

פיזיקה למתמטיקאים 8832001

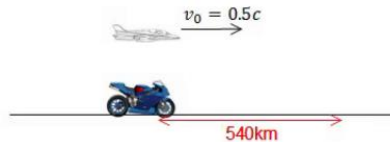
פרק 12 - יחסות פרטית -

תוכן העניינים

1. טרנספורמציות לורנץ למיקום והזמן.....1
2. טרנספורמציות לורנץ למהירות.....3
3. תרגילים לטרנספורמציות מיקום ומהירות.....4

טרנספרמציית לורנץ למיקום והזמן:

שאלות:



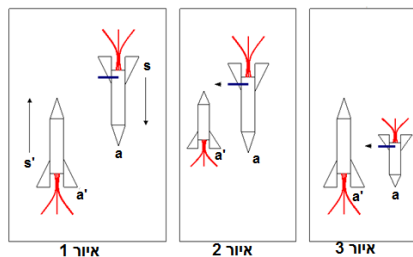
(1) מציאת מהירות ומיקום אופנוע

אופנוע נוסע במהירות קבועה בקו ישר. צופה על הקרקע מודד כי האופנוע נסע מרחק של 540km.

צופה הנע במטוס ממש מהיר $v = 0.5c$, בכיוון נסיעת האופנוע, מודד כי משך זמן נסיעת האופנוע היה 0.01 שניה.

א. מצא את מהירות האופנוע במערכת כדה"א.

ב. מצא את המרחק שעבר האופנוע כפי שמדד הצופה במטוס.



(2) בדיקת ירי

שתי חלליות בעלות אורך מנוחה זהה, עוברות זו במקביל לזו במהירות גבוהה.

בזנב החללית S מצוי תותח המכוון בניצב לכיוון תנועת החללית ולעבר מסלול התנועה של החללית S' (איור 1).

בחללית S מתבצעת בדיקת ירי בתותח ברגע

שהנקודה a בראש החללית מתלכדת עם הנקודה a' (זנב S').

מכיוון שאורך החללית S' קצר מהאורך העצמי בחללית B-S מניחים כי הטייל יפספס את החללית השנייה (איור 2).

אולם במערכת S' אורך החללית S קצר מהאורך העצמי ולכן כאשר a ו-a' מתלכדות האסטרונאוט S יפגע (איור 3). יש/י את הפרדוקס.

(3) מוט פולט אור לסירוגין

מוט בעל אורך l_0 נע במהירות V נתונה ביחס לכדה"א.

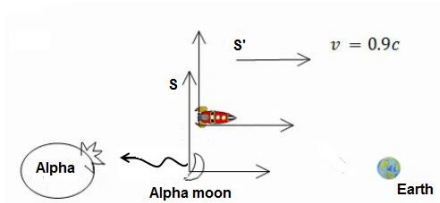
נתון כי ב- $t = 0$ הקצה השמאלי של המוט נמצא ב- $x = x' = 0$. ברגע זה המוט פולט אור מקצהו הימני.

לאחר זמן τ המוט פולט אור מקצהו הימני.

מצא את הפרש הזמנים כפי שרואה אותם צופה מכדה"א (הפרש הזמנים בין הגעת האור משני המאורעות לראשית).



(4) פיצוץ בכוכב אלפה



החללית אנטרייז יוצאת מכוכב אלפה חזרה לכדה"א. בדרך היא עוברת ליד הירח של כוכב אלפה ורואה פולס אלקטרו מגנטי חזק יוצא לכיוון הכוכב. ידוע שבירח ישנה קבוצת חייזרים תוקפניים בשם ה"קליגונים". 1.3 שניות מאוחר יותר היא רואה פיצוץ בכוכב. המרחק בין הכוכב לירח שלו הוא 500 מיליון מטרים כפי שנמדד במערכת החללית. מהירות החללית ביחס לכוכב ולירח היא $0.9c$.

- א. מהו מרווח הזמן בין גילוי הגל לפיצוץ במערכת הכוכב והירח?
- ב. מה משמעות הסימן בהפרש הזמן?
- ג. האם הפולס גרם לפיצוץ או להיפך?

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } v = 5.65 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad \text{ב. } x'_2 = -10.32 \cdot 10^5 \text{ m}$$

(2) ראה סרטון.

$$(3) \quad \Delta t = \gamma_0 \left(1 + \beta \right) \left(\tau - \frac{l_0}{c} \right)$$

$$(4) \quad \text{א. } t_3 = -3.525 \text{ sec} \quad \text{ב. הפיצוץ היה לפני הגעת הגל לכוכב וגם לפני ירי הגל.}$$

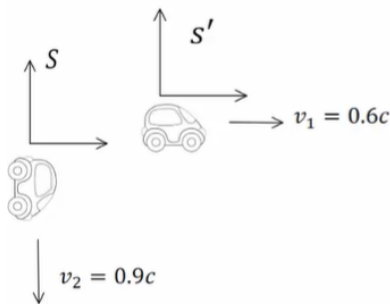
ג. לא יכול להיות שהפיצוץ גרם לירי של הפולס, $x_2 = 11.47 \cdot 10^8 \cdot \text{m} > 10.575 \cdot 10^8 \text{ m}$

טרנספורמציית לורנץ למהירות:

שאלות:

(1) מהירות יחסית בין מכוניות

שתי מכוניות נוסעות האחת במאונך לשנייה כך שמהירות המכונית הראשונה היא $0.6c$ ומהירות המכונית השנייה היא $0.9c$. מצא את המהירות היחסית.



תשובות סופיות:

$$v'_{2x} = -0.6c, v'_{2y} = -0.72c \quad (1)$$

תרגילים לטרנספרמציית מיקום ומהירות:

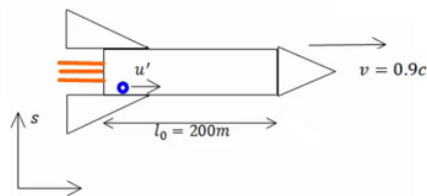
שאלות:

(1) דודה יוצאת לטיול



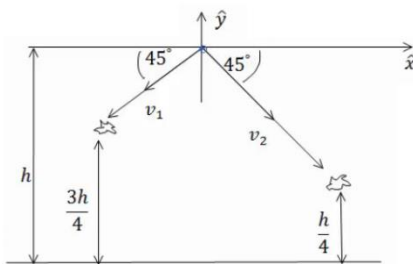
המבחן בפיזיקה התחיל בשעה 9:00 והמשגיחה יצאה לטיול במהירות $0.8c$ (דודה זריזה במיוחד). לאחר שעה לפי שעונה היא שולחת לסטודנטים אות רדיו לסיים את הבחינה. כמה זמן ארכה הבחינה עבור הסטודנטים?

(2) כדור מתגלגל בחללית



חללית בעלת אורך עצמי של 200 מטר נעה במהירות $0.9c$ ביחס למערכת אינרציאלית S . כדור קטן מתגלגל לאורכה במהירות $u' = 0.04c$ בכיוון ציר x , כפי שנמדד ע"י צופה בחללית. א. מהי מהירות הכדור כפי שנמדדת ע"י צופה ב- S ? (הבא את התשובה ביחידות של c).
 ב. מהו הזמן שייקח לכדור לעבור מקצה לקצה של החללית כפי שנמדד ב- s ? (הבא את התשובה במיליוניות שנייה).
 ג. איזה מרחק עבר הכדור לפי צופה במערכת s ? (ביחידות של ק"מ).

(3) חלקיקים נוצרים בגובה ומתפרקים



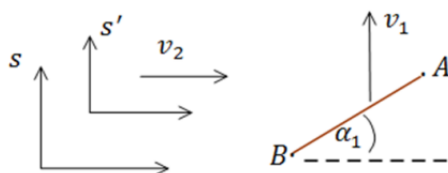
שני חלקיקים נוצרים בגובה h מעל הקרקע. אחד נפלט בזווית 225 מעלות עם ציר ה- x והשני בזווית 45- מעלות עם ציר ה- x . החלקיק הראשון מתפרק לאחר זמן T בגובה $\frac{3h}{4}$ והחלקיק השני מתפרק לאחר זמן T_2 בגובה $\frac{h}{4}$. התעלם מהכבידה בבעיה.

- הבע את מהירויות החלקיקים באמצעות h ו- T .
- מצא את זמן החיים העצמי של כל חלקיק (זמן החיים במערכת המנוחה).
- מצא מערכת s' הנעה בכיוון החיובי של ציר ה- x בה ההתפרקות מתרחשות באותו הזמן.
- מה המרחק בין ההתפרקות במערכת s' ?

(4) מיואון מתפרק ליד אלקטרון

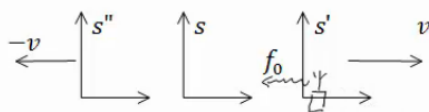
- מיואון (μ) נוצר ברגע מסוים ונע במהירות $0.7c$ ביחס לקרקע. המיואון מתפרק לאחר שנע 3 ק"מ ממקום היווצרו.
- א. כמה זמן חי המיואון במערכת העצמית שלו? אלקטרון נע במקביל למיואון ובמהירות $0.5c$ ביחס למעבדה.
- ב. מהי מהירות המיואון ביחס לאלקטרון?
- ג. איזה מרחק נע המיואון ביחס לאלקטרון.

(5) זווית של מוט נע



- מוט בעל אורך l (לא נתון) נע במהירות v_1 בכיוון ציר ה- y ביחס לצופה הנמצא במעבדה. הצופה במעבדה מודד זווית α_1 של המוט ביחס לציר ה- x .
- איזו זווית ימדוד צופה הנע במהירות $\hat{x} v_2$ ביחס למעבדה?

(6) תדר יחסי



- במערכת s' הנעה במהירות v ביחס למערכת המעבדה S , נמצא משדר רדיו הפולט אותות בתדירות f_0 ?

- א. מה תהיה התדירות שתיקלט במעבדה?
- ב. מה תהיה התדירות שתיקלט במערכת s'' הנעה במהירות $\vec{v} = -v\hat{x}$ ביחס למעבדה?

תשובות סופיות:

$$\Delta t = 1.08 \cdot 10^4 \text{ sec} \quad (1)$$

$$x_1 = 10.78 \text{ km} \quad \text{ג.} \quad t_1 = 39.62 \mu\text{s} \quad \text{ב.} \quad v_x = 0.907c \quad \text{א.} \quad (2)$$

$$\tau_1 = T \sqrt{1 - \frac{h^2}{8T^2 c^2}}, \quad \tau_2 = 2T \sqrt{1 - \frac{9h^2}{64T^2 c^2}} \quad \text{ב.} \quad v_1 = \frac{h}{2\sqrt{2}T}, \quad v_2 = \frac{3h}{4\sqrt{2}T} \quad \text{א.} \quad (3)$$

$$d'^2 = \frac{\frac{5h^4}{4} - 3c^2 T^2 h^2 + c^4 T^4}{h^2 - c^2 T^2} \quad \text{ד.} \quad v_0 = \frac{c^2 T}{h} \quad \text{ג.}$$

$$\Delta x_{12} = 0.98 \text{ km} \quad \text{ג.} \quad V_{12} = 0.31c \quad \text{ב.} \quad \tau = 10^{-5} \text{ sec} \quad \text{א.} \quad (4)$$

$$\tan \alpha' = \gamma_2 \left(\tan \alpha_1 + \frac{v_1 v_2}{c^2} \right) \quad (5)$$

$$f'' = \sqrt{\left(\frac{1-\beta}{1+\beta} \right)^2} f_0 \quad \text{ב.} \quad f_s = \sqrt{\frac{1-\frac{v}{c}}{1+\frac{v}{c}}} f_0 \quad \text{א.} \quad (6)$$