

אלגברה ליניארית לפיזיקאים

פרק 4 - מרחבים וקטורים

תוכן העניינים

1. מרחבים ותת-מרחבים..... 1
2. צירופים ליניאריים, פרישה ליניארית ותלות ליניארית..... 5
3. בסיס ומימד, דרגה של מטריצה..... 9
4. חיתוך, סכום וסכום ישר של תת-מרחבים..... 13
5. וקטור קואורדינטות ומטריצת מעבר מבסיס לבסיס..... 18
6. תרגילי תיאוריה מתקדמים..... 20

מרחבים ותת-מרחבים

סימון

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

שאלות

בשאלות 1-7 בדוק האם W תת-מרחב של R^3 :

$$W = \{(a, b, c) \mid a + b + c = 0\} \quad (1)$$

$$W = \{(a, b, c) \mid a = c\} \quad (2)$$

$$W = \{(a, b, c) \mid a = 3b\} \quad (3)$$

$$W = \{(a, b, c) \mid a < b < c\} \quad (4)$$

$$W = \{(a, b, c) \mid a = c^2\} \quad (5)$$

$$W = \{(a, b, c) \mid c - b = b - a\} \quad (6)$$

כלומר, a, b ו- c מהווים סדרה חשבונית.

$$W = \{(a, b, c) \mid b = a \cdot q, c = a \cdot q^2\} \quad (7)$$

כלומר, a, b ו- c מהווים סדרה הנדסית.

בשאלות 8-15 בדוק האם W תת-מרחב של $M_n[R]$:

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

(9) W מורכב מכל המטריצות המתחלפות בכפל עם מטריצה נתונה B . כלומר, $W = \{A \mid AB = BA\}$.

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

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

(12) W מורכב מכל המטריצות שהן משולשות עליונות.

(13) W מורכב מכל המטריצות שמכפלתן במטריצה נתונה B הוא אפס. כלומר, $W = \{A \mid AB = 0\}$.

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

(15) W מורכב מכל המטריצות שבהן סכום כל שורה הוא אפס.

בשאלות 16-21 בדוק האם W הוא תת-מרחב של $P_n[R]$:

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

(17) W מורכב מכל הפולינומים בעלי מקדמים שלמים.

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

(19) W מורכב מכל הפולינומים בעלי חזקות זוגיות בלבד של x .

(20) W מורכב מכל הפולינומים ממעלה n , כאשר $4 \leq n \leq 7$.

(21) $W = \{p(x) \mid p(0) = 1\}$

בשאלות 22-30 בדוק האם W הוא תת-מרחב של $F[\mathbb{R}]$:

(22) W מורכב מכל הפונקציות הזוגיות.
 כלומר, לכל x ממשי $W = \{f(x) \mid f(-x) = f(x)\}$.

(23) W מורכב מכל הפונקציות החסומות.
 כלומר, לכל x ממשי $W = \{f(x) \mid |f(x)| \leq M\}$.

(24) W מורכב מכל הפונקציות הרציפות.

(25) W מורכב מכל הפונקציות הגזירות.

(26) W מורכב מכל הפונקציות הקבועות.

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

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

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

(30) $W = \{f(x) \mid f(x) = f(x+1)\}$

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

א. מעל השדה הממשי \mathbb{R} .

ב. מעל שדה המרוכבים \mathbb{C} .

(32) נתונה המטריצה $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 3 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

א. מצא וקטור b , כך שלמערכת $Ax = b$ אין פתרון.

ב. מהי קבוצת כל הווקטורים b , כך שלמערכת $Ax = b$ אין פתרון?

ג. האם הקבוצה מסעיף ב' מהווה תת-מרחב של R^5 ?

- (33) יהי V מרחב הפולינומים ממעלה קטנה או שווה ל-4, מעל שדה F .
 א. מצאו תנאי על k , עבורו הקבוצה $W = \{p \in V \mid p(0) = p(1) = p(2) = k\}$,
 הינה תת-מרחב של V .
 ב. מצאו קבוצה סופית של פולינומים מ- V , שפורשים את W .

הערה: לפתרון סעיף זה עבור קודם על הנושא 'בסיס ומימד למרחב הפתרונות של מערכת משוואות הומוגנית'.

תשובות סופיות

- | | | | | | | | | | |
|------|------------------------------------|--|----|------|----|------|----|------|----|
| (1) | כן | (2) | כן | (3) | כן | (4) | לא | (5) | לא |
| (6) | כן | (7) | לא | (8) | כן | (9) | כן | (10) | לא |
| (11) | לא | (12) | כן | (13) | כן | (14) | כן | (15) | כן |
| (16) | כן | (17) | לא | (18) | כן | (19) | כן | (20) | לא |
| (21) | לא | (22) | כן | (23) | כן | (24) | כן | (25) | כן |
| (26) | כן | (27) | לא | (28) | כן | (29) | לא | (30) | כן |
| (31) | א. כן
ב. לא | | | | | | | | |
| (32) | א. $u = (1, 0, 0, 0, 0)$
ג. לא. | ב. $B = \{(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) \mid -b_1 + b_2 + 2b_3 \neq 0\}$ | | | | | | | |
| (33) | א. $k = 0$ | ב. $W = \text{span}\{2x - 3x^2 + x^3, 6x - 7x^2 + x^4\}$ | | | | | | | |

צירופים לינאריים, פרישה לינארית ותלות לינארית

שאלות

בשאלות 1-7 נתונים הווקטורים הבאים :

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

- (1) א. האם u_1 הוא צירוף לינארי של u_4 ?
 ב. האם u_1 שייך ל- $Sp\{u_4\}$?
 ג. האם הקבוצה $\{u_1, u_4\}$ תלויה לינארית?
- (2) א. האם u_3 הוא צירוף לינארי של u_1 ו- u_2 ?
 ב. האם u_3 שייך ל- $Sp\{u_1, u_2\}$?
 ג. האם הקבוצה $\{u_1, u_2, u_3\}$ תלויה לינארית?
 במידה וכן, רשום כל וקטור בקבוצה כצירוף לינארי של הווקטורים האחרים.
- (3) א. האם u_4 הוא צירוף לינארי של u_1 ו- u_2 ?
 ב. האם u_4 שייך ל- $Sp\{u_1, u_2\}$?
 ג. האם הקבוצה $\{u_1, u_2, u_4\}$ תלויה לינארית?
 במידה וכן, רשום כל וקטור בקבוצה כצירוף לינארי של הווקטורים האחרים.
- (4) נתון $v = (4, 12, k, -2k)$.
 א. מה צריך להיות ערכו של k , על מנת שהווקטור v יהיה צירוף לינארי של u_1 ו- u_2 ?
 ב. מה צריך להיות ערכו של k , על מנת שהווקטור v יהיה שייך ל- $Sp\{u_1, u_2\}$?
 ג. מה צריך להיות ערכו של k , על מנת שהקבוצה $\{u_1, u_2, v\}$ תהיה תלויה לינארית?
- (5) נתון $v = (a, b, c, d)$.
 א. מה התנאים על a, b, c, d , על מנת שהווקטור v יהיה צירוף לינארי של u_1 ו- u_2 ?
 ב. מה התנאים על a, b, c, d , על מנת שהווקטור v יהיה שייך ל- $Sp\{u_1, u_2\}$?
 ג. מה התנאים על a, b, c, d , על מנת שהקבוצה $\{u_1, u_2, v\}$ תהיה תלויה לינארית?

6) הבע את הווקטור $v = (10, 8, 0, 14)$ כצירוף לינארי של u_1, u_2, u_3 . בכמה אופנים ניתן לעשות זאת?

7) הבע את הווקטור $v = (7, 10, -2, 11)$ כצירוף לינארי של u_1, u_2, u_3, u_4 . בכמה אופנים ניתן לעשות זאת?

8) נתונות המטריצות הבאות:

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

- א. בדוק האם המטריצות תלויות ליניארית מעל $M_2[R]$.
 ב. במידה והמטריצות תלויות, רשום כל אחת מהמטריצות כצירוף לינארי של יתר המטריצות.
 ג. האם המטריצה A שייכת ל- $Sp\{B, C\}$?

9) נתונים הפולינומים הבאים: $p_1(x) = 4 + x + x^2 + 5x^3$, $p_2(x) = 11x - 5x^2 + 3x^3$, $p_3(x) = 2 - 5x + 3x^2 + x^3$, $p_4(x) = 1 + 3x - x^2 + 2x^3$

- א. בדוק האם הפולינומים תלויים ליניארית מעל $P_3[R]$.
 ב. במידה והפולינומים תלויים ליניארית, רשום כל פולינום כצירוף לינארי של שאר הפולינומים.
 ג. האם הפולינום p_2 שייך ל- $Sp\{p_1, p_4\}$?

10) עבור איזה ערכים של a, b, c , הווקטורים הבאים תלויים ליניארית:

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

בשאלות 11-13 נתון כי קבוצת הווקטורים $\{u, v, w\}$ בלתי תלויה ליניארית ב- $V[F]$. בדוק האם הקבוצות הבאות תלויות ליניארית, ובמידה וכן רשום כל וקטור כצירוף של הווקטורים האחרים:

$$\{u - v, u - w, u + v - 2w\} \quad (11)$$

$$\{u + 2v + 3w, 4u + 5v + 6w, 7u + 8v + 9w\} \quad (12)$$

$$\{u + v, v + w, w\} \quad (13)$$

בשאלות 14-15 בדוק האם הווקטורים $\{(1, i, i-1), (i+1, i-1, -2)\}$ תלויים ליניארית ב- C^3 :

(14) מעל C .

(15) מעל R .

(16) נתבונן ב- $V = R$ כמרחב וקטורי מעל השדה Q . הוכיחו כי הקבוצה $\{1, \sqrt{2}, \sqrt{3}\}$ היא בת"ל ב- R , כשהוא מרחב וקטורי מעל Q .

(17) תהי $A_{m \times n}$ מטריצה, שעמודותיה A_1, A_2, \dots, A_n . הוכיחו את הטענה הבאה :

למערכת $Ax = b$ יש פתרון אם ורק אם $b \in \text{span}\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$.

(18) לפניכם 3 תת-קבוצות של R^4 :

$$U = \text{span}\{(1, 2, 2, 1), (1, 1, -1, -1), (0, 0, 1, 1)\}$$

$$W = \text{span}\{(1, 1, 0, 0), (1, 2, 1, 0), (1, 3, 3, 1)\}$$

$$V = \text{span}\{(2, 3, 1, 0), (1, 2, 1, 0), (1, 4, 3, 1)\}$$

א. האם $U = W$?

ב. האם $U = V$?

תשובות סופיות

- (1) א. לא. ב. לא. ג. לא.
- (2) א. כן. ב. כן. ג. כן, $u_1 = 2u_3 + u_2$, $u_2 = u_1 - 2u_3$.
- (3) א. כן. ב. כן. ג. כן, $u_1 = 4u_4 - u_2$, $u_2 = 4u_4 - u_1$.
- (4) א+ב+ג. $k = -4$.
- (5) $a = 5t + 3s$, $b = 4t - 13s$, $c = 7s$, $d = 7t$.
- (6) $v = 2u_1 + u_2 + u_3$, אינסוף.
- (7) $v = \frac{7}{4}u_1 + \frac{3}{4}u_2$, אינסוף.
- (8) א. המטריצות תלויות. ג. כן. $A = B + 2C$.
- ב. $A = B + 2C$, $B = A - 2C$, $C = 0.5A - 0.5B$, $D = 0.25A + 0.25B$.
- (9) א. הפולינומים תלויים. ג. $p_2 = 4p_4 - p_1$.
- ב. $p_1 = p_2 + 2p_3$, $p_2 = p_1 - 2p_3$, $p_3 = 0.5p_1 - 0.5p_2$, $p_4 = 0.25p_1 + 0.25p_2$.
- (10) לכל ערך של a, b, c .
- (11) הווקטורים תלויים ליניארית, ומתקיים: $x = 2y - z$, $y = 0.5x + 0.5z$, $z = 2y - x$.
- (12) הווקטורים תלויים ליניארית, ומתקיים: $x = 2y - z$, $y = 0.5x + 0.5z$, $z = 2y - x$.
- (13) בלתי תלויים ליניארית.
- (14) תלויים.
- (15) בלתי תלויים ליניארית.
- (16) הוכחה.
- (17) הוכחה.
- (18) א. כן. ב. לא.

בסיס ומימד, דרגה של מטריצה

שאלות

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

א. $\{(1,0,1), (0,0,1)\}$

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

ג. $\{(1,2,3), (4,5,6), (7,8,9)\}$

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

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

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

ג. $\left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$

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

א. $\{1+x, x^2+2x+3\}$

ב. $\{1+x, x^2+2x+3, 2x+4x^2, x-x^2\}$

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

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

א. האם T בסיס ל- R^3 ?

ב. מצא קבוצה T' , שהיא קבוצה מקסימלית של וקטורים,

בלתי תלויה ליניארית ב- T .

ג. השלם את T' לבסיס של R^3 .

מציאת בסיס וממד למרחב פתרונות של מערכת משוואות הומוגנית

(5) לפי 3 מערכות של משוואות הומוגניות:

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

1. נסמן ב- W את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות2. נסמן ב- U את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות3. נסמן ב- V את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואותמצא בסיס וממד ל- U , W ו- V .

(6) נתון $U = \{(a, b, c, d) \in \mathbb{R}^4 \mid a = c, b = d\}$

מצא בסיס וממד ל- U .

(7) נתון $U = \{(a, b, c, d) \in \mathbb{R}^4 \mid c = a + b, d = b + c\}$

מצא בסיס וממד ל- U .

(8) נתון $U = \{v \in \mathbb{R}^4 \mid v \cdot (1, -1, 1, -1) = 0\}$

מצא בסיס וממד ל- U .

(9) נתון $U = \{A \in M_{2 \times 2}[\mathbb{R}] \mid A = A^T\}$

מצא בסיס וממד ל- U .

(10) נתון $U = \left\{ A \in M_{2 \times 2}[\mathbb{R}] \mid A \cdot \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}$

מצא בסיס וממד ל- U .

(11) נתון $U = \{p(x) \in P_3[\mathbb{R}] \mid p(1) = 0\}$

מצא בסיס וממד ל- U .

מציאת בסיס וממד לתת-מרחב

(12) לפניכם שני תתי מרחבים של המרחב R^4 :

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

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

א. מצא בסיס, ממד ומשוואות ל- U .

ב. מצא בסיס, ממד ומשוואות ל- V .

(13) לפניכם תת-מרחב של המרחב $M_{2 \times 2}[R]$:

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

מצא בסיס וממד ל- U .

(14) לפניכם תת-מרחב של המרחב $P_3[R]$:

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

מצא בסיס וממד ל- U .

מציאת בסיס וממד למרחב שורה ומרחב עמודה של מטריצה, דרגת מטריצה

בשאלות 15-16 מצא בסיס וממד למרחב השורה ומרחב העמודה של המטריצה, וציין את דרגת המטריצה (rank) :

$$\begin{pmatrix} 4 & 1 & 1 & 5 \\ 0 & 11 & -5 & 3 \\ 2 & -5 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 & 5 \\ 2 & 5 & 3 & 1 & 6 \\ 1 & -1 & -2 & 2 & 1 \\ -2 & 3 & 5 & -4 & -1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

תשובות סופיות

- (1) א. לא. ב. לא. ג. לא.
- (2) א. לא. ב. לא. ג. כן.
- (3) א. לא. ב. לא. ג. כן.
- (4) א. לא. ב. $T' = \{(1,2,3), (4,5,6)\}$. ג. $T' = \{(1,2,3), (4,5,6), (0,0,1)\}$.
- (5) א. W - בסיס: $\{(-1.5, 2.5, 1, 0), (-1.5, -0.5, 0, 1)\}$, ממד: 2.
- U - בסיס: $\{(-2, -1, 1, 0), (1, 2, 0, 1)\}$, ממד: 2.
- V - בסיס: $\{(-1, 0, 0, 1), (-1, 0, 1, 0), (1, 1, 0, 0)\}$, ממד: 3.
- (6) בסיס: $\{(0, 1, 0, 1), (1, 0, 1, 0)\}$, ממד: 2.
- (7) בסיס: $\{(-1, 1, 0, 1), (2, -1, 1, 0)\}$, ממד: 2.
- (8) בסיס: $\{(1, 0, 0, 1), (-1, 0, 1, 0), (1, 1, 0, 0)\}$, ממד: 3.
- (9) בסיס: $\left\{ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}$, ממד: 3.
- (10) בסיס: $\left\{ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}$, ממד: 0.
- (11) בסיס: $\{p_1(x) = -1 + x^3, p_2(x) = -1 + x^2, p_3(x) = -1 + x\}$, ממד: 3.
- (12) א. בסיס: $\{(1, 1, -1, 2), (0, -4, 10, -2)\}$, ממד: 2.
- ב. בסיס: $\{(1, -1, 1, 1), (0, -1, 1, -2), (0, 0, -2, 5)\}$, ממד: 3.
- (13) בסיס: $\left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -3 \\ 3 & -7 \end{pmatrix} \right\}$, ממד: 2.
- (14) בסיס: $\{1 + x - x^2 + 2x^3, -3x + 3x^2 - 7x^3\}$, ממד: 2.
- (15) מרחב שורה: בסיס: $\{(4, 1, 1, 5), (0, 11, -5, 3)\}$, ממד: 2.
- מרחב עמודה: בסיס: $\left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix} \right\}$, ממד: 2, דרגה: 2.
- (16) מרחב שורה: בסיס: $\{(1, 2, 1, 3, 5), (0, 11, -5, -4), (0, 0, 0, 1, 1)\}$, ממד: 3.
- מרחב עמודה: בסיס: $\left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \\ -2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -3 \\ 7 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -16 \\ 37 \end{pmatrix} \right\}$, ממד: 3, דרגה: 3.

חיתוך, סכום וסכום ישר של תת-מרחבים

שאלות

(1) לפניך 3 מערכות של משוואות לינאריות הומוגניות:

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

נסמן ב- V, U, W את המרחבים הנפרשים ע"י פתרון המערכות 1, 2 ו-3 בהתאמה.

א. מצא בסיס וממד ל- U, W ו- V .

ב. מצא בסיס וממד ל- $U + V$.

ג. מצא בסיס וממד ל- $U \cap V$.

(2) לפניכם שני תת-מרחבים של המרחב R^4 :

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

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

א. מצא בסיס, ממד ומשוואות ל- U .

ב. מצא בסיס, ממד ומשוואות ל- V .

ג. מצא בסיס וממד ל- $U + V$.

ד. מצא בסיס וממד ל- $U \cap V$ (פתור בשתי דרכים שונות).

ה. האם $U + V = R^4$?

ו. האם $U \oplus V = R^4$?

(3) לפניכם שני תת-מרחבים של המרחב $P_3[R]$:

$$U = sp\{1 + x - x^2 + 2x^3, 3 - x + 7x^2 + 4x^3, -5 + 3x - 15x^2 - 6x^3\}$$

$$V = sp\{1 - x + x^2 + x^3, 1 + 2x^2 - x^3, 1 + x + 3x^2 - 3x^3, 5 + x + 5x^2 + 8x^3\}$$

א. מצא בסיס וממד ל- $U + V$.

ב. מצא בסיס וממד ל- $U \cap V$.

(4) לפניכם שני תת-מרחבים של המרחב $P_3[R]$:

$$U = sp\{1 + x + x^3, 1 + 2x + x^2 + 2x^3, -1 + 2x + 3x^2 + 2x^3\}$$

$$V = \{p(x) \in P_3[R] \mid p(1) = p(-1) = 0\}$$

א. מצא בסיס וממד ל- $U + V$.

ב. מצא בסיס וממד ל- $U \cap V$.

$$U = \text{sp}\{1+x, x+x^2, 1+x^3\} \quad (5) \quad \text{לפניכם שני תת-מרחבים של המרחב } P_3[R] :$$

$$V = \{p(x) \in P_3[R] \mid p'(0) = 0\}$$

מצא בסיס וממד ל- $U \cap V$.

$$(6) \quad \text{לפניכם שני תת-מרחבים של המרחב } M_2[R]$$

$$U = \left\{ \begin{pmatrix} x+3y-5z & x-y+3z \\ -x+7y-15z & 2x+4y-6z \end{pmatrix} \mid x, y, z \in R \right\}$$

$$W = \text{sp} \left\{ \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 3 & -3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 & 1 \\ 5 & 8 \end{pmatrix} \right\}$$

- מצא בסיס וממד ל- U ול- W .
- מצא בסיס וממד ל- $U+W$.
- מצא בסיס וממד ל- $U \cap W$.
- אשר את משפט הממד עבור תרגיל זה.

$$(7) \quad \text{לפניכם שני תת-מרחבים של המרחב } V = M_2[R] :$$

$$U = \{A \in V \mid A = -A^T\}, \quad W = \left\{ A \in V \mid A \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix} = 0 \right\}$$

- מצא בסיס וממד ל- U ול- W .
- מצא בסיס וממד ל- $U+W$.
- מצא בסיס וממד ל- $U \cap W$.
- האם $U+W = V$?
- האם $U \oplus W = V$?

$$(8) \quad \text{לפניכם שני תת-מרחבים של המרחב } V = M_3[R] :$$

$$U = \{A \in V \mid A = A^T\}, \quad W = \{A \in V \mid A \text{ משולשית עליונה}\}$$

- מצא בסיס וממד ל- U .
- מצא בסיס וממד ל- W .
- מצא בסיס וממד ל- $U+W$.
- מצא בסיס וממד ל- $U \cap W$.
- $U \oplus W = V$.

$$(9) \quad \text{יהיו } U \text{ ו- } W \text{ שני תת-מרחבים מממד 2 של } R^3.$$

הוכח כי $\dim(U \cap W) \neq 0$.

- (10)** יהי V מרחב וקטורי מממד 10.
 יהיו U ו- W שני תת-מרחבים שונים של V מממד 9.
 א. הוכח כי $U+W=V$.
 ב. חשב $\dim(U \cap W)$.
- (11)** יהי V מרחב וקטורי מממד 10.
 יהיו U ו- W שני תת-מרחבים שונים של V מממד 7.
 מצא את המימדים האפשריים של $U \cap W$ ו- $U+W$.
- (12)** יהי V מרחב וקטורי מממד 7.
 יהיו U ו- W שני תת-מרחבים של V , כך ש- $\dim U = 4$, $\dim W = 5$, $(U \not\subseteq W)$.
 מצא את המימדים האפשריים של $U \cap W$ ו- $U+W$.
- (13)** יהי V מרחב וקטורי מעל שדה F , $\phi \neq A, B \subseteq V$.
 נגדיר: $A+B = \{a+b \mid a \in A, b \in B\}$.
 הוכח או הפרך:
 א. $sp(A+B) = sp(A) \cup sp(B)$.
 ב. $sp(A \cup B) = sp(A) \cup sp(B)$.
 ג. $sp(A \cup B) = sp(A) + sp(B)$.
 ד. $sp(A+B) = sp(A) + sp(B)$.
 ה. $sp(A \cap B) = sp(A) \cap sp(B)$.
- (14)** יהיו U ו- W תת-מרחבים של R^3 , המוגדרים על ידי:
 $U = \{(a, b, c) \mid a = b = c\}$, $W = \{(0, b, c)\}$
 הוכח כי $U \oplus W = R^3$.
- (15)** יהי $V = M_n[R]$.
 א. יהי U תת-מרחב של V המכיל את כל המטריצות הסימטריות.
 יהי W תת-מרחב של V המכיל את כל המטריצות האנטי-סימטריות.
 הוכח כי $U \oplus W = V$.
 ב. יהי U תת-מרחב של V המכיל את כל המטריצות המשולשות העליונות.
 יהי W תת-מרחב של V המכיל את כל המטריצות המשולשות התחתונות.
 הוכח כי $U \oplus W \neq V$.

תשובות סופיות

$$B_W = \{(-1.5, 2.5, 1, 0), (-1.5, -0.5, 0, 1)\} \quad , \quad \dim W = 2 \quad \text{א. (1)}$$

$$B_U = \{(-2, -1, 1, 0), (1, 2, 0, 1)\} \quad , \quad \dim U = 2$$

$$B_V = \{(-1, 0, 0, 1), (-1, 0, 1, 0), (1, 1, 0, 0)\} \quad , \quad \dim V = 3$$

$$B_{U+V} = \{(0, 0, -1, 1), (0, 1, 1, 0), (1, 1, 0, 0)\} \quad \dim(U+V) = 3 \quad \text{ב.}$$

$$B_{U \cap V} = \{(-2, -1, 1, 0), (1, 2, 0, 1)\} \quad , \quad \dim(U \cap V) = 2 \quad \text{ג.}$$

$$\begin{cases} -3x + 5y + 2z = 0 \\ -3x - y + 2t = 0 \end{cases} \quad , \quad B_U = \{(1, 1, -1, 2), (0, 2, -5, 1)\} \quad , \quad \dim U = 2 \quad \text{א. (2)}$$

$$-8x - y + 5z + 2t = 0 \quad , \quad B_V = \{(1, -1, 1, 1), (0, 1, 1, -2), (0, 0, 2, -5)\} \quad , \quad \dim V = 3 \quad \text{ב.}$$

$$B_{U+V} = \{(1, 1, -1, 2), (0, -4, 10, -2), (0, 0, 1, 0), (0, 0, 0, 1)\} \quad , \quad \dim(U+V) = 4 \quad \text{ג.}$$

$$B_{U \cap V} = \{(5, 1, 5, 8)\} \quad , \quad \dim(U \cap V) = 1 \quad \text{ד.}$$

$$U+V = sp\{1+x-x^2+2x^3, 2x-5x^2+x^3, x^2, x^3\} \quad , \quad \dim(U+V) = 4 \quad \text{א. (3)}$$

$$B_{U \cap V} = \{5+x+5x^2+8x^3\} \quad , \quad \dim(U \cap V) = 1 \quad \text{ב.}$$

$$B_{U+V} = \{1+x+x^3, x+x^2+x^3, x^2+2x^3\} \quad , \quad \dim(U+V) = 3 \quad \text{א. (4)}$$

$$B_{U \cap V} = \{-1+x^2\} \quad , \quad \dim(U \cap V) = 1 \quad \text{ג.}$$

$$B_{U \cap V} = \{-1+x^2, 1+x^3\} \quad , \quad \dim(U \cap V) = 2 \quad \text{ב. (5)}$$

$$B_U = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -4 \\ 10 & -2 \end{pmatrix} \right\} \quad , \quad \dim(U) = 2 \quad \text{א. (6)}$$

$$B_W = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -6 & 15 \end{pmatrix} \right\} \quad , \quad \dim(W) = 3$$

$$B_{U+W} = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ -5 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\} \quad , \quad \dim(U+W) = 4 \quad \text{ב.}$$

$$B_{U \cap W} = \left\{ \begin{pmatrix} 5 & 1 \\ 5 & 8 \end{pmatrix} \right\} \quad , \quad \dim(U \cap W) = 1 \quad \text{ג.}$$

ד. ראו בווידאו.

$$B_U = \left\{ \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \right\}, \dim U = 1, \quad B_W = \left\{ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}, \dim W = 2. \quad \text{א. (7)}$$

$$B_{U+W} = \left\{ \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}, \quad \dim(U+W) = 3. \quad \text{ב.}$$

$$B_{U \cap W} = \left\{ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \right\}, \quad \dim(U \cap W) = 0. \quad \text{ג.}$$

ד. לא. ה. לא.

א. (8)

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

$$\dim U = 6$$

ב.

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

$$\dim W = 6$$

ג.

$$B_{U+W} = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

$$\dim(U+W) = 9$$

$$B_{U \cap W} = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}, \quad \dim(U \cap W) = 3. \quad \text{ד.}$$

ה. לא.

הוכחה. (9)

א. הוכחה. (10) ב. 8

$$\dim(U+W) = 8, 9 \text{ or } 10, \quad \dim(U \cap W) = 4, 5, 6 \text{ or } 7 \quad \text{(11)}$$

$$\dim(U \cap W) = 2, 3 \text{ or } 4, \quad \dim(U+W) = 6 \text{ or } 7 \quad \text{(12)}$$

הוכחה. (13)

הוכחה. (14)

הוכחה. (15)

וקטור קואורדינטות ומטריצת מעבר מבסיס לבסיס

(1) נתונים שני בסיסים של R^3 :

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

א. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B_1 .

$$\text{סמן וקטור זה ב- } [v]_{B_1}.$$

ב. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B_2 .

$$\text{סמן וקטור זה ב- } [v]_{B_2}.$$

ג. מצא מטריצת מעבר מהבסיס B_1 לבסיס B_2 .

$$\text{סמן מטריצה זו ב- } [M]_{B_1}^{B_2}.$$

ד. מצא מטריצת מעבר מהבסיס B_2 לבסיס B_1 .

$$\text{סמן מטריצה זו ב- } [M]_{B_1}^{B_2}.$$

ה. אשר 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) נתונים שני בסיסים של $P_2[R]$:

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

א. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B_1 .

$$\text{סמן וקטור זה ב- } [v]_{B_1}.$$

ב. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B_2 .

$$\text{סמן וקטור זה ב- } [v]_{B_2}.$$

ג. מצא מטריצת מעבר מהבסיס B_1 לבסיס B_2 .

$$\text{סמן מטריצה זו ב- } [M]_{B_1}^{B_2}.$$

$$B = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\} \quad (3) \text{ נתונים שני בסיסים של } M_2[R]$$

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

א. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B .

סמן וקטור זה ב- $[v]_B$.

ב. מצא את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס E .

סמן וקטור זה ב- $[v]_E$.

ג. מצא מטריצת מעבר מהבסיס B לבסיס E .

סמן מטריצה זו ב- $[M]_B^E$.

(4) יהי V מרחב וקטורי ויהי B בסיס של V .

הוכח כי הווקטורים $\{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ בת"ל,

אם ורק אם וקטורי הקואורדינטות שלהם,

לפי הבסיס B , $\{[u_1], [u_2], \dots, [u_m]\}$, הם בת"ל.

הסבר כיצד השתמשנו בטענה זו רבות במהלך הקורס.

תשובות סופיות

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

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

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

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{ג.} \quad (x, y, z, t) \quad \text{ב.} \quad (x, y-x, z-y+x, t-z+y-x) \quad \text{א.} \quad (3)$$

(4) שאלת הוכחה.

תרגילי תיאוריה מתקדמים

שאלות הוכחה

- (1) יהי V מרחב, ותהי $A = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ קבוצה; $b \in V$.
 הוכיחו כי: $b \in sp(A) \Leftrightarrow sp(A \cup \{b\}) = sp(A)$.
- (2) יהיו u, v, w וקטורים, כך ש- $\{u, v\}$ בלתי-תלויה ליניארית ו- $u \in sp(\{v, w\})$.
 א. הוכיחו ש- $w \in sp(\{u, v\})$.
 ב. נתון גם כי עבור וקטור נוסף z , הקבוצה $\{u, w, z\}$ בלתי-תלויה ליניארית.
 הוכיחו שגם הקבוצה $\{u, v, z\}$ בלתי-תלויה ליניארית.
- (3) יהי U מרחב, תהי $A = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \subseteq U$ ויהי $u \in U$ וקטור כלשהו.
 הוכח כי אם $u \in sp(A)$, וכן $u \notin sp(A - \{u_n\})$, אז $u_n \in sp(u_1, u_2, \dots, u_{n-1}, u)$.
- (4) יהי V מרחב, $b \in V$ ו- $A = \{v_1, v_2, \dots, v_k\} \subseteq V$ בלתי-תלויה ליניארית.
 הוכיחו כי $A \cup \{b\} = \{v_1, v_2, \dots, v_k, b\}$ בת"ל $\Leftrightarrow b \in sp(A)$.
- (5) יהי V מרחב n מימדי, תהי $A = \{v_1, v_2, \dots, v_k\} \subseteq V$ ויהי $b \in sp(A)$.
 למשוואה $x_1 v_1 + x_2 v_2 + \dots + x_k v_k = b$ אין פתרון יחיד.
 הוכח או הפרך:
 א. $k \geq n$.
 ב. A פורשת את V .
 ג. A בהכרח תלויה ליניארית.
- (6) יהי V מרחב, $b \in V$ ו- $A = \{v_1, v_2, \dots, v_k\} \subseteq V$ בלתי-תלויה ליניארית.
 הוכח או הפרך:
 א. אם $b \notin sp(A)$, אז הקבוצה $B = \{v_1 + b, v_2 + b, \dots, v_n + b\}$ היא בת"ל.
 ב. אם $b \in sp(A)$, אז הקבוצה $B = \{v_1 + b, v_2 + b, \dots, v_n + b\}$ היא בת"ל.
 ג. אם $b \in sp(A)$, אז הקבוצה $B = \{v_1 + b, v_2 + b, \dots, v_n + b\}$ היא ת"ל.

- (7) יהי V מרחב וקטורי מעל \mathbb{R} , ויהיו $v_1, v_2, v_3 \in V$.
 נסמן: $S = \{v_1, v_2, v_3\}$, $T = \{av_1 + v_2 + v_3, v_1 + av_2 + v_3, v_1 + v_2, av_3\}$.
 הוכח או הפרך:
 א. $spS \subseteq spT$.
 ב. אם S בלתי תלויה ליניארית ואם $a \neq -2, 1$, אז בהכרח $sp(T) = sp(S)$.
 ג. $\dim(spT) \leq 2$.
 ד. $\dim(sp(T)) = \dim(sp(S))$.
- (8) יהי V מרחב ותהיינה $A = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$, $B = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ קבוצות וקטורים ב- V .
 הוכח או הפרך:
 א. $sp(A \cup B) = sp(A) + sp(B)$.
 ב. אם $A \cup B$ בת"ל, אז A, B שתיהן בת"ל.
 ג. אם $\dim V = m + k$ וגם A, B שתיהן בת"ל, אז $A \cup B$ בת"ל.
 ד. אם $A \cup B$ בת"ל, אז $sp(A) \cap sp(B) = \{0\}$.
- (9) יהי V מרחב ויהיו $U, W \subseteq V$ תמריים.
 תהיינה $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \subseteq U$, $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ שתי קבוצות בת"ל.
 הוכח כי אם $U \cap W = \{0\}$, אז $A \cup B$ בת"ל.
- (10) יהי V מרחב ויהיו U, W תמריים שלו.
 הוכח כי $U \cup W$ מרחב $\Leftrightarrow W \subseteq U$ או $U \subseteq W$.

לפתרונות המלאים בסרטוני וידאו היכנסו ל- www.GooL.co.il

שאלות אמריקאיות

11) תהינה A, B מטריצות ריבועיות ממשיות מסדר $n \geq 2$.
 אז בהכרח מתקיים:

- א. מרחב השורות של A^2 מוכל במרחב השורות של A .
- ב. אם AB משולשית עליונה, אז בהכרח A משולשית עליונה או B משולשית עליונה.
- ג. אם $AB = 0$, אז בהכרח $B = 0$ או $A = 0$.
- ד. אף תשובה אינה נכונה.

$$(12) \text{ נסמן } W = Sp \left\{ \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \\ c_2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} a_3 \\ b_3 \\ c_3 \end{pmatrix} \right\}, U = Sp \left\{ \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} \right\}$$

שני תת-מרחבים של \mathbb{R}^3 .
 אזי בהכרח מתקיים:

- א. $U = W$
- ב. $\dim U = \dim W$
- ג. $U \subseteq W$
- ד. אם $U + W = \mathbb{R}^3$, אז $U \cap W = \{0\}$.
- ה. אף תשובה אינה נכונה.

13) תהי A קבוצה בת 6 פולינומים במרחב $\mathbb{R}_5[x]$ מעל \mathbb{R} (מרחב הפולינומים

ממעלה עד וכולל 5), ונניח בנוסף ש- $\mathbb{R}_5[x] = Sp(A)$.
 אזי בהכרח מתקיים:

- א. ייתכן ש- A מכילה בדיוק 4 פולינומים ממעלה 4.
- ב. ייתכן ש- A מכילה בדיוק 5 פולינומים ממעלה 3.
- ג. שני תת-מרחבים של $\mathbb{R}_5[x]$ מאותו מימד בהכרח שווים.
- ד. A תלויה ליניארית.
- ה. אף תשובה אינה נכונה.

14) במרחב וקטורי \mathbb{R}^2 מעל שדה \mathbb{R} ,

תהי $A = \left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix} \right\}$ קבוצה סדורה של 2 וקטורים מ- \mathbb{R}^2 .

אז מטריצה P המקיימת $[v]_A = Pv$ לכל $v \in \mathbb{R}^2$, שווה ל:

א. $P = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}$

ב. $P = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$

ג. $P = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & -3 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$

ד. $P = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -3 & 1 \end{pmatrix}$

ה. אף תשובה אינה נכונה.

15) יהי V מרחב וקטורי מעל שדה F , ותהיינה A, B קבוצות שונות לא ריקות

וזרות של וקטורים מ- V . אז בהכרח מתקיים:

א. אם $A \cup B$ בלתי תלויה לינארית, אז בהכרח $sp(A) \cap sp(B) = \{0\}$.

ב. אם $A \cup B$ תלויה לינארית,

אז בהכרח A תלויה לינארית או B תלויה לינארית.

ג. אם A, B בלתי תלויות לינאריות, אז בהכרח $A \cup B$ בלתי תלויה לינארית.

ד. אם $sp(A) \cup sp(B) = sp(A \cup B)$, אז בהכרח $A \cup B$ תלויה לינארית.

ה. אף תשובה אינה נכונה.

16) אם W תת מרחב של מרחב וקטורי V , אז:

א. כל בסיס של V מכיל בסיס כלשהו של W , וכל בסיס של W מוכל בבסיס כלשהו של V .

ב. כל בסיס של V מכיל בסיס כלשהו של W , אבל לא כל בסיס של W מוכל בהכרח בבסיס כלשהו של V .

ג. לא כל בסיס של V מכיל בהכרח בסיס כלשהו של W , אבל כל בסיס של W מוכל בבסיס כלשהו של V .

ד. אף תשובה אינה נכונה.

17) יהיו U, W שני תתי-מרחבים של מרחב V ,

כך ש- $\dim V = n, \dim U = \dim W = n - 1$.

אז:

א. $n - 2 \leq \dim(U \cap W)$

ב. אם $U \neq W$, ייתכן ש- $U \subset W$.

ג. קיים $v \in V$, כך ש- $V = U + \text{sp}\{v\}$ ו- $U \cap \text{sp}\{v\} = \{0\}$.

ד. אם $U + \text{sp}\{v\} = V$ ו- $U \cap \text{sp}\{v\} = \{0\}$, אז $v \in W$.

18) נניח כי v_1, v_2, v_3, v_4 הם וקטורים במרחב ליניארי V .

הוכיחו כל אחת מהטענות הבאות:

א. אם $\text{Span}\{v_1, v_2\} \cap \text{Span}\{v_3, v_4\}$ והווקטורים v_1, v_2, v_3, v_4 שונים זה מזה,

אז הווקטורים $v_1 - v_2$ ו- $v_3 - v_4$ הם בת"ל.

ב. אם v_1, v_2 בת"ל וגם v_3, v_4 בת"ל, וכן $\text{Span}\{v_1, v_2\} \cap \text{Span}\{v_3, v_4\} = \{0\}$,

אז v_1, v_2, v_3, v_4 הם בת"ל.

19) אם V, W תת מרחבים של מרחב וקטורי U , ומתקיים:

$$\dim U = 6, \dim V = 5, \dim W = 3$$

אז $\dim(V \cap W)$ יכול להיות:

א. 0

ב. 1

ג. 2

ד. 3

ה. 4

ו. 5

20) V, W תת-מרחבים ממימד 3 של \mathbb{R}^7 , $\{w_1, w_2, w_3\}$ בסיס של W ו- $\{v_1, v_2, v_3\}$

בסיס של V , אז:

א. $\{v_1, w_1, v_2, w_2, v_3, w_3\}$ בלתי תלוי לינארית.

ב. $\{v_1, w_1, v_2, w_2, v_3, w_3\}$ פורשת את $V + W$.

ג. $\{v_1 + w_1, v_2 + w_2, v_3 + w_3\}$ בת"ל.

ד. $\{v_1 + w_1, v_2 + w_2, v_3 + w_3\}$ פורשת את $V + W$.

ה. אף תשובה אינה נכונה.

(21) אם A מטריצה לא ריבועית, אז בהכרח:

- מרחב השורות של A^t שווה למרחב השורות של A .
- מרחב השורות של A^t שונה ממרחב השורות של A .
- ממד מרחב השורות של A^t שווה לממד מרחב השורות של A .
- ממד מרחב השורות של A^t שונה מממד מרחב השורות של A .
- אף תשובה אינה נכונה.

(22) תהינה A, B מטריצות ריבועיות ממשיות מסדר $n \geq 2$.

אזי בהכרח מתקיים:

- מרחב השורות של AB מוכל במרחב השורות של A .
- אם $AB = 0$, אז בהכרח $B = 0$ או $A = 0$.
- אם AB משולשית עליונה, אז בהכרח A משולשית עליונה או B משולשית עליונה.
- אם $AB = 2I_n$, אז בהכרח $BA = 2I_n$.
- אף תשובה אינה נכונה.

(23) תהי A קבוצה בת 6 פולינומים במרחב $\mathbb{R}_5[x]$ מעל \mathbb{R} (מרחב הפולינומים

ממעלה עד וכולל 6), ונניח בנוסף ש- $Sp(A) = \mathbb{R}_5[x]$.

אזי בהכרח מתקיים:

- ייתכן ש- A מכילה בדיוק 4 פולינומים ממעלה 2.
- ייתכן ש- A מכילה בדיוק 4 פולינומים ממעלה 1.
- שני תת-מרחבים של $\mathbb{R}_5[x]$ מאותו מימד בהכרח שווים.
- A בלתי תלויה לינארית.
- אף תשובה אינה נכונה.

$$(24) \text{ יהי } a \text{ מספר ממשי ויהיו } U = Sp \left\{ \begin{pmatrix} a \\ a \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 \\ a \\ 1 \\ a \end{pmatrix} \right\}, W = Sp \left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ a \\ a \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} a \\ 1 \\ a \\ 1 \end{pmatrix} \right\}$$

שני תתי-מרחבים של \mathbb{R}^4 . בהכרח מתקיים:

- $U \cap W = \{0\}$ לכל ערכי a .
- $U \cap W \neq \{0\}$ לכל ערכי a .
- $\dim(U \cap W) = 3$ לכל ערכי $a \neq \pm 1$.
- $\dim(U \cap W) = 1$ לכל ערכי $a \neq \pm 1$.
- אף תשובה אינה נכונה.

$$(25) \text{ נתונות המטריצות } T = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 6 & 9 \\ 2 & 4 & 6 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 2 & 5 & 5 \\ -1 & -1 & 0 \\ 2 & 4 & 3 \end{bmatrix}$$

אז בהכרח מתקיים :

א. $\text{rank}(T) = 1, \text{rank}(R) = 2$

ב. $\text{rank}(R^3 T^5) = 1$

ג. מרחב השורות של $R^3 T^5$ שווה למרחב השורות של T^5 .

ד. $T^{100} = 0$

ה. אף תשובה אינה נכונה.

(26) יהי V מרחב וקטורי מעל שדה F , ותהי $A = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ קבוצה של וקטורים

מ- V ($1 \leq n$). נניח בנוסף ש- $\dim(V) = n$. אזי בהכרח מתקיים :

א. אם A בלתי תלויה לינארית, אז A פורשת את V .

ב. אם A קבוצה פורשת ל- V , אז A בלתי תלויה לינארית.

ג. ייתכנו מקרים בהם A פורשת את V , אך A תלויה לינארית.

ד. ייתכנו מקרים בהם A בלתי תלויה לינארית, אך A אינה פורשת את V .

ה. אף תשובה אינה נכונה.

(27) יהי V מרחב וקטורי מעל שדה F , ותהיינה A, B קבוצות שונות לא ריקות של

וקטורים מ- V . אז בהכרח מתקיים :

א. אם $A \cup B$ בלתי תלויה לינארית, אז בהכרח $sp(A) \cap sp(B) = \{0\}$.

ב. אם A, B תלויות לינאריות, אז בהכרח $A \cap B$ תלויה לינארית.

ג. אם A, B בלתי תלויות לינאריות, אז בהכרח $A \cup B$ בלתי תלויה לינארית.

ד. אם $sp(A) \cup sp(B) = sp(A \cup B)$, אז בהכרח $A \cup B$ תלויה לינארית.

ה. אף תשובה אינה נכונה.

(28) וקטור הקואורדינטות של הפולינום $2x^3 + 12x^2 - x + 11$,

ביחס לבסיס $\{2x^3 + 3x^2 + 2, x + 1, x^3 + x^2, 2x^2 + 2\}$, הוא :

א. $(2, 2, -2, 4)$

ב. $(4, -2, -1, 2)$

ג. $(2, -1, -2, 4)$

ד. $(4, -1, 2, 2)$

ה. אף תשובה אינה נכונה.

29) תהי A מטריצה כלשהי. אזי בהכרח:

- אם שורות A בת"ל, אזי עמודות A בת"ל.
- אם שורות A בת"ל ועמודות A בת"ל, אזי בהכרח A מטריצה ריבועית.
- אם שורות A בת"ל ועמודות A בת"ל, אזי בהכרח A מטריצה הפיכה.
- אם שורות A בת"ל, אזי בהכרח למערכת $Ax=0$ יש פתרון יחיד.
- אף תשובה אינה נכונה.

30) נתונים תת-מרחבים של \mathbb{R}^4 מעל \mathbb{R} :

$$U = \{(a,b,c,d) \in \mathbb{R}^4 \mid a+b+c=d\}$$

$$W = sp\{(1,0,1,1), (0,2,1,0), (0,1,1,1), (1,1,1,0)\}$$

- מצאו בסיס וממד עבור $U, W, U \cap W$.
- עבור תת מרחבים K, L של מרחב וקטורי V , הגדירו את $K+L$.

31) A מטריצה לא ריבועית, כך שלמערכת המשוואות ההומוגנית $Ax=0$ פתרון יחיד, אז:

- יש מערכת לא הומוגנית $Ax=b$ ללא פתרון.
- יש מערכת לא הומוגנית $Ax=b$ עם יותר מפתרון אחד.
- יש מערכת לא הומוגנית $A^t y=c$ ללא פתרון.
- יש מערכת לא הומוגנית $A^t y=c$ עם יותר מפתרון אחד.
- אף תשובה אינה נכונה.

32) תהי A מטריצה ממשית לא ריבועית מסדר $m \times n$. אזי בהכרח מתקיים:

- אם למערכת $Ax=b$ יש פתרון לכל $b \in \mathbb{R}^m$, אז בהכרח $m < n$.
- ייתכן ש- $A^t A = I_m$ וגם $AA^t = I_n$.
- אם $rank(A) = m$, אז למערכת ההומוגנית $Ax=0$ יש אינסוף פתרונות.
- אם למערכת ההומוגנית $Ax=0$ יש אינסוף פתרונות, אז בהכרח $m < n$.
- אף תשובה אינה נכונה.

33) נתונות מטריצות ממשיות A מסדר 2×4 ו- B מסדר 4×4 ,

$$\text{כך ש- } rank(A) = 2, \quad rank(B) = 3.$$

הוכיחו כי $AB \neq 0$.

- 34** תהי A מטריצה ממשית מגודל $m \times n$, כאשר $m < n$.
 נסמן ב- A^T את המטריצה המוחלפת. בהכרח ש:
 א. מימד מרחב הפתרונות של המערכת $AX = 0$ הוא $n - m$.
 ב. למערכת $(A^T A)x = 0$ יש אינסוף פתרונות.
 ג. ייתכן מצב בו למערכת $(A^T A)x = 0$ יש פתרון יחיד.
 ד. ייתכן מצב בו למערכת $(AA^T)x = 0$ יש פתרון יחיד.
 ה. אף תשובה אינה נכונה.

- 35** A מטריצה 3×3 , כך ש- $A^2 = 0$ אבל $A \neq 0$, אז הדרגה של A יכולה להיות:
 א. 0
 ב. 1
 ג. 2
 ד. 3
 ה. אף תשובה אינה נכונה.

- 36** תהיינה A מטריצה מסדר 3×5 ו- B מטריצה 5×3 אז:
 א. AB הפיכה אם ורק אם BA הפיכה.
 ב. AB בהכרח לא הפיכה.
 ג. BA בהכרח הפיכה.
 ד. אם $AB = 0$, אז $\text{rank}(A) + \text{rank}(B) \leq 5$.

- 37** אם A מטריצה, כך שלמערכת ההומוגנית עם מטריצת מקדמים A פתרון יחיד, אז בהכרח:
 א. A הפיכה.
 ב. למערכת ההומוגנית עם מטריצת מקדמים A' פתרון יחיד.
 ג. לכל מערכת לא הומוגנית עם מטריצת מקדמים A פתרון יחיד.
 ד. מרחב העמודות של A שונה ממרחב הפתרונות של A .

- 38** תהי A מטריצה ממשית מסדר $m \times n$, אזי בהכרח מתקיים:
 א. עבור $m = n$, אם למערכת $Ax = b$ יש פתרון לכל $b \in \mathbb{R}^m$, אז בהכרח למערכת $A^T x = b$, יש פתרון לכל $b \in \mathbb{R}^m$.
 ב. אם למערכת ההומוגנית $Ax = 0$ יש אינסוף פתרונות, אז בהכרח $m < n$.
 ג. ייתכן ש- $A^T A = I_n$ וגם $AA^T = I_m$.
 ד. אף תשובה אינה נכונה.

$$(39) \text{ נתון כי } A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix} \text{ הפיכה.}$$

אז בהכרח:

$$\alpha_{11}x + \alpha_{12}y = \alpha_{13}$$

א. למערכת $\alpha_{21}x + \alpha_{22}y = \alpha_{23}$ פתרון יחיד.

$$\alpha_{31}x + \alpha_{32}y = \alpha_{33}$$

$$\alpha_{11}x + \alpha_{12}y + \alpha_{13}z + w = 0$$

ב. למערכת $\alpha_{21}x + \alpha_{22}y + \alpha_{23}z - 4w = 1$ אינסוף פתרונות.

$$\alpha_{31}x + \alpha_{32}y + \alpha_{33}z + 3w = -4$$

$$\alpha_{11}x + \alpha_{21}y + \alpha_{31}z = 3$$

ג. למערכת $\alpha_{12}x + \alpha_{22}y + \alpha_{32}z = 1$ אין פתרון.

$$\alpha_{13}x + \alpha_{23}y + \alpha_{33}z = 1$$

ד. אף תשובה אינה נכונה.

תשובות סופיות

- (11) א (12) ב (13) א (14) ד
- (15) א+ד (16) ג (17) א+ג (18) הוכחה.
- (19) ד+ג (20) ב (21) ב+ג (22) ד
- (23) ה (24) ב+ד (25) ב+ג (26) א+ב
- (27) א (28) ג (29) ג
- $B_U = \{(-1, 1, 0), (-1, 0, 1), (1, 0, 0)\}$
 $B_W = \{(1, 0, -1), (0, 1, -1), (0, 0, 1)\}$
 $U \cap W = sp\{(1, 0, 2, 3), (0, 1, 2, 3)\}$
 $\dim U = 3, \quad \dim W = 3, \quad \dim(U \cap W) = 2$
- (30)
- (31) ד (32) א+ב+ג (33) הוכחה.
- (34) ד+ב (35) ב (36) ד
- (37) ד (38) א+ג (39) ב