בו האבן פוגעת בקרקע (ביחס לזמן אפס של השאלה)?

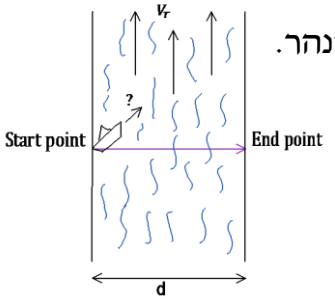
**7) מרחק מינימלי בין מכוניות**




צופה הנמצא ברכב A יוצא מנקודה מסוימת לכיוון מזרח במהירות 30 קמ"ש. באותו הזמן רכב B יוצא ממרחק 68 ק"מ צפונית לנקודת יציאתו של רכב A ונוסע דרומה במהירות של 50 קמ"ש, כמתואר באיור.

א. רשמו את פונקציית המרחק בין שני כלי הרכב כתלות בזמן.
ב. מצאו תוך כמה שעות המרחק בין כלי הרכב יהיה מינימלי.
מצאו את גודלו של מרחק זה.
ג. הראו כי ברגע בו המרחק בין המכוניות מינימלי וקטור המיקום היחסי מאונך לוקטור המהירות היחסית.

**8) סירה בנהר**




נהר זורם צפונה במהירות $V_r$.
יוסי נמצא בגדה המערבית ורוצה להשיט סירה לרוחב הנהר.
מהירות הסירה היא $V_{br}$ יחסית לנהר.
יוסי מעוניין להגיע אל הגדה הנגדית בדיוק מזרחית לנקודת מוצאו.
נתון כי רוחב הנהר d.

א. באיזה כיוון הוא יהיה חייב להשיט את הסירה?
ב. מה מהירות הסירה יחסית לאדמה?
ג. כמה זמן תארך דרכו?

**9) אנייה שטה מערבה וצופה באנייה נוספת**

מאנייה A השטה מערבה במהירות 30 קמ"ש נראית אנייה B כאילו היא שטה בדיוק צפונה. כאשר אנייה A מאטה ומורידה את מהירותה ל-10 קמ"ש (באותו הכיוון) נראית ממנה אנייה B כאילו היא שטה בכיוון היוצר זווית של 42 מעלות מערבית לצפון.
מהו גודלה וכיוונה של מהירות אנייה B ביחס לקרקע?

**10) זווית פגיעה של גשם במכונית**

נהג הנוסע במהירות 100 קמ"ש רואה טיפות גשם נמרחות על השמשה הצדדית של המכונית בכיוון הפוך לכיוון הנסיעה ובזווית של 45 מעלות עם הציר האנך לכיוון הנסיעה.

נהג אחר הנוסע במהירות 70 קמ"ש רואה את טיפות הגשם בזווית 30 מעלות עם אותו הציר.

מצא את מהירות הטיפות ביחס לקרקע (גודל וכיוון).

**11) זווית בין מהירויות**

שני קליעים נורים ברגע $t=0$. מיקומם ומהירותם ההתחלתית הם:

$$\vec{r}_1(0)=0\ ,\ \vec{v}_1(0)=2\hat{i}+5(\text{J})\ ,\ \vec{r}_2(0)=\hat{i}\ ,\ \vec{v}_2(0)=-1\hat{i}+4\hat{j}$$

על שניהם פועל כוח משיכה הגורם לתאוצה של $\vec{a}=-3\hat{i}+\hat{j}$.

היחידות הן MKS.

א. מצא את $\vec{r}_1(t)$ , $\vec{r}_2(t)$.

ב. מצא את המרחק בין הקליעים כפונקציה של הזמן.

ג. מצא את הזווית בין $\vec{v}_1$ ל- $\vec{v}_2$ ברגע $t=3$.

**12) מציאת מהירות בין מערכות**

ביחס למערכת ייחוס A, מיקומו של גוף מסוים נתונה על ידי:

$$\vec{r}_A(t)=\left(6t^2-4t\ ,-3t^3,3\right).$$

מערכת ייחוס B נעה ביחס למערכת הייחוס הראשונה במהירות קבועה, $\vec{V}_{AB}$.

צופה הנמצא במערכת B רואה את הגוף נע כך שמיקומו בכל רגע הוא:

$$\vec{r}_B(t)=\left(6t^2-3t,2t-3t^3,5\right).$$

א. חשבו את המהירות של המערכת B ביחס למערכת A, $\vec{V}_{AB}$.

ב. הראו שתאוצת הגוף זהה בשתי מערכות הייחוס, וחשבו אותה.

## תשובות סופיות:

**1)** $25.7\text{m}$

**2)** א. $t=30.8\text{sec}$ ב. לא.

**3)** א. $t=1.36\text{sec}$ ב. $S=2.62\text{m}$ ג. $t=1.36\text{sec}$ ד. $S=5.72\text{m}$

ה. $v_1=-2.8\frac{\text{m}}{\text{sec}}$

**4)** א. $t=0.96\text{sec}$ ב. $S=1.76\text{m}$ ג. $S=4.46\text{m}$ ד. $v_1=0.16\frac{\text{m}}{\text{sec}}$

**5)** א. $v_2'=\left(-24.01\frac{\text{m}}{\text{sec}},15\frac{\text{m}}{\text{sec}}\right)$ ב. $\theta_2'=148°$

**6)** $2.6\text{sec}$

**7)** א. $\left|\vec{r}_{B,A}\right|=\sqrt{(30t)^2+(68-50t)^2}$ ב. $t=1\text{hr}\ ,\ \left|\vec{r}_{B,A}\right|=35\text{km}$ ג. הוכחה.

**8)** א. $\sin\theta=-\frac{V_r}{V_{br}}$ ב. $V_{bx}=\sqrt{V_{br}^{\ 2}-V_r^{\ 2}}$ ג. $t=\frac{d}{\sqrt{V_{br}^{\ 2}-V_r^{\ 2}}}$

**9)** צפונה מהמערב $V_B\approx 37.3\ \text{km/hr}\ ,\ \alpha\approx 36.5°$

**10)** מהירות: $V_x=29.21\frac{\text{km}}{\text{hr}}\ ,\ V_y=-70.79\frac{\text{km}}{\text{hr}}$ , גודל וכיוון: ראה סרטון.

**11)** א. $\vec{r}_1(t)=\left(-\frac{3}{2}t^2+2t\right)\hat{i}+\left(\frac{t^2}{2}+5t\right)\hat{j}\ ,\ \vec{r}_2(t)=\left(-\frac{3}{2}t^2-t+1\right)\hat{i}+\left(\frac{t^2}{2}+4t\right)\hat{j}$

ב. $\left|\vec{r}_{1,2}\right|=\sqrt{10t^2-6t+1}$ ג. $\alpha=13.82°$

**12)** א. $(1,-2,0)$ ב. הוכחה.

# שיטה שניה-פתרון באמצעות תרשימי וקטורים:

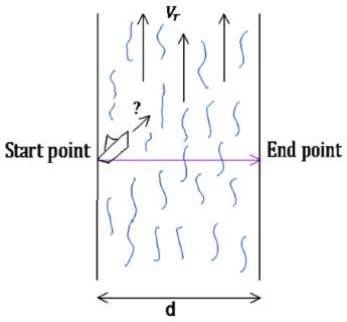
## שאלות:

**1) שיטה שניה-פתרון באמצעות תרשימי וקטורים ודוגמה**

צופה הנמצא באונייה A השטה מזרחה במהירות 15 קמ״ש רואה את אונייה B שטה במהירות 20 קמ״ש ובכיוון 60 מעלות צפונית למזרח.
מהי המהירות של אונייה B ביחס לקרקע, גודל וכיוון?

**2) סירה בנהר פתרון בשיטה השניה**

נהר זורם צפונה במהירות $V_r$.
יוסי נמצא בגדה המערבית ורוצה להשיט סירה לרוחב הנהר.
מהירות הסירה היא $V_{br}$ יחסית לנהר.
יוסי מעוניין להגיע אל הגדה הנגדית בדיוק מזרחית לנקודת מוצאו.




א. סרטטו תרשים וקטורי ובו:
מהירות הסירה ביחס לקרקע, מהירות הנהר ביחס לקרקע ומהירות הסירה ביחס לנהר.
ב. מצאו את כיוון מהירות הסירה ביחס לנהר.

**3) מטוס נראה משתי רכבות**

צופה הנמצא ברכבת הנעה מזרחה במהירות של 50 קמ״ש רואה מטוס חוצה את המסילה בזווית של 30 מעלות מערבית לצפון.
צופה אחר הנוסע ברכבת הנעה מערב במהירות של 100 קמ״ש רואה את אותו המטוס חוצה את המסילה בזווית 50 מעלות מזרחית לצפון.

א. סרטטו תרשים וקטורים ובו:
מהירות הצופים ביחס לקרקע, מהירות המטוס ביחס לכל צופה ומהירות המטוס ביחס לקרקע (אין צורך לדעת את כל הנתונים בתרשים).
ב. מצאו את מהירות המטוס ביחס לקרקע (גודל וכיוון).

**4) רכב רואה רכב רואה רכב**

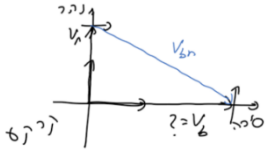
צופה היושב ברכב A רואה את רכב B כאילו הוא נע צפונה במהירות $v_{BA}$.
צופה היושב ברכב B רואה את רכב C, כאילו הוא נע בכיוון צפון מערב בזווית $\alpha$ מהצפון ובמהירות $v_{CB}$.
רכב A נע ביחס לקרקע בכיוון צפון מזרח בזווית $\beta$ מן הצפון ובמהירות $v_A$.
מהי המהירות של רכב C ביחס לקרקע, גודל וכיוון?

**5) שני דאונים**

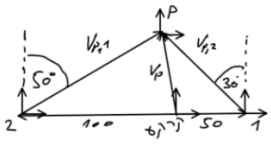
שני דאונים טסים באותו הגובה.
באזור טיסתם קיים זרם אוויר במהירות 40 קמ"ש ובכיוון של 30 מעלות מזרחה מהצפון.
דאון 1 טס ביחס לזרם במהירות 30 קמ"ש ובכיוון צפון.
דאון 2 טס ביחס לקרקע במהירות לא ידועה אך בכיוון צפון.
בנוסף הטייס שבדאון 1 רואה את דאון 2 כאילו הוא טס מערבה.
מצאו את גודל וכיוון מהירויות הדאונים ביחס לקרקע.

## תשובות סופיות:

**1)** 30.4 קמ"ש ובזווית 34.7 מעלות צפונית למזרח.

**2)** א. 

ב. $\theta = shift\sin\left(\frac{Vr}{Vbr}\right)$ דרומית למזרח.

**3)** א. 

ב. 84.98 קמ"ש ובכיוון 2 מעלות מערבית מהצפון.

**4)** $v_c = \sqrt{\left(v_A \sin\beta - v_{CB}\sin\alpha\right)^2 + \left(v_A\cos\beta + v_{BA} + v_{CB}\cos\alpha\right)^2}$

$$\tan\theta_C = \frac{v_A\cos\beta + v_{BA} + v_{CB}\cos\alpha}{v_A\sin\beta - v_{CB}\sin\alpha}$$

**5)** דאון 1 : 67.7 קמ"ש ובזווית 17.2 מעלות מזרחה מהצפון.
דאון 2 : 64.6 קמ"ש צפונה.

# מהירות יחסית בכיוון הצופה (מד לייזר):

## רקע:

$|\vec{r}| = \frac{d}{dt}$ שמודד לייזר $\vec{v} = \frac{\dot{x}\cdot\hat{x}+\dot{y}\cdot\hat{y}}{\sqrt{x^2+y^2}}$

## שאלות:

**1) דוגמה ראשונה**

מהירותה של מכונית נתונה לפי: $\vec{v}(t) = 2t^2\hat{x} + (3t-1)\hat{y}$

ב-$t=0$ המכונית הייתה בראשית.

א. מצא את וקטור מיקום המכונית כתלות בזמן.

ב. מהי מהירות המכונית ב-$t=2$ כפי שימדוד אותה שוטר הנמצא בראשית, אם השוטר מודד באמצעות אקדח לייזר.

ג. חזור על סעיף ב' אם השוטר נוסע במהירות קבועה $\vec{v} = v_0\hat{x}$ ונמצא גם כן בראשית ב-$t=0$.

## תשובות סופיות:

**1)** א. $\vec{r} = \frac{2}{3}t^3\hat{x} + \left(\frac{3}{2}t^2 - t\right)\hat{y}$ ב. $\mathrm{v}(t=2) = 9.4\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sec}}$

ג. $\mathrm{v}(t=2) = \frac{(8-\mathrm{v}_0)\left(\frac{16}{3}-2\mathrm{v}_0\right)+20}{\sqrt{\left(\frac{16}{3}-2\mathrm{v}_0\right)^2+16}}$