

אלגברה ליניארית ב



תוכן העניינים

1	שדות
8	מספרים מרוכבים ופתרון משוואות פולינומיאליות
25	ערכים עצמיים-וקטורים עצמיים-לכסון מטריצות - דימיון
50	העתקות ליניאריות
60	מטריצות והעתקות ליניאריות
72	מרחבי מכפלה פנימית
84	קבוצות אורתוגונליות, בסיסים אורתוגונליים, התהליך של גרם-שמידט
92	דטרמיננטות
115	מספרים מרוכבים - שאלות נוספות

אלגברה ליניארית ב

פרק 1 - שדות

תוכן העניינים

1. חזרה על מושגים מתורת הקבוצות.....1
2. שדות.....5

חזרה על מושגים מתורת הקבוצות

שאלות

1) רשמו את הטענות הבאות במילים ובדקו האם הן נכונות:

א. $\forall x \forall y : (x + y)^2 > 0$

ב. $\forall x \exists y : (x + y)^2 > 0$

ג. $\forall x \forall y \exists z : xz = \frac{y}{4}$

ד. $\forall x > 0, \forall y > 0, \sqrt{xy} \leq \frac{x+y}{2}$

ה. $\forall n \exists k, n^3 - n = 6k$ (n ו- k טבעיים).

2) רשמו כל אחת מהטענות הבאות בסימנים לוגיים:

א. פתרון אי-השוויון $x^2 > 4$, הוא $x > 2$ או $x < -2$.

ב. אי השוויון $x^2 + 4 > 0$, מתקיים לכל x .

ג. לכל מספר טבעי n , המספר $n^3 - n$ מתחלק ב-6.

ד. עבור כל מספר x , $|x| < 1$ אם ורק אם $-1 < x < 1$.

3) רשמו במפורש את הקבוצות הבאות על ידי צומדיים או באמצעות קטעים,

ואת מספר איברי הקבוצה:

א. $A = \{x \in \mathbb{R} \mid x^2 < 16\}$

ב. $B = \{x \in \mathbb{Z} \mid x^2 < 16\}$

ג. $C = \{x \in \mathbb{N} \mid x^2 < 16\}$

ד. $D = \{x \in \mathbb{Z} \mid (x+4)(x-1) < 0\}$

ה. $E = \{x \in \mathbb{N} \mid x^3 + x^2 - 2x = 0\}$

ו. $F = \{x \in \mathbb{Z} \mid |x| < 4\}$

4) הגדירו את הקבוצות הבאות על ידי פירוט כל איבריהן או על ידי רישומן

בצורה: $A = \{x \mid x \text{ מקיים תכונה מסוימת}\}$

א. קבוצת המספרים השלמים החיוביים האי-זוגיים.

ב. קבוצת המספרים הראשוניים בין 10 ל-20.

ג. קבוצת הנקודות במישור הנמצאות על מעגל שמרכזו בראשית ורדיוסו 4.

ד. קבוצת ריבועי המספרים 1, 2, 3, 4.

5) ציינו אילו מן הקבוצות הבאות שוות זו לזו:

א. $A = \{11, 13, 17, 19\}$

ב. $B = \{x \mid 10 < x < 20, x \text{ מספר ראשוני}\}$

ג. $C = \{11, 11, 17, 13, 19\}$

ד. $D = \{x \mid x = 4k, k \in \mathbb{Z}\}$

ה. $E = \{x \mid x = 2m, m \text{ שלם זוגי}\}$

6) נתונה הקבוצה הבאה $A = \{1, 2, \{2\}, \{2, 5\}, 4, \{2, 4\}\}$.

מי מבין הטענות הבאות נכונה:

א. $5 \in A$ ב. $2 \in A$ ג. $\{2\} \in A$

ד. $\{2\} \subseteq A$ ה. $\{\{2\}\} \subseteq A$ ו. $\emptyset \in A$

ז. $\emptyset \subseteq A$ ח. $\{2, \{2\}\} \subseteq A$ ט. $\{2, 4\} \subseteq A$

י. $\{2, 4\} \in A$ יא. $\{\{2, 4\}\} \in A$ יב. $\{2, 5\} \subseteq A$

יג. $\{2, 5\} \in A$ יד. $\{1, 4\} \in A$

7) מצאו שתי קבוצות, A ו- B , המקיימות:

א. $A \in B$

ב. $A \subseteq B$

8) נתונות הקבוצות הבאות:

$A = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$, $B = \{4, 6, 8, 10\}$, $C = \{3, 5, 7, 9\}$, $D = \{6, 7, 8\}$, $E = \{7, 8\}$

קבעו איזה מבין הקבוצות לעיל יכולה להיות הקבוצה X :

א. $X \subseteq A$ וגם $X \not\subseteq D$

ב. $X \subseteq D$ וגם $X \not\subseteq C$

ג. $X \subseteq E$ וגם $X \not\subseteq A$

9) הוכיחו: $A \subseteq B \wedge B \subseteq C \Rightarrow A \subseteq C$.

10 נתונות הקבוצות הבאות :

$$A = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}, B = \{4, 6, 8, 10\}, C = \{3, 5, 7, 9\}, D = \{6, 7, 8\}$$

רשמו את :

א. $A \cup B$

ב. $A \cap B$

ג. $(A \cup B) \cap C$

ד. $(B \cup C) \cap (B \cup D)$

ה. $(B \cap C) \cup (B \cap D)$

תשובות סופיות

- (1) א. לכל x ולכל y מתקיים $(x+y)^2 > 0$. הטענה אינה נכונה.
 ב. לכל x קיים y , כך ש- $(x+y)^2 > 0$. הטענה נכונה.
 ג. לכל x ולכל y קיים z כך ש- $xz = \frac{y}{4}$. הטענה אינה נכונה.
 ד. לכל x חיובי ולכל y חיובי מתקיים $\sqrt{xy} \leq \frac{x+y}{2}$. הטענה נכונה.
 ה. לכל n טבעי המספר $n^3 - n$ מתחלק ב-6. הטענה נכונה.
- (2) א. $x^2 > 4 \Rightarrow x > 2 \vee x < -2$ ב. $\forall x: x^2 + 4 > 0$
 ג. $\forall n \exists k: n^3 - n = 6k$ ד. $\forall x: |x| < 1 \Leftrightarrow -1 < x < 1$
- (3) א. $A = (-4, 4)$, בקבוצה אינסוף איברים.
 ב. $B = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, בקבוצה 7 איברים.
 ג. $C = \{1, 2, 3\}$, בקבוצה 3 איברים. ד. $D = \{-3, -2, -1, 0\}$, בקבוצה 4 איברים.
 ה. $E = \{0, 1\}$, בקבוצה 2 איברים.
 ו. $F = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$, בקבוצה 9 איברים.
- (4) א. $A = \{x \mid x = 2n - 1, n \in \mathbb{N}\}$ ב. $B = \{11, 13, 17, 19\}$
 ג. $C = \{(x, y) \mid x^2 + y^2 = 4^2, x \in \mathbb{R}, y \in \mathbb{R}\}$ ד. $D = \{1, 4, 9, 16\}$
- (5) הקבוצות A, B ו- C שוות זו לזו, והקבוצות D ו- E שוות זו לזו.
- (6) א. לא נכון. ב. נכון. ג. נכון. ד. נכון. ה. נכון.
 ו. לא נכון. ז. נכון. ח. נכון. ט. נכון. י. נכון.
 יא. לא נכון. יב. לא נכון. יג. נכון. יד. לא נכון.
- (7) $A = \{1, 2\}$ $B = \{\{1, 2\}, 1, 2\}$
- (8) א. A, C ב. E, D ג. לא קיימת קבוצה כזאת.
- (9) שאלת הוכחה.
- (10) $A \cup B = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$ 1) $A \cap B = \{4, 6, 8\}$ 2) $(A \cup B) \cap C = \{3, 5, 7, 9\}$ 3)
 $(B \cap C) \cup (B \cap D) = \{6, 8\}$ 4) $(B \cup C) \cap (B \cup D) = \{4, 6, 7, 8, 10\}$ 5)

שדות

שאלות

- 1) בכל אחד מהסעיפים הבאים מוגדרות פעולות חיבור ($\oplus$) וכפל ($\otimes$) על R . בדקו, בכל אחד מהסעיפים, אילו מבין אקסיומות השדה מתקיימות.

א.
$$\begin{aligned} x \oplus y &= x + y + 4 \\ x \otimes y &= 2xy \end{aligned}$$

ב.
$$\begin{aligned} x \oplus y &= x + y \\ x \otimes y &= 2xy \end{aligned}$$

ג.
$$\begin{aligned} x \oplus y &= y \\ x \otimes y &= y^2 \end{aligned}$$

- 2) נתונה הקבוצה $Q[\sqrt{2}] = \{a + b\sqrt{2} \mid a, b \in Q\}$. על קבוצה זו נגדיר פעולת חיבור ופעולת כפל באופן הבא:
- $$(a + b\sqrt{2}) + (c + d\sqrt{2}) = (a + c) + (b + d)\sqrt{2}$$
- $$(a + b\sqrt{2}) \cdot (c + d\sqrt{2}) = (ac + 2bd) + (ad + bc)\sqrt{2}$$
- הוכיחו שהקבוצה $Q[\sqrt{2}]$, עם פעולות החיבור והכפל הנ"ל, מהווה שדה.

- 3) נתונה הקבוצה $C = \{(x, y) \mid x, y \in \mathbb{R}\}$. על קבוצה זו נגדיר פעולת חיבור ופעולת כפל באופן הבא:
- $$(a, b) + (c, d) = (a + c, b + d), \quad (a, b) \cdot (c, d) = (ac - bd, ad + bc)$$
- הוכיחו שהקבוצה C , עם פעולות החיבור והכפל הנ"ל, מהווה שדה. באיזה שדה מפורסם מדובר?

- 4) ענו על הסעיפים הבאים:
- הוכיחו שבשדה, האיבר 0 הוא יחיד.
 - הוכיחו שבשדה, האיבר 1 הוא יחיד.
 - הוכיחו שבשדה, האיבר הנגדי הוא יחיד.
 - הוכיחו שבשדה, האיבר ההופכי הוא יחיד.

(5) יהיו a, b איברים בשדה.

א. הוכיחו כי $a + a = a \Leftrightarrow a = 0$.

ב. הוכיחו כי $a \cdot 0 = 0 \cdot a = 0$.

ג. הוכיחו כי $a \cdot b = 0 \Leftrightarrow a = 0 \vee b = 0$.

(6) יהיו a ו- b איברים של שדה.

הוכיחו כי:

א. $(-1) \cdot a = -a$

ב. $(-a)b = a(-b) = -ab$

(7) הוכיחו שבשדה, מתקיים חוק הצמצום.

כלומר, הוכיחו כי $ab = cb \Rightarrow a = c$ לכל a, b, c , בשדה ($b \neq 0$).

(8) הוכיחו שלכל שלושה איברים בשדה $a, b, c, 0 \neq$,

קיים בשדה איבר יחיד x , כך ש- $ax + b = c$.

(9) נתון F שדה, ויהיו $x, y \in F$, כך ש- $xy \neq 0, 1$.

הוכיחו, בעזרת אקסיומות השדה, כי $(x - xyx)^{-1} = x^{-1} + (y^{-1} - x)^{-1}$, וכי שני האגפים של המשוואה לעיל מוגדרים היטב.

(10) בכל אחד מהסעיפים הבאים מוגדרות פעולות חיבור וכפל על R^2 .

א. $(a, b) + (c, d) = (a + c, b + d)$

$(a, b) \cdot (c, d) = (ac, bd)$

ב. $(a, b) + (c, d) = (a + c, b + d)$

$(a, b) \cdot (c, d) = (ac + 2bd, ad + bc)$

האם $(R^2, +, \cdot)$ שדה?

(11) ענו על הסעיפים הבאים:

א. נתונה הקבוצה $A = \{f : R \rightarrow R \mid \forall x, f(x) \neq 0\}$

על קבוצה זו נגדיר פעולת חיבור ופעולת כפל באופן הבא:

$$(f + g)(x) = f(x) + g(x), (f \cdot g)(x) = f(x) \cdot g(x)$$

האם הקבוצה A , עם פעולות החיבור והכפל הנ"ל, מהווה שדה?

ב. נתונה הקבוצה $B = \{f : R \rightarrow R\}$

על קבוצה זו נגדיר פעולת חיבור וכפל כמו בסעיף א'.

האם הקבוצה B , עם פעולות החיבור והכפל הנ"ל, מהווה שדה?

(12) יהי F שדה בעל מספר סופי של איברים.

הראו שלכל איבר $a \neq 0$ ב- F , קיים k טבעי, כך ש- $a^k = 1_F$.

(13) נתון השדה Z_7 .

א. רשמו את כל איברי השדה והגדירו את פעולות החיבור והכפל בשדה.

ב. מצאו את האיבר הנגדי לאיבר 3 ולאיבר 5 בשדה.

ג. מצאו את האיבר ההופכי לאיבר 4 ולאיבר 5 בשדה.

(14) נתונה הקבוצה $Z_p = \{\bar{0}, \bar{1}, \bar{2}, \dots, \overline{p-1}\}$, מספר ראשוני p .

כאשר $\bar{a} = \bar{b} \Leftrightarrow a \equiv b \pmod{p}$, ו- $\bar{a} = \{x \in Z \mid a \equiv x \pmod{p}\}$.

לכל $\bar{a}, \bar{b}$ בקבוצה, נגדיר פעולות חיבור וכפל באופן הבא:

$$\bar{a} \oplus \bar{b} = \overline{a+b}, \quad \bar{a} \otimes \bar{b} = \overline{a \cdot b}$$

הוכיחו ש- $(Z_p, \oplus, \otimes)$ מהווה שדה.

בקיזור, הוכיחו כי קבוצת השאריות מודולו p , כאשר p ראשוני, מהווה שדה.

תשובות סופיות

(1) שאלת הוכחה.

(2) שאלת הוכחה.

(3) שאלת הוכחה.

(4) שאלת הוכחה.

(5) שאלת הוכחה.

(6) שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

(9) שאלת הוכחה.

(10) בשני הסעיפים הקבוצה איננה שדה.

(11) בשני הסעיפים הקבוצה איננה שדה.

(12) שאלת הוכחה.

(13) א. שאלת הוכחה.

ב. האיבר הנגדי לאיבר $\bar{3}$ הוא $\bar{4}$, והאיבר הנגדי לאיבר $\bar{5}$ הוא $\bar{2}$.

ג. האיבר ההופכי לאיבר $\bar{4}$ הוא $\bar{2}$, והאיבר ההופכי לאיבר $\bar{5}$ הוא $\bar{3}$.

(14) שאלת הוכחה.

אלגברה ליניארית ב

פרק 2 - מספרים מרוכבים ופתרון משוואות פולינומיאליות

תוכן העניינים

1. מספרים מרוכבים - הכרות ותכונות בסיסיות..... 8
2. הצמוד המרוכב..... 10
3. הצגת מספר מרוכב בצורה קוטבית..... 13
4. נוסחת דה-מואבר – חזקה ושורש של מספר מרוכב..... 15
5. תרגול נוסף במספרים מרוכבים..... 17
6. חילוק פולינומים..... 20
7. פתרון משוואות פולינומיאליות ממעלה גבוהה..... 21
8. שימושים של מספרים מרוכבים באלגברה ליניארית..... 22

מספרים מרוכבים – היכרות ותכונות בסיסיות

שאלות

בשאלות 1-3 פתרו את המשוואות ומצאו את z :

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

בשאלות 4-7 חשבו :

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

$$(6) \quad (4+i) - (2+10i) \quad (7) \quad (-4-i)(2-3i)$$

(8) נתונים שני מספרים מרוכבים $z_1 = a_1 + b_1 i$ ו- $z_2 = a_2 + b_2 i$.

ידוע כי $z_1 + z_2$ ממשי וכי $z_1 - z_2$ מדומה.

א. מצאו קשר בין a_1 ל- a_2 ובין b_1 ל- b_2 .

ב. הראו כי המכפלה $z_1 \cdot z_2$ היא ממשית.

(9) יהיו $z_1, z_2, \dots, z_n$ מספרים מרוכבים.

א. הוכיחו כי $|z_1 \cdot z_2| = |z_1| \cdot |z_2|$

ב. הוכיחו כי $|z_1 \cdot z_2 \cdot \dots \cdot z_n| = |z_1| \cdot |z_2| \cdot \dots \cdot |z_n|$

ג. הוכיחו כי $|z_1^n| = |z_1|^n$

(10) יהי z מספר מרוכב.

הוכיחו: אם $z^{11} = 1$ אז $z + \frac{1}{z}$ מספר ממשי.

(11) יהי z מספר מרוכב.

הוכיחו: אם $|z+1| = |z-1|$ אז iz מספר ממשי.

תשובות סופיות

- (1) $\pm 3i$
- (2) $2 \pm i$
- (3) $3 \pm 2i$
- (4) -8
- (5) 0
- (6) $2 - 9i$
- (7) $-11 + 10i$
- (8) שאלת הוכחה.
- (9) שאלת הוכחה.
- (10) שאלת הוכחה.
- (11) שאלת הוכחה.

הצמוד המרוכב

שאלות

בשאלות 1-3 חשבו (כתבו את התוצאה בצורה $z = x + yi$):

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

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

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

פתרו את המשוואות בשאלות 4-6 ומצאו את המספר המרוכב z :

$$(1+i)z^2 + 2z - i + 1 = 0 \quad (6)$$

$$z\bar{z} - 5\bar{z} = 10i \quad (5)$$

$$2z - 6i = \bar{z} - 1 \quad (4)$$

(7) פתרו את מערכת המשוואות הבאה (כאשר z ו- w משתנים מרוכבים):

$$\begin{cases} 3z + iw = 5 - 4i \\ 5iz - 2w = 5 + 8i \end{cases}$$

(8) חשבו את ערכי המספרים המרוכבים הבאים:

$$\text{א. } \sqrt{5-12i}$$

$$\text{ב. } \sqrt{8+6i}$$

(9) פתרו את המשוואות הריבועיות הבאות:

$$\text{א. } (1-i)z^2 - 2z + i + 1 = 0$$

$$\text{ב. } (-2+i)z^2 - (6+12i)z + 10 - 25i = 0$$

בשאלות 10-11 פתרו את המשוואות:

$$iz^2 - 2(1-i)z + 6 + 15i = 0 \quad (10)$$

$$z^2 - i\bar{z} + 6 = 0 \quad (11)$$

(12) הוכיחו שהמספר הבא הוא מספר מדומה $\frac{\bar{z}}{z^2} - \frac{z}{\bar{z}^2}$ כאשר $z \in \mathbb{C} \setminus \{0\}$.

13 נתון מספר מרוכב $z \neq 0$ המקיים: $|z - i| = 1$.
הוכח:

א. $|z|^2 = 2 \operatorname{Im}(z)$

ב. $\frac{z - 2i}{iz} \in \mathbb{R}$

14 המספר $\frac{3+4i}{a-i}$ הוא ממשי טהור.
מצאו את a .

15 נתונים שני מספרים מרוכבים $z_1 = a_1 + b_1 i$ ו- $z_2 = a_2 + b_2 i$.

הראו כי כדי שתוצאת החילוק $\frac{z_1}{z_2}$ תהיה ממשית טהורה, צריך להתקיים

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2}.$$

תשובות סופיות

(1) $2 - i$

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

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

(4) $z = -1 + 2i$

(5) $z = 1 + 2i, z = 4 + 2i$

(6) $z = i, z = -1$

(7) $z = 2 - 3i, w = 5 + i$

(8) א. $z = \pm(3 - 2i)$ ב. $z = \pm(3 + i)$

(9) א. $z_{1,2} = i, 1$ ב. $z_{1,2} = -2 - i, 2 - 5i$

(10) $z_1 = -2 - 5i, z_2 = 3i$

(11) $z_1 - 3i, z_2 = 2i$

(12) שאלת הוכחה.

(13) שאלת הוכחה.

(14) $a = -\frac{3}{4}$

(15) שאלת הוכחה.

הצגת מספר מרוכב בצורה קוטבית

שאלות

כתבו את המספרים בשאלות 1-8 בצורה קוטבית :

- (1) $1 + \sqrt{3}i$ (2) $-1 - i$ (3) $-3 - \sqrt{3}i$ (4) $1 - i$
 (5) $1 + i$ (6) $\sqrt{3} - i$ (7) $\sqrt{3}i$ (8) -8

(9) נתון המספר המרוכב $z = R \operatorname{cis} \theta$.

הביעו באמצעות R ו- θ את המספרים :

- א. $\bar{z}$
 ב. $\frac{1}{z}$
 ג. $-z$
 ד. $-\frac{1}{z}$
 ה. iz
 ו. $z \cdot \bar{z}$

(10) הראו כי המספרים הבאים הם ממשיים טהורים :

- א. $z + \bar{z}$
 ב. $z \cdot \bar{z}$
 ג. $\frac{z}{\bar{z}} + \frac{\bar{z}}{z}$

(11) הראו כי המספרים הבאים הם מדומים טהורים :

- א. $z^2 - \bar{z}^2$
 ב. $\frac{1}{\bar{z}} - \frac{1}{z}$

(12) הוכיחו :

- א. $z - i\bar{z} = \overline{\bar{z} + iz}$
 ב. $z \cdot \bar{z} = |z|^2$

תשובות סופיות

$$2 \left(\cos \frac{\pi}{3} + i \sin \frac{\pi}{3} \right) \quad \textbf{(1)}$$

$$\sqrt{2} \left(\cos \frac{5\pi}{4} + i \sin \frac{5\pi}{4} \right) \quad \textbf{(2)}$$

$$\sqrt{12} \left(\cos \frac{7\pi}{6} + i \sin \frac{7\pi}{6} \right) \quad \textbf{(3)}$$

$$\sqrt{2} \left(\cos \frac{7\pi}{4} + i \sin \frac{7\pi}{4} \right) \quad \textbf{(4)}$$

$$\sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) \quad \textbf{(5)}$$

$$2 \left(\cos \frac{11\pi}{6} + i \sin \frac{11\pi}{6} \right) \quad \textbf{(6)}$$

$$\sqrt{3} \left(\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} \right) \quad \textbf{(7)}$$

$$8(\cos \pi + i \sin \pi) \quad \textbf{(8)}$$

$$\textbf{(9)} \quad \text{א. } R \operatorname{cis}(-\theta) \quad \text{ב. } \frac{1}{R} \operatorname{cis}(-\theta) \quad \text{ג. } R \operatorname{cis}(180^\circ + \theta)$$

$$\text{ד. } \frac{1}{R} \operatorname{cis}(180^\circ + \theta) \quad \text{ה. } R \operatorname{cis}(90^\circ + \theta) \quad \text{ו. } R^2$$

(10) שאלת הוכחה.

(11) שאלת הוכחה.

(12) שאלת הוכחה.

נוסחת דה-מואבר – חזקה ושורש של מספר מרוכב

שאלות

בשאלות 1-6 חשבו :

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

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

(7) בעזרת משפט דה-מואבר, הוכיחו את הזהויות הבאות :

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 3\alpha = 4 \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha$$

$$\sin 3\alpha = 3 \sin \alpha - 4 \sin^3 \alpha$$

(8) בעזרת משפט דה-מואבר, הוכיחו כי : $\sin 1 + \sin 2 + \dots + \sin n = \frac{\sin \frac{n+1}{2} \sin \frac{n}{2}}{\sin \frac{1}{2}}$

תשובות סופיות

$$\frac{1}{32}i \quad (1)$$

$$-2^9 \quad (2)$$

$$-1 \quad (3)$$

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

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

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

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

תרגול נוסף במספרים מרוכבים

שאלות

(1) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. מצאו את כל הפתרונות של המשוואה $z^4 + z^2 + 1 = 0$.
 ב. הראו כי אם z הוא פתרון של המשוואה מסעיף א אזי: $z^6 = 1$.

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

- א. מצאו את פתרונות המשוואה הנתונה.
 ב. הוכיחו כי החזקה השלישית של כל אחד מפתרונות הנתונה היא מספר ממשי או מספר מדומה טהור.

(3) פתרו את המשוואה $\left(\frac{z+i}{z-i}\right)^4 = 1$.

(4) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. מצאו את שלושת הפתרונות של המשוואה $z^3 = i$.
 ב. הראו שמכפלת שלושת הפתרונות היא i .
 ג. הראו שאם מעלים בריבוע פתרון כלשהו של המשוואה, התוצאה שווה למכפלת שני הפתרונות האחרים.

(5) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. פתרו את המשוואה $z^5 = -16(\sqrt{3} - i)$.
 ב. הוכיחו כי חמשת השורשים מהווים סדרה הנדסית, ומצאו 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.

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

- א. מצאו את פתרונות המשוואה $z^3 = w^3$.
 ב. הראו כי מכפלת הפתרונות של המשוואה היא w^3 .

(7) נתונה המשוואה $(z-1)^3 = 1$.
הוכיחו שסכום שורשיה הוא 3.

(8) נתונה המשוואה $z^3 = -\sqrt{3} + i$.
א. מצאו את שורשי המשוואה: z_3, z_2, z_1 .
ב. מצאו את הסכום $|z_1|^3 + |z_2|^3 + |z_3|^3$.
ג. הראו כי הסכום $(z_1)^9 + (z_2)^9 + (z_3)^9$ הוא מספר מדומה טהור.

(9) נתונה המשוואה $z^2 + |z|^2 - 2ti = 18s^2$, כאשר z הוא מספר מרוכב,
 s ו- t הם מספרים ממשיים שונים מאפס ו- z_1, z_2 הם פתרונות המשוואה.
א. הביעו את פתרונות המשוואה באמצעות s ו- t .
ב. נתון $z_1 \cdot z_2 = -18i$. מצאו את הפרמטרים s ו- t .

(10) ענו על הסעיפים הבאים:

א. פתרו 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.
חשבו את האיבר הראשון בסדרה.
הערה: סדרה חשבונית היא סדרה מהצורה: $a_1, a_1 + d, a_1 + 2d, \dots, a_1 + (n-1)d$,
כאשר d נקרא הפרש הסדרה.

תשובות סופיות

(1) א. $z_1 = \text{cis}60^\circ, z_2 = \text{cis}240^\circ, z_3 = \text{cis}120^\circ, z_4 = \text{cis}300^\circ$ ב. שאלת הוכחה.

(2) א. $z_1 = 1 + \sqrt{3}i, z_2 = -\sqrt{3} + i, z_3 = -1 - \sqrt{3}i, z_4 = \sqrt{3} - i$ ב. שאלת הוכחה.

(3) $z = 0, z = 1, z = -1$

(4) א. $z_1 = \frac{1}{2}\sqrt{3} + \frac{1}{2}i, z_2 = -\frac{1}{2}\sqrt{3} + \frac{1}{2}i, z_3 = -i$

ב. שאלת הוכחה. ג. שאלת הוכחה.

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

(6) א. $z_1 = \text{cis}45^\circ, z_2 = \text{cis}165^\circ, z_3 = \text{cis}285^\circ$ ב. שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) א. $z_3 = \sqrt[3]{2}\text{cis}290^\circ, z_2 = \sqrt[3]{2}\text{cis}170^\circ, z_1 = \sqrt[3]{2}\text{cis}50^\circ$ ב. 6 ג. שאלת הוכחה.

(9) א. $z_2 = -3s - \frac{t}{3s}i, z_2 = -3s - \frac{t}{3s}i$ ב. $t = 9, s = \pm 1$

(10) א. $z_2 = -0.5 + 0.5i, z_1 = 0$ ב. $a_1 = -8.5$

חילוק פולינומים

שאלות

צמצמו עד כמה שניתן את השברים האלגבריים הבאים :

$$\frac{4x^4 + 6x^3 + 31x^2 + 99x + 10}{x^2 - x + 10} \quad (2)$$

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

$$\frac{x^2 - 5x - 14}{x + 2} \quad (4)$$

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

$$\frac{x^4 + x^3 - x^2 + 14x - 3}{x + 3} \quad (6)$$

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

$$\frac{x^3 + 5x^2 - 4x - 20}{x + 5} \quad (8)$$

$$\frac{x^3 - 4x^2 + 9}{x - 3} \quad (7)$$

תשובות סופיות

$$x^2 + 1 \quad (1)$$

$$0 \quad (2)$$

$$4x + 9 + \frac{17}{x - 2} \quad (3)$$

$$x - 7 \quad (4)$$

$$x^2 + 2x + 5 \quad (5)$$

$$x^3 - 2x^2 + 5x - 1 \quad (6)$$

$$x^2 - x - 3 \quad (7)$$

$$x^2 - 4 \quad (8)$$

פתרון משוואות פולינומאליות ממעלה גבוהה

שאלות

פתרו את המשוואות הבאות :

$$k^4 + 3k^3 - 15k^2 - 19k + 30 = 0 \quad (1)$$

$$k^3 + 2k^2 - 3k + 20 = 0 \quad (2)$$

$$k^5 + 3k^4 + 2k^3 - 2k^2 - 3k - 1 = 0 \quad (3)$$

$$k^3 - 6k^2 + 12k - 8 = 0 \quad (4)$$

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

$$k^3 - k^2 + k - 1 = 0 \quad (6)$$

$$k^4 - 3k^3 + 6k^2 - 12k + 8 = 0 \quad (7)$$

תשובות סופיות

$$k_1 = 1, \quad k_2 = -2, \quad k_3 = 3, \quad k_4 = -5 \quad (1)$$

$$k_1 = -4, \quad k_{2,3} = 1 \pm 2i \quad (2)$$

$$k_1 = 1, \quad k_2 = -1, \quad k_3 = -1, \quad k_4 = -1, \quad k_5 = -1 \quad (3)$$

$$k_1 = 2, \quad k_2 = 2, \quad k_3 = 2 \quad (4)$$

$$k_1 = 1, \quad k_2 = -1, \quad k_3 = 1, \quad k_4 = -1, \quad k_5 = 1, \quad k_6 = -1 \quad (5)$$

$$k_1 = 1, \quad k_{2,3} = \pm i \quad (6)$$

$$k_1 = 1, \quad k_2 = 2, \quad k_{3,4} = \pm 2i \quad (7)$$

שימושים של מספרים מרוכבים באלגברה לינארית

שאלות

בשאלות 1-4 נתון $u = (3 - 2i, 4i, 1 + 6i)$, $v = (5 + i, 2 - 3i, 7 + 2i)$
מצאו:

$$(1) \quad \text{א. } 4u + v \quad \text{ב. } 2i \cdot u - v \quad (2) \quad u \cdot v$$

$$(3) \quad \text{א. } u \cdot u \quad \text{ב. } |u|$$

$$(4) \quad |v|$$

בשאלות 5-6 פתרו את מערכת המשוואות הבאה בשיטת גאוס,

$$z_1 + iz_2 + (1 - i)z_3 = 1 + 4i$$

מעל השדה F : $iz_1 + z_2 + (1 + i)z_3 = 2 + i$, כאשר,

$$(-1 + 3i)z_1 + (3 - i)z_2 + (2 + 4i)z_3 = 5 - i$$

$$(5) \quad F = \mathbb{R}$$

$$(6) \quad F = \mathbb{C}$$

בשאלות 7-8 בדקו 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 :

(7) מעל השדה הממשי $\mathbb{R}$.

(8) מעל שדה המרוכבים $\mathbb{C}$.

בשאלות 9-10 בדקו האם הווקטורים $\{(1, i, i - 1), (i + 1, i - 1, -2)\}$
תלויים ליניארית ב- C^3 :

(9) מעל $\mathbb{C}$.

(10) מעל $\mathbb{R}$.

עבור כל אחת מהמטריצות בשאלות 11-13 מצאו ערכים עצמיים ו-וקטורים עצמיים. במידה והמטריצה ניתנת ללכסון, לכסנו אותה. כלומר, מצאו מטריצה הפיכה P , כך ש- $P^{-1}AP = D$, באשר D מטריצה אלכסונית. פתרו פעם מעל $\mathbb{C}$ ופעם מעל $\mathbb{R}$.

$$A = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$A = \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 4 & -1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$(13) \text{ נתונה מטריצה } A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

מצאו את הערכים העצמיים והווקטורים העצמיים של המטריצה.

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } (17-7i, 2+13i, 11+26i) \quad \text{ב. } (-1+5i, -10+3i, -19)$$

$$(2) \quad \text{א. } 20+35i \quad \text{ב. } 66$$

$$(3) \quad \sqrt{66}$$

$$(4) \quad \sqrt{92}$$

$$(5) \quad (z_1, z_2, z_3)_{F=\mathbb{R}} = (2, 3, -1)$$

$$(6) \quad (z_1, z_2, z_3)_{F=\mathbb{C}} = ((-1+i)t+1+i, 3, t)$$

$$(7) \quad \text{כן}$$

$$(8) \quad \text{לא}$$

$$(9) \quad \text{תלויים.}$$

$$(10) \quad \text{בלתי תלויים.}$$

$$(11) \quad \text{אין פתרונות מעל } \mathbb{R}, \text{ ולכן אין ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים.}$$

$$\text{מעל } \mathbb{C} : x=1\pm 2i, \mathbf{v}_{x=1-2i} = \langle 1-i, 2 \rangle, \mathbf{v}_{x=1+2i} = \langle 1+i, 2 \rangle$$

$$A = \begin{bmatrix} 1+i & 1-i \\ 2 & 2 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1+2i & 0 \\ 1 & 1-2i \end{bmatrix}$$

$$(12) \quad \text{ערכים עצמיים : } x=3, \text{ וקטורים עצמיים : } \mathbf{v}_{x=3} = \langle -1, 1 \rangle. \text{ לא ניתנת ללכסון.}$$

$$(13) \quad \mathbf{v}_{x=1+\sqrt{3}i} = (1-\sqrt{3}i, 1+\sqrt{3}i, -2), \mathbf{v}_{x=1} = \langle 1, 1, 1 \rangle, x=1, x=1\pm\sqrt{3}i$$

$$\mathbf{v}_{x=1-\sqrt{3}i} = (1+\sqrt{3}i, 1-\sqrt{3}i, -2)$$

אלגברה ליניארית ב

פרק 3 - ערכים עצמיים-וקטורים עצמיים-לכסון מטריצות - דימיון

תוכן העניינים

1. לכסון מטריצות - תרגילי חישוב 25
2. לכסון מטריצות – תרגילי תיאוריה..... 29
3. חקירת הלכסינות של מטריצה עם פרמטרים 41
4. דמיון מטריצות 45

לכסון מטריצות – תרגילי חישוב

שאלות

עבור כל אחת מהמטריצות בשאלות 1-4:

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

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

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

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

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

- עבור כל אחת מהמטריצות בשאלות 5-6 מצאו ערכים עצמיים ו-וקטורים עצמיים.
- במידה והמטריצה ניתנת ללכסון, לכסנו אותה.
- כלומר, מצאו מטריצה הפיכה P , כך ש- $P^{-1}AP = D$, כאשר D מטריצה אלכסונית.
- פתרו פעם מעל $\mathbb{C}$ ופעם מעל $\mathbb{R}$.

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

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

עבור כל אחת מהמטריצות בשאלות 7-11 מצאו ערכים עצמיים ו-וקטורים עצמיים:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 4 \\ 3 & 2 & -1 \\ 2 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$A = \begin{pmatrix} 4 & -1 & -1 \\ 1 & 2 & -1 \\ 1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 4 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

(12) תהי A מטריצה ממשית ריבועית מסדר 3×3 .

ידוע כי הווקטורים העצמיים של המטריצה הם $v_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, $v_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$, $v_3 = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$

והם מתאימים לערכים העצמיים: $\lambda_1 = 6$, $\lambda_2 = 2$, $\lambda_3 = -4$.

מצאו את המטריצה A .

(13) קבעו האם קיימת מטריצה ממשית ריבועית מסדר 3×3 ,

בעלת וקטורים עצמיים $v_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$, $v_2 = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}$, $v_3 = \begin{pmatrix} 7 \\ 8 \\ 9 \end{pmatrix}$

המתאימים לערכים העצמיים: $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = 2$, $\lambda_3 = 3$.

במידה וקיימת מטריצה כזאת, מצאו אותה.

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א.} \begin{bmatrix} x & -2 & 1 \\ 0 & x-2 & 1 \\ 0 & -1 & x \end{bmatrix} \quad \text{ב.} \quad p(x) = x(x-1)^2 \quad \text{ג.} \quad x=0, x=1$$

הריבוב האלגברי של $x=1$ הוא 2, והריבוב האלגברי של $x=0$ הוא 1.

ד. $V_{x=1} = sp\{\langle 1, 1, 1 \rangle\}$ – ריבוב גיאומטרי : 1.

$V_{x=0} = sp\{\langle 1, 0, 0 \rangle\}$ – ריבוב גיאומטרי : 1.

ה. $\langle 1, 1, 1 \rangle, \langle 1, 0, 0 \rangle$ – ו-ח. לא ניתנת.

ט. $m(x) = x(x-1)^2 \quad \deg = 3$ – הפולינום האופייני הוא גם הפולינום המינימלי.
י. לא הפיכה.

$$(2) \quad \text{א.} \begin{bmatrix} x-1 & -1 & 0 \\ 0 & x-1 & 0 \\ 0 & 0 & x-2 \end{bmatrix} \quad \text{ב.} \quad p(x) = (x-1)^2(x-2) \quad \text{ג.} \quad x=1, x=2$$

הריבוב האלגברי של $x=1$ הוא 2, והריבוב האלגברי של $x=2$ הוא 1.

ד. $V_{x=1} = sp\{\langle 1, 0, 0 \rangle\}$ – ריבוב גיאומטרי : 1.

$V_{x=2} = sp\{\langle 0, 0, 1 \rangle\}$ – ריבוב גיאומטרי : 1.

ה. $\langle 0, 0, 1 \rangle, \langle 1, 0, 0 \rangle$ – ו-ח. לא ניתנת.

ט. $m(x) = (x-1)^2(x-2) \quad \deg = 3$ – הפולינום האופייני הוא גם המינימלי.
י. הפיכה.

$$(3) \quad \text{א.} \begin{bmatrix} x-1 & 0 & -1 \\ 0 & x-1 & 0 \\ -1 & 0 & x-1 \end{bmatrix} \quad \text{ב.} \quad p(x) = x(x-1)(x-2) \quad \text{ג.} \quad x=0, x=1, x=2$$

$x=0$ – ריבוב אלגברי : 1, $x=1$ – ריבוב אלגברי : 1, $x=2$ – ריבוב אלגברי : 1.

ד. $V_{x=0} = sp\{\langle -1, 0, 1 \rangle\}$ – ריבוב גיאומטרי : 1.

$V_{x=1} = sp\{\langle 0, 1, 0 \rangle\}$ – ריבוב גיאומטרי : 1.

$$\text{ה.} \quad \langle 0, 1, 0 \rangle, \langle 1, 0, 1 \rangle, \langle -1, 0, 1 \rangle \quad \text{ו. ניתנת ללכסון.} \quad \text{ז.} \quad P = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{ח.} \quad \begin{bmatrix} 2^{2016} & 0 & 2^{2016} \\ 0 & 1 & 0 \\ 2^{2016} & 0 & 2^{2016} \end{bmatrix} \quad \text{ט.} \quad m(x) = x(x-1)(x-2) \quad \text{י. לא הפיכה.}$$

$$(4) \quad \begin{matrix} \text{א.} & \begin{bmatrix} x+1 & -3 & 0 \\ -3 & x+1 & 0 \\ 2 & 2 & x-6 \end{bmatrix} \\ \text{ב.} & p(x) = (x-6)(x-2)(x+4) \end{matrix}$$

$$\text{ג. } x=6, x=2, x=-4$$

$$x=-4 - \text{ריבוב אלגברי: } 1, x=2 - \text{ריבוב אלגברי: } 1, x=6 - \text{ריבוב אלגברי: } 1.$$

$$\text{ד. } V_{x=6} = sp\{\langle 0, 0, 1 \rangle\} - \text{ריבוב גיאומטרי: } 1.$$

$$V_{x=2} = sp\{\langle 1, 1, 1 \rangle\} - \text{ריבוב גיאומטרי: } 1.$$

$$V_{x=-4} = sp\{\langle -1, 1, 0 \rangle\} - \text{ריבוב גיאומטרי: } 1.$$

$$\text{ה. } \langle 0, 0, 1 \rangle, \langle -1, 1, 0 \rangle, \langle 1, 1, 1 \rangle \quad \text{ו. ניתנת ללכסון.} \quad \text{ז. } P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{ח. } \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2^{2017} + (-4)^{2017} & 2^{2017} - (-4)^{2017} & 0 \\ 2^{2017} - (-4)^{2017} & 2^{2017} + (-4)^{2017} & 0 \\ -6^{2017} + 2^{2017} & -6^{2017} + 2^{2017} & 2 \cdot 6^{2017} \end{bmatrix}$$

$$\text{ט. } m(x) = (x-6)(x-2)(x+4) \quad \text{י. הפיכה.}$$

$$(5) \quad \text{אין פתרונות מעל } \mathbb{R}, \text{ ולכן אין ערכים עצמיים וקטורים עצמיים.}$$

$$\text{מעל } \mathbb{C}: x = 1 \pm 2i, v_{x=1+2i} = \langle 1+i, 2 \rangle, v_{x=1-2i} = \langle 1-i, 2 \rangle,$$

$$A = \begin{bmatrix} 1+i & 1-i \\ 2 & 2 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1+2i & 0 \\ 1 & 1-2i \end{bmatrix}$$

$$(6) \quad \text{ערכים עצמיים: } x=3, \text{ וקטורים עצמיים: } v_{x=3} = \langle -1, 1 \rangle. \text{ לא ניתנת ללכסון.}$$

$$(7) \quad \text{ערכים עצמיים: } x_1=2, x_{2,3}=3,$$

$$\text{וקטורים עצמיים: } v_{x=3}^{(1)} = (1, 0, 1), v_{x=3}^{(2)} = (1, 1, 0), v_{x=2} = (1, 1, 1)$$

$$(8) \quad v_{x=-2} = (-1, 1, 1), v_{x=3} = (1, 2, 1), v_{x=1} = (-1, 4, 1), x=1, x=3, x=-2$$

$$(9) \quad v_{x=-1} = (-1, 0, 1), v_{x=4} = (1, 1, 1), v_{x=1} = (1, -2, 1), x=1, x=4, x=-1$$

$$(10) \quad v_{x=3} = (1, 2), v_{x=1} = (-1, 2), x=-1, x=3$$

$$(11) \quad v_{x=1+\sqrt{3}i} = (1-\sqrt{3}i, 1+\sqrt{3}i, -2), v_{x=1} = \langle 1, 1, 1 \rangle, x=1, x=1 \pm \sqrt{3}i$$

$$v_{x=1-\sqrt{3}i} = (1+\sqrt{3}i, 1-\sqrt{3}i, -2)$$

$$(12) \quad A = \begin{bmatrix} -1 & 3 & 0 \\ 3 & -1 & 0 \\ -2 & -2 & 6 \end{bmatrix}$$

$$(13) \quad \text{אין כזו מטריצה.}$$

לכסון מטריצות – תרגילי תיאוריה

שאלות

(1) נתונה מטריצה ריבועית A .

הוכיחו או הפריכו:

א. 0 ערך עצמי של המטריצה A , אם ורק אם המטריצה איננה הפיכה.

ב. אם A הפיכה ו- λ ע"ע של A , אז $\frac{1}{\lambda}$ הוא ערך עצמי של A^{-1} .

ג. ל- A ול- A^T יש את אותו פולינום אופייני.

ד. ל- A ול- A^T יש את אותם וקטורים עצמיים.

ה. אם סכום האיברים בכל שורה של A הוא λ , אז λ הוא ע"ע של A .

ו. אם $A^{-1} = A^T$ ואם λ הוא ע"ע של A , אז $\lambda = \pm 1$.

ז. אם $A^2 = A$ ואם λ הוא ע"ע של A , אז $\lambda = 0$ או $\lambda = 1$.

(2) פתרו את 2 הסעיפים הבאים:

א. ידוע שלמטריצה A יש וקטור עצמי v השייך לערך העצמי 4.

$$B = A^4 - 2A^2 + 10A - 4I$$

הוכיחו ש- v וקטור עצמי גם של המטריצה B וחשבו את הערך העצמי המתאים לו.

ב. נתון ש- v וקטור עצמי של מטריצה A השייך לערך עצמי λ .

יהי $p(x)$ פולינום.

הוכיחו ש- v ו"ע של המטריצה $p(A)$ השייך לערך עצמי $p(\lambda)$.

(3) פתרו את 2 הסעיפים הבאים:

א. נתונה מטריצה ריבועית A מסדר 2.

1. הוכיחו כי הפולינום האופייני של המטריצה שווה ל-

$$p(x) = x^2 - \text{tr}(A)x + |A|$$

2. נתון כי $\text{tr}(A) = 4$. חשבו את $|A|$, אם ידוע בנוסף שלמטריצה

יש ערך עצמי אחד.

ב. נתונה מטריצה ריבועית A מסדר n .

נניח כי $p(x) = x^n + a_{n-1}x^{n-1} + \dots + a_1x + a_0$ הפולינום האופייני של A .

הוכיחו כי $a_{n-1} = -\text{tr}(A)$, $a_0 = (-1)^n |A|$.

(4) נתונה מטריצה A מסדר n .

הוכיחו:

א. λ ע"ע של $A \Leftrightarrow \text{rank}(A - \lambda I) < n$.ב. הריבוי הגיאומטרי של ע"ע λ שווה ל- $n - \text{rank}(A - \lambda I)$.ג. אם $\text{rank}(A) = k < n$ אז 0 ע"ע של המטריצה A מריבוי גיאומטרי $n - k$.
מה ניתן לומר על הריבוי האלגברי במקרה זה.(5) נתונה מטריצה ריבועית B מסדר 4. ידוע כי $\text{rank}(B) = 1$.

הוכיחו:

א. 0 ע"ע של המטריצה B .

ב. הריבוי הגיאומטרי של הע"ע 0 הוא 3.

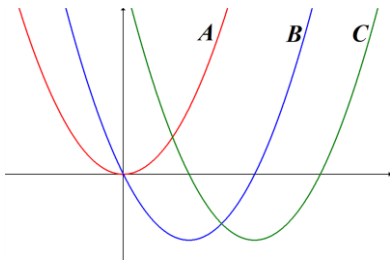
ג. הריבוי האלגברי של הע"ע 0 הוא 3 או 4.

ד. למטריצה B לכל היותר 2 ערכים עצמיים.ה. אם למטריצה B ע"ע פרט ל-0 אז הוא שווה ל- $\text{tr}(B)$.(6) נתונה מטריצה $A = \begin{pmatrix} a & b & c \\ 4a & 4b & 4c \\ 10a & 10b & 10c \end{pmatrix}$ ($a, b, c \in \mathbb{R}$).ידוע שלמטריצה קיים ערך עצמי $\lambda = k \neq 0$.הוכיחו שהמטריצה ניתנת ללכסון ומצאו מטריצה אלכסונית הדומה ל- A .(7) תהינה A ו- B מטריצות מסדר n המקיימות $AB = BA$.נניח כי $\text{rank} A = n - 1$ ו- v וקטור עצמי השייך לערך העצמי 0 של המטריצה.הוכיחו כי v הוא וקטור עצמי של המטריצה B .(8) תהי A מטריצה מסדר 3 המקיימת $0 < \text{rank}(A - 10I) < \text{rank}(A - 4I) < 3$.א. מצאו את הפולינום האופייני של המטריצה A .ב. מצאו את הערכים העצמיים של A ואת הריבוי האלגברי והגיאומטרי של כל ע"ע.ג. קבעו האם A ניתנת ללכסון. אם כן, מצאו מטריצה אלכסונית הדומה ל- A .ד. קבעו האם A הפיכה?ה. הוכיחו כי $(A - 10I)^2(A - 4I) = 0$. האם ייתכן ש- $A = 4I$ או $A = 10I$?(9) תהי A מטריצה מסדר 5×5 , כך ש- $\det A = 12$ וגם $\rho(I + A) = \rho(2I - A) = 3$.הוכיחו ש- A לכסינה, ורשמו מטריצה אלכסונית דומה לה.

(10) נתונה מטריצה $A = (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n)$ (מטריצה עם שורה אחת). מצאו את הערכים העצמיים של המטריצה $A^T A$ (הניחו $n > 1$).

(11) תהי A מטריצה מסדר 3×3 , כך ש- $A = \begin{pmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & -1 \end{pmatrix}$, וכן $\rho(2I + A) < \rho(4I - A)$. הוכיחו ש- A לכסינה.

(12) תהי A מטריצה מסדר 3×3 המקיימת $\rho(2I - A) > \rho(5I + A)$. ידוע גם ש- $\text{span}\{(3, 1, -1)\}$ הוא מרחב הפתרונות של המערכת $A\vec{x} = 2\vec{x}$. הוכיחו ש- A לכסינה, ורשמו את כל המטריצות האלכסוניות הדומות ל- A .



(13) באיור שלפניך הגרפים של הפולינום האופייני של 3 מטריצות A, B ו- C מסדר 2. ידוע שהמטריצה A ניתנת ללכסון. מצאו את הדרגה של כל אחת מהמטריצות והוכיחו שגם המטריצות B ו- C ניתנות ללכסון.

(14) תהי A מטריצה ממשית מסדר 3. נתון כי $\det(A) = \text{tr}(A) = 0$ וכי $\lambda = 1$ ערך עצמי של המטריצה. הוכיחו כי המטריצה ניתנת לליכסון ומצאו את כל הערכים העצמיים שלה.

(15) יהיו $A, B \in M_2[\mathbb{R}]$. ידוע כי $A = AB - BA$. הוכיחו כי $A^2 = 0$.

(16) תהי A מטריצה ממשית לא הפיכה מסדר 2 כך ש- $\text{tr}(A) \neq -1$.

א. הוכיחו כי $(I + A)^{-1} = I - \frac{1}{1 + \text{tr}(A)} A$.

ב. בעזרת סעיף א מצאו את $\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}^{-1}$.

(17) נתונה מטריצה ריבועית A מסדר n .
ויהיו $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ הערכים העצמיים של המטריצה.
הוכיחו:

א. $|A| = \prod_{i=1}^n \lambda_i$

ב. $tr(A) = \sum_{i=1}^n \lambda_i$

הערה:

הערכים העצמיים של המטריצה מתקבלים ממציאת השורשים של הפולינום האופייני מעל $\mathbb{C}$. בנוסף, הערכים העצמיים לא בהכרח שונים זה מזה.

(18) נתונה מטריצה ממשית A מסדר 2.

- א. אם $tr(A) = 3$, $tr(A^2) = 5$. מצאו את $|A|$.
ב. אם וקטורי העמודה של A מקבילים ואם $tr(A) = 5$ מצאו את $tr(A^2)$.
ג. אם $|A| = 5$ ואם ל- A ע"ע שהם מספרים שלמים וחיוביים מהו $tr(A)$.

(19) תהי A מטריצה מסדר 3 שמקיימת $|A| = 1$.

- א. אם $\frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}$ הוא ערך עצמי של A מצאו את כל הע"ע של A .
ב. ידוע כי $A^{100} = aA^2 + bA + cI$.
מצאו את a, b, c .

(20) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. הפולינום האופייני של מטריצה A הוא $p_A(x) = x^2 + bx + c$.
מצאו את הפולינום האופייני $p_{4A}(x)$ של המטריצה $4A$.
ב. מטריצה $A \in M_2[R]$ מקיימת $|A| < 0$.
הוכיחו שהמטריצה ניתנת ללכסון.

(21) תהי A מטריצה ריבועית עם פולינום אופייני $p(t) = (t-2)^2(t+1)^2(t-5)^8(t+3)^7$.

- א. מה הדרגה של A ?
ב. ידוע שקיימת מטריצה P הפיכה כך ש- $AP = PD$, כאשר D אלכסונית.
חשבו את הדרגה של $A - 5I$.

(22) תהי $A = \begin{pmatrix} a & c \\ c & b \end{pmatrix}$ מטריצה ממשית.

א. נסמן את העי"ע של A על ידי α ו- β .
הוכיחו שהם ממשיים.

ב. הניחו ש- $\alpha = \beta$, והוכיחו ש- $A = \begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha \end{pmatrix}$.

(23) תהי A מטריצה לכסינה מעל $\mathbb{C}$, שהפולינום האופייני שלה

$$p(t) = t^4 + 2it^3 + 3t^2.$$

הוכיחו שהמטריצה $A^2 - 3A + I$ לכסינה מעל $\mathbb{C}$, ורשמו מטריצה אלכסונית הדומה לה.

(24) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. תהי A מטריצה ריבועית מעל $\mathbb{R}$, בעלת פולינום אופייני $p(t) = t^3 - 2t + 5$.
הוכיחו שלכל $b \in \mathbb{R}^3$ יש למערכת $Ax = b$ פתרון יחיד ומצאו את $|A|$ ו- $\text{tr}(A)$.
ב. תהי A מטריצה ממשית, כאשר $A \neq I$, ובעלת פולינום אופייני $p(t) = (t-1)^3$.
הוכיחו ש- A הפיכה, וחשבו את $\text{tr}(A - 2I)$.

(25) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. הוכיחו ש- λ עי"ע של A אם ורק אם $A - \lambda I$ לא הפיכה.
ב. תהי A מטריצה ריבועית, עם פולינום אופייני $p(t) = (t-1)(t+2)^{n-1}$,
כאשר $n \geq 2$.
הוכיחו שהמטריצה $C = A^2 + A - 2I$ לא הפיכה, ושהמטריצה $D = A^2 - 2I$ הפיכה.

(26) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. הגדירו והדגימו את המונח מטריצה נילפוטנטית.
ב. הוכיחו שכל הערכים העצמיים של מטריצה נילפוטנטית הם אפס.
ג. האם הטענה ההפוכה לטענה בסעיף ב נכונה? הוכיחו או הפריכו.
ד. הוכיחו שאם A מטריצה נילפוטנטית מסדר n אז $A^n = 0$.
ה. תהי A מטריצה נילפוטנטית מסדר n , ותהי $B = A - I$.
מצאו את $|B|$.

(27) צטטו את המשפט בנוגע לחישוב פולינום מינימלי של מטריצת בלוקים. בעזרת המשפט לעיל חשב את הפולינום המינימלי של המטריצה הבאה:

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 \end{pmatrix}$$

(28) תהי $A = (a_{ij})$ מטריצה שהאיברים שלה נתונים על ידי: $a_{ij} = \begin{cases} ij & i \neq j \\ 1+ij & i = j \end{cases}$. חשבו את $|A|$.

(29) נסחו את המשפט בנוגע לחישוב פולינום אופייני של מטריצת בלוקים. א. בעזרת המשפט לעיל חשבו את הפולינום האופייני של המטריצה הבאה:

$$M = \begin{pmatrix} 9 & 8 & 5 & 7 \\ -1 & 3 & 2 & -4 \\ 0 & 0 & 3 & -1 \\ 0 & 0 & 6 & 8 \end{pmatrix}$$

ב. הוכיחו את המשפט מסעיף א.

(30) נתונות שתי מטריצות ריבועיות, A ו- B , מסדר n . הוכיחו או הפריכו: א. ל- AB ו- BA אותם ערכים עצמיים.

ב. נניח ש- v וקטור עצמי, שונה מאפס, של A ו- B , אז v גם הוא וקטור עצמי של המטריצה $4A+10B$.

(31) תהי A מטריצה ריבועית הניתנת ללכסון.

א. הוכיחו כי לכל סקלר k , המטריצה $A+kI$ ניתנת ללכסון.

ב. אם 4 הוא ערך עצמי של המטריצה A , מצאו את הערך העצמי של המטריצה $A+kI$.

(32) תהי A מטריצה ממשית מסדר 3×3 . ידוע כי v_1, v_2 הם ו"ע של A , שונים מאפס, המתאימים לע"ע $\lambda = 1$, וכי v_3 הוא ו"ע, שונה מאפס, המתאים לע"ע $\lambda = -1$.

הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות:

א. אם הווקטורים v_1, v_2 בת"ל, אז $A^{2018} = I$.

ב. A ניתנת ללכסון.

ג. v_3 הוא צרף לינארי של הווקטורים v_1, v_2 .

(33) הוכיחו או הפריכו :

- א. כל מטריצה הניתנת ללכסון היא הפיכה.
 ב. כל מטריצה הניתנת ללכסון היא לא הפיכה.
 ג. כל מטריצה הפיכה ניתנת ללכסון.
 ד. קיימת מטריצה A אשר הווקטור $\begin{pmatrix} 4 \\ 1 \\ 10 \end{pmatrix}$ הוא ו"ע שלה השייך לע"ע 14.

(34) נתונות שתי מטריצות מסדר n : מטריצה B הניתנת ללכסון ומטריצה Q הפיכה. הוכיחו או הפריכו :

- א. המטריצה $Q^{-1}BQ$ אלכסונית.
 ב. המטריצה $Q^{-1}BQ$ ניתנת ללכסון.
(35) נסמן ב- W את קבוצת כל המטריצות מסדר n , שעבורן v הוא ו"ע.
 א. הוכיחו כי W תת מרחב של מרחב המטריצות מסדר n .
 ב. עבור $v = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$, $n = 2$, מצאו בסיס ל- W .

(36) תהי $A = \begin{pmatrix} 1 & a \\ 4 & 1 \end{pmatrix}$, כאשר a קבוע ממשי.

- א. עבור $a = 3$, תנו דוגמה לזוג $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ שאינו וקטור עצמי של A .
 ב. עבור איזה ערך של a , הזוג $\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ הוא וקטור עצמי של A ?
 ג. יהי $u \in \mathbb{R}^2$, $u \neq 0$ וקטור שאינו ו"ע של A .
 הוכיחו כי הקבוצה $\{u, Au\}$, מהווה בסיס של $\mathbb{R}^2$.

**(37) מטריצה ריבועית A תיקרא אידמפוטנטית, אם $A^2 = A$.
תהי A מטריצה אידמפוטנטית.**

- א. הוכיחו כי הערכים העצמיים של A הם 0 או 1 בלבד.
 ב. רשמו את כל האפשרויות עבור הפולינום המינימלי של A .
 ג. הוכיחו כי הפולינום האופייני של A מתפרק לגורמים לינאריים.
 ד. הוכיחו כי A ניתנת ללכסון.
 ה. הוכיחו כי $\text{tr}(A) = \text{rank}(A)$ (סעיף זה דורש ידע בדימיון מטריצות).

- (38) תהי A מטריצה ממשית מסדר 5. הוכיחו או הפריכו:
- קיים תת מרחב $W_\alpha = \{u \mid Au = \alpha u\}$ של R^5 , כך ש- $\dim W_\alpha \geq 1$.
 - אם u_1, u_2 ו"ע של A , אז גם הווקטור $u_1 + u_2$ ו"ע של A .
 - אם המטריצה B שקולת שורות למטריצה A , אז לשתי המטריצות אותם ערכים עצמיים.
 - אם A לכסינה מעל R , אז כל הערכים העצמיים שלה שונים זה מזה.
 - אם כל הערכים העצמיים של A שונים זה מזה, אז המטריצה A לכסינה מעל R .

- (39) תהי A מטריצה ממשית מסדר 4, שכל הערכים העצמיים שלה ממשיים. ידוע שהערך העצמי הקטן ביותר של המטריצה הוא 2, והערך העצמי הגדול ביותר של המטריצה הוא 4. מכאן נובע ש:

- $\text{rank}(A) = 4$.
- A לכסינה.
- $\text{tr}(A) > 10$.
- $|A| \leq 127$.
- קיים וקטור עצמי v של A , כך ש- $A^2 v = 2v$.

- (40) תהי A מטריצה ריבועית ויהי n מספר טבעי. הוכיחו או הפריכו:
- אם v וקטור עצמי של A , אז v וקטור עצמי גם של A^n .
 - אם v וקטור עצמי של A^n , אז v וקטור עצמי גם של A .
 - אם A לכסינה, אז A^n לכסינה.
 - אם A^n לכסינה, אז A לכסינה.

- (41) נתונה מטריצה A , שהפולינום המינימלי שלה הוא $m(x) = (x-1)^2$. הוכיחו כי המטריצה $A^2 + 4A + 3I$ הפיכה.

- (42) הוכיחו שהערכים העצמיים של מטריצה סימטרית ממשית הם בהכרח ממשיים.

- (43) נתונה מטריצה סימטרית ממשית A . הוכיחו שווקטורים עצמיים של A המתאימים לערכים עצמיים שונים הם אורתוגונליים.

- (44) תהי A מטריצה ממשית מסדר n .
 נתון: (1) A ניתנת ללכסון. (2) קיים k טבעי כך ש- $A^k = I$.
 צריך להוכיח: $A^2 = I$.

- (45) ענו על הסעיפים הבאים:
 א. תהי A מטריצה מסדר $n \times n$, לכסינה ובעלת דרגה 1. הוכיחו שהעקבה שלה שונה מ-0.
 ב. תהי A מטריצה ריבועית נילפוטנטית מסדר n . הוכיחו ש-0 ע"ע של A , ושהוא הע"ע היחיד שלה.

(46) נתונה המטריצה $A = \begin{pmatrix} 5 & -6 & -6 \\ -1 & 4 & 2 \\ 3 & -6 & -4 \end{pmatrix}$

- א. הוכיחו ש- A לכסינה.
 ב. האם המטריצה $B = 4A^{11} - 10A + 20I$ הפיכה?
 (47) תהי $A_{n \times n}$ מטריצה ריבועית ממשית שמקיימת $A^2 + I = 0$.
 הוכיחו את הטענות בסעיפים א'-ד':
 א. הפיכה A .
 ב. A לא ניתנת לליכסון.
 ג. A לא סימטרית.
 ד. n זוגי.
 ה. האם הטענה בסעיף ד' נשארת נכונה גם אם המטריצה A מרוכבת?

- (48) תהי A מטריצה מסדר n ויהי c קבוע.
 ידוע ש- λ ע"ע של המטריצה A עם וקטור עצמי v .
 א. הוכיחו כי $\lambda + c$ הוא ערך עצמי של המטריצה $A + cI$ עם וקטור עצמי v .
 ב. הוכיחו שהריבוי האלגברי של הע"ע λ של המטריצה A שווה לריבוי האלגברי של הע"ע $\lambda + c$ של המטריצה $A + cI$.
 ג. הוכיחו שהריבוי הגיאומטרי של הע"ע λ של המטריצה A שווה לריבוי הגיאומטרי של הע"ע $\lambda + c$ של המטריצה $A + cI$.

$$(49) \text{ נתונה מטריצה } A \text{ על ידי } a_{ij} = \begin{cases} b & i = j \\ a & i \neq j \end{cases} \text{ כאשר } 1 \leq i, j \leq n$$

חשבו את הערכים העצמיים ואת הווקטורים העצמיים של המטריצה A .
 קבעו האם המטריצה ניתנת ללכסון, אם כן, לכסנו אותה.
 בעזרת התוצאות שקיבלת חשבו גם את $|A|$.
 הערה: ניתן לפתור ללא חישוב של הפולינום האופייני.

(50) תהי A מטריצה ממשית מסדר n .
 הוכיחו:

- א. אם n אי-זוגי אז למטריצה לפחות ע"ע ממשי אחד.
 ב. אם λ ע"ע של A אז גם הצמוד המרוכב שלו $\bar{\lambda}$ הוא ע"ע של A .

(51) תהי A מטריצה מסדר n .
 הוכיחו:

- א. אם A ניתנת ללכסון ואם הערכים העצמיים שלה הם 1 או -1 אז $A^2 = I$.
 ב. אם כל הערכים העצמיים של A ממשיים וקטנים מ-1 אז $|I - A| > 0$.

(52) תהי A מטריצה אנטי-סימטרית ממשית.
 הוכיחו שכל ערך עצמי של A הוא מספר מדומה.
 תזכורת: מספר מדומה הוא מספר מהצורה bi כאשר b ממשי.

(53) ענו על הסעיפים הבאים:
 א. הגדר את המושגים מטריצה צמודה, מטריצה נורמלית ומטריצה אוניטרית.
 צטט משפט מפורסם הנוגע ללכסינות מטריצות נורמליות.
 תהי A מטריצה אנטי-סימטרית ממשית.
 ב. הוכיחו שהמטריצה A נורמלית.
 ג. הוכיחו שהדרגה של A היא זוגית.
 הערה: תרגיל זה מיועד רק למי שלמד מספרים מרוכבים.

(54) סדרה (a_n) מוגדרת רקורסיבית על ידי: $a_0 = a_1 = 1$, $a_n = 5a_{n-1} - 6a_{n-2}$.
 מצאו ביטוי סגור עבור a_n (כלומר, נוסחה לא רקורסיבית).

(55) סדרה (a_n) מוגדרת רקורסיבית על ידי: $a_0 = a_1 = 2$, $a_2 = 4$, $a_n = 2a_{n-1} + a_{n-2} - 2a_{n-3}$.
 מצאו ביטוי סגור עבור a_n (כלומר, נוסחה לא רקורסיבית).

תשובות סופיות

השאלות בנושא זה הן שאלות הוכחה.

לפתרונות מלאים היכנסו לאתר GooL.co.il.

- (1) שאלת הוכחה.
- (2) א. הערך העצמי הוא 260.
- (3) א.2. $|A| = 4$
- (4) שאלת הוכחה.
- (5) שאלת הוכחה.
- (6) $D = \text{diag}(0, 0, k)$
- (7) שאלת הוכחה.
- (8) א. $p(\lambda) = (\lambda - 10)^2(\lambda - 4)$
- ב. ע"ע 4 עם ריבוי אלגברי וגיאומטרי 1. ע"ע 10 עם ריבוי אלגברי וגיאומטרי 2.
- ג. $D = \text{diag}(10, 10, 4)$ ד. כן. ה. לא.
- (9) $\text{diag}(-1, -1, 2, 2, 3)$
- (10) 0 ו- $\text{tr}(A)$.
- (11) שאלת הוכחה.
- (12) $\text{diag}(2, -5, -5), \text{diag}(-5, 2, -5), \text{diag}(-5, -5, 2)$
- (13) $\text{rank}(A) = 0, \text{rank}(B) = 1, \text{rank}(C) = 2$
- (14) 0, 1, -1
- (15) שאלת הוכחה.
- (16) ב. $\begin{pmatrix} 2/3 & -1/3 \\ -1/3 & 2/3 \end{pmatrix}$
- (17) שאלת הוכחה.
- (18) א. $|A| = 2$ ב. $\text{tr}(A^2) = 25$ ג. $\text{tr}(A) = 6$
- (19) א. $1, \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}, \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2}$ ב. $a = 0, b = 1, c = 0$
- (20) א. $p_{4A}(x) = x^2 + 4bx + 16c$
- (21) א. 19 ב. 11
- (22) שאלת הוכחה.
- (23) $\text{diag}(1, 1, -3i, -8 + 9i)$
- (24) א. $|A| = -5$ ו- $\text{tr}(A) = 0$ ב. $\text{tr}(A - 2I) = -3$
- (25) שאלת הוכחה.
- (26) ה. $|B| = (-1)^n$
- (27) $|A| = -384$

$$m_M(x) = (x-2)^2(x-7) \quad (28)$$

$$p_M(x) = (x-5)^2(x-6)(x-7) \quad \text{א.} \quad (29)$$

(30) שאלת הוכחה.

$$4+k \quad \text{ב.} \quad (31)$$

(32) שאלת הוכחה.

(33) שאלת הוכחה.

(34) שאלת הוכחה.

$$B_W = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\} \quad \text{ב.} \quad (35)$$

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \quad \text{ב.} \quad \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{א.} \quad (36)$$

$$p(x) = x, \quad p(x) = x-1, \quad p(x) = x(x-1) \quad \text{ב.} \quad (37)$$

(38) שאלת הוכחה.

(39) שאלת הוכחה.

(40) שאלת הוכחה.

(41) שאלת הוכחה.

(42) שאלת הוכחה.

(43) שאלת הוכחה.

(44) שאלת הוכחה.

(45) שאלת הוכחה.

(46) שאלת הוכחה.

(47) שאלת הוכחה.

(48) שאלת הוכחה.

$$|A| = (b-a)^{n-1} [a(n-1) + b] \quad (49)$$

(50) שאלת הוכחה.

(51) שאלת הוכחה.

(52) שאלת הוכחה.

(53) שאלת הוכחה.

$$a_n = 2^{n+1} - 3^n \quad (54)$$

$$a_n = \frac{1}{3} (3 + (-1)^n + 2^{n+1}) \quad (55)$$

חקירת הלכסינות של מטריצה

שאלות

(1) נתונה המטריצה $A = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 1 & k & 0 \\ 1 & 0 & k \end{pmatrix}$, כאשר k קבוע ממשי.

- א. לאיזה ערכים של k המטריצה לכסינה?
 ב. במקרים בהם A לכסינה מצאו מטריצה אלכסונית הדומה ל- A .

(2) נתון $A = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 1 & k & 0 \\ 1 & 1 & k \end{pmatrix}$, כאשר k קבוע ממשי.

לאיזה ערכים של k (אם בכלל) המטריצה לכסינה?

(3) נתונה המטריצה $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & a^2 \\ 1 & a^2 & 0 \end{pmatrix}$, כאשר $a \in \mathbb{R}$.

- א. מצאו את כל ערכי a , כך ש- A לכסינה מעל $\mathbb{R}$.
 ב. במקרה בו A לכסינה מצאו מטריצה אלכסונית הדומה לה.

(4) נתונה המטריצה $A = \begin{pmatrix} m & 1 & 1 \\ 1 & m & 1 \\ 1 & 1 & m \end{pmatrix}$, כאשר $m \in \mathbb{R}$.

עבור אילו ערכים של m , המטריצה A לכסינה?
 כאשר היא לכסינה, רשמו מטריצה אלכסונית הדומה לה.

(5) נתון $A = \begin{pmatrix} k-2 & 2k & k+1 \\ k-1 & -1 & 2 \\ -k & 0 & -6 \end{pmatrix}$, כאשר k קבוע ממשי חיובי.

- א. לאיזה ערך של הפרמטר k המספר 2 יהיה ערך עצמי של המטריצה A ?
 עבור ערך ה- k שמצאת בסעיף א:
 ב. מצאו את הריבוי האלגברי והריבוי הגיאומטרי של הערך העצמי 2.
 ג. הוכיחו שהמטריצה ניתנת ללכסון ומצאו מטריצה אלכסונית הדומה לה.

$$(6) \quad \text{נתונה המטריצה הממשית } A = \begin{pmatrix} a & b & b \\ -1 & 3 & 2 \\ 2 & -8 & -5 \end{pmatrix}$$

- א. מצאו את ערכי a ו- b עבורם הערכים העצמיים של A יהיו 1 ו-1- בלבד.
 ב. עבור ערכי a ו- b שמצאתם בסעיף א' קבעו האם המטריצה לכסינה.

$$(7) \quad \text{נתונה המטריצה } A = \begin{pmatrix} 2 & 0 & a-2 \\ 1 & 1 & a-2 \\ 0 & 0 & a \end{pmatrix}, \text{ מעל } \mathbb{R}.$$

- א. מצאו את כל הערכים של a , עבורם A לכסינה.
 ב. במקרים בהם A לכסינה מצאו מטריצה אלכסונית D הדומה ל- A .

$$(8) \quad \text{נתונה המטריצה } A = \begin{pmatrix} a^2 & 0 & a \\ 0 & 2a & 0 \\ 0 & 0 & a+2 \end{pmatrix}, \text{ כאשר } a \in \mathbb{R}.$$

- א. עבור כל ערך של a , מצאו את הערכים העצמיים של A .
 ב. עבור אילו ערכי a , המטריצה A לכסינה?
 בכל אחד מהמקרים, רשמו מטריצה אלכסונית הדומה ל- A .

$$(9) \quad \text{נתונה המטריצה הבאה מעל } \mathbb{R}: A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a \\ 1 & 0 & b \\ 0 & 1 & c \end{pmatrix},$$

- כאשר a, b, c מספרים ממשיים המקיימים $a - b + c = -1$.
 א. הוכיחו כי -1 הוא ערך עצמי של A ומצאו את הריבוי הגיאומטרי שלו.
 ב. נתון כי $a = b > 1$.
 הוכיחו כי המטריצה ניתנת ללכסון ומצאו את כל ערכיה העצמיים.

$$ג. \text{ ידוע כי } \left(\frac{b-a}{2}\right)^2 + a < 0.$$

הוכיחו שהמטריצה לא ניתנת ללכסון.

- (10) מצאו את כל הערכים של המספרים הממשיים a, b , כך שהמטריצה

$$A = \begin{pmatrix} a & 0 & b-a \\ b & a & 0 \\ 0 & 0 & b \end{pmatrix} \text{ לכסינה.}$$

$$(11) \text{ נתונה המטריצה } A = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 \\ b & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

- א. עבור אילו ערכי a, b A לכסינה? נמקו.
 ב. בכל אחד מהמקרים ש- A לכסינה, רשמו מטריצה אלכסונית ש- A דומה לה.

$$(12) \text{ נתונה המטריצה } A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & a & 0 & b \end{pmatrix}, \text{ כאשר } a, b \in \mathbb{R}$$

- מצאו את כל הערכים של a ו- b , כך ש- A לכסינה.
 בכל מקרה בו היא לכסינה, רשמו מטריצה אלכסונית הדומה לה.

$$(13) \text{ נתונה מטריצה ממשית } A = \begin{pmatrix} 1 & -3 & a \\ 3 & -5 & 3 \\ 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}, \text{ כאשר } a \text{ פרמטר ממשי.}$$

- ידוע ש- $\lambda = -2$ הוא ערך עצמי שלה, עם ריבוב גיאומטרי 2.
 א. מהו ערכו של a ?
 ב. האם המטריצה לכסינה?

$$(14) \text{ נתונה המטריצה } A = \begin{pmatrix} 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a \\ a & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \text{ כאשר } a \in \mathbb{R}$$

- האם קיימים ערכי a , כך ש- A לכסינה מעל $\mathbb{R}$? מעל $\mathbb{C}$?
 אם כן, עבור כל ערך כזה של a , רשמו מטריצה אלכסונית הדומה ל- A .

$$(15) \text{ נתונה המטריצה } A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2 & -a & 2a \\ a & -a & a \end{pmatrix}, \text{ מעל } \mathbb{R}.$$

- מצאו את כל ערכי a עבורם A לכסינה:
 א. מעל $\mathbb{R}$.
 ב. מעל $\mathbb{C}$.

תשובות סופיות

- (1) א. $k \neq 4$. ב. $D = \text{diag}(4, k, k)$
- (2) המטריצה A לא ניתנת ללכסון לכל ערך של k .
- (3) א. A לכסינה אם ורק אם $a \neq \pm 1$. ב. $D = \text{diag}(1, -a^2, a^2)$
- (4) A לכסינה לכל m ודומה למשל ל- $D = \text{diag}(m-1, m-1, m+2)$
- (5) א. $k=3$. ב. ר"א $= 1$. ר"ג $= 1$. ג. $D = \text{diag}(2, -3, -5)$
- (6) א. $a=3, b=-4$ או $a=1, b=0$. ב. המטריצה לא לכסינה.
- (7) א. A לכסינה עבור כל a . ב. דומה למטריצה אלכסונית $D = \text{diag}(a, 1, 2)$.
- (8) א. אם $a \neq 0, 2, -1$, אז יש שלושה ע"ע שונים $a^2, 2a, a+2$.
 אם $a=0$, הע"ע הם 0 ו-2.
 אם $a=-1$, הע"ע הם 1 ו-2.
 אם $a=2$, יש ע"ע אחד והוא 4.
 ב. A לכסינה אם ורק אם $a \neq 2, -1$.
 במקרה זה היא דומה למטריצה $D = \text{diag}(a^2, 2a, a+2)$.
- (9) שאלת הוכחה.
- (10) אם $a=b=0$, או אם $a \neq 0$ ו- $b=0$, אז A לכסינה.
- (11) א+ב. A לכסינה בשלושה מקרים:
 כאשר $a \neq 0, 1$ ואז דומה ל- $D = \text{diag}(1, 0, a)$
 או כאשר $a=0$ וגם $b=0$ ואז דומה ל- $D = \text{diag}(0, 0, 1)$
 או כאשר $a=1$ וגם $b=-\frac{1}{2}$ ואז דומה ל- $D = \text{diag}(0, 1, 1)$
- (12) A לכסינה אם ורק אם:
 1. $b \neq 2, 3$ ואז $D = \text{diag}(3, 2, 2, b)$
 או 2. $b=2$ וגם $a=0$ ואז $D = \text{diag}(3, 2, 2, 2)$
 או 3. $b=3$ וגם $a=0$ ואז $D = \text{diag}(3, 3, 2, 2)$
- (13) א. $a=3$. ב. כן.
- (14) מעל $\mathbb{R}$: לכסינה אם $a=0$ ודומה ל- $D = \text{diag}(0, 0, 0, 0)$.
 מעל $\mathbb{C}$: לכסינה לכל a דומה ל- $D = \text{diag}(a, -a, ai, -ai)$.
- (15) א. A לכסינה מעל $\mathbb{R}$ אם ורק אם $a=0$. ב. A לכסינה מעל $\mathbb{C}$ לכל a .

דמיון מטריצות

שאלות

(1) ידוע ש- A ו- B מטריצות דומות. הוכיחו כי:

א. $|A| = |B|$

ב. $\text{tr}(A) = \text{tr}(B)$

ג. ל- A ו- B אותו פולינום אופייני.

(2) הוכיחו באינדוקציה: אם $P^{-1}AP = B$, אז $A^n = PB^nP^{-1}$.

(3) ענו על הסעיפים הבאים:

א. ידוע כי A מטריצה ממשית מסדר n וידוע כי A דומה למטריצה $4A$. הוכיחו כי A מטריצה לא הפיכה.

ב. הוכיחו שהמטריצות $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ ו- $4A = \begin{pmatrix} 0 & 4 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ דומות.

(4) נתונות שתי מטריצות ממשיות: $A = \begin{pmatrix} a & b & b \\ -1 & 3 & 2 \\ 2 & -8 & -5 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ -1 & 7 & 0 \\ 9 & -17 & 6 \end{pmatrix}$.

האם קיימים קבועים ממשיים a, b , כך שהמטריצה A דומה למטריצה B ?

(5) נתונות שלוש מטריצות ריבועיות מסדר n : A, B, C . הוכיחו כי:

א. A דומה לעצמה.

ב. אם A דומה ל- B , אז B דומה ל- A .

ג. אם A דומה ל- B ו- B דומה ל- C , אז A דומה ל- C .

ד. אם A דומה ל- B ושתייהן הפיכות, אז A^{-1} דומה ל- B^{-1} .

ה. אם A דומה ל- B , אז A^k דומה ל- B^k , לכל k טבעי.

ו. אם A דומה ל- B ו- $q(x)$ פולינום, אז $q(A)$ דומה ל- $q(B)$.

ז. אם A דומה ל- B , אז A^T דומה ל- B^T .

ח. אם A דומה ל- B , אז $\text{rank}(A) = \text{rank}(B)$.

ט. אם A דומה ל- B , אז $\text{Nullity}(A) = \text{Nullity}(B)$.

הערה – $\text{Nullity}(A) =$ מימד מרחב הפתרונות של המערכת ההומוגנית $Ax = 0$.

(6) הוכיחו או הפריכו :

- א. אם לשתי מטריצות מסדר 3 אותו פולינום אופייני, הן דומות.
 ב. אם לשתי מטריצות מסדר 3 אותו פולינום מינימלי, הן דומות.
 ג. אם לשתי מטריצות אותו פולינום אופייני ואותו פולינום מינימלי, אז הן דומות.

ד. המטריצות הבאות דומות $A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ $B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

(7) ידוע שלמטריצה ריבועית A מסדר 3 יש ערכים עצמיים 0, 1 ו-2. חשבו כל אחד מהבאים או הסבירו מדוע לא ניתן לעשות זאת :

א. $\text{rank}(A)$

ב. $\dim \text{Ker}(A)$

ג. $\text{tr}(A)$

ד. $|A^T A|$

ה. ע"ע עבור $A^T A$.

ו. ע"ע עבור $(4A^2 + 10A + I)^{-1}$.

הערה $\dim \text{Ker}(A) = \text{Nullity}(A)$

(8) הוכיחו כי למטריצות דומות אותו פולינום מינימלי.

(9) ענו על הסעיפים הבאים :

- א. A ו- B שתי מטריצות הדומות למטריצה C .
 הוכיחו כי A דומה ל- B .

ב. הוכיחו שהמטריצות הבאות דומות: $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 4 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$

(10) עבור אילו ערכים של x המטריצות הבאות דומות :

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 0 & -1 \\ -2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & x & 2 \end{pmatrix}$$

(11) הוכיחו שכל אחת מהמטריצות הבאות אינה דומה לאף אחת מהאחרות:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

(12) נתונות שתי מטריצות $A, B \in M_n[\mathbb{R}]$.

נתון כי A ניתנת ללכסון.

הוכיחו:

B דומה ל- A אם ורק אם B ניתנת ללכסון והיא בעלת אותם ע"ע כמו של A .

(13) נתונות המטריצות $A = \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 \\ 2 & a & 2 \\ 3 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ ו- $B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & b \end{pmatrix}$, כאשר $a, b \in \mathbb{R}$.

עבור אילו ערכים של a ו- b המטריצות A ו- B דומות?

(14) נתונות המטריצות $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & a \\ 0 & 3 & 0 \\ a & 0 & 1 \end{pmatrix}$ ו- $B = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$, כאשר $a \in \mathbb{R}$.

קבעו האם קיימת מטריצה הפיכה P כך ש- $P^{-1}AP = B$.

(15) נתונות המטריצות $A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 2 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & n-1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & n \end{pmatrix}$ ו- $B = \begin{pmatrix} n & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & n-1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 2 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix}$.

קבעו האם המטריצות דומות. אם כן, מצאו מטריצה הפיכה P , כך ש-

$$P^{-1}AP = B$$

(16) תהיינה A, B מטריצות ב- $M_n(\mathbb{R})$, בעלות דרגה 1, וכן $\text{tr}(A) = \text{tr}(B) = k$, כאשר

k מספר ממשי שונה מ-0.

א. מצאו את הפולינום האופייני של A ו- B .

ב. הוכיחו ש- A ו- B דומות.

(17) תהי A מטריצה מסדר 3×3 עם פולינום אופייני $p(t) = (t-1)(t+4)^2$, ונתון כי $\rho(4I + A) = 1$.

- א. רשמו את הפולינום האופייני של A^2 .
 ב. הוכיחו שהמטריצה $A^4 - 10A + 9I$ לא הפיכה, ומצאו את ממד מרחב הפתרונות של המערכת $(A^4 - 10A + 9I)\underline{x} = \underline{0}$.

(18) נתון כי $A, B, C, D \in M_n[\mathbb{R}]$ כך ש- A דומה ל- B ו- C דומה ל- D . הוכיחו או הפריכו:

- א. $A+C$ דומה ל- $B+D$.
 ב. AC דומה ל- BD .

(19) הוכיחו או הפריכו:

- א. אם שתי מטריצות שקולות שורה אז הן דומות.
 ב. אם שתי מטריצות הן דומות אז הן שקולות שורה.

(20) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. הוכיחו: אם A דומה ל- B אז $A - kI$ דומה ל- $B - kI$.
 ב. בדקו האם המטריצות הבאות דומות:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ג. בדקו האם המטריצות הבאות דומות:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 0 \\ 0 & 2 & 7 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

(21) נתון כי A ו- B מטריצות דומות.

הוכיחו של- A ו- B אותם ערכים עצמיים עם ריבוי אלגברי וגיאומטרי זהה.

(22) תהי A מטריצה ממשית מסדר 7×7 , בעלת דרגה 4.

- נתון שהפולינום $q(t) = t^4 - 7t^2 + 10$ מחלק את הפולינום האופייני $p(t)$ של A . מצאו את הפולינום האופייני של A .
 א. הוכיחו ש- A לכסינה ומצאו מטריצה אלכסונית שדומה לה.
 ב. מצאו את $\text{tr}(A^2)$.

(23) נתונות שתי מטריצות $A, B \in M_n(R)$.

הוכיחו או הפריכו :

א. אם $B+I$ דומה ל- $I-A$ אז A^2 דומה ל- B^2 .

ב. אם ל- A ול- B אותה דרגה, אותו פולינום אופייני, אותה דטרמיננטה ואותו סכום איברי אלכסון (trace) אז הן בהכרח דומות.

תשובות סופיות

(1) שאלת הוכחה.

(2) שאלת הוכחה.

(3) שאלת הוכחה.

(4) לא.

(5) שאלת הוכחה.

(6) שאלת הוכחה.

(7) א. 2 ב. 1 ג. 3 ד. 0 ה. לא ניתן לחשב. ו. $1, \frac{1}{15}, \frac{1}{37}$

(8) שאלת הוכחה.

(9) שאלת הוכחה.

(10) $x=0$

(11) שאלת הוכחה.

(12) שאלת הוכחה.

(13) $a=0$ ו- $b=-2$

(14) כן, עבור $a=\pm 2$

(15) המטריצות דומות ו- P מטריצה שהאלכסון המשני שלה 1 ושאר האיברים 0.

(16) א. $p_A(t) = p_B(t) = t^n - kt^{n-1}$ ב. שאלת הוכחה.

(17) א. $p(x) = (x-1)(x-16)^2$ ב. ממד מרחב הפתרונות הוא 1.

(18) שאלת הוכחה.

(19) שאלת הוכחה.

(20) א. שאלת הוכחה. ב. לא דומות. ג. לא דומות.

(21) שאלת הוכחה.

(22) א. $D = \text{diag}(0, 0, 0, \sqrt{2}, -\sqrt{2}, \sqrt{5}, -\sqrt{5})$ ב. $\text{tr}(A^2) = 14$

(23) שאלת הוכחה.

אלגברה ליניארית ב

פרק 4 - העתקות ליניאריות

תוכן העניינים

- 1. העתקות ליניאריות..... 50
- 2. גרעין ותמונה של העתקות ליניאריות..... 52
- 3. העתקות ליניאריות חד-חד ערכיות ועל, איזומורפיזם..... 55
- 4. פעולות עם העתקות ליניאריות..... 59

העתקות לינאריות

שאלות

בשאלות 1-15, קבעו, עבור כל אחת מההעתקות, אם היא העתקה לינארית:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16 עבור איזה ערך של הקבוע m (אם יש כזה), ההעתקה הבאה תהיה ליניארית:

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

בשאלות **17-20**, קבעו האם קיימת העתקה ליניארית המקיימת את הנתון. אם כן, מצאו את ההעתקה וקבעו האם היא יחידה. אם לא, נמקו מדוע.

17 $T: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ כך ש- $T(1, 1, 0) = (1, 2, 3)$, $T(0, 1, 1) = (4, 5, 6)$, $T(0, 0, 1) = (7, 8, 9)$

18 $T: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ כך ש- $T(1, 0, 1) = (1, 1, 0)$, $T(0, 1, 1) = (1, 2, 1)$, $T(0, 0, 1) = (0, 1, 1)$

19 $T: \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^3$ כך ש-

$$T(1, 2, -1, 0) = (0, 1, -1), T(-1, 0, 1, 1) = (1, 0, 0), T(0, 4, 0, 2) = (2, 2, -2)$$

20 $T: P_2[\mathbb{R}] \rightarrow P_2[\mathbb{R}]$ כך ש- $T(1) = 4$, $T(4x + x^2) = x$, $T(1 - x) = x^2 + 1$

$$T(1, 0, 0) = (a_1, a_2, a_3)$$

21 נתונה העתקה ליניארית $T: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$, המקיימת:

$$T(0, 1, 0) = (b_1, b_2, b_3)$$

$$T(0, 0, 1) = (c_1, c_2, c_3)$$

א. הוכיחו שנוסחת ההעתקה נתונה על ידי

$$T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

ב. נסחו והוכיחו טענה דומה לטענה מסעיף א' עבור $T: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$

22 נתונה העתקה ליניארית $T: V \rightarrow V$

הוכיחו או הפריכו:

א. אם $\{T(v_1), T(v_2), \dots, T(v_k)\}$ קבוצה בת"ל, אז $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ קבוצה בת"ל.

ב. אם $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ קבוצה בת"ל, אז $\{T(v_1), T(v_2), \dots, T(v_k)\}$ קבוצה בת"ל.

תשובות סופיות

1) כן	2) כן	3) לא	4) לא	5) לא
6) כן	7) כן	8) לא	9) לא	10) לא
11) כן	12) כן	13) כן	14) לא	15) לא
16) כן	17) כן	18) כן	19) כן	20) כן

21) שאלת הוכחה. 22) שאלת הוכחה.

גרעין ותמונה של העתקות ליניאריות

עבור כל אחת מההעתקות בשאלות 1-6, מצאו :

א. בסיס ומימד לגרעין.

ב. בסיס ומימד לתמונה.

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

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

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

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

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

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

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

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

נתונה העתקה ליניארית $T: V \rightarrow U$.

$$(9) \quad \text{הוכיחו כי אם } \dim \operatorname{Im}(T) = \dim \operatorname{Ker}(T) \text{ אז הממד של } V \text{ זוגי.}$$

(10) הוכיחו או הפריכו :

א. קימת העתקה ליניארית $T: R^5 \rightarrow R^5$ שעבורה $\operatorname{Ker}(T) = \operatorname{Im}(T)$.

ב. קימת העתקה ליניארית $T: R^4 \rightarrow R^4$ שעבורה $\operatorname{Ker}(T) = \operatorname{Im}(T)$.

11 ידוע שהעתקה ליניארית $T: V \rightarrow W$, מקיימת: $\dim \operatorname{Im}(T) = \dim \operatorname{Ker}(T)$, $\dim(W) = 4$.
מי מבין הבאים יכול להיות הממד של V ?

א. 10

ב. 9

ג. 7

ד. 6

ה. כל התשובות לא נכונות.

12 הוכיחו או הפריכו:

- א. לכל העתקה ליניארית $T: V \rightarrow V$ מתקיים $\operatorname{Im}(T^2) \subseteq \operatorname{Im}(T)$.
 ב. לכל העתקה ליניארית $T: V \rightarrow V$ שמקיימת:
 $T = T^2$, מתקיים $\operatorname{Im}(T) = \operatorname{Im}(T^2)$, $\operatorname{Ker}(T) = \operatorname{Ker}(T^2)$.
 ג. לכל העתקה ליניארית $T: V \rightarrow V$, המקיימת $\operatorname{Im}(T) \subseteq \operatorname{Ker}(T)$, אז בהכרח $T = 0$.

13 מטריצה $A_{m \times n}$ מגדירה העתקה $T: R^n \rightarrow R^m$; $T(x) = Ax$,
 ואילו $A_{n \times m}^T$ מגדירה העתקה $S: R^m \rightarrow R^n$; $S(y) = A^T y$.
 הראו כי $\operatorname{Im}(T) = (\operatorname{Ker}(S))^\perp$.

תשובות סופיות

(1) גרעין – בסיס: $\{(0,0,1,4)\}$, מימד: 1. תמונה – כל בסיס של $\mathbb{R}^3$, מימד: 3.

(2) גרעין – בסיס: $\{(0,0,0)\}$, מימד: 0.

תמונה – בסיס: $\{(1,1,0,1), (0,5,1,4), (0,0,-6,21)\}$, מימד: 3.

(3) גרעין – בסיס: $\{(-7,3,0,1), (1,-2,1,0)\}$, מימד: 2.

תמונה – בסיס: $\{(1,1,2), (0,1,2)\}$, מימד: 2.

(4) גרעין – בסיס: $\left\{ \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$, מימד: 2.

תמונה – בסיס: $\left\{ \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \right\}$, מימד: 2.

(5) גרעין – בסיס: $\{p(x)=1\}$, מימד: 1.

תמונה – בסיס: $\{p(x)=2x+5, p(x)=1\}$, מימד: 2.

(6) גרעין – בסיס: $\{p(x)=1\}$, מימד: 1.

תמונה – בסיס: $\{p(x)=x^2, p(x)=x, p(x)=1\}$, מימד: 3.

$$T \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & -1 & -1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 4 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$T(x, y, z, t) = (-x - y + z, -2x - y + t, 0) \quad (8)$$

(9) שאלת הוכחה.

(10) לא.

(11) שאלת הוכחה.

(12) שאלת הוכחה.

(13) שאלת הוכחה.

העתקות ליניאריות חד-חד ערכיות ועל, איזומורפיזם

שאלות

עבור כל אחת מההעתקות בשאלות 1-4, קבעו האם היא חח"ע¹, האם היא על, האם היא איזומורפיזם והאם קיימת העתקה הפוכה.
כמו כן, במידה וקיימת העתקה הפוכה, מצאו אותה.

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

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

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

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

$$(5) \quad \text{האם תיתכן העתקה חד-חד ערכית } T: R^4 \rightarrow R^3 ?$$

$$(6) \quad \text{נתונה העתקה ליניארית } T: U \rightarrow V \text{ הוכיחו:}$$

- א. אם $\dim(U) < \dim(V)$, אז T לא על.
- ב. אם $\dim(U) > \dim(V)$, אז T לא חח"ע.
- ג. אם $\dim(U) = \dim(V)$, אז T חח"ע $\Leftrightarrow T$ על.

$$(7) \quad \text{נתונה העתקה ליניארית } T: V \rightarrow W \text{ הוכיחו או הפריכו:}$$

- א. אם $\dim \text{Ker}(T) \neq 0$, אז ההעתקה T אינה על.
- ב. אם $\dim \text{Ker}(T) = 0$ ו- $\dim(V) \leq \dim(W)$, אז ההעתקה T היא על.
- ג. אם $\dim \text{Ker}(T) = 0$ ו- $\dim(V) \geq \dim(W)$, אז ההעתקה T היא על.
- ד. אם $\dim(V) < \dim(W)$, אז ההעתקה T חח"ע.

¹ הערה: העתקה חח"ע נקראת גם לא-סינגולרית.

(8) נתונה העתקה ליניארית $T: V \rightarrow W$; $\{v_1, \dots, v_n\}$ בסיס של V .
הוכח או הפוך:

א. אם $\dim(V) > \dim(W)$ ואם $T(v_1) = 0$, אז ייתכן מקרה שבו T חח"ע.

ב. אם $\dim(V) > \dim(W)$, הקבוצה $\{T(v_1), \dots, T(v_n)\}$ בת"ל.

(9) נתונה העתקה ליניארית $T: V \rightarrow W$.

$\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ קבוצה בת"ל ב- V .

הוכיחו או הפריכו:

א. אם T חח"ע, אז הקבוצה $\{T(v_1), T(v_2), \dots, T(v_n)\}$ בת"ל ב- W .

ב. אם הקבוצה $\{T(v_1), T(v_2), \dots, T(v_n)\}$ בת"ל ב- W , אז T חח"ע.

(10) נתונה העתקה ליניארית $T: R^n \rightarrow R^m$.

הוכיחו או הפריכו:

א. אם T היא איזומורפיזם אז $m = n$.

ב. אם $m > n$, אז T חח"ע.

ג. אם $T(v) = Av$ לכל v , אז למטריצה A יש n שורות ו- m עמודות.

(11) נתונה העתקה ליניארית $T: V \rightarrow V$, המקיימת $\text{Im}(T) = \text{Ker}(T)$.

הוכיחו או הפריכו:

א. אם T על, אז בהכרח $V = \{0\}$.

ב. אם T חח"ע, אז בהכרח $V = \{0\}$.

ג. T היא איזומורפיזם.

ד. T היא העתקת האפס.

(12) נתונה העתקה ליניארית $T: R^n \rightarrow R^m$, ונתונה מטריצה $A_{m \times n}$,

כך ש- $T(v) = Av$ לכל $v \in R^n$.

הוכיחו או הפריכו:

א. אם $v \in \text{Ker}(T)$, אז $v \in \text{rowsp}(A)$.

ב. אם $v \in \text{rowsp}(A)$, אז $v \in \text{Ker}(T)$.

ג. אם $v \in \text{colsp}(A)$, אז $v \in \text{Im}(T)$.

ד. אם $\text{Ker}(T) = \{0\}$, אז $n < m$.

13 נתונה העתקה ליניארית $T: R^n \rightarrow R^n$, ונתונה מטריצה A ,

כך ש- $T(v) = Av$, לכל $v \in R^n$.

הוכיחו את הטענות הבאות:

א. אם $\text{rank}(A) = n$, אז T חח"ע.

ב. אם $\text{rank}(A) = n$, אז T על.

ג. אם $T^2(v) = 0$, אז $\text{Im}(T) \subseteq \text{Ker}(T)$.

ד. אם $T^2(v) = 0$, אז $\text{rank}(A) \leq \frac{n}{2}$.

14 נתונה העתקה ליניארית $T: P_3[R] \rightarrow R$, המוגדרת על ידי $T(p(x)) = p(1)$.

א. מצאו את הגרעין והתמונה של ההעתקה.

ב. קבעו האם ההעתקה היא חח"ע/על.

ג. ענו על הסעיפים הקודמים עבור $T: P_n[R] \rightarrow R$.

15 נתונה העתקה ליניארית $T: M_n[R] \rightarrow M_n[R]$, המוגדרת על ידי $T(A) = A^T$.

א. מצאו את הגרעין והתמונה של ההעתקה.

ב. קבעו האם ההעתקה היא חח"ע/על.

ג. מצאו את ההעתקה ההפוכה של T .

תשובות סופיות

(1) חח"ע, על, איזומורפיזם ויש לה העתקה הפיכה :

$$T^{-1}(x, y, z) = \left(\frac{1}{3}(x + y - 2z), \frac{1}{3}(2y - z - x), \frac{1}{3}(z + x + y) \right)$$

(2) לא חח"ע ולא על, ולכן לא איזומורפיזם ואין לה העתקה הפיכה.

(3) חח"ע, על, איזומורפיזם ויש לה העתקה הפיכה :

$$T^{-1}(a, b, c) = 0.4a + 0.6b + 0.2c + (-0.4a + 0.4b + 0.2c)x + (-0.4c - 0.2b + 0.2a)x^2$$

(4) חח"ע, על, איזומורפיזם ויש לה העתקה הפיכה :

$$T^{-1}\left(a + bx + cx^2 + dx^3\right) = \begin{pmatrix} b+c-d & -a+b+c-d \\ b-d & d \end{pmatrix}$$

(5) לא.

(6) שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

(9) שאלת הוכחה.

(10) שאלת הוכחה.

(11) שאלת הוכחה.

(12) שאלת הוכחה.

(13) שאלת הוכחה.

$$\text{Ker}(T) = \text{span}\{-1+x, -1+x^2, -1+x^3\}, \dim \text{Ker}(T) = 3. \text{ א. (14)}$$

$$\text{Im}(T) = \text{span}\{1\}, \dim \text{Im}(T) = 1$$

ב. לא חח"ע, כן על.

$$\text{Ker}(T) = \text{span}\{-1+x, -1+x^2, \dots, -1+x^n\}, \dim \text{Ker}(T) = n$$

$$\text{Im}(T) = \text{span}\{1\}, \dim \text{Im}(T) = 1$$

לא חח"ע, כן על.

$$\text{Ker}(T) = \left\{ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ & \ddots \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}, \text{Im}(T) = M_n[R]. \text{ א. (15)}$$

$$T^{-1}(A) = A^T. \text{ ג. ב. חח"ע ועל.}$$

פעולות עם העתקות ליניאריות

שאלות

בשאלות 1-9, תהייה $S: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^2$ ו- $T: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ העתקות ליניאריות המוגדרות על ידי: $S(x, y, z) = (x - z, y)$, $T(x, y, z) = (x, 4x - y, x + 4y - z)$.

מצאו נוסחאות (אם יש) המגדירות את:

- | | | | | |
|-------------|--------------|----------------|-----------|----------|
| (1) $S + T$ | (2) $4S$ | (3) $4S - 10T$ | (4) TS | (5) ST |
| (6) T^2 | (7) T^{-1} | (8) T^{-2} | (9) S^2 | |

תשובות סופיות

- (1) לא ניתן להגדיר.
- (2) $4S = 4(x - z, y)$
- (3) לא ניתן להגדיר.
- (4) לא ניתן להגדיר.
- (5) $ST(x, y, z) = (z - 4y, 4x - y)$; $ST: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^2$
- (6) $T^2(x, y, z) = (x, y, 16x - 8y + z)$
- (7) $T^{-1}(x, y, z) = (x, 4x, -y, 17x - 4y - z)$
- (8) $T^{-2}(x, y, z) = (x, y, -16x + 8y + z)$
- (9) לא ניתן להגדיר.

אלגברה ליניארית ב

פרק 5 - מטריצות והעתקות ליניאריות

תוכן העניינים

1. מטריצה שמייצגת העתקה..... 60
2. מטריצה שמייצגת העתקה מבסיס לבסיס..... 66
3. ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של העתקה..... 69

מטריצה שמייצגת העתקה

הערה :

כבסיס לפרק זה יש להכיר את המושגים וקטור קואורדינטות ביחס לבסיס ומטריצת מעבר מבסיס לבסיס (סוף הפרק מרחבים וקטורים). לפיכך, השאלה הראשונה עוסקת בכך.

שאלות

(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. מצאו את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B_1 .

סמנו וקטור זה ב- $[v]_{B_1}$.

ב. מצאו את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B_2 .

סמנו וקטור זה ב- $[v]_{B_2}$.

ג. מצאו מטריצת מעבר מהבסיס B_1 לבסיס B_2 .

סמנו מטריצה זו ב- $[M]_{B_1}^{B_2}$.

ד. מצאו מטריצת מעבר מהבסיס B_2 לבסיס B_1 .

סמנו מטריצה זו ב- $[M]_{B_2}^{B_1}$.

ה. אשרו את הטענות הבאות :

$$1. [M]_{B_2}^{B_1} \cdot [v]_{B_1} = [v]_{B_2}$$

$$2. [M]_{B_1}^{B_2} \cdot [v]_{B_2} = [v]_{B_1}$$

$$3. [M]_{B_1}^{B_2} = \left([M]_{B_2}^{B_1} \right)^{-1}$$

(2) נתונה העתקה לינארית: $T: R^3 \rightarrow R^3$, $T(x, y, z) = (x + y, y + z, z - x)$, 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. מצאו את המטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס B_1 .

סמנו מטריצה זו ב- $[T]_{B_1}$.

ב. מצאו את המטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס B_2 .

סמנו מטריצה זו ב- $[T]_{B_2}$.

ג. אשרו את הטענות הבאות:

$$1. [T]_{B_1} \cdot [v]_{B_1} = [T(v)]_{B_1}$$

$$2. [T]_{B_2} \cdot [v]_{B_2} = [T(v)]_{B_2}$$

$$3. [M]_{B_2}^{B_1} \cdot [T]_{B_1} \cdot [M]_{B_1}^{B_2} = [T]_{B_2}$$

ד. האם ההעתקה הפיכה?

ה. חשבו את הדטרמיננטה והעקבה של ההעתקה.

ו. מצאו ערכים עצמיים ו-וקטורים עצמיים עבור ההעתקה.

ז. האם ההעתקה ניתנת ללכסון?

(3) נתונה העתקה לינארית $T: R^3 \rightarrow R^3$.

ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס $B = \{(1, 0, 1), (0, 1, 1), (0, 0, 1)\}$

$$[T]_B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ -2 & -2 & 0 \end{pmatrix} \text{ היא}$$

מהי נוסחת ההעתקה? פתרו בשתי דרכים שונות.

(4) יהיו B_1 ו- B_2 שני בסיסים של המרחב R^3 , ויהי T אופרטור לינארי על R^3 .

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

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

(5) מצאו את המטריצה שמייצגת את ההעתקה:

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

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

(6) מצאו 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.

(7) נתונה העתקה לינארית $T: M_2[R] \rightarrow M_2[R]$. ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס הסטנדרטי

$$. [T]_E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} : \text{היא}$$

מצאו את נוסחת ההעתקה.

(8) נתונה העתקה לינארית $T: P_2[R] \rightarrow P_2[R]$. נתון כי המטריצה המייצגת את ההעתקה, לפי הבסיס הסטנדרטי,

$$. [T]_E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} : \text{היא}$$

מצאו את נוסחת ההעתקה.

(9) נתונה העתקה לינארית $T: P_2[R] \rightarrow P_2[R]$. נתון כי המטריצה המייצגת את ההעתקה, לפי הבסיס $B = \{1, 1-x, x+x^2\}$,

$$. [T]_B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} : \text{היא}$$

א. מצאו את נוסחת ההעתקה. כלומר, מצאו את $T(p(x))$.

* פתרו בשתי דרכים שונות.

ב. מצאו את $T^2(p(x))$.

(10) תהי $T: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ העתקה לינארית, ותהי A מטריצה ממשית,

כך שמתקיים $T(v) = Av$ לכל $v \in \mathbb{R}^n$.

נתון כי B בסיס ל- $\mathbb{R}^n$ ו- $\text{rank}(A) = n$.

הוכיחו כי $[T]_B$ הפיכה.

11 נתונה העתקה לינארית $T: P_3[R] \rightarrow P_3[R]$.

ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס הסטנדרטי

$$[T]_E = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ היא}$$

א. מצאו גרעין ותמונה של ההעתקה.

ב. מצאו את נוסחת ההעתקה.

12 נתונה העתקה לינארית $T: M_2[R] \rightarrow M_2[R]$.

ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס הסטנדרטי,

$$[T]_E = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 0 \\ 4 & 5 & 6 & 0 \\ 7 & 8 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ היא}$$

א. מצאו גרעין ותמונה של ההעתקה.

ב. חשבו את העקבה, הדטרמיננטה והדרגה של ההעתקה.

ג. מצאו את נוסחת ההעתקה.

13 נתונה העתקה לינארית $T: P_2[R] \rightarrow P_2[R]$; $T(a + bx + cx^2) = b + cx$.

הוכיחו ש- T העתקה נילפוטנטית.

14 יהי $V = \mathbb{R}_2[x]$ מרחב הפולינומים ממעלה 2 ומטה מעל $\mathbb{R}$.

נתון הבסיס $B = \{1, x, x^2\}$, ונתונה ההעתקה הלינארית

$$T(p(x)) = xp''(x) - p'(x) ; T: V \rightarrow V$$

א. מצאו את המטריצה המייצגת $[T]_B$.

ב. מצאו בסיס וממד עבור $\text{Im}(T), \text{Ker}(T)$.

הערה: בפתרון סעיף זה לא נשתמש במטריצה המייצגת למציאת הגרעין והתמונה, היות ונוסחת ההעתקה כבר נתונה בתרגיל.

15 נתונות שתי העתקות לינאריות $S, T: V \rightarrow V$.

יהי $B = \{u, v, w\}$ בסיס ל- V .

$$\text{נתון כי: } \begin{cases} S(u) = u + v \\ S(v) = v + w \\ S(w) = w + u \end{cases}, \begin{cases} T(u) = u - v \\ T(v) = v - w \\ T(w) = w - u \end{cases}$$

א. הוכיחו כי: $\text{Ker}(S) = \{0\}$, $\text{Ker}(T) \neq \{0\}$.

ב. עבור כל אחת מההעתקות קבע האם היא חח"ע ו/או על.

ג. קבעו האם $\{T(u), T(v), T(w)\}$ פורשת את V .

ד. קבעו האם $\{S(u), S(v), S(w)\}$ פורשת את V .

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } (x, y-x-z, z) \quad \text{ב. } (x, y, z-x-y) \quad \text{ג. } [M]_{B_1}^{B_2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -2 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{ד. } [M]_{B_2}^{B_1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{ה. שאלת הוכחה.}$$

$$(2) \quad \text{א. } [T]_{B_1} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{ב. } [T]_{B_2} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ -2 & -2 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{ג. הוכחה.}$$

$$\text{ד. לא.} \quad \text{ה. הדטרמיננטה: 0, העקבה: 3.} \quad \text{ו. 0 ע"י יחיד; הו"ע שלו: (1, -1, 1).} \quad \text{ז. לא.}$$

$$(3) \quad T(x, y, z) = (x+y, y+z, z-x)$$

$$(4) \quad [M]_{B_2}^{B_1} = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 0 \\ -0.5 & -1 & 0.5 \\ -0.25 & -1 & 0.75 \end{pmatrix}, \quad [T]_{B_2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.5 & -0.5 & 1 \\ -0.75 & 2.75 & 0.5 \end{pmatrix}$$

$$(5) \quad [T]_B = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 2 \\ 3 & 5 & 4 & -2 \\ 0 & -2 & 0 & 6 \end{pmatrix} \quad (6) \quad [T]_E = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(7) \quad T \begin{pmatrix} x & y \\ z & t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x & y \\ z & t \end{pmatrix}$$

$$(8) \quad T(p(x)) = p(x+1) \quad ; \quad T: P_2[R] \rightarrow P_2[R]$$

$$(9) \quad \text{א. } T(a+bx+cx^2) = (a+2b-2c) + (2a+4c)x + (2a+b+2c)x^2$$

$$\text{ב. } T^2(a+bx+cx^2) = (a+2c)1 + (10a+8b+4c)x + (8a+6b+4c)x^2$$

$$(10) \quad \text{שאלת הוכחה.}$$

$$(11) \quad \text{א. } \text{Ker}(T) = \text{sp}\{-x+x^3, -1+x^2\}, \quad \text{Im}(T) = \text{sp}\{1+x^2, x+x^3\}$$

$$\text{ב. } T(a+bx+cx^2+dx^3) = (b+d)(1) + (a+c)x + (b+d)x^2 + (a+c)x^3$$

$$(12) \quad \text{א. } \text{Ker}(T) = \text{sp}\left\{\begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\right\}, \quad \text{Im}(T) = \text{sp}\left\{\begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 7 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}\right\}$$

$$\text{ב. } \text{tr}(T) = 15, \quad \det(T) = 0, \quad \text{rank}(T) = 2$$

$$(13) \quad \text{שאלת הוכחה.}$$

$$(14) \quad \text{א. } [T]_B = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{ב. } B_{\text{Im}(T)} = \{1\}, \quad \dim(\text{Im}(T)) = 1$$

$$B_{\text{Ker}(T)} = \{1, x^2\}, \quad \dim(\text{Ker}(T)) = 2$$

$$(15) \quad \text{שאלת הוכחה.}$$

מטריצה שמייצגת העתקה מבסיס לבסיס

שאלות

(1) מצאו את המטריצה המייצגת של כל אחת מההעתקות הלינאריות הבאות,

ביחס לבסיסים הסטנדרטיים של R^n :

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

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

(2) נתונה העתקה לינארית $T : R^4 \rightarrow R^2$; $T(x, y, z, t) = (x + y, z + t)$

מצאו את המטריצה שמייצגת את ההעתקה מהבסיס הסטנדרטי של R^4 לבסיס הסטנדרטי של R^2 .

(3) תהי $T : R^3 \rightarrow R^2$ העתקה לינארית המוגדרת על ידי :

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

חשבו את המטריצה המייצגת את ההעתקה T מהבסיס

$B_1 = \{(1, 1, 0), (0, 1, 1), (0, 0, 1)\}$ של R^3 , לבסיס $B_2 = \{(1, 4), (1, 5)\}$ של R^2 .

כלומר, את $[T]_{B_1}^{B_2}$.

(4) עבור העתקה לינארית $T : R^3 \rightarrow R^2$ מתקיים: $[T]_{B_1}^{B_2} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}$,

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

מצאו את נוסחת ההעתקה.

(5) עבור העתקה לינארית $T : R^3 \rightarrow R^2$ מתקיים: $[T]_{B_1}^{B_2} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

כאשר $B_1 = \{(1, 1, 1), (1, 0, 1), (0, 0, 1)\}$, $B_2 = \{(1, 1), (1, 2)\}$

מצאו את נוסחת ההעתקה.

(6) נתונה העתקה לינארית $T : P_3[R] \rightarrow P_2[R]$.

המטריצה שמייצגת את ההעתקה T , מהבסיס הסטנדרטי של $P_3[R]$

לבסיס הסטנדרטי של $P_2[R]$, נתונה על ידי: $[T] = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$

מצאו את נוסחת ההעתקה.

(7) נתונה העתקה לינארית $T: P_2[R] \rightarrow R^3$, אשר המטריצה המייצגת

$$[T] = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} : \text{אותה מבסיס סטנדרטי לבסיס סטנדרטי היא:}$$

מצאו את נוסחת ההעתקה.

(8) נתונה העתקה לינארית $T: M_2[R] \rightarrow P_3[R]$, שהמטריצה המייצגת אותה

$$[T] = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} : \text{מבסיס סטנדרטי לבסיס סטנדרטי היא:}$$

מצאו את נוסחת ההעתקה.

(9) תהי $T: V \rightarrow V$ העתקה לינארית, כך ש- $\dim(V) = n$, ויהיו B_2, B_1 בסיסים סדורים של V . הוכיחו או הפריכו:

$$[T]_{B_1}^{B_1} = I_n \quad \text{א.}$$

$$[T]_{B_1}^{B_1} = I_n \quad \text{ב. אם } T \text{ העתקת זהות, אז בהכרח}$$

$$[T]_{B_2}^{B_1} [T]_{B_1}^{B_2} = I_n \quad \text{ג. אם } T \text{ העתקת זהות, אז בהכרח}$$

(10) נתונה העתקה לינארית $T: P_2[R] \rightarrow R^3$ המוגדרת על ידי:

$$T(a + bx + cx^2) = (a + b, b + c, c)$$

א. מצאו את המטריצה שמייצגת את ההעתקה מבסיס לבסיס. (הבסיסים סטנדרטים)

ב. הוכיחו שההעתקה הפיכה וחשבו את $T^{-1}(a, b, c)$.

ג. חשבו את $T^4(a + bx + cx^2)$.

(11) נתונה העתקה לינארית $T: M_2[R] \rightarrow P_3[R]$, המוגדרת על ידי:

$$T \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = (a - b) + (c + d)x + (a - c)x^2 + dx^3$$

א. מצאו את המטריצה שמייצגת את ההעתקה מבסיס לבסיס. (הבסיסים סטנדרטים)

ב. הוכיחו שההעתקה הפיכה וחשבו את $T^{-1}(a + bx + cx^2 + dx^3)$.

(12) חשבו את ST ואת TS , עבור ההעתקות:

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

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

תשובות סופיות

$$(1) \quad [T] = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \text{ א. } [T] = \begin{pmatrix} 4 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 4 & 1 \end{pmatrix} \text{ ב.}$$

$$(2) \quad [T] = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$(3) \quad [T] = \begin{pmatrix} 25 & 0 & -6 \\ -20 & 0 & 5 \end{pmatrix}$$

$$(4) \quad T(x, y, z) = (x + 2y + 3z, 4x + 5y + 6z)$$

$$(5) \quad T(x, y, z) = (x + y, y + z)$$

$$(6) \quad T(a + bx + cx^2 + dx^3) = (b + 2c)1 + (2c + 6d)x + (3d)x^2$$

$$(7) \quad T(a + bx + cx^2) = (a + b, b + c, c)$$

$$(8) \quad T\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = (a - b) + (c + d)x + (a - c)x^2 + dx^3$$

(9) שאלת הוכחה.

$$(10) \quad T^{-1}(a, b, c) = (a - b + c)1 + (b - c)x + cx^2 \text{ ב. } \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ א.}$$

ג. לא ניתן.

$$(11) \quad \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ א.}$$

$$\text{ב. } T^{-1}(a + bx + cx^2 + dx^3) = \begin{pmatrix} b + c - d & -a + b + c - d \\ b - d & d \end{pmatrix}$$

$$(12) \quad ST(a + bx + cx^2) = (a + c, a + 2b - c, b - c)$$

ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של העתקה

שאלות

(1) נתונה העתקה לינארית, $T: M_2[R] \rightarrow M_2[R]$, $T(X) = PX$; כאשר P מטריצה לא ידועה מסדר 2.

נסמן ב- W את קבוצת כל המטריצות P , שעבורן המטריצה $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ היא וקטור עצמי של ההעתקה.
א. מצאו את W .
ב. הוכיחו כי W היא תת-מרחב של $M_2[R]$, ומצאו לה בסיס.

(2) נתונה העתקה לינארית, $T: M_{10}[R] \rightarrow M_{10}[R]$, $T(X) = PX$; כאשר P מטריצה לא ידועה מסדר 10.
ידוע כי A היא מטריצה הפיכה, שמהווה וקטור עצמי של ההעתקה – המתאים לערך העצמי 4.
חשבו את $|P|$.

(3) מצאו העתקה לינארית T , שעבורה המטריצה $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}$, היא וקטור עצמי המתאים לערך העצמי 4.

(4) ענו על הסעיפים הבאים:
א. נתונה העתקה לינארית $T(x, y, z) = (4x - y - z, x + 2y - z, x - y + 2z)$. מצאו ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של ההעתקה. האם ההעתקה ניתנת ללכסון?
ב. נתונה העתקה לינארית: $T: R^3 \rightarrow R^3$, $T(x, y, z) = (x + y, y + z, z - x)$. מצאו ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים עבור ההעתקה. האם ההעתקה ניתנת ללכסון?

(5) נתונה העתקה לינארית $T(x, y, z) = (x + z, y, x + z)$.
א. מצאו ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של ההעתקה.
ב. האם ההעתקה ניתנת ללכסון?
ג. במידה וכן, חשבו $T^{2009}(x, y, z)$.

6 נתונה העתקה לינארית:

$$T\begin{pmatrix} x & y \\ z & t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x & y \\ z & t \end{pmatrix} ; T: M_2[R] \rightarrow M_2[R]$$

- א. מצאו את המטריצה המייצגת את ההעתקה בבסיס הסטנדרטי.
- ב. מצאו ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של ההעתקה.
- ג. האם ההעתקה ניתנת ללכסון?

ד. במידה והתשובה לסעיף ג' חיובית, חשבו את $T^{10}\begin{pmatrix} x & y \\ z & t \end{pmatrix}$.

7 נתונה העתקה לינארית: $T: P_2[R] \rightarrow P_2[R]$; $T(p(x)) = p(x+1)$

- א. מצאו את המטריצה המייצגת את ההעתקה בבסיס הסטנדרטי.
- ב. מצאו ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של ההעתקה.
- ג. האם ההעתקה ניתנת ללכסון?

8 יהי V מרחב וקטורי מממד n .

תהי $T: V \rightarrow V$ העתקה לינארית.

- א. הוכיחו ש- T הפיכה אמ"ם כל הערכים העצמיים של T שונים מאפס.
 - ב. הוכיחו כי אם T הפיכה, אז ל- T ול- T^{-1} יש את אותם וקטורים עצמיים.
- מה ניתן לומר על הקשר בין הערכים העצמיים של T ושל T^{-1} ?

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } W = \left\{ \begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix} \mid \lambda \in R \right\} \quad \text{ב. } B_W = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

$$(2) \quad 4^{10} = |P|$$

$$(3) \quad T(X) = 4X \quad T: M_{2 \times 3}(R) \rightarrow M_{2 \times 3}(R)$$

$$(4) \quad \text{א. } v_{\lambda=2} = (1, 1, 1), v_{\lambda=3}^{(1)} = (1, 1, 0), v_{\lambda=3}^{(2)} = (1, 0, 1). \text{ ניתנת לליכסון.}$$

$$\text{ב. ערך עצמי: } x = 0, \text{ וקטור עצמי: } v_{x=0} = (1, -1, 1). \text{ לא.}$$

$$(5) \quad \text{א. } v_{\lambda=0} = (-1, 0, 1), v_{\lambda=1} = (0, 1, 0), v_{\lambda=2} = (1, 0, 1). \text{ ניתנת לליכסון.}$$

$$\text{ג. } T^{2009}(x, y, z) = (2^{2008}x + 2^{2008}z, y, 2^{2008}x + 2^{2008}z)$$

$$(6) \quad \text{א. } [T]_E = A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{ב. } v_{x=0}^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, v_{x=0}^{(2)} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, v_{x=2}^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, v_{x=2}^{(2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{ג. כן. ד. } T^{10} \begin{pmatrix} x & y \\ z & t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2^9 x + 2^9 z & 2^9 y + 2^9 t \\ 2^9 x + 2^9 z & 2^9 y + 2^9 t \end{pmatrix}$$

$$(7) \quad \text{א. } [T]_E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{ב. } v_{\lambda=1} = 1 \quad \text{ג. לא ניתנת לליכסון.}$$

$$(8) \quad \text{שאלת הוכחה.}$$

אלגברה ליניארית ב

פרק 6 - מרחבי מכפלה פנימית

תוכן העניינים

72	1. מרחבי מכפלה פנימית
74	2. הנורמה והמרחק
76	3. אי שוויון קושי-שוורץ, זווית בין וקטורים
79	4. אורתוגונליות
82	5. משלים אורתוגונלי

מרחבי מכפלה פנימית

שאלות

(1) לכל שני וקטורים $u = (x_1, x_2)$, $v = (y_1, y_2)$ ב- $\mathbb{R}^2$, נגדיר:

$$\langle u, v \rangle = x_1 y_1 - 3x_1 y_2 - 3x_2 y_1 + 4x_2 y_2$$

בדקו האם ההגדרה לעיל מהווה מכפלה פנימית ב- $\mathbb{R}^2$.

(2) לכל שני וקטורים $u = (x_1, x_2)$, $v = (y_1, y_2)$ ב- $\mathbb{R}^2$, נגדיר:

$$\langle u, v \rangle = x_1 y_1 - 3x_1 y_2 - 3x_2 y_1 + kx_2 y_2$$

עבור אילו ערכים של הקבוע k ההגדרה לעיל מהווה מכפלה פנימית ב- $\mathbb{R}^2$?

(3) לכל שני וקטורים $u = (x_1, x_2, x_3)$, $v = (y_1, y_2, y_3)$ ב- $\mathbb{R}^3$, נגדיר:

$$\langle u, v \rangle = x_1 y_1 + kx_1 y_3 + x_2 y_2 + kx_3 y_1 + x_3 y_3$$

עבור אילו ערכים של הקבוע k ההגדרה לעיל מהווה מכפלה פנימית ב- $\mathbb{R}^3$?

(4) לכל שני וקטורים $u = (u_1, \dots, u_n)$, $v = (v_1, \dots, v_n)$ ב- $\mathbb{R}^n$,

נגדיר: $\langle u, v \rangle = \sum_{i=1}^n k_i u_i v_i$, כאשר $k_1, \dots, k_n$ מספרים חיוביים כלשהם.

הראו כי הנוסחה לעיל מגדירה מכפלה פנימית ב- $\mathbb{R}^n$.

מהי המכפלה המתקבלת אם $k_i = 1$ לכל $1 \leq i \leq n$?

(5) לכל שתי מטריצות A, B ב- $M_{mn}[R]$, נגדיר: $\langle A, B \rangle = \text{tr}(B^T A)$.

בדקו האם ההגדרה לעיל מהווה מכפלה פנימית ב- $M_{mn}[R]$.

tr מייצג את המילה trace (עקבה), כלומר, סכום איברי האלכסון.

(6) לכל שתי פונקציות f, g ב- $C[a, b]$, נגדיר: $\langle f, g \rangle = \int_a^b f \cdot g dx$.

בדקו האם ההגדרה לעיל מהווה מכפלה פנימית ב- $C[a, b]$.

- (7) נתונה מכפלה פנימית על R^3 , שעבורה הקבוצה $B = \{(1,1,0), (1,1,0), (1,0,0)\}$ מהווה בסיס אורתונורמלי. חשבו את המכפלה הפנימית של שני וקטורים כלליים $\langle (x_1, x_2, x_3), (y_1, y_2, y_3) \rangle$.

תשובות סופיות

- (1) ההגדרה לא מהווה מכפלה פנימית.
- (2) $k > 9$
- (3) $-1 < k < 1$
- (4) עבור $k_i = 1$ לכל $1 \leq i \leq n$, נקבל את המכפלה הפנימית הסטנדרטית.
- (5) ההגדרה מהווה מכפלה פנימית ב- $M_{mn}[R]$.
- (6) ההגדרה מהווה מכפלה פנימית ב- $C[a, b]$.
- (7) $(x_1, x_2, x_3) \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$

הנורמה והמרחק

שאלות

1 נתונים שלושה וקטורים ב- $\mathbb{R}^3$: $u = (1, -2, 2)$, $v = (3, -2, 6)$, $w = (5, 3, -2)$

בהתייחס למכפלה הפנימית הרגילה ב- $\mathbb{R}^3$, חשבו :

א. $\langle u, v \rangle$	ב. $\langle u, w \rangle$	ג. $\langle v, w \rangle$	ד. $\langle u + v, w \rangle$
ה. $\ u\ $	ו. $\ v\ $	ז. $\ u + v\ $	ח. $d(u, v)$
ט. $\hat{u}$	י. $\hat{v}$		

2 נתונות שלוש מטריצות ב- $M_{2 \times 3}[R]$:

$$A = \begin{pmatrix} 10 & 9 & 8 \\ 7 & 6 & 5 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 3 & -5 & 2 \\ 1 & 0 & -4 \end{pmatrix}$$

בהתייחס למכפלה הפנימית $\langle A, B \rangle = \text{tr}(B^T A)$ ב- $M_{2 \times 3}[R]$,

חשבו :

א. $\langle A, B \rangle$	ב. $\langle A, C \rangle$	ג. $\langle A, B + C \rangle$
ד. $\langle B, C \rangle$	ה. $\langle 4A + 10B, 11C \rangle$	ו. $\ A\ $
ז. $\ B\ $	ח. $d(A, B)$	ט. $\hat{A}$

3 נתונים שלושה פולינומים ב- $C[0, 1]$:

$$p(x) = x + 3, q(x) = 3x + 1, r(x) = x^2 - 4x - 1$$

בהתייחס למכפלה הפנימית : $\langle p, q \rangle = \int_0^1 p(x) \cdot q(x) dx$

חשבו :

א. $\langle p, q \rangle$	ב. $\langle p, r \rangle$	ג. $\langle p, q + r \rangle$
ד. $\ p\ $	ה. $d(p, q)$	ו. $\hat{r}$

$$(4) \text{ הוכיחו: } \|u+v\|^2 = \|u\|^2 + 2\langle u, v \rangle + \|v\|^2.$$

$$(5) \text{ הוכיחו: } \|u-v\|^2 = \|u\|^2 - 2\langle u, v \rangle + \|v\|^2.$$

$$(6) \text{ הוכיחו: } \langle u-v, u+v \rangle = \|u\|^2 - \|v\|^2.$$

$$(7) \text{ הוכיחו: } \|u+v\|^2 + \|u-v\|^2 = 2\|u\|^2 + 2\|v\|^2.$$

$$(8) \text{ הוכיחו: } \frac{1}{4}(\|u+v\|^2 - \|u-v\|^2) = \langle u, v \rangle.$$

$$(9) \text{ יהי } V \text{ ממ"פ ויהיו } u, v \in V \text{ וקטורים המקיימים: } \|u\| = a, \|u+v\| = b, \|u-v\| = c. \text{ מצאו את } \|v\| \text{ ואת } \langle u, v \rangle.$$

תשובות סופיות

- (1) א. 19 ב. -5 ג. -3 ד. -8
 ה. 3 ו. 7 ז. $\sqrt{96}$ ח. $\sqrt{20}$
 ט. $\left(\frac{1}{3}, -\frac{2}{3}, \frac{2}{3}\right)$ י. $\left(\frac{3}{7}, -\frac{2}{7}, \frac{6}{7}\right)$
- (2) א. 185 ב. -12 ג. 173 ד. -24 ה. -3168
 ו. $\sqrt{355}$ ז. $\sqrt{139}$ ח. $\sqrt{124}$ ט. $\frac{1}{\sqrt{355}} \begin{pmatrix} 3 & -5 & 2 \\ 1 & 0 & -4 \end{pmatrix}$
- (3) א. 9 ב. -9.5833 ג. -0.5833 ד. $\sqrt{\frac{37}{3}}$

$$\text{ה. } \sqrt{\frac{4}{3}} \quad \text{ו. } \frac{x^2 - 4x - 1}{\sqrt{7\frac{13}{15}}}$$

(4) שאלת הוכחה.

(5) שאלת הוכחה.

(6) שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

$$(9) \quad \|v\| = \sqrt{\frac{b^2 + c^2 - 2a^2}{2}}, \quad \langle u, v \rangle = \frac{b^2 - c^2}{4}$$

אי שוויון קושי-שוורץ, יישומים

שאלות

(1) הוכיחו כי אם u, v תלויים לינארית, אז $|\langle u, v \rangle| = \|u\| \cdot \|v\|$.

(2) יהיו $x_1, x_2, \dots, x_n$ ו- $y_1, y_2, \dots, y_n$ מספרים ממשיים.

הוכיחו כי $(x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n)^2 \leq (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2)$.

(3) יהיו f, g פונקציות רציפות בקטע הסגור $[a, b]$.

הוכיחו כי $\left(\int_a^b f(x)g(x)dx \right)^2 \leq \left(\int_a^b f^2(x)dx \right) \left(\int_a^b g^2(x)dx \right)$.

(4) ענו על הסעיפים הבאים:

א. נניח כי $u = (u_1, \dots, u_n)$, $v = (v_1, \dots, v_n) \in R^n$ שני וקטורי יחידה ב- R^n .

הוכיחו כי $|u_1 v_1 + \dots + u_n v_n| \leq 1$.

ב. נניח ש- $u = (u_1, \dots, u_n) \in R^n$.

הוכיחו כי $(u_1 + \dots + u_n)^n \leq n(u_1^2 + \dots + u_n^2)$.

(5) נניח ש- $a_1, a_2, \dots, a_n$ מספרים חיוביים כך ש- $a_1 + a_2 + \dots + a_n = 1$.

הוכיחו כי $\sqrt{a_1} + \sqrt{a_2} + \dots + \sqrt{a_n} \leq \sqrt{n}$.

(6) הוכיחו את אי השוויון $\sum_{k=1}^n \sqrt{\frac{k}{n}} \leq \sqrt{\frac{n^2 + n}{2}}$.

(7) נתון כי $\sum_{i=1}^n a_i = 1$.

הוכיחו כי $\frac{a_1^2}{a_1 + a_2} + \frac{a_2^2}{a_2 + a_3} + \dots + \frac{a_n^2}{a_n + a_1} \geq \frac{1}{2}$.

$$(8) \quad \text{נתון כי } \sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n b_i.$$

$$א. \text{ הוכיחו כי } \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{a_i + b_i} \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i$$

$$ב. \text{ נתון כי } \sum_{i=1}^n a_i = 1, \text{ הוכיחו כי } \frac{a_1^2}{a_1 + a_2} + \frac{a_2^2}{a_2 + a_3} + \dots + \frac{a_n^2}{a_n + a_1} \geq \frac{1}{2}$$

$$(9) \quad \text{נתון כי } \sum_{i=1}^n a_i \geq \sum_{i=1}^n a_i b_i$$

$$\text{הוכיחו כי } \sum_{i=1}^n a_i \leq \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{b_i}$$

(10) ענו על הסעיפים הבאים :

$$א. \text{ הוכיחו כי } \sum_{i=1}^n \frac{(a_i - b_i)^2}{a_i + b_i} \geq \frac{\left(\sum_{i=1}^n (a_i - b_i) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (a_i + b_i)}$$

$$ב. \text{ הוכיחו כי } \sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{a_i + b_i} \leq \frac{\sum_{i=1}^n a_i \sum_{i=1}^n b_i}{\sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n b_i}$$

(11) חשבו את הזווית בין שני הווקטורים $u = (1, 2, 2)$, $v = (-2, 1, 2)$ ביחס למכפלה הפנימית הסטנדרטית ב- $\mathbb{R}^3$.

(12) חשבו את הזווית בין שני הווקטורים $u = (3, 4)$, $v = (1, 2)$ ביחס למכפלה הפנימית $\langle (x_1, x_2), (y_1, y_2) \rangle = x_1 y_1 - x_1 y_2 - x_2 y_1 + 3x_2 y_2$ ב- $\mathbb{R}^2$.

(13) מצאו את $\cos \theta$ עבור הזווית θ שבין $p(x) = 2x - 1$ ו- $q(x) = x^2$ בהתייחס למכפלה הפנימית : $\langle p, q \rangle = \int_0^1 p(x) \cdot q(x) dx$ שב- $C[0, 1]$.

(14) מצאו את $\cos \theta$ עבור הזווית θ שבין $A = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & -1 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$ בהתייחס למכפלה הפנימית : $\langle A, B \rangle = \text{tr}(B^T A)$ ב- $M_{2 \times 2}[\mathbb{R}]$.

(15) יהיו $u, v \in \mathbb{R}^n$ וקטורי יחידה המקיימים $\|u - v\| = 2$. הוכיחו ש- u ו- v הם בהכרח כפולה בסקלר אחד של השני.

תשובות סופיות

- (1) שאלת הוכחה.
- (2) שאלת הוכחה.
- (3) שאלת הוכחה.
- (4) שאלת הוכחה.
- (5) שאלת הוכחה.
- (6) שאלת הוכחה.
- (7) שאלת הוכחה.
- (8) שאלת הוכחה.
- (9) שאלת הוכחה.
- (10) שאלת הוכחה.
- (11) $\theta = 63.61^\circ$
- (12) $\theta = 9.44^\circ$
- (13) $\cos \theta = 0.173^\circ$
- (14) $\cos \theta = 0.00036^\circ$
- (15) שאלת הוכחה.

אורתוגונליות

שאלות

- (1) הוכיחו כי הווקטורים $u = (1, 2, 3)$, $v = (4, 7, -6)$ אורתוגונליים ב- $\mathbb{R}^3$.
- (2) מצאו את ערכו של הקבוע k , עבורו הווקטורים $u = (1, k, 3)$, $v = (4, 7, -6)$ יהיו אורתוגונליים ב- $\mathbb{R}^3$.
- (3) מצאו וקטור יחידה המאונך לשני הווקטורים $u = (1, 2, 3)$, $v = (2, 5, 7)$ ב- $\mathbb{R}^3$.
- (4) הוכיחו כי הפולינומים $p(x) = 2x - 1$, $q(x) = 6x^2 - 6x + 1$ אורתוגונליים בקטע $[0, 1]$ (ביחס למכפלה הפנימית $\langle p, q \rangle = \int_0^1 p(x) \cdot q(x) dx$).
- (5) במרחב $P_n[\mathbb{R}]$ (מרחב הפולינומים ממעלה $n \geq 1$ מעל $\mathbb{R}$), נגדיר מכפלה פנימית:
- $$\langle p(x), q(x) \rangle = \sum_{k=0}^n p(k)q(k) = p(0)q(0) + p(1)q(1) + \dots + p(n)q(n)$$
- הראו כי הפולינומים:
- $$p(x) = x(x-2)(x-4)(x-6), \quad q(x) = x(x-1)(x-3)(x-5)(x-7)$$
- אורתוגונליים כאיברי המרחב $P_7[\mathbb{R}]$, עם המכפלה הפנימית שהוגדרה לעיל.
- (6) נתונות שתי מטריצות: $A = \begin{pmatrix} k & 1 \\ 3 & -1 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$. בהתייחס למכפלה הפנימית: $\langle A, B \rangle = \text{tr}(B^T A)$ ב- $M_{2 \times 2}[\mathbb{R}]$, מצאו את הערך של הקבוע k , עבורו המטריצות הנ"ל אורתוגונליות.
- (7) הוכיחו כי: $\|u + v\| = \|u - v\| \Leftrightarrow u \perp v$. מהו הפירוש הגיאומטרי של תכונה זו ב- $\mathbb{R}^2$?
- (8) הוכיחו כי: $\|u + v\|^2 = \|u\|^2 + \|v\|^2 \Leftrightarrow u \perp v$. מהו הפירוש הגיאומטרי של תכונה זו?

9) הוכיחו כי : $(u-v) \perp (u+v) \iff \|u\| = \|v\|$.
מהו הפירוש הגיאומטרי של תכונה זו?

10) מצאו וקטור שמאונך לשני הווקטורים $(3, 2, 1)$ ו- $(1, -1, 2)$,
ושמרחקו מהווקטור $(1, 1, 0)$ הוא $\sqrt{3}$.

11) יהיו $u, v \in \mathbb{R}^n$ וקטורים שונים מ-0, אורתוגונליים זה לזה ובעלי אותה נורמה.
נגדיר $a = u - 2v$, $b = 3u + v$.
אם α היא הזווית בין a ל- b , אז $\cos \alpha$ שווה ל-?

12) יהיו $w_1, w_2 \in \mathbb{R}^n$ וקטורים שונים מ-0, אורתוגונליים זה לזה ובעלי נורמה k .
יהי $v = \alpha w_1 + \frac{3}{4} w_2$ וקטור שמרחקו מ- $2w_2$ שווה למרחקו מ- w_1 .
מהו המרחק של v מ- w_1 ?

תשובות סופיות

(1) שאלת הוכחה.

(2) $k = 2$ (3) $\left(\frac{-1}{\sqrt{3}}, \frac{-1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$

(4) שאלת הוכחה.

(5) שאלת הוכחה.

(6) $k = 0.5$

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

(9) שאלת הוכחה.

(10) $v = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \text{ or } v = \left(-\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ (11) $\frac{1}{\sqrt{50}}$ (12) $\frac{5}{4}k$

משלים אורתוגונלי

שאלות

(1) יהי $W = \text{span}\{(1, 2, -1, 1), (2, 5, 3, 1)\}$.

מצא בסיס וממד עבור $W^\perp$.
הראו כי מתקיים משפט הפירוק.

(2) יהי $w = \text{span}\{(1, 1, 1)\}$.

מצאו בסיס וממד עבור $W^\perp$.
הראו כי מתקיים משפט הפירוק.

(3) יהי $W = \text{span}\{x\} \subseteq P_2[R]$.

מצאו בסיס וממד עבור $W^\perp$, ביחס למכפלה הפנימית האינטגרלית בקטע $[0, 1]$.

(4) יהי $W = \text{span}\{x, x^2\} \subseteq P_2[R]$.

מצאו בסיס וממד עבור $W^\perp$, ביחס למכפלה הפנימית האינטגרלית בקטע $[0, 1]$.

(5) יהי $W = \text{span}\left\{\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}\right\} \subseteq M_{2 \times 2}[R]$.

מצאו בסיס וממד עבור $W^\perp$, ביחס למכפלה הפנימית $\langle A, B \rangle = \text{tr}(B^T A)$
ב- $M_{2 \times 2}[R]$.

(6) מצאו בסיס למשלים האורתוגונלי של מרחב המטריצות האלכסוניות מסדר 3.

(7) מצאו בסיס למשלים האורתוגונלי של מרחב המטריצות הסימטריות מסדר 2.

(8) נתונה מערכת משוואות הומוגנית $A \cdot \underline{x} = 0$.

יהי U מרחב הפתרונות של המערכת.
תנו פירוש אפשרי ל- U בעזרת המושג משלים אורתוגונלי,
והמושג מרחב השורות של המטריצה A .

(9) נניח ש- W_1, W_2 הן תת קבוצות של V .

הוכיחו כי: $W_1 \subseteq W_2 \Rightarrow W_2^\perp \subseteq W_1^\perp$.

(10) נניח ש- W הוא תת קבוצה של V .

הוכיחו כי: $W \subseteq W^{\perp\perp}$.

(11) נניח ש- W הוא תת קבוצה של V .

הוכיחו כי: $W = W^{\perp\perp}$ (אם V מממד סופי).

(12) נניח ש- W_1, W_2 הן תת קבוצות של V .

הוכיחו כי: $(W_1 + W_2)^\perp = W_1^\perp \cap W_2^\perp$.

(13) נניח ש- W_1, W_2 הן תת קבוצות של V .

הוכיחו כי: $(W_1 \cap W_2)^\perp = W_1^\perp + W_2^\perp$.

תשובות סופיות

$$W^\perp = \text{span}\{(-3, 1, 0, 1), (11, -5, 1, 0)\} \quad (1)$$

$$W^\perp = \text{span}\{(-1, 0, 1), (-1, 1, 0)\} \quad (2)$$

$$W^\perp = \text{span}\left\{\left(-\frac{2}{3} + x\right), \left(-\frac{1}{2} + x^2\right)\right\} \quad (3)$$

$$W^\perp = \text{span}\{(1.5x^2 - 6x + 5)\} \quad (4)$$

$$W^\perp = \text{span}\left\{\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}\right\} \quad (5)$$

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

$$B_{W^\perp} = \left\{\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}\right\} \quad (7)$$

(8) הסבר בוידאו.

(9) שאלת הוכחה.

(10) שאלת הוכחה.

(11) שאלת הוכחה.

(12) שאלת הוכחה.

(13) שאלת הוכחה.

אלגברה ליניארית ב

פרק 7 - קבוצות אורתוגונליות, בסיסים אורתוגונליים, התהליך של גרם-שמידט

תוכן העניינים

- 1. בסיס אורתוגונלי, שוויון פרסבל, אי-שוויון בסל 84
- 2. ההיטל של וקטור 88
- 3. תהליך גרם-שמידט 91

בסיס אורתוגונלי, שוויון פרסבל, אי-שוויון בסל

שאלות

1 נתונה קבוצת וקטורים $S = \{(2, 1, -4), (1, 2, 1), (3, -2, 1)\}$ ב- $\mathbb{R}^3$.

א. הראו שהקבוצה S אורתוגונלית.

ב. נרמלו את הקבוצה לקבלת קבוצה אורתונורמלית.

ג. ללא חישוב, הוכיחו שהקבוצה מהווה בסיס ל- $\mathbb{R}^3$.

2 נתונה קבוצת וקטורים $S = \{(2, 1, -4), (1, 2, 1), (3, -2, 1)\}$ ב- $\mathbb{R}^3$.

ללא דירוג, תוך שימוש במכפלות פנימיות, רשמו את הווקטור $(13, -1, 7)$, כצירוף לינארי של איברי S .

3 נתונה קבוצת וקטורים $S = \{(2, 1, -4), (1, 2, 1), (3, -2, 1)\}$ ב- $\mathbb{R}^3$.

רשמו את וקטור הקואורדינטות של וקטור כלשהו $v = (a, b, c)$ ב- $\mathbb{R}^3$, ביחס לבסיס S .

4 נניח ש- $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ היא בסיס אורתוגונלי ל- V .

הוכיחו שלכל $v \in V$, אז $v = \frac{\langle v, u_1 \rangle}{\langle u_1, u_1 \rangle} u_1 + \frac{\langle v, u_2 \rangle}{\langle u_2, u_2 \rangle} u_2 + \dots + \frac{\langle v, u_n \rangle}{\langle u_n, u_n \rangle} u_n$.

הערה: הקבוע $a_i = \frac{\langle v, u_i \rangle}{\langle u_i, u_i \rangle}$ נקרא מקדם פורייה של v ביחס ל- u_i ,

או הרכיב של v ביחס ל- u_i .

5 נתונה קבוצת פונקציות $S = \{\cos x, \cos 2x, \cos 3x, \dots\}$ ב- $V = C[0, \pi]$.

האם הקבוצה אורתוגונלית? אם כן, האם היא אורתונורמלית?

במידה והקבוצה אורתוגונלית ולא אורתונורמלית,

נרמלו אותה לקבלת קבוצה אורתונורמלית.

ענו ביחס למכפלה הפנימית האינטגרלית.

6 נתונה קבוצת פונקציות $S = \{1, \cos x, \sin x, \cos 2x, \sin 2x, \dots\}$ ב- $V = C[0, 2\pi]$.

האם הקבוצה אורתוגונלית? אם כן, נרמלו אותה לקבלת קבוצה אורתונורמלית.

ענו ביחס למכפלה הפנימית האינטגרלית.

האם הקבוצה מהווה בסיס?

7 נתונה קבוצה $S = \{(2, 4, 4), (4, -1, -1), (0, 2, -2)\}$ ב- $\mathbb{R}^3$.

בדקו האם הקבוצה S אורתוגונלית.
האם היא בסיס אורתוגונלי? האם היא אורתונורמלית?
האם היא בסיס אורתונורמלי?
במידה והקבוצה אורתוגונלית אך לא אורתונורמלית, נרמלו אותה.

8 נתונה קבוצה $S = \{1, x, x^2, x^3\}$ ב- $P_3[\mathbb{R}]$.

בדקו האם הקבוצה S אורתוגונלית.
האם היא בסיס אורתוגונלי? האם היא אורתונורמלית?
האם היא בסיס אורתונורמלי?
במידה והקבוצה אורתוגונלית אך לא אורתונורמלית, נרמלו אותה.
(ענו ביחס למכפלה הפנימית האינטגרלית ב- $[0, 1]$)

9 נתונה קבוצה $S = \{1, 2x - 1, 6x^2 - 6x + 1\}$ ב- $P_2[\mathbb{R}]$.

בדקו האם הקבוצה S אורתוגונלית.
האם היא בסיס אורתוגונלי? האם היא אורתונורמלית?
האם היא בסיס אורתונורמלי?
במידה והקבוצה אורתוגונלית אך לא אורתונורמלית, נרמלו אותה.
(ענו ביחס למכפלה הפנימית האינטגרלית ב- $[0, 1]$)

10 נתונה הקבוצה $S = \left\{ \begin{pmatrix} 2 & 4 & 6 \\ 0 & 2 & 4 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right\} \subseteq M_3[\mathbb{R}]$

בדקו: האם הקבוצה S אורתוגונלית? האם היא בסיס אורתוגונלי?
האם היא אורתונורמלית? האם היא בסיס אורתונורמלי?
במידה והקבוצה אורתוגונלית אך לא אורתונורמלית, נרמלו אותה.
ענו ביחס למכפלה הפנימית הסטנדרטית של המטריצות.

11 נסחו והוכיחו את שוויון פרסבל.

12 ענו על הסעיפים הבאים:

א. יהי $B = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}(1, 1), \frac{1}{\sqrt{2}}(1, -1) \right\}$ בסיס אורתונורמלי של $\mathbb{R}^2$.

אמתו את שוויון פרסבל עבור וקטור כלשהו $v \in \mathbb{R}^2$.

ב. יהי $B = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}}(1, 1, 0), \frac{1}{\sqrt{2}}(1, -1, 0), (0, 0, 1) \right\}$ בסיס אורתונורמלי של $\mathbb{R}^3$.

אמתו את שוויון פרסבל עבור וקטור כלשהו $v \in \mathbb{R}^3$.

$$(13) \text{ יהי } D = \left\{ A_1 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, A_2 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}, A_3 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix}, A_4 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

א. הוכיחו ש- D מהווה בסיס אורתונורמלי של $M_2(R)$ עם המכפלה

$$\langle A, B \rangle = \text{tr}(B^T A)$$

ב. כתבו את שוויון פרסבל עבור מטריצה כללית $A \in M_2(R)$ עם המכפלה הפנימית לעיל.

(14) במרחב $C([- \pi, \pi])$ של כל הפונקציות הרציפות בקטע $[- \pi, \pi]$ נגדיר את

$$\langle f, g \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x)g(x)dx$$

המכפלה הפנימית הבאה $\{f_1(x) = \cos x, f_2(x) = \sin x\}$ מערכת אורתונורמלית במרחב זה.

אמתו את אי שוויון בסל עבור הפונקציה $f(x) = \begin{cases} x & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$ ביחס למערכת הנתונה.

(15) במרחב $C([- \pi, \pi])$ של כל הפונקציות הרציפות בקטע $[- \pi, \pi]$ נגדיר את

$$\langle f, g \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x)g(x)dx$$

תהי $\{f_1 = \sin x, f_2 = \sin(2x), \dots, f_{60} = \sin(60x)\}$ מערכת אורתונורמלית במרחב זה.

$$f(x) = \begin{cases} -1 & -\pi < x < 0 \\ 0 & x = 0 \\ 1 & 0 < x < \pi \end{cases}$$

כתבו את אי שוויון בסל עבור הפונקציה $f(x)$ ביחס למערכת הנתונה.

תשובות סופיות

1 א. שאלת הוכחה. ב. $S \left\{ \frac{(2,1,-4)}{\sqrt{2^2+1^2+(-4)^2}}, \frac{(1,2,1)}{\sqrt{6}}, \frac{(3,-2,1)}{\sqrt{14}} \right\}$

ג. שאלת הוכחה.

2 $(13, -1, 7) = \frac{-1}{7}(2, 1, 4) + 3(1, 2, 1) + \frac{24}{7}(3, -2, 1)$

3 $\frac{2a+b-4c}{21}(2,1,4) + \frac{a+2b+c}{6}(1,2,1) + \frac{3a-2b+c}{14}(3,-2,1)$

4 שאלת הוכחה.

5 הקבוצה אורתוגונלית, הקבוצה לא אורתונורמלית,

$$S = \left\{ \frac{\cos x}{\sqrt{0.5\pi}}, \frac{\cos 2x}{\sqrt{0.5\pi}}, \frac{\cos 3x}{\sqrt{0.5\pi}}, \dots \right\}$$

6 הקבוצה אורתוגונלית, הקבוצה לא אורתונורמלית,

$$S = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}}, \frac{\cos x}{\sqrt{\pi}}, \frac{\sin x}{\sqrt{\pi}}, \frac{\cos 2x}{\sqrt{\pi}}, \frac{\sin 2x}{\sqrt{\pi}}, \dots \right\}$$

7 הקבוצה אורתוגונלית, הקבוצה מהווה בסיס אורתוגונלי, הקבוצה אינה

אורתונורמלית, $S = \left\{ \frac{1}{\sqrt{36}}(2, 4, 4), \frac{1}{\sqrt{8}}(4, -1, -1), \frac{1}{\sqrt{18}}(0, 2, -2) \right\}$

8 הקבוצה לא אורתוגונלית.

9 הקבוצה אורתוגונלית, הקבוצה מהווה בסיס אורתוגונלי,

$$S = \{1, \sqrt{3}(2x-1), \sqrt{5}(6x^2-6x+1)\}$$

10 הקבוצה אורתוגונלית, הקבוצה אינה בסיס אורתוגונלי, הקבוצה לא

אורתונורמלית, $S = \left\{ \frac{1}{\sqrt{80}} \begin{pmatrix} 2 & 4 & 6 \\ 0 & 2 & 4 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}, \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$

11 שאלת הוכחה.

12 שאלת הוכחה.

13 שאלת הוכחה.

14 שאלת הוכחה.

15 $2 \geq \frac{16}{\pi^2} \left[\frac{1}{1^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{5^2} + \dots + \frac{1}{59^2} \right]$

ההיטל של וקטור

שאלות

- (1) מצאו את מקדם פורייה c ואת ההיטל של $v = (1, 2, 2)$ לאורך $w = (0, 1, -1)$ ב- $\mathbb{R}^3$.
- (2) מצאו את מקדם פורייה c ואת ההיטל של $v = (1, -2, 2, 0)$ לאורך $w = (0, 2, -1, 2)$ ב- $\mathbb{R}^4$. מקובל לסמן גם $\text{proj}(v, w)$.
- (3) מצאו את מקדם פורייה c ואת ההיטל של $p(x) = 2x - 1$ לאורך $q(x) = x^2$ במרחב הפולינומים עם המכפלה הפנימית האינטגרלית ב- $[0, 1]$.
- (4) מצאו את מקדם פורייה c ואת ההיטל של $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$ לאורך $B = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$ במרחב המטריצות הממשיות מסדר 2 עם המכפלה הפנימית הסטנדרטית.
- (5) יהי $V = \mathbb{R}^3$ ויהי $W = \text{span}\{w_1 = (1, 2, 1), w_2 = (1, -1, 1)\}$ תת מרחב של V . מצאו את ההיטל של הווקטור $v = (-2, 2, 2)$ על תת המרחב W לפי המכפלה הפנימית הסטנדרטית ב- $V = \mathbb{R}^3$. בנוסף, רשמו את v כסכום $v = v_{\parallel} + v_{\perp}$, כאשר $v_{\parallel} \in W$, $v_{\perp} \in W^{\perp}$.
- (6) יהי $V = \mathbb{R}^4$ עם המכפלה הפנימית הסטנדרטית. ויהי $W = \text{span}\{w_1 = (1, 1, 0, -1), w_2 = (1, 0, 1, 1), w_3 = (0, -1, 1, -1)\}$ תת מרחב של V . מצאו את הווקטור הקרוב ביותר לווקטור $v = (3, 4, 5, 6)$ בתת המרחב W . בנוסף, כתבו את v כסכום של וקטור מ- W ווקטור מ- $W^{\perp}$.
- (7) יהי $V = C([0, 1])$ מרחב הפונקציות הרציפות על הקטע $[0, 1]$. ויהי $W = \text{span}\left\{w_1 = 1, w_2 = x - \frac{1}{2}\right\}$ תת מרחב של V . מצאו את ההיטל של $v = 4x^2 - 4$ על W עם המכפלה הפנימית האינטגרלית הסטנדרטית. בנוסף, כתבו את v כסכום של וקטור מ- W ווקטור מ- $W^{\perp}$.

8 נתון המרחב $C([-1,1])$ עם המכפלה הפנימית $\langle f, g \rangle = \int_{-1}^1 f(x)g(x)dx$.

נגדיר תת מרחב של $C([-1,1])$: $W = \text{sp}\{f_1 = |x| + x, f_2 = |x| - x\}$
מצאו את ההיטל של $f(x) = x^2$ על W .

9 נתון המרחב $C([- \pi, \pi])$ עם המכפלה הפנימית $\langle f, g \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x)g(x)dx$.

נגדיר תת מרחב של $C([- \pi, \pi])$:

$$W = \text{sp}\{f_1 = \sin x, f_2 = \sin(2x), \dots, f_{60} = \sin(60x)\}$$

ידוע שהקבוצה $\{f_i\}_{i=1}^{60}$ היא קבוצה אורתונורמלית.

$$f(x) = \begin{cases} -1 & -\pi < x < 0 \\ 0 & x = 0 \\ 1 & 0 < x < \pi \end{cases} \quad \text{מצאו את ההיטל של } f(x) \text{ על } W.$$

תשובות סופיות

$$\text{proj}(v, w) = cw = 0, \quad c = 0 \quad \textbf{(1)}$$

$$\text{proj}(v, w) = cw = -\frac{2}{3}(0, 2, -1, 2), \quad c = \frac{-2}{3} \quad \textbf{(2)}$$

$$\text{proj}(p, q) = c \cdot q(x) = \frac{5}{6}x^2, \quad c = \frac{5}{6} \quad \textbf{(3)}$$

$$\text{proj}(A, B) = cB = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad c = \frac{1}{6} \quad \textbf{(4)}$$

$$v = v_{\parallel} + v_{\perp} = (0, 2, 0) + (-2, 0, 2), \quad \pi(v) = (0, 2, 0) \quad \textbf{(5)}$$

$$(3, 4, 5, 6) = v_{\parallel} + v_{\perp} = (5, 2, 3, 6) + (-2, 2, 2, 0), \quad \pi(v) = (5, 2, 3, 6) \quad \textbf{(6)}$$

$$v = v_{\parallel} + v_{\perp} = \left(-\frac{14}{3} + 4x\right) + \left(4x^2 - 4x + \frac{2}{3}\right), \quad \pi(v) = -\frac{14}{3} + 4x \quad \textbf{(7)}$$

$$\text{proj}_W f = \frac{3}{4}|x| \quad \textbf{(8)}$$

$$\text{proj}_W f = \frac{4 \sin(x)}{\pi} + \frac{4 \sin(3x)}{3\pi} + \frac{4 \sin(5x)}{5\pi} + \dots + \frac{4 \sin(59x)}{59\pi} \quad \textbf{(9)}$$

תהליך גרם-שמידט

שאלות

1 נתון: $U = \text{span}\{(1, 2, 3), (4, 5, 6), (7, 8, 9)\} \subseteq \mathbb{R}^3$. מצאו בסיס אורתונורמלי ל- U .

2 נתון: $U = \text{span}\{(2, 2, 2, 2), (1, 1, 2, 4), (1, 2, -4, -3)\} \subseteq \mathbb{R}^4$. מצאו בסיס אורתונורמלי ל- U .

3 נתון: $U = \text{span}\{4, x, x^2, x^3\} \subseteq P_3[x]$. מצאו בסיס אורתונורמלי ל- U , בהתייחס למכפלה הפנימית האינטגרלית בקטע $[-1, 1]$.

4 נתון: $U = \text{span}\left\{\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}\right\} \subseteq M_2[R]$. מצאו בסיס אורתונורמלי ל- U , בהתייחס למכפלה הפנימית הרגילה של המטריצות.

תשובות סופיות

$$B_{\text{orthonormal}} = \left\{ \frac{1}{\sqrt{15}}(1, 2, 3), \frac{1}{\sqrt{21}}(-4, -1, 2) \right\} \quad (1)$$

$$B_{\text{orthonormal}} = \left\{ w_1 = \frac{(2, 2, 2, 2)}{\sqrt{16}}, w_2 = \frac{(-1, -1, 0, 2)}{\sqrt{6}}, w_3 = \frac{(1, 3, -6, 2)}{\sqrt{50}} \right\} \quad (2)$$

$$B_{\text{orthonormal}} = \left\{ \hat{w}_1 = \frac{4}{\sqrt{32}}, \hat{w}_2 = \frac{x}{\sqrt{\frac{2}{3}}}, \hat{w}_3 = \frac{3x^2 - 1}{\sqrt{\frac{8}{5}}}, \hat{w}_4 = \frac{5x^3 - 3x}{\sqrt{\frac{8}{7}}} \right\} \quad (3)$$

$$B_{\text{orthonormal}} = \left\{ \hat{w}_1 = \frac{\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}}{\sqrt{30}}, \hat{w}_2 = \frac{\begin{pmatrix} 7 & 14 \\ -9 & -2 \end{pmatrix}}{\sqrt{330}}, \hat{w}_3 = \frac{\begin{pmatrix} -4 & 3 \\ 2 & -2 \end{pmatrix}}{\sqrt{33}} \right\} \quad (4)$$

אלגברה ליניארית ב

פרק 8 - דטרמיננטות

תוכן העניינים

92	1. חישוב דטרמיננטה לפי הגדרה ולפי דירוג
97	2. חישוב דטרמיננטה כללית מסדר n
102	3. חישוב דטרמיננטה לפי חוקי דטרמיננטות
104	4. כלל קרמר ופתרון מערכת משוואות
105	5. מטריצה צמודה קלאסית ומטריצה הפוכה
110	6. שימושי הדטרמיננטה
111	7. תרגילי תיאוריה מתקדמים

חישוב דטרמיננטה לפי הגדרה ולפי דירוג

שאלות

בשאלות 1-5 חשבו את הדטרמיננטה על ידי הורדת סדר (פיתוח לפי שורה/עמודה):

$$(1) \quad \text{א.} \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} \quad \text{ב.} \begin{vmatrix} 5 & 2 \\ -7 & 3 \end{vmatrix} \quad \text{ג.} \begin{vmatrix} 4 & -1.5 \\ 2 & -1 \end{vmatrix}$$

$$(2) \quad \text{א.} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 4 & 1 & 8 \\ 2 & 0 & 3 \end{vmatrix} \quad \text{ב.} \begin{vmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad \text{ג.} \begin{vmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 3 & -2 & 5 \\ 0 & 2 & 0 \end{vmatrix}$$

$$(3) \quad \text{א.} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{vmatrix} \quad \text{ב.} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 & 5 \\ -2 & 0 & -6 & 0 \\ 5 & 3 & -7 & 4 \\ 2 & 0 & 5 & 44 \end{vmatrix} \quad \text{ג.} \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 & 5 \\ 1 & 7 & 2 & 4 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & -1 & 1 \end{vmatrix}$$

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

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

בשאלות 6-7 חשבו את הדטרמיננטה של המטריצות על ידי דירוג.

$$(6) \quad \text{א.} \begin{vmatrix} 1 & 3 & 0 & 2 \\ -2 & -5 & 7 & 4 \\ 3 & 5 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & -1 \end{vmatrix} \quad \text{ב.} \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & -4 \\ 0 & 1 & 2 & -5 \\ 2 & 5 & 4 & -3 \\ -1 & -2 & -1 & -1 \end{vmatrix} \quad \text{ג.} \begin{vmatrix} 1 & -1 & -3 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 4 \\ -1 & 2 & 8 & 5 \\ 3 & -1 & -2 & 3 \end{vmatrix}$$

$$\begin{array}{cc} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & -1 & 0 & -2 \\ 3 & 4 & -5 & -1 & -8 \\ 0 & 0 & 2 & 3 & 9 \\ 0 & 0 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 2 & 7 \end{array} \right| \\ \text{ב.} \end{array} & \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 3 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 5 & -5 & -1 & -8 \\ -2 & -6 & 2 & 3 & 9 \\ 3 & 7 & -3 & 8 & -7 \\ 3 & 5 & 5 & 2 & 7 \end{array} \right| \\ \text{א. (7)} \end{array} \\ \\ & \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccccc} 1 & 3 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 5 & -5 & -1 & -8 \\ 0 & 0 & 2 & 3 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 7 \end{array} \right| \\ \text{ג.} \end{array} \end{array}$$

בשאלות 8-10 חשבו את הדטרמיננטה על ידי שילוב של הורדת סדר ודירוג:

$$\begin{vmatrix} 2 & 5 & -3 & -1 \\ 3 & 0 & 1 & -3 \\ -6 & 0 & -4 & 9 \\ 6 & 15 & -7 & -2 \end{vmatrix} \quad (8)$$

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

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

בשאלות 11-12 הראו, ללא חישוב, שהדטרמיננטה של המטריצות שווה אפס:

$$\begin{array}{ccc} \begin{vmatrix} 12 & 15 & 18 \\ 13 & 16 & 19 \\ 14 & 17 & 20 \end{vmatrix} \text{ ג.} & \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 5 & 7 & 9 \end{vmatrix} \text{ ב.} & \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 7 & 0 & 12 \\ 3 & 0 & 2 \end{vmatrix} \text{ א. (11)} \end{array}$$

$$\begin{vmatrix} a & a+x & a+y \\ b & b+x & b+y \\ c & c+x & c+y \end{vmatrix} \quad \text{ב.} \quad \begin{vmatrix} y+z & z+x & y+x \\ x & y & z \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{א. (12)}$$

$$\begin{vmatrix} 3 & -1 & 4 & 5 & 0 & 1 & -12 \\ -14 & 4 & 1 & -4 & 1 & 8 & 4 \\ 3 & 5 & -2 & 0 & -4 & 1 & -3 \\ -4 & 2 & 1 & 1 & 0 & 6 & -6 \\ -21 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 1 \\ 2 & -5 & 7 & -4 & 2.5 & -1 & -1.5 \\ -11 & 2 & -6 & 9 & -1 & 3 & 4 \end{vmatrix} \quad \text{ד.} \quad \begin{vmatrix} \sin^2 x & \cos^2 x & 1 \\ \sin^2 y & \cos^2 y & 1 \\ \sin^2 z & \cos^2 1 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{ג.}$$

$$\begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix} = 4 \quad \text{בשאלות 13-15 נתון כי:}$$

חשבו:

$$\begin{vmatrix} a & g+d & 2d \\ b & h+e & 2e \\ c & i+f & 2f \end{vmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{vmatrix} 2a-3d & 2d & g+4a \\ 2b-3e & 2e & h+4b \\ 2c-3f & 2f & i+4c \end{vmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{vmatrix} 0 & g+3d & 3a & a+3d \\ 0 & h+3e & 3b & b+3e \\ 0 & i+3f & 3c & c+3f \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{vmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & b & b^2 \\ 1 & c & c^2 \end{vmatrix} = (b-a)(c-a)(c-b) \quad \text{(16) הוכיחו כי:}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & x & x^2 & x^3 \\ 1 & y & y^2 & y^3 \\ 1 & z & z^2 & z^3 \\ 1 & t & t^2 & t^3 \end{vmatrix} = (y-x)(z-x)(t-x)(z-y)(t-y)(t-z) \quad \text{17) הוכיחו כי:}$$

$$\text{18) חשבו: } \det \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & k \\ 1 & 1 & 1 & k & 1 \\ 1 & 1 & k & 1 & 1 \\ 1 & k & 1 & 1 & 1 \\ k & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

19) ענו על הסעיפים הבאים:

א. נתונות שתי מטריצות ריבועיות A ו- B מסדר n הנבדלות ביניהן רק בשורה ה- k ($1 \leq k \leq n$).

תהי C מטריצה הזוהה למטריצות A ו- B אך נבדלת מהן בשורה ה- k , שם היא שווה לסכום השורה ה- k של A והשורה ה- k של B . הוכיחו כי $|A| + |B| = |C|$.

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

תשובות סופיות

- (1) א. $ad - bc$ ב. 29 ג. -1
- (2) א. -1 ב. -3 ג. -14
- (3) א. 24 ב. 234 ג. -300
- (4) 9
- (5) 6
- (6) א. 0 ב. 0 ג. 3
- (7) א. 24 ב. 44 ג. 104
- (8) 120
- (9) 114
- (10) 6
- (11) פתרונות באתר: www.GooL.co.il
- (12) פתרונות באתר.
- (13) -8
- (14) 16
- (15) 9
- (16) שאלת הוכחה.
- (17) שאלת הוכחה.
- (18) $(k-1)^4 (k+4)$
- (19) א. שאלת הוכחה. ב. 0

חישוב דטרמיננטה כללית מסדר n

שאלות

(1) ענו על הסעיפים הבאים:

א. חשבו את הדטרמיננטה של המטריצה $A_{n \times n} = (a_{ij})$ הנתונה ע"י:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j < n \\ a & 1 \leq i \leq n, j = n \\ a & 1 \leq j \leq n, i = n \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

ב. עבור אילו ערכים של המספרים הממשיים $a_0, \dots, a_{n-1}$, המטריצה הבאה

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 1 \\ a_0 & a_1 & \dots & \dots & \dots & a_{n-1} \end{pmatrix} \quad \text{הפיכה:}$$

(2) חשבו את הדטרמיננטה של המטריצה $A_{n \times n} = (a_{ij})$ הנתונה על ידי:

$$a_{ij} = \begin{cases} j & i = j + 1 \\ n & i = 1, j = n \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

האם קיים ערך של n עבורו דרגת המטריצה קטנה מ- n ?

(3) חשבו את $|A|$ כאשר המטריצה $A = (a_{ij})$ נתונה על ידי:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j = 1 \\ 0 & i = j \neq 1 \\ j & i < j \\ -j & i > j \end{cases}$$

(4) חשבו את הדטרמיננטה של המטריצה $A_{n \times n} = (a_{ij})$ הנתונה ע"י: $a_{ij} = |i - j|$.

(5) חשבו את $|A|$ כאשר המטריצה $A = (a_{ij})$ נתונה על ידי:

$$a_{ij} = \begin{cases} a & i = j \\ b & i \neq j \end{cases}$$

(6) חשבו את הדטרמיננטה הבאה מסדר n , כאשר $n \geq 1$:

$$\begin{vmatrix} -1 & 2 & 2 & 2 & \cdots & 2 \\ 4 & -2 & 4 & 4 & \cdots & 4 \\ 6 & 6 & -3 & 6 & \cdots & 6 \\ 8 & 8 & 8 & -4 & \cdots & 8 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 2n & 2n & 2n & 2n & \cdots & -n \end{vmatrix}$$

(7) חשבו את $|A|$ כאשר המטריצה $A = (a_{ij})$ נתונה על ידי:

$$a_{ij} = \min\{i, j\} \quad \text{א.}$$

$$a_{ij} = \max\{i, j\} \quad \text{ב.}$$

(8) המטריצה $A = (a_{ij})$ נתונה על ידי:

$$a_{ij} = \begin{cases} \min\{3(i-1), 3(j-1)\} & 1 < i, j \leq n \\ 1 & i=1 \text{ or } j=1 \end{cases}$$

חשבו את $|A|$.

(9) המטריצה $A = (a_{ij})$ נתונה על ידי:

$$a_{ij} = \begin{cases} \min\{k(i-1), k(j-1)\} & 1 < i, j \leq n \\ 1 & i=1 \text{ or } j=1 \end{cases}$$

חשבו את $|A|$ ומצאו עבור אילו ערכים של k המטריצה הפיכה.

(10) חשבו את הדטרמיננטה הבאה מסדר n , כאשר $n \geq 3$:

$$a_{ij} = \begin{cases} 0 & i=j \\ 1 & 2 \leq i \leq n, j=1 \\ 1 & 2 \leq j \leq n, i=1 \\ x & \text{else} \end{cases} \quad \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & 0 & x & x & \cdots & x \\ 1 & x & 0 & x & \cdots & x \\ 1 & x & x & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & x & \ddots & x \\ 1 & x & x & \cdots & x & 0 \end{vmatrix}$$

(11) תהי $A = (a_{ij})$ מטריצה שהאיברים שלה נתונים על ידי:

$$a_{ij} = \begin{cases} ij & i \neq j \\ 1+ij & i = j \end{cases}$$

חשבו את $D_n = |A_{n \times n}|$.

הערה: נפתור תרגיל זה בדרך אחרת בפרק על ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים.

$$(12) \text{ המטריצה } A = (a_{ij}) \text{ נתונה על ידי: } a_{ij} = \begin{cases} a & i = j \\ b & i = j+1 \\ c & j = i+1 \end{cases}$$

א. מצאו נוסחת נסיגה לחישוב $D_n = |A_{n \times n}|$.

ב. הניחו כי $a=3, b=1, c=2$ וחשבו:

1. ביטוי סגור עבור הדטרמיננטה.

2. את הדטרמיננטה עבור $n=20$.

(13) נתונה מטריצה $A_{n \times n}$.

במטריצה זו מבצעים את פעולות השורה הבאות:

מחליפים בין השורה הראשונה לשורה האחרונה, בין השורה השנייה לשורה

הלפני אחרונה וכך הלאה, עד שלא ניתן יותר להחליף שורות.

בסוף התהליך מקבלים מטריצה B .

חשבו את $|B|$ במונחי $|A|$.

$$(14) \text{ חשבו את } D_n = \begin{vmatrix} 0 & & 1 \\ & \ddots & \\ 1 & & 0 \end{vmatrix}_{n \times n} \text{ כאשר } n \geq 2 \text{ טבעי.}$$

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & i+j = n+1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \text{ הערה:}$$

$$(15) \text{ חשבו את } D_n = \det \begin{pmatrix} 2 & & 1 \\ & \ddots & 2 \\ n & & 2 \end{pmatrix}_{n \times n} \text{ כאשר } n \geq 2 \text{ טבעי.}$$

$$d_{ij} = \begin{cases} i & i+j = n+1 \\ 2 & \text{else} \end{cases} \text{ הערה:}$$

$$(16) \text{ חשבו את } D_n = \det \begin{pmatrix} a & & b \\ & \ddots & b \\ b & & a \end{pmatrix}_{n \times n} \text{ כאשר } n \geq 2 \text{ טבעי.}$$

$$d_{ij} = \begin{cases} b & i+j = n+1 \\ a & \text{else} \end{cases} \text{ הערה:}$$

(17) חשבו את הדטרמיננטה של המטריצה $A_{n \times n} = (a_{ij})$ הנתונה ע"י:

$$a_{ij} = \min\{i, n-j+1\}$$

$$\begin{vmatrix} a_n & a_{n-1} & \cdots & a_2 & x \\ a_n & a_{n-1} & \cdots & x & a_1 \\ a_n & a_{n-1} & \cdots & a_2 & a_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_n & x & \cdots & a_2 & a_1 \\ a_n & a_{n-1} & \cdots & a_2 & a_1 \end{vmatrix} \quad (18) \text{ חשבו את הדטרמיננטה הבאה מסדר } n, \text{ כאשר } n \geq 2$$

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } |A| = a - (n-1)a^2 \quad \text{ב. } A \text{ הפיכה אם ורק אם } a_0 \neq 0.$$

$$(2) \quad \text{א. } (-1)^{n+1} n! \quad \text{ב. לא.}$$

$$(3) \quad |A| = n!$$

$$(4) \quad |A| = (-1)^{n+1} (n-1) 2^{n-2}$$

$$(5) \quad |A| = (a-b)^{n-2} [a + (n-1)b]$$

$$(6) \quad (-3)^{n-1} (2n-3) n!$$

$$(7) \quad \text{א. } |A| = 1 \quad \text{ב. } |A| = (-1)^{n+1} n$$

$$(8) \quad |A| = 2 \cdot 3^{n-2}$$

$$(9) \quad |A| = (k-1) \cdot k^{n-2} \text{ והמטריצה הפיכה אם ורק אם } k \neq 1 \text{ וגם } k = 0.$$

$$(10) \quad |A| = (-1)^{n-1} x^{n-2} (n-1)$$

$$(11) \quad D_n = 1 + \frac{1}{6} n(n+1)(2n+1)$$

$$(12) \quad \text{א. } D_n = aD_{n-1} - bcD_{n-1}, D_2 = a^2 - bc, D_3 = a^3 - 2abc$$

$$\text{ב.1. } D_n = 2^{n+1} - 1 \quad \text{ב.2. } D_{20} = 2^{21} - 1$$

$$(13) \quad |B| = \begin{cases} (-1)^{\frac{n}{2}} |A| & n \text{ even} \\ (-1)^{\frac{n-1}{2}} |A| & n \text{ odd} \end{cases}$$

$$(14) \quad D_n = \begin{cases} (-1)^{\frac{n}{2}} & n \text{ even} \\ (-1)^{\frac{n-1}{2}} & n \text{ odd} \end{cases}$$

$$(15) \quad D_n = \begin{cases} (-1)^{\frac{n+2}{2}} 2(n-2)! & n \text{ even} \\ (-1)^{\frac{n+1}{2}} 2(n-2)! & n \text{ odd} \end{cases}$$

$$(16) \quad D_n = \begin{cases} (-1)^{\frac{n}{2}} (b-a)^{n-1} [b + (n-1)a] & n \text{ even} \\ (-1)^{\frac{n-1}{2}} (b-a)^{n-1} [b + (n-1)a] & n \text{ odd} \end{cases}$$

$$(17) \quad D_n = \begin{cases} (-1)^{\frac{n-1}{2}} & n \text{ odd} \\ (-1)^{\frac{n-2}{2} + n-1} & n \text{ even} \end{cases}$$

$$(18) \quad D_n = \begin{cases} a_n (-1)^{\frac{n}{2}} (x-a_1)(x-a_2) \cdots (x-a_{n-1}) & n \text{ even} \\ a_n (-1)^{\frac{n-1}{2}} (x-a_1)(x-a_2) \cdots (x-a_{n-1}) & n \text{ odd} \end{cases}$$

חישוב דטרמיננטה לפי משפטי דטרמיננטות

שאלות

בשאלות 1-2 נתון כי A ו- B מטריצות מסדר 3, $|A|=4$, $|B|=2$. חשבו:

(1) א. $|ABA^{-1}B^T|$ ב. $|4A^2B^3|$

(2) א. $| -A^{-2}B^T A^3 |$ ב. $| -2A^2 A^T \text{adj} B |$

(3) נתון: $(PQ)^{-1}APQ = B$. הוכיחו: $|A|=|B|$.

(4) נתון: A ו- B מטריצות הפיכות מסדר 4, כך ש- $2AB+3I=0$, $|A|=2$. חשבו את $|B|$.

(5) נתון: A ו- B מטריצות הפיכות מסדר 3, כך ש- $B^2-2A^{-1}=0$, $A+3B=0$. חשבו את $|A|$, $|B|$.

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

(7) נתון כי A מטריצה אנטי-סימטרית מסדר אי-זוגי. הוכיחו ש- $|A|=0$.

(8) נתון: A מטריצה מסדר n , $|A|=128$, $2AB=B^T A^2$, ו- B הפיכה. מצאו את n .

(9) נתון: $\det(A_{n \times n})=2$, $\det(B_{n \times n})=\frac{1}{3}$.

חשבו: $\det\left|\frac{1}{3}B^{-n}A^{2n}\right|$.

$$(10) \text{ נתון } M = \begin{pmatrix} a & b & c & d \\ -b & a & -d & c \\ -c & d & a & -b \\ -d & -c & b & a \end{pmatrix}$$

הוכיחו כי $\det(M) = (a^2 + b^2 + c^2 + d^2)^2$.

תשובות סופיות

(1) א. 4 ב. 2^{13}

(2) א. -8 ב. -2^{11}

(3) שאלת הוכחה.

(4) $\frac{81}{32}$

(5) $|A|=18, |B|=-2/3$

(6) שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) 7

(9) 4^n

(10) שאלת הוכחה.

כלל קרמר

שאלות

בשאלות 1-3 פתרו את מערכות המשוואות בעזרת כלל קרמר:

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

$$\begin{array}{l} kx+y+z+t+r=1 \\ x+ky+z+t+r=1 \\ x+y+kz+t+r=1 \\ x+y+z+kt+r=1 \\ x+y+z+t+kr=1 \end{array} \quad (4) \quad \text{נתונה מערכת המשוואות:}$$

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. הוכיחו שאם למערכת פתרון יחיד, אז בהכרח מתקיים ש-
 $x=y=z=t=r$.

(5) יהיו A, B מטריצות ממשיות מסדר $n \times n$.

עבור כל אחת מהטענות הבאות קבעו האם היא נכונה או לא.

- א. אם למערכת ההומוגנית $Ax=0$ קיים פתרון יחיד, אז ייתכן ש- $A^2=0$.
 ב. אם למערכת ההומוגנית $(A^t A)x=0$ קיים פתרון יחיד, אז $|A|=0$.
 ג. אם למערכת ההומוגנית $(AB)x=0$ קיים פתרון יחיד, אז ייתכן ש- $|A|=0$.

תשובות סופיות

- (1) $x=1, y=2$
 (2) $x=1, y=1, z=2$
 (3) $x=y=z=t=1$
 (4) א. $k \neq 1, k \neq -4$ ב. $k=-2$ ג. לא. ד. הוכחה.
 (5) א. לא נכונה. ב. לא נכונה. ג. לא נכונה.

מטריצה צמודה קלאסית ומטריצה הפוכה

שאלות

בשאלות 1-3 חשבו את הצמודה הקלאסית $adj(A)$, ובעזרתה את A^{-1} :

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

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

א. חשבו: $(adj A)_{1,5}$.

ב. חשבו: $(A^{-1})_{1,5}$.

(5) א. הוכיחו שהדטרמיננטה של מטריצה הפיכה A שווה ל- ± 1 , כאשר כל איברי

A ו- A^{-1} הם מספרים שלמים.

ב. הוכיחו שאם $|A|=1$ וכל איברי A הם מספרים שלמים,

אזי כל איברי A^{-1} גם הם מספרים שלמים.

(6) נתון ש- A מטריצה משולשית תחתונה והפיכה.

הוכיחו ש- A^{-1} משולשית תחתונה.

(7) נתון ש- A הפיכה.

הוכיחו שגם $adj(A)$ וגם A^T הפיכות.

(8) נתון כי A, B הפיכות ו- C, D לא הפיכות.

האם המטריצות הבאות הפיכות?

א. $C+D$ ב. $A+B$ ג. AD ד. CD ה. AB

9 מצאו את ערכי k עבורם המטריצה

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

לא הפיכה.

10 ידוע ש- A, B מטריצות ריבועיות מאותו סדר ו- $B \neq 0$. הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

- א. אם $AB=0$, אז $A=0$.
- ב. אם $|AB|=0$, אז $A=0$.
- ג. אם $|AB|=0$, אז $|A|=0$.
- ד. אם $AB=0$, אז $|A|=0$.

11 נתונות שתי מטריצות $A_{3 \times 5}$, $B_{5 \times 3}$. הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

- א. $|AB|=|BA|$
- ב. $\text{adj}(AB) \neq \text{adj}(BA)$

12 אם B מתקבלת ממטריצה $A_{3 \times 3}$ על ידי כפל העמודה הראשונה ב-4, אז $|\text{adj}(A) \cdot B|$ שווה ל:

- א. $4^3 |A|^3$
- ב. $4^3 |B|^3$
- ג. $4 |B|^3$
- ד. $4 |A|^3$

13 נתונה מטריצה ריבועית $A = (a_{ij})$ מסדר $n \geq 3$ המקיימת $a_{ij} = i + j - 1$. הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

- א. $|A| = 4$
- ב. A הפיכה.
- ג. $\text{adj}(A) = 0$
- ד. $|A| = 0$

14) אם G היא הצורה המדורגת של מטריצה ריבועית A , אז :

- בהכרח $\det(A) = \det(G)$ וגם $\text{adj}(A) = \text{adj}(G)$.
- בהכרח $\det(A) = \det(G)$, אך ייתכן ש $\text{adj}(A) \neq \text{adj}(G)$.
- ייתכן ש- $\det(A) \neq \det(G)$, אך בהכרח $\text{adj}(A) = \text{adj}(G)$.
- אף תשובה אינה נכונה.

15) תהי $A = (a_{ij})$ מטריצה ריבועית מסדר $n \geq 2$, כך ש- $a_{ij} = \begin{cases} i & i = j \\ 1 & i \neq j \end{cases}$.

לכל $1 \leq i, j \leq n$, אז בהכרח מתקיים :

- $|A| = n! - 1$.
- A הפיכה.
- $\text{adj}(A)$ לא הפיכה.
- אם $n = 4$, אז $|\text{Adj}(A)| > 214$.

16) תהי A מטריצה ריבועית מסדר $n \geq 4$.

הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות :

- אם $\text{rank}(A) = n - 2$, אז בהכרח $\text{adj}(A) = 0$.
- אם A אנטי-סימטרית, אז בהכרח $\text{adj}(A)$ אנטי-סימטרית.
- אם $\text{adj}(A) = 0$, אז בהכרח $A = 0$.

17) A מטריצה ריבועית, B מתקבלת מ- A ע"י הכפלת השורה הראשונה פי 4,

אז $\text{adj}B$ מתקבלת מ- $\text{adj}A$ ע"י :

- הכפלת השורה הראשונה פי 4.
- הכפלת כל שורה פרט לראשונה פי 4.
- הכפלת העמודה הראשונה פי 4.
- הכפלת כל עמודה פרט לראשונה פי 4.
- אף תשובה אינה נכונה.

18) תהי A מטריצה ריבועית מסדר 5 המקיימת $|\text{Adj}((-1+i)A)| = i$.

חשבו $|\det(A)|$.

19 נתון כי A מטריצה ריבועית מסדר n .
 הוכיחו את הטענות הבאות:

א. A הפיכה $\Leftrightarrow Adj(A)$ הפיכה.

ב. $Adj(A^{-1}) = (Adj(A))^{-1}$.

ג. $|Adj(A)| = |A|^{n-1}$.

תשובות סופיות

$$\text{adj}(A) = \begin{pmatrix} 4 & -2 \\ -3 & 1 \end{pmatrix}, \quad A^{-1} = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ 1.5 & -0.5 \end{pmatrix} \quad (1)$$

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

$$\text{adj}(A) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad A^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$(4) \quad \text{א. } 240 \quad \text{ב. } 0.5$$

(5) שאלת הוכחה.

(6) שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) א. לא ניתן לדעת. ב. לא ניתן לדעת. ג. לא הפיכה.

ד. לא הפיכה. ה. הפיכה.

(9) אם ורק אם $k = 0$.

(10) שאלת הוכחה.

(11) שאלת הוכחה.

(12) ד

(13) שאלת הוכחה.

(14) ד

(15) ד

(16) שאלת הוכחה.

(17) ד

$$(18) \quad \frac{-5}{2^{\frac{1}{2}}}$$

(19) שאלת הוכחה.

שימושי הדטרמיננטה

שאלות

- (1) א. חשבו את שטח המקבילית שקדקודיה :
 1. $(0,0), (5,2), (6,5), (11,6)$ 2. $(-1,0), (0,5), (1,-4), (2,1)$
 ב. חשבו את נפח המקבילון שקדקודיו : $(0,0,0), (1,0,-2), (1,2,4), (7,1,0)$
 ג. מצאו משוואת מישור העובר דרך הנקודות : $(3,3,-2), (-1,3,1), (1,1,-1)$
 ד. חשבו את שטח המשולש שקדקודיו : $(1,2), (3,4), (5,8)$
 הערה: בכל אחד מהסעיפים בתרגיל זה יש להשתמש בדטרמיננטות.

תשובות סופיות

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

תרגילי תיאוריה מתקדמים

שאלות

(1) אם B מתקבלת ממטריצה A 3×3 , ע"י כפל העמודה הראשונה ב-7, אז $|adj(A)B|$ היא:

א. $|A|^3$

ב. $|B|^3$

ג. $|A||B|^2$

ד. $|A|^2|B|$

(2) A, B מטריצות ריבועיות מאותו סדר, $B \neq 0$, אז:

א. אם $AB = 0$, אז $A = 0$.

ב. אם $AB = 0$, אז $|A| = 0$.

ג. אם $|AB| = 0$, אז $A = 0$.

ד. אם $|AB| = 0$, אז $|A| = 0$.

ה. אף תשובה אינה נכונה.

(3) B מטריצה 5×3 , A מטריצה 3×5 , אז בהכרח:

א. $\det(AB) = \det(BA)$

ב. $\text{rank}(AB) = \text{rank}(BA)$

ג. $\text{rank}(AB) \neq \text{rank}(BA)$

ד. $\text{adj}(AB) \neq \text{adj}(BA)$

ה. אף תשובה אינה נכונה.

(4) A מטריצה ריבועית, B מתקבלת מ- A ע"י הכפלת השורה הראשונה פי 7, אז $adjB$ מתקבלת מ- $adjA$ ע"י:

א. הכפלת השורה הראשונה פי 7.

ב. הכפלת כל שורה פרט לראשונה פי 7.

ג. הכפלת העמודה הראשונה פי 7.

ד. הכפלת כל עמודה פרט לראשונה פי 7.

ה. אף תשובה אינה נכונה.

- 5 יהיו A, B מטריצות ממשיות מסדר $n \times n$. אז בהכרח מתקיים:
- אם למערכת ההומוגנית $(AB)x = 0$ קיימים שני פתרונות שונים, אז בהכרח $|A| = 0$.
 - אם קיים פתרון שונה מ-0 למערכת ההומוגנית $(AB)x = 0$, אז למערכת ההומוגנית $(BA)x = 0$ קיים פתרון שונה מ-0.
 - אם למערכת ההומוגנית $Ax = 0$ קיים פתרון יחיד, אז ייתכן ש- $A^2 = 0$.
 - אם למערכת ההומוגנית $(A^t)x = 0$ קיים פתרון יחיד, אז השורות של A תלויות ליניארית.
 - אף תשובה אינה נכונה.
- 6 תהיינה A, B מטריצות ריבועיות ממשיות מסדר $n \geq 4$. אזי בהכרח מתקיים:
- אם $\text{rank}(A) = n - 2$, אז בהכרח $\text{adj}(A) = 0$.
 - אם A אנטי-סימטרית, אז בהכרח $\text{adj}(A)$ אנטי-סימטרית.
 - אם $\text{adj}(A) = 0$, אז בהכרח $A = 0$.
 - אף תשובה אינה נכונה.
- 7 תהא $A = (a_{ij})$ מטריצה ריבועית מסדר $n \geq 3$, כך ש- $a_{ij} = i + j - 1$. אז בהכרח מתקיים:
- $|A| = 2$.
 - $|A| = 0$.
 - עמודות A בלתי-תלויות ליניארית.
 - $\text{adj}(A) = 0$.
 - אף תשובה אינה נכונה.
- 8 תהא A מטריצה ריבועית מסדר 5, ונניח ש- $|\text{adj}((-1+i)A)| = i$. אז הערך המוחלט של הדטרמיננטה שווה ל:
- $\sqrt[4]{2}$.
 - $-3i$.
 - 0.
 - $\frac{\sqrt{2}}{8}$.
 - אף תשובה אינה נכונה.

9) נניח A, B מטריצות מסדר גודל $n \times n$ המקיימות $A^2 - 2AB = I_n$.

אז בהכרח מתקיים:

א. B הפיכה.

ב. $|A| = 0$

ג. למערכת $ABx = 0$ פתרון יחיד.

ד. $AB = BA$

ה. אף תשובה אינה נכונה.

10) אם G היא הצורה המדורגת של מטריצה ריבועית A , אז:

א. בהכרח $\det(A) = \det(G)$ וגם $\text{adj}(A) = \text{adj}(G)$.

ב. בהכרח $\det(A) = \det(G)$, אך ייתכן ש $\text{adj}(A) \neq \text{adj}(G)$.

ג. ייתכן ש- $\det(A) \neq \det(G)$, אך בהכרח $\text{adj}(A) = \text{adj}(G)$.

ד. אף תשובה אינה נכונה.

11) תהי $A = (a_{ij})$ מטריצה ריבועית מסדר $n \geq 2$, כך ש- $a_{ij} = \begin{cases} i & i = j \\ 1 & i \neq j \end{cases}$.

לכל $1 \leq i, j \leq n$, אז בהכרח מתקיים:

א. $|A| = n! - 1$

ב. $|A| \neq 0$

ג. עמודות A בלתי-תלויות ליניאריות.

ד. $\text{adj}(A) = 0$

ה. אף תשובה אינה נכונה.

12) יהיו A, B מטריצות ממשיות מסדר $n \times n$. אז בהכרח מתקיים:

א. אם למערכת ההומוגנית $(AB)x = 0$ קיים פתרון יחיד, אז ייתכן ש- $|A| = 0$.

ב. אם קיים פתרון שונה מ-0 למערכת ההומוגנית $(AB)x = 0$,

אז למערכת ההומוגנית $Ax = 0$ קיים פתרון שונה מ-0.

ג. אם למערכת ההומוגנית $Ax = 0$ קיים פתרון יחיד, אז ייתכן ש- $A^2 = 0$.

ד. אם למערכת ההומוגנית $(A^t A)x = 0$ קיים פתרון יחיד, אז השורות

של A בלתי-תלויה ליניארית.

ה. אף תשובה אינה נכונה.

תשובות סופיות

ב (5	ד (4	ד (3	ב (2	ד (1
ד (10	ד (9	ד (8	ב (7	א (6
			ד (12	ג (11

אלגברה ליניארית ב

פרק 9 - מספרים מרוכבים - שאלות נוספות

תוכן העניינים

115	1. הגדרת המספר המרוכב
118	2. המספר הצמוד
121	3. חקירת משוואה ריבועית מרוכבת
122	4. מישור גאוס והצגה קוטבית של מספר מרוכב
126	5. נוסחת דה-מואבר למציאת שורשים של מספר מרוכב
128	6. שאלות בסדרות עם מספרים מרוכבים
129	7. שאלות שונות עם מספרים מרוכבים

הגדרת המספר המרוכב:

סיכום כללי:

הגדרות כלליות:

ע"י הסימון: $i = \sqrt{-1}$ מגדירים את המספר מהצורה: $z = a + bi$ כמספר מרוכב בעל חלק ממשי a וחלק מדומה b . המספרים a ו- b הם ממשיים.

a נקרא הרכיב הממשי של z ומסומן גם $\text{Re}(z)$ (מלשון: Real).

b נקרא הרכיב המדומה של z ומסומן גם $\text{Im}(z)$ (מלשון: Imaginary).

שאלות:

(1) רשום עם i :

א. $\sqrt{-1} =$	ב. $\sqrt{-4} =$	ג. $\sqrt{-25} =$
ד. $\sqrt{-3} =$	ה. $\sqrt{-5} =$	

(2) חשב:

א. $i =$	ב. $i^2 =$	ג. $i^3 =$
ד. $i^4 =$	ה. $i^5 =$	ו. $i^{17} =$

(3) רשום את ערכם של a ו- b בעבור המספרים המרוכבים הבאים:

א. $2 + 5i$	ב. $3 - i$	ג. $\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i$
ד. $7i$	ה. -4	ו. 0

(4) כתוב מספר מרוכב z לפי הדרישות הבאות:

א. $\text{Re}(z) = -3$, $\text{Im}(z) = 2$.

ב. $\text{Re}(z) = \text{Im}(z) = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

(5) מספר מרוכב מסוים z מקיים: $\operatorname{Re}(z) + \operatorname{Im}(z) = 4$ ו- $\operatorname{Re}(z) - \operatorname{Im}(z) = -1$. מצא את z .

(6) פתור את המשוואות הבאות:

א. $x^2 = -1$ ב. $x^2 + 36 = 0$ ג. $x^2 - 2x + 5 = 0$

(7) פתור את המשוואה הבאה: $x^2 + x + 1 = 0$.

(8) פתור את המשוואה הבאה: $z^2 + iz + 6 = 0$.

(9) נתון: $z_1 = 2 + 3i$, $z_2 = 5 - 2i$. חשב את ערכי הביטויים המרוכבים הבאים:

א. $z_1 + z_2 =$ ב. $z_1 - z_2 =$ ג. $z_1 \cdot z_2 =$

(10) חשב את ערכי הביטויים הבאים:

א. $(-2 + 6i) + (1 - i)$ ב. $(4 + 4i) - \left(3 + \frac{1}{2}i\right)$
 ג. $\left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i\right) - \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i\right)$ ד. $5 - (3 - 2i)$
 ה. $(i - 3) + 6i$ ו. $(i + 2) - (3i - 2) + (7 - 5i)$

(11) חשב את ערכי הביטויים הבאים:

א. $(1 + 4i) \cdot (8 - 2i)$ ב. $\left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}i\right) \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i\right)$
 ג. $(4i - 3) \cdot (4i + 3)$ ד. $i \cdot (i - 1)$
 ה. $(2i + 3) \cdot i$ ו. $(5i - 1)^2$

(12) נתונים שני מספרים מרוכבים $z_1 = a_1 + b_1 i$ ו- $z_2 = a_2 + b_2 i$.

ידוע כי $z_1 + z_2$ הוא ממשי וכי $z_1 - z_2$ הוא מדומה.

א. מצא קשר בין a_1 ל- a_2 וקשר בין b_1 ו- b_2 .

ב. הראה כי המכפלה $z_1 \cdot z_2$ היא ממשית.

תשובות סופיות:

- (1) א. i ב. $2i$ ג. $5i$ ד. $\sqrt{3}i$ ה. $\sqrt{5}i$
- (2) א. i ב. -1 ג. $-i$ ד. 1 ה. i ו. i
- (3) א. $a = 2, b = 5$ ב. $a = 3, b = -1$ ג. $a = \frac{\sqrt{3}}{2}, b = -\frac{1}{2}$ ד. $a = 0, b = 7$ ה. $a = -4, b = 0$ ו. $a = 0, b = 0$
- (4) א. $z = -3 + 2i$ ב. $z = \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i$
- (5) $z = 1.5 + 2.5i$
- (6) א. $x = \pm i$ ב. $x = \pm 6i$ ג. $x = 1 + 2i, 1 - 2i$
- (7) $z = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i, -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i$
- (8) $z = 2i, -3i$
- (9) א. $7 + i$ ב. $-3 + 5i$ ג. $16 + 11i$
- (10) א. $-1 + 5i$ ב. $1 + 3\frac{1}{2}i$ ג. $-\sqrt{3}i$ ד. $2 + 2i$ ה. $-3 + 7i$ ו. $11 - 7i$
- (11) א. $16 + 30i$ ב. $\frac{\sqrt{6} + \sqrt{2}}{4} + i\left(\frac{\sqrt{6} - \sqrt{2}}{4}\right)$ ג. -25 ד. $-1 - i$
- ה. $-2 + 3i$ ו. $-24 - 10i$
- (12) א. $a_1 = a_2, b_1 = -b_2$ ב. הוכחה.

המספר הצמוד:

סיכום כללי:

צמוד קומפלקסי (מרוכב):

לכל מספר מרוכב $z = a + bi$ קיים מספר צמוד המסומן ב- $\bar{z}$ וערכו: $\bar{z} = a - bi$.

שאלות:

(13) רשום את המספר הצמוד של המספרים המרוכבים הבאים:

א. $2 + 5i$	ב. $3 - i$	ג. $\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2}i$
ד. $7i$	ה. -4	ו. 0

(14) חשב:

א. $\frac{11 + 2i}{2 - i}$	ב. $\frac{3 + 7i}{2 - 5i}$	ג. $\frac{19 - 9i}{2 - 3i}$
----------------------------	----------------------------	-----------------------------

(15) נתון מספר $z = 5 - 2i$. חשב את ערכי הביטויים הבאים:

א. $\frac{1}{z}$	ב. $\frac{z}{z + 3}$	ג. $\frac{z + i}{z - i}$
------------------	----------------------	--------------------------

(16) המספר $\frac{3 + 4i}{a - i}$ הוא ממשי טהור. מצא את a .

(17) נתונים שני מספרים מרוכבים $z_1 = a_1 + b_1i$ ו- $z_2 = a_2 + b_2i$.

הראה כי כדי שתוצאת החילוק $\frac{z_1}{z_2}$ תהיה ממשית טהורה, צריך להתקיים: $\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2}$.

(18) פתור את המשוואה הבאה: $3z - 11 = iz - 7i$.

(19) פתור את המשוואה הבאה : $iz + 5 = 4i$.

(20) פתור את מערכת המשוואות הבאה (z ו- w משתנים מרוכבים) :
$$\begin{cases} 3z + iw = 5 - 4i \\ 5iz - 2w = 5 + 8i \end{cases}$$

(21) פתור את המשוואות הבאות שבהן a ו- b ממשיים :

$$\text{א. } 2a - 3i = 10 + bi \quad \text{ב. } 3a - 8 + 5bi = 2b - ai - 3i$$

(22) פתור את המשוואה הבאה : $2z + 7i = iz + \bar{z} - 3$.

(23) חשב את ערכי המספרים המרוכבים הבאים :

$$\text{א. } \sqrt{5-12i} \quad \text{ב. } \sqrt{8+6i}$$

(24) פתור את המשוואות הריבועיות הבאות :

$$\text{א. } (1-i)z^2 - 2z + i + 1 = 0$$

$$\text{ב. } (-2+i)z^2 - (6+12i)z + 10 - 25i = 0$$

(25) פתור את המשוואה הבאה : $iz^2 - 2(1-i)z + 6 + 15i = 0$.

(26) פתור את המשוואה הבאה : $z^2 - i\bar{z} + 6 = 0$.

תשובות סופיות:

- (13) א. $2-5i$ ב. $3+i$ ג. $\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}i$ ד. $-7i$ ה. -4 ו. 0
- (14) א. $4+3i$ ב. $-1+i$ ג. $5+3i$
- (15) א. $\frac{5}{29} + \frac{2}{29}i$ ב. $\frac{11}{17} - \frac{3}{34}i$ ג. $\frac{14}{17} + \frac{5}{17}i$
- (16) $a = -\frac{3}{4}$
- (17) שאלת הוכחה.
- (18) $z = 4-i$
- (19) $z = 4+5i$
- (20) $z = 2-3i, w = 5+i$
- (21) א. $a = 5, b = -3$ ב. $a = 2, b = -1$
- (22) $z = -\frac{1}{2} - 2\frac{1}{2}i$
- (23) א. $z = \pm(3-2i)$ ב. $z = \pm(3+i)$
- (24) א. $z_{1,2} = i, 1$ ב. $z_{1,2} = -2-i, 2-5i$
- (25) $z_1 = -2-5i, z_2 = 3i$
- (26) $z_1 = -3i, z_2 = 2i$

חקירת משוואה ריבועית מרוכבת:

שאלות:

(27) נתונה המשוואה הבאה: $(mi - 2)z^2 - 2(m + 2i)z + 1 = 0$

מצא לאלו ערכים של הפרמטר המרוכב m למשוואה:

א. יש פתרון יחיד.

ב. אין פתרון.

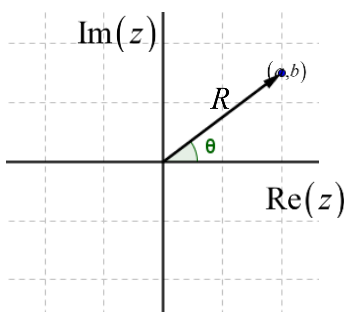
תשובות סופיות:

(27) א. $m = -i$ ב. $m = -2i$.

מישור גאוס והצגה קוטבית של מספר מרוכב:

סיכום כללי:

ניתן לאפיין מספר מרוכב z ע"י הצגתו במישור שבו ציר ה- x מייצג את a , גודל הערך הממשי של z , וציר ה- y מייצג את b , גודל הערך המדומה של z . מישור זה נקרא מישור גאוס ומופיע באיור הסמוך.



במישור גאוס ניתן לאפיין כל נקודה ע"י הזוג (a, b) או ע"י הערך המוחלט של המספר (מרחקו מ- $(0, 0)$) והזווית שלו בין הקרן החיובית של הציר הממשי לרדיוס. הצמד הנ"ל מוגדר כהצגה קוטבית של מספר מרוכב ויסומן: (R, θ) . מספר מרוכב בהצגה קוטבית:

$$z = R \cos \theta + i \cdot R \sin \theta = R(\cos \theta + i \sin \theta) = R \operatorname{cis} \theta$$

נוסחאות ומעברים:

- מעבר מהצגה קוטבית לקרטזית (אלגברית): $R = \sqrt{a^2 + b^2}$, $\tan \theta = \frac{b}{a}$.
- מעבר מהצגה קרטזית לקוטבית: $a = R \cos \theta$, $b = R \sin \theta$.
- גודל של מספר מרוכב z יסומן: $|z|$ ויחושב: $|z| = R = \sqrt{a^2 + b^2}$.

פעולות חשבון בהצגה קוטבית:

- כפל מספרים מרוכבים: $z_1 \cdot z_2 = (R_1 \operatorname{cis} \theta_1) \cdot (R_2 \operatorname{cis} \theta_2) = R_1 R_2 \operatorname{cis}(\theta_1 + \theta_2)$.
- חילוק מספרים מרוכבים: $\frac{z_1}{z_2} = \frac{R_1 \operatorname{cis} \theta_1}{R_2 \operatorname{cis} \theta_2} = \frac{R_1}{R_2} \operatorname{cis}(\theta_1 - \theta_2)$.

שאלות:

(28) כתוב את המספרים המרוכבים הבאים בהצגה אלגברית:

- | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| א. $2\text{cis}60^\circ$ | ב. $6\text{cis}135^\circ$ | ג. $4\text{cis}330^\circ$ |
| ד. $4\text{cis}(-30^\circ)$ | ה. $4\text{cis}690^\circ$ | ו. $8\text{cis}90^\circ$ |
| ז. $3\text{cis}270^\circ$ | ח. $\text{cis}180^\circ$ | ט. $\text{cis}0^\circ$ |

(29) הפוך להצגה קוטבית:

- | | | |
|-----------|-----------------|---------------------------------------|
| א. $1+i$ | ב. $\sqrt{3}-i$ | ג. $-\frac{1}{2}-\frac{\sqrt{3}}{2}i$ |
| ד. $3+4i$ | ה. $6i$ | ו. $-i$ |
| ז. 4 | ח. -1 | ט. 1 |
| י. 0 | | |

(30) חשב את ערכי הביטויים הבאים:

- | | |
|--|---|
| א. $2\text{cis}120^\circ \cdot 3\text{cis}60^\circ$ | ב. $\text{cis}210^\circ \cdot 5\text{cis}(-40^\circ)$ |
| ג. $\frac{12\text{cis}315^\circ}{3\text{cis}90^\circ}$ | ד. $\frac{1}{2\text{cis}40^\circ}$ |
| ה. $6\text{cis}30^\circ + 2\text{cis}210^\circ$ | |

(31) נתון המספר המרוכב $z = R\text{cis}\theta$. הבע באמצעות R ו- θ את המספרים:

- | | | |
|-------------------|----------|----------------------|
| א. $\bar{z}$ | ב. $1/z$ | ג. $-z$ |
| ד. $-\frac{1}{z}$ | ה. iz | ו. $z \cdot \bar{z}$ |

(32) הראה כי המספרים הבאים הם ממשיים טהורים:

- | | | |
|------------------|----------------------|--|
| א. $z + \bar{z}$ | ב. $z \cdot \bar{z}$ | ג. $\frac{z}{\bar{z}} + \frac{\bar{z}}{z}$ |
|------------------|----------------------|--|

(33) הראה כי המספרים הבאים הם מדומים טהורים:

- | | |
|----------------------|--------------------------------------|
| א. $z^2 - \bar{z}^2$ | ב. $\frac{1}{\bar{z}} - \frac{1}{z}$ |
|----------------------|--------------------------------------|

(34) הוכח את הטענות הבאות :

$$\text{א. } z - i\bar{z} = \overline{\bar{z} + iz} \quad \text{ב. } z \cdot \bar{z} = |z|^2$$

(35) מצא את קדקודיו של ריבוע החסום במעגל קנוני שרדיוסו $\sqrt{2}$ במישור גאוס אם ידוע שצלעותיו מקבילות לצירים.(36) ריבוע חסום במעגל קנוני במישור גאוס. אחד מקודקודי הריבוע הוא $1 + \sqrt{3}i$. מצא את קדקודיו האחרים.(37) משולש שווה צלעות חסום במעגל קנוני במישור גאוס. אחד מקודקודי המשולש הוא $1 + \sqrt{3}i$. מצא את קדקודיו האחרים.(38) משולש שווה שוקיים, שזווית הבסיס שלו היא 30° חסום במעגל קנוני במישור גאוס. קדקוד הראש של המשולש הוא $1 + \sqrt{3}i$. מצא את קדקודיו האחרים.(39) z הוא מספר מרוכב במישור גאוס הנמצא מחוץ למעגל היחידה. קבע אם המספרים הבאים נמצאים בתוך מעגל היחידה, עליו או מחוץ לו :

$$\text{א. } \bar{z} \quad \text{ב. } \frac{1}{z} \quad \text{ג. } \frac{z}{\bar{z}} \quad \text{ד. } z \cdot \bar{z}$$

תשובות סופיות:

- (28) א. $1 + \sqrt{3}i$ ב. $-3\sqrt{2} + 3\sqrt{2}i$ ג. $2\sqrt{3} - 2i$ ד. $2\sqrt{3} - 2i$
- ה. $2\sqrt{3} - 2i$ ו. $8i$ ז. $-3i$ ח. -1 ט. 1
- (29) א. $\sqrt{2}\text{cis}45^\circ$ ב. $2\text{cis}330^\circ$ ג. $\text{cis}240^\circ$ ד. $5\text{cis}53.13^\circ$
- ה. $6\text{cis}90^\circ$ ו. $\text{cis}270^\circ$ ז. $4\text{cis}0^\circ$ ח. $\text{cis}180^\circ$ ט. $\text{cis}0^\circ$
- (30) א. -6 ב. $5\text{cis}170^\circ$ ג. $4\text{cis}225^\circ$ ד. $\frac{1}{2}\text{cis}(-40^\circ)$
- ה. $4\text{cis}30^\circ$
- (31) א. $R\text{cis}(-\theta)$ ב. $\frac{1}{R}\text{cis}(-\theta)$ ג. $R\text{cis}(180^\circ + \theta)$
- ד. $\frac{1}{R}\text{cis}(180^\circ + \theta)$ ה. $R\text{cis}(90^\circ + \theta)$ ו. R^2
- (32) שאלת הוכחה.
- (33) שאלת הוכחה.
- (34) שאלת הוכחה.
- (35) $1+i, -1+i, -1-i, 1-i$
- (36) $-\sqrt{3}+i, -1-\sqrt{3}i, \sqrt{3}-i$
- (37) $1+\sqrt{3}i, 1-\sqrt{3}i, -2$
- (38) $1+\sqrt{3}i, -1+\sqrt{3}i, 2$
- (39) א. מחוץ למעגל. ב. בתוך המעגל. ג. על המעגל. ד. מחוץ למעגל.

נוסחת דה-מואבר למציאת שורשים של מספר מרוכב:

סיכום כללי:

משפט דה-מואבר:

כדי להעלות מספר מרוכב z בחזקת n נעזר בקשר: $(R \operatorname{cis} \theta)^n = R^n \operatorname{cis}(n\theta)$.

שורשים של מספר מרוכב:

כדי להוציא שורש n -י של מספר מרוכב z השווה למספר מרוכב אחר $z_0 = R_0 \operatorname{cis} \theta_0$

$$z^n = z_0 = R_0 \operatorname{cis} \theta_0 \Rightarrow z_k = \sqrt[n]{R_0} \cdot \operatorname{cis} \left(\frac{\theta_0}{n} + \frac{2\pi k}{n} \right) : 1 \leq k \leq n$$

נבצע:

שאלות:

(40) חשב את ערכי הביטויים הבאים תוך שימוש בנוסחת דה-מואבר:

$$\begin{array}{lll} \text{א. } (2 \operatorname{cis} 30^\circ)^3 & \text{ב. } (2 \operatorname{cis} 14^\circ)^5 & \text{ג. } (1+i)^4 \\ \text{ד. } (\sqrt{3}-i)^3 & \text{ה. } \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i\right)^{12} & \end{array}$$

(41) פתור את המשוואות הבאות:

$$\begin{array}{lll} \text{א. } z^2 = 36 \operatorname{cis} 120^\circ & \text{ב. } z^4 = (9 \operatorname{cis} 80^\circ)^2 & \text{ג. } z^5 = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i \end{array}$$

(42) מצא את סכום ומכפלת שורשי היחידה מסדר 4.

(43) נתון המספר המרוכב $z = x + iy$.

מצא את המקום הגאומטרי במישור גאוס המתקבל בעבור המשוואה: $|z| = 2$.

(44) נתון המספר המרוכב $z = x + iy$.

מצא את המקום הגאומטרי במישור גאוס המתקבל בעבור המשוואה: $|z - 3i| = 5$.

(45) נתון המספר המרוכב $z = x + iy$. מצא את המקום הגאומטרי במישור גאוס

המתקבל בעבור המשוואה: $|z + i| + |\bar{z} + i| = |1 + 3i|$.

תשובות סופיות:

(40) א. $8i$ ב. $32\text{cis}70^\circ$ ג. -4 ד. $-8i$ ה. 1 .

(41) א. $z_0 = 6\text{cis}60^\circ, z_1 = 6\text{cis}240^\circ$.

ב. $z_0 = 3\text{cis}40^\circ, z_1 = 3\text{cis}130^\circ, z_2 = 3\text{cis}220^\circ, z_3 = 3\text{cis}310^\circ$.

ג. $z_0 = \text{cis}12^\circ, z_1 = \text{cis}84^\circ, z_2 = \text{cis}156^\circ, z_3 = \text{cis}228^\circ, z_4 = \text{cis}300^\circ$.

(42) סכום: 0 , מכפלה: -1 .

(43) $x^2 + y^2 = 4$.

(44) $x^2 + (y - 3)^2 = 25$.

(45) $\frac{2x^2}{3} + \frac{2y^2}{5} = 1$.

שאלות בסדרות עם מספרים מרוכבים:

שאלות:

(46) בסדרה חשבונית האיבר השביעי הוא $a_7 = 13 + 3i$ והאיבר השלישי הוא $a_3 = 5 - 9i$. מצא את סכום עשרת האיברים הראשונים בסדרה.

(47) בסדרה הנדסית האיבר החמישי הוא $a_5 = 32 + 16i$ והאיבר השני הוא $a_2 = 2 - 4i$.
 א. מצא את האיבר הראשון בסדרה ואת מנת הסדרה, אם נתון שמנת הסדרה היא מספר מרוכב הנמצא על הציר המדומה במישור גאוס.
 ב. מצא את סכום חמשת האיברים הראשונים בסדרה.

(48) נתונים שלושה איברים סמוכים בסדרה הנדסית. האיבר הראשון ביניהם הוא 2. נתון כי אם מוסיפים לאיבר השלישי $4i$ מתקבלים שלושה איברים סמוכים בסדרה חשבונית. מצא את שלושת איברי הסדרה ההנדסית (שתי אפשרויות).

תשובות סופיות:

$$(46) \quad S_{10} = 100 - 15i$$

$$(47) \quad \text{א. } a_1 = 2 + i, q = -2i \quad \text{ב. } S_5 = 20 + 25i$$

$$(48) \quad -2, 2i, -2 \quad \text{או} \quad 2, 4 - 2i, 6 - 8i$$

שאלות שונות עם מספרים מרוכבים:

שאלות:

(49) פתור את המשוואה: $z - \bar{z} + |z| = |2 - i|^2 - 4i + \operatorname{Im}(z)$.

(50) פתור את המשוואה: $|2 - 3^{x^2 - x - 1}i| = \sqrt{13}$.

(51) פתור את המשוואה: $z^3 = \bar{z}$.

(52) הוכח: אם מקדמי משוואה ריבועית הם מספרים ממשיים ואין למשוואה פתרונות ממשיים אז פתרונות המשוואה הם שני מספרים צמודים.

(53) נתונים שני מספרים מרוכבים שאינם ממשיים טהורים. הוכח: אם סכום המספרים ממשי ומכפלתם ממשית אז המספרים צמודים.

(54) נתון מספר מרוכב z , שאינו ממשי טהור ואינו מדומה טהור.

הוכח כי אם $z - \frac{1}{\bar{z}}$ ממשי אז z על מעגל היחידה.

(55) הוכח את הנוסחה הבאה: $R_1 \operatorname{cis} \theta_1 \cdot R_2 \operatorname{cis} \theta_2 = R_1 R_2 \operatorname{cis}(\theta_1 + \theta_2)$.

(56) z הוא מספר מרוכב על מעגל היחידה ברביע הראשון.

נתון: $|z^4 - z^3| = \sqrt{2 - \sqrt{3}}$. מצא את $\arg(z)$.

(57) z הוא מספר מרוכב על מעגל היחידה.

מצא את ערך הביטוי $z + iz$, אם ידוע שהוא ממשי.

(58) z_1 ו- z_2 הם פתרונות המשוואה הבאה: $z^2 - 2\cos\theta \cdot z + 1 = 0$.
הבע באמצעות θ את גודל הזווית $\angle z_1 O z_2$ (O ראשית הצירים).

תשובות סופיות:

(49) $z_1 = 3 - 4i, z_2 = -3 - 4i$

(50) $x = 2, -1$

(51) $z_1 = 0, z_2 = i, z_3 = -i, z_4 = 1, z_5 = -1$

(52) שאלת הוכחה.

(53) שאלת הוכחה.

(54) שאלת הוכחה.

(55) שאלת הוכחה.

(56) $\arg(z) = 30^\circ$

(57) $z + iz = \sqrt{2}, -\sqrt{2}$

(58) 2θ