

מתמטיקה בדידה

פרק 2 - תורת הקבוצות

תוכן העניינים

1. מבוא לתורת הקבוצות..... 1
2. פעולות על קבוצות..... 2
3. דיאגרמת ון..... 4
4. קריאת קבוצות..... 6
5. שאלות הוכחה..... 8
6. דרך השלילה..... 10
7. קבוצת חזקה..... 11
8. מכפלה קרטזית..... 13

מבוא לתורת הקבוצות

שאלות

(1) לגבי כל אחד מהממדים הבאים רשמו ב-□ את הסימן המתאים, $\in, \notin, \subseteq, \subset, \supseteq, \supset, \neq$. שימו לב שתיתכן יותר מתשובה אחת. אם התשובה היא $\neq$, נמקו.

א. $1 \square \{1, \{1\}\}$ ב. $\{1\} \square \{1, \{1\}\}$ ג. $\{8, \emptyset\} \square \{1, 2, 8\}$

ד. $\emptyset \square \{1, 2\}$ ה. $\emptyset \square \{\emptyset, 1, 2\}$

ו. $\{2\} \square \{\{1, \{2\}\}\}$ ז. $\{2\} \square \{2, \{2, \{2\}\}\}$

ח. $\{2\} \square \{2, \{2\}, \{\{2\}\}\}$ ט. $\{2\} \square \{2, \{2, \{2\}\}, \{2\}\}$

י. $\{\{2\}, \emptyset\} \square \{2, \{2\}, \{\{2\}\}\}$ יא. $\emptyset \square \{1, \{\emptyset\}\}$

יב. $\{\emptyset\} \square \{1, \{\emptyset\}\}$ יג. $\{1, 2\} \square \{1, \{2\}\}$

יד. $1 \square \mathbb{N}$ טו. $\{1\} \square \mathbb{N}$

טז. $1 \square \{\mathbb{N}\}$ יז. $\{1\} \square \{\mathbb{N}\}$

תשובות סופיות

(1) א. $\in$ ב. $\in, \subseteq, \subset$ ג. $\notin, \supseteq$ ד. $\in, \subseteq, \subset$ ה. $\in, \subseteq, \subset$
ו. $\notin, \supseteq$ ז. $\in, \subseteq, \subset$ ח. $\in, \subseteq, \subset$ ט. $\in, \subseteq, \subset$ י. $\notin, \supseteq$
יא. $\in, \subseteq, \subset$ יב. $\notin, \supseteq$ יג. $\notin, \supseteq$ יד. $\in, \notin$ טו. $\in, \subseteq, \subset$
טז. $\notin$ יז. $\notin, \supseteq$

פעולות על קבוצות

שאלות

(1) עבור $A = \{1, 2, 3\}, B = \{3, 4, 5\}, C = \{1, 4, 6\}$ חשבו את הקבוצות הבאות:

א. $(A \cup C) \setminus B$

ב. $(A \cap B) \cup C$

ג. $A \cap (B \cup C)$

ד. $P(A)$

ה. $C \setminus A$

(2) עבור $A = \{1, 2, 3\}, B = \{3, 4, 5\}, C = \{1, 4, 6\}$:

א. האם $B \subseteq C$?

ב. האם $\{1\} \subseteq B$?

ג. האם $\{1\} \subseteq A$?

ד. האם $\{1\} \in P(A)$?

ה. האם $\{1\} \subseteq P(A)$?

ו. האם $\{\{1\}\} \subseteq P(A)$?

ז. האם $\{\{1\}, \emptyset\} \subseteq P(A)$?

(3) עבור $A = \{1, \{3, *\}, \emptyset\}, B = \{4, \emptyset\}$ חשבו:

א. $A \cup B$

ב. $A \cap B$

ג. $A - B$

ד. $B - A$

ה. $A \oplus B$

תשובות סופיות

- (1) א. $\{1, 2, 6\}$ ב. $\{1, 3, 4, 6\}$ ג. $\{1, 3\}$ ד. $2 \notin P(A)$
- (2) א. לא. ב. לא. ג. כן. ד. כן.
- ה. לא. ו. כן. ז. כן.
- (3) א. $\{1, \{3, *\}, \emptyset, 4\}$ ב. $\{\emptyset\}$ ג. $\{1, \{3, *\}\}$ ד. $\{4\}$
- ה. $(A \setminus B) \cup (B \setminus A)$

דיאגרמת ון

שאלות

1) באיור שלהלן דיאגרמת ון.



קווקוו את השטח המתאר את הקבוצות הבאות :

- | | |
|------------------------|-------------------------------------|
| א. $(A - B) - C$ | ב. $A - (B - C)$ |
| ג. $A \cap B^c$ | ד. $(A \cap B^c) \cup (C \cap A^c)$ |
| ה. $(A \cap B) \cap C$ | ו. $A \cap (B \cap C)$ |
| ז. $(A \cup B) \cup C$ | ח. $A \cup (B \cup C)$ |

תשובות סופיות

1) א.



ב.



ג.



ד.



ה.



ו.



ז.



ח.



קריאת קבוצות

שאלות

(1) עבור $\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots\}$, רשמו בשתי דרכים את הקבוצות הבאות:

א. קבוצת המספרים טבעיים האי זוגיים, $\mathbb{N}_{\text{odd}} = \{1, 3, 5, \dots\}$.

ב. קבוצת כל הטבעיים שיש להם שורש ריבועי, $A = \{1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, \dots\}$.

ג. קבוצת כל הטבעיים שאין להם שורש ריבועי,

$B = \{2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, \dots\}$.

ד. קבוצת כל השורשים של מספרים טבעיים,

$C = \{\sqrt{1}, \sqrt{2}, \sqrt{3}, \sqrt{4}, \sqrt{5}, \sqrt{6}, \sqrt{7}, \dots\}$.

ה. קבוצת כל החזקות של 2,

$D = \{2^1, 2^2, 2^3, \dots\} = \{2, 4, 8, 16, 32, \dots\}$.

(2) עבור $\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots\}$, חשבו את הקבוצות הבאות:

א. $C = \{3n-1 \mid n \in \mathbb{N}\}$.

ב. $K = \{x \in \mathbb{Z} \mid |x| \geq 2 \rightarrow x^2 > 41\}$.

ג. $C = \{x \in \mathbb{Z} \mid |x| \geq 7 \rightarrow x < 20\}$.

ד. $C = \{3n-1 \mid n \in \mathbb{N} \wedge \sqrt{n} \in \mathbb{N}\} = \{3n-1 \mid \sqrt{n} \in \mathbb{N}\}$.

ה. $C = \{x \in \mathbb{Z} \mid x \geq 8 \rightarrow x^2 < 67\}$.

תשובות סופיות

$$(1) \text{ א. דרך 1: } \left\{ n \in \mathbb{N} \mid \frac{n+1}{2} \in \mathbb{N} \right\}, \text{ דרך 2: } \{2n-1 \mid n \in \mathbb{N}\}.$$

$$\text{ב. דרך 1: } \{n \in \mathbb{N} \mid \sqrt{n} \in \mathbb{N}\}, \text{ דרך 2: } \{n^2 \mid n \in \mathbb{N}\}.$$

$$\text{ג. דרך 1: } \{n \in \mathbb{N} \mid \sqrt{n} \notin \mathbb{N}\}, \text{ דרך 2: } \{n \mid n \in \mathbb{N} \wedge \forall k \in \mathbb{N} \ n \neq k^2\}.$$

$$\text{ד. דרך 2: } \{\sqrt{n} \mid n \in \mathbb{N}\}.$$

$$\text{ה. דרך 1: } \{n \in \mathbb{N} \mid \exists k \in \mathbb{N} \ n = 2^k\}, \text{ דרך 2: } \{2^n \mid n \in \mathbb{N}\}.$$

$$(2) \text{ א. } C = \{2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, \dots\}$$

$$\text{ב. } \mathbb{Z} - \{\pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 6, \dots\}$$

$$\text{ג. } \mathbb{Z} - \{20, 21, 22, 23, \dots\}$$

$$\text{ד. } \{2, 11, 26, 74, 107, 146, \dots\}$$

$$\text{ה. } \mathbb{Z} - \{9, 10, 11, 12, \dots\}$$

שאלות הוכחה

שאלות

בכל אחת משאלות הפרק יש לפעול כפי שמתואר בשאלה 1.

(1) תהיינה A, B קבוצות.

אם הטענה נכונה, ציינו זאת ותנו נימוק קצר מדוע.
אם הטענה אינה נכונה, ציינו זאת, ותנו דוגמה נגדית.
יש ערך רב יותר לדוגמה מינימלית; בדקו האם בדוגמה הנגדית יש פרטים מיותרים והסירו אותם.
אם טענות יב-כא נכונות, נסו להוכיחן, ובמיוחד את טענה יב, שבה נשתמש יותר מאוחר להוכחת תכונות של קבוצת חזקה.

א. אם $x \notin A$, אז $x \notin A \cup B$.

ב. אם $x \notin A \cup B$, אז $x \notin A$.

ג. אם $x \notin A$, אז $x \notin A \cap B$.

ד. אם $x \notin A \cap B$, אז $x \notin A$.

ה. אם $x \notin A$, אז $x \notin A - B$.

ו. אם $x \notin A - B$, אז $x \notin A$.

ז. אם $x \in B$, אז $x \notin A - B$.

ח. אם $x \notin A - B$, אז $x \in B$.

ט. $x \notin A \Leftrightarrow x \notin A - B$.

י. $x \in B \Leftrightarrow x \notin A - B$.

יא. השלימו: $x \notin A - B \Leftrightarrow \underline{\hspace{2cm}}$.

יב. $(A \subseteq B \wedge A \subseteq C) \Leftrightarrow A \subseteq B \cap C$.

יג. $(A \subseteq B \vee A \subseteq C) \Leftrightarrow A \subseteq B \cup C$.

יד. אם $A \subseteq B$, אז $A = A \cup B$.

טו. אם $A = A \cup B$, אז $B \subseteq A$.

טז. אם $A = A \cap B$, אז $A \subseteq B$.

יז. אם $A = A \cap B$, אז $B \subseteq A$.

יח. אם $A \subseteq B$, אז $A = A \cup B$.

יט. אם $B \subseteq A$, אז $A = A \cup B$.

כ. אם $A \subseteq B$, אז $A = A \cap B$.

כא. אם $B \subseteq A$, אז $A = A \cap B$.

(2) תהיינה A, B, C קבוצות.

הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

א. אם $A = A - B$, אז $B = \emptyset$.

ב. אם $A = A - B$, אז $A \cap B = \emptyset$.

ג. אם $A = A \cup B$, אז $A \cap B = B$.

ד. אם $B = A \cup B$, אז $A \cap B = B$.

ה. אם $A \cap B = A$, אז $A = A \cup B$.

ו. אם $A \cap B = B$, אז $A = A \cup B$.

ז. אם $A \cup B = A \cup C$ וגם $A \cap B = A \cap C$ אז $B = C$.

ח. $A \cup (B - C) = (A \cup B) - C$.

ט. $A \cup (B - C) = (A \cup B) - (A \cap C)$.

י. $(A \cup B) \cap C = A \cup (B \cap C)$.

יא. $(A \setminus B) \setminus C = A \setminus (B \cup C)$.

יב. $A \cap (B \Delta C) = (A \cap B) \Delta (A \cap C)$.

יג. $(A - B) \cap (C - D) = (A \cap C) - (B \cup D)$.

יד. להלן שתי טענות. הוכיחו את הנכונה והפריכו את השגויה:

1. $A \cap B \cap C \subseteq A \oplus B \oplus C$

2. $A \oplus B \oplus C \subseteq A \cap B \cap C$

תשובות סופיות

- (1) א. לא נכונה. ב. נכונה. ג. נכונה. ד. לא נכונה. ה. נכונה.
ו. לא נכונה. ז. נכונה. ח. לא נכונה. ט. לא נכונה. י. לא נכונה.
יא. $x \in B \vee x \notin A$ יב. נכונה. יג. לא נכונה. יד. לא נכונה.
טו. נכונה. טז. נכונה. יז. לא נכונה. יח. לא נכונה. יט. נכונה.
כ. נכונה. כא. לא נכונה.
- (2) א. לא נכונה. ב. לא נכונה. ג. נכונה. ד. לא נכונה. ה. לא נכונה.
ו. נכונה. ז. נכונה. ח. לא נכונה. ט. לא נכונה. י. לא נכונה.
יא. נכונה. יב. נכונה. יג. נכונה. יד. 1. נכונה. 2. לא נכונה.

דרך השלילה

שאלות

הוכיחו כל אחת מהטענות הבאות בדרך השלילה. במקום הטענה אם α , אז β , נוכיח אם $\neg\beta$, אז $\neg\alpha$.

יש לזכור תמיד שלהנחת השלילה $\neg\beta$ ולכל הנובע ממנה מתייחסים כנתון.

(1) אם $A \cap C = \emptyset$ אז $A - (B - C) \subseteq (A - B) - C$

(2) אם $A \subseteq B$ אז $(A - C) \cup (C - B) \subseteq A \cap B$

(3) אם $(A - C) \cap B = \emptyset$ אז $(A \cup B) - C \subseteq A - B$

(4) אם $B \subseteq A$ אז $(C - A) \cup (B - C) \subseteq A - B$

(5) אם $A \subseteq A \Delta B$ וגם $B - C = B \Delta C$ אז $A \cap C = \emptyset$

(6) אם $A \subseteq A \oplus B$ וגם $B - C = B \oplus C$ אז $A \cap C = \emptyset$

תשובות סופיות

(1) הוכחה.

(2) הוכחה.

(3) הוכחה.

(4) הוכחה.

(5) הוכחה.

(6) הוכחה.

קבוצת חזקה

שאלות

(1) עבור $A = \{3, \{\emptyset\}\}$, $B = \{\{3\}, \{4, \emptyset\}\}$, $C = \{3, \{3\}, \{\emptyset, 3\}\}$ רשמו את הקבוצות הבאות:

א. את $P(C)$, $P(B)$ ואת $P(A)$.

ב. $P(A) \cap B$, $P(A) \cap A$, $P(C) \cap C$ ואת $C - P(C)$.

(2) עבור הקבוצות $A = \{\emptyset, \{\emptyset\}\}$, $B = \{1, \emptyset\}$

א. רשמו את $P(A)$ ואת $P(B)$.

ב. רשמו את $P(A) - P(B)$ ואת $P(B) - P(A)$.

ג. $P(A) - A$ ואת $P(A) - \{A\}$.

(3) רשמו את $P(\emptyset)$, את $P(P(\emptyset))$ ואת $P(P(P(\emptyset)))$.

(4) תהיינה A, B שתי קבוצות. הוכיחו או הפריכו:

א. $P(A \cup B) = P(A) \cup P(B)$

ב. $P(A) \cup P(B) \subseteq P(A \cup B)$

ג. $P(A \cap B) = P(A) \cap P(B)$

ד. $P(A) \cap A \neq \emptyset$

ה. $P(A) \cap A = \emptyset$

ו. תנו דוגמה לקבוצה A שמקיימת $A \cap P(A) \cap P(P(A)) \neq \emptyset$.

ז. אם $\{A\} \subseteq P(B)$, אז $P(A) \subseteq P(B)$.

את שתי הטענות הבאות הוכיחו בדרך השלילה:

ח. אם $P(A) \subseteq P(A - B)$, אז $A \cap B = \emptyset$.

ט. אם $P(A \cup B) = P(A) \cup P(B)$, אז $(A \subseteq B) \vee (B \subseteq A)$ (שאלה קשה).

(5) תהיינה A, B, C קבוצות כלשהן, ונתון $P(B) - P(A) = P(B) - \{\emptyset\}$.

הוכיחו כי $B - A = B$.

תשובות סופיות

- (1) א. $P(B) = \{\emptyset, \{\{3\}\}, \{\{4, \emptyset\}\}, \{\{3\}, \{4, \emptyset\}\}\}$, $P(A) = \{\emptyset, \{3\}, \{\{\emptyset\}\}, \{3, \{\emptyset\}\}\}$
 ב. $P(C) = \{\emptyset, \{3\}, \{\{3\}\}, \{\{\emptyset, 3\}\}, \{3, \{3\}\}, \{3, \{\emptyset, 3\}\}, \{\{3\}, \{\emptyset, 3\}\}, \{3, \{3\}, \{\emptyset, 3\}\}\}$
 ג. $C - P(C) = \{3, \{\emptyset, 3\}\}$, $P(C) \cap C = \{\{3\}\}$, $P(A) \cap A = \emptyset$, $P(A) \cap B = \{\{3\}\}$
- (2) א. $P(B) = \{\emptyset, \{1\}, \{\emptyset\}, \{1, \emptyset\}\}$, $P(A) = \{\emptyset, \{\emptyset\}, \{\{\emptyset\}\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\}$
 ב. $P(B) - P(A) = \{\{1\}, \{1, \emptyset\}\}$, $P(A) - P(B) = \{\{\{\emptyset\}\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\}$
 ג. $P(A) - \{A\} = \{\emptyset, \{\emptyset\}, \{\{\emptyset\}\}\}$, $P(A) - A = \{\{\{\emptyset\}\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\}$
- (3) $P(P(P(\emptyset))) = \{\emptyset, \{\emptyset\}, \{\{\emptyset\}\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}\}$, $P(P(\emptyset)) = \{\emptyset, \{\emptyset\}\}$, $P(\emptyset) = \{\emptyset\}$
- (4) א. לא נכונה. ב. נכונה. ג. נכונה. ד. לא נכונה. ה. לא נכונה.
 ו. ראו סרטון. ז. נכונה. ח. הוכחה. ט. הוכחה.
- (5) הוכחה.

מכפלה קרטזית

שאלות

(1) תהיינה A, B, C קבוצות. הוכיחו:

א. $(A = B) \Leftrightarrow (A \times A = B \times B)$

ב. $((B = \emptyset) \vee (A = \emptyset) \vee (A = B)) \Leftrightarrow (A \times B = B \times A)$

ג. הוכיחו כי לכל ארבע קבוצות A, B, C, D מתקיים

$$(A \cup B) \times C = (A \times C) \cup (B \times C)$$

ד. אם $((A \times A) \cup (B \times B) = (C \times C))$, אז

$$(((B \subseteq A) \vee (A \subseteq B)) \wedge (A \cup B \subseteq C))$$

ה. הוכיחו כי לכל ארבע קבוצות A, B, C, D מתקיים

$$(A \cap B) \times (C \cap D) = (A \times C) \cap (B \times D)$$

(2) הוכיחו או הפריכו:

תהיינה A, B שתי קבוצות כלשהן ותהי $S \subseteq A \times B$.

אז קיימות $C \subseteq A$ ו- $D \subseteq B$, כך ש- $S = C \times D$.

(3) הוכיחו או הפריכו:

קיימות שתי קבוצות A, B , כך ש- $|A \times B| = 24$ וגם $|A \cap B| = 5$ (סימן $||$ על קבוצה מסמן את מספר אבריה).

(4) הוכיחו או הפריכו:

לכל שלוש קבוצות A, B, C מתקיים $A \times (B \oplus C) = (A \times B) \oplus (A \times C)$.

(5) הדגימו שלוש קבוצות A, B, C , כך ש- $(A \times (B \times C)) \cap ((A \times B) \times C) \neq \emptyset$.

תשובות סופיות

- (1) א. הוכחה. ב. הוכחה. ג. הוכחה. ד. הוכחה. ה. הוכחה.
- (2) לא נכונה.
- (3) לא נכונה.
- (4) נכונה.
- (5) ראו סרטון.