

אלגברה

לינארית

$$\begin{pmatrix} \alpha & \beta & \chi & \delta \\ \varepsilon & \phi & \varphi & \gamma \\ \eta & \iota & \kappa & \lambda \\ \mu & \nu & \omicron & \pi \\ \omega & \theta & \vartheta & \rho \\ \sigma & \varsigma & \tau & \upsilon \\ \omega & \xi & \psi & \zeta \end{pmatrix}$$

גיא סלומון

## סטודנטים יקרים

ספר תרגילים זה הינו פרי שנות ניסיון רבות של המחבר בהוראת מתמטיקה באוניברסיטת תל אביב, באוניברסיטה הפתוחה, במכללת שנקר ועוד.

שאלות תלמידים וטעויות נפוצות וחוזרות הולידו את הרצון להאיר את הדרך הנכונה לעומדים בפני קורס חשוב זה.

הספר עוסק באלגברה לינארית והוא מתאים לתלמידים במוסדות להשכלה גבוהה – אוניברסיטאות או מכללות.

הספר מסודר לפי נושאים ומכיל את כל חומר הלימוד, בהתאם לתוכניות הלימוד השונות. הניסיון מלמד כי לתרגול בקורס זה חשיבות יוצאת דופן, ולכן ספר זה בולט בהיקפו ובמגוון התרגילים המופיעים בו.

לכל התרגילים בספר פתרונות מלאים באתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)  
 הפתרונות מוגשים בסרטוני פלאש המלווים בהסבר קולי, כך שאתם רואים את התהליכים בצורה מובנית, שיטתית ופשוטה, ממש כפי שנעשה בשיעור פרטי. הפתרון המלא של השאלה מכון ומוביל לדרך חשיבה נכונה בפתרון בעיות דומות מסוג זה.

לדוגמאות: [www.GooL.co.il/linearit.html](http://www.GooL.co.il/linearit.html)

תקוותי היא, שספר זה ישמש מורה-דרך לכם הסטודנטים ויוביל אתכם להצלחה.

גיא סלומון



## תוכן

|    |  |
|----|--|
| 4  | פרק 1 - פתרון וחקירת מערכות של משוואות לינאריות..... |
| 11 | פרק 2 - מטריצות.....                                 |
| 17 | פרק 3 - דטרמיננטות.....                              |
| 23 | פרק 4 - מרחבים וקטורים.....                          |
| 31 | פרק 5 - ערכים עצמיים, וקטורים עצמיים, לכסון.....     |
| 32 | פרק 6 - העתקות (טרנספורמציות) לינאריות.....          |
| 35 | פרק 7 - מטריצות והעתקות לינאריות.....                |
| 37 | פרק 8 - וקטורים.....                                 |
| 46 | פרק 9 - מספרים מרוכבים.....                          |

## פרק 1 - פתרון וחקירת מערכות של משוואות לינאריות

(1) מצא אילו מהמערכות הבאות הן מערכות שקולות:

$$\begin{array}{l} (1) \quad x + y = 3 \quad (2) \quad x + 10y = 11 \\ (3) \quad x - 4y = -7 \quad (4) \quad 2x + y = 3 \\ 2x + y = 4 \quad x - y = 0 \quad x - y = -1 \quad 2x - 2y = 0 \end{array}$$

(2) רשום את המטריצות המתאימות למערכות המשוואות הבאות:

$$\begin{array}{l} (1) \quad x + 10y = 11 \quad (2) \quad x - 4y + z = -7 \quad (3) \quad 2x + y + z = 3 \quad (4) \quad x = 3 \\ 2x - 2 = 0 \quad x - y = -1 \quad x - z = 0 \quad 2x + y = 4 \\ x + y = 3 \quad x + y + z = 5 \quad z + t = 8 \end{array}$$

(3) בצע על כל אחת מהמטריצות הבאות את הפעולות הרשומות מתחתיה בזו אחר זו ומצא את המטריצה המתקבלת (סדר הפעולות הוא משמאל לימין ומלמעלה למטה).

$$\begin{array}{l} (1) \quad \begin{pmatrix} 3 & 5 & -1 & 0 \\ 2 & 1 & 4 & 2 \\ 5 & 0 & -2 & 6 \end{pmatrix} \quad (2) \quad \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 2 \\ -1 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (3) \quad \begin{pmatrix} 3 & -4 & 8 & 1 \\ 2 & -3 & 6 & 0 \\ -1 & 4 & -5 & 1 \end{pmatrix} \\ R_1 \leftrightarrow R_2, R_1 \rightarrow 2R_1 \quad R_2 \rightarrow 4R_2, R_2 \rightarrow R_2 + R_1 \quad R_1 \rightarrow R_1 + 3R_3, R_2 \rightarrow R_2 + 3R_3 \\ R_3 \rightarrow R_3 + R_1, R_1 \leftrightarrow R_3 \quad R_2 \leftrightarrow R_3, R_3 \rightarrow R_3 - 3R_2 \quad R_1 \rightarrow 5R_1 - 8R_2 \end{array}$$

(4) מצא איזה פעולה אלמנטרית אחת יש לבצע על המטריצה שמשמאל כדי לקבל את המטריצה מימין:

$$(1) \quad \begin{pmatrix} 1 & -2 & 4 \\ 4 & 1 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 6 & -3 & 9 \\ 4 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$(2) \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & -4 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & -4 & 1 \\ 0 & 2 & 17 & -3 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

$$(3) \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 4 & 4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 4 & 2 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$$

(5) א. **הסבר והדגם** את המושגים מטריצה מדורגת, מטריצה מדורגת קנונית ודירוג מטריצות.

ב. הבא את המטריצות הבאות לצורה **מזורגת** (בסעיפים 1,3,5,7 גם לצורה **מזורגת קנונית**):

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & -1 & 3 \\ 1 & 3 & 1 & 5 \\ 3 & 8 & 4 & 17 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} 3 & 6 & 3 & -6 & 5 \\ 2 & 4 & 1 & -2 & 3 \\ 1 & 2 & -1 & 2 & 1 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & -3 & -2 & 4 & 1 \\ 2 & 5 & -8 & -1 & 6 & 4 \\ 1 & 4 & -7 & 5 & 2 & 8 \end{pmatrix}^{(1)}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{(6)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 2 & 5 & 3 & 1 & 6 \\ 1 & -1 & -2 & 2 & 1 \\ -2 & 3 & 5 & -4 & -1 \end{pmatrix}^{(5)} \quad \begin{pmatrix} 4 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 11 & -5 & 3 \\ 2 & -5 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & -1 & 2 \end{pmatrix}^{(4)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1+i \\ 1+i & 2i \\ 2+i & 1+3i \end{pmatrix}^{(*9)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 3 & -2 & 2 & 3 \\ 1 & 4 & -3 & 4 & 2 \\ 2 & 3 & -1 & -2 & 9 \\ 1 & 3 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 5 & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 5 & -6 & 6 & 3 \end{pmatrix}^{(8)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 2 & 5 & 3 & 1 & 6 \\ -1 & 1 & 2 & -2 & -1 \\ -2 & 3 & 5 & -4 & -1 \\ 3 & -2 & -5 & 1 & -1 \end{pmatrix}^{(7)}$$

$F=\mathbb{C}, F=\mathbb{R}$

\* בתרגיל 9, עליך לדרג את המטריצה פעם מעל השדה  $\mathbb{R}$  ופעם מעל השדה  $\mathbb{C}$ .

(6) פתור את מערכות המשוואות הבאות בשיטת גאוס (כלומר, על ידי דרוג).

$$\begin{array}{l} 8x - 4y = 10 \quad (3) \\ -6x + 3y = 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} 4x + 8y = 20 \quad (2) \\ 3x + 6y = 14 \end{array} \quad \begin{array}{l} 2x + 3y = 8 \quad (1) \\ 5x - 4y = -3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} x + 2y + 3z = 3 \quad (6) \\ 4x + 6y + 16z = 8 \\ 3x + 2y + 17z = 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} x + 2y + 3z = -11 \quad (5) \\ 2x + 3y - z = -5 \\ 3x + y - z = 2 \end{array} \quad \begin{array}{l} 2x_1 - x_2 - 3x_3 = 5 \quad (4) \\ 3x_1 - 2x_2 + 2x_3 = 5 \\ 10x_1 - 6x_2 - 2x_3 = 32 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 3x - 2y = 1 \quad (9) \\ -9x + 6y = -3 \\ 6x - 4y = 2 \end{array} \quad \begin{array}{l} 4x - 7y = 0 \quad (8) \\ 8x - 14y = 2 \\ -16x + 28y = 4 \end{array} \quad \begin{array}{l} x + 3y = 2 \quad (7) \\ 2x + y = -1 \\ x - y = -2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} x + 2y + 2z = 2 \quad (12) \\ 3x - 2y - z = 5 \\ 2x - 5y + 3z = -4 \\ 2x + 8y + 12z = 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} x_1 + 5x_2 + 4x_3 - 13x_4 = 3 \quad (11) \\ 3x_1 - x_2 + 2x_3 + 5x_4 = 2 \\ 2x_1 + 2x_2 + 3x_3 - 4x_4 = 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} x + 2y - 3z + 2t = 2 \quad (10) \\ 2x + 5y - 8z + 6t = 5 \\ 6x + 8y - 10z + 4t = 8 \end{array}$$

(7) מצא לאילו ערכי  $k$  (אם יש כאלה) יש למערכות הבאות:

א. פתרון יחיד. ב. אף פתרון. ג. אינסוף פתרונות.

$$\begin{array}{lll} x - y + z = 1 & (1) & x + ky + z = 1 & (2) & x + 2ky + z = 0 & (3) \\ 5x - 7y + (k^2 + 3)z = k^2 + 1 & & x + y + kz = 1 & & 3x + y + kz = 2 & \\ 3x - y + (k + 3)z = 3 & & kx + y + z = 1 & & x + 9ky + 5z = -2 & \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} 2x - y + z = 0 & (4) & kx - y = 1 & (5) & x + ky + 3z = 2 & (6) \\ x + 2y - z = 0 & & (k - 2)x + ky = -2 & & kx - y + z = 4 & \\ 5x + (1 - k)y + k^2z = 1 & & (k^2 - 1)z = 9 & & 3x + y + (2 + k)z = 0 & \end{array}$$

(8) מצא לאילו ערכי  $k$  (אם יש כאלה) יש למערכות הבאות:

א. פתרון יחיד. ב. אף פתרון. ג. אינסוף פתרונות.

$$\begin{array}{lll} 2x + ky = 3 & (1) & 2x - 3y + z = 1 & (2) & 3x + 4y - z = 2 & (3) \\ (k + 3)x + 2y = k^2 + 5 & & 4x + (k^2 - 5k)y + 2z = k & & kx - 2y + z = -1 & \\ 6x + 3ky = 7k^2 + 2 & & & & x + 8y - 3z = k & \\ 2x + 6y - 2z = 0.5k + 1 & & & & & \end{array}$$

(9) מצא לאילו ערכים של  $a$  ושל  $b$  (אם יש כאלה) יש למערכות הבאות:

א. פתרון יחיד. ב. אף פתרון. ג. אינסוף פתרונות.

$$\begin{array}{lll} x + 2y - 4z = b & (1) & 2x + 4y + az = -1 & (2) & x + y - z + t = 1 & (3) \\ 7x - 10y + 16z = 7 & & x + 2y + 4z = -4 & & ax + y + z + t = b & \\ 2x - ay + 3z = 1 & & x + 2y - 4z = 0 & & 3x + 2y + at = 1 + a & \\ x + 2y + 6z = -2b & & & & & \end{array}$$

(10) נתונה מערכת המשוואות:

$$\begin{array}{l} x + az = 1 \\ y + 2z = 2 \\ bx + cy + dz = 3 \end{array}$$

א. מצא תנאי עבור  $a, b, c, d$  כך שלמערכת יהיה פתרון יחיד.

ב. מצא תנאי עבור  $b, c, d$  כך שלכל  $a$  למערכת יהיו אינסוף פתרונות.

(11) פתור את מערכת המשוואות הבאה בשיטת גאוס מעל השדה  $\mathbf{F}$ .

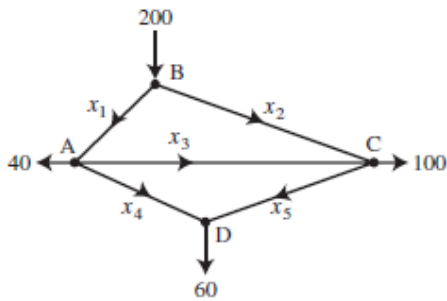
$$\begin{array}{ll} x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 1 & (1) \\ 2x_1 + 4x_2 + 4x_3 = 2 & \\ 3x_1 + x_3 = 0 & \end{array} \quad \begin{array}{l} z_1 + iz_2 + (1 - i)z_3 = 1 + 4i & (2) \\ iz_1 + z_2 + (1 + i)z_3 = 2 + i \\ (-1 + 3i)z_1 + (3 - i)z_2 + (2 + 4i)z_3 = 5 - i \end{array}$$

$$\boxed{\mathbf{F} = \mathbb{C}, \mathbf{F} = \mathbb{R}}$$

$$\boxed{\mathbf{F} = \mathbb{Z}_5}$$

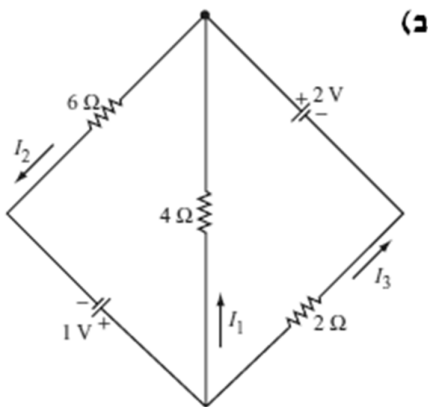
$$\begin{cases} x + y - z = 1 \\ 3x - 7y + (k^2 + 1)z = k^2 - 1 \\ 4x - 6y + (k + 2)z = 4 \end{cases} \quad (12) \text{ נתונה המערכת:}$$

- א. רשום את המטריצה המתאימה למערכת המשוואות.  
 ב. רשום את הצורה המדורגת של המטריצה מסעיף א.  
 ג. מצא לאילו ערכי  $k$  יש למערכת: 1. פתרון יחיד. 2. אף פתרון. 3. אינסוף פתרונות.  
 ד. רשום את הפתרון הכללי במקרה בו יש אינסוף פתרונות.  
 ה. מצא לאילו ערכי  $k$  יש למערכת פתרון שבו  $z = 0$ .  
 ו. מצא לאילו ערכי  $k$  יש למערכת פתרון יחיד שבו  $z = 0$ .  
 ז. מצא עבור איזה ערך של  $k$  פתרון של המשוואה השלישית הוא  $(1, 2, 3)$ . האם ייתכן שהפתרון הנ"ל הוא גם פתרון של כל המערכת? הסבר.  
 ח. מצא לאיזה ערך של  $k$ ,  $(1, 0, 0)$  הוא הפתרון היחיד של המערכת.

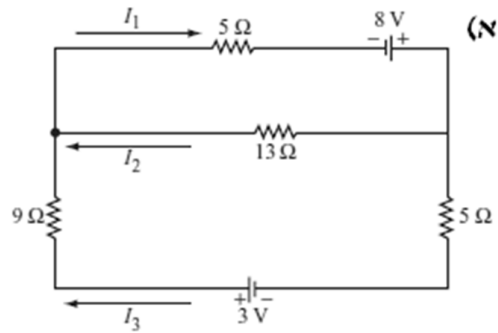


- (13) באיור שלפניך רשת זרימה המתארת את זרם התנועה (במכוניות לדקה) של מספר רחובות בתל אביב.  
 א. מצא את תבנית הזרימה הכללית של הרשת.  
 ב. מצא את תבנית הזרימה הכללית של הרשת אם ידוע שהכביש שהזרם שלו  $x_4$  סגור.  
 ג. מהו הערך המינימלי של  $x_1$  אם ידוע ש-  $x_4 = 0$ .

(14) מצא את הזרמים במעגלים החשמליים הבאים (חוקי קירקהוף וחוק אוהם):



(ב)



\* בפרק 3 (דטרמיננטות) תמצא שאלות נוספות הנוגעות בנושא מערכת משוואות לינאריות.

**תשובות:**

(1) (1 ו-3) שקולות ו-2 (2 ו-4) שקולות.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 3 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 8 \end{pmatrix}^{(4)} \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}^{(3)} \begin{pmatrix} 1 & -4 & 1 & -7 \\ 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 5 \end{pmatrix}^{(2)} \begin{pmatrix} 1 & 10 & 11 \\ 2 & -2 & 0 \\ 1 & 1 & 3 \end{pmatrix}^{(1)} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -4 & 4 \\ 0 & 5 & -4 & 2 \\ -1 & 4 & -5 & 1 \end{pmatrix}^{(3)} \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 3 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \end{pmatrix}^{(2)} \begin{pmatrix} 9 & 2 & 6 & 8 \\ 3 & 5 & -1 & 0 \\ 4 & 2 & 8 & 2 \end{pmatrix}^{(1)} \quad (3)$$

$$R_2 \rightarrow 2R_2 + 4R_1 \quad (2) \quad R_2 \rightarrow R_2 - 4R_1 \quad (2) \quad R_1 \rightarrow 2R_1 + R_2 \quad (1) \quad (4)$$

**ב. (5)**

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 24 & 21 \\ 0 & 1 & -2 & 0 & -8 & -7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & -3 & -2 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & -2 & 3 & -2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{pmatrix}^{(1)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & -1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 3 & -6 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{(2)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{17}{3} \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{2}{3} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{4}{3} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & -1 & 3 \\ 0 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 3 & 4 \end{pmatrix}^{(3)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & -1 & 2 \\ 0 & 11 & -5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{(4)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 0 & 1 & 1 & -5 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{(5)}$$



$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 0 & 1 & 1 & -5 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & -2 & 2 & 3 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1+i \\ 1+i & 2i \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 1+i \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$F=\mathbb{R} \qquad F=\mathbb{C}$

(6)

$$(x, y) = (5 - 2t, t) \quad (2) \qquad (x, y) = (1, 2) \quad (1)$$

$$\phi \quad (4) \qquad \phi \quad (3)$$

$$(x, y, z) = (-1 - 7t, 2 + 2t, t) \quad (6) \qquad (x_1, x_2, x_3) = (1, -3, -2) \quad (5)$$

$$\phi \quad (8) \qquad (x, y) = (-1, 1) \quad (7)$$

$$(x, y, z, t) = (-a + 2b, 1 + 2a - 2b, a, b) \quad (10) \qquad (x, y) = \left(\frac{1+2t}{3}, t\right) \quad (9)$$

$$(x, y, z) = (2, 1, -1) \quad (12) \qquad \phi \quad (11)$$

$$\text{א (2) } k \neq 1, k \neq -2 \quad \text{ב } k = -2 \quad \text{ג } k = 1 \quad \text{ד (17) } k \neq 1, k \neq -2$$

$$k = 1$$

$$\text{א (3) } k \neq -1, k \neq \frac{4}{7} \quad \text{ב } k = \frac{4}{7} \quad \text{ג } k = -1 \quad \text{ד (4) } k \neq 1, k \neq -0.4$$

$$\text{א (5) } k \neq \pm 1, k \neq -2 \quad \text{ב } k = \pm 1, k = -2$$

$$\text{א (6) } k \neq -1, k \neq -3, k \neq 2 \quad \text{ג } k = -1, k = -3, k = 2$$

$$k = 1 \text{ .ג } k \neq 1 \text{ .א (3) } k \neq 3 \text{ .ג } k = 3 \text{ .ב (2) } k = 1 \text{ .ג } k \neq \pm 1 \text{ .ב } k = -1 \text{ .א (1) (8)}$$

(9)

$$. a = 2, b = -3 \text{ .ג } a = 2, b \neq -3 \text{ .ב } a \neq 2 \text{ .א (1)}$$

$$. a = -6, b = 2.5 \text{ .ג } a \neq -6 \text{ או } b \neq 2.5 \text{ .ב (2)}$$

$$. a \neq 2 \text{ או } a = 2, b = 2 \text{ .ג } a = 2, b \neq 2 \text{ .ב (3)}$$

$$b = 0, c = 1.5, d = 3 \text{ .ב } ab + 2c \neq d \text{ .א (10)}$$

(11)

$$(z_1, z_2, z_3)_{F=\mathbb{R}} = (2, 3, -1), (z_1, z_2, z_3)_{F=\mathbb{C}} = ((-1+i)t + 1 + i, 3, t) \text{ (2) } (x_1, x_2, x_3) = (0, 3, 0) \text{ (1)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & -10 & k^2 + 4 & k^2 - 4 \\ 0 & 0 & -k^2 + k + 2 & 4 - k^2 \end{pmatrix} \text{ .ב } \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & 1 \\ 3 & -7 & k^2 + 1 & k^2 - 1 \\ 4 & -6 & k + 2 & 4 \end{pmatrix} \text{ .א (12)}$$

$$k = 2 \text{ .3 } k = -1 \text{ .2 } . k \neq 2, k \neq -1 \text{ .1 .ג}$$

$$(x, y, z) = (1 + 0.2t, 0.8t, t) \text{ .ד}$$

$$k = -2 \text{ .ח } . \text{לא, } k = 2 \text{ .ז } k = -2 \text{ .ו } k = \pm 2 \text{ .ה}$$

$$. x_4 = 60 - x_5, x_2 = 100 - x_3 + x_5, x_1 = 100 + x_3 - x_5 \text{ .א (13) } x_5 \text{ חופשיים.}$$

$$. x_5 = 60, x_4 = 0, x_2 = 160 - x_3, x_1 = 40 + x_3 \text{ .ב } x_3 \text{ חופשי.}$$

.ג 40

$$I_1 = -\frac{5}{22}, I_2 = \frac{7}{22}, I_3 = \frac{6}{11} \text{ .ב } . I_1 = \frac{255}{317}, I_2 = \frac{97}{317}, I_3 = \frac{158}{317} \text{ .א (14)}$$

## פרק 2 - מטריצות

(1) נתונות מטריצות:  $A_{4 \times 6}$ ,  $B_{4 \times 6}$ ,  $C_{6 \times 2}$ ,  $D_{4 \times 2}$ ,  $E_{6 \times 4}$ .

קבע מי מבין המטריצות הבאות מוגדרות. במידה והמטריצה מוגדרת רשום את סדר המטריצה.

$$B + AB \quad (5) \quad AE - B \quad (4) \quad AC - D \quad (3) \quad AB \quad (2) \quad A + B \quad (1) \\ E(B - A) \quad (10) \quad E(AC) \quad (9) \quad E^T B \quad (8) \quad (E + A^T)D \quad (7) \quad E(B + A) \quad (6)$$

(2) מצא את  $x, y, z$ , אם ידוע כי:

$$\begin{pmatrix} x + 2y & 3x - 2y \\ 2x - 5y & 2x + 8y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 - 2z & 5 + z \\ -4 - 3z & -12z \end{pmatrix}$$

(3) נתונות המטריצות הבאות:

$$A = \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 1 & 2 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 0 & -2 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 4 & 1 & 5 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 4 & 2 & 10 \end{pmatrix}, E = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 4 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$I_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, I_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

חשב (במידה וניתן):

$$2tr(D^2 - 2E) \quad (5) \quad 2D + 4EI_3 \quad (4) \quad 5C \quad (3) \quad E - D + I_3 \quad (2) \quad E + D \quad (1) \\ DABC \quad (10) \quad tr(C^T C) \quad (9) \quad I_2 BC \quad (8) \quad \frac{1}{2}A^T + \frac{1}{4}C \quad (7) \quad 4C^T + A \quad (6)$$

(4) בכל אחד מהסעיפים הבאים מצא מטריצות  $A$ ,  $\underline{x}$  ו- $\underline{b}$  המבטאות את מערכת המשוואות

הנתונה ע"י המשוואה היחידה  $A\underline{x} = \underline{b}$ .

$$\begin{aligned} 2x - 3y + z + t = 1 & \quad (2) & 2x + y - z = 3 & \quad (1) \\ 4x + y + 2z = 4 & & x + 2y - 4z = 5 & \\ y + z + t = 1 & & 6x + 4y + z = 2 & \\ x - 4z - 2y = 10 & & & \end{aligned}$$

(5) נתון:

$$A = \begin{pmatrix} 4 & -2 & 4 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & -6 & 3 \end{pmatrix} \quad \underline{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \underline{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

בטא כל אחת מהמשוואות הבאות כמערכת משוואות לינאריות:

$$A^T \underline{x} = 2\underline{x} + 3\underline{b} \quad (5) \quad A\underline{x} = \underline{x} \quad (4) \quad A\underline{x} = -k\underline{x} + \underline{b} \quad (3) \quad A\underline{x} = 4\underline{x} + \underline{b} \quad (2) \quad A\underline{x} = \underline{b} \quad (1)$$

(6) מטריצה ריבועית  $A$  תיקרא סימטרית אם  $A^T = A$  ואנטי-סימטרית אם  $A^T = -A$ .

א. ידוע ש- $A$  מטריצה ריבועית. מי מבין הבאים נכון:

1.  $AA^T$  סימטרית. 2.  $A + A^T$  סימטרית. 3.  $A - A^T$  אנטי-סימטרית.

ב. ידוע ש- $A$  ו- $B$  אנטי-סימטריות מאותו סדר. מי מבין הבאים נכון:

1.  $BABABA$  אנטי-סימטרית. 2.  $A^2 - B^2$  סימטרית. 3.  $A^2 + B$  סימטרית.

ג. ידוע ש- $A$  ו- $B$  סימטריות מאותו סדר ונתון כי  $AB = -BA$ . מי מבין הבאים נכון:

1.  $AB^3$  אנטי-סימטרית. 2.  $AB^2$  סימטרית. 3.  $(A - B)^2$  סימטרית.

ד. ידוע ש- $A$  סימטרית ו- $B$  אנטי סימטרית מאותו סדר ונתון כי  $AB = BA$ . הוכח:

1.  $AB$  אנטי-סימטרית. 2.  $AB + B$  אנטי-סימטרית.

ה. נתון:  $A, B, AB$  סימטריות מאותו סדר. הוכח כי  $A^4 B^4 = B^4 A^4$ .

(7) מצא את ההפוכה של כל מטריצה. בדוק תשובתך על ידי כפל מטריצות מתאים.

$$\begin{pmatrix} 4 & 1.5 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} 5 & 2 \\ 7 & 3 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}^{(1)}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & -1 & 1 \\ 3 & -2 & 2 \\ 5 & -3 & 4 \end{pmatrix}^{(6)} \quad \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & -1 \\ 5 & 2 & 3 \end{pmatrix}^{(5)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 4 & -1 & 8 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}^{(4)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 2 & 2 & 3 \\ 2 & -1 & 2 & -1 \\ 4 & 0 & 2 & -2 \end{pmatrix}^{(9)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & -1 & -2 \end{pmatrix}^{(8)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}^{(7)}$$

(8) א. עבור אילו ערכים של הקבוע  $k$  המטריצה הבאה הפיכה:  $\begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 5 & -7 & k^2 + 3 \\ 3 & -1 & k + 3 \end{pmatrix}$

ב. עבור אילו ערכים של הקבוע  $k$  המטריצה הבאה איננה הפיכה:  $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & k \\ 1 & 1 & 1 & k & 1 \\ 1 & 1 & k & 1 & 1 \\ 1 & k & 1 & 1 & 1 \\ k & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

(9) פתור את מערכות המשוואות הבאות בעזרת המטריצה ההפוכה:

$$\begin{aligned} x + 4y + 2z + 4t &= 1 & (2) & & 2x - y + z &= 3 & (1) \\ x + 2y - z &= 0 & & & 3x - 2y + 2z &= 5 \\ y + z + t &= 1 & & & 5x - 3y + 4z &= 11 \\ x + 3y - z - 2t &= 0 \end{aligned}$$

(10) א. הנח שכל המטריצות הן הפיכות מסדר  $n$  וחלף את  $X$ :

$$\begin{aligned} P^{-1}X^T P &= A & (3) & & A^{-1}XC &= A^{-1}DC & (2) & & AXC &= D & (1) \\ ABC^T X^{-1}BA^T C &= AB^T & (6) & & (A - AX)^{-1} &= X^{-1}C & (5) & & C^{-1}(A + X)D^{-2} &= I & (4) \end{aligned}$$

ב. נתון  $B = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 9 \end{pmatrix}$ . חשב את  $X$  אם ידוע כי  $B^2 X (2B)^{-1} = B + I$ .

ג. נתון  $B^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 4 & -1 & 8 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}$ . חשב את  $Y$  אם ידוע כי  $BYB^T = B^{-1} + B$ .

ד. נתון  $A^{-1} = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 4 & 7 \end{pmatrix}$ . חשב את  $B$  אם נתון  $5A^T B (I + 2A)^{-2} = (7A)^{-2}$ .

(11) א. נתון:  $A$  מטריצה ריבועית המקיימת  $A^2 - 5A - 2I = 0$ .

הוכח:  $A$  הפיכה ובטא את  $A^{-1}$  במונחי  $A$  ו- $I$ .

ב. נתון:  $A$  מטריצה ריבועית המקיימת  $(A - 3I)(A + 2I) = 0$ .

הוכח:  $A$  הפיכה ובטא את  $A^{-1}$  במונחי  $A$  ו- $I$ .

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 3 & 0 \\ 3 & -1 & 0 \\ -2 & -2 & 6 \end{pmatrix}, p(x) = x^3 - 4x^2 - 20x + 48 \text{ : נתונים ג.}$$

1. חשב את  $p(A)$ .

2. בעזרת תוצאת סעיף 1 (ולא בדרך אחרת) הוכח ש- $A$  והפיכה ובטא את  $A^{-1}$  בעזרת  $A$

ו- $I$  בלבד.

(12) נתון:  $A$  מטריצה ריבועית המקיימת  $A^4 = 0$ .

א. הוכח כי  $A$  לא הפיכה.

ב. הוכח כי המטריצה  $I - A$  הפיכה ומצא את ההופכית שלה.

$$(13) \text{ נתון: } \begin{cases} P^{-1}AP = B \\ Q^{-1}BQ = C \end{cases} \text{ . הוכח כי קיימת מטריצה הפיכה } D \text{ כך ש- } D^{-1}AD = C$$

\* הנח שכל המטריצות הנתונות ריבועיות, מאותו סדר והפיכות.

\*\* לסטודנטים המכירים את המושג דימיון מטריצות ניתן לנסח את השאלה כך:

הוכח: אם  $A$  דומה ל- $B$  ו- $B$  דומה ל- $C$  אז  $A$  דומה ל- $C$  (כלומר יחס הדימיון

הוא יחס טרנזיטיבי).

### הערה

בפרק 3 (דטרמיננטות) תמצא שאלות נוספות הנוגעות למטריצה ההפוכה.

**תשובות:**

$$(5 \quad (4 \quad 4 \times 2 \quad (3 \quad (2 \quad 4 \times 6 \quad (1 \quad (1) \\ 6 \times 6 \quad (10 \quad 6 \times 4 \quad (9 \quad (8 \quad 6 \times 2 \quad (7 \quad 6 \times 6 \quad (6$$

$$(x, y, z) = (2, 1, -1) \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} 18 & 12 & 8 \\ -2 & 0 & 2 \\ 24 & 8 & 16 \end{pmatrix}^{(4)} \quad \begin{pmatrix} 5 & 20 & 10 \\ 20 & 5 & 25 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} 4 & -3 & -1 \\ -2 & 1 & 2 \\ 0 & -1 & -10 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 5 & 5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 8 & 3 & 9 \end{pmatrix}^{(1)} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} 8 & 17 & 13 \\ -8 & -2 & -10 \end{pmatrix}^{(8)} \quad \begin{pmatrix} 2.25 & 1.5 & 0 \\ 1 & 1.25 & 1.75 \end{pmatrix}^{(7)} \quad \begin{pmatrix} 8 & 16 \\ 17 & 6 \\ 7 & 21 \end{pmatrix}^{(6)} \quad 230 \quad (5$$

$$\begin{pmatrix} -32 & 82 & -22 \\ 48 & 87 & 75 \\ -48 & 108 & -36 \end{pmatrix}^{(10)} \quad 63 \quad (9$$

(4)

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 \\ 1 & 2 & -4 \\ 4 & 4 & 1 \end{pmatrix} \quad \underline{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \underline{b} = \begin{pmatrix} 3 \\ 5 \\ 2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{pmatrix} 2 & -3 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -4 & 0 \end{pmatrix} \quad \underline{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{pmatrix} \quad \underline{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \\ 10 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} (4+k)x - 2y + 4z = 1 \quad (3) \quad -2y + 4z = 1 \quad (2) \quad 4x - 2y + 4z = 1 \quad (1) \quad (5) \\ x + (k-1)y + z = 2 \quad x - 5y + z = 2 \quad x - y + z = 2 \\ x - 6y + (3+k)z = 3 \quad x - 6y - z = 3 \quad x - 6y + 3z = 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 2x + y + z = 3 \quad (5) \quad 3x - 2y + 4z = 0 \quad (4) \\ -2x - 3y - 6z = 6 \quad x - 2y + z = 0 \\ 4x + y + z = 9 \quad x - 6y + 2z = 0 \end{array}$$

1,2,3 .ג 2.ב 1,2,3 .א (6)

(7)

$$\begin{pmatrix} 1 & -1.5 \\ -2 & 4 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ -7 & 5 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1.5 & -0.5 \end{pmatrix}^{(1)}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 \\ 2 & -3 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}^{(6)} \quad \begin{pmatrix} 8 & -1 & -3 \\ -5 & 1 & 2 \\ -10 & 1 & 4 \end{pmatrix}^{(5)} \quad \begin{pmatrix} -11 & 2 & 2 \\ 4 & -1 & 0 \\ 6 & -1 & -1 \end{pmatrix}^{(4)}$$

$$\begin{pmatrix} 7 & -2 & 3 & -1 \\ -10 & 3 & -5 & 2 \\ -10 & 3 & -4 & 1.5 \\ 4 & -1 & 2 & -1 \end{pmatrix}^{(9)} \quad \begin{pmatrix} 7 & -10 & -20 & 4 \\ -2 & 3 & 6 & -1 \\ 3 & -5 & -8 & 2 \\ -1 & 2 & 3 & -1 \end{pmatrix}^{(8)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}^{(7)}$$

$$k=1, k=-4 \quad (2) \quad . k \neq 1, k \neq -2 \quad (1) \quad (8)$$

$$(x, y, z, t) = (-13, 4, -5, 2) \quad (2) \quad . (x, y, z) = (1, 2, 3) \quad (1) \quad (9)$$

$$. CD^2 - A \quad (4) \quad . (P^{-1})^T A^T P^T \quad (3) \quad . D \quad (2) \quad . A^{-1}DC^{-1} \quad (1) \quad (10)$$

$$BA^T C(B^{-1})^T BC^T \quad (6) \quad . (A+C^{-1})^{-1} A \quad (5)$$

$$B = \frac{1}{245} \begin{pmatrix} 264 & 450 \\ 448 & 768 \end{pmatrix} \quad (7) \quad Y = \begin{pmatrix} 22 & 86 & 38 \\ 64 & 246 & 114 \\ 60 & 238 & 100 \end{pmatrix} \quad (8) \quad X = 4 \begin{pmatrix} 5 & -1 \\ -2 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$. A^{-1} = \frac{1}{6}A - \frac{1}{6}I \quad (3) \quad A^{-1} = 0.5A - 2.5I \quad (11)$$

$$. B^{-1} = -\frac{1}{48}B^2 + \frac{1}{12}B + \frac{5}{12}I \quad (2) \quad , f(B) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1) \quad (10)$$

$$(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 \quad (3) \quad (12)$$



### פרק 3 - דטרמיננטות

(1) חשב את הדטרמיננטה של המטריצות הבאות על ידי הורדת סדר (פיתוח לפי שורה/עמודה):

$$\begin{pmatrix} 4 & -1.5 \\ 2 & -1 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} 5 & 2 \\ -7 & 3 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}^{(1)}$$

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 3 & -2 & 5 \\ 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}^{(6)} \quad \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{(5)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 4 & 1 & 8 \\ 2 & 0 & 3 \end{pmatrix}^{(4)}$$

$$\begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 5 \\ 1 & 7 & 2 & 4 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & -1 & 1 \end{pmatrix}^{(9)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 5 \\ -2 & 0 & -6 & 0 \\ 5 & 3 & -7 & 4 \\ 2 & 0 & 5 & 44 \end{pmatrix}^{(8)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}^{(7)}$$

$$\begin{pmatrix} 4 & 0 & 7 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ -7 & 2 & 1 & 5 & 9 \\ 3 & 0 & 4 & 2 & -1 \\ -5 & 0 & -8 & -3 & 2 \end{pmatrix}^{(11)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 9 & 8 & 3 & 4 \\ 3 & 0 & -5 & 0 & 2 \\ 2 & -4 & 1 & 0 & 3 \\ 4 & 1 & 7 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{(10)}$$

(2) חשב את הדטרמיננטה של המטריצות הבאות על ידי דירוג.

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -3 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 4 \\ -1 & 2 & 8 & 5 \\ 3 & -1 & -2 & 3 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 3 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 2 & -5 \\ 2 & 5 & 4 & -3 \\ -1 & -2 & -1 & -1 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0 & 2 \\ -2 & -5 & 7 & 4 \\ 3 & 5 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & -1 \end{pmatrix}^{(1)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 5 & -5 & -1 & -8 \\ 0 & 0 & 2 & 3 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 7 \end{pmatrix}^{(6)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & -1 & 0 & -2 \\ 3 & 4 & -5 & -1 & -8 \\ 0 & 0 & 2 & 3 & 9 \\ 0 & 0 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 2 & 7 \end{pmatrix}^{(5)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 3 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 5 & -5 & -1 & -8 \\ -2 & -6 & 2 & 3 & 9 \\ 3 & 7 & -3 & 8 & -7 \\ 3 & 5 & 5 & 2 & 7 \end{pmatrix}^{(4)}$$

(3) חשב את הדטרמיננטה של המטריצות הבאות על ידי שילוב של הורדת סדר ודירוג:

$$\begin{pmatrix} 2 & 5 & 4 & 1 \\ 6 & 12 & 10 & 3 \\ 6 & -2 & -4 & 0 \\ -6 & 7 & 7 & 0 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} -1 & 2 & 3 & 0 \\ 3 & 4 & 3 & 0 \\ 5 & 4 & 6 & 6 \\ 3 & 4 & 7 & 3 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 2 & 5 & -3 & -1 \\ 3 & 0 & 1 & -3 \\ -6 & 0 & -4 & 9 \\ 6 & 15 & -7 & -2 \end{pmatrix}^{(1)}$$

(4) ללא חישוב, הראה שהדטרמיננטה של המטריצות הבאות שווה אפס :

$$\begin{pmatrix} 12 & 15 & 18 \\ 13 & 16 & 19 \\ 14 & 17 & 20 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 5 & 7 & 9 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 7 & 0 & 12 \\ 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}^{(1)}$$

$$\begin{pmatrix} \sin^2 x & \cos^2 x & 1 \\ \sin^2 y & \cos^2 y & 1 \\ \sin^2 z & \cos^2 1 & 1 \end{pmatrix}^{(6)} \quad \begin{pmatrix} a & a+x & a+y \\ b & b+x & b+y \\ c & c+x & c+y \end{pmatrix}^{(5)} \quad \begin{pmatrix} y+z & z+x & y+x \\ x & y & z \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{(4)}$$

$$\begin{pmatrix} 3 & -1 & 4 & 5 & 0 & 1 & -12 \\ -14 & 4 & 1 & -4 & 1 & 8 & 4 \\ 3 & 5 & -2 & 0 & -4 & 1 & -3 \\ -4 & 2 & 1 & 1 & 0 & 6 & -6 \\ -21 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 1 \\ 2 & -5 & 7 & -4 & 2.5 & -1 & -1.5 \\ -11 & 2 & -6 & 9 & -1 & 3 & 4 \end{pmatrix}^{(7)}$$

$$(5) \text{ נתון: } \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix} = 4 \text{ . חשב:}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & g+3d & 3a & a+3d \\ 0 & h+3e & 3b & b+3e \\ 0 & i+3f & 3c & c+3f \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{(3)} \quad \begin{vmatrix} 2a-3d & 2d & g+4a \\ 2b-3e & 2e & h+4b \\ 2c-3f & 2f & i+4c \end{vmatrix}^{(2)} \quad \begin{vmatrix} a & g+d & 2d \\ b & h+e & 2e \\ c & i+f & 2f \end{vmatrix}^{(1)}$$

$$(6) \text{ א. הוכח כי } \begin{vmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & b & b^2 \\ 1 & c & c^2 \end{vmatrix} = (b-a)(c-a)(c-b)$$

$$\text{ב. הוכח כי } \begin{vmatrix} 1 & x & x^2 & x^3 \\ 1 & y & y^2 & y^3 \\ 1 & z & z^2 & z^3 \\ 1 & t & t^2 & t^3 \end{vmatrix} = (y-x)(z-x)(t-x)(z-y)(t-y)(t-z)$$

(7) בכל אחד מהסעיפים הבאים, נתונה מטריצה ריבועית מסדר  $n$ . חשב את הדטרמיננטה של

המטריצה הנתונה:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & i+j=n+1 \\ 0 & \text{אחרת} \end{cases} \quad (3) \quad a_{ij} = \begin{cases} j & i=j+1 \\ n & i=1, j=n \\ 0 & \text{אחרת} \end{cases} \quad (2) \quad a_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j=1 \\ 0 & i=j \neq 1 \\ j & i < j \\ -j & i > j \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 3 & 3 & \dots & 3 \\ 1 & 3 & 6 & \dots & 6 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 3 & 6 & \dots & 3(n-1) \end{pmatrix} \quad (6) \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & 2 & \dots & 2 \\ 1 & 2 & 3 & \dots & 3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 2 & 3 & \dots & n \end{pmatrix} \quad (5) \quad a_{ij} = \begin{cases} a & i=j \\ b & \text{אחרת} \end{cases} \quad (4)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} a & i=j \\ b & i=j+1 \\ c & j=i+1 \end{cases} \quad (*7)$$

\* בסעיף 7): א. מצא נוסחת נסיגה עבור הדטרמיננטה. ב. הנח כי  $a=3, b=1, c=2$  ומצא:

1. ביטוי סגור עבור הדטרמיננטה. 2. את הדטרמיננטה כאשר  $n=20$ .

(8) חשב:

$$\begin{vmatrix} a & b & c & d & e \\ f & g & h & i & j \\ k & l & m & n & o \\ p & q & r & s & t \\ 2a+1 & -2b & 1 & x & y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a & b & c & d & e \\ f & g & h & i & j \\ k & l & m & n & o \\ p & q & r & s & t \\ -a-1 & 3b & c-1 & d-x & e-y \end{vmatrix}$$

(9) נתונים:  $A$  ו- $B$  מטריצות מסדר 3,  $|A|=4, |B|=2$ . חשב:

$$|1-2A^2A^T adj B| \quad (4) \quad |-A^{-2}B^T A^3| \quad (3) \quad |4A^2B^3| \quad (2) \quad |ABA^{-1}B^T| \quad (1)$$

(10) א. נתון:  $(PQ)^{-1}APQ=B$  הוכח:  $|A|=|B|$ .

ב. נתונים:  $A$  ו- $B$  מטריצות הפיכות מסדר 4,  $2AB+3I=0$ ,  $|A|=2$ .

חשב את  $|B|$ .

ג. נתונים:  $A$  ו- $B$  מטריצות הפיכות מסדר 3,  $B^2-2A^{-1}=0$ ,  $A+3B=0$ .

חשב את:  $|A|, |B|$ .

ד. הוכח: 1.  $|A^{-1}| = \frac{1}{|A|}$  . 2.  $|adj(A_{n \times n})| = |A|^{n-1}$  .

ה. נתון כי  $A$  מטריצה אנטיסימטרית מסדר אי זוגי. הוכח ש-  $|A| = 0$  .

ו. נתונים:  $A$  מטריצה מסדר  $n$  ,  $|A| = 128$  ,  $2AB = B^T A^2$  . מצא את  $n$  .

ז. נתונים:  $\det(B_{n \times n}) = \frac{1}{3}$  ,  $\det(A_{n \times n}) = 2$  . חשב:  $\det\left(\frac{1}{3} B^{-n} A^{2n}\right)$  .

(11) פתור את מערכות המשוואות הבאות בעזרת כלל קרמר :

$$\begin{array}{rcl} x + 2z + 5t = 8 & (3) & x + z = 3 & (2) & x + 2y = 5 & (1) \\ -2x - 6y = -8 & & 4x + y + 8z = 21 & & 3x + 4y = 11 \\ 5x + 3y - 7z + 4t = 5 & & 2x + 3z = 8 \\ 2x + 5y + 44z = 51 \end{array}$$

(12) נתונה מערכת המשוואות :

$$\begin{array}{l} kx + y + z + t + r = 1 \\ x + ky + z + t + r = 1 \\ x + y + kz + t + r = 1 \\ x + y + z + kt + r = 1 \\ x + y + z + t + kr = 1 \end{array}$$

א. עבור איזה ערך של  $k$  למערכת פתרון יחיד ?

ב. עבור איזה ערך של  $k$  למערכת פתרון יחיד שבו  $x = \frac{1}{2}$  ?

ג. האם קיים  $k$  עבורו למערכת פתרון יחיד שבו  $x = \frac{1}{5}$  ?

ד. הוכח שאם למערכת פתרון יחיד אז בהכרח  $x = y = z = t = r$  .

(13) עבור כל אחת מהמטריצות הבאות חשב את הצמודה הקלסית  $adj(A)$  ובעזרתה את  $A^{-1}$  .

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & -1 & -2 \end{pmatrix}^{(3)} \quad A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & -1 \\ 5 & 2 & 3 \end{pmatrix}^{(2)} \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}^{(1)}$$

(14) נתון :

$$A = \begin{pmatrix} -9 & 26 & -1 & 14 & 10 \\ 13 & -7 & 87 & 4 & 0 \\ 71 & 35 & 3 & 0 & 0 \\ 17 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

חשב: (1)  $(adjA)_{1,5}$  (2)  $(A^{-1})_{1,5}$

(15) א. הוכח שאם  $|A|=1$  וכל איברי  $A$  הם מספרים שלמים, אזי כל איברי  $A^{-1}$  הם גם

מספרים שלמים.

ב. נתון ש- $A$  מטריצה משולשית תחתונה והפיכה. הוכח ש- $A^{-1}$  משולשית תחתונה.

ג. נתון ש- $A$  הפיכה. הוכח שגם  $adj(A)$  וגם  $A^T$  הפיכות.

ד. נתון:  $A, B$  הפיכות.  $C, D$  לא הפיכות.

האם המטריצות הבאות הפיכות: (1)  $C+D$  (2)  $A+B$  (3)  $AD$  (4)  $CD$  (5)  $AB$  ?

(16) מצא את ערכי  $k$  עבורם המטריצה הבאה לא הפיכה:

$$\begin{pmatrix} 4 & 0 & 7 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 3k & 0 & 0 \\ -7k^2 & 2 & 4k & k & 9+k \\ 3 & 0 & 4 & 2 & -1 \\ -5 & 0 & -8 & -3 & 2 \end{pmatrix}$$

(17) א. חשב את שטח המקבילית שקודקודה:

1.  $(0,0), (5,2), (6,5), (11,6)$  2.  $(-1,0), (0,5), (1,-4), (2,1)$

ב. חשב את נפח המקבילון שקודקודיו:  $(0,0,0), (1,0,-2), (1,2,4), (7,1,0)$

ג. מצא משוואת מישור העובר דרך הנקודות:  $(3,3,-2), (-1,3,1), (1,1,-1)$

ד. חשב את שטח המשולש שקודקודיו:  $(1,2), (3,4), (5,8)$

הערה: בכל אחד מהסעיפים בתרגיל זה עליך להשתמש בדטרמיננטות.

**תשובות:**

9 (10)  $ad - bc$  (1) (1) 29 (3) -1 (4) -1 (5) -3 (6) -14 (7) 24 (8) 234 (9) -300 (10)

6 (11) 6 (1) 0 (2) 0 (3) 3 (4) 24 (5) 44 (6) 104 (7) 3 (1) 120 (2) 114 (3) 6 (4)

(5) 9 (3) 16 (2) -8 (1)  $n!$  (7)  $n!$  (2)  $(-1)^{n-1}n!$  (3)  $(-1)^{\frac{n(3n+1)}{2}}$

(4)  $2 \cdot 3^{n-2}$  (6) 1 (5)  $(a-b)^{n-1}[a+(n-1)b]$

(7)  $D_n = aD_{n-1} - bcD_{n-2}$ ,  $D_2 = a^2 - bc$ ,  $D_3 = a^3 - 2abc$

ב.1.  $D_n = 2^{n+1} - 1$  2.  $D_{20} = 2^{21} - 1$  (8) 0 (9) 4 (1)  $2^{13}$  (2) 4 (3) -8 (4)  $-2^{11}$

(10) ב.  $81/32$  ג.  $|A|=18, |B|=-2/3$  ד. 7 ה.  $4^n$  (11) 1  $x=1, y=2$

(12) א.  $x=y=z=t=1$  (3)  $x=1, y=1, z=2$  ב.  $k=-2$  ג. לא

ג. לא

$$adj(A) = A^{-1} = \begin{pmatrix} 8 & -1 & -3 \\ -5 & 1 & 2 \\ -10 & 1 & 4 \end{pmatrix} \quad (2) \quad adj(A) = \begin{pmatrix} 4 & -2 \\ -3 & 1 \end{pmatrix} \quad (13) \quad A^{-1} = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ 1.5 & -0.5 \end{pmatrix}$$

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 7 & -10 & -20 & 4 \\ -2 & 3 & 6 & -1 \\ 3 & -5 & -8 & 2 \\ -1 & 2 & 3 & -1 \end{pmatrix}, \quad adj(A) = \begin{pmatrix} -7 & 10 & 20 & -4 \\ 2 & -3 & -6 & 1 \\ -3 & 5 & 8 & -2 \\ 1 & -2 & -3 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

(14) 1) 240 (2) 0.5 (15) 1) לא (2) לא (3) לא (4) לא (5) כן (16)  $k=0$

(17) א.1. 13. א.2. 14. ב. 22. ג.  $3x - y + 4z + 2 = 0$  ד. 2

## פרק 4 - מרחבים וקטורים

### סימונים:

- .  $R^n$  - המרחב הוקטורי של כל הוקטורים הממשיים ממימד  $n$  מעל השדה הממשי  $R$ .
- .  $M_n[R]$  - המרחב הוקטורי של כל המטריצות הריבועיות מסדר  $n$  מעל השדה הממשי  $R$ .
- .  $P_n[R]$  - המרחב הוקטורי של כל הפולינומים ממעלה קטנה או שווה ל- $n$  מעל השדה  $R$ .
- .  $F[R]$  - המרחב הוקטורי של כל הפונקציות הממשיות ( $f: R \rightarrow R$ ) מעל השדה  $R$ .

### תת-מרחבים

(1) בכל אחד מהסעיפים הבאים בדוק האם  $W$  תת מרחב של  $R^3$ :

א.  $W = \{(a, b, c) \mid a + b + c = 0\}$

ב.  $W = \{(a, b, c) \mid a = c\}$

ג.  $W = \{(a, b, c) \mid a = 3b\}$

ד.  $W = \{(a, b, c) \mid a < b < c\}$

ה.  $W = \{(a, b, c) \mid a = c^2\}$

ו.  $W = \{(a, b, c) \mid b = a + d, c = a + 2d\}$ , כלומר  $a, b$  ו- $c$  מהווים סדרה חשבונית.

ז.  $W = \{(a, b, c) \mid b = a \cdot q, c = a \cdot q^2\}$ , כלומר  $a, b$  ו- $c$  מהווים סדרה הנדסית.

(2) בכל אחד מהסעיפים הבאים בדוק האם  $W$  תת מרחב של  $M_n[R]$ :

א.  $W = \{A \mid A = A^T\}$ , כלומר,  $W$  מורכב מן המטריצות הסימטריות.

ב.  $W$  מורכב מכל המטריצות המתחלפות בכפל עם מטריצה נתונה  $B$ .

כלומר,  $W = \{A \mid AB = BA\}$ .

ג.  $W = \{A \mid |A| = 0\}$ , כלומר,  $W$  מורכב מכל המטריצות שהדטרמיננטה שלהן אפס.

ד.  $W = \{A \mid A^2 = A\}$ , כלומר,  $W$  מורכב מכל המטריצות ששוות לריבוע שלהן.

ה.  $W$  מורכב מכל המטריצות שהן משולשות עליונות.

ו.  $W$  מורכב מכל המטריצות שמכפלתן במטריצה נתונה  $B$  הוא אפס, כלומר,

$W = \{A \mid AB = 0\}$

ז.  $W = \{A \mid \text{tr}(A) = 0\}$ , כלומר,  $W$  מורכב מכל המטריצות שהעקבה שלהן אפס.

ח.  $W$  מורכב מכל המטריצות שבהן סכום כל שורה הוא אפס.

(3) בכל אחד מהסעיפים הבאים בדוק האם  $W$  הוא תת מרחב של  $P_n[R]$ .

א.  $W = \{p(x) \mid p(4) = 0\}$ , כלומר,  $W$  מורכב מכל הפולינומים בעלי 4 כשורש.

ב.  $W$  מורכב מכל הפולינומים בעלי מקדמים שלמים.

ג.  $W = \{p(x) \mid \deg(p) \leq 4\}$ , כלומר,  $W$  מורכב מכל הפולינומים בעלי מעלה  $\geq 4$ .

ד.  $W$  מורכב מכל הפולינומים בעלי חזקות זוגיות בלבד של  $x$ .

ה.  $W$  מורכב מכל הפולינומים ממעלה  $n$  כאשר  $4 \leq n \leq 7$ .

ו.  $W = \{p(x) \mid p(0) = 1\}$

(4) בכל אחד מהסעיפים הבאים בדוק האם  $W$  הוא תת מרחב של  $F[R]$ .

א.  $W = \{f(x) \mid f(-x) = f(x)\}$  ממשי  $x$  כלומר, לכל  $x$  ממשי  $f(-x) = f(x)$ .

ב.  $W = \{f(x) \mid |f(x)| \leq M\}$  ממשי  $x$  כלומר, לכל  $x$  ממשי  $|f(x)| \leq M$ .

ג.  $W$  מורכב מכל הפונקציות הרציפות.

ד.  $W$  מורכב מכל הפונקציות הגזירות.

ה.  $W$  מורכב מכל הפונקציות הקבועות.

ו.  $W = \left\{ f(x) \mid \int_0^1 f(x) dx = 4 \right\}$  (הנח ש- $f$  אינטגרבילית ב  $[0, 1]$ ).

ז.  $W = \{f(x) \mid f'(x) = 0\}$  (הנח ש- $f$  גזירה לכל  $x$ ).

ח.  $W = \{f(x) \mid f'(x) = 1\}$  (הנח ש- $f$  גזירה לכל  $x$ ).

ט.  $W = \{f(x) \mid f(x) = f(x+1)\}$

(5) בדוק האם  $W = \{(z_1, z_2, z_3) \mid z_2 = \bar{z}_1, z_3 = z_1 + \bar{z}_1\}$  הוא תת מרחב של  $C^3$ :

א. מעל השדה הממשי  $R$ .

ב. מעל שדה המרוכבים  $C$ .



**צירופים לינאריים, מרחב נפרש, תלות לינארית**

(6) נתונים הוקטורים הבאים :

$$u_1 = (4, 1, 1, 5), u_2 = (0, 11, -5, 3), u_3 = (2, -5, 3, 1), u_4 = (1, 3, -1, 2)$$

א. 1. האם  $u_1$  הוא צירוף לינארי של  $u_4$  ?2. האם  $u_1$  שייך ל-  $Sp\{u_4\}$  ?3. האם הקבוצה  $\{u_1, u_4\}$  תלוייה לינארית ?ב. 1. האם  $u_3$  הוא צירוף לינארי של  $u_1$  ו-  $u_2$  ?2. האם  $u_3$  שייך ל-  $Sp\{u_1, u_2\}$  ?3. האם הקבוצה  $\{u_1, u_2, u_3\}$  תלוייה לינארית ? במידה וכן רשום כל וקטור בקבוצה

כצירוף לינארי של הוקטורים האחרים.

ג. 1. האם  $u_4$  הוא צירוף לינארי של  $u_1$  ו-  $u_2$  ?2. האם  $u_4$  שייך ל-  $Sp\{u_1, u_2\}$  ?3. האם הקבוצה  $\{u_1, u_2, u_4\}$  תלוייה לינארית ? במידה וכן רשום כל וקטור בקבוצה

כצירוף לינארי של הוקטורים האחרים.

ד. נתון  $v = (4, 12, k, -2k)$ .1. מה צריך להיות ערכו של  $k$  על מנת שהוקטור  $v$  יהיה צירוף לינארי של  $u_1$  ו-  $u_2$  ?2. מה צריך להיות ערכו של  $k$  על מנת שהוקטור  $v$  יהיה שייך ל-  $Sp\{u_1, u_2\}$ .3. מה צריך להיות ערכו של  $k$  על מנת שהקבוצה  $\{u_1, u_2, v\}$  תהייה תלוייה לינארית.ה. נתון  $v = (a, b, c, d)$ 1. מה התנאים על  $a, b, c, d$  על מנת שהוקטור  $v$  יהיה צירוף לינארי של  $u_1$  ו-  $u_2$  ?1. מה התנאים על  $a, b, c, d$  על מנת שהוקטור  $v$  יהיה שייך ל-  $Sp\{u_1, u_2\}$  ?1. מה התנאים על  $a, b, c, d$  על מנת שהקבוצה  $\{u_1, u_2, v\}$  תהייה תלוייה לינארית ?ו. הבע את הוקטור  $(2, -3, 3, 1)$  כצירוף לינארי של  $u_1$ ,  $u_2$  ו-  $u_3$ .

בכמה אופנים ניתן לעשות זאת ?

ז. הבע את הוקטור  $(7, 10, -2, 11)$  כצירוף לינארי של  $u_1, u_2, u_3$  ו- $u_4$ . בכמה אופנים

ניתן לעשות זאת?

(7) נתונות המטריצות הבאות:

$$A = \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 1 & 5 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 & 11 \\ -5 & 3 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 2 & -5 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$$

1. בדוק האם המטריצות תלויות לינארית מעל  $M_2[R]$ .

2. במידה והמטריצות תלויות רשום כל אחת מהמטריצות כצירוף לינארי של יתר המטריצות.

3. האם המטריצה  $A$  שייכת ל-  $Sp\{B, C\}$ ?

(8) נתונים הפולינומים הבאים:

$$p_1(x) = 4 + x + x^2 + 5x^3, p_2(x) = 11x - 5x^2 + 3x^3,$$

$$p_3(x) = 2 - 5x + 3x^2 + x^3, p_4(x) = 1 + 3x - x^2 + 2x^3$$

1. בדוק האם הפולינומים תלויים לינארית מעל  $P_3[R]$ .

2. במידה והפולינומים תלויים לינארית רשום כל פולינום כצירוף לינארי של

שאר הפולינומים.

3. האם הפולינום  $p_2$  שייך ל-  $Sp\{p_1, p_4\}$ ?

(9) עהוא איזה ערכים של  $a, b, c$  הוקטורים הבאים תלויים לינארית:

$$\{(c, 2, 4), (2, 4, a, 2), (c, b, 6), (b, 2, a)\}$$

(10) נתון כי קבוצת הוקטורים  $\{u, v, w\}$  בלתי תלויה לינארית ב-  $V[F]$ .

בדוק האם הקבוצות הבאות תלויות לינארית, במידה שכן רשום כל וקטור כצירוף

של הוקטורים האחרים:

$$\text{א. } \{u - v, u - w, u + v - 2w\}$$

$$\text{ב. } \{u + 2v + 3w, 4u + 5v + 6w, 7u + 8v + 9w\}$$

$$\text{ג. } \{u + v, v + w, w\}$$

(11) בדוק האם הוקטורים  $\{(1, i, i-1), (i+1, i-1, -2)\}$  תלויים לינארית ב-  $C^3$

א. מעל  $C$ . ב. מעל  $R$ .

### בסיס ומימד

בדיקה האם קבוצת וקטורים מהווה בסיס למרחב

(12) בדוק אם הקבוצות הבאות הן בסיס ל-  $R^3$  :

$$(1) \{ (1, 0, 1), (0, 0, 1) \}$$

$$(2) \{ (1, 1, 2), (1, 2, 3), (3, 3, 4), (2, 2, 1) \}$$

$$(3) \{ (1, 2, 3), (4, 5, 6), (7, 8, 9) \}$$

(13) בדוק אם הקבוצות הבאות הן בסיס ל-  $M_{2 \times 2}[R]$  :

$$(1) \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 9 & 1 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} \right\}$$

$$(2) \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 9 & 1 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 & 16 \\ 7 & 8 \end{pmatrix} \right\}$$

$$(3) \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

(14) בדוק אם הקבוצות הבאות הן בסיס ל-  $P_2(R)$  :

$$(1) \{ 1+x, x^2+2x+3 \}$$

$$(2) \{ 1+x, x^2+2x+3, 2x+4x^3, x-x^3 \}$$

$$(3) \{ 1+2x+3x^3, 4+5x+6x^2, 7+8x+10x^2 \}$$

(15) נתונה קבוצת וקטורים ב-  $R^3$  :  $T = \{(1, 2, 3), (4, 5, 6), (7, 8, 9), (2, 3, 4)\}$

א. האם  $T$  בסיס ל-  $R^3$ .

ב. מצא קבוצה  $T'$ , שהיא קבוצה מקסימלית של וקטורים בלתי תלוייה לינארית ב-  $T$ .

ג. השלם את  $T'$  לבסיס של

**מציאת בסיס וממד למרחב פתרונות של מערכת משוואות הומוגנית**

(16) לפיך 3 מערכות של משוואות הומוגניות:

$$\begin{cases} x - y + z + w = 0 \\ 2x - 2y + 2z + 2w = 0 \end{cases} \quad (3) \quad \begin{cases} x - y + z + w = 0 \\ x + 2z - w = 0 \\ x + y + 3z - 3w = 0 \end{cases} \quad (2) \quad \begin{cases} x + y - z + 2w = 0 \\ 3x - y + 7z + 4w = 0 \\ -5x + 3y - 15z - 6w = 0 \end{cases} \quad (1)$$

נסמן ב-  $W$  את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות (1).

נסמן ב-  $U$  את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות (2).

נסמן ב-  $V$  את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות (3).

(א) מצא בסיס וממד ל-  $U$ ,  $W$  ו-  $V$ .

(ב) (1) מצא בסיס וממד ל-  $U \cup V$ . (2) מצא ממד ל-  $U \cap V$ .

(ג) מצא בסיס ל-  $U \cap V$ .

(17) נתון  $U = \{(a, b, c, d) \in R^4 \mid a = c, b = d\}$ . מצא בסיס וממד ל-  $U$ .

(18) נתון  $U = \{(a, b, c, d) \in R^4 \mid c = a + b, d = b + c\}$ . מצא בסיס וממד ל-  $U$ .

(19) נתון  $U = \{v \in R^4 \mid v \cdot (1, -1, 1, -1) = 0\}$ . מצא בסיס וממד ל-  $U$ .

(20) נתון  $U = \{A \in M_{2 \times 2}[R] \mid A = A^T\}$ . מצא בסיס וממד ל-  $U$ .

(21) נתון  $U = \left\{ A \in M_{2 \times 2}[R] \mid A \cdot \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}$ . מצא בסיס וממד ל-  $U$ .

(22) נתון  $U = \{p(x) \in P_3[R] \mid p(1) = 0\}$ . מצא בסיס וממד ל-  $U$ .

מציאת בסיס וממד לתת מרחב(23) לפניכם שני תתי מרחבים של המרחב  $R^4$  :

$$U = \text{span}\{(1,1,-1,2), (3,-1,7,4), (-5,3,-15,-6)\}$$

$$V = \text{span}\{(1,-1,1,1), (1,0,2,-1), (1,1,3,-3), (5,1,5,8)\}$$

א. מצא בסיס, ממד ומשוואות ל-  $U$ .ב. מצא בסיס, ממד ומשוואות ל-  $V$ .ג. מצא בסיס וממד ל-  $U \cup V$ .ד. מצא בסיס וממד ל-  $U \cap V$ .(24) לפניכם תת מרחב של המרחב  $M_{2 \times 2}[R]$  :

$$U = \text{span}\left\{\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}\right\}$$

מצא בסיס וממד ל-  $U$ .(25) לפניכם תת מרחב של המרחב  $P_3[R]$  :

$$U = \text{span}\{1+x-x^2+2x^3, 4+x-x^2+x^3, 2-x+x^2-3x^3\}$$

מצא בסיס וממד ל-  $U$ .מציאת בסיס וממד למרחב שורה ומרחב עמודה של מטריצה, דרגת מטריצה

(26) מצא בסיס וממד למרחב השורה ומרחב העמודה של המטריצות הבאות וציין את דרגת

המטריצה (rank) :

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 2 & 5 & 3 & 1 & 6 \\ 1 & -1 & -2 & 2 & 1 \\ -2 & 3 & 5 & -4 & -1 \end{pmatrix}^{(2)} \quad \begin{pmatrix} 4 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 11 & -5 & 3 \\ 2 & -5 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & -1 & 2 \end{pmatrix}^{(1)}$$

**וקטורי קואורדינטות, שינוי בסיס**(27) נתונים שני בסיסים של  $R^3$  :

$$B_1 = \{(1,1,0), (0,1,0), (0,1,1)\}, \quad B_2 = \{(1,0,1), (0,1,1), (0,0,1)\}$$

א. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $B_1$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_{B_1}$ .ב. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $B_2$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_{B_2}$ .ג. מצא מטריצת מעבר מהבסיס  $B_1$  לבסיס  $B_2$ . סמן מטריצה זו ב-  $[M]_{B_2}^{B_1}$ .ד. מצא מטריצת מעבר מהבסיס  $B_2$  לבסיס  $B_1$ . סמן מטריצה זו ב-  $[M]_{B_1}^{B_2}$ .

ה. אשר את הטענות הבאות :

$$[M]_{B_1}^{B_2} = \left([M]_{B_2}^{B_1}\right)^{-1} \quad (3) \quad [M]_{B_1}^{B_2} \cdot [v]_{B_2} = [v]_{B_1} \quad (2) \quad [M]_{B_2}^{B_1} \cdot [v]_{B_1} = [v]_{B_2} \quad (1)$$

(27) נתונים שני בסיסים של  $P_2[R]$  :

$$B_1 = \{1+x, x, x+x^2\}, \quad B_2 = \{1+x^2, x+x^2, x^2\}$$

א. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $B_1$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_{B_1}$ .ב. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $B_2$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_{B_2}$ .ג. מצא מטריצת מעבר מהבסיס  $B_1$  לבסיס  $B_2$ . סמן מטריצה זו ב-  $[M]_{B_2}^{B_1}$ .(28) נתונים שני בסיסים של  $M_2[R]$  :

$$B = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

$$E = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

א. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $B$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_B$ .ב. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $E$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_E$ .ג. מצא מטריצת מעבר מהבסיס  $B$  לבסיס  $E$ . סמן מטריצה זו ב-  $[M]_E^B$ .

## פרק 5 - ערכים עצמיים, וקטורים עצמיים, לכסון

(1) עבור כל אחת מהמטריצות הבאות :

- א. מצא מטריצה אופיינית.
  - ב. מצא פולינום אופייני.
  - ג. מצא ערכים עצמיים ואת הריבוב האלגברי של כל ערך עצמי.
  - ד. מצא מרחבים עצמיים ואת הריבוב הגיאומטרי של כל ערך עצמי.
  - ה. מצא וקטורים עצמיים.
  - ו. קבע האם המטריצה ניתנת ללכסון.
  - ז. במידה והמטריצה ניתנת ללכסון, לכסן אותה, כלומר מצא מטריצה הפיכה  $P$  כך ש-  $P^{-1}AP = D$ , באשר  $D$  מטריצה אלכסונית.
  - ח. במידה והמטריצה ניתנת ללכסון חשב  $A^{2009}$ .
  - ט. מצא את הפולינום המינימלי.
- י. קבע האם המטריצה הפיכה לפי ערכיה העצמיים. במידה והמטריצה הפיכה בטא את  $A^{-1}$  בעזרת  $A$  ו-  $I$  בלבד תוך שימוש במשפט קיילי המילטון.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3) \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad (2) \quad A = \begin{pmatrix} 0 & 2 & -1 \\ 0 & 2 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \quad (6) \quad A = \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 4 & -1 \end{pmatrix} \quad (5) \quad A = \begin{pmatrix} -1 & 3 & 0 \\ 3 & -1 & 0 \\ -2 & -2 & 6 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\boxed{F = C, F = R}$$

$$\boxed{F = C, F = R}$$

\* בסעיפים 5,6 עליך לפתור פעם מעל  $C$  ופעם מעל  $R$ .

- (2) א. הגדר את המושג דימיון מטריצות.  
 ב. ידוע ש-  $A$  ו-  $B$  מטריצות דומות. הוכח כי:  
 1.  $|A| = |B|$  . 2.  $tr(A) = tr(B)$  . 3. ל-  $A$  ו-  $B$  אותו פולינום אופייני.

(3) הוכח שאם  $P^{-1}AP = B$  אז  $A^n = PB^nP^{-1}$ .

## פרק 6 - העתקות (טרנספורמציות) לינאריות

### העתקות לינאריות

(1) הגדר והדגם את המושג העתקה (טרנספורמציה) לינארית. הגדר את המושג אופרטור לינארי.

(2) עבור כל אחת מההעתקות הבאות, קבע האם היא העתקה לינארית.

$$T(x, y) = (x + y, x - y) \quad ; \quad T: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2 \quad (1)$$

$$T(x, y, z) = (x + y - 2z, x + 2y + z, 2x + 2y - 3z) \quad ; \quad T: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad (2)$$

$$T(x, y, z) = (2x + z, |y|) \quad ; \quad T: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^2 \quad (3)$$

$$T(x, y) = (xy, y, z) \quad ; \quad T: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad (4)$$

$$T(x, y, z) = (x + 1, x + y, y + z) \quad ; \quad T: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad (5)$$

$$(B \in M_n[\mathbb{R}]) \quad T(A) = BA + AB \quad ; \quad T: M_n[\mathbb{R}] \rightarrow M_n[\mathbb{R}] \quad (6)$$

$$T(A) = A + A^T \quad ; \quad T: M_n[\mathbb{R}] \rightarrow M_n[\mathbb{R}] \quad (7)$$

$$T(A) = |A| \cdot I \quad ; \quad T: M_n[\mathbb{R}] \rightarrow M_n[\mathbb{R}] \quad (8)$$

$$T(A) = A \cdot A^T \quad ; \quad T: M_n[\mathbb{R}] \rightarrow M_n[\mathbb{R}] \quad (9)$$

$$T(A) = A^{-1} \quad ; \quad T: M_n[\mathbb{R}] \rightarrow M_n[\mathbb{R}] \quad (10)$$

$$T(a + bx + cx^2 + dx^3) = a + bx + cx^2 \quad ; \quad T: P_3[\mathbb{R}] \rightarrow P_2[\mathbb{R}] \quad (11)$$

$$T(p(x)) = p(x+1) \quad ; \quad T: P_n[\mathbb{R}] \rightarrow P_n[\mathbb{R}] \quad (12)$$

$$T(p(x)) = p'(x) + p''(x) \quad ; \quad T: P_n[\mathbb{R}] \rightarrow P_n[\mathbb{R}] \quad (13)$$

$$T(p(x)) = p^2(x) \quad ; \quad T: P_n[\mathbb{R}] \rightarrow P_{2n}[\mathbb{R}] \quad (14)$$

$$(F = \mathbb{C}, F = \mathbb{R}) \quad T(z) = \bar{z} \quad ; \quad T: C[F] \rightarrow C[F] \quad (15)$$



(3) עבור איזה ערך של הקבוע  $m$  (אם יש כזה) ההעתקה הבאה תהיה לינארית:

$$T(x, y) = (m^2 x^{2m}, y^{2m} + x) ; T : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$$

(4) בכל אחד מהסעיפים הבאים, קבע האם קיימת העתקה לינארית המקיימת את הנתון. אם כן, מצא את ההעתקה וקבע האם היא יחידה. אם לא, נמק מדוע.

א.  $T : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$  כך ש-  $T(1, 1, 0) = (1, 2, 3)$ ,  $T(0, 1, 1) = (4, 5, 6)$ ,  $T(0, 0, 1) = (7, 8, 9)$ .

ב.  $T : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$  כך ש-  $T(1, 0, 1) = (1, 1, 0)$ ,  $T(0, 1, 1) = (1, 2, 1)$ ,  $T(0, 0, 1) = (0, 1, 1)$ .

ג.  $T : \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^3$  כך ש-  $T(1, 2, -1, 0) = (0, 1, -1)$ ,  $T(-1, 0, 1, 1) = (1, 0, 0)$ ,  $T(0, 4, 0, 2) = (2, 2, -2)$ .

ד.  $T : P_2[\mathbb{R}] \rightarrow P_2[\mathbb{R}]$  כך ש-  $T(1) = 4$ ,  $T(4x + x^2) = x$ ,  $T(1 - x) = x^2 + 1$ .

### תמונה וגרעין של העתקות לינאריות

(5) נתונה העתקה לינארית  $T : V \rightarrow U$ . הגדר והדגם את המושגים:

א. הגרעין של ההעתקה -  $\text{Ker}T$ . ב. התמונה של ההעתקה -  $\text{Im}T$ .

ג. משפט הממד להעתקות (השתמש במושגים הדרגה של העתקה -  $\text{rank}T$  והאיפוס של

העתקה -  $\text{null}T$ )

(6) עבור כל אחת מההעתקות הבאות מצא בסיס וממד לגרעין ולתמונה:

$$T(x, y, z, t) = (x + y, y - 4z + t, 4x + y + 4z - t) , T : \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad (1)$$

$$T(x, y, z) = (x - 4y - z, x + y, y - z, x + 4z) , T : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^4 \quad (2)$$

$$T(x, y, z, t) = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 5 & -2 \\ 2 & 6 & 10 & -4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{pmatrix} , T : \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^3 \quad (3)$$

$$T(A) = A \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 3 \end{pmatrix} \cdot A , T : M_2[\mathbb{R}] \rightarrow M_2[\mathbb{R}] \quad (4)$$

$$T(p(x)) = p(x+1) - p(x+4) , T : P_2[\mathbb{R}] \rightarrow P_2[\mathbb{R}] \quad (5)$$

$$D(p(x)) = p'(x) , D : P_3[\mathbb{R}] \rightarrow P_3[\mathbb{R}] \quad (6)$$

(7) מצא העתקה לינארית  $T: R^3 \rightarrow R^3$  אשר תמונתה נפרשת על ידי  $\{(4,1,4), (-1,4,1)\}$ .

(8) מצא העתקה לינארית  $T: R^4 \rightarrow R^3$  אשר הגרעין שלה נפרש על ידי  $\{(0,1,1,1), (1,2,3,4)\}$ .

(9) א. נתונה העתקה לינארית  $T: V \rightarrow U$ . הוכח כי אם  $\dim \text{Im} T = \dim \text{Ker} T$  אז הממד של  $V$  זוגי.

ב. האם תיתכן העתקה חד-חד ערכית  $T: R^4 \rightarrow R^3$  ?

### העתקות לינאריות חח"ע ולא חח"ע, העתקות לינאריות על, איזומורפיזם

(9) הסבר את המושגים העתקה לינארית חד-חד ערכית (חח"ע) והעתקה לינארית על. כמו כן הסבר את המושג איזומורפיזם והעתקה הפוכה.

(10) עבור כל אחת מההעתקות הבאות קבע האם היא חח"ע, האם היא על, האם היא איזומורפיזם והאם קיימת העתקה הפוכה.

$$T(x, y, z) = (x - y + z, y + z, z - x) \quad , \quad T: R^3 \rightarrow R^3 \quad (1)$$

$$T(x, y, z) = (x - y + z, y + z, x + 2z) \quad , \quad T: R^3 \rightarrow R^3 \quad (2)$$

$$T(a + bx + cx^2) = (a + b + c, a - b, b - 2c) \quad , \quad T: P_2[R] \rightarrow R^3 \quad (3)$$

$$T \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = a - b + (c + d)x + (a - c)x^2 + dx^3 \quad , \quad T: M_2[R] \rightarrow P_3[R] \quad (4)$$

הערה: העתקה חח"ע נקראית גם לא סינגולרית

### פעולות עם העתקות לינאריות

(11) תהיינה  $S: R^3 \rightarrow R^2$  ו-  $T: R^3 \rightarrow R^3$  העתקות לינאריות המוגדרות על ידי:

$$T(x, y, z) = (x, 4x - y, x + 4y - z) \quad , \quad S(x, y, z) = (x - z, y)$$

מצא נוסחאות (אם יש) המגדירות את:

$$ST \quad (5) \quad TS \quad (4) \quad 4S - 10T \quad (3) \quad 4S \quad (2) \quad S + T \quad (1)$$

$$S^2 \quad (10) \quad S^{-1} \quad (9) \quad T^{-2} \quad (8) \quad T^{-1} \quad (7) \quad T^2 \quad (6)$$

## פרק 7 - מטריצות והעתקות לינאריות

**הערה:** כבסיס לפרק זה יש להכיר את המושגים וקטור קואורדינטות ביחס לבסיס ומטריצת מעבר מבסיס לבסיס (פרק 4). לפיכך חמשת הסעיפים הראשונים בשאלה הראשונה עוסקים בכך.

### מטריצה שמייצגת העתקה

(1) נתונים שני בסיסים של  $R^3$  :

$$B_1 = \{(1,1,0), (0,1,0), (0,1,1)\}, \quad B_2 = \{(1,0,1), (0,1,1), (0,0,1)\}$$

א. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $B_1$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_{B_1}$ .

ב. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס  $B_2$ . סמן וקטור זה ב-  $[v]_{B_2}$ .

ג. מצא מטריצת מעבר מהבסיס  $B_1$  לבסיס  $B_2$ . סמן מטריצה זו ב-  $[M]_{B_1}^{B_2}$ .

ד. מצא מטריצת מעבר מהבסיס  $B_2$  לבסיס  $B_1$ . סמן מטריצה זו ב-  $[M]_{B_1}^{B_2}$ .

ה. אשר את הטענות הבאות :

$$[M]_{B_1}^{B_2} = \left([M]_{B_2}^{B_1}\right)^{-1} \quad (3) \quad [M]_{B_1}^{B_2} \cdot [v]_{B_2} = [v]_{B_1} \quad (2) \quad [M]_{B_2}^{B_1} \cdot [v]_{B_1} = [v]_{B_2} \quad (1)$$

נתונה העתקה לינארית:  $T: R^3 \rightarrow R^3$ ,  $T(x, y, z) = (x + y, y + z, z - x)$

ו. מצא את המטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס  $B_1$ . סמן מטריצה זו ב-  $[T]_{B_1}$ .

ז. מצא את המטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס  $B_2$ . סמן מטריצה זו ב-  $[T]_{B_2}$ .

ח. אשר את הטענות הבאות :

$$[T]_{B_2} \cdot [v]_{B_2} = [T(v)]_{B_2} \quad (2) \quad [T]_{B_1} \cdot [v]_{B_1} = [T(v)]_{B_1} \quad (1)$$

$$[M]_{B_2}^{B_1} \cdot [T]_{B_1} \cdot [M]_{B_1}^{B_2} = [T]_{B_2} \quad (3)$$

ט. האם ההעתקה הפיכה ?

י. חשב את הדטרמיננטה והעקבה של ההעתקה.

יא. מצא ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים עבור ההעתקה.

יב. האם ההעתקה ניתנת ללכסון ?

(2) יהיו  $B_1$  ו- $B_2$  שני בסיסים של המרחב  $R^3$ . יהי  $T$  אופרטור לינארי על  $R^3$ .

$$\text{נתון כי: } [M]_{B_1}^{B_2} = \begin{pmatrix} -1 & -9 & 6 \\ 1 & 6 & -4 \\ 1 & 5 & -2 \end{pmatrix} \text{ ו- } [T]_{B_1} = \begin{pmatrix} -29 & -45 & 6 \\ 20 & 31 & -4 \\ 13 & 19 & -1 \end{pmatrix}$$

חשב את  $[M]_{B_2}^{B_1}$  ואת  $[T]_{B_2}$ .

(3) מצא את המטריצה שמייצגת את ההעתקה  $T: M_2[R] \rightarrow M_2[R]$ ,  $T(A) = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} A$ ,

$$\text{לפי הבסיס: } B = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

(4) מצא את המטריצה שמייצגת את ההעתקה  $D: P_4[R] \rightarrow P_3[R]$ ,  $D(p(x)) = p'(x)$ ,

לפי הבסיס הסטנדרטי של הפולינומים ממעלה קטנה או שווה ל-4.

### מטריצה שמייצגת העתקה מבסיס לבסיס

(5) מצא את המטריצה המייצגת של כל אחת מההעקות הלינאריות הבאות ביחס לבסיסים

הסטנדרטיים של  $R^n$ .

$$\text{א. } T(x, y) = (x + y, y + z, z - x), \quad T: R^2 \rightarrow R^3$$

$$\text{ב. } T(x, y, z, t) = (4x - y - z + t, x + y + 4z + t), \quad T: R^4 \rightarrow R^2$$

(6) תהי  $T: R^3 \rightarrow R^2$  העתקה לינארית המוגדרת על ידי  $T(x, y, z) = (4x + y - z, x - y + z)$ .

חשב את המטריצה המייצגת את ההעתקה  $T$  מהבסיס  $B_1 = \{(1, 1, 0), (0, 1, 1), (0, 0, 1)\}$

$$\text{של } R^3 \text{ לבסיס } B_2 = \{(1, 4), (1, 5)\} \text{ של } R^2. \text{ כלומר את } [T]_{B_1}^{B_2}.$$

## פרק 8 - וקטורים

הערה: אנו נסמן את הוקטור  $u$  כך  $\underline{u}$ . סימונים מקובלים נוספים:  $\vec{u}, \mathbf{u}$ .

את גודל הוקטור  $\underline{u}$  נסמן כך  $|\underline{u}|$ . סימון מקובל נוסף הוא  $\|\underline{u}\|$ .

גודל וקטור נקרא גם אורך הוקטור וגם הנורמה של הוקטור.

(1) מצא את  $x, y, z$  אם נתון ש- $\underline{u} = \underline{v}$  כאשר  $\underline{u} = (4, -1, 2)$ ,  $\underline{v} = (z-2, y+1, x-3)$ .

(2) נתונים הוקטורים:  $\underline{u} = (-3, 1, 4)$ ,  $\underline{v} = (4, -2, -6)$ ,  $\underline{w} = (2, 6, -5)$ . חשב:

א.  $2\underline{u}$       ב.  $-0.5\underline{v}$       ג.  $3\underline{u} - 2\underline{v}$       ד.  $0.25\underline{v} - 0.5\underline{u}$       ה.  $\underline{v} - 0.5\underline{u} + 2\underline{w}$

ו.  $2\underline{v} - \underline{u} + 4\underline{w}$       ז.  $|\underline{u}|/|\underline{u}|$       ח.  $d(\underline{u}, \underline{v})$       ט.  $\underline{v} \cdot \underline{u} + 2\underline{w} \cdot \underline{v}$       י.  $proj(\underline{u}, \underline{v})$

\* בסעיפים ז, ח, י הסבר את משמעות התוצאות מבחינה גיאומטרית.

(3) נתונות הנקודות:  $A(1, -3, 0)$ ,  $B(4, 2, -1)$ ,  $C(3, -1, 2)$ . מצא את הוקטורים הבאים:

א.  $\overline{AC} + \overline{AB}$       ב.  $2\overline{AC} - 4\overline{AB}$       ג.  $2\overline{AC} + \overline{AB} - \overline{BC}$

(4) א. נתונה הצגה פרמטרית של ישר  $x = (1, 2, 3) + t(4, 5, 6)$ .

כתוב את ההצגה בעזרת הקואורדינטות  $x, y, z$ .

ב. נתונה הצגה של ישר בעזרת קואורדינטות  $x = 1 + 2t, y = 10, z = 4 - t$ .

כתוב את ההצגה הפרמטרית שלו.

(5) נתונות הנקודות  $A(1, -3, 0)$ ,  $B(4, 2, -1)$ ,  $C(3, -1, 2)$ .

א. מצא הצגה פרמטרית של ישר במרחב העובר דרך הנקודות:

1.  $A$  ו- $B$       2.  $B$  ו- $C$       3.  $A$  ו- $C$

ב. מי מבין הנקודות  $D = (4, 2, -1)$  ו- $E(7, 7, -3)$  נמצאת על הישר  $AB$  שמצאת

בסעיף הקודם.

ג. חשב את הזווית שבין הישר  $AB$  והישר  $BC$ .

(6) א. מצא במרחב הצגה פרמטרית של ציר ה- $x$ , ציר ה- $y$  וציר ה- $z$ .

ב. מצא הצגה פרמטרית של ישר במרחב העובר דרך הנקודה  $(4, 5, 6)$  ומקביל לציר  $z$ .

(7) מצא במרחב הצגה פרמטרית של ישר העובר דרך הנקודה  $(1, 2, 3)$  והמאונך לישר

$\underline{x} = (1, 2, 0) + s(1, -2, 4)$

(8) מצא במרחב הצגה פרמטרית של ישר  $\ell_2$  העובר דרך הנקודה  $P(-4,1,1)$ , מאונך לישר

$$\ell_1: (2, -3, 1) + t(1, 4, -3) \text{ וחותך אותו.}$$

(9) א. נתונה הצגה פרמטרית של מישור  $\underline{x} = (1, -2, 3) + t(2, 0, 1) + s(-4, 1, 5)$ .

כתוב את ההצגה בעזרת הקואורדינטות  $x, y, z$ .

ב. נתונה הצגה של מישור בעזרת קואורדינטות  $x = 1 + 2t - s, y = 10 + t, z = 4 - t + s$ .

כתוב את ההצגה הפרמטרית שלו.

(10) א. 1. הראה ששלוש הנקודות  $(1, 1, 0), (0, 1, -2), (2, 0, 5)$  אינן נמצאות על ישר אחד ומצא

הצגה פרמטרית של המישור הנקבע על ידן.

2. מצא את משוואת המישור העובר דרך שלוש הנקודות הנ"ל.

ב. מצא שתי נקודות נוספות הנמצאות על המישור שמצאת בסעיף א.

ג. האם הנקודה  $(4, 2, 1)$  נמצאת על המישור שמצאת בסעיף א?

(11) נתונות הנקודות:  $A(1, 1, 3), B(1, 2, 0), C(1, 1, 1)$ .

א. מצא הצגה פרמטרית של הישר, המחבר את  $B$  עם  $C$  הראה כי הנקודה  $A$  לא נמצאת על

הישר הזה.

ב. חשב את המרחק בין הנקודה  $A$  לבין הישר המחבר את  $B$  עם  $C$ .

ג. מצא את משוואת המישור העובר דרך הנקודה  $A$  והמאונך לישר המחבר את  $B$  עם  $C$ .

(12) נתונה תיבה  $ABCDA'B'C'D'$  כמתואר בציור.

$$\text{נתון: } |AA'| = 6, |AD| = 2, |\overline{AB}| = 4, C'F = FB'$$

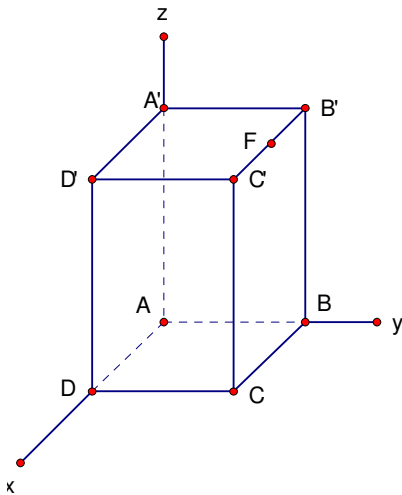
א. מצא הצגה פרמטרית של הישר העובר

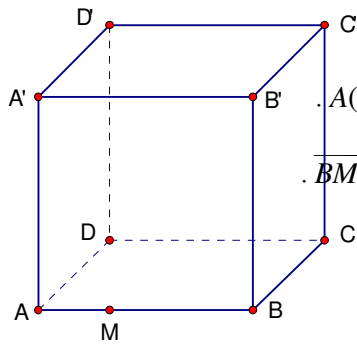
דרך הנקודה  $F$  ומאונך למישור העובר

העובר דרך  $A'DB$ .

ב. מצא את מרחק הנקודה  $F$  מהמישור העובר

העובר דרך  $A'DB$ .





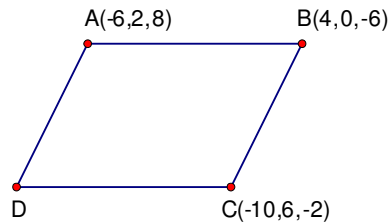
(13) בתיבה  $ABCD A' B' C' D'$  נתונים הקודקודים :

$$A(7, -9, 5), B(1, -3, -7), C(-5, -1, -3), C'(-1, 7, -1)$$

הנקודה  $M$  מחלקת את המקצוע  $AB$  כך ש-  $\overline{BM} = 2\overline{MA}$ .

א. חשב:  $|\overline{MC}|, |\overline{MA}'|$ .

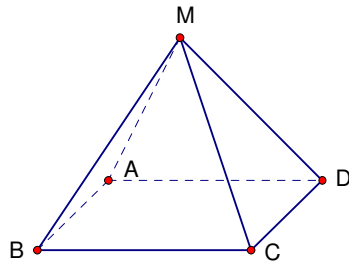
ב. חשב את שטח המשולש  $\Delta A' MC$ .



(14) נתונה מקבילית  $ABCD$  (ראה ציור).

א. מצא את קודקוד  $D$ .

ב. מצא את הזווית בין אלכסוניה של המקבילית.



(15) נתונה פירמידה שבסיסה מקבילית  $ABCD$

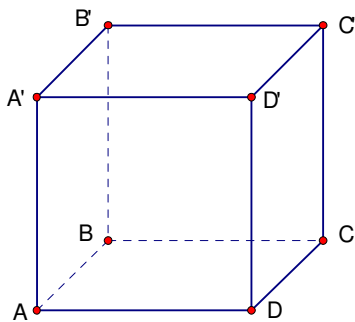
וקודקודה  $M$  (ראה ציור). נתון:

$$A(3, 6, -1), B(-1, 2, -3), C(7, 6, -3), M(4, -3, -4.5)$$

א. מצא את גודל זווית  $\sphericalangle ABC$ .

ב. מצא את שטח בסיס הפירמידה.

ג. מצא את נפח הפירמידה.



(16) נתונה תיבה  $ABCD A' B' C' D'$ .

$$\text{נתון: } A(1, 2, 0), C(4, 0, 1), D(2, 2, -1), B'(9, 12, 8)$$

חשב את נפח התיבה.

(17) מצא את מצבם ההדדי של זוגות הישרים הבאים וקבע אם הם :

נחתכים, מקבילים, מתלכדים או מצטלבים.

א.  $\underline{x} = (1, 0, 1) + t(1, 2, 0)$ ,  $\underline{x} = (1, 1, 0) + s(2, 4, 0)$

ב.  $\underline{x} = (-2, 2, 4) + u(6, 6, 1)$ ,  $\underline{x} = (1, -1, 0) + t(12, -3, 1)$

ג.  $\underline{x} = (1, 1, 2) + t(1, 2, -1)$ ,  $\underline{x} = (2, 3, 1) + s(2, 4, -2)$

ד.  $\underline{x} = (1, -1, 0) + t(0, 2, -4)$ ,  $\underline{x} = (2, 0, 3) + s(-1, -3, 1)$

במקרה בו הישרים נחתכים מצא גם את נקודות החיתוך ואת הזווית בין הישרים.

במקרה בו הישרים מקבילים או מצטלבים מצא גם את המרחק ביניהם.

(18) נתונים שני ישרים :

$$\ell_1 : (x, y, z) = (4, 3, 1) + t(1, -3, 2)$$

$$\ell_2 : (x, y, z) = (5, -1, 4) + m(-1, 3, 5)$$

א. הראה כי הישרים מצטלבים.

ב. מצא משוואה של מישור שמכיל את  $\ell_2$  ומקביל ל-  $\ell_1$ .

ג. חשב את המרחק בין הישרים.

(19) נתונים שני ישרים :

$$\ell_1 : (x, y, z) = (3, 1, 1) + u(2, -1, -2)$$

$$\ell_2 : (x, y, z) = (3, 9, -6) + m(6, 2, -1)$$

א. מהו המצב ההדדי של הישרים?

ב. אם הישרים מקבילים או נחתכים, מצא את משוואת המישור המכיל אותם.

אם הישרים מצטלבים מצא את המרחק ביניהם.

(20) נתונות ארבע נקודות:  $P(k, 0, 0)$ ,  $Q(0, 4, 0)$ ,  $R(0, k, 3)$ ,  $S(1, 1, -1)$

א. הראה שלא קיים ערך של  $k$  עבורו הישרים  $PQ$  ו-  $SR$  מקבילים.

ב. מצא עבור איזה ערך של  $k$  הישרים אורתוגונליים (מאונכים) זה לזה,

ומצא את המרחק ביניהם במקרה זה.



(21) הישר  $\ell_1$  עובר דרך הנקודות  $(6,1,3)$  ו-  $(5,2,3)$  .

הצגה פרמטרית של הישר  $\ell_2$  היא:  $(2, k+1, 3) + t(k^2 - 9, -7, 0)$  :  $\ell_2$  .

א. 1. עבור איזה ערך של  $k$  הישרים מקבילים (לא מתלכדים)?

2. עבור איזה ערך של  $k$  הישרים מתלכדים?

ב. מצא משוואה של מישור  $\pi$ , המכיל את הישר  $\ell_1$  ומקביל לציר ה- $z$  .

ג. עבור  $k$  שמצאת בתת סעיף א.1, מצא את המרחק של  $\ell_2$  מהמישור  $\pi$  .

(22) נתונות ארבע נקודות:  $A(1,1,-1)$ ,  $B(-1,k,3)$ ,  $C(0,-4,0)$ ,  $D(k,0,0)$

הישר  $\ell_1$  מחבר את הנקודה  $A$  עם הנקודה  $B$  .

הישר  $\ell_2$  מחבר את הנקודה  $C$  עם הנקודה  $D$  .

א. מצא עבור איזה ערך של  $k$  הישרים מאונכים זה לזה.

ב. עבור הערך של  $k$  שמצאת בסעיף א., מצא את משוואת המישור המכיל את הישר  $\ell_1$

ומקביל לישר  $\ell_2$  .

(23) מצא את המצב ההדדי של המישור והישר וקבע אם הישר:

חותך את המישור, מקביל למישור או מוכל במישור.

א.  $2x - 3y + 4z - 5 = 0$ ,  $\underline{x} = (1, 0, 2) + t(-1, 2, 2)$  .

ב.  $2x - 5y + 3z - 6 = 0$ ,  $\underline{x} = (-3, 0, 4) + t(4, -2, -6)$  .

ג.  $2x - 14y + 10z = -6$ ,  $\underline{x} = (2, 1, -2) + t(-2, 2, 0)$  .

במקרה שהישר חותך את המישור, מצא גם את נקודת החיתוך וגם את הזווית בין הישר

למישור. במקרה בו הישר מקביל למישור מצא את מרחק הישר מהמישור.

(24) ידוע כי הישר  $\ell$  עובר דרך הנקודות  $A(4,-6,5)$  ו-  $B(4+k,3,2)$

ונתון מישור  $\pi: x - 4y - kz - 5 = 0$  .

א. עבור איזה ערך של  $k$  הישר מקביל למישור?

ב. המישור  $\pi$  חותך את ציר ה- $x$  בנקודה  $C$  .

עבור  $k$  שמצאת בסעיף א, חשב את הזווית בין המישור  $\pi$  לבין  $\overline{BC}$  .

(25) נתונים ישר:  $l: (2, 1, -1) + t(0, a, -1)$  ומישור:  $\pi: x - 2y - 4z = 4$ .

א. עבור איזה ערך של הקבוע  $a$  יהיה הישר מוכל במישור?

ב. מצא משוואה של מישור המכיל את הישר  $l$  ומאונך למישור  $\pi$ .

(26) נתונים שני ישרים ומישור:

$$l_1: (x, y, z) = (2, 1, 1) + t(1, -1, -1)$$

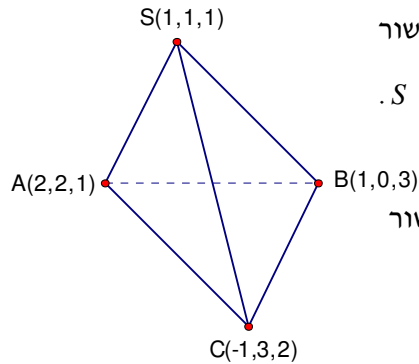
$$l_2: (x, y, z) = (3, -1, 2) + s(-2, 1, 1)$$

$$\pi: x - y + 2z = 3$$

א. קבע את המצב ההדדי בין כל אחד מהישרים למישור.

ב. מצא את הנקודות על הישר  $l_2$  שמרחקן מראשית הצירים הוא  $\sqrt{18}$ .

(27) בצויר משמאל נתון טטראדר  $SABC$ .



א. הוכח כי אחד המקצועות דרך  $S$ , ניצב למישור

הנקבע על-ידי שני המקצועות האחרים דרך  $S$ .

ב. מצא את משוואות המישור הני"ל.

ג. חשב את הזווית שבין המקצוע  $AC$  לבין מישור

המשולש  $\Delta SAB$ .

(28) מצא את המצב ההדדי של המישורים וקבע אם הם:

מקבילים, מתלכדים או נחתכים.

א.  $x - 2y + 2z - 10 = 0$ ,  $2x + y + 2z - 4 = 0$ .

ב.  $2x - 5y + 3z - 6 = 0$ ,  $4x - 10y + 6z - 8 = 0$ .

ג.  $2x - 14y + 10z = -6$ ,  $x - 7y + 5z = -3$ .

במקרה בו המישורים מקבילים מצא את המרחק ביניהם. במקרה בו הם נחתכים מצא את

הזווית ביניהם ואת הישר החיתוך ביניהם.

(29) א. נתונים שני מישורים:  $x + 2y - z = 7$ ,  $2x + 3y - 4z = 10$ .

מצא הצגה פרמטרית לישר החיתוך  $l_1$  של שני המישורים.

ב. נתון:  $l_2: (6, 2, -2) + s(2, -1, 1)$ . מהו המצב ההדדי בין  $l_1$  ו- $l_2$ .

(30) נתונים שני מישורים:  $x - y + 2z - 7 = 0$ ,  $2x + y - 3z + 1 = 0$ .

א. מצא הצגה פרמטרית לישר החיתוך  $\ell$  של שני המישורים.

ב. עבור איזה ערך של הפרמטר  $C$ , יקביל הישר  $\ell$  למישור  $\pi: 4x - y + Cz - 1 = 0$ ?

ג. עבור  $C$  שמצאת בסעיף ב, חשב את מרחק הישר  $\ell$  מהמישור  $\pi$ .

(31) נתונים שני מישורים:  $x + y + 2z = 6$ ,  $x - 3y + 4z = -10$  ונקודה  $M(1, 8, -3)$ .

הישר  $\ell$  הוא ישר החיתוך של המישורים הנ"ל.

א. מצא את משוואת המישור העובר דרך הנקודה  $M$  וניצב לישר  $\ell$ .

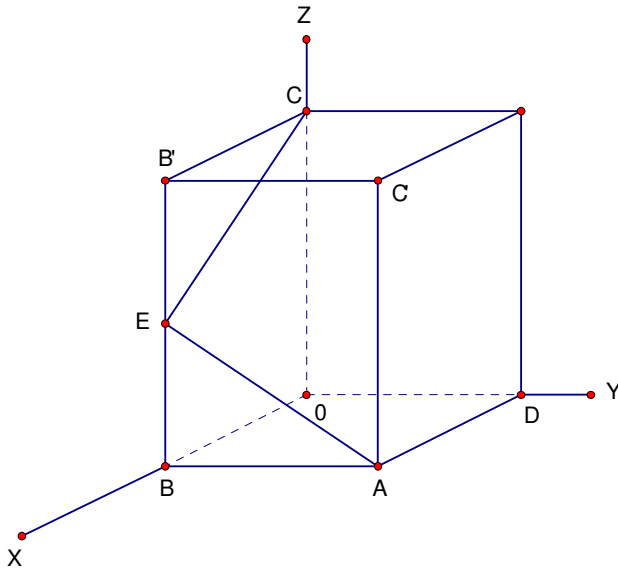
ב. מצא את מרחק הנקודה  $M$  מהישר  $\ell$ .

(32) הישר  $\ell: (0, -2, 1) + t(-3, 4, m)$  מקביל למישור  $\pi_1: x - 2y - 4z = 4$ .

א. מצא את הקבוע  $m$ .

ב. הנקודה  $N(2, -1, 4)$  נמצאת על המישור  $\pi_1$  ויוצרת עם הישר  $\ell$  מישור  $\pi_2$ .

מצא הצגה פרמטרית של ישר החיתוך של המישורים  $\pi_1$  ו- $\pi_2$ .



(33) אחד מקודקודי קוביה נמצא

בראשית הצירים.

אמצע  $BB'$ ,  $|AB|=1$ ,  $E$

א. חשב את זווית  $\angle CEA$ .

ב. חשב את הזווית בין שני

המישורים  $AEC$  ו- $BODA$ .

(34) נתונים שני ישרים:

$$\ell_1: (1, 2, 3) + t(3, -12, 18)$$

$$\ell_2: (2, 5, -1) + u(-4, 16, -24)$$

א. הראה כי הישרים קובעים מישור יחיד ומצא את משוואתו.

ב. מצא משוואת מישור, המקביל למישור שמצאת ב-א, ועובר דרך הנקודה  $(0, -1, 0)$ .

**תשובות:**

לתשומת לבכם!

הצגה פרמטרית של ישר (או מישור) היא לא יחידה. ייתכן למשל, שהישר הפרמטרי שאתם תקבלו "ייראה" שונה מהישר שאני קיבלתי. בכל אופן אם תבצעו בדיקה תוכלו לראות שהם מתלכדים.

$$x = 5, y = -2, z = 6 \quad (1)$$

$$(2) \quad \text{א. } (-6, 2, 8) \quad \text{ב. } (-2, 1, 3) \quad \text{ג. } (-17, 7, 24) \quad \text{ד. } (2.5, -1, -3.5)$$

$$\text{ה. } (9.5, 9.5, -18) \quad \text{ו. } (19, 19, -36) \quad \text{ז. } \frac{1}{\sqrt{26}}(-3, 1, 4) \quad \text{ח. } 12.5698$$

$$\text{ט. } 14 \quad \text{י. } \left(-\frac{19}{7}, \frac{19}{14}, \frac{57}{14}\right)$$

$$(3) \quad \text{א. } (5, 7, 1) \quad \text{ב. } (-8, -16, 8) \quad \text{ג. } (8, 12, 0)$$

$$(4) \quad \text{א. } x = 1 + 4t, y = 2 + 5t, z = 3 + 6t \quad \text{ב. } \underline{x} = (1, 10, 4) + t(2, 0, -1)$$

$$(5) \quad \text{א. } (1, -3, 0) + t(3, 5, -1) \quad \text{א. } (4, 2, -1) + t(-1, -3, 3)$$

$$\text{א. } (1, -3, 0) + t(2, 2, 2)$$

$$\text{ג. } 35.477^\circ$$

$$(6) \quad \text{א. } t(0, 0, 1), t(0, 1, 0), t(1, 0, 0) \quad \text{ב. } (4, 5, 6) + t(0, 0, 1)$$

$$(7) \quad (1, 2, 3) + t(2, 1, 0)$$

$$(8) \quad (-4, 1, 1) + t(83, -32, -15)$$

$$(9) \quad \text{א. } x = 1 + 2t - 4s, y = -2 + s, z = 3 + t + 5s \quad \text{ב. } (1, 10, 4) + t(2, 1, -1) + s(-1, 0, 1)$$

$$(10) \quad \text{א. } (1, 1, 0) + t(-1, 0, -2) + s(1, -1, 5) \quad \text{א. } -2x + 3y + z - 1 = 0$$

ג. לא

$$\text{ב. למשל: } (0, 0, 1), (-0.5, 0, 0)$$

$$(11) \quad \text{א. } (1, 2, 0) + t(0, -1, 1) \quad \text{ב. } 1.4142 \quad \text{ג. } y - z + 2 = 0$$

$$(12) \quad \text{א. } (1, 4, 6) + t(6, 3, 2) \quad \text{ב. } \frac{18}{7}$$

$$(13) \quad \text{א. } |\overline{MC}| = \sqrt{152}, |\overline{MA'}| = \sqrt{108} \quad \text{ב. } 59.396$$

$$(14) \quad \text{א. } D(-20, 8, 12) \quad \text{ב. } 81.62^\circ$$

$$(15) \quad \text{א. } 26.565^\circ \quad \text{ב. } S = 24 \quad \text{ג. } V = 32$$

$$(16) \quad V = 72$$

$$(17) \quad \text{א. מקבילים, } 1.095 \quad \text{ב. מצטלבים, } 4.07 \quad \text{ג. מתלכדים}$$

$$\text{ד. נחתכים בנקודה } (1, -3, 4). \text{ זווית בין הישרים } 47.6^\circ.$$

$$(18) \quad \text{א. } 3x + y = 14 \quad \text{ב. } 0.31622 \quad \text{ג. } 0.31622$$

- (19) א. מצטלבים ב. 10
- (20) ב.  $d = \frac{2}{15}, k = 0.8$
- (21) א. 1.  $k = -4$  א. 2.  $k = 4$  ב.  $x + y = 7$  ג. 5.65685
- (22) א.  $k = 2$  ב.  $8x - 4y + 5z + 1 = 0$
- (23) א. מקביל, 0.9284 ב. מוכל  
ג. חותך בנקי  $(3.5, -0.5, -2)$ , זווית בין הישר למישור  $40.78^\circ$
- (24) א.  $k = 9$  ב.  $14.67^\circ$
- (25) א.  $a = 2$  ב.  $10x + y + 2z - 19 = 0$
- (26) א.  $\ell_1$  מוכל,  $\ell_2$  חותך. ב.  $(-1, 1, 4), (\frac{11}{3}, \frac{4}{3}, \frac{5}{3})$
- (27) א.  $SC \perp SAB$  ב.  $2x - 2y - z + 1 = 0$  ג.  $64.76^\circ$
- (28) א. המישורים נחתכים. ישר החיתוך:  $(0, -2, 3) + t(3, -1, -2.5)$ . זווית  $63.612^\circ$ .  
ב. המישורים מקבילים, המרחק ביניהם: 0.324 ג. המישורים מתלכדים.
- (29) א.  $(9, 0, 2) + t(-5, 2, -1)$  ב. מצטלבים
- (30) א.  $(2, -5, 0) + t(1, 7, 3)$  ב.  $C = 1$  ג. 2.8284
- (31) א.  $5x - y - 2z = 3$  ב. 5.07
- (32) א.  $m = -8$  ב.  $(2, -1, 4) + t(-4, 4, -8)$
- (33) א.  $78.463^\circ$  ב.  $35.26^\circ$
- (34) א.  $2x - 10y - 7z + 39 = 0$  ב.  $2x - 10y - 7z - 10 = 0$

## פרק 9 - מספרים מרוכבים

(1) פתור את המשוואות הבאות ומצא את  $z$ .

$$z^2 + 9 = 0 \quad (1) \quad z^2 - 4z + 5 = 0 \quad (2) \quad z^2 - 6z + 13 = 0 \quad (3)$$

(2) חשב:

$$(i\sqrt{2})^6 \quad (2) \quad (i^5 - i^{13})^2 \quad (3) \quad (4+i) - (2+10i) \quad (4) \quad (-4-i)(2-3i)$$

(3) חשב (כתוב את התוצאה בצורה  $z = x + yi$ ):

$$\frac{i}{1-i} - \frac{1}{(i+1)^2} \quad (3) \quad \frac{1+i}{1-3i} \quad (2) \quad \frac{5}{2+i} \quad (1)$$

(4) פתור את המשוואות הבאות ומצא את המספר המרוכב  $z$ :

$$(1+i)z^2 + 2z - i + 1 = 0 \quad (3) \quad z\bar{z} - 5\bar{z} = 10i \quad (2) \quad 2z - 6i = \bar{z} - 1 \quad (1)$$

(5) כתוב את המספרים הבאים בצורה קוטבית:

$$1-i \quad (4) \quad -3-\sqrt{3}i \quad (3) \quad -1-i \quad (2) \quad 1+\sqrt{3}i \quad (1)$$

$$-8 \quad (8) \quad \sqrt{3}i \quad (7) \quad \sqrt{3}-i \quad (6) \quad 1+i \quad (5)$$

(6) חשב:

$$\left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i\right)^{100} \quad (1) \quad (1+\sqrt{3}i)^9 \quad (2) \quad \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}i\right)^{10}$$

$$\sqrt[3]{-8} \quad (6) \quad \sqrt[5]{1} \quad (5) \quad \sqrt{-8} \quad (4)$$

(7) א. מצא את כל הפתרונות של המשוואה  $z^4 + z^2 + 1 = 0$ .

ב. הראה כי אם  $z$  הוא פתרון של המשוואה מסעיף א אזי:  $z^6 = 1$ .

$$z^4 = -8 - 8\sqrt{3}i \quad (8) \quad \text{נתונה המשוואה}$$

א. מצא את פתרונות המשוואה הנתונה.

ב. הוכח כי החזקה השלישית של כל אחד מפתרונות הנתונה היא מספר ממשי או מספר

מדומה טהור.

$$(9) \quad \text{פתור את המשוואה } \left(\frac{z+i}{z-i}\right)^4 = 1$$

10) א. מצא את שלושת הפתרונות של המשוואה  $z^3 = i$ .

ב. הראה שמכפלת שלושת הפתרונות היא  $i$ .

ג. הראה שאם מעלים בריבוע פתרון כלשהו של המשוואה, התוצאה שווה למכפלת

שני הפתרונות האחרים.

11) א. פתור את המשוואה  $z^5 = -16(\sqrt{3} - i)$ .

ב. הוכח כי חמשת השורשים מהווים סדרה הנדסית, ומצא את מנת הסדרה.

הערה: סדרה הנדסית היא סדרה מהצורה  $a_1, a_1q, a_1q^2, \dots, a_1q^{n-1}$  כאשר  $q$  מנת הסדרה.

12) נתון  $w = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}}i$ .

א. מצא את פתרונות המשוואה  $z^3 = w^3$ .

ב. הראה כי מכפלת הפתרונות של המשוואה היא  $w^3$ .

13) נתונה המשוואה  $(iz + 1)^2 = 2 - 2\sqrt{3}i$ .

א. מצא את פתרונות המשוואה  $z_1$  ו-  $z_2$ .

ב. הראה כי  $\left| \frac{z_1 \cdot z_2}{z_1 + z_2} \right| = \sqrt{3.25}$ .

14) נתונה המשוואה  $(z - 1)^3 = 1$ . הוכח שסכום שורשיה הוא 3.

15) נתונה המשוואה  $z^3 = -\sqrt{3} + i$ .

א. מצא את שורשי המשוואה:  $z_1, z_2, z_3$ .

ב. מצא את הסכום  $|z_1|^3 + |z_2|^3 + |z_3|^3$ .

ג. הראה כי הסכום  $(z_1)^9 + (z_2)^9 + (z_3)^9$  הוא מספר מדומה טהור.

16) נתונה המשוואה  $z^2 + |z|^2 - 2ti = 18s^2$ ,  $z$  הוא מספר מרוכב.

כאשר  $s$  ו-  $t$  הם מספרים ממשיים שונים מאפס.  $z_1$  ו-  $z_2$  הם פתרונות המשוואה.

א. הבע את פתרונות המשוואה באמצעות  $s$  ו-  $t$ .

ב. נתון  $z_1 \cdot z_2 = -18i$ . מצא את הפרמטרים  $s$  ו-  $t$ .

$$(17) \text{ א. פתור את המשוואה } \bar{z} \cdot i + (\bar{z})^2 + |z|^2 + z + \bar{z} = 0$$

ב. אחד מהפתרונות שמצאת בסעיף א, הוא איבר אחרון בסדרה חשבונית שכל איבריה

שונים מאפס. הפרש סדרה זו הוא:  $1 + \frac{1}{16}i$ . האיבר הראשון בסדרה הוא מספר ממשי.

חשב את האיבר הראשון בסדרה.

הערה: סדרה חשבונית היא סדרה מהצורה:  $a_1, a_1 + d, a_1 + 2d, \dots, a_1 + (n-1)d$

באשר  $d$  נקרא הפרש הסידרה.

$$(18) \text{ נתון: } u = (3 - 2i, 4i, 1 + 6i), v = (5 + i, 2 - 3i, 7 + 2i) \text{ מצא:}$$

$$u \cdot v \quad (3) \quad 2i \cdot u - v \quad (2) \quad 4u + v \quad (1)$$

$$|v| \quad (6) \quad |u| \quad (5) \quad u \cdot u \quad (4)$$



**תשובות:**

$$\cdot -11+10i \text{ (4)} \quad 2-9i \text{ (3)} \quad 0 \text{ (2)} \quad -8 \text{ (1)} \quad \text{(2)} \quad .3 \pm 2i \text{ (3)} \quad 2 \pm i \text{ (2)} \quad \pm 3i \text{ (1)} \quad \text{(1)}$$

$$\cdot -\frac{1}{2} + i \text{ (3)} \quad -\frac{1}{5} + \frac{2}{5}i \text{ (2)} \quad 2 - i \text{ (1)} \quad \text{(3)}$$

$$\cdot z = i, z = -1 \text{ (3)} \quad z = 1+2i, z = 4+2i \text{ (2)} \quad z = -1+2i \text{ (1)} \quad \text{(4)}$$

$$\sqrt{12}(\cos \frac{7\pi}{6} + i \sin \frac{7\pi}{6}) \text{ (3)} \quad \sqrt{2}(\cos \frac{5\pi}{4} + i \sin \frac{5\pi}{4}) \text{ (2)} \quad 2(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3}) \text{ (1)} \quad \text{(5)}$$

$$2(\cos \frac{11\pi}{6} + i \sin \frac{11\pi}{6}) \text{ (6)} \quad \sqrt{2}(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4}) \text{ (5)} \quad \sqrt{2}(\cos \frac{7\pi}{4} + i \sin \frac{7\pi}{4}) \text{ (4)}$$

$$\cdot -1 \text{ (3)} \quad \cdot -2^9 \text{ (2)} \quad \cdot \frac{1}{32}i \text{ (1)} \quad \text{(6)} \quad 8(\cos \pi + i \sin \pi) \text{ (8)} \quad \sqrt{3}(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2}) \text{ (7)}$$

$$\cdot 8^{\frac{1}{6}} \left( \cos \frac{\pi + 2\pi k}{6} + i \sin \frac{\pi + 2\pi k}{6} \right) \quad k = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \quad \text{(4)}$$

$$\cdot 1^{\frac{1}{5}} \left( \cos \frac{0 + 2\pi k}{5} + i \sin \frac{0 + 2\pi k}{5} \right) \quad k = 0, 1, 2, 3, 4 \quad \text{(5)}$$

$$\cdot 8^{\frac{1}{3}} \left( \cos \frac{\pi + 2\pi k}{3} + i \sin \frac{\pi + 2\pi k}{3} \right) \quad k = 0, 1, 2 \quad \text{(6)}$$

$$\cdot z_1 = cis 60^\circ, z_2 = cis 240^\circ, z_3 = cis 120^\circ, z_4 = cis 300^\circ \quad \text{(7)}$$

$$\cdot z = 0, z = 1, z = -1 \quad \text{(9)} \quad \cdot z_1 = 1 + \sqrt{3}i, z_2 = -\sqrt{3} + i, z_3 = -1 - \sqrt{3}i, z_4 = \sqrt{3} - i \quad \text{א (8)}$$

$$\cdot z_1 = \frac{1}{2}\sqrt{3} + \frac{1}{2}i, z_2 = -\frac{1}{2}\sqrt{3} + \frac{1}{2}i, z_3 = -i \quad \text{א (10)}$$

$$\cdot q = cis 72^\circ \quad \text{ב} \quad \cdot z_n = 2cis[30^\circ + (n-1)72^\circ] \quad n = 1, 2, 3, 4, 5 \quad \text{א (11)}$$

$$\cdot 1 + (1 + \sqrt{3})i, -1 + (1 - \sqrt{3})i \quad \text{א (13)} \quad \cdot z_1 = cis 45^\circ, z_2 = cis 165^\circ, z_3 = cis 285^\circ \quad \text{א (12)}$$

$$\cdot 24i \quad \text{ג} \quad \cdot 6 \quad \text{ב} \quad \cdot z_3 = \sqrt[3]{2}cis 290^\circ, z_2 = \sqrt[3]{2}cis 170^\circ, z_1 = \sqrt[3]{2}cis 50^\circ \quad \text{א (15)}$$

$$\cdot z_1 = 0 \quad \text{א (17)} \quad \cdot t = 9, s = \pm 1 \quad \text{ב} \quad \cdot z_2 = -3s - \frac{t}{3s}i, z_2 = -3s - \frac{t}{3s}i \quad \text{א (16)}$$

$$\cdot (17 - 7i, 2 + 13i, 11 + 26i) \quad \text{א (18)} \quad \cdot a_1 = -8.5 \quad \text{ב} \quad \cdot z_2 = -0.5 + 0.5i,$$

$$\cdot \sqrt{92} \quad \text{ג} \quad \cdot \sqrt{66} \quad \text{ה} \quad \cdot 66 \quad \text{ד} \quad \cdot 20 + 35i \quad \text{ג} \quad \cdot (-1 + 5i, -10 + 3i, -19) \quad \text{ב}$$