אלגברה לינארית 2 (מענה חלקי)

תוכן העניינים

אלגברה לינארית 2 (מענה חלקי)

פרק 1 - מרחבים וקטורים

תוכן העניינים

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 $(f: R \to R)$ מעל השדה R.

שאלות

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12) W מורכב מכל המטריצות שהן משולשות עליונות.

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

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

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

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

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

17) W מורכב מכל הפולינומים בעלי מקדמים שלמים.

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

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

בשאלות **22-30** בדקו האם W הוא תת-מרחב של $F\left[R\right]$:

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 $W=\{f(x) \mid \left|f(x)\right| \le M\}$.

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

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

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

31) בדקו האם $W=\left\{ (z_1,z_2,z_3) \mid z_2=\overline{z}_1, z_3=z_1+\overline{z}_1 \right\}$ 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. מצאו 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 עברו 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. $u=(1,0,0,0,0)$　ב. $B=\{(b_1,b_2,b_3,b_4,b_5) \mid -b_1+b_2+2b_3\neq 0\}$
ג. לא.

33) א. $k=0$　ב. $W=span\{2x-3x^2+x^3, 6x-7x^2+x^4\}$

צירופים ליניאריים, פרישה ליניארית ותלות ליניארית

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 ליניארי של u_4?
ב. האם u_1 שייך ל- $Sp\{u_4\}$?
ג. האם הקבוצה $\{u_1,u_4\}$ תלויה ליניארית?

2) א. האם u_3 הוא צירוף ליניארי 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 ליניארית?
במידה וכן, רשמו כל וקטור בקבוצה כצירוף ליניארי של הווקטורים האחרים.

3) א. האם u_4 הוא צירוף ליניארי 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 ליניארית?
במידה וכן, רשמו כל וקטור בקבוצה כצירוף ליניארי של הווקטורים האחרים.

4) נתון $v=(4,12,k,-2k)$.
א. מה צריך להיות ערכו של k, על מנת שהווקטור v יהיה צירוף ליניארי 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 ליניארית?

5) נתון $v=(a,b,c,d)$.
א. מה התנאים על a,b,c,d, על מנת שהווקטור v יהיה צירוף ליניארי 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 ליניארית?

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

7) הביעו את הווקטור $v=(7,10,-2,11)$ כצירוף לינארי של u_1, u_2, u_3 ו- 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. בדקו האם המטריצות תלויות ליניארית מעל $M_2[R]$.
ב. במידה והמטריצות תלויות, רשמו 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. בדקו האם הפולינומים תלויים ליניארית מעל $P_3[R]$.
ב. במידה והפולינומים תלויים ליניארית, רשמו 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- $V[F]$.
בדקו האם הקבוצות הבאות תלויות ליניארית,
ובמידה וכן רשמו כל וקטור כצירוף של הווקטורים האחרים:

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

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

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

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

14) מעל $\mathbb{C}$.

15) מעל $\mathbb{R}$.

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 $A_1,A_2,...A_n$.
הוכיחו את הטענה הבאה:
למערכת $Ax=b$ יש פתרון אם ורק אם $b\in span\{A_1,A_2,...,A_n\}$.

18) להלן 3 תת-קבוצות של R^4 :

$U=span\{(1,2,2,1),(1,1,-1,-1),(0,0,1,1)\}$
$W=span\{(1,1,0,0),(1,2,1,0),(1,3,3,1)\}$
$V=span\{(2,3,1,0),(1,2,1,0),(1,4,3,1)\}$

א. האם $U=W$?

ב. האם $U=V$?

תשובות סופיות

1) א. לא. ב. לא. ג. לא.

2) א. כן. ב. כן. ג. כן, $u_2 = u_1 - 2u_3$, $u_1 = 2u_3 + u_2$.

3) א. כן. ב. כן. ג. כן, $u_2 = 4u_4 - u_1$, $u_1 = 4u_4 - u_2$.

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. $A = B + 2C,\quad B = A - 2C,\quad C = 0.5A - 0.5B,\quad D = 0.25A + 0.25B$

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: $z = 2y - x,\ \ y = 0.5x + 0.5z,\ \ x = 2y - z$.

12) הווקטורים תלויים ליניארית, ומתקיים: $z = 2y - x,\ \ y = 0.5x + 0.5z,\ \ x = 2y - z$.

13) בלתי תלויים ליניארית.

14) תלויים.

15) בלתי תלויים ליניארית.

16) שאלת הוכחה.

17) שאלת הוכחה.

18) א. כן. ב. לא.

בסיס ומימד, דרגה של מטריצה

שאלות

1) בדקו 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) בדקו אם הקבוצות הבאות הן בסיס ל- $M_{2x2}[R]$:

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) בדקו 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. מצאו קבוצה T', שהיא קבוצה מקסימלית של וקטורים, בלתי תלויה ליניארית ב- T.

ג. השלימו את T' לבסיס של R^3.

מציאת בסיס וממד למרחב פתרונות של מערכת משוואות הומוגנית

5) להלן 3 מערכות של משוואות הומוגניות :

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

נסמן ב- W את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות 1.
נסמן ב- U את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות 2.
נסמן ב- V את המרחב הנפרש ע"י מערכת המשוואות 3.
מצאו בסיס וממד ל- W, U ו- V.

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

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

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

9) נתון $U=\{A\in M_{2x2}[R] \mid A=A^T\}$.
מצאו בסיס וממד ל- U.

10) נתון $U=\left\{A\in M_{2x2}[R] \,\middle|\, A\cdot\begin{pmatrix}1 & -1\\ 1 & 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\end{pmatrix}\right\}$.
מצאו בסיס וממד ל- U.

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

מציאת בסיס וממד לתת-מרחב

12) להלן שני תתי מרחבים של המרחב R^4 :

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

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

א. מצאו בסיס, ממד ומשוואות ל- U.

ב. מצאו בסיס, ממד ומשוואות ל- V.

13) להלן תת-מרחב של המרחב $M_{2x2}[R]$:

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

מצאו בסיס וממד ל- U.

14) להלן תת-מרחב של המרחב $P_3[R]$:

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

מצאו בסיס וממד ל- U.

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

בשאלות **15-16** מצאו בסיס וממד למרחב השורה ומרחב העמודה של המטריצה, וציינו את דרגת המטריצה (rank):

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

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

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-מחבים

שאלות

1) להלן 3 מערכות של משוואות ליניאריות 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 2,1 ו-3 בהתאמה.

א. מצאו בסיס וממד ל- U, W ו- V.

ב. מצאו בסיס וממד ל- $U+V$.

ג. מצאו בסיס וממד ל- $U\cap V$.

2) להלן 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. מצאו בסיס, ממד ומשוואות ל- U.

ב. מצאו בסיס, ממד ומשוואות ל- V.

ג. מצאו בסיס וממד ל- $U+V$.

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

ה. האם $U+V=R^4$?

ו. האם $U\oplus V=R^4$?

3) להלן 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. מצאו בסיס וממד ל- $U+V$.

ב. מצאו בסיס וממד ל- $U\cap V$.

4) להלן 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. מצאו בסיס וממד ל- $U+V$.

ב. מצאו בסיס וממד ל- $U\cap V$.

5) להלן שני תת-מרחבים של המרחב $P_3[R]$:

$$U = sp\left\{1+x, x+x^2, 1+x^3\right\}$$
$$V = \left\{p(x) \in P_3[R] \middle| p'(0)=0\right\}$$

מצאו בסיס וממד ל- $U \cap V$.

6) להלן שני תת-מרחבים של המרחב $M_2[R]$

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

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

א. מצאו בסיס וממד ל- U ול- W.
ב. מצאו בסיס וממד ל- $U+W$.
ג. מצאו בסיס וממד ל- $U \cap W$.
ד. אשרו את משפט הממד עבור תרגיל זה.

7) להלן שני תת-מרחבים של המרחב $V = M_2[R]$:

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

א. מצאו בסיס וממד ל- U ול- W.
ב. מצאו בסיס וממד ל- $U+W$.
ג. מצאו בסיס וממד ל- $U \cap W$.
ד. האם $U+W=V$?
ה. האם $U \oplus W = V$?

8) להלן שני תת-מרחבים של המרחב $V = M_3[R]$:

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

א. מצאו בסיס וממד ל- U.
ב. מצאו בסיס וממד ל- W.
ג. מצאו בסיס וממד ל- $U+W$.
ד. מצאו בסיס וממד ל- $U \cap W$.
ה. $U \oplus W = V$

9) יהיו U ו- W שני תת-מרחבים מממד 2 של R^3.
הוכיחו כי $\dim(U \cap W) \neq 0$.

10) יהי V מרחב וקטורי ממימד 10.
יהיו U ו- W שני תת-מרחבים שונים של V ממימד 9.
א. הוכיחו כי $U+W=V$.
ב. חשבו $\dim(U\cap W)$.

11) יהי V מרחב וקטורי ממימד 10.
יהיו U ו- W שני תת-מרחבים שונים של V ממימד 7.
מצאו את המימדים האפשריים של $U\cap W$ ו- $U+W$.

12) יהי V מרחב וקטורי ממימד 7.
יהיו U ו- W שני תת-מרחבים של V, כך ש- $\dim U=4,\ \dim W=5$ $(U\not\subseteq W)$.
מצאו 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: $A+B=\{a+b\mid a\in A,\ b\in B\}$.
הוכיחו או הפריכו:
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:
$U=\{(a,b,c)\mid a=b=c\},\ W=\{(0,b,c)\}$.
הוכיחו 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.
הוכיחו 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.
הוכיחו כי $U\oplus W\neq V$.

תשובות סופיות

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

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

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

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

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

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

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

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

ד. $\dim(U\cap V)=1$, $B_{U\cap V}=\{(5,1,5,8)\}$ ה. כן. ו. לא.

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

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

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

ב. $\dim(U\cap V)=1$, $B_{U\cap V}=\left\{-1+x^2\right\}$

5) $\dim(U\cap V)=2$, $B_{U\cap V}=\left\{-1+x^2,1+x^3\right\}$

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

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

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

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

ד. ראו בסרטון.

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

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

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

ד. לא. ה. לא.

8) א.

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

$\dim U=6$

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.

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

$\dim(U+W)=9$

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

ה. לא.

9) שאלת הוכחה.

10) א. שאלת הוכחה. ב. 8

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

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

13) שאלת הוכחה.

14) שאלת הוכחה.

15) שאלת הוכחה.

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. 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- $\left[M\right]_{B_1}^{B_2}$.

ד. מצאו מטריצת מעבר מהבסיס B_2 לבסיס B_1.

סמנו מטריצה זו ב- $\left[M\right]_{B_1}^{B_2}$.

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

3) נתונים שני בסיסים של $M_2[R]$:

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

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

א. מצאו את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס B.
סמנו וקטור זה ב- $[v]_B$.

ב. מצאו את וקטור הקואורדינטות ביחס לבסיס E.
סמנו וקטור זה ב- $[v]_E$.

ג. מצאו מטריצת מעבר מהבסיס B לבסיס E.
סמנו מטריצה זו ב- $\left[M\right]_B^E$.

4) יהי V מרחב וקטורי ויהי B בסיס של V.
הוכיחו כי הווקטורים $\{u_1,u_2,...,u_m\}$ בת"ל,
אם ורק אם וקטורי הקואורדינטות שלהם,
לפי הבסיס B , $\{[u_1],[u_2],...,[u_m]\}$, הם בת"ל.
הסבירו כיצד השתמשנו בטענה זו רבות במהלך הקורס.

תשובות סופיות

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

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

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

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

4) שאלת הוכחה.

תרגילי תיאוריה מתקדמים

שאלות הוכחה

1) יהי V מרחב, ותהי $A=\{v_1,v_2\cdots,v_k\}$ 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 $A=\{u_1,u_2\ldots,u_n\}\subseteq U$ ויהי $u\in U$ וקטור כלשהו.
הוכיחו כי אם $u\in sp(A)$, וכן $u\notin sp(A-\{u_n\})$, אז $u_n\in sp(u_1,u_2,\ldots,u_{n-1},u)$.

4) יהי V מרחב, $b\in V$ ו- $A=\{v_1,v_2\ldots,v_k\}\subseteq V$ בלתי-תלויה ליניארית.
הוכיחו כי $A\cup\{b\}=\{v_1,v_2\ldots,v_k,b\}$ בת"ל $\Leftrightarrow b\notin sp(A)$.

5) יהי V מרחב n מימדי, תהי $A=\{v_1,v_2\ldots,v_k\}\subseteq V$ ויהי $b\in sp(A)$.
למשוואה $x_1v_1+x_2v_2+\ldots x_kv_k=b$ **אין** פתרון יחיד.
הוכיחו או הפריכו:
א. $k\geq n$
ב. A פורשת את V.
ג. A בהכרח תלויה ליניארית.

6) יהי V מרחב, $b\in V$ ו- $A=\{v_1,v_2\ldots,v_k\}\subseteq V$ בלתי-תלויה ליניארית.
הוכיחו או הפריכו:
א. אם $b\notin sp(A)$, אז הקבוצה $B=\{v_1+b,v_2+b,\ldots v_n+b\}$ היא בת"ל.
ב. אם $b\in sp(A)$, אז הקבוצה $B=\{v_1+b,v_2+b,\ldots v_n+b\}$ היא בת"ל.
ג. אם $b\in sp(A)$, אז הקבוצה $B=\{v_1+b,v_2+b,\ldots v_n+b\}$ היא ת"ל.

7) יהי V מרחב וקטורי מעל $\mathbb{R}$, ויהיו $v_1,v_2,v_3\in V$.
נסמן: $S=\{v_1,v_2,v_3\},\quad T=\{av_1+v_2+v_3, v_1+av_2+v_3, v_1+v_2, av_3\}$.
הוכיחו או הפריכו:
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.
הוכיחו או הפריכו:
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 $U,W\subseteq V$ תמר"ים.
תהיינה $B=\{b_1,b_2,\dots,b_m\}\quad A=\{a_1,a_2,\dots,a_m\}\subseteq U,$ שתי קבוצות בת"ל.
הוכיחו כי אם $U\cap W=\{0\}$, אז $A\cup B$ בת"ל.

10) יהי V מרחב ויהיו U,W תמר"ים שלו.
הוכיחו 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) תהיינה 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) נסמן $U=Sp\left\{\begin{pmatrix}a_1\\a_2\\a_3\end{pmatrix},\begin{pmatrix}b_1\\b_2\\b_3\end{pmatrix},\begin{pmatrix}c_1\\c_2\\c_3\end{pmatrix}\right\}$, $W=Sp\left\{\begin{pmatrix}a_1\\b_1\\c_1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}a_2\\b_2\\c_2\end{pmatrix},\begin{pmatrix}a_3\\b_3\\c_3\end{pmatrix}\right\}$
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 ליניארית, 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 לינארית, 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. $n-2 \le \dim(U \cap W)$
ב. אם $U \ne W$, ייתכן ש- $U \subset W$.
ג. קיים $v \in V$, כך ש- $V = U + sp\{v\}$ ו- $U \cap sp\{v\} = \{0\}$.
ד. אם $U + sp\{v\} = V$ ו- $U \cap sp\{v\} = \{0\}$, 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 $Span\{v_1,v_2\} \cap Span\{v_3,v_4\}$ 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 $Span\{v_1,v_2\} \cap Span\{v_3,v_4\} = \{\underline{0}\}$,
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 $I\mathbb{R}^7$, $\{w_1,w_2,w_3\}$ 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 תלויה ליניארית.
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:
א. מרחב השורות של A^t שווה למרחב השורות של A.
ב. מרחב השורות של A^t שונה ממרחב השורות של A.
ג. ממד מרחב השורות של A^t שווה לממד מרחב השורות של A.
ד. ממד מרחב השורות של A^t שונה מממד מרחב השורות של A.
ה. אף תשובה אינה נכונה.

22) תהיינה A,B מטריצות ריבועיות ממשיות מסדר $n\geq 2$.
אזי בהכרח מתקיים:
א. מרחב השורות של AB מוכל במרחב השורות של A.
ב. אם $AB=0$, אז בהכרח $B=0$ או $A=0$.
ג. אם AB משולשית עליונה, אז בהכרח A משולשית עליונה או B משולשית עליונה.
ד. אם $AB=2I_n$, אז בהכרח $BA=2I_n$.
ה. 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- $\mathbb{R}_5[x]=Sp(A)$.
אזי בהכרח מתקיים:
א. ייתכן ש-A מכילה בדיוק 4 פולינומים ממעלה 2.
ב. ייתכן ש-A מכילה בדיוק 4 פולינומים ממעלה 1.
ג. שני תת-מרחבים של $\mathbb{R}_5[x]$ מאותו מימד בהכרח שווים.
ד. A בלתי תלויה ליניארית.
ה. אף תשובה אינה נכונה.

24) יהי a 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:
א. $U\cap W=\{0\}$ לכל ערכי a.
ב. $U\cap W\neq\{0\}$ לכל ערכי a.
ג. $\dim(U\cap W)=3$ לכל ערכי $a\neq\pm 1$.
ד. $\dim(U\cap W)=1$ לכל ערכי $a\neq\pm 1$.
ה. אף תשובה אינה נכונה.

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

אז בהכרח מתקיים:

א. $rank(T)=1,\ \ rank(R)=2$

ב. $rank\left(R^3T^5\right)=1$

ג. מרחב השורות של R^3T^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 $A=\{v_1,v_2,...,v_n\}$ קבוצה של וקטורים מ- V $(1\le n)$. 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 ליניארית, אז בהכרח $A\cap B$ תלויה לינארית.

ג. אם A,B בלתי תלויות ליניארית, 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:

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

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

$$U=\left\{(a,b,c,d)\in\mathbb{R}^4 \middle| a+b+c=d\right\}$$

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

א. מצאו בסיס וממד עבור $U,\ W,\ U\cap W$.
ב. 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:

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

32) נתונות מטריצות ממשיות A מסדר 2×4 ו-B מסדר 4×4, כך ש- $rank(A)=2,\quad rank(B)=3$.

הוכיחו כי $AB\neq0$.

33) A מטריצה 3×3, כך ש- $A^2=0$ אבל $A\neq0$, אז הדרגה של A יכולה להיות:

א. 0
ב. 1
ג. 2
ד. 3
ה. אף תשובה אינה נכונה.

34) 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 $rank(A)+rank(B)\leq5$.

35) אם A מטריצה, כך שלמערכת ההומוגנית עם מטריצת מקדמים A פתרון יחיד, אז בהכרח:

א. A הפיכה.

ב. למערכת ההומוגנית עם מטריצת מקדמים A^t פתרון יחיד.

ג. לכל מערכת לא הומוגנית עם מטריצת מקדמים A פתרון יחיד.

ד. מרחב העמודות של A שונה ממרחב הפתרונות של A.

תשובות סופיות

11) א   **12)** ב   **13)** א   **14)** ד

15) א+ד   **16)** ג   **17)** א+ג   **18)** הוכחה.

19) ג+ד   **20)** ב   **21)** ב+ג   **22)** ד

23) ה   **24)** ב+ד   **25)** ב+ג   **26)** א+ב

27) א   **28)** ג   **29)** ג

30)

$$B_U=\{(-1,1,00),(-1,010),(1,001)\}$$

$$B_W=\{(100-1),(010-1),(0012)\}$$

$$U\cap W=sp\{(1,0,2,3),(0,1,2,3)\}$$

$$\dim U=3,\quad \dim W=3,\quad \dim(U\cap W)=2$$

31) ד   **32)** הוכחה.   **33)** ב

34) ד   **35)** ד

אלגברה לינארית 2 (מענה חלקי)

פרק 2 - ערכים עצמיים-וקטורים עצמיים-לכסון מטריצות - דימיון

תוכן העניינים

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.
כלומר, מצאו מטריצה הפיכה P, כך ש- $P^{-1}AP=D$, כאשר 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.

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

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

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

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

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 $\mathbb{R}$.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

במידה וקיימת מטריצה כזאת, מצאו אותה.

תשובות סופיות

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

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

י. לא הפיכה.

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

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

י. הפיכה.

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

$x=0$ – 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.

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

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

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

ג. $x=6,\ x=2,\ x=-4$

$x=-4$ – ריבוב אלגברי: 1, $x=2$ – ריבוב אלגברי: 1, $x=6$ – ריבוב אלגברי: 1.

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

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

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

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

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

ט. $m(x)=(x-6)(x-2)(x+4)$ י. הפיכה.

5) אין פתרונות מעל $\mathbb{R}$, ולכן אין ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים.

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

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

6) ערכים עצמיים: $x=3$, וקטורים עצמיים: $\boldsymbol{v}_{x=3}=\langle -1,1\rangle$. לא ניתנת ללכסון.

7) ערכים עצמיים: $x_1=2,\ x_{2,3}=3$,

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

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

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

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

11) $x=1, x=1\pm\sqrt{3}i$, $\boldsymbol{v}_{x=1}=\langle 1,1,1\rangle$, $\boldsymbol{v}_{x=1+\sqrt{3}i}=\left(1-\sqrt{3}i,1+\sqrt{3}i,-2\right)$,

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

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

13) 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 $\lambda=\pm1$.

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.
נתונה המטריצה $B=A^4-2A^2+10A-4I$.
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-
$p(x)=x^2-\mathrm{tr}(A)x+|A|$.
2. נתון כי $\mathrm{tr}(A)=4$. חשבו את $|A|$, אם ידוע בנוסף שלמטריצה יש ערך עצמי אחד.

ב. נתונה מטריצה ריבועית A מסדר n.
נניח כי $p(x)=x^n+a_{n-1}x^{n-1}+\ldots+a_1x^1+a_0$ הפולינום האופייני של A.
הוכיחו כי $a_0=(-1)^n|A|$, $a_{n-1}=-\mathrm{tr}(A)$.

4) נתונה מטריצה A מסדר n.
הוכיחו:

א. λ ע"ע של $A \Leftrightarrow rank(A-\lambda I)<n$.

ב. הריבוי הגיאומטרי של ע"ע λ שווה ל- $n-rank(A-\lambda I)$.

ג. אם $rank(A)=k<n$ 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 $rank(B)=1$.
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- $tr(B)$.

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) תהיינה A ו-B מטריצות מסדר n המקיימות $AB=BA$.
נניח כי $rankA=n-1$ 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 $0<rank(A-10I)<rank(A-4I)<3$.

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 $A=10I$?

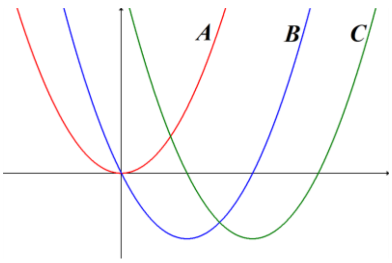
9) תהי A מטריצה מסדר 5×5, כך ש- $\det A=12$ וגם $\rho(I+A)=\rho(2I-A)=3$.
הוכיחו ש- A לכסינה, ורשמו מטריצה אלכסונית דומה לה.

10) נתונה מטריצה $A=\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_n \end{pmatrix}$ (מטריצה עם שורה אחת).
מצאו את הערכים העצמיים של המטריצה A^TA (הניחו $n>1$).

11) תהי A מטריצה מסדר 3×3, כך ש- $\begin{pmatrix} 4 \\ 4 \\ -4 \end{pmatrix} = A\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$, 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- $span\{(3,1,-1)\}$ הוא מרחב הפתרונות של המערכת $A\underline{x}=2\underline{x}$.
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 $\det(A)=tr(A)=0$ וכי $\lambda=1$ ערך עצמי של המטריצה.
הוכיחו כי המטריצה ניתנת ללכסון 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- $tr(A)\neq -1$.

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

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

17) נתונה מטריצה ריבועית A מסדר n.
ויהיו $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$ 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 הע"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 $b\in R^3$ יש למערכת $A\mathbf{x}=b$ פתרון יחיד ומצאו את $|A|$ ו- $tr(A)$.

ב. תהי A מטריצה ממשית, כאשר $A\neq I$, ובעלת פולינום אופייני $p(t)=(t-1)^3$.
הוכיחו ש- A הפיכה, וחשבו את $\operatorname{tr}(A-2I)$.

25) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו ש- λ ע"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 צרוף ליניארי 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 $0\neq u\in\mathbb{R}^2$ 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 ליניאריים.

ד. הוכיחו כי A ניתנת ללכסון.

ה. הוכיחו כי $\operatorname{tr}(A)=\operatorname{rank}(A)$ (סעיף זה דורש ידע בדימיון מטריצות).

38) תהי A מטריצה ממשית מסדר 5. הוכיחו או הפריכו:

א. קיים תת מרחב $W_\alpha = \{u \mid Au = \alpha u\}$ של R^5, כך ש- $\dim W_\alpha \geq 1$.

ב. אם u_1, u_2 ו״ע של A, אז גם הווקטור $u_1 + u_2$ ו״ע של A.

ג. אם המטריצה B שקולת שורות למטריצה A, אז לשתי המטריצות אותם ערכים עצמיים.

ד. אם A לכסינה מעל R, אז כל הערכים העצמיים שלה שונים זה מזה.

ה. 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:

א. $\operatorname{rank}(A) = 4$

ב. A לכסינה.

ג. $\operatorname{tr}(A) > 10$

ד. $|A| \leq 127$

ה. קיים וקטור עצמי v של A, כך ש- $A^2 v = 2v$.

40) תהי A מטריצה ריבועית ויהי n מספר טבעי.
הוכיחו או הפריכו:

א. אם v וקטור עצמי של A, אז v וקטור עצמי גם של A^n.

ב. אם v וקטור עצמי של A^n, אז v וקטור עצמי גם של A.

ג. אם A לכסינה, אז A^n לכסינה.

ד. 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 $B=4A^{111}-10A+20I$ הפיכה?

47) תהי $A_{n\times n}$ מטריצה ריבועית ממשית שמקיימת $A^2+I=0$.
הוכיחו את הטענות בסעיפים א׳-ד׳:
א. A הפיכה.
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) נתונה מטריצה A על ידי $a_{ij}=\begin{cases} b & i=j \\ a & i\neq j \end{cases}$ כאשר $1\le i,j\le n$.
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: $a_0=a_1=1$ $\quad a_n=5a_{n-1}-6a_{n-2}$.
מצאו ביטוי סגור עבור a_n (כלומר, נוסחה לא רקורסיבית).

55) סדרה (a_n) מוגדרת רקורסיבית על ידי: $a_0=a_1=2,\ a_2=4$ $\quad a_n=2a_{n-1}+a_{n-2}-2a_{n-3}$.
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) $D = diag(0,0,k)$

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. $D = diag(10,10,4)$ ד. כן. ה. לא.

9) $\mathrm{diag}\left(-1,-1,2,2,3\right)$

10) 0 ו- $tr(A)$.

11) שאלת הוכחה.

12) $diag\left(2,-5,-5\right),\ diag\left(-5,2,-5\right),\ diag\left(-5,-5,2\right)$

13) $rank(A) = 0,\ rank(B) = 1,\ rank(C) = 2$

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. $tr(A^2) = 25$ ג. $tr(A) = 6$

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) $\mathrm{diag}\left(1,1,-3i,-8+9i\right)$

24) א. $|A| = -5$ ו- $tr(A) = 0$ ב. $\mathrm{tr}\left(A-2I\right) = -3$

25) שאלת הוכחה.

26) ה. $|B| = (-1)^n$

27) $|A| = -384$

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

29) א. $p_M(x)=(x-5)^2(x-6)(x-7)$

30) שאלת הוכחה.

31) ב. $4+k$

32) שאלת הוכחה.

33) שאלת הוכחה.

34) שאלת הוכחה.

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

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

37) ב. $p(x)=x,\ p(x)=x-1,\ p(x)=x(x-1)$

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.

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

50) שאלת הוכחה.

51) שאלת הוכחה.

52) שאלת הוכחה.

53) שאלת הוכחה.

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

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

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) 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) נתונה המטריצה $A=\begin{pmatrix} 2 & 0 & a-2 \\ 1 & 1 & a-2 \\ 0 & 0 & a \end{pmatrix}$, 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) נתונה המטריצה $A=\begin{pmatrix} a^2 & 0 & a \\ 0 & 2a & 0 \\ 0 & 0 & a+2 \end{pmatrix}$, 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) 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. 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
$A=\begin{pmatrix} a & 0 & b-a \\ b & a & 0 \\ 0 & 0 & b \end{pmatrix}$ לכסינה.

11) 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) נתונה המטריצה $A=\begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & a & 0 & b \end{pmatrix}$, 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) נתונה מטריצה ממשית $A=\begin{pmatrix} 1 & -3 & a \\ 3 & -5 & 3 \\ 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$, כאשר a פרמטר ממשי.

ידוע ש- $\lambda=-2$ הוא ערך עצמי שלה, עם ריבוב גיאומטרי 2.

א. מהו ערכו של a?

ב. האם המטריצה לכסינה?

14) נתונה המטריצה $A=\begin{pmatrix} 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a \\ a & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$, 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) נתונה המטריצה $A=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2 & -a & 2a \\ a & -a & a \end{pmatrix}$, 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. $D = diag(4,k,k)$

2) המטריצה A לא ניתנת ללכסון לכל ערך של k.

3) א. A לכסינה אם ורק אם $a \neq \pm 1$. ב. $D = diag\left(1,-a^2,a^2\right)$

4) A לכסינה לכל m ודומה למשל ל- $D = diag(m-1,m-1,m+2)$

5) א. $k=3$ ב. ר״א = 1. ר״ג = 1. ג. $D = diag(2,-3,-5)$

6) א. $a=1,\ b=0$ או $a=3,\ b=-4$ ב. המטריצה לא לכסינה.

7) א. A לכסינה עבור כל a. ב. דומה למטריצה אלכסונית $D = diag(a,1,2)$.

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 $D = diag\left(a^2,2a,a+2\right)$.

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- $D = diag(1,0,a)$
או כאשר $a=0$ וגם $b=0$ ואז דומה ל- $D = diag(0,0,1)$
או כאשר $a=1$ וגם $b=-\frac{1}{2}$ ואז דומה ל- $D = diag(0,1,1)$

12) A לכסינה אם ורק אם:
1. $b \neq 2,3$ ואז $D = diag(3,2,2,b)$.
או 2. $b=2$ וגם $a=0$ ואז $D = diag(3,2,2,2)$.
או 3. $b=3$ וגם $a=0$ ואז $D = diag(3,3,2,2)$.

13) א. $a=3$ ב. כן.

14) מעל $\mathbb{R}$: לכסינה אם $a=0$ ודומה ל- $D = diag(0,0,0,0)$.
מעל $\mathbb{C}$: לכסינה לכל a דומה ל- $D = diag(a,-a,ai,-ai)$.

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. $\operatorname{tr}(A)=\operatorname{tr}(B)$
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 $4A=\begin{pmatrix} 0 & 4 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$, $A=\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ דומות.

4) נתונות שתי מטריצות ממשיות: $B=\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ -1 & 7 & 0 \\ 9 & -17 & 6 \end{pmatrix}$, $A=\begin{pmatrix} a & b & b \\ -1 & 3 & 2 \\ 2 & -8 & -5 \end{pmatrix}$.
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 ושתיהן 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 $\operatorname{rank}(A)=\operatorname{rank}(B)$.
ט. אם A דומה ל- B, אז $\operatorname{Nullity}(A)=\operatorname{Nullity}(B)$.

הערה – $\operatorname{Nullity}(A)=$ 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 $B=\begin{pmatrix}1&1&1\\1&1&1\\1&1&1\end{pmatrix}$ $A=\begin{pmatrix}3&0&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}$.

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. $\operatorname{rank}(A)$

ב. $\dim\operatorname{Ker}(A)$

ג. $\operatorname{tr}(A)$

ד. $|A^TA|$

ה. ע"ע עבור A^TA.

ו. ע"ע עבור $(4A^2+10A+I)^{-1}$.

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

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: $B=\begin{pmatrix}1&1\\4&4\end{pmatrix}$, $A=\begin{pmatrix}1&2\\2&4\end{pmatrix}$.

10) עבור אילו ערכים של x המטריצות הבאות דומות:

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

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 $\mathrm{tr}(A)=\mathrm{tr}(B)=k$, 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 $\left(A^4-10A+9I\right)\underline{x}=\underline{0}$.

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 $tr\left(A^2\right)$.

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. $1, 1/15, 1/37$
8) שאלת הוכחה.
9) שאלת הוכחה.
10) $x=0$
11) שאלת הוכחה.
12) שאלת הוכחה.
13) $a=0$ ו- $b=-2$
14) כן, עבור $a=\pm2$
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. $D=diag\left(0,0,0,\sqrt{2},-\sqrt{2},\sqrt{5},-\sqrt{5}\right)$ ב. $tr\left(A^2\right)=14$
23) שאלת הוכחה.

אלגברה לינארית 2 (מענה חלקי)

פרק 3 - העתקות ליניאריות

תוכן העניינים

העתקות ליניאריות

שאלות

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

1) $T(x,y)=(x+y,x-y)\ ;\ \ T:R^2\to R^2$

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

3) $T(x,y,z)=(2x+z,|y|)\ ;\ \ T:R^3\to R^2$

4) $T(x,y)=(xy,y,z)\ ;\ \ T:R^2\to R^3$

5) $T(x,y,z)=(x+1,x+y,y+z)\ \ ;\ \ T:R^3\to R^3$

6) $\left(B\in M_n[R]\right)\quad T(A)=BA+AB\ \ ;\ \ T:M_n[R]\to M_n[R]$

7) $T(A)=A+A^T\ ;\qquad T:M_n[R]\to M_n[R]$

8) $T(A)=|A|\cdot I\ \ ;\ \ T:M_n[R]\to M_n[R]$

9) $T(A)=A\cdot A^T\ \ ;\ \ T:M_n[R]\to M_n[R]$

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

11) $T(a+bx+cx^2+dx^3)=a+bx+cx^2\ \ ;\ \ T:P_3[R]\to P_2[R]$

12) $T\left(p(x)\right)=p(x+1)\ \ ;\ \ T:P_n[R]\to P_n[R]$

13) $T\left(p(x)\right)=p'(x)+p''(x)\ \ ;\ \ T:P_n[R]\to P_n[R]$

14) $T\left(p(x)\right)=p^2(x)\ \ ;\ \ T:P_n[R]\to P_{2n}[R]$

15) $\left(F=C,F=R\right)\quad T\left(z\right)=\overline{z}\qquad ;\ T:C[F]\to C[F]$

16) עבור איזה ערך של הקבוע m (אם יש כזה), ההעתקה הבאה תהיה ליניארית:
$T:R^2 \to R^2 \quad ; \quad T(x,y)=\left(m^2x^{2m}, y^{2m}+x\right)$?

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

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

18) $T:R^3 \to R^3$ כך ש- $T(0,0,1)=(0,1,1)$, $T(0,1,1)=(1,2,1)$, $T(1,0,1)=(1,1,0)$.

19) $T:R^4 \to R^3$ 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) $T:P_2[R]\to P_2[R]$ כך ש- $T(1)=4, T\left(4x+x^2\right)=x, T\left(1-x\right)=x^2+1$.

21) נתונה העתקה ליניארית $T:R^3 \to R^3$, המקיימת:
$T(1,0,0)=(a_1,a_2,a_3)$
$T(0,1,0)=(b_1,b_2,b_3)$.
$T(0,0,1)=(c_1,c_2,c_3)$

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 $T:R^n \to R^m$.

22) נתונה העתקה ליניארית $T:V \to V$.
הוכיחו או הפריכו:

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

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

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

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

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

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

5) $T:P_2[R]\to P_2[R]$, $T\left(p(x)\right)=p(x+1)-p(x+4)$

6) $D:P_3[R]\to P_3[R]$, $D\left(p(x)\right)=p'(x)$

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

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

נתונה העתקה ליניארית $T:V\to U$.

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

10) הוכיחו או הפריכו :

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

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

11) ידוע שהעתקה לינארית $T:V\to W$,
מקיימת: $\dim(W)=4$, $\dim\operatorname{Im}(T)=\dim\operatorname{Ker}(T)$.
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 לינארית $T:V\to V$ מתקיים $\operatorname{Im}(T^2)\subseteq\operatorname{Im}(T)$.
ב. לכל העתקה לינארית $T:V\to V$ שמקיימת:
$\operatorname{Ker}(T)=\operatorname{Ker}(T^2)$, $\operatorname{Im}(T)=\operatorname{Im}(T^2)$, מתקיים $T=T^2$.
ג. לכל העתקה לינארית $T:V\to V$, המקיימת $\operatorname{Im}(T)\subseteq\operatorname{Ker}(T)$,
אז בהכרח $T\neq 0$.

13) מטריצה $A_{m\times n}$ מגדירה העתקה $T:R^n\to R^m$; $T(x)=Ax$,
ואילו $A^T_{n\times m}$ מגדירה העתקה $S:R^m\to R^n$; $S(y)=A^Ty$.
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: $\{p(x)=2x+5\quad,\quad p(x)=1\}$, מימד: 2.

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

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

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

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

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"ע,[1] האם היא על, האם היא איזומורפיזם והאם קיימת העתקה הפוכה.
כמו כן, במידה וקיימת העתקה הפוכה, מצאו אותה.

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

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

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

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

5) האם תיתכן העתקה חד-חד ערכית $T:R^4 \to R^3$?

6) נתונה העתקה ליניארית $T:U \to V$.
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) נתונה העתקה ליניארית $T:V \to W$.
הוכיחו או הפריכו:
א. אם $\dim \mathrm{Ker}(T)\neq 0$, אז ההעתקה T אינה על.
ב. אם $\dim \mathrm{Ker}(T)=0$ ו-$\dim(V)\leq \dim(W)$, אז ההעתקה T היא על.
ג. אם $\dim \mathrm{Ker}(T)=0$ 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 $T:V\to W$; $\{v_1,\dots,v_n\}$ בסיס של V.
הוכח או הפרך:
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 $T:V\to W$.
$\{v_1,v_2\dots,v_n\}$ 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 $T:R^n\to R^m$.
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 $T:V\to V$, המקיימת $\operatorname{Im}(T)=\operatorname{Ker}(T)$.
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 $T:R^n\to R^m$, ונתונה מטריצה $A_{m\times n}$,
כך ש- $T(v)=Av$, לכל $v\in R^n$.
הוכיחו או הפריכו:
א. אם $v\in\operatorname{Ker}(T)$, אז $v\in\operatorname{rowsp}(A)$.
ב. אם $v\in\operatorname{rowsp}(A)$, אז $v\in\operatorname{Ker}(T)$.
ג. אם $v\in\operatorname{colsp}(A)$, אז $v\in\operatorname{Im}(T)$.
ד. אם $\operatorname{Ker}(T)=\{0\}$, אז $n<m$.

13) נתונה העתקה ליניארית $T:R^n\to R^n$, ונתונה מטריצה A,
כך ש- $T(v)=Av$, לכל $v\in R^n$.
הוכיחו את הטענות הבאות:
א. אם $\mathrm{rank}(A)=n$, אז T חח"ע.
ב. אם $\mathrm{rank}(A)=n$, אז T על.
ג. אם $T^2(v)=0$, אז $\mathrm{Im}(T)\subseteq \mathrm{Ker}(T)$.
ד. אם $T^2(v)=0$, אז $\mathrm{rank}(A)\le\frac{n}{2}$.

14) נתונה העתקה ליניארית $T:P_3[R]\to R$, 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 $T:P_n[R]\to R$.

15) נתונה העתקה ליניארית $T:M_n[R]\to M_n[R]$, 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:

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

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.

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

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

ב. לא חח״ע, כן על.

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

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

לא חח״ע, כן על.

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

ב. חח״ע ועל.

ג. $T^{-1}(A)=A^T$

פעולות עם העתקות ליניאריות

שאלות

בשאלות **1-9**, תהיינה $S:R^3 \to R^2$ ו- $T:R^3 \to R^3$ 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) $ST:\mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}^3$; $St(x,y,z)=(z-4y,4x-y)$

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 לינארית 2 (מענה חלקי)

פרק 4 - מטריצות והעתקות לינאריות

תוכן העניינים

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:

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

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: $T:R^3 \to R^3$, $T(x,y,z)=(x+y,y+z,z-x)$.
נתונים שני בסיסים של R^3:
$B_1=\{(1,1,0),\ (0,1,0),\ (0,1,1)\}$, $B_2=\{(1,0,1),(0,1,1),\ (0,0,1)\}$

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 ליניארית $T:R^3 \to R^3$.
ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס $B=\{(1,0,1),(0,1,1),(0,0,1)\}$,
היא $[T]_B=\begin{pmatrix}1&1&0\\1&2&1\\-2&-2&0\end{pmatrix}$.
מהי נוסחת ההעתקה? פתרו בשתי דרכים שונות.

4) יהיו B_1 ו- B_2 שני בסיסים של המרחב R^3, ויהי T אופרטור ליניארי על R^3.
נתון כי: $[M]_{B_1}^{B_2}=\begin{pmatrix}-1&-9&6\\1&6&-4\\1&5&-2\end{pmatrix}$ 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:

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

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

6) מצאו את המטריצה שמייצגת את ההעתקה $D: P_4[R] \to P_3[R]$, $D(p(x)) = p'(x)$,
לפי הבסיס הסטנדרטי של הפולינומים ממעלה קטנה או שווה ל-4.

7) נתונה העתקה ליניארית $T: M_2[R] \to M_2[R]$.
ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס הסטנדרטי
היא: $[T]_E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$.
מצאו את נוסחת ההעתקה.

8) נתונה העתקה ליניארית $T: P_2[R] \to P_2[R]$.
נתון כי המטריצה המייצגת את ההעתקה, לפי הבסיס הסטנדרטי,
היא: $[T]_E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$.
מצאו את נוסחת ההעתקה.

9) נתונה העתקה ליניארית $T: P_2[R] \to P_2[R]$.
נתון כי המטריצה המייצגת את ההעתקה, לפי הבסיס $B = \{1, 1-x, x+x^2\}$,
היא: $[T]_B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}$.
א. מצאו את נוסחת ההעתקה. כלומר, מצאו את $T(p(x))$.
* פתרו בשתי דרכים שונות.
ב. מצאו את $T^2(p(x))$.

10) תהי $T: \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^n$ העתקה ליניארית, 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 ליניארית $T:P_3[R]\to P_3[R]$.
ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה בבסיס הסטנדרטי
היא $[T]_E=\begin{pmatrix}0&1&0&1\\1&0&1&0\\0&1&0&1\\1&0&1&0\end{pmatrix}$.
א. מצאו גרעין ותמונה של ההעתקה.
ב. מצאו את נוסחת ההעתקה.

12) נתונה העתקה ליניארית $T:M_2[R]\to M_2[R]$.
ידוע שהמטריצה שמייצגת את ההעתקה, בבסיס הסטנדרטי,
היא $[T]_E=\begin{pmatrix}1&2&3&0\\4&5&6&0\\7&8&9&0\\0&0&0&0\end{pmatrix}$.
א. מצאו גרעין ותמונה של ההעתקה.
ב. חשבו את העקבה, הדטרמיננטה והדרגה של ההעתקה.
ג. מצאו את נוסחת ההעתקה.

13) נתונה העתקה ליניארית: $T:P_2[R]\to P_2[R]$; $T(a+bx+cx^2)=b+cx$.
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 הליניארית
$T:V\to V$; $T\left(p(x)\right)=xp''(x)-p'(x)$.
א. מצאו את המטריצה המייצגת $[T]_B$.
ב. מצאו בסיס וממד עבור $\operatorname{Im}(T),\operatorname{Ker}(T)$.
הערה: בפתרון סעיף זה לא נשתמש במטריצה המייצגת למציאת הגרעין והתמונה, היות ונוסחת ההעתקה כבר נתונה בתרגיל.

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

יהי $B=\{u,v,w\}$ בסיס ל- V.

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

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

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

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

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

ד. לא. ה. הדטרמיננטה: 0, העקבה: 3.

ו. 0 ע"ע יחיד; הו"ע שלו: $(1,-1,1)$. ז. לא.

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

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

5) $\left[T\right]_{B}=\begin{pmatrix}1&2&2&0\\0&-1&0&2\\3&5&4&-2\\0&-2&0&6\end{pmatrix}$

6) $\left[T\right]_{E}=\begin{pmatrix}0&1&0&0&0\\0&0&2&0&0\\0&0&0&3&0\\0&0&0&0&4\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}$

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

8) $T:P_2[R]\to P_2[R]\ ;\ T\left(p(x)\right)=p(x+1)$

9) א. $T\left(a+bx+cx^2\right)=(a+2b-2c)+(2a+4c)x+(2a+b+2c)x^2$

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

10) שאלת הוכחה.

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

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

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

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

13) שאלת הוכחה.

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

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

15) שאלת הוכחה.

מטריצה שמייצגת העתקה מבסיס לבסיס

שאלות

1) מצאו את המטריצה המייצגת של כל אחת מההעתקות הליניאריות הבאות, ביחס לבסיסים הסטנדרטיים של R^n :

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

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

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

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

3) תהי $T: R^3 \to R^2$ העתקה ליניארית המוגדרת על ידי:

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

חשבון 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 ליניארית $T: R^3 \to R^2$ מתקיים: $[T]_{B_1}^{B_2}=\begin{pmatrix}1 & 2 & 3\\ 4 & 5 & 6\end{pmatrix}$,

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

מצאו את נוסחת ההעתקה.

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

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

מצאו את נוסחת ההעתקה.

6) נתונה העתקה ליניארית $T: P_3[R] \to P_2[R]$.

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 ליניארית $T:P_2[R]\to R^3$, אשר המטריצה המייצגת אותה מבסיס סטנדרטי לבסיס סטנדרטי היא: $[T]=\begin{pmatrix}1&1&0\\0&1&1\\0&0&1\end{pmatrix}$.

מצאו את נוסחת ההעתקה.

8) נתונה העתקה ליניארית $T:M_2[R]\to P_3[R]$, שהמטריצה המייצגת אותה מבסיס סטנדרטי לבסיס סטנדרטי היא: $[T]=\begin{pmatrix}1&-1&0&0\\0&0&1&1\\1&0&-1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix}$.

מצאו את נוסחת ההעתקה.

9) תהי $T:V\to V$ העתקה ליניארית, כך ש- $\dim(V)=n$,

ויהיו B_1,B_2 בסיסים סדורים של V. הוכיחו או הפריכו:

א. $[T]_{B_1}^{B_1}=I_n$

ב. אם T העתקה זהות, אז בהכרח $[T]_{B_1}^{B_1}=I_n$.

ג. אם T העתקה זהות, אז בהכרח $[T]_{B_2}^{B_1}[T]_{B_1}^{B_2}=I_n$.

10) נתונה העתקה ליניארית $T:P_2[R]\to R^3$ המוגדרת על ידי:

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

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 $T^4\left(a+bx+cx^2\right)$.

11) נתונה העתקה ליניארית $T:M_2[R]\to P_3[R]$, 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 $T^{-1}\left(a+bx+cx^2+dx^3\right)$.

12) חשבו את ST ואת TS, עבור ההעתקות:

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

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

תשובות סופיות

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

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

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

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

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

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

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

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

9) שאלת הוכחה.

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

ג. לא ניתן.

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

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

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

ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של העתקה

שאלות

1) נתונה העתקה ליניארית, $T:M_2[R]\to M_2[R]$; $T(X)=PX$,
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 ליניארית, $T:M_{10}[R]\to M_{10}[R]$; $T(X)=PX$,
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 ליניארית 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 ליניארית $T(x,y,z)=(4x-y-z,x+2y-z,x-y+2z)$
מצאו ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים של ההעתקה.
האם ההעתקה ניתנת ללכסון?
ב. נתונה העתקה ליניארית: $T:R^3\to R^3$, $T(x,y,z)=(x+y,y+z,z-x)$.
מצאו ערכים עצמיים ווקטורים עצמיים עבור ההעתקה.
האם ההעתקה ניתנת ללכסון?

5) נתונה העתקה ליניארית $T(x,y,z)=(x+z,y,x+z)$.
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:

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

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: $T:P_2[R]\to P_2[R] \quad ; \quad T\left(p(x)\right)=p(x+1)$

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 $T:V\to V$ העתקה ליניארית.
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) א. $W=\left\{\begin{pmatrix}\lambda & 0\\ 0 & \lambda\end{pmatrix} \middle| \lambda\in R\right\}$ ב. $B_W=\left\{\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}\right\}$

2) $|P|=4^{10}$

3) $T:M_{2x3}(R)\to M_{2x3}(R)\quad T(X)=4X$

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

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

5) $v_{\lambda=2}=(1,0,1)$, $v_{\lambda=1}=(0,1,0)$, $v_{\lambda=0}=(-1,0,1)$ ב. ניתנת ללכסון.

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

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

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

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

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

8) שאלת הוכחה.