

חדות 1



תוכן העניינים

1.	מבוא מתמטי לקורס	1
2.	סדרות	32
3.	טורים עם איברים קבועים	65
4.	טורי פונקציות וטורי חזקות (ללא ספר)	
5.	הפונקציה הממשית - תכונות בסיסיות ופונקציות נפוצות (ללא ספר)	
6.	הפונקציה הממשית - תכונות מתקדמות	79
7.	גבול של פונקציה	101
8.	רציפות של פונקציה - משפט ערך הביניים	117
9.	נושאים מתקדמים - רציפות במידה שווה	131
10.	הגדרת הנגזרת - גזירות של פונקציה - נגזרות חד-צדדיות	137
11.	חישוב נגזרת של פונקציה	149
12.	חישוב נגזרת של פונקציות מיוחדות	162
13.	משיק, נורמל, נוסחת הקירוב הליניארי	166
14.	כלל לופיטל	177
15.	חקירת פונקציה	184
16.	מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה	213
17.	בעיות מקסימום ומינימום (בעיות קיצון)	218
18.	פתרון משוואות (קושי-רול-ניוטון רפסון)	238
19.	בעיות קצב שינוי	244
20.	משפטי הערך הממוצע של רול, לגראנז', קושי ודברו	249
21.	טורי טיילור - מקלורן	266
22.	נושאים מתקדמים - הצגה פרמטרית של פונקציה	281
23.	נושאים מתקדמים - הצגה פולרית של פונקציה	286

תוכן העניינים

24.	הוכחות של משפטים נבחרים בקורס	297
25.	תרגילים מתקדמים נוספים (הפרק באנגלית)	299
26.	טריגונומטריה במשולש ישר זוית.	308
27.	זהויות טריגונומטריות.	313
28.	משוואות טריגונומטריות.	334
29.	טריגונומטריה במישור.	355

חדוא 1

פרק 1 - מבוא מתמטי לקורס

תוכן העניינים

1	1. מבוא לתורת הקבוצות
7	2. המספרים האי-רציונליים
8	3. קבוצות חסומות וקבוצות לא חסומות
15	4. קבוצה צפופה
17	5. הערך השלם
19	6. סימן הסכימה
22	7. אינדוקציה
24	8. אי שוויונים מפורסמים
25	9. פתרון אי שוויונים
27	10. עצרת, המקדם הבינומי, הבינום של ניוטון
30	11. שדות

מבוא לתורת הקבוצות

שאלות

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

א. $\forall x \forall y: (x+y)^2 > 0$

ב. $\forall x \exists y: (x+y)^2 > 0$

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

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

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

הערה: בסעיף זה הטבעיים כוללים את 0.

2) רשמו כל אחת מהטענות הבאות בסימנים לוגיים:

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

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

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

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

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

ואת מספר איברי הקבוצה:

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

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

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

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

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

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

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

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

א. קבוצת המספרים השלמים החיוביים האיזוגיים.

ב. קבוצת המספרים הראשוניים בין 10 ל-20.

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

ד. קבוצת ריבועי המספרים 1, 2, 3, 4.

(5) ציינו אילו מן הקבוצות הבאות שוות זו לזו:

א. $A = \{11, 13, 17, 19\}$

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

ג. $C = \{11, 11, 17, 13, 19\}$

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

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

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

מי מבין הטענות הבאות נכונה:

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

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

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

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

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

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

א. $A \in B$

ב. $A \subseteq B$

(8) נתונות הקבוצות הבאות:

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

קבעו איזה מבין הקבוצות לעיל יכולה להיות הקבוצה X :

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

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

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

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

(10) נתונות הקבוצות הבאות :

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

רשמו את :

א. $A \cup B$

ב. $A \cap B$

ג. $(A \cup B) \cap C$

ד. $(B \cup C) \cap (B \cup D)$

ה. $(B \cap C) \cup (B \cap D)$

(11) נתונות הקבוצות הבאות :

$$A = [1, 4), B = (-2, 1), C = \{x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 4\}, D = \{x \in \mathbb{R} \mid 2^x = 0\}$$

רשמו את :

א. $A \cup B$

ב. $A \cap B$

ג. $(A \cup B) \cap C$

ד. $(B \cup C) \cap (B \cup D)$

ה. $(B \cap C) \cup (B \cap D)$

(12) נתונות 3 קבוצות :

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

א. חשבו את $(A - B) - C$.

ב. חשבו את $A - (B - C)$.

(13) נתון : $U = \{11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18\}, A = \{12, 15, 18\}, B = \{13, 15, 17\}$

הדגימו את כלל דה מורגן $(A \cup B)^c = A^c \cap B^c$.

(14) הוכיחו את כלל דה מורגן הראשון $(A \cup B)^c = A^c \cap B^c$.

(15) מצאו את הקבוצה המשלימה, ביחס ל- $\mathbb{R}$, של הקבוצות הבאות :

א. $A = [1, \infty)$

ב. $B = (-\infty, 1) \cup (4, \infty)$

ג. $C = \{x \in \mathbb{R} \mid x^2 - 5x + 4 > 0\}$

ד. $D = \{x \in \mathbb{R} \mid |x - 1| < 2 \vee x > 4\}$

16 הציגו באמצעות דיאגרמת ון את הקבוצות הבאות:

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

17 ענו על הסעיפים הבאים:

- א. הוכיחו כי $A \setminus B = A \cap B^c$.
הראו זאת גם בעזרת דיאגרמת ון.
- ב. נסמן: $X = C \setminus (A \cap B)$, $Y = (C \setminus A) \cup (C \setminus B)$.
הוכיחו כי $X = Y$.
- ג. נסמן: $X = A \setminus (B \cup C)$, $Y = (A \setminus B) \cap (A \setminus C)$.
הוכיחו כי $X = Y$.

18 תהיינה X, Y, Z קבוצות כלשהן.

- טענה א': $X \cap Y \cap Z = (X \setminus Y) \cup (Y \setminus Z) \cup (Z \setminus X)$.
- טענה ב': $((X \cap Y) \cup Z)^c = (X^c \cup Y^c) \cap Z^c$.
- טענה ג': $X \setminus (Y \setminus Z) = (X \setminus Y) \cup Z$.
- איזו טענה נכונה לכל בחירה של X, Y, Z ?

19 הוכיחו כי אם הנקודה x_1 שייכת לסביבת ε של הנקודה x_0 , אז קיימת סביבת δ של x_1 שמוכלת בסביבת ε של הנקודה x_0 .

20 הוכיחו שלכל שתי נקודות שונות קיימות סביבות זרות.

21 הוכיחו כי אם x_0 לא שייכת לקטע הסגור $[a, b]$, אז קיימת סביבה של הנקודה x_0 אשר לא מכילה שום נקודה מהקטע $[a, b]$.

22 הוכיחו כי אם $|x - x_0| < \varepsilon$, $|y - y_0| < \varepsilon$, אז $|xy - x_0y_0| < \varepsilon(|x_0| + |y_0| + \varepsilon)$.

תשובות סופיות

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

12) א. ϕ ב. $\{4, 5, 6\}$

13) ללא פתרון.

14) שאלת הוכחה.

15) א. $A^c = (-\infty, 1)$ ב. $B^c = [1, 4]$ ג. $C^c = [1, 4]$

ד. $D^c = (-\infty, 1] \cup [3, 4]$

16) ראו בסרטון.

17) שאלת הוכחה.

18) טענו ב.

19) שאלת הוכחה.

20) שאלת הוכחה.

21) שאלת הוכחה.

22) שאלת הוכחה.

המספרים האי-רציונליים

שאלות

- (1) א. ידוע כי מספר טבעי בריבוע הוא זוגי. הוכיחו שהמספר זוגי.
ב. הוכיחו כי $\sqrt{2}$ הוא מספר אי-רציונלי.
- (2) א. ידוע כי מספר בריבוע מתחלק ב-3. הוכיחו שהמספר מתחלק ב-3.
ב. הוכיחו כי $\sqrt{3}$ הוא מספר אי-רציונלי.
- (3) א. ידוע כי מספר בשלישית הוא זוגי. הוכיחו שהמספר זוגי.
ב. הוכיחו כי $\sqrt[3]{2}$ הוא מספר אי-רציונלי.
- (4) הוכיחו כי $\sqrt{n}$ הוא מספר אי-רציונלי (בהנחה ש- n טבעי שאינו ריבוע של מספר).
- (5) הוכיחו או הפריכו:
א. מכפלת מספרים אי-רציונליים היא מספר אי-רציונלי.
ב. סכום מספרים אי-רציונליים הוא מספר אי-רציונלי.
ג. מנה של שני מספרים אי-רציונליים היא מספר אי-רציונלי.
ד. סכום של מספר רציונלי ומספר אי-רציונלי הוא מספר אי-רציונלי.
- (6) א. הוכיחו כי $\sqrt{3} + \sqrt{2}$ הוא מספר אי-רציונלי.
ב. הוכיחו כי $\sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{5}$ הוא מספר אי-רציונלי.
ג. הוכיחו כי $\sqrt[3]{2} + \sqrt{3}$ הוא מספר אי-רציונלי.
- (7) א. יהי p מספר ראשוני ויהיו a, k מספרים טבעיים.
הוכיחו כי $p \mid a \Leftrightarrow p \mid a^k$.
ב. הוכיחו: אם $n \neq N^k$, אז $\sqrt[k]{n}$ הוא מספר אי-רציונלי ($n, k, N \in \mathbb{N}$).

הערת סימון: אם מספר a מתחלק במספר b נסמן $b \mid a$,
ונאמר גם " b מחלק את a ".

תשובות לכל שאלות ההוכחה מופיעות באתר GooL.co.il

קבוצות חסומות וקבוצות לא חסומות

שאלות

(1) נתונה הקבוצה $A = \left\{ \frac{n-1}{n} \mid n \in \mathbb{N} \right\}$.

- א. בדקו האם הקבוצה חסומה.
 ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

(2) נתונה הקבוצה $A = \left\{ \frac{1}{n^4 + 2n + 1} \mid n \in \mathbb{N} \right\}$.

- א. בדקו האם הקבוצה חסומה.
 ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

(3) נתונה הקבוצה $A = \left\{ \frac{n^4 + n^2 + 3}{2n^4 + 2n^2 + 8} \mid n \in \mathbb{N} \right\}$.

- א. בדקו האם הקבוצה חסומה.
 ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

(4) נתונה הקבוצה $A = \left\{ \frac{[cn]}{n} \mid n \in \mathbb{N}, 0 < c \in \mathbb{R} \right\}$.

- א. הוכיחו שהקבוצה חסומה מלמעלה ומצאו את $\sup A$.
 ב. הוכיחו שהקבוצה חסומה מלמטה ומצאו את $\inf A$.

(5) נתונה הקבוצה $A = \{n^5 - n + 4 \mid n \in \mathbb{N}\}$.

- א. בדקו האם הקבוצה חסומה.
 ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

6 נתונה הקבוצה $A = \{11 - 4^n \mid n \in \mathbb{N}\}$.

- א. בדקו האם הקבוצה חסומה.
 ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

7 נתונה הקבוצה $A = \left\{ \frac{4n-1}{5n} \mid n \in \mathbb{N} \right\}$.

- א. בדקו האם הקבוצה חסומה.
 ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

8 מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצות הבאות, במידה והם קיימים:

א. $A = \left\{ (-1)^n + \frac{1}{n^2} \mid n \in \mathbb{N} \right\}$

ב. $B = \{x \in \mathbb{Z} \mid |x-1| \leq 1\}$

ג. $C = \left\{ x \in \mathbb{R} \mid \frac{x^2-4}{(x-2)^2} \leq 0 \right\}$

ד. $D = \left\{ x \in \mathbb{R} \mid x = 1 + \frac{n+1}{n+4} \sin \frac{n\pi}{2}, n \in \mathbb{N} \right\}$

9 ענו על הסעיפים הבאים:

- א. נתונה קבוצה של מספרים ממשיים S . הוכיחו שאם קיים לקבוצה חסם עליון אז הוא יחיד.
 ב. הוכיחו שלקבוצה הריקה אין חסם עליון.

10 הוכיחו את הטענות הבאות:

- א. אם α הוא הסופרמום של הקבוצה A , אז לכל מספר ממשי $\varepsilon > 0$, קיים איבר $x \in A$, כך ש- $\alpha - \varepsilon < x \leq \alpha$.
 ב. אם β הוא האינפימום של הקבוצה A , אז לכל מספר ממשי $\varepsilon > 0$, קיים איבר $x \in A$, כך ש- $\beta \leq x < \beta + \varepsilon$.

(11) הוכיחו את הטענות הבאות :

- א. בין כל שני מספרים ממשיים קיים מספר ממשי.
(משפט הצפיפות של הממשיים)
- ב. עבור קטעים מהטיפוס $(-\infty, b)$, (a, b) , $[a, b)$, לא קיים מקסימום.
- ג. עבור קטעים מהטיפוס $(-\infty, \infty)$, (a, ∞) , $[a, \infty)$, לא קיים מקסימום.
- ד. עבור קטעים מהטיפוס $(-\infty, b)$, (a, b) , $[a, b)$, הקצה הימני של הקטע הוא החסם העליון.
- ה. אם S היא קבוצה בעלת מקסימום, אז ל- S יש חסם עליון, ומתקיים $\max S = \sup S$.

(12) תהי A תת-קבוצה לא ריקה של $\mathbb{R}$, ויהי $x \in \mathbb{R}$.

- נגדיר את המרחק בין x ל- A על ידי: $d(x, A) = \inf \{|x - a| \mid a \in A\}$.
- אם $\alpha \in \mathbb{R}$ הוא החסם העליון של A , הראו כי $d(\alpha, A) = 0$.

(13) הוכיחו שקבוצת המספרים הטבעיים אינה חסומה מלמעלה.**(14) הוכיחו שקיימת קבוצה של מספרים רציונליים, אשר חסומה מלמעלה אך אין לה סופרמום רציונלי.****(15) ענו על הסעיפים הבאים :**

- א. נניח ש- K קבוצה של מספרים ממשיים החסומה מלמטה.
נתבונן בקבוצה $-K = \{-x \mid x \in K\}$.
הוכיחו שהקבוצה $-K$ חסומה מלמעלה.
- ב. הוכיחו שלכל קבוצה לא-ריקה של מספרים ממשיים, החסומה מלמטה, קיים חסם תחתון.

(16) תהי T קבוצה חסומה מלעיל של מספרים ממשיים.

תהי S קבוצה חלקית לא ריקה של T .
הוכיחו כי :

- א. ל- T יש חסם עליון $\sup T$.
- ב. ל- S יש חסם עליון $\sup S$.
- ג. $\sup S \leq \sup T$.
- ד. אם S ו- T בעלות מקסימום, אז $\max S \leq \max T$.

- 17** יהיו A ו- B שתי קבוצות לא ריקות, חסומות מלעיל, של מספרים ממשיים.
 א. נניח כי לכל $x \in A$ קיים $y \in B$ כך ש- $x < y$.
 הוכיחו כי $\sup A \leq \sup B$.
 האם יהיה נכון לומר ש- $\sup A < \sup B$?
 ב. נניח שבנוסף לנתון בסעיף א', נתון כי לכל $y \in B$ קיים $x \in A$ כך ש- $y < x$.
 הוכיחו כי $\sup A = \sup B$.
- 18** נניח ש- A ו- B הן שתי קבוצות לא ריקות וחסומות של מספרים ממשיים,
 כך ש- $\sup A = \inf B$.
 הוכיחו שלכל מספר $\delta > 0$, קיים מספר x ב- A , ומספר y ב- B , כך ש-
 $x + \delta > y$.
- 19** נניח ש- A ו- B הן שתי קבוצות לא ריקות וחסומות של מספרים ממשיים,
 כך ש- $\sup A \leq \inf B$.
 נניח שלכל מספר $\delta > 0$ קיים מספר x ב- A , ומספר y ב- B , כך ש- $x + \delta > y$.
 הוכיחו כי $\sup A = \inf B$.
- 20** נניח ש- A קבוצה לא ריקה של מספרים ממשיים, שאין לה מקסימום,
 ונניח כי $x < \sup A$.
 הוכיחו שיש לפחות שני איברים בקבוצה A , שנמצאים בין x ל- $\sup A$.
- 21** תהי S קבוצה לא ריקה וחסומה מלעיל של מספרים ממשיים.
 הוכיחו כי אם $c \geq 0$, אז ל- $c \cdot S$ יש חסם עליון, ומתקיים $\sup(c \cdot S) = c \cdot \sup S$.
- 22** יהיו S ו- T קבוצות לא ריקות וחסומות מלעיל של מספרים ממשיים.
 הוכיחו כי הקבוצה $S + T$ היא בעלת חסם עליון ומתקיים:
 $\sup(S + T) = \sup S + \sup T$.
- 23** יהיו S ו- T קבוצות לא ריקות וחסומות מלעיל של מספרים ממשיים.
 א. הוכיחו כי הקבוצה $S \cup T$ היא בעלת חסם עליון.
 ב. הוכיחו כי $\sup(S \cup T) = \max\{\sup S, \sup T\}$.
- 24** תהיינה U, T, S קבוצות לא-ריקות וחסומות מלעיל של מספרים ממשיים.
 נניח כי לכל $s \in S$ ולכל $t \in T$ קיים $u \in U$, המקיים את התנאי: $u \geq s + t$.
 הוכיחו כי $\sup U \geq \sup T + \sup S$.

(25) הוכיחו את הטענות הבאות :

- א. אם S ו- T הן שתי קבוצות לא ריקות של מספרים ממשיים, כך שכל איבר של S אינו גדול משום איבר של T , אז קיימים $\sup S, \inf T$, ומתקיים: $\sup S \leq \inf T$.
- ב. לכל קבוצה לא-ריקה וחסומה S מתקיים: $\inf S \leq \sup S$. האם ייתכן שוויון ביניהן? באילו תנאים?

(26) ענו על הסעיפים הבאים :

- א. נסחו והוכיחו את משפט ארכימדס.
- ב. נסחו והוכיחו את תכונת ארכימדס.
- ג. הוכיחו שלכל מספר ממשי $\varepsilon > 0$ קיים מספר טבעי n , כך ש- $0 < \frac{1}{n} < \varepsilon$.
- ד. הוכיחו שלכל שני מספרים ממשיים α, β , המקיימים $\alpha < \beta$, קיים מספר טבעי n , כך ש- $\alpha < \alpha + \frac{1}{n} < \beta$ וגם $\alpha < \beta - \frac{1}{n} < \beta$.

(27) תהי A תת-קבוצה לא ריקה של $\mathbb{R}$ ויהי $\alpha \in \mathbb{R}$ חסם מלעיל של A .

- נניח שלכל $n \in \mathbb{N}$ קיים $a_n \in A$, כך ש- $a_n > \alpha - \frac{1}{n}$.
- הוכיחו כי α הוא הסופרמום של A .

(28) הוכיחו שלכל מס' ממשי c קיים מספר שלם יחיד $m \in \mathbb{Z}$, כך ש- $m \leq c < m+1$. למספר m קוראים הערך השלם של c , ומסמנים $m = [c]$.**(29) יהיו a ו- b שני מספרים ממשיים המקיימים $|a-b| < \frac{1}{n}$, לכל מספר טבעי n . הוכיחו כי $a=b$.****(30) ענו על הסעיפים הבאים :**

- א. לכל n טבעי נגדיר $I_n = [n, \infty)$. הוכיחו כי $\bigcap_{n=1}^{\infty} I_n = \emptyset$.
- ב. לכל n טבעי נגדיר $J_n = \left[-\frac{1}{n}, \infty\right)$. הוכיחו כי $\bigcap_{n=1}^{\infty} J_n \neq \emptyset$.

(31) ענו על הסעיפים הבאים:

א. לכל n טבעי נגדיר $I_n = [a_n, b_n]$.

נניח כי $I_{n+1} \subset I_n$ לכל n .

הוכיחו כי $\bigcap_{n=1}^{\infty} I_n \neq \emptyset$.

ב. לכל n טבעי נגדיר $I_n = \left(0, \frac{1}{n}\right)$.

הוכיחו כי $\bigcap_{n=1}^{\infty} I_n = \emptyset$.

ג. בסעיף ב' התקיים כי $I_{n+1} \subset I_n$ לכל n , וכן $\bigcap_{n=1}^{\infty} I_n = \emptyset$.

האם תוצאת סעיף ב' סותרת את תוצאת סעיף א'?

(32) לכל n טבעי נגדיר $I_n = \left(-\frac{1}{n}, \frac{1}{n}\right)$.

הוכיחו כי $\bigcap_{n=1}^{\infty} I_n = \{0\}$.

תשובות סופיות

- (1) א. הקבוצה חסומה. ב. $\min A = \inf A = 0, \sup A = 1$
- (2) א. הקבוצה חסומה. ב. $\max A = \sup A = \frac{1}{4}, \inf A = 0$
- (3) א. הקבוצה חסומה. ב. $\min A = \inf A = \frac{5}{12}, \sup A = \frac{1}{2}$
- (4) א. הקבוצה חסומה. ב. $\sup A = c, \inf A = [c]$
- (5) א. הקבוצה לא חסומה מלמעלה וחסומה מלמטה על ידי 4. ב. $\min A = 4$
- (6) א. הקבוצה חסומה מלמעלה על ידי 7. הקבוצה לא חסומה מלמטה.
ב. $\max A = 7$
- (7) א. הקבוצה חסומה מלמעלה על ידי $\frac{4}{5}$, וחסומה מלמטה על ידי $\frac{3}{5}$;
לכן, הקבוצה חסומה. ב. $\sup A = \frac{4}{5}, \min A = \frac{3}{5}$
- (8) א. $\max A = \frac{5}{4}, \inf A = -1$ ב. $\min B = 0, \max B = 2$
ג. $\min C = -2, \sup C = 2$ ד. $\inf D = 0, \sup D = 2$

שאלות 9-32 הן שאלות הוכחה.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

קבוצה צפופה

שאלות

- (1) הוכיחו שקבוצת הממשיים צפופה בקבוצת הממשיים.
- (2) הוכיחו שקבוצת הרציונליים צפופה בקבוצת הממשיים.
- (3) הוכיחו שקבוצת האי-רציונליים צפופה בקבוצת הממשיים.
- (4) הוכיחו שהקבוצה $A = \{\sqrt{10}q \mid q \in \mathbb{Q}\}$ צפופה ב- $\mathbb{R}$.
- (5) הוכיחו שהקבוצה $A = \{\sqrt{m} - \sqrt{n} \mid m, n \in \mathbb{N}\}$ צפופה ב- $\mathbb{R}$.
- (6) אפשר להגדיר קבוצה צפופה בממשיים גם כך:
תת-קבוצה S של $\mathbb{R}$ היא צפופה (ב- $\mathbb{R}$), אם לכל $x \in \mathbb{R}$ ולכל $\varepsilon > 0$ קיים $s \in S$, כך ש- $|s - x| < \varepsilon$.
הוכיחו שאם S תת-קבוצה של $\mathbb{R}$ מקיימת את התכונה, שלכל $a, b \in \mathbb{R}$ קיים $s \in S$, כך ש- $a < s < b$, אז S צפופה ב- $\mathbb{R}$.
- (7) הוכיחו שהקבוצה $A = \{q\sqrt{10} \mid 0 < q \in \mathbb{Q}\}$ צפופה ב- $[0, 1]$.
- (8) תהי A קבוצה של מספרים ממשיים, הצפופה בקטע $(1, \infty)$.
הוכיחו שהקבוצה $B = \left\{ \frac{a}{n} \mid a \in A, n \in \mathbb{N} \right\}$ צפופה בקטע $(0, 1)$.
- (9) תהי A קבוצה של מספרים ממשיים, הצפופה בקטע $[0, 1]$.
הוכיחו שהקבוצה $B = \{na \mid a \in A, n \in \mathbb{N}\}$ צפופה בקטע $[0, \infty)$.
- (10) הוכיחו שקבוצת כל השברים העשרוניים הסופיים שלא מופיעה בהם הספרה 4, אינה צפופה בקטע $I = [0, 1]$.

11) תהי A קבוצה של מספרים ממשיים, המוכלת בקטע $(1, \infty)$ וצפופה בו.

הוכיחו שהקבוצה $C = \left\{ \frac{a}{n^2(a+1)} : a \in A, n \in \mathbb{N} \right\}$ אינה צפופה בקטע $[0, 1]$.

12) תהי A קבוצה של מספרים ממשיים, המוכלת בקטע $[0, 1]$.

הוכיחו שהקבוצה $C = \left\{ \frac{a+1}{n^2} \mid a \in A, n \in \mathbb{N} \right\}$ אינה צפופה בקטע $[0, 1]$.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

הערך השלם

שאלות

1 פתרו את המשוואות הבאות :

א. $[x+4]=10$

ב. $[x+4]=-10$

ג. $[x+4]^2=100$

ד. $[2x^2+1]=9$

ה. $[x^2+x-1]=-2$

ו. $[x^2-\ln x+e^x-x^5]=0.5$

2 פתרו את המשוואה $[x+4]=2x+1$.

3 פתרו את המשוואה $[16x^2+7]=8x+6$.

4 פתרו את המשוואה $[x^2+x+4]=2x+6$.

5 פתרו את המשוואות הבאות :

א. $[|x-4|+x]=4x+4$

ב. $[|x+1|-|x-1|]=x$

6 פתרו את המשוואה $[4+[x+1]]=10$.

7 הוכיחו כי לכל x ממשי ו- m שלם מתקיים $[x+m]=[x]+m$.

8 פתרו את אי-השוויונים הבאים :

א. $[x+4]<10$

ב. $[x+4]>-10$

ג. $[x+4]^2<100$

ד. $[x+4]\leq 10$

9) פתרו את אי-השוויונים הבאים :

א. $[x]^2 - 5[x] + 6 \leq 0$

ב. $[x-1][x-2] + [x+10] > 3[x+2] + [2.44]$

10) הוכיחו כי לכל x ו- y ממשיים מתקיים :

א. $[x] + [y] \leq [x+y] \leq [x] + [y] + 1$

ב. $x < y \Rightarrow [x] \leq [y]$

תשובות סופיות

1) א. $6 \leq x < 7$ ב. $-14 \leq x < -13$ ג. $[6, 7) \cup [14, -13)$

ד. $(-\sqrt{4.5}, -2] \cup [2, \sqrt{4.5})$ ה. $-1 < x < 0$ ו. $\emptyset$

2) $x = 2.5, 3$

3) $x = \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{3}{8}$

4) $x = -1, 2$

5) א. $x = 0$ ב. $x = 2, 0, -2$

6) $5 \leq x < 6$

7) שאלת הוכחה.

8) א. $x < 6$ ב. $x > -14$ ג. $-14 < x < 6$ ד. $x < 7$

9) א. $2 \leq x < 4$ ב. $x < 1$ or $x \geq 5$

10) שאלת הוכחה.

סימן הסכימה

שאלות

(1) כתבו בפירוט את הסכומים הבאים :

$$\begin{array}{lll}
 \text{א.} & \sum_{n=0}^{10} 4^n & \text{ב.} & \sum_{k=1}^4 2k & \text{ג.} & \sum_{n=4}^{10} na_n \\
 \text{ד.} & \sum_{i=7}^{11} 4i^2 a_i & \text{ה.} & \sum_{t=1}^8 tx^t & \text{ו.} & \sum_{k=4}^{10} na_{k+1} \\
 \text{ז.} & \sum_{k=1}^{10} 4n & \text{ח.} & \sum_{k=-1}^3 (k^2 + 1) & \text{ט.} & \sum_{\ell=1}^3 (\ell^2 - x_{2\ell} - 4)
 \end{array}$$

(2) כתבו את הסכומים הבאים בעזרת סימן הסכימה :

$$\begin{array}{ll}
 \text{א.} & 1+2+4+8+16+32+64+128 \\
 \text{ב.} & 2+4+6+8+10+12+14+16+18+20 \\
 \text{ג.} & 1+3+5+7+9+11+13+15+17+19 \\
 \text{ד.} & 1 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 4 + 4 \cdot 5 + 5 \cdot 6 + 6 \cdot 7 + 7 \cdot 8 \\
 \text{ה.} & 1 \cdot 2 + 3 \cdot 4 + 5 \cdot 6 + \dots + 43 \cdot 44 \\
 \text{ו.} & 3 \cdot 2 + 6 \cdot 3 + 9 \cdot 4 + 12 \cdot 5 + 15 \cdot 6 + 18 \cdot 7 + 21 \cdot 8 \\
 \text{ז.} & 5^2 + 7^2 + \dots + 27^2 \\
 \text{ח.} & \frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{2 \cdot 3} + \frac{1}{3 \cdot 4} + \dots + \frac{1}{10 \cdot 11} \\
 \text{ט.} & \frac{2}{3} + \frac{6}{9} + \frac{10}{27} + \frac{14}{81} + \frac{18}{243} \\
 \text{י.} & 4 + \frac{8}{5} + \frac{12}{25} + \frac{16}{125} + \frac{20}{625}
 \end{array}$$

(3) חשבו את הסכומים הבאים :

$$\begin{array}{lll}
 \text{א.} & \sum_{k=1}^{10} 4k & \text{ב.} & \sum_{k=1}^{10} (2k + 4k^2) & \text{ג.} & \sum_{k=10}^{24} k(k-1) \\
 \text{ד.} & \sum_{k=10}^{24} \frac{k^3 - k}{k+1} & \text{ה.} & \sum_{k=4}^{10} (k-2)(k+2) & \text{ו.} & \sum_{k=1}^{10} (2k^2 + 1)(k-2)
 \end{array}$$

* תוכלו להיעזר בנוסחאות הבאות (שמוכחות בפרק זה תחת הנושא 'אינדוקציה') :

$$\sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}, \quad \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}, \quad \sum_{k=1}^n k^3 = \left[\frac{n(n+1)}{2} \right]^2$$

(4) חשבו את הסכומים הבאים :

$$\text{א. } \sum_{k=1}^{20} \frac{5 \cdot 4^k + 8^k}{2^k} \quad \text{ב. } \sum_{k=1}^{11} \frac{2 \cdot 4^{k+2} + 10^k}{0.4^k} \quad \text{ג. } \sum_{k=10}^{20} 2^{2k+10}$$

$$* \text{ תוכלו להיעזר בנוסחה הבאה : } \sum_{k=1}^n a^k = \frac{a(a^n - 1)}{a - 1} \quad (a \neq 1)$$

(5) חשבו את הסכומים הבאים :

$$\text{א. } 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + 20^2$$

$$\text{ב. } 4^2 + 5^2 + 6^2 + \dots + 24^2$$

$$\text{ג. } 2^2 + 4^2 + 6^2 + \dots + 22^2$$

$$\text{ד. } 1^2 + 3^2 + 5^2 + \dots + 17^2$$

(6) הוכיחו כי :

$$\text{א. } \sum_{k=1}^n \frac{2^{2k+4}}{k+2} = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{2^{2k+6}}{k+3}$$

$$\text{ב. } \sum_{k=4}^{n-3} \frac{4k+17+2^{2k}}{k+1} = \sum_{k=8}^{n+1} \frac{4k+1+2^{2k-8}}{k-3}$$

(7) חשבו את הסכומים הבאים ללא פיצול הסכום :

$$\text{א. } \sum_4^{11} k^2 \quad \text{ב. } \sum_{10}^{20} 4^{2k}$$

תשובות סופיות

$$(1) \text{ א. } 4^0 + 4^1 + 4^2 + 4^3 + 4^4 + 4^5 + 4^6 + 4^7 + 4^8 + 4^9 + 4^{10}$$

$$\text{ב. } 2 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 4$$

$$\text{ג. } 4a_4 + 4a_5 + 4a_6 + 4a_7 + 4a_8 + 4a_9 + 4a_{10}$$

$$\text{ד. } 4 \cdot 7^2 a_7 + 4 \cdot 8^2 a_8 + 4 \cdot 9^2 a_9 + 4 \cdot 10^2 a_{10} + 4 \cdot 11^2 a_{11} + 4 \cdot 7^2 a_7$$

$$\text{ה. } 1x^1 + 2x^2 + 3x^3 + 4x^4 + 5x^5 + 6x^6 + 7x^7 + 8x^8$$

$$\text{ו. } na_5 + na_6 + na_7 + na_8 + na_9 + na_{10} + na_{11}$$

$$\text{ז. } 4n + 4n + 4n + 4n + 4n + 4n + 4n + 4n + 4n + 4n$$

$$\text{ח. } ((-1)^2 + 1) + (0^2 + 1) + (1^2 + 1) + (2^2 + 1) + (3^2 + 1)$$

$$\text{ט. } (1^2 - x_2 - 4) + (2^2 - x_4 - 4) + (3^2 - x_6 - 4)$$

$$(2) \text{ א. } \sum_{k=0}^7 2^k \quad \text{ב. } \sum_{k=1}^{10} 2k \quad \text{ג. } \sum_{k=0}^9 (2k+1) \quad \text{ד. } \sum_{k=1}^7 k(k+1)$$

$$\text{ה. } \sum_{k=1}^{22} (2k-1)2k \quad \text{ו. } \sum_{k=1}^7 3k(k+1) \quad \text{ז. } \sum_{n=3}^{14} (2n-1)^2$$

$$\text{ח. } \sum_{n=1}^{10} \frac{1}{n(n+1)} \quad \text{ט. } \sum_{k=1}^5 \frac{4k-2}{3^k} \quad \text{י. } \sum_{k=1}^4 \frac{4k}{5^{k-1}}$$

$$(3) \text{ א. } 220 \quad \text{ב. } 1650 \quad \text{ג. } 4360$$

$$\text{ד. } 4360 \quad \text{ה. } 28 \quad \text{ו. } 4545$$

$$(4) \text{ א. } 5 \cdot (2^{21} - 2) + \frac{4}{3} (4^{20} - 1) \quad \text{ב. } 32 \cdot \frac{10(10^{11} - 1)}{10 - 1} + \frac{25(25^{11} - 1)}{25 - 1}$$

$$\text{ג. } 2^{10} \left[\frac{4(4^{20} - 1)}{4 - 1} - \frac{4(4^9 - 1)}{4 - 1} \right]$$

$$(5) \text{ א. } 2870 \quad \text{ב. } 4886 \quad \text{ג. } 2024 \quad \text{ד. } 969$$

$$(6) \text{ שאלת הוכחה.}$$

$$(7) \text{ א. } 8 \cdot 9 + 6 \cdot \frac{8(8+1)}{2} + \frac{8(8+1)(2 \cdot 8 + 1)}{6} \quad \text{ב. } 4^{18} \cdot \frac{16(16^{11} - 1)}{16 - 1}$$

אינדוקציה

שאלות

(1) הוכיחו באינדוקציה כי $4 \cdot 10^n + 14 \cdot 19^n$ מתחלק ב-9 לכל n טבעי.

(2) הוכיחו באינדוקציה כי $\sum_{k=1}^n \sin kx = \frac{\sin \frac{n+1}{2}x \cdot \sin \frac{n}{2}x}{\sin \frac{x}{2}}$ ($k, n \in \mathbb{N}, x \in \mathbb{R}$).

(3) מצאו את ה- n הטבעי הקטן ביותר עבורו מתקיים $2^n \geq n^2$, והוכיחו באינדוקציה שעבור כל n טבעי החל ממנו מתקיים אי-השוויון הנ"ל.

(4) הוכיחו את הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו באינדוקציה כי $(1+x)^n \geq 1+nx$, לכל n טבעי ולכל $x \geq -1$ ממשי.
הערה: אי השוויון הנ"ל נקרא אי שוויון ברנולי.

ב. הוכיחו כי $\left(1+\frac{1}{n}\right)^n < \left(1+\frac{1}{n+1}\right)^{n+1}$, לכל n טבעי.
רמז: היעזרו בתוצאת סעיף א'.

(5) הוכיחו באינדוקציה כי $(1-x)^n < \frac{1}{1+xn}$ לכל $0 < x < 1, n \in \mathbb{N}$.

(6) הוכיחו באינדוקציה כי $n! \leq \left(\frac{n+1}{2}\right)^n$, לכל $n \in \mathbb{N}$.
רמז: היעזרו במהלך הפתרון באי-שוויון ברנולי.

(7) נתון כי $a_{n+1} = \sqrt{a_n + 2}, a_1 = \sqrt{2}$.

הוכיחו באינדוקציה שלכל n טבעי מתקיים:

א. $a_n \leq 2$

ב. $a_n \leq a_{n+1}$

הערה: תרגיל זה מיועד רק למי שלמדו מהי סדרה רקורסיבית.

(8) הוכיחו באינדוקציה שלכל n טבעי,

אם $a_{n+2} = 2a_{n+1} - a_n + 2, a_1 = -1, a_2 = 0$,

אז $a_n = n^2 - 2n$.

הערה: תרגיל זה מיועד רק למי שלמדו מהי סדרה רקורסיבית.

(9) הוכיחו באינדוקציה שלכל n טבעי,

$$\text{אם } a_{n+1} = 2a_n + 3a_{n-1}, a_1 = 1, a_2 = 1,$$

$$\text{אז } a_n = \frac{1}{6} \cdot 3^n - \frac{1}{2}(-1)^n.$$

הערה: תרגיל זה מיועד רק למי שלמדו מהי סדרה רקורסיביות.

(10) הוכיחו באינדוקציה כי $4^n - 1$ מתחלק ב-15, לכל n טבעי זוגי.

$$\textbf{(11)}$$

הוכיחו באינדוקציה כי $(n \in \mathbb{N}, a \in \mathbb{R}) \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & a \end{pmatrix}^n = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & a^n \end{pmatrix}$

הערה: תרגיל זה מיועד רק למי שלמדו כפל מטריצות (אלגברה לינארית).

הערה: תרגילים נוספים באינדוקציה תמצאו תחת הנושא "אי שוויונים מפורסמים"

בפרק זה, בשאלה 1 ובשאלה 3 סעיף ו'.

תשובות לכל שאלות ההוכחה מופיעות באתר GooL.co.il

אי שוויונים מפורסמים

שאלות

(1) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו שלכל שני מספרים ממשיים x, y המקיימים $x < 1, y > 1$,

$$x + y > xy + 1.$$

ב. הוכיחו באינדוקציה שלכל $n \geq 2$ טבעי:

$$\text{אם } a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n = 1, \text{ אז } a_1 + a_2 + \dots + a_n \geq n \quad (0 < a_i \in \mathbb{R}).$$

(2) נסחו והוכיחו את אי שוויון הממוצעים.

(3) הוכיחו שלכל $a, b \in \mathbb{R}$ מתקיים:

$$\text{א. } |a + b| \leq |a| + |b| \quad (\text{אי שוויון המשולש})$$

$$\text{ב. } |a - b| \leq |a| + |b|$$

$$\text{ג. } |a - b| \geq |b| - |a|, \quad |a - b| \geq |a| - |b|$$

$$\text{ד. } |a - b| \geq ||a| - |b||$$

$$\text{ה. } |a + b| \geq ||a| - |b||$$

$$\text{ו. } (a_i \in \mathbb{R}) \quad |a_1 + a_2 + \dots + a_n| \leq |a_1| + |a_2| + \dots + |a_n|$$

(4) ענו על הסעיפים הבאים:

א. נסחו והוכיחו את אי שוויון קושי-שוורץ.

$$\text{ב. הוכיחו כי אם } a_1 + \dots + a_n = 1 \text{ אז } a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2 \geq \frac{1}{n} \quad (n \in \mathbb{N}, a_i \in \mathbb{R}).$$

הערה: אי שוויון ברנולי מוכח בפרק זה תחת הנושא "אינדוקציה".

נוכיח שם גם כמה מסקנות מעניינות ממנו.

תשובות לכל שאלות ההוכחה מופיעות באתר GooL.co.il

פתרון אי שוויונים

שאלות

פתרו את אי השוויונים הבאים :

$$(1) \quad x^2 - 12x > -32$$

$$(2) \quad (x-3)(x-7) \geq 8x-56$$

$$(3) \quad 2x^2 + 2x + 24 \geq 0$$

$$(4) \quad \frac{x-1}{x^2-9} > 0$$

$$(5) \quad \frac{2x-1}{x-5} \leq 0$$

$$(6) \quad \frac{x^2-7x+6}{-x^2+3x-7} \geq 0$$

$$(7) \quad |x+2| < 3$$

$$(8) \quad |6-2x| < x$$

$$(9) \quad |2x+3| < 8 < |5-x|$$

$$(10) \quad x^2 - 6|x+1| - 1 > 0$$

$$(11) \quad |2x-6| + |x+5| > 14 - |1-x|$$

$$(12) \quad \sqrt{x+3} < 7$$

$$(13) \quad \frac{4}{\sqrt{2-x}} - \sqrt{2-x} < 2$$

$$(14) \quad \sqrt{x^2+x-6} < x-3$$

הערה : לא מומלץ להתעכב יותר מידי זמן על פתרון אי שוויונים.

תשובות סופיות

(1) $x < 4$ או $x > 8$

(2) $x \leq 7$ או $x \geq 11$

(3) כל x

(4) $x > 3$ או $-3 < x < 1$

(5) $\frac{1}{2} \leq x < 5$

(6) $1 \leq x \leq 6$

(7) $-5 < x < -1$

(8) $2 < x < 6$

(9) $-5\frac{1}{2} < x < -3$

(10) $x < -5$ או $x > 7$

(11) $x < -1$ או $x > 4$

(12) $-3 \leq x < 46$

(13) $x < 0.472$

(14) אין פתרון.

עצרת, המקדם הבינומי, הבינום של ניוטון

שאלות

1 חשבו, ללא מחשבון:

א. $\frac{4! \cdot 7!}{0! \cdot 10!}$

ב. $\frac{14! \cdot 20!}{10! \cdot 17!}$

2 הוכיחו את הזהויות הבאות:

א. $(n-2)!(n^2 - n) = n!$

ב. $(n-1)!n^2 + n! = (n+1)!$

ג. $\frac{1}{(n-1)!} = \frac{(n+2)^2}{(n+2)!} + \frac{n^2 - 2}{(n+1)!}$

3 חשבו:

א. $\binom{5}{3}$ ב. $\binom{4}{1}$ ג. $\binom{10}{0}$ ד. $\binom{14}{11}$

4 הוכיחו את הזהויות הבאות:

א. $\binom{n}{n} = \binom{n}{0} = 1$ ב. $\frac{k}{n} \binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1}$ ג. $\frac{n+1}{k+1} \binom{n}{k} = \binom{n+1}{k+1}$

5 הוכיחו באינדוקציה שלכל $n \geq 2$ טבעי מתקיים:

$$\binom{1}{0} + \binom{2}{1} + \binom{3}{2} + \dots + \binom{n-1}{n-2} = \binom{n}{2}$$

6 רשמו את פיתוח הבינום בכל אחד מהסעיפים הבאים:

א. $(a+b)^4$ ב. $(x+2)^5$ ג. $(x-4)^3$

7 ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו $\binom{n}{k+1} + \binom{n}{k} = \binom{n+1}{k+1}$ לכל $k, n \in \mathbb{N}, 0 \leq k \leq n$

ב. נסחו והוכיחו (באינדוקציה) את נוסחת הבינום.

8) הוכיחו שלכל $n \geq 1$ טבעי מתקיים:

א. $\binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \binom{n}{2} + \dots + \binom{n}{n} = 2^n$

ב. $\binom{n}{0} - \binom{n}{1} + \binom{n}{2} - \dots + (-1)^n \binom{n}{n} = 0$

ג. $\binom{n}{0} + 3\binom{n}{1} + 9\binom{n}{2} - \dots + 3^n \binom{n}{n} = 4^n$

9) מצאו את האיבר הרביעי בפיתוח הבינום $\left(\frac{1}{2a} + 2a^2\right)^{10}$.

10) בפיתוח של $\left(\sqrt[3]{a^2} + \sqrt{a}\right)^{12}$, ישנו איבר שאחד מגורמיו הוא a^7 . מצאו את מקום האיבר ואת ערכו.

11) מצאו, בפיתוח של $\left(\frac{1}{x^2} + \sqrt{x}\right)^{10}$, איבר שאינו מכיל את x , וחשבו את ערכו.

12) ענו על הסעיפים הבאים:

א. מצאו, בפיתוח של $\left(\frac{\sqrt[3]{x}}{a} + \frac{b}{\sqrt[4]{x}}\right)^{18}$, את המקדם של $\frac{1}{x}$.

ב. חשבו את סכום כל המקדמים בפיתוח, אם $a = b = 1$.

13) המקדם של האיבר השלישי בפיתוח הבינום $(a+b)^n$, הוא 15. מצאו את n .

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } \frac{1}{30} \quad \text{ב. } \frac{1001}{285}$$

(2) שאלת הוכחה.

$$(3) \quad \text{א. } 10 \quad \text{ב. } 4 \quad \text{ג. } 1 \quad \text{ד. } 364$$

(4) שאלת הוכחה.

(5) שאלת הוכחה.

$$(6) \quad \text{א. } (a+b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$$

$$\text{ב. } (x+2)^5 = x^5 + 10x^4 + 40x^3 + 80x^2 + 80x + 32$$

$$\text{ג. } (x-4)^3 = x^3 - 12x^2 + 48x - 64$$

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

$$(9) \quad T_4 = \frac{15}{2a}$$

$$(10) \quad T_7 = 924a^7$$

$$(11) \quad T_9 = 45$$

$$(12) \quad \text{א. } \frac{18564 \cdot b^{12}}{a^6} \quad \text{ב. } 2^{18}$$

$$(13) \quad n = 6$$

שדות

שאלות

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

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

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

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

2) נתונה הקבוצה $Q[\sqrt{2}] = \{a + b\sqrt{2} \mid a, b \in Q\}$.

על קבוצה זו נגדיר פעולת חיבור ופעולת כפל באופן הבא:

$$(a + b\sqrt{2}) + (c + d\sqrt{2}) = (a + c) + (b + d)\sqrt{2}$$

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

הוכיחו שהקבוצה $Q[\sqrt{2}]$, עם פעולות החיבור והכפל הנ"ל, מהווה שדה.

- 3) ענו על הסעיפים הבאים:

- הוכיחו שבשדה, האיבר 0 הוא יחיד.
- הוכיחו שבשדה, האיבר 1 הוא יחיד.
- הוכיחו שבשדה, האיבר הנגדי הוא יחיד.
- הוכיחו שבשדה, האיבר ההופכי הוא יחיד.

- 4) יהיו a, b איברים בשדה.

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

5) יהיו a ו- b איברים של שדה.
הוכיחו כי:

א. $(-1) \cdot a = -a$

ב. $(-a)b = a(-b) = -ab$

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

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

חדוא 1

פרק 2 - סדרות

תוכן העניינים

1. היכרות עם סדרות	(ללא ספר)
2. חישוב גבול לפי כללי חשבון גבולות	32
3. חישוב גבול לפי אוילר	34
4. חישוב גבול לפי כלל הסנדוויץ'	35
5. חישוב גבול לפי מבחן המנה ומבחן השורש	38
6. חישוב גבול של סדרה רקורסיבית	39
7. חישוב גבול לפי ההגדרה	41
8. שלילת הגדרת הגבול של סדרה	43
9. הגדרת הגבול לפי היינה	46
10. תת-סדרה, גבול חלקי, משפט בולצאנו ויירשטראס	48
11. משפט שטולץ	53
12. מבחן קושי להתכנסות סדרות	55
13. שאלות הוכח או הפרך	57

חישוב גבול לפי כללי חשבון גבולות

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים :

- (1) $\lim_{n \rightarrow \infty} (e^{-n})^{\ln n}$
- (2) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4n^2 + 2}{n^2 + 1000n}$
- (3) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^4 + 2n^2 + 6}{3n^2 + 10n}$
- (4) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^4 + 2n^2 + 6}{3n^5 + 10n}$
- (5) $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n^2 - 5n + 6}{2n + 10} - \frac{n}{2} \right)$
- (6) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{n^2 + 1}}{n}$
- (7) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt[3]{n^4 + 2n^2 + 6 + 27n^6}}{\sqrt{3n^3 + 10n + 4n^4}}$
- (8) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{n+2} - \sqrt{3n-3}}{\sqrt{4n+1} - \sqrt{5n-1}}$
- (9) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{16^n + 4^{n+1}}{2^{4n+2} + 2^{n+3}}$
- (10) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4 \cdot 9^n + 3^{n+1}}{81^{0.5n} + 3^{n+3}}$
- (11) $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{4n^2 + 2}{n^2 + 1000n}}$
- (12) $\lim_{n \rightarrow \infty} \ln \left(\frac{3n^3 - 5n - 1}{n^3 - 2n^2 + 1} \right)$
- (13) $\lim_{n \rightarrow \infty} e^{\frac{n^4 + 2n^2 + 6}{3n^4 + 10n}}$
- (14) $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[5]{\frac{an+1}{bn+2}}$
- (15) $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n^2 + 5n} - n)$
- (16) $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n^2 + kn} - n)$
- (17) $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n^2 + n + 1} - n)$
- (18) $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n^4 + n^2 + 1} - n^2)$
- (19) $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n^2 + an} - \sqrt{n^2 + bn})$
- (20) $\lim_{n \rightarrow \infty} n \cdot \sin \left(\frac{4}{n} \right)$
- (21) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 + 2 + \dots + n}{n^2 + 4n + 1}$
- (22) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1^2 + 2^2 + \dots + n^2}{n^3 + n^2 + 1}$
- (23) $\lim_{n \rightarrow \infty} 4^n \sin \frac{1}{n}$
- (24) $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{2 \cdot 3} + \dots + \frac{1}{n(n+1)} \right)$

* רמז לשאלה 24: $\frac{1}{n(n+1)} = \frac{1}{n} - \frac{1}{n+1}$

הערה חשובה מאוד!

בפתרון המלא, יופיע במקום המשתנה n – המשתנה x . יש להתייחס אל x כאל מספר טבעי! בנוסף, יש לזכור שסדרה היא פונקציה (מהטבעיים לממשיים) ולכן לעיתים אומר פונקציה במקום סדרה.

תשובות סופיות

- | | |
|--|-----------------------|
| 4 (2 | 0 (1 |
| 0 (4 | ∞ (3 |
| 1 (6 | -5 (5 |
| $\frac{1-\sqrt{3}}{2-\sqrt{5}}$ (8 | 1.5 (7 |
| 4 (10 | 0.25 (9 |
| $\ln 3$ (12 | 2 (11 |
| | $e^{\frac{1}{3}}$ (13 |
| (14 $(\lim a_n = \infty) \Leftarrow (a > 0, b = 0)$, $(\lim a_n = \sqrt[5]{a/b}) \Leftarrow (b \neq 0)$ | |
| $(\lim a_n = -\infty) \Leftarrow (a < 0, b = 0)$ | |
| $\frac{k}{2}$ (16 | 2.5 (15 |
| 0.5 (18 | 0.5 (17 |
| 4 (20 | $\frac{a-b}{2}$ (19 |
| $\frac{1}{3}$ (22 | 0.5 (21 |
| 1 (24 | ∞ (23 |

חישוב גבול לפי אוילר

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{2n}\right)^n \quad (1)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n^2}\right)^n \quad (2)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n+2}{n}\right)^n \quad (3)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)^{n^2-1} \quad (4)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{2n+3}{2n-3}\right)^n \quad (5)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n^2+n+1}{n^2+n+4}\right)^{4n^2} \quad (6)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n^2+4n+1}{n^2+n+2}\right)^{10n} \quad (7)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \tan \frac{1}{n}\right)^n \quad (8)$$

תשובות סופיות

$$e^{0.5} \quad (1)$$

$$1 \quad (2)$$

$$e^2 \quad (3)$$

$$e^{-1} \quad (4)$$

$$e^3 \quad (5)$$

$$e^{-12} \quad (6)$$

$$e^{30} \quad (7)$$

$$e \quad (8)$$

חישוב גבול לפי כלל הסנדוויץ'

שאלות

בשאלות 1-10 חשבו את הגבול:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{2^n + 3^n + 4^n} \quad (1)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sin n}{n} \quad (2)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\cos(2n+1)}{n} \quad (3)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{3n + \sin n}{4n + \cos n} \quad (4)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{3n^2 + n + \sin 2n}{n^2 + \cos 3n} \quad (5)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{3n + \arctan(2n-3)}{4n + \arctan(n - \ln n)} \quad (6)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{n^n} \quad (7)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{1 + 2^{4n + \frac{1}{n}}} \quad (8)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot 2n} \quad (9)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\sqrt{n^2+1}} + \frac{1}{\sqrt{n^2+2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{n^2+n}} \right) \quad (10)$$

רמז לשאלה 9: הוכיחו כי $a_n < \frac{1}{\sqrt{2n+1}}$.

11) הוכיחו שכל אחת מהסדרות הבאות מתכנסת ל-0.

$$א. a_n = \left(\sqrt{2} - 2^{\frac{1}{3}} \right) \left(\sqrt{2} - 2^{\frac{1}{5}} \right) \dots \left(\sqrt{2} - 2^{\frac{1}{2n+1}} \right)$$

$$ב. a_n = n^\alpha - (n+1)^\alpha, \alpha \in (0,1)$$

12) יהי x מספר ממשי וחיובי.

$$נתבונן בסדרה: $a_n = \frac{6n + \sqrt{\lfloor x^2 n^2 \rfloor}}{3n + \sqrt{2}}$$$

$$\text{הוכיחו כי } \lim_{n \rightarrow \infty} a_n > 2$$

$$13) \text{ חשבו את הגבול } \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n^2]{2^{3n^2-4} + 3^{2n^2+1} + 4^{1.5n^2+5} + 10^n}$$

$$14) \text{ חשבו את הגבול } \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{1}{\sqrt{n^2 + 3\sqrt{k}}}$$

(15) חשבו את הגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=n+3}^{2n+4} \frac{1}{\sqrt{2n^2 + k\sqrt{n}}}$

(16) חשבו את הגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{n^2} \frac{2n^2 + 3n + 5}{\sqrt[3]{5n^{12} + 2k^5 + k^3 + 1}}$

(17) חשבו את הגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=n^2}^{n^2+n} \sqrt{k} \ln \left(1 + \frac{1}{k} \right)$

(18) תהי (a_n) סדרה חיובית, המקיימת $\frac{a_{n+1}}{a_n} \leq q < 1$ לכל n טבעי.

הוכיחו כי $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$

האם ניתן לפתור ישירות בעזרת מבחן המנה?

תשובות סופיות

- (1) 4
 (2) 0
 (3) 0
 (4) 0.75
 (5) 3
 (6) $\frac{3}{4}$
 (7) 0
 (8) 16
 (9) 0
 (10) 1
 (11) שאלת הוכחה.
 (12) שאלת הוכחה.
 (13) 9
 (14) 1
 (15) $\frac{1}{2}$
 (16) $\frac{2}{\sqrt[3]{5}}$
 (17) 1
 (18) שאלת הוכחה.

חישוב גבול לפי מבחן המנה ומבחן השורש

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2^n}{n!} \quad (2)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt[n]{n!}}{4n} \quad (4)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{n^n} \quad (1)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\frac{(2n)!}{(n!)^2}} \quad (3)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt[n]{(2n)!}}{2n} \quad (5)$$

תשובות סופיות

$$0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{4e} \quad (4)$$

$$0 \quad (1)$$

$$4 \quad (3)$$

$$\infty \quad (5)$$

חישוב גבול של סדרה רקורסיבית

שאלות

בשאלות 1-3 נתונה סדרה בעזרת נוסחת נסיגה (רקורסיה). הוכיחו שהסדרה מתכנסת וחשבו את גבולה.

$$a_{n+1} = \sqrt{2 + a_n}, \quad a_1 = \sqrt{2} \quad (1)$$

$$a_{n+1} = \sqrt{2a_n - 1}, \quad a_1 = 2 \quad (2)$$

$$a_{n+1} = \frac{1}{2} \left(a_n + \frac{1}{a_n} \right), \quad a_1 = 2 \quad (3)$$

$$(4) \quad \text{יהיו } a > 0 \text{ ו- } x_1 > 0.$$

נגדיר סדרה ברקורסיה על ידי $x_{n+1} = \frac{1}{2} \left(x_n + \frac{a}{x_n} \right)$, לכל n .
הוכיחו שהסדרה מתכנסת ל- $\sqrt{a}$.

$$(5) \quad \text{יהי } x_1 = a \geq 0.$$

נגדיר סדרה x_n ברקורסיה על ידי $x_{n+1} = \frac{1}{5}(x_n^2 + 6)$, לכל n .
א. מצאו את כל הערכים של הקבוע a , עבורם הסדרה עולה/יורדת.
ב. קבעו האם הסדרה x_n מתכנסת עבור $3 < a < 3.5$.

$$(6) \quad \text{יהיו } 0 < b_1 < a_1$$

$$\text{נגדיר } a_{n+1} = \frac{a_n + b_n}{2}, \quad b_{n+1} = \sqrt{a_n b_n} \quad \text{לכל } n.$$

הוכיחו שהסדרות a_n ו- b_n מתכנסות ומתקיים $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$.

(7) נתונה הסדרה $a_{n+1} = 2a_n + 3a_{n-1}$, $a_1 = 1$, $a_2 = 1$.

א.1. נגדיר סדרה חדשה b_n על ידי $b_n = \frac{a_n}{a_{n+1}}$.

הניחו שהגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n$ קיים וחשבו אותו.

הערה: בשלב זה אין לנו את הכלים להוכיח שהגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n$ קיים. בהמשך הפרק נלמד מספר שיטות להוכיח זאת.

א.2. בעזרת התוצאה של הסעיף הקודם הוכיחו שהסדרה a_n שואפת לאינסוף.

ב.1. מצאו ביטוי סגור עבור הסדרה a_n (כלומר נוסחה לא רקורסיבית).

ב.2. הוכיחו שהגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{a_{n+1}}$ קיים, וחשבו אותו.

ב.3. הוכיחו באינדוקציה שהביטוי הסגור שנמצא בסעיף ב.1 הוא אכן נכון.

תשובות סופיות

(1) הגבול הוא 2.

(2) הגבול הוא 1.

(3) הגבול הוא 1.

(4) הגבול הוא $\sqrt{a}$.

(5) א. אם $2 \leq a \leq 3$ הסדרה יורדת, אחרת היא עולה. ב. לא מתכנסת.

(6) שאלת הוכחה.

(7) ב.1. $a_n = \frac{1}{6} \cdot 3^n - \frac{1}{2} \cdot (-1)^n$.

חישוב גבול לפי ההגדרה

שאלות

בשאלות 1-7 הוכיחו על סמך ההגדרה של גבול של סדרה כי :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} = 1 \quad (2) \qquad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2n + 1}{4n + 3} = \frac{1}{2} \quad (1)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^2 + (-1)^n}{n^2 + 1} = 1 \quad (4) \qquad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^2 + \sin n}{2n^2 + 3} = \frac{1}{2} \quad (3)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot \cos^2 n}{n^2 + 2} = 0 \quad (6) \qquad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4n^2 - 2n + 1}{2n^2 + n + 3} = 2 \quad (5)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n^2 + 4n} - n) = 2 \quad (7)$$

(8) נתון כי הסדרה (a_n) מתכנסת.
הוכיחו שגבולה הוא יחיד.

(9) נתון כי $a_n \rightarrow a, b_n \rightarrow b$.

הוכיחו לפי ההגדרה, כי :

$$(a_n + b_n) \rightarrow a + b \quad \text{א.}$$

$$(a_n \cdot b_n) \rightarrow a \cdot b \quad \text{ב.}$$

בשאלות 10-14 הוכיחו על סמך ההגדרה של גבול של סדרה כי :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^3 - n^2 + 5n + 6 = \infty \quad (11) \qquad \lim_{n \rightarrow \infty} 2n + 4 = \infty \quad (10)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} e^{2n+1} = \infty \quad (13) \qquad \lim_{n \rightarrow \infty} \log(2n + 5) = \infty \quad (12)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \log \frac{1}{n} = -\infty \quad (14)$$

(15) הוכיחו שהסדרה $1, 101, 2, 102, 3, 103, 4, 104, \dots$ שואפת לאינסוף.

(16) הוכיחו שהסדרה $1, 2, 2, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, \dots$ שואפת לאינסוף.

(17) הוכיחו שהסדרה $-1, 2, -3, 4, -5, 6, \dots, (-1)^n n, \dots$ לא שואפת לאינסוף או למינוס אינסוף.

(18) הוכיחו או הפריכו :

א. $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty \Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} |a_n| = \infty$

ב. $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty \Leftarrow \lim_{n \rightarrow \infty} |a_n| = \infty$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

שלילת הגדרת הגבול של סדרה

שאלות

- (1) מצאו את הגבולות החלקיים של הסדרות הבאות, וכתבו את האיבר הכללי של הסדרה בהתאם לגבולות החלקיים שמצאתם.

א. $1, 4, 1, 4, 1, 4, \dots$

ב. $1, 4, 10, 1, 4, 10, 1, 4, 10, \dots$

ג. $1, 0, -4, 1, 0, 4, 1, 0, -4, 1, 0, 4, \dots$

- (2) מצאו את הגבולות החלקיים של הסדרות הבאות, וכתבו את האיבר הכללי של הסדרה בהתאם לגבולות החלקיים שמצאתם.

א. $\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{5}, \frac{1}{4}, \frac{3}{7}, \frac{1}{6}, \frac{4}{9}, \frac{1}{8}, \dots$

ב. $\frac{3}{3}, \frac{3}{4}, \frac{7}{5}, \frac{5}{6}, \frac{11}{7}, \frac{7}{8}, \frac{15}{9}, \frac{9}{10}, \dots$

ג. $a_n = \frac{(-1)^n n + 4}{n + 1}$

בשאלות 3-6 הוכיחו לפי ההגדרה כי:

(3) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n+10}{4n+2} \neq \frac{1}{2}$

(4) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4n^2 + n + 1}{2n^2 + 2} \neq 1$

(5) $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4n^2 + 4n + 1}{2n^2 + n + 2} \neq \frac{9}{4}$

(6) $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n+1} - \sqrt{n}) \neq 1$

- (7) בסעיפים א-ב הוכיחו לפי ההגדרה כי:

א. לסדרה $a_n = (-1)^n$ לא קיים גבול.

ב. 1 הוא לא הגבול של הסדרה $a_n = (-1)^n$.

ג. היעזר בתוצאת סעיף א' והוכיחו שלסדרה $b_n = (-1)^n \frac{3n+4}{n-5}$ לא קיים גבול.

(8) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $0, 1, 2, 0, 1, 2, 0, 1, 2, \dots$ מתבדרת.

(9) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $3, 2, 1, 3, 2, 1, 3, 2, 1, \dots$ מתבדרת.

(10) הוכיחו לפי ההגדרה, שלסדרה $0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, \dots$ לא קיים גבול.

(11) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $a_n = \frac{n}{2} - \left[\frac{n}{2} \right]$ מתבדרת.

(12) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $a_n = \frac{n}{10} - \left[\frac{n}{10} \right]$ מתבדרת.

(13) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $a_n = \begin{cases} \frac{n+1}{n+1} & n \text{ even} \\ \frac{2n+1}{n+2} & n \text{ odd} \end{cases}$ מתבדרת.

(14) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $\frac{1}{2}, 1, \frac{2}{3}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{3}, \frac{4}{5}, \frac{1}{4}, \frac{5}{6}, \dots$ מתבדרת.

(15) הוכיחו לפי ההגדרה, שלסדרה $a_n = \frac{(-1)^n n+1}{n+2}$ אין גבול.

(16) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $a_n = \sqrt{n} - [\sqrt{n}]$ מתבדרת.

הדרכה: הוכיחו קודם את סדרת הטענות הבאה:

$$1. \quad \sqrt{m^2} - [\sqrt{m^2}] = 0 \text{ לכל } m \text{ טבעי.}$$

$$2. \quad \sqrt{m^2 - 1} > m - \frac{1}{2} \text{ לכל } m \geq 2 \text{ טבעי.}$$

$$3. \quad [\sqrt{m^2 - 1}] = m - 1 \text{ לכל } m \geq 2 \text{ טבעי.}$$

$$4. \quad \sqrt{m^2 - 1} - [\sqrt{m^2 - 1}] \geq \frac{1}{2} \text{ לכל } m \geq 2 \text{ טבעי.}$$

(17) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $a_n = \frac{2n^2 + 4n + 1}{n^2 + 2n + 10}$ לא שואפת ל- ∞ .

(18) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $0, 1, 2, 1, 4, 1, 6, 1, \dots$ לא שואפת ל- ∞ .

(19) נתונה הסדרה $-1, 1, -2, 2, -3, 3, -4, 4, -5, 5, \dots$.

הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה

א. לא שואפת ל- ∞ .

ב. לא שואפת ל- $-\infty$.

(20) הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $a_n = n\sqrt{10} + (-1)^n \lceil n\sqrt{10} \rceil$ לא שואפת ל- ∞ .

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

הגדרת הגבול לפי היינה

שאלות

(1) הוכיחו כי :

- א. $\sin(2n\pi) = 0$ ב. $\cos(2n\pi) = 1$
- ג. $\sin((2n+0.5)\pi) = 1$ ד. $\cos((2n+0.5)\pi) = 0$
- ה. $\sin((2n+1)\pi) = 0$ ו. $\cos((2n+1)\pi) = -1$
- ז. $\sin((2n+1.5)\pi) = -1$ ח. $\cos((2n+1.5)\pi) = 0$
- ט. $\sin(n\pi) = 0$ י. $\cos(n\pi) = (-1)^n$
- יא. $\sin((n+0.5)\pi) = (-1)^n$ יב. $\cos((n+0.5)\pi) = 0$

הוכיחו כי הגבולות בשאלות 2-9 אינם קיימים לפי היינה :

- (2) $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x-4}{|x-4|}$ (3) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sin x + 4}{\cos x + 10}$
- (4) $\lim_{x \rightarrow 0} \sin \frac{1}{x}$ (5) $\lim_{x \rightarrow \infty} e^{x-[x]}$
- (6) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{1+4^{[10x]}}$ (7) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{[x] \cdot \sin x}{x}$
- (8) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{x - [\sin x]}$ (9) $\lim_{x \rightarrow 0} \ln(4 + [\arctan x])$
- (10) נתון כי $f(x) = 2^{\left[\frac{x}{2}\right]}$

א. הוכיחו כי הגבול $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x+1)}{f(x)}$ אינו קיים לפי היינה.ב. חשבו את הגבול $\lim_{x \rightarrow \infty} (f(x))^{\frac{1}{x}}$ לפי היינה.ג. תנו דוגמה לסדרה חיובית a_n , כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n}$ אינו קיים אך $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n}$ קיים.(11) הוכיחו כי הגבול $\lim_{x \rightarrow \infty} \{\sqrt{x}\} = \lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{x} - [\sqrt{x}])$ אינו קיים לפי היינה.רמז: הוכיחו ראשית כי לכל n טבעי מתקיים $[n^2 - 1] = n - 1$.

תשובות סופיות

10) ב. $\sqrt{2}$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

תת-סדרה, גבול חלקי, משפט בולצאנו ויירשטראס

שאלות

- (1) חשבו את הגבולות שלהלן אם הם קיימים.
בכל מקרה שהגבול לא קיים, גם לא במובן הרחב, נמקו מדוע,
וחשבו את כל הגבולות החלקיים (גם גבולות חלקיים במובן הרחב).

א.
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(-3)^{5n} - 2(-3)^n + 2}{(-3)^{3n} + (-3)^n + 2}$$

ב.
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(-3)^{5n} - 2(-3)^n + 2}{(-3)^{2n} + (-3)^n + 2}$$

ג.
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n} - 1 \right)^n$$

- (2) חשבו את הגבולות שלהלן אם הם קיימים.
בכל מקרה שהגבול לא קיים, גם לא במובן הרחב נמקו מדוע,
וחשבו את כל הגבולות החלקיים (גם גבולות חלקיים במובן הרחב).

א.
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(2 \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor - n \right)$$

ב.
$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\lfloor 4n \rfloor - 4 \lfloor n \rfloor)$$

ג.
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{4} - \left\lfloor \frac{n}{4} \right\rfloor \right)$$

- (3) נתון ש- (a_n) סדרה עולה ממש של מספרים שלמים.
א. הוכיחו שקיים איבר אי-שלילי בסדרה.

ב. הוכיחו כי $e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{a_n} \right)^{a_n}$.

- (4) הוכיחו כי לסדרה הבאה אין גבול: $a_n = \sin\left(\frac{n\pi}{3}\right)$.

(5) חשבו את הגבול הבא
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{n + (-1)^n}{n} \right]^n$$

(6) הוכיחו כי לסדרה הבאה אין גבול: $a_1 = 2$; $a_{n+1} = \sqrt{11 - (a_n)^2}$.

(7) נתונה הסדרה a_n , המוגדרת על ידי $a_1 = 2$; $a_{n+1} = \frac{1}{\sqrt{a_n}}$.

הוכיחו שהסדרה מתכנסת.

(8) נתונה הסדרה a_n , המוגדרת על ידי $a_1 = 0$ ($n \in \mathbb{N}$); $a_{n+1} = \frac{1}{1 + a_n}$.

הוכיחו שהסדרה מתכנסת.

- (9) א. הוכיחו שכל מספר המופיע אינסוף פעמים בסדרה הינו גבול חלקי של הסדרה.
ב. מצאו סדרה שיש לה אינסוף גבולות חלקיים.

(10) נתונה סדרה $a_n = \sin \frac{\pi}{4} n$.

מצאו את כל הגבולות החלקיים של הסדרה ובמיוחד את $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$.

(11) נתונה סדרה $a_n = n \sin \frac{\pi}{4} n$.

מצאו את כל הגבולות החלקיים של הסדרה ובמיוחד את $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$.

(12) נתונה סדרה $a_n = 1, 1, 2, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$.

מצאו את כל הגבולות החלקיים של הסדרה ובמיוחד את $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$.

(13) נתונה סדרה $a_n = (-1)^n \frac{n+1}{n}$.

מצאו את כל הגבולות החלקיים של הסדרה ובמיוחד את $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$.

(14) נתונה סדרה $a_n = (-1)^n \cdot \sqrt[n]{n^{40}} + \frac{1}{n^2} \sin\left(\frac{n}{4}\right)$.

מצאו את $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$.

(15) נתונה סדרה a_n , ונגדיר סדרה חדשה b_n על ידי $b_n = \sqrt[n]{n} \cdot a_n$.
הוכיחו כי לשתי הסדרות אותם גבולות חלקיים.

(16) תהי a_n סדרה, ונניח כי 10 ו-11 הם שני גבולות חלקיים שלה.

הוכיחו שלכל $N \in \mathbb{N}$ קיימים $m, n \in \mathbb{N}$, כך ש- $|a_m - a_n| > \frac{1}{2}$.

(17) נתונה סדרה a_n .

a_{n_k} ו- a_{m_k} שתי תת-סדרות של a_n המקיימות:

$$1. a_{n_k} \rightarrow L, a_{m_k} \rightarrow L.$$

2. כל איברי הסדרה a_n מופיעים בלפחות אחת מתת הסדרות הנתונות.

הוכיחו: $a_n \rightarrow L$.

הערה: טענה זו הוסברה והודגמה בסרטון "שיטה להוכחת קיום גבול לסדרה לא מונוטונית", ובעזרתה פתרנו את שאלות 4-5.

$$(18) \text{ נתונה סדרה חיובית } a_n \text{ המקיימת } \lim_{n \rightarrow \infty} a_n \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{a_n} = 1$$

הוכיחו כי הסדרה מתכנסת.

(19) פתרו את שני הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו שלכל סדרה חסומה a_n , $\inf a_n \leq \liminf a_n \leq \limsup a_n \leq \sup a_n$

הערה: $\sup a_n$ הוא החסם העליון של הקבוצה $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$.

ב. מצאו סדרה a_n שעבורה $\inf a_n < \liminf a_n < \limsup a_n < \sup a_n$.

(20) הוכיחו שהסדרה a_n מתכנסת במובן הרחב אם ורק אם $\liminf a_n = \limsup a_n$.

(21) הוכיחו את המשפט המפורסם הבא:

לכל שתי סדרות חסומות a_n, b_n מתקיים

$$א. \lim(a_n + b_n) \leq \limsup a_n + \limsup b_n$$

$$ב. \liminf(a_n + b_n) \geq \liminf a_n + \liminf b_n$$

(22) נתונות שתי סדרות חסומות a_n ו- b_n .

קבעו האם הטענה בכל סעיף נכונה, והוכיחו זאת.

א. ייתכן שמתקיים $\lim(a_n + b_n) < \limsup a_n + \limsup b_n$.

ב. ייתכן שמתקיים התנאי בסעיף א' ושתי הסדרות לעיל מתכנסות.

ג. ייתכן שמתקיים התנאי בסעיף א' ורק אחת מהסדרות לעיל מתכנסת.

(23) יהיו (a_n) ו- (b_n) סדרות חסומות.

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} (a_n + b_n) \geq \underline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n + \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} b_n$$

הוכיחו כי

(24) תהי (a_n) סדרה חסומה של מספרים חיוביים, כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} a_n) = 1$.

א. הוכיחו שאם (a_n) מתכנסת, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 1$.

ב. הוכיחו שאם $L > 0$ הוא גבול חלקי של (a_n) ,

אז גם $\frac{1}{L}$ הוא גבול חלקי שלה.

ג. הוכיחו שלא ייתכן ש- $L = 0$ הוא גבול חלקי של (a_n) .

ד. הראו, באמצעות דוגמה, שללא דרישת החסימות,

ייתכן ש- $L = 0$ הוא גבול חלקי של (a_n) .

(25) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הדגימו שתי סדרות חסומות ומתבדרות, (a_n) ו- (b_n) ,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n b_n = 1$$

המקיימות

ב. יהיו (a_n) ו- (b_n) שתי סדרות, המקיימות $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n b_n = 1$.

הוכיחו שאם לכל n מתקיים $0 \leq a_n, b_n \leq 1$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 1$.

(26) תהי $a_n = \langle \sqrt{n} \rangle = \sqrt{n} - [\sqrt{n}]$.

א. הוכיחו כי הסדרה (a_n) חסומה.

ב. מצאו את $\inf \{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$ ו- $\underline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$, וקבעו האם ל- $\{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$ יש מינימום.

ג. הוכיחו כי לכל n מתקיים $\langle \sqrt{n^2 - 1} \rangle = \sqrt{n^2 - 1} - n + 1$.

ד. הוכיחו כי $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n^2 - 1} - (n - 1)) = 1$.

ה. היעזרו בסעיפים ג' ו-ד', כדי להוכיח ש- $L = 1$ הוא גבול חלקי של (a_n) .

ו. מצאו את $\sup \{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$ ואת $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$, וקבעו האם ל- $\{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$ יש מקסימום.

27) תהי $(a_n) = (n - \sqrt{n} \lceil \sqrt{n} \rceil)$.

- א. הוכיחו כי הסדרה (a_n) חסומה מלרע.
- ב. הוכיחו ש-0 הוא גבול חלקי של (a_n) .
- ג. מצאו את $\inf \{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$ ואת $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$, וקבעו האם ל- $\{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$ יש מינימום.
- ד. יהי ℓ מספר טבעי.
הוכיחו שכמעט לכל n , מתקיים $n < \sqrt{n^2 + 2\ell} < n+1$.
- ה. יהי ℓ מספר טבעי.
הוכיחו כי $\lim_{n \rightarrow \infty} n(\sqrt{n^2 + 2\ell} - n) = \ell$.
- ו. הוכיחו, בעזרת סעיף ה', שכל מספר טבעי הוא גבול חלקי של (a_n) .
- ז. האם (a_n) חסומה מלעיל?
- ח. חשבו את $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} a_n$.
- ט. מצאו את $\sup \{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$, וקבעו האם לקבוצה $\{a_n \mid n \in \mathbb{N}\}$ יש מקסימום.

תשובות סופיות

- 1) א. הסדרה שואפת לאינסוף.
ב. לסדרה אין גבול. הגבולות החלקיים של הסדרה הם אינסוף ומינוס אינסוף.
ג. לסדרה אין גבול. הגבולות החלקיים היחידים של הסדרה הם $\pm \frac{1}{e}$.
- 2) א. לסדרה אין גבול. הגבולות החלקיים היחידים של הסדרה הם 0, -1.
ב. הגבול של הסדרה הוא 0.
ג. לסדרה אין גבול. הגבולות החלקיים היחידים של הסדרה הם 0, 0.25, 0.5, 0.75.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

משפט שטולץ

שאלות

$$(1) \text{ חשבו: } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 + \sqrt{2} + \sqrt[3]{3} + \dots + \sqrt[n]{n}}{n}$$

$$(2) \text{ חשבו: } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 \cdot 3 + 2 \cdot 5 + 3 \cdot 7 + \dots + n \cdot (2n+1)}{n^3}$$

$$(3) \text{ חשבו: } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1^p + 2^p + 3^p + \dots + n^p}{n^{p+1}}, \text{ כאשר } p \text{ קבוע שלם וחיובי.}$$

$$(4) \text{ חשבו: } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 \cdot c_1 + 2 \cdot c_2 + 3 \cdot c_3 + \dots + n \cdot c_n}{n^3}, \text{ אם ידוע כי } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{c_n}{n} = k$$

$$(5) \text{ חשבו: } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[1^2 \cdot a] + [2^2 \cdot a] + \dots + [n^2 \cdot a]}{n^3}, \text{ כאשר } a \text{ קבוע ממשי.}$$

$$(6) \text{ נתון כי } \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = L$$

הוכיחו כי:

א. $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} = L$ (סדרת הממוצעים החשבונית מתכנסת ל- L).

ב. $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n}} = L$ (סדרת הממוצעים ההרמונית מתכנסת ל- L).

ג. $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n} = L$ (סדרת הממוצעים ההנדסית מתכנסת ל- L).

* הערה: בסעיף ב' הניחו כי $L \neq 0$, ובסעיף ג' הניחו כי $a_n > 0$ לכל n .

תשובות סופיות

(1) 1

(2) $\frac{2}{3}$

(3) $\frac{1}{p+1}$

(4) $\frac{k}{3}$

(5) $\frac{a}{3}$

(6) שאלת הוכחה.

מבחן קושי להתכנסות סדרות

שאלות

(1) הסדרה a_n מקיימת $|a_n - a_{n-1}| < \frac{1}{2^n}$ לכל n . הוכיחו שהסדרה מתכנסת.

(2) הוכיחו שהסדרה $a_n = \frac{1}{\sqrt{1}} + \frac{1}{\sqrt{2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{n}}$ שואפת לאינסוף.

(3) הוכיחו כי הסדרה $a_n = \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{n^2}$ מתכנסת.

(4) הסדרה a_n מקיימת $|a_n - a_{n-1}| < a^n$ לכל n , כאשר $0 < a < 1$. הוכיחו שהסדרה מתכנסת.

(5) הוכיחו כי הסדרה $a_n = \frac{\cos \alpha}{3} + \frac{\cos 2\alpha}{3^2} + \dots + \frac{\cos(n\alpha)}{3^n}$ מתכנסת.

(6) סדרה x_n מקיימת $|x_{n+2} - x_{n+1}| \leq k|x_{n+1} - x_n|$ לכל n , כאשר $0 < k < 1$. הוכיחו שהסדרה היא סדרת קושי ולכן מתכנסת.

(7) נתונה סדרה x_n המוגדרת על ידי $x_1 = 1, x_{n+1} = \frac{1}{1+x_n}$. הוכיחו שהסדרה מתכנסת וחשבו את גבולה.

(8) בכל אחד מהסעיפים הבאים הוכיחו שהסדרה x_n מתכנסת.

א. $x_1 = 1, \quad x_{n+1} = 1 + \frac{1}{x_n}$

ב. $x_1 = 1, \quad x_{n+1} = \frac{1}{2+x_n^2}$

ג. $x_1 = 1, \quad x_{n+1} = \frac{1}{6}(x_n^2 + 8)$

$$(9) \quad \text{נגדיר סדרה } x_n \text{ על ידי } x_1 = 1, x_2 = 2, x_{n+2} = \frac{3}{4}x_n + \frac{1}{4}x_{n+1}.$$

הוכיחו שהסדרה מתכנסת וחשבו את גבולה.

$$(10) \quad \text{סדרה } x_n \text{ מקיימת } x_{n+2} = \sqrt{x_{n+1}x_n} \text{ לכל } n \text{ טבעי, ו- } 1 \leq x_1 \leq x_2 \leq 2.$$

הוכיחו שהסדרה מתכנסת.

$$\text{הדרכה: הוכיחו ראשית שלכל } n \text{ טבעי מתקיים } \frac{x_{n+1}}{x_n} \geq \frac{1}{2}.$$

(11) הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

א. נתונה סדרה x_n .

אם $\lim_{n \rightarrow \infty} |x_{n+1} - x_n| = 0$, אז x_n מתכנסת.

ב. אם לכל n מתקיים $|x_{n+2} - x_{n+1}| < |x_{n+1} - x_n|$, אז הסדרה x_n מתכנסת.

ג. אם סדרה x_n מקיימת את תנאי קושי, אז קיים $0 < \alpha < 1$ כך שלכל n טבעי:

$$|x_{n+2} - x_{n+1}| \leq \alpha \cdot |x_{n+1} - x_n|$$

הערה

בשאלות 7-10 מומלץ להשתמש בטענה אותה הוכחנו בשאלה 6.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

שאלות הוכיחו או הפריכו

הערת ניסוח

הניסוחים הבאים שקולים :

- א. קיים N טבעי כך שלכל $n > N$ מתקיימת הטענה X .
- ב. כמעט לכל n מתקיימת הטענה X .
- ג. לכל n , פרט למספר סופי של n -ים, מתקיימת הטענה X .

שאלות

בשאלות 1-13 הוכיחו או הפריכו את הטענה הנתונה :

- (1) אם a_n סדרה חסומה, אז יש לה גבול.
- (2) אם b_n סדרה לא חסומה, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \infty$ או $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = -\infty$.
- (3) אם $\lim_{n \rightarrow \infty} |c_n| = k$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} c_n = k$ או $\lim_{n \rightarrow \infty} c_n = -k$.
- (4) אם d_n סדרה עולה, אז היא לא חסומה.
- (5) אם ל- a_n ו- b_n אין גבול, אז גם ל- $(a_n + b_n)$ וגם ל- $(a_n \cdot b_n)$ אין גבול.
- (6) אם ל- a_n ו- b_n אין גבול, אז גם ל- (a_n / b_n) אין גבול.
- (7) אם a_n מתכנסת ו- b_n מתבדרת, אז $(a_n \cdot b_n)$ מתבדרת.
- (8) אם a_n מתכנסת ו- b_n מתבדרת, אז $(a_n \cdot b_n)$ מתכנסת.
- (9) אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n^2 = L$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \sqrt{L}$.
- (10) אם $a_n < b_n$ לכל n , אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n < \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$.

(11) אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ וגם b_n חסומה, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n b_n = \infty$.

(12) אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = k$ וגם $a_n < 1$ לכל n , אז $k < 1$.

(13) אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 1$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n)^n = 1$.

(14) הוכיחו או הפריכו:

א. אם כל האיברים של סדרה מתכנסת הם מספרים רציונליים, אז גם גבולה הוא מספר רציונלי.

ב. אם a_n ו- b_n ($b_n \neq 0$) סדרות חסומות, אז גם הסדרה $c_n = \frac{a_n}{b_n}$ חסומה.

ג. אם a_n סדרה עולה, אז גם הסדרה $b_n = (a_n)^2$ עולה.

ד. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 0$, אז הסדרה a_n חסומה.

ה. אם a_n ו- b_n סדרות חסומות, אז גם הסדרה $c_n = \frac{1}{2^{a_n}} (b_n^2 + 2b_n)$ חסומה.

ו. אם a_n סדרה מתכנסת ו- b_n ($b_n \neq 0$) סדרה חסומה, אז לסדרה $(a_n b_n^2)$ יש תת-סדרה מתכנסת.

ז. אם a_n סדרה מתכנסת, אז קיים N טבעי, כך שלכל $n > N$ מתקיים

$$\left| \frac{a_n}{n} - 1 \right| < \frac{1}{2}.$$

ח. אם לסדרה יש גבול חלקי, אז היא חסומה.

בשאלות 15-18 הוכיחו או הפריכו את הטענה הנתונה:

(15) אם לכל n מתקיים: $a_n \in (0, 1)$, $a_{n+1} < a_n^2$, אז הסדרה a_n מתכנסת.

(16) הסדרה $a_n = \frac{1 - 2 + 3 - 4 + 5 - 6 + \dots + (-1)^{n-1} n}{n}$ מתבדרת.

(17) אם לכל n מתקיים: $4x_n(1 - x_{n+1}) > 1$, אז הסדרה x_n מתכנסת ל- $\frac{1}{2}$.

(18) לכל מספר רציונלי קיימת סדרת מספרים אי-רציונליים השואפת אליו.

(19) הוכיחו או הפריכו :

א. אם הסדרה $(x_n + \frac{1}{n} x_n)$ מתכנסת, אז הסדרה x_n מתכנסת.ב. אם הסדרה $(x_n^2 + \frac{1}{n} x_n)$ מתכנסת, אז הסדרה x_n מתכנסת.(20) סדרה של מספרים שלמים המקיימת $x_{n+1} \neq x_n$ לכל n .

הוכיחו או הפריכו :

א. הסדרה x_n לא מקיימת את תנאי קושי.ב. לסדרה x_n לא יכולה להיות תת-סדרה מתכנסת.

(21) הוכיחו או הפריכו :

א. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = a$, $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = b$ ו- $a < b$, אז כמעט לכל n מתקיים $a_n < b_n$.ב. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = a$, $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = b$ וכמעט לכל n מתקיים $a_n \leq b_n$, אז $a \leq b$.(22) תהי (a_n) סדרה מתכנסת במובן הרחב.

הוכיחו או הפריכו :

א. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$, אז כמעט לכל n מתקיים $a_n = 0$.ב. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \geq 0$, אז כמעט לכל n מתקיים $a_n \geq 0$.ג. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \neq 0$, אז כמעט לכל n מתקיים $a_n \neq 0$.ד. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n > 0$, אז כמעט לכל n מתקיים $a_n > 0$.

(23) הוכיחו או הפריכו :

א. אם (a_n) סדרה מתכנסת ואם $a_n \leq k$ לכל n , אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \leq k$.ב. אם (a_n) סדרה מתכנסת ואם $a_n < k$ לכל n , אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \leq k$.(24) תהי (a_n) סדרה חיובית, המקיימת $a_{n+1} \leq \frac{a_n - a_n^2}{2}$ לכל n .הוכיחו או הפריכו : $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

(25) הוכיחו או הפריכו :

אם $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n)^2 = 0$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

(26) נתונות שתי סדרות (a_n) ו- (b_n) , שעבורן: $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n + b_n) = 2$, $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n^2 + b_n^2) = 4$.

הוכיחו או הפריכו:

א. $a_n \rightarrow 2$, $b_n \rightarrow 0$ או $a_n \rightarrow 0$, $b_n \rightarrow 2$.

ב. $a_n b_n \rightarrow 0$.

(27) נניח שסדרה a_n מקיימת $a_{2n-2} \leq a_{2n} \leq a_{2n+1} \leq a_{2n-1}$ לכל n טבעי.

הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

א. a_n עולה.

ב. a_n יורדת.

ג. a_n מתכנסת.

ד. a_n לא מתכנסת.

ה. לסדרה לכל היותר שני גבולות חלקיים.

כיצד תשתנה התשובה, אם נתון כי a_n מקיימת $a_{2n-2} < a_{2n} < a_{2n+1} < a_{2n-1}$ לכל n טבעי?

(28) הסדרה (a_n) מקיימת את התכונה הבאה:

$$0 \leq a_{m+n} \leq \frac{1}{2}(a_m + a_n) \text{ לכל } m, n \text{ טבעיים.}$$

הוכיחו או הפריכו: $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{n} = 0$.

(29) א. תהי (a_n) סדרה, כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} |a_n| = 0$.

הוכיחו או הפריכו: $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

ב. תהיינה (a_n) ו- (b_n) סדרות, כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} |a_n - b_n| = 0$.

הוכיחו או הפריכו: $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$.

(30) נתונה הסדרה $a_n = \left(1 + \frac{1}{2}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 + \frac{1}{2^n}\right)$.

הוכיחו או הפריכו:

הגבול של הסדרה קיים והוא קטן מ-3.

רמז: לכל $x \geq 0$ מתקיים $\ln(1+x) \leq x$.

בשאלות 31-34 הוכיחו או הפריכו את הטענה הנתונה,
 כאשר ידוע כי (a_n) ו- (b_n) סדרות, כך שמתקיים $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n b_n) = \infty$.

31) אם כמעט כל איברי (a_n) חיוביים, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ או $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \infty$.

32) אם כמעט כל איברי (b_n) חיוביים, אז גם כמעט כל איברי (a_n) חיוביים.

33) א. $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n \neq 0$.

ב. קיים $N > 0$, כך שלכל $n > N$, מתקיים $b_n \neq 0$.

ג. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 5$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$.

34) א. אם, כמעט לכל n , $b_n < a_n$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$.

ב. אם, כמעט לכל n , $0 < b_n < a_n$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$.

בשאלות 35-38 הוכיחו או הפריכו את הטענה הנתונה,
 כאשר ידוע כי (a_n) ו- (b_n) סדרות, כך שמתקיים $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n b_n) = 1$.

35) א. אם כמעט כל איברי (a_n) חיוביים, אז כמעט כל איברי (b_n) חיוביים.

ב. אם (a_n) חיובית, אז קיים $N > 0$, כך ש- $b_n > \frac{1}{2a_n}$ לכל $n > N$.

36) אם (a_n) ו- (b_n) חיוביות, אז (a_n) מתכנסת או (b_n) מתכנסת.

37) א. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \infty$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

ב. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \infty$.

ג. אם (a_n) חיובית ואפסה, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = \infty$.

38) א. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = L$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} |a_n| = |L|$.

* הערה: בסעיף זה (ורק בו) מדובר בטענה כללית שלא קשורה לנתוני השאלה.

ב. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} |a_n| = 1$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} |b_n| = 1$.

בשאלות 39-42 הוכיחו או הפריכו את הטענה הנתונה,
כאשר ידוע כי (a_n) ו- (b_n) סדרות, כך שמתקיים $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_n b_n) = 0$.

(39) א. $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$ או $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$.

ב. אם, כמעט לכל n , $a_n > 1$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$.

ג. אם קיימים אינסוף ערכי n , כך ש- $a_n > 1$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$.

ד. קיים $N > 0$, כך שלכל $n > N$, מתקיים $b_n \neq 0$.

(40) א. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 5$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

ב. אם, כמעט לכל n , $0 < b_n < a_n$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

ג. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 0$.

(41) אם $\lim_{n \rightarrow \infty} b_n = 1$, אז קיים N טבעי, כך שלכל $n > N$ מתקיים $a_n < \frac{1}{3}$.

(42) א. אם כמעט כל איברי (b_n) חיוביים, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \neq \infty$.

ב. אם קיים קבוע $c > 0$, כך ש- $b_n \geq c$ כמעט לכל n , אז $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$.

(43) הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

א. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} - a_n) = 0$.

ב. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} - a_n) = 4$.

ג. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} - a_n) = \infty$.

ד. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} - a_n)$ לא קיים.

(44) הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות :

א. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = 0$.

ב. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = 4$.

ג. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \infty$.

ד. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \infty$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n}$ לא קיים.

(45) הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות :

א. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} n |a_n - a_{n+1}| = \infty$.

ב. קיימת סדרה (a_n) כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$ ו- $\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 (a_n - a_{n+1}) = \infty$.

(46) נתונה סדרה חיובית (a_n) .

הוכיחו או הפריכו :

א. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n} = L$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = L$.

ב. אם $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = L$, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a_n} = L$.

הערה : תרגיל זה מלמד שמבחן השורש "חזק" ממבחן המנה במובן הבא :
כאשר מבחן המנה עובד, אז גם מבחן השורש עובד. אך ההיפך לא נכון.

(47) נתונה סדרה חיובית (a_n) , וידוע כי $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n}$ קיים.

הוכיחו או הפריכו :

א. הסדרה (na_n) אינה חסומה.

ב. הסדרה $(a_{n+1} - a_n)$ חסומה.

ג. הסדרה $\sqrt[n]{a_n}$ חסומה.

ד. הסדרה $\frac{a_n}{n}$ מתכנסת.

ה. $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{2^n} = 0$.

(48) סדרה (a_n) תיקרא יורדת אם היא מקיימת $a_{n+1} < a_n$ לכל n .
הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

- אם סדרה (a_n) מקיימת $|a_{n+1}| < |a_n|$, אז היא יורדת.
- אם סדרה (a_n) מקיימת $a_{n+1} < a_n$, אז היא יורדת.
- אם סדרה (a_n) מקיימת $|a_{n+1}| < |a_n|$, אז היא יורדת.

(49) תהי (a_n) סדרה, המקיימת $a_{n+1} - a_n > -1$ ו- $|a_n| > 2$, לכל n טבעי.
הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

- אם קיים N טבעי, כך ש- a_N חיובי, אז $a_n > 2$ לכל $n \geq N$.
- כמעט כל איברי (a_n) חיוביים או שכל איברי (a_n) שליליים.
- אם לכל n מתקיים בנוסף $a_{n+1} < \frac{a_n}{a_1}$, אז $a_1 < -1$.

(50) תהי (a_n) סדרה, כך ש- $\lim_{n \rightarrow \infty} (a_{n+1} - a_n) = 0$.

הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

- אם קיים קבוע $c > 0$, כך שלכל n מתקיים $|a_n| \geq c$, אז מתקיים:
כמעט כל איברי a_n חיוביים או כמעט כל איברי a_n שליליים.
- אם $|a_n| > 0$ לכל n , אז מתקיים:
כמעט כל איברי a_n חיוביים או כמעט כל איברי a_n שליליים.
- אם לכל n מתקיים $|a_n| \geq n$, אז (a_n) מתכנסת במובן הרחב.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

חדוא 1

פרק 3 - טורים עם איברים קבועים

תוכן העניינים

65	1. טורים מתכנסים וטורים מתבדרים
68	2. מבחן ההתבדרות של טורים
69	3. מבחני התכנסות לטורים חיוביים
71	4. מבחני התכנסות לטורים כלליים
73	5. התכנסות בהחלט והתכנסות בתנאי
74	6. תרגילי תיאוריה

טורים מתכנסים וטורים מתבדרים

שאלות

טור גיאומטרי

בדקו את התכנסות הטורים בשאלות 1-6. במידה והטור מתכנס, מצאו את סכומו.

$$\begin{array}{lll} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{5^n}{4^{n+2}} & (3) & \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4^n}{7^{n+1}} & (2) & \sum_{n=1}^{\infty} (0.44)^n & (1) \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^{3n}}{3^{2n}} & (6) & \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4^n + (-5)^n}{7^n} & (5) & \sum_{n=0}^{\infty} (-4) \left(\frac{3}{4}\right)^{2n} & (4) \end{array}$$

טור טלסקופי

בדקו את התכנסות הטורים בשאלות 7-11. במידה והטור מתכנס, מצאו את סכומו.

$$\begin{array}{ll} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(4n+3)(4n-1)} & (8) \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n+1)(n+2)} & (7) \\ \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\ln\left(1+\frac{1}{n}\right)}{(\ln n)(\ln(n+1))} & (10) \\ \sum_{n=1}^{\infty} \ln\left(1+\frac{1}{n}\right) & (9) \\ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(n+2)(n+3)(n+4)} & (11) \end{array}$$

טור הרמוני מוכלל

(12) בדקו את התכנסות הטורים הבאים (קבעו אם הטור מתכנס או מתבדר):

$$\begin{array}{lll} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{3}{5n} & \text{ג.} & \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{n}} & \text{ב.} & \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} & \text{א.} \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^e} & \text{ו.} & \sum_{n=1}^{\infty} \frac{10}{\sqrt[3]{n^4}} & \text{ה.} & \sum_{n=1}^{\infty} n^{-2/3} & \text{ד.} \end{array}$$

תכונות אלגבריות של טורים

(13) בדקו את התכנסות הטורים הבאים (קבעו אם הטור מתכנס או מתבדר):

א. $\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{4^n}{7^{n+1}} + n^{-1.5} \right)$ ב. $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{4n+1}{n^2}$ ג. $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{10+\sqrt{n}}{\sqrt{n}}$

(14) חשבו את סכום הטור $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n+1}{n(n+2)^2}$, אם ידוע כי $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}$.

(15) מצאו את השבר הרציונלי, שהצגתו העשרונית היא $0.123123123... + 0.141414...$.

תשובות סופיות

- (1) מתכנס ל- $\frac{11}{14}$.
 (2) מתכנס ל- $\frac{1}{3}$.
 (3) מתבדר.
 (4) מתכנס ל- $-\frac{64}{7}$.
 (5) מתכנס ל- $\frac{11}{12}$.
 (6) מתכנס ל- 8.
 (7) מתכנס ל- $\frac{1}{2}$.
 (8) מתכנס ל- $\frac{1}{12}$.
 (9) מתבדר.
 (10) $S = \frac{1}{\ln 2}$
 (11) $\frac{1}{12}$
 (12) א. מתכנס.
 ב. מתבדר.
 ג. מתבדר.
 ד. מתבדר.
 ה. מתכנס.
 ו. מתכנס.
 (13) א. מתכנס.
 ב. מתבדר.
 ג. מתבדר.
 (14) $\frac{\pi^2}{6} - \frac{5}{4}$
 (15) $\frac{323}{1221}$

מבחן ההתבדרות של טורים

שאלות

1) בדקו את התכנסות הטורים הבאים (קבעו אם הטור מתכנס או מתבדר):

א. $\sum_{n=1}^{\infty} \ln n$	ב. $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n$	ג. $\sum_{n=1}^{\infty} \sin n$
ד. $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2 + n + 1}{n^2 + 2}$	ה. $\sum_{n=1}^{\infty} \arctan n$	ו. $\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1+n}{n} \right)^n$

תשובות סופיות

1) א-ו: מתבדר.

מבחני התכנסות לטורים חיוביים

שאלות

מבחן האינטגרל

בדקו את התכנסות הטורים בשאלות 1-5 (קבעו אם הטור מתכנס או מתבדר):

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\arctan n}{n^2+1} \quad (3) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{n+5}} \quad (2) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n}{n^2+1} \quad (1)$$

$$\sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n(\ln n)^p} (p \leq 1) \quad (5) \quad \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n(\ln n)^p} (p > 1) \quad (4)$$

(6) ענו על הסעיפים הבאים:

א. בדקו את התכנסות הטור $\sum_{n=1}^{\infty} n^2 e^{-n^3}$.

ב. מצאו את הגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 e^{-n^3}$.

מבחן השוואה ומבחן השוואה הגבולי

בדקו את התכנסות הטורים בשאלות 7-15 (קבעו אם הטור מתכנס או מתבדר):

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2+4n+1}{\sqrt{n^{10}+n+1}} \quad (9) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(n+1)}{(n+2)(n+3)(n+4)} \quad (8) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{4n^2+10n+1} \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{5\sin^2 n}{n!} \quad (12) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^n-2}{3^n+2n} \quad (11) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4n+5}{\sqrt{n^4+n+1}} \quad (10)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sqrt{n} \ln n}{n^2+1} \quad (15) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \left(1 - \cos \frac{1}{n}\right) \quad (14) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \left(\sqrt{n^2+1} - n\right) \quad (13)$$

מבחן המנה, מבחן השורש ומבחן ראפה

בדקו את התכנסות הטורים הבאים (קבעו אם הטור מתכנס או מתבדר):

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n)!}{n!(2n)^n} \quad (18) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n+1)}{2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot \dots \cdot (3n+2)} \quad (17) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n)!}{(n!)^2} \quad (16)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^{1000} e^{-n} \quad (21) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n!)^3}{(3n)!} \quad (20) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+3)!}{n! \cdot 3^n} \quad (19)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2}{2^n} \quad (24) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{3^n(1+n^2)}{n!} \quad (23) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n!}{n^n} \quad (22)$$

$$\sum \frac{(2n)!}{4^n (n!)^2} \quad (26) \quad \sum \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \dots \cdot (2n)} \quad (25)$$

תשובות סופיות

- | | | |
|---------------|-------------|-------------|
| (1) מתבדר. | (2) מתבדר. | (3) מתכנס. |
| (4) מתכנס. | (5) מתבדר. | |
| (6) א. מתכנס. | ב. 0 | |
| (7) מתכנס. | (8) מתבדר. | (9) מתכנס. |
| (10) מתבדר. | (11) מתכנס. | (12) מתכנס. |
| (13) מתבדר. | (14) מתכנס. | (15) מתכנס. |
| (16) מתבדר. | (17) מתכנס. | (18) מתכנס. |
| (19) מתכנס. | (20) מתכנס. | (21) מתכנס. |
| (22) מתכנס. | (23) מתכנס. | (24) מתכנס. |
| (25) מתבדר. | (26) מתבדר. | |

מבחני התכנסות לטורים כלליים

מבחן לייבניץ

בדקו את התכנסות הטורים בשאלות 1-3 :

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{n+1}{n^2+n} \quad (3) \quad \sum_{n=3}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{\ln n}{n} \quad (2) \quad \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{4n+1} \quad (1)$$

מבחן דיריכלה

בשאלות 4 ו-5, קבעו אם הטור מתכנס או מתבדר :

$$1 + \frac{1}{4} - \frac{2}{7} + \frac{1}{10} + \frac{1}{13} - \frac{2}{16} + \dots \quad (4)$$

$$\sum \frac{\sin n \cdot \sin n^2}{n+1} \quad (5)$$

$$(6) \quad \text{הוכיחו שהטורים } \sum \sin n\theta, \sum \cos n\theta, \text{ כאשר } \theta \neq 2\pi k, \text{ חסומים.}$$

$$(7) \quad \text{הוכיחו את התכנסות הטורים הבאים :}$$

$$\sum \frac{\sin n\theta}{n}, \quad \sum \frac{\cos n\theta}{n+1}, \quad \sum \frac{\sin n\theta}{\sqrt{n+4}}, \quad (\theta \neq 2\pi k).$$

$$(8) \quad \text{בדקו התכנסות הטור } \sum \frac{\sin^2 n}{n}.$$

$$(9) \quad \text{הוכיחו שאם הסדרה } b_n \text{ יורדת ושואפת לאפס, אז הטור } \sum b_n \sin n \text{ מתכנס.}$$

$$(10) \quad \text{ענו על שני הסעיפים הבאים :}$$

$$א. \text{ הוכיחו שהטור } \sum_{n=1}^{\infty} (3-n)(\bmod 7) \text{ הוא טור חסום.}$$

$$ב. \text{ בדקו את התכנסות הטור } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(3-n)(\bmod 7)}{\sqrt{n+1}}.$$

מבחן אבל

קבעו האם הטור מתכנס או מתבדר :

$$\sum \frac{(-1)^n n}{4^n - 4^{2n}} \quad (12)$$

$$\sum \frac{(-1)^{n+1}}{\sqrt{n+4}} \left(\frac{n+1}{n} \right)^n \quad (11)$$

$$\sum \frac{\frac{\pi}{2} - \arctan n}{n^2} \quad (14)$$

$$\sum \frac{(-1)^n \ln(1+n^{-1})}{n} \quad (13)$$

תשובות סופיות

- | | | |
|----------------|-------------|-------------|
| (1) מתכנס. | (2) מתכנס. | (3) מתכנס. |
| (4) מתכנס. | (5) מתכנס. | (6) הוכחה. |
| (7) הוכחה. | (8) מתבדר. | (9) הוכחה. |
| (10) א. הוכחה. | ב. מתכנס. | (11) מתכנס. |
| (12) מתכנס. | (13) מתכנס. | (14) מתכנס. |

התכנסות בהחלט והתכנסות בתנאי

שאלות

בשאלות הבאות, קבעו אם הטור מתכנס בהחלט, מתכנס בתנאי או מתבדר:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n} \quad (3) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \quad (2) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-4)^n}{n^2} \quad (1)$$

$$\sum_{n=2}^{\infty} \left(-\frac{1}{\ln n}\right)^n \quad (6) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n}{n^3} \quad (5) \quad \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \ln n}{n} \quad (4)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{n+1}{n^2+n} \quad (9) \quad \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1+n \ln n}{n^2} \quad (8) \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\sqrt{n(n+1)}} \quad (7)$$

תשובות סופיות

- | | | |
|------------------|------------------|------------------|
| (1) מתבדר. | (2) מתכנס בהחלט. | (3) מתכנס בתנאי. |
| (4) מתכנס בתנאי. | (5) מתכנס בהחלט. | (6) מתכנס בהחלט. |
| (7) מתכנס בתנאי. | (8) מתכנס בתנאי. | (9) מתכנס בתנאי. |

תרגילי תיאוריה

(1) להלן טענות. אם הטענה נכונה, הוכיחו אותה. אם לא, הביאו דוגמה נגדית.

א. אם $\sum a_n$ מתכנס ו- $\sum b_n$ מתבדר, אז $\sum (a_n + b_n)$ מתבדר.

ב. אם $\sum a_n$ מתבדר ו- $\sum b_n$ מתבדר, אז $\sum (a_n + b_n)$ מתבדר.

(2) להלן טענות. אם הטענה נכונה, הוכיחו אותה. אם לא, הביאו דוגמה נגדית.

א. אם $\sum a_n^2$ מתכנס, אז $\sum a_n$ מתכנס בהחלט.

ב. אם $\sum a_n$ חיובי ומתכנס, אז $\sum \frac{1}{a_n}$ מתבדר.

ג. אם $\sum a_n$ מתכנס, אז $\sum a_n^2$ מתכנס.

(3) הוכיחו: אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתכנס, אז $\sum_{n=1}^{\infty} (a_n + (-1)^n)$ מתבדר.

(4) הוכיחו: אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ חיובי ומתכנס, אז גם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n^2$ מתכנס.

(5) נתון טור חיובי ומתכנס $\sum a_n$.

הוכיחו כי $\sum \left(1 - \frac{\sin(a_n)}{a_n}\right)$ מתכנס.

(6) א. נתון טור חיובי $\sum a_n$.

הוכיחו כי $\sum \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$ מתבדר.

ב. נתון טור מתכנס $\sum a_n$.

הוכיחו ש- $\sum |a_n|$ מתבדר אם $\sum a_n^2$ מתבדר.

הערה: אין קשר בין הסעיפים

(7) תהי (a_n) סדרה חיובית השואפת לאינסוף.

הוכיחו כי $\sum \frac{1}{(a_n)^n}$ מתכנס.

(8) $\sum a_n$ הוא טור אי-שלילי ומתכנס.

הוכיחו כי $\sum \frac{a_n + 4^n}{a_n + 10^n}$ מתכנס.

(9) הוכיחו או הפריכו:

אם הסדרה $(a_n)_{n \geq 1}$ מקיימת $0 \leq a_n \leq \frac{1}{n}$ לכל n , אז $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n a_n$ מתכנס.

(10) נניח כי $a_n \geq 0$.

הוכיחו כי $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתכנס $\Leftrightarrow \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{1+a_n}$ מתכנס.

(11) הוכיחו או הפריכו:

אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתכנס והסדרה b_n חסומה, אז $\sum_{n=1}^{\infty} a_n b_n$ מתכנס.

(12) הוכיחו: אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתכנס בתנאי, אז $\sum_{n=1}^{\infty} n^2 a_n$ מתבדר.

(13) הוכיחו או הפריכו:

אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתכנס בתנאי ואם $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_n}{b_n} = 1$, אז $\sum_{n=1}^{\infty} b_n$ מתכנס בתנאי.

(14) נתון טור חיובי $\sum a_n$.

הוכיחו או הפריכו:

א. אם מתקיים $\frac{a_{n+1}}{a_n} < 1$ לכל n , אז הטור מתכנס.

ב. אם מתקיים $\frac{a_{n+1}}{a_n} > 1$ לכל n , אז הטור מתבדר.

(15) נתון טור חיובי ומתכנס $\sum a_n$.

הוכיחו כי $\sum \sqrt{a_n a_{n+1}}$ מתכנס.

16 נתונים שני טורים חיוביים $\sum a_n, \sum b_n$.

א. נתון שהטורים $\sum a_n^2, \sum b_n^2$ מתכנסים.

1. הוכיחו כי $\sum a_n b_n$ מתכנס.

2. הוכיחו כי $\sum (a_n + b_n)^2$ מתכנס.

ב. נתון טור חיובי ומתכנס $\sum a_n$.

הוכיחו כי $\sum \frac{\sqrt{a_n}}{n}$ מתכנס.

17 הוכיחו :

א. אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ חיובי ואם $\lim_{n \rightarrow \infty} (na_n) = k \neq 0$, אז הטור מתבדר.

ב. אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ חיובי ואם $\sum (na_n - k)$ מתכנס (כאשר $k \neq 0$),

אז $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתבדר.

18 הוכיחו כי אם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ חיובי ואם $\lim_{n \rightarrow \infty} (n^2 a_n) = k$, אז הטור מתכנס.

19 נתון $a_n \geq 0$ לכל n .

א. נתון כי $\lim_{n \rightarrow \infty} n^3 a_n^2 = k > 0$.

הוכיחו כי $\sum \frac{a_n}{\sqrt{n}}$ מתכנס.

ב. נתון כי $\sum (n^3 a_n^2 - k)$ מתכנס (כאשר $k > 0$).

הוכיחו כי $\sum \frac{a_n}{\sqrt{n}}$ מתכנס.

20 הסדרה (a_n) מוגדרת על ידי $a_{n+2} = \frac{a_n + a_{n+1}}{2}$, $a_2 = -\frac{1}{2}$, $a_1 = \frac{21}{20}$, כאשר $(n \geq 1)$.

האם $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתכנס?

$$(21) \text{ הטור } \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{ מוגדר כך: } a_n = \begin{cases} \frac{1}{n} & n = k^2 \\ \frac{1}{n^2} & n \neq k^2 \end{cases}$$

הוכיחו כי הטור מתכנס.

$$(22) \text{ נתון טור חיובי ומתכנס } \sum a_n, \text{ ונתון כי לכל } n \text{ מתקיים } a_{n+1} \leq a_n.$$

הוכיחו כי $\sum n(a_n - a_{n+1})$ מתכנס.

$$(23) \text{ נתון } \forall n \geq 1: 0 < a_n < 1, 4a_n(1 - a_{n+1}) > 1.$$

$$\text{האם } \sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 - 1) \text{ מתכנס?}$$

$$(24) \text{ נניח כי } (a_n) \text{ סדרה המקיימת } a_n \leq a_{2n} + a_{2n+1}, a_n > 0 \text{ לכל } n \text{ טבעי.}$$

הוכיחו כי $\sum a_n$ מתבדר.

$$(25) (a_n) \text{ היא סדרה חשבונית שכל איבריה שונים מאפס.}$$

$$\text{הוכיחו כי } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{a_n} \text{ מתבדר.}$$

$$(26) \text{ נתון טור חיובי } \sum a_n.$$

הוכיחו או הפריכו:

- א. אם הטור מתכנס לפי מבחן השורש, אז הטור מתכנס גם לפי מבחן המנה.
 ב. אם הטור מתכנס לפי מבחן המנה, אז הטור מתכנס גם לפי מבחן השורש.

$$(27) \text{ ענו על הסעיפים הבאים:}$$

א. הוכיחו כי הסדרה a_n מתכנסת אם ורק אם $\sum_{n=2}^{\infty} (a_n - a_{n-1})$ מתכנס.

ב. בדקו האם הסדרה $a_n = \frac{1}{\sqrt{1}} + \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{n}} - 2\sqrt{n}$ מתכנסת.

ג. בדקו האם הסדרה $a_n = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} - \ln n$ מתכנסת.

הערה: סעיף ג' מיועד רק למי שלמדו את הנושא טורי מקלורן עם שארית לגראנז'.

(28) פונקציה f מוגדרת לכל x , גזירה ב-0 ומקיימת $f(0) = 0$. הוכיחו כי אם $\sum a_n$ מתכנס בהחלט, אז $\sum f(a_n)$ מתכנס בהחלט.

(29) נתון $p(x)$ פולינום.

$\sum a_n$ מתכנס בהחלט.

הוכיחו כי $\sum P(a_n)$ מתכנס $\Leftrightarrow p(0) = 0$.

(30) יהיו $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ ו- $\sum_{n=1}^{\infty} b_n$ טורים חיוביים.

נתון כי:

(1) הטור $\sum_{n=1}^{\infty} b_n$ מתכנס. (2) $\frac{a_{n+1}}{a_n} \leq \frac{b_{n+1}}{b_n}$ לכל n טבעי.

הוכיחו כי הטור $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ מתכנס.

פתרונות לכל שאלות התיאוריה תוכלו למצוא באתר: GooL.co.il

חדוא 1

פרק 4 - טורי פונקציות וטורי חזקות

תוכן העניינים

1. כללי (ללא ספר)

חדוא 1

פרק 5 - הפונקציה הממשית - תכונות בסיסיות ופונקציות נפוצות

תוכן העניינים

1. פונקציה - הגדרה ותכונות בסיסיות (ללא ספר)
2. הפונקציה הלינארית (ללא ספר)
3. הפונקציה הריבועית (ללא ספר)
4. הפונקציה המעריכית (ללא ספר)
5. הפונקציה הלוגריתמית (ללא ספר)
6. פונקציות מפורסמות נוספות (ללא ספר)
7. הזזות שיקופים מתיחות וכיווצים של פונקציה (ללא ספר)
8. הפונקציות הטריגונומטריות (ללא ספר)
9. הפונקציות הטריגונומטריות ההפוכות (ללא ספר)
10. הפונקציות ההיפרבוליות (ללא ספר)
11. הצגה פרמטרית של פונקציה (ללא ספר)
12. הצגה פולרית של עקום (ללא ספר)

חדוא 1

פרק 6 - הפונקציה הממשית - תכונות מתקדמות

תוכן העניינים

79	1. תחום הגדרה של פונקציה
81	2. הרכבת פונקציות
84	3. הפונקציה ההפוכה
88	4. פונקציה זוגית ופונקציה אי זוגית
93	5. פונקציה מחזורית
96	6. פונקציה מפוצלת ופונקציה אלמנטרית
97	7. תרגילים משולבים

תחום הגדרה של פונקציה

שאלות

מצאו את תחום ההגדרה של הפונקציות הבאות:

$$y = \frac{1}{x^2 - 4} \quad (2)$$

$$y = x^3 - x^2 - 4x + 1 \quad (1)$$

$$y = \frac{1}{x^3 - x} \quad (4)$$

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

$$y = \sqrt{x-4} \quad (6)$$

$$y = \frac{x^2}{x^2 - x - 2} \quad (5)$$

$$y = \sqrt[3]{x^2 + x - 1} \quad (8)$$

$$y = \sqrt{x^2 + x - 2} \quad (7)$$

$$y = \ln(x^2 + x - 2) \quad (10)$$

$$y = \frac{1}{\sqrt{1-|x|}} \quad (9)$$

$$y = e^{x^2+x+1} \quad (12)$$

$$y = \log x + \frac{1}{\log x} \quad (11)$$

$$y = \tan(10x) \quad (14)$$

$$y = \log_x(x+4) \quad (13)$$

$$y = \arctan(x+4) \quad (16)$$

$$y = \cot(4x) \quad (15)$$

$$y = \arccos(x+1) \quad (18)$$

$$y = \arcsin(x-4) \quad (17)$$

תשובות סופיות

(1) כל x .

(2) $x \neq \pm 2$

(3) כל x .

(4) $x \neq 0, 1, -1$

(5) $x \neq 2, -1$

(6) $x \geq 4$

(7) $x \leq -2, x \geq 1$

(8) כל x .

(9) $-1 < x < 1$

(10) $x < -2, x > 1$

(11) $x > 0, x \neq 1$

(12) כל x .

(13) $x > 0, x \neq 1$

(14) $x \neq \frac{\pi}{20} + \frac{\pi k}{10}$

(15) $x \neq \frac{\pi k}{4}$

(16) כל x .

(17) $3 < x < 5$

(18) $-2 < x < 0$

הרכבת פונקציות

שאלות

1) נתונות הפונקציות הבאות: $h(x) = \frac{4}{x}$, $g(x) = x^2$, $f(x) = x - 4$

חשבו את הפונקציות המורכבות הבאות:

א. $f(g(1))$ ב. $h(g(f(5)))$ ג. $f(g(x))$
 ד. $h(f(x))$ ה. $f(f(x))$ ו. $h(h(x))$

2) נתון: $f(x) = \frac{x-2}{x-1}$

חשבו $f(f(x))$ עבור $x = 3$.

3) נתון: $f(x) = \frac{x-3}{x+2}$, $g(x) = \frac{5-x}{x-7}$

חשבו $f(g(x)) + g(f(x))$ עבור $x = 8$.

4) נתון: $f(x) = x^2 - 7x$, $g(x) = \ln x$

חשבו $f(g(x))$ עבור $x = e^2$.

5) נתון: $f(x) = e^{2x}$, $g(x) = \ln x$

חשבו $f(g(x))$ עבור $x = 2$.

6) נתון: $f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x} & x > 0 \\ x^2 & x \leq 0 \end{cases}$, $g(x) = \begin{cases} x+3 & x > 4 \\ 3x & x \leq 4 \end{cases}$

חשבו $f(g(x))$, $g(f(x))$

7) נתונות הפונקציות:

$f(x) = \begin{cases} 2x+4 & x \leq -1 \\ \sqrt{x+1} & x > -1 \end{cases}$ ו- $g(x) = \begin{cases} x^2-4 & x < 1 \\ -x^2-2x-1 & x \geq 1 \end{cases}$

מצאו נוסחה עבור ההרכבה $z(x) = g(f(x))$.

(8) נתונות הפונקציות :

$$f(x) = \begin{cases} 2x+4 & x \leq -1 \\ \sqrt{x+1} & x > -1 \end{cases} \quad \text{ו-} \quad g(x) = \begin{cases} x^2 - 4 & x < 1 \\ -x^2 - 2x - 1 & x \geq 1 \end{cases}$$

א. מצאו נוסחה עבור ההרכבה $h(x) = f(g(x))$.ב. נתון ש- $n \in \mathbb{Z}$ ו- $h(n) \notin \mathbb{Z}$.

מה ניתן להסיק בוודאות?

$$1. n \leq -3$$

$$2. n \geq 1$$

3. n אי-זוגי שלילי.

4. אף תשובה אינה נכונה.

$$(9) \quad \text{נתון} \quad f(x) = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$f^n(x) = \underbrace{f(f(f(\dots(f(x))))}_{n \text{ times}}$$

מצא את

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } -3 \quad \text{ב. } 4 \quad \text{ג. } x^2 - 4 \quad \text{ד. } \frac{4}{x-4} \quad \text{ה. } x-8 \quad \text{ו. } x$$

$$(2) \quad 3$$

$$(3) \quad \frac{69}{13}$$

$$(4) \quad -10$$

$$(5) \quad 4$$

$$(6) \quad f(g(x)) = \begin{cases} \frac{1}{x+3} & x > 4 \\ \frac{1}{3x} & 0 < x \leq 4 \\ (3x)^2 & x \leq 0 \end{cases}, g(f(x)) = \begin{cases} x^2 + 3 & x < 2 \\ 3x^2 & -2 \leq x \leq 0 \\ \frac{1}{x} + 3 & 0 < x < \frac{1}{4} \\ 3\frac{1}{x} & x \geq \frac{1}{4} \end{cases}$$

$$(7) \quad z(x) = \begin{cases} 4x^2 + 16x + 12 & x < -1.5 \\ -4x^2 - 20x - 25 & -1.5 \leq x \leq -1 \\ x - 3 & -1 < x < 0 \\ -x - 2 - 2\sqrt{x+1} & x \geq 0 \end{cases}$$

$$(8) \quad \text{א. } -\sqrt{3} \leq x < 1 \quad \text{ב. } n \leq -3 \quad h(x) = \begin{cases} \sqrt{x^2 - 3} & x < -\sqrt{3} \\ 2x^2 - 4 & -\sqrt{3} \leq x < 1 \\ -2x^2 - 4x + 2 & x \geq 1 \end{cases}$$

$$(9) \quad f^n(x) = \frac{x}{\sqrt{1+nx^2}}$$

הפונקציה ההפוכה

שאלות

בתרגילים 1-4 הוכיחו שהפונקציה הנתונה היא חח"ע בתחום הגדרתה ומצאו את הפונקציה ההפוכה לה. בנוסף, מצאו את התמונה של הפונקציה.

$$f(x) = \frac{x+1}{x} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{x-1}{3} \quad (1)$$

$$(x \geq 0) \quad f(x) = x^2 - 4 \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{3x-2}{x-2} \quad (3)$$

בתרגילים 5-7, בדקו האם הפונקציה היא חח"ע. בנוסף, מצאו את התמונה של הפונקציה:

$$f(x) = \sqrt{1-x^2} \quad (7)$$

$$f(x) = x^2 - x \quad (6)$$

$$f(x) = x + \frac{1}{x} \quad (5)$$

בתרגילים 8-10, בדקו האם הפונקציה היא חח"ע, אם כן, מצאו את הפונקציה ההפוכה ואת התמונה של הפונקציה.

$$f(x) = \left(\frac{2x-1}{2x+1} \right)^3 \quad (10)$$

$$y = \frac{x^2+3}{2x-1} \quad (9)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x}} \quad (8)$$

$$(11) \text{ נתונה } f(x) = \frac{x+2}{\sqrt{x-1}}.$$

האם הפונקציה היא חח"ע?
מצאו את התמונה של הפונקציה.

(12) עבור כל אחת מהפונקציות הבאות, מצאו את תחום ההגדרה, הטווח והתמונה וקבעו האם היא פונקציה על:

$$f(x) = \frac{x-1}{3} \quad \text{א. } f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f(x) = \frac{x+1}{x} \quad \text{ב. } f: \mathbb{R} \setminus \{0\} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f(x) = \frac{3x-2}{x-2} \quad \text{ג. } f: \mathbb{R} \setminus \{2\} \rightarrow \mathbb{R} \setminus \{3\}$$

$$f(x) = x^2 - 4 \quad \text{ד. } f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$$

13 עבור כל אחת מהפונקציות הבאות מצאו תחום הגדרה, טווח ותמונה. בנוסף, קבעו האם הפונקציה הנתונה היא על.

א. $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ $f(x) = \frac{1}{x^2 + 1}$

ב. $f: \mathbb{R} \rightarrow (0, 1]$ $f(x) = \frac{1}{x^2 + 1}$

ג. $f: (1, \infty) \rightarrow (0, 1]$ $f(x) = \frac{1}{x^2 + 1}$

14 תהיינה שתי פונקציות $f: A \rightarrow B$, $g: B \rightarrow C$, ותהי $h: A \rightarrow C$ ההרכבה המוגדרת על ידי $h(x) = g(f(x))$. הוכיחו או הפריכו:

א. אם f ו- g חח"ע, אז h חח"ע.

ב. אם f ו- g חח"ע, אז h על.

ג. אם f ו- g על, אז h על.

ד. אם f ו- g על, אז h חח"ע.

ה. אם f חח"ע ו- g על, אז h חח"ע.

ו. אם f חח"ע ו- g על, אז h על.

ז. אם f על ו- g חח"ע, אז h חח"ע.

ח. אם f על ו- g חח"ע, אז h על.

15 תהיינה שתי פונקציות $f: A \rightarrow B$, $g: B \rightarrow C$, ותהי $h: A \rightarrow C$ ההרכבה המוגדרת על ידי $h(x) = g(f(x))$. נתון כי h על. הוכיחו או הפריכו:

א. f חח"ע.

ב. f על.

ג. g חח"ע.

ד. g על.

- 16)** תהיינה שתי פונקציות $f: A \rightarrow B$, $g: B \rightarrow C$, ותהי $h: A \rightarrow C$ ההרכבה המוגדרת על ידי $h(x) = g(f(x))$. נתון כי h חח"ע. הוכיחו או הפריכו:
- א. g על.
 - ב. f על.
 - ג. g חח"ע.
 - ד. f חח"ע.

תשובות סופיות

- (1) $f^{-1}(x) = 3x + 1$, כל y .
- (2) $f^{-1}(x) = \frac{1}{x-1}$, $y \neq 1$.
- (3) $f^{-1}(x) = \frac{2x-2}{x-3}$, $y \neq 3$.
- (4) $f^{-1}(x) = \sqrt{x+4}$, $y \geq -4$.
- (5) לא חח"ע. תמונה: $y \leq -2$ או $y \geq 2$.
- (6) לא חח"ע. תמונה: $y \geq -\frac{1}{4}$.
- (7) לא חח"ע. תמונה: $0 \leq y \leq 1$.
- (8) כן חח"ע. תמונה: $y > 0$. פונקציה הפוכה: $x > 0$, $f^{-1}(x) = 1 - \frac{1}{x^2}$.
- (9) לא חח"ע. תמונה: $y \geq 2.3$ או $y \leq -1.3$.
- (10) כן חח"ע. תמונה: $y \neq 1$. פונקציה הפוכה: $f^{-1}(x) = \frac{1}{1-\sqrt[3]{x}} - \frac{1}{2}$.
- (11) לא חח"ע. תמונה: $y \geq \frac{6}{\sqrt{3}}$.
- (12) א. תחום הגדרה, טווח ותמונה: $\mathbb{R}$; על.
 ב. תחום הגדרה $\mathbb{R} \setminus \{0\}$, טווח $\mathbb{R}$, תמונה: $\mathbb{R} \setminus \{0\}$; לא על.
 ג. תחום הגדרה $\mathbb{R} \setminus \{2\}$, טווח ותמונה: $\mathbb{R} \setminus \{3\}$; על.
 ד. תחום הגדרה $[0, \infty)$, טווח $\mathbb{R}$, תמונה: $[-4, \infty)$; לא על.
- (13) א. תחום הגדרה וטווח: $\mathbb{R}$, תמונה: $(0, 1]$; לא על.
 ב. תחום הגדרה $\mathbb{R}$, טווח ותמונה: $(0, 1]$; על.
 ג. תחום הגדרה $(1, \infty]$, טווח $(0, 1]$, תמונה: $(0, 0.5)$; לא על.
- (14) שאלת הוכחה.
- (15) שאלת הוכחה.
- (16) שאלת הוכחה.

פונקציה זוגית ואי זוגית

שאלות

מצאו אילו מבין הפונקציות בשאלות 1-8 הן אי-זוגיות ואיזה זוגיות:

$$(1) \quad y = 4x^3 \quad (2) \quad y = x^4 + x^{10} \quad (3) \quad y = 1$$

$$(4) \quad y = \frac{1}{x} \quad (5) \quad y = x^2 + \sin^2 x \quad (6) \quad y = 2^x$$

$$(7) \quad y = \ln x + x^2 \quad (8) \quad y = \sin x \cdot \cos x$$

(9) נתונה פונקציה אי-זוגית $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$.

$$\text{נסמן: } z(x) = f(x^2), \quad k(x) = -f(x).$$

בדקו, עבור כל אחת מהפונקציות k, z , האם היא זוגית או אי-זוגית.

(10) נתונה פונקציה אי-זוגית $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, ופונקציה זוגית $g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$.

$$\text{נסמן: } z(x) = -g(x^3) \text{ ו- } k(x) = -f(x^3).$$

טענה א': $z(x)$ אי-זוגית.

טענה ב': $k(x)$ אי-זוגית.

איזו טענה נכונה?

(11) נתונה פונקציה אי-זוגית $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ ונתונה פונקציה זוגית $g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$.

$$\text{נסמן: } k(x) = f(-x) + x^{11}g(|x|), \quad z(x) = -g(-4x) \cdot f(x^4).$$

בדקו, עבור כל אחת מהפונקציות k, z , האם היא זוגית או אי-זוגית.

(12) נתון כי $f(x)$ פונקציה אי-זוגית ב- $\mathbb{R}$ ומקיימת $|f(x)| < 1$.

נתון כי $g(x)$ פונקציה זוגית ב- $\mathbb{R}$.

$$\text{הוכיחו שהפונקציה } z(x) = g(x) \ln \left(\frac{1-f(x)}{1+f(x)} \right) \text{ היא אי-זוגית ב- } \mathbb{R}.$$

(13) הוכיחו כי :

- א. סכום פונקציות זוגיות היא פונקציה זוגית
- ב. מכפלת פונקציות זוגיות היא פונקציה זוגית.
- ג. מנת פונקציות זוגיות היא פונקציה זוגית.
- ד. הרכבה של פונקציות זוגיות היא פונקציה זוגית.
- ה. הרכבה של פונקציות אי-זוגיות היא פונקציה אי-זוגית.

(14) הוכיחו כי :

- א. סכום פונקציות אי-זוגיות הוא פונקציה אי-זוגית.
- ב. מכפלת פונקציות אי-זוגיות היא פונקציה זוגית.
- ג. מנת פונקציות אי-זוגיות היא פונקציה זוגית.
- ד. מכפלה של פונקציה זוגית בפונקציה אי-זוגית היא פונקציה אי-זוגית.
- ה. הרכבה של פונקציה זוגית על פונקציה אי-זוגית היא פונקציה זוגית.
- ו. הרכבה של פונקציה אי-זוגית על פונקציה זוגית היא פונקציה זוגית.
- ז. הפונקציה היחידה שהיא גם זוגית וגם אי-זוגית לכל x היא פונקציית האפס.

(15) הפונקציה $f(x)$ היא אי-זוגית.

- נגדיר $z(x) = (f(x))^n$ כאשר $n > 1$ טבעי.
קבעו האם הפונקציה z היא זוגית, אי-זוגית או כללית.

(16) נתונה הפונקציה $f(x)$ המוגדרת לכל x .

$$f_{\text{odd}}(x) = \frac{f(x) - f(-x)}{2}, \quad f_{\text{even}}(x) = \frac{f(x) + f(-x)}{2} \quad \text{נגדיר:}$$

- א. הוכיחו כי $f_{\text{odd}}(x)$ היא פונקציה אי-זוגית ו- $f_{\text{even}}(x)$ היא פונקציה זוגית.
- ב. הוכיחו כי $f(x) = f_{\text{odd}}(x) + f_{\text{even}}(x)$ והסבירו במילים את התוצאה שקיבלת.
- ג. הציגו את הפונקציה $f(x) = x^2 + x + 1$ כסכום של פונקציה זוגית ופונקציה אי-זוגית.

(17) הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות :

- א. אם f פונקציה אי-זוגית אז $f(0) = 0$.
- ב. אם f פונקציה אי-זוגית המוגדרת ב- $x = 0$ אז $f(0) = 0$.

(18) הוכיחו את הטענות הבאות :

- א. הפונקציה $f(x) = \cos x$ היא זוגית.
- ב. הפונקציה $f(x) = \sin x$ היא אי-זוגית.
- ג. הפונקציה $f(x) = \tan x$ היא אי-זוגית.
- ד. הפונקציה $f(x) = \cot x$ היא אי-זוגית.

(19) נתון כי $f(x)$ פונקציה אי-זוגית וחד-חד ערכית המוגדרת בקטע

$$(-a, a) \quad (a > 0).$$

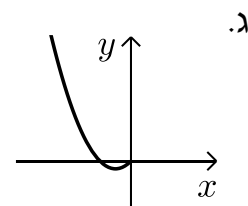
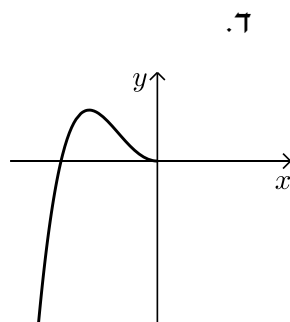
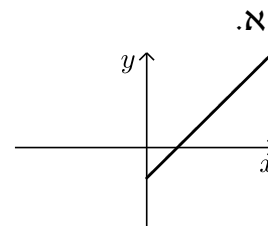
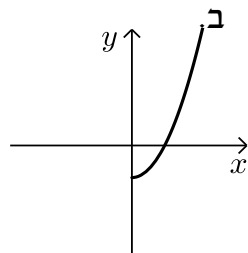
הוכיחו כי גם f^{-1} פונקציה אי-זוגית.

(20) הוכיחו שהפונקציות הבאות הן אי זוגיות :

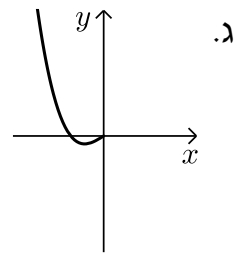
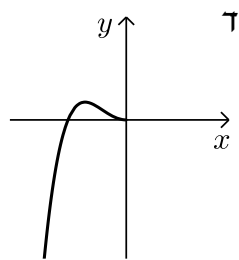
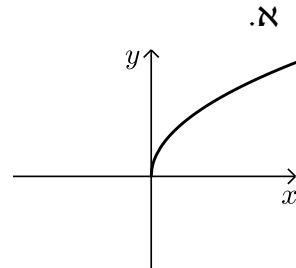
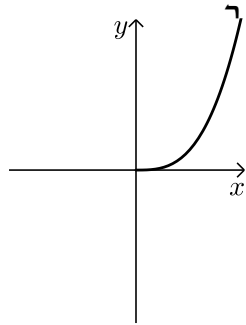
א. $y = \arctan x$

ב. $y = \arcsin x$

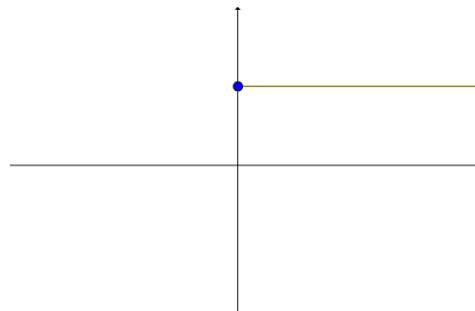
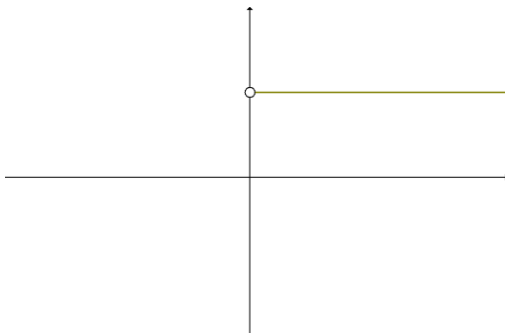
(21) הפונקציות המסורטטות להלן מוגדרות לכל x . השלם את ציור הגרף של הפונקציה כך שתתקבל פונקציה זוגית :



22 הפונקציות המסורטטות להלן מוגדרות לכל x .
השלם את ציור הגרף של הפונקציה כך שתקבל פונקציה אי-זוגית:



23 השלימו (אם ניתן) את גרף הפונקציות הבאות לפונקציה זוגית ולפונקציה אי-זוגית.



תשובות סופיות

שאלות 1-8 : זוגית : 2,3,5,8 ; אי-זוגית : 1,4 ; כללית : 6,7.

(9) k אי-זוגית, z זוגית.

(10) טענה ב'.

(11) k אי-זוגית, z זוגית.

(12) שאלת הוכחה.

(13) שאלת הוכחה.

(14) שאלת הוכחה.

(15) כאשר n זוגי – זוגית, וכאשר n אי-זוגי – אי-זוגית.

(16) א.ב. שאלת הוכחה. ג. $f(x) = \underbrace{x}_{\text{odd}} + \underbrace{x^2 + 1}_{\text{even}}$

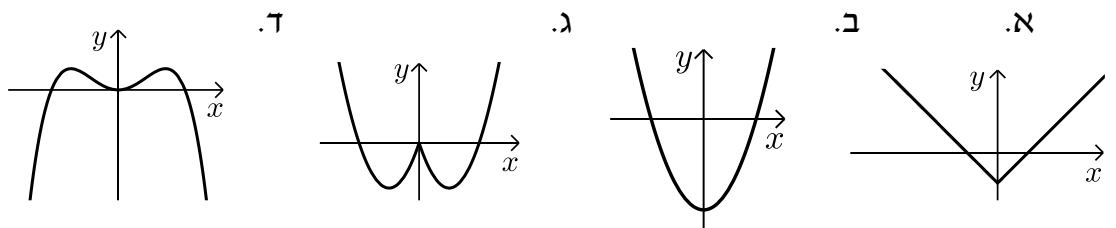
(17) שאלת הוכחה.

(18) שאלת הוכחה.

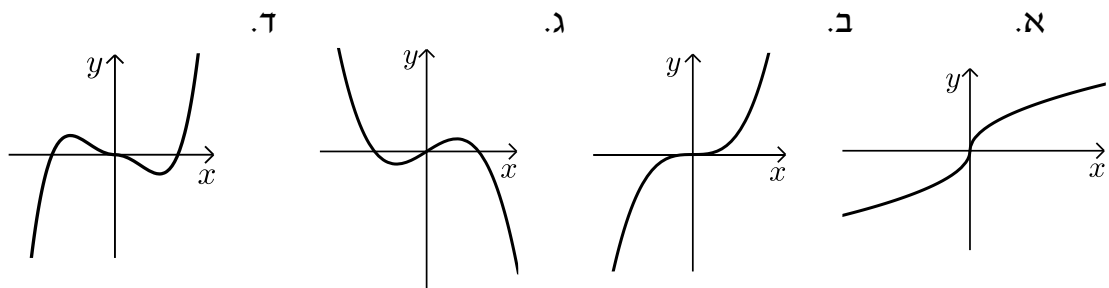
(19) שאלת הוכחה.

(20) שאלת הוכחה.

(21) להלן הגרפים :



(22) להלן הגרפים :



(23) ראו בסרטון.

פונקציה מחזורית

שאלות

מצאו את המחזור של כל אחת מהפונקציות בשאלות 1-20 :

$$y = 1 + 14 \cos 20x \quad (2) \qquad y = 1 + 10 \sin(0.5x + 4) \quad (1)$$

$$y = -1 + 14 \sec 2x \quad (4) \qquad y = -4 + 20 \tan 4x \quad (3)$$

$$y = \cos^2 2x \quad (6) \qquad y = \sin^2 4x \quad (5)$$

$$y = (\sin x + \cos x)^2 \quad (8) \qquad y = \cos^4 x - \sin^4 x \quad (7)$$

$$y = \cot^2 x \quad (10) \qquad y = \cos^4 x + \sin^4 x \quad (9)$$

$$y = \sin 4x + \sin 14x \quad (12) \qquad y = \sin \frac{x}{4} + \cos \frac{x}{10} \quad (11)$$

$$y = \cos 2x \cos x \quad (14) \qquad y = \sin 4x + \sin 14x + \sin x \quad (13)$$

$$y = \sin^4 x \quad (16) \qquad y = \sin^3 x \quad (15)$$

$$y = |\sin x| \quad (18) \qquad y = \frac{\sin 5x}{\cos 2x \cos 3x} \quad (17)$$

$$y = \cot x - \tan x \quad (20) \qquad y = \sin^2 x + \cos^2 x \quad (19)$$

הוכיחו שהפונקציות בשאלות 21-26 אינן מחזוריות :

$$y = x \sin x \quad (23) \qquad y = x + \cos x \quad (22) \qquad y = x + \sin x \quad (21)$$

$$y = \cos 5x + \cos \sqrt{5x} \quad (26) \qquad y = \frac{\sin x}{x} \quad (25) \qquad y = x^2 \cos x \quad (24)$$

הערה : בשאלות 21 ו-22 נדרש ידע בחקירת פונקציה.

(27) הוכיחו :

אם $f(x)$ מחזורית בעלת מחזור p ,

אז $y = a + b \cdot f(cx + d)$ מחזורית בעלת מחזור $\frac{p}{c}$.

(28) הוכיחו : אם T הוא מחזור של $f(x)$, אז לכל n שלם $f(x + nT) = f(x)$.

(29) נתון כי f, g מוגדרות לכל x ובעלת מחזור p_1, p_2 , בהתאמה.

נתון כי היחס $\frac{p_1}{p_2}$ הוא מספר רציונלי.

הוכיחו כי גם הפונקציות $f \pm g, f \cdot g, \frac{f}{g}$ ($g \neq 0$) הן מחזוריות.

(30) נתונה הפונקציה $f(x) = x - [x]$.

א. שרטטו את גרף הפונקציה.

ב. על סמך הגרף, מהו מחזור הפונקציה?

ג. הוכיחו את התשובה בסעיף ב.

(31) נתונה הפונקציה $f(x) = x$ בקטע $[0,1]$.

ציירו את גרף הפונקציה המחזורית והאי-זוגית $g(x)$, המוגדרת לכל x , שהיא בעלת מחזור 2 ומתלכדת עם $f(x)$ בקטע $[0,1]$, ורשמו נוסחה עבור f .

(32) נתונה הפונקציה $f(x) = x^2$ בקטע $[0,1]$.

ציירו את גרף הפונקציה המחזורית והזוגית $g(x)$, המוגדרת לכל x , שהיא בעלת מחזור 2 ומתלכדת עם $f(x)$ ב- $[0,1]$, ורשמו נוסחה עבור g .

תשובות סופיות

- (1) 4π (2) $\frac{\pi}{10}$ (3) $\frac{\pi}{4}$ (4) π (5) $\frac{\pi}{4}$
- (6) $\frac{\pi}{2}$ (7) π (8) π (9) $\frac{\pi}{2}$ (10) π
- (11) 40π (12) π (13) 2π (14) 2π (15) 2π
- (16) π (17) π (18) π

(19) הפונקציה היא למעשה $y = 1$, כלומר פונקציה קבועה ולכן מחזורית.
כל מספר חיובי הוא מחזור שלה ואין לה מחזור קטן ביותר.

(20) $\frac{\pi}{2}$

(21) שאלת הוכחה.

(22) שאלת הוכחה.

(23) שאלת הוכחה.

(24) שאלת הוכחה.

(25) שאלת הוכחה.

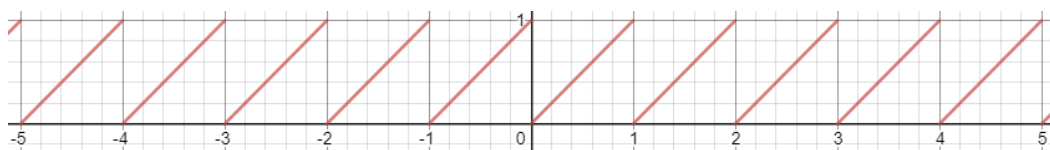
(26) שאלת הוכחה.

(27) שאלת הוכחה.

(28) שאלת הוכחה.

(29) שאלת הוכחה.

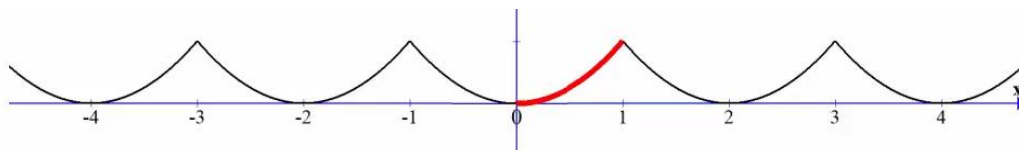
(30) א.



ב. 1 ג. שאלת הוכחה.

(31) $g(x) = x - k$, עבור k שלם, זוגי.

(32) $g(x) = (x - k)^2$, עבור k שלם, זוגי.



פונקציה מפוצלת ופונקציה אלמנטרית

שאלות

רשמו כל אחת מהפונקציות 1-4 כפונקציה מפוצלת ושרטטו את גרף הפונקציה:

$$y = 3|x+1| \quad (2)$$

$$y = |x-2| \quad (1)$$

$$y = \frac{|x|}{x} \quad (4)$$

$$y = x^2 + 2|x-1| \quad (3)$$

$$(5) \quad \text{נתונה הפונקציה} \quad f(x) = \begin{cases} x^2 & 0 \leq x \leq 4 \\ -x & x < 0 \end{cases}$$

א. חשבו $f(1)$, $f(4)$, $f(-4)$, $f(0)$, $f(7)$.

ב. שרטטו את גרף הפונקציה.

ג. בדקו האם הפונקציה זוגית, אי-זוגית או כללית.

תשובות סופיות

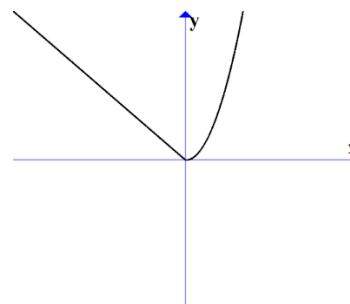
$$y = \begin{cases} 3x+3 & x \geq -1 \\ -3x-3 & x < -1 \end{cases} \quad (2)$$

$$y = \begin{cases} x-2 & x \geq 2 \\ 2-x & x < 2 \end{cases} \quad (1)$$

$$y = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$y = \begin{cases} x^2 + 2x - 2 & x \geq 1 \\ x^2 - 2x + 2 & x < 1 \end{cases} \quad (3)$$

(5) א. $f(1)=1$, $f(4)=16$, $f(-4)=4$, $f(0)=0$, $f(7)=\text{undefind}$
 ב. ג. כללית.



תרגילים משולבים

שאלות

$$(1) \quad f(x) = \begin{cases} x+1 & x > 1 \\ x^3+1 & -1 \leq x \leq 1 \\ x+1 & x < -1 \end{cases}$$

שרטטו את הפונקציה, וקבעו האם היא:

א. עולה.

ב. יורדת.

ג. אי-זוגית.

ד. זוגית.

ה. חסומה.

ו. לא חסומה.

ז. חח"ע.

ח. על $\mathbb{R}$.

הערה: ניתן להתבסס על הציור כנימוק.

$$(2) \quad f(x) = \begin{cases} \frac{2}{x} & x > 1 \\ x^5+1 & -1 \leq x \leq 1 \\ x+1 & x < -1 \end{cases}$$

בכל אחד מהסעיפים הבאים יש טענה.

קבעו האם הטענה נכונה או לא נכונה.

א. הפונקציה מונוטונית עולה ממש.

ב. הפונקציה על $\mathbb{R}$.

ג. הפונקציה אי-זוגית.

ד. הפונקציה זוגית.

ה. הפונקציה חח"ע.

הערה: ניתן לשרטט ולהתבסס על הציור כנימוק.

(3) נתונה פונקציה $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, זוגית ומונוטונית עולה ממש, ופונקציה $g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, אי-זוגית ומונוטונית יורדת ממש.

$$\text{נסמן: } z(x) = -g(x^3) \text{ ו- } k(x) = -f(x^3).$$

טענה א': $k(x)$ מונוטונית עולה ממש.

טענה ב': $z(x)$ מונוטונית עולה ממש.

טענה ג': $h(x) = k(x)z(x)$ זוגית.

מי מבין הטענות נכונה?

(4) נתונות שתי פונקציות, $f, g: [0,1] \rightarrow [0,1]$.

נתון ש- f מונוטונית עולה ממש, ואילו g מונוטונית יורדת חלש,

אך אינה יורדת ממש.

$$\text{תהי } h(x) = f(g(x)).$$

איזו טענה נכונה?

א. h יורדת חלש.

ב. h עולה ממש.

ג. h עולה חלש, אך אינה עולה ממש.

ד. h אינה חסומה בהכרח.

$$(5) \text{ נתונות הפונקציות } f(x) = \begin{cases} x+4 & x \leq 0 \\ \sqrt{x} & x > 0 \end{cases} \text{ ו- } g(x) = \begin{cases} x^2-4 & x < 0 \\ -x^2-2x-1 & x \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{תהי } h(x) = f(g(x)).$$

א. מצאו את h בקטע $[-2,0)$.

ב. קבעו האם h חח"ע בקטע $[-2,0)$.

ג. קבעו האם h חסומה בקטע $[-2,0)$.

ד. קבעו האם $h: [-2,0) \rightarrow [0,4]$ היא על.

* בסעיפים ב-ד ניתן להסתמך על גרף הפונקציה.

(6) נתונות פונקציות המוגדרות על כל $\mathbb{R}$: $f(x) = x^3$, $g(x) = (-1)^{\lfloor x \rfloor}$.

קבעו מי מבין הטענות הבאות נכונה.

$$\text{הפונקציה } h(x) = f(g(x)) \text{ היא:}$$

א. חסומה.

ב. אי-זוגית.

ג. חח"ע.

ד. מונוטונית.

7 נתונות פונקציות המוגדרות על כל $\mathbb{R}$: $f(x) = x^3$, $g(x) = -\lfloor x \rfloor$.

א. בדקו את מונוטוניות $z(x) = f(g(x))$.

ב. בדקו את מונוטוניות $k(x) = g(f(x))$.

ג. בדקו האם $h(x) = \sqrt[3]{f(x)} - g(-x)$ חסומה.

תזכורת לסעיפים א+ב:

אם $a < b \Leftrightarrow f(a) \geq f(b)$, אז הפונקציה f יורדת חלש.

8 נתונות פונקציות המוגדרות על כל $\mathbb{R}$: $f(x) = (3\lfloor x \rfloor)^3 + 27\lfloor x \rfloor$,
 $g(x) = f(x) + x^3 - 28$

הוכיחו או הפריכו:

א. הפונקציה f עולה ממש וחח"ע.

ב. הפונקציה g עולה ממש וחח"ע.

9 מצאו את הפונקציה ההפוכה לפונקציה $f(x) = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$,

וקבעו את תחום הגדרתה.

הוכיחו שהפונקציה על $\mathbb{R}$.

הערה: פונקציה זו נקראת סינוס היפרבולי.

10 חקרו את מונוטוניות הפונקציה $f(x) = \frac{2x+3}{3x-1}$.

הערה: אין להשתמש בנגזרות.

11 נתונה הפונקציה $f(x) = \sqrt{2+x-x^2}$.

א. מצאו את תחום ההגדרה של הפונקציה.

ב. מצאו את התמונה של הפונקציה.

ג. הוכיחו שהפונקציה חסומה.

ד. מצאו את תחומי העלייה והירידה של הפונקציה.

תשובות סופיות

- (1) א. כן. ב. לא. ג. לא. ד. לא. ה. לא. ו. כן.
ז. כן. ח. כן.
- (2) אף טענה אינה נכונה.
- (3) טענה ב' נכונה.
- (4) טענה א' נכונה.
- (5) א. $h(x) = x^2$ ב. הפונקציה חח"ע בקטע.
ג. הפונקציה חסומה בקטע. ד. הפונקציה לא על.
- (6) א. הפונקציה חסומה. ב. הפונקציה לא זוגית ולא אי זוגית.
ג. הפונקציה לא חח"ע. ד. הפונקציה לא מונוטונית.
- (7) א. הפונקציה $z(x)$ יורדת חלש. ב. הפונקציה $k(x)$ יורדת חלש.
ג. הפונקציה חסומה.
- (8) שאלת הוכחה.
- (9) $f^{-1}(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1})$; תחום הגדרתה : כל x .
- (10) ראו באתר.
- (11) א. $-1 \leq x \leq 2$ ב. $0 \leq y \leq \frac{3}{2}$ ג. שאלת הוכחה.
- ד. $-1 \leq x < \frac{1}{2}$ עלייה, $\frac{1}{2} < x \leq 2$ ירידה.

חדוא 1

פרק 7 - גבול של פונקציה

תוכן העניינים

1. הסבר כללי	(ללא ספר)
2. הצבה	101
3. צמצום	102
4. הכפלה בצמוד	103
5. גבולות טריגונומטריים	104
6. פונקציה שואפת לאינסוף	106
7. איקס שואף לאינסוף	107
8. הגבול של אוילר	109
9. כלל הסנדויץ	110
10. גבול של פונקציה מפוצלת	111
11. גבול לפי הגדרה	114

הצבה

שאלה

חשבו את הגבולות הבאים:

א. $\lim_{x \rightarrow 4} x^2 + x + 1$

ב. $\lim_{x \rightarrow 10} \frac{x+1}{x+2}$

ג. $\lim_{x \rightarrow 1^+} \sqrt{x+3}$

ד. $\lim_{x \rightarrow 100} 20$

תשובה

א. 21 ב. $\frac{11}{12}$ ג. 2 ד. 20

צמצום

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים :

$$\lim_{x \rightarrow -5} \frac{2x^2 - 50}{2x^2 + 3x - 35} \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - x - 6}{x^2 - 9} \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^n - x}{x - 1} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^7 - x}{x - 1} \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^4 - 16}{x - 2} \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow \frac{1}{2}} \frac{2x^2 - 5x + 2}{6x^2 - 5x + 1} \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^3 - 27}{x - 3} \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^3 + 1}{x + 1} \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{\sqrt[5]{x} + 1}{x + 1} \quad (10)$$

$$\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x^2 - 16}{x^3 - 4x^2 + x - 4} \quad (9)$$

תשובות סופיות

-3 (5)	$n-1$ (4)	6 (3)	$\frac{10}{8.5}$ (2)	$\frac{5}{6}$ (1)
$\frac{1}{5}$ (10)	$\frac{8}{17}$ (9)	27 (8)	3 (7)	32 (6)

הכפלה בצמוד

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים :

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{1 - \sqrt{x}}{1 - x} \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{3 - \sqrt{x+6}}{2x-6} \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 4} \frac{\sqrt{2x+1} - \sqrt{x+5}}{x-4} \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{1 - \sqrt[3]{x}}{1 - x} \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{1 + \sqrt[3]{x}} + x - 1}{\sqrt[3]{x}} \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x-3}{\sqrt{x+1}-2} \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x^2+x+2}-2}{x^2-1} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{2 - \sqrt{3x+1}}{1 - \sqrt{2x-1}} \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow -2} \frac{\sqrt{x^2+5}-3}{\sqrt{x^2+x+2}+x} \quad (8)$$

תשובות סופיות

$$\frac{1}{2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{6} \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} \quad (9)$$

$$4 \quad (2)$$

$$\frac{3}{4} \quad (6)$$

$$-\frac{1}{12} \quad (3)$$

$$\frac{1}{3} \quad (7)$$

$$\frac{3}{8} \quad (4)$$

$$-\frac{8}{3} \quad (8)$$

גבולות טריגונומטריים

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים (היעזרו בגבול הטריגונומטרי $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$):

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(3x)}{\sin(4x)} \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(3x)}{4x} \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{x^2} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x \cos x}{\sin 2x} \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{1 + \sin x} - \sqrt{\cos x}}{x} \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x - \sin x}{x^3} \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{3 \sin x - \sin 3x}{x^3} \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos(1 - \cos x)}{x^4} \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sin(1-x)}{x^2 - 1} \quad (10)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \sqrt{\cos x}}{x^2} \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow a} \frac{\cos x - \cos a}{x - a} \quad (12)$$

$$\lim_{x \rightarrow a} \frac{\sin x - \sin a}{x - a} \quad (11)$$

$$\lim_{x \rightarrow \pi} \frac{\sin 4x}{\sin 10x} \quad (14)$$

$$\lim_{x \rightarrow a} \frac{\tan x - \tan a}{x - a} \quad (13)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} (1-x) \tan \frac{\pi x}{2} \quad (16)$$

$$\lim_{x \rightarrow \frac{\pi}{4}} \tan 2x \tan \left(\frac{\pi}{4} - x \right) \quad (15)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{1 + x \sin x} - \cos x}{\sin^2 x} \quad (17)$$

תשובות סופיות

$\frac{1}{2}$ (5	$\frac{1}{2}$ (4	$\frac{1}{2}$ (3	$\frac{3}{4}$ (2	$\frac{3}{4}$ (1
	$\frac{1}{4}$ (9	4 (8	$\frac{1}{8}$ (7	$\frac{1}{2}$ (6
$\frac{1}{\cos^2 a}$ (13	$-\sin a$ (12	$\cos a$ (11	$-\frac{1}{2}$ (10	
1 (17	$\frac{2}{\pi}$ (16	$\frac{1}{2}$ (15	$\frac{4}{10}$ (14	

זהויות טריגונומטריות שכדאי להכיר

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin a + \sin b = 2 \sin \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2} \\ \sin a - \sin b = 2 \sin \frac{a-b}{2} \cos \frac{a+b}{2} \\ \cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2} \\ \cos a - \cos b = -2 \sin \frac{a-b}{2} \sin \frac{a+b}{2} \\ \tan a + \tan b = \frac{\sin(a+b)}{\cos a \cos b} \\ \tan a - \tan b = \frac{\sin(a-b)}{\cos a \cos b} \\ \sin(a+b) = \sin a \cos b + \cos a \sin b \\ \sin(a-b) = \sin a \cos b - \cos a \sin b \\ \cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b \\ \cos(a-b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \pi n = 0 \\ \cos \pi n = (-1)^n \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \left(a + \frac{\pi}{2} \right) = \cos a \\ \cos \left(a + \frac{\pi}{2} \right) = -\sin a \end{array} \right.$$

פונקציה שואפת לאינסוף

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים :

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x-1)^2}{x-2} \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^2 + 4}{x} \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 1}{(x-2)(x-5)} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{-x^2}{(2-x)^2} \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 2^-} -\frac{1}{2} \ln(2-x) \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\ln x}{x} \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} e^{\frac{1}{x}} \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} ((\ln x)^2 + 2 \ln x - 3) \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{1}{1 + 2^{\frac{1}{x}}} \quad (10)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{1 + 2^{\frac{1}{x}}} \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \ln x \cdot \cot x \quad (12)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{1 + 2^{\frac{1}{x}}} \quad (11)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{x-1} - \sqrt[4]{x-1}}{\sqrt{x-1}} \quad (13)$$

תשובות סופיות

ϕ (4)	$-\infty$ (3)	ϕ (2)	ϕ (1)
ϕ (8)	∞ (7)	∞ (6)	$-\infty$ (5)
$-\infty$ (12)	ϕ (11)	1 (10)	0 (9)
			$-\infty$ (13)

X שואף לאינסוף

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים :

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \arctan x + e^x \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (e^{-x})^{\ln x} \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{x^4 + 2x^2 + 6}{3x^3 + 10x} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4x^2 + 2}{x^2 + 1000x} \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{x^2 - 5x + 6}{2x + 10} - \frac{x}{2} \right) \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^4 + 2x^2 + 6}{3x^5 + 10x} \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{\sqrt{x^2 + 1}}{x} \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{x^2 + 1}}{x} \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt[3]{x^4 + 2x^2 + 6 + 27x^6}}{\sqrt{3x^3 + 10x + 4x^4}} \quad (10)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{\sqrt{9x^6 - 5x}}{x^3 - 2x^2 + 1} \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{16^x + 4^{x+1}}{2^{4x+2} + 2^{x+3}} \quad (12)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{x+2} - \sqrt{3x-3}}{\sqrt{4x+1} - \sqrt{5x-1}} \quad (11)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{4 \cdot 9^x + 3^{x+1}}{81^{0.5x} + 3^{x+3}} \quad (14)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{16^x + 4^{\frac{x+1}{2}}}{2^{4x+2} + 2^{x+3}} \quad (13)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{4x^2 + 2}{x^2 + 1000x}} \quad (16)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{4 \cdot 9^x + 3^{x+1}}{81^{0.5x} + 3^{x+3}} \quad (15)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} e^{\frac{x^4 + 2x^2 + 6}{3x^4 + 10x}} \quad (18)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \ln \left(\frac{3x^3 - 5x - 1}{x^3 - 2x^2 + 1} \right) \quad (17)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt[5]{\frac{ax+1}{bx+2}} \quad (20)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \sin \left(\frac{x^4 + 2x^2 + 6}{3x^5 + 10x} \right) \quad (19)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{x^2 + kx} - x) \quad (22)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{x^2 + 5x} - x) \quad (21)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} (\sqrt{x^2 + x + 1} + x) \quad (24)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{x^2 + x + 1} - x) \quad (23)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{x^2 + ax} - \sqrt{x^2 + bx}) \quad (26)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (\sqrt{x^4 + x^2 + 1} - x^2) \quad (25)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1 - \left(1 - \frac{1}{x}\right)^5}{1 - \left(1 - \frac{1}{x}\right)^4} \quad (28)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(x-4)^{10} (3x^2-1)^4}{x^2 (2x-5)^{10} (x^3+1)^2} \quad (27)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} [\ln(5 \cdot 2^{x+2} + 6 \cdot e^{x+1}) - x] \quad (29)$$

תשובות סופיות

$-\infty$ (4	4 (3	$-\frac{\pi}{2}$ (2	0 (1
-1 (8	1 (7	-5 (6	0 (5
$\frac{1}{4}$ (12	$\frac{1-\sqrt{3}}{2-\sqrt{5}}$ (11	1.5 (10	-3 (9
2 (16	$\frac{1}{9}$ (15	4 (14	0 (13
	0 (19	$e^{\frac{1}{3}}$ (18	$\ln 3$ (17
(20) אם $b \neq 0$: $\lim = \sqrt[5]{\frac{a}{b}}$. אם $b = 0, a > 0$: ∞ . אם $b = 0, a < 0$: $-\infty$.			
$-\frac{1}{2}$ (24	$\frac{1}{2}$ (23	$\frac{k}{2}$ (22	2.5 (21
$\frac{5}{4}$ (28	$\frac{3^4}{2^{10}}$ (27	$\frac{a-b}{2}$ (26	$\frac{1}{2}$ (25
(29) $\ln(6e)$			

הגבול של אוילר

שאלות

חשבו את הגבולות הבאים (היעזרו בגבול של אוילר : $\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = \lim_{x \rightarrow 0} (1+x)^{\frac{1}{x}} = e$) :

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x^2}\right)^x \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{2x}\right)^x \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{x^2}\right)^{x^2-1} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{x+2}{x}\right)^x \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1 + \sin x)^{\frac{1}{x}} \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{2x+3}{2x-3}\right)^x \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{x^2 + 4x + 1}{x^2 + x + 2}\right)^{10x} \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{x^2 + x + 1}{x^2 + x + 4}\right)^{4x^2} \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \tan \frac{1}{x}\right)^x \quad (9)$$

תשובות סופיות

e^3 (5)	e^{-1} (4)	e^2 (3)	1 (2)	$e^{\frac{1}{2}}$ (1)
	e (9)	e^{30} (8)	e^{-12} (7)	e (6)

כלל הסנדוויץ'

שאלות

חשבו את הגבולות בשאלות 1-10:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\cos(2x+1)}{x} \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sin x}{x} \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 + x + \sin 2x}{x^2 + \cos 3x} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + \sin x}{4x + \cos x} \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^2 \cdot \cos(\ln x^2) \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} x \cdot \sin\left(\frac{1}{x}\right) \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt[3]{2^x + 3^x + 4^x} \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + \arctan(2x-3)}{4x + \arctan(x - \ln x)} \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{x} [x] \quad (10)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} [x] \quad (9)$$

$$(11) \text{ נתונה פונקציה } z: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \text{ המקיימת } \lim_{x \rightarrow 2} z(x) = 4,$$

ונתונה פונקציה $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$, המקיימת $4z(x) \leq f(x) \leq (z(x))^2$, לכל x .

חשבו את הגבולות הבאים:

$$\lim_{x \rightarrow 2} f(x), \quad \lim_{x \rightarrow 2} \tan(z(x)), \quad \lim_{x \rightarrow -\sqrt{2}} (z(x^2) - x^2), \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\cos(z(x))}{x}$$

$$(12) \text{ חשבו את הגבול } \lim_{x \rightarrow \infty} (\sin \sqrt{x+1} - \sin \sqrt{x})$$

תשובות סופיות

$$(1) \quad 0 \quad (2) \quad 0 \quad (3) \quad \frac{3}{4} \quad (4) \quad 3 \quad (5) \quad 0$$

$$(6) \quad 0 \quad (7) \quad \frac{3}{4} \quad (8) \quad 4 \quad (9) \quad 1 \quad (10) \quad 0$$

$$(11) \quad \lim_{x \rightarrow 2} f(x) = 16, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\cos(z(x))}{x} = 0$$

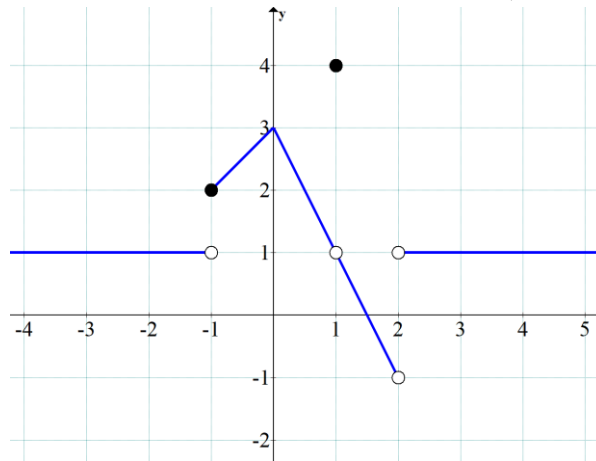
$$\lim_{x \rightarrow -\sqrt{2}} (z(x^2) - x^2) = 2, \quad \lim_{x \rightarrow 2} \tan(z(x)) = \tan 4$$

$$(12) \quad 0$$

גבול של פונקציה מפוצלת

שאלות

1) להלן גרף של פונקציה:



חשבו את הגבולות הבאים או הוכיחו שהם לא קיימים:

א. 1. $\lim_{x \rightarrow 1} f(x)$ 2. $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$ 3. $\lim_{x \rightarrow -1} f(x)$

ב. 1. $\lim_{x \rightarrow 1} (3f - f^2)$ 2. $\lim_{x \rightarrow -1} (3f - f^2)$

ג. 1. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{1}{4-f}$ 2. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{1}{1-f}$

$$2) \text{ נגדיר פונקציה } f(x) : f(x) = \begin{cases} 1 & x < 0 \\ 0.5 & x = 0 \\ x^2 - 1 & 0 < x < 2 \\ 1.5x - 6 & x \geq 2 \end{cases}$$

א. שרטטו את הפונקציה.

ב. חשבו, אם ניתן, את $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow 2} f(x)$.ג. חשבו, אם ניתן, את הגבול $\lim_{x \rightarrow 2} [4(f(x))^2 + 10f(x)]$.

$$(3) \quad \text{נגדיר פונקציה } f(x) : \begin{cases} 1 & x < 0 \\ 0.5 & x = 0 \\ \cos x & 0 < x < \pi \\ -0.5 & x \geq \pi \end{cases}$$

א. שרטטו את הפונקציה.

ב. חשבו, אם ניתן, את $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$, $\lim_{x \rightarrow \pi} f(x)$.

ג. חשבו, אם ניתן, את הגבול $\lim_{x \rightarrow \pi} [2(f(x))^2 + 3f(x)]$.

חשבו את הגבול $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ של הפונקציות הבאות:

$$(4) \quad (a=0), f(x) = \begin{cases} \frac{\sin 4x}{x} & x > 0 \\ 4 + e^{\frac{1}{x}} & x < 0 \end{cases}$$

$$(5) \quad (a=1), f(x) = \begin{cases} \frac{x^2 + x - 2}{x - 1} & x > 1 \\ \frac{x - 1}{\sqrt{x} - 1} & x < 1 \end{cases}$$

$$(6) \quad (a=0), f(x) = \frac{|x|}{x}$$

$$(7) \quad (a=\infty), f(x) = \frac{|x|}{x}$$

$$(8) \quad (a=-\infty), f(x) = \frac{|x|}{x}$$

$$(9) \quad \text{א. } \lim_{x \rightarrow 1} \frac{|1-x|}{x^2 + x - 2}$$

$$\text{ב. } \lim_{x \rightarrow 4} \frac{|1-x|}{x^2 + x - 2}$$

תשובות סופיות

- (1) א. $\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 1$, 2. $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = \cancel{\exists}$, 3. $\lim_{x \rightarrow -1} f(x) = \cancel{\exists}$
 ב. $\lim_{x \rightarrow 1} (3f - f^2) = 2$, 2. $\lim_{x \rightarrow -1} (3f - f^2) = 2$
 ג. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{1}{4 - f(x)} = \frac{1}{3}$, 2. $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{1}{1 - f(x)} = \cancel{\exists}$
- (2) א. ראו בסרטון. ב. $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 1$, $\lim_{x \rightarrow 2} f(x) = -3$ ג. 6
- (3) א. ראו בסרטון. ב. $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 1$, $\cancel{\exists} \lim_{x \rightarrow \pi} f(x)$ ג. -1
- (4) 4
- (5) ϕ
- (6) ϕ
- (7) 1
- (8) -1
- (9) א. אין גבול. ב. $\frac{1}{6}$

גבול לפי הגדרה

שאלות

בשאלות 1-6, על פי הגדרת הגבול, הוכיחו:

$$\lim_{x \rightarrow 24} \sqrt{x+1} = 5 \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 4} x^2 + x = 20 \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} 7x + 14 = 28 \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow \alpha} \sin x = \sin \alpha \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - x}{x^2 - 2} = 1 \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow 4} \frac{1}{\sqrt{x} + 2} = \frac{1}{4} \quad (4)$$

$$(7) \quad \text{חשבו, על פי הגדרת הגבול: } \lim_{x \rightarrow 1} \frac{x+1}{x^2-1}$$

הוכיחו על פי הגדרת הגבול את מקרים 8-11:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x+7}{x+2} = 1 \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{3+x}{x^2+1} = 1 \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2-1}{x^2+x+1} = 3 \quad (11)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3-4x}{2x+1} = -2 \quad (10)$$

$$(12) \quad \text{נתונה פונקציה } f(x) \text{ המקיימת: } \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = -5$$

הוכיחו כי קיים $M > 0$ ממשי כלשהו, כך שעבור כל $x > M$ מתקיים $f(x) < -4$.

$$(13) \quad \text{נתונה פונקציה } f(x) \text{ המקיימת: } \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 5$$

הוכיחו כי קיים $M > 0$ ממשי כלשהו, כך שעבור כל $x > M$ מתקיים $f^2(x) > 16$.

$$(14) \quad \text{נניח } f \text{ פונקציה ממשית וחיובית בתחום } [a, \infty) \text{ המקיימת } \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$$

$$\text{הוכיחו שמתקיים } \lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt{f(x)} = 0$$

$$(15) \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^2 + 2x}{x^2 + 3x + 2} = 1 \quad \text{נתון הגבול}$$

מצאו ערך של $M > 0$, עבורו לכל $x > M$ הביטוי שבגבול קרוב לערך הגבול

עד כדי 0.1 (במילים אחרות, מצאו M , כך ש- $|f(x) - L| < 0.1$ $\forall x > M$).

$$(16) \quad \text{נגדיר את הפונקציה} \quad f(x) = \begin{cases} 2 & x \in \mathbb{Z} \\ -1 & x \in \mathbb{R} / \mathbb{Z} \end{cases}$$

האם הגבולות קיימים? הוכיחו זאת בהסתמך על הגדרת הגבול.

$$\text{א. } \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) \quad \text{ב. } \lim_{x \rightarrow 2.5} f(x) \quad \text{ג. } \lim_{x \rightarrow \pi} f(x)$$

$$(17) \quad \text{בהינתן הגבול } \lim_{x \rightarrow 1} \frac{2x+4}{x+11} = \frac{1}{2}, \text{ מצאו } \delta > 0, \text{ כך שלכל } x \in \mathbb{R}$$

$$\text{המקיים } |x-1| < \delta, \text{ אי-השוויון } \left| \frac{2x+4}{x+11} - \frac{1}{2} \right| < \frac{1}{100} \text{ מתקיים.}$$

(18) הוכיחו או הפריכו:

$$\text{א. אם } \lim_{x \rightarrow \infty} (f(x) - g(x)) = 0, \text{ אז } \lim_{x \rightarrow \infty} (f^2(x) - g^2(x)) = 0$$

$$\text{ב. אם } \lim_{x \rightarrow x_0} (f(x) - g(x)) = 0, \text{ אז } \lim_{x \rightarrow x_0} (f^2(x) - g^2(x)) = 0$$

$$\text{ג. אם } \lim_{x \rightarrow x_0} |f(x)| = L, \text{ אז : הגבול } \lim_{x \rightarrow x_0} f(x) \text{ קיים ושווה ל-} L \text{ או } -L.$$

$$\text{ד. אם הגבולות } \lim_{x \rightarrow x_0} f(x) \text{ ו-} \lim_{x \rightarrow x_0} (f(x) + g(x)) \text{ קיימים,}$$

$$\text{אז גם הגבול } \lim_{x \rightarrow x_0} g(x) \text{ קיים.}$$

$$(19) \quad \text{יש להוכיח כי } \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x+2}{x+3} \neq 1 \text{ לפי ההגדרה.}$$

$$(20) \quad \text{יש להוכיח כי } \lim_{x \rightarrow 4} \frac{2x+1}{x+10} \neq 1 \text{ לפי ההגדרה.}$$

$$(21) \quad \text{הוכיחו שאם } \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 3, \text{ אז קיימת סביבה נקובה של 0 שבה } f(x) > 2.$$

(22) הוכיחו שאם $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) > L$, אז קיימת סביבה נקובה של x_0 שבה $f(x) > L$.

תשובות סופיות

(7) $\pm\infty$

תשובות לשאר השאלות נמצאות באתר: GOOL.co.il

חדוא 1

פרק 8 - רציפות של פונקציה - משפט ערך הביניים

תוכן העניינים

117	1. רציפות של פונקציה
123	2. משפט ערך הביניים
127	3. תכונות נוספות של פונקציות רציפות
130	4. שיטת החצייה

רציפות של פונקציה

שאלות

בשאלות 1-6: בדקו את רציפות הפונקציות ב"נקודת התפר" ¹ שלהן, ובשאלות 1 ו-2, שרטטו גם את גרף הפונקציה:

$$f(x) = \begin{cases} x & x \geq 1 \\ x^2 & x < 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$f(x) = \begin{cases} x+1 & x \leq 2 \\ 5-x & x > 2 \end{cases} \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{cases} \sin x & x < 0 \\ x^2 & 0 \leq x < 1 \\ 2-x & 1 \leq x < 2 \\ x-3 & x \geq 2 \end{cases} \quad (4)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x} & x \leq 1 \\ |x-2| & 1 < x < 2 \\ 1 & x = 2 \\ x-2 & x > 2 \end{cases} \quad (3)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\sin x}{x} & x > 0 \\ 2 & x = 0 \\ 1+e^{\frac{1}{x}} & x < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\sin 4x}{x} & x > 0 \\ 4+e^{\frac{1}{x}} & x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

7) עבור כל אחת מהפונקציות בשאלות 3-6: רשמו עבור כל נקודת אי רציפות מאיזה סוג היא. בנוסף, הדגימו פונקציה בעלת נקודת אי רציפות מסוג שני.

בשאלות 8-11: מה צריך להיות הערך הקבוע של k , על מנת שהפונקציות תהיינה רציפות לכל x ?

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^2 + 2x - 3}{x-1} & x \neq 1 \\ k & x = 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$f(x) = \begin{cases} kx^2 + x - 2 & x \leq 2 \\ 5kx - 6 & x > 2 \end{cases} \quad (8)$$

$$f(x) = \begin{cases} 2x - k & x \leq 0 \\ x^{2x} & x > 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\sqrt{x^2 + 5} - 3}{x-2} & x \neq 2 \\ k & x = 2 \end{cases} \quad (10)$$

הערה: שאלה 11 ניתן לפתור רק בעזרת 'כלל לופיטל'.

¹ נקודת תפר היא הנקודה בה נוסחת הפונקציה משתנה.

בשאלות 12-15: מה צריכים להיות הערכים של הקבועים a ו- b , על מנת שהפונקציות תהיינה רציפות בתחום הגדרתן?

$$f(x) = \begin{cases} ax+b & x \leq 0 \\ \frac{\sin x}{2x} & 0 < x < \pi \\ a \cos x & x \geq \pi \end{cases} \quad (12)$$

$$f(x) = \begin{cases} a\sqrt[3]{x} + x^2 & x < -1 \\ bx^2 + x - 1 & -1 \leq x \leq 1 \\ 4 \frac{\sqrt{x-1+a} - \sqrt{a}}{\sqrt{a}(x-1)} & x > 1 \end{cases} \quad (13)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x^{1-x}} & x > 1 \\ (x-1)\ln(x+1) + b & 0 \leq x \leq 1 \\ a \frac{2^{\frac{1}{x}} - 2}{2^{\frac{1}{x}} + 4} & x < 0 \end{cases} \quad (14)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{1+e^{\frac{1}{1-x}}} & x < 1 \\ ax^2 + b & 1 \leq x \leq 2 \\ (x-1)^{\frac{1}{x-2}} & x > 2 \end{cases} \quad (15)$$

הערה: שאלות 14-15 ניתן לפתור רק בעזרת 'כלל לופיטל'.

(16) הוכיחו או הפריכו:

- א. סכום שתי פונקציות לא רציפות הוא פונקציה לא רציפה.
- ב. הפרש שתי פונקציות לא רציפות הוא פונקציה לא רציפה.
- ג. מכפלת שתי פונקציות לא רציפות היא פונקציה לא רציפה.
- ד. מנתן של שתי פונקציות לא רציפות היא פונקציה לא רציפה.

(17) ידוע ש- f רציפה ו- g לא רציפה. האם $f+g$ רציפה? הוכיחו זאת.

$$(18) \text{ תהי } f(x) = \begin{cases} |x|-1 & |x+1| \geq 4 \\ 2 & |x+1| < 4 \end{cases}$$

א. שרטטו את גרף הפונקציה.

ב. מצאו את נקודות האי רציפות של הפונקציה ואת סוגן (במידה ויש).

ג. תהי $g(x) = x + \frac{1}{x}$, ותהי $f(x)$ מוגדרת וחיובית לכל x .

האם ההרכבה $g(f(x))$ בהכרח רציפה לכל x ?

(19) תהי f פונקציה חסומה בקטע $(0,1)$.

$$g(x) = \begin{cases} f(x) & 0 < x < 1 \\ x^2 & 1 \leq x < 2 \end{cases} \text{ על ידי } g \text{ תהי הפונקציה המוגדרת בקטע } (0,2),$$

א. האם ניתן שהנקודה $x_0 = 1$ היא נקודת אי-רציפות סליקה של g ? נמקו.

ב. האם g חסומה בקטע $(0,2)$? נמקו.

(20) תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow (0, \infty)$ פונקציה שמקיימת $f(x+y) = f(x)f(y)$ לכל $x, y \in \mathbb{R}$.

נניח ש- f רציפה ב- $x=0$.

הוכיחו ש- f רציפה לכל x .

(21) תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow (0, \infty)$ פונקציה שמקיימת $f(x+y) = [f(x)f(y)]^2$ לכל $x, y \in \mathbb{R}$.

נניח ש- f רציפה ב- $x=0$.

הוכיחו ש- f רציפה לכל x .

$$(22) \text{ נתונה הפונקציה } f(x) = x - \frac{1}{2} \lfloor 2x \rfloor$$

הוכיחו או הפריכו:

א. הפונקציה f חסומה לכל x .

ב. הפונקציה f רציפה לכל x .

ג. הפונקציה f מונוטונית לכל x .

ד. הפונקציה f זוגית או אי-זוגית לכל x .

(23) ענו על הסעיפים הבאים :

א. פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)| \leq x$ לכל x .

הוכיחו שהפונקציה רציפה ב- $x = 0$.

ב. פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)| \leq \sin x$ לכל x .

הוכיחו שהפונקציה רציפה באינסוף נקודות שונות.

(24) הפונקציה $f(x)$ רציפה לכל x .

ידוע כי עבור $x \neq \pm 1$, $f(x)$ נתונה על ידי הנוסחה $f(x) = \frac{\sin(\pi x)}{1-|x|}$.

מצאו את הנוסחה של $f(x)$ לכל x .

(25) הפונקציות $3g(x) + 2f(x)$ ו- $f(x) - 2g(x)$ רציפות לכל x .

הוכיחו שהפונקציה $|f(x) - g(x)|$ רציפה לכל x .

(26) תהי $f(x)$ מוגדרת לכל x ומקיימת $\lim_{x \rightarrow 0} [f(x)(1-f(x))] = 0$.

א. הוכיחו או הפריכו: $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 0$ או $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 1$.

ב. האם תשתנה תשובתך לסעיף א' אם נחליף את המילה 'מוגדרת' במילה 'רציפה'?

(27) תהי f מוגדרת לכל x .

הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות :

א. אם $f(\sin x)$ רציפה לכל x , אז f רציפה לכל x .

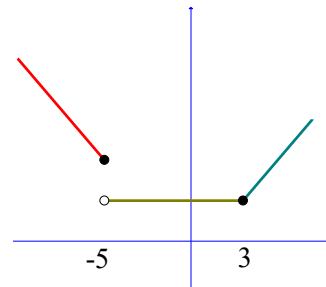
ב. אם $\sin(f(x))$ רציפה לכל x , אז f רציפה לכל x .

ג. אם לכל x_0 מתקיים $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = 4$, אזי $f(x) = 4$ לכל x .

כיצד תשתנה תשובתך, אם ידוע בנוסף כי f רציפה לכל x ?

תשובות סופיות

- (1) רציפה.
- (2) רציפה.
- (3) רציפה בנקודה $x=1$, לא רציפה בנקודה $x=2$.
- (4) רציפה בנקודות $x=0,1$, לא רציפה בנקודה $x=2$.
- (5) לא רציפה.
- (6) לא רציפה.
- (7) 5. סליקה. 6. סליקה. 4. סוג ראשון. 3. סליקה.
- (8) $k=1$
- (9) $k=4$
- (10) $k=\frac{2}{3}$
- (11) $k=-1$
- (12) $a=0, b=\frac{1}{2}$
- (13) $a=2, b=1$ או $a=1, b=2$
- (14) $a=-2e^{-1}, b=e^{-1}$
- (15) $a=\frac{e}{3}, b=-\frac{e}{3}$
- (16) שאלת הוכחה.
- (17) שאלת הוכחה.
- (18) א.



- ב. הפונקציה רציפה לכל $x \neq -5$. ב-5 יש אי רציפות מסוג ראשון. ג. לא.
- (19) א. לא. ב. כן.
- (20) שאלת הוכחה.

(21) שאלת הוכחה.

(22) א. טענה נכונה. ב. טענה לא נכונה. ג. טענה לא נכונה. ד. טענה לא נכונה.

(23) שאלת הוכחה.

$$f(x) = \begin{cases} -\pi & x = -1 \\ \frac{\sin(\pi x)}{1-|x|} & x \neq \pm 1 \\ \pi & x = 1 \end{cases} \quad \textbf{(24)}$$

(25) שאלת הוכחה.

(26) שאלת הוכחה.

(27) שאלת הוכחה.

משפט ערך הביניים

שאלות

בשאלות 1-4 הוכיחו שלמשוואה יש לפחות פתרון אחד:

$$(1) \quad x^3 + 4x - 1 = 0$$

$$(2) \quad x^2 = -\ln x$$

$$(3) \quad x - 0.25 \sin x = 7$$

$$(4) \quad x^3 + bx^2 + cx + d = 0$$

בשאלות 5-6 הוכיחו שלמשוואה יש לפחות שני פתרונות:

$$(5) \quad e^x - 5x = 0$$

$$(6) \quad 4x^3 + 5x - \frac{1}{x} = 0$$

(7) ענו על הסעיפים הבאים:

א. תהי f פונקציה רציפה לכל x , המקיימת: $f(0) = 1$, $f(1) = 2$.

הוכיחו שלמשוואה $f(x) + \sin x = 4x$ יש לפחות פתרון אחד.

ב. תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow [-4, 4]$ פונקציה רציפה.

הוכיחו שלמשוואה $2x + f(x) = 1$ יש לפחות פתרון אחד.

(8) מצאו קטע, שאורכו אינו עולה על יחידה אחת,

בו למשוואה $x^2 = 10 - \frac{1}{x}$ יש פתרון.

$$(9) \quad \text{נגדיר } f(x) = x^2 + \frac{1}{x-1}.$$

א. חשבו את $f(0)$, $f(2)$.

ב. האם ניתן להסיק לפי משפט ערך הביניים שלמשוואה $x^2 + \frac{1}{x-1} = 0$

יש פתרון בקטע $(0, 2)$?

10 תהיינה f, g פונקציות רציפות ב- $[a, b]$ המקיימות $f(a) < g(a), f(b) > g(b)$. הוכיחו שקיימת נקודה $a < c < b$ שבה $f(c) = g(c)$.

11 נתונה פונקציה רציפה בקטע סגור $[a, b]$ שהוא חלקי לתחום הגדרתה.

נניח ש- $f([a, b]) \subseteq [a, b]$.

הוכיחו כי קיימת נקודה $c \in [a, b]$ כך ש- $f(c) = c$.
נקודה c כנ"ל נקראת "נקודת שִׁבְת" של הפונקציה.

12 נתונה פונקציה רציפה $f: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$.

הוכיחו כי קיימת נקודה $c \in [0, 1]$ כך ש- $f(c) = c^{1.5}$.

13 נתונה פונקציה רציפה $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ המקיימת $f(0) = f(1)$.

א. הוכיחו כי קיימת נקודה $c \in [0, 0.5]$ כך ש- $f(c) = f(c + 0.5)$.

ב. הוכיחו כי קיימות נקודות $c, d \in [0, 1]$ כך ש- $f(c) = f(d)$.

14 נתונה פונקציה רציפה $f: [0, 2] \rightarrow \mathbb{R}$ המקיימת $f(0) < f(2) < f(1)$.

הוכיחו כי קיימים $c_1, c_2 \in [0, 2]$ כך ש- $f(c_1) = f(c_2)$.

15 נתונה פונקציה רציפה $f: [0, 8] \rightarrow \mathbb{R}$ המקיימת $f(0) = f(8)$.

הוכיחו כי קיימות נקודות $c_1, c_2, c_3, c_4 \in [0, 8]$ כך ש-

$$f(c_1) = f(c_2), f(c_3) = f(c_4)$$

16 הוכיחו שהפונקציה $f(x) = x + \sin x$ היא על $\mathbb{R}$.

17 הוכיחו שהפונקציה $f(x) = x \cdot \sin x$ היא על $\mathbb{R}$.

18 תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה ומחזורית עם מחזור 2π .

הוכיחו שקיים $x_0 \in \mathbb{R}$ כך ש- $f(x_0 + \pi) = f(x_0)$.

19 יהיו $0 \leq a_1, \dots, a_n \leq 1$ קבועים המקיימים $a_1 + \dots + a_n = 1$.

הוכיחו כי למשוואה $|x - a_1| + \dots + |x - a_n| = \frac{n}{2}$ יש לפחות פתרון אחד.

(20) ענו על הסעיפים הבאים :

א. תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה חח"ע ורציפה.

הוכיחו כי f עולה ממש או יורדת ממש.

ב. תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow [0, \infty)$ פונקציה חח"ע ועל.

הוכיחו כי f לא רציפה ב- $\mathbb{R}$.

(21) תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow [-1, 1]$ פונקציה רציפה.

הוכיחו כי קיימים אינסוף ערכים של x , שעבורם $f(x) = \sin x$.

(22) יהי P פולינום ממעלה זוגית, מהצורה $P(x) = x^n + a_{n-1}x^{n-1} + \dots + a_0$,

ונניח כי $a_0 < 0$.

הוכיחו כי ל- P ישנם לפחות שני שורשים ממשיים, שונים זה מזה.

(23) יהיו f, g פונקציות רציפות המקיימות :

$$0 < k \in \mathbb{R} \text{ כאשר } \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = k, \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = -k, \lim_{x \rightarrow \infty} g(x) = -k, \lim_{x \rightarrow -\infty} g(x) = k$$

הוכיחו כי קיים לפחות פתרון אחד למשוואה $f(x) = g(x)$.

(24) ענו על הסעיפים הבאים :

א. תהי f פונקציה רציפה בקטע (a, b) , ותהיינה $x_1, \dots, x_n$ (כאשר $n > 1$)

נקודות כלשהן ב- (a, b) .

הוכיחו שקיימת נקודה c בקטע (a, b) , כך ש-

$$f(c) = \frac{1}{n} (f(x_1) + \dots + f(x_n))$$

ב. תהי f פונקציה רציפה בקטע (a, b) .

האם לכל $c \in (a, b)$, ניתן למצוא נקודות $x_1, \dots, x_n$, שונות זו מזו,

$$\text{כאשר } n > 1, \text{ כך ש-} f(c) = \frac{1}{n} (f(x_1) + \dots + f(x_n)) ?$$

הוכיחו זאת.

(25) תהי f פונקציה רציפה בקטע פתוח (a, b) .

$$\text{נניח כי: } \lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = -\infty, \lim_{x \rightarrow b^-} f(x) = \infty$$

הראו כי תמונת הקטע (a, b) היא $\mathbb{R}$.

(26) תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה, המקיימת $f(0) = -1$, $f(1) = 4$.

תהי $S = \{x \in [0,1] \mid f(x) = 0\}$.

א. הוכיחו ש- S לא ריקה.

ב. הוכיחו שלקבוצה S יש חסם עליון, שנסמנו α .

ג. הוכיחו כי $\alpha \in (0,1]$.

ד. הוכיחו כי $f(\alpha) = 0$.

(27) תהי $f: [a,b] \rightarrow \mathbb{R}$ רציפה, כך ש- $f(a) = f(b)$.

הוכיחו שקיימים $a < x_1 < x_2 < b$, כך ש- $f(x_1) = f(x_2)$.

(28) תהי $z(x)$ פונקציה רציפה בקטע $[a,b]$ ויהי $0 \leq r \leq 1$.

הוכיחו שיש c בקטע, עבורו מתקיים $z(c) = rz(a) + (1-r)z(b)$.

(29) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו כי למשוואה $A \sin x + B \cos x = C \sin 2x$ יש פתרון.

ב. תהי $f(x)$ רציפה לכל x המקיימת $f(0) > 0$, $f(4) > 2f(2)$.

הוכיחו שקיים c כך ש- $f(2c) = 2f(c)$.

ג. תהי $f(x)$ רציפה לכל x המקיימת $f(0) = 1$, $f(1) = 2$.

הוכיחו שקיים a כך ש- $f(a) = \frac{1}{a}$.

(30) פונקציה f מוגדרת לכל x .

לפונקציה יש את התכונה הבאה:

כל ערך ממשי מתקבל על ידי הפונקציה בדיוק פעמיים.

הוכיחו כי הפונקציה אינה יכולה להיות רציפה.

תשובות סופיות

(8) $[0,1]$

(9) א. $f(0) = -1$, $f(2) = 5$. ב. לא.

שאלות 1-7 ושאלות 10-30 הן שאלות הוכחה.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר GooL.co.il

תכונות נוספות של פונקציות רציפות

שאלות

- 1 קבעו בכל סעיף האם הטענה נכונה או לא נכונה, והוכיחו זאת.
קיימת פונקציה המוגדרת בקטע $[0,1]$, שהיא :
 - א. חח"ע, אבל לא מונוטונית.
 - ב. מונוטונית, אבל לא רציפה.
 - ג. מונוטונית, אבל לא חסומה.
 - ד. חסומה, אבל לא רציפה.
 - ה. רציפה, אבל לא חסומה.
 - ו. הופכת מחיובית לשלילית מבלי לעבור דרך האפס.
 - ז. מקבלת מקסימום ומינימום אבל לא רציפה.
 - ח. רציפה אבל לא מקבלת מקסימום.
 - ט. חסומה, שתמונתה אינו קטע.
 - י. רציפה, שתמונתה אינה קטע.
 - יא. אינה רציפה בקטע זה, אבל בעלת התכונה, שתמונת הקטע $[0,1]$, על ידי f , היא קטע.
- 2 תהי $f: [a,b] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה, המקיימת $f(x) > 0$ לכל $x \in [a,b]$.
הוכיחו שקיים $\alpha > 0$, כך ש- $f(x) \geq \alpha$ לכל $x \in [a,b]$.
- 3 תהי $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה, ונניח כי $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ קיים.
הוכיחו ש- f חסומה.
- 4 יהיו $f, g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציות רציפות. נתון שלכל שתי נקודות x_1, x_2 , המקיימות $x_1 < x_2$, קיימת נקודה x_3 ש- $x_1 < x_3 < x_2$, שעבורה $f(x_3) = g(x_3)$.
הוכיחו כי $f(x) = g(x)$ לכל x .
- 5 תהי $f: [0,1] \rightarrow (0,1)$ פונקציה על.
הוכיחו ש- f לא רציפה ב- $[0,1]$.
- 6 תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה, שמקיימת $f(x) = f(x^2)$ לכל $x \in \mathbb{R}$.
הוכיחו ש- f פונקציה קבועה.

(7) תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה, שמקיימת $f(x+y) = f(x) + f(y)$, לכל $x, y \in \mathbb{R}$.

הוכיחו כי $f(x) = f(1)x$, לכל $x \in \mathbb{R}$.

(8) תהי $f(x)$ פונקציה המוגדרת בקטע (a, b) , ונניח שקיים קבוע ממשי K , כך שלכל שתי נקודות, x_1 ו- x_2 , בקטע (a, b) , מתקיים **תנאי ליפשיץ**:

$$|f(x_1) - f(x_2)| \leq K |x_1 - x_2|$$

הוכיחו כי $f(x)$ רציפה בקטע (a, b) .

* נסו להוכיח בשתי דרכים שונות.

(9) הוכיחו שלכל פולינום ממעלה זוגית יש נקודת מינימום מוחלט. באריכות:

הוכיחו שאם f פולינום ממעלה זוגית, אז קיימת נקודה $x_0 \in \mathbb{R}$, כך ש- $f(x) \geq f(x_0)$, לכל $x \in \mathbb{R}$.

(10) בסעיפים א ו-ב הוכיחו:

א. שלכל מספר ממשי, קיימת סדרה של רציונליים שמתכנסת אליו.

ב. שלכל מספר ממשי, קיימת סדרה של אי-רציונליים שמתכנסת אליו.

ג. תהי $f(x) = \begin{cases} 1 & x \in \mathbb{Q} \\ 0 & x \notin \mathbb{Q} \end{cases}$. הוכיחו שהפונקציה לא רציפה בכל נקודה $x \in \mathbb{R}$.

הערה: פונקציה זאת נקראת פונקציית דיריכלה.

(11) הוכיחו או הפריכו:

א. אם $f(x)$ רציפה בנקודה c , אז $|f(x)|$ רציפה בנקודה c .

ב. אם $|f(x)|$ רציפה בנקודה c , אז $f(x)$ רציפה בנקודה c .

בשאלות 12-13 הוכיחו:

(12) אם f רציפה ב- x_0 , אז קיימת סביבה של x_0 , בה f חסומה.

(13) אם f רציפה ב- x_0 , ואם $f(x_0) > 0$, אז קיימת סביבה של x_0 , שבה $f(x) > 0$.

14 יהיו $f, g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציות רציפות המקיימות $f(a) \neq g(a)$, עבור a ממשי מסוים. הראו שקיימת סביבה של a , שבה $f(x) \neq g(x)$.

הערה

תרגיל זה מכיל בתוכו גם את הטענה הבאה:
תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה המקיימת $f(a) \neq 0$, עבור a ממשי מסוים. הראו שקיימת סביבה של a , שבה $f(x) \neq 0$.
פשוט לקחנו $g(x) = 0$.
בטענה זו נשתמש בשאלה האחרונה תחת הנושא 'משפט ערך הביניים', בסעיף האחרון.

15 הוכיחו כי אם הפונקציה $f(x)$ רציפה בנקודה a , אזי הפונקציה $g(x)$,

$$g(x) = \begin{cases} -c & f(x) < -c \\ f(x) & |f(x)| \leq c \\ c & f(x) > c \end{cases}$$

המוגדרת על ידי $|f(x)| \leq c$, גם רציפה בנקודה a (כאשר c מספר חיובי כלשהו).

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1-x}{x} & x \geq 1 \\ e^{-x} - e^{-1} & x < 1 \end{cases}$$

16 נתונה הפונקציה

בדקו האם f הפיכה בתחום הגדרתה. אם כן, מצאו את $f^{-1}(x)$.

תשובות סופיות

$$f^{-1}(x) = \begin{cases} \frac{1}{x+1} & -1 < x \leq 0 \\ -\ln(x + e^{-1}) & x > 0 \end{cases} \quad (16)$$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר GooL.co.il

שיטת החצייה

שאלות

(1) נתונה המשוואה $x^3 - 2x^2 - x + 2 = 0$. בעזרת שיטת החצייה בקטע $[-2, 3]$, מצאו שורש מקורב של המשוואה על ידי 6 איטרציות. מהו קירוב השורש?

(2) נתונה המשוואה: $x^3 - x - 2 = 0$.
 א. מצאו קטע שאורכו לא עולה על 1, המכיל שורש של המשוואה.
 ב. כמה איטרציות של שיטת החצייה יש לבצע, כדי למצוא קירוב של השורש בדיוק של 0.001?
 ג. חשבו את השורש שמצאתם בדיוק של 0.001.

הערה: בסרטון ההסבר של שיטת החצייה יש תרגיל נוסף.

תשובות סופיות

(1) 0.07
 (2) א. $[1, 2]$ ב. 10 ג. $x = 1.520$

חדוא 1

פרק 9 - נושאים מתקדמים - רציפות במידה שווה

תוכן העניינים

- 1. רציפות במידה שווה לפי הגדרה. 131
- 2. תנאים לרציפות במידה שווה. 133
- 3. תנאים לשלילת רציפות במידה שווה. 135

רציפות במידה שווה לפי הגדרה

שאלות

הוכיחו את המשפטים בשאלות 1-4 :

(1) $f(x) = 7$ (פונקציה קבועה) רבמ"ש (רציפה במידה שווה) ב- $\mathbb{R}$.

(2) $f(x) = 2x + 3$ רבמ"ש ב- $\mathbb{R}$.

(3) $f(x) = \sqrt{x}$ רבמ"ש ב- $[0, \infty)$.

(4) $f(x) = \sqrt{|x|} + 1$ רבמ"ש ב- $\mathbb{R}$.

(5) נתונות שתי פונקציות f ו- g שרציפות במידה שווה ב- $\mathbb{R}$. הוכיחו :

א. $f(g(x))$ רציפה במידה שווה ב- $\mathbb{R}$.

ב. $f(g(x))$ לא בהכרח חסומה ב- $\mathbb{R}$.

(6) נתון כי f רציפה במידה שווה ב- $[a, b]$, f רציפה במידה שווה ב- $[b, c]$. הוכיחו כי f רציפה במידה שווה ב- $[a, c]$. עשו זאת בשתי דרכים שונות : לפי ההגדרה ולפי משפט קנטור.

(7) נתונות שתי פונקציות f ו- g בקטע פתוח I . הוכיחו : אם f ו- g רבמ"ש בקטע, אז $f + g$ רבמ"ש בקטע.

(8) נתונות שתי פונקציות f ו- g בקטע I . הפריכו כל אחת מהטענות הבאות :

א. אם f ו- g רבמ"ש בקטע, אז $f \cdot g$ רבמ"ש בקטע.

ב. אם $f \cdot g$ רבמ"ש בקטע, אז f ו- g רבמ"ש בקטע.

ג. אם $f \neq 0$ ו- g רבמ"ש בקטע, אז f/g רבמ"ש בקטע.

ד. אם f ו- g לא חסומות בקטע, אז $f \cdot g$ לא רבמ"ש בקטע.

(9) נתונות שתי פונקציות f ו- g בקטע פתוח I . הוכיחו: אם f ו- g חסומות ורבמ"ש בקטע, אז $f \cdot g$ רבמ"ש בקטע.

(10) תהי f פונקציה גזירה בקטע (a, b) , כך ש- f' חסומה בקטע (a, b) .

א. הוכיחו שקיים $M > 0$, כך שלכל x ו- y ב- (a, b) מתקיים

$$|f(y) - f(x)| \leq M|y - x|$$

ב. הוכיחו ש- f רציפה במידה שווה ב- (a, b) .

(11) תהי f פונקציה רציפה במידה שווה בקטע I , המקיימת $|f(x)| \geq c > 0$ לכל x

$$\text{ב- } I, \text{ ותהי } g(x) = \frac{1}{f(x)}, \text{ לכל } x \text{ ב- } I.$$

הוכיחו כי $g(x)$ רציפה במידה שווה ב- I .

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

תנאים לרציפות במידה שווה

שאלות

(1) הוכיחו שהפונקציה $f(x) = x \sin\left(\frac{1}{x}\right)$ רציפה במידה שווה בקטע $(0,1)$.

(2) הוכיחו שהפונקציה $f(x) = xe^{-x^2}$ רציפה במידה שווה בקטע $-\infty < x < \infty$.

(3) הוכיחו שהפונקציה $f(x) = \frac{1}{1 + e^{\frac{1}{x}}}$ רציפה במידה שווה ב- $(0, \infty)$.

(4) הוכיחו שהפונקציה $f(x) = \arctan(x)$ רציפה במידה שווה ב- $(-\infty, \infty)$.

(5) הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = \ln x$ רציפה במידה שווה בקטע $[1, \infty)$.

(6) הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = \sqrt{x}$ רציפה במידה שווה בקטע $[1, \infty)$.

(7) הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = \arctan(x)$ רציפה במידה שווה ב- $\mathbb{R}$.

(8) הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = \frac{x^2}{x+1}$ רציפה במידה שווה בקטע $(0, \infty)$.

(9) הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = \sqrt{x} \sin \sqrt{x}$ רציפה במידה שווה ב- $[0, \infty)$.

(10) הוכיחו שהפונקציה $f(x) = x \cos \frac{1}{x}$ רציפה במידה שווה ב- $(0, \infty)$.

(11) תהי פונקציה $f(x)$ רציפה ומחזורית ב- $\mathbb{R}$.

הוכיחו ש- $f(x)$ רציפה במידה שווה ב- $\mathbb{R}$.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

תנאים לשלילת רציפות במידה שווה

שאלות

(1) נתונה הפונקציה $f(x) = \sin x^2$ בקטע $-\infty < x < \infty$. הוכיחו שהפונקציה לא רציפה במידה שווה בקטע.

(2) נתונה הפונקציה $f(x) = e^x \cos\left(\frac{1}{x}\right)$ בקטע $(0,1)$. הוכיחו שהפונקציה לא רציפה במידה שווה בקטע.

(3) נתונה הפונקציה $f(x) = x \sin x$ בקטע $0 \leq x < \infty$. הוכיחו שהפונקציה לא רציפה במידה שווה בקטע.

(4) נתונה הפונקציה $f(x) = \ln x$ בקטע $0 < x < 1$. הוכיחו שהפונקציה לא רציפה במידה שווה בקטע.

(5) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו כי $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\ln\left(2\pi n + \frac{\pi}{2}\right) - \ln(2\pi n) \right) = 0$

ב. הוכיחו כי $f(x) = \sin(e^x)$ אינה רציפה במידה שווה ב- $\mathbb{R}$.

(6) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = e^x \sin x$ אינה רציפה במידה שווה ב- $[0, \infty)$.

ב. הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = e^x \sin x$ רציפה במידה שווה ב- $(-\infty, 0]$.

(7) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = e^{\frac{1}{x}}$ רציפה במידה שווה בקטע $(-\infty, 0)$.

ב. הוכיחו כי הפונקציה $f(x) = e^{\frac{1}{x}}$ אינה רציפה במידה שווה בקטע $(0, \infty)$.

(8) ענו על הסעיפים הבאים :

א. נתון כי $f : (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה המקיימת $|f'(x)| \rightarrow \infty$ כאשר $x \rightarrow \infty$.הוכיחו כי f לא רציפה במידה שווה ב- $(0, \infty)$.ב. הוכיחו כי $f(x) = x \ln x$ אינה רציפה במידה שווה ב- $(0, \infty)$.ג. נתון כי $f : (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- f' לא חסומה. הוכיחו כי ייתכן ש- f רציפה במידה שווה.(9) נתון כי $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה המקיימת $f'(x) = e^x (\sin^4 x + \cos^4 x)$.א. הוכיחו כי $\frac{1}{2} \leq \sin^4 x + \cos^4 x \leq 1$ לכל x .ב. הוכיחו כי f אינה רציפה במידה שווה ב- $(0, \infty)$.ג. הוכיחו כי f רציפה במידה שווה ב- $(-\infty, 0)$.לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

חדוא 1

פרק 10 - הגדרת הנגזרת - גזירות של פונקציה - נגזרות חד-צדדיות

תוכן העניינים

137	1. הגדרת הנגזרת וגזירות של פונקציה
144	2. נגזרות חד צדדיות

הגדרת הנגזרת, גזירות של פונקציה

שימו לב

בפרק זה יש לדעת גזירת פונקציות לפי נוסחאות גזירה, כפי שנלמד בבית הספר. למי שלא למדו זאת כדאי לעבור קודם לפרק הבא, ללמוד את הנושא, ורק אחר כך לחזור לכאן.

שאלות*

בשאלות 1-6 חשבו את הנגזרת של הפונקציה הנתונה על פי ההגדרה:

$$(1) \quad f(x) = x^2 + 4x + 1 \quad (2) \quad f(x) = \frac{1}{x+1} \quad (3) \quad f(x) = \sin 4x$$

$$(4) \quad f(x) = e^x \quad (5) \quad f(x) = \ln x \quad (6) \quad f(x) = \sqrt{x+10}$$

$$(7) \quad \text{חשבו את } f'(0), \text{ אם נתון כי } f(x) = x(x-1)(x-2)(x-3)\dots(x-44).$$

$$(8) \quad \text{חשבו את } f'(0), \text{ אם נתון כי } f(x) = 2x(|x|+1)\sqrt{1+x+x^2}.$$

$$(9) \quad \text{חשבו את } f'(0), \text{ אם נתון כי } f(x) = x \cdot z(x) \text{ כאשר } z(0) = 1, \lim_{x \rightarrow 0} z(x) = 4.$$

$$(10) \quad \text{נתונה הפונקציה: } f(x) = \begin{cases} \sqrt[3]{x-1} & x > 0 \\ -(x+1)^2 & x \leq 0 \end{cases}$$

א. מצאו את כל הנקודות בהן הפונקציה רציפה.

ב. בדקו על פי הגדרת הנגזרת האם הפונקציה הנתונה גזירה בנקודה $x=1$.
האם קיים משיק בנקודה זו?

$$(11) \quad \text{נתונה הפונקציה: } f(x) = \begin{cases} x^n \sin \frac{1}{x} & x \neq 0 \\ 0 & x = 0 \end{cases} \quad (n \text{ טבעי}).$$

א. עבור אילו ערכים של n הפונקציה גזירה בנקודה $x=0$?

ב. עבור אילו ערכים של n הפונקציה גזירה ברציפות בנקודה $x=0$?

* בפרק זה חל איסור להשתמש בכלל לופיטל.

$$(12) \text{ נתונה הפונקציה: } f(x) = \begin{cases} x^n \arctan \frac{1}{x} & x \neq 0 \\ 0 & x = 0 \end{cases} \quad (n \text{ טבעי}).$$

א. עבור אילו ערכים של n הפונקציה גזירה בנקודה $x = 0$?

ב. עבור אילו ערכים של n הפונקציה גזירה ברציפות בנקודה $x = 0$?

(13) חשבו את הגבולות הבאים:

$$\text{א. } \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln(4+x) - \ln 4}{x} \quad \text{ב. } \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{1+x} - e}{x}$$

(14) נתון כי f גזירה בנקודה x_0 . הוכח כי:

$$\text{א. } f'(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$$

$$\text{ב. } 2x_0 f(x_0) - x_0^2 f'(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{x^2 f(x_0) - x_0^2 f(x)}{x - x_0}$$

(15) נתון כי f גזירה וזוגית. הוכיחו כי f' אי זוגית.

(16) נתונה פונקציה המוגדרת ב- $[a, b]$ ומקיימת לכל x, y ב- $[a, b]$:

$$|f(x) - f(y)| \leq |x - y|^2$$

הוכיחו כי f גזירה ב- $[a, b]$ וחשבו את נגזרתה.

$$(17) \text{ נתונה הפונקציה: } f(x) = \begin{cases} x^2 & x \in \mathbb{Q} \\ x^3 & x \notin \mathbb{Q} \end{cases}$$

חשבו את $f'(x)$ על פי ההגדרה.

$$(18) \text{ נתונה הפונקציה: } f(x) = \begin{cases} (x-1)^2 & x \in \mathbb{Q} \\ 0 & x \notin \mathbb{Q} \end{cases}$$

חשבו את $f'(x)$ על פי ההגדרה.

$$(19) \text{ נתונה הפונקציה } f(x) = |\sin^5 x|$$

א. חשבו את $f'(x)$.

ב. מצאו את כל הנקודות עבורן $f'(x) = 0$.

* בפרק זה חל איסור להשתמש בכלל לופיטל.

(20) הוכיחו או הפריכו :

- א. אם h גזירה ב- x_0 ו- g אינה גזירה ב- x_0 , אז $f = g + h$ אינה גזירה ב- x_0 .
- ב. אם h אינה גזירה ב- x_0 ו- g אינה גזירה ב- x_0 , אז $f = g + h$ אינה גזירה ב- x_0 .
- ג. אם h אינה גזירה ב- x_0 ו- g אינה גזירה ב- x_0 , אז $f = g \cdot h$ אינה גזירה ב- x_0 .
- ד. אם h גזירה ב- x_0 ו- g אינה גזירה ב- x_0 , אז $f = g \cdot h$ אינה גזירה ב- x_0 .

(21) הוכיחו או הפריכו :

- א. אם f גזירה, אז $\lim_{n \rightarrow \infty} n \left[f\left(x + \frac{1}{n}\right) - f(x) \right] = f'(x)$.
- ב. אם הגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} n \left[f\left(x + \frac{1}{n}\right) - f(x) \right]$ קיים וסופי, אז f גזירה.

(22) הוכיחו או הפריכו :

- א. אם f גזירה ב- (a, b) ו- $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = \infty$, אז $\lim_{x \rightarrow a^+} f'(x) = \infty$.
- ב. אם f גזירה ב- (a, b) ו- $\lim_{x \rightarrow a^+} f'(x) = \infty$, אז $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = \infty$.

(23) נתון כי $f(x)$ רציפה ב- $x = 4$, ומקיימת $\lim_{x \rightarrow 4} \frac{f(x) - \pi - 10(x - 4)}{x - 4} = 0$

הוכיחו ש- f גזירה ב- $x = 4$, וחשבו את $f'(4)$.

(24) תהי f פונקציה רציפה בסביבת הנקודה $x = 0$ המקיימת $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{x} = 0$

א. הוכיחו כי $f(0) = 0$.

ב. הוכיחו כי f גזירה ב- $x = 0$ ו- $f'(0) = 0$.

(25) תהי f פונקציה גזירה על כל הישר, ונתון כי $f(0) = 0$ ו- $f'(0) = k$.

הוכיחו כי $\lim_{x \rightarrow \infty} x f\left(\frac{1}{x}\right) = k$

(26) תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה בנקודה x_0 .

א. אם $f(x_0) \neq 0$, הוכיחו שגם $|f|$ גזירה ב- x_0 .

ב. אם $f(x_0) = 0$, הראו שייתכן כי $|f|$ גזירה ב- x_0 וייתכן שלא.

(27) תהייה $f, g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציות גזירות בנקודה x_0 .

נגדיר $h(x) = \max\{f(x), g(x)\}$ לכל $x \in \mathbb{R}$.

הראו שאם $f(x_0) \neq g(x_0)$, אז h גזירה ב- x_0 .

(28) תהי f פונקציה זוגית ב- $\mathbb{R}$.

הוכיחו כי אם f גזירה ב-0, אז $f'(0) = 0$.

הערה: פתרו בשתי דרכים שונות.

(29) נתונה פונקציה $f: (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ המקיימת $f(xy) = f(x) + f(y)$,

לכל $x, y \in (0, \infty)$.

נתון כי f גזירה בנקודה $x=1$.

א. הוכיחו כי $f(1) = 0$ ו- $f\left(\frac{x}{y}\right) = f(x) - f(y)$.

ב. הראו כי f גזירה, ושלכל $x > 0$, $f'(x) = \frac{f'(1)}{x}$.

(30) נתון כי f פונקציה גזירה המקיימת $f\left(\frac{x+y}{2}\right) = \frac{f(x) + f(y)}{2}$.

הוכיחו ש- f פונקציה לינארית.

(31) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו את הטענה הבאה:

אם f גזירה ב- x_0 , אז $f'(x_0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f(x_0 + a_n) - f(x_0)}{a_n}$

לכל סדרה $a_n \rightarrow 0$.

ב. תהי $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה בנקודה $x_0 = 1$, ו- $f(1) = 1$.

הראו שאם $k \in \mathbb{N}$, אז

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \left[f\left(1 + \frac{1}{n}\right) + f\left(1 + \frac{2}{n}\right) + \dots + f\left(1 + \frac{k}{n}\right) - k \right] = \frac{k(k+1)}{2} f'(1)$$

ג. חשבו את הגבול $\lim_{n \rightarrow \infty} n \left[e^{\frac{1}{n}} + e^{\frac{2}{n}} + \dots + e^{\frac{10}{n}} - 10 \right]$.

(32) ענו על הסעיפים הבאים :

א. הוכיחו שפונקציית דיריכלה $D(x) = \begin{cases} 1 & x \in \mathbb{Q} \\ 0 & x \notin \mathbb{Q} \end{cases}$ לא גזירה בכל מקום.

ב. הוכיחו שהפונקציה $f(x) = (x-1)^2 D(x)$ גזירה רק בנקודה $x=1$.

(33) פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)| \leq x^2$ לכל x .

הוכיחו שהפונקציה גזירה ב- $x=0$.

(34) פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)| \leq \sin^2 x$ לכל x .

הוכיחו שהפונקציה גזירה באינסוף נקודות שונות.

(35) תהי f פונקציה גזירה ב- x_0 .

א. הוכיחו כי $f'(x_0) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x_0+h) - f(x_0-h)}{2h}$.

ב. תנו דוגמה של פונקציה רציפה f , באופן שהגבול בסעיף א' קיים,

אך $f'(x_0)$ אינו קיים.

ג. הביעו באמצעות $f'(x_0)$ את הגבול $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x_0-2h) - f(x_0+3h)}{h}$.

(36) תהי f פונקציה גזירה פעמיים ב- x_0 .

א. הוכיחו כי $f''(x_0) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x_0+h) - 2f(x_0) + f(x_0-h)}{h^2}$.

ב. תנו דוגמה של פונקציה f , באופן שהגבול בסעיף א' קיים,

אך $f''(x_0)$ אינו קיים.

הערה: פתרו את סעיף א' רק אחרי למידת הנושא 'כלל לופיטל'.

(37) נתון כי $f(x)$ רציפה בנקודה $x=a$, ונגדיר פונקציה חדשה $z(x) = (x-a)f(x)$. הוכיחו או הפריכו:

א. הפונקציה $z(x)$ גזירה בנקודה $x=a$.

ב. $z'(x)$ רציפה ב- $x=a$.

תשובות סופיות

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

$$(4) \quad f'(x) = e^x \quad (5) \quad f(x) = \frac{1}{x} \quad (6) \quad f(x) = \frac{1}{2\sqrt{x+10}}$$

$$(7) \quad 44! \quad (8) \quad 2 \quad (9) \quad 4$$

(10) א. רציפה לכל x . ב. לא גזירה בנקודה $x=1$. קיים משיק אנכי בנקודה.

$$(11) \quad \text{א. } n > 1. \quad \text{ב. } n > 2.$$

$$(12) \quad \text{א. } n > 1. \quad \text{ב. } n > 1.$$

$$(13) \quad \text{א. } \frac{1}{4}. \quad \text{ב. } e.$$

(14) שאלת הוכחה.

(15) שאלת הוכחה.

(16) שאלת הוכחה. $f' = 0$.

(17) הפונקציה גזירה רק ב- $x=0$, ומתקיים: $f'(0) = 0$.

(18) הפונקציה גזירה רק ב- $x=1$, ומתקיים: $f'(1) = 0$.

$$(19) \quad \text{א. } f'(x) = \begin{cases} 5 \sin^4 x \cos x & 2n\pi < x < (2n+1)\pi \\ 0 & x = n\pi \\ -5 \sin^4 x \cos x & (2n+1)\pi < x < (2n+2)\pi \end{cases} \quad \text{ב. } x = \frac{\pi}{2} n$$

(20) שאלת הוכחה.

(21) שאלת הוכחה.

(22) שאלת הוכחה.

(23) שאלת הוכחה.

(24) שאלת הוכחה.

(25) שאלת הוכחה.

(26) שאלת הוכחה.

(27) שאלת הוכחה.

(28) שאלת הוכחה.

(29) שאלת הוכחה.

(30) שאלת הוכחה.

(31) א. שאלת הוכחה. ב. שאלת הוכחה. ג. 55.

(32) שאלת הוכחה.

(33) שאלת הוכחה.

(34) שאלת הוכחה.

(35) א. שאלת הוכחה. ב. $f(x) = |x|$ ג. $-5f'(x_0)$ (36) א. שאלת הוכחה. ב. $f(x) = \operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} -1 & x < 0 \\ 0 & x = 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases}$

(37) שאלת הוכחה.

לפתרונות מלאים בוידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

נגזרות חד-צדדיות

שאלות

1) תארו שתי דרכים שונות לבדיקת גזירות של פונקציה מפוצלת בנקודות התפר שלה (נקודה שבה מתחלפת נוסחת הפונקציה).

השתמשו בפונקציה $f(x) = \begin{cases} x^2 + 8x & x \geq 2 \\ x^3 + 12 & x < 2 \end{cases}$ על מנת להדגים שתי שיטות אלה. בנוסף, הסבירו מתי יש להשתמש בכל אחת משיטות אלה.

בשאלות 2-9 בדקו את גזירות הפונקציות בתחום הגדרתן, בכל דרך שתבחרו. בנוסף, רשמו נוסחה עבור הנגזרת של כל אחת מהפונקציות.

$$f(x) = \begin{cases} x^2 - 5x & x \geq 2 \\ x^3 - 14 & x < 2 \end{cases} \quad (3)$$

$$f(x) = \begin{cases} x^2 - 4x & x \geq 2 \\ x^3 - 14 & x < 2 \end{cases} \quad (2)$$

$$f(x) = \begin{cases} \ln(1+2x) & -0.5 < x < 0 \\ x^2 + 2x & x \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$f(x) = \begin{cases} x^2 + 8x & x \geq 2 \\ x^3 + 12 & x < 2 \end{cases} \quad (4)$$

$$f(x) = 3x^2 + x|x| + 1 \quad (7)$$

$$f(x) = 2 + 4|x-1| \quad (6)$$

$$f(x) = \begin{cases} x^2 \sin \frac{1}{x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$f(x) = \begin{cases} x \sin \frac{1}{x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

10) בדקו האם הפונקציה משאלה 5 גזירה פעמיים בנקודה $x = 0$.

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt[3]{x+1} & x \geq -1 \\ \frac{1}{x} + a & x < -1 \end{cases} \quad (11) \text{ נתונה הפונקציה}$$

- א. עבור איזה ערך של הקבוע a הפונקציה רציפה בנקודה $x = -1$?
- ב. עבור ערך ה- a שקיבלת בסעיף א', בדקו על פי הגדרת הנגזרת האם הפונקציה הנתונה גזירה בנקודה $x = -1$. האם קיים משיק בנקודה זו?

* בפרק זה חל איסור להשתמש בכלל לופיטל.

12 מצאו עבור אלו ערכים של הקבועים a ו- b הפונקציה הבאה גזירה בנקודת

$$\text{התפר: } f(x) = \begin{cases} \ln^3 x & 0 < x \leq e \\ ax + b & x > e \end{cases}$$

עבור ערכים אלו, רשמו נוסחה עבור הנגזרת.

13 מצאו עבור אלו ערכים של הקבועים a ו- b הפונקציה הבאה גזירה בנקודת

$$\text{התפר: } f(x) = \begin{cases} e^x & 0 < x \leq 1 \\ ax + b & x > 1 \end{cases}$$

עבור ערכים אלו, רשמו נוסחה עבור הנגזרת.

$$14 \text{ נתונה הפונקציה: } f(x) = \begin{cases} x^2 \sin \frac{1}{x} + 4x & x < 0 \\ px + q & x \geq 0 \end{cases}$$

קבעו עבור אילו ערכים של הקבועים p ו- q הפונקציה הנתונה:
א. רציפה. ב. גזירה.

15 חשבו את $f'(0)$, עבור הפונקציה: $f(x) = |x^4 - x^3 + \sin(10x) - 1|$

$$16 \text{ נתונה הפונקציה: } f(x) = \begin{cases} \sqrt{|\cos \pi x|} & x \in \mathbb{Q} \\ 0 & x \notin \mathbb{Q} \end{cases}$$

הוכיחו שהפונקציה לא גזירה לכל x ממשי.

תזכורת (הערך השלם)

פונקציית הערך השלם $[x]$ מחזירה לכל מספר ממשי x את המספר השלם הגדול ביותר, שקטן או שווה ל- x (מעגלת כלפי מטה). למשל: $[-4.1] = -5$, $[4.1] = 4$.

17 נתונה הפונקציה $f(x) = [x] - [-x]$.
חשבו את $f'(x)$.

18 נתונה הפונקציה $f(x) = [x] \sin(\pi x)$.
חשבו את $f'(x)$ על פי ההגדרה.

19 נתונה הפונקציה $f(x) = [x](1 - \cos(\pi x))$.
חשבו את $f'(x)$.

(20) הוכיחו שאם f היא פונקציה המקיימת $|f(x)| \leq x^2$ לכל x , אז f גזירה ב- $x=0$.

(21) תהי f פונקציה רציפה ב- $x_0=0$. הוכיחו כי הפונקציה $z(x)=|x|f(x)$ גזירה ב- $x_0=0$ אם ורק אם $f(0)=0$.

(22) יהיו f ו- g שתי פונקציות המוגדרות בסביבה מלאה של $x_0 \in \mathbb{R}$. הוכיחו או הפריכו:

א. אם $f(x_0)=g(x_0)$ ו- $f'_-(x_0)=g'_+(x_0)$,

אז הפונקציה z , המוגדרת על ידי $z(x)=\begin{cases} f(x) & x \leq x_0 \\ g(x) & x \geq x_0 \end{cases}$, גזירה ב- x_0 .

ב. אם $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ לא גזירה ב- x_0 ו- $g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה ב- $\mathbb{R}$, אז $g \circ f$ איננה גזירה ב- $\mathbb{R}$.

ג. אם g גזירה מימין ב- x_0 והפונקציה f מוגדרת בסביבה מלאה של $g(x_0)$ וגזירה מימין ב- $g(x_0)$, אזי $f \circ g$ גזירה מימין ב- x_0 .

הערה: אין קשר בין הסעיפים.

(23) תהיינה f ו- g פונקציות המוגדרות ב- $\mathbb{R}$. נתון ש- g היא פונקציה רציפה ב- $\mathbb{R}$, ולכל $x > y$

$$\frac{f(x)-f(y)}{x-y} = g\left(\frac{x+y}{2}\right).$$

הוכיחו כי f גזירה ב- $\mathbb{R}$, ושלכל x ממשי מתקיים $f'(x)=g(x)$.

$$\textbf{(24)} \quad \text{נתונה הפונקציה} \quad f(x) = \begin{cases} \frac{1-x}{x} & x \geq 1 \\ \frac{\pi}{4} - \arctan x & x < 1 \end{cases}$$

א. בדקו את רציפות וגזירות f .

ב. בדקו האם f הפיכה בתחום הגדרתה. אם כן, מצאו את $f^{-1}(x)$.

תשובות סופיות

$$f'(x) = \begin{cases} 2x+8 & x \geq 2 \\ 3x^2 & x < 2 \end{cases} \quad (1)$$

$$f'(x) = \begin{cases} 2x-4 & x > 2 \\ 3x^2 & x < 2 \end{cases} \quad (2)$$

$$f'(x) = \begin{cases} 2x-5 & x > 2 \\ 3x^2 & x < 2 \end{cases} \quad (3)$$

$$f'(x) = \begin{cases} 2x+8 & x \geq 2 \\ 3x^2 & x < 2 \end{cases} \quad (4)$$

$$f'(x) = \begin{cases} \frac{2}{1+2x} & -0.5 < x < 0 \\ 2x+2 & x \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$f'(x) = 4 \ (x > 1) \ , \ f'(x) = -4 \ (x < 1) \quad (6)$$

$$f'(x) = 8x \ (x \geq 0) \ , \ f'(x) = 4x \ (x < 0) \quad (7)$$

$$f(x) = \begin{cases} \sin \frac{1}{x} - \frac{1}{x} \cos \frac{1}{x} & x > 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$f(x) = \begin{cases} 2x \sin \frac{1}{x} - \cos \frac{1}{x} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

(10) לא גזירה פעמיים בנקודה $x = 0$.

(11) א. $a = 1$ ב. לא גזירה. לא קיים משיק.

$$f'(x) = \begin{cases} \frac{3}{x} \ln^2 x & 0 < x < e \\ \frac{3}{e} & x \geq e \end{cases} \quad a = 3/e \quad b = -2 \quad (12)$$

$$f'(x) = \begin{cases} e^x & 0 < x < 1 \\ e & x \geq 1 \end{cases} \quad a = e \quad b = 0 \quad (13)$$

$$q = 0, p = 4 \quad \text{א. } q = 0 \quad \text{ב. } q = 0, p = 4 \quad (14)$$

$$-10 \quad (15)$$

(16) שאלת הוכחה.

$$f'(x) = \begin{cases} 0 & x \notin \mathbb{Z} \\ \text{undefined} & x \in \mathbb{Z} \end{cases} \quad (17)$$

$$f'(x) = \begin{cases} [x] \cos(\pi x) \pi & x \notin \mathbb{Z} \\ \text{undefined} & x \in \mathbb{Z} \end{cases} \quad (18)$$

$$f'(x) = \begin{cases} [x] \sin \pi x & x \notin \mathbb{Z} \\ 0 & x \in \mathbb{Z}, x \text{ even} \\ \text{undefined} & x \in \mathbb{Z}, x \text{ odd} \end{cases} \quad (19)$$

לפתרונות מלאים בוידאו של שאלות 20-23 היכנסו לאתר www.GooL.co.il

$$f^{-1}(x) = \begin{cases} \frac{1}{x+1} & -1 < x \leq 0 \\ \tan\left(\frac{\pi}{4} - x\right) & 0 < x < \frac{3\pi}{4} \end{cases} \quad \text{ב.} \quad (24) \quad \text{א. רציפה לכל } x \text{ וגזירה לכל } x \neq 1.$$

חדוא 1

פרק 11 - חישוב נגזרת של פונקציה

תוכן העניינים

1. כללי הגזירה	(ללא ספר)
2. תרגול בכללי הגזירה	149
3. תרגילים נוספים לפי סוגים	153
4. גזירה סתומה	156
5. כלל השרשרת	158
6. גזירה לוגריתמית	161

תרגול בכללי הגזירה

שאלות

גזרו פעמיים את הפונקציות הבאות (בשאלות 27-35 מצאו רק את הנגזרת הראשונה):

$$f(x) = \frac{2x^2}{(x+1)^2} \quad (3) \quad f(x) = \frac{x^2 - 5x + 6}{2x + 10} \quad (2) \quad f(x) = \frac{x^2 + 2x + 4}{2x} \quad (1)$$

$$f(x) = \left(\frac{x+1}{x-1}\right)^3 \quad (6) \quad f(x) = \frac{x^3}{(x+1)^2} \quad (5) \quad f(x) = \frac{x^3}{x^2 - 4} \quad (4)$$

$$f(x) = x \cdot \ln x \quad (9) \quad f(x) = \frac{\ln x}{\sqrt{x}} \quad (8) \quad f(x) = \frac{\ln x}{x} \quad (7)$$

$$f(x) = \ln^2 x + 2 \ln x - 32 \quad (12) \quad f(x) = \ln \sqrt{\frac{1}{2-x}} \quad (11) \quad f(x) = x^2 \cdot \ln x \quad (10)$$

$$f(x) = (x+2) \cdot e^{\frac{1}{x}} \quad (15) \quad f(x) = e^{\frac{1}{x}} \quad (14) \quad f(x) = \ln^2 x + \frac{1}{\ln^2 x} \quad (13)$$

$$f(x) = \sqrt[3]{x^2 - 1} \quad (18) \quad f(x) = \sqrt[3]{x^2} \quad (17) \quad f(x) = x \cdot e^{-2x^2} \quad (16)$$

$$f(x) = \cos(x^4) \quad (21) \quad f(x) = \sin(x^3) \quad (20) \quad f(x) = \sqrt[3]{x^2} (1-x) \quad (19)$$

$$f(x) = \ln(\cos x^2) \quad (24) \quad f(x) = \tan(x^2) \quad (23) \quad f(x) = \sin^3 x \quad (22)$$

$$f(x) = (x+1)^{\sin x} \quad (27) \quad f(x) = \arctan(x^2) \quad (26) \quad f(x) = \arcsin(2x+3) \quad (25)$$

$$y = x^{\ln x} \quad (30) \quad f(x) = (\cos x)^{\ln x} \quad (29) \quad f(x) = (\sin x)^x \quad (28)$$

$$y = \left(\sqrt{x} + \frac{1}{x}\right)^{\sqrt{x}} \quad (33) \quad y = x^{\sqrt{x}} \quad (32) \quad y = \sqrt[3]{x} \quad (31)$$

$$y = (x+1)^{(x+1)} \quad (35) \quad y = (x^2 + 1)^x \quad (34)$$

הערה: בשאלות 28 ו-29 נציג שתי דרכי פתרון. מומלץ לצפות בשתייהן.

תשובות סופיות

$$f'(x) = \frac{2x^2 - 8}{4x^2}, \quad f''(x) = \frac{4}{x^3} \quad (1)$$

$$f'(x) = \frac{2x^2 + 20x - 62}{(2x+10)^2}, \quad f''(x) = \frac{448}{(2x+10)^3} \quad (2)$$

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

$$f'(x) = \frac{x^2(x^2-12)}{(x^2-4)^2}, \quad f''(x) = \frac{4x \cdot (2x^2+24)}{(x^2-4)^3} \quad (4)$$

$$f'(x) = \frac{x^2(x+3)}{(x+1)^3}, \quad f''(x) = \frac{6x}{(x+1)^4} \quad (5)$$

$$f'(x) = -\frac{6(x+1)^2}{(x-1)^4}, \quad f''(x) = 12 \frac{(x+1)(x+3)}{(x-1)^5} \quad (6)$$

$$f'(x) = \frac{1 - \ln x}{x^2}, \quad f''(x) = \frac{2 \ln x - 3}{x^3} \quad (7)$$

$$f'(x) = \frac{2 - \ln x}{2x^{1.5}}, \quad f''(x) = \frac{3 \ln x - 8}{4x^{2.5}} \quad (8)$$

$$f'(x) = \ln x + 1, \quad f''(x) = \frac{1}{x} \quad (9)$$

$$f'(x) = x(2 \ln x + 1), \quad f''(x) = 2 \ln x + 3 \quad (10)$$

$$f'(x) = \frac{1}{2(2-x)}, \quad f''(x) = \frac{1}{(4-2x)^2} \quad (11)$$

$$f'(x) = \frac{2}{x}(\ln x + 1), \quad f''(x) = \frac{-2 \ln x}{x^2} \quad (12)$$

$$f'(x) = \frac{2}{x} \left[\frac{(\ln x)^4 - 1}{(\ln x)^3} \right], \quad f''(x) = -\frac{2}{x^2} \left\{ \frac{(\ln x)^5 - (\ln x)^4 - (\ln x) - 3}{(\ln x)^4} \right\} \quad (13)$$

$$f'(x) = e^{\frac{1}{x}} \cdot \left(-\frac{1}{x^2}\right), \quad f''(x) = e^{\frac{1}{x}} \left(\frac{1+2x}{x^4}\right) \quad (14)$$

$$f'(x) = e^{\frac{1}{x}} \left(\frac{x^2 - x - 2}{x^2}\right), \quad f''(x) = e^{\frac{1}{x}} \left(\frac{5x+2}{x^4}\right) \quad (15)$$

$$f'(x) = e^{-2x^2} (1 - 4x^2), \quad f''(x) = -4xe^{-2x^2} (3 - 4x^2) \quad (16)$$

$$f'(x) = \frac{2}{3 \cdot \sqrt[3]{x}}, \quad f''(x) = -\frac{2}{9 \cdot \sqrt[3]{x^4}} \quad (17)$$

$$f'(x) = \frac{2x}{3\sqrt[3]{(x^2-1)^2}}, \quad f''(x) = \frac{2}{3} \cdot \frac{-\frac{1}{3}x^2 - 1}{(x^2-1)^{5/3}} \quad (18)$$

$$f'(x) = \frac{2-5x}{3\sqrt[3]{x}}, \quad f''(x) = -\frac{2}{9} \cdot \frac{1+5x}{\sqrt[3]{x^4}} \quad (19)$$

$$f'(x) = \cos(x^3) \cdot 3x^2, \quad f''(x) = -9x^4 \sin(x^3) + 6x \cdot \cos(x^3) \quad (20)$$

$$f'(x) = -\sin(x^4) \cdot 4x^3, \quad f''(x) = -16x^6 \cos(x^4) - 12x^2 \cdot \sin(x^4) \quad (21)$$

$$f'(x) = 3\sin^2 x \cdot \cos x, \quad f''(x) = 6\sin x \cos^2 x - 3\sin^3 x \quad (22)$$

$$f'(x) = \frac{2x}{\cos^2(x^2)}, \quad f''(x) = \frac{2 \cdot \cos^2(x^2) - 8x^2 \cos(x^2) \sin(x^2)}{\cos^4(x^2)} \quad (23)$$

$$f'(x) = \tan(x^2) \cdot (-2x), \quad f''(x) = \frac{-4x^2}{\cos^2(x^2)} - 2\tan(x^2) \quad (24)$$

$$f'(x) = \frac{1}{\sqrt{1-(2x+3)^2}} \cdot 2, \quad f''(x) = \frac{4(2x+3)}{(1-(2x+3)^2)^{1.5}} \quad (25)$$

$$f'(x) = \frac{2x}{1+x^4}, \quad f''(x) = \frac{2-6x^4}{(1+x^4)^2} \quad (26)$$

$$f'(x) = x^{\sin x} \left(\cos x \cdot \ln(x+1) + \frac{\sin x}{x+1} \right) \quad (27)$$

$$f'(x) = (\sin x)^x (\ln(\sin x) + \cot x \cdot x) \quad (28)$$

$$f'(x) = (\cos x)^{\ln x} \cdot \left(\frac{\ln(\cos x)}{x} - \tan x \cdot \ln x \right) \quad (29)$$

$$y' = x^{\ln x} \left(\frac{2 \ln x}{x} \right) \quad (30)$$

$$y' = x^{\frac{1}{x}-2} (1 - \ln x) \quad (31)$$

$$y' = \frac{1}{\sqrt{x}} \cdot x^{\sqrt{x}} \left(\frac{\ln x}{2} + 1 \right) \quad (32)$$

$$y' = \left(\sqrt{x} + \frac{1}{x} \right)^{\sqrt{x}} \left(\frac{1}{2\sqrt{x}} \cdot \ln \left(\sqrt{x} + \frac{1}{x} \right) + \frac{1}{\sqrt{x + \frac{1}{x}}} \left(\frac{1}{2\sqrt{x}} - \frac{1}{x^2} \right) \cdot \sqrt{x} \right) \quad (33)$$

$$y' = (x^2 + 1)^x \left(1 \cdot \ln(x^2 + 1) + \frac{1}{x^2 + 1} \cdot 2x \cdot x \right) \quad (34)$$

$$y' = (x+1)^{(x+1)} [\ln(x+1) + 1] \quad (35)$$

תרגילים נוספים לפי סוגים

שאלות

הנגזרת של פונקציית חזקה

(1) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = x^3$	ב. $f(x) = x^7$	ג. $f(x) = x^2$
ד. $f(x) = x^1$	ה. $f(x) = x^{-3}$	ו. $f(x) = x^{-1}$
ז. $f(x) = x^{\frac{1}{2}}$	ח. $f(x) = x^{\frac{1}{3}}$	ט. $f(x) = x^{\frac{3}{4}}$

הנגזרת של קבוע כפול פונקציה

(2) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = 2x^3$	ב. $f(x) = 3x^7$	ג. $f(x) = \frac{1}{2}x^4$
ד. $f(x) = \frac{x^6}{7}$	ה. $f(x) = 8x^1$	ו. $f(x) = 3x^{-2}$
ז. $f(x) = \frac{4}{x}$	ח. $f(x) = 6x^{\frac{1}{2}}$	ט. $f(x) = \frac{x^{\frac{2}{3}}}{3}$

הנגזרת של קבוע

(3) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = 12$	ב. $f(x) = \frac{7}{8}$
----------------	-------------------------

הנגזרת של סכום והפרש

(4) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = x^3 + 2x^2 - 3x + 5$	ב. $f(x) = \frac{1}{4}x^4 - \frac{x^3}{6} + \frac{3x}{4} - \frac{2}{5}$
---------------------------------	---

הנגזרת של פונקציה חזקה מורכבת

(5) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = (5x - 2)^3$ ב. $f(x) = (x^3 + 6)^5$ ג. $f(x) = 3(x - x^2)^2$

ד. $f(x) = \frac{(5-x)^3}{4}$ ה. $f(x) = \frac{2(x+1)^4}{3}$

הנגזרת של אחד חלקי איקס

(6) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = \frac{3}{x}$ ב. $f(x) = \frac{2}{x}$ ג. $f(x) = \frac{1}{x^2}$ ד. $f(x) = \frac{3}{x^3}$

ה. $f(x) = \frac{1}{x^2 - 3x}$ ו. $f(x) = \frac{2}{3-x}$ ז. $f(x) = \frac{6}{x+5}$

הנגזרת של מכפלה

(7) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = (5x+1)(x-3)$

ב. $f(x) = (5x+1)^3(x-3)$

ג. $f(x) = x^3(6-x)^4$

הנגזרת של מנה

(8) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = \frac{3x-1}{1+2x}$ ב. $f(x) = \frac{x^2+1}{5x-12}$ ג. $f(x) = \frac{x^2-1}{x^2+3}$

ד. $f(x) = \frac{x^2+8}{x-1}$ ה. $f(x) = \frac{1}{x}$ ו. $f(x) = \frac{3}{x^3}$

הנגזרת של שורש

(9) גזרו את הפונקציות הבאות:

א. $f(x) = \sqrt{x}$ ב. $f(x) = 4\sqrt{x+1}$ ג. $f(x) = \sqrt{x^3-1}$

ד. $f(x) = (3x+1)\sqrt{x}$ ה. $f(x) = x^2\sqrt{x+3}$ ו. $f(x) = \frac{x+3}{\sqrt{x}}$

תשובות סופיות

(1)

$$\begin{array}{lll} \text{א.} & f'(x) = 3x^2 & \text{ב.} & f'(x) = 7x^6 & \text{ג.} & f'(x) = 2x \\ \text{ד.} & f'(x) = 1 & \text{ה.} & f'(x) = 3x^{-4} & \text{ו.} & f'(x) = -\frac{1}{x^2} \\ \text{ז.} & f'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}} & \text{ח.} & f'(x) = \frac{1}{3\sqrt[3]{x^2}} & \text{ט.} & f'(x) = \frac{3}{4}x^{\frac{1}{4}} \end{array}$$

(2)

$$\begin{array}{lll} \text{א.} & f'(x) = 6x^2 & \text{ב.} & f'(x) = 21x^6 & \text{ג.} & f'(x) = 2x^3 \\ \text{ד.} & f'(x) = \frac{6x^5}{7} & \text{ה.} & f'(x) = 8 & \text{ו.} & f'(x) = -\frac{6}{x^3} \\ \text{ז.} & f'(x) = -\frac{4}{x^2} & \text{ח.} & f'(x) = \frac{3}{\sqrt{x}} & \text{ט.} & f'(x) = \frac{2}{9\sqrt[3]{x}} \end{array}$$

0. ב.

0. א. (3)

$$\text{א. (4)} \quad f'(x) = 3x^2 + 4x - 3 \quad \text{ב.} \quad f'(x) = x^3 - \frac{x^2}{2} + \frac{3}{4}$$

$$\text{א. (5)} \quad f'(x) = 15(5x - x)^2 \quad \text{ב.} \quad f'(x) = 15x^2(x^3 + 6)^4$$

$$\text{א. (6)} \quad f'(x) = -\frac{3}{x^2} \quad \text{ב.} \quad f'(x) = \frac{2}{x^2} \quad \text{ג.} \quad f'(x) = -\frac{2}{x^3} \quad \text{ד.} \quad f'(x) = -\frac{9}{x^4} \quad \text{ה.} \quad f'(x) = \frac{8(x+1)^3}{3} \quad \text{ו.} \quad f'(x) = -\frac{3}{4}(5-x)^2 \quad \text{ז.} \quad f'(x) = 6(x-x^2)(1-2x)$$

$$\text{א. (7)} \quad f'(x) = 10x - 14 \quad \text{ב.} \quad f'(x) = (5x+1)^2(20x-44) \quad \text{ג.} \quad f'(x) = x^2(6-x)^3(18-7x) \\ \text{א. (8)} \quad f'(x) = \frac{5}{(1+2x)^2} \quad \text{ב.} \quad f'(x) = \frac{5x^2 - 24x - 5}{(5x-12)^2} \quad \text{ג.} \quad f'(x) = \frac{8x}{(x^2+3)^2} \\ \text{ד.} \quad f'(x) = \frac{(x-4)(x+2)}{(x-1)^2} \quad \text{ה.} \quad f'(x) = -\frac{1}{x^2} \quad \text{ו.} \quad f'(x) = -\frac{9}{x^4} \quad \text{ז.} \quad f'(x) = -\frac{2x-3}{(x^2-3x)^2} \\ \text{א. (9)} \quad f'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x}} \quad \text{ב.} \quad f'(x) = \frac{2}{\sqrt{x+1}} \quad \text{ג.} \quad f'(x) = \frac{3x^2}{2\sqrt{x^3-1}} \\ \text{ד.} \quad f'(x) = \frac{9x+1}{2\sqrt{x}} \quad \text{ה.} \quad f'(x) = \frac{x(5x+12)}{2\sqrt{x+3}} \quad \text{ו.} \quad f'(x) = \frac{x-3}{2x\sqrt{x}} \quad \text{ז.} \quad f'(x) = -\frac{6}{(x+3)^2}$$

גזירה סתומה

שאלות

(1) גזרו את הפונקציה הסתומה $x^2 + y^5 - 1 = 1$.

(2) גזרו את הפונקציה הסתומה $4 \ln x + 10 \ln y = y^2$.

(3) גזרו את הפונקציה הסתומה $\sqrt{x} + \sqrt{y} = \sqrt{xy}$.

(4) נתונה הפונקציה הסתומה הבאה $e^{y^2-4x} + x^2 y^3 = \sin(y-2x) + 4y + 1$ חשבו את y' בנקודה $(1,2)$.

(5) נתונה הפונקציה הסתומה הבאה $\sqrt{4x+y^3} + \cos^2(xy) = \ln(x^2 y + 1) + \ln e^3$ חשבו את y' בנקודה בה $y = 0$.

(6) גזרו את הפונקציה הסתומה $x^y - xy = 10$.

(7) גזרו את הפונקציה הסתומה $x^y - y^x = 1$.

(8) נתונה פונקציה סתומה $xy - y^3 + x^2 - x = 0$ מצאו את ערך y^n בנקודה בה $y = 1$.

(9) נתון עקום שמשוואתו $yx^2 + e^y = x$.
א. הראו שעבור $x=1$ קיים ערך y אחד ויחיד ומצאו אותו.
ב. חשבו את y'' בנקודה בה $x=1$.

(10) נתון כי המשוואה $h(y) - x + 1 = 2x^3 + 4e^y + 2y$,
מגדירה את $y = y(x)$ כפונקציה סתומה של x .
נתון כי $h(y)$ גזירה ברציפות ויורדת.
הוכיחו כי $y(x)$ יורדת חזק.

תשובות סופיות

$$5y^4 - 1 \neq 0, \quad y' = \frac{-2x}{5y^4 - 1} \quad (1)$$

$$\frac{10}{y} - 2y \neq 0, \quad y' = \frac{-\frac{4}{x}}{\frac{10}{y} - 2y} \quad (2)$$

$$\sqrt{x} \neq 0, \quad \sqrt{x} \neq 1, \quad y' = \frac{\sqrt{y} - 1}{2\sqrt{x}} \cdot \frac{2\sqrt{y}}{1 - \sqrt{x}} \quad (3)$$

$$y'_{(1,2)} = -\frac{14}{11} \quad (4)$$

$$y'_{(1,0)} = 1 \quad (5)$$

$$x^y \cdot \ln x - x \neq 0, \quad y' = \frac{y - x^y \cdot \frac{y}{x}}{x^y \cdot \ln x - x} \quad (6)$$

$$x^y \ln x - y^x \cdot \frac{x}{y} \neq 0, \quad y' = \frac{-x^y \cdot \frac{y}{x} + y^x \cdot \ln y}{x^y \ln x - y^x \cdot \frac{x}{y}} \quad (7)$$

$$-1 \quad (8)$$

$$y''_{(1,0)} = -\frac{9}{8} \text{ ב.} \quad (9)$$

$$(10) \text{ שאלת הוכחה.}$$

כלל השרשרת

שאלות

(1) נתונה פונקציה $f(x)$, המקיימת $f'(4) = 10$.

נגדיר פונקציה חדשה: $g(x) = f(x^2)$.

חשבו את $g'(2)$.

(2) ענו על הסעיפים הבאים:

א. נתונה פונקציה $f(x)$. נגדיר פונקציה חדשה

$$z(x) = f\left(\frac{1}{x}\right) - f(4x+1)$$

חשב ואת $z'(x)$

ב. נתונה פונקציה $f(x)$ המקיימת $f(1) = 2$, $f'(1) = e$

$$z(x) = f^2(\ln x) + \frac{1}{f^2(\ln x)}$$

חשבו את $z'(e)$

$$(3) \quad \text{נתונה הפונקציה} \quad g(x) = \frac{f^2(\sqrt{x}) - 1}{f(\sqrt{x})}$$

ידוע כי $f(10) = f'(10) = 4$

חשבו $g'(100)$

$$(4) \quad \text{נתונה הפונקציה} \quad g(x) = \frac{f\left(\frac{1}{x}\right) + 4}{f\left(\frac{1}{x^2}\right)}$$

ידוע כי $f(1) = 1$, $f'(1) = 4$

חשבו $g'(1)$

$$(5) \quad \text{נתונה הפונקציה } g(x) = \frac{f^2(\ln x)}{f(\ln x) + 1}$$

ידוע כי $f(0) = 2$, $f'(0) = 1$

חשבו $g'(1)$.

$$(6) \quad \text{נתונה הפונקציה } g(x) = \frac{f^{10}(4x) + 1}{f\left(\frac{4}{x}\right) + 1}$$

ידוע כי $f(4) = 1$, $f'(4) = 2$

חשבו $g'(1)$.

$$(7) \quad \text{נתונה הפונקציה } g(x) = \frac{\sqrt[4]{f^7(x^2)}}{f(x^4)}$$

ידוע כי $f(1) = 1$, $f'(1) = 4$

חשבו $g'(1)$.

(8) ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו שהנגזרת של פונקציה זוגית היא פונקציה אי-זוגית והנגזרת של פונקציה אי-זוגית היא פונקציה זוגית.

ב. הפונקציה $f(x)$ היא אי-זוגית. בדקו האם הפונקציה $f'''(x)$ היא זוגית או אי-זוגית.

ג. הפונקציה $f(x)$ אי-זוגית נגדיר $g(x) = (f(x))^4$.

קבעו האם הפונקציה $g'(x)$ זוגית או אי-זוגית.

ד. ידוע שנגזרת של פונקציה היא זוגית.

האם ניתן לקבוע שהפונקציה היא אי-זוגית?

תשובות סופיות

(1) 40

$$(2) \quad z'(x) = f'\left(\frac{1}{x}\right)\left(-\frac{1}{x^2}\right) - f'(4x+1) \cdot 4 \quad \text{א.} \quad \text{ב.} \quad z'(e) = 3\frac{3}{4}$$

(3) $\frac{17}{80}$

(4) 36

(5) $\frac{8}{9}$

(6) 44

(7) -2

(8) ב. אי-זוגית. ג. אי-זוגית. ד. לא.

גזירה לוגריתמית

שאלות

גזרו את הפונקציות הבאות :

$$y = \sqrt[4]{\frac{10x-1}{x+1}} \cdot \sqrt[10]{(2x+1)^7} \quad (1)$$

$$y = \left(\sqrt[4]{10x+1} \right)^{2x} \quad (2)$$

$$y = \frac{(x+2)^{3x+4} \cdot (5x+6)}{(7x+8) \cdot (9x+10)} \quad (3)$$

תשובות סופיות

$$y' = y \left[\frac{1}{4} \frac{1}{10x-1} \cdot 10 + \frac{7}{10} \frac{1}{2x+1} \cdot 2 - \frac{1}{4} \frac{1}{x+1} \right] \quad (1)$$

$$y' = \left((10x+1)^{\frac{1}{4}} \right)^{2x} \cdot \frac{1}{4} \left[2^x \cdot \ln 2 \cdot \ln(10x+1) + \frac{1}{10x+1} \cdot 10 \cdot 2^x \right] \quad (2)$$

$$y' = y \left[3 \cdot \ln(x+2) + \frac{1}{x+2} (3x+4) + \frac{1}{5x+6} \cdot 5 - \frac{1}{7x+8} \cdot 7 - \frac{1}{9x+10} \cdot 9 \right] \quad (3)$$

חדוא 1

פרק 12 - חישוב נגזרת של פונקציות מיוחדות

תוכן העניינים

162	1. נגזרת הפונקציה ההפוכה
163	2. נגזרת מסדר גבוה
164	3. נוסחת לייבניץ
165	4. גזירה פרמטרית

נגזרת הפונקציה ההפוכה

שאלות

הוכיחו, בעזרת כלל הנגזרת של הפונקציה ההפוכה, את הנוסחאות הבאות:

$$(\sqrt{x})' = \frac{1}{2\sqrt{x}} \quad (1)$$

$$(\arcsin x)' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad (2)$$

$$(\arctan x)' = \frac{1}{1+x^2} \quad (3)$$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר GooL.co.il

נגזרת מסדר גבוה

שאלות

חשבו את הנגזרת ה- n , $f^{(n)}(x)$, של הפונקציות הבאות:

$$y = \frac{1}{x+a} \quad (1)$$

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

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

$$y = \frac{x^4}{x^2-1} \quad (4)$$

תשובות סופיות

$$y^{(n)} = (-1)^n \cdot n! \cdot (x+a)^{-n-1} \quad (1)$$

$$y^{(n)} = (-1)^n \cdot n! \cdot \left(-5(x-1)^{-n-1} + 7(x-2)^{-n-1} \right) \quad (2)$$

$$y^{(n)} = (-1)^n \cdot n! \cdot \left(-\frac{1}{2}(x-1)^{-n-1} - \frac{1}{6}(x+1)^{-n-1} + \frac{2}{3}(x-2)^{-n-1} \right) \quad (3)$$

$$y' = 2x - \frac{1}{2} \left((x-1)^{-2} - (x+1)^{-2} \right), \quad y'' = 2 + \left((x-1)^{-3} - (x+1)^{-3} \right) \quad (4)$$

$$y^{(n)} = \frac{1}{2}(-1)^n \cdot n! \cdot \left((x-1)^{-n-1} - (x+1)^{-n-1} \right), (n > 2)$$

נוסחת לייבניץ

שאלות

חשבו את הנגזרת העשירית, $y^{(10)}$, של הפונקציות הבאות:

$$y = x^3 e^x \quad (1)$$

$$y = x^3 \sin 5x \quad (2)$$

תשובות סופיות

$$(e^x \cdot x^3)^{(10)} = e^x [x^3 + 103x^2 + 456x + 120 \cdot 6] \quad (1)$$

$$(\sin 5x \cdot x^3)^{(10)} = -5^{10} x^3 \sin 5x + 6 \cdot 5^{10} x^2 \cos 5x + 54 \cdot 5^9 x \sin 5x - 24 \cdot 5^9 \cos 5x \quad (2)$$

גזירה פרמטרית

שאלה

1) חשבו את הנגזרות הראשונה והשנייה של הפונקציה הבאה,

$$\begin{cases} x(t) = t - \sin t \\ y(t) = t \cos t \end{cases} \quad \text{הנתונה בצורה פרמטרית}$$

תשובה

$$y' = \frac{\cos t - \sin t \cdot t}{1 - \cos t}, \quad y'' = \frac{(-t \cos t - 2 \sin t)(1 - \cos t) - \sin t(\cos t - t \sin t)}{(1 - \cos t)^3} \quad (1)$$

חדוא 1

פרק 13 - משיק, נורמל, נוסחת הקירוב הליניארי

תוכן העניינים

166	1. המשיק
168	2. בעיות משיקים
170	3. בעיות משיקים עם נוסחת המשיק
174	4. הנורמל
175	5. זווית שבין שתי עקומות
176	6. נוסחת הקירוב הליניארי - דיפרנציאל שלם

המשק

שאלות

- (1) מצאו את שיפוע הפונקציה
 - א. $f(x) = 2x^3 - 7x$, בנקודה $(2, 2)$.
 - ב. $f(x) = \frac{1}{x^2 - 3}$, בנקודה $x = -2$.
- (2) נתונה הפונקציה $f(x) = \sqrt{ax}$, כאשר $a > 0$.
 המשיק לגרף הפונקציה בנקודה שבה $x = \frac{1}{2}$, הוא בעל שיפוע 1.
 מצאו את הקבוע a .
- (3) הישר $2y - 3x = 3$ משיק לגרף הפונקציה $h(x) = 3\sqrt{x}$.
 מצאו את נקודת ההשקה.
- (4) שיפוע המשיק לפונקציה $f(x) = a \cdot 3^{2x-1} + 3^{x-b}$, בנקודה $(1, 15)$, הוא $21 \ln 3$.
 מצאו את ערכי הפרמטרים a ו- b .
- (5) שיפוע המשיק לפונקציה $f(x) = \frac{\ln^2 x + a}{\ln x + b}$, בנקודה $\left(\frac{1}{e}, -1\right)$, הוא $\frac{e}{3}$.
 מצאו את ערכי הפרמטרים a ו- b .
- (6) לאילו ערכי k ישיק הישר $y = -5x + 6$, לגרף הפונקציה
 $f(x) = x^3 - 2x^2 - 4x + k$?
 לכל ערך k כזה מצאו את נקודת ההשקה.
- (7) נתונה הפונקציה $f(x) = x^2 - 4x + 5$.
 - א. שרטטו את גרף הפונקציה ואת המשיקים לגרף בנקודות $x = 1$ ו- $x = 3$.
 - ב. חשבו את הזווית שיוצר כל אחד מהמשיקים בסעיף א',
 עם הכיוון החיובי של ציר ה- x .

(8) נתונה הפונקציה $f(x) = \frac{2x^2 + 1}{x - 2}$.

מצאו את הנקודות על גרף הפונקציה, שהמשק דרכן יוצר זווית של 45° עם הכיוון החיובי של ציר ה- x .

(9) נתונה הפונקציה $f(x) = x^3 - 2x^2 + 5$.

מצאו את שיעורי ה- x של הנקודות, שהמשק דרכן לגרף הפונקציה יוצר זווית של 135° עם הכיוון החיובי של ציר ה- x .

(10) פונקציה $f(x)$ גזירה ברציפות ב-0 ומקיימת $f(0) = 0$.

ידוע שבראשית הצירים הזווית בין המשק לגרף הפונקציה לבין הכיוון החיובי של ציר ה- x היא 30° .

חשבו את הגבול $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{x}$.

(11) מצאו את הזווית שיוצר המשק לגרף הפונקציה $f(x) = \sqrt[3]{x^2} = x^{\frac{2}{3}}$

עם הכיוון החיובי של ציר ה- x , בנקודות $x=1$ ו- $x=0$.

תשובות סופיות

(1) א. 17 ב. 4

(2) $a = 2$

(3) $(1, 3)$

(4) $a = 2, b = -1$

(5) $a = 2, b = -2$

(6) לערך $k = 6$, בנקודה $x = 1$; לערך $k = \frac{158}{27}$, בנקודה $x = \frac{1}{3}$.

(7) א. ראו באתר. ב. $\alpha = 63.43^\circ, \beta = 116.56^\circ$

(8) $x = 5, x = -1$

(9) $x = 1, x = \frac{1}{3}$

(10) $\frac{1}{\sqrt{3}}$

(11) $\alpha = 33.69^\circ, \beta = 90^\circ$

בעיות משיקים

שאלות

(1) הישר $y = 4x + b$ משיק לגרף הפונקציה $f(x) = \frac{2}{x^2} + 3$. מצאו את b ואת נקודת ההשקה.

(2) הישר $y = 3x$ משיק לגרף הפונקציה $f(x) = x\sqrt{x} + b$. מצאו את b ואת נקודת ההשקה.

(3) הישר $y = ax + \frac{1}{2}$ משיק לגרף הפונקציה $g(x) = \frac{2}{x+c}$ בנקודה $x = 0$. מצאו את a ו- c .

(4) הישר $y = x + b$ משיק לגרף הפונקציה $f(x) = e^x$. מצאו את b ואת נקודת ההשקה.

(5) מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה $f(x) = \ln x$ בנקודה $x = e$.

בשאלות 6-7 מצאו את נקודת ההשקה, ואת משוואת המשיק לגרף העקומה, העובר דרך הנקודה הנתונה:

(6) $(2, -3)$, $y = x^2 - 2x + 1$

(7) $(-3, 1)$, $y = \sqrt{x}$

(8) מצאו את משוואת המשיקים המשותפים לפונקציות $y = x^2$ ו- $y = -\frac{1}{4}x^2 - 5$.

(9) הפונקציות $y = \frac{1}{x}$ ו- $y = -\frac{1}{2}x^2 + k$ משיקות זו לזו. מצאו את k ואת נקודת ההשקה.

10 נתון כי f גזירה לכל x .

א. הוכיחו כי הפונקציה $z(x) = x^2 f(3x-2)$ גזירה לכל x .

ב. הישר $2y = 10x + 11$ משיק לגרף הפונקציה $z(x)$ בנקודה $x = -1$.

מצאו את השיפוע של $f(x)$ בנקודה $x = -5$.

תשובות סופיות

1 נקודת ההשקה היא $(-1, 5)$ ומשוואת המשיק היא $y = 4x + 9$.

2 נקודת ההשקה היא $(4, 12)$ ו- $b = 4$.

3 נקודת ההשקה היא $\left(0, \frac{1}{2}\right)$ ומשוואת המשיק היא $y = -\frac{1}{8}x + \frac{1}{2}$.

4 נקודת ההשקה היא $(0, 1)$ ומשוואת המשיק היא $y = x + 1$.

5 משוואת המשיק היא $y = \frac{1}{e}x$.

6 $y = 6x - 15, (4, 9)$; $y = -2x + 1, (0, 1)$

7 המשיק $(9, 3), y = \frac{1}{6}x + \frac{3}{2}$.

8 $y = 2x - 1, y = -2x - 1$

9 $k = 1.5$, נקודת ההשקה $(1, 1)$.

10 א. שאלת הוכחה. השיפוע הוא 2.

בעיות משיקים עם נוסחת המשיק

שאלות

(1) מצאו את משוואת המשיק לפונקציה $f(x) = 2(4x+3)^3$, בנקודה $x = -1$.

(2) מצאו את משוואת המשיק לפונקציה $f(x) = x^4 - 2x$, ששיפועו 2.

(3) מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה $f(x) = x^3 + 1$, בנקודה $x = 0$.

(4) מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה $f(x) = \frac{x^3 + 3x - 1}{x^2 - 2}$, בנקודה $x_1 = 1$.

(5) שיפוע המשיק לפונקציה $f(x) = \frac{2}{ax+3}$, בנקודה $y = 2$, הוא -4 .
מצאו את ערכו של הפרמטר a ואת משוואת המשיק.

(6) מצאו את משוואות המשיקים לפונקציה $f(x) = \frac{1}{3x^3}$, היוצרים זווית של 135° עם הכיוון החיובי של ציר ה- x .

(7) מצאו את משוואת המשיק לפונקציה $f(x) = \frac{4}{\sqrt{x}-1}$, ששיפועו -2.

(8) מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה $f(x) = \frac{x-3}{\sqrt{x^2-x+2}}$, בנקודה $x_1 = 2$.

(9) שיפוע המשיק לגרף הפונקציה $f(x) = \frac{a}{\sqrt{bx-1}}$, בנקודה $(1,6)$, הוא -6 .
מצאו את ערכי הפרמטרים a ו- b , ואת משוואת המשיק.

(10) נתונה הפונקציה $y = e^{2x} + 3ex$, והעבירו לה משיק בנקודה $x = 2$.
מצאו את משוואת המשיק.

11 מצאו את משוואת המשיק לפונקציה $f(x) = e^{2x} + xe^{-x}$ בנקודה $x = 0$.

12 מצאו את משוואות המשיקים לפונקציה $f(x) = (e+1)e^x - e^{2x}$ בנקודות החיתוך של הפונקציה עם הישר $y = e$.

13 לפונקציה $g(x) = \frac{\ln x^2}{x}$ העבירו משיק בנקודה שבה $x = e^2$. מצאו את משוואת המשיק.

14 מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה $y = x \cdot \ln(x^2 + 1)$ בנקודה $x = 1$.

15 הגרפים של $f(x) = \ln x$ ו- $g(x) = 1 - x$ נחתכים בנקודה A, ברביע הראשון. בנקודה A העבירו משיק. מצאו את משוואת המשיק והוכיחו שהמשיק עובר דרך ראשית הצירים.

16 מצאו את משוואת המשיק למעגל $x^2 + y^2 = 25$ בנקודה $(3, 4)$.

17 מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה $xy^2 + y - x = xy$ בנקודה $(1, 1)$.

18 מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה $x^2y + e^{y^2-4x} = \ln x + 1$ בנקודה $(1, 2)$, הנמצאת על גרף הפונקציה.

19 מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה $\sqrt{xy+y} + x^2y = xy^2$ בנקודה $(1, 2)$, הנמצאת על גרף הפונקציה.

20 מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה $e^{xy^2} + y = y^2 - 1$ בנקודה $(0, 2)$, הנמצאת על גרף הפונקציה.

(21) נתונה הפונקציה הסתומה $x + y \cdot e^y = xy^2 + x^2$.

א. מצאו את הנקודות על גרף הפונקציה, בהן $y = 0$.

ב. מצאו את משוואת הישרים המשיקים של גרף הפונקציה, בנקודות שנמצאו בסעיף א.

תשובות סופיות

(1) $y = 24x + 22$

(2) $y = 2x - 3$

(3) $y = 1$

(4) $y = -12x + 9$

(5) $a = 2, y = -4x - 2$

(6) $y = -x + 1\frac{1}{3}, y = -x - 1\frac{1}{3}$

(7) $y = -2x + 8$

(8) $y = \frac{11}{16}x - \frac{30}{16}$

(9) $a = 6, b = 2, y = -6x + 12$

(10) $y = (2e^4 + 3e)x - 3e^4$

(11) $y = 3x + 1$

(12) $y = (-e^2 + e)x + e^2, y = (e - 1)x + e$

(13) $y = -\frac{2}{e^4}x + \frac{6}{e^2}$

(14) $y = (\ln 2 + 1)x - 1$

(15) $y = \frac{1}{e}x$

(16) $y = -\frac{3}{4}x + \frac{25}{4}$

(17) $y = \frac{1}{2}x + \frac{1}{2}$

(18) $y = \frac{1}{5}x + 1\frac{4}{5}$

(19) $y = \frac{1}{5}x + 1\frac{5}{6}$

(20) $y = \frac{4}{3}x + 2$

(21) א. $(0, 0), (1, 0)$ ב. בראשית הצירים: $y = -x$, המשוואה השנייה: $y = x - 1$.

הנורמל

שאלות

- (1) מצאו את משוואת הישר, הנורמל לגרף הפונקציה $f(x) = \sqrt{2x-2}$, בנקודה $(3, 2)$.
- (2) מצאו את משוואת הנורמל לגרף הפונקציה $f(x) = x^4$, המאונך לישר העובר דרך הנקודות $(5, 0)$ ו- $(2, 4)$.
- (3) משוואת נורמל לגרף הפונקציה $f(x) = x^3 - 2x^2 + 1$, בנקודה מסוימת, היא $4y + x = 6$. מצאו את הנקודה.

תשובות סופיות

- (1) $y = -2x + 8$
- (2) $y = -\frac{1}{4}x + \frac{5}{4}$
- (3) $(2, 1)$

זווית שבין שתי עקומות

שאלות

(1) מצאו את הזווית בין הפונקציות $y = f(x) = x^2$ ו- $y = g(x) = \frac{1}{x}$.

(2) מצאו את הזווית בין המעגל $x^2 + y^2 = 8$ והפרבולה $y^2 = 2x$.

(3) הוכיחו שהאליפסה $x^2 + 2y^2 = 8$ וההיפרבולה $x^2 - y^2 = 2$ נחתכות בזווית ישרה.

תשובות סופיות

(1) 71.57°

(2) 71.56°

(3) שאלת הוכחה.

נוסחת הקירוב הלינארי – דיפרנציאל שלם

שאלות

(1) חשבו בקירוב, בעזרת נוסחת הקירוב הלינארית, את הגדלים הבאים:
 $\sqrt{5}, \sqrt{8}, \sqrt{27}$

(2) חשבו בקירוב, בעזרת נוסחת הקירוב הלינארית, את הגדלים הבאים:
 $\ln 2, \sqrt[3]{9}$

תשובות סופיות

$$\sqrt{5} \approx 2.25, \sqrt{8} \approx 2\frac{5}{6}, \sqrt{27} = 5\frac{1}{5} \quad (1)$$

$$\ln 2 \approx 1, \sqrt[3]{9} \approx 2\frac{1}{12} \quad (2)$$

חדוא 1

פרק 14 - כלל לופיטל

תוכן העניינים

1. גבול מהצורה אפס חלקי אפס ואינסוף חלקי אינסוף..... 177
2. גבול מהצורה אפס כפול אינסוף..... 180
3. גבול מהצורה אינסוף פחות אינסוף..... 181
4. גבול מהצורה אחד בחזקת אינסוף..... 182
5. מקרים בהם כלל לופיטל נכשל..... 183

גבול מהצורה אפס חלקי אפס ואינסוף חלקי אינסוף

שאלות

גבולות מהצורה $\frac{0}{0}$ ו- $\frac{\infty}{\infty}$

חשבו את הגבולות הבאים (ביטויים רציונאליים):

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^n - x}{x - 1} \quad (3) \quad \lim_{x \rightarrow -5} \frac{2x^2 - 50}{2x^2 + 3x - 35} \quad (2) \quad \lim_{x \rightarrow 3} \frac{x^2 - x - 6}{x^2 - 9} \quad (1)$$

חשבו את הגבולות הבאים (ביטויים אי-רציונאליים):

$$\lim_{x \rightarrow 3} \frac{\sqrt{x^2 + 7} - 4}{\sqrt{x - 2} - 1} \quad (6) \quad \lim_{x \rightarrow 4} \frac{\sqrt{2x + 1} - \sqrt{x + 5}}{x - 4} \quad (5) \quad \lim_{x \rightarrow 3} \frac{x - 3}{\sqrt{x + 1} - 2} \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{1 - \frac{3}{x}} - 1}{\frac{1}{x}} \quad (8) \quad \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt[3]{2x^2 - 1} - \sqrt{x}}{x - 1} \quad (7)$$

חשבו את הגבולות הבאים (פונקציות חזקות):

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{a^x - b^x}{x} \quad (a, b > 0) \quad (10) \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1}{x} \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{2e^x - x^2 - 2x - 2}{2x^3} \quad (12) \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - x - 1}{x^2} \quad (11)$$

חשבו את הגבולות הבאים (פונקציות לוגריתמיות):

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln^2(x + 1) + x}{x} \quad (15) \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln\left(\frac{x^2 + 1}{x^2 - 1}\right)}{\frac{1}{x^2}} \quad (14) \quad \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\ln x - x + 1}{x^2 - 2x + 1} \quad (13)$$

חשבו את הגבולות הבאים (פונקציות טריגונומטריות):

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(ax)}{\sin(bx)} \quad (18)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(ax^2)}{bx^2} \quad (17)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x}{x} \quad (16)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\tan x - \sin x}{x^3} \quad (20)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x - \sin x}{x^3} \quad (19)$$

חשבו את הגבולות הבאים (שאלות משולבות):

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos(1 - \cos x)}{x^4} \quad (22)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{1 + \sin x} - \sqrt{\cos x}}{x} \quad (21)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin^2 x - \sin(x^2)}{x^4} \quad (24)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x \sin x - x(1 + x)}{x^3} \quad (23)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\arctan(x^2 + 3x)}{\arcsin(x^2 - 4x)} \quad (26)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln(\cos x^2)}{x^4} \quad (25)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{\sinh x} \quad (28)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \tanh x \quad (27)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x^2 + 1}{2x^2 + x + 3} \quad (30)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \cosh x - 2}{1 - \cos 2x} \quad (29)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x + x + 1}{e^x} \quad (32)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{e^x}{x} \quad (31)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{\ln(\sin x)}{\ln(\tan x)} \quad (34)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(\ln x)^2 + 2 \ln x - 3}{x} \quad (33)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{e^{\frac{1}{x}}}{x} \quad (35)$$

תשובות סופיות

$\frac{1}{6}$ (5	4 (4	$n-1$ (3	$\frac{20}{17}$ (2	$\frac{5}{6}$ (1
$\ln \frac{a}{b}$ (10	1 (9	$-\frac{3}{2}$ (8	$\frac{5}{6}$ (7	$\frac{3}{2}$ (6
1 (15	2 (14	$-\frac{1}{2}$ (13	$\frac{1}{6}$ (12	$\frac{1}{2}$ (11
$\frac{1}{2}$ (20	$\frac{1}{6}$ (19	$\frac{a}{b}$ (18	$\frac{a}{b}$ (17	1 (16
$-\frac{1}{2}$ (25	$-\frac{1}{3}$ (24	$\frac{1}{3}$ (23	$\frac{1}{8}$ (22	$\frac{1}{2}$ (21
$\frac{1}{2}$ (30	$\frac{2}{3}$ (29	1 (28	1 (27	$-\frac{3}{4}$ (26
0 (35	∞ (34	0 (33	∞ (32	$\frac{1}{2}$ (31

גבול מהצורה אפס כפול אינסוף

גבולות מהצורה $\infty \cdot 0$

חשבו את הגבולות הבאים:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x^2 e^{-x} \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} \cdot e^x \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \tan x \cdot \ln x \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{x} \cdot \ln x \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} x \cdot \ln x \quad (6)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1 - \cos x) \cot x \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x \cdot \ln \left(\frac{x+3}{x-3} \right) \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow 3^+} (x^2 - 9) \cdot \ln(x - 3) \quad (7)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{5}{x}} - 1 \right] \quad (9)$$

תשובות סופיות

0 (5)	0 (4)	0 (3)	0 (2)	∞ (1)
	$\frac{5}{2}$ (9)	6 (8)	0 (7)	0 (6)

גבול מהצורה אינסוף פחות אינסוף

שאלות

גבולות מהצורה $\infty - \infty$

חשבו את הגבולות הבאים :

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\sin x} - \frac{1}{x} \right) \quad (1)$$

$$\lim_{x \rightarrow 1} \left(\frac{1}{\ln x} - \frac{1}{x-1} \right) \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} [\ln(3x) - \ln(\sin 5x)] \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \sqrt{x^2 + x + 1} - x \quad (4)$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \sqrt{x^2 + x + 1} + x \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\sqrt[6]{x^6 + x^5} - \sqrt[6]{x^6 - x^5} \right) \quad (6)$$

תשובות סופיות

$$0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \quad (2)$$

$$\ln \frac{3}{5} \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \quad (4)$$

$$-\frac{1}{2} \quad (5)$$

$$\frac{1}{3} \quad (6)$$

גבול מהצורה אחד בחזקת אינסוף

שאלות

גבולות מהצורה: $1^{\pm\infty}$, $0^{\pm\infty}$, ∞^0

חשבו את הגבולות הבאים:

$\lim_{x \rightarrow 2^+} (2x-4)^{x-2}$ (3	$\lim_{x \rightarrow 0^+} (ax)^x, (a > 0)$ (2	$\lim_{x \rightarrow 1} x^{\frac{1}{x-1}}$ (1
$\lim_{x \rightarrow 0} (1 + \tan 3x)^{\frac{1}{x}}$ (6	$\lim_{x \rightarrow 0^+} x^{\sin x}$ (5	$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{x^2+1}{x^2-1} \right)^{x^2}$ (4
$\lim_{x \rightarrow 0^+} (\sin x)^{\tan x}$ (9	$\lim_{x \rightarrow 0} (\cos x^2)^{\frac{1}{x^4}}$ (8	$\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{\tan x}{x} \right)^{\frac{1}{x^2}}$ (7
$\lim_{x \rightarrow 0^+} (x + \sin x)^{\tan x}$ (12	$\lim_{x \rightarrow 0} (x+1)^{\cot x}$ (11	$\lim_{x \rightarrow 0^+} x^{\tan x}$ (10
	$\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{\sin x}{x} \right)^{\frac{1}{x^2}}$ (14	$\lim_{x \rightarrow 0^+} (1+x^2)^{\cot^2 x}$ (13

תשובות סופיות

e^2 (5	1 (4	1 (3	1 (2	e (1
1 (10	$e^{-1/2}$ (9	$e^{1/3}$ (8	e^3 (7	1 (6
	e (14	1 (13	e (12	1 (11

מקרים בהם כלל לופיטל נכשל

שאלות

כל אחד מהגבולות הבאים הוא מן הסוג $\left[\frac{\infty}{\infty} \right]$.

הראו זאת והסבירו מדוע, למרות כך, כלל לופיטל אינו ישים. לבסוף, חשבו את הגבול.

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x + \sin x}{4x + \cos x} \quad (3)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{16^x + 4^{x+1}}{2^{4x+2} + 2^{x+3}} \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{x^2 + 1}}{x} \quad (1)$$

תשובות סופיות

$$\frac{3}{4} \quad (3)$$

$$\frac{1}{4} \quad (2)$$

$$1 \quad (1)$$

חדוא 1

פרק 15 - חקירת פונקציה

תוכן העניינים

184	1. מושגי יסוד
185	2. חקירת פולינום
186	3. חקירת פונקציה רציונלית
190	4. חקירת פונקציה מעריכית
193	5. חקירת פונקציה לוגריתמית
197	6. חקירת פונקציה עם שורשים
198	7. חקירת פונקציה לא גזירה - שורש וערך מוחלט
201	8. חקירת פונקציה טריגונומטרית
205	9. חקירת פונקציות טריגונומטריות הפוכות
207	10. חקירת פונקציה – שאלות כלליות
212	11. הוכחת אי שוויונות בעזרת חקירת פונקציה

הערות

1. בשאלות החקירה בפרק זה יש לחקור לפי השלבים הבאים :
 - תחום הגדרה ורציפות.
 - נקודות חיתוך עם הצירים.
 - זוגיות ואי-זוגיות.
 - אסימפטוטות אנכיות, אופקיות ומשופעות.
 - תחומי עלייה וירידה.
 - נקודות קיצון.
 - תחומי קמירות וקעירות.
 - נקודות פיתול.
 - שרטוט סקיצה של גרף הפונקציה.
2. יש האומרים על פונקציה קמורה שהיא קעורה כלפי מעלה ועל פונקציה קעורה שהיא קעורה כלפי מטה. אלה מינוחים שמקובלים בדרך כלל בתיכון.
3. ברוב המוסדות האקדמיים לומדים למצוא אסימפטוטה משופעת, שכוללת בתוכה גם את האפשרות לאסימפטוטה אופקית. יחד עם זאת, בחלק מהמוסדות לומדים רק אסימפטוטה אופקית, ולכן בכל חקירה אני מוצא גם אסימפטוטה משופעת וגם אופקית. צפו בפתרון רק בחלק ברלוונטי עבורכם.
4. בחלק מהחקירות אציין בשאלה שאין צורך לעבור על כל שלבי החקירה. שימו לב לזה.
5. אני ממליץ על תוכנה חינוכית בשם Graph, שניתן להוריד [מכאן](#). בעזרתה תוכלו לשרטט כל פונקציה בקלות ולבדוק את תשובותיכם.

חקירת פולינום

שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

$$f(x) = x^4 - 2x^3 \quad (2)$$

$$f(x) = x(x-9)^2 \quad (1)$$

תשובות סופיות

(1) תחום הגדרה: כל x . נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0 , עם ציר ה- x : 0 ו- 9 .

נקודות קיצון: מינימום: $(9, 0)$, מקסימום: $(3, 108)$.

תחום עלייה: $x > 9$ or $x < 3$, ירידה: $3 < x < 9$.

תחום קמירות: $x > 6$, קעירות: $x < 6$.

נקודת פיתול: $(6, 54)$.

(2) תחום הגדרה: כל x . נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0 , עם ציר ה- x : 0 ו- 2 .

נקודות קיצון: מינימום: $\left(1.5, \frac{-27}{16}\right)$.

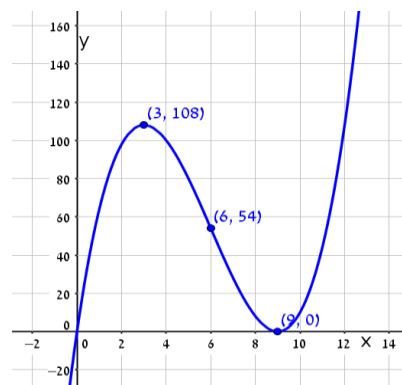
תחום עלייה: $x > 1.5$, ירידה: $x < 1.5$.

תחום קמירות: $x > 1$ or $x < 0$, קעירות: $0 < x < 1$.

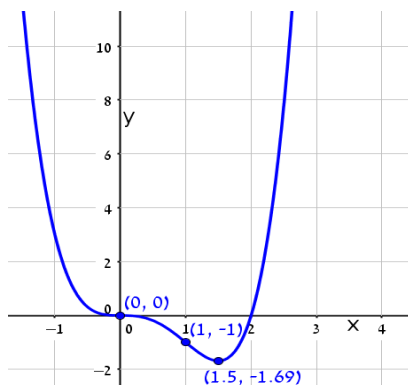
נקודות פיתול: $(0, 0)$, $(1, -1)$.

גרפים

(1)



(2)



חקירת פונקציה רציונלית

שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

$$f(x) = \frac{2x^2}{(x+1)^2} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{x-1}{x^2} \quad (1)$$

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

$$f(x) = \frac{x^3}{x^2-4} \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{x^2-1}{(x-2)(x-5)} \quad (6)$$

$$f(x) = \left(\frac{x+1}{x-1}\right)^3 \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{x^3-x^2}{x^2-1} \quad (8)$$

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

הערות

1. בשאלה 6 יש למצוא נקודת פיתול, רק אם למדת לפתור משוואה ממעלה שלישית.
2. בשאלה 7 יש למצוא נקודת פיתול, רק אם למדת לפתור משוואות בדרך נומרית. למשל, בשיטת ניוטון-רפסון.
3. בשאלה 8 מצאתי רק אסימפטוטה אופקית ולא משופעת. מומלץ למצוא גם אסימפטוטה משופעת. פונקציה כמעט זהה יש בסרטון ההסבר על אסימפטוטה משופעת. בכל אופן מקבלים שם אסימפטוטה משופעת $y = x - 1$.

תשובות סופיות

- (1) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq 0$. זוגיות: לא זוגית ולא אי-זוגית (כללית).
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : 1.
אסימפטוטה אנכית: הישר $x=0$, משופעת ואופקית: הישר $y=0$ ב- $\pm\infty$.
נקודות קיצון: מקסימום: $(2, 0.25)$. נקודת פיתול: $(3, \frac{2}{9})$.
תחום עלייה: $0 < x < 2$, ירידה: $x > 2$ or $x < 0$.
תחום קמירות: $x > 3$, קעירות: $0 < x < 3$ or $x < 0$.
- (2) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq -1$. זוגיות: לא זוגית ולא אי-זוגית (כללית).
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0, עם ציר ה- x : 0.
אסימפטוטה אנכית: הישר $x=-1$, משופעת ואופקית: הישר $y=2$ ב- $\pm\infty$.
נקודות קיצון: מינימום: $(0, 0)$. נקודת פיתול: $(\frac{1}{2}, \frac{2}{9})$.
תחום עלייה: $x < -1$ or $x > 0$, ירידה: $-1 < x < 0$.
תחום קמירות: $-1 < x < \frac{1}{2}$ or $x < -1$, קעירות: $x > \frac{1}{2}$.
- (3) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq \pm 2$. זוגיות: אי-זוגית (סימטרית ביחס לראשית).
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0, עם ציר ה- x : 0.
אסימפטוטה אנכית: הישרים $x=2$, $x=-2$, משופעת: הישר $y=x$ ב- $\pm\infty$,
אופקית: אין.
נקודות קיצון: מינימום: $(-\sqrt{12}, -\sqrt{27})$, מקסימום: $(\sqrt{12}, \sqrt{27})$.
תחום עלייה: $x < -\sqrt{12}$ or $x > \sqrt{12}$, ירידה: $-\sqrt{12} < x < \sqrt{12}$, $x \neq \pm 2$.
נקודת פיתול: $(0, 0)$.
תחום קמירות: $-2 < x < 0$ or $x > 2$, קעירות: $0 < x < 2$ or $x < -2$.
- (4) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq -1$. זוגיות: לא זוגית ולא אי-זוגית (כללית).
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0, עם ציר ה- x : 0.
אסימפטוטה אנכית: הישר $x=-1$, משופעת: הישר $y=x-2$ ב- $\pm\infty$,
אופקית: אין, כי הפונקציה רציונלית, שבה מעלת המונה גדולה ממעלת המכנה.
נקודות קיצון: מקסימום: $(-3, -\frac{27}{4})$.
תחום עלייה: $x < -3$ or $x > -1$, ירידה: $-3 < x < -1$.
נקודת פיתול: $(0, 0)$.
תחום קמירות: $x > 0$, קעירות: $-1 < x < 0$ or $x < -1$.

(5) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq 1$. זוגיות: לא זוגית ולא אי-זוגית (כללית).

נקודות חיתוך עם ציר ה- y : -1 , עם ציר ה- x : -1 .

אסימפטוטה אנכית: הישר $x=1$, משופעת ואופקית: הישר $y=1$ ב- $\pm\infty$.

נקודות קיצון: אין; הפונקציה יורדת בכל תחום הגדרתה.

נקודות פיתול: $(-1, 0)$, $\left(-3, \frac{1}{8}\right)$.

תחום קמירות: $-3 < x < -1$ & $x > 1$, קעירות: $-1 < x < 1$ or $x < -3$.

(6) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq 2$, $x \neq 5$. זוגיות: כללית.

נקודות חיתוך עם ציר ה- y : $y = -\frac{1}{10}$, עם ציר ה- x : ± 1 .

אסימפטוטה אנכית: הישרים $x=2$, $x=5$, משופעת ואופקית: הישר $y=1$ ב- $\pm\infty$.

נקודות קיצון: מקסימום: $(2.78, -3.88)$, מינימום: $(0.36, -0.11)$.

תחום עלייה: $0.36 < x < 2$ or $2 < x < 2.78$,

ירידה: $x < 0.36$ or $2.78 < x < 5$ or $x > 5$. נקודת פיתול: $(-1, 0)$.

תחום קמירות: $-1 < x < 2$ or $x > 5$, קעירות: $2 < x < 5$ or $x < -1$.

(7) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq \pm 2$. זוגיות: כללית.

נקודות חיתוך עם ציר ה- y : $y = -\frac{3}{4}$, עם ציר ה- x : $x=1$, $x=3$.

אסימפטוטה אנכית: הישרים $x=2$, $x=-2$, משופעת ואופקית: הישר $y=1$ ב- $\pm\infty$.

נקודות קיצון: אין; כי למשוואה הריבועית שקיבלנו אין פתרון.

תחום עלייה: הפונקציה עולה בכל תחום הגדרתה.

נקודת פיתול: $(0.85, -0.09)$.

תחום קמירות: $0.85 < x < 2$ or $x < -2$, קעירות: $-2 < x < 0.85$ or $x > 2$.

(8) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq 1$, $x \neq -1$.

נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0 , עם ציר ה- x : 0 .

אסימפטוטה אופקית: אין, אנכית: הישר $x=-1$.

נקודות קיצון: מקסימום: $(-2, -4)$, מינימום: $(0, 0)$.

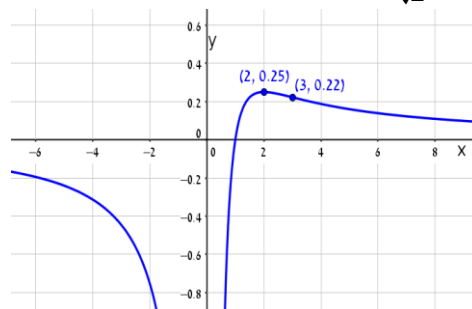
תחום עלייה: $x < -2$ or $0 < x < 1$ or $x > 1$, ירידה: $-1 < x < 0$ or $-2 < x < -1$.

נקודת פיתול: אין.

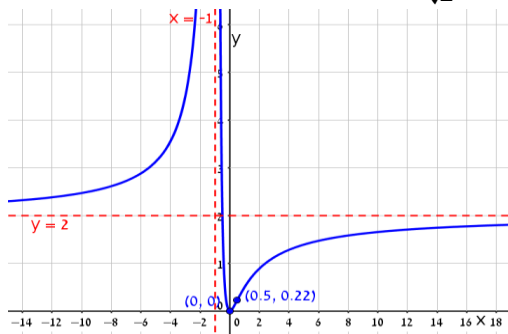
תחום קמירות: $-1 < x < 1$ or $x > 1$, קעירות: $x < -1$.

גרפים

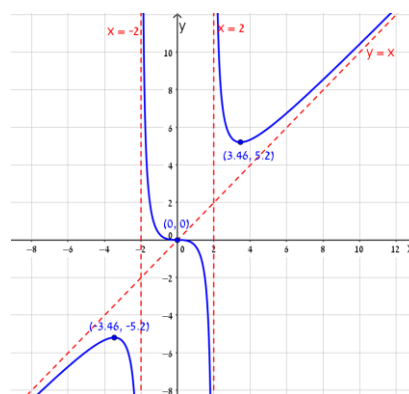
(1)



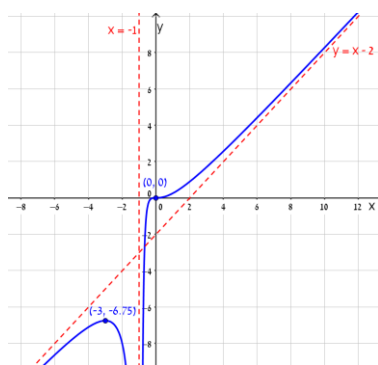
(2)



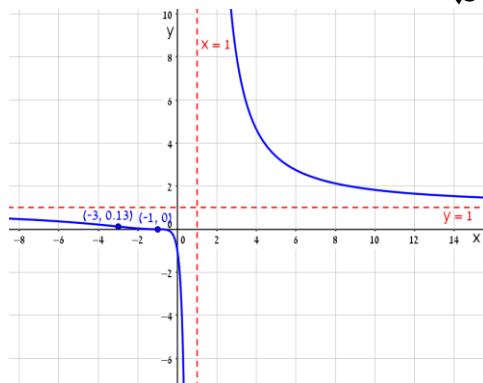
(3)



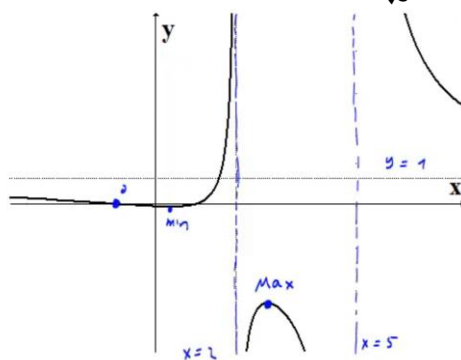
(4)



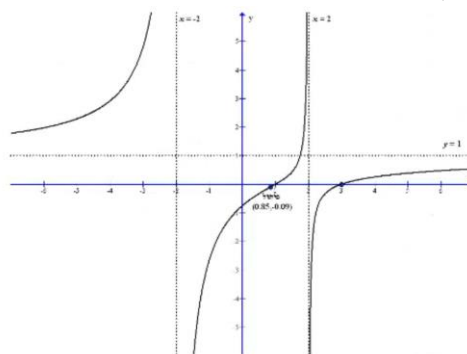
(5)



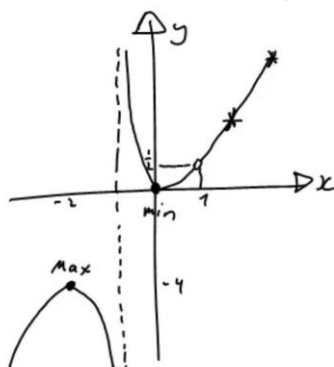
(6)



(7)



(8)



חקירת פונקציה מעריכית

שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה :

$$f(x) = x - e^x \quad (1)$$

$$f(x) = e^{\frac{1}{x}} \quad (2)$$

$$f(x) = (x+2) \cdot e^{\frac{1}{x}} \quad (3)$$

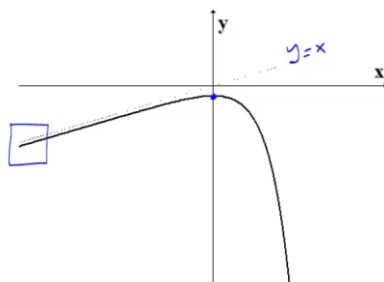
$$f(x) = x \cdot e^{-2x^2} \quad (4)$$

תשובות סופיות

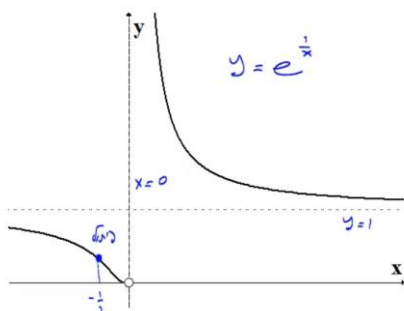
- (1) תחום הגדרה ורציפות: לכל x . זוגיות: כללית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : -1 , עם ציר ה- x : אין (ראו בהרחבה בסרטון).
אסימפטוטה אנכית: אין, משופעת: הישר $y = x$ ב- $-\infty$ בלבד.
נקודות קיצון: מקסימום: $(0, -1)$. תחום עלייה: $x < 0$, ירידה: $x > 0$.
נקודת פיתול: אין. תחום קמירות: קעורה לכל x .
(2) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq 0$. זוגיות: כללית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : אין.
אסימפטוטה אנכית (חד-צדדית): $x = 0$, משופעת ואופקית: הישר $y = 1$ ב- $\pm\infty$.
נקודות קיצון: אין.
תחום עלייה וירידה: הפונקציה יורדת בתחום הגדרתה.
נקודת פיתול: $(-0.5, e^{-2})$.
תחום קמירות: $x > 0$ or $-0.5 < x < 0$, תחום קעירות: $x < -0.5$.
(3) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq 0$. זוגיות: כללית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : -2 .
אסימפטוטה אנכית (חד-צדדית): $x = 0$, משופעת: הישר $y = x + 3$ ב- $\pm\infty$.
אופקית: אין. נקודות קיצון: מקסימום: $(-1, e^{-1})$, מינימום: $(2, 4e^{\frac{1}{2}})$.
תחום עלייה: $x > 2$ or $x < -1$, ירידה: $-1 < x < 0$ or $0 < x < 2$.
נקודת פיתול: $(-0.4, 1.6e^{-2.5})$.
תחום קמירות: $x > 0$ or $-0.4 < x < 0$, תחום קעירות: $x < -0.4$.
(4) תחום הגדרה ורציפות: לכל x . זוגיות: אי-זוגית (סימטרית ביחס לראשית).
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0 , עם ציר ה- x : 0 .
אסימפטוטה אנכית: אין, משופעת (אופקית): הישר $y = 0$ ב- $\pm\infty$.
נקודות קיצון: מקסימום: $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}e^{-\frac{1}{2}})$, מינימום: $(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}e^{-\frac{1}{2}})$.
תחום עלייה: $-\frac{1}{2} < x < \frac{1}{2}$, ירידה: $x > \frac{1}{2}$ or $x < -\frac{1}{2}$.
נקודות פיתול: $(0, 0)$, $(-\sqrt{\frac{3}{4}}, -\sqrt{\frac{3}{4}}e^{-1.5})$, $(\sqrt{\frac{3}{4}}, \sqrt{\frac{3}{4}}e^{-1.5})$.
תחום קמירות: $x > \sqrt{\frac{3}{4}}$ or $-\sqrt{\frac{3}{4}} < x < 0$, תחום קעירות:
 $x < -\sqrt{\frac{3}{4}}$ or $0 < x < \sqrt{\frac{3}{4}}$.

גרפים

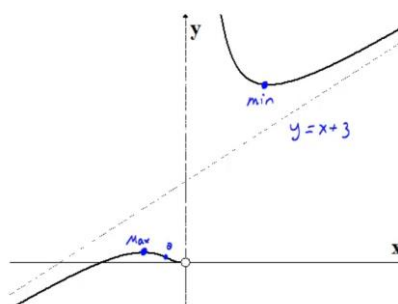
(1)



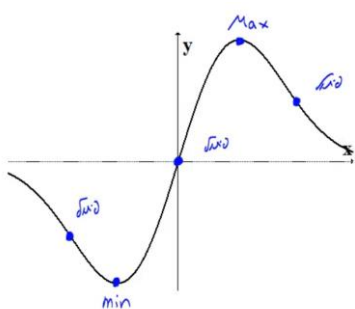
(2)



(3)



(4)



חקירת פונקציה לוגריתמית

שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה :

$$f(x) = \frac{\ln x}{x} \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{\ln x}{\sqrt{x}} \quad (2)$$

$$f(x) = \ln \sqrt{\frac{1}{2-x}} \quad (3)$$

$$f(x) = x \cdot \ln x \quad (4)$$

$$f(x) = \ln^2 x + 2 \ln x - 3 \quad (5)$$

$$f(x) = 4 \ln^2 x - 4 \ln x - 3 \quad (6)$$

$$f(x) = \ln^2 x + \frac{1}{\ln^2 x} \quad (7)$$

הערה

בשאלה 7 יש למצוא נקודת פיתול רק אם למדת לפתור משוואות בדרך נומרית. למשל, בשיטת ניוטון-רפסון.

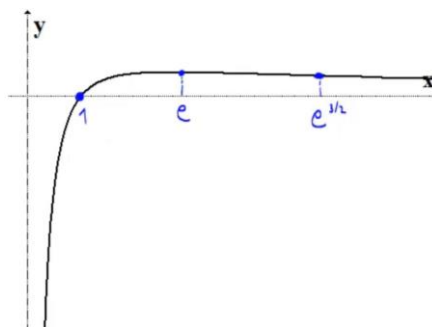
תשובות סופיות

- (1) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x > 0$. זוגיות: כללית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : 1.
 אסימפטוטה אנכית: הישר $x = 0$, משופעת ואופקית: הישר $y = 0$ ב- ∞ .
 נקודות קיצון: מקסימום: $\left(e, \frac{1}{e}\right)$.
 תחום עלייה: $0 < x < e$, ירידה: $x > e$.
 נקודת פיתול: $\left(e^{1.5}, \frac{1.5}{e^{1.5}}\right)$.
 תחום קמירות: $x > e^{1.5}$, קעירות: $0 < x < e^{1.5}$.
- (2) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x > 0$. זוגיות: כללית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : 1.
 אסימפטוטה אנכית (חד-צדדית): הישר $x = 0$,
 משופעת ואופקית: הישר $y = 0$ ב- ∞ .
 נקודות קיצון: מקסימום: $\left(e^2, \frac{2}{e}\right)$.
 תחום עלייה: $0 < x < e^2$, ירידה: $x > e^2$.
 נקודת פיתול: $\left(e^{\frac{8}{3}}, \frac{\frac{8}{3}}{\sqrt[8]{e^3}}\right)$. תחום קמירות: $0 < x < e^{\frac{8}{3}}$, קעירות: $x > e^{\frac{8}{3}}$.
- (3) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x < 2$. זוגיות: כללית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : $y = -\frac{1}{2} \ln 2$, עם ציר ה- x : 1.
 אסימפטוטה אנכית: הישר $x = 2$, משופעת: אין.
 נקודות קיצון: אין.
 תחום עלייה: עולה בכל תחום הגדרתה.
 נקודת פיתול: אין. קמורה בכל תחום הגדרתה.
- (4) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x > 0$. זוגיות: כללית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : 1.
 אסימפטוטה אנכית: אין, משופעת: אין.
 נקודות קיצון: מינימום: $(e^{-1}, -e^{-1})$.
 תחום עלייה: $x > e^{-1}$, ירידה: $0 < x < e^{-1}$.
 נקודת פיתול: אין. קמורה בכל תחום הגדרתה.

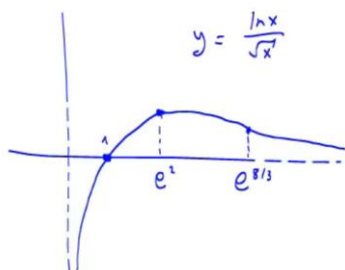
- (5) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x > 0$. זוגיות: כללית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : $x = e^1$, $x = e^{-3}$.
 אסימפטוטה אנכית: $x = 0$, משופעת ואופקית: אין.
 נקודות קיצון: מינימום: $(e^{-1}, -4)$.
 תחום עלייה: $x > e^{-1}$, ירידה: $0 < x < e^{-1}$.
 נקודת פיתול: $(1, -3)$. תחום קמירות: $x > 1$, קעירות: $0 < x < 1$.
- (6) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x > 0$. זוגיות: כללית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : $x = e^{1.5}$, $x = e^{-0.5}$.
 אסימפטוטה אנכית: $x = 0$, משופעת ואופקית: אין.
 נקודות קיצון: מינימום: $(e^{\frac{1}{2}}, -4)$.
 תחום עלייה: $x > e^{\frac{1}{2}}$, ירידה: $0 < x < e^{\frac{1}{2}}$.
 נקודת פיתול: $(e^{1.5}, 0)$. תחום קמירות: $0 < x < 1.5$, קעירות: $x > 1.5$.
- (7) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x > 0$, $x \neq 1$. זוגיות: כללית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : אין, עם ציר ה- x : אין.
 אסימפטוטה אנכית: $x = 1$, משופעת ואופקית: אין.
 נקודות קיצון: מינימום: $(e^{-1}, 2)$, $(e, 2)$.
 תחום עלייה: $e^{-1} < x < 1$ or $x > e$, ירידה: $1 < x < e$ or $x < e^{-1}$.
 נקודת פיתול: $(5.15, 3.06)$.
 תחום קמירות: $1 < x < 5.15$ or $0 < x < 1$, קעירות: $x > 5.15$.

גרפים

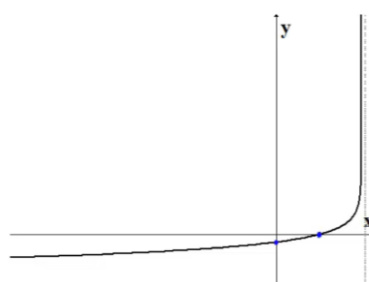
(1)



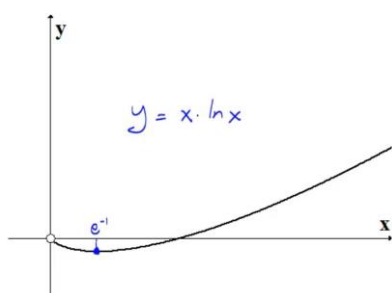
(2)



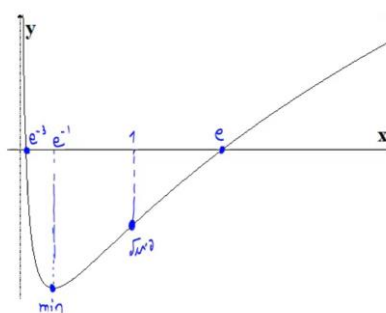
(3)



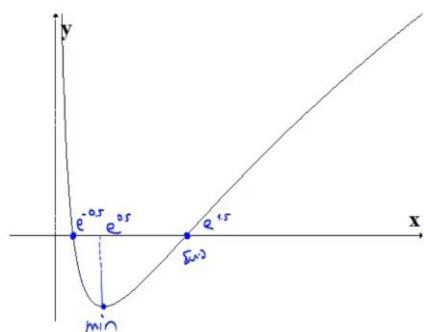
(4)



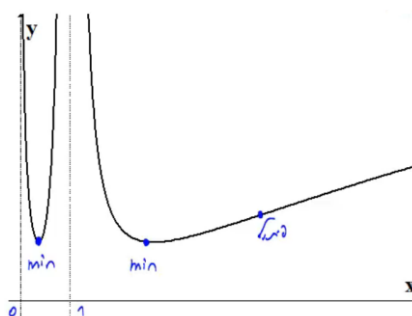
(5)



(6)



(7)



חקירת פונקציה עם שורשים

שאלה

(1) חקור את הפונקציה הבאה חקירה מלאה: $f(x) = \frac{1}{\sqrt{x^2+1}}$.

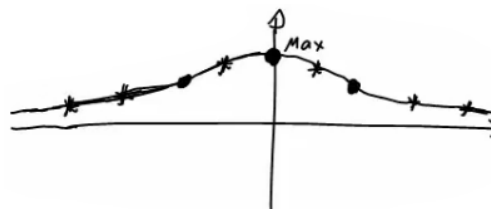
תשובה

- (1) תחום הגדרה ורציפות: לכל x .
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : $y = 1$, עם ציר ה- x : אין.
 אסימפטוטה אנכית: אין, אופקית: $y = 0$.
 נקודות קיצון: מקסימום: $(0,1)$. תחום עלייה: $x < 0$, ירידה: $x > 0$.

נקודות פיתול: $\left(\sqrt{\frac{1}{2}}, \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}}}\right), \left(-\sqrt{\frac{1}{2}}, \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}}}\right)$.

תחום קמירות: $x < -\sqrt{\frac{1}{2}}$ or $x < \sqrt{\frac{1}{2}}$, קעירות: $-\sqrt{\frac{1}{2}} < x < \sqrt{\frac{1}{2}}$.

גרף:



חקירת פונקציה לא גזירה – שורש וערך מוחלט

שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה :

$$f(x) = \sqrt[3]{x^2}(1-x) = x^{\frac{2}{3}} - x^{\frac{5}{3}} \quad (1)$$

$$f(x) = \left(\sqrt[3]{x^2} - 1\right)^2 \quad (2)$$

$$f(x) = \sqrt[3]{x^2 - 1} \quad (3)$$

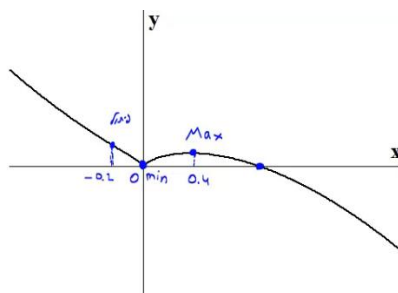
$$f(x) = \frac{|x-3|}{x-2} \quad (4)$$

תשובות סופיות

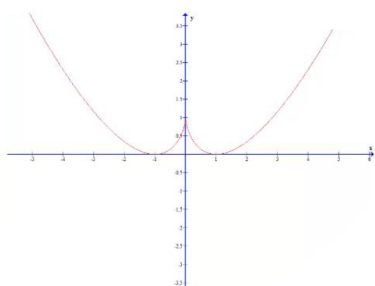
- (1) תחום הגדרה ורציפות: לכל x . זוגיות: כללית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0 , עם ציר ה- x : 0 או 1 .
אסימפטוטה אנכית: אין, אופקית: אין.
נקודות קיצון: מקסימום: $\left(\frac{2}{5}, 0.326\right)$, מינימום: $(0, 0)$.
תחום עלייה: $0 < x < \frac{2}{5}$, ירידה: $x < 0$ or $x > \frac{2}{5}$.
נקודות פיתול: $(-0.2, 0.41)$.
תחום קמירות: $x < -0.2$, קעירות: $-0.2 < x < 0$ or $x > 0$.
- (2) תחום הגדרה ורציפות: לכל x .
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 1 , עם ציר ה- x : -1 או 1 .
אסימפטוטה אנכית: אין, אופקית: אין.
נקודות קיצון: מקסימום: $(0, 1)$, מינימום: $(-1, 0)$.
תחום עלייה: $-1 < x < 0$ or $x > 1$, ירידה: $x < -1$ or $0 < x < 1$.
נקודות פיתול: אין.
תחום קמירות: קמורה לכל x .
תחום הגדרה ורציפות: לכל x . זוגיות: זוגית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : -1 , עם ציר ה- x : ± 1 .
אסימפטוטה אנכית: אין, אופקית: אין.
נקודות קיצון: מינימום: $(0, -1)$.
תחום עלייה: $0 < x < 1$ or $x > 1$, ירידה: $x < -1$ or $-1 < x < 0$.
נקודות פיתול: $(1, 0)$, $(-1, 0)$.
תחום קמירות: $-1 < x < 1$, קעירות: $x > 1$ or $x < -1$.
- (3) תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq 2$. זוגיות: כללית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- y : -1.5 , עם ציר ה- x : 3 .
אסימפטוטה אנכית: הישר $x = 2$,
משופעת ואופקית: הישר $y = 1$ ב- ∞ , ו- $y = -1$ ב- $-\infty$.
נקודות קיצון: מינימום: $(3, 0)$.
תחום עלייה: $x > 3$, ירידה: $2 < x < 3$ or $x < 2$.
נקודות פיתול: $(3, 0)$.
תחום קמירות: $2 < x < 3$, קעירות: $x > 3$ or $x < 2$.

גרפים

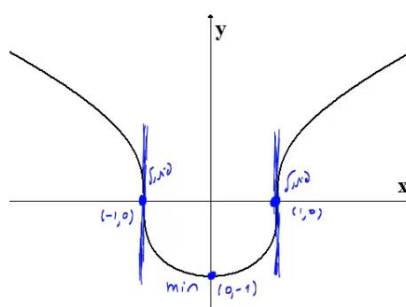
(1)



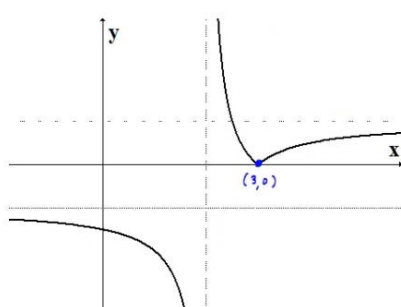
(2)



(3)



(4)



חקירת פונקציה טריגונומטרית

שאלות

(1) נתונה הפונקציה: $f(x) = x + 2\cos x$ בתחום $[0, 2\pi]$.
חקור לפי הסעיפים הבאים:

- מציאת תחום ההגדרה של הפונקציה.
- מציאת נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.
- תחומי עלייה וירידה של גרף הפונקציה.
- מציאת נקודת החיתוך של גרף הפונקציה עם ציר ה- y .
- מציאת אסימפטוטות המקבילות לצירים.
- מציאת נקודות פיתול.
- מציאת תחומי הקעירות כלפי מעלה ומטה.
- שרטוט סקיצה של גרף הפונקציה.

(2) נתונה הפונקציה: $f(x) = 4x - 3\tan x$ בתחום $\left[-\frac{\pi}{6}, \frac{2\pi}{3}\right]$.

- חקור את הפונקציה על פי הסעיפים הבאים:
- מציאת תחום ההגדרה של הפונקציה.
 - מציאת נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.
 - תחומי עלייה וירידה של גרף הפונקציה.
 - מציאת נקודת החיתוך של גרף הפונקציה עם ציר ה- y .
 - מציאת אסימפטוטות אנכיות.
 - מציאת נקודות פיתול.
 - מציאת תחומי קעירות כלפי מעלה ומטה.
 - שרטוט סקיצה של גרף הפונקציה.

(3) נתונה הפונקציה: $f(x) = \frac{1}{\cos x} + \frac{1}{\sin x}$ בתחום $[0, \pi]$.
חקור לפי הסעיפים הבאים:

- מציאת תחום ההגדרה של הפונקציה.
- מציאת נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.
- תחומי עלייה וירידה של גרף הפונקציה.
- מציאת נקודת החיתוך של גרף הפונקציה עם ציר ה- x בתחום הנתון.
- מציאת אסימפטוטות המקבילות לצירים.
- שרטוט סקיצה של גרף הפונקציה.

(4) נתונה הפונקציה: $f(x) = \cos^2 x - \cos x - 2$ בתחום: $0 \leq x \leq 2\pi$.

- מצא את נקודות החיתוך של גרף הפונקציה עם הצירים.
- מצא את נקודות הקיצון של גרף הפונקציה וקבע את סוגן.
- כתוב את תחומי העלייה והירידה של הפונקציה.
- שרטט סקיצה של גרף הפונקציה.

(5) נתונה הפונקציה הבאה: $y = (\sin x + 1) \cdot \cos x$ בתחום: $0 \leq x \leq 1.5\pi$.

- מצא את נקודות החיתוך של גרף הפונקציה עם הצירים.
- מצא את נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.
- שרטט סקיצה של גרף הפונקציה.
- כמה פתרונות יש למשוואה: $\cos x \cdot (\sin x + 1) = 1$ בתחום הנתון?

(6) נתונה הפונקציה: $f(x) = \sin^2 x + \cos x - 1$.

- מצא את נקודות החיתוך עם הצירים ואת נקודות הקיצון של הפונקציה בתחום $[0, \pi]$.
- הוכח שהפונקציה זוגית.
- שרטט את הפונקציה בתחום $[-\pi, \pi]$.

(7) נתונה הפונקציה: $f(x) = \tan 2x - 8 \sin 2x$ בתחום: $-0.25\pi < x < 0.25\pi$.

- מצא את נקודות החיתוך של גרף הפונקציה עם הצירים בתחום הנתון.
- כתוב את האסימפטוטות האנכיות של גרף הפונקציה.
- מצא את נקודות הקיצון של גרף הפונקציה בתחום הנתון.
- שרטט סקיצה של גרף הפונקציה בתחום הנתון.

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

(8) $f(x) = 8 \cos x + 2 \cos 2x - 3$, $[0, 2\pi]$,

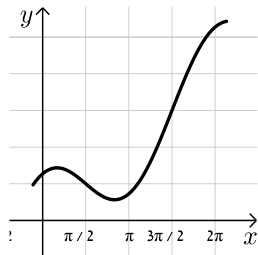
(9) $f(x) = 2 \cos^2 x - \sin 2x$, $[0, \pi]$,

תשובות סופיות

(1) א. $0 < x < 2\pi$.

ב. $\max(2\pi, 2\pi + 2)$ קצה, $\min\left(\frac{5}{6}\pi, \frac{5}{6}\pi - \sqrt{3}\right)$, $\max\left(\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{6} + \sqrt{3}\right)$, $\min(0, 2)$ קצה.

ג. תחומי עלייה: $\frac{5\pi}{6} < x < 2\pi$ או $0 < x < \frac{\pi}{6}$, תחומי ירידה: $\frac{\pi}{6} < x < \frac{5\pi}{6}$.



ד. $(0, 2)$. ה. אין. ו. $\left(\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right), \left(\frac{3\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}\right)$.

ז. קעירות כלפי מעלה: $\frac{\pi}{2} < x < \frac{3\pi}{2}$,

קעירות כלפי מטה: $0 < x < \frac{\pi}{2}$ או $\frac{3\pi}{2} < x < 2\pi$.

(2) א. $-\frac{\pi}{6} \leq x \leq \frac{2}{3}\pi$ וגם $x \neq \frac{\pi}{2}$.

ב. $\min\left(\frac{2}{3}\pi, 13.57\right)$ קצה, $\max\left(\frac{\pi}{6}, 0.36\right)$, $\min\left(-\frac{\pi}{6}, -0.36\right)$ קצה.

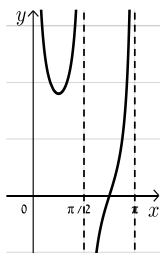
ג. תחומי עלייה: $-\frac{\pi}{6} \leq x \leq \frac{\pi}{6}$, תחומי ירידה: $\frac{\pi}{6} \leq x \leq \frac{2}{3}\pi$ וגם $x \neq \frac{\pi}{2}$.



ד. $(0, 0)$. ה. אנכית: $x = \frac{\pi}{2}$. ו. $(0, 0)$.

ז. קעירות כלפי מעלה: $\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{2}{3}\pi$ או $-\frac{\pi}{6} \leq x \leq 0$,

קעירות כלפי מטה: $0 < x < \frac{\pi}{2}$.

(3) א. $0 < x < \frac{\pi}{2}$; $\frac{\pi}{2} < x < \pi$. ב. $\min\left(\frac{\pi}{4}, 2\sqrt{2}\right)$.

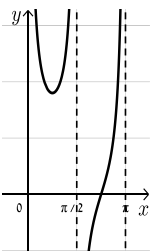
ג. תחומי עלייה: $\frac{\pi}{2} < x < \pi$, $\frac{\pi}{4} < x < \frac{\pi}{2}$, תחומי ירידה: $0 < x < \frac{\pi}{4}$.

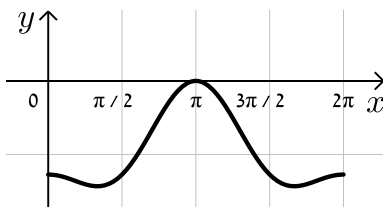
ד. $\left(\frac{3}{4}\pi, 0\right)$. ה. אנכית: $x = \pi$, $x = \frac{\pi}{2}$, $x = 0$.

(4) א. $(\pi, 0), (0, -2)$.

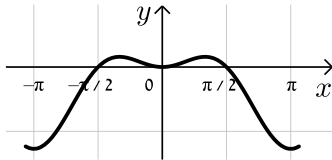
ב. $\max\left(1\frac{2}{3}\pi, -2.25\right)$, $\max(2\pi, -2)$, $\max(0, -2)$, $\min\left(\frac{\pi}{3}, -2.25\right)$, $\max(\pi, 0)$.

ג. עולה: $\frac{\pi}{3} < x < \pi$, $1\frac{2}{3}\pi < x < 2\pi$, יורדת: $\pi < x < 1\frac{2}{3}\pi$, $0 < x < \frac{\pi}{3}$. גרף:

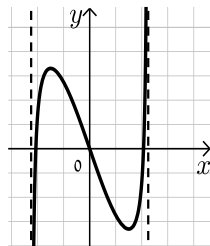




- 5 א. $\left(\frac{\pi}{2}, 0\right), \left(\frac{3\pi}{2}, 0\right), (0, 1)$
 ב. $(0, 1), \left(\frac{\pi}{6}, 1.29\right), \left(\frac{5\pi}{6}, -1.29\right), (1.5\pi, 0)$
 ד. 2 פתרונות.

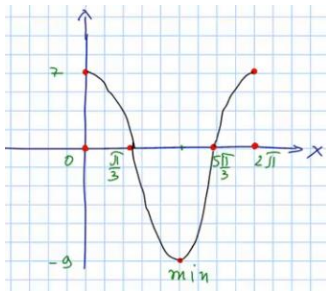


- 6 א. חיתוך: $(0, 0), \left(\frac{\pi}{2}, 0\right)$, קיצון: $\min(\pi, -2)$ קצה,
 $\min(0, 0), \max\left(\frac{\pi}{3}, \frac{1}{4}\right)$ קצה.



- 7 א. $(0, 0), (\pm 0.23\pi, 0)$ ב. $x = \pm 0.25\pi$
 ג. $\min\left(\frac{\pi}{6}, -\sqrt{27}\right), \max\left(-\frac{\pi}{6}, \sqrt{27}\right)$.

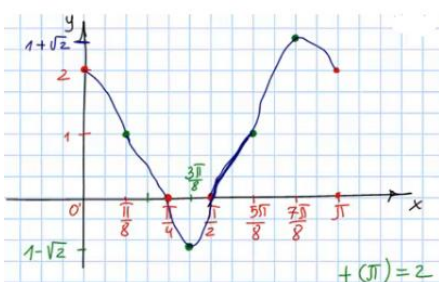
- 8 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 7, עם ציר ה- x : $x = \frac{\pi}{3}, x = \frac{5\pi}{3}, x = 7$
 נקודות קיצון: מינימום: $(\pi, -9)$, מקסימום: $(0, 7), (2\pi, 7)$.



- נקודות פיתול: $x = \frac{\pi}{3}, x = \frac{5\pi}{3}$
 תחום קמירות: $\frac{\pi}{3} < x < \frac{5\pi}{3}$
 קעירות: $0 < x < \frac{\pi}{3}$ or $\frac{5\pi}{3} < x < 2\pi$
 תחום עלייה: $x > 3$, ירידה: $x < 2$ or $2 < x < 3$.

- 9 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 2, עם ציר ה- x : $x = \frac{\pi}{4}, x = \frac{\pi}{2}$
 נקודות קיצון: מינימום: $\left(\frac{3\pi}{8}, 1 - \sqrt{2}\right)$, מקסימום: $\left(\frac{7\pi}{8}, 1 + \sqrt{2}\right)$.

- תחום עלייה: $\frac{3\pi}{8} < x < \frac{7\pi}{8}$, ירידה: $\frac{7\pi}{8} < x < \pi$ or $0 < x < \frac{3\pi}{8}$.



- נקודות פיתול: $\left(\frac{\pi}{8}, 1\right), \left(\frac{5\pi}{8}, 1\right)$
 תחום קמירות: $\frac{\pi}{8} < x < \frac{5\pi}{8}$
 קעירות: $0 < x < \frac{\pi}{8}$ or $\frac{5\pi}{8} < x < \pi$.

חקירת פונקציות טריגונומטריות הפוכות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

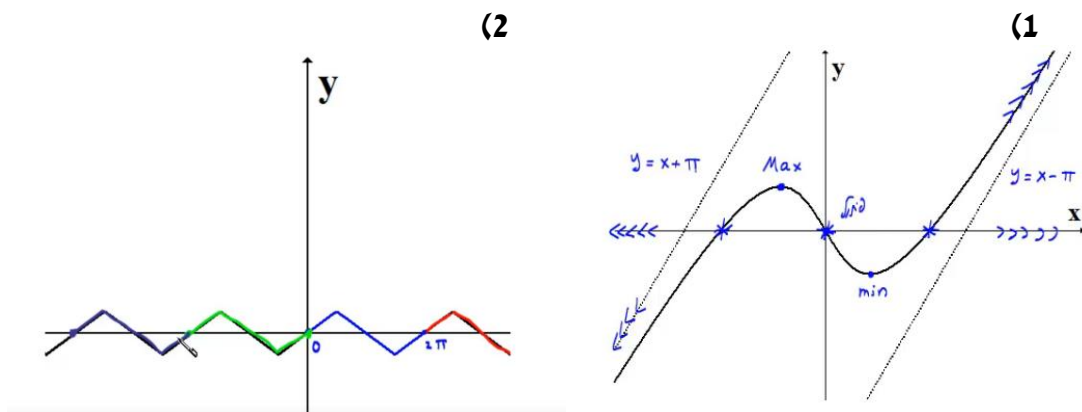
$$f(x) = \arcsin(\sin x) \quad (2)$$

$$f(x) = x - 2 \arctan x \quad (1)$$

תשובות סופיות

- (1) תחום הגדרה ורציפות: לכל x . זוגיות: אי-זוגית.
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0 .
 אסימפטוטה אנכית: אין,
 משופעת: הישר $y = x + \pi$ ב- $-\infty$, אופקית: אין.
 נקודות קיצון: מקסימום: $(-1, 0.575)$, מינימום: $(1, -0.575)$.
 תחום עלייה: $x < -1$ or $x > 1$, ירידה: $-1 < x < 1$.
 נקודות פיתול: $(0, 0)$.
 תחום קמירות: $x > 0$, קעירות: $x < 0$.
- (2) תחום הגדרה ורציפות: לכל x . זוגיות: אי-זוגית.
 מחזוריות: כן, ממחזור 2π .
 נקודות חיתוך עם ציר ה- y : 0 , עם ציר ה- x : $x = 0, \pi, 2\pi$.
 אסימפטוטה אנכית: אין,
 משופעת: הישר $y = x + \pi$ ב- $-\infty$, אופקית: אין.
 נקודות קיצון: מקסימום: $(\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$, מינימום: $(\frac{3\pi}{2}, -\frac{\pi}{2})$.
 תחום עלייה: $0 \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ or $\frac{3\pi}{2} < x < 2\pi$, ירידה: $\frac{\pi}{2} < x < \frac{3\pi}{2}$.
 נקודות פיתול: אין.

גרפים



חקירת פונקציה – שאלות כלליות

שאלות

(1) נתונה הפונקציה $f(x) = ax^3 + x^2$, וידוע שהנקודה $x = 1$ נקודת קיצון. מצאו את הקבוע a .

(2) נתונה הפונקציה $f(x) = ax^3 + bx^2$, וידוע שהנקודה $(1, 2)$ נקודת קיצון. מצאו את הקבועים a, b .

(3) נתונה הפונקציה $f(x) = ax^3 + x^2$, וידוע שהנקודה $x = 1$ נקודת פיתול. מצאו את הקבוע a .

(4) נתונה הפונקציה $f(x) = ax^3 + bx^2$, וידוע שהנקודה $(1, 2)$ נקודת פיתול. מצאו את הקבועים a, b .

(5) נתונה הפונקציה $f(x) = ax^3 + x^2$. שיפוע המשיק לגרף הפונקציה בנקודה $x = 3$ הוא 33. מצאו את a .

(6) נתונה הפונקציה $f(x) = ax^3 + bx^2$. שיפוע המשיק לגרף הפונקציה בנקודה $(3, 9)$ הוא 12. מצאו את a, b .

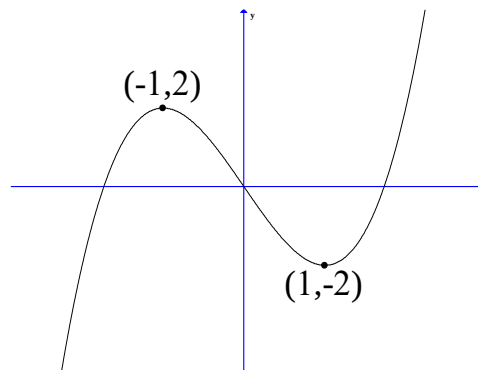
(7) נתונה הפונקציה $f(x) = \frac{ax^3 + x^2}{2x^3 + x + 6}$. ידוע שהישר $y = 4$ אסימפטוטה לגרף הפונקציה. מצאו את a .

(8) נתונה הפונקציה $f(x) = \frac{ax^2 + bx + 4}{x}$. ידוע שהישר $y = 0.5x + 1$ אסימפטוטה לגרף הפונקציה. מצאו את a ואת b .

(9) נתונה הפונקציה $f(x) = \frac{x^2 + 2x + 4}{x^2 + ax + 6}$.

ידוע שהישר $x=1$ אסימפטוטה לגרף הפונקציה.
מצאו את a .

שאלות 10-17 מתייחסות לגרף הפונקציה $f(x) = x^3 - 3x$:



(10) מהו מספר הפתרונות של המשוואה $f(x) = 5$?

(11) מהו מספר הפתרונות של המשוואה $f(x) = 2$?

(12) מהו מספר הפתרונות של המשוואה $f(x) = 0.5$?

(13) עבור איזה ערך של k , למשוואה $f(x) = k$ יש בדיוק פתרון אחד?

(14) עבור איזה ערך של k , למשוואה $f(x) = k$ יש בדיוק שני פתרונות?

(15) עבור איזה ערך של k , למשוואה $f(x) = k$ יש בדיוק שלושה פתרונות?

(16) האם קיים ערך של k , עבורו למשוואה $f(x) = k$ אין פתרון?

(17) מצאו את התחומים בהם הפונקציה חח"ע.

(18) נתונה פונקציה $f(x)$ המקיימת $f'(2) = 4$.

נגדיר פונקציה חדשה $z(x) = f\left(\frac{1}{x}\right)$.

א. חשבו $z'(0.5)$.

ב. נתון בנוסף כי f עולה. הוכיחו כי z יורדת.

(19) נתונה פונקציה $f(x)$ המקיימת $f(1) = 2$, $f'(1) = e$.

$$z(x) = f^2(\ln x) + \frac{1}{x}$$

- א. האם z עולה או יורדת בנקודה $x = e$?
 ב. נתון בנוסף כי f שלילית ועולה.
 מה ניתן לומר על תחומי העלייה והירידה של z ?

(20) נתונה פונקציה $f(x)$ חיובית ויורדת.

$$z(x) = \sqrt{f(x^2) + 4}$$

מי מהבאים בהכרח נכון?

- א. z עולה לכל x .
 ב. z יורדת לכל x .
 ג. z עולה לכל $x > 0$.
 ד. z יורדת לכל $x > 0$.

(21) נתונה פונקציה $f(x)$, המקיימת $f'(1) = e$.

$$g(x) = x^2 + f(\ln x)$$

- א. חשבו את $g'(e)$.
 ב. הוכיחו שהפונקציה g עולה בנקודה $x = e$.

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{g(e+h) - g(e)}{h}$$

(22) הפונקציה $f(x)$ היא אי-זוגית.

- ידוע שנקודת החיתוך היחידה של $f(x)$ עם ציר ה- x היא ב- $x = 0$.
 נגדיר $g(x) = (f(x))^2$. איזו מבין הטענות הבאות **בהכרח לא נכונה**:
 א. אם f עולה בכל תחום הגדרתה אז ל- g יש נקודת מינימום.
 ב. אם f יורדת בכל תחום הגדרתה אז ל- g יש נקודת מינימום.
 ג. אם f עולה בכל תחום הגדרתה אז ל- g אין נקודת קיצון.

(23) הפונקציה $f(x)$ מוגדרת וגזירה פעמיים לכל x ומקיימת $f''(x) = a \cdot f(x)$, כאשר $a < 0$.

איזו מבין הטענות הבאות בהכרח לא נכונה:

- א. בתחום בו $f(x)$ שלילית, $f(x)$ קמורה (קעורה כלפי מעלה).
- ב. אם $f(x)$ חיובית בתחום מסוים אז $f'(x)$ יורדת באותו התחום.
- ג. אם בתחום מסוים $f(x)$ עולה וחותכת את ציר x בנקודה $(n, 0)$, אז שיפוע המשיק לגרף הפונקציה בנקודה $x = n$ הוא המקסימלי באותו התחום.
- ד. אם לפונקציה $f(x)$ יש נקודת פיתול אז $f(x)$ שלילית בכל תחום הגדרתה.

תשובות סופיות

(1) $a = -\frac{2}{3}$

(2) $a = -4, b = 6$

(3) $a = -\frac{1}{3}$

(4) $a = -1, b = 3$

(5) $a = 1$

(6) $a = \frac{2}{3}, b = -1$

(7) $a = 8$

(8) $a = \frac{1}{2}, b = 1$

(9) $a = -7$

(10) 1

(11) 2

(12) 3

(13) $k < -2, k > 2$

(14) $k = \pm 2$

(15) $-2 < k < 2$

(16) לא

(17) $x < -1, -1 < x < 1, x > 1$

(18) א. $z'(0.5) = -16$ ב. שאלת הוכחה.

(19) א. עולה. ב. יורדת.

(20) ד

(21) א. $2e+1$ ב. שאלת הוכחה. ג. $2e+1$

(22) ג

(23) ד

הוכחת אי שוויונות בעזרת חקירת פונקציה

שאלות

הוכיחו את אי השוויונים הבאים לגבי התחום הרשום לידם:

$$(1) \quad (-\infty < x < \infty), \quad 8x^3 \leq 3x^4 + 6x^2$$

$$(2) \quad \left(0 < x < \frac{\pi}{3}\right), \quad x < 2 \sin x$$

$$(3) \quad (x > 0), \quad \sqrt{x+1} < 1 + \frac{x}{2}$$

$$(4) \quad (x \geq 0), \quad \ln(x+1) \leq x$$

$$(5) \quad \text{נתון כי } f \text{ רציפה לכל } x \geq 0, \quad f'(x) > 0 \text{ לכל } x > 0, \text{ וכן } f(0) = 0.$$

$$\text{הוכיחו כי לכל } x > 0 \text{ מתקיים } f(x) - \frac{1}{2}(f(x))^2 < \ln(1 + f(x)).$$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

חדוא 1

פרק 16 - מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה

תוכן העניינים

1. מציאת מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה 213
2. שאלות המשלבות קיצון מוחלט עם קיצון מקומי 216
3. הוכחת אי שוויונים 217

מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה

שאלות

בשאלות 1-7 מצאו את נקודות המינימום המוחלט והמקסימום המוחלט של הפונקציות, בתחומים הרשומים לידן (אם יש כאלה):

$$(-1 \leq x \leq 3) \quad f(x) = x^3 - 3x^2 + 3x \quad (1)$$

$$f(x) = \sqrt{-x^2 + 4x + 5} \quad (2)$$

$$(-1 \leq x \leq 20) \quad f(x) = x^{\frac{2}{3}}(20 - x) \quad (3)$$

$$\left[\frac{1}{2}, \frac{7}{2}\right] \quad f(x) = \begin{cases} 4x - 2 & x < 1 \\ (x - 2)(x - 3) & x \geq 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$(-5 \leq x \leq 1) \quad f(x) = 1 + |9 - x^2| \quad (5)$$

$$(-5 < x < -1) \quad f(x) = \frac{x^2}{x + 1} \quad (6)$$

$$(-\infty < x < \infty) \quad f(x) = x^3 - 9x + 1 \quad (7)$$

$$(8) \quad \text{נתונה הפונקציה } f(x) = x^x \text{ בתחום } x > 0.$$

א. מצאו את המקסימום והמינימום המוחלטים של הפונקציה בתחום הנתון.

ב. דני טוען שהפונקציה הפיכה בקטע $(0, 0.5)$. הוכיחו שדני טועה.

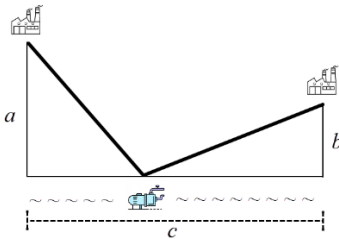
$$(9) \quad \text{מצאו את המקסימום והמינימום המוחלטים של הפונקציה } f(x) = x^2 + |\ln x|.$$

$$(10) \quad \text{מצאו את המקסימום והמינימום המוחלטים של } f(x) = \sin^4 x + \cos^4 x \text{ ב-} \mathbb{R}. \text{ הערה: אין להשתמש בנגזרות בתרגיל זה.}$$

(11) מצאו את המקסימום והמינימום המוחלטים של $f(x) = |x^2 - 4x + 3|$

ב- $\mathbb{R}$ וב- $[1, 3]$.

הערה: אין להשתמש בנגזרות בתרגיל זה.



(12) לחברת מי עדן יש שני מפעלים.

האחד מרוחק a ק"מ מהמעיין.

השני מרוחק b ק"מ מהמעיין.

המרחק האופקי בין המפעלים הוא c ק"מ.

החברה מעוניינת להקים תחנת שאיבה במעיין

בין שני המפעלים. התחנה מחוברת למפעלים.

מהו האורך המינימלי של צינורות שאיבה שהחברה תצטרך?

הראו שהאורך המינימלי מתקבל כאשר הזווית בין כל צינור למעיין שוות.

(13) גליל חסום בכדור.

הוכיחו, מבין כל הגלילים האפשריים הגדול ביותר בנפחו הוא זה שגובהו פי

$\sqrt{2}$ מרדיוס הבסיס שלו.

תשובות סופיות

- (1) $(-1, -7)$ מינימום מוחלט, $(3, 9)$ מקסימום מוחלט.
- (2) $(-1, 0)$ מינימום מוחלט, $(5, 0)$ מינימום מוחלט, $(2, 3)$ מקסימום מוחלט.
- (3) $(0, 0)$ מינימום מוחלט, $(20, 0)$ מינימום מוחלט, $(8, 48)$ מקסימום מוחלט.
- (4) $(2.5, -0.25)$ מינימום מוחלט, $(1, 2)$ מקסימום מוחלט.
- (5) $(-3, 1)$ מינימום מוחלט, $(-5, 17)$ מקסימום מוחלט.
- (6) $(-2, -4)$ מקסימום מוחלט. אין מינימום מוחלט.
- (7) אין מקסימום ואין מינימום מוחלטים.
- (8) א. אין מקסימום מוחלט. מינימום מוחלט הוא $\left(\frac{1}{e}\right)^{\frac{1}{e}}$. ב. שאלת הוכחה.
- (9) אין מקסימום מוחלט. מינימום מוחלט $0.5(1 + \ln 2)$.
- (10) מקסימום מוחלט 1, מינימום מוחלט $\frac{1}{2}$.
- (11) ב- $\mathbb{R}$: $(3, 0)$, $(1, 0)$ מינימום מוחלט, מקסימום מוחלט לא קיים.
- ב- $[1, 3]$: $(3, 0)$, $(1, 0)$ מינימום מוחלט, $(2, 1)$ מקסימום מוחלט.
- (12) האורך המינימלי של צינורות שאיבה שהחברה תצטרך הוא $\sqrt{(a+b)^2 + c^2}$.
- (13) שאלת הוכחה.

שאלות המשלבות קיצון מוחלט עם קיצון מקומי

שאלות

- (1) תהי f פונקציה רציפה ב- $[a, b]$ וגזירה ב- (a, b) .
נניח שקיימת נקודה $c \in (a, b)$ כך ש- $(f(c) - f(a))(f(b) - f(c)) < 0$.
הוכיחו כי קיימת נקודה $d \in (a, b)$ כך ש- $f'(d) = 0$.
- (2) פונקציה $f(x)$ גזירה פעמיים בקטע $[a, b]$.
ידוע כי $f(x)$ מקיימת $f(x) - f'(x) = f''(x)$ לכל x , וכן $f(a) = f(b) = 0$.
הוכיחו כי $f(x) = 0$ לכל x בקטע.
- (3) הפונקציה f גזירה פעמיים ומקיימת $f''(x) + f'(x)g(x) - f(x) = 0$ עבור פונקציה g מסוימת.
הוכיחו: אם הפונקציה f מקבלת את הערך 0 בשתי נקודות, אז היא שווה אפס בכל הקטע בין הנקודות.
- (4) תהי f פונקציה רציפה בקטע $[a, b]$ וגזירה פעמיים בקטע (a, b) , כך ש-
 $f''(x) < 0$ בקטע זה.
נתון כי $f(a) = f(b) = 0$.
א. הוכיחו כי $f(x) > 0$ בקטע (a, b) .
ב. האם סעיף א' נשאר נכון אם מורידים את דרישת הרציפות? הוכיחו או הפריכו.

תשובות סופיות

- (1) שאלת הוכחה.
- (2) שאלת הוכחה.
- (3) שאלת הוכחה.
- (4) שאלת הוכחה.

הוכחת אי שוויונים

שאלות

בשאלות 1-3 הוכיחו את אי-השוויונים שמימין, לגבי התחום שבסוגריים משמאל:

$$(1) \quad x^3 e^{-x} \leq \frac{27}{e^3} \quad (\text{לכל } x)$$

$$(2) \quad x e^{-\sqrt{x}} \leq 1, \quad (x \geq 0)$$

$$(3) \quad 0 \leq x^2 e^{x-1} \leq 1, \quad (x \leq 1)$$

(4) יהיו a ו- b מספרים חיוביים. הוכיחו שאי-השוויונים הבאים לא יכולים להתקיים בעת ובעונה אחת:

$$(1) \quad a(1-b) > \frac{1}{4}, \quad (2) \quad b(1-a) > \frac{1}{4}$$

הערת סימון: $[a, b] \Leftrightarrow a \leq x \leq b$; $(a, b) \Leftrightarrow a < x < b$; $[a, b) \Leftrightarrow a \leq x < b$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

חדוא 1

פרק 17 - בעיות מקסימום ומינימום (בעיות קיצון)

תוכן העניינים

218	1. הסבר כללי על בעיות קיצון
219	2. בעיות קיצון יסודיות עם מספרים
220	3. בעיות קיצון בהנדסת המישור
224	4. בעיות קיצון בפונקציות וגרפים
228	5. בעיות קיצון בהנדסת המרחב
230	6. בעיות קיצון עם תשובה נתונה
231	7. בעיות קיצון כלכליות מסוג ראשון
236	8. בעיות קיצון כלכליות מסוג שני

שלבי עבודה

- נגדיר את אחד הגדלים בשאלה כ- x .
- נבטא את שאר הגדלים בשאלה באמצעות x .
- נבנה פונקציה שמבטאת את מה שרצינו שיהיה מינימלי/מקסימלי.
- נגזור את הפונקציה, נשווה לאפס ונחלץ ערך/ערכי ה- x .
- נוודא שערך ה- x מסעיף 4 הוא אכן מינימום/מקסימום באמצעות " y (או טבלה).
- ננסח את התשובה לשאלה המקורית.

בעיות קיצון יסודיות עם מספרים

שאלות

- (1) נתונים שלושה מספרים שסכומם 24. המספר הראשון שווה למספר השני. מצאו מהם המספרים, אם ידוע שמכפלתם מקסימלית.
- (2) מצאו את המספר החיובי, שאם נוסיף לו את המספר ההופכי לו, הסכום המתקבל יהיה מינימלי.
- (3) נתונים שלושה מספרים שסכומם הוא 36. ידוע שמספר אחד זהה לשני.
 - א. מה צריכים להיות שלושת המספרים כדי שמכפלתם תהיה מקסימלית?
 - ב. כיצד תשתנה התוצאה, אם מספר אחד יהיה גדול פי 2 מהשני במקום שווה לו?
 - ג. באיזה מקרה תהיה מכפלה גדולה יותר?
- (4) x ו- y הם שני מספרים המקיימים: $x + 6y = 60$.
 - א. הביעו את y באמצעות x .
 - ב. מה צריכים להיות המספרים x ו- y ,
 - כדי שמכפלת ריבועיהם תהיה מקסימלית?
 - ג. מהי המכפלה הנ"ל?

תשובות סופיות

- (1) 8,8,8
- (2) 1
- (3) א. 12,12,12 ב. 8,12,16 ג. מקרה א'.
- (4) א. $y = 10 - \frac{x}{6}$ ב. $x = 30, y = 5$ ג. $M = 22500$

בעיות קיצון בהנדסת המישור

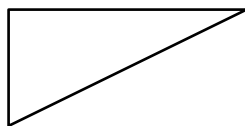
שאלות

(1) מבין כל המשולשים שווים השוקיים שהיקפם 24 ס"מ, מצאו את אורך בסיסו של המשולש בעל השטח הגדול ביותר.

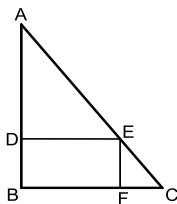
(2) ענו על הסעיפים הבאים:

א. מבין כל המשולשים שווים השוקיים שהיקפם a , מצאו את בסיסו של המשולש בעל השטח הגדול ביותר.

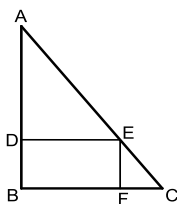
ב. הוכיחו: מבין כל המשולשים שווים השוקיים בעלי אותו היקף, המשולש בעל השטח הגדול ביותר הוא משולש שווה צלעות.



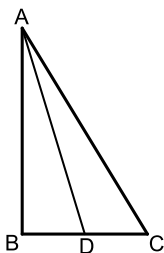
(3) במשולש ישר זווית סכום אורכי הניצבים הוא 12 ס"מ. מה צריך להיות אורך כל ניצב, כדי ששטח המשולש יהיה מקסימלי?



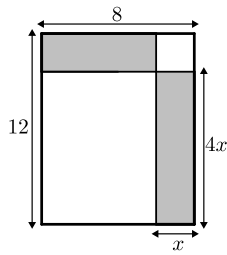
(4) במשולש ישר זווית ABC ($\angle B = 90^\circ$) הנקודה E נמצאת על היתר AC , כך שהמרובע $EDBF$ הוא מלבן. נתון: $AB = 20$ ס"מ, $BC = 16$ ס"מ. מצאו את שטחו של המלבן בעל השטח הגדול ביותר.



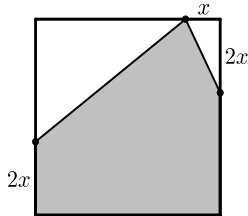
(5) במשולש ישר זווית ABC ($\angle B = 90^\circ$) הנקודה E נמצאת על היתר AC , כך שהמרובע $EDBF$ הוא מלבן. נתון: $AB = a$, $BC = b$. מצאו את שטחו של המלבן בעל השטח הגדול ביותר.



(6) במשולש ישר הזווית ABC ($\angle B = 90^\circ$), AD הוא תיכון לניצב BC . ידוע כי סכום אורכי הניצבים הוא 20 ס"מ. מצאו מה צריכים להיות אורכי הניצבים, עבורם אורך התיכון AD יהיה מינימלי.

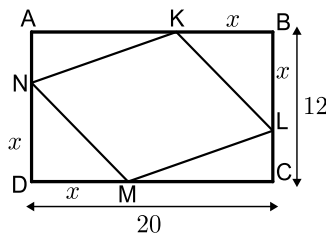


- 7 נתון מלבן שאורכי צלעותיו הם 8 ס"מ ו-12 ס"מ, כמתואר באיור.
מקצים קטעים באורכים של x ו- $4x$ על צלעות המלבן, כך שנוצרים המלבנים המקווקווים. מצאו את x , עבורו סכום שטחי המלבנים הוא מינימלי.

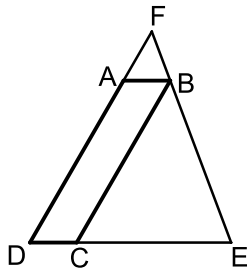


- 8 נתון ריבוע בעל אורך צלע של 16 ס"מ. מקצים קטע שאורכו x על הצלע העליונה, ושני קטעים שאורכם $2x$ על הצלעות הצדדיות, כמתואר באיור, כך שנוצר המחומש המקווקו. מצאו מה צריך להיות ערכו של x , עבורו שטח המחומש יהיה מקסימלי.

- 9 הנקודות K, L, M ו-N מקצות קטעים שווים במלבן ABCD, כך ש:



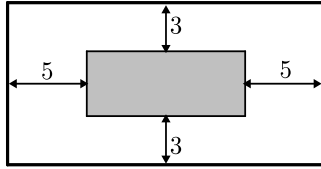
- $BK = BL = DM = DN = x$.
צלעותיו של המלבן הן 20 ס"מ ו-12 ס"מ.
א. הביעו באמצעות x את סכום שטחי המשולשים $\triangle AKN + \triangle KBL + \triangle CLM + \triangle DNM$.
ב. מצאו מה צריך להיות x , כדי ששטח המרובע LKNM יהיה מקסימלי.
ג. מהו השטח של המרובע LKNM, במקרה זה?



- 10 המרובע ABCD הוא מקבילית.
מהקודקוד B מעבירים את הצלע EF, הנפגשת עם המשכי הצלעות DC ו-AD. ידוע כי מידות המקבילית הן:
 $AB = 8$ ס"מ, $AD = 8$ ס"מ.
נסמן את אורך הצלע DE ב- x .
א. הביעו באמצעות x את אורך הצלע DF.
ב. מצאו את x , עבורו סכום הצלעות DE ו-DF הוא מינימלי.
ג. מה הוא הסכום המינימלי?

11) חיים הוא אחד מעובדי חברת 'דפוס יהלום בע"מ'.

תפקידו של חיים הוא להדביק גלויות על משטחי קרטון בעלי שטח מינימלי, כך שיישארו רווחים של 3 ס"מ מקצות הקרטון העליון והתחתון, ו-5 ס"מ מצדי הקרטון (ראה איור).

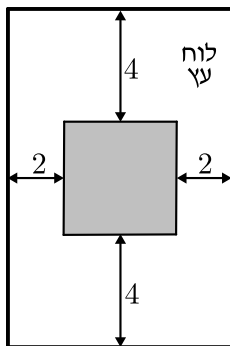


יום אחד קיבל חיים שיחת טלפון מלקוח אנונימי, ששאל אותו את השאלה הבאה:
"יש לי מגוון גדול של גלויות במידות שונות, אשר שטחן זהה והוא 60 סמ"ר.

מה הן המידות של גלויה, אשר שטח משטח הקרטון שלה יהיה מינימלי?"

א. עזרו לחיים לענות ללקוח על שאלתו והראו דרך חישוב.

ב. מה יהיו מידות הקרטון עבור הגלויה המסוימת?



12) אלינה קיבלה משימה בשיעור מלאכה:

יש להכין מסגרת לתמונה מלוח עץ,

ששטחו הכולל הוא 242 סמ"ר,

כך שעובי המסגרת בצדדים יהיה 2 ס"מ,

ובקצוות העליון והתחתון – 4 ס"מ (ראה איור).

כדי לבחור את מידות לוח העץ,

אלינה צריכה לדעת את השטח המקסימלי

שעליה לנסר עבור המקום לתמונה (השטח המסומן).

א. מה יהיו מידות לוח העץ שאלינה צריכה להזמין עבור המשימה?

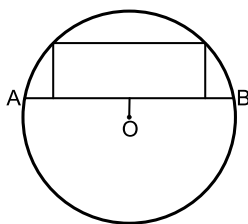
ב. מה יהיה השטח המקסימלי לתמונה עבור המידות שאלינה בחרה?

13) במעגל שמרכזו O ורדיוסו $10\sqrt{5}$ ס"מ העבירו

מיתר AB שמרחקו ממרכז המעגל הוא 4 ס"מ.

במקטע שיוצר המיתר חסום מלבן כמתואר בשרטוט.

מצאו את היקפו של המלבן בעל ההיקף הגדול ביותר.



14) במעגל שמרכזו O ורדיוסו R העבירו מיתר AB

שמרחקו ממרכז המעגל הוא a.

במקטע שיוצר המיתר חסום מלבן כמתואר בשרטוט.

מצאו את היקפו של המלבן בעל ההיקף הגדול ביותר.



15) שני רוכבים יוצאים בו זמנית לדרכם:

האחד מעיר A מערבה לעיר B, והשני מעיר B דרומה לעיר C.

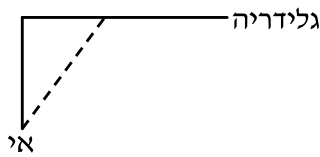
המרחק בין הערים A ו-B הוא 20 ק"מ.

מהירות הרוכב שיצא מ-A היא 4 קמ"ש

ומהירות הרוכב השני 2 קמ"ש.

כעבור כמה זמן מיציאת הרוכבים יהיה המרחק ביניהם מינימלי?

מצאו גם את המרחק המינימלי.



- 16) אדם נמצא על אי במרחק 0.5 ק"מ מהחוף. על החוף, במרחק של 3 ק"מ מהנקודה הקרובה ביותר לאי, נמצאת גלידריה. האדם שוחה במהירות של 8 קמ"ש ורץ על החוף במהירות של 10 קמ"ש. לאיזה מרחק מהגלידריה עליו לשחות, כדי להגיע לגלידריה בזמן הקצר ביותר?



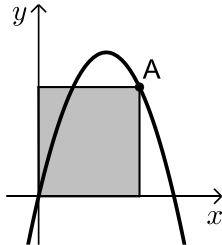
- 17) אדם מתכנן לבנות מרפסת בביתו ורוצה להציב מעקה סביב המרפסת. שטח המרפסת המתוכנן הוא 24 מ"ר. מחיר מעקה בחזית המרפסת (BC) הוא 120 ₪ למטר, ומחיר מעקה בצדי המרפסת הוא 40 ₪ למטר. מה צריכים להיות ממדי המרפסת, כדי שמחיר המעקה יהיה מינימלי?

תשובות סופיות

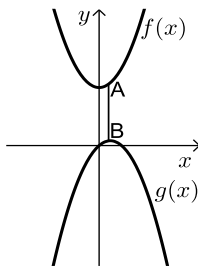
- 1) $4\sqrt{3}$ ס"מ.
- 2) א. 2.5 ס"מ.
- 3) א. 6 ס"מ ו-6 ס"מ ב. 18 סמ"ר. ג. $6\sqrt{2} \approx 8.48$ ס"מ.
- 4) 80 סמ"ר S .
- 5) $\frac{ab}{4}$ יחידות שטח.
- 6) 4 ס"מ, 16 ס"מ.
- 7) $x = 2.75$
- 8) $x = 6$
- 9) א. $2x^2 - 32x + 240$ ב. $x = 8$ ג. 128 סמ"ר S .
- 10) א. $DF = \frac{8x}{x-2}$ ב. $x = 6, L = \frac{x^2 + 6x}{x-2}$ ג. $L = 18$
- 11) א. 6 ס"מ על 10 ס"מ. ב. 12 ס"מ על 20 ס"מ.
- 12) א. 11 ס"מ על 22 ס"מ. ב. $S = 98$
- 13) 92 ס"מ.
- 14) $2\sqrt{5}R - 2a$ יחידות אורך.
- 15) 4 שעות, המרחק: $\sqrt{80}$ ק"מ.
- 16) $2\frac{1}{3}$ ק"מ.
- 17) 4.6

בעיות קיצון בפונקציות וגרפים

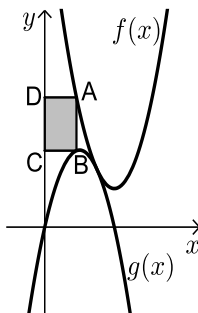
שאלות



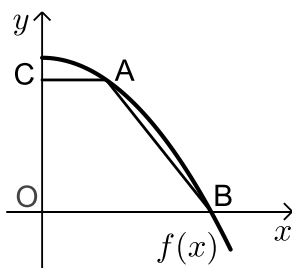
- (1) נתונה הפונקציה $f(x) = 6x - x^2$. מנקודה A שעל הפונקציה ברביע הראשון הורידו אנכים לצירי השיעורים כך שנוצר מלבן כמתואר בשרטוט. מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A כדי ששטח המלבן יהיה מקסימלי?



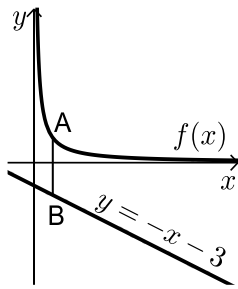
- (2) נתונות הפונקציות $f(x) = x^2 + 12$ ו- $g(x) = 2x - x^2$, כמתואר באיור. הנקודות A ו-B נמצאות על הגרפים של הפונקציות $f(x)$ ו- $g(x)$, בהתאמה, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- y . מצאו מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A, כדי שאורך הקטע AB יהיה מינימלי.



- (3) באיור שלהלן מתוארים הגרפים של הפונקציות $f(x) = x^2 - 8x + 18$ ו- $g(x) = -x^2 + 4x$. הנקודה A נמצאת על גרף הפונקציה $f(x)$ והנקודה B נמצאת על גרף הפונקציה $g(x)$, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- y . נעביר אנכים מהנקודות A ו-B לציר ה- y , כך שנוצר מלבן (מסומן באיור). נסמן את שיעור ה- x של הנקודה A ב- t .
א. הביעו באמצעות t את שטח המלבן המסומן.
ב. מצאו את ערכו של t , עבורו שטח המלבן הוא מקסימלי.
ג. מה יהיה שטח המלבן במקרה זה?

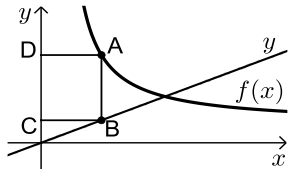


- (4) נתונה הפונקציה: $f(x) = 36 - x^2$. על גרף הפונקציה ברביע הראשון מסמנים נקודה A. מהנקודה A מעבירים ישר, המקביל לציר ה- x , שחותך את ציר ה- y בנקודה C. הנקודה B היא נקודת החיתוך של הפונקציה עם ציר ה- x , ו-O ראשית הצירים.
א. מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A, כדי ששטח הטרפז ABOC יהיה מקסימלי?
ב. מה יהיה שטח הטרפז במקרה זה?



(5) נתונה הפונקציה: $f(x) = \frac{4}{x}$, ונתון הישר: $y = -x - 3$.

הנקודה A נמצאת על גרף הפונקציה $f(x)$
והנקודה B נמצאת על גרף הישר, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- y .
מצאו מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A, כדי שאורך הקטע AB יהיה מינימלי.



(6) באיור שלפניך מתוארים הגרפים של

הפונקציה: $f(x) = \frac{x+8}{x-1}$ והישר: $y = \frac{9x}{25}$.

הנקודות A ו-B נמצאות על הגרפים של הפונקציות, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- y .

מהנקודות A ו-B מותחים אנכים לציר ה- y , כך שנוצר המלבן ABCD.

נסמן את שיעור ה- x של הנקודה A ב- t .

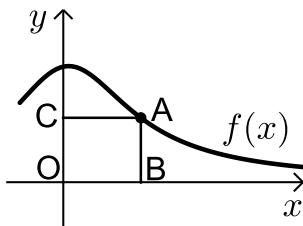
א. הביעו באמצעות t את היקף המלבן ABCD.

ב. מצאו את t , עבורו היקף המלבן הוא מינימלי.

ג. מה יהיה ההיקף במקרה זה?

(7) נתונה הפונקציה $f(x) = \frac{2}{x-1}$ ונתון הישר $y = 2x$.

בין הישר והפונקציה ברביע הראשון חסמו מלבן. מצאו את מידות המלבן שהיקפו מינימלי.

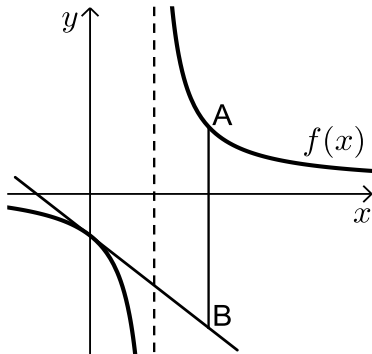


(8) נתונה הפונקציה: $f(x) = \frac{x+12}{x^2+3}$, בתחום: $x \geq 0$.

מקצים נקודה A על גרף הפונקציה וממנה מורידים אנכים לצירים, כך שנוצר המלבן ABCO, כמתואר באיור.

א. מצאו מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A, עבורם שטח המלבן יהיה מקסימלי.

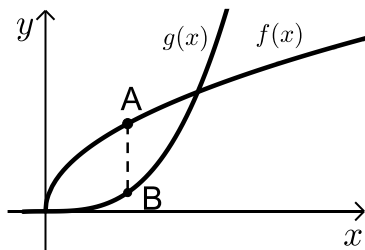
ב. מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A, עבורם שטח המלבן יהיה מינימלי בתחום הנ"ל?



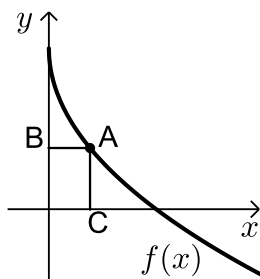
- (9) נתונה הפונקציה: $f(x) = \frac{x+10}{x-2}$. מעבירים משיק לגרף הפונקציה דרך נקודת החיתוך שלה עם ציר ה- y .
- א. מצאו את משוואת המשיק.
מסמנים נקודה A על גרף הפונקציה $f(x)$ ברביע הראשון ו-B על גרף המשיק, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- y .
- ב. מצאו את שיעורי הנקודה A, עבורן אורך הקטע AB הוא מינימלי.
- ג. מה יהיה אורך הקטע AB במקרה זה?

(10) נתונה הפונקציה $f(x) = \frac{1}{x^3}$.

מצאו שיעורי נקודה על הפונקציה ברביע הראשון, שסכום הקטעים שהמשיק בה מקצה על הצירים הוא מינימלי.



- (11) נתונות הפונקציות $f(x) = 2\sqrt{x}$ ו- $g(x) = \frac{1}{3}x^3$.
- את הנקודה A שעל $f(x)$ חיברו עם הנקודה B, שנמצאת מתחתיה, על $g(x)$, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- y .
- מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A, כדי שאורך הקטע AB יהיה מקסימלי?



- (12) באיור שלפניך מתואר גרף הפונקציה $f(x) = 6 - 3\sqrt{x}$.
- הנקודה A נמצאת על גרף הפונקציה ברביע הראשון. מהנקודה A מותחים אנכים לצירים אשר חותכים אותם בנקודות B ו-C, כמתואר באיור.
- נסמן את שיעור ה- x של הנקודה A ב- t .
- א. הביעו באמצעות t את סכום הקטעים $AB + AC$.

ב. מצאו את ערכו של t , עבורו סכום הקטעים הנ"ל יהיה מינימלי.

(13) נתונות הפונקציות $f(x) = 1 - x^2$ ו- $g(x) = bx^2$ ($b > 0$).

הפונקציות נחתכות בנקודות A ו-B. מצאו את ערכו של b , שבעבורו הקטע AO מינימלי (O ראשית הצירים).

תשובות סופיות

(1) $A(4,8)$

(2) $A(0.5,12.25)$

(3) $S = 2t^3 - 12t^2 + 18t$ א. $t = 1$ ב. $S = 8$ ג.

(4) $A(2,32)$ א. $S = 128$ ב.

(5) $A(2,2)$

(6) $P = \frac{1.28t^2 + 0.72t + 16}{t - 1}$ א. $t = 4\frac{3}{4}$ ב. $P = 12.88$ ס"מ ג.

(7) $1 \cdot 2$

(8) $A(2,2)$ א. $A(0,4)$ ב.

(9) $y = -3x - 5$ א. $A(4,7)$ ב. $AB = 24$ ג.

(10) $\left(\sqrt{3}, \frac{1}{3\sqrt{3}}\right)$

(11) $A(1,2)$

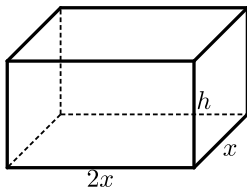
(12) $l = t + 6 - 3\sqrt{t}$ א. $t = 2.25$ ב.

(13) $b = 1$

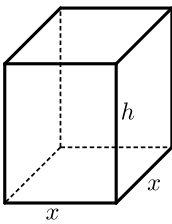
בעיות קיצון בהנדסת המרחב

שאלות

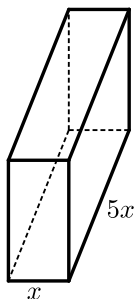
- (1) נתונה תיבה שבסיסה ריבוע ושטח הפנים שלה הוא 96 סמ"ר. מצאו את מידות התיבה שנפחה מקסימלי.



- (2) נתונה תיבה שבסיסה הוא מלבן, שבו צלע אחת גדולה פי 2 מהצלע הסמוכה לה, כמתואר באיור. ידוע כי גובה התיבה h וצלע המלבן הקטנה x מקיימים: $x + h = 9$. מצאו מה צריכים להיות מידות בסיס התיבה כדי שנפחה יהיה מקסימלי.



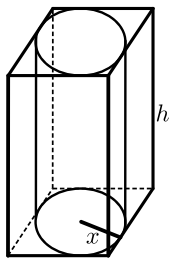
- (3) נתונה תיבה שגובהה הוא h ובסיסה הוא ריבוע שאורך צלעו היא x . נתון כי צלע הריבוע וגובה התיבה מקיימים $4x + h = 63$.
א. הביעו את h באמצעות x .
ב. הביעו את שטח הפנים של התיבה באמצעות x .
ג. מה צריך להיות ערכו של x , כדי ששטח הפנים יהיה מקסימלי?



- (4) ליוסי משטח פח אשר הוא רוצה לבנות תיבה ממנו שנפחה הכולל הוא 225 סמ"ק. יוסי רוצה שאורך הבסיס יהיה גדול פי 5 מרוחבו, כמתואר באיור הסמוך. כמות הפח שיש בידי יוסי מוגבלת, ולכן הוא רוצה לדעת מה היא הכמות המינימלית של פח שעליו להשתמש, כדי להשיג את מבוקשו. מצאו את כמות הפח המינימלית.

- (5) לבניית תיבה שנפחה 144 סמ"ק ואורך בסיסה גדול פי 2 מרוחב בסיסה, דרושים שני חומרים, ולהם שני מחירים שונים: החומר לבסיס התחתון יקר פי 3 מהחומר לפאות הצדדיות והבסיס העליון. מהן מידות התיבה הזולה ביותר שניתן לבנות?

- (6) מכל הגלילים הישרים, שהיקף פרישת המעטפת שלהם הוא k , מצאו את נפחו של הגליל בעל הנפח המקסימלי.



7) באיור שלפניך מתוארים תיבה שבסיסה ריבוע, וגליל החסום בתוך התיבה. רדיוס הגליל יסומן ב- x וגובהו ב- h .

ידוע כי הסכום של x ו- h הוא 12 ס"מ.

א. הביעו באמצעות x את אורך מקצוע הבסיס של התיבה.

ב. הביעו באמצעות x

1. את נפח הגליל.

2. את נפח התיבה.

ג. מצאו את x , עבורו הנפח הכלוא בין התיבה לגליל יהיה מקסימלי.

8) נתונה פירמידה מרובעת, משוכללת וישרה.

אורך מקצוע צדדי בפירמידה הוא k ושטח המעטפת שלה הוא S .

הוכיחו כי $S < 2k^2$.

תשובות סופיות

1) 4·4·4 ס"מ.

2) בסיס: 6 ס"מ, 12 ס"מ. גובה: 3 ס"מ.

3) א. $h = 63 - 4x$ ב. $p = -14x^2 + 252x$ ג. $x = 9$

4) 3 ס"מ, 15 ס"מ ו-5 ס"מ.

5) 8·6·3 ס"מ.

6) $\frac{k^3}{216\pi}$ יחידות נפח V .

7) א. $2x$ ב. 1. $V = 12\pi x^2 - \pi x^3$ 2. $V = 48x^2 - 4x^3$ ג. $x = 8$

8) שאלת הוכחה.

בעיות קיצון עם תשובה נתונה

בעיות קיצון בהנדסת המרחב

- (1) נתונים שני מספרים חיוביים, p ו- q , שסכומם a .
הראו, שכאשר מתקיים $\frac{p}{q} = \frac{n}{m}$, ערך הביטוי $p^n q^m$ מקסימלי (כאשר n ו- m טבעיים).

- (2) הוכיחו שמכל החרוטים הישרים שנפחם πk סמ"ק, החרוט בעל שטח המעטפת המינימלי הוא זה שגובהו $\sqrt[3]{6k}$ ס"מ.
(שטח מעטפת של חרוט הוא πRl , כאשר l הוא הקו היוצר של החרוט)

בעיית קיצון עם תנועה

- (3) מהירותו של רכב היא v קמ"ש ועליו לנסוע דרך של S ק"מ.
לרכב יש הוצאות נסיעה של $\frac{v}{400}$ ₪ לכל ק"מ נסיעה ו- $48 + \frac{v^2}{200}$ ₪ לכל שעת נסיעה.
הראו שכדי שהוצאותיו יהיו מינימליות, על הרכב לנסוע במהירות של 80 קמ"ש.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

בעיות קיצון כלכליות מסוג ראשון

שאלות

1) כאשר חברת 'יוטבתה' מוכרת x ליטר שוקו ליום, היא יכולה לקבל מחיר של $p(x) = -\frac{1}{4}x + 10$ שקל לליטר.

- מהו מחיר ליטר אחד, אם הכמות שנמכרת ביום היא 4 ליטר?
- מהו מחיר ליטר אחד, אם הכמות שנמכרת ביום היא 12 ליטר?
- מהי הכמות הנמכרת ביום, אם המחיר הוא 6 ₪ לליטר?
- שרטטו את הגרף של פונקציית הביקוש, ומצאו את תחום ההגדרה שלה.
- פונקציית הביקוש הנתונה מתארת את מחיר המוצר, כפונקציה של הכמות הנמכרת ממנו. שנו את נוסחת הפונקציה, כך שהיא תתאר את הכמות הנמכרת מהמוצר, כפונקציה של מחירו.

2) פונקציית הביקוש של מוצר מסוים היא $p(x) = -0.6x + 120$.

- מצאו את פונקציית הפדיון ואת התחום שלה.
- אם $x = 20$, מהו מחיר המוצר ומהו הפדיון?
- אם המחיר הוא 12 ₪, מהו הפדיון?

3) פונקציית הפדיון של מוצר מסוים היא $R(x) = -0.08x^2 + 40x$.

- מהו התחום של פונקציית הפדיון?
- שרטטו את הגרף של פונקציית הפדיון.
- מצאו את פונקציית הביקוש ושרטטו את הגרף שלה.

4) פונקציית הביקוש של מוצר מסוים היא $p(x) = -0.4x + 100$.

- מצאו את תחום הפונקציה.
- מצאו את פונקציית הפדיון ואת פונקציית הפדיון הממוצע.
- מצאו את פונקציית הפדיון השולי.
- לאיזה ערך של x יתקבל פדיון מקסימלי, ומהו?

5) פונקציית הביקוש של מוצר מסוים היא $p(x) = -6x^2 + 240x + 1800$.

- מצאו את פונקציית הפדיון ואת פונקציית הפדיון השולי.
- אם $x = 40$, האם כדאי להגדיל את הייצור?
- מתי יהיה הפדיון מקסימלי, ומהו?

6 פונקציית הביקוש של מוצר מסוים נתונה ע"י $Q(x) = 10x - \frac{x^2}{5}$.

- מצאו את המחיר הנותן את הפדיון המקסימלי.
- מהו הביקוש במקרה זה?
- מהו הביקוש השולי בנקודת מחיר זו? מה משמעותו?

7 פונקציית ההוצאות של יצרן, המייצר x קפה ביום, היא $C(x) = 5x + 150$.

- שרטטו גרף של פונקציית ההוצאות. מהן ההוצאות הקבועות?
- מצאו כמה ק"ג קפה מייצר היצרן, אם ההוצאות הן 1,000 ₪.
- מהן ההוצאות, אם מייצרים 20 ק"ג קפה ביום?
- מצאו את פונקציית ההוצאה השולית.

8 פונקציית העלות, של יצרן כובעים, היא $TC(x) = 0.04x^2 + 10x + 400$ שקל ליום.

- חשבו את העלות הממוצעת ליום, אם הוא מייצר 40 כובעים.
- כמה כובעים עליו לייצר, כדי שהעלות הממוצעת תהיה מינימלית?
- חשבו את העלות השולית ליום, עבור $x = 100$. איזו מסקנה ניתן להסיק?

9 פונקציית העלות של מוצר מסוים היא $C(x) = 0.004x^2 + 10x + 200$.

- חשבו את העלות, כאשר $x = 100$ וכאשר $x = 101$.
- חשבו את העלות השולית, כאשר $x = 100$.
- חשבו כמה תעלה יחידת מוצר נוספת, כאשר הייצור יעבור מ- $x = 100$ ל- $x = 101$, והשוו עם התוצאה של סעיף ב. מהי המסקנה?
- מצאו האם קצב השינוי של העלות גדל או קטן.

10 ליצרן פונקציית ביקוש $P(Q) = 100 - 0.06Q$,

ופונקציית עלות כוללת $TC(Q) = 200 + 4Q$.

מהי הכמות Q שעל היצרן לייצר, על מנת להביא למקסימום את רווחיו? מהו המקסימום במקרה זה?

11 ליצרן פונקציית ביקוש $P(Q) = 20$, ופונקציית עלות $TC(Q) = 300 + 2Q^2$.

מהי הכמות שעל היצרן לייצר, על מנת להביא למקסימום את רווחיו? מהו המקסימום במקרה זה?

(12) ליצרן פונקציית ביקוש $P(Q) = -0.15Q + 50$,
 ופונקציית עלות שולית $MC(Q) = 0.06Q^2 + 20$.
 מהי הכמות שעל היצרן לייצר, על מנת להביא למקסימום את רווחיו?

(13) ליצרן פונקציית ביקוש $Q = \frac{5000 - 50P}{3}$,
 ופונקציית עלות $TC(Q) = 200 + 4Q$.
 מהי הכמות Q שעל היצרן לייצר, על מנת להביא למקסימום את רווחיו?
 מהו המקסימום במקרה זה?

(14) ליצרן פונקציית עלות שולית $MC(Q) = 0.06Q^2 + 20$.
 מצאו את פונקציית העלות, אם ידוע שכאשר הכמות המיוצרת היא $Q = 10$,
 העלות הכוללת היא 225 ₪.

(15) הוכיחו:

- שהרווח המקסימלי מתקבל כאשר הפדיון השולי שווה להוצאה השולית. הסבירו את המשמעות הגרפית.
- שאם מחיר המוצר קבוע, אז הרווח המקסימלי מתקבל כאשר ההוצאה השולית שווה למחיר המוצר.

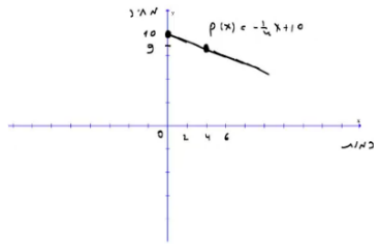
(16) $C(x)$ – פונקציית הוצאות, $C'(x)$ – הוצאות שוליות, $\frac{C(x)}{x}$ – הוצאות ממוצעות.
 א. האם יתכן שהוצאה שולית קבועה, למרות שהוצאה ממוצעת משתנה?
 ב. האם יתכן להפך?
 ג. הוכיחו כי ההוצאה הממוצעת היא פונקציה עולה אם ורק אם ההוצאה השולית גדולה מן ההוצאה הממוצעת.

(17) מפעל המייצר מוצר מסוים משתמש בשני גורמי ייצור. נסמן את מחירי גורמי הייצור, ליחידה, ב- p_1 וב- p_2 , בהתאמה. אם משתמשים ב- x יחידות מג"י 1 וב- y יחידות מג"י 2, המפעל מייצר $\sqrt{x} + \sqrt{y}$ יחידות. תקציב המפעל A ₪.
 א. הוכיחו כי באילוץ התקציב, הייצור מקסימלי

$$\text{כאשר מתקיימת הנוסחה } \frac{x}{y} = \frac{p_2^2}{p_1^2}.$$

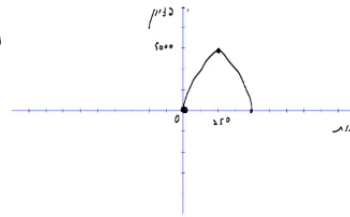
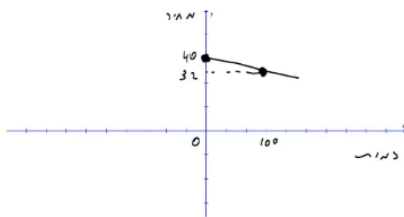
- חשבו את x ו- y עבורם הייצור מקסימלי, אם נתון:
 $p_1 = 100$ ₪, $p_2 = 3,000$ ₪, $A = 372,000$ ₪.

תשובות סופיות



(1) א. 9 ב. 7 ג. 16 ה. $x(p) = 40 - 4p$ ד.

(2) א. $R(x) = -0.6x^2 + 120x$, בתחום: $x \geq 0$ ב. 2,160 ג. 2,160



(3) א. $x \geq 0$ ב. ג.

(4) א. $x \geq 0$ ב. פונקציית הפדיון: $R(x) = -0.04x^2 + 100x$

הפדיון הממוצע: $AR(x) = -0.4x + 100$, $x > 0$ ג. $R'(x) = -0.08x + 100$ ד. 1,250 ; הפדיון המקסימלי: 62,500

(5) א. פונקציית הפדיון: $R(x) = -6x^3 + 240x^2 + 1800x$

הפדיון השולי: $R'(x) = -18x^2 + 480x + 1800$ ב. לא. ג. 30 ; הפדיון המקסימלי: 108,000

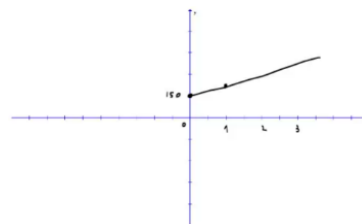
(6) א. $33\frac{1}{3}$ ב. $Q\left(33\frac{1}{3}\right) = 10 \cdot 33\frac{1}{3} - \frac{33\frac{1}{3}^2}{5}$

ג. $-3\frac{1}{3}$; העלאת המחיר ביחידה אחת – תקטין את הביקוש ב-3.33 יח', בערך.

ההוצאות הקבועות הן הוצאות המפעל,

גם כאשר הוא אינו מייצר. ב. 170

ג. 250 ד. $MC(x) = 5$



(7) א.

(8) א. 21.6 ב. 100 ג. 18 ש; אם המפעל יעלה את הייצור ביחידה

אחת, מ-100 ל-101, העלות הכוללת שלו תגדל ב-18 ש בערך.

(9) א. $C(100) = 1240$, $C(101) = 1250.804$ ב. 10.8

ג. בערך הסכום שיעלה למפעל לייצר יחידה נוספת. ד. גדל.

(10) הכמות: 800, המקסימום: 38,200

(11) הכמות: 5, המקסימום: -250.

(12) 25

(13) הכמות: 800, המקסימום: 38,200

$$TC(Q) = 0.02Q^3 + 20Q + 5 \quad (14)$$

(15) שאלת הוכחה.

(16) א. כן. ב. לא. ג. שאלת הוכחה.

(17) א. שאלת הוכחה. ב. $x = 4, y = 3600$

בעיות קיצון כלכליות מסוג שני

שאלות

- 1) יצרן מכונות כביסה מוכר 500 מכונות בשבוע, במחיר של \$225 למכונה. עלות הייצור למכונת כביסה אחת היא \$125. סקר שוק מראה, שעל כל הוזלה של \$5 במחיר – מספר המכונות הנמכרות בשבוע עולה ב-50.
 - א. מהו המחיר שהיצרן צריך לקבוע למכשיר, על מנת להגיע לרווח מקסימלי?
 - ב. מהן ההוצאות במצב זה? האם בהכרח אלו ההוצאות המינימליות? נמקו.
- 2) מחיר חבילת זמן אוויר בחברת סלולר הוא 100 ₪ ל-200 דקות. בסקר שוק שערכה החברה התגלה, כי על כל הוזלה של 2 ₪ בתשלום, לקוחות מנצלים 10 דקות זמן אוויר נוספות.

לאור תוצאות הסקר, איזו חבילה כדאי לחברה להציע ללקוחותיה, כדי להגיע להכנסה מקסימלית (כלומר, מה המחיר שיש לקבוע ולכמה דקות)?
- 3) אמן מייצר תכשיטים בעלות של 30 ₪ עבור כל תכשיט. הוא מצליח למכור 100 תכשיטים, כאשר מחירם 40 ₪ לתכשיט. על כל עלייה של 2 ₪ במחיר, הוא מוכר 4 תכשיטים פחות.
 - א. מצאו כמה תכשיטים האמן צריך לייצר, כדי שהרווח שלו יהיה מקסימלי.
 - ב. באיזה מחיר ימכור האמן כל תכשיט במצב זה?
 - ג. מהי עלות הייצור של האמן במצב זה (עבור כל התכשיטים)?
- 4) חברת 'טיול נעים' משכירה אוטובוס ל-30 תיירים, שכל אחד מהם משלם 100 דולר.

על כל תייר נוסף שמצטרף, החברה מסכימה להוריד את התשלום לכל אחד מהתיירים, בשני דולר.

מה צריך להיות מספר התיירים, כדי שלחברה יהיה הרווח הגדול ביותר?
- 5) מחיר שליחת SMS ברשת 'סלקום' הוא 50 אג', ומספר ה-SMS החודשי הממוצע הוא 200.

על כל 5 אג' ש'סלקום' מעלה – יורד מספר ה-SMS החודשי הממוצע בעשר.

מצאו מה צריך להיות מחיר שליחת SMS, כדי שהכנסתה של 'סלקום' תהיה מקסימלית.

- (6) קולנוע 'חן' מוכר כל שבוע 60 כרטיסים לסרטי תלת-מימד במחיר של 45 ₪ לכרטיס. כל הורדה של מחיר הכרטיס בחצי שקל גורמת למכירת שני כרטיסים נוספים בשבוע.
מה צריך להיות מחיר הכרטיס, כדי שהכנסתו של בית הקולנוע תהיה הגדולה ביותר? מצאו גם מהי ההכנסה המקסימלית.
- (7) הייצור של בובת 'בוב ספוג' עולה לחברת 'ניקולדיאון' 25 ₪. אם החברה מוכרת את הבובה ב-45 ₪, היא מצליחה למכור 200 בובות ליום. על כל חצי שקל שהחברה מורידה ממחיר הבובה, היא מצליחה למכור 10 בובות נוספות ליום.
מהו הרווח היומי המקסימלי של החברה?
- (8) חברת 'אופיס דיפו' רוכשת מספר מסוים של מוצרים ב-800 ₪. 5 מהמוצרים היא מוכרת ברווח של 20% לכל מוצר, ואת שאר המוצרים היא מוכרת ברווח של 2 ₪ לכל מוצר. הוכיחו שהרווח של החברה, בעסקה כזו, הוא לפחות 70 ₪.
- (9) חברת BMX מוכרת 300 זוגות אופניים במחיר של 500 ₪ לזוג אופניים. לכל x זוגות אופניים נוספים שהיא מוכרת, היא מורידה – את מחירם בלבד – ב- $2x$ ₪ לזוג אופניים, ואילו את מחירם של 300 הזוגות הראשונים היא מורידה רק ב- x ₪ לזוג אופניים.
מה מספר זוגות האופניים שעל החברה למכור, על מנת שהכנסתה תהיה מקסימלית?

תשובות סופיות

- (1) א. 200 ב. \$93,750 ; לא, כי תמיד ניתן לייצר פחות וכך להקטין הוצאות.
(2) 70 ₪ ל-350 דקות.
(3) א. 60 ב. 60 ג. 1,800 ₪
(4) 40
(5) 75 אג'.
(6) מחיר הכרטיס : 30 ₪, ההכנסה המקסימלית : 3,600 ₪.
(7) 4,500 ₪.
(8) שאלת הוכחה.
(9) 350

חדוא 1

פרק 18 - פתרון משוואות (קושי-רול-ניוטון רפסון)

תוכן העניינים

1. מציאת מספר הפתרונות של משוואה 238
2. פתרון משוואות פולינומאליות 241
3. שיטת ניוטון-רפסון לפתרון מקורב של משוואות 243

מציאת מספר הפתרונות של משוואה

שאלות

בשאלות 1-4 הוכיחו שלמשוואות יש בדיוק פתרון אחד :

$$x^3 + 4x - 1 = 0 \quad (1)$$

$$x^2 = -\ln x \quad (2)$$

$$x - 0.25 \sin x = 7 \quad (3)$$

$$-4x^3 + 21x^2 - 48x + 28 = 0 \quad (4)$$

(5) נתונה המשוואה $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$, ונתון כי $b^2 < 3ac$. מהו מספר הפתרונות של המשוואה? הוכיחו זאת.

עבור כל אחת מהמשוואות 6-9, מצאו את מספר הפתרונות ופתרו אותה :

$$e^{x-1} = x \quad (6)$$

$$\arctan x - x = 0 \quad (7)$$

$$\ln(x+5) - 4 = x \quad (8)$$

$$x^2 + x \sin x = 1 - \cos x \quad (9)$$

(10) תהי f פונקציה גזירה לכל x , המקיימת: $f'(x) \leq 1$, $f(0) = 1$, $f(1) = 2$. הוכיחו שלמשוואה $f(x) + \sin x = 4x$ יש בדיוק פתרון אחד.

הוכיחו שלמשוואות בשאלות 11-13 יש בדיוק שני פתרונות :

$$1 + 4x^4 = 8x^3 \quad (13) \quad 4x^3 + 5x - \frac{1}{x} = 0 \quad (12) \quad e^x - 5x = 0 \quad (11)$$

בכל אחת מהמשוואות 14-17, מצאו קשר בין הפרמטרים, על מנת שלמשוואות יהיה בדיוק פתרון אחד (הניחו שכל הפרמטרים שונים מאפס):

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (14)$$

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0 \quad (15)$$

$$x + a \cos(bx) = 1 \quad (16)$$

$$(n > 4, \text{ odd}) \quad ax^n + bx^{n-2} + cx^{n-4} - d = 0 \quad (17)$$

(18) מצאו את מספר הפתרונות של המשוואה $a^2x + e^x = a$ כאשר a קבוע ממשי.

(19) הוכיחו שלמשוואה $2ax^3 + a^2 + x^2 = 0$ קיים פתרון אחד ויחיד כאשר a קבוע ממשי.

(20) הוכיחו שלמשוואה $x^2 + x^3 + 5x = 1$ יש לפחות פתרון אחד ולכל היותר פתרון אחד.
הערה: שאלה זו יש לפתור תוך שימוש במשפט רול.

(21) נתון הפולינום $p(x) = 3x^4 - 2x^3 + x^2 + cx - 1$.
א. הוכיחו שלפולינום יש לכל היותר שני שורשים.
ב. נתון בנוסף כי $|c| < 1$.
מה מספר השורשים של הפולינום?

תשובות סופיות

- (1) שאלת הוכחה.
- (2) שאלת הוכחה.
- (3) שאלת הוכחה.
- (4) שאלת הוכחה.
- (5) פתרון יחיד.
- (6) $x = 1$
- (7) $x = 0$
- (8) $x = -4$
- (9) $x = 0$
- (10) שאלת הוכחה.
- (11) שאלת הוכחה.
- (12) שאלת הוכחה.
- (13) שאלת הוכחה.
- (14) $b^2 - 4ac = 0$
- (15) $4b^2 - 12ac < 0$
- (16) $\frac{1}{ab} < -1, \frac{1}{ab} > 1$
- (17) $b^2(n-2)^2 - 4anc(n-4) < 0$
- (18) אם $a = 0$, למשוואה אין פתרון. אם $a \neq 0$, למשוואה יש פתרון יחיד.
- (19) שאלת הוכחה.
- (20) שאלת הוכחה.
- (21) א. שאלת הוכחה. ב. שני שורשים שונים.

פתרון משוואות פולינומאליות

שאלות

צמצמו עד כמה שניתן את השברים האלגבריים בשאלות 1-3 :

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

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

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

פתרו את המשוואות הבאות :

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

$$(5) \quad k^3 + 2k^2 - 3k + 20 = 0$$

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

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

$$(8) \quad k^6 - 3k^4 + 3k^2 - 1 = 0$$

$$(9) \quad k^3 - k^2 + k - 1 = 0$$

$$(10) \quad k^4 - 3k^3 + 6k^2 - 12k + 8 = 0$$

$$(11) \quad 7x^3 - 33x^2 + 21x + 61 = 0$$

תשובות סופיות

(1) $x^2 + 1$

(2) 0

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

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

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

(6) $k_1 = 1, k_2 = -1, k_3 = -1, k_4 = -1, k_5 = -1$

(7) $k_1 = 2, k_2 = 2, k_3 = 2$

(8) $k_1 = 1, k_2 = -1, k_3 = 1, k_4 = -1, k_5 = 1, k_6 = -1$

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

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

(11) פתרון מקורב: $x = 0.8459$.

שיטת ניוטון-רפסון לפתרון מקורב של משוואות

שאלות

פתרו את המשוואות הבאות (שאלה 2 בשיטת ניוטון-רפסון):

$$(1) \quad 1 + 4x^4 = 8x^3$$

$$(2) \quad -4x^3 + 21x^2 - 48x + 28 = 0$$

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{פתרון מדויק } x = -1.$$

$$(2) \quad \text{פתרונות מקורבים: } x = 0.5576, \quad x = 1.9672.$$

חדוא 1

פרק 19 - בעיות קצב שינוי

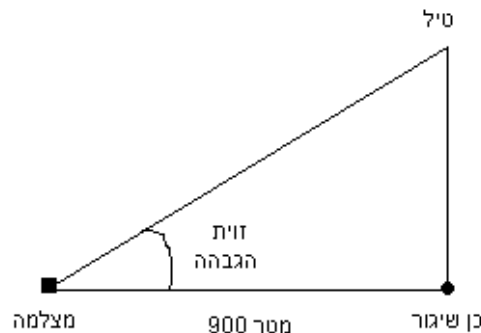
תוכן העניינים

1. בעיות קצב שינוי 244

בעיות קצב שינוי

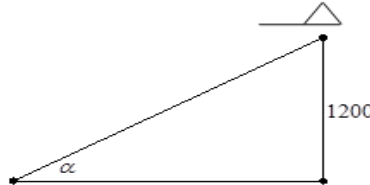
שאלות

- (1) נפט דולף ממכלית ומתפשט בצורת כתם מעגלי. רדיוס הכתם גדל בקצב קבוע של 0.5 מ' לשנייה. באיזה קצב גדל שטח הכתם כאשר הרדיוס הוא 20 מ'?
- (2) סולם באורך 2.5 מ', השעון על קיר אנכי מחליק באופן כזה, שברגע שרגליו נמצאות במרחק 2 מ' מהקיר הן מתרחקות ממנו בקצב של 1 מטר לשנייה. באיזה מהירות יורד ראש הסולם לאורך הקיר ברגע זה?
- (3) מצלמה מוצבת במרחק 900 מ' מכך לשיגור טילים (ראה איור). הטיל נוסק אנכית במהירות של 260 מ' לשנייה בהיותו בגובה של 1,200 מ'.
א. באיזו מהירות צריכה זווית ההגבהה של המצלמה להשתנות אז, כדי להמשיך לקלוט את דמות הטיל?
ב. באיזה קצב משתנה אז המרחק בין המצלמה לטיל?



- (4) מסננת בצורת חרוט משמשת לטיהור נוזל ממשקעים. גובה החרוט 40 ס"מ ורדיוס הבסיס שלו 10 ס"מ. כאשר גובה פני הנוזל בחרוט 20 ס"מ, הנוזל זורם מן החרוט בקצב של 30 סמ"ק לדקה. באיזה מהירות קטן גובה פני הנוזל בחרוט באותו רגע?

- (5) מטוס טס אופקית בגובה קבוע של 1,200 מטר מעל לנקודת תצפית קבועה. ברגע מסוים המטוס נצפה בזווית של $\alpha = 30^\circ$. ברגע זה הזווית קטנה, ומהירות המטוס היא 480 ק"מ לשעה.
- א. באיזה קצב קטנה α באותו רגע? בטאו את התוצאה במעלות לשנייה.
- ב. באיזה קצב משתנה אז המרחק בין המטוס לנקודת התצפית? בטאו את התוצאה במטרים לשנייה.



- (6) למוישליה בלון בצורת כדור המלא באוויר. מוישליה משחרר את האוויר מהבלון בקצב קבוע של 2 סמ"ק בשנייה. באיזה קצב קטן שטח פני הבלון כאשר רדיוסו הוא 3 ס"מ?

- (7) נתון חרוט שרדיוס בסיסו וגובהו שווים ל-3 ס"מ. פותחים ברז ומים זורמים לחרוט בקצב קבוע של L סמ"ק לשנייה.

א. הוכיחו כי לאחר $\frac{9\pi}{L}$ שניות החרוט יהיה מלא מים.

הערה: שאלה זו דורשת יכולת פתרון מד"ר בהפרדת משתנים.

ב. נסמן ב- $h(t)$ את גובה פני החרוט בזמן t .

מהו קצב עליית המים בחרוט, כאשר $h(t) = 1.5$ ס"מ?

- (8) חלקיק נע לאורך עקומה שמשוואתה היא $\frac{xy^3}{1+y^2} = \frac{8}{5}$. נתון ששיעור ה- x של החלקיק גדל בקצב של 6 יחידות לשנייה, ברגע שבו החלקיק נמצא בנקודה $(1, 2)$.

א. באיזה קצב משתנה אז שיעור ה- y של החלקיק?

ב. האם החלקיק עולה או יורד באותו רגע?

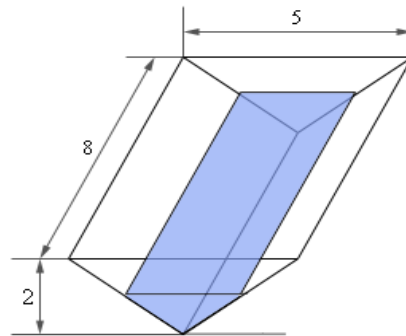
- (9) כדור שלג שרדיוסו ההתחלתי 4 ס"מ נמס, כך שהקצב שבו רדיוסו קטן פרופורציונאלי לשטח פניו. לאחר כחצי שעה רדיוס הכדור שווה ל-3 ס"מ. הערה: שאלה זו דורשת יכולת פתרון מד"ר בהפרדת משתנים.

א. רשמו נוסחה שתתאר את רדיוס הכדור בזמן t .

ב. כעבור כמה זמן יהיה נפח כדור השלג $\frac{1}{64}$ מנפחו ההתחלתי?

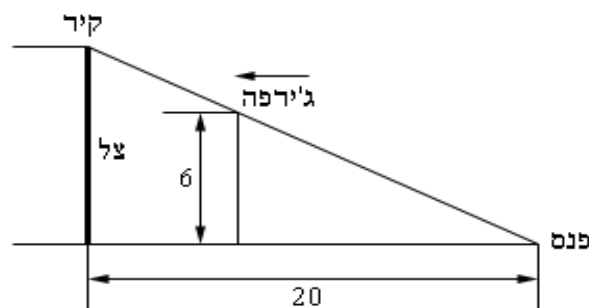
- (10) מבלון מלא אוויר שרדיוסו R מתחיל לצאת אוויר. קצב יציאת האוויר הוא $-3V(t)$, כאשר $V(t)$ הוא נפח הבלון בזמן t . הוכיחו כי לאחר $\ln 2$ שניות נפח הבלון יקטן לשמינית מערכו ההתחלתי. הערה: שאלה זו דורשת יכולת פתרון מד"ר בהפרדת משתנים.

- (11) נתונה שוקת מים שעומקה 8 מטרים וצורתה מנסרה משולשת, שבסיסה הם משולשים שווים שוקיים שבסיסם 5 מ' וגובהם 2 מ' (ראו ציור). אם מים מוזרמים לשוקת בקצב קבוע של 6 מטרים מעוקבים לשנייה, באיזה קצב משתנה גובה המים כאשר גובהם 120 סנטימטרים?

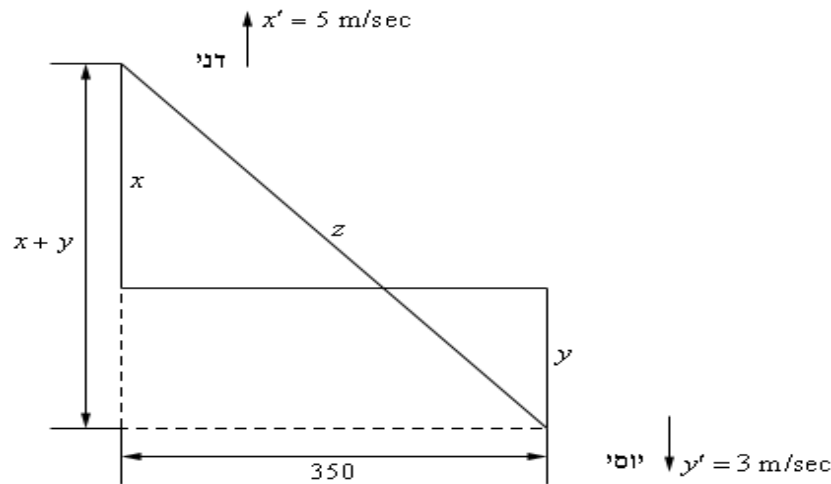


- (12) פנס נמצא בראש עמוד שגובהו 12 מטר. ג'ירפה, שגובהה 5.5 מטרים, מתרחקת מהעמוד בקצב של 2 מטרים בשנייה. א. באיזה קצב מתרחק קצה הצל של הג'ירפה מהעמוד, כאשר היא 25 מ' מהעמוד? ב. באיזה קצב מתרחק קצה הצל של הג'ירפה מהג'ירפה, כאשר היא 25 מ' מהעמוד?

- (13) פנס מונח על הקרקע 20 מטרים מקיר. ג'ירפה, שגובהה 6 מטרים, הולכת לכיוון הקיר בקצב של 2.5 מטרים לשנייה. באיזה מהירות משתנה גובהו של הצל, כאשר הג'ירפה במרחק של 8 מטרים מהקיר? האם גובה הצל קטן או גדל באותו הזמן?



- 14) דני ויוסי גרים במרחק של 350 מטרים האחד מהשני. דני יוצא מביתו ורוכב על אופניו צפונה במהירות של 5 מטרים לשנייה. 7 דקות אחר כך יוצא יוסי מביתו ורוכב על אופניו דרומה במהירות של 3 מטרים לשנייה. באיזה קצב משתנה המרחק בין דני ויוסי 25 דקות לאחר שדני יצא את ביתו? תוכלו להיעזר באיור הבא:



- 15) נניח שיש לנו שני נגדים המחוברים במקביל עם התנגדות R_1 ו- R_2 , הנמדדת באוהם (Ω). ההתנגדות הכוללת R נתונה על ידי $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. נניח ש- R_1 גדל בקצב של 0.4 אוהם בדקה ו- R_2 קטן בקצב של 0.7 אוהם בדקה. באיזה קצב משתנה R , כאשר $R_1 = 80\Omega$, $R_2 = 105\Omega$?

תשובות סופיות

(1) $20\pi \text{ m}^2 / \text{sec}$

(2) $-\frac{4}{3} \text{ m} / \text{sec}$

(3) א. $0.104 \text{ rad} / \text{sec}$ ב. $208 \text{ m} / \text{sec}$

(4) $-0.38 \text{ cm} / \text{min}$

(5) א. $100 \text{ Rad} / \text{hour}$ או $-\frac{5}{\pi}$ מעלות בשנייה. ב. $115.4 \text{ m} / \text{sec}$

(6) $\frac{3}{4}$ סמ"ר לשנייה.

(7) א. שאלת הוכחה. ב. $\frac{4L}{9\pi}$

(8) א. $-\frac{60}{7}$ יחידות לשנייה. ב. יורד

(9) א. $R(t) = \frac{12}{2t+3}$ ב. $t = 4.5 \text{ hours}$

(10) שאלת הוכחה.

(11) $0.25 \text{ m} / \text{sec}$

(12) א. $3.6923 \text{ m} / \text{sec}$ ב. $1.6923 \text{ m} / \text{sec}$

(13) $2.0833 \text{ m} / \text{sec}$

(14) $7.9958 \text{ m} / \text{sec}$

(15) קטן בקצב של $0.002045 \Omega / \text{min}$.

חדוא 1

פרק 20 - משפטי הערך הממוצע של רול, לגראנז', קושי ודרבו

תוכן העניינים

249	1. משפט רול
253	2. משפט לגראנז' - הוכחת אי שוויונים בקטע $[a, b]$
255	3. משפט לגראנז' - הוכחת אי שוויונים בקטע $[o, x]$
256	4. משפט לגראנז' - הוכחת אי שוויונים עם מספרים
257	5. משפט לגראנז' - שאלות כלליות
261	6. משפט הערך הממוצע המוכלל של קושי
263	7. משפט דרבו

משפט רול

שאלות

- (1) בדקו האם הפונקציה הנתונה, $f(x)$ בקטע הנתון, מקיימת את תנאי משפט רול, ומצאו את כל ערכי c המקיימים את מסקנת משפט רול:

א. $f(x) = x^3 - 3x^2 + 2x$ $[0, 2]$

ב. $f(x) = \frac{x^2 - 1}{x - 2}$ $[-1, 1]$

(2) נתון ש- $f(x) = \frac{1}{(x-3)^2}$.

- הראו ש- $f(1) = f(5)$, אך אין נקודה c , כך ש- $f'(c) = 0$.
האם הדבר סותר את משפט רול? נמקו.

- (3) תהי f פונקציה גזירה פעמיים ב- $\mathbb{R}$,
ונניח שקיימות שלוש נקודות שונות, x_0, x_1, x_2 , עבורן $f(x_0) = f(x_1) = f(x_2)$.
הוכיחו שקיים c ממשי, כך ש- $f''(c) = 0$.

- (4) תהי $f : (0, 1) \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה 3 פעמים.
נניח שלכל n טבעי מתקיים $f\left(\frac{1}{n}\right) = 0$.
הוכיחו שקיימת $x_0 \in (0, 1)$, כך ש- $f'''(x_0) = 0$.

- (5) תהי $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה 3 פעמים.
נניח שמתקיים $f(a) = f(b) = f'(a) = f'(b) = 0$.
הראו שלמשוואה $f'''(x) = 0$ יש פתרון.

- (6) נתון כי $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה פעמיים.
נתון בנוסף כי f פונקציה זוגית שיש לה נקודת מינימום מקומית ב- $x_0 = 2$.
הוכיחו כי יש שתי נקודות שונות בהן הנגזרת השנייה מתאפסת.

- (7) נתונה פונקציה f , גזירה ב- $\mathbb{R}$.
 תהי g מוגדרת על ידי $g(x) = (x^2 - 1)f(x)$.
 הראו כי g גזירה ב- $\mathbb{R}$, והוכיחו כי הנגזרת, g' ,
 מתאפסת לפחות פעם אחת בקטע $(-1, 1)$.
- (8) הוכיחו:
 אם f גזירה ב- $\mathbb{R}$ ו- $f(1) = 0$, אז הפונקציה $g(x)$, המוגדרת על ידי
 $g(x) = xf(x)$, גזירה ב- $\mathbb{R}$, וישנו פתרון ממשי למשוואה $g'(x) = 0$.
- (9) תהי $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- $f(0) = 0$ ו- $f(x) > 0$ לכל $0 < x \leq 1$.
 הוכיחו שקיים $c \in (0, 1)$, כך ש- $\frac{f'(1-c)}{f(1-c)} = 2 \frac{f'(c)}{f(c)}$.
- (10) אם $c_0 + \frac{c_1}{2} + \dots + \frac{c_{n-1}}{n} + \frac{c_n}{n+1} = 0$, $(c_i \in \mathbb{R})$,
 הוכיחו שלמשוואה $c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1} + c_nx^n = 0$
 יש לפחות פתרון אחד בקטע $(0, 1)$.
- (11) תהי $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- $f(0) = 0$, $f(1) = 1$.
 הראו שלמשוואה $f'(x) = 2x$ קיים פתרון בקטע $(0, 1)$.
- (12) תהיינה $f, g: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציות גזירות.
 נניח שלכל x ממשי מתקיים $f'(x)g(x) \neq g'(x)f(x)$.
 הראו שבין כל שני שורשים של f קיים לפחות שורש אחד של g .
- (13) תהי $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה,
 כך ש- $f(0) = f(1) = 0$ ו- $f'(0) > 0$, $f'(1) > 0$.
 א. הוכיחו שקיימת סביבה שמאלית של 1, שבה הפונקציה הנתונה שלילית.
 ב. הוכיחו שקיימת סביבה ימנית של 0, שבה הפונקציה הנתונה חיובית.
 ג. הוכיחו שהנגזרת של הפונקציה מתאפסת לפחות פעמיים בקטע $(0, 1)$.

14 ענו על הסעיפים הבאים :א. תהי $f : (-1, 2) \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה פעמיים.

$$f\left(\frac{1}{n}\right) = 1 \text{ טבעי } n \text{ שלכל}$$

חשבו את $f''(0)$.ב. תהי $f : (-1, 2) \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה פעמיים, כך ש- $f''(0) > 0$.

$$f\left(\frac{1}{n}\right) \neq 1 \text{ טבעי, } n \text{ שלכל}$$

15 תהי $f : (-1, 2) \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה פעמיים.

$$f\left(1 - \frac{1}{n}\right) = 1 \text{ טבעי } n \text{ שלכל}$$

חשבו את $f''(1)$.**16** נתון כי f, g גזירות לכל x וכי $f'(x)g(x) + g'(x)f(x) \neq 0$ ב- $\mathbb{R}$.הוכיחו שלמשוואה $f(x)g(x) = A$ יש לכל היותר פתרון אחד. A קבוע כלשהו.**17** נתון כי f גזירה לכל x וכי $f'(x)$ חד-חד ערכית ב- $\mathbb{R}$.תהי x_0 נקודה כלשהי.הוכיחו כי לגרף של $y = f(x)$ ולישר המשיק בנקודה x_0 יש נקודה משותפתאחת ויחידה - x_0 .במילים אחרות: הוכיחו כי הגרף של $y = f(x)$ נמצאו כולו מעל המשיק או

מתחתיו.

18 נתון כי f גזירה פעמיים בקטע (a, b) , ולכל $x \in (a, b)$ מתקיים

$$(f'(x))^2 \neq f(x) \cdot f''(x)$$

נתון שלמשוואה $f'(x) = 0$ יש שלושה פתרונות בקטע.הוכיחו שלמשוואה $f(x) = 0$ יש לפחות שני פתרונות בקטע.תנו דוגמה לפונקציה f המקיימת $(f'(x))^2 \neq f(x) \cdot f''(x)$.**19** נתון כי $f(x), g(x)$ רציפות בקטע $[a, b]$ וגזירות בקטע (a, b) .נתון בנוסף כי $f(a) = g(a), f(b) = g(b)$.הוכיחו שקיימת נקודה $a < c < b$ כך ש- $f'(c) = g'(c)$.

- (20) הפונקציות f ו- g רציפות ב- $[a, b]$ וגזירות ב- (a, b) .
 ידוע כי $f(a) \geq g(a)$ ו- $f'(x) > g'(x)$ ב- (a, b) .
 הוכיחו כי $f(x) > g(x)$ ב- (a, b) .

תשובות סופיות

- (1) א. כן, $1 \pm \frac{1}{\sqrt{3}}$ ב. כן, $2 - \sqrt{3}$.
 (2) לא, מכיוון שהפונקציה לא רציפה בנקודה $x = 3$.
 (14) א. 0 ב. שאלת הוכחה.
 (15) 0

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

משפט לגראנז' – הוכחת אי שוויונים בקטע $[a, b]$

שאלות

הוכיחו את אי השוויונים הבאים בתחום הרשום לידם:

$$(0 < a < b) \quad \frac{b-a}{b} < \ln\left(\frac{b}{a}\right) < \frac{b-a}{a} \quad (1)$$

$$(0 < a < b) \quad \frac{b-a}{2\sqrt{b}} < \sqrt{b} - \sqrt{a} < \frac{b-a}{2\sqrt{a}} \quad (2)$$

$$(a < b) \quad (a-b)e^{-a} < e^{-b} - e^{-a} < (a-b)e^{-b} \quad (3)$$

$$\left(0 < a < b < \frac{\pi}{2}\right) \quad \frac{b-a}{\cos^2 a} < \tan b - \tan a < \frac{b-a}{\cos^2 b} \quad (4)$$

$$(0 < a < b) \quad \frac{b-a}{1+b^2} < \arctan b - \arctan a < \frac{b-a}{1+a^2} \quad (5)$$

$$(0 < a < b < 1) \quad \frac{b-a}{\sqrt{1-a^2}} < \arcsin b - \arcsin a < \frac{b-a}{\sqrt{1-b^2}} \quad (6)$$

$$(0 < a < b) \quad \frac{b-a}{\sqrt{1+b^2}} < \frac{\operatorname{arcsinh}(b) - \operatorname{arcsinh}(a)}{b-a} < \frac{b-a}{\sqrt{1+a^2}} \quad (7)$$

$$(0 < a < b < 1) \quad \frac{b-a}{1-a^2} < \operatorname{arctanh}(b) - \operatorname{arctanh}(a) < \frac{b-a}{1-b^2} \quad (8)$$

$$(0 < a < b) \quad \sqrt[n]{b} \cdot \frac{b-a}{n \cdot b} < \sqrt[n]{b} - \sqrt[n]{a} < \sqrt[n]{a} \cdot \frac{b-a}{n \cdot a} \quad (9)$$

$$(1 < a < b) \quad \frac{2b(b-a)}{b^2+1} < \ln\left(\frac{b^2+1}{a^2+1}\right) < \frac{2a(b-a)}{a^2+1} \quad (10)$$

$$(1 < a < b < 3) \quad \ln b - \ln a + \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \leq \frac{1}{4}(b-a) \quad (11)$$

$$(x_1 < x_2) \quad |\sin x_2 - \sin x_1| \leq |x_2 - x_1| \quad (12)$$

$$(x_1 < x_2) \quad |\cos x_2 - \cos x_1| \leq |x_2 - x_1| \quad (13)$$

$$(x < y) \quad |\arctan y - \arctan x| \leq |y - x| \quad (14)$$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

משפט לגראנז' – הוכחת אי שוויונים בקטע $[0, x]$

שאלות

הוכיחו את אי השוויונים הבאים בתחום הרשום לידם:

$$\left(0 < x < \frac{\pi}{2}\right) \quad x < \tan x < \frac{x}{\cos^2 x} \quad (1)$$

$$(x > 0) \quad \frac{x}{1+x^2} < \arctan x < x \quad (2)$$

$$(0 < x < 1) \quad x < \arcsin x < \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \quad (3)$$

$$(x > 0) \quad \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} < \operatorname{arcsinh}(x) < x \quad (4)$$

$$(0 < x < 1) \quad x < \operatorname{arctanh}(x) < \frac{x}{1-x^2} \quad (5)$$

$$(x > 0) \quad \frac{x}{1+x} < \ln(1+x) < x \quad (6)$$

$$(x > 0) \quad 1+x < e^x < 1+xe^x \quad (7)$$

$$(x > 0) \quad \sin x \leq x \quad (8)$$

$$\left(0 < x < \frac{\pi}{3}\right) \quad \tan x < 4x \quad (9)$$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

משפט לגראנז' – הוכחת אי-שוויונים עם מספרים

שאלות

הוכיחו את אי-השוויונים הבאים :

$$\frac{1}{3} < \ln\left(\frac{3}{2}\right) < \frac{1}{2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} + 1 < \sqrt{2} < 1.5 \quad (2)$$

$$\frac{3}{25} + \frac{\pi}{4} < \arctan\left(\frac{4}{3}\right) < \frac{1}{6} + \frac{\pi}{4} \quad (3)$$

$$\frac{\sqrt{3}}{15} + \frac{\pi}{6} < \arcsin(0.6) < \frac{1}{8} + \frac{\pi}{6} \quad (4)$$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

משפט לגראנז' – שאלות כלליות

שאלות

- (1) תהי $f(x)$ פונקציה גזירה לכל x , המקיימת $|f'(x)| \leq 5$.
 ידוע כי $f(1) = 3$, $f(4) = 18$.
 הוכיחו כי $f(2) = 8$.

- (2) תהי $f(x)$ פונקציה גזירה לכל x , המקיימת $|f'(x)| \leq 7$.
 ידוע כי $f(1) = 3$, $f(4) = 18$.
 הוכיחו כי $4 \leq f(2) \leq 10$.

- (3) תהי f פונקציה גזירה פעמיים בקטע $[a, b]$, ונניח ש- $f(a) = f(b) = 0$,
 וכן שקיימת נקודה c , כאשר $c \in (a, b)$, כך ש- $f(c) > 0$.
 הוכיחו שקיימת נקודה m בקטע (a, b) , כך ש- $f''(m) < 0$.

- (4) תהי f פונקציה גזירה בקטע (a, b) , כך ש- f' חסומה בקטע (a, b) .
 א. הוכיחו שקיים $M > 0$, כך שלכל x ו- y ב- (a, b) מתקיים:
 $|f(y) - f(x)| \leq M|y - x|$.
 ב. הוכיחו ש- f רציפה במידה שווה ב- (a, b) .
 כלומר, הוכיחו שלכל $\varepsilon > 0$ קיים $\delta > 0$, כך שלכל x ו- y ב- (a, b) ,
 המקיימים $|x - y| < \delta$, מתקיים $|f(x) - f(y)| < \varepsilon$.

- (5) נניח כי f רציפה ב- $[0, \infty)$ וגזירה ב- $(0, \infty)$.
 כמו כן, $f(0) = 0$, ו- f' מונוטונית עולה.
 א. הוכיחו כי $f'(x) > \frac{f(x)}{x}$ ב- $(0, \infty)$.
 ב. הוכיחו כי $g(x) = \frac{f(x)}{x}$ מונוטונית עולה ב- $(0, \infty)$.

(6) תהיינה f, g פונקציות רציפות ב- $[a, \infty)$ וגזירות ב- (a, ∞) .
נתון כי $f(a) = g(a)$ ו- $f'(x) \leq g'(x)$ לכל $x > a$.
הוכיחו כי $f(x) \leq g(x)$ לכל $x \geq a$.

(7) נניח כי f גזירה ב- $(0, \infty)$.

א. נתון כי $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x) = 0$.

הוכיחו כי $\lim_{x \rightarrow \infty} [f(x+1) - f(x)] = 0$.

ב. נתון כי $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x) > 0$.

הוכיחו כי $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = \infty$.

(8) תהי f פונקציה גזירה לכל x .
הוכח:

א. אם הגבולות $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x}$, $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x)$ קיימים, אז הם שווים זה לזה.

ב. אם $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln x}{x} = L$ אז $L = 0$ (ללא שימוש בכלל לופיטל).

ג. ייתכן שהגבול $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x}$ קיים אבל הגבול $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x)$ לא קיים.

ד. אם הגבול $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x)$ קיים אז גם הגבול $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x}$ קיים ושני הגבולות שווים זה לזה.

ה. אם $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x) > 0$ (או $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x) < 0$) אז $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = \infty$ (או $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = -\infty$).
הערה: סעיף ג' הוא למעשה הכללה של סעיף א'.

(9) נניח כי f גזירה ב- $\mathbb{R}$.

האם נכון לומר כי מתקיים $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x) = \infty \Leftrightarrow \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x} = \infty$?

הוכיחו או הפריכו.

הערה: למרות שתרגיל זה אפתור ללא שימוש במשפט לגראנז', הכנסתי אותו כאן בזכות הקשר שלו לשאלה הקודמת.

(10) תהי $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- $|f'(x)| < 1$ לכל $0 \leq x \leq 1$.
הוכיחו שקיים לכל היותר c אחד ב- $[0, 1]$, כך ש- $f(c) = c$.

(11) תהי $f: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ פונקציה גזירה, כך ש- $f'(x) < 0$ לכל $0 \leq x \leq 1$.
הוכיחו שקיים בדיוק c אחד ב- $[0, 1]$, כך ש- $f(c) = c^2$.

(12) תהי f פונקציה גזירה ב- $[a, b]$.

הוכיחו שקיימים $c_1, c_2, c_3 \in (a, b)$, כך ש- $c_2 \neq c_3$ ו- $f'(c_1) = \frac{f'(c_2) + f'(c_3)}{2}$.

(13) תהי $f : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה פעמיים.

נניח שהישר, המחבר את הנקודות $(0, f(0))$ ו- $(1, f(1))$, חותך את הגרף של f בנקודה $(a, f(a))$, כאשר $0 < a < 1$. הוכיחו שקיים $x_0 \in [0, 1]$, כך ש- $f''(x_0) = 0$.

(14) תהי $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

נניח ש- f גזירה ב- (a, b) ו- $\lim_{x \rightarrow a^+} f'(x) = L$, כאשר $L \in \mathbb{R}$.

הוכיחו כי $f'_+(a) = L$ קיים ו- $f'_+(a) = L$.

(15) תהי $f : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה שמקיימת $f(0) = 0$.

נניח שלכל $x \in [0, 1]$ מתקיים $|f'(x)| \leq |f(x)|$. הוכיחו כי $f(x) = 0$ לכל $x \in [0, 1]$.

(16) נתון כי f רציפה בקטע $[a, b]$ וגזירה בקטע (a, b) .

א. ידוע כי $f'(x) = 0$ לכל $x \in (a, b)$.

הוכיחו כי f קבועה ב- $[a, b]$.

ב. ידוע כי $f'(x) = m$ לכל $x \in (a, b)$.

הוכיחו כי f לינארית ב- $[a, b]$.

(17) ענו על הסעיפים הבאים:

א. נתון כי f, g רציפות בקטע $[a, b]$ וגזירות בקטע (a, b) .

ידוע כי $f'(x) = g'(x)$ לכל $x \in (a, b)$.

הוכיחו כי $f(x) = g(x) + c$ ב- $[a, b]$.

ב. הוכיחו כי $\arccos(x) = \frac{\pi}{2} - \arcsin(x)$.

(18) נתון כי f גזירה בקטע (a, b) ו- $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x) = \infty$.

א. הוכח כי f' לא חסומה בקטע.

ב. האם בהכרח f' שואפת ל- ∞ או $-\infty$?

תשובות סופיות

8) ב. 0

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

משפט הערך הממוצע המוכלל של קושי

שאלות

(1) הוכיחו שלכל $1 \leq a < b$ מתקיים $n(\ln b - \ln a) < b^n - a^n$, כאשר $n \in \mathbb{N}$.

(2) הוכיחו כי עבור כל a, b המקיימים $0 < a < b < 1$,

$$\frac{a}{1+a^2} < \frac{\arctan b - \arctan a}{\ln b - \ln a} < \frac{b}{1+b^2} \quad \text{מתקיים}$$

(3) הוכיחו כי עבור כל a, b המקיימים $1 < a < b$,

$$\frac{2\sqrt{b}}{1+b^2} < \frac{\arctan b - \arctan a}{\sqrt{b} - \sqrt{a}} < \frac{2\sqrt{a}}{1+a^2} \quad \text{מתקיים}$$

(4) הוכיחו כי $|\tan y - \tan x| \leq 8|\sin x - \sin y|$ לכל $x, y \in [0, \frac{\pi}{3}]$.

(5) הוכיחו כי $\arctan x > \ln(1+x)$ לכל $x \in (0,1)$.

(6) הוכיחו שלכל $x \neq 0$ מתקיים $1 - \frac{1}{2}x^2 < \cos x$.

(7) תהי f פונקציה רציפה ב- $[0,1]$ וגזירה ב- $(0,1)$.

הוכיחו שבקטע $(0,1)$ קיים פתרון למשוואה $f(1) - f(0) = \frac{f'(x)}{2x}$.

(8) תהי f פונקציה רציפה ב- $[0,1]$ וגזירה ב- $(0,1)$, ויהי n מספר טבעי כלשהו.

הוכיחו שקיים $0 < c < 1$, המקיים $f(1) - f(0) = \frac{f'(c)}{nc^{n-1}}$.

(9) יהיו a ו- b מספרים חיוביים כלשהם.

הוכיחו שקיים פתרון למשוואה $(a^3 - b^3)\cos x = 3x^2(\sin a - \sin b)$.

(10) תהי f פונקציה גזירה ב- $[a, b]$, כאשר $a \geq 0$.

הוכיחו שקיימים $c_1, c_2 \in [a, b]$, כך ש- $\frac{f'(c_1)}{a+b} = \frac{f'(c_2)}{2c_2}$.

(11) תהי f פונקציה גזירה בקטע $[a, b]$, כאשר $ab > 0$.

הוכיחו שלמשוואה $f'(x) \cdot x - f(x) = \frac{1}{b-a} \left| \begin{array}{cc} a & b \\ f(a) & f(b) \end{array} \right|$ קיים פתרון בקטע $[a, b]$.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

משפט דרבו

שאלות

(1) האם קיימת פונקציה גזירה f , שמקיימת $f'(x) = \begin{cases} 4x & x < 1 \\ x-1 & x \geq 1 \end{cases}$?

(2) האם קיימת פונקציה גזירה f , שמקיימת $f'(x) = \begin{cases} 4x & x \neq 1 \\ 0 & x = 1 \end{cases}$?

(3) האם קיימת פונקציה גזירה f , שמקיימת $f'(x) = \begin{cases} 4 & x = 0 \\ x^2 & x \neq 0 \end{cases}$?

(4) האם קיימת פונקציה גזירה f , שמקיימת $f'(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ \frac{1}{x^2} & x \neq 0 \end{cases}$?

(5) ענו על הסעיפים הבאים:

א. תהי $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, ותהי $x_0 \in (a, b)$. הוכיחו:

אם f' לא רציפה ב- x_0 , אז x_0 היא לא נקודת אי-רציפות סליקה.
ב. האם קיימת פונקציה f , גזירה ב- $\mathbb{R}$,

שהנגזרת שלה נתונה על ידי $f'(x) = \begin{cases} 4 & x = 0 \\ x^2 & x \neq 0 \end{cases}$?

(6) ענו על הסעיפים הבאים:

א. תהי $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, ותהי $x_0 \in (a, b)$. הוכיחו:

אם f' לא רציפה ב- x_0 , אז x_0 היא לא נקודת אי-רציפות מסוג I.
ב. האם קיימת פונקציה f גזירה ב- $\mathbb{R}$,

שהנגזרת שלה נתונה על ידי $f'(x) = \begin{cases} x+1 & x \geq 1 \\ 4x & x < 1 \end{cases}$?

(7) ענו על הסעיפים הבאים :

א. תהי $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, ותהי $x_0 \in (a, b)$.

הוכיחו :

אם f' לא רציפה ב- x_0 , אז $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f'(x) \neq \pm\infty$, $\lim_{x \rightarrow x_0^+} f'(x) \neq \pm\infty$.

כלומר, x_0 היא לא נקודת אי-רציפות מסוג שני, שבה אחד הגבולות החד-צדדיים אינסופי.

ב. האם קיימת פונקציה f , גזירה ב- $\mathbb{R}$,

$$f'(x) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ \frac{1}{x^2} & x \neq 0 \end{cases} \quad \text{שהנגזרת שלה נתונה על ידי}$$

(8) האם קיימת פונקציה f , גזירה ב- $[0, 1]$,

$$f'(x) = \begin{cases} 1 & x \in \mathbb{Q} \\ 0 & x \notin \mathbb{Q} \end{cases} \quad \text{שהנגזרת שלה ב-} [0, 1] \text{ נתונה על ידי}$$

(9) תהי f פונקציה גזירה ב- $\mathbb{R}$, ונניח כי $f(0) = 0$, $f(1) = f(2) = 1$.

הוכיחו שקיים $x \in (0, 2)$, שעבורו $f'(x) = \frac{1}{4}$.

(10) תהי f פונקציה גזירה בקטע (a, b) , ומקיימת $f'(x) \neq 0$ לכל $x \in (a, b)$.

הוכיחו כי f מונוטונית בקטע (a, b) .

(11) ממשפט דרבו נובע, שהנגזרת של פונקציה גזירה מקיימת את תכונת ערך הביניים (למרות שהנגזרת לא בהכרח רציפה).

האם הנגזרת של פונקציה גזירה מקיימת גם את משפטי ויירשטראס? הוכיחו או הפריכו זאת.

(12) תהי f פונקציה גזירה בקטע $[0, 1]$, המקיימת $0 \leq f'(x) \leq 2$ לכל x בקטע.

הוכיחו כי קיימת נקודה x ב- $[0, 1]$, כך ש- $f'(x) = x^2 + x$.

(13) תהי f פונקציה גזירה בקטע $[0, 1]$, המקיימת $0 \leq f'(x) \leq 1$ לכל x בקטע.

הוכיחו כי קיימת נקודה x ב- $[0, 1]$, כך ש- $f'(x) = \frac{4x}{\sqrt{x^2 + 15}}$.

(14) תהי f פונקציה גזירה בקטע $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$, המקיימת $0 \leq f'(x) \leq 1$, לכל x בקטע.

הוכיחו כי קיימת נקודה x בקטע $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$, כך ש- $f'(x) = \sin x$.

(15) תהי $f: [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה, לא קבועה שמקיימת $f(0) = f(1) = 0$. הוכיחו שקיים x ב- $(0,1)$, שעבורו $f'(x)$ רציונלי השונה מ-0.

תשובות סופיות

- (1) לא.
- (2) לא.
- (3) לא.
- (4) לא.
- (5) א. שאלת הוכחה. ב. לא.
- (6) א. שאלת הוכחה. ב. לא.
- (7) א. שאלת הוכחה. ב. לא.
- (8) לא.
- (9) שאלת הוכחה.
- (10) שאלת הוכחה.
- (11) שאלת הוכחה.
- (12) שאלת הוכחה.
- (13) שאלת הוכחה.
- (14) שאלת הוכחה.
- (15) שאלת הוכחה.

חדוא 1

פרק 21 - טורי טיילור - מקלורן

תוכן העניינים

266	1. טור טיילור וטור מקלורן
268	2. טור טיילור סביב $X=X_0$
269	3. חישוב סכום של טור
270	4. חישוב גבולות בעזרת טורי מקלורן
271	5. חישובים מקורבים עם השארית של לייבניץ
273	6. חישוב מקורב של אינטגרל מסוים
274	7. חישובים מקורבים עם השארית של לגראנז'
280	8. נוסחאות - טורי מקלורן של פונקציות חשובות

טור טיילור וטור מקלורן

שאלות

בשאלות 1-24 מצאו את הפיתוח לטור טיילור סביב $x=0$ (טור מקלורן) :

$$(1) \quad f(x) = \sin 2x \quad (2) \quad f(x) = x^2 e^{-4x} \quad (3) \quad f(x) = \sinh x$$

$$(4) \quad f(x) = \sin^2 x \quad (5) \quad f(x) = \cos^2 x \quad (6) \quad f(x) = 2^x$$

$$(7) \quad f(x) = x \cos(4x^2) \quad (8) \quad f(x) = \ln(2 - 3x + x^2) \quad (9) \quad f(x) = \arcsin x$$

$$(10) \quad f(x) = \frac{1}{1+x} \quad (11) \quad f(x) = \frac{3}{1-x^4} \quad (12) \quad f(x) = \frac{1}{1+9x^2}$$

$$(13) \quad f(x) = \frac{1}{x-5} \quad (14) \quad f(x) = \frac{x}{4x+1} \quad (15) \quad f(x) = \frac{x}{9+x^2}$$

$$(16) \quad f(x) = \frac{3}{x^2+x-2} \quad (17) \quad f(x) = \frac{7x-1}{3x^2+2x-1} \quad (18) \quad f(x) = \frac{1}{(1+x)^2}$$

$$(19) \quad f(x) = \ln(1+x) \quad (20) \quad f(x) = \ln(1-x) \quad (21) \quad f(x) = \ln \frac{1+x}{1-x}$$

$$(22) \quad f(x) = \ln(5-x) \quad (23) \quad f(x) = \frac{x^2}{(1-2x)^2} \quad (24) \quad f(x) = \arctan\left(\frac{x}{3}\right)$$

הערות : לפתרון שאלות 15 ו-16, יש להכיר את הנושא פירוק לשברים חלקיים.
לפתרון סעיפים 18, 19, 23 ו-24 יש להכיר את הנושא גזירה ואינטגרציה של טורי מקלורן.
אפשר להיעזר בפיתוחים הידועים לטור מקלורן המופיעים בנספח.

בשאלות 25-27 מצאו את ארבעת האיברים הראשונים, השונים מאפס, בפיתוח לטור מקלורן של הפונקציות (נדרש ידע בכפל וחילוק של פולינומים) :

$$(25) \quad f(x) = e^{-x^2} \cos x \quad (26) \quad f(x) = \tan x \quad (27) \quad f(x) = \frac{\sin x}{e^x}$$

תשובות סופיות

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} \quad (3) \quad \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{4^n x^{n+2}}{n!} \quad (2) \quad \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{2^{2n+1} x^{2n+1}}{(2n+1)!} \quad (1)$$

$$(-\infty < x < \infty) \quad (-\infty < x < \infty) \quad (-\infty < x < \infty)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\ln 2)^n x^n}{n!} \quad (6) \quad \frac{1}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{2^{2n-1} x^{2n}}{(2n)!} \quad (5) \quad \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2^{2n-1} x^{2n}}{(2n)!} \quad (4)$$

$$(-\infty < x < \infty) \quad (-\infty < x < \infty) \quad (-\infty < x < \infty)$$

$$(-1 \leq x < 1) \ln 2 - \sum_{n=0}^{\infty} \left(1 + \frac{1}{2^{n+1}}\right) \frac{x^{n+1}}{n+1} \quad (8) \quad (-\infty < x < \infty) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{4^{2n} x^{4n+1}}{(2n)!} \quad (7)$$

$$(|x| < 1) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n x^n \quad (10) \quad x + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot \dots \cdot 2n} \cdot \frac{x^{2n+1}}{2n+1} \quad (9)$$

$$(-1 < x < 1)$$

$$(|x| < \frac{1}{3}) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n 9^n x^{2n} \quad (12) \quad (|x| < 1) \sum_{n=0}^{\infty} 3x^{4n} \quad (11)$$

$$(|x| < \frac{1}{4}) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n 4^n x^{n+1} \quad (14) \quad (|x| < 5) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{-1}{5^{n+1}} x^n \quad (13)$$

$$(|x| < 1) \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^{n+1}}{2^{n+1}} - 1 \right) x^n \quad (16) \quad (|x| < 3) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{9^{n+1}} \quad (15)$$

$$(|x| < 1) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \cdot n \cdot x^{n-1} \quad (18) \quad (|x| < \frac{1}{3}) \sum_{n=0}^{\infty} (2(-1)^n - 3^n) x^n \quad (17)$$

$$(-1 \leq x < 1) \sum_{n=0}^{\infty} -\frac{x^{n+1}}{n+1} \quad (20) \quad (-1 < x \leq 1) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{n+1}}{n+1} \quad (19)$$

$$(-5 \leq x < 5) \ln 5 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{n+1}}{5^{n+1}(n+1)} \quad (22) \quad (|x| < 1) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2x^{2n+1}}{2n+1} \quad (21)$$

$$(|x| \leq 3) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{3^{2n+1}(2n+1)} \quad (24) \quad (|x| < \frac{1}{2}) \sum_{n=0}^{\infty} 2^n (n+1) x^{n+2} \quad (23)$$

$$x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \frac{17x^7}{315} + \dots \quad (26) \quad 1 - \frac{3}{2}x^2 + \frac{25}{24}x^4 - \frac{331}{720}x^6 + \dots \quad (25)$$

$$x - x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{30}x^5 + \dots \quad (27)$$

טור טיילור סביב $x = x_0$

שאלות

מצאו את הפיתוח לטור טיילור סביב $x = x_0$ של הפונקציות הבאות:

$$(x_0 = 1) \quad f(x) = \ln x \quad (1)$$

$$(x_0 = 2) \quad f(x) = \frac{1}{x} \quad (2)$$

$$\left(x_0 = \frac{\pi}{2}\right) \quad f(x) = \sin x \quad (3)$$

תשובות סופיות

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (x-1)^{n+1}}{n+1} \quad (1)$$

$$(0 < x \leq 2)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (x-2)^n}{2^{n+1}} \quad (2)$$

$$(0 < x < 4)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (x - \frac{\pi}{2})^{2n}}{2n!} \quad (3)$$

$$(-\infty < x < \infty)$$

חישוב סכום של טור

שאלות

חשבו את סכום הטורים הבאים:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2^n \cdot n!} \quad (3)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n 2^n}{n!} \quad (2)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \quad (1)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)!} \quad (6)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \quad (5)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{n+1}{n!} \quad (4)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2^{n+1}(n+1)} \quad (9)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n+1} \quad (8)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n)!} \quad (7)$$

תשובות סופיות

$$\pi/4 \quad (5) \quad 2e \quad (4) \quad \sqrt{e} \quad (3) \quad e^{-2} \quad (2) \quad e \quad (1)$$

$$\ln \frac{3}{2} \quad (9) \quad \ln 2 \quad (8) \quad \cos 1 \quad (7) \quad \sin 1 \quad (6)$$

חישוב גבולות בעזרת טורי מקלורן

שאלות

בשאלות 1-3 חשבו את ערך הגבול:

$$(1) \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x - x + \frac{1}{6}x^3}{x^5} \quad (2) \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x - \arctan x}{x^3} \quad (3) \quad \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x \sin x - x(1+x)}{x^3}$$

$$(4) \quad \text{נתון כי } \lim_{x \rightarrow 0} \frac{(1+x)^{x^2} - 1}{x^n} = k \text{ כאשר } k \text{ קבוע שונה מאפס. מצאו את } n \text{ ואת } k.$$

$$(5) \quad \text{חשבו את הגבול } \lim_{x \rightarrow 1^-} [\ln(1 - \ln x)]^{x-1}.$$

תשובות סופיות

$$(1) \quad \frac{1}{120}$$

$$(2) \quad \frac{1}{3}$$

$$(3) \quad \frac{1}{3}$$

$$(4) \quad k=1, n=3$$

$$(5) \quad 1$$

חישובים מקורבים עם השארית של לייבניץ

שאלות

בשאלות 1-3 חשבו בשגיאה הקטנה מ-0.001:

$$\frac{1}{e} \quad (1) \quad \sin 3^\circ \quad (2) \quad \arctan 0.25 \quad (3)$$

בשאלות 4-6 חשבו בעזרת n איברים ראשונים (שונים מאפס), בפיתוח לטור מקלורן, והעריכו את השגיאה בחישוב:

$$(n=3)\frac{1}{\sqrt{e}} \quad (4) \quad (n=1)\cos 4^\circ \quad (5) \quad (n=4)\ln 1.5 \quad (6)$$

$$(7) \quad \text{מהי השגיאה המקסימלית בקירוב } \sin x \cong x - \frac{x^3}{3!} \text{ עבור } |x| \leq \frac{\pi}{6} ?$$

$$(8) \quad \text{מהי השגיאה המקסימלית בקירוב } \ln(1+x) \cong x \text{ עבור } |x| < 0.01 ?$$

$$(9) \quad \text{מהי השגיאה המקסימלית בקירוב } \cos x \cong 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} \text{ עבור } |x| \leq 0.2 ?$$

$$(10) \quad \text{עבור אילו ערכי } x, \sin x \cong x - \frac{x^3}{3!} \text{ בשגיאה הקטנה מ-0.001 ?}$$

$$(11) \quad \text{עבור אילו ערכי } x, \arctan x \cong x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} \text{ בשגיאה הקטנה מ-0.01 ?}$$

תשובות סופיות

$$\frac{53}{144} \quad (1)$$

$$\frac{\pi}{60} \quad (2)$$

$$\frac{47}{192} \quad (3)$$

$$\frac{5}{8}, \text{ בשגיאה הקטנה מ- } \frac{1}{48} \quad (4)$$

$$1, \text{ בשגיאה הקטנה מ- } \frac{\pi \cdot \pi}{4050} \quad (5)$$

$$\frac{77}{192}, \text{ בשגיאה הקטנה מ- } \frac{1}{160} \quad (6)$$

$$\frac{(\pi/6)^5}{5!} \quad (7)$$

$$\frac{(0.01)^2}{2} \quad (8)$$

$$\frac{(0.2)^6}{6!} \quad (9)$$

$$|x| < \sqrt[5]{3/25} \quad (10)$$

$$|x| < \sqrt[9]{9/100} \quad (11)$$

חישוב מקורב של אינטגרל מסוים

שאלות

חשבו בקירוב את האינטגרלים הבאים בשגיאה הקטנה מ- ε :

$$(\varepsilon = 0.0001) \quad \int_0^{0.2} \frac{\sin x}{x} dx \quad (1)$$

$$(\varepsilon = 0.001) \quad \int_0^{0.1} \frac{\ln(1+x)}{x} dx \quad (2)$$

$$(\varepsilon = 0.0001) \quad \int_0^{0.5} \frac{1-\cos x}{x^2} dx \quad (3)$$

תשובות סופיות

$$\frac{449}{2250} \quad (1)$$

$$\frac{39}{400} \quad (2)$$

$$\frac{143}{576} \quad (3)$$

חישובים מקורבים עם השארית של לגראנז'

(1) א. רשמו את נוסחת טיילור מסדר שני לפונקציה $f(x) = \sqrt{x+4}$ סביב $x_0 = 0$, כולל שארית לגראנז'.

חשבו, בעזרת הנוסחה שהתקבלה, את $\sqrt{5}$ והעריכו את השגיאה בקירוב.
ב. הוכיחו שלכל $x > 0$ מתקיים:

$$2 + \frac{1}{4}x - \frac{1}{64}x^2 < \sqrt{x+4} < 2 + \frac{1}{4}x - \frac{1}{64}x^2 + \frac{1}{512}x^3$$

ג. מהי השגיאה המקסימלית בקירוב $\sqrt{x+4} \cong 2 + \frac{1}{4}x - \frac{1}{64}x^2$, עבור $|x| < 0.1$?

(2) א. רשמו את נוסחת טיילור מסדר שני לפונקציה $f(x) = \sqrt[3]{64+x}$ סביב $x_0 = 0$, כולל שארית לגראנז'.

חשבו, בעזרת הנוסחה שהתקבלה, את $\sqrt[3]{66}$ והעריכו את השגיאה בקירוב.
ב. הוכיחו שלכל $x > 0$ מתקיים:

$$4 + \frac{1}{48}x - \frac{1}{9216}x^2 < \sqrt[3]{64+x} < 4 + \frac{1}{48}x - \frac{1}{9216}x^2 + \frac{5}{5308416}x^3$$

(3) א. רשמו את נוסחת טיילור מסדר ראשון לפונקציה $f(x) = \tan x$ סביב $x_0 = 0$, כולל שארית לגראנז'.

חשבו בעזרת הנוסחה שהתקבלה, את $\tan 0.1$ והעריכו את השגיאה בקירוב.
ב. הוכיחו שלכל $0 < x < 1$ מתקיים:

$$x < \tan x < x + 4\sqrt{3}x^2$$

(4) רשמו את נוסחת טיילור מסדר שני לפונקציה $f(x) = \sqrt[4]{x}$ סביב $x_0 = 16$, כולל שארית לגראנז'.

חשבו, בעזרת הנוסחה שהתקבלה, את $\sqrt[4]{15}$ והעריכו את השגיאה בקירוב.

(5) חשבו את $\sqrt[3]{29}$ ברמת דיוק של 10^{-3} .

(6) חשבו את $\sin 36^\circ$ בשגיאה הקטנה מ- $\frac{1}{1000000}$, בשתי דרכים:

א. על ידי שימוש בטור טיילור מתאים סביב $x = 0$.

ב. על ידי שימוש בטור טיילור מתאים סביב $x = \frac{\pi}{4}$.

מי מהטורים טוב יותר על מנת לחשב את $\sin 36^\circ$? נמקו.

(7) נתונה $f(x) = \sqrt{1+x}$.

א. קרבו את $f(x)$ על ידי פולינום טיילור סביב 0 עד סדר 1 עבור $0 \leq x \leq 1$, והעריכו את השגיאה בקירוב.

ב. הוכיחו שלכל $x \geq 0$ מתקיים $\sqrt{1+x} \leq 1 + \frac{1}{2}x$.

(8) נתונה $f(x) = \frac{1}{1+x}$.

א. קרבו את $f(x)$ על ידי פולינום טיילור סביב 0 עד סדר 3, עבור $0.1 \leq x \leq 0.9$, והעריכו את השגיאה בקירוב.

ב. מצאו את הערכת השגיאה (השגיאה המקסימלית) בנוסחה המקורבת

עבור $0.1 \leq x \leq 0.9$, $\frac{1}{1+x} \cong 1 - x + x^2 - x^3$.

ג. הוכיחו כי עבור $-1 < x$ מתקיים $\frac{1}{1+x} \geq 1 - x + x^2 - x^3$.

(9) נתונה $f(x) = \frac{1}{\sqrt[3]{1+x}}$.

א. קרבו את $f(x)$ על ידי פולינום טיילור סביב 0 עד סדר 2, עבור $|x| \leq 0.5$, והעריכו את השגיאה בקירוב.

ב. מצאו את הערכת השגיאה (השגיאה המקסימלית) בנוסחה המקורבת

עבור $|x| \leq 0.5$, $\frac{1}{\sqrt[3]{1+x}} \cong 1 - \frac{1}{3}x + \frac{2}{9}x^2$.

ג. פתרו את אי השוויון $\frac{1}{\sqrt[3]{1+x}} < 1 - \frac{1}{3}x + \frac{2}{9}x^2$, עבור $-1 < x$.

(10) ענו על הסעיפים הבאים:

א. מצאו את נוסחת מקלורן עבור $f(x) = e^x$, כולל נוסחת השארית של לגראנז'.

ב. חשבו את $\sqrt{e}$ ברמת דיוק של 10^{-4} .

ג. מצאו את הערכת השגיאה של הנוסחה המקורבת:

עבור $0 \leq x \leq 1$, $e^x \cong 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots + \frac{x^n}{n!}$.

ד. מצאו פולינום $p(x)$ בקטע $(-1, 1)$, שעבורו $|e^x - p(x)| < 10^{-5}$.

11) ענו על הסעיפים הבאים :

- א. מצאו את נוסחת מקלורן עבור $f(x) = \ln(1+x)$, כולל נוסחת השארית של לגראנז'.
- ב. חשבו את $\ln 1.5$ ברמת דיוק של 10^{-4} .
- ג. מצאו את הערכת השגיאה של הנוסחה המקורבת :
- $$\ln(1+x) \cong x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots + (-1)^{n+1} \frac{x^n}{n} \quad \text{עבור } 0 \leq x \leq 1.$$
- ד. מצאו פולינום $p(x)$ בקטע $(0,1)$, שעבורו $|\ln(1+x) - p(x)| < 10^{-2}$.
- ה. הוכיחו כי לכל $x > 0$ מתקיים אי השוויון $x - \frac{x^2}{2} < \ln(1+x) < x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3}$.

12) תהי f פונקציה גזירה פעמיים בקטע $[0,1]$,ונניח ש- $f(0) = f(1) = 0$ ו- $|f''(x)| \leq M$ לכל $0 < x < 1$.הוכיחו כי $|f'(x)| \leq \frac{M}{2}$ לכל $0 \leq x \leq 1$.**13) תהי $f : [-1,1] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה פעמיים המקיימת $f(-1) = f(1) = 0$.**כמו כן, נתון כי קיים M , כך ש- $|f''(x)| \leq M$ בקטע.הוכיחו שלכל $-1 \leq x \leq 1$ מתקיים $|f(x)| \leq \frac{M}{2}$.**14) תהי f פונקציה גזירה ב- $(0, \infty)$, ונניח כי $|f'(x)| \leq M$ לכל $0 < x$.**הוכיחו כי $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x)}{x^2} = 0$.**15) תהי $f : [a,b] \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה פעמיים המקיימת $f''(x) \geq 0$ לכל $x \in [a,b]$,**ונניח כי $x_0 \in [a,b]$.א. הוכיחו שלכל $x \in [a,b]$ מתקיים $f(x) \geq f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$.ב. הוכיחו כי $\cos y - \cos x \geq (x - y) \sin x$ לכל $x, y \in [\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}]$.**16) תהי $f : [a, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ פונקציה גזירה פעמיים ונניח כי קיימים :**

$$M_0 = \sup_{x \geq a} |f(x)|, \quad M_1 = \sup_{x \geq a} |f'(x)|, \quad M_2 = \sup_{x \geq a} |f''(x)|$$

הוכיחו כי : $(M_1)^2 \leq 4M_0M_2$.

(17) נניח ש- f גזירה פעמיים ב- $(0, \infty)$ ו- f'' חסומה ב- $(0, \infty)$ ו- $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$.

הוכיחו כי $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x) = 0$.

תשובות סופיות

- (1) א. נוסחה: $\sqrt[3]{64+x} = 4 + \frac{1}{48}x - \frac{1}{9216}x^2 + \frac{5}{81 \cdot \sqrt[3]{(64+c)^8}}x^3$, חישוב: $\sqrt[3]{66} = 4 + \frac{1}{24} - \frac{1}{2304} = \frac{9311}{2304}$, שגיאה בקירוב: $\frac{5}{663552}$.
- ב. שאלת הוכחה. ג. $\frac{1}{480000}$.
- (2) א. נוסחה: $\tan x = x + \frac{\sin c}{\cos^3 c}x^2$, חישוב: $\tan 0.1 = \frac{1}{10}$, שגיאה בקירוב: $\frac{1}{970}$.
- ב. שאלת הוכחה.
- (3) א. נוסחה: $\sqrt{x+4} = 2 + \frac{1}{4}x - \frac{1}{64}x^2 - \frac{1}{16 \cdot \sqrt{(c+4)^8}}x^3$, חישוב: $\sqrt{5} = 2 + \frac{1}{4} - \frac{1}{64} = \frac{143}{64}$, שגיאה בקירוב: $\frac{1}{512}$.
- ב. שאלת הוכחה.
- (4) נוסחה: $\sqrt[4]{x} = 2 + \frac{1}{32}(x-16) - \frac{3}{4096}(x-16)^2 + \frac{7}{128 \cdot \sqrt[4]{c^{11}}}(x-16)^3$, חישוב: $\sqrt[4]{15} = 2 - \frac{1}{32} - \frac{3}{4096} = \frac{8061}{4096}$, שגיאה בקירוב: $\frac{1}{3130}$.
- (5) $\sqrt[3]{29} = 3\frac{158}{2187}$
- (6) א. $\sin \frac{\pi}{5} = \frac{\pi}{5} - \frac{\frac{\pi^3}{5}}{3!} + \frac{\frac{\pi^5}{5}}{5!} - \frac{\frac{\pi^7}{5}}{7!}$, ב. $\sin \frac{\pi}{5} = \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}(\frac{\pi}{5} - \frac{\pi}{4}) - \frac{\sqrt{2}}{4}(\frac{\pi}{5} - \frac{\pi}{4})^2 - \frac{\sqrt{2}}{12}(\frac{\pi}{5} - \frac{\pi}{4})^3$.
- (7) א. ב. $\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x$, בשגיאה הקטנה מ-0.25.
- (8) א. $\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3$, בשגיאה הקטנה מ- $\frac{6561}{10000}$.
- ב. שגיאה הקטנה מ- $\frac{6561}{10000}$. ג. שאלת הוכחה.
- (9) א. $\frac{1}{\sqrt[3]{1+x}} = 1 - \frac{1}{3}x + \frac{2}{9}x^2$, בשגיאה הקטנה מ- $\frac{7}{27}$.
- ב. השגיאה המקסימלית היא $\frac{7}{27}$. ג. ראו בסרטון.
- (10) א. $e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \frac{e^c}{(n+1)!}x^n$, ב. $\sqrt{e} = 1.6487$.
- ג. $\frac{3}{(n+1)!}$, ד. $p(x) = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \frac{x^5}{5!} + \frac{x^6}{6!} + \frac{x^7}{7!} + \frac{x^8}{8!}$.

$$(11) \text{ א. } \ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots + (-1)^{n+1} \frac{x^n}{n} + \frac{(-1)^n}{(n+1)(1+c)^{n+1}} x^{n+1}$$

$$\text{ב. } \ln(1.5) = 0.5 - \frac{0.5^2}{2} + \frac{0.5^3}{3} - \frac{0.5^4}{4} + \frac{0.5^5}{5} - \frac{0.5^6}{6} + \frac{0.5^7}{7} - \frac{0.5^8}{8} + \frac{0.5^9}{9}$$

$$\text{ג. } \frac{1}{n+1} \text{ ד. } p(x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots + \frac{x^{101}}{101} - \frac{x^{102}}{102} \text{ ה. שאלת הוכחה.}$$

(12) שאלת הוכחה.

(13) שאלת הוכחה.

(14) שאלת הוכחה.

(15) שאלת הוכחה.

(16) שאלת הוכחה.

(17) שאלת הוכחה.

הערה לגבי קירובים

כאשר נדרש לספק קירוב שהוא מדויק ל- n ספרות אחרי הנקודה,

אז עלינו לדרוש שהערך המוחלט של השגיאה יהיה קטן מ- 0.5×10^{-n} .

למשל, דיוק של שלוש ספרות אחרי הנקודה משמעותו,

שהערך המוחלט של השגיאה יהיה קטן מ- $0.0005 = 0.5 \times 10^{-3}$.

בספר לא השתמשנו בניסוח זה, אך במקומות מסוימים נעשה בו שימוש.

נוסחאות – טורי מקלורן של פונקציות חשובות

טור מקלורן	תחום התכנסות
$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = 1 + \frac{x^1}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$	$-\infty < x < \infty$
$\sin x = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$	$-\infty < x < \infty$
$\cos x = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!} = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$	$-\infty < x < \infty$
$\ln(1+x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{n+1}}{n+1} = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots$	$-1 < x \leq 1$
$\arctan x = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{2n+1} = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \frac{x^7}{7} + \dots$	$-1 \leq x \leq 1$
$\frac{1}{1-x} = \sum_{n=0}^{\infty} x^n = 1 + x^1 + x^2 + x^3 + \dots$	$-1 < x < 1$
$(1+x)^m = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m(m-1) \cdot \dots \cdot (m-n+1)}{n!} x^n$ $= 1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!} x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!} x^3 + \dots$	$-1 \leq x \leq 1 \quad (m > 0)$ $-1 < x \leq 1 \quad (-1 < m < 0)$ $-1 < x < 1 \quad (m \leq -1)$ $m \neq 0, 1, 2, 3, \dots$

חדוא 1

פרק 22 - נושאים מתקדמים - הצגה פרמטרית של פונקציה

תוכן העניינים

281	1. הצגה פרמטרית של עקום.....
283	2. הנגזרת ושימושיה.....
284	3. שימושי האינטגרל המסוים.....

הצגה פרמטרית של עקום

שאלות

(1) עברו מן ההצגה הפרמטרית הנתונה, להצגה קרטזית:

א. $t \geq 0, x = t^2 + 1, y = t^2$

ב. $0 \leq t \leq \pi, x = \sin t, y = \cos^2 t$

ג. $\pi \leq t \leq 2\pi, x = \cos t, y = 4 \sin t$

(2) עברו מן ההצגה הקרטזית הנתונה, להצגה פרמטרית:

א. $1 \leq x \leq 4, y = x^4 + 1$

ב. $-2 \leq x \leq 2, y = -\sqrt{4-x^2}$

ג. $-2 \leq x \leq 2, y = +\sqrt{4-x^2}$

(3) להלן תיאור פרמטרי של מסלולים במישור.
על ידי חילוץ של הפרמטר t , מצאו משוואה מתאימה,
שמבטאת כל מסלול באמצעות המשתנים x ו- y בלבד:

א. $x = t - 4, y = t^2$

ב. $x = -4 + \cos t, y = 1 + 2 \sin t$

ג. $x = 4 + \cos^3 t, y = 4 \sin^3 t$

ד. $x = t(t+1)+1, y = t(0.5t+1)+1$

ה. $x = \frac{20t}{4+t^2}, y = \frac{20t-5t^2}{4+t^2}$

ו. $x = ke^t + ke^{-t}, y = ke^t - ke^{-t}$ (k קבוע).

תשובות סופיות

$$(1) \quad \text{א. } y = x - 1, x \geq 1 \quad \text{ב. } y = 1 - x^2, -1 \leq x \leq 1$$

$$\text{ג. } x^2 + \frac{y^2}{16} = 1, -1 \leq x \leq 1, y \leq 0$$

$$(2) \quad \text{א. } x = t, y = t^4 + 1, 1 \leq t \leq 4 \quad \text{ב. } x = 2 \cos t, y = 2 \sin t, \pi \leq t \leq 2\pi$$

$$\text{ג. } x = 2 \cos t, y = 2 \sin t, 0 \leq t \leq \pi$$

$$(3) \quad \text{א. } y = (x + 4)^2 \quad \text{ב. } (x + 4)^2 + \left(\frac{y - 1}{2} \right)^2 = 1 \quad \text{ג. } x^{\frac{2}{3}} + y^{\frac{2}{3}} = 4^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{ד. } x^2 - 4xy + 4y^2 = 2y - 1 \quad \text{ה. } x^2 + y^2 = 25 \quad \text{ו. } x^2 - y^2 = 4k^2$$

הנגזרת ושימושיה

שאלות

(1) חשבו את הנגזרות הראשונה והשנייה של הפונקציה

$$\begin{cases} x(t) = t - \sin t \\ y(t) = t \cos t \end{cases}$$

הנתונה בצורה פרמטרית.

(2) נתון העקום

$$\begin{cases} x = t^2 + t \\ y = 1 - 2t \end{cases}$$

א. שרטטו את העקום.

ב. חשבו את $y'(x)$ בשלוש דרכים שונות.

ג. מצאו את משוואת המשיק לעקום, בנקודה בה $t = -1$.

ד. מצאו את משוואת הנורמל לעקום, בנקודה בה $t = -1$.

(3) נתון העקום

$$\begin{cases} x = t^3 - 3t \\ y = 3t^2 - 9 \end{cases}$$

א. שרטטו את העקום.

ב. מצאו את משוואת המשיק לעקום בנקודה $(0, 0)$.

ג. מצאו את הנקודות עבורן המשיק לעקום הוא אופקי, ואת הנקודות עבורן המשיק לעקום הוא אנכי.

ד. עבור אילו ערכים של t העקום קמור/קעור?

תשובות סופיות

(1)

$$y' = \frac{\cos t - \sin t \cdot t}{1 - \cos t}, \quad y'' = \frac{(-t \cos t - 2 \sin t)(1 - \cos t) - \sin t(\cos t - t \sin t)}{(1 - \cos t)^3}$$

(2) א. ראו בסרטון. ב. $y' = \frac{-2}{2t+1}$. ג. $y = 2x + 3$. ד. $y = -0.5x + 3$.

(3) א. ראו בסרטון. ב. $y = \pm\sqrt{3}x$. ג. אופקי- $(0, -9)$ אנכי $(2, -6), (-2, -6)$. ד. $-1 < t < 1$ קמור. $t > 1$ או $t < -1$ קעור.

שימושי האינטגרל המסוים

(1) חשבו את השטח הכלוא בעקום $C: \begin{cases} x = \cos 2t \\ y = \sin 4t \end{cases}$

(2) חשבו את השטח הכלוא בתוך האליפסה $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$, כאשר $a, b > 0$

* שימו לב שאם $a = b = r$, נקבל שטח הכלוא בתוך מעגל עם רדיוס r .

(3) חשבו את השטח הכלוא בין העקום $0 \leq t \leq \pi$, $x = \cos t$, $y = t + \sin t$ לבין ציר ה- x .

(4) חשבו את השטח הכלוא בין העקום $0 \leq t \leq 2\pi$, $x = 4 \cos t$, $y = \sin^2 t$ לבין ציר ה- x .

(5) חשבו את אורך העקום $0 \leq t \leq 2\pi$ $\begin{cases} x = t - \sin t \\ y = 1 - \cos t \end{cases}$

(6) חשבו את אורך העקום $\begin{cases} x = \cos t \\ y = t + \sin t \end{cases}$, מהנקודה $(1, 0)$ לנקודה $(-1, \pi)$.

(7) חלקיק נע לאורך מסלול, המוגדר על ידי ההצגה הפרמטרית $\begin{cases} x = \cos 2t \\ y = \sin 2t \end{cases} 0 \leq t \leq 2\pi$

מצאו את המרחק שהחלקיק עבר והשוו אותו לאורך העקום עצמו.

(8) חלק העקום $\begin{cases} x = r \cos t \\ y = r \sin t \end{cases}$ שבין $t = 0$ לבין $t = \pi$, מסתובב סביב ציר ה- x . מהו שטח המעטפת הנוצרת?

(9) חלק העקום $\begin{cases} x = \cos^3 t \\ y = \sin^3 t \end{cases}$ שבין $t = 0$ לבין $t = \frac{\pi}{2}$, מסתובב סביב ציר ה- y . מהו שטח המעטפת הנוצרת?

(10) חשבו את אורך העקום $-\pi \leq t \leq 2\pi$ $\begin{cases} x = 4 \sin t \\ y = 10t \\ z = 4 \cos t \end{cases}$

11 חשבו את אורך העקום $\mathbf{r}(t) = (e^t \cos t)\mathbf{i} + (e^t \sin t)\mathbf{j} + (e^t)\mathbf{k}$, $1 \leq t \leq 3$.

תשובות סופיות

(1) $8/3$

(2) πab

(3) 1.5π

(4) $16/3$

(5) 8

(6) 4

(7) אורך העקום הוא 2π . המרחק שעבר החלקיק הוא 4π .

(8) $4\pi r^2$

(9) $6\pi/5$

(10) $6\pi\sqrt{29}$

(11) $\sqrt{3}e(e^2 - 1)$

חדוא 1

פרק 23 - נושאים מתקדמים - הצגה פולרית של פונקציה

תוכן העניינים

286	1. קואורדינטות קוטביות
288	2. הנגזרת ושימושיה
289	3. שימושי האינטגרל המסוים

קואורדינטות קוטביות

שאלות

1) ענו על הסעיפים הבאים :

א. המירו את הנקודה הקוטבית $\left(4, \frac{\pi}{3}\right)$ לנקודה קרטזית.

ב. המירו את הנקודה הקרטזית $(-1, -1)$ לנקודה קוטבית.

2) ענו על הסעיפים הבאים :

א. המירו את הנקודה הקוטבית $\left(10, -\frac{\pi}{3}\right)$ לנקודה קרטזית.

ב. המירו את הנקודה הקרטזית $(0, -4)$ לנקודה קוטבית.

ג. המירו את הנקודה הקרטזית $(-2, 2)$ לנקודה קוטבית.

3) ענו על הסעיפים הבאים :

א. המירו את המשוואה $4x - x^2 = 1 + xy$ לקואורדינטות קוטביות.

ב. המירו את המשוואה $r = -4 \cos \theta$ לקואורדינטות קרטזיות.

4) ענו על הסעיפים הבאים :

א. המירו את המשוואה $x^2 + y^2 = 4y$ לקואורדינטות פולריות.

ב. המירו את המשוואה $x = 10$ לקואורדינטות פולריות.

ג. המירו את המשוואה $y = 4$ לקואורדינטות פולריות.

5) ענו על הסעיפים הבאים :

א. המירו את המשוואה $r = 4$ לקואורדינטות קרטזיות.

ב. המירו את המשוואה $\theta = \pi/4$ לקואורדינטות קרטזיות.

ג. המירו את המשוואה $r = 2 \cos \theta + 4 \sin \theta$ לקואורדינטות קרטזיות.

ד. המירו את המשוואה $6r^3 \sin \theta = 4 - \cos \theta$ לקואורדינטות קרטזיות.

תשובות סופיות

$$(1) \quad (x, y) = (2, 2\sqrt{3}) \quad \text{א.} \quad (r, \theta) = \left(\sqrt{2}, \frac{5\pi}{4} \right) \quad \text{ב.}$$

$$(2) \quad (x, y) = (5, -5\sqrt{3}) \quad \text{א.} \quad (r, \theta) = \left(4, \frac{3\pi}{2} \right) \quad \text{ב.} \quad (r, \theta) = \left(\sqrt{8}, \frac{3\pi}{4} \right) \quad \text{ג.}$$

$$(3) \quad 4r \cos \theta - r^2 \cos^2 \theta = 1 + r \cos \theta \cdot r \sin \theta \quad \text{א.} \quad (x+2)^2 + y^2 = 2^2 \quad \text{ב.}$$

$$(4) \quad r = 4 \sin \theta \quad \text{א.} \quad r \cos \theta = 10 \quad \text{ב.} \quad r \sin \theta = 4 \quad \text{ג.}$$

$$(5) \quad x^2 + y^2 = 4^2 \quad \text{א.} \quad y = x \quad \text{ב.} \quad (x-1)^2 + (y-2)^2 = 5 \quad \text{ג.}$$

$$6 \left(\sqrt{x^2 + y^2} \right)^3 \cdot y = 4 \sqrt{x^2 + y^2} - x \quad \text{ד.}$$

הנגזרת ושימושיה

שאלות

(1) מצאו את משוואת המשיק לעקום $r = 3 + 8 \sin \theta$ בנקודה $\theta = \frac{\pi}{6}$.

(2) מצאו את משוואת המשיק לעקום $r = 1 - 2 \sin \theta$ בראשית הצירים.

תשובות סופיות

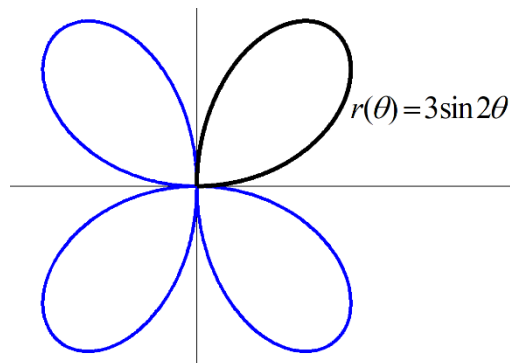
$$y = \frac{11\sqrt{3}}{5}x - \frac{98}{5} \quad (1)$$

$$y = \frac{\sqrt{3}}{3}x, \quad y = -\frac{\sqrt{3}}{3}x \quad (2)$$

שימושי האינטגרל המסוים

שאלות

- (1) חשבו את השטח של הלולאה הפנימית של $r = 2(1 + 2\cos\theta)$.
- (2) חשבו את השטח הכלוא בתוך $r = 6 + 4\cos\theta$ ומשמאל לציר ה- y .
- (3) חשבו את השטח הכלוא בתוך $r = 3 + 2\sin\theta$.
- (4) חשבו את השטח המוגבל בתוך $r = 3 + 2\sin\theta$ ומחוץ ל- $r = 2$.
- (5) חשבו את השטח המוגבל בתוך $r = 2$ ומחוץ ל- $r = 3 + 2\sin\theta$.
- (6) חשבו את השטח המוגבל בתוך $r = 2$ ובתוך $r = 3 + 2\sin\theta$.
- (7) חשבו את השטח הכלוא בתוך המעגל $r = 2\sin\theta$ ומחוץ למעגל $r = 1$.
- (8) מצאו את אורך הקרדיואידה $r = 1 + \cos\theta$.
- (9) מצאו את האורך של עלה אחד של הוורד $r = 3\sin 2\theta$.
אין צורך לחשב את האינטגרל!



- (10) מצאו את אורך העקום $r = \theta$, כאשר $0 \leq \theta \leq 1$.
- (11) העקום $r = \cos\theta$, כאשר $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$, מסתובב סביב ציר ה- x .
מהו שטח המעטפת של הגוף הנוצר?

(12) העקום $r = 4 + 4\sin \theta$, כאשר $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$, מסתובב סביב ציר ה- y .
 מהו שטח המעטפת של הגוף הנוצר?

תשובות סופיות

$$S = 4\pi - 6\sqrt{3} = 2.174 \quad (1)$$

$$S = 22\pi - 48 \quad (2)$$

$$S = 11\pi \quad (3)$$

$$S = \frac{11\sqrt{3}}{2} + \frac{14\pi}{3} = 24.187 \quad (4)$$

$$S = \frac{11\sqrt{3}}{2} - \frac{7\pi}{3} = 2.196 \quad (5)$$

$$10.37 \quad (6)$$

$$S = \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (7)$$

$$8 \quad (8)$$

$$\ell = 3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 + 3\cos^2 2\theta} d\theta \quad (9)$$

$$\ell = \frac{\sqrt{2} + \ln(\sqrt{2} + 1)}{2} \quad (10)$$

$$S_x = \pi \quad (11)$$

$$S_y = 102.4\pi \quad (12)$$

נספח - גרפים נפוצים בקואורדינטות פולריות

קווים

$$(1) \quad r \cos \theta = a \quad - \text{ הישר } x = a$$

$$(2) \quad r \sin \theta = b \quad - \text{ הישר } y = b$$

$$(3) \quad \theta = \beta \quad - \text{ הישר העובר דרך הראשית } y = (\tan \beta)x$$

מעגלים

$$1. \quad r = a \quad - \text{ מעגל שמרכזו בראשית הצירים ורדיוסו } a$$

$$2. \quad r = 2a \cos \theta \quad - \text{ מעגל שמרכזו בנקודה } (a, 0) \text{ ורדיוסו } |a|$$

$$3. \quad r = 2b \sin \theta \quad - \text{ מעגל שמרכזו בנקודה } (0, b) \text{ ורדיוסו } |b|$$

$$4. \quad r = 2a \cos \theta + 2b \sin \theta \quad - \text{ מעגל שמרכזו בנק' } (a, b) \text{ ורדיוסו } \sqrt{a^2 + b^2}$$

קרדיוידות ולמניסקטות

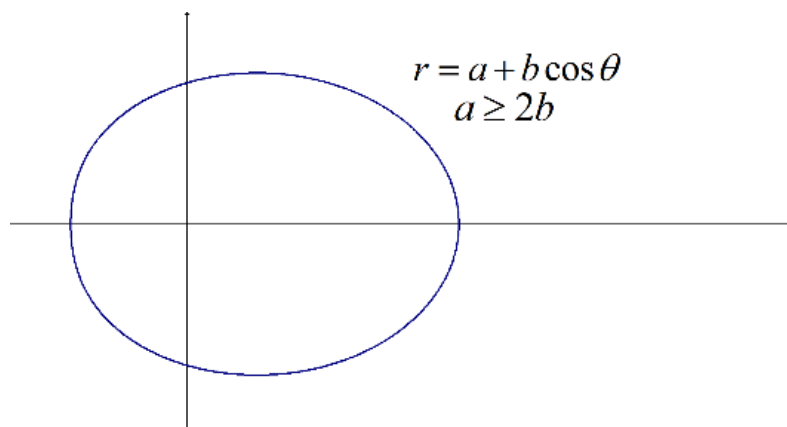
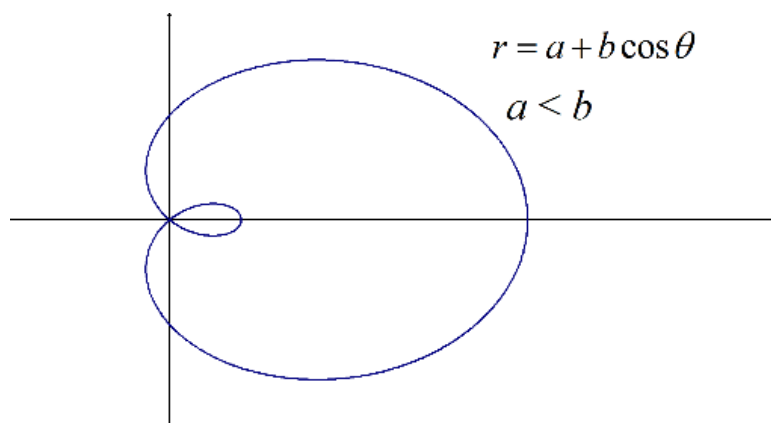
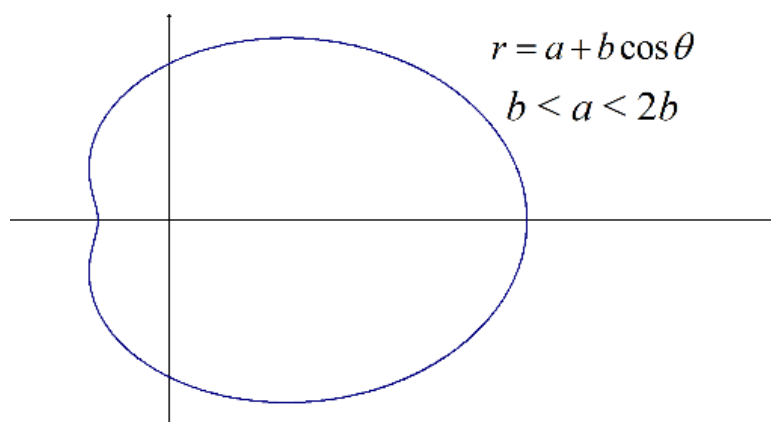
$$(1) \quad \text{קרדיוידות } r = a \pm a \cos \theta, r = a \pm a \sin \theta : \\ \text{גרף בצורת לב שמכיל את הראשית.}$$

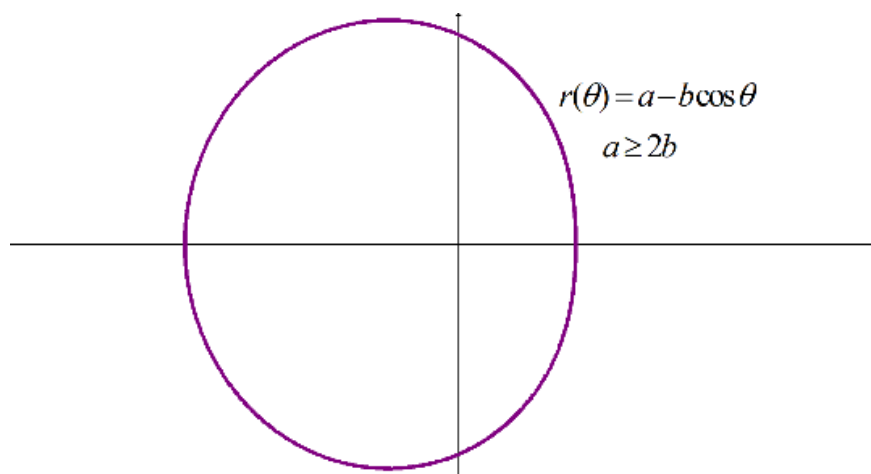
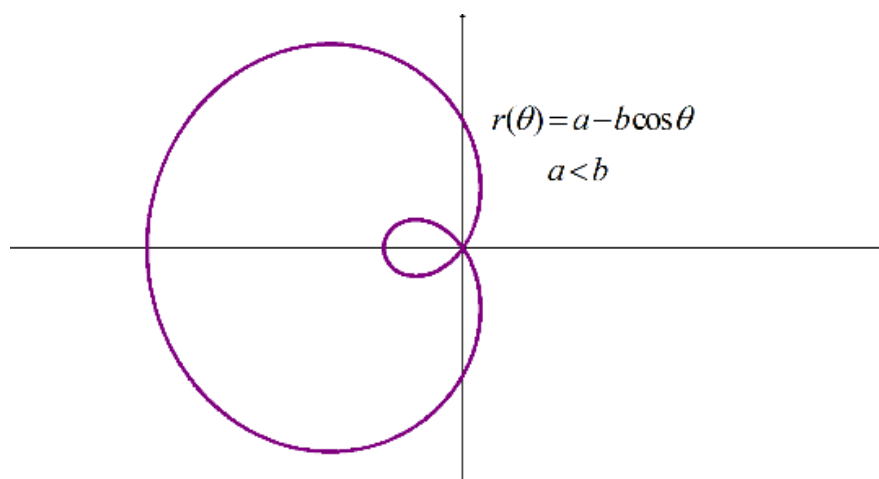
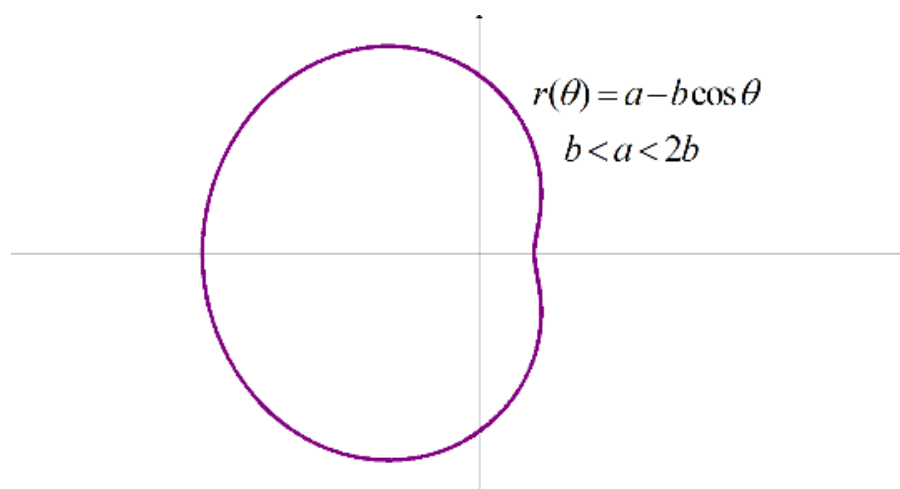
$$(2) \quad \text{למניסקטות עם לולאה פנימית } r = a \pm b \cos \theta, r = a \pm b \sin \theta : (a < b) : \\ \text{גרף שיכיל לולאה פנימית ושתמיד יכיל את הראשית.}$$

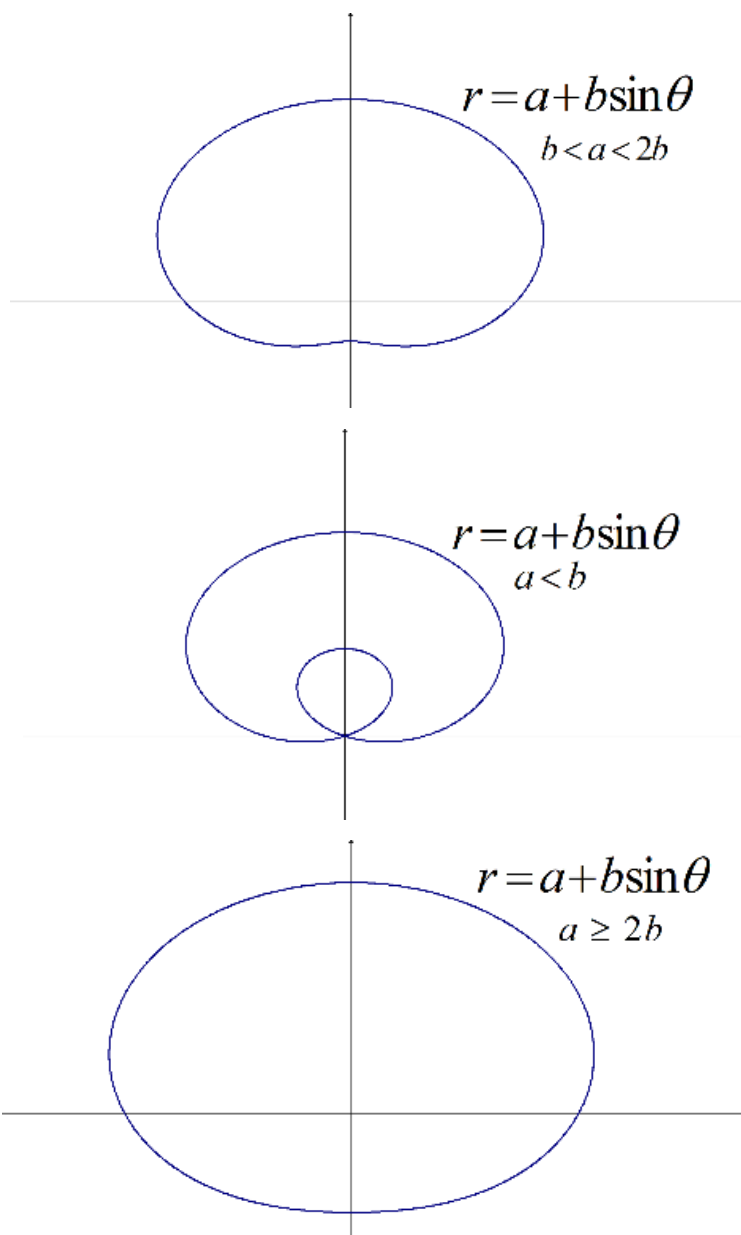
$$(3) \quad \text{למניסקטות ללא לולאה פנימית } r = a \pm b \cos \theta, r = a \pm b \sin \theta : (a > b) : \\ \text{גרף ללא לולאה פנימית שאינו מכיל את הראשית.}$$

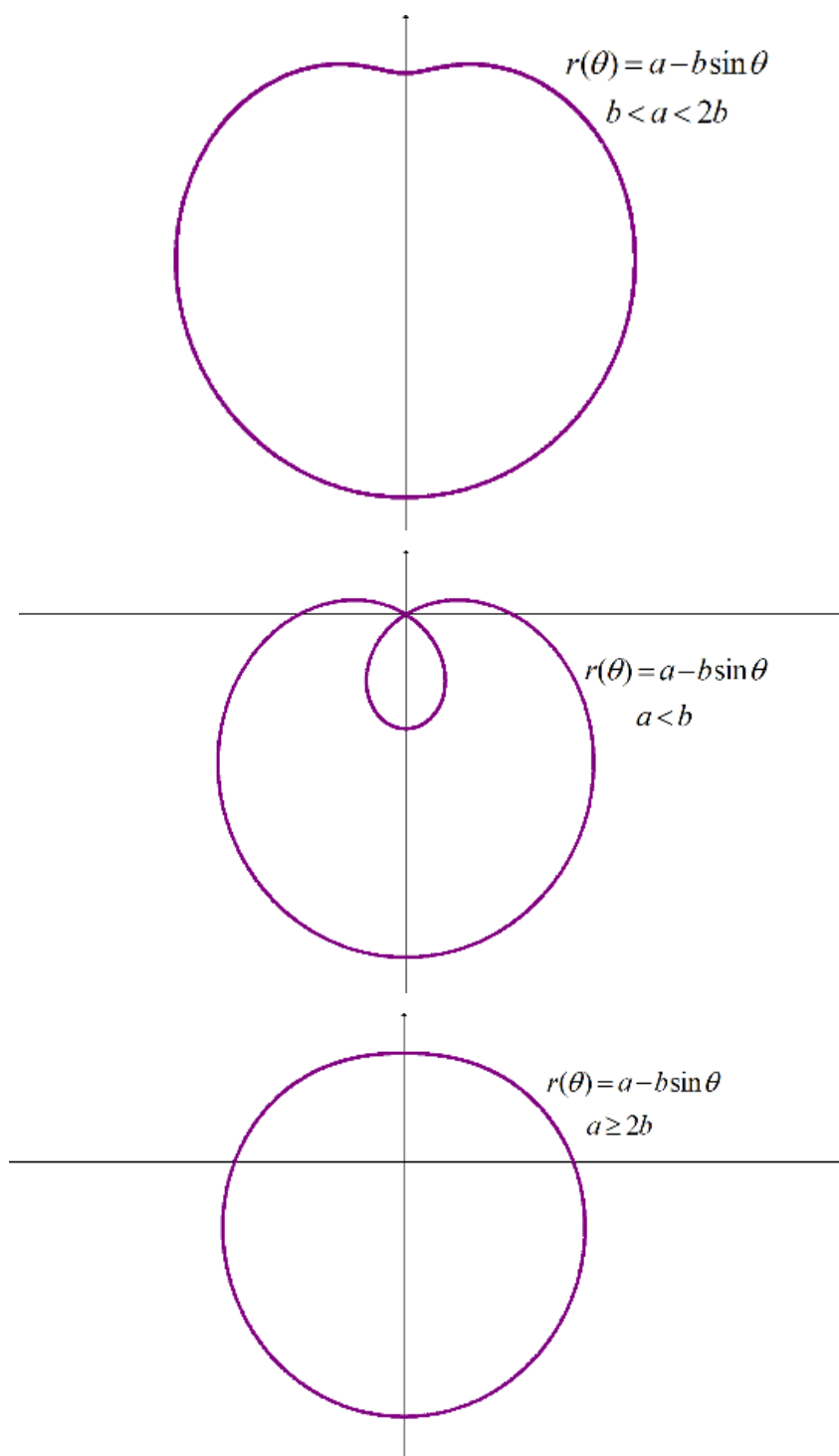
$$* \text{ נשרטט בדרך כלל עבור מחזור שלם } 0 \leq \theta \leq 2\pi.$$

למינסקטות ביתר פירוט

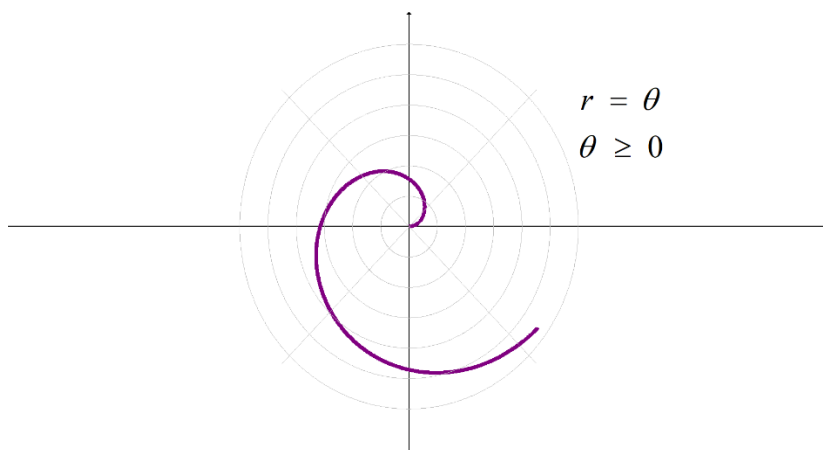
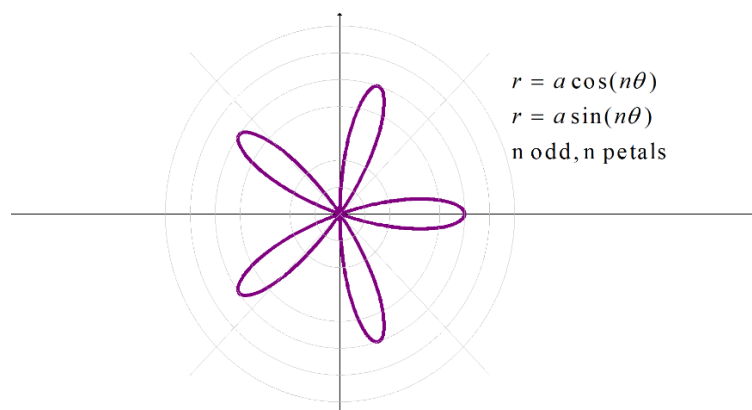
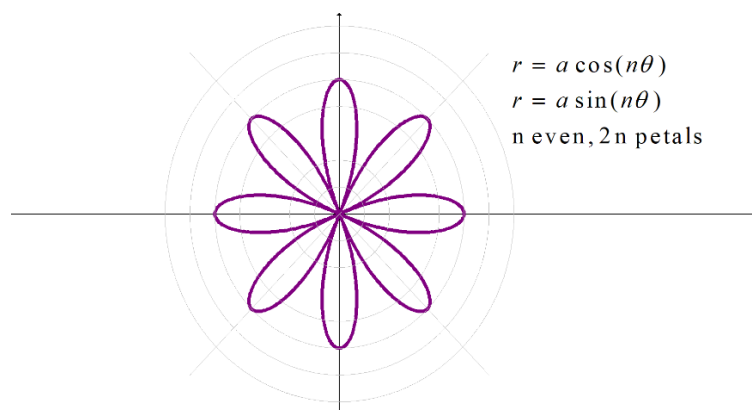
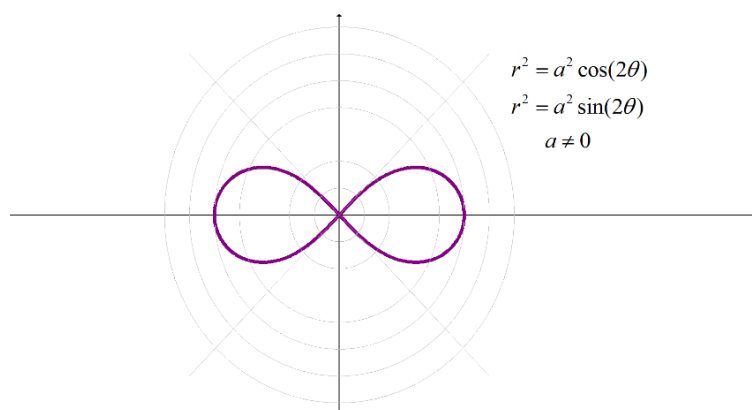
הגרף של $r = a + b \cos \theta$:

הגרף של $r = a - b \cos \theta$ 

הגרף של $r = a + b \sin \theta$ 

הגרף של $r = a - b \sin \theta$ 

גרפים נפוצים נוספים



חדוא 1

פרק 24 - הוכחות של משפטים נבחרים בקורס

תוכן העניינים

1. הוכחות של משפטים נבחרים 297

הוכחות של משפטים נבחרים

הוכיחו את המשפטים הבאים:

גזירות גוררת רציפות

אם הפונקציה $f(x)$ גזירה בנקודה x_0 , אזי היא רציפה בנקודה זו.

כלל השרשרת

תהי $y = g(x)$ פונקציה גזירה בנקודה x , ותהי $f(g(x))$ גזירה בנקודה $g(x)$.
אזי הפונקציה המורכבת $f(g(x))$ גזירה בנקודה x , ומתקיים

$$(f(g(x)))' = f'(g(x)) \cdot g'(x)$$

כלל לופיטל

נניח ש- g ו- f פונקציות גזירות ובעלות נגזרות רציפות בנקודה x_0 ,

ונניח כי $f(x_0) = g(x_0) = 0$ וכן $g'(x_0) \neq 0$, אז $\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x)}{g(x)} = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f'(x)}{g'(x)}$

משפט לגראנז'

אם הפונקציה $f(x)$

א. רציפה בקטע הסגור $[a, b]$,

ב. גזירה בקטע הפתוח (a, b) ,

אז קיימת נקודה $a < b < c$, כך ש- $f'(c) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}$.

משפט פרמה

נניח ש- f פונקציה המוגדרת בתחום המכיל את הנקודה x_0 .
אם f גזירה בנקודה x_0 וגם x_0 נקודת מקסימום מקומית, אז $f'(x_0) = 0$.

משפט רול

אם הפונקציה $f(x)$

א. רציפה בקטע הסגור $[a, b]$,

ב. גזירה בקטע הפתוח (a, b) ,

ג. מקיימת $f(a) = f(b)$,

אז קיימת נקודה $a < b < c$, כך ש- $f'(c)$.

נגזרת הפונקציה ההפוכה

תהי $y = f(x)$ פונקציה הפיכה ורציפה בסביבת הנקודה x_0 .

אם $f(x)$ גזירה בנקודה x_0 וגם $f'(x_0) \neq 0$, אז גם הפונקציה ההפוכה שלה,

$x = g(y)$, פונקציה גזירה בנקודה $y_0 = f(x_0)$, ומתקיים השוויון $g'(y_0) = \frac{1}{f'(x_0)}$.

להוכחות המלאות היכנסו לאתר GooL.co.il

חדוא 1

פרק 25 - תרגילים מתקדמים נוספים (הפרק באנגלית)

תוכן העניינים

299	1. סדרות
300	2. גבולות ורציפות
301	3. משפט ערך הביניים ומשפט ויירשטראס
302	4. גזירות ומשפטי הערך הממוצע
304	5. טורי חזקות וטורי טיילור
305	6. המשפט היסודי של החדוא, משפט ערך הביניים לאינטגרלים וסכומי רימן
307	7. נפח שטח מעטפת ומשפט פאפוס

Convergence of a Sequence, Monotone Sequences (סדרות)

Questions

- 1) Let A be a non-empty subset of $\mathbb{R}$ and $\alpha = \inf A$. Show that there exists a sequence (a_n) such that an $a_n \in A$ for all $n \in \mathbb{N}$ and $a_n \rightarrow \alpha$.
- 2) Let A be a non-empty subset of $\mathbb{R}$ and $x_0 \in \mathbb{R}$. Show that there exists a sequence (a_n) in A such that $|x_0 - a_n| \rightarrow d(x_0, A)$. Recall that $d(x, A) = \inf \{|x - a| : a \in A\}$.
- 3) Let (a_k) be a bounded sequence. For every $n \in \mathbb{N}$, define $x_n = \sup\{a_k : k < n\}$. Show that the sequence (x_n) converges.

Cauchy Criterion, Bolzano - Weierstrass Theorem

- 4) Show that a sequence (x_n) of real numbers has no convergent subsequence if and only if $|x_n| \rightarrow \infty$.
- 5) Let (x_n) be a sequence in $\mathbb{R}$ and $x_0 \in \mathbb{R}$. Suppose that every subsequence of (x_n) has a subsequence converging to x_0 . Show that $x_n \rightarrow x_0$.
- 6) Let (x_n) be a sequence in $\mathbb{R}$. We say that a positive integer n is a peak of the sequence if $m > n$ implies $x_n > x_m$ (i.e., if x_n is greater than every subsequent term in the sequence).
 - a) If (x_n) has infinitely many peaks, show that it has a decreasing subsequence.
 - b) If (x_n) has only finitely many peaks, show that it has an increasing subsequence.
 - c) From (a) and (b) conclude that every sequence in $\mathbb{R}$ has a monotone subsequence. Further, every bounded sequence in $\mathbb{R}$ has a convergent subsequence (An alternate proof of Bolzano-Weierstrass Theorem).

Continuity and Limits (גבולות ורציפות)

Questions

- 1) Let $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{x^2} = 5$. Show that $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x)}{x} = 0$.
- 2) Let $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ and $x_0 \in \mathbb{R}$. Suppose $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ exists.
Show that $\lim_{x \rightarrow 0} f(x + x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$.
- 3) Let $f(x) = |x|$ for every $x \in \mathbb{R}$. Show that f is continuous on $\mathbb{R}$.
- 4) Let $f: [0, \pi] \rightarrow \mathbb{R}$ be defined by $f(0) = 0$ and $f(x) = x \sin \frac{1}{x} - \frac{1}{x} \cos \frac{1}{x}$ for $x \neq 0$.
Is f continuous?
- 5) Let $[\cdot]$ denote the integer part function and $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ be defined by $f(x) = [x^2] \sin \pi x$.
 - a) Show that f is continuous at each $x \neq \sqrt{n}$, $n \in \mathbb{N}$. [Here $\mathbb{N}$ includes 0]
 - b) Show that f is continuous at each $x = k \in \mathbb{N}$.
 - c) Show that f is discontinuous at each $x = \sqrt{n}$, $n \in \mathbb{N}$ such that $x \notin \mathbb{N}$.
- 6) Let the function $f: [0, 1] \rightarrow [a, b]$ be one-one and onto. Suppose f is continuous.
Show that f^{-1} is also continuous.
- 7) Let $f: (0, 1) \rightarrow \mathbb{R}$ be given by

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{q} & \text{if } x = \frac{p}{q} \text{ where } p, q \in \mathbb{N} \text{ and } p, q \text{ have no common factor} \\ 0 & \text{if } x \text{ is irrational} \end{cases}$$
 - a) Suppose $x_n \rightarrow x_0$ for some x_0 , with $x_n \neq x$ for all $n \in \mathbb{N}$, and suppose $x_n = \frac{p_n}{q_n} \in (0, 1)$ where $p_n, q_n \in \mathbb{N}$ have no common factors. Show that $\lim_{n \rightarrow \infty} q_n = \infty$.
 - b) Show that f is continuous at every irrational.
 - c) Show that f is discontinuous at every rational.

Existence of Extrema, Intermediate Value Property (משפט ערך הביניים ומשפט ויירשטראס)

Questions

- 1) Give an example of a function f on $[0,1]$ which is not continuous but satisfies the IVP*. *We say that f has the property IVP [Intermediate Value Property] on $[a,b]$ if for every $x, y \in [a,b]$ and α satisfying $f(x) < \alpha < f(y)$ or $f(x) > \alpha > f(y)$ there exists $x_0 \in [x, y]$, such that $f(x_0) = \alpha$.
- 2) Let $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ be a continuous function. Show that f is a constant function if
 - a) $f(x)$ is rational for each $x \in \mathbb{R}$.
 - b) $f(x)$ is an integer for each $x \in \mathbb{Q}$.
- 3) Let $p(x): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ be a polynomial function of odd degree. Show that p is onto.
- 4) Let $f, g: [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ be continuous such that $\inf\{f(x): x \in [0,1]\} = \inf\{g(x): x \in [0,1]\}$. Show that there exists $x_0 \in [0,1]$ such that $f(x_0) = g(x_0)$.
- 5) A cross country runner runs continuously an eight kilometers course in 40 minutes without taking rest. Show that, somewhere along the course, the runner must have covered a distance of one kilometer in exactly 5 minutes.
- 6) Let $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ be a continuous function.
 - a) Suppose f attains each of values exactly two times. Given: $f(x_1) = f(x_2) = \alpha$ for some $x_1, x_2, \alpha \in \mathbb{R}$, and $f(x_0) > \alpha$ for some $x_0 \in [x_1, x_2]$. Show that f attains its maximum in $[x_1, x_2]$ exactly at one point.
 - b) Using (a) show that f cannot attain each of its values exactly two times.

Mean Value Theorem, L'Hôpital's Rule, Differentiability (משפט לגראנז', כלל לופיטל וגזירות)

Questions

- 1) Does there exist a differentiable function $f:[0,2] \rightarrow \mathbb{R}$ satisfying $f(0) = -1$, $f(2) = 4$ and $f'(x) \leq 2$, for all $x \in [0,2]$?
- 2) Let $f:\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ be differentiable such that for some $\alpha \in \mathbb{R}$, $|f'(x)| \leq \alpha < 1$ for all $x \in \mathbb{R}$. Let $a_1 \in \mathbb{R}$ and define a sequence (a_n) recursively by $a_{n+1} = f(a_n)$. Show that (a_n) converges.
- 3) Let $f:[a,b] \rightarrow \mathbb{R}$ be differentiable and let $\alpha \in \mathbb{R}$ be such that $f'(a) < \alpha < f'(b)$. Define $g(x) = f(x) - \alpha x$ for all $x \in [a,b]$.
 - a) Show that there exists $c \in [a,b]$ such that $g'(c) = 0$.
Hint: prove by contradiction, noting that $g'(a) < 0$ and $g'(b) < 0$.
 - b) From the above, conclude that if a function f is differentiable on an interval $[a,b]$, then f' has the Intermediate Value Property on $[a,b]$.
- 4) Suppose $f:[0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ is continuous and $\int_0^1 f(t)dt = 1$.
 - a) Show that there exists $c \in (0,1)$ such that $f(c) = 1$.
 - b) Show that there exist $c_1 \neq c_2$ in $(0,1)$ such that $f(c_1) + f(c_2) = 2$.
- 5) Let $f:[0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ be such that $|f'(x)| < 10$ for all $x \in (0,1)$ and let (x_n) be a sequence in $(0,1)$ satisfying the Cauchy criterion. Show that the sequence $(f(x_n))$ converges.
- 6) Let $f:[0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ and $a_n = f\left(\frac{1}{n}\right) - f\left(\frac{1}{n+1}\right)$, $n=1,2,\dots$
Show that:
 - a) if f is continuous, then $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ converges;
 - b) if f is differentiable and $|f'(x)| < \frac{1}{2} \forall x \in [0,1]$, then $\sum_{n=1}^{\infty} a_n (\cos n) \sqrt{n}$ converges.

- 7) Let $p(x) = a + bx + cx^2$. Find all values of $a, b, c \in \mathbb{R}$ for which the function $p(|x|)$ is differentiable at 0.

Power Series, Taylor Series (טורי חזקות וטורי טיילור)

Questions

1) Let $f : (a, b) \rightarrow \mathbb{R}$ be infinitely differentiable and let $x_0 \in (a, b)$. Suppose that there exists $M > 0$ such that $|f^{(n)}(x)| \leq M^n$ for all $n \in \mathbb{N}$ and $x \in (a, b)$. Show that Taylor's series of f around x_0 converges to $f(x)$ for all $x \in (a, b)$.

2) Let (a_n) be a sequence of nonnegative reals and suppose that $(a_n^{\frac{1}{n}})$ is a bounded sequence. For each n , define $A_n = \sup\{a_k^{\frac{1}{k}} : k \geq n\}$. (A_n) converges since it is decreasing and bounded below (by 0). So $A_n \rightarrow L$ for some $L \geq 0$.

a) Show that if $L < 1$, the series $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ converges and if $L > 1$ the series diverges.

b) Show that the radius of convergence of the power series $\sum_{n=1}^{\infty} a_n x^n$ is $\frac{1}{L}$.

המשפט היסודי של החדו"א, משפט ערך הביניים לאינטגרלים וסכומי רימן

שאלות

(1) תהי $f: [-1, 1] \rightarrow \mathbb{R}$ מוגדרת כך: $f(x) = \begin{cases} 0 & -1 \leq x < 0 \\ 1 & 0 \leq x \leq 1 \end{cases}$,

ונגדיר את $F(x) = \int_{-1}^x f(t) dt$ עבור $-1 \leq x \leq 1$.

שרטטו את הגרפים של f ו- F , בהינתן:

א. f אינה רציפה (ב-0), אבל F רציפה.

ב. F אינה גזירה ב-0.

ג. תן דוגמה לפונקציה $f: [-1, 1] \rightarrow \mathbb{R}$, כך ש- f אינה רציפה ב-0,

אבל $F(x) = \int_{-1}^x f(t) dt$ גזירה ב-0.

(2) הוכיחו את 'משפט ערך הביניים השני לאינטגרלים', בהנחה שהפונקציות רציפות (ולא אינטגרביליות):

תהי f רציפה ב- $[a, b]$.

אם קיימת פונקציה גזירה F ב- $[a, b]$, כך ש- $F' = f$,

אז $\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a)$.

(3) תהי $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ רציפה.

הוכיחו כי $\lim_{\|P\| \rightarrow 0} S(P, f) = \int_a^b f(x) dx$.

סימונים: $P = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ עם $x_0 = a$ ו- $x_n = b$, $S(P, f) = \sum_{i=1}^n f(c_i) \Delta x_i$, $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$,

$\|P\| = \max_{1 \leq i \leq n} \{\Delta x_i\}$, $c_i \in [x_{i-1}, x_i]$.

(4) תהי $a_n = \ln \left(\frac{(n!)^{\frac{1}{n}}}{n} \right)$ לכל $n \in \mathbb{N}$.

המירו את a_n לסכום רימן ומצאו את $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$.

(5) תהינה $f, g: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$, כך ש- f' ו- g' רציפות ב- $[a, b]$.

הוכיחו כי $\int_a^b f(x) g'(x) dx = [f(x) g(x)]_a^b - \int_a^b f'(x) g(x) dx$.

(6) תהי $\phi: [\alpha, \beta] \rightarrow \mathbb{R}$ גזירה ברציפות, ותהי f רציפה בטווח של ϕ .

$$\text{הוכיחו כי } \int_{\alpha}^{\beta} f(\phi(t))\phi'(t)dt = \int_{\phi(\alpha)}^{\phi(\beta)} f(x)dx$$

(7) תהי $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ רציפה ויהיו $u, v: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ גזירות.

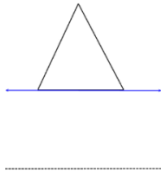
הוכיחו כי אם הטווחים של u ו- v מוכלים ב- $[a, b]$,

$$\text{אז } \frac{d}{dx} \int_{u(x)}^{v(x)} f(t)dt = f(v(x)) \frac{dv}{dx} - f(u(x)) \frac{du}{dx}$$

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

נפח שטח מעטפת ומשפט פאפוס

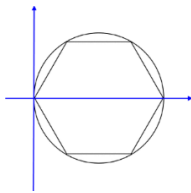
שאלות



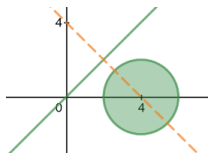
- (1) נתון משולש שווה צלעות עם בסיס המתלכד עם ציר ה- x .
אורך צלע המשולש a .
השתמשו במשפט פאפוס על מנת לחשב את נפח הגוף,
הנוצר על ידי סיבוב המשולש סביב הישר $y = -a$.



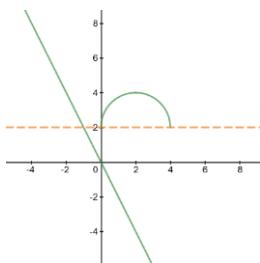
- (2) השתמשו במשפט פאפוס ומצאו את מרכז הכובד של התחום
 $D = \{(x, y) \mid x^2 + y^2 = 4, x \geq 0 \text{ and } y \geq 0\}$
 רמז: נפח כדור בעל רדיוס r , הוא $\frac{4}{3}\pi r^3$.



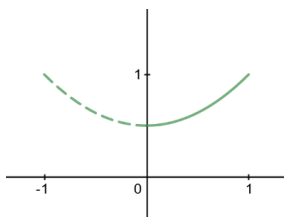
- (3) נתון משושה החסום במעגל $(x-2)^2 + y^2 = 1$.
המשושה מסתובב סביב ציר ה- y .
מצאו את שטח הפנים של השטח שנוצר,
ואת נפח הגוף שנוצר.



- (4) הדיסק המעגלי $(x-4)^2 + y^2 \leq 4$ מסתובב סביב הציר $y = x$.
מצאו את נפח הגוף שנוצר.



- (5) נתבונן בקשת המעגלית $(x-2)^2 + (y-2)^2 = 4, y \geq 2$.
הקשת מסתובבת סביב הציר $y + 2x = 0$.
מצאו את שטח הפנים של הגוף שנוצר.



- (6) יהיו $(\bar{x}, \bar{y})$ מרכז העקום $y = \frac{1}{2}(x^2 + 1), 0 \leq x \leq 1$.
מצאו את $\bar{x}$ בעזרת משפט פאפוס.

חדוא 1

פרק 26 - טריגונומטריה במשולש ישר זווית

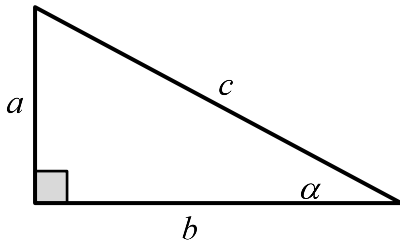
תוכן העניינים

1. משולש ישר זווית..... 308

משולש ישר זווית:

סיכום כללי:

הגדרות הפונקציות הטריגונומטריות:



$$\sin \alpha = \frac{\text{הניצב שמול הזווית}}{\text{היתר}} = \frac{a}{c}$$

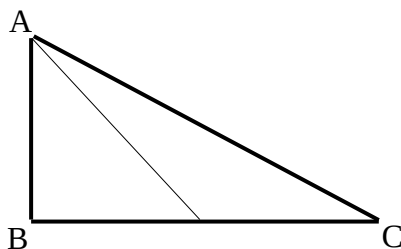
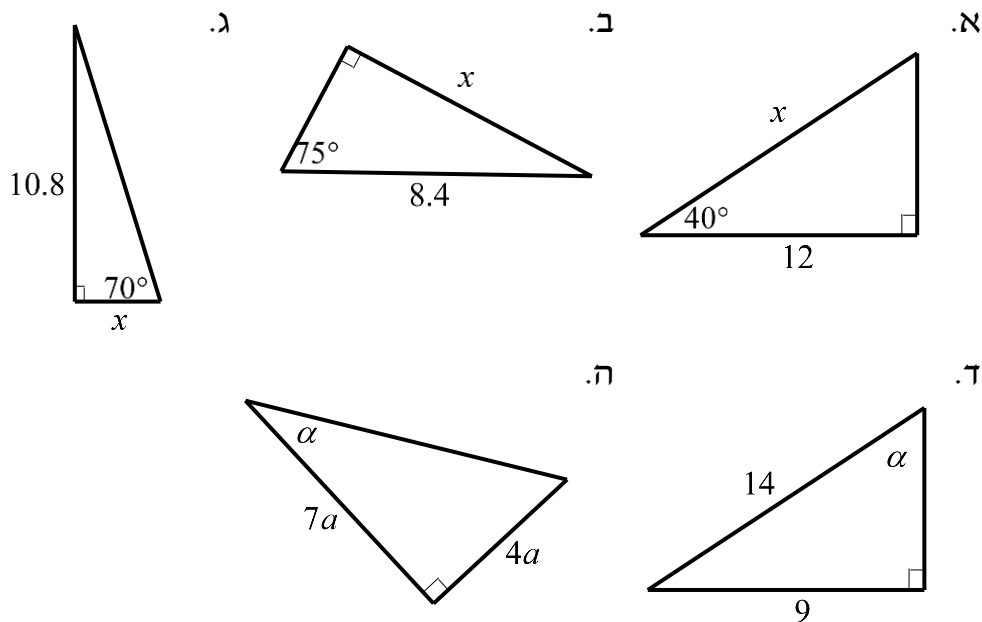
$$\cos \alpha = \frac{\text{הניצב שליד הזווית}}{\text{היתר}} = \frac{b}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{הניצב שמול הזווית}}{\text{הניצב שליד הזווית}} = \frac{a}{b}$$

$$a^2 + b^2 = c^2: \text{משפט פיתגורס}$$

שאלות:

1) מצא את ערכו של x / α במשולשים ישרי הזווית הבאים:



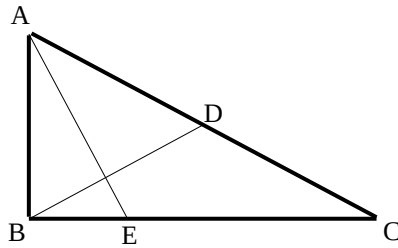
2) המשולש ABC שבציור הוא משולש

ישר זווית ($\angle B = 90^\circ$).

AD הוא התיכון לניצב BC.

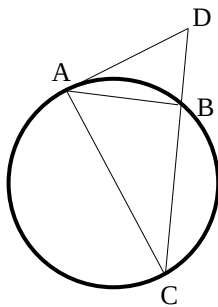
נתון: $\angle C = 28^\circ$, $AB = 6$ ס"מ.

מצא את AD ואת $\angle BAD$.



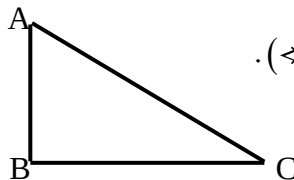
- (3) המשולש ABC שבציור הוא משולש ישר זווית ($\angle B = 90^\circ$). BD הוא התיכון ליתר AC והוא חוצה הזווית $\angle A$. נתון: $BD = 5.6$ ס"מ, $BC = 8$ ס"מ. מצא את BE ואת $\angle BAE$.

- (4) מצא את זוויתיו של מעוין שאורכי אלכסונו 24 ס"מ ו-18 ס"מ.

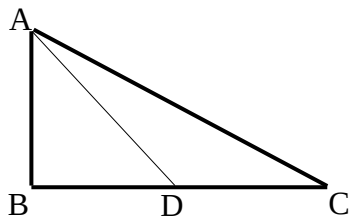


- (5) המשולש ABC חסום במעגל כך שהצלע AC היא קוטר המעגל. המשיק למעגל בנקודה A והמשך הצלע CB נפגשים בנקודה D. נתון: $BD = 4$ ס"מ, $\angle DAB = 32^\circ$. מצא את אורכו של רדיוס המעגל.

- (6) במשולש שווה שוקיים שבו השוק ארוכה ב-4 ס"מ מהבסיס נתון כי זווית הראש היא 34.92° . מצא את שטח המשולש.

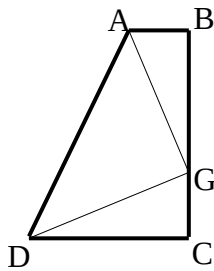


- (7) המשולש ABC שבציור הוא משולש ישר זווית ($\angle B = 90^\circ$). נתון: $AB = a$, $\angle A = \alpha$. הבע באמצעות a ו- α את היקף המשולש.

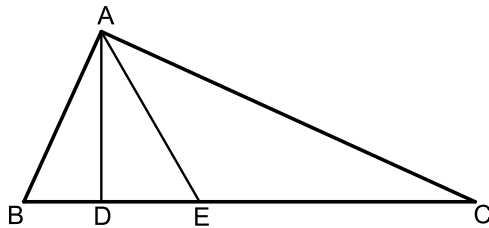


- (8) המשולש ABC שבציור הוא משולש ישר זווית ($\angle B = 90^\circ$). AD הוא התיכון לניצב BC. נתון: $AB = b$, $\angle C = \alpha$. הבע באמצעות b ו- α את אורכי הקטעים BD ו-AD.

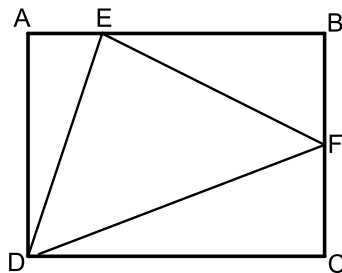
- (9) במשולש ישר זווית אחת הזוויות החדות היא α ואורך חוצה זווית זו הוא k . הבע באמצעות k ו- α את שטח המשולש ואת אורך היתר.



- (10)** טרפז ABCD הוא טרפז ישר זווית ($\angle B = \angle C = 90^\circ$). הנקודה G נמצאת על השוק BC כך ש- $AG \perp DG$. נתון: $\angle BAG = \beta$, $AG = DG = m$. הבע באמצעות β ו- m את שטח הטרפז.



- (11)** המשולש ABC הוא ישר זווית ($\angle A = 90^\circ$). הקטעים AD ו- AE הם בהתאמה גובה ליתר וחוצה זווית. מסמנים: $\angle DAE = \alpha$, $DE = k$.
א. הבע באמצעות k ו- α את שטח המשולש ABC.
ב. חשב את שטח המשולש ABC אם ידוע כי: $\alpha = 30^\circ$ ו- $k = 2$.

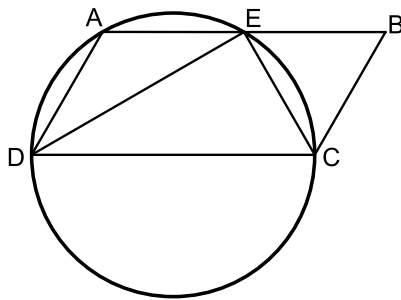


- (12)** במלבן ABCD מסמנים את הנקודות E ו- F הנמצאות על הצלעות AB ו- BC בהתאמה כך ש- $AE = BE$. מקיימת: $3AE = BE$ ו- F היא אמצע הצלע BC. אורך הצלע AD שווה לאורך הקטע BE. מעבירים את הקטעים EF, DF ו- DE כך שנוצר במשולש DEF.
א. סמן ב- t את אורך הקטע AE והבע באמצעות t את אורכי צלעות המשולש DEF.
ב. חשב את זוויות המשולש EDF.

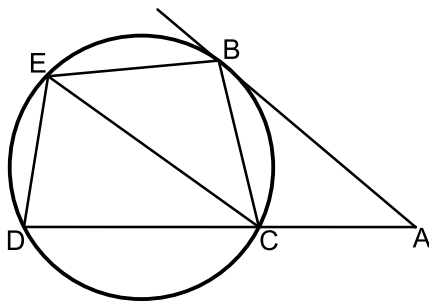
- (13)** משולש שווה שוקיים שאורך שוקו k וזווית הבסיס שלו היא β חוסם מעגל. הבע באמצעות β ו- k את רדיוס המעגל.

- (14)** בטרפז ישר זווית חסום מעגל. אורך השוק הארוכה בטרפז היא b והזווית שהיא יוצרת עם הבסיס הגדול היא α . הבע באמצעות α ו- b את אורכו של הבסיס הגדול בטרפז ואת שטחו.

הערה: השאלות הבאות משלבות ידע בגיאומטריה ובטריגונומטריה יחד:



- 15** דרך הקודקודים A , C ו- D של המקבילית $ABCD$ מעבירים מעגל. היקף המעגל חוצה את הצלע AB בנקודה E , ($AE = BE$). נתון כי DC הוא קוטר במעגל וכי המיתר DE חוצה את זווית D .
- הוכח כי המיתר CE חוצה את זווית C .
 - רדיוס המעגל יסומן ב- R .
 - הבע באמצעות R את היקף המקבילית.
 - מצא את רדיוס המעגל אם ידוע כי שטח המקבילית הוא $16\sqrt{3}$ סמ"ר.



- 16** מהנקודה A שמחוץ למעגל מעבירים משיק AB וישר חותך ACD . מעבירים את המיתרים BC ו- BE אשר זהים באורכם. כמו כן מעבירים את המיתר DE . אורך המיתר CE שונה מאורך המשיק AB .
- הוכח כי המרובע $ABEC$ הוא טרפז.
 - הוכח כי: $\angle BEC = 2 \cdot \angle EDC$.
 - נתונים: $\angle A = 40^\circ$, $AC = 6$ ס"מ, $AB = 9$ ס"מ, $CE = 8$ ס"מ. חשב את שטח המרובע $ABEC$.

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \text{א. } x = 15.665 \quad \text{ב. } x = 8.114 \quad \text{ג. } x = 3.931 \quad \text{ד. } \alpha = 40.005^\circ \quad \text{ה. } \alpha = 29.745^\circ$$

$$(2) \quad \angle BAD = 43.24^\circ, AD = 8.236 \text{ ס"מ}$$

$$(3) \quad \angle BAE = 22.792^\circ, BE = 3.294 \text{ ס"מ}$$

$$(4) \quad 106.26^\circ, 73.74^\circ, 73.74^\circ, 106.26^\circ$$

$$(5) \quad R = 6.04 \text{ ס"מ}$$

$$(6) \quad S = 28.618 \text{ סמ"ר}$$

$$(7) \quad P = a \left(1 + \tan \alpha + \frac{1}{\cos \alpha} \right)$$

$$(8) \quad AD = \sqrt{b^2 + \frac{b^2}{4 \tan^2 \alpha}}, \quad BD = \frac{b}{2 \tan \alpha}$$

$$(9) \quad AC = \frac{k \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha}, \quad S = \frac{k^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} \tan \alpha}{2}$$

$$(10) \quad \frac{(m \sin \beta + m \cos \beta)^2}{2}$$

$$(11) \quad \text{א. } S = \frac{k^2}{\cos 2\alpha \tan^2 \alpha} \quad \text{ב. } 24 \text{ סמ"ר}$$

$$(12) \quad \text{א. } DE = t\sqrt{10}, EF = t\sqrt{11.25}, DF = t\sqrt{18.25} \quad \text{ב. } 81.86^\circ, 51^\circ, 47.14^\circ$$

$$(13) \quad R = k \cos \beta \tan \frac{\beta}{2}$$

$$(14) \quad \frac{\frac{1}{2} b \sin \alpha + \frac{\frac{1}{2} b \sin \alpha}{\tan \frac{\alpha}{2}}}{}, S = \frac{1}{2} b^2 \sin \alpha (1 + \sin \alpha)$$

$$(15) \quad \text{א. שאלת הוכחה.} \quad \text{ב. } 6R \quad \text{ג. } 4 \text{ ס"מ}$$

$$(16) \quad \text{א. שאלת הוכחה.} \quad \text{ב. שאלת הוכחה.} \quad \text{ג. } 32.78 \text{ סמ"ר}$$

חדוא 1

פרק 27 - זהויות טריגונומטריות

תוכן העניינים

313	1. זהויות יסוד
317	2. ערכי הפונקציות הטריגונומטריות עבור זוויות מיוחדות
319	3. מעגל היחידה
322	4. סכום והפרש זוויות
326	5. זווית כפולה
329	6. סכום והפרש פונקציות
332	7. מכפלת פונקציות

זהויות יסוד:

סיכום כללי:

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1$	$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$	קשרים בין פונקציות
$\sin \alpha = \cos(90^\circ - \alpha)$ $\tan \alpha = \cot(90^\circ - \alpha)$	$\cos \alpha = \sin(90^\circ - \alpha)$ $\cot \alpha = \tan(90^\circ - \alpha)$	זוויות משלימות ל- 90°
$\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$	$\cot^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$	

שאלות:

הוכחת זהויות יסודיות:

הוכח את הזהויות הבאות תוך שימוש בזהויות היסוד:

$$\begin{array}{ll}
 \frac{1 - \sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = 1 & \text{(2)} & \tan \alpha \cdot \cos \alpha = \sin \alpha & \text{(1)} \\
 \sin^2 \alpha + 2 \cos^2 \alpha = 1 + \cos^2 \alpha & \text{(4)} & \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} = \tan \alpha & \text{(3)} \\
 (\sin \alpha + \cos \alpha)^2 + (\sin \alpha - \cos \alpha)^2 = 2 & \text{(6)} & \frac{\sin^2 \alpha}{1 + \cos \alpha} + \frac{\sin^2 \alpha}{1 - \cos \alpha} = 2 & \text{(5)} \\
 \sin^2(\alpha + 45^\circ) + \sin^2(45^\circ - \alpha) = 1 & \text{(8)} & \frac{\cos(90^\circ - \alpha)}{\cos \alpha} = \tan \alpha & \text{(7)} \\
 \frac{\sin \alpha (1 - \cos^2 \alpha)}{\cos^3 \alpha} = \tan^3 \alpha & \text{(10)} & \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \tan \alpha & \text{(9)} \\
 \cos^2 \alpha (1 + \tan^2 \alpha) = 1 & \text{(12)} & \frac{\sin(90^\circ - \alpha) - \cos^3 \alpha}{\sin^3 \alpha} = \cot \alpha & \text{(11)} \\
 \frac{\sin^3 \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha) - \cos^3 \alpha} = \tan \alpha & \text{(14)} & \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}{1 - \cos^2 \alpha} = \cot \alpha & \text{(13)} \\
 \frac{1 - 2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} = \tan^2 \alpha + \cot^2 \alpha & \text{(16)} & \tan^2 \alpha - \sin^2 \alpha = \tan^2 \alpha \sin^2 \alpha & \text{(15)}
 \end{array}$$

הוכחות מתקדמות:

$$(17) \quad \frac{1+\cos \alpha}{1-\cos \alpha} + \frac{1-\cos \alpha}{1+\cos \alpha} = 2 + 4 \cot^2 \alpha \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(18) \quad \frac{1+\tan \alpha}{1-\tan \alpha} + \frac{1-\tan \alpha}{1+\tan \alpha} = \frac{2}{\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha} \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(19) \quad (\cot \alpha - \tan \alpha)(\cot \alpha + \tan \alpha) = (1 + \cot^2 \alpha)(1 + \tan^2 \alpha) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(20) \quad \frac{\sin^4 \alpha + \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}{\cos^4 \alpha + \sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha} = \cot^4 \alpha \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(21) \quad 1 - \sin^2 \alpha (1 + \cos^2 \alpha) = \cos^4 \alpha \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(22) \quad \left(\sqrt{\frac{1+\cos \alpha}{1-\cos \alpha}} + \sqrt{\frac{1-\cos \alpha}{1+\cos \alpha}} \right)^2 = 4 + 4 \cot^2 \alpha \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(23) \quad \sin^2 \alpha \cos^2 \beta - \sin^2 \beta \cos^2 \alpha = \sin^2 \alpha - \sin^2 \beta \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(24) \quad \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{\cot \alpha + \cot \beta} = \tan \alpha \tan \beta \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

הבעת ביטויים וחישובים באמצעות זהויות יסוד:

$$(25) \quad \sin \alpha + \cos \alpha = k \quad \text{נתון כי:}$$

הבע באמצעות k את ערכי הביטויים הבאים:

א. $\sin \alpha \cdot \cos \alpha$

ב. $\sin \alpha - \cos \alpha$

ג. $\tan \alpha + \cot \alpha$

ד. $\sin^3 \alpha + \cos^3 \alpha$

$$(26) \quad \sin \alpha = \frac{\sqrt{5}}{5} \quad \text{נתון כי:}$$

מבלי למצוא את α חשב את: $\tan^2 \alpha - 2 \cot^2 \alpha$

(27) נתון כי: $\tan \alpha = \sqrt{7}$.

מבלי למצוא את α חשב את: $\frac{\sqrt{7} \sin \alpha + 6 \cos \alpha}{\sqrt{28} \sin \alpha - \cos \alpha}$.

(28) חשב את ערך המכפלה הבאה: $\tan 1^\circ \cdot \tan 2^\circ \cdot \tan 3^\circ \cdots \tan 88^\circ \cdot \tan 89^\circ$.

תשובות סופיות:

- (1) שאלת הוכחה.
- (2) שאלת הוכחה.
- (3) שאלת הוכחה.
- (4) שאלת הוכחה.
- (5) שאלת הוכחה.
- (6) שאלת הוכחה.
- (7) שאלת הוכחה.
- (8) שאלת הוכחה.
- (9) שאלת הוכחה.
- (10) שאלת הוכחה.
- (11) שאלת הוכחה.
- (12) שאלת הוכחה.
- (13) שאלת הוכחה.
- (14) שאלת הוכחה.
- (15) שאלת הוכחה.
- (16) שאלת הוכחה.
- (17) שאלת הוכחה.
- (18) שאלת הוכחה.
- (19) שאלת הוכחה.
- (20) שאלת הוכחה.
- (21) שאלת הוכחה.
- (22) שאלת הוכחה.
- (23) שאלת הוכחה.
- (24) שאלת הוכחה.

$$(25) \text{ א. } \frac{k^2 - 1}{2} \quad \text{ב. } \pm \sqrt{2 - k^2} \quad \text{ג. } \frac{2}{k^2 - 1} \quad \text{ד. } \frac{k}{2}(3 - k^2)$$

$$(26) -7.75$$

$$(27) 1$$

$$(28) 1$$

ערכי הפונקציות הטריגונומטריות עבור זוויות מיוחדות:

סיכום כללי:

$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	
1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$\sin \alpha$
0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\cos \alpha$
ϕ	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$\tan \alpha$
0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	ϕ	$\cot \alpha$

הערות:

- ערכי הפונקציות הטריגונומטריות עבור זוויות של 0° ו- 90° תלמדנה בהמשך אך ניתנו כעת כדי להשלים את תמונת ערכי הזוויות.
- ניתן לזכור את הטבלה ע"י כתיבה של שורת הסינוס לפי: $\frac{\sqrt{4}}{2}, \frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{1}}{2}, \frac{\sqrt{0}}{2}$ אשר נותנים את הערכים של השורה הראשונה לאחר פישוט קל. עבור שורת ה- $\cos \alpha$ יש להפוך את הערכים ולבסוף יש לחלק כל זוג ביטויים כדי לכתוב את ערכי $\tan \alpha$ ולסובב עבור ערכי $\cot \alpha$.

שאלות:

חשב ללא מחשבון את ערכי הביטויים הבאים תוך שימוש בערכי הפונקציות הטריגונומטריות של זוויות מיוחדות:

$$(1) \sin 30^\circ + \cos 30^\circ$$

$$(2) \frac{\sin 30^\circ \cdot \cos 30^\circ}{\sin 60^\circ}$$

$$(3) \tan 45^\circ + \frac{\sin 45^\circ}{\cos 45^\circ}$$

$$\cdot \frac{1 + \cos 60^\circ}{2 \sin 60^\circ} \quad (4)$$

$$\cdot \cos^2 45^\circ + \sin^2 30^\circ \quad (5)$$

$$\cdot \frac{\tan^2 60^\circ \cdot \cos^2 30^\circ}{\cos^2 60^\circ} \quad (6)$$

$$\cdot \frac{\tan 30^\circ \cdot \cot 60^\circ - \cot 45^\circ \cdot \tan 45^\circ}{4 \left(\sin^2 60^\circ - \frac{1}{4} \right)} \quad (7)$$

$$\cdot \frac{27 \cot^4 60^\circ}{\sin 30^\circ \cdot \cos 45^\circ \cdot \tan 60^\circ} \quad (8)$$

תשובות סופיות:

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

$$\frac{1}{2} \quad (2)$$

$$2 \quad (3)$$

$$\frac{3}{2\sqrt{3}} \quad (4)$$

$$\frac{3}{4} \quad (5)$$

$$9 \quad (6)$$

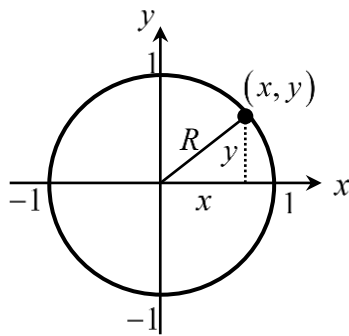
$$-\frac{1}{3} \quad (7)$$

$$2\sqrt{6} \quad (8)$$

מעגל היחידה – הגדרה וזהויות:

סיכום כללי:

הגדרת מעגל היחידה:



- מעגל קונוי שרדיוסו 1 מוגדר להיות המעגל הטריגונומטרי.
- הנקודות $(0, -1)$, $(-1, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$ מתאימות לזוויות של 270° , 180° , 90° , 0° .

הזהויות של המעגל הטריגונומטרי:

רביע	סינוס	קוסינוס	טנגנס
II	$\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$	$\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$	$\tan(180^\circ - \alpha) = -\tan \alpha$
III	$\sin(180^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$	$\cos(180^\circ + \alpha) = -\cos \alpha$	$\tan(180^\circ + \alpha) = \tan \alpha$
VI	$\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$	$\cos(-\alpha) = \cos \alpha$	$\tan(-\alpha) = -\tan \alpha$
סימנים			

זהויות עבור זווית הגדולות מ-360 מעלות:

ניתן להוסיף או להוריד 'סיבובים' שלמים לזווית לפי:

$$\boxed{\begin{matrix} \sin(\alpha + 360^\circ k) = \sin \alpha \\ \cos(\alpha + 360^\circ k) = \cos \alpha \end{matrix}}, \quad \boxed{\begin{matrix} \tan(\alpha + 180^\circ k) = \tan \alpha \\ \cot(\alpha + 180^\circ k) = \cot \alpha \end{matrix}}$$

כאשר k הוא מספר שלם מציין את מספר הסיבובים.

שאלות:

(1) העבר את הביטויים הבאים לביטויים עם זווית ברביע הראשון.
אין צורך לחשב את ערך הביטוי:

א. $\sin 120^\circ$	ב. $\cos 150^\circ$
ג. $\tan 160^\circ$	ד. $\cot 130^\circ$
ה. $\sin 215^\circ$	ו. $\cos 245^\circ$
ז. $\tan 230^\circ$	ח. $\cot 200^\circ$
ט. $\sin 300^\circ$	י. $\cos 310^\circ$

(2) חשב את ערכי הביטויים הבאים ע"י שימוש בזהויות המעגל הטריגונומטרי:

א. $\sin 150^\circ$	ב. $\cos 210^\circ$	ג. $\tan 120^\circ$
ד. $\sin 330^\circ$	ה. $\tan 225^\circ$	ו. $\sin 315^\circ$
ז. $\cos 120^\circ$	ח. $\tan(-30^\circ)$	ט. $\cos(-45^\circ)$
י. $\sin 510^\circ$	יא. $\cos 930^\circ$	יב. $\tan(-225^\circ)$

(3) חשב את ערכי הביטויים הבאים ללא שימוש במחשבון:

- א. $(\sin 240^\circ \cdot \tan 150^\circ + \cos(-60^\circ))^2$
 ב. $8\sin^2 150^\circ \cdot \tan 135^\circ - 2 \cdot \sin 135^\circ \cdot \cos(-135^\circ)$
 ג. $\frac{\cot 225^\circ}{\sin(-225^\circ) - \cos 135^\circ} + \tan^2 210^\circ$

(4) הוכח כי אם α, β ו- γ הן זוויות במשולש, אז מתקיים:

- א. $\sin(\alpha + \beta) = \sin \gamma$
 ב. $\sin\left(\frac{\gamma + \beta}{2}\right) = \cos \frac{\alpha}{2}$

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \begin{array}{llll} \text{א. } \sin 60^\circ & \text{ב. } -\cos 30^\circ & \text{ג. } -\tan 20^\circ & \text{ד. } -\cot 50^\circ \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} \text{ה. } -\sin 35^\circ & \text{ו. } -\cos 65^\circ & \text{ז. } \tan 50^\circ & \text{ח. } \cot 20^\circ \end{array}$$

$$\text{ט. } -\sin 60^\circ \quad \text{י. } \cos 50^\circ$$

$$(2) \quad \begin{array}{llll} \text{א. } \frac{1}{2} & \text{ב. } -\frac{\sqrt{3}}{2} & \text{ג. } -\sqrt{3} & \text{ד. } -\frac{1}{2} \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} \text{ה. } 1 & \text{ו. } -\frac{\sqrt{2}}{2} & \text{ז. } -\frac{1}{2} & \text{ח. } -\frac{\sqrt{3}}{3} \end{array}$$

$$\text{ט. } \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{י. } \frac{1}{2} \quad \text{יא. } -\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{יב. } -1$$

$$(3) \quad \begin{array}{ll} \text{א. } 1 & \text{ב. } -1 \end{array} \quad \text{ג. } \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{3}$$

$$(4) \quad \text{שאלת הוכחה.}$$

סכום והפרש זוויות:

סיכום כללי:

סכום והפרש עבור $\sin(\alpha \pm \beta)$ ו- $\cos(\alpha \pm \beta)$ יחושב לפי:

$$\begin{aligned}\sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta\end{aligned}$$

סכום והפרש עבור $\tan(\alpha \pm \beta)$ ו- $\cot(\alpha \pm \beta)$

$$\begin{aligned}\tan(\alpha \pm \beta) &= \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta} \\ \cot(\alpha \pm \beta) &= \frac{\cot \alpha \cot \beta \mp 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha}\end{aligned}$$

הערה:

בסרטון התיאוריה אין התייחסות מיוחדת לזהויות עבור $\tan(\alpha \pm \beta)$ ו- $\cot(\alpha \pm \beta)$.

שאלות:

1) חשב את ערכי הביטויים הבאים תוך שימוש בזהויות של סכום והפרש זוויות וללא שימוש במחשבון:

א. $\sin 75^\circ$	ב. $\sin 15^\circ$	ג. $\sin 105^\circ$
ד. $\sin(-15^\circ)$	ה. $\cos 75^\circ$	ו. $\cos 15^\circ$
ז. $\cos(-105^\circ)$	ח. $\cos 165^\circ$	ט. $\cos(-195^\circ)$

2) חשב ללא שימוש במחשבון את ערכי הביטויים הבאים:

- א. $\sin 65^\circ \cos 25^\circ + \sin 25^\circ \cos 65^\circ$
 ב. $5 \cos 50^\circ \cos 20^\circ + 5 \sin 50^\circ \sin 20^\circ$

(3) הוכח את הזהויות הבאות :

$$\text{א. } \sin(60^\circ + \alpha) + \sin(60^\circ - \alpha) = \sqrt{3} \cos \alpha$$

$$\text{ב. } \cos(45^\circ - \alpha) - \cos(45^\circ + \alpha) = \sqrt{2} \sin \alpha$$

$$\text{ג. } \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin(\alpha - \beta) = \sin^2 \alpha - \sin^2 \beta$$

$$\text{ד. } \tan \alpha - \tan \beta = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$$

(4) נתון: $\cos \beta = \frac{8}{17}$, $\cos \alpha = \frac{4}{5}$ ו- α, β זוויות חדות.מבלי למצוא את הערכים של α ו- β חשב :

$$\text{א. } \sin(\alpha + \beta)$$

$$\text{ב. } \cos(\alpha + \beta)$$

$$\text{ג. } \tan(\alpha + \beta)$$

(5) הוכח את הזהות: $\sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta) = 2 \sin \beta \cos \alpha$ (6) הוכח את הזהות: $(\sin \alpha + \cos \alpha)(\sin 2\alpha + \cos 2\alpha) = \sin 3\alpha + \cos \alpha$ (7) הוכח את הזהות: $\tan 7\alpha - \tan 5\alpha - \tan 2\alpha = \tan 7\alpha \tan 5\alpha \tan 2\alpha$ (8) הוכח את הזהות: $\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos(\alpha + \beta)} = \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{1 - \tan \alpha \tan \beta}$ (9) הוכח את הזהות: $\cot \alpha - \cot \beta = \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \alpha \sin \beta}$

(10) הוכח את הזהות הבאה :

$$\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma = \sin(\alpha + \beta + \gamma)$$

(11) הוכח כי מתקיים : $\sin 65^\circ \cos 25^\circ + \sin 25^\circ \cos 65^\circ = 1$

(12) הוכח כי מתקיים : $\tan 18^\circ \tan 27^\circ + \tan 18^\circ + \tan 27^\circ = 1$

(13) נתון כי : $\sin 76^\circ = m$. הבע את $\sin 31^\circ$ באמצעות m .

(14) הזוויות α ו- β הן זוויות חדות.

נתון כי : $\tan \beta = \frac{(2k-1)\sqrt{3}}{3}$ ו- $\tan \alpha = \frac{(2-k)\sqrt{3}}{3k}$

הראה כי מתקיים : $\alpha + \beta = 60^\circ$.

(15) היעזר בנוסחה : $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$ ומצא את $\tan x$ ו- $\tan y$

אם ידוע כי : $\tan(x+y) = -3$ ו- $\tan(x-y) = \frac{1}{3}$. הבחן בין שני מקרים.

תשובות סופיות:

$$(1) \quad \begin{array}{lllll} \text{א. } \frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4} & \text{ב. } \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{4} & \text{ג. } \frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4} & \text{ד. } \frac{\sqrt{2}-\sqrt{6}}{4} & \text{ה. } \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{4} \\ \text{ו. } \frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4} & \text{ז. } \frac{\sqrt{2}-\sqrt{6}}{4} & \text{ח. } -\frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4} & \text{ט. } -\frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4} & \end{array}$$

$$(2) \quad \begin{array}{ll} \text{א. } 1 & \text{ב. } \frac{5\sqrt{3}}{2} \end{array}$$

(3) שאלת הוכחה.

$$(4) \quad \begin{array}{ll} \text{א. } \frac{84}{85} & \text{ב. } -\frac{13}{85} \\ \text{ג. } -6\frac{6}{13} & \end{array}$$

(5) שאלת הוכחה.

(6) שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

(9) שאלת הוכחה.

(10) שאלת הוכחה.

(11) שאלת הוכחה.

(12) שאלת הוכחה.

(13) שאלת הוכחה.

$$(14) \quad \frac{\sqrt{2}}{2} (m - \sqrt{1-m^2})$$

(15) שאלת הוכחה.

$$(16) \quad 1 \text{ ו- } 2 \text{ או } -\frac{1}{2} \text{ ו- } -1.$$

זווית כפולה:

סיכום כללי:

נפתח זווית כפולה לפי הצורות הבאות:

$$\begin{aligned}\sin 2\alpha &= 2\sin \alpha \cos \alpha \\ \cos 2\alpha &= \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 2\cos^2 \alpha - 1 = 1 - 2\sin^2 \alpha\end{aligned}$$

שאלות:

(1) הוכח את הזהויות הבאות:

- א. $4\sin \alpha \cos \alpha \cos 2\alpha = \sin 4\alpha$
 ב. $(\sin \alpha - \cos \alpha)^2 = 1 - \sin 2\alpha$
 ג. $(\sin 3\alpha - \cos 3\alpha)^2 = 1 - \sin 6\alpha$
 ד. $\cos^4 \alpha - \sin^4 \alpha = \cos 2\alpha$
 ה. $\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} - \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = 2 \cot 2\alpha$
 ו. $\frac{\cos 2\alpha - 2\sin^2 \alpha \cos 2\alpha}{\sin 4\alpha} = \frac{1}{2} \cot 2\alpha$
 ז. $\cos^2 2\alpha = 4\sin^4 \alpha - 4\sin^2 \alpha + 1$
 ח. $\cos 4\alpha = 8\cos^4 \alpha - 8\cos^2 \alpha + 1$

(2) הוכח את הזהות: $\sin^3 \alpha = \frac{3\sin \alpha - \sin 3\alpha}{4}$ ע"י כתיבה של $\sin 3\alpha$

לפי: $\sin(\alpha + 2\alpha)$ ושימוש בזהויות שנלמדו.

(3) הוכח את הזהות: $\cos^3 \alpha = \frac{3\cos \alpha + \cos 3\alpha}{4}$ ע"י כתיבה של $\cos 3\alpha$

לפי: $\cos(\alpha + 2\alpha)$ ושימוש בזהויות שנלמדו.

(4) נתונה זווית חדה α המקיימת: $\sin \alpha = \frac{40}{41}$. מבלי להיעזר במחשבון חשב:

א. $\cos \alpha$

ב. $\tan \alpha$

ג. $\sin 2\alpha$

ד. $\cos 2\alpha$

ה. $\tan 2\alpha$

(5) נתונה זווית חדה α המקיימת: $\tan \alpha = \frac{5}{12}$. מבלי להיעזר במחשבון חשב:

א. $\sin \alpha$.

ב. $\cos \alpha$.

ג. $\sin 2\alpha$.

ד. $\cos 2\alpha$.

(6) נתונה זווית α ברביע הראשון וזווית β ברביע השני המקיימות: $\sin \alpha = \frac{5}{13}$

ו- $\cos \beta = -0.8$. מבלי למצוא את α ו- β חשב את הביטויים הבאים:

א. $\sin(\alpha + \beta)$.

ב. $\cos(\alpha + \beta)$.

ג. $\sin(2\alpha + \beta)$.

(7) נתון כי $\sin \alpha + \cos \alpha = 1.2$ עבור $0^\circ < \alpha < 90^\circ$. חשב את $\sin 2\alpha$.

(8) פשט את הביטוי הבא: $\sqrt{\frac{1 + \cos 8\alpha}{2}}$.

(9) ללא שימוש במחשבון, חשב את ערך הביטוי הבא: $\frac{\sin 16^\circ \cos 16^\circ}{3 - 6 \sin^2 29^\circ}$.

(10) ללא שימוש במחשבון, חשב את ערך הביטוי הבא: $\frac{\sin^2 78^\circ - \cos^2 78^\circ}{\sin 66^\circ}$.

(11) ללא שימוש במחשבון, חשב את ערך הביטוי הבא: $\frac{5 \tan 15^\circ (1 - 2 \cos^2 15^\circ)}{1 - \tan^2 15^\circ}$.

תשובות סופיות:

(1) שאלת הוכחה.

(2) שאלת הוכחה.

(3) שאלת הוכחה.

(4) א. $\frac{9}{41}$ ב. $4\frac{4}{9}$ ג. $\frac{720}{1681}$ ד. $-\frac{1519}{1681}$

ה. $-\frac{720}{1519}$

(5) א. $\frac{5}{13}$ ב. $\frac{12}{13}$ ג. $\frac{120}{169}$ ד. $\frac{119}{169}$

(6) א. $\frac{16}{65}$ ב. $-\frac{63}{65}$ ג. $-\frac{123}{845}$

(7) 0.44

(8) $\cos 4\alpha$

(9) $\frac{1}{6}$

(10) 1

(11) -1.25

סכום והפרש פונקציות טריגונומטריות:

סיכום כללי:

להלן נוסחאות הסכום וההפרש של פונקציות טריגונומטריות:

$$\begin{array}{l}
 \sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\
 \sin \alpha - \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \\
 \cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\
 \cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}
 \end{array}$$

הערה:

בסרטון התיאוריה אין התייחסות לזהויות הסכום וההפרש של טנגנס ושל קוטנגנס עקב חוסר השימוש בהן בפתרון שאלות.

שאלות:

- (1) הוכח את הזהות הבאה : $\sin 5\alpha + \sin 3\alpha = 2 \sin 4\alpha \cos \alpha$
- (2) הוכח את הזהות הבאה : $\sin 7\alpha - \sin 2\alpha = 2 \sin 2.5\alpha \cos 4.5\alpha$
- (3) הוכח את הזהות הבאה : $\cos \alpha + \cos 5\alpha = 2 \sin 2\alpha \cos 3\alpha$
- (4) הוכח את הזהות הבאה : $\cos 5\alpha - \cos 2\alpha = -2 \sin 3.5\alpha \cos 1.5\alpha$
- (5) הוכח את הזהות הבאה : $\sin 3\alpha = 2 \sin 2\alpha \cos \alpha - \sin \alpha$
- (6) הוכח את הזהות הבאה : $\sin^2 \alpha - \sin^2 \beta = \sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \beta)$
- (7) הוכח את הזהות הבאה : $\sin(2\alpha + \beta) - 2 \cos(\alpha + \beta) \sin \alpha = \sin \beta$
- (8) הוכח את הזהות הבאה : $\frac{\sin 5\alpha - \sin \alpha}{\sin 4\alpha - \sin 2\alpha} = 2 \cos \alpha$

$$(9) \quad \frac{\sin 7\alpha - \sin 3\alpha}{\cos 4\alpha + \cos 6\alpha} = 2 \sin \alpha \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(10) \quad \frac{\sin \alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha}{\cos \alpha + \cos 2\alpha + \cos 3\alpha} = \tan 2\alpha \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(11) \quad \tan \alpha + \tan 3\alpha = \frac{2 \sin 4\alpha}{\cos 4\alpha + \cos 2\alpha} \quad \text{הוכח את הזהות הבאה:}$$

$$(12) \quad \text{פשט את הביטוי: } \frac{1 + \cos \alpha + \cos 2\alpha + \cos 3\alpha}{\cos \alpha + 2 \cos^2 \alpha - 1} \quad \text{ומצא את ערכו מבלי להיעזר}$$

$$\text{במחשבון אם ידוע כי } \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{5}{6}$$

$$(13) \quad \text{נתון כי } \alpha \text{ ו- } \beta \text{ הן זוויות חדות המקיימות: } \sin \alpha = \frac{2mn}{m^2 + n^2} \text{ ו- } \sin \beta = \frac{n^2 - m^2}{m^2 + n^2}$$

$$\text{הראה כי: } \alpha + \beta = 90^\circ$$

$$(14) \quad \text{היעזר במעבר מכפל לסכום או הפרש}$$

$$\text{והוכח כי: } \cos 6\alpha \cos 2\alpha - \cos 5\alpha \cos \alpha = -\sin 7\alpha \sin \alpha$$

$$(15) \quad \text{היעזר במעבר מכפל לסכום או הפרש}$$

$$\text{והוכח כי: } \sin 4\alpha \sin 2\alpha - \sin 5\alpha \sin \alpha + \cos 3\alpha \cos \alpha = \cos 2\alpha$$

$$(16) \quad \text{חשב ללא מחשבון את ערך הביטוי הבא: } \sin 52.5^\circ \cdot \sin 7.5^\circ$$

$$(17) \quad \text{חשב ללא מחשבון את ערך הביטוי הבא: } \frac{\sin 35^\circ \sin 55^\circ}{\cos 40^\circ \cos 20^\circ - 0.25}$$

$$(18) \quad \text{חשב ללא מחשבון את ערך הביטוי הבא: } \cos 20^\circ \cos 40^\circ \cos 80^\circ$$

$$(19) \quad \text{חשב ללא מחשבון את ערך הביטוי הבא: } \sin 5^\circ \cdot \sin 25^\circ \cdot \sin 35^\circ \cdot \sin 55^\circ \cdot \sin 65^\circ \cdot \sin 85^\circ$$

תשובות סופיות:

(1) שאלת הוכחה.

(2) שאלת הוכחה.

(3) שאלת הוכחה.

(4) שאלת הוכחה.

(5) שאלת הוכחה.

(6) שאלת הוכחה.

(7) שאלת הוכחה.

(8) שאלת הוכחה.

(9) שאלת הוכחה.

(10) שאלת הוכחה.

(11) שאלת הוכחה.

(12) $-\frac{7}{9}$.

(13) שאלת הוכחה.

(14) שאלת הוכחה.

(15) שאלת הוכחה.

(16) $\frac{\sqrt{2}-1}{4}$.

(17) 1.

(18) $\frac{1}{8}$.(19) $\frac{1}{64}$.

מכפלת פונקציות:

סיכום כללי:

להלן נוסחאות המעבר מסכום למכפלה וממכפלה לסכום:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\ \sin \alpha - \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \\ \cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\ \cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)] \\ \cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)] \\ \sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)] \end{array} \right.$$

שאלות:

$$(1) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } \sin 7\alpha \cos \alpha = \frac{1}{2} (\sin 8\alpha + \sin 6\alpha)$$

$$(2) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } \cos 11\alpha \sin 3\alpha = \frac{1}{2} (\sin 14\alpha - \sin 8\alpha)$$

$$(3) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } \cos 4\alpha \cos 10\alpha = \frac{1}{2} (\cos 6\alpha + \cos 14\alpha)$$

$$(4) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } \sin 3\alpha \sin 7\alpha = \frac{1}{2} (\cos 4\alpha - \cos 10\alpha)$$

$$(5) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } 2 \sin 7\alpha \sin 2\alpha + \cos 9\alpha = \cos 5\alpha$$

$$(6) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } \sin 7\alpha \cos 4\alpha - \sin 4\alpha \cos \alpha = \sin 3\alpha \cos 8\alpha$$

$$(7) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } \sin \alpha \sin 3\alpha = \cos 2\alpha - \cos 3\alpha \cos \alpha$$

$$(8) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } 2(\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha) = \cos 2\alpha - \cos 2\beta$$

$$(9) \quad \text{הוכח את הזהות הבאה: } \frac{2}{\cot \beta - \tan \alpha} = \tan(\alpha + \beta) - \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos(\alpha + \beta)}$$

תשובות סופיות:

- (1) הוכחה.
- (2) הוכחה.
- (3) הוכחה.
- (4) הוכחה.
- (5) הוכחה.
- (6) הוכחה.
- (7) הוכחה.
- (8) הוכחה.
- (9) הוכחה.

חדוא 1

פרק 28 - משוואות טריגונומטריות

תוכן העניינים

334	1. משוואות טריגונומטריות כלליות
337	2. משוואות הנפתרות עי טכניקה אלגברית
339	3. משוואות הנפתרות על ידי זהויות יסוד
341	4. משוואות הנפתרות על ידי זהויות של מעגל היחידה
342	5. משוואות הנפתרות על ידי חלוקה בקוסינוס
343	6. משוואות הנפתרות על ידי זהויות של סכום והפרש זוויות
344	7. משוואות הנפתרות על ידי זהויות של זווית כפולה
345	8. משוואות מהצורה $a \sin(x) + b \cos(x) = c$
346	9. משוואות הנפתרות על ידי זהויות של סכום והפרש פונקציות
348	10. משוואות עם תחום נתון
349	11. משוואות עם זוויות ברדיאנים
353	12. אי שוויונים טריגונומטריים

משוואות טריגונומטריות כלליות:

סיכום כללי:

פתרון כללי של משוואות טריגונומטריות (במעלות):

להלן נוסחאות הפתרון של המשוואות הטריגונומטריות היסודיות
כאשר x הוא משתנה ו- α היא זווית נתונה/ידועה:

המשוואה	הפתרון
$\sin x = \sin \alpha$	$x_1 = \alpha + 360^\circ k$, $x_2 = 180^\circ - \alpha + 360^\circ k$
$\cos x = \cos \alpha$	$x_{1,2} = \pm \alpha + 360^\circ k$
$\tan x = \tan \alpha$	$x = \alpha + 180^\circ k$
$\cot x = \cot \alpha$	$x = \alpha + 180^\circ k$

כאשר k מספר שלם.

שאלות:

(1) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (פונקציית הסינוס):

$$\sin x = \frac{1}{2} \quad \text{א.} \quad \sin x = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{ב.} \quad \sin x = -\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{ג.} \quad \sin x = -\frac{1}{2} \quad \text{ד.}$$

(2) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (פונקציית הקוסינוס):

$$\cos x = \frac{1}{2} \quad \text{א.} \quad \cos x = -\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{ב.}$$

(3) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (פונקציית הטנגנס):

$$\tan x = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{א.} \quad \tan x = -1 \quad \text{ב.}$$

(4) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (זווית כללית) :

א. $\sin x = 0.7$ ב. $\cos x = -0.6$ ג. $\tan x = 5$

(5) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (משוואות לא מסודרות) :

א. $\sin 3x = \frac{1}{2}$ ב. $2 \cos 2x = -\sqrt{3}$

ג. $\tan 5x = -1$ ד. $3 \sin 2x = 2$

ה. $3 \cos 3x = 1$ ו. $2 \tan 4x = 1$

(6) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (ארגומנט מורכב) :

א. $\sin(2x + 30^\circ) = -\frac{\sqrt{3}}{2}$ ב. $\cos(75^\circ - 3x) = \frac{\sqrt{2}}{2}$ ג. $\tan(50^\circ - x) = 1.3$

(7) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (פונקציות עם ארגומנטים שונים) :

א. $\sin x = \sin 3x$ ב. $\sin 2x = \sin(x + 30^\circ)$

ג. $\sin x = \sin(120^\circ - x)$ ד. $\cos x = \cos 3x$

ה. $\cos x = \cos(40^\circ - x)$ ו. $\tan x = \tan 3x$

ז. $\tan 2x = \tan(60^\circ - x)$

(8) כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (משוואות מיוחדות) :

א. $\sin x = 0$ ב. $\sin x = 1$

ג. $\sin x = -1$ ד. $\cos x = 0$

ה. $\cos x = 1$ ו. $\cos x = -1$

ז. $\tan x = 0$ ח. $\tan x = 1$

תשובות סופיות:

- (1) א. $x_1 = 30^\circ + 360^\circ k$, $x_2 = 150^\circ + 360^\circ k$ ב. $x_1 = 45^\circ + 360^\circ k$, $x_2 = 135^\circ + 360^\circ k$
 ג. $x_1 = -60^\circ + 360^\circ k$, $x_2 = 240^\circ + 360^\circ k$ ד. $x_1 = -30^\circ + 360^\circ k$, $x_2 = 210^\circ + 360^\circ k$
- (2) א. $x_{1,2} = \pm 60^\circ + 360^\circ k$ ב. $x_{1,2} = \pm 150^\circ + 360^\circ k$
- (3) א. $x = 30^\circ + 180^\circ k$ ב. $x = 135^\circ + 180^\circ k$
- (4) א. $x_1 = 44.427^\circ + 360^\circ k$, $x_2 = 135.573^\circ + 360^\circ k$
 ב. $x_{1,2} = 126.87^\circ + 360^\circ k$ ג. $x = 78.69^\circ + 180^\circ k$
- (5) א. $x_1 = 10^\circ + 120^\circ k$, $x_2 = 50^\circ + 120^\circ k$ ב. $x_1 = 75^\circ + 180^\circ k$, $x_2 = -75^\circ + 180^\circ k$
 ג. $x = -9^\circ + 36^\circ k$ ד. $x_1 = 20.9^\circ + 180^\circ k$, $x_2 = 69.09^\circ + 180^\circ k$
 ה. $x_{1,2} = \pm 23.5^\circ + 120^\circ k$ ו. $x = 6.64^\circ + 45^\circ k$
- (6) א. $x_1 = 105^\circ + 180^\circ k$, $x_2 = -45^\circ + 180^\circ k$
 ב. $x_1 = 10^\circ + 120^\circ k$, $x_2 = 40^\circ + 120^\circ k$ ג. $x = -2.431^\circ + 180^\circ k$
- (7) א. $x_1 = 180^\circ k$, $x_2 = 45^\circ + 90^\circ k$ ב. $x_1 = 30^\circ + 360^\circ k$, $x_2 = 50^\circ + 120^\circ k$
 ג. $x = 60^\circ + 180^\circ k$ ד. $x = 90^\circ k$
 ה. $x = 20^\circ + 180^\circ k$ ו. $x = 20^\circ + 60^\circ k$
 ז. $x = 180^\circ k$ ח. $x = 90^\circ + 360^\circ k$ ט. $x = 180^\circ + 360^\circ k$
 י. $x = 90^\circ + 180^\circ k$ יא. $x = 360^\circ k$ יב. $x = 180^\circ + 360^\circ k$
 יג. $x = 180^\circ k$ יד. $x = 45^\circ + 180^\circ k$

משוואות הנפתרות ע"י טכניקה אלגברית:

סיכום כללי:

נעזר בטכניקה אלגברית בכדי להביא משוואה מורכבת לצורה של משוואה יסודית.

טכניקות שכיחות:

- הוצאת שורש ריבועי.
- פירוק לגורמים (ע"י הוצאת גורם משותף, ע"י נוסחאות הכפל המקוצר וע"י פירוק טרינום).
- פתרון משוואה ריבועית.

שאלות:

כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות (טכניקה אלגברית):

$$\sin^2 x = \frac{1}{4} \quad (2)$$

$$\cos^2 x = \frac{3}{4} \quad (1)$$

$$\sin x \cos 3x = 0 \quad (4)$$

$$\tan^2 2x = 3 \quad (3)$$

$$2 \cos^2 x + \sqrt{3} \cos x = 0 \quad (6)$$

$$\sin 2x - 2 \sin^2 2x = 0 \quad (5)$$

$$3 \sin^2 x - \sin x = 2 \quad (8)$$

$$2 \sin^2 x - \sin x - 1 = 0 \quad (7)$$

$$\cos^2 x + 2 \cos x = 3 \quad (10)$$

$$6 \sin^2 x - \sin x - 1 = 0 \quad (9)$$

$$\tan^2 x = 4 \tan x - 1 \quad (12)$$

$$\tan^2 x - 3 \tan x - 4 = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\sin x}{\cos x - 1} = 0 \quad (14)$$

$$\cos x - \frac{2}{\cos x} + 1 = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\cos 2x}{\tan x + 1} = 0 \quad (15)$$

תשובות סופיות:

$$. x_{1,2} = \pm 30^\circ + 360^\circ k, x_{3,4} = \pm 150^\circ + 360^\circ k \quad (1)$$

$$. x_1 = 30^\circ + 360^\circ k, x_2 = 150^\circ + 360^\circ k, x_3 = 330^\circ + 360^\circ k, x_4 = 210^\circ + 360^\circ k \quad (2)$$

$$. x_1 = 30^\circ + 90^\circ k, x_2 = -30^\circ + 90^\circ k \quad (3)$$

$$. x_1 = 180^\circ k, x_2 = 30^\circ + 60^\circ k \quad (4)$$

$$. x_1 = 90^\circ k, x_2 = 15^\circ + 180^\circ k, x_3 = 75^\circ + 180^\circ k \quad (5)$$

$$. x_1 = 90^\circ + 180^\circ k, x_{2,3} = \pm 150^\circ + 360^\circ k \quad (6)$$

$$. x_1 = 90^\circ + 360^\circ k, x_2 = 210^\circ + 360^\circ k, x_3 = -30^\circ + 360^\circ k \quad (7)$$

$$. x_1 = 90^\circ + 360^\circ k, x_2 = -41.8^\circ + 360^\circ k, x_3 = 221.8^\circ + 360^\circ k \quad (8)$$

$$. x_1 = 30^\circ + 360^\circ k, x_2 = 150^\circ + 360^\circ k, x_3 = -19.4^\circ + 360^\circ k, x_4 = 199.4^\circ + 360^\circ k \quad (9)$$

$$. x = 360^\circ k \quad (10)$$

$$. x_1 = -45^\circ + 180^\circ k, x_2 = 75.964^\circ + 180^\circ k \quad (11)$$

$$. x_1 = 75^\circ + 180^\circ k, x_2 = 15^\circ + 180^\circ k \quad (12)$$

$$. x = 360^\circ k \quad (13)$$

$$. x = 180^\circ + 360^\circ k \quad (14)$$

$$. x = 45^\circ + 90^\circ k, x \neq -45^\circ + 180^\circ k \quad (15)$$

משוואות הנפתרות ע"י זהויות יסוד:

סיכום כללי:

כאשר משוואה מכילה יותר מפונקציה טריגונומטרית אחת, יש תחילה להעביר אותה למשוואה שקולה המכילה פונקציה טריגונומטרית אחת. לאחר מכן ניתן לבצע פעולות אלגבריות בכדי לקבל משוואות יסודיות ולכתוב את הפתרון עבור כל אחת. לשם כך נעזר בזהויות טריגונומטריות.

תזכורת – זהויות היסוד הטריגונומטריות:

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1$	$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$	קשרים בין פונקציות
$\sin \alpha = \cos(90^\circ - \alpha)$ $\tan \alpha = \cot(90^\circ - \alpha)$	$\cos \alpha = \sin(90^\circ - \alpha)$ $\cot \alpha = \tan(90^\circ - \alpha)$	זוויות משלימות ל- 90°
$\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$	$\cot^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$	
		קשרים בין פונקציות

שאלות:

כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות:

$$\sin x = \cos(x + 45^\circ) \quad (2)$$

$$\sin x = \cos x \quad (1)$$

$$2 \cos^2 x = 3 \sin x \quad (4)$$

$$\cos x = \frac{2}{3} \sin^2 x \quad (3)$$

$$\cos^2 x - \sin^2 x = \sin x \quad (6)$$

$$\sin^2 x - \cos x = \frac{1}{4} \quad (5)$$

$$\sin x - \tan x = 0 \quad (8)$$

$$\sin^2 x + 2 \cos^2 x = 1.5 \quad (7)$$

תשובות סופיות:

$$\cdot x = 45^\circ + 180^\circ k \quad (1)$$

$$\cdot x = 22.5^\circ + 180^\circ k \quad (2)$$

$$\cdot x_{1,2} = \pm 60^\circ + 360^\circ k \quad (3)$$

$$\cdot x_1 = 30^\circ + 360^\circ k, x_2 = 150^\circ + 360^\circ k \quad (4)$$

$$\cdot x_{1,2} = \pm 60^\circ + 360^\circ k \quad (5)$$

$$x_1 = 30^\circ + 120^\circ k, x_2 = -90^\circ + 360^\circ k \quad (6)$$

$$\cdot x_{1,2} = \pm 45^\circ + 360^\circ k, x_{3,4} = \pm 135^\circ + 360^\circ k \quad (7)$$

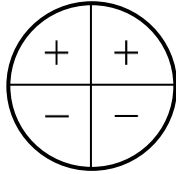
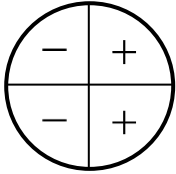
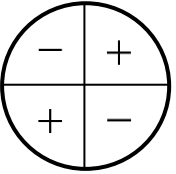
$$\cdot x = 180^\circ k \quad (8)$$

משוואות הנפתרות ע"י זהויות של מעגל היחידה:

סיכום כללי:

כאשר משוואה מכילה יותר מפונקציה טריגונומטרית אחת, יש תחילה להעביר אותה למשוואה שקולה המכילה פונקציה טריגונומטרית אחת. לאחר מכן ניתן לבצע פעולות אלגבריות בכדי לקבל משוואות יסודיות ולכתוב את הפתרון עבור כל אחת. לשם כך נעזר בזהויות טריגונומטריות.

תזכורת – זהויות של מעגל היחידה:

רביע	סינוס	קוסינוס	טנגנס
I II III	$\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$ $\sin(180^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$	$\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$ $\cos(180^\circ + \alpha) = -\cos \alpha$ $\cos(-\alpha) = \cos \alpha$	$\tan(180^\circ - \alpha) = -\tan \alpha$ $\tan(180^\circ + \alpha) = \tan \alpha$ $\tan(-\alpha) = -\tan \alpha$
סימנים			

זהויות עבור זוויות הגדולות מ-360 מעלות:

$$\begin{array}{|l} \sin(\alpha + 360^\circ k) = \sin \alpha \\ \cos(\alpha + 360^\circ k) = \cos \alpha \end{array}, \quad \begin{array}{|l} \tan(\alpha + 180^\circ k) = \tan \alpha \\ \cot(\alpha + 180^\circ k) = \cot \alpha \end{array}$$

שאלות:

כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות:

$$\begin{array}{ll} \cos 2x = -\cos 3x & (2) \\ \sin 3x = -\cos(180^\circ - x) & (4) \end{array} \quad \begin{array}{ll} \sin x = -\sin 3x & (1) \\ \sin(x + 30^\circ) = -\cos x & (3) \end{array}$$

תשובות סופיות:

$$\begin{array}{ll} x_1 = 180^\circ + 360^\circ k, x_2 = 36^\circ + 72^\circ k & (2) \\ x_1 = 22.5^\circ + 90^\circ k, x_2 = 45^\circ + 180^\circ k & (4) \end{array} \quad \begin{array}{ll} x_1 = 90^\circ k, x_2 = -90^\circ + 180^\circ k & (1) \\ x = 120^\circ + 180^\circ k & (3) \end{array}$$

משוואות הנפתרות על ידי חלוקה בקוסינוס:

סיכום כללי:

טכניקה יעילה כדי להעביר משוואה מהצורה: $\sin x = a \cos x$ לפונקציה טריגונומטרית אחת היא ע"י חלוקה ב- $\cos x$ (בתנאי ש- $\cos x \neq 0$). כך מתקבלת המשוואה:

$$\sin x = a \cos x \quad / : \cos x \neq 0$$

$$\frac{\sin x}{\cos x} = a \frac{\cos x}{\cos x}$$

$$\tan x = a$$

$$x = \tan^{-1}(a) + 180^\circ k$$

הערה:

יש לבדוק האם ערכי x שמקיימים $\cos x = 0$ מהווים פתרון למשוואה. אם כן אז יש להוסיף אותם לפתרון הסופי.

שאלות:

כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות:

$$3 \sin x = \cos x \quad (2)$$

$$\sin x = 2 \cos x \quad (1)$$

$$2 \sin x = -5 \cos x \quad (4)$$

$$4 \sin x = 7 \cos x \quad (3)$$

$$3 \sin^2 x = \cos^2 x \quad (6)$$

$$\sin^2 x = 8 \cos^2 x \quad (5)$$

תשובות סופיות:

$$x = 63.43^\circ + 180^\circ k \quad (1)$$

$$x = 18.43^\circ + 180^\circ k \quad (2)$$

$$x = 60.25^\circ + 180^\circ k \quad (3)$$

$$x = -68.19^\circ + 180^\circ k \quad (4)$$

$$x_1 = 70.52^\circ + 180^\circ k, x_2 = -70.52^\circ + 180^\circ k \quad (5)$$

$$x_1 = 30^\circ + 180^\circ k, x_2 = -30^\circ + 180^\circ k \quad (6)$$

משוואות הנפתרות על ידי זהויות של סכום והפרש זוויות:

סיכום כללי:

כאשר משוואה מכילה יותר מפונקציה טריגונומטרית אחת, יש תחילה להעביר אותה למשוואה שקולה המכילה פונקציה טריגונומטרית אחת. לאחר מכן ניתן לבצע פעולות אלגבריות בכדי לקבל משוואות יסודיות ולכתוב את הפתרון עבור כל אחת. לשם כך נעזר בזהויות טריגונומטריות.

תזכורת – זהויות של סכום והפרש זוויות:

$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$	סכום והפרש עבור סינוס וקוסינוס
$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$ $\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot \alpha \cot \beta \mp 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha}$	סכום והפרש עבור טנגנס וקוטנגנס

שאלות:

כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות:

$$\sin(x + 45^\circ) \sin(x - 45^\circ) = \frac{1}{2} \quad (2)$$

$$2 \sin x = \sin(60^\circ - x) \quad (1)$$

$$3 \cos^2 x - \sin^2 x = \sin 3x \quad (4)$$

$$\frac{\cos 3x}{\sin x} - \frac{\sin 3x}{\cos x} = 2 \quad (3)$$

תשובות סופיות:

$$x = 19.11^\circ + 180^\circ k \quad (1)$$

$$x = 90^\circ + 180^\circ k \quad (2)$$

$$x = 15^\circ + 60^\circ k \quad (3)$$

$$x_{1,2} = \pm 60^\circ + 180^\circ k, x_3 = 90^\circ + 360^\circ k \quad (4)$$

משוואות הנפתרות ע"י זהויות של זווית כפולה:

סיכום כללי:

כאשר משוואה מכילה יותר מפונקציה טריגונומטרית אחת, יש תחילה להעביר אותה למשוואה שקולה המכילה פונקציה טריגונומטרית אחת. לאחר מכן ניתן לבצע פעולות אלגבריות בכדי לקבל משוואות יסודיות ולכתוב את הפתרון עבור כל אחת. לשם כך נעזר בזהויות טריגונומטריות.

תזכורת – זהויות של זווית כפולה:

$\sin 2\alpha = 2\sin \alpha \cos \alpha$	סינוס זווית כפולה
$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 2\cos^2 \alpha - 1 = 1 - 2\sin^2 \alpha$	קוסינוס זווית כפולה

שאלות:

כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות:

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| $\sqrt{2} \sin x + \sin 2x = 0$ (2) | $\sin x - \sin 2x = 0$ (1) |
| $2 \cos 2x + \sin 4x = 0$ (4) | $4 \cos x = \sin 2x$ (3) |
| $\cos 2x = 2 \sin x$ (6) | $3 \cos x - \cos 2x = 0$ (5) |
| $2 \sin^2 x = \cos 2x + 2$ (8) | $\sin x + \cos 2x = 1$ (7) |

תשובות סופיות:

- | | |
|---|---|
| $x_1 = 180^\circ k, x_{2,3} = \pm 135^\circ + 360^\circ k$ (2) | $x_1 = 360^\circ k, x_2 = 60^\circ + 120^\circ k$ (1) |
| $x_1 = 45^\circ + 90^\circ k, x_2 = 135^\circ + 180^\circ k$ (4) | $x = 90^\circ + 180^\circ k$ (3) |
| $x_1 = 21.1^\circ + 360^\circ k, x_2 = 158.9^\circ + 360^\circ k$ (6) | $x_{1,2} = \pm 106.307^\circ + 360^\circ k$ (5) |
| $x_1 = 180^\circ k, x_2 = 30^\circ + 360^\circ k, x_3 = 150^\circ + 360^\circ k$ (7) | |
| $x_1 = -60^\circ + 360^\circ k, x_2 = 60^\circ + 360^\circ k, x_3 = 120^\circ + 360^\circ k, x_4 = 240^\circ + 360^\circ k$ (8) | |

משוואות מהצורה: $a \sin(x) + b \cos(x) = c$

סיכום כללי:

ניתן להביא משוואה מהצורה: $a \sin x + b \cos x = c$ לצורה: $\sin x + \frac{b}{a} \cos x = \frac{c}{a}$.

מציאת זווית α המקיימת: $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$ תאפשר לכתוב: $\sin x + \tan \alpha \cdot \cos x = \frac{c}{a}$.

שימוש בזהות: $\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$ ובזהות: $\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha$ יובילו:

$$\sin x + \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \cdot \cos x = \frac{c}{a} \quad / \cdot \cos \alpha$$

$$\sin x \cos \alpha + \sin \alpha \cos x = \frac{c}{a} \cos \alpha$$

$$\sin(x + \alpha) = \frac{c}{a} \cos \alpha$$

אם נסמן: $\frac{c}{a} \cos \alpha = k$ נקבל את המשוואה: $\sin(x + \alpha) = k$ כאשר α ו- k ידועים. מכאן הפתרון הוא ישיר לפי משוואת סינוס.

שאלות:

פתור את המשוואות הבאות:

$$5 \cos x - 6 \sin x = 1 \quad (2) \qquad 10 \sin x + 3 \cos x = 5 \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \sin x + \sqrt{3} \cos^2 \frac{x}{2} = \cos \frac{x}{2} \quad (4) \qquad \sqrt{3} \sin 2x + 3 \cos 2x = \sqrt{12} \quad (3)$$

$$\cos x + \cos(60^\circ + x) = \sqrt{2} + \cos(60^\circ - x) \quad (5)$$

תשובות סופיות:

$$x_1 = 11.91^\circ + 360^\circ k, x_2 = 134.69^\circ + 360^\circ k \quad (1)$$

$$x = 15^\circ + 180^\circ k \quad (3) \qquad x_1 = 227.156^\circ + 360^\circ k, x_2 = 32.44^\circ + 360^\circ k \quad (2)$$

$$x_1 = -60^\circ + 720^\circ k, x_2 = 180^\circ + 360^\circ k \quad (4)$$

$$x_1 = -105^\circ + 360^\circ k, x_2 = 15^\circ + 360^\circ k \quad (5)$$

משוואות הנפתרות ע"י זהויות של סכום והפרש פונקציות:

סיכום כללי:

כאשר משוואה מכילה יותר מפונקציה טריגונומטרית אחת, יש תחילה להעביר אותה למשוואה שקולה המכילה פונקציה טריגונומטרית אחת. לאחר מכן ניתן לבצע פעולות אלגבריות בכדי לקבל משוואות יסודיות ולכתוב את הפתרון עבור כל אחת. לשם כך נעזר בזהויות טריגונומטריות.

תזכורת – זהויות של סכום והפרש פונקציות:

$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\sin \alpha - \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2}$	סכום והפרש פונקציות עבור סינוס
$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$	סכום והפרש פונקציות עבור קוסינוס

שאלות:

כתוב את הפתרון הכללי של המשוואות הבאות:

$$\sin x + \sin 3x = \sin 2x \quad (1)$$

$$\cos 2x - \cos 6x = \sin 2x \quad (2)$$

$$\sin x + \sin 3x = 4 \sin^3 x \quad (3)$$

$$\sin 6x - \sin 4x = 1 - \cos 2x \quad (4)$$

$$(\sin 5x + \sin 7x)^2 = (\cos 5x + \cos 7x)^2 \quad (5)$$

$$2 \cos^2 \frac{x}{2} + \cos 3x + \cos 5x = 1 \quad (6)$$

$$1 + \sin x + \sin 7x = \cos 8x \quad (7)$$

$$2 \sin 3x (\cos 2x + \cos x) = \sin x + \sin 2x \quad (8)$$

$$\sin(x + 60^\circ) - \sin x = \sin(2x + 60^\circ) - \sin 2x \quad (9)$$

$$\cos^2 3x - \cos^2 x = \sin x \cos x \quad (10)$$

$$\sin 8x \sin 2x + \cos 10x = 0 \quad (11)$$

$$\cos x + 3 \sin x = 1 + 2 \cos \frac{3x}{2} \cos \frac{x}{2} \quad (12)$$

$$4 \sin 2x \sin 5x \sin 7x - \sin 4x = 0 \quad (13)$$

$$4 \cos x \cos 2x \cos 3x = 1 \quad (14)$$

תשובות סופיות:

$$x_{1,2} = \pm 60^\circ + 360^\circ k, x_3 = 90^\circ k \quad (1)$$

$$x_1 = 45^\circ + 90^\circ k, x_2 = 180^\circ k \quad (2)$$

$$x_1 = 37.5^\circ + 90^\circ k, x_2 = 7.5^\circ + 90^\circ k, x_3 = 90^\circ k \quad (3)$$

$$x_1 = 15^\circ + 60^\circ k, x_2 = 180^\circ k, x_3 = -22.5^\circ + 90^\circ k \quad (4)$$

$$x_1 = 36^\circ k, x_2 = \left(\frac{180}{7}\right)^\circ + \left(\frac{180}{7}\right)^\circ k \quad (5)$$

$$x_{1,2} = \pm 30^\circ + 90^\circ k, x_3 = 90^\circ + 180^\circ k \quad (6)$$

$$x_1 = -\left(12\frac{6}{7}\right)^\circ k + \left(51\frac{3}{7}\right)^\circ k, x_2 = 45^\circ k \quad (7)$$

$$x_1 = 40^\circ k, x_2 = 180^\circ + 360^\circ k \quad (8)$$

$$x_1 = -20^\circ + 120^\circ k, x_2 = 360^\circ k \quad (9)$$

$$x_1 = 52.5^\circ + 90^\circ k, x_2 = -7.5^\circ + 90^\circ k, x_3 = 90^\circ k \quad (10)$$

$$x_1 = 45^\circ + 90^\circ k, x_2 = 11.25^\circ + 22.5^\circ k \quad (11)$$

$$x_1 = 30^\circ + 360^\circ k, x_2 = 150^\circ + 360^\circ k \quad (12)$$

$$x_1 = 7.5^\circ + 15^\circ k, x_2 = 90^\circ k \quad (13)$$

$$x_1 = 60^\circ + 180^\circ k, x_2 = 22.5^\circ + 45^\circ k \quad (14)$$

משוואות עם תחום נתון:

סיכום כללי:

כדי למצוא את הפתרונות של משוואה טריגונומטרית בתחום נתון, נמצא תחילה את הפתרון הכללי שלה ולאחר מכן נציב ערכים ב- k ונבחר את הערכים שנמצאים בתחום הנתון.

שאלות:

מצא את כל הפתרונות של המשוואות הבאות בתחום הנתון לידן:

- (1) $[0^\circ:180^\circ]$, $8\sin x - 4 = 0$
- (2) $[-90^\circ:90^\circ]$, $\sin 2x = \sin(x + 60^\circ)$
- (3) $[-90^\circ:90^\circ]$, $3\cos(2x + 30^\circ) + 1 = 0$
- (4) $[0^\circ:360^\circ]$, $\cos(50^\circ - x) = -\cos x$
- (5) $[-30^\circ:30^\circ]$, $2\sin 3x - 5\cos 3x = 0$
- (6) $[0^\circ:180^\circ]$, $2\cos^2 3x = \sin 6x + 1$
- (7) $[-180^\circ:180^\circ]$, $\cos 4x + 1 = 3\sin 2x$
- (8) $[-180^\circ:180^\circ]$, $\cos 2x + \cos^2 x + \sin x = 0$

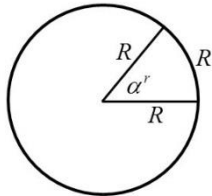
תשובות סופיות:

- (1) $x = 30^\circ, 150^\circ$
- (2) $x = -80^\circ, 40^\circ, 60^\circ$
- (3) $x = 39.736^\circ, -69.736^\circ$
- (4) $x = 115^\circ, 295^\circ$
- (5) $x = 22.733^\circ$
- (6) $x = 7.5^\circ, 37.5^\circ, 67.5^\circ, 97.5^\circ, 127.5^\circ, 157.5^\circ$
- (7) $x = -165^\circ, -105^\circ, 15^\circ, 75^\circ$
- (8) $x = -138.19^\circ, -41.81^\circ, 90^\circ$

משוואות עם זוויות ברדיאנים:

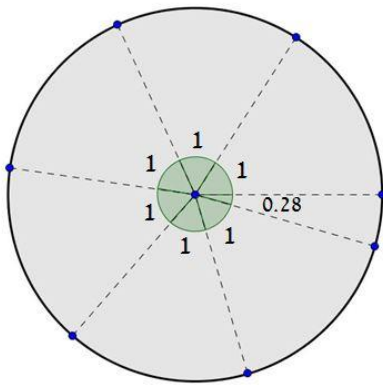
סיכום כללי:

הגדרת הרדיאן:



זווית של רדיאן אחד מוגדרת להיות הזווית המרכזית המתאימה לקשת שאורכה שווה לרדיוס המעגל.

עבור מעגל שרדיוסו R , תימצאנה 2π רדיאנים על היקפו, שכן היקף מעגל הוא $P = 2\pi \cdot R$.



באיור שלפניך ניתן לראות חלוקה של מעגל ל- $2\pi = 6.28$ קשתות אשר שוות לרדיוס המעגל. הזווית של כל קשת כזאת שווה לרדיאן אחד, כאשר הזווית האחרונה שווה ל-0.28 מרדיאן. מקבלים 2π רדיאנים.

קשר בין רדיאנים למעלות:

- נוסחת מעבר מזווית α° (במעלות) לזווית α^r (ברדיאנים): $\alpha^r = \frac{\pi}{180} \alpha^\circ$
- נוסחת מעבר מזווית α^r (ברדיאנים) לזווית α° (במעלות): $\alpha^\circ = \frac{180}{\pi} \alpha^r$

פתרונות משוואות טריגונומטריות ברדיאנים:

להלן נוסחאות הפתרון של המשוואות הטריונומטריות היסודיות כאשר x הוא משתנה ו- α היא זווית ידועה הנתונה ברדיאנים:

המשוואה	הפתרון
$\sin x = \sin \alpha$	$x_1 = \alpha + 2\pi k$, $x_2 = \pi - \alpha + 2\pi k$
$\cos x = \cos \alpha$	$x_{1,2} = \pm \alpha + 2\pi k$
$\tan x = \tan \alpha$	$x = \alpha + \pi k$
$\cot x = \cot \alpha$	$x = \alpha + \pi k$

כאשר k מספר שלם.

שאלות:

(1) המר את הזוויות הבאות ממעלות לרדיאנים:

א. 30°	ב. 90°	ג. 75°	ד. 120°
ה. 210°	ו. 315°	ז. 18°	ח. 285°
ט. -15°	י. -80°	יא. 510°	יב. -390°

(2) המר את הזוויות הבאות מרדיאנים למעלות:

א. π	ב. 2π	ג. 4π	ד. 1.5π
ה. $\frac{1}{2}\pi$	ו. $\frac{\pi}{4}$	ז. $\frac{\pi}{6}$	ח. $\frac{1}{18}\pi$
ט. $\frac{13}{18}\pi$	י. $\frac{19}{12}\pi$	יא. $1\frac{1}{6}\pi$	יב. $2\frac{1}{4}\pi$

(3) פתור את המשוואות הבאות בתחום שלידן (משוואות יסודיות שונות):

א. $2\sin 3x = 1$, $\left[0 : \frac{1}{3}\pi\right]$	ב. $\sqrt{3} + 2\cos x = 0$, $[0 : \pi]$
ג. $3 - 3\tan \frac{x}{2} = 0$, $[0 : 2\pi]$	ד. $\sin\left(2x - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $[0 : \pi]$
ה. $4\cos\left(x + \frac{\pi}{3}\right) - 2 = 0$, $\left[0 : \frac{1}{2}\pi\right]$	ו. $\sin x = \sin\left(\frac{2}{3}\pi - 2x\right)$, $\left[-\frac{5\pi}{18} : \frac{5\pi}{18}\right]$
ז. $5 - 5\tan(4x - 0.1\pi) = 0$, $\left[0 : \frac{\pi}{3}\right]$	ח. $\sin\left(2x - \frac{\pi}{5}\right) = 0.7$, $\left[-\frac{\pi}{4} : \frac{\pi}{4}\right]$

(4) פתור את המשוואות הבאות בתחום שלידן (טכניקה אלגברית):

א. $\sin^2 x = \frac{3}{4}$, $\left[0 : \frac{\pi}{2}\right]$	ב. $16\cos^2 2x - 1 = 0$, $\left[-\frac{\pi}{8} : \frac{\pi}{8}\right]$
ג. $2\tan^2 x - 18 = 0$, $[0 : \pi]$	ד. $3\sin x \cos x + 3\cos x = 0$, $\left[-\frac{\pi}{3} : \frac{\pi}{3}\right]$
ה. $\sin^2 x - 5\sin x \cos x = 0$, $\left[-\frac{\pi}{2} : \frac{\pi}{2}\right]$	ו. $2\sin^2 x - 5\sin x + 2 = 0$, $[-\pi : \pi]$
ז. $4\cos^2 x - \sqrt{2}\cos x - 1 = 0$, $[-\pi : 0]$	ח. $\tan^2 x - 7\tan x + 10 = 0$, $[0 : 2\pi]$

(5) פתור את המשוואות הבאות בתחום שלידן (שימוש בזהויות יסוד):

א. $0 \leq x \leq \pi, \sin x = \cos\left(x + \frac{\pi}{4}\right)$

ב. $0 \leq x \leq \pi, \tan x = 4 \sin x$

ג. $0 \leq x \leq 2\pi, 2 \sin^2 x = 3 \cos x$

(6) פתור את המשוואות הבאות בתחום שלידן (שימוש בזהויות ממעגל היחידה):

א. $[-\pi : \pi], \sin\left(x - \frac{\pi}{6}\right) = -\sin x$

ב. $[0 : \pi], \sin\left(2x + \frac{2}{9}\pi\right) = -\cos 2x$

ג. $[0 : \pi], \sin 4x = -\cos(\pi - x)$

ד. $\left[-\frac{\pi}{2} : \frac{\pi}{2}\right], \tan x = -\tan 2x$

(7) פתור את המשוואות הבאות בתחום שלידן (זהויות של זווית כפולה):

א. $-\pi \leq x \leq \pi, \sin 2x + \cos^2 x = 0$

ב. $[-\pi : \pi], \cos 4x + 1 = 3 \sin 2x$

ג. $-\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2}, 2 \sin^2 x = \cos 2x + 2$

ד. $0 \leq x \leq \pi, \cos 4x + \sin^2 x = 1$

תשובות סופיות:

- (1) א. $\frac{\pi}{6}$ ב. $\frac{\pi}{2}$ ג. $\frac{5\pi}{12}$ ד. $\frac{2\pi}{3}$ ה. $\frac{7\pi}{6}$
ו. $\frac{7\pi}{4}$ ז. $\frac{\pi}{10}$ ח. $\frac{19\pi}{12}$ ט. $-\frac{\pi}{12}$ י. $-\frac{4\pi}{9}$
יא. $\frac{17\pi}{6}$ יב. $-\frac{13\pi}{6}$
- (2) א. 180° ב. 360° ג. 720° ד. 270° ה. 90°
ו. 45° ז. 30° ח. 10° ט. 130° י. 285°
יא. 210° יב. 405°
- (3) א. $x = \frac{\pi}{18}, \frac{5\pi}{18}$ ב. $x = \frac{5\pi}{6}$ ג. $x = \frac{\pi}{2}$ ד. $x = \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$
ה. $x = 0$ ו. $x = \frac{2\pi}{9}$ ז. $x = 0.0875\pi$ ח. $x = 0.224\pi$
- (4) א. $x = \frac{\pi}{3}$ ב. ϕ ג. $x = 0.398\pi, 0.602\pi$ ד. ϕ
ה. $x = 0, 0.437\pi$ ו. $x = \frac{\pi}{6}, \frac{5\pi}{6}$
ז. $x = -\frac{\pi}{4}, -0.615\pi$ ח. $x = 0.352\pi, 0.437\pi, 1.352\pi, 1.437\pi$
- (5) א. $x = \frac{\pi}{8}$ ב. $x = 0, 0.42\pi, \pi$ ג. $x = \frac{\pi}{3}, \frac{5\pi}{3}$
- (6) א. $x = \frac{\pi}{12}, -\frac{11\pi}{12}$ ב. $x = \frac{23\pi}{72}, \frac{59\pi}{72}$
- (7) א. $x = \pm \frac{\pi}{2}, -0.148\pi, 0.852\pi$ ב. $x = -\frac{7\pi}{12}, \frac{\pi}{12}, \frac{5\pi}{12}, \frac{11\pi}{12}$
ג. $x = \pm \frac{\pi}{3}$ ד. $x = 0, 0.38\pi, 0.61\pi, \pi$

אי שוויונים טריגונומטריים:

סיכום כללי:

- כדי לפתור אי-שוויון טריגונומטרי בתחום מסוים נבצע את השלבים הבאים:
1. נהפוך את סימן אי השוויון לסימן שוויון ונפתור את המשוואה המתקבלת.
 2. נסדר את כל הפתרונות על ציר מספרים ונבחר ערך בכל תחום.
 3. נציב את הערכים באי השוויון המקורי ונאמר כי:
 - אם מתקבל פסוק אמת אז תחום זה מהווה פתרון של אי השוויון.
 - אם מתקבל פסוק שקר אז תחום זה אינו פתרון של אי השוויון.
 4. נרכז את כל התחומים ונכתוב את הפתרון המלא.

הערה:

במידה והמשוואה אינה מוגדרת עבור ערך מסוים הערך הזה מוכנס גם לציר המספרים.

שאלות:

פתור את אי השוויונים הבאים בתחום הרשום לידם:

- | | |
|---|---|
| (1) $[0, 180^\circ] \sin x < \frac{1}{2}$ | (2) $[0, 1.5\pi] 2\cos x - \sqrt{3} \geq 0$ |
| (3) $(-90^\circ, 90^\circ) 2\cos^2 x + \sin x \geq 1$ | (4) $[0, \pi] \sin x + \sin 2x + \sin 3x < 0$ |
| (5) $[0^\circ, 180^\circ] 1 < 2\sin(x + 10^\circ) < \sqrt{3}$ | (6) $(0 < x < \pi) \sin x + \sqrt{3}\cos x \geq 1$ |
| (7) $[0, 2\pi] \tan x + \cot x > 0$ | (8) $(-\pi < x < \pi) \tan(x) > \frac{1}{\sqrt{3}}$ |

תשובות סופיות:

$$(1) \quad 0^\circ \leq x < 30^\circ, 150^\circ \leq x \leq 180^\circ$$

$$(2) \quad 0 \leq x \leq \frac{\pi}{6}$$

$$(3) \quad -30^\circ \leq x < 90^\circ$$

$$(4) \quad \frac{\pi}{2} < x < \frac{2\pi}{3}$$

$$(5) \quad 20^\circ < x < 50^\circ, 110^\circ < x < 140^\circ$$

$$(6) \quad 0 < x \leq \frac{\pi}{2}$$

$$(7) \quad 0 < x < \frac{\pi}{2}, \pi < x < \frac{3}{2}\pi$$

$$(8) \quad -\frac{5\pi}{6} < x < -\frac{\pi}{6}, x \neq -\frac{\pi}{2} : \text{או} \quad \frac{\pi}{6} < x < \frac{5\pi}{6}, x \neq \frac{\pi}{2}$$

חדוא 1

פרק 29 - טריגונומטריה במישור

תוכן העניינים

1. שאלות יסודיות עם משפט הסינוסים והקוסינוסים 355
2. שאלות העוסקות בנוסחת שטח משולש 363
3. שאלות המשלבות ידע בגיאומטריה 372
4. שאלות מסכמות 376

שאלות יסודיות עם משפט הסינוסים והקוסינוסים:

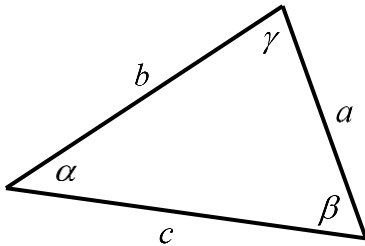
סיכום כללי:

משפט הסינוסים:

במשולש, צלע חלקי סינוס הזווית שמולה הוא גודל קבוע והוא שווה לפעמיים רדיוס המעגל החוסם.

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2R$$

בצורה מתמטית:



משפט הקוסינוסים:

במשולש, ריבוע צלע אחת שווה לסכום ריבועי שתי הצלעות האחרות פחות מכפלתן

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma \quad \text{או} \quad \cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

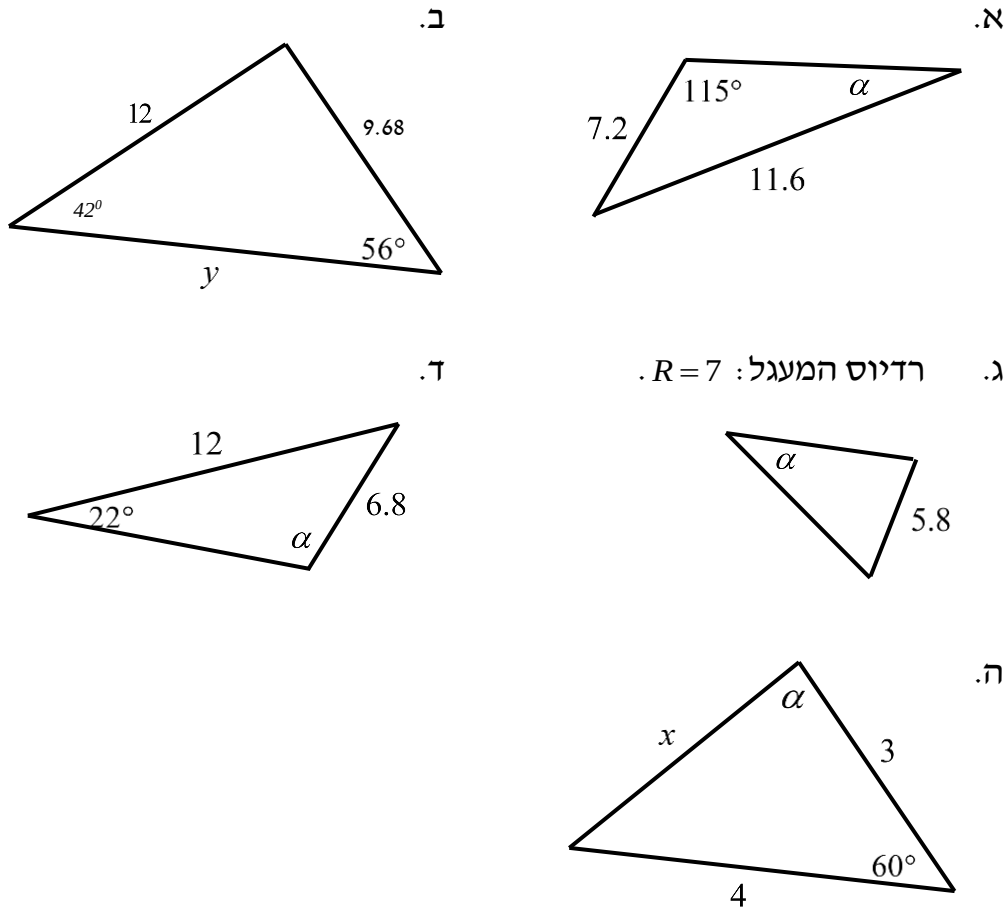
בקוסינוס הזווית שבניהן:

מתי נשתמש בכל משפט:

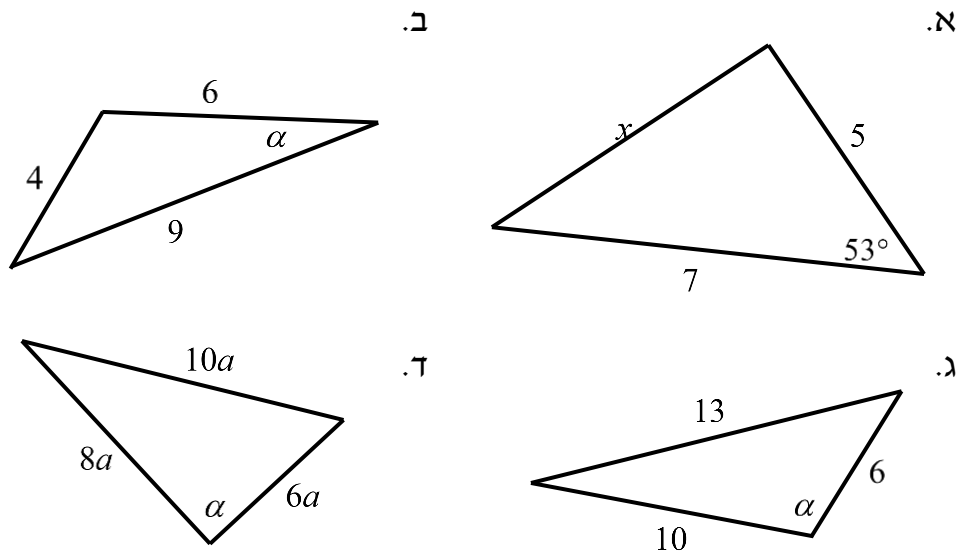
- נשתמש במשפט הסינוסים כאשר:
 - נתונות שתי זוויות וצלע.
 - נתונות שתי צלעות והזווית מול אחת מהן.
 - נתון רדיוס המעגל החוסם וצלע/זווית נוספת.
- נשתמש במשפט הקוסינוסים כאשר:
 - נתונות שתי צלעות והזווית ביניהן.
 - נתונות שלוש צלעות.
- כאשר ישנם יותר נתונים מאשר בסעיפים שלהלן ייתכן שנוכל להשתמש בשני המשפטים. בבחירת המשפט שבו נשתמש כדאי לזכור שבמשפט הסינוסים ייתכנו שתי תשובות לזווית, גם אם בפועל רק אחת נכונה, ובמשפט הקוסינוסים תתקבל בוודאות הזווית הנכונה.

שאלות:

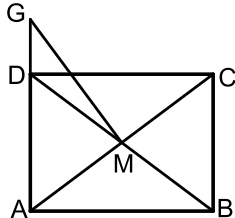
(1 מצא את ערכו של $a/x/y$ במשולשים הבאים
 (R הוא רדיוס המעגל החוסם, נתוני הצלעות בס"מ):



(2 מצא את ערכו של a/x במשולשים הבאים:

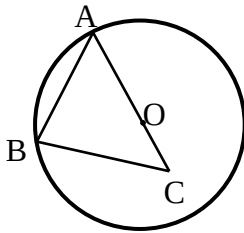


- (3) נתון משולש שווה שוקיים ABC ($AB=AC$) שאורך השוק שלו הוא 22 ס"מ וגודלה של זווית הבסיס בו הוא 70° . CD הוא חוצה זווית הבסיס C . מצא את אורכו של הקטע AD .



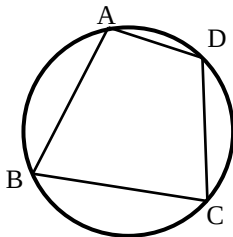
- (4) אלכסוני המלבן $ABCD$ נפגשים בנקודה M . הנקודה G נמצאת על המשך הצלע AD . נתון: $AD = 3$ ס"מ, $AB = 4$ ס"מ, $DG = 1.2$ ס"מ. מצא את גודלו של הקטע GM .

- (5) מרובע שאורכי אלכסוניו 8 ס"מ ו-11 ס"מ חסום במעגל שאורך רדיוסו הוא 6 ס"מ. חשב את זוויות המרובע.

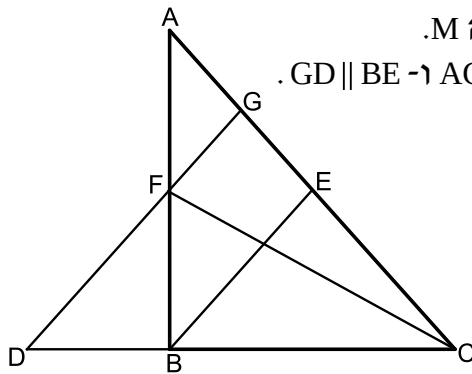


- (6) הצלע AB במשולש ABC היא מיתר במעגל שמרכזו O . הצלע AC עוברת במרכז המעגל כמתואר בשרטוט. נתון: $BC = 9$ ס"מ, $OC = 3$ ס"מ, $\angle BAC = 38^\circ$. מצא את אורכם של רדיוס המעגל ושל הצלע AB .

- (7) אחד האלכסונים במקבילית יוצר זווית של 30° עם צלע אחת של המקבילית וזווית של 61.05° עם הצלע הסמוכה לה. אחת מצלעות המקבילית גדולה ב-3 ס"מ מהצלע הסמוכה לה. חשב את היקף המקבילית.



- (8) המרובע $ABCD$ חסום במעגל. נתון: $AB = 6$ ס"מ, $BC = 9$ ס"מ, $CD = 10$ ס"מ, $AD = 4$ ס"מ. מצא את אורכם של האלכסון AC ושל רדיוס המעגל.



9) BE ו-CF הם תיכונים במשולש ABC הנפגשים בנקודה M.

מהנקודה F מעבירים קטע GD כך שמתקיים: $AC = DC$ ו- $GD \parallel BE$.

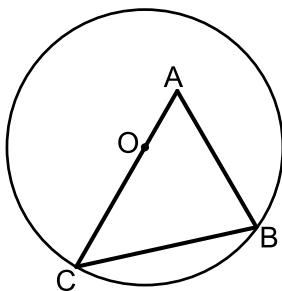
א. הוכח: $\frac{AG}{BD} = \frac{3}{4}$.

ב. נתון כי: $ME = 4$ ס"מ. $ME =$

חשב את אורך הקטע DG.

ג. נתון כי: $\angle ACD = 48.189^\circ$.

הוכח כי המשולש DGC הוא שווה-שוקיים.



10) נתון משולש ABC. הקודקודים B ו-C של המשולש ABC

נמצאים על מעגל שמרכזו O. מרכז המעגל O מונח על

הצלע AC. אורך הצלע AB הוא 12 ס"מ ואורך

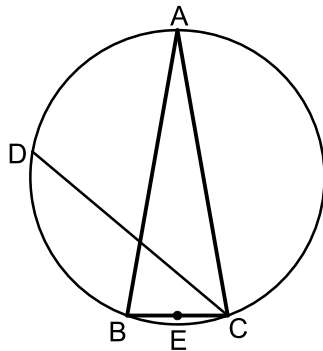
הקטע AO הוא 4.5 ס"מ. זווית BAC היא 60° .

א. חשב את רדיוס המעגל.

ב. מעבירים את הקוטר BD ואת הקטע AD

כך שנוצר המשולש ADB.

חשב את זווית ADB.



11) המשולש ABC הוא שווה שוקיים ($AB = AC$)

החסום במעגל שרדיוסו R.

הנקודה E היא אמצע הבסיס BC והנקודה D

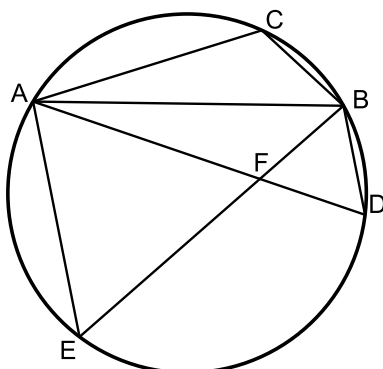
היא אמצע הקשת $\widehat{AB}$.

ידוע כי זווית הבסיס של המשולש היא 80° .

א. הבע באמצעות R את הקטעים CD ו-DE.

ב. r הוא רדיוס המעגל החוסם את המשולש CED.

הבע באמצעות R את r .



12) $\widehat{BC} = \widehat{BD}$ הם מיתרים במעגל המקיימים: $\widehat{BC} = \widehat{BD}$

מהנקודה E שעל המעגל מעבירים את

המיתרים BE ו-AE.

המיתרים BE ו-AD נחתכים בנקודה F.

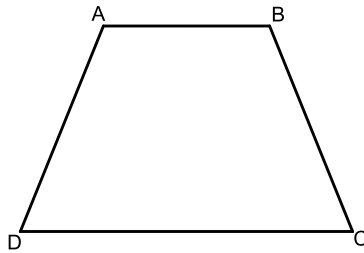
נתון כי: $AC = AF = EF$.

א. הוכח: $\triangle ABF \cong \triangle ABC$.

ב. נתון גם: $\angle CAB = 3 \cdot \angle DAE$.

הוכח כי המשולש AFE הוא שווה צלעות.

13) המרובע ABCD הוא טרפז שווה שוקיים ($AB \parallel CD, AD = BC$).



מידות הטרפז הן:

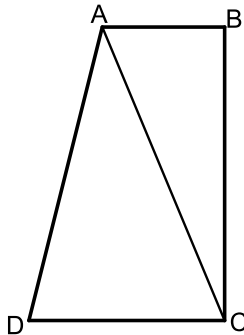
$AB = 6$ ס"מ, $BC = 8$ ס"מ, $CD = 12$ ס"מ.

א. מצא את זווית C (עגל למספר שלם).

ב. מצא את אורך אלכסון הטרפז.

ג. חשב את רדיוס המעגל החוסם את הטרפז.

14) המרובע ABCD הוא טרפז ישר זווית ($AB \parallel CD, \angle B = 90^\circ$).



מסמנים את הבסיס: $AB = t$ וידוע כי: $AD = 3t$, $DC = 1.6t$.

היקף הטרפז הוא: 40 ס"מ.

א. הבע באמצעות t את אורך האלכסון AC.

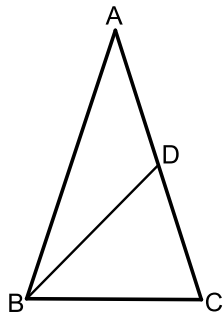
ב. ידוע גם כי: $\angle D = 60^\circ$.

i. חשב את אורך הקטע AC.

ii. חשב את שטח הטרפז.

15) המשולש ABC הוא שווה שוקיים ($AB = AC$) בעל זווית

ראש 36° החסום במעגל שקוטרו 16 ס"מ. מעבירים תיכון לשוק BD.



א. מצא את אורך הבסיס BC במשולש.

ב. חשב את אורך התיכון BD.

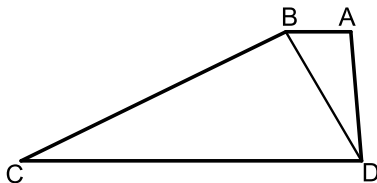
ג. מסמנים:

r_1 - רדיוס המעגל החוסם את המשולש ABD.

r_2 - רדיוס המעגל החוסם את המשולש BCD.

הוכח את היחס הבא: $\frac{r_1}{r_2} = 2 \cos 36^\circ$.

16) המרובע ABCD הוא טרפז ($AB \parallel CD$).



מעבירים את האלכסון BD המקיים: $\angle BCD = \angle ADB$.

נתון כי: $AB = 5$ ס"מ, $AD = 10$ ס"מ, $CD = 20$ ס"מ.

כמו כן ידוע כי השוק BC גדולה פי 2 מהאלכסון BD.

א. הראה כי השוק BC שווה לבסיס CD.

ב. חשב את זווית C.

ג. ממשיכים את שוקי הטרפז AD ו-BC עד לנקודה E שמחוץ לטרפז.

חשב את רדיוס המעגל החוסם את המשולש CDE.

17 באיור שלפניך נתון המרובע ABCD.

ידוע כי: $\angle D = 90^\circ$.

נסמן את הצלעות באופן הבא: $AB = 6x$, $BC = 5x$, $CD = 8x$, $AD = 3x$.

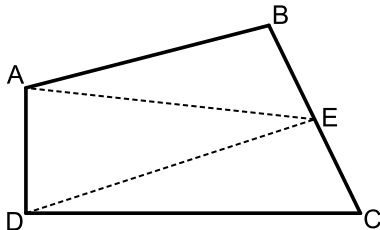
א. חשב את זווית BCD.

ב. E היא נקודה הנמצאת על אמצע הצלע BC.

מעבירים את הקטעים AE ו-DE כך

ש-DE מקביל ל-AB.

חשב את היחס הבא: $\frac{S_{ABE}}{S_{BCD}}$.



18 מהנקודה O מעבירים את הקטעים OA, OB, OC ו-OD.

ידוע כי זווית AOB שווה לזווית COD והיא מסומנת ב- α .

המשולש COD הוא ישר זווית $\angle CDO = 90^\circ$.

נתונים האורכים: $BO = 9$, $DO = 10$.

מסמנים: $BC = 1.4m$, $CD = 1.5m$.

א. הבע באמצעות m את $\sin \alpha$.

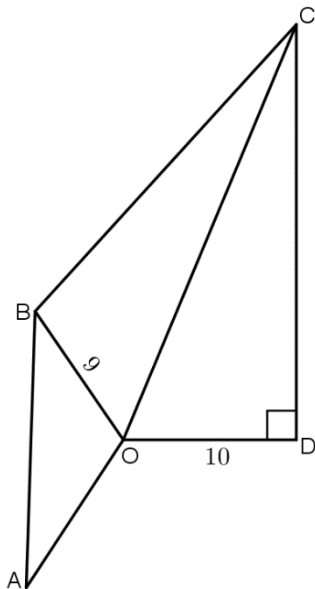
(העזר במשולש COD ובטא תחילה את CO).

ב. נתון גם כי: $AB = m$.

מצא את m אם ידוע כי רדיוס המעגל החוסם

את המשולש AOB הוא $8\frac{2}{3}$.

ג. חשב את זווית BOC.



19 במשולש ABC הזווית A היא בת 60° .

מעבירים את הקטע AD כך שנוצרת זווית: $\angle ADB = 60^\circ$.

ידוע כי $AB = \sqrt{28}$ וכי הצלע AD במשולש ABD

גדולה פי 1.5 מהצלע BD.

א. מצא את אורך הצלע BD.

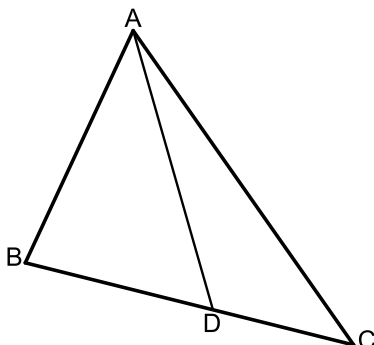
ב. היקף המשולש ABC הוא: $P = 5\sqrt{7} + 7$.

i. סמן: $DC = t$ והבע באמצעות t

את אורך הצלע AC.

ii. מצא את t .

ג. חשב את שטח המשולש ABC.



(20) מהנקודה A מעבירים את הקטעים AB ו-AC.

הנקודה D היא אמצע AC וממנה מעבירים את DE המקביל ל-AB.

הנקודות E, C ו-F נמצאות על אותו הישר.

ידוע כי המשולשים ABD, DEF ו-DCE הם

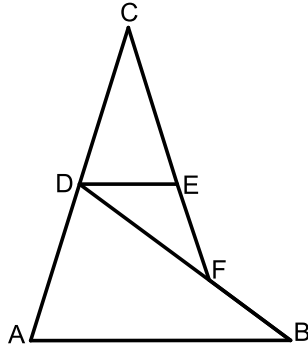
שווי שוקיים ($AB = BD$, $DC = CE$, $EF = DE$).

נתון כי: $AD = 8$.

א. חשב את אורך הקטע BF.

ב. מחברים את הנקודות B ו-C.

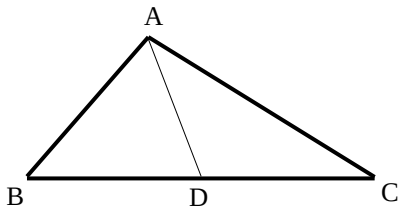
חשב את אורך הצלע BC.



(21) בשרטוט נתון: $AB = 6$ ס"מ, $AC = 8$ ס"מ,

5 ס"מ AD . הנקודה D היא אמצע הצלע BC.

חשב את אורך הקטע BC.



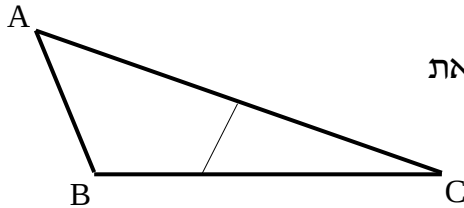
(22) הצלע AC במשולש ABC גדולה פי 4 מהצלע AB.

הנקודה E היא אמצע הצלע AC והנקודה D נמצאת

על הצלע BC כך שמתקיים $DC = 2BD$.

נתון: $AB = a$, $BC = b$.

הבע באמצעות a ו-b את אורך הקטע DE.

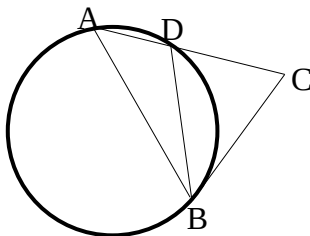


(23) המשולש ABD חסום במעגל שרדיוסו R.

המשך הצלע AD והמשיק למעגל בנקודה B

נפגשים בנקודה C. נתון: $\angle C = \alpha$, $\angle ADB = \beta$.

הבע באמצעות R, α ו- β את אורך הקטע BC.

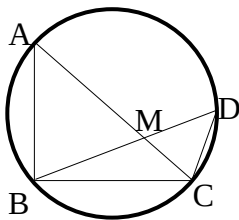


(24) AC ו-BD הם מיתרים במעגל שרדיוסו R,

שנפגשים בנקודה M. זווית B היא זווית ישרה.

נתון: $AB = k$, $DM = p$, $DC = q$.

הבע באמצעות R, k, p ו-q את אורך הקטע MC.



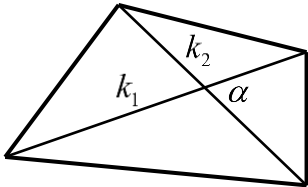
תשובות סופיות:

- (1) א. $\alpha = 34.231^\circ$ ב. $y = 14.33$ ס"מ ג. $\alpha = 155.526^\circ$ או $\alpha = 24.474^\circ$
- (2) א. $x = 5.646$ ס"מ ב. $\alpha = 20.742^\circ$ ג. $\alpha = 105.962^\circ$ ד. $\alpha = 90^\circ$
- (3) $AD = 13.064$ ס"מ
- (4) $GM = 3.360$ ס"מ
- (5) $66.444^\circ, 113.556^\circ, 41.810^\circ, 138.190^\circ$
- (6) $R = 9.242$ ס"מ, $AB = 14.56$ ס"מ
- (7) $P = 22$ ס"מ
- (8) $R = 5.395$ ס"מ, $AC = 10.790$ ס"מ
- (9) $DG = 18$
- (10) $R = 10.5$ ס"מ ב. 24.32°
- (11) א. $DE = 1.48R, CD = R\sqrt{3}$ ב. $r = 1.15R$
- (12) א. 68° ב. 11.66 ס"מ ג. $R = 6.29$ ס"מ
- (13) א. $AC = \sqrt{32.36t^2 - 448t + 1600}$ ב. $i. 13$ ס"מ ii. 78 סמ"ר
- (14) א. 9.4 ס"מ ב. $i. 10$ ס"מ
- (15) א. $\angle C = 28.9^\circ$ ג. $R = 13.77$
- (16) א. 64.04° ב. $\frac{S_{ABE}}{S_{ECD}} = 0.817$
- (17) א. $\sin \alpha = \frac{1.5m}{\sqrt{100 + 2.25m^2}}$ ב. $m = 16$ ג. 56.94°
- (18) א. 4 ב. $i. 1.5\sqrt{28} + 3 - t$ ii. 3 ג. $S = 18.18$
- (19) א. 4.94 ס"מ ב. 17.19 ס"מ
- (20) $BC = 10$ ס"מ
- (21) $DE = \sqrt{\frac{1}{9}b^2 - a^2}$
- (22) $MC = \sqrt{p^2 + q^2 - \frac{pqk}{R}}$ (24)
- (23) $BC = \frac{2R \sin \beta \sin(\beta - \alpha)}{\sin \alpha}$ (23)

שאלות העוסקות בנוסחת שטח משולש:

סיכום כללי:

שטחים של משולשים ומרובעים:

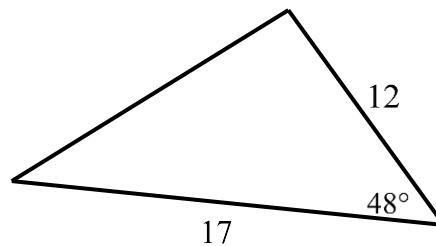


- שטח משולש ניתן לחישוב ע"י: $S = \frac{a \cdot h}{2} = \frac{ab \sin \gamma}{2} = \frac{a^2 \sin \beta \sin \gamma}{2 \sin \alpha}$
- שטח מרובע ניתן לחישוב ע"י אלכסונו: $S = \frac{k_1 k_2 \sin \alpha}{2}$

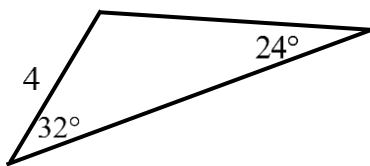
שאלות:

25) חשב את שטחי המשולשים הבאים:

א.



ב.



26) חשב את שטחו של טרפז שווה שוקיים שאורך האלכסון שלו 8 ס"מ והוא יוצר זווית של 15° עם הבסיסים.

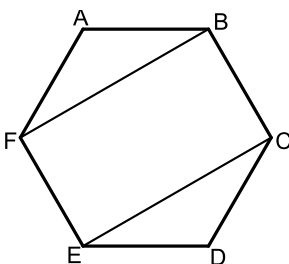
27) אורכו של מלבן הוא m ורוחבו n . הזווית שבין אלכסוני המלבן היא θ .

$$\sin \theta = \frac{2mn}{m^2 + n^2} \quad \text{הוכח כי מתקיים:}$$

28) במשולש ישר זווית ABC ($\angle B = 90^\circ$), BD חוצה את הזווית $\angle B$.

נתון: $\angle A = \alpha$, $AB = m$.

הבע באמצעות α ו- m את שטח המשולש BCD .



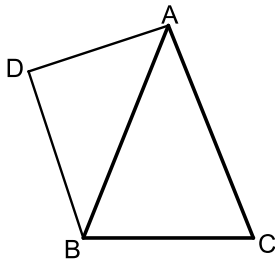
29) באיור שלפניך נתון משושה משוכלל ששטחו הכולל הוא S .

א. הבע באמצעות S את אורך צלע המשושה.

ב. מעבירים אלכסונים במשושה כך שנוצר המלבן $BFEC$.

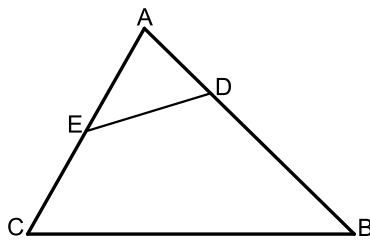
הבע באמצעות S את שטח המלבן.

(30) המשולש ABC הוא שווה שוקיים בעל זווית ראש α , $(AB = AC)$. אורך הבסיס BC הוא k .



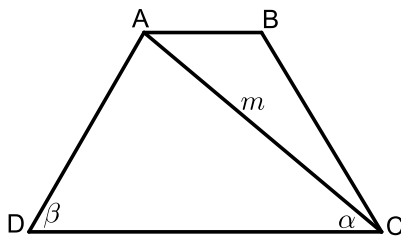
- על השוק AB בונים משולש ישר זווית ABD ובו $\angle D = 90^\circ$.
- הבע באמצעות k ו- α את אורך שוק המשולש ABC.
 - הניצב AD במשולש ABD שווה ל- $0.85k$.
 - וכי: $\angle ABD = 40^\circ$. מצא את זוויות המשולש ABC.
 - חשב את שטח המרובע ACBD אם ידוע כי $k = 6$.

(31) במשולש ABC אורך הצלע AC הוא 8 ס"מ ואורך הצלע AB הוא 10 ס"מ. הנקודה E היא אמצע הצלע AC והנקודה D מקיימת: $AD = 3$ ס"מ.



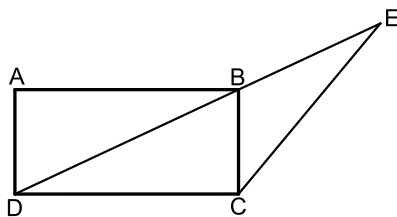
- ידוע כי: $\frac{DE}{BC} = \frac{2}{5}$.
- מצא את אורך הקטע DE.
 - חשב את רדיוס המעגל החוסם את המשולש ADE.
 - חשב את שטח המרובע BCED.

(32) המרובע ABCD הוא טרפז $(AB \parallel CD)$. הקטע AC הוא אלכסון בטרפז.

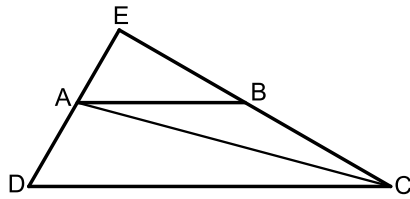


- מסמנים: $AC = m$, $\angle ACD = \alpha$, $\angle ADC = \beta$.
- הבע באמצעות α , β ו- m את אורך הבסיס הגדול DC.
 - נתון כי האלכסון AC מקיים: $\frac{S_{ADC}}{S_{ABC}} = 3$.
 - הבע באמצעות α , β ו- m את הבסיס AB.
 - חשב את שטח הטרפז אם ידוע כי: $\alpha = 40^\circ$, $\beta = 60^\circ$ ו- $m = 8$.

(33) המרובע ABCD הוא מלבן. מעבירים את האלכסון BD וממשיכים אותו עד לנקודה E שמחוץ למלבן.



- מחברים את הנקודה E עם הקודקוד C.
- ידוע כי אורך הצלע AD של המלבן הוא 6 ס"מ וכי אורך הקטע BE הוא 9 ס"מ. הזווית CBE היא 115° .
- מצא את אורך הקטע CE.
 - מצא את אורך האלכסון BD.
 - חשב את שטח המשולש DCE.



34) המרובע ABCD הוא טרפז ($AB \parallel CD$).

ממשיכים את השוקיים AD ו-BC עד לפגישתם

בנקודה E. ידוע כי: $DE \perp CE$.

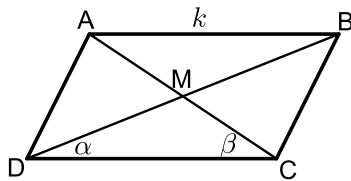
מעבירים את האלכסון AC אשר חוצה את זווית C.

מסמנים את הבסיס הגדול DC ב-k ואת: $\angle ACD = \alpha$.

א. הבע באמצעות k ו- α את הבסיס הקטן AB.

ב. הבע באמצעות k ו- α את שטח המשולש ABC.

ג. חשב את שטח המשולש ABC כאשר: $\alpha = 15^\circ$, $12 \text{ ס"מ} = k$.



35) נתונה מקבילית ABCD ובה מעבירים

את האלכסונים AC ו-BD אשר נחתכים

בנקודה M כמתואר באיור.

מסמנים: $AB = k$, $\angle BDC = \alpha$, $\angle ACD = \beta$.

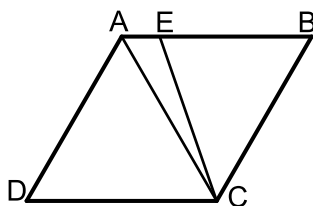
א. הוכח כי אלכסוני המקבילית מקיימים: $\frac{AC}{BD} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$.

ב. ענה על השאלות הבאות:

i. הבע באמצעות α , β ו-k את שטח המשולש DMC.

ii. הבע באמצעות α , β ו-k את שטח המקבילית ABCD.

ג. נתון כי: $\frac{AC}{BD} = 2$. הראה כי שטח המקבילית הוא: $\frac{4k^2 \sin^2 \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$.



36) המרובע ABCD הוא מעוין ובו $\angle D = 60^\circ$.

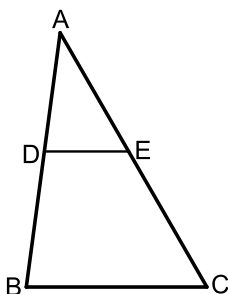
מעבירים את האלכסון AC ואת הקטע CE

כך שהנקודה E נמצאת על הצלע AB ומחלקת

אותה ביחס: $\frac{BE}{AE} = 4$.

א. חשב את זווית AEC.

ב. נתון כי שטח המשולש AEC הוא 8.66 סמ"ר. חשב את שטח המעוין.



37) הקטע DE מקביל לצלע BC במשולש ABC כמתואר באיור.

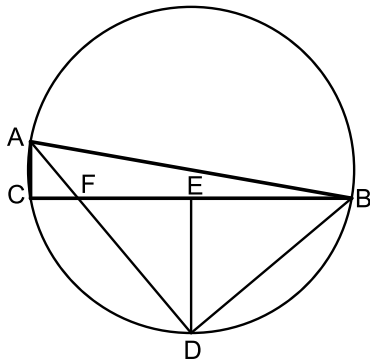
נתון כי: $CE = 13$, $BC = 15$, $BD = \sqrt{129}$.

ידוע כי זווית AED היא 60° .

א. חשב את אורך הקטע DE אם ידוע

ב. כי הוא קטן מ-10 ס"מ.

ג. חשב את שטח המשולש ADE.



(38) המשולש ABC חסום במעגל כך ש-AB הוא קוטר.

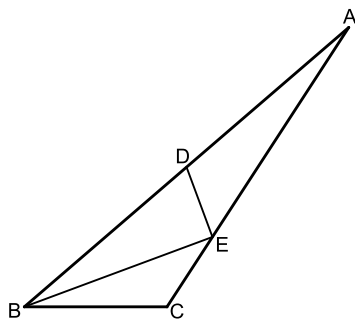
הנקודה D היא אמצע הקשת BC וממנה מעבירים את המיתרים AD ו-BD ומעלים גובה DE לצלע BC.

מסמנים: $DE = k$ ונתון כי: $\angle ABC = 10^\circ$.

א. הבע באמצעות k את רדיוס המעגל.

ב. הבע באמצעות k את שטח המשולש ABF.

ג. מצא את k אם ידוע כי שטח המשולש ABF הוא 15.363 סמ"ר.



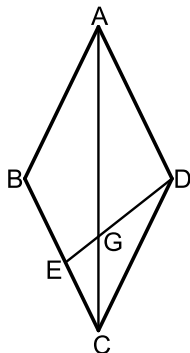
(39) במשולש ABC הקטע BE חוצה את זווית B.

הנקודה D היא אמצע הצלע AB ומקיימת: $DE = CE$.

ידוע כי: $BC = 6$, $BE = 8$, $BD = 9$.

א. מצא את זווית B.

ב. חשב את שטח המשולש ADE.



(40) נתון המעוין ABCD. אורך האלכסון הגדול במעוין AC גדול פי 1.8 מצלע המעוין.

א. חשב את זוויות המעוין.

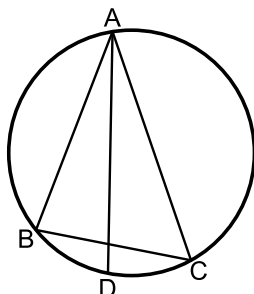
ב. מהקודקוד D מעבירים את הקטע DE שאורכו הוא m .

הקטע DE חותך את האלכסון AC בנקודה G.

הזווית EDC תסומן ב- α .

i. הבע באמצעות m ו- α את אורך הקטע CE.

ii. הבע באמצעות m ו- α את שטח המשולש EGC.



(41) המשולש ABC חסום במעגל כמתואר באיור.

מעבירים את המיתר AD החוצה את זווית BAC.

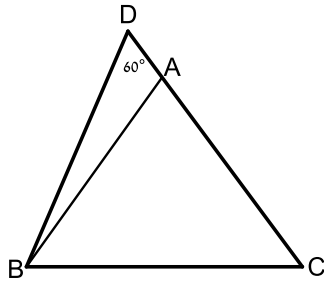
ידוע כי: $\angle BAC = 40^\circ$, $\angle ACB = 60^\circ$.

מסמנים: $AD = k$.

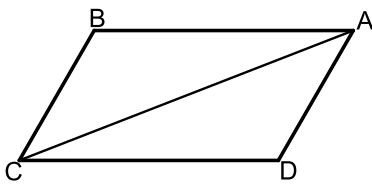
א. הבע באמצעות k את אורך המיתר BD.

ב. ידוע כי שטח המשולש ABD הוא 7.368 סמ"ר.

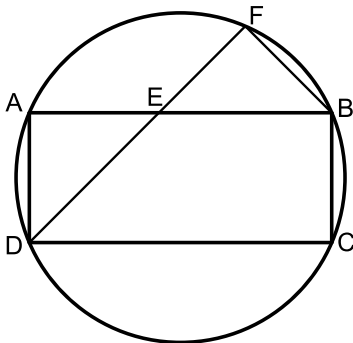
מצא את k (עגל למספר שלם).



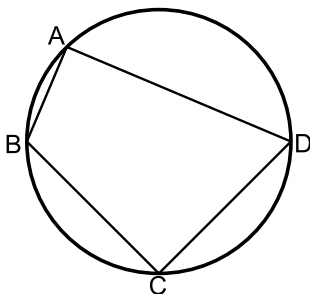
- 42** המשולש ABC הוא שווה שוקיים ($AB = AC$). ממשיכים את הצלע AC עד לנקודה D כך שאורך שוק המשולש גדולה פי 3.8 מהקטע AD. ידוע כי: $\angle D = 60^\circ$. אורך הקטע BD הוא 21 ס"מ. א. מצא את אורך הקטע AD. ב. חשב את שטח המשולש ABC.



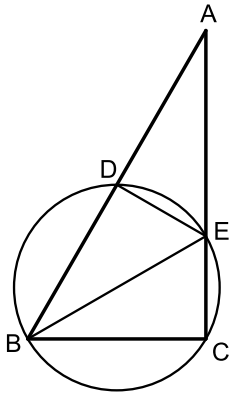
- 43** במקבילית ABCD אורך האלכסון AC הוא $\sqrt{79}$ ס"מ. היקף המקבילית הוא 20 ס"מ וידוע כי: $\angle B = 120^\circ$. א. מצא את אורכי צלעות המקבילית. ב. חשב את שטח המקבילית. ג. מסמנים נקודה E על האלכסון AC כך שהמרובע CBED הוא בר חסימה. חשב את רדיוס המעגל החוסם את המרובע CBED.



- 44** המרובע ABCD הוא מלבן החסום במעגל. מהקודקוד D מעבירים את המיתר DF החותך את הצלע AB בנקודה E. ידוע כי: $\widehat{AF} = \widehat{CF}$. הצלע AD של המלבן תסומן ב-a. א. הוכח כי המשולש DAE שווה שוקיים. ב. נתון גם כי: $BC = BF$. i. הבע באמצעות a את רדיוס המעגל. ii. חשב את הזוויות המרכזיות של הקשתות: $\widehat{AB}$, $\widehat{BC}$ (אין צורך לסרטט אותן).



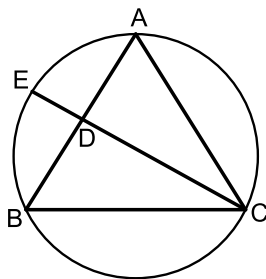
- 45** המרובע ABCD חסום במעגל כמתואר באיור. ידוע כי: $AB = b$, $BC = a$, $CD = a$, $AD = 3b$. א. הבע באמצעות a ו-b את $\cos \angle BCD$. ב. הוכח כי אם BD קוטר אז מתקיים: $a = b\sqrt{5}$. ג. נתון כי רדיוס המעגל הוא 3 ס"מ. הסתמך על סעיף ב' וחשב את שטח המרובע ABCD.



- (46) המשולש ABC הוא ישר זווית $\angle C = 90^\circ$ ובו: $\angle B = 2\alpha$.
 מעבירים מעגל שרדיוסו R דרך הקודקודים B ו-C
 אשר חותך את צלעות המשולש בנקודות D ו-E.
 המיתר BE חוצה את זווית B.
 א. הבע באמצעות R ו- α את שטח המשולש ABE.
 ב. ידוע כי המשולש ABE הוא שווה שוקיים
 וכי אורך המיתר CE הוא 6 ס"מ.
 חשב את שטח המשולש ABE.

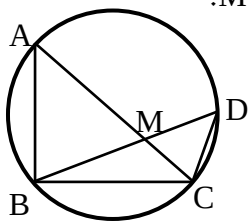
- (47) במשולש שווה שוקיים ABC ($AB = AC$) שאורך השוק בו הוא k וזווית הבסיס שלו היא β , BE חוצה את זווית B ו-CD הוא הגובה לשוק AB.

$$S_{ADE} = -\frac{k^2 \sin \frac{\beta}{2} \sin 4\beta}{4 \sin \frac{3\beta}{2}} : \text{הוכח כי שטח המשולש ADE הוא}$$



- (48) נתון משולש שווה שוקיים ABC ($AB = AC$) החסום במעגל.
 מהקודקוד C מעבירים את המיתר CE החותך את השוק AB בנקודה D.
 ידוע כי E היא אמצע הקשת $\widehat{AB}$ והיחס בין
 הקטעים BD ו-CD הוא 4:7.
 מסמנים: $\angle ACD = \alpha$.

- א. מצא את זוויות המשולש ABC
 (עגל למספרים שלמים).
 ב. חשב את אורך המיתר BE אם ידוע כי
 רדיוס המעגל החוסם שווה ל-8 ס"מ.



- (49) AC ו-BD הם מיתרים במעגל שרדיוסו R, שנפגשים בנקודה M.
 זווית B היא זווית ישרה.
 נתון: $\angle MCB = \beta$, $\angle MBC = \alpha$.

- א. הבע באמצעות R, α ו- β את שטח המשולש BDC.

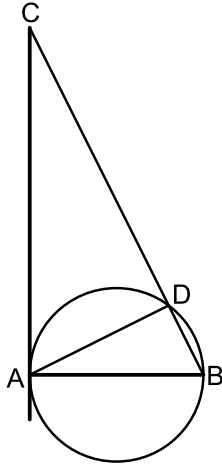
$$S_{BDC} = \frac{1}{2} R^2, \beta = 2\alpha : \text{נתון}$$

- ב. חשב את α .

(50) בטרפז שווה שוקיים, שאורך השוק שבו הוא b והזווית שליד הבסיס הגדול היא γ נתון שהאלכסונים מאונכים זה לזה.

א. הבע באמצעות γ ו- b את אורכי בסיסי הטרפז.

ב. חשב את γ אם ידוע שהבסיס הגדול ארוך פי $\sqrt{3}$ מהבסיס הקטן.



(51) המיתר AB הוא קוטר במעגל שרדיוסו R ו-AD הוא מיתר.

ממשיכים את המיתר BD ומעבירים משיק מהנקודה A.

המשיק והמשך המיתר נפגשים בנקודה C.

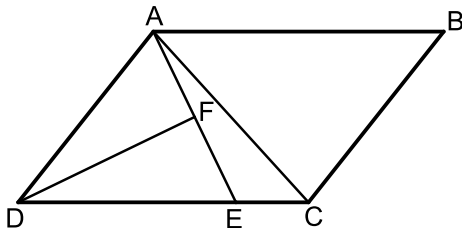
מסמנים: $\angle BAD = \alpha$.

א. הבע באמצעות α ו- R את שטח המשולש ABD.

ב. הבע באמצעות α ו- R את שטח המשולש ACD.

ג. מצא את α אם ידוע כי שטח המשולש ABD

קטן פי 4 משטח המשולש ACD.



(52) המרובע ABCD הוא מקבילית.

הקטע AE מקצה על הצלע DC קטעים

המקיימים: $3CE = DE$.

מעבירים תיכון DF לצלע AE במשולש ADE.

ידוע כי: $\angle ADF = \angle CDF = \alpha$.

מסמנים: $CE = k$.

א. הבע באמצעות k ו- α את אורך הקטע AE.

ב. מעבירים את האלכסון AC.

הבע באמצעות k ו- α את היקף המשולש ACE.

ג. היקף המשולש ACE הוא $4.5k$. מצא את α .

תשובות סופיות:

$$(25) \quad S = 75.801 \text{ סמ"ר} \quad \text{ב.} \quad S = 8.641 \text{ סמ"ר}$$

$$(26) \quad S = 16 \text{ סמ"ר}$$

$$(27) \quad S_{ABCD} = \frac{m^2 \tan^2 \alpha \sin 45^\circ \cos \alpha}{2 \sin(\alpha + 45^\circ)}$$

$$(28) \quad \text{א.} \quad \sqrt{\frac{2S}{\sqrt{27}}} \approx 0.62S \quad \text{ב.} \quad \frac{2}{3}S$$

$$(29) \quad \text{א.} \quad \frac{k}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad \text{ב.} \quad 67.78^\circ, 67.78^\circ, 44.4^\circ \quad \text{ג.} \quad S = 37.18$$

$$(30) \quad \text{א.} \quad DE = \sqrt{1.6} = 1.26 \quad \text{ב.} \quad R = 2 \quad \text{ג.} \quad S = 21.48$$

$$(31) \quad \text{א.} \quad DC = \frac{m \sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta} \quad \text{ב.} \quad AB = \frac{m \sin(\alpha + \beta)}{3 \sin \beta} \quad \text{ג.} \quad S_{ABCD} = 31.2$$

$$(32) \quad \text{א.} \quad 12.75 \text{ ס"מ} \quad \text{ב.} \quad 14.19 \text{ ס"מ} \quad \text{ג.} \quad 63.05 \text{ ס"מ}$$

$$(33) \quad \text{א.} \quad \frac{k \tan \alpha}{\tan 2\alpha} \quad \text{ב.} \quad \frac{k^2 \tan \alpha \sin 2\alpha}{2 \tan^2 2\alpha} \quad \text{ג.} \quad S = 7.754 \text{ ס"מ}$$

$$(34) \quad \text{א.} \quad \frac{k^2 \sin \alpha \sin \beta}{2 \sin(\alpha + \beta)} \quad \text{ב.} \quad \frac{2k^2 \sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$(35) \quad \text{א.} \quad 109.1^\circ \quad \text{ב.} \quad S = 86.6$$

$$(36) \quad \text{א.} \quad 7 \text{ ס"מ} \quad \text{ב.} \quad 34.48 \text{ סמ"ר}$$

$$(37) \quad \text{א.} \quad R = \frac{k}{2 \sin^2 40} = 1.21k \quad \text{ב.} \quad S = \frac{k^2 \sin 10}{2 \sin 50 \sin^3 40} \quad \text{ג.} \quad k = 6$$

$$(38) \quad \text{א.} \quad 40.72^\circ \quad \text{ב.} \quad S = 12.52$$

$$(39) \quad \text{א.} \quad 128.32^\circ; 51.68^\circ \quad \text{ב.} \quad 1.27m \sin \alpha \quad \text{ג.} \quad \frac{0.35m^2 \sin^2 \alpha \sin(128.32 - \alpha)}{\sin(25.84 + \alpha)}$$

$$(40) \quad \text{א.} \quad BD = \frac{k \sin 20}{\sin 100} \quad \text{ב.} \quad k = 7$$

$$(41) \quad \text{א.} \quad 5 \text{ ס"מ} \quad \text{ב.} \quad S = 172.77$$

$$(42) \quad \text{א.} \quad AB = 3 \text{ ס"מ} \quad BC = 7 \text{ ס"מ} \quad \text{ב.} \quad S = 18.18 \text{ סמ"ר} \quad \text{ג.} \quad R = \sqrt{\frac{37}{3}}$$

$$R = a\sqrt{1 + \frac{\sqrt{2}}{2}} \approx 1.3a \quad \text{ב. i. (43)}$$

$$\cos \angle BCD = \frac{a^2 - 5b^2}{a^2 + 3b^2} \quad \text{א. (44)}$$

$$S = R^2 \tan 2\alpha \quad \text{א. (45)}$$

$$58^\circ, 58^\circ, 64^\circ \quad \text{א. (48)}$$

$$S = 2R^2 \sin \alpha \cos \beta \sin(90^\circ - \alpha + \beta) \quad \text{א. (49)}$$

$$\frac{b \sin(135^\circ - \gamma)}{\sin 45^\circ}, \frac{b \sin(\gamma - 45^\circ)}{\sin 45^\circ} \quad \text{א. (50)}$$

$$S = \frac{2R^2 \cos^3 \alpha}{\sin \alpha} \quad \text{ב. (51)}$$

$$P_{ACE} = k + 6k \sin \alpha + k\sqrt{25 - 24 \cos 2\alpha} \quad \text{ב. (52)}$$

$$\alpha = 14.47^\circ \quad \text{ג.}$$

$$45^\circ, 135^\circ \quad \text{ב. ii.}$$

$$S = 14.4 \text{ סמ"ר} \quad \text{ג.}$$

$$S = 36\sqrt{3} \text{ סמ"ר} \quad \text{ב.}$$

$$BE = 7.75 \quad \text{ב.}$$

$$\alpha = 22.5^\circ \quad \text{ב.}$$

$$\gamma = 75^\circ \quad \text{ב.}$$

$$\alpha = 26.56^\circ \quad \text{ג.}$$

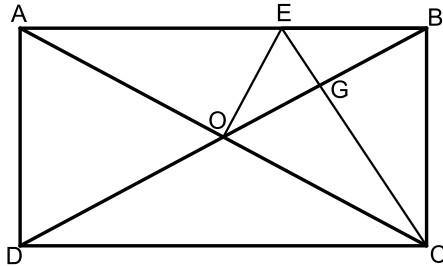
$$P_{ACE} = k + 6k \sin \alpha + k\sqrt{25 - 24 \cos 2\alpha} \quad \text{ב.}$$

$$S = R^2 \sin 2\alpha \quad \text{א. (51)}$$

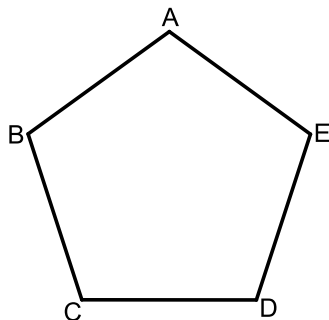
$$AE = 6k \sin \alpha \quad \text{א. (52)}$$

שאלות המשלבות ידע בגיאומטריה:

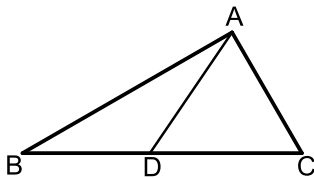
שאלות:



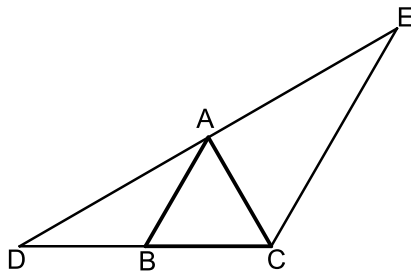
- 53** המרובע ABCD הוא מלבן.
 מעבירים את האלכסונים AC ו-BD.
 הנקודה E נמצאת על הצלע AB של המלבן
 ומחלקת אותה כך ש- $2BE = AE$.
 ידוע כי הקטע OE מאונך לאלכסון AC
 ושווה ל-BE.
 הקטע CE חותך את האלכסון BD בנקודה G.
 א. הוכח כי הקטע CE מאונך לאלכסון BD.
 ב. הוכח כי מתקיים: $4GE = AE$.
 ג. נתון כי שטח המשולש BEG הוא 5 סמ"ר.
 חשב את שטח המלבן ABCD.



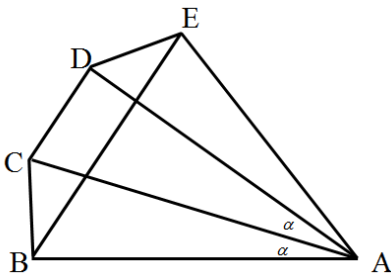
- 54** באיור שלפניך נתון מחומש משוכלל ACBDE
 (כל זוויותיו הן 108°) בעל אורך צלע α .
 א. הבע באמצעות α את אלכסון המחומש AD.
 ב. הבע באמצעות α את רדיוס המעגל
 החוסם את המחומש.
 ג. הבע באמצעות α את שטח המחומש.
 ד. אורך רדיוס המעגל החוסם את המחומש הוא 6 ס"מ.
 חשב את שטח המחומש.



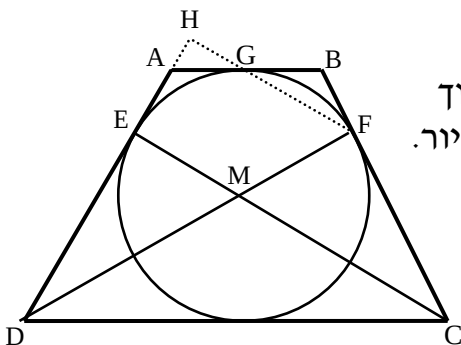
- 55** במשולש ABC הזווית C היא 60° .
 מעבירים את הקטע AD כך שנוצרים
 המשולשים ABD ו-ACD.
 ידוע כי רדיוס המעגל החוסם את
 המשולש ACD הוא: $R_1 = \sqrt{3}$ ס"מ.
 כמו כן רדיוס המעגל החוסם את המשולש ABD הוא: $R_2 = 3$ ס"מ.
 א. הוכח כי המשולש ABC הוא ישר זווית.
 ב. היקף המשולש ABC הוא: $12 + 4\sqrt{3}$ ס"מ = P.
 חשב את שטח המשולש.



- (56)** המשולש ABC הוא שווה צלעות.
 הקטע DE עובר דרך הקודקוד A כך שנוצרים
 שני משולשים ABD ו-ACE.
 ידוע כי AC חוצה את זווית DCE במשולש DCE.
 א. הוכח: $AB \parallel CE$.
 ב. הוכח: $BC \cdot DE = DC \cdot AE$.
 ג. נתון: $DC = 8$ ס"מ.
 וכי: $AC \perp DE$.
 i. חשב את שטח המשולש DCE.
 ii. חשב את שטח המשולש ABD.

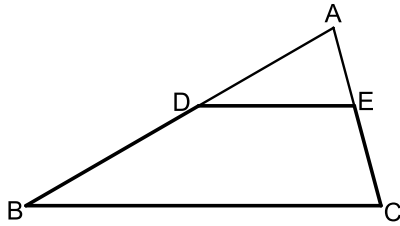


- (57)** מהנקודה A מעבירים את הקטעים AB, AC, AD ו-AE.
 כך שמתקיים: $\angle BAC = \angle CAD = \alpha$ ו- $AB = AE$.
 מעבירים את האלכסון BE במחומש ABCDE.
 מתקיים: $BE \parallel CD$.
 ידוע כי המרובע BCDE הוא בר חסימה.
 א. הוכח כי המרובע BCDE הוא טרפז שווה שוקיים.
 ב. נתון כי המשולש ACD הוא ש"ש ($AC = AD$).
 הוכח כי: $\triangle ABD \cong \triangle ACE$.
 ג. ידוע כי: $\angle ADC = 3\alpha + 2.5$ ו- $\angle ADE = 3\alpha - 10$.
 הוכח כי משולש ADE הוא ישר זווית.
 ד. נסמן: $AB = m$.
 i. הבע באמצעות m את צלעות הטרפז BCDE.
 ii. הבע באמצעות m את שטח המחומש ABCDE.
 iii. מצא את m אם ידוע כי שטח המחומש ABCDE הוא 46.284 סמ"ר. (עגל למספר שלם).

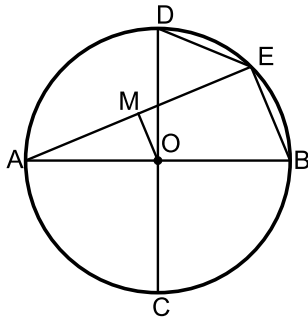


- (58)** הטרפז ABCD הוא שווה שוקיים. חוסמים מעגל בתוך הטרפז אשר משיק לו בנקודות E, F, G ו-H כמתואר באיור.
 הקטעים DF ו-CE חוצים את זוויות הטרפז ונחתכים בנקודה M.
 א. הוכח כי הנקודה M היא מרכז המעגל החסום.
 ב. חשב את זוויות הטרפז.
 ג. ממשיכים את GF ואת AD כך שהם נפגשים בנקודה H.

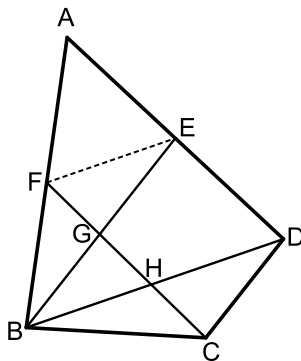
$$\text{חשב את היחס } \frac{EM}{FH}.$$



- (59)** המרובע BDEC הוא טרפז $BC \parallel DE$. המשכי השוקיים BD ו-CE נפגשים בנקודה A כך שהמשולש ABC הוא שווה שוקיים ($AB = BC$). נתון: $AB = 18$ ס"מ, $\angle ADE = 30^\circ$.
 א. סמן את אורך הבסיס DE ב- x ואת שטח הטרפז BDEC ב- S .
 הבע את S באמצעות x .
 ב. על הקטע AD בונים ריבוע. ידוע כי שטחו קטן ב-1 סמ"ר משטח הטרפז BDEC.
 חשב את היחס: $\frac{S_{ADE}}{S_{ABC}}$.



- (60)** במעגל שמרכזו O מעבירים את הקטרים AB ו-CD המאונכים זה לזה. E היא נקודה על היקף המעגל המקיימת: $BE + DE = 15$ ס"מ. מעבירים את המיתר AE. הקטע OM מאונך למיתר AE ושווה למיתר DE. א. הוכח כי המרובע OMEB הוא טרפז ישר זווית.
 ב. מצא את אורך המיתר BE.
 נתון כי שטח הטרפז הוא 90 סמ"ר.
 ג. מצא את רדיוס המעגל.
 ד. חשב את זווית B.



- (61)** BD הוא אלכסון במרובע הבר-חסימה ABCD. הנקודות E ו-F הן בהתאמה אמצעי הצלעות AD ו-AB במרובע. מעבירים את הקטעים BE ו-CF כך ש- $BE \parallel CD$. נתון כי הזוויות $\angle A$ ו- $\angle BFE$ משלימות ל- 180° .
 א. הוכח: $\triangle ABCD \sim \triangle BFE$.
 ב. נתון כי: $BE = 7.5$ וכי: $GE - HD = 17\frac{1}{15}$. חשב את אורך הקטע FE.
 ג. נתון כי רדיוס המעגל החוסם את המשולש BED הוא: $R = 4.001$ ס"מ. מצא את זווית $\angle EBD$.

תשובות סופיות:

(53) ג. 120 סמ"ר

(54) א. 1.618α ב. 0.85α ג. $1.72\alpha^2$ ד. $S = 85.57$

(55) ב. $S = 8\sqrt{3}$

(56) א.י. $S_{CDE} = 16\sqrt{3}$ ג.י. $S_{ABD} = 4\sqrt{3}$

(57) ד.י. $BC = 0.4663m$, $DE = 0.4663m$, $CD = 0.4776m$, $BE = 1.2175m$

(62) ד.י. $0.7232m^2$ ד.י. 8 ס"מ m

(58) ב. 60° , 120° ג. $\frac{2}{3}$

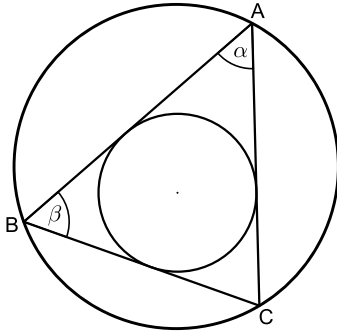
(59) א. $S = 81 - 0.25x^2$ ב. $\frac{S_{ADE}}{S_{ABC}} = \frac{16}{81}$

(60) ב. $BE = 10$ ג. $R = 13$ ד. $\angle B = 67.38^\circ$

(61) ב. $FE = 4$ ג. 16.73°

שאלות מסכמות:

שאלות:



(1) המשולש ABC חסום מעגל שרדיוסו R .

נתון כי $\angle A = \alpha$, $\angle B = \beta$.

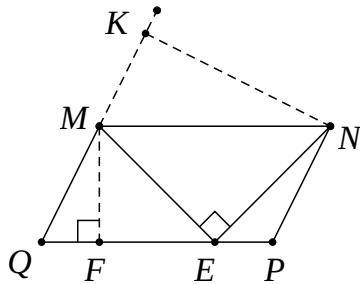
א. הבע את רדיוס המעגל החסום

במשולש בעזרת R , α , β .

ב. נתון כי: $\alpha = \beta = 60^\circ$.

חשב את רדיוס המעגל החסום

במשולש בעזרת R .

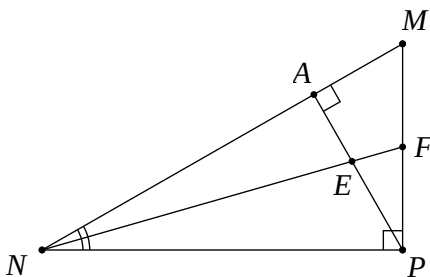


(2) במקבילית MNQP נקודה E נמצאת על

הצלע PQ כך ש- $\angle MEN = 90^\circ$ (ראה ציור).

נתון: 12 ס"מ MQ , $\angle MQP = 70^\circ$, $\angle MNE = 40^\circ$.

מצא את הגובה MF, ואת הגובה NK.



(3) במשולש ישר-זווית MNP, ($\angle P = 90^\circ$)

PA הוא גובה ליתר ו-NF חוצה

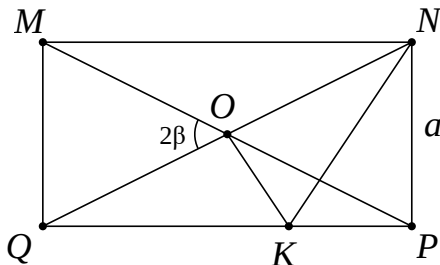
את הזווית $\angle MNP$.

PA ו-NF נחתכים בנקודה E (ראה ציור).

נתון: 24 ס"מ NP , $\angle MNP = 40^\circ$.

א. מצא את אורך הקטע NA.

ב. מצא את אורך הקטע EF.



(4) אלכסוני המלבן MNQP נחתכים בנקודה O.

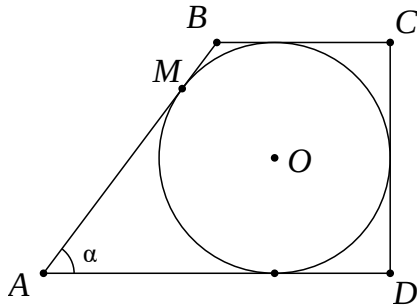
מנקודה O מעלים אנך ל-QN החותך

את QP בנקודה K (ראה ציור).

נתון: $\angle MOQ = 2\beta$, $NP = a$.

א. הבע את אורך הקטע OK באמצעות β ו- a .

ב. הבע את היקף המשולש NOK באמצעות β ו- a .



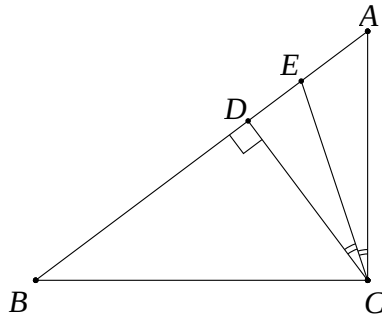
(5) בטרפז ישר-זווית ABCD חסום מעגל שמרכזו O.

הנקודה M היא נקודת ההשקה של המעגל עם השוק AB.

נתון: $AM = 12$ ס"מ, $\angle BAD = \alpha$.

א. הבע את רדיוס המעגל בעזרת α .

ב. הבע את היקף הטרפז בעזרת α .



(6) במשולש ישר-זווית ABC (ראה ציור) נתון:

$\angle ABC = \beta$, $\angle ACB = 90^\circ$, $BC = 8$ ס"מ

CD הוא הגובה ליתר.

CE הוא חוצה-הזווית $\angle ACD$.

הבע את אורך הקטע AE באמצעות β .

(7) נתון מעגל שרדיוסו R. מצולע משוכלל בעל 9 צלעות חוסם את המעגל הזה.

מצולע משוכלל אחר בעל 9 צלעות חוסם בתוך מעגל זה.

חשב את היחס בין שטח המצולע החוסם את המעגל לשטח המצולע החוסם במעגל זה.

(8) $\triangle ABC$ הוא משולש שווה-שוקיים ($AB = AC$) שאורך בסיסו 12 ס"מ.

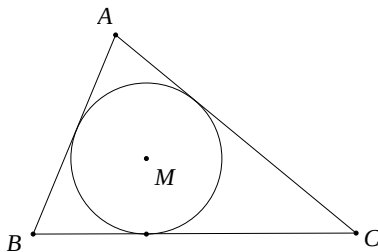
AD הוא הגובה לבסיס BC ו-CE הוא הגובה לשוק AB.

שני הגבהים נחתכים בנקודה O. נתון: $\angle ABC = \alpha$ ($\alpha > 45^\circ$).

א. הבע את היחס $AO : DO$ באמצעות α .

ב. הראה כי בעבור $\alpha = 60^\circ$ הביטוי שמצאת בסעיף א' מתאים לתכונות

הגאומטריות של משולש שווה-צלעות.



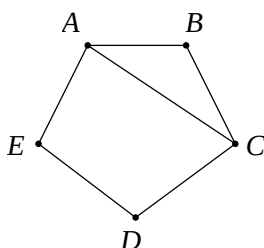
(9) במשולש ABC חסום מעגל שמרכזו M

ורדיוסו r (ראה ציור).

נתון: $\angle B = 62^\circ$, $\angle C = 46^\circ$.

א. הבע באמצעות r את אורך הצלע BC.

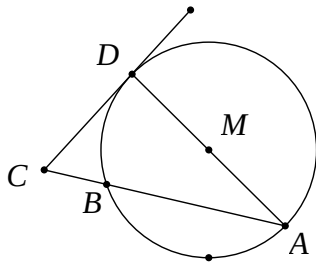
ב. נתון: $BC = 16$ ס"מ. מצא את r.



(10) במחומש משוכלל ABCDE (ראה ציור)

אורך האלכסון AC הוא 15 ס"מ.

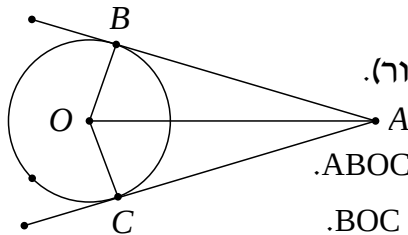
חשב את שטח המחומש.



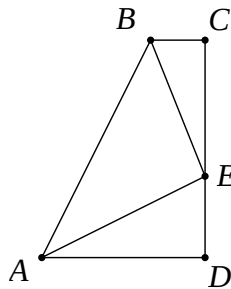
11 מנקודה C הנמצאת מחוץ למעגל שמרכזו M ורדיוסו R מעבירים משיק CD וחיתך CBA למעגל (ראה ציור).

נתון: $CD = \frac{3}{5}R$.

- א. מצא את זוויות המשולש CAD.
ב. הבע באמצעות R את שטח המשולש BCD.



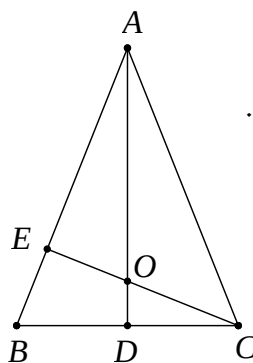
12 מנקודה A, הנמצאת מחוץ למעגל שמרכזו O, יוצאים שני משיקים למעגל, AB ו-AC (ראה ציור). נתון: $\angle BAC = 2\alpha$, $AO = 10$ ס"מ.
א. הבע באמצעות α את S_1 , שטח המרובע ABOC.
ב. הבע באמצעות α את S_2 , שטח המשולש BOC.
ג. הראה שאם $\alpha = 30^\circ$, אזי: $S_1 = 4 \cdot S_2$.



13 ABCD הוא טרפז ישר-זווית ($\angle C = \angle D = 90^\circ$). נקודה E נמצאת על הצלע DC (ראה ציור). נתון: $\angle AEB = 90^\circ$, $AE = BE = k$, ו- $\angle CBE = \beta$. הבע באמצעות k ו- β את שטח הטרפז.

14 ענה על השאלות הבאות:

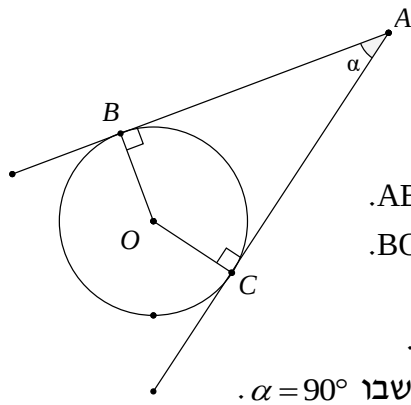
- א. במעושר משוכלל, ששטחו 100 סמ"ר, חוסמים מעגל. מצא את רדיוס המעגל החסום במעושר.
ב. מעושר משוכלל חסום במעגל, שאת רדיוסו מצאת בסעיף א'. מצא את שטח המעושר המשוכלל הזה.



15 ABC הוא משולש שווה-שוקיים ($AB = AC$) שבו זווית הראש היא זווית חדה. נתון כי זווית הבסיס היא β ואורך הבסיס BC הוא 2α . AD הוא הגובה לבסיס BC ו-CE הוא הגובה לשוק AB. הגבהים AD ו-CE נפגשים בנקודה O (ראה ציור).

- א. הבע באמצעות α ו- β את אורכי הקטעים CO ו-CE.
ב. הבע באמצעות β את היחס $\frac{CO}{CE}$.

ג. חשב את היחס שמצאת בסעיף ב' כאשר $\beta = 60^\circ$, והסבר מהי המשמעות הגאומטרית של התוצאה שקיבלת.



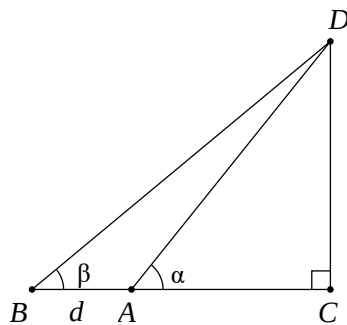
16 מנקודה A יוצאים שני משיקים למעגל שמרכזו O, שאורכם m (כלומר: $AB = AC = m$). נקודות ההשקה הן B ו-C, והזווית שבין המשיקים היא $\angle BAC = \alpha$ (ראה ציור).

א. הבע באמצעות m ו- α את שטח המשולש ABC.

ב. הבע באמצעות m ו- α את שטח המשולש BOC.

ג. הבע באמצעות α את היחס שבין שטחו של המשולש BOC לבין שטחו של המשולש ABC.

ד. בדוק את תשובתך לסעיף ג' למקרה המיוחד שבו $\alpha = 90^\circ$.



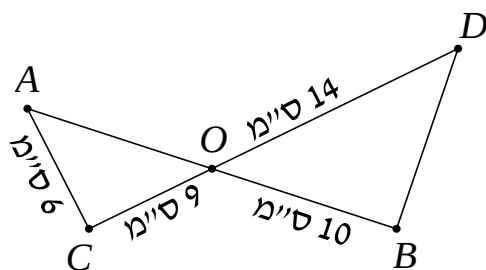
17 במשולש ישר-זווית DAC נתון $\angle DAC = \alpha$.

מאריכים את הניצב AC כך ש- $AB = d$.

נתון כי: $\angle DBA = \beta$ (ראה ציור).

סמן: $AC = x$.

הבע את x באמצעות d , α ו- β .



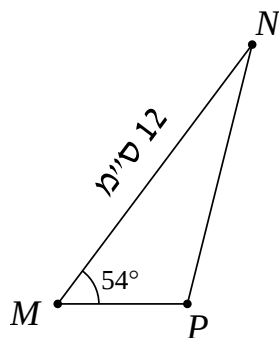
18 הקטעים AB ו-CD נחתכים בנקודה O.

נתון כי: $\angle OAC = 60^\circ$,

$AC = 6$ ס"מ, $CO = 9$ ס"מ,

$OB = 10$ ס"מ, $OD = 14$ ס"מ.

חשב את $\angle ODB$.



19 במשולש MNP גודל הזווית M הוא 54° .

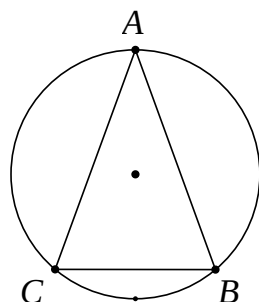
נתון כי אורך הצלע MN הוא 12 ס"מ

(ראה ציור), והצלע NP ארוכה ב-7 ס"מ מהצלע MP.

א. חשב את אורך הצלע NP.

ב. PA הוא תיכון לצלע MN.

חשב את שטח המשולש PAN.



20 המשולש השווה-שוקיים ABC ($AB = AC$)

חסום במעגל (ראה ציור).

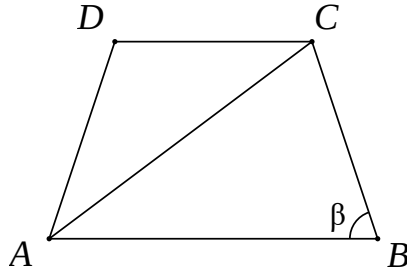
נתון: $\angle ABC = \beta$.

כמו כן ידוע שאורך רדיוס המעגל הוא 20 ס"מ.

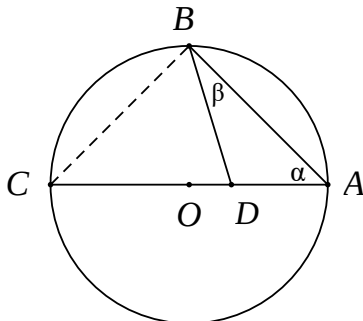
א. הבע בעזרת β את שטח המשולש ABC.

ב. חשב את שטח המשולש ABC בעבור $\beta = 45^\circ$.

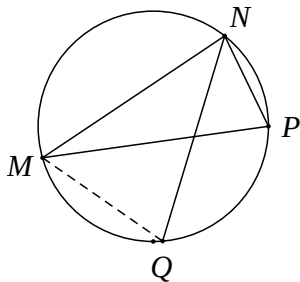
- (21) במשולש ABC הזווית $\angle C$ היא בת 60° , אורך הצלע AB הוא $\sqrt{13}$ ס"מ, והיקף המשולש הוא $7 + \sqrt{13}$ ס"מ. חשב את שטח המשולש.



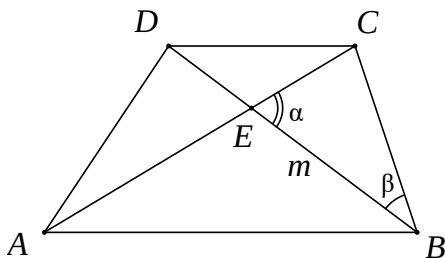
- (22) בטרפז שווה-שוקיים ABCD ($AD = BC$) אורך הבסיס הגדול AB שווה לאורך האלכסון. זווית הבסיס היא β ($\beta > 60^\circ$), (ראה ציור). הבע באמצעות β את היחס שבין שטח המשולש ACD לשטח המשולש ABC.



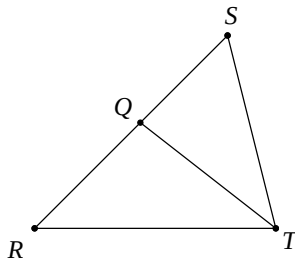
- (23) הקודקודים A ו-B של המשולש ABD נמצאים על היקף מעגל שאורך רדיוסו 12 ס"מ ומרכזו O. הקודקוד D של המשולש ABD נמצא על הרדיוס OA. א. הבע בעזרת α ו- β את שטח המשולש ABD. ב. הבע בעזרת α ו- β את היחס שבין שטח המשולש ABC לשטח המשולש ABD.



- (24) משולש MNP חסום במעגל. המיתר NQ חוצה את הזווית $\angle MNP$. נתון: $\angle MPN = 70^\circ$, $\angle MNP = 80^\circ$, $NP = 12$ ס"מ. חשב את אורך המיתר MQ.



- (25) נתון טרפז ABCD ($AB \parallel CD$). הנקודה E היא נקודת המפגש של אלכסוני הטרפז. נתון: $BE = m$, $DC = BC$, $\angle CBD = \beta$, $\angle CEB = \alpha$ (ראה ציור). הבע את אורכי בסיס הטרפז: AB ו-CD באמצעות m , α ו- β .



26) במשולש RST נתון: QT הוא חוצה-הזווית $\angle RTS$

(ראה ציור), $RQ = \sqrt{2}$, $QS = m$,

$\angle TRQ = 45^\circ$, $\angle RST = \alpha$.

א. הבע את $\sin \alpha$ באמצעות m .

ב. נתון כי: $m = \frac{2}{\sqrt{3}}$.

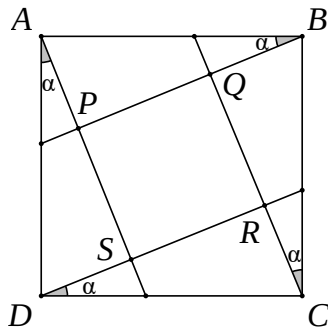
חשב את זוויות המשולש RST.

27) במשולש שווה שוקיים ABC ($AB = AC$) התיכון לשוק שווה באורכו לרדיוס המעגל החוסם את המשולש. חשב את זווית הבסיס של המשולש.

28) נתון משולש שצלעותיו t , $2t$, kt .

א. לאיזה ערכים של הקבוע k המשולש הוא קהה זווית?

ב. נתון $k = \sqrt{7}$. הבע ע"י t את אורך חוצה הזווית הקהה.



29) בתוך הריבוע ABCD נתון, העבירו ארבעה

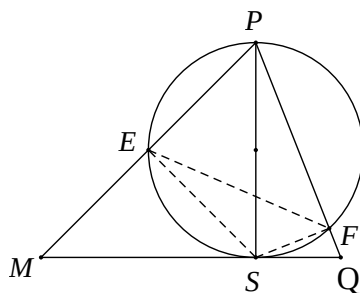
קטעים היוצרים את אותה זווית α

עם צלעות הריבוע כך שהתקבל ריבוע

פנימי PQRS.

א. הוכח כי: $\frac{PQ}{AB} = \cos \alpha - \sin \alpha$.

ב. לאיזו זווית α מתקיים: $PR = AB$?



30) PS הוא גובה במשולש PMQ (ראה ציור).

נתון $PS = h$, $\angle MPS = \alpha$, $\angle SPQ = \beta$.

א. הבע את שטח המשולש PMQ

באמצעות h , α ו- β .

ב. מעגל שקוטרו PS חותך את

הצלעות PM ו-PQ בנקודות E

ו-F בהתאמה (ראה ציור).

i. הבע באמצעות α ו- β את $\angle ESF$.

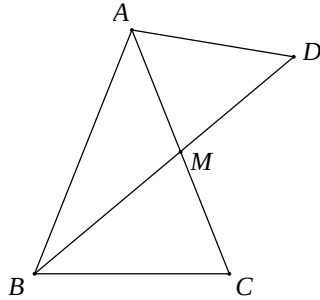
ii. הבע באמצעות α ו- β את היחס בין

שטח המשולש ESF לשטח המשולש PMQ.

(31) במשולש ABC הצלעות הן a , b ו- c והזוויות שמונחות מולן הן: α , β ו- γ בהתאמה.

א. הבע את אורך התיכון m_a (התיכון לצלע a) באמצעות הצלעות b ו- c והזווית α .

ב. בדוק את הנוסחה שמצאת למקרה שבו המשולש ABC הוא שווה צלעות.



(32) במשולש שווה שוקיים ABC ($AB = AC$),

BM הוא תיכון לשוק (ראה ציור).

נתון כי רדיוס המעגל החוסם את המשולש

ABC הוא 10 ס"מ וכן נתון ש- $\angle BAC = 50^\circ$.

א. מצא את גודל הזווית $\angle BMC$.

ב. ממשיכים את BM עד לנקודה D,

כך שרדיוס המעגל החוסם את המשולש ABD הוא 14 ס"מ.

מצא את שטח המשולש AMD.

(33) משולש שווה שוקיים BCE ($BC = BE$) חסום במעגל שרדיוסו R.

זווית הבסיס של המשולש BCE היא α .

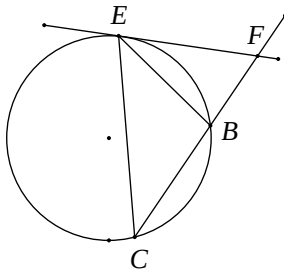
בנקודה E העבירו משיק למעגל החותך את

המשך השוק BC בנקודה F (ראה ציור).

א. בטא את שטח המשולש BEF באמצעות R ו- α .

ב. מצא את הערך של α שבעבורו שטח

המשולש BCE שווה לשטח המשולש BEF.

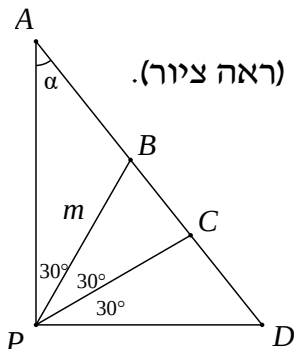


(34) בטרפז BCDE ($BC \parallel ED$) אורך הבסיס BC הוא 12 ס"מ.

הזווית שבין הבסיס BC לשוק DC היא 80° .

אורך האלכסון BD הוא 16 ס"מ, והוא חוצה את הזווית $\angle CBE$.

חשב את היקף הטרפז.



(35) במשולש ישר-זווית APD מחלקים את הזווית הישרה $\angle P$

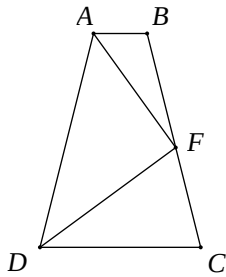
לשלוש זוויות שוות, כלומר $\angle APB = \angle BPC = \angle CPD = 30^\circ$ (ראה ציור).

נתון כי: $PB = m$, $\angle PAD = \alpha$.

א. היעזר במשפט הסינוסים,

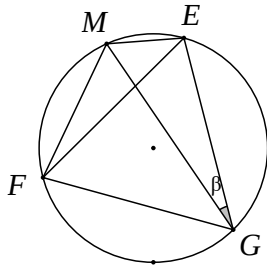
והבע את AB, AC, BD ו-CD באמצעות m ו- α .

ב. הוכח כי: $\frac{AC \cdot BD}{AB \cdot CD} = 3$.



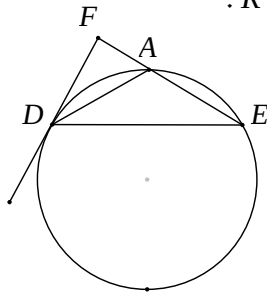
36) בטרפז שווה שוקיים ABCD ($AD = BC$, $AB \parallel DC$),

F היא נקודה על השוק BC, כך ש-DF חוצה את הזווית $\angle CDA$ ו-AF חוצה את הזווית $\angle DAB$ (ראה ציור). נתון: $\angle FAB = \beta$, $AB = b$. הבע באמצעות b ו- β את אורך הבסיס DC.



37) משולש שווה צלעות EFG חסום במעגל שרדיוסו R. M היא נקודה על המעגל. נתון: $\angle MGE = \beta$ (ראה ציור).

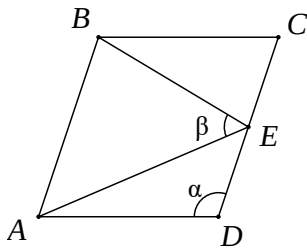
א. הוכח כי: $ME + MF = MG$.
ב. אם $ME = R$ מה תוכל לומר על $\angle MGE$?



38) משולש שווה שוקיים ADE ($AD = AE$) חסום במעגל שרדיוסו R.

ישר המשיק למעגל בנקודה D חותך את המשך הצלע AE בנקודה F (ראה ציור). נתון: $\angle ADE = \alpha$ ($60^\circ < \alpha < 180^\circ$).

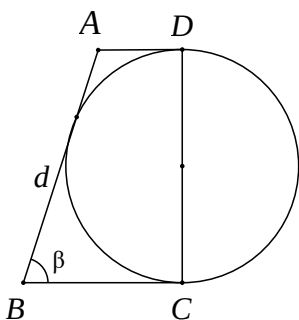
א. הבע את שטח המשולש ADF באמצעות R ו- α .
ב. הבע באמצעות α את היחס שבין שטח המשולש ADE ובין שטח המשולש ADF.
ג. חשב את α אם שטח המשולש ADE שווה לשטח המשולש ADF.



39) במעוין ABCD הנקודה E היא אמצע הצלע CD.

נתון: $\angle AEB = \beta$, $\angle ADC = \alpha$ (ראה ציור).

הוכח כי: $\cos \beta = \frac{3}{\sqrt{25 - 16 \cos^2 \alpha}}$.



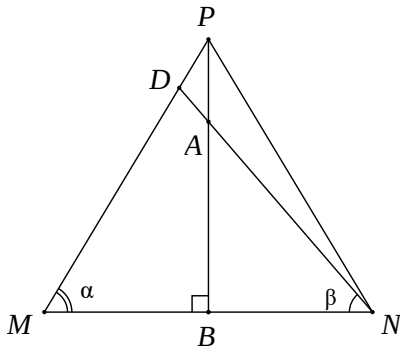
40) נתון טרפז ABCD ונתון מעגל. השוק DC הוא קוטר המעגל.

השוק AB משיקה למעגל, והבסיסים AD ו-BC משיקים גם הם למעגל בנקודות D ו-C בהתאמה (ראה ציור). נתון כי: $AB = d$, $\angle B = \beta$.

א. הבע באמצעות d את סכום בסיסיו של הטרפז.
ב. הבע באמצעות d ו- β את היקף הטרפז ואת השטח של הטרפז.

ג. נתון שהיקף הטרפז 25 ס"מ ושטחו 25 סמ"ר.

חשב את הזווית החדה β .



(41) במשולש שווה שוקיים PMN ($PM = PN$),

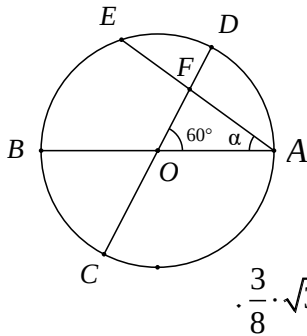
A היא נקודה על הגובה PB , כך ש- $PA = \frac{1}{5} \cdot PB$.

הישר NA חותך את השוק PM בנקודה D (ראה ציור).

נתון: $\angle DNB = \beta$, $\angle DNM = \alpha$ ו- $BN = \alpha$.

א. חשב את היחס $\tan \beta : \tan \alpha$.

ב. חשב את היחס $PM:DM$.



(42) במעגל שמרכזו O ורדיוסו R מעבירים שני

קטרים AB ו- CD הנחתכים בזווית של 60° .

מיתר AE , היוצר זווית α עם הקוטר AB ,

חותך את הקוטר CD בנקודה F (ראה ציור).

א. הבע את שטח המשולש ACF באמצעות R ו- α .

ב. הוכח שכאשר $\alpha = 30^\circ$, שטח המשולש ACF הוא $\frac{3}{8} \cdot \sqrt{3} \cdot R^2$.

תשובות סופיות:

$$r = \frac{2R \sin(\alpha + \beta) \tan \frac{\beta}{2} \tan \frac{\alpha}{2}}{\tan \frac{\alpha}{2} + \tan \frac{\beta}{2}} = 4R \sin \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \quad \text{א.} \quad (1)$$

ב. $\frac{1}{2}R$

$$KN = 21.52 \text{ ס"מ}, MF = 11.28 \text{ ס"מ} \quad (2)$$

$$EF = 5.975 \text{ ס"מ} \quad \text{א.} \quad NA = 18.385 \text{ ס"מ} \quad (3)$$

$$OK = \frac{a}{2 \cos \beta} \quad \text{א.} \quad (4)$$

ב. $\frac{a}{2 \sin \beta} \cdot \left[1 + \tan \beta + \frac{1}{\cos \beta} \right]$

$$12 \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad \text{א.} \quad (5)$$

ב. $24 \cdot \left(1 + \tan \frac{\alpha}{2} \right)^2$

$$AE = 8 \sin \beta \cdot \left[\tan \beta - \tan \left(\frac{1}{2} \beta \right) \right] = 8 \tan \beta \cdot \tan \left(\frac{1}{2} \beta \right) \quad (6)$$

$$2 \cdot \frac{\tan 20^\circ}{\sin 40^\circ} = \frac{1}{\cos^2 20^\circ} \approx 1.132 \quad (7)$$

$$-2 \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan 2\alpha} = -\frac{\cos 2\alpha}{\cos^2 \alpha} = \tan^2 \alpha - 1 \quad \text{א.} \quad (8)$$

ב. מתקיים: $AO = 2 \cdot DO$ (מפגש הגבהים הוא גם מפגש התיכונים).

$$r = \frac{16}{\tan 59^\circ + \tan 67^\circ} \approx 3.98 \quad \text{ב.} \quad BC = r \cdot (\tan 59^\circ + \tan 67^\circ) \approx 4.02 \cdot r \quad \text{א.} \quad (9)$$

$$S = 147.86 \text{ סמ"ר} \quad (10)$$

$$S \approx 0.0495 \cdot R^2 \quad \text{ב.} \quad \angle C = 73.3^\circ, \angle D = 90^\circ, \angle A = 16.7^\circ \quad \text{א.} \quad (11)$$

$$S_1 = 100 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = 50 \cdot \sin 2\alpha \quad \text{א.} \quad (12)$$

$$S_2 = 50 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin(180^\circ - 2\alpha) = 50 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin 2\alpha \quad \text{ב.}$$

$$S = \frac{1}{2} k^2 \cdot (1 + 2 \sin \beta \cos \beta) \quad \text{א.} \quad (13)$$

ב. 27 יח"ש.

$$r \approx 5.548 \text{ ס"מ} \quad \text{א.} \quad (14)$$

ב. $90.45 \text{ סמ"ר} \approx S$

$$CE = 2a \cdot \sin \beta, \quad CO = \frac{a}{\sin \beta} \quad \text{א.} \quad (15)$$

ב. $\frac{CO}{CE} = \frac{1}{2 \sin^2 \beta}$

ג. היחס הוא: $\frac{2}{3}$ (בדומה למפגש התיכונים במשולש)

$$(16) \quad \text{א. } S_{\triangle ABC} = \frac{1}{2} m^2 \cdot \sin \alpha \quad \text{ב. } S_{\triangle BOC} = \frac{1}{2} m^2 \cdot \sin \alpha \cdot \tan^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{ג. יחס השטחים: } \tan^2 \frac{\alpha}{2}$$

ד. במקרה זה ABOC הוא ריבוע, ויחס השטחים שווה ל-1 ($\tan^2 45^\circ = 1$).

$$(17) \quad AC = x = d \cdot \frac{\tan \beta}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

$$(18) \quad \angle ODB \approx 44.7^\circ$$

$$(19) \quad \text{א. } NP = 10.38 \text{ ס"מ} \quad \text{ב. } S_{\triangle PAN} = 8.2 \text{ סמ"ר}$$

$$(20) \quad \text{א. } S = 800 \cdot \sin^2 \beta \cdot \sin 2\beta \quad \text{ב. } 400 \text{ סמ"ר}$$

$$(21) \quad S_{\triangle ABC} = 3 \cdot \sqrt{3} \approx 5.196 \text{ סמ"ר}$$

$$(22) \quad \text{יחס השטחים הוא: } 1 - 4 \cos^2 \beta : \left(-\frac{\sin 3\beta}{\sin \beta} \right) \text{ או כל תשובה שקולה.}$$

$$(23) \quad \text{א. } S_{\triangle ABD} = 288 \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad \text{ב. } \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta \cdot \cos \alpha}$$

$$(24) \quad MQ \approx 15.43 \text{ ס"מ}$$

$$(25) \quad DC = m \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad AB = m \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \beta)}$$

$$(26) \quad \text{א. } \sin \alpha = \frac{1}{m} \quad \text{ב. } 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ \text{ או } 45^\circ, 120^\circ, 15^\circ$$

$$(27) \quad \alpha \approx 20.7$$

$$(28) \quad \text{א. } \sqrt{5} < k < 3 \text{ או } 1 < k < \sqrt{3} \quad \text{ב. } \frac{2}{3} \cdot t \approx 0.667t$$

$$(29) \quad \alpha = 15^\circ$$

$$(30) \quad \text{א. } S_{\triangle MPQ} = \frac{1}{2} \cdot h^2 \cdot (\tan \alpha + \tan \beta) \quad \text{ב. i. } \angle ESF = 180^\circ - (\alpha + \beta)$$

$$\text{ב. ii. } S_{\triangle EFS} : S_{\triangle MPQ} = \frac{1}{4} \cdot \sin 2\alpha \cdot \sin 2\beta$$

$$(31) \quad \text{א. } m_a = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{b^2 + c^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos \alpha} \quad \text{ב. } m_a = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot b$$

$$(32) \quad \text{א. } \angle BMC = 79.5^\circ \quad \text{ב. } S_{\triangle AMD} = 54.1 \text{ סמ"ר}$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ ב. } S_{\triangle BEF} = \frac{2R^2 \cdot \sin^3 \alpha \cdot \sin 2\alpha}{\sin 3\alpha} \text{ א. (33)}$$

$$P_{BCDE} = 51.09 \text{ (34)}$$

$$, BD = \frac{\sqrt{3} \cdot m}{2 \cdot \cos \alpha}, AB = \frac{m}{2 \cdot \sin \alpha}, AC = \frac{\sqrt{3} \cdot m \cdot \sin(30^\circ + \alpha)}{2 \cdot \sin(60^\circ + \alpha) \cdot \sin \alpha} \text{ א. (35)}$$

$$\text{ב. הוכחה. } CD = \frac{m \cdot \sin(30^\circ + \alpha)}{2 \cdot \sin(60^\circ + \alpha) \cdot \cos \alpha}$$

$$DC = \frac{-b \cdot \tan \beta}{\tan 3\beta} \text{ (36)}$$

$$\text{ב. MG הוא קוטר במעגל. (37)}$$

$$\frac{S_{\triangle ADE}}{S_{\triangle ADF}} = -\frac{\cos(1.5\alpha)}{\cos(0.5\alpha)} \text{ ב. } S_{\triangle ADF} = \frac{-2R^2 \cdot \cos^3 \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \alpha}{\cos(1.5\alpha)} \text{ א. (38)}$$

$$\alpha = 90^\circ \text{ ג.}$$

$$S = \frac{1}{2} d^2 \cdot \sin \beta, P = 2d + d \sin \beta \text{ ב. } AD + BC = d \text{ א. (40)}$$

$$\beta = 30^\circ \text{ ג.}$$

$$PM : DM = \frac{9}{8} = 1.125 \text{ ב. } \tan \beta : \tan \alpha = \frac{4}{5} = 0.8 \text{ א. (41)}$$

$$. S = \frac{3R^2 \cdot \sin(30^\circ + \alpha)}{4 \cdot \sin(60^\circ + \alpha)} \text{ א. (42)}$$