# אינפי להנדסה ומדעים

# תוכן העניינים


1. מבוא מתמטי לקורס ..... 1
2. הפונקציה הממשית - תכונות בסיסיות ופונקציות נפוצות ..... (ללא ספר)
3. הפונקציה הממשית - תכונות מתקדמות ..... 32
4. גבול של פונקציה ..... 54
5. רציפות של פונקציה - משפט ערך הביניים ..... 72
6. הגדרת הנגזרת - גזירות של פונקציה - נגזרות חד-צדדיות ..... 87
7. חישוב נגזרת של פונקציה ..... 100
8. חישוב נגזרת של פונקציות מיוחדות ..... 113
9. משיק, נורמל, נוסחת הקירוב הליניארי ..... 117
10. כלל לופיטל ..... 128
11. חקירת פונקציה ..... 135
12. מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה ..... 164
13. בעיות מקסימום ומינימום (בעיות קיצון) ..... 169
14. משוואות - מציאת מספר הפתרונות, פתרון כללי ופתרון מקורב ..... 189
15. בעיות קצב שינוי ..... 195
16. משפטי הערך הממוצע של רול, לגראנז', קושי ודרבו ..... 200
17. טורי טיילור - מקלורן ..... 217
18. סדרות ..... 232
19. אינטגרלים מיידיים ..... 265
20. אינטגרלים בשיטת "הנגזרת כבר בפנים" ..... 270
21. אינטגרלים בשיטת אינטגרציה בחלקים ..... 272
22. אינטגרלים בשיטת ההצבה ..... 276
23. אינטגרלים של פונקציות רציונליות ..... 279

# תוכן העניינים


24. אינטגרלים טריגונומטריים והצבות טריגונומטריות ..... 284

25. האינטגרל המסוים, אינטגרביליות לפי רימן ולפי דארבו ..... 295

26. שימושי האינטגרל המסויים (שטח-אורך קשת) ..... 319

27. שימושי האינטגרל המסויים (נפח-שטח מעטפת) ..... 341

28. המשפט היסודי של החדו״א, משפטי הערך הממוצע לאינטגרלים ..... 346

29. אינטגרלים לא אמיתיים ..... (ללא ספר)

30. נושאים מתקדמים - רציפות במידה שווה ..... 354

31. קיצון של פונקציה של שני משתנים תחת אילוץ (כופלי לגראנז׳) ..... 360

32. נושאים מתקדמים - הצגה פרמטרית של פונקציה ..... 363

33. נושאים מתקדמים - הצגה פולרית של פונקציה ..... 368

34. נושאים מתקדמים - פונקציות טריגונומטריות ..... 379

35. נושאים מתקדמים - פונקציות היפרבוליות ..... 382

36. הוכחות של משפטים נבחרים בקורס ..... 388

37. תרגילים מתקדמים נוספים (הפרק באנגלית) ..... 390

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 1 - מבוא מתמטי לקורס

### תוכן העניינים


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

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

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

**4)** הגדירו את הקבוצות הבאות על ידי פירוט כל איבריהן או על ידי רישומן בצורה: $A = \{x \mid$ מקיים תכונה מסוימת $x\}$

א. קבוצת המספרים השלמים החיוביים האי־זוגיים.

ב. קבוצת המספרים הראשוניים בין 10 ל-20.

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

ד. קבוצת ריבועי המספרים 4, 3, 2, 1.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

א. $A=\{11,13,17,19\}$

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

ג. $C=\{11,11,17,13,19\}$

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

ה. $E=\{x \mid x=2m,\ m$ 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. $\phi\in A$ |
| ז. $\phi\subseteq A$ | 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: $A\subseteq B \wedge B\subseteq C \Rightarrow A\subseteq C$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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:

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

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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': $X\setminus(Y\setminus Z)=(X\setminus Y)\setminus Z$.

איזו טענה נכונה לכל בחירה של $X,Y,Z$?

**19)** הוכיחו כי אם הנקודה $x_1$ שייכת לסביבת $\varepsilon$ של הנקודה $x_0$,
אז קיימת סביבת $\delta$ של $x_1$ שמוכלת בסביבת $\varepsilon$ 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 $|xy-x_0y_0|<\varepsilon(|x_0|+|y_0|+\varepsilon)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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 $\sqrt{xy}\le\frac{x+y}{2}$. 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. $A=\{x\,|\,x=2n-1,\ n\in\mathbb{N}\}$ ב. $B=\{11,13,17,19\}$

ג. $C=\{(x,y)\,|\,x^2+y^2=4^2\ ,\ x\in\mathbb{R},\ y\in\mathbb{R}\}$ ד. $D=\{1,4,9,16\}$

**5)** הקבוצות $A$, $B$ ו- $C$ שוות זו לזו, והקבוצות $D$ ו- $E$ שוות זו לזו.

**6)** א. לא נכון. ב. נכון. ג. נכון. ד. נכון. ה. נכון.
ו. לא נכון. ז. נכון. ח. נכון. ט. נכון. י. נכון.
יא. לא נכון. יב. לא נכון. יג. נכון. יד. לא נכון.

**7)** $B=\{\{1,2\},1,2\}$ $A=\{1,2\}$

**8)** א. $A, C$ ב. $E, D$ ג. לא קיימת קבוצה כזאת.

**9)** שאלת הוכחה.

**10)** $1)\ A\cup B=\{3,4,5,6,7,8,910\}$, $2)A\cap B=\{4,6,8\}$, $3)(A\cup B)\cap C=\{3,5,7,9\}$

$4)(B\cup C)\cap(B\cup D)=\{4,6,7,8,10\}$, $5)(B\cap C)\cup(B\cap D)=\{6,8\}$

**11)** $1)\ A\cup B=(-2,4)$, $2)A\cap B=\phi$, $3)(A\cup B)\cap C=(0,4)$,

$4)(B\cup C)\cap(B\cup D)=(-2,1)$, $5)(B\cap C)\cup(B\cap D)=[0,1)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**12)** א. $\phi$ 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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $p\,|\,a \Leftarrow p\,|\,a^k$.
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 $b\,|\,a$,
ונאמר גם "$b$ מחלק את $a$".

תשובות לכל שאלות ההוכחה מופיעות באתר GooL.co.il


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# קבוצות חסומות וקבוצות לא חסומות

## שאלות

**1)** נתונה הקבוצה $A=\left\{\frac{n-1}{n}\,\middle|\,n\in\mathbb{N}\right\}$.

א. בדקו האם הקבוצה חסומה.

ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

**2)** נתונה הקבוצה $A=\left\{\frac{1}{n^4+2n+1}\,\middle|\,n\in\mathbb{N}\right\}$.

א. בדקו האם הקבוצה חסומה.

ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

**3)** נתונה הקבוצה $A=\left\{\frac{n^4+n^2+3}{2n^4+2n^2+8}\,\middle|\,n\in\mathbb{N}\right\}$.

א. בדקו האם הקבוצה חסומה.

ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה, במידה והם קיימים.

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

א. הוכיחו שהקבוצה חסומה מלמעלה ומצאו את $\sup A$.

ב. הוכיחו שהקבוצה חסומה מלמטה ומצאו את $\inf A$.

**5)** נתונה הקבוצה $A=\left\{n^5-n+4\,|\,n\in\mathbb{N}\right\}$.

א. בדקו האם הקבוצה חסומה.

ב. מצאו את האינפימום, הסופרמום, המינימום והמקסימום של הקבוצה במידה והם קיימים.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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. $B=\{x\in\mathbb{Z} \mid |x-1|\le 1\}$

ג. $C=\left\{x\in\mathbb{R} \,\middle|\, \frac{x^2-4}{(x-2)^2}\le 0\right\}$

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 $\alpha$ הוא הסופרמום של הקבוצה $A$, אז לכל מספר ממשי $\varepsilon>0$, קיים איבר $x\in A$, כך ש- $\alpha-\varepsilon<x\le\alpha$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**11)** הוכיחו את הטענות הבאות:

א. בין כל שני מספרים ממשיים קיים מספר ממשי.
(משפט הצפיפות של הממשיים)

ב. עבור קטעים מהטיפוס $(a,b),[a,b),(-\infty,b)$, לא קיים מקסימום.

ג. עבור קטעים מהטיפוס $[a,\infty),(a,\infty),(-\infty,\infty)$, לא קיים מקסימום.

ד. עבור קטעים מהטיפוס $(a,b),[a,b),(-\infty,b)$, 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. $\sup S \le \sup T$.

ד. אם $S$ ו- $T$ בעלות מקסימום, אז $\max S \le \max T$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $\sup A \le \sup B$.
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- $\sup A \le \inf B$.
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 $c \ge 0$, 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: $u \ge s + t$.
הוכיחו כי $\sup U \ge \sup T + \sup S$.

**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: $\sup S \le \inf T$.

ב. לכל קבוצה לא-ריקה וחסומה S מתקיים: $\inf S \le \sup S$.
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 $\alpha, \beta$, 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 $\alpha$ הוא הסופרמום של $A$.

**28)** הוכיחו שלכל מס' ממשי $c$ **קיים** מספר שלם **יחיד** $m \in \mathbb{Z}$, כך ש- $m \le c < m+1$.
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 $\bigcap_{n=1}^{\infty} I_n = \phi$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $\bigcap_{n=1}^{\infty} I_n \neq \phi$.

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

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

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

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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. $\max A = \frac{5}{4},\quad \inf A = -1$ ב. $\min B = 0,\ \max B = 2$

ג. $\min C = -2,\quad \sup C = 2$ ד. $\inf D = 0,\ \sup D = 2$

שאלות **9-32** הן שאלות הוכחה.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $A=\left\{\sqrt{10}q \mid q\in\mathbb{Q}\right\}$ צפופה ב- $\mathbb{R}$.

**5)** הוכיחו שהקבוצה $A=\left\{\sqrt{m}-\sqrt{n} \mid m,n\in\mathbb{N}\right\}$ 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 $a,b\in R$ קיים $s\in S$, כך ש- $a<s<b$, אז $S$ צפופה ב- $\mathbb{R}$.

**7)** הוכיחו שהקבוצה $A=\left\{q\sqrt{10} \mid 0<q\in\mathbb{Q}\right\}$ 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. $[x+4]\le 10$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**9)** פתרו את אי-השוויונים הבאים:

א. $[x]^2-5[x]+6\le 0$

ב. $[x-1][x-2]+[x+10]>3[x+2]+[2.44]$

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

א. $[x]+[y]\le[x+y]\le[x]+[y]+1$

ב. $x<y \Rightarrow [x]\le[y]$

## תשובות סופיות

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

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

**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)** $5\le x<6$

**7)** שאלת הוכחה.

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

**9)** א. $2\le x<4$ ב. $x<1$ or $x\ge 5$

**10)** שאלת הוכחה.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# סימן הסכימה

## שאלות

**1)** כתבו בפירוט את הסכומים הבאים:

א. $\sum_{n=0}^{10} 4^n$ ב. $\sum_{k=1}^{4} 2k$ ג. $\sum_{n=4}^{10} na_n$

ד. $\sum_{i=7}^{11} 4i^2 a_i$ ה. $\sum_{t=1}^{8} tx^t$ ו. $\sum_{k=4}^{10} na_{k+1}$

ז. $\sum_{k=1}^{10} 4n$ ח. $\sum_{k=-1}^{3} \left(k^2+1\right)$ ט. $\sum_{\ell=1}^{3} \left(\ell^2 - x_{2\ell} - 4\right)$

**2)** כתבו את הסכומים הבאים בעזרת סימן הסכימה:

א. $1+2+4+8+16+32+64+128$

ב. $2+4+6+8+10+12+14+16+18+20$

ג. $1+3+5+7+9+11+13+15+17+19$

ד. $1\cdot 2+2\cdot 3+3\cdot 4+4\cdot 5+5\cdot 6+6\cdot 7+7\cdot 8$

ה. $1\cdot 2+3\cdot 4+5\cdot 6+\ldots+43\cdot 44$

ו. $3\cdot 2+6\cdot 3+9\cdot 4+12\cdot 5+15\cdot 6+18\cdot 7+21\cdot 8$

ז. $5^2+7^2+\ldots+27^2$

ח. $\frac{1}{1\cdot 2}+\frac{1}{2\cdot 3}+\frac{1}{3\cdot 4}+\ldots+\frac{1}{10\cdot 11}$

ט. $\frac{2}{3}+\frac{6}{9}+\frac{10}{27}+\frac{14}{81}+\frac{18}{243}$

י. $4+\frac{8}{5}+\frac{12}{25}+\frac{16}{125}+\frac{20}{625}$

**3)** חשבו את הסכומים הבאים:

א. $\sum_{k=1}^{10} 4k$ ב. $\sum_{k=1}^{10} \left(2k+4k^2\right)$ ג. $\sum_{k=10}^{24} k(k-1)$

ד. $\sum_{k=10}^{24} \frac{k^3-k}{k+1}$ ה. $\sum_{k=4}^{10} (k-2)(k+2)$ ו. $\sum_{k=1}^{10} \left(2k^2+1\right)(k-2)$

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**4)** חשבו את הסכומים הבאים:

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

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

**5)** חשבו את הסכומים הבאים:

א. $1^2+2^2+3^2+...+20^2$

ב. $4^2+5^2+6^2+...+24^2$

ג. $2^2+4^2+6^2+...+22^2$

ד. $1^2+3^2+5^2+...+17^2$

**6)** הוכיחו כי:

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

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:

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

## תשובות סופיות

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

ב. $2\cdot1+2\cdot2+2\cdot3+2\cdot4$

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

ד. $4\cdot7^2a_7+4\cdot8^2a_8+4\cdot9^2a_9+4\cdot10^2a_{10}+4\cdot11^2a_{11}+4\cdot7^2a_7$

ה. $1x^1+2x^2+3x^3+4x^4+5x^5+6x^6+7x^7+8x^8$

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

ז. $4n+4n+4n+4n+4n+4n+4n+4n+4n+4n$

ח. $\left((-1)^2+1\right)+\left(0^2+1\right)+\left(1^2+1\right)+\left(2^2+1\right)+\left(3^2+1\right)$

ט. $\left(1^2-x_2-4\right)+\left(2^2-x_4-4\right)+\left(3^2-x_6-4\right)$

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

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

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

3) א. 220 ב. 1650 ג. 4360

ד. 4360 ה. 28 ו. 4545

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

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

5) א. 2870 ב. 4886 ג. 2024 ד. 969

6) שאלת הוכחה.

7) א. $\frac{8(8+1)(2\cdot8+1)}{6}+6\cdot\frac{8(8+1)}{2}+9\cdot8$ ב. $4^{18}\cdot\frac{16\left(16^{11}-1\right)}{16-1}$

# אינדוקציה

## שאלות

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

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

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

**4)** הוכיחו את הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו באינדוקציה כי $(1+x)^n\ge 1+nx$ , לכל $n$ טבעי ולכל $x\ge -1$ 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 $(1-x)^n<\dfrac{1}{1+xn}$ לכל $0<x<1,\ n\in\mathbb{N}$ .

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

**7)** נתון כי $a_1=\sqrt{2}$ , $a_{n+1}=\sqrt{a_n+2}$ .
הוכיחו באינדוקציה שלכל $n$ טבעי מתקיים:

א. $a_n\le 2$

ב. $a_n\le a_{n+1}$

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

**8)** הוכיחו באינדוקציה שלכל $n$ טבעי,
אם $a_1=-1,\ a_2=0$ , $a_{n+2}=2a_{n+1}-a_n+2$ ,
אז $a_n=n^2-2n$ .
הערה: תרגיל זה מיועד רק למי שלמדו מהי סדרה רקורסיבית.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**9)** הוכיחו באינדוקציה שלכל $n$ טבעי,
אם $a_1=1,\ a_2=1$ , $a_{n+1}=2a_n+3a_{n-1}$ ,
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**.

**11)** הוכיחו באינדוקציה כי $\begin{pmatrix}0 & 0\\ 0 & a\end{pmatrix}^n=\begin{pmatrix}0 & 0\\ 0 & a^n\end{pmatrix}$ $(n\in\mathbb{N},a\in\mathbb{R})$ .
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 $x<1, y>1$, מתקיים $x+y>xy+1$.

ב. הוכיחו באינדוקציה שלכל $n\geq 2$ טבעי:
אם $a_1\cdot a_2\cdot\dots\cdot a_n=1$, אז $a_1+a_2+\dots+a_n\geq n$ $(0<a_i\in\mathbb{R})$.

**2)** נסחו והוכיחו את **אי שוויון הממוצעים**.

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

א. $|a+b|\leq|a|+|b|$ **(אי שוויון המשולש)**

ב. $|a-b|\leq|a|+|b|$

ג. $|a-b|\geq|a|-|b|,\ \ |a-b|\geq|b|-|a|$

ד. $|a-b|\geq\big||a|-|b|\big|$

ה. $|a+b|\geq\big||a|-|b|\big|$

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

**4)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. נסחו והוכיחו את **אי שוויון קושי-שוורץ**.

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

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) $x^2-12x>-32$

2) $(x-3)(x-7)\ge 8x-56$

3) $2x^2+2x+24\ge 0$

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

5) $\frac{2x-1}{x-5}\le 0$

6) $\frac{x^2-7x+6}{-x^2+3x-7}\ge 0$

7) $|x+2|<3$

8) $|6-2x|<x$

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

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

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

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

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

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

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $x>8$ או $x<4$

2) $x\geq 11$ או $x\leq 7$

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) $x>7$ או $x<-5$

11) $x>4$ או $x<-1$

12) $-3\leq x<46$

13) $x<0.472$

14) אין פתרון.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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:

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

**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 $0\leq k\leq n$, $k,n\in\mathbb{N}$.

ב. נסחו והוכיחו (באינדוקציה) את נוסחת הבינום.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

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

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

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

**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) א. $\frac{1}{30}$ ב. $\frac{1001}{285}$

2) שאלת הוכחה.

3) א. 10 ב. 4 ג. 1 ד. 364

4) שאלת הוכחה.

5) שאלת הוכחה.

6) א. $(a+b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$

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

ג. $(x-4)^3 = x^3 - 12x^2 + 48x - 64$

7) שאלת הוכחה.

8) שאלת הוכחה.

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

10) $T_7 = 924a^7$

11) $T_9 = 45$

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

13) $n = 6$

# 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. $x \oplus y = x + y + 4$
$x \otimes y = 2xy$

ב. $x \oplus y = x + y$
$x \otimes y = 2xy$

ג. $x \oplus y = y$
$x \otimes y = y^2$

**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:

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

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

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

**3)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו שבשדה, האיבר 0 הוא יחיד.

ב. הוכיחו שבשדה, האיבר 1 הוא יחיד.

ג. הוכיחו שבשדה, האיבר הנגדי הוא יחיד.

ד. הוכיחו שבשדה, האיבר ההופכי הוא יחיד.

**4)** יהיו $a,b$ איברים בשדה.

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

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

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 2 - 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)

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 3 - הפונקציה הממשית - תכונות מתקדמות

### תוכן העניינים


1. תחום הגדרה של פונקציה ..... 32
2. הרכבת פונקציות ..... 34
3. הפונקציה ההפוכה ..... 37
4. פונקציה זוגית ופונקציה אי זוגית ..... 41
5. פונקציה מחזורית ..... 46
6. פונקציה מפוצלת ופונקציה אלמנטרית ..... 49
7. תרגילים משולבים ..... 50

# תחום הגדרה של פונקציה

## שאלות

מצאו את תחום ההגדרה של הפונקציות הבאות:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13) $y=\log_x\left(x+4\right)$

14) $y=\tan\left(10x\right)$

15) $y=\cot\left(4x\right)$

16) $y=\arctan\left(x+4\right)$

17) $y=\arcsin\left(x-4\right)$

18) $y=\arccos\left(x+1\right)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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) $-2 < x < 0$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# הרכבת פונקציות

## שאלות

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

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

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: $g(x)=\ln x$ $f(x)=e^{2x}$.

חשבו $f(g(x))$ עבור $x=2$.

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

חשבו $f(g(x)),\ g(f(x))$.

**7)** נתונות הפונקציות:

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

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**8)** נתונות הפונקציות:

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

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)** נתון $f(x)=\frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$.

מצאו את $f^n(x)=\underbrace{f(f(f(...(f(x))))}_{n \text{ times}}$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

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

2) $3$

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

4) $-10$

5) $4$

6) $$f\left(g\left(x\right)\right)=\begin{cases}\frac{1}{x+3} & x>4\\ \frac{1}{3x} & 0<x\le 4\\ \left(3x\right)^2 & x\le 0\end{cases},\ g\left(f\left(x\right)\right)=\begin{cases}x^2+3 & x<2\\ 3x^2 & -2\le x\le 0\\ \frac{1}{x}+3 & 0<x<\frac{1}{4}\\ 3\frac{1}{x} & x\ge\frac{1}{4}\end{cases}$$

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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.

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

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

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

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

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

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

**6)** $f(x)=x^2-x$

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

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

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

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

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

**11)** 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:

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

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

א. $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ $\quad f(x)=\dfrac{1}{x^2+1}$

ב. $f:\mathbb{R}\to(0,1]$ $\quad g(x)=\dfrac{1}{x^2+1}$

ג. $f:(1,\infty)\to(0,1]$ $\quad h(x)=\dfrac{1}{x^2+1}$

**14)** תהיינה שתי פונקציות $f:A\to B,\ g:B\to C$,
ותהי $h:A\to C$ 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 $f:A\to B,\ g:B\to C$,
ותהי $h:A\to C$ 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 $f:A\to B,\ \ g:B\to C$ ,
ותהי $h:A\to C$ ההרכבה המוגדרת על ידי $h(x)=g\left(f(x)\right)$.
נתון כי $h$ חח"ע.
הוכיחו או הפריכו:

א. $g$ על.

ב. $f$ על.

ג. $g$ חח"ע.

ד. $f$ חח"ע.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# פונקציה זוגית ואי זוגית

## שאלות

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

**1)** $y=4x^3$ **2)** $y=x^4+x^{10}$ **3)** $y=1$

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

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

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

נסמן: $z(x)=f\left(x^2\right),\ k(x)=-f(x)$.

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

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

נסמן: $z(x)=-g\left(x^3\right)$ ו- $k(x)=-f\left(x^3\right)$.

טענה א': $z(x)$ אי-זוגית.

טענה ב': $k(x)$ אי-זוגית.

איזו טענה נכונה?

**11)** נתונה פונקציה אי-זוגית $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ ונתונה פונקציה זוגית $g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$

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

בדקו, עבור כל אחת מהפונקציות $z,k$, 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- $\mathbb{R}$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $z(x)=\left(f(x)\right)^n$ כאשר $n>1$ טבעי.

קבעו האם הפונקציה $z$ היא זוגית, אי-זוגית או כללית.

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

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

א. הוכיחו כי $f_{odd}(x)$ היא פונקציה אי-זוגית ו- $f_{even}(x)$ היא פונקציה זוגית.

ב. הוכיחו כי $f(x)=f_{odd}(x)+f_{even}(x)$ 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 $f(0)=0$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $(-a,a)$ $(a>0)$.

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

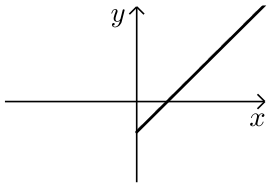
**20)** הוכיחו שהפונקציות הבאות הן אי זוגיות:

א. $y=\arctan x$

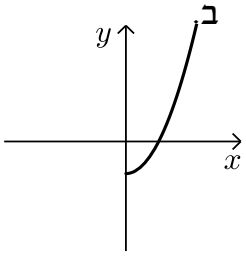
ב. $y=\arcsin x$

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

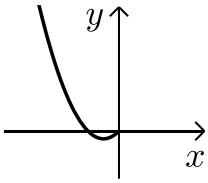
א.



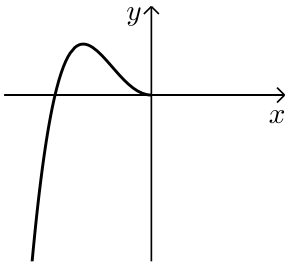

ב.




ג.

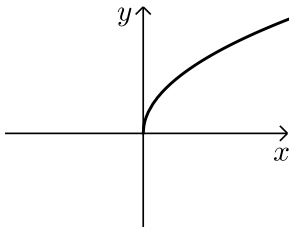



ד.

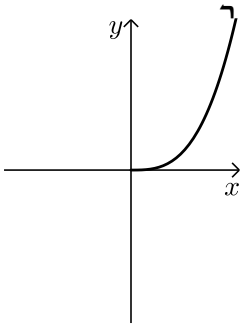


**22)** הפונקציות המסורטטות להלן מוגדרות לכל $x$.
השלם את ציור הגרף של הפונקציה כך שתתקבל פונקציה אי-זוגית:

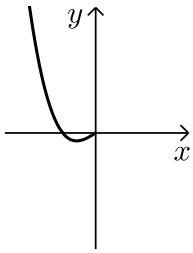
א.



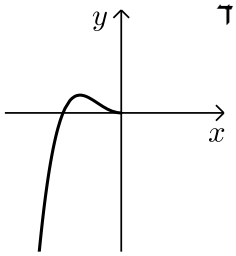

ב



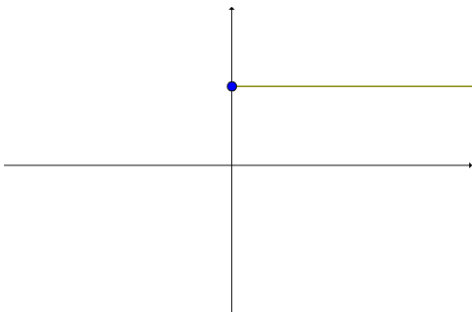

ג.

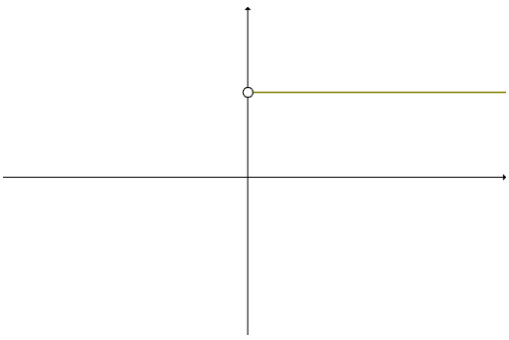



ד




**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. $f(x)=\underbrace{x}_{odd}+\underbrace{x^2+1}_{even}$

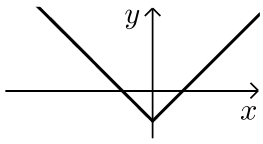
**17)** שאלת הוכחה.

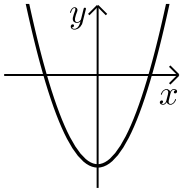
**18)** שאלת הוכחה.

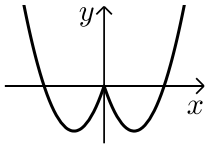
**19)** שאלת הוכחה.

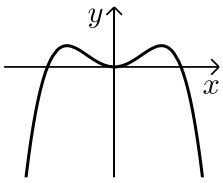
**20)** שאלת הוכחה.

**21)** להלן הגרפים :

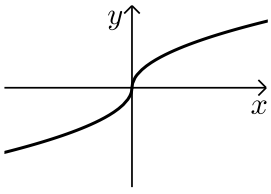
א.


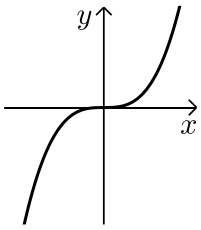

ב.


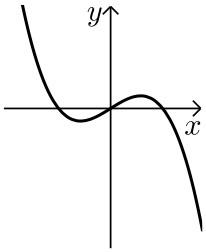

ג.


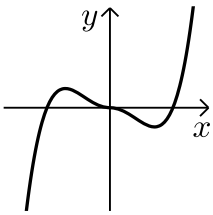

ד.



**22)** להלן הגרפים :

א.



ב.



ג.



ד.



**23)** ראו בסרטון.

# פונקציה מחזורית

## שאלות

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

**1)** $y=1+10\sin(0.5x+4)$

**2)** $y=1+14\cos 20x$

**3)** $y=-4+20\tan 4x$

**4)** $y=-1+14\sec 2x$

**5)** $y=\sin^2 4x$

**6)** $y=\cos^2 2x$

**7)** $y=\cos^4 x-\sin^4 x$

**8)** $y=(\sin x+\cos x)^2$

**9)** $y=\cos^4 x+\sin^4 x$

**10)** $y=\cot^2 x$

**11)** $y=\sin\frac{x}{4}+\cos\frac{x}{10}$

**12)** $y=\sin 4x+\sin 14x$

**13)** $y=\sin 4x+\sin 14x+\sin x$

**14)** $y=\cos 2x\cos x$

**15)** $y=\sin^3 x$

**16)** $y=\sin^4 x$

**17)** $y=\frac{\sin 5x}{\cos 2x\cos 3x}$

**18)** $y=|\sin x|$

**19)** $y=\sin^2 x+\cos^2 x$

**20)** $y=\cot x-\tan x$

הוכיחו שהפונקציות בשאלות **21-26** אינן מחזוריות:

**21)** $y=x+\sin x$

**22)** $y=x+\cos x$

**23)** $y=x\sin x$

**24)** $y=x^2\cos x$

**25)** $y=\frac{\sin x}{x}$

**26)** $y=\cos 5x+\cos\sqrt{5x}$

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 $f(x+nT)=f(x)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $f \pm g,\quad f \cdot g,\quad \frac{f}{g}\ (g \neq 0)$ 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 $g$ .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

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

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.

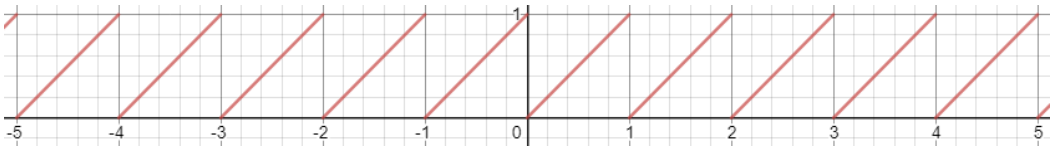
26) שאלת הוכחה.

27) שאלת הוכחה.

28) שאלת הוכחה.

29) שאלת הוכחה.

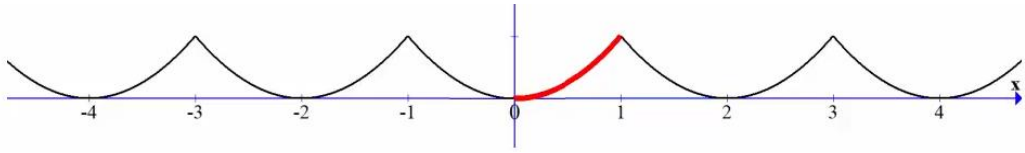
30) א.




ב. 1 ג. שאלת הוכחה.

31) $g(x)=x-k,\ k-1\le x\le k+1$ עבור $k$ שלם, זוגי.

32) $g(x)=(x-k)^2,\ k-1\le x\le k+1$ עבור $k$ שלם, זוגי.



# פונקציה מפוצלת ופונקציה אלמנטרית

## שאלות

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

**1)** $y=|x-2|$

**2)** $y=3|x+1|$

**3)** $y=x^2+2|x-1|$

**4)** $y=\frac{|x|}{x}$

**5)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases} x^2 & 0\le x\le 4 \\ -x & x<0 \end{cases}$ .

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

**1)** $y=\begin{cases} x-2 & x\ge 2 \\ 2-x & x<2 \end{cases}$

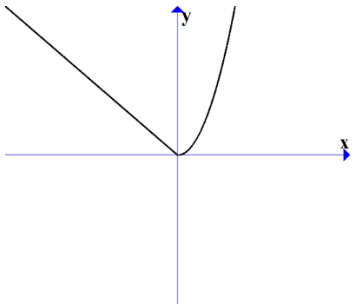
**2)** $y=\begin{cases} 3x+3 & x\ge -1 \\ -3x-3 & x<-1 \end{cases}$

**3)** $y=\begin{cases} x^2+2x-2 & x\ge 1 \\ x^2-2x+2 & x<1 \end{cases}$

**4)** $y=\begin{cases} 1 & x>0 \\ -1 & x<0 \end{cases}$

**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)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases} x+1 & x>1 \\ x^3+1 & -1\le x\le 1 \\ x+1 & x<-1 \end{cases}$.

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)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases} \frac{2}{x} & x>1 \\ x^5+1 & -1\le x\le 1 \\ x+1 & x<-1 \end{cases}$.

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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**3)** נתונה פונקציה $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ , זוגית ומונוטונית עולה ממש,
ופונקציה $g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ , אי-זוגית ומונוטונית יורדת ממש.
נסמן: $z(x)=-g(x^3)$ 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, $f,g:[0,1]\to[0,1]$ .
נתון ש- $f$ מונוטונית עולה ממש, ואילו $g$ מונוטונית יורדת חלש,
אך אינה יורדת ממש.
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)** נתונות הפונקציות $g(x)=\begin{cases}x^2-4 & x<0\\ -x^2-2x-1 & x\ge 0\end{cases}$ ו- $f(x)=\begin{cases}x+4 & x\le 0\\ \sqrt{x} & x>0\end{cases}$ .
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 $h:[-2,0)\to[0,4]$ 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.
הפונקציה $h(x)=f(g(x))$ 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 $a<b \Leftarrow f(a)\ge f(b)$ , 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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)** $f^{-1}(x)=\ln\left(x+\sqrt{x^2+1}\right)$ ; תחום הגדרתה: כל $x$.

**10)** ראו באתר.

**11)** א. $-1\le x\le 2$ ב. $0\le y\le \frac{3}{2}$ ג. שאלת הוכחה.
ד. $-1\le x<\frac{1}{2}$ עלייה, $\frac{1}{2}<x\le 2$ ירידה.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 4 - גבול של פונקציה

### תוכן העניינים


1. הסבר כללי ..... (ללא ספר)
2. הצבה ..... 54
3. צמצום ..... 55
4. הכפלה בצמוד ..... 56
5. גבולות טריגונומטריים ..... 57
6. פונקציה שואפת לאינסוף ..... 60
7. איקס שואף לאינסוף ..... 61
8. הגבול של אוילר ..... 63
9. כלל הסנדויץ ..... 64
10. גבול של פונקציה מפוצלת ..... 66
11. גבול לפי הגדרה ..... 69

# הצבה

## שאלה

חשבו את הגבולות הבאים:

א. $\lim_{x\to 4} x^2+x+1$

ב. $\lim_{x\to 10} \frac{x+1}{x+2}$

ג. $\lim_{x\to 1^+} \sqrt{x+3}$

ד. $\lim_{x\to 100} 20$

## תשובה

א. 21 ב. $\frac{11}{12}$ ג. 2 ד. 20


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# צמצום

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim\limits_{x\to 3}\frac{x^2-x-6}{x^2-9}$

2) $\lim\limits_{x\to -5}\frac{2x^2-50}{2x^2+3x-35}$

3) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{x^7-x}{x-1}$

4) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{x^n-x}{x-1}$

5) $\lim\limits_{x\to \frac{1}{2}}\frac{2x^2-5x+2}{6x^2-5x+1}$

6) $\lim\limits_{x\to 2}\frac{x^4-16}{x-2}$

7) $\lim\limits_{x\to -1}\frac{x^3+1}{x+1}$

8) $\lim\limits_{x\to 3}\frac{x^3-27}{x-3}$

9) $\lim\limits_{x\to 4}\frac{x^2-16}{x^3-4x^2+x-4}$

10) $\lim\limits_{x\to -1}\frac{\sqrt[5]{x}+1}{x+1}$

## תשובות סופיות

1) $\frac{5}{6}$ 2) $\frac{10}{8.5}$ 3) $6$ 4) $n-1$ 5) $-3$

6) $32$ 7) $3$ 8) $27$ 9) $\frac{8}{17}$ 10) $\frac{1}{5}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# הכפלה בצמוד

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{1-\sqrt{x}}{1-x}$

2) $\lim\limits_{x\to 3}\frac{x-3}{\sqrt{x+1}-2}$

3) $\lim\limits_{x\to 3}\frac{3-\sqrt{x+6}}{2x-6}$

4) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{\sqrt{x^2+x+2}-2}{x^2-1}$

5) $\lim\limits_{x\to 4}\frac{\sqrt{2x+1}-\sqrt{x+5}}{x-4}$

6) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{2-\sqrt{3x+1}}{1-\sqrt{2x-1}}$

7) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{1-\sqrt[3]{x}}{1-x}$

8) $\lim\limits_{x\to -2}\frac{\sqrt{x^2+5}-3}{\sqrt{x^2+x+2}+x}$

9) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sqrt{1+\sqrt[3]{x}+x}-1}{\sqrt[3]{x}}$

## תשובות סופיות

1) $\frac{1}{2}$

2) $4$

3) $-\frac{1}{12}$

4) $\frac{3}{8}$

5) $\frac{1}{6}$

6) $\frac{3}{4}$

7) $\frac{1}{3}$

8) $-\frac{8}{3}$

9) $\frac{1}{2}$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גבולות טריגונומטריים

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים (היעזרו בגבול הטריגונומטרי $\lim_{x\to 0}\frac{\sin x}{x}=1$):

1) $\lim_{x\to 0}\frac{\sin(3x)}{4x}$

2) $\lim_{x\to 0}\frac{\sin(3x)}{\sin(4x)}$

3) $\lim_{x\to 0}\frac{x\cos x}{\sin 2x}$

4) $\lim_{x\to 0}\frac{1-\cos x}{x^2}$

5) $\lim_{x\to 0}\frac{\tan x-\sin x}{x^3}$

6) $\lim_{x\to 0}\frac{\sqrt{1+\sin x}-\sqrt{\cos x}}{x}$

7) $\lim_{x\to 0}\frac{1-\cos(1-\cos x)}{x^4}$

8) $\lim_{x\to 0}\frac{3\sin x-\sin 3x}{x^3}$

9) $\lim_{x\to 0}\frac{1-\sqrt{\cos x}}{x^2}$

10) $\lim_{x\to 1}\frac{\sin(1-x)}{x^2-1}$

11) $\lim_{x\to a}\frac{\sin x-\sin a}{x-a}$

12) $\lim_{x\to a}\frac{\cos x-\cos a}{x-a}$

13) $\lim_{x\to a}\frac{\tan x-\tan a}{x-a}$

14) $\lim_{x\to \pi}\frac{\sin 4x}{\sin 10x}$

15) $\lim_{x\to \frac{\pi}{4}}\tan 2x\tan\left(\frac{\pi}{4}-x\right)$

16) $\lim_{x\to 1}(1-x)\tan\frac{\pi x}{2}$

17) $\lim_{x\to 0}\frac{\sqrt{1+x\sin x}-\cos x}{\sin^2 x}$

18) $\lim_{x\to 0}\frac{\sqrt{\cos x}-\sqrt[3]{\cos x}}{\sin^2 x}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $\frac{3}{4}$ 2) $\frac{3}{4}$ 3) $\frac{1}{2}$ 4) $\frac{1}{2}$ 5) $\frac{1}{2}$

6) $\frac{1}{2}$ 7) $\frac{1}{8}$ 8) $4$ 9) $\frac{1}{4}$

10) $-\frac{1}{2}$ 11) $\cos a$ 12) $-\sin a$ 13) $\frac{1}{\cos^2 a}$

14) $\frac{4}{10}$ 15) $\frac{1}{2}$ 16) $\frac{2}{\pi}$ 17) $1$

18) $\frac{-1}{12}$

## זהויות טריגונומטריות שכדאי להכיר

$$\begin{cases} \sin a+\sin b=2\sin\frac{a+b}{2}\cos\frac{a-b}{2} \\ \sin a-\sin b=2\sin\frac{a-b}{2}\cos\frac{a+b}{2} \\ \cos a+\cos b=2\cos\frac{a+b}{2}\cos\frac{a-b}{2} \\ \cos a-\cos b=-2\sin\frac{a-b}{2}\sin\frac{a+b}{2} \\ \tan a+\tan b=\frac{\sin(a+b)}{\cos a\cos b} \\ \tan a-\tan b=\frac{\sin(a-b)}{\cos a\cos b} \end{cases}$$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

$$\begin{cases} \sin(a+b)=\sin a\cos b+\cos a\sin b \\ \sin(a-b)=\sin a\cos b-\cos a\sin b \\ \cos(a+b)=\cos a\cos b-\sin a\sin b \\ \cos(a-b)=\cos a\cos b+\sin a\sin b \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sin \pi n=0 \\ \cos \pi n=(-1)^n \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sin\left(a+\frac{\pi}{2}\right)=\cos a \\ \cos\left(a+\frac{\pi}{2}\right)=-\sin a \end{cases}$$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# פונקציה שואפת לאינסוף

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{x^2+4}{x}$

2) $\lim\limits_{x\to 2}\frac{(x-1)^2}{x-2}$

3) $\lim\limits_{x\to 2}\frac{-x^2}{(2-x)^2}$

4) $\lim\limits_{x\to 2}\frac{x^2-1}{(x-2)(x-5)}$

5) $\lim\limits_{x\to 0^+}\frac{\ln x}{x}$

6) $\lim\limits_{x\to 2^-}-\frac{1}{2}\ln(2-x)$

7) $\lim\limits_{x\to 0^+}\left((\ln x)^2+2\ln x-3\right)$

8) $\lim\limits_{x\to 0}e^{\frac{1}{x}}$

9) $\lim\limits_{x\to 0^+}\frac{1}{1+2^{\frac{1}{x}}}$

10) $\lim\limits_{x\to 0^-}\frac{1}{1+2^{\frac{1}{x}}}$

11) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{1}{1+2^{\frac{1}{x}}}$

12) $\lim\limits_{x\to 0^+}\ln x\cdot\cot x$

13) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{\sqrt[3]{x-1}-\sqrt[4]{x-1}}{\sqrt{x-1}}$

## תשובות סופיות

1) $\phi$
2) $\phi$
3) $-\infty$
4) $\phi$
5) $-\infty$
6) $\infty$
7) $\infty$
8) $\phi$
9) $0$
10) $1$
11) $\phi$
12) $-\infty$
13) $-\infty$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# $x$ שואף לאינסוף

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(e^{-x}\right)^{\ln x}$

2) $\lim\limits_{x\to-\infty}\arctan x+e^{x}$

3) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{4x^2+2}{x^2+1000x}$

4) $\lim\limits_{x\to-\infty}\dfrac{x^4+2x^2+6}{3x^3+10x}$

5) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{x^4+2x^2+6}{3x^5+10x}$

6) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\dfrac{x^2-5x+6}{2x+10}-\dfrac{x}{2}\right)$

7) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{\sqrt{x^2+1}}{x}$

8) $\lim\limits_{x\to-\infty}\dfrac{\sqrt{x^2+1}}{x}$

9) $\lim\limits_{x\to-\infty}\dfrac{\sqrt{9x^6-5x}}{x^3-2x^2+1}$

10) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{\sqrt[3]{x^4+2x^2+6+27x^6}}{\sqrt{3x^3+10x+4x^4}}$

11) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{\sqrt{x+2}-\sqrt{3x-3}}{\sqrt{4x+1}-\sqrt{5x-1}}$

12) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{16^x+4^{x+1}}{2^{4x+2}+2^{x+3}}$

13) $\lim\limits_{x\to-\infty}\dfrac{16^x+4^{x+\frac{1}{2}}}{2^{4x+2}+2^{x+3}}$

14) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{4\cdot 9^x+3^{x+1}}{81^{0.5x}+3^{x+3}}$

15) $\lim\limits_{x\to-\infty}\dfrac{4\cdot 9^x+3^{x+1}}{81^{0.5x}+3^{x+3}}$

16) $\lim\limits_{x\to\infty}\sqrt{\dfrac{4x^2+2}{x^2+1000x}}$

17) $\lim\limits_{x\to\infty}\ln\left(\dfrac{3x^3-5x-1}{x^3-2x^2+1}\right)$

18) $\lim\limits_{x\to\infty}e^{\frac{x^4+2x^2+6}{3x^4+10x}}$

19) $\lim\limits_{x\to-\infty}\sin\left(\dfrac{x^4+2x^2+6}{3x^5+10x}\right)$

20) $\lim\limits_{x\to\infty}\sqrt[5]{\dfrac{ax+1}{bx+2}}$

21) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sqrt{x^2+5x}-x\right)$

22) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sqrt{x^2+kx}-x\right)$

23) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sqrt{x^2+x+1}-x\right)$

24) $\lim\limits_{x\to-\infty}\left(\sqrt{x^2+x+1}+x\right)$

25) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sqrt{x^4+x^2+1}-x^2\right)$

26) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sqrt{x^2+ax}-\sqrt{x^2+bx}\right)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

27) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{(x-4)^{10}(3x^2-1)^4}{x^2(2x-5)^{10}(x^3+1)^2}$

28) $\lim\limits_{x\to\infty}\dfrac{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^5}{1-\left(1-\frac{1}{x}\right)^4}$

29) $\lim\limits_{x\to\infty}\left[\ln\left(5\cdot 2^{x+2}+6\cdot e^{x+1}\right)-x\right]$

## תשובות סופיות

1) $0$ 2) $-\frac{\pi}{2}$ 3) $4$ 4) $-\infty$

5) $0$ 6) $-5$ 7) $1$ 8) $-1$

9) $-3$ 10) $1.5$ 11) $\frac{1-\sqrt{3}}{2-\sqrt{5}}$ 12) $\frac{1}{4}$

13) $0$ 14) $4$ 15) $\frac{1}{9}$ 16) $2$

17) $\ln 3$ 18) $e^{\frac{1}{3}}$ 19) $0$

20) אם $b\neq 0$: $\lim=\sqrt[5]{\frac{a}{b}}$. אם $a>0$, $b=0$: $\infty$. אם $a<0$, $b=0$: $-\infty$.

21) $2.5$ 22) $\frac{k}{2}$ 23) $\frac{1}{2}$ 24) $-\frac{1}{2}$

25) $\frac{1}{2}$ 26) $\frac{a-b}{2}$ 27) $\frac{3^4}{2^{10}}$ 28) $\frac{5}{4}$

29) $\ln(6e)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# הגבול של אוילר

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים (היעזרו בגבול של אוילר : $\lim_{x\to\infty}\left(1+\frac{1}{x}\right)^x=\lim_{x\to 0}(1+x)^{\frac{1}{x}}=e$ ):

1) $\lim_{x\to\infty}\left(1+\frac{1}{2x}\right)^x$

2) $\lim_{x\to\infty}\left(1+\frac{1}{x^2}\right)^x$

3) $\lim_{x\to\infty}\left(\frac{x+2}{x}\right)^x$

4) $\lim_{x\to\infty}\left(1-\frac{1}{x^2}\right)^{x^2-1}$

5) $\lim_{x\to\infty}\left(\frac{2x+3}{2x-3}\right)^x$

6) $\lim_{x\to 0}(1+\sin x)^{\frac{1}{x}}$

7) $\lim_{x\to\infty}\left(\frac{x^2+x+1}{x^2+x+4}\right)^{4x^2}$

8) $\lim_{x\to\infty}\left(\frac{x^2+4x+1}{x^2+x+2}\right)^{10x}$

9) $\lim_{x\to\infty}\left(1+\tan\frac{1}{x}\right)^x$

## תשובות סופיות

1) $e^{\frac{1}{2}}$ 2) $1$ 3) $e^2$ 4) $e^{-1}$ 5) $e^3$

6) $e$ 7) $e^{-12}$ 8) $e^{30}$ 9) $e$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# כלל הסנדוויץ'

## שאלות

חשבו את הגבולות בשאלות **1-10**:

**1)** $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{\sin x}{x}$

**2)** $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{\cos(2x+1)}{x}$

**3)** $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{3x+\sin x}{4x+\cos x}$

**4)** $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{3x^2+x+\sin 2x}{x^2+\cos 3x}$

**5)** $\lim\limits_{x\to 0}x\cdot\sin\left(\frac{1}{x}\right)$

**6)** $\lim\limits_{x\to 0}x^2\cdot\cos\left(\ln x^2\right)$

**7)** $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{3x+\arctan(2x-3)}{4x+\arctan(x-\ln x)}$

**8)** $\lim\limits_{x\to\infty}\sqrt[x]{2^x+3^x+4^x}$

**9)** $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{1}{x}[x]$

**10)** $\lim\limits_{x\to 0^+}\frac{1}{x}[x]$

**11)** נתונה פונקציה $z:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ , המקיימת $\lim\limits_{x\to 2}z(x)=4$,

ונתונה פונקציה $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ , המקיימת $4z(x)\le f(x)\le\left(z(x)\right)^2$ , לכל $x$.

חשבו את הגבולות הבאים:

$$\lim_{x\to\infty}\frac{\cos(z(x))}{x}\ ,\ \lim_{x\to-\sqrt{2}}\left(z\left(x^2\right)-x^2\right)\ ,\ \lim_{x\to 2}\tan(z(x))\ ,\ \lim_{x\to 2}f(x)$$

**12)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sin\sqrt{x+1}-\sin\sqrt{x}\right)$.

**13)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכח: $\lim\limits_{x\to c}f(x)=0 \Leftarrow \lim\limits_{x\to c}|f(x)|=0$.

ב. האם נכונה גם הטענה: $\lim\limits_{x\to c}f(x)=\pm 1 \Leftarrow \lim\limits_{x\to c}|f(x)|=1$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) 0 2) 0 3) $\frac{3}{4}$ 4) 3 5) 0

6) 0 7) $\frac{3}{4}$ 8) 4 9) 1 10) 0

11) $\lim_{x\to 2} f(x)=16$, $\lim_{x\to\infty}\frac{\cos(z(x))}{x}=0$,

$\lim_{x\to 2}\tan(z(x))=\tan 4$, $\lim_{x\to -\sqrt{2}}\left(z\left(x^2\right)-x^2\right)=2$

12) 0

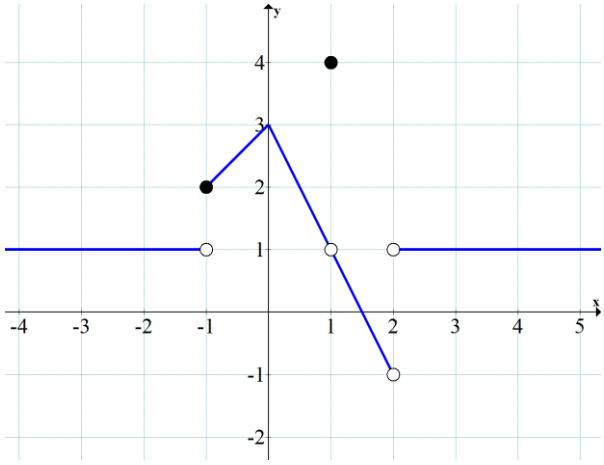
13) א. שאלת הוכחה. ב. לא.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גבול של פונקציה מפוצלת

## שאלות

**1)** להלן גרף של פונקציה:




חשבו את הגבולות הבאים או הוכיחו שהם לא קיימים:

א. $\lim\limits_{x\to -1} f(x)$ 3. $\lim\limits_{x\to 2} f(x)$ 2. $\lim\limits_{x\to 1} f(x)$ 1.

ב. $\lim\limits_{x\to -1}\left(3f-f^2\right)$ 2. $\lim\limits_{x\to 1}\left(3f-f^2\right)$ 1.

ג. $\lim\limits_{x\to 1}\frac{1}{1-f}$ 2. $\lim\limits_{x\to 1}\frac{1}{4-f}$ 1.

**2)** נגדיר פונקציה $f(x)$:

$$f(x)=\begin{cases}1 & x<0\\ 0.5 & x=0\\ 1-x^2 & 0<x<2\\ 1.5x-6 & x\ge 2\end{cases}.$$

א. שרטטו את הפונקציה.

ב. חשבו, אם ניתן, את $\lim\limits_{x\to 2} f(x)$, $\lim\limits_{x\to 0} f(x)$.

ג. חשבו, אם ניתן, את הגבול $\lim\limits_{x\to 2}\left[4\left(f(x)\right)^2+10f(x)\right]$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

3) נגדיר פונקציה $f(x)$ : $f(x)=\begin{cases}1 & x<0\\ 0.5 & x=0\\ \cos x & 0<x<\pi\\ -0.5 & x\ge\pi\end{cases}$.

א. שרטטו את הפונקציה.

ב. חשבו, אם ניתן, את $\lim\limits_{x\to\pi} f(x)$, $\lim\limits_{x\to 0} f(x)$.

ג. חשבו, אם ניתן, את הגבול $\lim\limits_{x\to\pi}\left[2\left(f(x)\right)^2+3f(x)\right]$.

חשבו את הגבול $\lim\limits_{x\to a} f(x)$ של הפונקציות הבאות:

4) $(a=0),\ f(x)=\begin{cases}\dfrac{\sin 4x}{x} & x>0\\ 4+e^{\frac{1}{x}} & x<0\end{cases}$

5) $(a=1),\ f(x)=\begin{cases}\dfrac{x^2+x-2}{x-1} & x>1\\ \dfrac{x-1}{\sqrt{x}-1} & x<1\end{cases}$

6) $(a=0),\ f(x)=\dfrac{|x|}{x}$

7) $(a=\infty),\ f(x)=\dfrac{|x|}{x}$

8) $(a=-\infty),\ f(x)=\dfrac{|x|}{x}$

9) א. $\lim\limits_{x\to 1}\dfrac{|1-x|}{x^2+x-2}$

ב. $\lim\limits_{x\to 4}\dfrac{|1-x|}{x^2+x-2}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) א. $1.\lim_{x\to1} f(x)=1$ , $2.\ \lim_{x\to2} f(x)=\nexists$ , $3.\ \lim_{x\to-1} f(x)=\nexists$

ב. $1.\ \lim_{x\to1}\left(3f-f^2\right)=2$ , $2.\ \lim_{x\to-1}\left(3f-f^2\right)=2$

ג. $1.\ \lim_{x\to1}\frac{1}{4-f(x)}=\frac{1}{3}$ , $2.\ \lim_{x\to1}\frac{1}{1-f(x)}=\nexists$

2) א. ראו בסרטון. ב. $\lim_{x\to0} f(x)=1,\ \lim_{x\to2} f(x)=-3$ ג. $6$

3) א. ראו בסרטון. ב. $\lim_{x\to0} f(x)=1,\ \nexists\lim_{x\to\pi} f(x)$ ג. $-1$

4) $4$

5) $\phi$

6) $\phi$

7) $1$

8) $-1$

9) א. אין גבול. ב. $\frac{1}{6}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גבול לפי הגדרה

## שאלות

בשאלות **1-6**, **על פי הגדרת הגבול**, הוכיחו:

**1)** $\lim_{x\to 2} 7x+14=28$

**2)** $\lim_{x\to 4} x^2+x=20$

**3)** $\lim_{x\to 24} \sqrt{x+1}=5$

**4)** $\lim_{x\to 4} \frac{1}{\sqrt{x}+2}=\frac{1}{4}$

**5)** $\lim_{x\to 2} \frac{x^2-x}{x^2-2}=1$

**6)** $\lim_{x\to \alpha} \sin x=\sin\alpha$

**7)** חשבו, **על פי הגדרת הגבול**: $\lim_{x\to 1} \frac{x+1}{x^2-1}$.

הוכיחו **על פי הגדרת הגבול** את מקרים **8-11**:

**8)** $\lim_{x\to 2} \frac{3+x}{x^2+1}=1$

**9)** $\lim_{x\to \infty} \frac{x+7}{x+2}=1$

**10)** $\lim_{x\to \infty} \frac{3-4x}{2x+1}=-2$

**11)** $\lim_{x\to \infty} \frac{3x^2-1}{x^2+x+1}=3$

**12)** נתונה פונקציה $f(x)$ המקיימת: $\lim_{x\to \infty} f(x)=-5$.
הוכיחו כי קיים $M>0$ ממשי כלשהו, כך שעבור כל $x>M$ מתקיים $f(x)<-4$.

**13)** נתונה פונקציה $f(x)$ המקיימת: $\lim_{x\to \infty} f(x)=5$.
הוכיחו כי קיים $M>0$ ממשי כלשהו, כך שעבור כל $x>M$ מתקיים $f^2(x)>16$.

**14)** נניח $f$ פונקציה ממשית וחיובית בתחום $[a,\infty)$ המקיימת $\lim_{x\to \infty} f(x)=0$.
הוכיחו שמתקיים $\lim_{x\to \infty} \sqrt{f(x)}=0$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**15)** נתון הגבול $\lim_{x\to\infty}\frac{x^2+2x}{x^2+3x+2}=1$.

מצאו ערך של $M>0$, עבורו לכל $x>M$ הביטוי שבגבול קרוב לערך הגבול עד כדי 0.1 (במילים אחרות, מצאו $M$, כך ש-$\left|f(x)-L\right|<0.1$ : $\forall x>M$).

**16)** נגדיר את הפונקציה $f(x)=\begin{cases}2 & x\in\mathbb{Z}\\ -1 & x\in\mathbb{R}/\mathbb{Z}\end{cases}$.

האם הגבולות קיימים? הוכיחו זאת בהסתמך על הגדרת הגבול.

א. $\lim_{x\to\infty}f(x)$ ב. $\lim_{x\to 2.5}f(x)$ ג. $\lim_{x\to\pi}f(x)$

**17)** בהינתן הגבול $\lim_{x\to 1}\frac{2x+4}{x+11}=\frac{1}{2}$, מצאו $\delta>0$, כך שלכל $x\in\mathbb{R}$ המקיים $|x-1|<\delta$, אי-השוויון $\left|\frac{2x+4}{x+11}-\frac{1}{2}\right|<\frac{1}{100}$ מתקיים.

**18)** הוכיחו או הפריכו:

א. אם $\lim_{x\to\infty}\left(f(x)-g(x)\right)=0$, אז $\lim_{x\to\infty}\left(f^2(x)-g^2(x)\right)=0$.

ב. אם $\lim_{x\to x_0}\left(f(x)-g(x)\right)=0$, אז $\lim_{x\to x_0}\left(f^2(x)-g^2(x)\right)=0$.

ג. אם $\lim_{x\to x_0}\left|f(x)\right|=L$, אז: הגבול $\lim_{x\to x_0}f(x)$ קיים ושווה ל-$L$ או $-L$.

ד. אם הגבולות $\lim_{x\to x_0}\left(f(x)+g(x)\right)$ ו-$\lim_{x\to x_0}f(x)$ קיימים, אז גם הגבול $\lim_{x\to x_0}g(x)$ קיים.

**19)** יש להוכיח כי $\lim_{x\to 2}\frac{x+2}{x+3}\neq 1$ לפי ההגדרה.

**20)** יש להוכיח כי $\lim_{x\to 4}\frac{2x+1}{x+10}\neq 1$ לפי ההגדרה.

**21)** הוכיחו שאם $\lim_{x\to 0}f(x)=3$, אז קיימת סביבה נקובה של 0 שבה $f(x)>2$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**22)** הוכיחו שאם $\lim_{x\to x_0} f(x) > L$ , אז קיימת סביבה נקובה של $x_0$ שבה $f(x) > L$ .

**23)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו: $\lim_{x\to c} f(x) = 0 \Leftrightarrow \lim_{x\to c} |f(x)| = 0$ .

ב. האם נכונה גם הטענה: $\lim_{x\to c} f(x) = k \Leftrightarrow \lim_{x\to c} |f(x)| = |k|$ $(k \neq 0)$ .

## תשובות סופיות

**7)** $\pm\infty$

תשובות לשאר השאלות נמצאות באתר: GOOL.co.il


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 5 - רציפות של פונקציה - משפט ערך הביניים

### תוכן העניינים


1. רציפות של פונקציה ..... 72
2. משפט ערך הביניים ..... 79
3. תכונות נוספות של פונקציות רציפות ..... 83
4. שיטת החצייה ..... 86

# 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:

**1)** $f(x)=\begin{cases} x+1 & x\le 2 \\ 5-x & x>2 \end{cases}$

**2)** $f(x)=\begin{cases} x & x\ge 1 \\ x^2 & x<1 \end{cases}$

**3)** $f(x)=\begin{cases} \frac{1}{x} & x\le 1 \\ |x-2| & 1<x<2 \\ 1 & x=2 \\ x-2 & x>2 \end{cases}$

**4)** $f(x)=\begin{cases} \sin x & x<0 \\ x^2 & 0\le x<1 \\ 2-x & 1\le x<2 \\ x-3 & x\ge 2 \end{cases}$

**5)** $f(x)=\begin{cases} \frac{\sin 4x}{x} & x>0 \\ 4+e^{\frac{1}{x}} & x<0 \end{cases}$

**6)** $f(x)=\begin{cases} \frac{\sin x}{x} & x>0 \\ 2 & x=0 \\ 1+e^{\frac{1}{x}} & x<0 \end{cases}$

**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 $x$?

**8)** $f(x)=\begin{cases} kx^2+x-2 & x\le 2 \\ 5kx-6 & x>2 \end{cases}$

**9)** $f(x)=\begin{cases} \frac{x^2+2x-3}{x-1} & x\ne 1 \\ k & x=1 \end{cases}$

**10)** $f(x)=\begin{cases} \frac{\sqrt{x^2+5}-3}{x-2} & x\ne 2 \\ k & x=2 \end{cases}$

**11)** $f(x)=\begin{cases} 2x-k & x\le 0 \\ x^{2x} & x>0 \end{cases}$

הערה: שאלה **11** ניתן לפתור רק בעזרת 'כלל לופיטל'.

[1] נקודת תפר היא הנקודה בה נוסחת הפונקציה משתנה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

בשאלות **12-15** : מה צריכים להיות הערכים של הקבועים $a$ ו- $b$, על מנת שהפונקציות תהיינה רציפות בתחום הגדרתן?

**12)** $$f(x)=\begin{cases} ax+b & x\le 0 \\ \dfrac{\sin x}{2x} & 0<x<\pi \\ a\cos x & x\ge \pi \end{cases}$$

**13)** $$f(x)=\begin{cases} a\sqrt[3]{x}+x^2 & x<-1 \\ bx^2+x-1 & -1\le x\le 1 \\ 4\dfrac{\sqrt{x-1+a}-\sqrt{a}}{\sqrt{a}(x-1)} & x>1 \end{cases}$$

**14)** $$f(x)=\begin{cases} x^{\frac{1}{1-x}} & x>1 \\ (x-1)\ln(x+1)+b & 0\le x\le 1 \\ a\dfrac{2^{\frac{1}{x}}-2}{2^{\frac{1}{x}}+4} & x<0 \end{cases}$$

**15)** $$f(x)=\begin{cases} \dfrac{1}{1+e^{\frac{1}{1-x}}} & x<1 \\ ax^2+b & 1\le x\le 2 \\ (x-1)^{\frac{1}{x-2}} & x>2 \end{cases}$$

**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)** תהי $f(x)=\begin{cases}|x|-1 & |x+1|\ge 4\\ 2 & |x+1|<4\end{cases}$.

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 $(0,1)$.
תהי $g$ הפונקציה המוגדרת בקטע $(0,2)$, על ידי $g(x)=\begin{cases}f(x) & 0<x<1\\ x^2 & 1\le x<2\end{cases}$.

א. האם יתכן שהנקודה $x_0=1$ היא נקודת אי-רציפות סליקה של $g$? נמקו.

ב. האם $g$ חסומה בקטע $(0,2)$? נמקו.

**20)** תהי $f:\mathbb{R}\to(0,\infty)$ 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 $f:\mathbb{R}\to(0,\infty)$ פונקציה שמקיימת $f(x+y)=\left[f(x)f(y)\right]^2$, לכל $x,y\in\mathbb{R}$.
נניח ש- $f$ רציפה ב- $x=0$.
הוכיחו ש- $f$ רציפה לכל $x$.

**22)** 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 $x$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**23)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)|\le x$ לכל $x$.

הוכיחו שהפונקציה רציפה ב- $x=0$.

ב. פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)|\le \sin x$ לכל $x$.

הוכיחו שהפונקציה רציפה באינסוף נקודות שונות.

**24)** הפונקציה $f(x)$ רציפה לכל $x$.

ידוע כי עבור $x\neq\pm1$, $f(x)$ נתונה על ידי הנוסחה $f(x)=\dfrac{\sin(\pi x)}{1-|x|}$.

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 $\lim\limits_{x\to0}\left[f(x)(1-f(x))\right]=0$.

א. הוכיחו או הפריכו: $\lim\limits_{x\to0}f(x)=0$ או $\lim\limits_{x\to0}f(x)=1$.

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 $x$, אזי $f$ רציפה לכל $x$.

ג. אם לכל $x_0$ מתקיים $\lim\limits_{x\to x_0}f(x)=4$, אזי $f(x)=4$ לכל $x$.

כיצד תשתנה תשובתך, אם ידוע בנוסף כי $f$ רציפה לכל $x$?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**28)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו כי לכל $x, y \in \mathbb{R}$:

1. $\min\{x, y\} = \frac{1}{2}[(x+y) - |x-y|]$
2. $Max\{x, y\} = \frac{1}{2}[(x+y) + |x-y|]$

ב. הוכיחו כי אם $f, g$ רציפות ב- $\mathbb{R}$ אז גם הפונקציות הבאות רציפות ב- $\mathbb{R}$:

1. $z_1(x) = \min\{f(x), g(x)\}$
2. $z_2(x) = Max\{f(x), g(x)\}$

## 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) $a=1$ , $b=2$ או $a=2$ , $b=1$ .

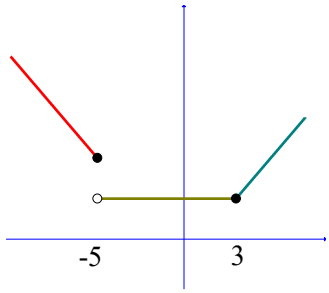
14) $a=-2e^{-1}$ , $b=e^{-1}$

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.

**24)** $$f(x)=\begin{cases}-\pi & x=-1\\ \dfrac{\sin(\pi x)}{1-|x|} & x\neq\pm1\\ \pi & x=1\end{cases}$$

**25)** שאלת הוכחה.

**26)** שאלת הוכחה.

**27)** שאלת הוכחה.

**28)** שאלת הוכחה.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפט ערך הביניים

## שאלות

בשאלות **1-4** הוכיחו שלמשוואה יש לפחות פתרון אחד:

**1)** $x^3+4x-1=0$

**2)** $x^2=-\ln x$

**3)** $x-0.25\sin x=7$

**4)** $x^3+bx^2+cx+d=0$

בשאלות **5-6** הוכיחו שלמשוואה יש לפחות שני פתרונות:

**5)** $e^x-5x=0$

**6)** $4x^3+5x-\frac{1}{x}=0$

**7)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. תהי $f$ פונקציה רציפה לכל $x$, המקיימת: $f(1)=2$, $f(0)=1$.
הוכיחו שלמשוואה $f(x)+\sin x=4x$ יש לפחות פתרון אחד.

ב. תהי $f:\mathbb{R}\to[-4,4]$ 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)** נגדיר $f(x)=x^2+\frac{1}{x-1}$.

א. חשבו את $f(2)$, $f(0)$.

ב. האם ניתן להסיק לפי משפט ערך הביניים שלמשוואה $x^2+\frac{1}{x-1}=0$
יש פתרון בקטע $(0,2)$?


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 שֶׁבֶת**" של הפונקציה.

**12)** נתונה פונקציה רציפה $f:[0,1]\to[0,1]$.
הוכיחו כי קיימת נקודה $c\in[0,1]$ כך ש-$f(c)=c^{1.5}$.

**13)** נתונה פונקציה רציפה $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ 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 $f:[0,2]\to\mathbb{R}$ 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 $f:[0,8]\to\mathbb{R}$ 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 $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה ומחזורית עם מחזור $2\pi$.
הוכיחו שקיים $x_0\in\mathbb{R}$ כך ש-$f(x_0+\pi)=f(x_0)$.

**19)** יהיו $0\le a_1,\dots,a_n\le 1$ 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 $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה חח"ע ורציפה.
הוכיחו כי $f$ עולה ממש או יורדת ממש.

ב. תהי $f:\mathbb{R}\to[0,\infty)$ פונקציה חח"ע ועל.
הוכיחו כי $f$ לא רציפה ב- $\mathbb{R}$.

**21)** תהי $f:\mathbb{R}\to[-1,1]$ פונקציה רציפה.
הוכיחו כי קיימים אינסוף ערכים של $x$, שעבורם $f(x)=\sin x$.

**22)** יהי $P$ פולינום ממעלה **זוגית**, מהצורה $P(x)=x^n+a_{n-1}x^{n-1}+\ldots+a_0$,
ונניח כי $a_0<0$.
הוכיחו כי ל- $P$ ישנם לפחות שני שורשים ממשיים, שונים זה מזה.

**23)** יהיו $f,g$ פונקציות רציפות המקיימות:
$\lim\limits_{x\to\infty} f(x)=k,\ \lim\limits_{x\to-\infty} f(x)=-k,\ \lim\limits_{x\to\infty} g(x)=-k,\ \lim\limits_{x\to-\infty} g(x)=k$, כאשר $0<k\in\mathbb{R}$.
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 $x_1,\ldots,x_n$ (כאשר $n>1$)
נקודות כלשהן ב- $(a,b)$.
הוכיחו שקיימת נקודה $c$ בקטע $(a,b)$, כך ש-
$f(c)=\frac{1}{n}\left(f(x_1)+\ldots+f(x_n)\right)$.

ב. תהי $f$ פונקציה רציפה בקטע $(a,b)$.
האם לכל $c\in(a,b)$, ניתן למצוא נקודות $x_1,\ldots,x_n$, שונות זו מזו,
כאשר $n>1$, כך ש- $f(c)=\frac{1}{n}\left(f(x_1)+\ldots+f(x_n)\right)$?
הוכיחו זאת.

**25)** תהי $f$ פונקציה רציפה בקטע פתוח $(a,b)$.
נניח כי: $\lim\limits_{x\to b^-} f(x)=\infty$, $\lim\limits_{x\to a^+} f(x)=-\infty$.
הראו כי תמונת הקטע $(a,b)$ היא $\mathbb{R}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**26)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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 $\alpha$.

ג. הוכיחו כי $\alpha\in(0,1]$.

ד. הוכיחו כי $f(\alpha)=0$.

**27)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ 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 $0\le r\le 1$.
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)** $[0.1,1]$

**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 $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה, המקיימת $f(x)>0$, לכל $x\in[a,b]$.
הוכיחו שקיים $\alpha>0$, כך ש- $f(x)\ge\alpha$, לכל $x\in[a,b]$.

**3)** תהי $f:[0,\infty)\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה, ונניח כי $\lim\limits_{x\to\infty}f(x)$ קיים.
הוכיחו ש- $f$ חסומה.

**4)** יהיו $f,g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציות רציפות. נתון שלכל שתי נקודות $x_1,x_2$,
המקיימות $x_1<x_2$, קיימת נקודה $x_1<x_3<x_2$, שעבורה $f(x_3)=g(x_3)$.
הוכיחו כי $f(x)=g(x)$, לכל $x$.

**5)** תהי $f:[0,1]\to(0,1)$ פונקציה על.
הוכיחו ש- $f$ לא רציפה ב- $[0,1]$.

**6)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה, שמקיימת $f(x)=f(x^2)$, לכל $x\in\mathbb{R}$.
הוכיחו ש- $f$ פונקציה קבועה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**7)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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** :
$|f(x_1)-f(x_2)|\le K|x_1-x_2|$
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- $f(x)\ge f(x_0)$ , 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 דִירִיכְלֶה.

**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 $f(x)>0$ .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**14)** יהיו $f,g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציות רציפות המקיימות $f(a)\neq g(a)$ ,
עבור $a$ ממשי מסוים.
הראו שקיימת סביבה של $a$ , שבה $f(x)\neq g(x)$ .

<u>הערה</u>
תרגיל זה מכיל בתוכו גם את הטענה הבאה:
תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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 $g(x)$ ,
המוגדרת על ידי $g(x)=\begin{cases}-c & f(x)<-c\\ f(x) & |f(x)|\le c\\ c & f(x)>c\end{cases}$ , גם רציפה בנקודה $a$
(כאשר $c$ מספר חיובי כלשהו).

**16)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases}\dfrac{1-x}{x} & x\ge 1\\ e^{-x}-e^{-1} & x<1\end{cases}$ .
בדקו האם $f$ הפיכה בתחום הגדרתה. אם כן, מצאו את $f^{-1}(x)$ .

**17)** הוכיחו כי אם $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ רציפה ו- $f(x)>0$ לכל $x\in[a,b]$ אז יש $c>0$ כך ש-
$f(x)>c$ לכל $x\in[a,b]$ .

**18)** הוכיחו כי אם $f,g$ רציפות ב- $\mathbb{R}$ אז גם הפונקציה $z(x)=\min\{f(x),g(x)\}$ רציפה ב- $\mathbb{R}$ .
הערה: יש להוכיח לפי ההגדרה (בלשון $\varepsilon,\delta$).
השוו לשאלה 28 בנושא הראשון בפרק זה.

## תשובות סופיות

**16)** $f^{-1}(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{x+1} & -1<x\le 0\\ -\ln\left(x+e^{-1}\right) & x>0\end{cases}$

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. $x=1.520$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 6 - הגדרת הנגזרת - גזירות של פונקציה - נגזרות חד-צדדיות

תוכן העניינים

1. הגדרת הנגזרת וגזירות של פונקציה..... 87
2. נגזרות חד צדדיות..... 95

# 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)** $f(x)=x^2+4x+1$ **2)** $f(x)=\frac{1}{x+1}$ **3)** $f(x)=\sin 4x$

**4)** $f(x)=e^x$ **5)** $f(x)=\ln x$ **6)** $f(x)=\sqrt{x+10}$

**7)** חשבו את $f'(0)$, אם נתון כי $f(x)=x(x-1)(x-2)(x-3)\cdots(x-44)$.

**8)** חשבו את $f'(0)$, אם נתון כי $f(x)=2x(|x|+1)\sqrt{1+x+x^2}$.

**9)** חשבו את $f'(0)$, אם נתון כי $f(x)=x\cdot z(x)$ כאשר $\lim_{x\to 0} z(x)=4$, $z(0)=1$.

**10)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\begin{cases}\sqrt[3]{x-1} & x>0\\ -(x+1)^2 & x\le 0\end{cases}$.

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)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\begin{cases}x^n\sin\frac{1}{x} & x\neq 0\\ 0 & x=0\end{cases}$ ($n$ 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**12)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\begin{cases} x^n \arctan\frac{1}{x} & x\neq 0 \\ 0 & x=0 \end{cases}$ ($n$ 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:

א. $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\ln(4+x)-\ln 4}{x}$

ב. $\lim\limits_{x\to 0}\frac{e^{1+x}-e}{x}$

**14)** נתון כי $f$ גזירה בנקודה $x_0$. הוכח כי:

א. $f'(x_0)=\lim\limits_{x\to x_0}\frac{f(x)-f(x_0)}{x-x_0}$

ב. $2x_0 f(x_0)-x_0^2 f'(x_0)=\lim\limits_{x\to x_0}\frac{x^2 f(x_0)-x_0^2 f(x)}{x-x_0}$

**15)** נתון כי $f$ גזירה וזוגית. הוכיחו כי $f'$ אי זוגית.

**16)** נתונה פונקציה המוגדרת ב-$[a,b]$ ומקיימת לכל $x,y$ ב-$[a,b]$:

$|f(x)-f(y)|\le|x-y|^2$.

הוכיחו כי $f$ גזירה ב-$[a,b]$ וחשבו את נגזרתה.

**17)** 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)** 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)** נתונה הפונקציה $f(x)=\left|\sin^5 x\right|$.

א. חשבו את $f'(x)$.

ב. מצאו את כל הנקודות עבורן $f'(x)=0$.

---

* בפרק זה חל איסור להשתמש בכלל לופיטל.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $\lim\limits_{n\to\infty} n\left[f\left(x+\frac{1}{n}\right)-f(x)\right]=f'(x)$.

ב. אם הגבול $\lim\limits_{n\to\infty} n\left[f\left(x+\frac{1}{n}\right)-f(x)\right]$ קיים וסופי, אז $f$ גזירה.

**22)** הוכיחו או הפריכו:

א. אם $f$ גזירה ב- $(a,b)$ ו- $\lim\limits_{x\to a^+} f(x)=\infty$, אז $\lim\limits_{x\to a^+} f'(x)=\infty$.

ב. אם $f$ גזירה ב- $(a,b)$ ו- $\lim\limits_{x\to a^+} f'(x)=\infty$, אז $\lim\limits_{x\to a^+} f(x)=\infty$.

**23)** נתון כי $f(x)$ רציפה ב- $x=4$, ומקיימת $\lim\limits_{x\to 4}\frac{f(x)-\pi-10(x-4)}{x-4}=0$.

הוכיחו ש- $f$ גזירה ב- $x=4$, וחשבו את $f'(4)$.

**24)** תהי $f$ פונקציה רציפה בסביבת הנקודה $x=0$ המקיימת $\lim\limits_{x\to 0}\frac{f(x)}{x}=0$.

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 $\lim\limits_{x\to\infty} x\,f\left(\frac{1}{x}\right)=k$.

**26)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**27)** תהיינה $f,g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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 $f:(0,\infty)\to\mathbb{R}$ 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 $f'(x_0)=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{f(x_0+a_n)-f(x_0)}{a_n}$
לכל סדרה $a_n\to 0$.

ב. תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה בנקודה $x_0=1$, ו- $f(1)=1$.
הראו שאם $k\in\mathbb{N}$, אז
$\lim\limits_{n\to\infty} n\left[\left(f(1+\frac{1}{n})+f(1+\frac{2}{n})+\ldots+f(1+\frac{k}{n})\right)-k\right]=\frac{k(k+1)}{2}f'(1)$.

ג. חשבו את הגבול $\lim\limits_{n\to\infty} n\left[e^{\frac{1}{n}}+e^{\frac{2}{n}}+\ldots+e^{\frac{10}{n}}-10\right]$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $f(x)=(x-1)^2D(x)$ גזירה **רק** בנקודה $x=1$.

**33)** פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)|\le x^2$ לכל $x$.
הוכיחו שהפונקציה גזירה ב- $x=0$.

**34)** פונקציה $f(x)$ מקיימת $|f(x)|\le \sin^2 x$ לכל $x$.
הוכיחו שהפונקציה גזירה באינסוף נקודות שונות.

**35)** תהי $f$ פונקציה גזירה ב- $x_0$.

א. הוכיחו כי $f'(x_0)=\lim\limits_{h\to 0}\dfrac{f(x_0+h)-f(x_0-h)}{2h}$.

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 $\lim\limits_{h\to 0}\dfrac{f(x_0-2h)-f(x_0+3h)}{h}$.

**36)** תהי $f$ פונקציה גזירה פעמיים ב- $x_0$.

א. הוכיחו כי $f''(x_0)=\lim\limits_{h\to 0}\dfrac{f(x_0+h)-2f(x_0)+f(x_0-h)}{h^2}$.

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- $x=a$.

**38)** נניח ש- $f$ גזירה ב- $c$ ו- $f(c)=0$.
הוכיחו:

א. אם $f'(c)=0$ אז $|f(x)|$ גזירה ב- $c$.

ב. אם $|f(x)|$ גזירה ב- $c$ אז $f'(c)=0$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**39)** יהיו $f,g$ פונקציות גזירות ב- $c$ וניח כי $f(c)=g(c)$ .

א. הוכיחו כי $|f(x)-g(x)|$ גזירה ב- $c$ אם ורק אם $f'(c)=g'(c)$ .

ב. הוכיחו כי $z_1(x)=\min\{f(x),g(x)\}$ גזירה ב- $c$ אם ורק אם $f'(c)=g'(c)$ .

ג. הוכיחו כי $z_2(x)=Max\{f(x),g(x)\}$ גזירה ב- $c$ אם ורק אם $f'(c)=g'(c)$ .

**40)** נניח ש- $|f(x)|$ גזירה ב- $c$ ו- $f$ רציפה ב- $c$ .

הוכיחו כי $f$ גזירה ב- $c$ .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $f'(x)=2x+4$ 2) $f(x)=-\frac{1}{(x+1)^2}$ 3) $f'(x)=4\cos 4x$

4) $f'(x)=e^x$ 5) $f(x)=\frac{1}{x}$ 6) $f(x)=\frac{1}{2\sqrt{x+10}}$

7) $44!$ 8) 2 9) 4

10) א. רציפה לכל $x$. ב. לא גזירה בנקודה $x=1$. קיים משיק אנכי בנקודה.

11) א. $n>1$ ב. $n>2$

12) א. $n>1$ ב. $n>1$

13) א. $\frac{1}{4}$ 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) א. $f'(x)=\begin{cases}5\sin^4 x\cos x & 2n\pi<x<(2n+1)\pi\\ 0 & x=n\pi\\ -5\sin^4 x\cos x & (2n+1)\pi<x<(2n+2)\pi\end{cases}$ 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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

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.

38) שאלת הוכחה.

39) שאלת הוכחה.

40) שאלת הוכחה.

לפתרונות מלאים בווידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# נגזרות חד-צדדיות

## שאלות

**1)** תארו שתי דרכים שונות לבדיקת גזירות של פונקציה מפוצלת בנקודות התפר שלה (נקודה שבה מתחלפת נוסחת הפונקציה).

השתמשו בפונקציה $f(x)=\begin{cases} x^2+8x & x\ge 2 \\ x^3+12 & x<2 \end{cases}$ 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.

**2)** $f(x)=\begin{cases} x^2-4x & x\ge 2 \\ x^3-14 & x<2 \end{cases}$

**3)** $f(x)=\begin{cases} x^2-5x & x\ge 2 \\ x^3-14 & x<2 \end{cases}$

**4)** $f(x)=\begin{cases} x^2+8x & x\ge 2 \\ x^3+12 & x<2 \end{cases}$

**5)** $f(x)=\begin{cases} \ln(1+2x) & -0.5<x<0 \\ x^2+2x & x\ge 0 \end{cases}$

**6)** $f(x)=2+4|x-1|$

**7)** $f(x)=3x^2+x|x|+1$

**8)** $f(x)=\begin{cases} x\sin\frac{1}{x} & x>0 \\ 0 & x\le 0 \end{cases}$

**9)** $f(x)=\begin{cases} x^2\sin\frac{1}{x} & x>0 \\ 0 & x\le 0 \end{cases}$

**10)** בדקו האם הפונקציה משאלה **5** גזירה פעמיים בנקודה $x=0$.

**11)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases} \sqrt[3]{x+1} & x\ge -1 \\ \frac{1}{x}+a & x<-1 \end{cases}$.

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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**12)** מצאו עבור אלו ערכים של הקבועים $a$ ו- $b$ הפונקציה הבאה גזירה בנקודת התפר: $f(x)=\begin{cases}\ln^3 x & 0<x\le e\\ ax+b & x>e\end{cases}$.
עבור ערכים אלו, רשמו נוסחה עבור הנגזרת.

**13)** מצאו עבור אלו ערכים של הקבועים $a$ ו- $b$ הפונקציה הבאה גזירה בנקודת התפר: $f(x)=\begin{cases}e^x & 0<x\le 1\\ ax+b & x>1\end{cases}$.
עבור ערכים אלו, רשמו נוסחה עבור הנגזרת.

**14)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\begin{cases}x^2\sin\frac{1}{x}+4x & x<0\\ px+q & x\ge 0\end{cases}$.
קבעו עבור אילו ערכים של הקבועים $p$ ו- $q$ הפונקציה הנתונה:
א. רציפה. ב. גזירה.

**15)** חשבו את $f'(0)$, עבור הפונקציה: $f(x)=\left|x^4-x^3+\sin(10x)-1\right|$.

**16)** 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 $f'(x)$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**20)** הוכיחו שאם $f$ היא פונקציה המקיימת $|f(x)| \le x^2$ 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 $z(x)=\begin{cases} f(x) & x \le x_0 \\ g(x) & x \ge x_0 \end{cases}$, גזירה ב-$x_0$.

ב. אם $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ לא גזירה ב-$x_0$ ו-$g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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 $x>y$
מתקיים $\dfrac{f(x)-f(y)}{x-y}=g\left(\dfrac{x+y}{2}\right)$.
הוכיחו כי $f$ גזירה ב-$\mathbb{R}$, ושלכל $x$ ממשי מתקיים $f'(x)=g(x)$.

**24)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases} \dfrac{1-x}{x} & x\ge 1 \\ \dfrac{\pi}{4}-\arctan x & x<1 \end{cases}$.

א. בדקו את רציפות וגזירות $f$.

ב. בדקו האם $f$ הפיכה בתחום הגדרתה. אם כן, מצאו את $f^{-1}(x)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $f'(x)=\begin{cases}2x+8 & x\ge 2\\ 3x^2 & x<2\end{cases}$

2) $f'(x)=\begin{cases}2x-4 & x>2\\ 3x^2 & x<2\end{cases}$

3) $f'(x)=\begin{cases}2x-5 & x>2\\ 3x^2 & x<2\end{cases}$

4) $f'(x)=\begin{cases}2x+8 & x\ge 2\\ 3x^2 & x<2\end{cases}$

5) $f'(x)=\begin{cases}\dfrac{2}{1+2x} & -0.5<x<0\\ 2x+2 & x\ge 0\end{cases}$

6) $f'(x)=4\ (x>1)\quad,\quad f'(x)=-4\ (x<1)$

7) $f'(x)=8x\ (x\ge 0)\quad,\quad f'(x)=4x\ (x<0)$

8) $f(x)=\begin{cases}\sin\frac{1}{x}-\frac{1}{x}\cos\frac{1}{x} & x>0\\ 0 & x<0\end{cases}$

9) $f(x)=\begin{cases}2x\sin\frac{1}{x}-\cos\frac{1}{x} & x>0\\ 0 & x\le 0\end{cases}$

10) לא גזירה פעמיים בנקודה $x=0$.

11) א. $a=1$ ב. לא גזירה. לא קיים משיק.

12) $a=3/e\quad b=-2$ $f'(x)=\begin{cases}\frac{3}{x}\ln^2 x & 0<x<e\\ \frac{3}{e} & x\ge e\end{cases}$

13) $a=e\quad b=0$ $f'(x)=\begin{cases}e^x & 0<x<1\\ e & x\ge 1\end{cases}$

14) א. $q=0$ ב. $q=0,\ p=4$

15) $-10$

16) שאלת הוכחה.

17) $f'(x)=\begin{cases}0 & x\notin\mathbb{Z}\\ \text{undefined} & x\in\mathbb{Z}\end{cases}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**18)** $f'(x)=\begin{cases}[x]\cos(\pi x)\pi & x\notin\mathbb{Z}\\ \text{undefined} & x\in\mathbb{Z}\end{cases}$

**19)** $f'(x)=\begin{cases}[x]\sin\pi x & x\notin\mathbb{Z}\\ 0 & x\in\mathbb{Z},\ x\text{ even}\\ \text{undefined} & x\in\mathbb{Z},\ x\text{ odd}\end{cases}$

לפתרונות מלאים בווידאו של שאלות **20-23** היכנסו לאתר www.GooL.co.il

**24)** א. רציפה לכל $x$ וגזירה לכל $x\neq 1$.  ב. $f^{-1}(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{x+1} & -1<x\le 0\\ \tan\left(\dfrac{\pi}{4}-x\right) & 0<x<\dfrac{3\pi}{4}\end{cases}$

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 7 - חישוב נגזרת של פונקציה

### תוכן העניינים


1. כללי הגזירה ..... (ללא ספר)
2. תרגול בכללי הגזירה ..... 100
3. תרגילים נוספים לפי סוגים ..... 104
4. גזירה סתומה ..... 107
5. כלל השרשרת ..... 109
6. גזירה לוגריתמית ..... 112

# תרגול בכללי הגזירה

## שאלות

גזרו פעמיים את הפונקציות הבאות (בשאלות **27-35** מצאו רק את הנגזרת הראשונה):

**1)** $f(x)=\frac{x^2+2x+4}{2x}$

**2)** $f(x)=\frac{x^2-5x+6}{2x+10}$

**3)** $f(x)=\frac{2x^2}{(x+1)^2}$

**4)** $f(x)=\frac{x^3}{x^2-4}$

**5)** $f(x)=\frac{x^3}{(x+1)^2}$

**6)** $f(x)=\left(\frac{x+1}{x-1}\right)^3$

**7)** $f(x)=\frac{\ln x}{x}$

**8)** $f(x)=\frac{\ln x}{\sqrt{x}}$

**9)** $f(x)=x\cdot\ln x$

**10)** $f(x)=x^2\cdot\ln x$

**11)** $f(x)=\ln\sqrt{\frac{1}{2-x}}$

**12)** $f(x)=\ln^2 x+2\ln x-32$

**13)** $f(x)=\ln^2 x+\frac{1}{\ln^2 x}$

**14)** $f(x)=e^{\frac{1}{x}}$

**15)** $f(x)=(x+2)\cdot e^{\frac{1}{x}}$

**16)** $f(x)=x\cdot e^{-2x^2}$

**17)** $f(x)=\sqrt[3]{x^2}$

**18)** $f(x)=\sqrt[3]{x^2-1}$

**19)** $f(x)=\sqrt[3]{x^2}(1-x)$

**20)** $f(x)=\sin(x^3)$

**21)** $f(x)=\cos(x^4)$

**22)** $f(x)=\sin^3 x$

**23)** $f(x)=\tan(x^2)$

**24)** $f(x)=\ln(\cos x^2)$

**25)** $f(x)=\arcsin(2x+3)$

**26)** $f(x)=\arctan(x^2)$

**27)** $f(x)=(x+1)^{\sin x}$

**28)** $f(x)=(\sin x)^x$

**29)** $f(x)=(\cos x)^{\ln x}$

**30)** $y=x^{\ln x}$

**31)** $y=\sqrt[x]{x}$

**32)** $y=x^{\sqrt{x}}$

**33)** $y=\left(\sqrt{x}+\frac{1}{x}\right)^{\sqrt{x}}$

**34)** $y=(x^2+1)^x$

**35)** $y=(x+1)^{(x+1)}$

**הערה:** בשאלות **28** ו-**29** נציג שתי דרכי פתרון. מומלץ לצפות בשתיהן.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $f'(x)=\frac{2x^2-8}{4x^2},\quad f''(x)=\frac{4}{x^3}$

2) $f'(x)=\frac{2x^2+20x-62}{(2x+10)^2},\quad f''(x)=\frac{448}{(2x+10)^3}$

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

4) $f'(x)=\frac{x^2(x^2-12)}{(x^2-4)^2},\quad f''(x)=\frac{4x\cdot(2x^2+24)}{(x^2-4)^3}$

5) $f'(x)=\frac{x^2(x+3)}{(x+1)^3},\quad f''(x)=\frac{6x}{(x+1)^4}$

6) $f'(x)=-\frac{6(x+1)^2}{(x-1)^4},\quad f''(x)=12\frac{(x+1)(x+3)}{(x-1)^5}$

7) $f'(x)=\frac{1-\ln x}{x^2},\quad f''(x)=\frac{2\ln x-3}{x^3}$

8) $f'(x)=\frac{2-\ln x}{2x^{1.5}},\quad f''(x)=\frac{3\ln x-8}{4x^{2.5}}$

9) $f'(x)=\ln x+1,\quad f''(x)=\frac{1}{x}$

10) $f'(x)=x(2\ln x+1),\quad f''(x)=2\ln x+3$

11) $f'(x)=\frac{1}{2(2-x)},\quad f''(x)=\frac{1}{(4-2x)^2}$

12) $f'(x)=\frac{2}{x}(\ln x+1),\quad f''(x)=\frac{-2\ln x}{x^2}$

13) $f'(x)=\frac{2}{x}\left[\frac{(\ln x)^4-1}{(\ln x)^3}\right],\quad f''(x)=-\frac{2}{x^2}\left\{\frac{(\ln x)^5-(\ln x)^4-(\ln x)-3}{(\ln x)^4}\right\}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

14) $f'(x)=e^{\frac{1}{x}}\cdot\left(-\frac{1}{x^2}\right),\quad f''(x)=e^{\frac{1}{x}}\left(\frac{1+2x}{x^4}\right)$

15) $f'(x)=e^{\frac{1}{x}}\left(\frac{x^2-x-2}{x^2}\right),\quad f''(x)=e^{\frac{1}{x}}\left(\frac{5x+2}{x^4}\right)$

16) $f'(x)=e^{-2x^2}(1-4x^2),\quad f''(x)=-4xe^{-2x^2}(3-4x^2)$

17) $f'(x)=\frac{2}{3\cdot\sqrt[3]{x}},\quad f''(x)=-\frac{2}{9\cdot\sqrt[3]{x^4}}$

18) $f'(x)=\frac{2x}{3\sqrt[3]{(x^2-1)^2}},\quad f''(x)=\frac{2}{3}\cdot\frac{-\frac{1}{3}x^2-1}{(x^2-1)^{5/3}}$

19) $f'(x)=\frac{2-5x}{3\sqrt[3]{x}},\quad f''(x)=-\frac{2}{9}\cdot\frac{1+5x}{\sqrt[3]{x^4}}$

20) $f'(x)=\cos(x^3)\cdot 3x^2,\quad f''(x)=-9x^4\sin(x^3)+6x\cdot\cos(x^3)$

21) $f'(x)=-\sin(x^4)\cdot 4x^3,\quad f''(x)=-16x^6\cos(x^4)-12x^2\cdot\sin(x^4)$

22) $f'(x)=3\sin^2 x\cdot\cos x,\quad f''(x)=6\sin x\cos^2 x-3\sin^3 x$

23) $f'(x)=\frac{2x}{\cos^2(x^2)},\quad f''(x)=\frac{2\cdot\cos^2(x^2)-8x^2\cos(x^2)\sin(x^2)}{\cos^4(x^2)}$

24) $f'(x)=\tan(x^2)\cdot(-2x),\quad f''(x)=\frac{-4x^2}{\cos^2(x^2)}-2\tan(x^2)$

25) $f'(x)=\frac{1}{\sqrt{1-(2x+3)^2}}\cdot 2,\quad f''(x)=\frac{4(2x+3)}{\left(1-(2x+3)^2\right)^{1.5}}$

26) $f'(x)=\frac{2x}{1+x^4},\quad f''(x)=\frac{2-6x^4}{(1+x^4)^2}$

27) $f'(x)=x^{\sin x}\left(\cos x\cdot\ln(x+1)+\frac{\sin x}{x+1}\right)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

28) $f'(x)=(\sin x)^{x}\left(\ln(\sin x)+\cot x\cdot x\right)$

29) $f'(x)=(\cos x)^{\ln x}\cdot\left(\frac{\ln(\cos x)}{x}-\tan x\cdot\ln x\right)$

30) $y'=x^{\ln x}\left(\frac{2\ln x}{x}\right)$

31) $y'=x^{\frac{1}{x}-2}\left(1-\ln x\right)$

32) $y'=\frac{1}{\sqrt{x}}\cdot x^{\sqrt{x}}\left(\frac{\ln x}{2}+1\right)$

33) $y'=\left(\sqrt{x}+\frac{1}{x}\right)^{\sqrt{x}}\left(\frac{1}{2\sqrt{x}}\cdot\ln\left(\sqrt{x}+\frac{1}{x}\right)+\frac{1}{\sqrt{x+\frac{1}{x}}}\left(\frac{1}{2\sqrt{x}}-\frac{1}{x^{2}}\right)\cdot\sqrt{x}\right)$

34) $y'=\left(x^{2}+1\right)^{x}\left(1\cdot\ln\left(x^{2}+1\right)+\frac{1}{x^{2}+1}\cdot 2x\cdot x\right)$

35) $y'=\left(x+1\right)^{(x+1)}\left[\ln\left(x+1\right)+1\right]$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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. $f(x)=\frac{1}{4}x^4-\frac{x^3}{6}+\frac{3x}{4}-\frac{2}{5}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סולומון ©

### 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. $f(x)=\frac{x+3}{\sqrt{x}}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סולומון ©

## תשובות סופיות

**1)**

א. $f'(x)=3x^2$ ב. $f'(x)=7x^6$ ג. $f'(x)=2x$

ד. $f'(x)=1$ ה. $f'(x)=3x^{-4}$ ו. $f'(x)=-\frac{1}{x^2}$

ז. $f'(x)=\frac{1}{2\sqrt{x}}$ ח. $f'(x)=\frac{1}{3\sqrt[3]{x^2}}$ ט. $f'(x)=\frac{3}{4}x^{-\frac{1}{4}}$

**2)**

א. $f'(x)=6x^2$ ב. $f'(x)=21x^6$ ג. $f'(x)=2x^3$

ד. $f'(x)=\frac{6x^5}{7}$ ה. $f'(x)=8$ ו. $f'(x)=-\frac{6}{x^3}$

ז. $f'(x)=-\frac{4}{x^2}$ ח. $f'(x)=\frac{3}{\sqrt{x}}$ ט. $f'(x)=\frac{2}{9\sqrt[3]{x}}$

**3)** א. 0 ב. 0

**4)** א. $f'(x)=3x^2+4x-3$ ב. $f'(x)=x^3-\frac{x^2}{2}+\frac{3}{4}$

**5)** א. $f'(x)=15(5x-x)^2$ ב. $f'(x)=15x^2(x^3+6)^4$

ג. $f'(x)=6(x-x^2)(1-2x)$ ד. $f'(x)=-\frac{3}{4}(5-x)^2$ ה. $f'(x)=\frac{8(x+1)^3}{3}$

**6)** א. $f'(x)=-\frac{3}{x^2}$ ב. $f'(x)=\frac{2}{x^2}$ ג. $f'(x)=-\frac{2}{x^3}$ ד. $f'(x)=-\frac{9}{x^4}$

ה. $f'(x)=-\frac{2x-3}{(x^2-3x)^2}$ ו. $f'(x)=\frac{2}{(3-x)^2}$ ז. $f'(x)=-\frac{6}{(x+3)^2}$

**7)** א. $f'(x)=10x-14$ ב. $f'(x)=(5x+1)^2(20x-44)$

ג. $f'(x)=x^2(6-x)^3(18-7x)$

**8)** א. $f'(x)=\frac{5}{(1+2x)^2}$ ב. $f'(x)=\frac{5x^2-24x-5}{(5x-12)^2}$ ג. $f'(x)=\frac{8x}{(x^2+3)^2}$

ד. $f'(x)=\frac{(x-4)(x+2)}{(x-1)^2}$ ה. $f'(x)=-\frac{1}{x^2}$ ו. $f'(x)=-\frac{9}{x^4}$

**9)** א. $f'(x)=\frac{1}{2\sqrt{x}}$ ב. $f'(x)=\frac{2}{\sqrt{x+1}}$ ג. $f'(x)=\frac{3x^2}{2\sqrt{x^3-1}}$

ד. $f'(x)=\frac{9x+1}{2\sqrt{x}}$ ה. $f'(x)=\frac{x(5x+12)}{2\sqrt{x+3}}$ ו. $f'(x)=\frac{x-3}{2x\sqrt{x}}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סולומון ©

# 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 $e^{y^2-4x}+x^2y^3=\sin(y-2x)+4y+1$.
חשבו את $y'$ בנקודה $(1,2)$.

**5)** נתונה הפונקציה הסתומה הבאה $\sqrt{4x+y^3}+\cos^2(xy)=\ln(x^2y+1)+\ln e^3$.
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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $y'=\frac{-2x}{5y^4-1}$ $\quad 5y^4-1\neq 0,$

2) $y'=\frac{-\frac{4}{x}}{\frac{10}{y}-2y}$ $\quad \frac{10}{y}-2y\neq 0,$

3) $y'=\frac{\sqrt{y}-1}{2\sqrt{x}}\cdot\frac{2\sqrt{y}}{1-\sqrt{x}}$ $\quad \sqrt{x}\neq 0,\quad \sqrt{x}\neq 1,$

4) $y'_{(1,2)}=-\frac{14}{11}$

5) $y'_{(1,0)}=1$

6) $y'=\frac{y-x^y\cdot\frac{y}{x}}{x^y\cdot\ln x-x}$ $\quad x^y\cdot\ln x-x\neq 0,$

7) $y'=\frac{-x^y\cdot\frac{y}{x}+y^x\cdot\ln y}{x^y\ln x-y^x\cdot\frac{x}{y}}$ $\quad x^y\ln x-y^x\cdot\frac{x}{y}\neq 0,$

8) $-1$

9) ב. $y''_{(1,0)}=-\frac{9}{8}$

10) שאלת הוכחה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $f(1)=2,\ f'(1)=e$ .

נגדיר פונקציה חדשה $z(x)=f^2(\ln x)+\frac{1}{f^2(\ln x)}$ .

חשבו את $z'(e)$ .

**3)** נתונה הפונקציה $g(x)=\frac{f^2(\sqrt{x})-1}{f(\sqrt{x})}$ .

ידוע כי $f(10)=f'(10)=4$ .

חשבו $g'(100)$ .

**4)** נתונה הפונקציה $g(x)=\frac{f\left(\frac{1}{x}\right)+4}{f\left(\frac{1}{x^2}\right)}$ .

ידוע כי $f'(1)=4$ , $f(1)=1$ .

חשבו $g'(1)$ .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**5)** נתונה הפונקציה $g(x)=\dfrac{f^2(\ln x)}{f(\ln x)+1}$.

ידוע כי $f'(0)=1$ , $f(0)=2$.

חשבו $g'(1)$.

**6)** נתונה הפונקציה $g(x)=\dfrac{f^{10}(4x)+1}{f\left(\dfrac{4}{x}\right)+1}$.

ידוע כי $f'(4)=2$ , $f(4)=1$.

חשבו $g'(1)$.

**7)** נתונה הפונקציה $g(x)=\dfrac{\sqrt[4]{f^7(x^2)}}{f(x^4)}$.

ידוע כי $f'(1)=4$ , $f(1)=1$.

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?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $40$

2) א. $z'(x)=f'\left(\frac{1}{x}\right)\left(-\frac{1}{x^2}\right)-f'(4x+1)\cdot 4$ ב. $z'(e)=3\frac{3}{4}$

3) $\frac{17}{80}$

4) $36$

5) $\frac{8}{9}$

6) $44$

7) $-2$

8) ב. אי-זוגית. ג. אי-זוגית. ד. לא.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גזירה לוגריתמית

## שאלות

גזרו את הפונקציות הבאות:

1) $y=\sqrt[4]{\frac{10x-1}{x+1}}\cdot\sqrt[10]{(2x+1)^7}$

2) $y=\left(\sqrt[4]{10x+1}\right)^{2x}$

3) $y=\frac{(x+2)^{3x+4}\cdot(5x+6)}{(7x+8)\cdot(9x+10)}$

## תשובות סופיות

1) $y'=y\left[\frac{1}{4}\frac{1}{10x-1}\cdot 10+\frac{7}{10}\frac{1}{2x+1}\cdot 2-\frac{1}{4}\frac{1}{x+1}\right]$

2) $y'=\left((10x+1)^{\frac{1}{4}}\right)^{2^x}\cdot\frac{1}{4}\left[2^x\cdot\ln 2\cdot\ln(10x+1)+\frac{1}{10x+1}\cdot 10\cdot 2^x\right]$

3) $y'=y\left[3\cdot\ln(x+2)+\frac{1}{x+2}(3x+4)+\frac{1}{5x+6}\cdot 5-\frac{1}{7x+8}\cdot 7-\frac{1}{9x+10}\cdot 9\right]$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 8 - חישוב נגזרת של פונקציות מיוחדות

תוכן העניינים

1. נגזרת הפונקציה ההפוכה ..... 113
2. נגזרת מסדר גבוה ..... 114
3. נוסחת לייבניץ ..... 115
4. גזירה פרמטרית ..... 116

# נגזרת הפונקציה ההפוכה

## שאלות

הוכיחו, בעזרת כלל הנגזרת של הפונקציה ההפוכה, את הנוסחאות הבאות:

1) $\left(\sqrt{x}\right)' = \frac{1}{2\sqrt{x}}$

2) $\left(\arcsin x\right)' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$

3) $\left(\arctan x\right)' = \frac{1}{1+x^2}$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר GooL.co.il


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# נגזרת מסדר גבוה

## שאלות

חשבו את הנגזרת ה- $n$, $f^{(n)}(x)$, של הפונקציות הבאות:

1) $y=\frac{1}{x+a}$

2) $y=\frac{2x+3}{x^2-3x+2}$

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

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

## תשובות סופיות

1) $y^{(n)}=(-1)^n\cdot n!\cdot(x+a)^{-n-1}$

2) $y^{(n)}=(-1)^n\cdot n!\cdot\left(-5(x-1)^{-n-1}+7(x-2)^{-n-1}\right)$

3) $y^{(n)}=(-1)^n\cdot n!\cdot\left(-\frac{1}{2}(x-1)^{-n-1}-\frac{1}{6}(x+1)^{-n-1}+\frac{2}{3}(x-2)^{-n-1}\right)$

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

$y^{(n)}=\frac{1}{2}(-1)^n\cdot n!\cdot\left((x-1)^{-n-1}-(x+1)^{-n-1}\right),(n>2)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# נוסחת לייבניץ

## שאלות

חשבו את הנגזרת העשירית , $y^{(10)}$ , של הפונקציות הבאות :

1) $y = x^3 e^x$

2) $y = x^3 \sin 5x$

## תשובות סופיות

1) $\left(e^x \cdot x^3\right)^{(10)} = e^x\left[x^3 + 103x^2 + 456x + 120\cdot 6\right]$

2) $\left(\sin 5x \cdot x^3\right)^{(10)} = -5^{10} x^3 \sin 5x + 6\cdot 5^{10} x^2 \cos 5x + 54\cdot 5^9 x \sin 5x - 24\cdot 5^9 \cos 5x$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גזירה פרמטרית

## שאלה

**1)** חשבו את הנגזרות הראשונה והשנייה של הפונקציה הבאה,

הנתונה בצורה פרמטרית $\begin{cases} x(t)=t-\sin t \\ y(t)=t\cos t \end{cases}$.

## תשובה

**1)** $y'=\dfrac{\cos t-\sin t\cdot t}{1-\cos t}$ , $y''=\dfrac{(-t\cos t-2\sin t)(1-\cos t)-\sin t(\cos t-t\sin t)}{(1-\cos t)^3}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 9 - משיק, נורמל, נוסחת הקירוב הליניארי

תוכן העניינים


1. המשיק ..... 117
2. בעיות משיקים ..... 119
3. בעיות משיקים עם נוסחת המשיק ..... 121
4. הנורמל ..... 125
5. זווית שבין שתי עקומות ..... 126
6. נוסחת הקירוב הלינארי - דיפרנציאל שלם ..... 127

# המשיק

## 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 $x=3$ ו- $x=1$.

ב. חשבו את הזווית שיוצר כל אחד מהמשיקים בסעיף א',
עם הכיוון החיובי של ציר ה- $x$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**8)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{2x^2+1}{x-2}$.
מצאו את הנקודות על גרף הפונקציה, שהמשיק 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, שהמשיק 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 המשיק לגרף הפונקציה לבין הכיוון החיובי של ציר ה- $x$ היא $30°$.
חשבו את הגבול $\lim\limits_{x\to 0}\frac{f(x)}{x}$.

**11)** מצאו את הזווית שיוצר המשיק 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. $\alpha=63.43°,\ \beta=116.56°$

**8)** $x=5,\ x=-1$

**9)** $x=1,\ x=\frac{1}{3}$

**10)** $\frac{1}{\sqrt{3}}$

**11)** $\alpha=33.69°,\ \beta=90°$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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)** $y=x^2-2x+1$, $(2,-3)$

**7)** $y=\sqrt{x}$, $(-3,1)$

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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)** $(0,1)$ , $y=-2x+1$ ; $(4,9)$ , $y=6x-15$

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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- $g(x)=1$ נחתכים בנקודה A, ברביע הראשון.
בנקודה A העבירו משיק.
מצאו את משוואת המשיק והוכיחו שהמשיק עובר דרך ראשית הצירים.

**16)** מצאו את משואת המשיק למעגל $x^2+y^2=25$ , בנקודה $(3,4)$.

**17)** מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה
$xy^2+y-x=xy$ , דרך הנקודה $(1,1)$.

**18)** מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה
$x^2y+e^{y^2-4x}=\ln x+1$ ,
דרך הנקודה $(1,2)$, הנמצאת על גרף הפונקציה.

**19)** מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה
$\sqrt{xy+y}+x^2y=xy^2$ ,
דרך הנקודה $(1,2)$, הנמצאת על גרף הפונקציה.

**20)** מצאו את משוואת הישר, המשיק לגרף הפונקציה הסתומה
$e^{xy^2}+y=y^2-1$ ,
דרך הנקודה $(0,2)$, הנמצאת על גרף הפונקציה.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $y=24x+22$

2) $y=2x-3$

3) $y=1$

4) $y=-12x+9$

5) $a=2,\quad y=-4x-2$

6) $y=-x+1\frac{1}{3},\quad y=-x-1\frac{1}{3}$

7) $y=-2x+8$

8) $y=\frac{11}{16}x-\frac{30}{16}$

9) $a=6,\ b=2,\quad y=-6x+12$

10) $y=\left(2e^4+3e\right)x-3e^4$

11) $y=3x+1$

12) $y=\left(-e^2+e\right)x+e^2,\quad y=\left(e-1\right)x+e$

13) $y=-\frac{2}{e^4}x+\frac{6}{e^2}$

14) $y=\left(\ln 2+1\right)x-1$

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. $(1,0)$, $(0,0)$ ב. בראשית הצירים: $y=-x$, המשוואה השנייה: $y=x-1$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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)** $(2,1)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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

**1)** $\sqrt{5} \cong 2.25, \sqrt{8} \cong 2\frac{5}{6}, \sqrt{27} = 5\frac{1}{5}$

**2)** $\ln 2 \cong 1, \sqrt[3]{9} \cong 2\frac{1}{12}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 10 - כלל לופיטל

### תוכן העניינים


1. גבול מהצורה אפס חלקי אפס ואינסוף חלקי אינסוף..... 128
2. גבול מהצורה אפס כפול אינסוף..... 131
3. גבול מהצורה אינסוף פחות אינסוף..... 132
4. גבול מהצורה אחד בחזקת אינסוף..... 133
5. מקרים בהם כלל לופיטל נכשל..... 134

# גבול מהצורה אפס חלקי אפס ואינסוף חלקי אינסוף

## שאלות

**גבולות מהצורה** $\frac{0}{0}$ **ו-** $\frac{\infty}{\infty}$

חשבו את הגבולות הבאים (ביטויים רציונאליים):

1) $\lim\limits_{x\to 3}\frac{x^2-x-6}{x^2-9}$

2) $\lim\limits_{x\to -5}\frac{2x^2-50}{2x^2+3x-35}$

3) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{x^n-x}{x-1}$

חשבו את הגבולות הבאים (ביטויים אי- רציונאליים):

4) $\lim\limits_{x\to 3}\frac{x-3}{\sqrt{x+1}-2}$

5) $\lim\limits_{x\to 4}\frac{\sqrt{2x+1}-\sqrt{x+5}}{x-4}$

6) $\lim\limits_{x\to 3}\frac{\sqrt{x^2+7}-4}{\sqrt{x-2}-1}$

7) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{\sqrt[3]{2x^2-1}-\sqrt{x}}{x-1}$

8) $\lim\limits_{x\to \infty}\frac{\sqrt{1-\frac{3}{x}}-1}{\frac{1}{x}}$

חשבו את הגבולות הבאים (פונקציות חזקות):

9) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{e^x-1}{x}$

10) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{a^x-b^x}{x}\ (a,b>0)$

11) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{e^x-x-1}{x^2}$

12) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{2e^x-x^2-2x-2}{2x^3}$

חשבו את הגבולות הבאים (פונקציות לוגריתמיות):

13) $\lim\limits_{x\to 1}\frac{\ln x-x+1}{x^2-2x+1}$

14) $\lim\limits_{x\to \infty}\frac{\ln\left(\frac{x^2+1}{x^2-1}\right)}{\frac{1}{x^2}}$

15) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\ln^2(x+1)+x}{x}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

חשבו את הגבולות הבאים (פונקציות טריגונומטריות):

16) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\tan x}{x}$

17) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sin\left(ax^2\right)}{bx^2}$

18) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sin(ax)}{\sin(bx)}$

19) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{x-\sin x}{x^3}$

20) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\tan x-\sin x}{x^3}$

חשבו את הגבולות הבאים (שאלות משולבות):

21) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sqrt{1+\sin x}-\sqrt{\cos x}}{x}$

22) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{1-\cos(1-\cos x)}{x^4}$

23) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{e^x\sin x-x(1+x)}{x^3}$

24) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sin^2 x-\sin\left(x^2\right)}{x^4}$

25) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\ln\left(\cos x^2\right)}{x^4}$

26) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\arctan\left(x^2+3x\right)}{\arcsin\left(x^2-4x\right)}$

27) $\lim\limits_{x\to\infty}\tanh x$

28) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sin x}{\sinh x}$

29) $\lim\limits_{x\to 0}\frac{2\cosh x-2}{1-\cos 2x}$

30) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{x^2+1}{2x^2+x+3}$

31) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{e^x}{x}$

32) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{\ln x+x+1}{e^x}$

33) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{(\ln x)^2+2\ln x-3}{x}$

34) $\lim\limits_{x\to 0^+}\frac{\ln(\sin x)}{\ln(\tan x)}$

35) $\lim\limits_{x\to 0^-}\frac{e^{\frac{1}{x}}}{x}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1) $\frac{5}{6}$ | 2) $\frac{20}{17}$ | 3) $n-1$ | 4) $4$ | 5) $\frac{1}{6}$ |
| 6) $\frac{3}{2}$ | 7) $\frac{5}{6}$ | 8) $-\frac{3}{2}$ | 9) $1$ | 10) $\ln\frac{a}{b}$ |
| 11) $\frac{1}{2}$ | 12) $\frac{1}{6}$ | 13) $-\frac{1}{2}$ | 14) $2$ | 15) $1$ |
| 16) $1$ | 17) $\frac{a}{b}$ | 18) $\frac{a}{b}$ | 19) $\frac{1}{6}$ | 20) $\frac{1}{2}$ |
| 21) $\frac{1}{2}$ | 22) $\frac{1}{8}$ | 23) $\frac{1}{3}$ | 24) $-\frac{1}{3}$ | 25) $-\frac{1}{2}$ |
| 26) $-\frac{3}{4}$ | 27) $1$ | 28) $1$ | 29) $\frac{2}{3}$ | 30) $\frac{1}{2}$ |
| 31) $\frac{1}{2}$ | 32) $\infty$ | 33) $0$ | 34) $\infty$ | 35) $0$ |


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גבול מהצורה אפס כפול אינסוף

**גבולות מהצורה** $\infty\cdot 0$

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{1}{x}\cdot e^{x}$

2) $\lim\limits_{x\to\infty}x^{2}e^{-x}$

3) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{1}{x}\cdot\ln x$

4) $\lim\limits_{x\to 0^{+}}\tan x\cdot\ln x$

5) $\lim\limits_{x\to 0}(1-\cos x)\cot x$

6) $\lim\limits_{x\to 0^{+}}x\cdot\ln x$

7) $\lim\limits_{x\to 3^{+}}(x^{2}-9)\cdot\ln(x-3)$

8) $\lim\limits_{x\to\infty}x\cdot\ln\left(\frac{x+3}{x-3}\right)$

9) $\lim\limits_{x\to\infty}x\cdot\left[\sqrt{1+\frac{5}{x}}-1\right]$

## תשובות סופיות

1) $\infty$ 2) $0$ 3) $0$ 4) $0$ 5) $0$

6) $0$ 7) $0$ 8) $6$ 9) $\frac{5}{2}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גבול מהצורה אינסוף פחות אינסוף

## שאלות

**גבולות מהצורה** $\infty-\infty$

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim\limits_{x\to 0}\left(\frac{1}{\sin x}-\frac{1}{x}\right)$

2) $\lim\limits_{x\to 1}\left(\frac{1}{\ln x}-\frac{1}{x-1}\right)$

3) $\lim\limits_{x\to 0^+}\left[\ln(3x)-\ln(\sin 5x)\right]$

4) $\lim\limits_{x\to\infty}\sqrt{x^2+x+1}-x$

5) $\lim\limits_{x\to-\infty}\sqrt{x^2+x+1}+x$

6) $\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sqrt[6]{x^6+x^5}-\sqrt[6]{x^6-x^5}\right)$

## תשובות סופיות

1) $0$

2) $\frac{1}{2}$

3) $\ln\frac{3}{5}$

4) $\frac{1}{2}$

5) $-\frac{1}{2}$

6) $\frac{1}{3}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גבול מהצורה אחד בחזקת אינסוף

## שאלות

**גבולות מהצורה:** $\infty^0$, $0^{\pm\infty}$ , $1^{\pm\infty}$

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim\limits_{x\to 1} x^{\frac{1}{x-1}}$

2) $\lim\limits_{x\to 0^+} (ax)^x \ , \ (a>0)$

3) $\lim\limits_{x\to 2^+} (2x-4)^{x-2}$

4) $\lim\limits_{x\to\infty} \left(\frac{x^2+1}{x^2-1}\right)^{x^2}$

5) $\lim\limits_{x\to 0^+} x^{\sin x}$

6) $\lim\limits_{x\to 0} (1+\tan 3x)^{\frac{1}{x}}$

7) $\lim\limits_{x\to 0} \left(\frac{\tan x}{x}\right)^{\frac{1}{x^2}}$

8) $\lim\limits_{x\to 0} (\cos x^2)^{\frac{1}{x^4}}$

9) $\lim\limits_{x\to 0^+} (\sin x)^{\tan x}$

10) $\lim\limits_{x\to 0^+} x^{\tan x}$

11) $\lim\limits_{x\to 0} (x+1)^{\cot x}$

12) $\lim\limits_{x\to 0^+} (x+\sin x)^{\tan x}$

13) $\lim\limits_{x\to 0^+} (1+x^2)^{\cot^2 x}$

14) $\lim\limits_{x\to 0} \left(\frac{\sin x}{x}\right)^{\frac{1}{x^2}}$

15) $\lim\limits_{x\to 1^-} [\ln(1-\ln x)]^{x-1}$

## תשובות סופיות

1) $e$ 2) $1$ 3) $1$ 4) $1$ 5) $e^2$

6) $1$ 7) $e^3$ 8) $e^{1/3}$ 9) $e^{-1/2}$ 10) $1$

11) $1$ 12) $e$ 13) $1$ 14) $e$ 15) $0$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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.

1) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{\sqrt{x^2+1}}{x}$

2) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{16^x+4^{x+1}}{2^{4x+2}+2^{x+3}}$

3) $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{3x+\sin x}{4x+\cos x}$

## תשובות סופיות

1) $1$

2) $\frac{1}{4}$

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 11 - חקירת פונקציה

### תוכן העניינים


1. מושגי יסוד ..... 135
2. חקירת פולינום ..... 136
3. חקירת פונקציה רציונלית ..... 137
4. חקירת פונקציה מעריכית ..... 141
5. חקירת פונקציה לוגריתמית ..... 144
6. חקירת פונקציה עם שורשים ..... 148
7. חקירת פונקציה לא גזירה - שורש וערך מוחלט ..... 149
8. חקירת פונקציה טריגונומטרית ..... 152
9. חקירת פונקציות טריגונומטריות הפוכות ..... 156
10. חקירת פונקציה – שאלות כלליות ..... 158
11. הוכחת אי שוויונות בעזרת חקירת פונקציה ..... 163

# 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 חינמית בשם Graph, שניתן להוריד מכאן.

בעזרתה תוכלו לשרטט כל פונקציה בקלות ולבדוק את תשובותיכם.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חקירת פולינום

## שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

**1)** $f(x)=x(x-9)^2$

**2)** $f(x)=x^4-2x^3$

## 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: $x<3$ or $x>9$, 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: $\left(1.5,\frac{-27}{16}\right)$.

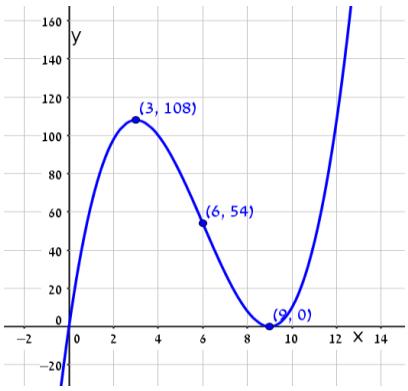
תחום עלייה: $x>1.5$, ירידה: $x<1.5$.

תחום קמירות: $x>1$ or $x<0$, קעירות: $0<x<1$.

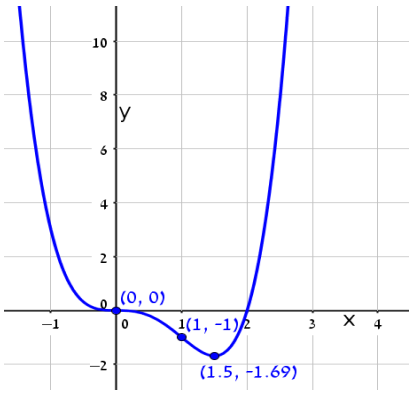
נקודות פיתול: $(1,-1)$, $(0,0)$.

## גרפים

**1)**




**2)**





לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חקירת פונקציה רציונלית

## שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

1) $f(x)=\frac{x-1}{x^2}$

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

3) $f(x)=\frac{x^3}{x^2-4}$

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

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

6) $f(x)=\frac{x^2-1}{(x-2)(x-5)}$

7) $f(x)=\frac{x^2-4x+3}{x^2-4}$

8) $f(x)=\frac{x^3-x^2}{x^2-1}$

**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 $y=x-1$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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: $\left(3,\frac{2}{9}\right)$.
תחום עליה: $0<x<2$, ירידה: $x<0 \ \ or \ \ x>2$.
תחום קמירות: $x>3$, קעירות: $x<0 \ \ or \ \ 0<x<3$.

**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: $\left(\frac{1}{2},\frac{2}{9}\right)$.
תחום עליה: $x<-1 \ \ or \ \ x>0$, 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: $\left(-\sqrt{12},-\sqrt{27}\right)$, מקסימום: $\left(\sqrt{12},\sqrt{27}\right)$.
תחום עליה: $x<-\sqrt{12} \ \ or \ \ x>\sqrt{12}$, ירידה: $-\sqrt{12}<x\neq\pm 2<\sqrt{12}$.
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: $\left(-3,-\frac{27}{4}\right)$.
תחום עליה: $x>-1 \ \ or \ \ x<-3$, ירידה: $-3<x<-1$.
נקודת פיתול: $(0,0)$.
תחום קמירות: $x>0$, קעירות: $-1<x<0 \ \ or \ \ x<-1$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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- $x$: $\pm 1$.
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: $x>5$ or $2.78<x<5$ or $x<0.36$. נקודת פיתול: $(-1,0)$.
תחום קמירות: $-1<x<2$ or $x>5$, קעירות: $2<x<5$ or $x<-1$.

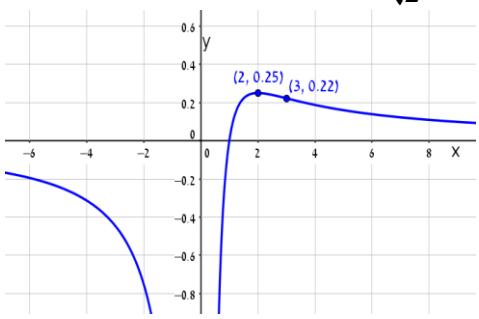
**7)** תחום הגדרה ורציפות: לכל $x \neq \pm 2$. זוגיות: כללית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- $y$: $y=-\frac{3}{4}$, עם ציר ה- $x$: $x=1,\ x=3$.
אסימפטוטה אנכית: הישרים $x=2,\ x=-2$, משופעת ואופקית: הישר $y=1$ ב- $\pm\infty$.
נקודות קיצון: אין; כי למשוואה הריבועית שקיבלנו אין פתרון.
תחום עלייה: הפונקציה עולה 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: $-2<x<-1$ or $-1<x<0$.
נקודת פיתול: אין.
תחום קמירות: $-1<x<1$ or $x>1$, קעירות: $x<-1$.

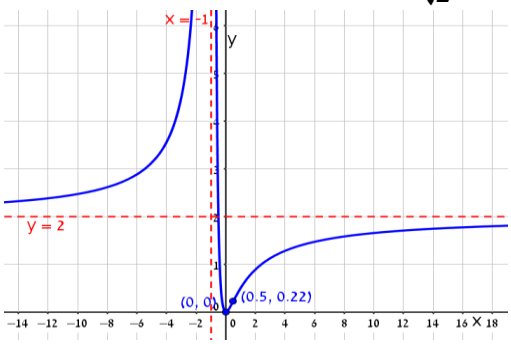

כתב ופתר – גיא סלומון ©

## גרפים

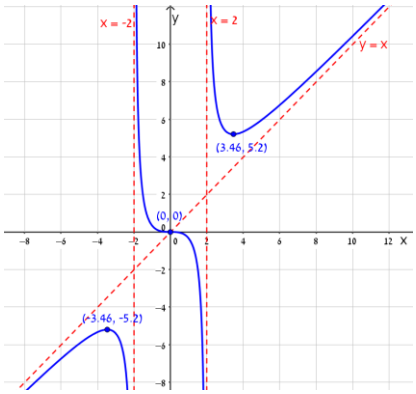
1)



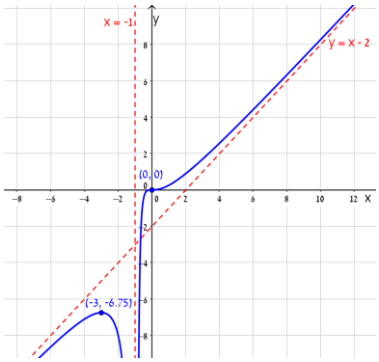

2)



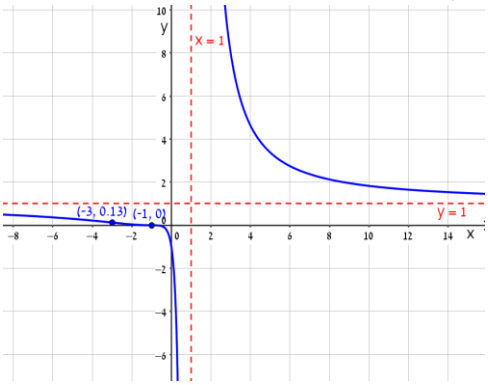

3)



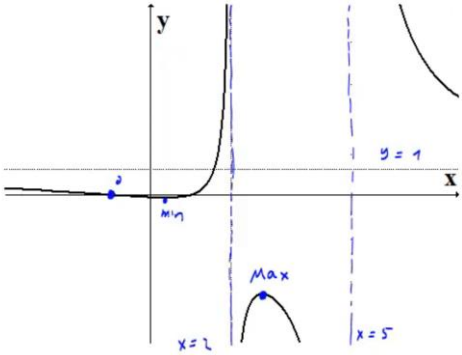

4)



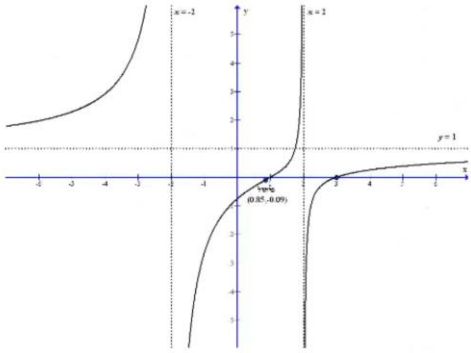

5)



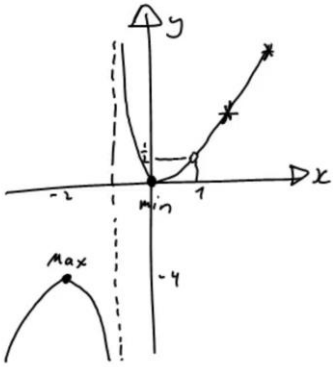

6)




7)



8)



# חקירת פונקציה מעריכית

## שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

1) $f(x)=x-e^{x}$

2) $f(x)=e^{\frac{1}{x}}$

3) $f(x)=(x+2)\cdot e^{\frac{1}{x}}$

4) $f(x)=x\cdot e^{-2x^{2}}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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: $\left(-0.5,e^{-2}\right)$.
תחום קמירות: $-0.5<x<0$ $or$ $x>0$, תחום קעירות: $x<-0.5$.

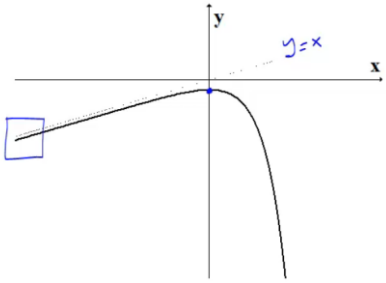
**3)** תחום הגדרה ורציפות: לכל $x\neq 0$. זוגיות: כללית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- $y$: אין, עם ציר ה- $x$: $-2$.
אסימפטוטה אנכית (חד-צדדית): $x=0$, משופעת: הישר $y=x+3$ ב- $\pm\infty$.
אופקית: אין. נקודות קיצון: מקסימום: $\left(-1,e^{-1}\right)$, מינימום: $\left(2,4e^{\frac{1}{2}}\right)$.
תחום עלייה: $x<-1$ $or$ $x>2$, ירידה: $-1<x<0$ $or$ $0<x<2$.
נקודת פיתול: $\left(-0.4,1.6e^{-2.5}\right)$.
תחום קמירות: $-0.4<x<0$ $or$ $x>0$, 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: $\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2}e^{-\frac{1}{2}}\right)$, מינימום: $\left(-\frac{1}{2},-\frac{1}{2}e^{-\frac{1}{2}}\right)$.
תחום עלייה: $-\frac{1}{2}<x<\frac{1}{2}$, ירידה: $x<-\frac{1}{2}$ $or$ $x>\frac{1}{2}$.
נקודות פיתול: $\left(\sqrt{\frac{3}{4}},\sqrt{\frac{3}{4}}e^{-1.5}\right)$, $\left(-\sqrt{\frac{3}{4}},-\sqrt{\frac{3}{4}}e^{-1.5}\right)$, $(0,0)$.
תחום קמירות: $-\sqrt{\frac{3}{4}}<x<0$ $or$ $x>\sqrt{\frac{3}{4}}$, תחום קעירות:
$0<x<\sqrt{\frac{3}{4}}$ $or$ $x<-\sqrt{\frac{3}{4}}$.

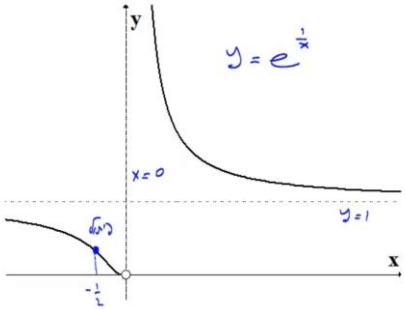

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## גרפים

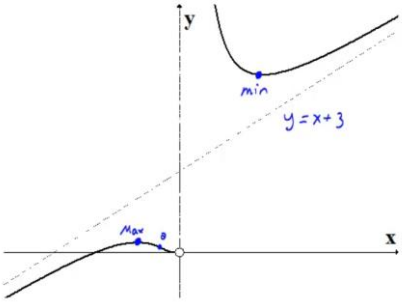
1)



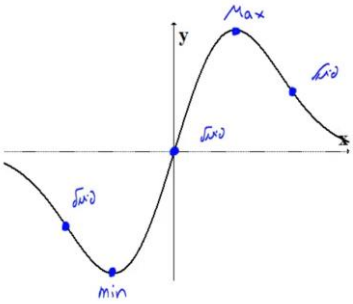

2)




3)




4)





לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חקירת פונקציה לוגריתמית

## שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

1) $f(x)=\frac{\ln x}{x}$

2) $f(x)=\frac{\ln x}{\sqrt{x}}$

3) $f(x)=\ln\sqrt{\frac{1}{2-x}}$

4) $f(x)=x\cdot\ln x$

5) $f(x)=\ln^2 x+2\ln x-3$

6) $f(x)=4\ln^2 x-4\ln x-3$

7) $f(x)=\ln^2 x+\frac{1}{\ln^2 x}$

**הערה**

בשאלה 7 יש למצוא נקודת פיתול רק אם למדת לפתור משוואות בדרך נומרית. למשל, בשיטת ניוטון-רפסון.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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- $\infty$.
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- $\infty$.
נקודות קיצון: מקסימום: $\left(e^2,\frac{2}{e}\right)$.
תחום עלייה: $0<x<e^2$, ירידה: $x>e^2$.
נקודת פיתול: $\left(e^{\frac{8}{3}},\frac{\frac{8}{3}}{\sqrt{e^{\frac{8}{3}}}}\right)$. 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: $\left(e^{-1},-e^{-1}\right)$.
תחום עלייה: $x>e^{-1}$, ירידה: $0<x<e^{-1}$.
נקודת פיתול: אין. קמורה בכל תחום הגדרתה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**5)** תחום הגדרה ורציפות: לכל $x>0$. זוגיות: כללית.

נקודות חיתוך עם ציר ה- $y$: אין, עם ציר ה- $x$: $x=e^{-3},\ x=e^{1}$.

אסימפטוטה אנכית: $x=0$, משופעת ואופקית: אין.

נקודות קיצון: מינימום: $\left(e^{-1},-4\right)$.

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- $x$: $x=e^{-0.5},\ x=e^{1.5}$.

אסימפטוטה אנכית: $x=0$, משופעת ואופקית: אין.

נקודות קיצון: מינימום: $\left(e^{\frac{1}{2}},-4\right)$.

תחום עלייה: $x>e^{\frac{1}{2}}$, ירידה: $0<x<e^{\frac{1}{2}}$.

נקודת פיתול: $\left(e^{1.5},0\right)$. 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: $\left(e^{-1},2\right),(e,2)$.

תחום עלייה: $e^{-1}<x<1\ \ or\ \ x>e$, ירידה: $x<e^{-1}\ \ or\ \ 1<x<e$.

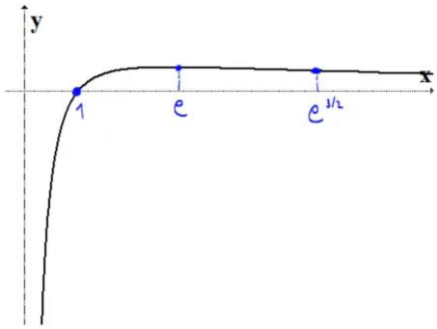
נקודת פיתול: $(5.15,3.06)$.

תחום קמירות: $0<x<1\ \ or\ \ 1<x<5.15$, קעירות: $x>5.15$.

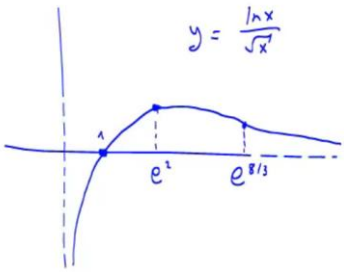

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## גרפים

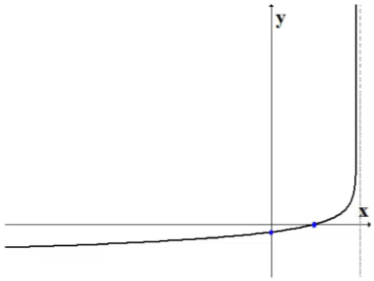
1)



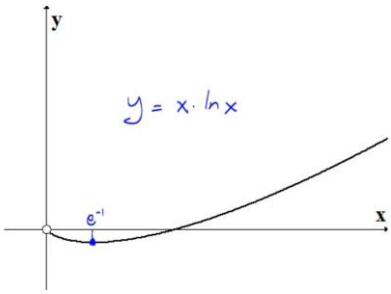

2)



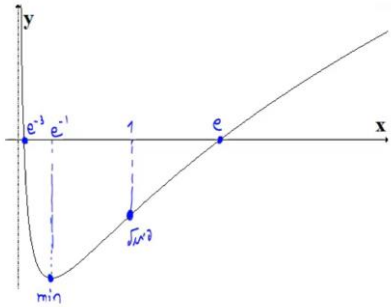

3)



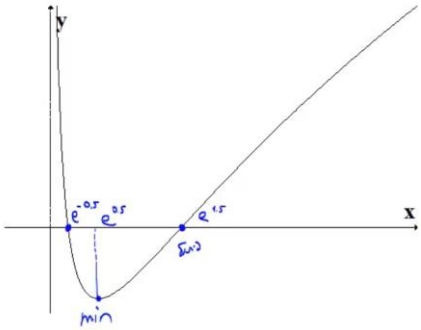

4)



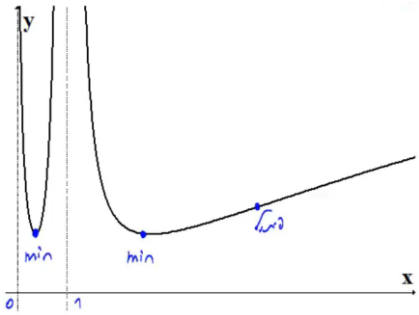

5)




6)




7)





לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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- $y$: 1, עם ציר ה- $x$: אין.

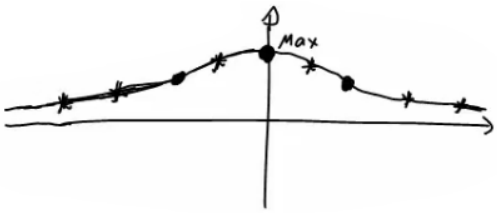
אסימפטוטה אנכית: אין, אופקית: $y=0$.

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:





כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חקירת פונקציה לא גזירה – שורש וערך מוחלט

## שאלות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

1) $f(x)=\sqrt[3]{x^2}(1-x)=x^{\frac{2}{3}}-x^{\frac{5}{3}}$

2) $f(x)=\left(\sqrt[3]{x^2}-1\right)^2$

3) $f(x)=\sqrt[3]{x^2-1}$

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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: $(1,0)$, $(-1,0)$.
תחום עלייה: $-1<x<0 \ or \ x>1$, ירידה: $0<x<1 \ or \ x<-1$.
נקודות פיתול: אין.
תחום קמירות: קמורה לכל $x$.

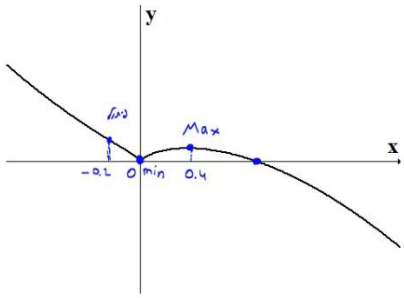
**3)** תחום הגדרה ורציפות: לכל $x$. זוגיות: זוגית.
נקודות חיתוך עם ציר ה- $y$: $-1$, עם ציר ה- $x$: $\pm 1$.
אסימפטוטה אנכית: אין, אופקית: אין.
נקודות קיצון: מינימום: $(0,-1)$.
תחום עלייה: $0<x<1 \ or \ x>1$, ירידה: $-1<x<0 \ or \ x<-1$.
נקודות פיתול: $(1,0)$, $(-1,0)$.
תחום קמירות: $-1<x<1$, קעירות: $x>1 \ or \ x<-1$.

**4)** 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- $\infty$, 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: $x<2 \ or \ x>3$.

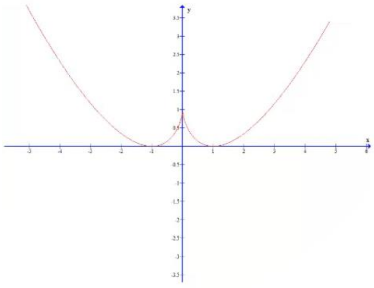

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## גרפים

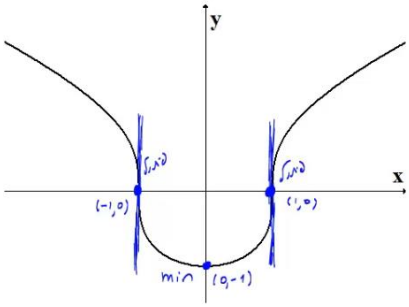
1)



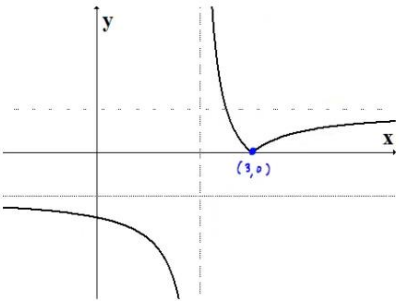

2)



3)




4)





לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חקירת פונקציה טריגונומטרית

## שאלות

**1)** נתונה הפונקציה: $f(x)=x+2\cos x$ בתחום $[0,2\pi]$.

חקור לפי הסעיפים הבאים:

א. מציאת תחום ההגדרה של הפונקציה.

ב. מציאת נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.

ג. תחומי עלייה וירידה של גרף הפונקציה.

ד. מציאת נקודת החיתוך של גרף הפונקציה עם ציר ה- $y$.

ה. מציאת אסימפטוטות המקבילות לצירים.

ו. מציאת נקודות פיתול.

ז. מציאת תחומי הקעירות כלפי מעלה ומטה.

ח. 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:

א. מציאת תחום ההגדרה של הפונקציה.

ב. מציאת נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.

ג. תחומי עלייה וירידה של גרף הפונקציה.

ד. מציאת נקודת החיתוך של גרף הפונקציה עם ציר ה- $y$.

ה. מציאת אסימפטוטות אנכיות.

ו. מציאת נקודות פיתול.

ז. מציאת תחומי קעירות כלפי מעלה ומטה.

ח. 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:

א. מציאת תחום ההגדרה של הפונקציה.

ב. מציאת נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.

ג. תחומי עלייה וירידה של גרף הפונקציה.

ד. מציאת נקודת החיתוך של גרף הפונקציה עם ציר ה- $x$ בתחום הנתון.

ה. מציאת אסימפטוטות המקבילות לצירים.

ו. שרטוט סקיצה של גרף הפונקציה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**4)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\cos^2 x-\cos x-2$ בתחום: $0\le x\le 2\pi$.

א. מצא את נקודות החיתוך של גרף הפונקציה עם הצירים.

ב. מצא את נקודות הקיצון של גרף הפונקציה וקבע את סוגן.

ג. כתוב את תחומי העלייה והירידה של הפונקציה.

ד. שרטט סקיצה של גרף הפונקציה.

**5)** נתונה הפונקציה הבאה: $y=(\sin x+1)\cdot\cos x$ בתחום: $0\le x\le 1.5\pi$.

א. מצא את נקודות החיתוך של גרף הפונקציה עם הצירים.

ב. מצא את נקודות הקיצון של גרף הפונקציה.

ג. שרטט סקיצה של גרף הפונקציה.

ד. כמה פתרונות יש למשוואה: $\cos x\cdot(\sin x+1)=1$ בתחום הנתון?

**6)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\sin^2 x+\cos x-1$.

א. מצא את נקודות החיתוך עם הצירים ואת נקודות הקיצון של הפונקציה בתחום $[0,\pi]$.

ב. הוכח שהפונקציה זוגית.

ג. שרטט את הפונקציה בתחום $[-\pi,\pi]$.

**7)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\tan 2x-8\sin 2x$ בתחום: $-0.25\pi<x<0.25\pi$.

א. מצא את נקודות החיתוך של גרף הפונקציה עם הצירים בתחום הנתון.

ב. כתוב את האסימפטוטות האנכיות של גרף הפונקציה.

ג. מצא את נקודות הקיצון של גרף הפונקציה בתחום הנתון.

ד. 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)** $f(x)=2\cos^2 x-\sin 2x$, $[0,\pi]$

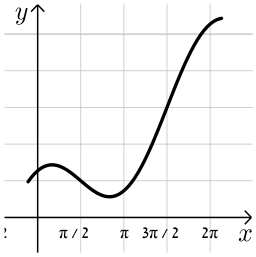

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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: $\frac{\pi}{6}<x<\frac{5}{6}\pi$ .




ד. $(0,2)$. ה. אין. ו. $\left(\frac{3\pi}{2},\frac{3\pi}{2}\right)$ , $\left(\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}\right)$.

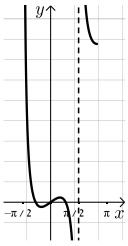
ז. קעירות כלפי מעלה: $\frac{\pi}{2}<x<\frac{3}{2}\pi$ ,

קעירות כלפי מטה: $\frac{3\pi}{2}<x<2\pi$ או $0<x<\frac{\pi}{2}$.

**2)** א. $-\frac{\pi}{6}\le x\le\frac{2}{3}\pi$ וגם $x\ne\frac{\pi}{2}$

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: $-\frac{\pi}{6}\le x\le\frac{\pi}{6}$ , תחומי ירידה: $\frac{\pi}{6}\le x\le\frac{2}{3}\pi$ וגם $x\ne\frac{\pi}{2}$ .

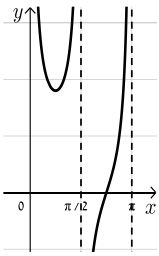



ד. $(0,0)$ ה. אנכית: $x=\frac{\pi}{2}$ ו. $(0,0)$

ז. קעירות כלפי מעלה: $\frac{\pi}{2}\le x\le\frac{2}{3}\pi$ או $-\frac{\pi}{6}\le x\le 0$ ,

קעירות כלפי מטה: $0<x<\frac{\pi}{2}$.

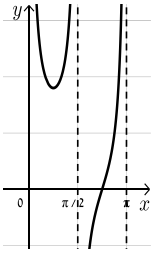
**3)** א. $0<x<\frac{\pi}{2}$ ; $\frac{\pi}{2}<x<\pi$ ב. $\min\left(\frac{\pi}{4},2\sqrt{2}\right)$.




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. $\max(\pi,0)$, $\min\left(\frac{\pi}{3},-2.25\right)$, $\max(0,-2)$, $\max(2\pi,-2)$, $\max\left(1\frac{2}{3}\pi,-2.25\right)$

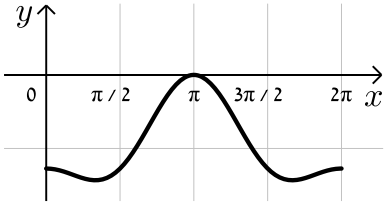
ג. עולה: $1\frac{2}{3}\pi<x<2\pi$ , $\frac{\pi}{3}<x<\pi$ , יורדת: $\pi<x<1\frac{2}{3}\pi$ , $0<x<\frac{\pi}{3}$. גרף:


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**5)** א. $(0,1)$ , $\left(\frac{3\pi}{2},0\right)$ , $\left(\frac{\pi}{2},0\right)$

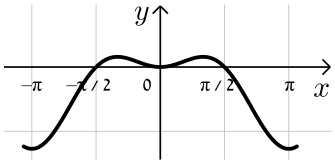
ב. $(1.5\pi,0),\left(\frac{5}{6}\pi,-1.29\right),\left(\frac{\pi}{6},1.29\right),(0,1)$

ד. 2 פתרונות.



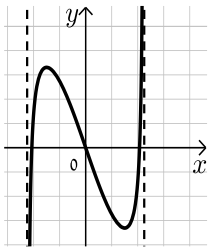

**6)** א. חיתוך: $(0,0)$, $\left(\frac{\pi}{2},0\right)$ , קיצון: $\min(\pi,-2)$ קצה,

$\min(0,0)$, $\max\left(\frac{\pi}{3},\frac{1}{4}\right)$ קצה.




**7)** א. $(0,0),(\pm 0.23\pi,0)$ ב. $x=\pm 0.25\pi$ .

ג. $\max\left(-\frac{\pi}{6},\sqrt{27}\right)$ , $\min\left(\frac{\pi}{6},-\sqrt{27}\right)$ .




**8)** נקודות חיתוך עם ציר ה- $y$ : 7, עם ציר ה- $x$ : $x=7$ , $x=\frac{5\pi}{3}$ , $x=\frac{\pi}{3}$ .

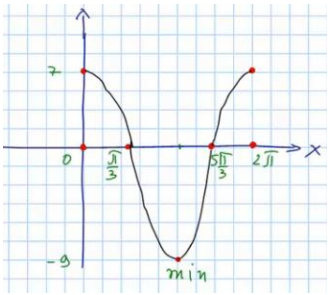
נקודות קיצון: מינימום: $(\pi,-9)$, מקסימום: $(2\pi,7)$ , $(0,7)$.

נקודות פיתול: $x=\frac{5\pi}{3}$ , $x=\frac{\pi}{3}$ .

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: $2<x<3$ or $x<2$ .




**9)** נקודות חיתוך עם ציר ה- $y$ : 2, עם ציר ה- $x$ : $x=\frac{\pi}{2}$ , $x=\frac{\pi}{4}$ .

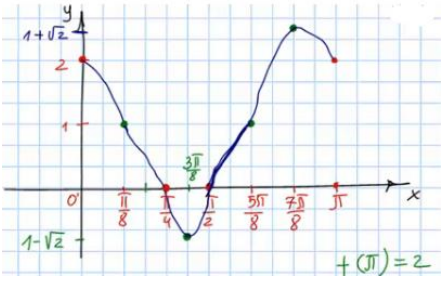
נקודות קיצון: מינימום: $\left(\frac{3\pi}{8},1-\sqrt{2}\right)$ , מקסימום: $\left(\frac{7\pi}{8},1+\sqrt{2}\right)$.

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: $\left(\frac{5\pi}{8},1\right)$, $\left(\frac{\pi}{8},1\right)$.

תחום קמירות: $\frac{\pi}{8}<x<\frac{5\pi}{8}$ ,

קעירות: $\frac{5\pi}{8}<x<\pi$ or $0<x<\frac{\pi}{8}$ .





כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חקירת פונקציות טריגונומטריות הפוכות

חקור את הפונקציות הבאות חקירה מלאה:

1) $f(x) = x - 2\arctan x$

2) $f(x) = \arcsin(\sin x)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

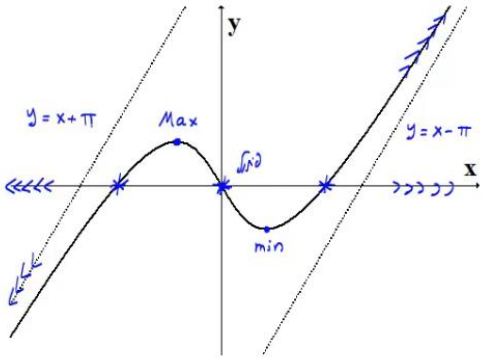
## תשובות סופיות

**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: $x<0$.

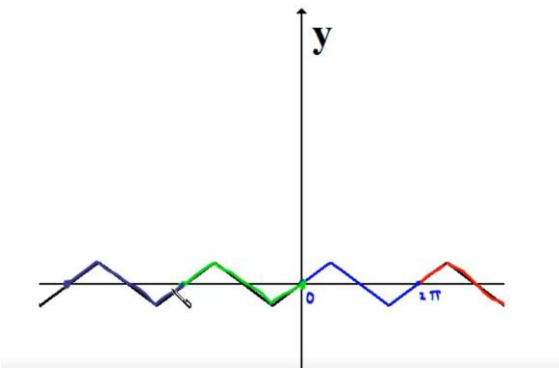
**2)** תחום הגדרה ורציפות: לכל $x$. זוגיות: אי-זוגית.
מחזוריות: כן, ממחזור $2\pi$.
נקודות חיתוך עם ציר ה- $y$: 0, עם ציר ה- $x$: $x=0,\ \pi,\ 2\pi$.
אסימפטוטה אנכית: אין,
משופעת: הישר $y=x+\pi$ ב- $-\infty$, אופקית: אין.
נקודות קיצון: מקסימום: $\left(\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}\right)$, מינימום: $\left(\frac{3\pi}{2},\frac{-\pi}{2}\right)$.
תחום עלייה: $0\le x\le\frac{\pi}{2}$ or $\frac{3\pi}{2}<x<2\pi$, ירידה: $\frac{\pi}{2}<x<\frac{3\pi}{2}$.
נקודות פיתול: אין.

**גרפים**

**1)**




**2)**





כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $a,b$.

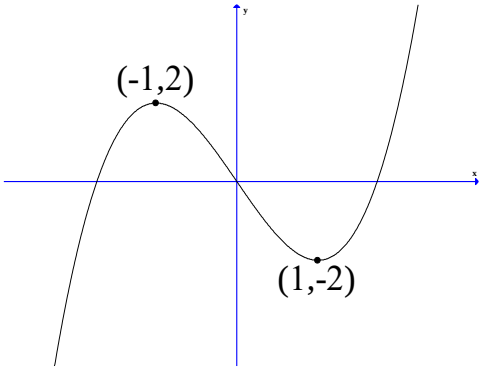
7) נתונה הפונקציה $f(x)=\dfrac{ax^3+x^2}{2x^3+x+6}$ .
ידוע שהישר $y=4$ אסימפטוטה לגרף הפונקציה.
מצאו את $a$.

8) נתונה הפונקציה $f(x)=\dfrac{ax^2+bx+4}{x}$ .
ידוע שהישר $y=0.5x+1$ אסימפטוטה לגרף הפונקציה.
מצאו את $a$ ואת $b$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**19)** נתונה פונקציה $f(x)$ המקיימת $f(1)=2,\ f'(1)=e$ .

נגדיר פונקציה חדשה $z(x)=f^2(\ln x)+\frac{1}{x}$ .

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.

נגדיר פונקציה חדשה $z(x)=\sqrt{f(x^2)+4}$ .

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 $f'(1)=e$ .

נגדיר פונקציה חדשה: $g(x)=x^2+f(\ln x)$ .

א. חשבו את $g'(e)$ .

ב. הוכיחו שהפונקציה $g$ עולה בנקודה $x=e$ .

חשבו את הגבול $\lim\limits_{h\to 0}\frac{g(e+h)-g(e)}{h}$ .

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# הוכחת אי שוויונות בעזרת חקירת פונקציה

## שאלות

הוכיחו את אי השוויונים הבאים לגבי התחום הרשום לידם:

1) $8x^3 \le 3x^4 + 6x^2$ , $(-\infty < x < \infty)$

2) $x < 2\sin x$ , $\left(0 < x < \frac{\pi}{3}\right)$

3) $\sqrt{x+1} < 1 + \frac{x}{2}$ , $(x > 0)$

4) $\ln(x+1) \le x$ , $(x \ge 0)$

5) נתון כי $f$ רציפה לכל $x \ge 0$ , $f'(x) > 0$ לכל $x > 0$ , וכן $f(0) = 0$ .
הוכיחו כי לכל $x > 0$ מתקיים $f(x) - \frac{1}{2}(f(x))^2 < \ln(1 + f(x))$ .

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 12 - מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה

### תוכן העניינים

1. מציאת מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה ..... 164
2. שאלות המשלבות קיצון מוחלט עם קיצון מקומי ..... 167
3. הוכחת אי שוויונים ..... 168

# מינימום ומקסימום מוחלטים לפונקציה

## שאלות

בשאלות **1-7** מצאו את נקודות המינימום המוחלט והמקסימום המוחלט של הפונקציות, בתחומים הרשומים לידן (אם יש כאלה):

**1)** $f(x)=x^3-3x^2+3x \quad (-1\le x\le 3)$

**2)** $f(x)=\sqrt{-x^2+4x+5}$

**3)** $f(x)=x^{\frac{2}{3}}(20-x) \quad (-1\le x\le 20)$

**4)** $f(x)=\begin{cases}4x-2 & x<1\\ (x-2)(x-3) & x\ge 1\end{cases} \quad \left[\frac{1}{2},\frac{7}{2}\right]$

**5)** $f(x)=1+\left|9-x^2\right| \quad (-5\le x\le 1)$

**6)** $f(x)=\frac{x^2}{x+1} \quad (-5<x<-1)$

**7)** $f(x)=x^3-9x+1 \quad (-\infty<x<\infty)$

**8)** נתונה הפונקציה $f(x)=x^x$ 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.

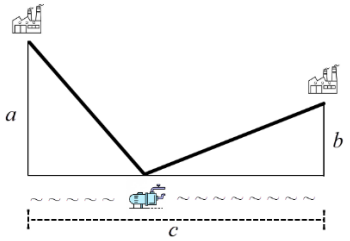
**9)** מצאו את המקסימום והמינימום המוחלטים של הפונקציה $f(x)=x^2+\left|\ln x\right|$.

**10)** מצאו את המקסימום והמינימום המוחלטים של $f(x)=\sin^4 x+\cos^4 x$, ב- $\mathbb{R}$.
הערה: אין להשתמש בנגזרות בתרגיל זה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**11)** מצאו את המקסימום והמינימום המוחלטים של $f(x)=\left|x^2-4x+3\right|$ ,
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 הזויות 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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $[a,b]$.
וידוע 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# הוכחת אי שוויונים

## שאלות

בשאלות **1-3** הוכיחו את אי-השוויונים שמימין, לגבי התחום שבסוגריים משמאל:

**1)** $x^3e^{-x} \le \frac{27}{e^3}$ (לכל $x$)

**2)** $xe^{-\sqrt{x}} \le 1$ $\quad (x \ge 0)$,

**3)** $0 \le x^2e^{x-1} \le 1$ $\quad (x \le 1)$,

**4)** יהיו $a$ ו- $b$ מספרים חיוביים.
הוכיחו שאי-השוויונים הבאים לא יכולים להתקיים בעת ובעונה אחת:

$$(1)\ a(1-b) > \frac{1}{4}, \qquad (2)\ b(1-a) > \frac{1}{4}$$

**הערת סימון:** $[a,b] \Leftrightarrow a \le x \le b$ ; $(a,b) \Leftrightarrow a < x < b$ ; $[a,b) \Leftrightarrow a \le x < b$.

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 13 - בעיות מקסימום ומינימום (בעיות קיצון)

### תוכן העניינים


1. הסבר כללי על בעיות קיצון ..... 169
2. בעיות קיצון יסודיות עם מספרים ..... 170
3. בעיות קיצון בהנדסת המישור ..... 171
4. בעיות קיצון בפונקציות וגרפים ..... 175
5. בעיות קיצון בהנדסת המרחב ..... 179
6. בעיות קיצון עם תשובה נתונה ..... 181
7. בעיות קיצון כלכליות מסוג ראשון ..... 182
8. בעיות קיצון כלכליות מסוג שני ..... 187

## 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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. $M=22500$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# בעיות קיצון בהנדסת המישור

## שאלות

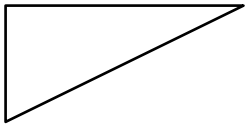
**1)** מבין כל המשולשים שווי השוקיים שהיקפם 24 ס"מ, מצאו את אורך בסיסו של המשולש בעל השטח הגדול ביותר.

**2)** ענו על הסעיפים הבאים:

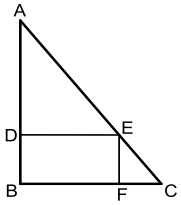
א. מבין כל המשולשים שווי השוקיים שהיקפם $a$, מצאו את בסיסו של המשולש בעל השטח הגדול ביותר.

ב. הוכיחו: מבין כל המשולשים שווי השוקיים בעלי אותו היקף, המשולש בעל השטח הגדול ביותר הוא משולש שווה צלעות.

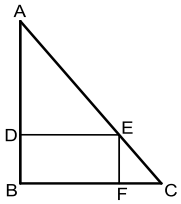
**3)** במשולש ישר זווית סכום אורכי הניצבים הוא 12 ס"מ.
מה צריך להיות אורך כל ניצב,
כדי ששטח המשולש יהיה מקסימלי?



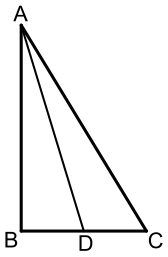
**4)** במשולש ישר זווית ABC ($\sphericalangle B=90°$)
הנקודה E נמצאת על היתר AC,
כך שהמרובע EDBF הוא מלבן.
נתון: $AB=$ 20 ס"מ , $BC=$ 16 ס"מ.
מצאו את שטחו של המלבן בעל השטח הגדול ביותר.




**5)** במשולש ישר זווית ABC ($\sphericalangle B=90°$),
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.



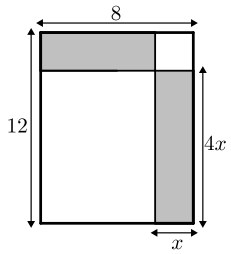

**6)** במשולש ישר הזווית ABC ($\sphericalangle B=90°$),
AD הוא תיכון לניצב BC.
ידוע כי סכום אורכי הניצבים הוא 20 ס"מ.
מצאו מה צריכים להיות אורכי הניצבים,
עבורם אורך התיכון AD יהיה מינימלי.



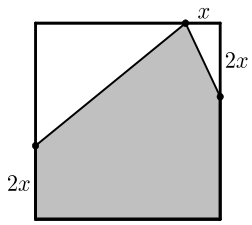


כתב ופתר – גיא סלומון ©

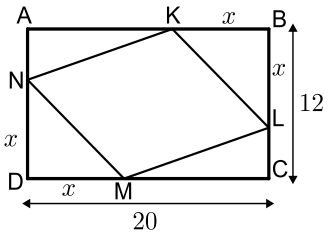
**7)** נתון מלבן שאורכי צלעותיו הם 8 ס"מ ו-12 ס"מ, כמתואר באיור.
מקצים קטעים באורכים של $x$ ו- $4x$ על צלעות המלבן, כך שנוצרים המלבנים המקווקווים.
מצאו את $x$, עבורו סכום שטחי המלבנים הוא מינימלי.




**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.

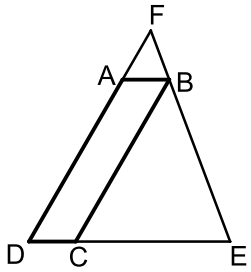



א. הביעו באמצעות $x$ את סכום שטחי המשולשים $\Delta AKN + \Delta KBL + \Delta CLM + \Delta DNM$.

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:
$AB =$ 2 ס"מ, $AD =$ 8 ס"מ.
נסמן את אורך הצלע DE ב- $x$.



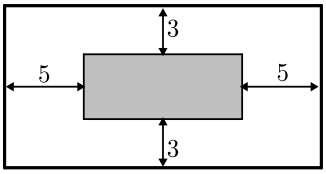

א. הביעו באמצעות $x$ את אורך הצלע DF.

ב. מצאו את $x$, עבורו סכום הצלעות DE ו-DF הוא מינימלי.

ג. מה הוא הסכום המינימלי?


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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).

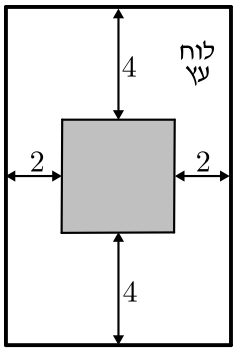



יום אחד קיבל חיים שיחת טלפון מלקוח אנונימי,
ששאל אותו את השאלה הבאה:
"יש לי מגוון גדול של גלויות במידות שונות,
אשר שטחן זהה והוא 60 סמ"ר.
מה הן המידות של גלויה, אשר שטח משטח הקרטון שלה יהיה מינימלי?".

א. עזרו לחיים לענות ללקוח על שאלתו והראו דרך חישוב.

ב. מה יהיו מידות הקרטון עבור הגלויה המסוימת?

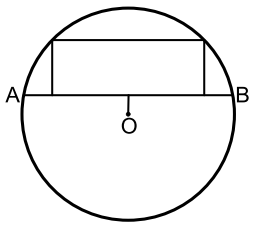
**12)** אלינה קיבלה משימה בשיעור מלאכה:
יש להכין מסגרת לתמונה מלוח עץ,
ששטחו הכולל הוא 242 סמ"ר,
כך שעובי המסגרת בצדדים יהיה 2 ס"מ,
ובקצוות העליון והתחתון – 4 ס"מ (ראה איור).
כדי לבחור את מידות לוח העץ,
אלינה צריכה לדעת את השטח המקסימלי
שעליה לנסר עבור המקום לתמונה (השטח המסומן).




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.

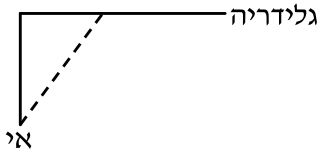



**14)** במעגל שמרכזו O ורדיוסו R העבירו מיתר AB
שמרחקו ממרכז המעגל הוא $a$.
במקטע שיוצר המיתר חסום מלבן כמתואר בשרטוט.
מצאו את היקפו של המלבן בעל ההיקף הגדול ביותר.

**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.

כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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. $\mathrm{DF}=\frac{8x}{x-2}$ 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.

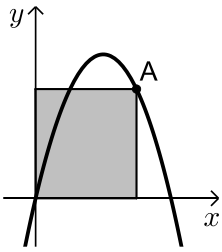
**16)** $2\frac{1}{3}$ ק״מ.

**17)** $4\cdot 6$

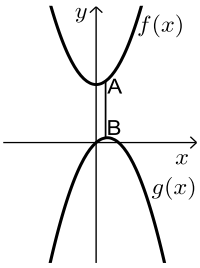

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# בעיות קיצון בפונקציות וגרפים

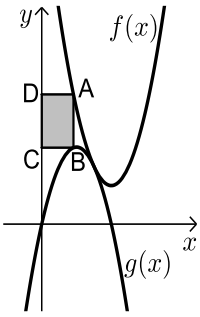
## שאלות




**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?

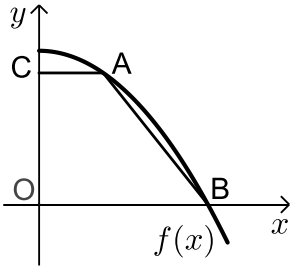



**2)** נתונות הפונקציות $f(x)=x^2+12$ ו- $g(x)=2x-x^2$ , כמתואר באיור. הנקודות A ו-B נמצאות על הגרפים של הפונקציות $f(x)$ ו- $g(x)$ , בהתאמה, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- $y$ .
מצאו מה צריכים להיות שיעורי הנקודה A, כדי שאורך הקטע AB יהיה מינימלי.




**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- $t$ .

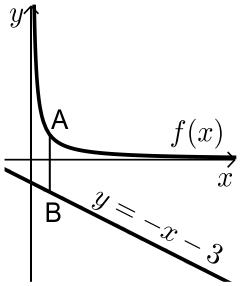
א. הביעו באמצעות $t$ את שטח המלבן המסומן.
ב. מצאו את ערכו של $t$ , עבורו שטח המלבן הוא מקסימלי.
ג. מה יהיה שטח המלבן במקרה זה?




**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?


כתב ופתר – גיא סלומון ©

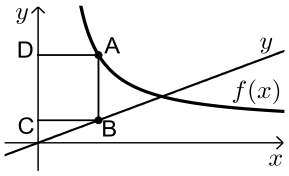



**5)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\frac{4}{x}$ , ונתון הישר: $y=-x-3$ .

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.

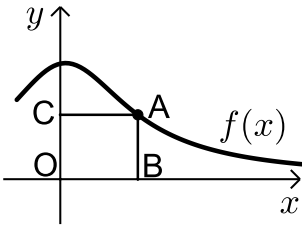
ב. מצאו את $t$ , עבורו היקף המלבן הוא מינימלי.

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.



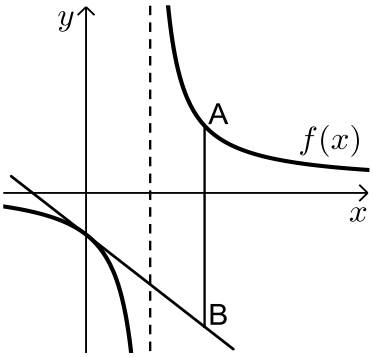

**8)** נתונה הפונקציה: $f(x)=\frac{x+12}{x^2+3}$ , בתחום: $x\ge 0$ .

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?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©




**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.

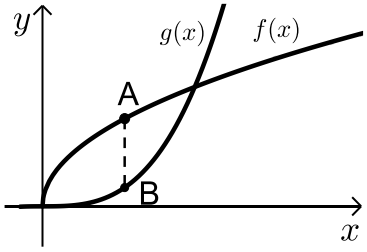
מסמנים נקודה A על גרף הפונקציה $f(x)$ ברביע הראשון ו-B על גרף המשיק, כך שהקטע AB מקביל לציר ה- $y$.

ב. מצאו את שיעורי הנקודה A, עבורן אורך הקטע AB הוא מינימלי.

ג. מה יהיה אורך הקטע AB במקרה זה?

**10)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{1}{x^3}$.

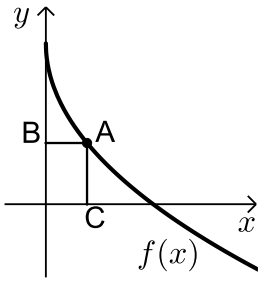
מצאו שיעורי נקודה על הפונקציה ברביע הראשון, שסכום הקטעים שהמשיק בה מַקְצֶה על הצירים הוא מינימלי.




**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).


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $A(4,8)$

2) $A(0.5,12.25)$

3) א. $S=2t^3-12t^2+18t$ ב. $t=1$ ג. $S=8$

4) א. $A(2,32)$ ב. $S=128$

5) $A(2,2)$

6) א. $P=\frac{1.28t^2+0.72t+16}{t-1}$ ב. $t=4\frac{3}{4}$ ג. $P=$ 12.88 ס"מ

7) $1\cdot 2$

8) א. $A(2,2)$ ב. $A(0,4)$

9) א. $y=-3x-5$ ב. $A(4,7)$ ג. $AB=24$

10) $\left(\sqrt{3},\frac{1}{3\sqrt{3}}\right)$

11) $A(1,2)$

12) א. $l=t+6-3\sqrt{t}$ ב. $t=2.25$

13) $b=1$

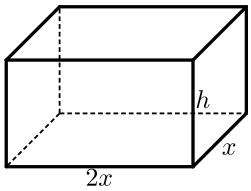

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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.

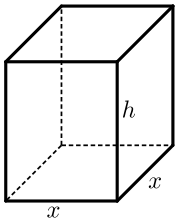



**3)** נתונה תיבה שגובהה הוא $h$ ובסיסה הוא ריבוע
שאורך צלעו היא $x$.
נתון כי צלע הריבוע וגובה התיבה מקיימים
$4x+h=63$.

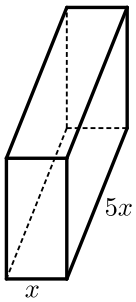
א. הביעו את $h$ באמצעות $x$.

ב. הביעו את שטח הפנים של התיבה
באמצעות $x$.

ג. מה צריך להיות ערכו של $x$, כדי ששטח
הפנים יהיה מקסימלי?



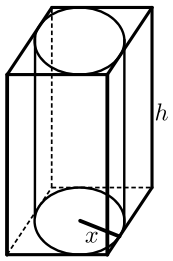

**4)** ליוסי משטח פח אשר הוא רוצה לבנות תיבה
ממנו שנפחה הכולל הוא 225 סמ"ק.
יוסי רוצה שאורך הבסיס יהיה גדול פי 5
מרוחבו, כמתואר באיור הסמוך.
כמות הפח שיש בידי יוסי מוגבלת, ולכן הוא
רוצה לדעת מה היא הכמות המינימלית של פח
שעליו להשתמש, כדי להשיג את מבוקשו.
מצאו את כמות הפח המינימלית.




**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©




**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)** $4\cdot4\cdot4$ 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)** $8\cdot6\cdot3$ 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $\pi k$ סמ"ק, החרוט בעל שטח המעטפת המינימלי הוא זה שגובהו $\sqrt[3]{6k}$ ס"מ.
(שטח מעטפת של חרוט הוא $\pi Rl$ , 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- $\frac{v^2}{200}+48$ ₪ 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.

א. מהו מחיר ליטר אחד, אם הכמות שנמכרת ביום היא 4 ליטר?
ב. מהו מחיר ליטר אחד, אם הכמות שנמכרת ביום היא 12 ליטר?
ג. מהי הכמות הנמכרת ביום, אם המחיר הוא 6 ₪ לליטר?
ד. שרטטו את הגרף של פונקציית הביקוש, ומצאו את תחום ההגדרה שלה.
ה. 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 $p(x)=-0.6x+120$.

א. מצאו את פונקציית הפדיון ואת התחום שלה.
ב. אם $x=20$, מהו מחיר המוצר ומהו הפדיון?
ג. אם המחיר הוא 12 ₪, מהו הפדיון?

**3)** פונקציית הפדיון של מוצר מסוים היא $R(x)=-0.08x^2+40x$.

א. מהו התחום של פונקציית הפדיון?
ב. שרטטו את הגרף של פונקציית הפדיון.
ג. מצאו את פונקציית הביקוש ושרטטו את הגרף שלה.

**4)** פונקציית הביקוש של מוצר מסוים היא $p(x)=-0.4x+100$.

א. מצאו את תחום הפונקציה.
ב. מצאו את פונקציית הפדיון ואת פונקציית הפדיון הממוצע.
ג. מצאו את פונקציית הפדיון השולי.
ד. לאיזה ערך של $x$ יתקבל פדיון מקסימלי, ומהו?

**5)** פונקציית הביקוש של מוצר מסוים היא $p(x)=-6x^2+240x+1800$.

א. מצאו את פונקציית הפדיון ואת פונקציית הפדיון השולי.
ב. אם $x=40$, האם כדאי להגדיל את הייצור?
ג. מתי יהיה הפדיון מקסימלי, ומהו?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**6)** פונקציית הביקוש של מוצר מסוים נתונה ע"י $Q(x)=10x-\frac{x^2}{5}$.

א. מצאו את המחיר הנותן את הפדיון המקסימלי.

ב. מהו הביקוש במקרה זה?

ג. מהו הביקוש השולי בנקודת מחיר זו? מה משמעותו?

**7)** פונקציית ההוצאות של יצרן, המייצר $x$ קפה ביום, היא $C(x)=5x+150$.

א. שרטטו גרף של פונקציית ההוצאות. מהן ההוצאות הקבועות?

ב. מצאו כמה ק"ג קפה מייצר היצרן, אם ההוצאות הן 1,000 ₪.

ג. מהן ההוצאות, אם מייצרים 20 ק"ג קפה ביום?

ד. מצאו את פונקציית ההוצאה השולית.

**8)** פונקציית העלות, של יצרן כובעים, היא $TC(x)=0.04x^2+10x+400$ שקל ליום.

א. חשבו את העלות הממוצעת ליום, אם הוא מייצר 40 כובעים.

ב. כמה כובעים עליו לייצר, כדי שהעלות הממוצעת תהיה מינימלית?

ג. חשבו את העלות השולית ליום, עבור $x=100$.
איזו מסקנה ניתן להסיק?

**9)** פונקציית העלות של מוצר מסוים היא $C(x)=0.004x^2+10x+200$.

א. חשבו את העלות, כאשר $x=100$ וכאשר $x=101$.

ב. חשבו את העלות השולית, כאשר $x=100$.

ג. חשבו כמה תעלה יחידת מוצר נוספת, כאשר הייצור יעבור מ- $x=100$ ל- $x=101$, והשוו עם התוצאה של סעיף ב. מהי המסקנה?

ד. 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?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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:
א. שהרווח המקסימלי מתקבל כאשר הפדיון השולי שווה להוצאה השולית.
הסבירו את המשמעות הגרפית.
ב. שאם מחיר המוצר קבוע, אז הרווח המקסימלי מתקבל כאשר ההוצאה השולית שווה למחיר המוצר.

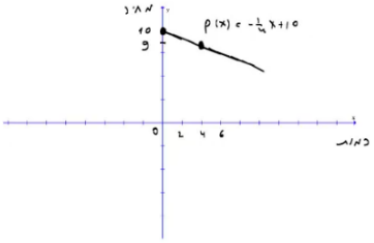
**16)** $C(x)$ – פונקציית הוצאות, $C'(x)$ – הוצאות שוליות, $\frac{C(x)}{x}$ – הוצאות ממוצעות.
א. האם יתכן שהוצאה שולית קבועה, למרות שהוצאה ממוצעת משתנה?
ב. האם יתכן להפך?
ג. הוכיחו כי ההוצאה הממוצעת היא פונקציה עולה אם ורק אם
ההוצאה השולית גדולה מן ההוצאה הממוצעת.

**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
כאשר מתקיימת הנוסחה $\frac{x}{y}=\frac{p_2^2}{p_1^2}$.
ב. חשבו את $x$ ו- $y$ עבורם הייצור מקסימלי, אם נתון:
$p_1=$ 3,000 ₪, $p_2=$ 100 ₪, $A=$ 372,000 ₪.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

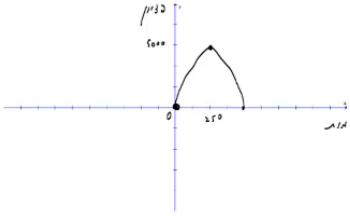
## תשובות סופיות

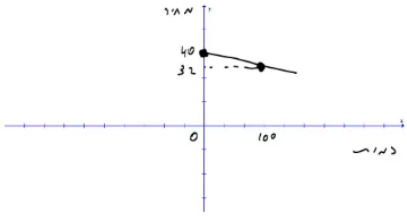
**1)** א. 9 ב. 7 ג. 16 ה. $x(p)=40-4p$ ד.



**2)** א. $R(x)=-0.6x^2+120x$ , בתחום: $x\ge 0$ . ב. 2,160 ג. 2,160

**3)** א. $x\ge 0$ ב. ג.





**4)** א. $x\ge 0$ 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: $R(x)=-6x^3+240x^2+1800x$ ,

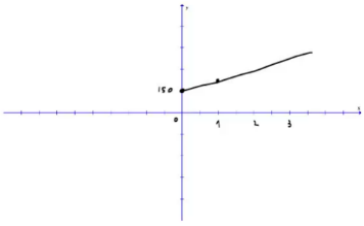
הפדיון השולי: $R'(x)=-18x^2+480x+1800$ . ב. לא.

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.

**7)** א.



ההוצאות הקבועות הן הוצאות המפעל, גם כאשר הוא אינו מייצר. ב. 170

ג. 250 ד. $MC(x)=5$

**8)** א. 21.6 ב. 100 ג. 18 ₪ ; אם המפעל יעלה את הייצור ביחידה אחת, מ-100 ל-101, העלות הכוללת שלו תגדל ב-18 ₪ 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 .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**14)** $TC(Q) = 0.02Q^3 + 20Q + 5$

**15)** שאלת הוכחה.

**16)** א. כן. ב. לא. ג. שאלת הוכחה.

**17)** א. שאלת הוכחה. ב. $x = 4, \quad y = 3600$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 ש**הרווח** 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־ים החודשי הממוצע הוא 200.
על כל 5 אג' ש'סלקום' מעלה – יורד מספר ה-SMS־ים החודשי הממוצע בעשר.
מצאו מה צריך להיות מחיר שליחת SMS,
כדי שהכנסתה של 'סלקום' תהיה מקסימלית.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 14 - משוואות - מציאת מספר הפתרונות, פתרון כללי ופתרון מקורב

תוכן העניינים

1. מציאת מספר הפתרונות של משוואה ..... 189
2. פתרון משוואות פולינומיאליות ..... 192
3. שיטת ניוטון-רפסון לפתרון מקורב של משוואות ..... 194

# מציאת מספר הפתרונות של משוואה

## שאלות

בשאלות **1-4** הוכיחו שלמשוואות יש בדיוק פתרון אחד:

**1)** $x^3+4x-1=0$

**2)** $x^2=-\ln x$

**3)** $x-0.25\sin x=7$

**4)** $-4x^3+21x^2-48x+28=0$

**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:

**6)** $e^{x-1}=x$

**7)** $\arctan x-x=0$

**8)** $\ln(x+5)-4=x$

**9)** $x^2+x\sin x=1-\cos x$

**10)** תהי $f$ פונקציה גזירה לכל $x$, המקיימת: $f(0)=1,\ f(1)=2$, $f'(x)\le 1$.
הוכיחו שלמשוואה $f(x)+\sin x=4x$ יש בדיוק פתרון אחד.

הוכיחו שלמשוואות בשאלות **11-13** יש בדיוק שני פתרונות:

**11)** $e^x-5x=0$

**12)** $4x^3+5x-\frac{1}{x}=0$

**13)** $1+4x^4=8x^3$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

בכל אחת מהמשוואות **14-17**, מצאו קשר בין הפרמטרים, על מנת שלמשוואות יהיה בדיוק פתרון אחד (הניחו שכל הפרמטרים שונים מאפס):

**14)** $ax^2+bx+c=0$

**15)** $ax^3+bx^2+cx+d=0$

**16)** $x+a\cos(bx)=1$

**17)** $(n>4,\ odd)\ ax^n+bx^{n-2}+cx^{n-4}-d=0$

**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?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# פתרון משוואות פולינומיאליות

## שאלות

צמצמו עד כמה שניתן את השברים האלגבריים בשאלות **1-3**:

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

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

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

פתרו את המשוואות הבאות:

**4)** $k^4+3k^3-15k^2-19k+30=0$

**5)** $k^3+2k^2-3k+20=0$

**6)** $k^5+3k^4+2k^3-2k^2-3k-1=0$

**7)** $k^3-6k^2+12k-8=0$

**8)** $k^6-3k^4+3k^2-1=0$

**9)** $k^3-k^2+k-1=0$

**10)** $k^4-3k^3+6k^2-12k+8=0$

**11)** $7x^3-33x^2+21x+61=0$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $x^2+1$

2) $0$

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

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

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

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

7) $k_1=2,\quad k_2=2,\quad k_3=2$

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

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

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

11) פתרון מקורב: $x=0.8459$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# שיטת ניוטון-רפסון לפתרון מקורב של משוואות

## שאלות

פתרו את המשוואות הבאות (שאלה **2** בשיטת ניוטון-רפסון):

**1)** $1+4x^4=8x^3$

**2)** $-4x^3+21x^2-48x+28=0$

## תשובות סופיות

**1)** פתרון מדויק $x=-1$.

**2)** פתרונות מקורבים: $x=1.9672$, $x=0.5576$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 15 - בעיות קצב שינוי

### תוכן העניינים

1. בעיות קצב שינוי ..... 195

# בעיות קצב שינוי

## שאלות

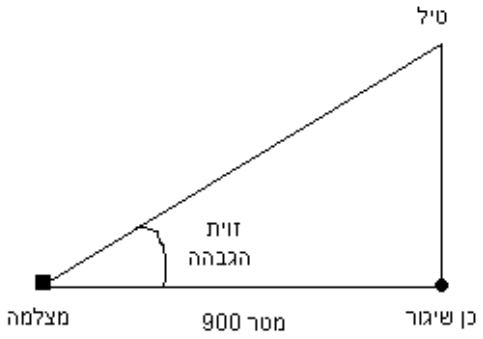
**1)** נפט דולף ממכלית ומתפשט בצורת כתם מעגלי.
רדיוס הכתם גדל בקצב קבוע של 0.5 מ' לשנייה.
באיזה קצב גדל שטח הכתם כאשר הרדיוס הוא 20 מ'?

**2)** סולם באורך 2.5 מ', השענו 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' מכן 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?



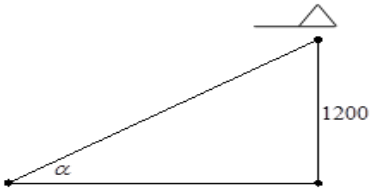

**4)** מסננת בצורת חרוט משמשת לטיהור נוזל ממשקעים.
גובה החרוט 40 ס"מ ורדיוס הבסיס שלו 10 ס"מ.
כאשר גובה פני הנוזל בחרוט 20 ס"מ, הנוזל זורם מן החרוט בקצב של 30 סמ"ק לדקה.
באיזה מהירות קטן גובה פני הנוזל בחרוט באותו רגע?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $\alpha$ באותו רגע? בטאו את התוצאה במעלות לשנייה.

ב. באיזה קצב משתנה אז המרחק בין המטוס לנקודת התצפית?
בטאו את התוצאה במטרים לשנייה.




**6)** למוישל'ה בלון בצורת כדור המלא באוויר.
מוישל'ה 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.**

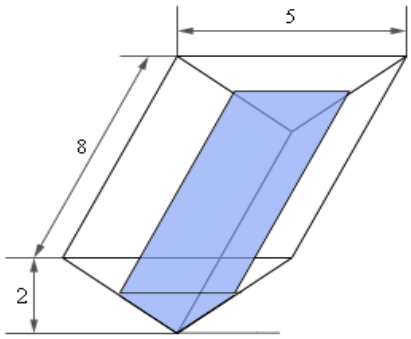
א. רשמו נוסחה שתתאר את רדיוס הכדור בזמן $t$.

ב. כעבור כמה זמן יהיה נפח כדור השלג $\frac{1}{64}$ מנפחו ההתחלתי?


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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,
שבסיסיה הם משולשים שווי 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?

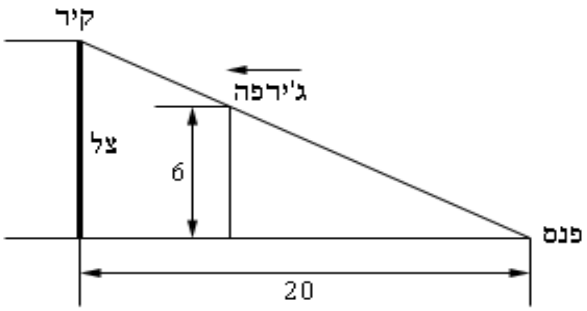



**12)** פנס נמצא בראש עמוד שגובהו 12 מטר.
ג'ירפה, שגובהה 5.5 מטרים, מתרחקת מהעמוד בקצב של 2 מטרים בשנייה.

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?

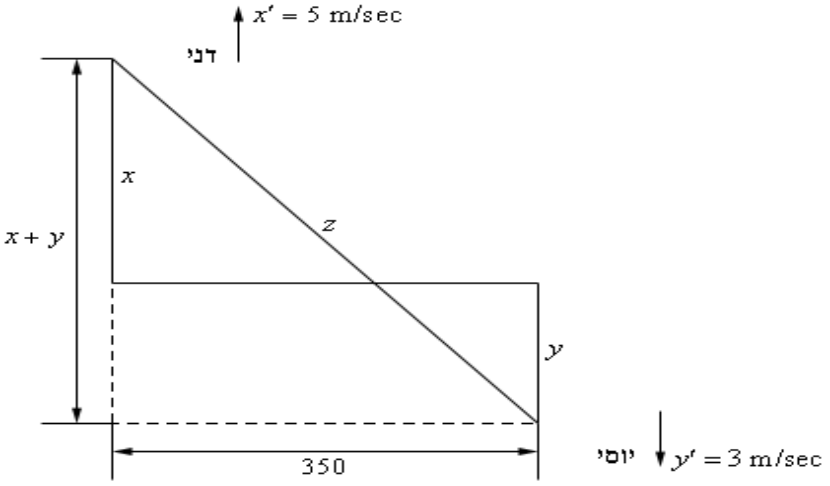
**13)** פנס מונח על הקרקע 20 מטרים מקיר.
ג'ירפה, שגובהה 6 מטרים, הולכת לכיוון הקיר בקצב של 2.5 מטרים לשנייה.
באיזה מהירות משתנה גובהו של הצל, כאשר הג'ירפה במרחק של 8 מטרים
מהקיר? האם גובה הצל קטן או גדל באותו הזמן?





כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $(\Omega)$. 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 $R_1=80\Omega$ , $R_2=105\Omega$ ?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $20\pi\ m^2/\sec$

2) $-\frac{4}{3}\ m/\sec$

3) א. $0.104\ rad/\sec$ ב. $208\ m/\sec$

4) $-0.38\ cm/\min$

5) א. $100_{Rad/hour}$ או $-\frac{5}{\pi}$ מעלות בשנייה. ב. $115.4\ m/\sec$

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. $t=4.5_{hours}$

10) שאלת הוכחה.

11) $0.25_{m/\sec}$

12) א. $3.6923\ m/\sec$ ב. $1.6923\ m/\sec$

13) $2.0833\,m/\sec$

14) $7.9958_{m/\sec}$

15) קטן בקצב של $0.002045\Omega/\min$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 16 - משפטי הערך הממוצע של רול, לגראנז', קושי ודרבו

תוכן העניינים


1. משפט רול ..... 200
2. משפט לגראנז' - הוכחת אי שוויונים בקטע [a,b] ..... 204
3. משפט לגראנז' - הוכחת אי שוויונים בקטע [o,x] ..... 206
4. משפט לגראנז' - הוכחת אי שוויונים עם מספרים ..... 207
5. משפט לגראנז' - שאלות כלליות ..... 208
6. משפט הערך הממוצע המוכלל של קושי ..... 212
7. משפט דרבו ..... 214

# 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. $[0,2]$ $\quad f(x)=x^3-3x^2+2x$

ב. $[-1,1]$ $\quad f(x)=\dfrac{x^2-1}{x-2}$

**2)** נתון ש- $f(x)=\dfrac{1}{(x-3)^2}$.

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 $f:(0,1)\to\mathbb{R}$ גזירה 3 פעמים.

נניח שלכל $n$ טבעי מתקיים $f\left(\dfrac{1}{n}\right)=0$.

הוכיחו שקיימת $x_0\in(0,1)$, כך ש- $f'''(x_0)=0$.

**5)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ גזירה 3 פעמים.

נניח שמתקיים $f(a)=f(b)=f'(a)=f'(b)=0$.

הראו שלמשוואה $f'''(x)=0$ יש פתרון.

**6)** נתון כי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- $f(0)=0$ ו- $f(x)>0$ לכל $0<x\le 1$ .
הוכיחו שקיים $c\in(0,1)$ , כך ש- $\frac{f'(1-c)}{f(1-c)}=2\frac{f'(c)}{f(c)}$ .

**10)** אם $c_0+\frac{c_1}{2}+...+\frac{c_{n-1}}{n}+\frac{c_n}{n+1}=0$ $(c_i\in\mathbb{R})$ ,
הוכיחו שלמשוואה $c_0+c_1x+...+c_{n-1}x^{n-1}+c_nx^n=0$
יש לפחות פתרון אחד בקטע $(0,1)$ .

**11)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- $f(0)=0,\ f(1)=1$ .
הראו שלמשוואה $f'(x)=2x$ קיים פתרון בקטע $(0,1)$ .

**12)** תהיינה $f,g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציות גזירות.
נניח שלכל $x$ ממשי מתקיים $f'(x)g(x)\ne g'(x)f(x)$ .
הראו שבין כל שני שורשים של $f$ קיים לפחות שורש אחד של $g$ .

**13)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה,
כך ש- $f(0)=f(1)=0$ ו- $f'(1)>0,\ f'(0)>0$ .
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 $(0,1)$ .


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**14)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. תהי $f:(-1,2)\to\mathbb{R}$ גזירה פעמיים.

נניח שלכל $n$ טבעי $f\left(\frac{1}{n}\right)=1$.

חשבו את $f''(0)$.

ב. תהי $f:(-1,2)\to\mathbb{R}$ גזירה פעמיים, כך ש- $f''(0)>0$.

הוכיחו שקיים $n$ טבעי, כך ש- $f\left(\frac{1}{n}\right)\neq 1$.

**15)** תהי $f:(-1,2)\to\mathbb{R}$ גזירה פעמיים.

נניח שלכל $n$ טבעי $f\left(1-\frac{1}{n}\right)=1$.

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 משותפת אחת 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- $f'(c)=g'(c)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפט לגראנז' – הוכחת אי שוויונים בקטע $[a,b]$

## שאלות

הוכיחו את אי השוויונים הבאים בתחום הרשום לידם:

1) $\frac{b-a}{b} < \ln\left(\frac{b}{a}\right) < \frac{b-a}{a} \quad (0<a<b)$

2) $\frac{b-a}{2\sqrt{b}} < \sqrt{b}-\sqrt{a} < \frac{b-a}{2\sqrt{a}} \quad (0<a<b)$

3) $(a-b)e^{-a} < e^{-b}-e^{-a} < (a-b)e^{-b} \quad (a<b)$

4) $\frac{b-a}{\cos^2 a} < \tan b - \tan a < \frac{b-a}{\cos^2 b} \quad \left(0<a<b<\frac{\pi}{2}\right)$

5) $\frac{b-a}{1+b^2} < \arctan b - \arctan a < \frac{b-a}{1+a^2} \quad (0<a<b)$

6) $\frac{b-a}{\sqrt{1-a^2}} < \arcsin b - \arcsin a < \frac{b-a}{\sqrt{1-b^2}} \quad (0<a<b<1)$

7) $\frac{b-a}{\sqrt{1+b^2}} < \frac{\operatorname{arcsinh}(b)-\operatorname{arcsinh}(a)}{b-a} < \frac{b-a}{\sqrt{1+a^2}} \quad (0<a<b)$

8) $\frac{b-a}{1-a^2} < \operatorname{arctanh}(b)-\operatorname{arctanh}(a) < \frac{b-a}{1-b^2} \quad (0<a<b<1)$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

9) $\sqrt[n]{b}\cdot\frac{b-a}{n\cdot b}<\sqrt[n]{b}-\sqrt[n]{a}<\sqrt[n]{a}\cdot\frac{b-a}{n\cdot a}$ $(0<a<b)$

10) $\frac{2b(b-a)}{b^2+1}<\ln\left(\frac{b^2+1}{a^2+1}\right)<\frac{2a(b-a)}{a^2+1}$ $(1<a<b)$

11) $\ln b-\ln a+\frac{1}{b}-\frac{1}{a}\le\frac{1}{4}(b-a)$ $(1<a<b<3)$

12) $|\sin x_2-\sin x_1|\le|x_2-x_1|$ $(x_1<x_2)$

13) $|\cos x_2-\cos x_1|\le|x_2-x_1|$ $(x_1<x_2)$

14) $|\arctan y-\arctan x|\le|y-x|$ $(x<y)$

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפט לגראנז' – הוכחת אי שוויונים בקטע $[0,x]$

## שאלות

הוכיחו את אי השוויונים הבאים בתחום הרשום לידם:

1) $x<\tan x<\frac{x}{\cos^2 x}$ $\left(0<x<\frac{\pi}{2}\right)$

2) $\frac{x}{1+x^2}<\arctan x<x$ $(x>0)$

3) $x<\arcsin x<\frac{x}{\sqrt{1-x^2}}$ $(0<x<1)$

4) $\frac{x}{\sqrt{1+x^2}}<\operatorname{arcsinh}(x)<x$ $(x>0)$

5) $x<\operatorname{arctanh}(x)<\frac{x}{1-x^2}$ $(0<x<1)$

6) $\frac{x}{1+x}<\ln(1+x)<x$ $(x>0)$

7) $1+x<e^x<1+xe^x$ $(x>0)$

8) $\sin x\le x$ $(x>0)$

9) $\tan x<4x$ $\left(0<x<\frac{\pi}{3}\right)$

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפט לגראנז' – הוכחת אי-שוויונים עם מספרים

## שאלות

הוכיחו את אי-השוויונים הבאים:

1) $\frac{1}{3} < \ln\left(\frac{3}{2}\right) < \frac{1}{2}$

2) $\frac{1}{2\sqrt{2}} + 1 < \sqrt{2} < 1.5$

3) $\frac{3}{25} + \frac{\pi}{4} < \arctan\left(\frac{4}{3}\right) < \frac{1}{6} + \frac{\pi}{4}$

4) $\frac{\sqrt{3}}{15} + \frac{\pi}{6} < \arcsin(0.6) < \frac{1}{8} + \frac{\pi}{6}$

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפט לגראנז' – שאלות כלליות

## שאלות

**1)** תהי $f(x)$ פונקציה גזירה לכל $x$, המקיימת $|f'(x)|\le 5$.
ידוע כי $f(4)=18$ , $f(1)=3$ .
הוכיחו כי $f(2)=8$ .

**2)** תהי $f(x)$ פונקציה גזירה לכל $x$, המקיימת $|f'(x)|\le 7$.
ידוע כי $f(4)=18$ , $f(1)=3$ .
הוכיחו כי $4\le f(2)\le 10$ .

**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:
$|f(y)-f(x)|\le M|y-x|$.
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 $f'(x)>\dfrac{f(x)}{x}$ ב- $(0,\infty)$.
ב. הוכיחו כי $g(x)=\dfrac{f(x)}{x}$ מונוטונית עולה ב- $(0,\infty)$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**6)** תהיינה $f,g$ פונקציות רציפות ב- $[a,\infty)$ וגזירות ב- $(a,\infty)$.
נתון כי $f(a)=g(a)$ ו- $f'(x)\le g'(x)$ לכל $x>a$.
הוכיחו כי $f(x)\le g(x)$ לכל $x\ge a$.

**7)** נניח כי $f$ גזירה ב- $(0,\infty)$.

א. נתון כי $\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)=0$.
הוכיחו כי $\lim\limits_{x\to\infty}\left[f(x+1)-f(x)\right]=0$.

ב. נתון כי $\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)>0$.
הוכיחו כי $\lim\limits_{x\to\infty} f(x)=\infty$.

**8)** תהי $f$ פונקציה גזירה לכל $x$.
הוכח:

א. אם הגבולות $\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)$, $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{f(x)}{x}$ קיימים, אז הם שווים זה לזה.

ב. אם $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{\ln x}{x}=L$ אז $L=0$ (ללא שימוש בכלל לופיטל).

ג. ייתכן שהגבול $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{f(x)}{x}$ קיים אבל הגבול $\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)$ לא קיים.

ד. אם הגבול $\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)$ קיים אז גם הגבול $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{f(x)}{x}$ קיים ושני הגבולות שווים זה לזה.

ה. אם $\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)>0$ $\left(\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)<0\right)$ אז $\lim\limits_{x\to\infty} f(x)=\infty$ $\left(\lim\limits_{x\to\infty} f(x)=-\infty\right)$.

הערה: סעיף ג' הוא למעשה הכללה של סעיף א'.

**9)** נניח כי $f$ גזירה ב- $\mathbb{R}$.
האם נכון לומר כי מתקיים $\lim\limits_{x\to\infty} f'(x)=\infty \Leftrightarrow \lim\limits_{x\to\infty}\frac{f(x)}{x}=\infty$?
הוכיחו או הפריכו.
הערה: למרות שתרגיל זה אפתור ללא שימוש במשפט לגראנז',
הכנסתי אותו כאן בזכות הקשר שלו לשאלה הקודמת.

**10)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- $|f'(x)|<1$ לכל $0\le x\le 1$.
הוכיחו שקיים לכל היותר $c$ אחד ב- $[0,1]$, כך ש- $f(c)=c$.

**11)** תהי $f:[0,1]\to[0,1]$ פונקציה גזירה, כך ש- $f'(x)<0$ לכל $0\le x\le 1$.
הוכיחו שקיים בדיוק $c$ אחד ב- $[0,1]$, כך ש- $f(c)=c^2$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ 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 $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

נניח ש-$f$ גזירה ב-$(a,b)$ ו-$\lim_{x\to a^+} f'(x)=L$, כאשר $L\in\mathbb{R}$.

הוכיחו כי $f'_+(a)$ קיים וש-$f'_+(a)=L$.

**15)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה שמקיימת $f(0)=0$.

נניח שלכל $x\in[0,1]$ מתקיים $|f'(x)|\le|f(x)|$.

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-$\lim_{x\to a^+} f(x)=\infty$.

א. הוכח כי $f'$ לא חסומה בקטע.

ב. האם בהכרח $f'$ שואפת ל-$\infty$ או $-\infty$?


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

**8)** ב. 0

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפט הערך הממוצע המוכלל של קושי

## שאלות

1) הוכיחו שלכל $1 \le a < b$ מתקיים $n(\ln b - \ln a) < b^n - a^n$, כאשר $n \in \mathbb{N}$.

2) הוכיחו כי עבור כל $a, b$ המקיימים $0 < a < b < 1$,
מתקיים $\frac{a}{1+a^2} < \frac{\arctan b - \arctan a}{\ln b - \ln a} < \frac{b}{1+b^2}$.

3) הוכיחו כי עבור כל $a, b$ המקיימים $1 < a < b$,
מתקיים $\frac{2\sqrt{b}}{1+b^2} < \frac{\arctan b - \arctan a}{\sqrt{b} - \sqrt{a}} < \frac{2\sqrt{a}}{1+a^2}$.

4) הוכיחו כי $|\tan y - \tan x| \le 8|\sin x - \sin y|$ לכל $x, y \in \left[0, \frac{\pi}{3}\right]$.

5) הוכיחו כי $\arctan x > \ln(1+x)$ לכל $x \in (0,1)$.

6) הוכיחו שלכל $x \ne 0$ 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 $(a^3 - b^3)\cos x = 3x^2(\sin a - \sin b)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $f'(x) \cdot x - f(x) = \frac{1}{b-a} \begin{vmatrix} a & b \\ f(a) & f(b) \end{vmatrix}$

קיים פתרון בקטע $[a,b]$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ 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 $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ 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 $f'(x)=\begin{cases}x+1 & x\geq 1\\ 4x & x<1\end{cases}$ ?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**7)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה, ותהי $x_0\in(a,b)$.

הוכיחו:

אם $f'$ לא רציפה ב- $x_0$, אז $\lim\limits_{x\to x_0^+} f'(x)\neq\pm\infty,\ \lim\limits_{x\to x_0^-} f'(x)\neq\pm\infty$.

כלומר, $x_0$ היא לא נקודת אי-רציפות מסוג שני, שבה אחד הגבולות החד-צדדיים אינסופי.

ב. האם קיימת פונקציה $f$, גזירה ב- $\mathbb{R}$,

שהנגזרת שלה נתונה על ידי $f'(x)=\begin{cases}0 & x=0\\ \dfrac{1}{x^2} & x\neq 0\end{cases}$ ?

**8)** האם קיימת פונקציה $f$, גזירה ב- $[0,1]$,

שהנגזרת שלה ב- $[0,1]$ נתונה על ידי $f'(x)=\begin{cases}1 & x\in\mathbb{Q}\\ 0 & x\notin\mathbb{Q}\end{cases}$ ?

**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 $f'(x)=\dfrac{1}{4}$.

**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 $0\le f'(x)\le 2$, 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 $0\le f'(x)\le 1$, לכל $x$ בקטע.

הוכיחו כי קיימת נקודה $x$ ב- $[0,1]$, כך ש- $f'(x)=\dfrac{4x}{\sqrt{x^2+15}}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**14)** תהי $f$ פונקציה גזירה בקטע $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$, המקיימת $0 \le f'(x) \le 1$, לכל $x$ בקטע.
הוכיחו כי קיימת נקודה $x$ בקטע $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$, כך ש- $f'(x)=\sin x$.

**15)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ 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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 17 - טורי טיילור - מקלורן

### תוכן העניינים


1. טור טיילור וטור מקלורן ..... 217
2. טור טיילור סביב X=X0 ..... 219
3. חישוב סכום של טור ..... 220
4. חישוב גבולות בעזרת טורי מקלורן ..... 221
5. חישובים מקורבים עם השארית של לייבניץ ..... 222
6. חישוב מקורב של אינטגרל מסוים ..... 224
7. חישובים מקורבים עם השארית של לגראנז' ..... 225
8. נוסחאות - טורי מקלורן של פונקציות חשובות ..... 231

# טור טיילור וטור מקלורן

## שאלות

בשאלות **1-24** מצאו את הפיתוח לטור טיילור סביב $x=0$ (טור מקלורן) :

**1)** $f(x)=\sin 2x$ **2)** $f(x)=x^2e^{-4x}$ **3)** $f(x)=\sinh x$

**4)** $f(x)=\sin^2 x$ **5)** $f(x)=\cos^2 x$ **6)** $f(x)=2^x$

**7)** $f(x)=x\cos(4x^2)$ **8)** $f(x)=\ln(2-3x+x^2)$ **9)** $f(x)=\arcsin x$

**10)** $f(x)=\dfrac{1}{1+x}$ **11)** $f(x)=\dfrac{3}{1-x^4}$ **12)** $f(x)=\dfrac{1}{1+9x^2}$

**13)** $f(x)=\dfrac{1}{x-5}$ **14)** $f(x)=\dfrac{x}{4x+1}$ **15)** $f(x)=\dfrac{x}{9+x^2}$

**16)** $f(x)=\dfrac{3}{x^2+x-2}$ **17)** $f(x)=\dfrac{7x-1}{3x^2+2x-1}$ **18)** $f(x)=\dfrac{1}{(1+x)^2}$

**19)** $f(x)=\ln(1+x)$ **20)** $f(x)=\ln(1-x)$ **21)** $f(x)=\ln\dfrac{1+x}{1-x}$

**22)** $f(x)=\ln(5-x)$ **23)** $f(x)=\dfrac{x^2}{(1-2x)^2}$ **24)** $f(x)=\arctan\left(\dfrac{x}{3}\right)$

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)** $f(x)=e^{-x^2}\cos x$ **26)** $f(x)=\tan x$ **27)** $f(x)=\dfrac{\sin x}{e^x}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{2^{2n+1}x^{2n+1}}{(2n+1)!}$ $(-\infty<x<\infty)$

2) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{4^n x^{n+2}}{n!}$ $(-\infty<x<\infty)$

3) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!}$ $(-\infty<x<\infty)$

4) $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n+1}\frac{2^{2n-1}x^{2n}}{(2n)!}$ $(-\infty<x<\infty)$

5) $\frac{1}{2}+\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{2^{2n-1}x^{2n}}{(2n)!}$ $(-\infty<x<\infty)$

6) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(\ln 2)^n x^n}{n!}$ $(-\infty<x<\infty)$

7) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{4^{2n}x^{4n+1}}{(2n)!}$ $(-\infty<x<\infty)$

8) $\ln 2-\sum_{n=0}^{\infty}\left(1+\frac{1}{2^{n+1}}\right)\frac{x^{n+1}}{n+1}$ $(-1\le x<1)$

9) $x+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1\cdot 3\cdot\ldots\cdot(2n-1)}{2\cdot 4\cdot\ldots\cdot 2n}\cdot\frac{x^{2n+1}}{2n+1}$ $(-1<x<1)$

10) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n x^n$ $(|x|<1)$

11) $\sum_{n=0}^{\infty}3x^{4n}$ $(|x|<1)$

12) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n 9^n x^{2n}$ $(|x|<\frac{1}{3})$

13) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{-1}{5^{n+1}}x^n$ $(|x|<5)$

14) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n 4^n x^{n+1}$ $(|x|<\frac{1}{4})$

15) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{9^{n+1}}$ $(|x|<3)$

16) $\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{(-1)^{n+1}}{2^{n+1}}-1\right)x^n$ $(|x|<1)$

17) $\sum_{n=0}^{\infty}\left(2(-1)^n-3^n\right)x^n$ $(|x|<\frac{1}{3})$

18) $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n+1}\cdot n\cdot x^{n-1}$ $(|x|<1)$

19) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n x^{n+1}}{n+1}$ $(-1<x\le 1)$

20) $\sum_{n=0}^{\infty}-\frac{x^{n+1}}{n+1}$ $(-1\le x<1)$

21) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{2x^{2n+1}}{2n+1}$ $(|x|<1)$

22) $\ln 5-\sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^{n+1}}{5^{n+1}(n+1)}$ $(-5\le x<5)$

23) $\sum_{n=0}^{\infty}2^n(n+1)x^{n+2}$ $(|x|<\frac{1}{2})$

24) $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{3^{2n+1}(2n+1)}$ $(|x|\le 3)$

25) $1-\frac{3}{2}x^2+\frac{25}{24}x^4-\frac{331}{720}x^6+..$

26) $x+\frac{x^3}{3}+\frac{2x^5}{15}+\frac{17x^7}{315}+\ldots$

27) $x-x^2+\frac{1}{3}x^3-\frac{1}{30}x^5+..$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# טור טיילור סביב $x = x_0$

## שאלות

מצאו את הפיתוח לטור טיילור סביב $x = x_0$ של הפונקציות הבאות:

1) $f(x) = \ln x$ $\quad (x_0 = 1)$

2) $f(x) = \frac{1}{x}$ $\quad (x_0 = 2)$

3) $f(x) = \sin x$ $\quad \left(x_0 = \frac{\pi}{2}\right)$

## תשובות סופיות

1) $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (x-1)^{n+1}}{n+1}$
$(0 < x \le 2)$

2) $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (x-2)^n}{2^{n+1}}$
$(0 < x < 4)$

3) $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (x-\frac{\pi}{2})^{2n}}{2n!}$
$(-\infty < x < \infty)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב סכום של טור

## שאלות

חשבו את סכום הטורים הבאים:

1) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{n!}$

2) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n 2^n}{n!}$

3) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{2^n\cdot n!}$

4) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{n+1}{n!}$

5) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{2n+1}$

6) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(2n+1)!}$

7) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(2n)!}$

8) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n+1}$

9) $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{2^{n+1}(n+1)}$

## תשובות סופיות

1) $e$ 2) $e^{-2}$ 3) $\sqrt{e}$ 4) $2e$ 5) $\pi/4$

6) $\sin 1$ 7) $\cos 1$ 8) $\ln 2$ 9) $\ln\frac{3}{2}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב גבולות בעזרת טורי מקלורן

## שאלות

בשאלות **1-3** חשבו את ערך הגבול:

**1)** $\lim\limits_{x\to 0}\dfrac{\sin x - x + \frac{1}{6}x^3}{x^5}$ **2)** $\lim\limits_{x\to 0}\dfrac{x-\arctan x}{x^3}$ **3)** $\lim\limits_{x\to 0}\dfrac{e^x\sin x - x(1+x)}{x^3}$

**4)** נתון כי $\lim\limits_{x\to 0}\dfrac{(1+x)^{x^2}-1}{x^n}=k$ כאשר $k$ קבוע שונה מאפס.
מצאו את $n$ ואת $k$.

**5)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{x\to 1^-}\left[\ln(1-\ln x)\right]^{x-1}$.

**6)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{x\to 0}\dfrac{\sinh x^4 - x^4}{(x-\sin x)^4}$.

**7)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{x\to 0}\dfrac{(\sin x^2)^3-(\sin x^3)^2}{\ln(1+x^{10})}$.

## תשובות סופיות

**1)** $\dfrac{1}{120}$

**2)** $\dfrac{1}{3}$

**3)** $\dfrac{1}{3}$

**4)** $k=1, n=3$

**5)** $1$

**6)** $216$

**7)** $-\dfrac{1}{2}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישובים מקורבים עם השארית של לייבניץ

## שאלות

בשאלות **1-3** חשבו בשגיאה הקטנה מ-0.001:

**1)** $\frac{1}{e}$ **2)** $\sin 3^{\circ}$ **3)** $\arctan 0.25$

בשאלות **4-6** חשבו בעזרת $n$ איברים ראשונים (שונים מאפס), בפיתוח לטור מקלורן, והעריכו את השגיאה בחישוב:

**4)** $(n=3)\frac{1}{\sqrt{e}}$ **5)** $(n=1)\cos 4^{\circ}$ **6)** $(n=4)\ln 1.5$

**7)** מהי השגיאה המקסימלית בקירוב $\sin x \cong x-\frac{x^3}{3!}$ עבור $|x| \le \frac{\pi}{6}$?

**8)** מהי השגיאה המקסימלית בקירוב $\ln(1+x) \cong x$ עבור $|x| < 0.01$?

**9)** מהי השגיאה המקסימלית בקירוב $\cos x \cong 1-\frac{x^2}{2!}+\frac{x^4}{4!}$ עבור $|x| \le 0.2$?

**10)** עבור אילו ערכי $x$, $\sin x \cong x-\frac{x^3}{3!}$ בשגיאה הקטנה מ-0.001?

**11)** עבור אילו ערכי $x$, $\arctan x \cong x-\frac{x^3}{3}+\frac{x^5}{5}-\frac{x^7}{7}$ בשגיאה הקטנה מ-0.01?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $\frac{53}{144}$

2) $\frac{\pi}{60}$

3) $\frac{47}{192}$

4) $\frac{5}{8}$, בשגיאה הקטנה מ- $\frac{1}{48}$.

5) 1, בשגיאה הקטנה מ- $\frac{\pi \cdot \pi}{4050}$.

6) $\frac{77}{192}$, בשגיאה הקטנה מ- $\frac{1}{160}$.

7) $\frac{(\pi/6)^5}{5!}$

8) $\frac{(0.01)^2}{2}$

9) $\frac{(0.2)^6}{6!}$

10) $|x| < \sqrt[5]{3/25}$

11) $|x| < \sqrt[9]{9/100}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב מקורב של אינטגרל מסוים

## שאלות

חשבו בקירוב את האינטגרלים הבאים בשגיאה הקטנה מ- $\varepsilon$:

1) $\int_0^{0.2} \frac{\sin x}{x} dx \qquad (\varepsilon = 0.0001)$

2) $\int_0^{0.1} \frac{\ln(1+x)}{x} dx \qquad (\varepsilon = 0.001)$

3) $\int_0^{0.5} \frac{1-\cos x}{x^2} dx \qquad (\varepsilon = 0.0001)$

## תשובות סופיות

1) $\frac{449}{2250}$

2) $\frac{39}{400}$

3) $\frac{143}{576}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $x=\frac{\pi}{4}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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 $0\le x\le 1$, והעריכו את השגיאה בקירוב.

ב. הוכיחו שלכל $x\ge 0$ מתקיים $\sqrt{1+x}\le 1+\frac{1}{2}x$.

**8)** נתונה $f(x)=\frac{1}{1+x}$.

א. קרבו את $f(x)$ על ידי פולינום טיילור סביב 0 עד סדר 3, עבור $0.1\le x\le 0.9$, והעריכו את השגיאה בקירוב.

ב. מצאו את הערכת השגיאה (השגיאה המקסימלית) בנוסחה המקורבת $\frac{1}{1+x}\cong 1-x+x^2-x^3$, עבור $0.1\le x\le 0.9$.

ג. הוכיחו כי עבור $-1<x$ מתקיים $\frac{1}{1+x}\ge 1-x+x^2-x^3$.

**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 $|x|\le 0.5$, והעריכו את השגיאה בקירוב.

ב. מצאו את הערכת השגיאה (השגיאה המקסימלית) בנוסחה המקורבת $\frac{1}{\sqrt[3]{1+x}}\cong 1-\frac{1}{3}x+\frac{2}{9}x^2$, עבור $|x|\le 0.5$.

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:

$e^x\cong 1+x+\frac{x^2}{2!}+\frac{x^3}{3!}+\ldots+\frac{x^n}{n!}$, עבור $0\le x\le 1$.

ד. מצאו פולינום $p(x)$ בקטע $(-1,1)$, שעבורו $\left|e^x-p(x)\right|<10^{-5}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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:

$\ln(1+x)\cong x-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}-\frac{x^4}{4}+...+(-1)^{n+1}\frac{x^n}{n}$ עבור $0\le x\le 1$.

ד. מצאו פולינום $p(x)$ בקטע $(0,1)$, שעבורו $\left|\ln(1+x)-p(x)\right|<10^{-2}$.

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- $\left|f''(x)\right|\le M$ לכל $0<x<1$.
הוכיחו כי $\left|f'(x)\right|\le\frac{M}{2}$ לכל $0\le x\le 1$.

**13)** תהי $f:[-1,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה פעמיים המקיימת $f(-1)=f(1)=0$.
כמו כן, נתון כי קיים $M$, כך ש- $|f''(x)|\le M$ בקטע.
הוכיחו שלכל $-1\le x\le 1$ מתקיים $\left|f(x)\right|\le\frac{M}{2}$.

**14)** תהי $f$ פונקציה גזירה ב- $(0,\infty)$, ונניח כי $\left|f'(x)\right|\le M$ לכל $0<x$.
הוכיחו כי $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{f(x)}{x^2}=0$.

**15)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה פעמיים המקיימת $f''(x)\ge 0$ לכל $x\in[a,b]$,
ונניח כי $x_0\in[a,b]$.

א. הוכיחו שלכל $x\in[a,b]$ מתקיים $f(x)\ge f(x_0)+f'(x_0)(x-x_0)$.

ב. הוכיחו כי $\cos y-\cos x\ge(x-y)\sin x$ לכל $x,y\in[\frac{\pi}{2},\frac{3\pi}{2}]$.

**16)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה פעמיים ונניח כי קיימים:
$M_0=\sup\limits_{x\in\mathbb{R}}|f(x)|,\ M_1=\sup\limits_{x\in\mathbb{R}}|f'(x)|,\ M_2=\sup\limits_{x\in\mathbb{R}}|f''(x)|$.
הוכיחו כי $(M_1)^2\le 2M_0M_2$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**17)** נניח ש- $f$ גזירה פעמיים ב- $(0,\infty)$ ו- $f''$ חסומה ב- $(0,\infty)$ ו- $\lim_{x\to\infty} f(x)=0$.
הוכח כי $\lim_{x\to\infty} f'(x)=0$.

**18)** הוכיחו כי $e$ הוא מספר אי-רציונלי.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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: $\sqrt{x+4}=2+\frac{1}{4}x-\frac{1}{64}x^2-\frac{1}{16\sqrt{(c+4)^8}}x^3$,

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. $\sin\frac{\pi}{5}=\frac{\pi}{5}-\frac{\frac{\pi}{5}^3}{3!}+\frac{\frac{\pi}{5}^5}{5!}-\frac{\frac{\pi}{5}^7}{7!}$ 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. $e^x=1+x+\frac{x^2}{2!}+\frac{x^3}{3!}+\ldots+\frac{x^n}{n!}+\frac{e^c}{(n+1)!}x^n$ ב. $\sqrt{e}=1.6487$

ג. $\frac{3}{(n+1)!}$ ד. $p(x)=1+x+\frac{x^2}{2!}+\frac{x^3}{3!}+\frac{x^4}{4!}+\frac{x^5}{5!}+\frac{x^6}{6!}+\frac{x^7}{7!}+\frac{x^8}{8!}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**11)** א. $\ln(1+x)=x-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}-\frac{x^4}{4}+...+(-1)^{n+1}\frac{x^n}{n}+\frac{(-1)^n}{(n+1)(1+c)^{n+1}}x^{n+1}$

ב. $\ln(1.5)=0.5-\frac{0.5^2}{2}+\frac{0.5^3}{3}-\frac{0.5^4}{4}+\frac{0.5^5}{5}-\frac{0.5^6}{6}+\frac{0.5^7}{7}-\frac{0.5^8}{8}+\frac{0.5^9}{9}$

ג. $\frac{1}{n+1}$ ד. $p(x)=x-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}-\frac{x^4}{4}+...+\frac{x^{101}}{101}-\frac{x^{102}}{102}$ ה. שאלת הוכחה.

**12)** שאלת הוכחה.

**13)** שאלת הוכחה.

**14)** שאלת הוכחה.

**15)** שאלת הוכחה.

**16)** שאלת הוכחה.

**17)** שאלת הוכחה.

**18)** שאלת הוכחה.

## <u>הערה לגבי קירובים</u>

כאשר נדרש לספק קירוב שהוא **מדויק ל-** $n$ **ספרות אחרי הנקודה**,

אז עלינו לדרוש שהערך המוחלט של השגיאה יהיה קטן מ- $0.5\times10^{-n}$.

למשל, דיוק של שלוש ספרות אחרי הנקודה משמעותו,

שהערך המוחלט של השגיאה יהיה קטן מ- $0.5\times10^{-3}=0.0005$.

בספר לא השתמשנו בניסוח זה, אך במקומות מסוימים נעשה בו שימוש.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# נוסחאות – טורי מקלורן של פונקציות חשובות

| טור מקלורן | תחום התכנסות |
|---|---|
| $e^x=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^n}{n!}=1+\frac{x^1}{1!}+\frac{x^2}{2!}+\frac{x^3}{3!}+\dots$ | $-\infty<x<\infty$ |
| $\sin x=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!}=x-\frac{x^3}{3!}+\frac{x^5}{5!}-\frac{x^7}{7!}+\dots$ | $-\infty<x<\infty$ |
| $\cos x=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n}}{(2n)!}=1-\frac{x^2}{2!}+\frac{x^4}{4!}-\frac{x^6}{6!}+\dots$ | $-\infty<x<\infty$ |
| $\ln(1+x)=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{n+1}}{n+1}=x-\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}-\frac{x^4}{4}+\dots$ | $-1<x\le 1$ |
| $\arctan x=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{2n+1}=x-\frac{x^3}{3}+\frac{x^5}{5}-\frac{x^7}{7}+\dots$ | $-1\le x\le 1$ |
| $\frac{1}{1-x}=\sum_{n=0}^{\infty}x^n=1+x^1+x^2+x^3+\dots$ | $-1<x<1$ |
| $(1+x)^m=1+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{m(m-1)\cdot\ldots\cdot(m-n+1)}{n!}x^n$ <br> $=1+mx+\frac{m(m-1)}{2!}x^2+\frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3+\dots$ | $-1\le x\le 1\ (m>0)$ <br> $-1<x\le 1\ (-1<m<0)$ <br> $-1<x<1\ (m\le -1)$ <br> $m\ne 0,1,2,3,\dots$ |


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 18 - סדרות

### תוכן העניינים


1. היכרות עם סדרות ..... (ללא ספר)
2. חישוב גבול לפי כללי חשבון גבולות ..... 232
3. חישוב גבול לפי אוילר ..... 234
4. חישוב גבול לפי כלל הסנדוויץ ..... 235
5. חישוב גבול לפי מבחן המנה ומבחן השורש ..... 238
6. חישוב גבול של סדרה רקורסיבית ..... 239
7. חישוב גבול לפי ההגדרה ..... 241
8. שלילת הגדרת הגבול של סדרה ..... 243
9. הגדרת הגבול לפי היינה ..... 246
10. תת-סדרה, גבול חלקי, משפט בולצאנו ויירשטראס ..... 248
11. משפט שטולץ ..... 253
12. מבחן קושי להתכנסות סדרות ..... 255
13. שאלות הוכח או הפרך ..... 257

# חישוב גבול לפי כללי חשבון גבולות

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim_{n\to\infty}\left(e^{-n}\right)^{\ln n}$

2) $\lim_{n\to\infty}\frac{4n^2+2}{n^2+1000n}$

3) $\lim_{n\to\infty}\frac{n^4+2n^2+6}{3n^2+10n}$

4) $\lim_{n\to\infty}\frac{n^4+2n^2+6}{3n^5+10n}$

5) $\lim_{n\to\infty}\left(\frac{n^2-5n+6}{2n+10}-\frac{n}{2}\right)$

6) $\lim_{n\to\infty}\frac{\sqrt{n^2+1}}{n}$

7) $\lim_{n\to\infty}\frac{\sqrt[3]{n^4+2n^2+6+27n^6}}{\sqrt{3n^3+10n+4n^4}}$

8) $\lim_{n\to\infty}\frac{\sqrt{n+2}-\sqrt{3n-3}}{\sqrt{4n+1}-\sqrt{5n-1}}$

9) $\lim_{n\to\infty}\frac{16^n+4^{n+1}}{2^{4n+2}+2^{n+3}}$

10) $\lim_{n\to\infty}\frac{4\cdot 9^n+3^{n+1}}{81^{0.5n}+3^{n+3}}$

11) $\lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{4n^2+2}{n^2+1000n}}$

12) $\lim_{n\to\infty}\ln\left(\frac{3n^3-5n-1}{n^3-2n^2+1}\right)$

13) $\lim_{n\to\infty}e^{\frac{n^4+2n^2+6}{3n^4+10n}}$

14) $\lim_{n\to\infty}\sqrt[5]{\frac{an+1}{bn+2}}$

15) $\lim_{n\to\infty}\left(\sqrt{n^2+5n}-n\right)$

16) $\lim_{n\to\infty}\left(\sqrt{n^2+kn}-n\right)$

17) $\lim_{n\to\infty}\left(\sqrt{n^2+n+1}-n\right)$

18) $\lim_{n\to\infty}(\sqrt{n^4+n^2+1}-n^2)$

19) $\lim_{n\to\infty}\left(\sqrt{n^2+an}-\sqrt{n^2+bn}\right)$

20) $\lim_{n\to\infty}n\cdot\sin\left(\frac{4}{n}\right)$

21) $\lim_{n\to\infty}\frac{1+2+\ldots+n}{n^2+4n+1}$

22) $\lim_{n\to\infty}\frac{1^2+2^2+\ldots+n^2}{n^3+n^2+1}$

23) $\lim_{n\to\infty}4^n\sin\frac{1}{n}$

24) $\lim_{n\to\infty}\left(\frac{1}{1\cdot 2}+\frac{1}{2\cdot 3}+\ldots\frac{1}{n(n+1)}\right)$

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

**<u>הערה חשובה מאוד!</u>**

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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב גבול לפי אוילר

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים:

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

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

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

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

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

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

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

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

## תשובות סופיות

1) $e^{0.5}$

2) $1$

3) $e^2$

4) $e^{-1}$

5) $e^3$

6) $e^{-12}$

7) $e^{30}$

8) $e$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב גבול לפי כלל הסנדוויץ'

## שאלות

בשאלות **1-10** חשבו את הגבול:

**1)** $\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{2^n+3^n+4^n}$

**2)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{\sin n}{n}$

**3)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{\cos(2n+1)}{n}$

**4)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{3n+\sin n}{4n+\cos n}$

**5)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{3n^2+n+\sin 2n}{n^2+\cos 3n}$

**6)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{3n+\arctan(2n-3)}{4n+\arctan(n-\ln n)}$

**7)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{n!}{n^n}$

**8)** $\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{1+2^{4n+\frac{1}{n}}}$

**9)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{1\cdot 3\cdot 5\cdot\ldots\cdot(2n-1)}{2\cdot 4\cdot 6\cdot\ldots\cdot 2n}$

**10)** $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\frac{1}{\sqrt{n^2+1}}+\frac{1}{\sqrt{n^2+2}}+\ldots+\frac{1}{\sqrt{n^2+n}}\right)$

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

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

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

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

**12)** יהי $x$ מספר ממשי וחיובי.

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

הוכיחו כי $\lim\limits_{n\to\infty}a_n>2$.

**13)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n^2]{2^{3n^2-4}+3^{2n^2+1}+4^{1.5n^2+5}+10^n}$.

**14)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{k=1}^{n}\frac{1}{\sqrt{n^2+3\sqrt{k}}}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**15)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{k=n+3}^{2n+4}\frac{1}{\sqrt{2n^2+k\sqrt{n}}}$.

**16)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{k=1}^{n^2}\frac{2n^2+3n+5}{\sqrt[3]{5n^{12}+2k^5+k^3+1}}$.

**17)** חשבו את הגבול $\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{k=n^2}^{n^2+n}\sqrt{k}\ln\left(1+\frac{1}{k}\right)$.

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

הוכיחו כי $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=0$.

האם ניתן לפתור ישירות בעזרת מבחן המנה?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב גבול לפי מבחן המנה ומבחן השורש

## שאלות

חשבו את הגבולות הבאים:

1) $\lim_{n\to\infty}\frac{n!}{n^n}$

2) $\lim_{n\to\infty}\frac{2^n}{n!}$

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

4) $\lim_{n\to\infty}\frac{\sqrt[n]{n!}}{4n}$

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

## תשובות סופיות

1) $0$

2) $0$

3) $4$

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

5) $\infty$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב גבול של סדרה רקורסיבית

## שאלות

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

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

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

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

**4)** יהיו $a>0$ 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 שהסרה מתכנסת ל- $\sqrt{a}$.

**5)** יהי $x_1=a\geq 0$.

נגדיר סדרה $x_n$ ברקורסיה על ידי $x_{n+1}=\frac{1}{5}\left(x_n^2+6\right)$, 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)** יהיו $0<b_1<a_1$

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

הוכיחו שהסדרות $a_n$ ו- $b_n$ מתכנסות ומתקיים $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=\lim\limits_{n\to\infty}b_n$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

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

<u>הניחו</u> שהגבול $\lim_{n\to\infty} b_n$ קיים וחשבו אותו.

הערה: בשלב זה אין לנו את הכלים להוכיח שהגבול $\lim_{n\to\infty} b_n$ 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 $\lim_{n\to\infty}=\frac{a_n}{a_{n+1}}$ קיים, וחשבו אותו.

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

8) תהי $a_n$ סדרה המוגדרת על ידי $a_1=0.5$ ו- $a_{n+1}=\sin\left(a_n^2\right)$ לכל $n\ge 1$ .

הוכיחו כי $\lim_{n\to\infty} a_n=0$ .

## תשובות סופיות

1) הגבול הוא 2 .

2) הגבול הוא 1.

3) הגבול הוא 1.

4) הגבול הוא $\sqrt{a}$ .

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

6) שאלת הוכחה.

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

8) שאלת הוכחה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב גבול לפי ההגדרה

## שאלות

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

**1)** $\lim_{n\to\infty}\frac{2n+1}{4n+3}=\frac{1}{2}$

**2)** $\lim_{n\to\infty}\frac{n^2-1}{n^2+1}=1$

**3)** $\lim_{n\to\infty}\frac{n^2+\sin n}{2n^2+3}=\frac{1}{2}$

**4)** $\lim_{n\to\infty}\frac{n^2+(-1)^n}{n^2+1}=1$

**5)** $\lim_{n\to\infty}\frac{4n^2-2n+1}{2n^2+n+3}=2$

**6)** $\lim_{n\to\infty}\frac{n\cdot\cos^2 n}{n^2+2}=0$

**7)** $\lim_{n\to\infty}\left(\sqrt{n^2+4n}-n\right)=2$

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

**9)** נתון כי $a_n\to a,\ b_n\to b$.
הוכיחו לפי ההגדרה, כי:
א. $(a_n+b_n)\to a+b$
ב. $(a_n\cdot b_n)\to a\cdot b$

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

**10)** $\lim_{n\to\infty}2n+4=\infty$

**11)** $\lim_{n\to\infty}n^3-n^2+5n+6=\infty$

**12)** $\lim_{n\to\infty}\log(2n+5)=\infty$

**13)** $\lim_{n\to\infty}e^{2n+1}=\infty$

**14)** $\lim_{n\to\infty}\log\frac{1}{n}=-\infty$

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

**16)** הוכיחו שהסדרה $1,2,2,3,3,3,4,4,4,4,\ldots$ שואפת לאינסוף.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

**18)** הוכיחו או הפריכו:

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

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

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# שלילת הגדרת הגבול של סדרה

## שאלות

**1)** מצאו את הגבולות החלקיים של הסדרות הבאות,
וכתבו את האיבר הכללי של הסדרה בהתאם לגבולות החלקיים שמצאת.

א. $1,4,1,4,1,4,1,4,\ldots$

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

ג. $1,0,-4,1,0,4,1,0,-4,1,0,4,\ldots$

**2)** מצאו את הגבולות החלקיים של הסדרות הבאות,
וכתבו את האיבר הכללי של הסדרה בהתאם לגבולות החלקיים שמצאת.

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

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

ג. $a_n=\frac{(-1)^n n+4}{n+1}$

בשאלות **3-6** הוכיחו לפי ההגדרה כי:

**3)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{n+10}{4n+2}\neq\frac{1}{2}$

**4)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{4n^2+n+1}{2n^2+2}\neq 1$

**5)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{4n^2+4n+1}{2n^2+n+2}\neq\frac{9}{4}$

**6)** $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\sqrt{n+1}-\sqrt{n}\right)\neq 1$

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**8)** הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $0,1,2,0,1,2,0,1,2,\ldots$ מתבדרת.

**9)** הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $3,2,1,3,2,1,3,2,1,\ldots$ מתבדרת.

**10)** הוכיחו לפי ההגדרה, שלסדרה $0,0,1,0,0,1,0,0,1,\ldots$ 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 $\frac{1}{2},\mathbf{1},\frac{2}{3},\mathbf{\frac{1}{2}},\frac{3}{4},\mathbf{\frac{1}{3}},\frac{4}{5},\mathbf{\frac{1}{4}},\frac{5}{6},\ldots$ מתבדרת.

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

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

הדרכה: הוכיחו קודם את סדרת הטענות הבאה:

1. $\sqrt{m^2}-\left[\sqrt{m^2}\right]=0$ לכל $m$ טבעי.
2. $\sqrt{m^2-1}>m-\frac{1}{2}$ לכל $m\geq 2$ טבעי.
3. $\left[\sqrt{m^2-1}\right]=m-1$ לכל $m\geq 2$ טבעי.
4. $\sqrt{m^2-1}-\left[\sqrt{m^2-1}\right]\geq\frac{1}{2}$ לכל $m\geq 2$ טבעי.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

**18)** הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $0,1,2,1,4,1,6,1,\ldots$ לא שואפת ל-$\infty$.

**19)** נתונה הסדרה $-1,1,-2,2,-3,3,-4,4,-5,5,\ldots$.
הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה
א. לא שואפת ל-$\infty$.
ב. לא שואפת ל-$-\infty$.

**20)** הוכיחו לפי ההגדרה, שהסדרה $a_n = n\sqrt{10}+(-1)^n\left[n\sqrt{10}\right]$ לא שואפת ל-$\infty$.

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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)** $\lim\limits_{x\to 4}\frac{x-4}{|x-4|}$

**3)** $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{\sin x+4}{\cos x+10}$

**4)** $\lim\limits_{x\to 0}\sin\frac{1}{x}$

**5)** $\lim\limits_{x\to\infty}e^{x-[x]}$

**6)** $\lim\limits_{x\to 0}\frac{1}{1+4^{[10x]}}$

**7)** $\lim\limits_{x\to 0}\frac{[x]\cdot\sin x}{x}$

**8)** $\lim\limits_{x\to 0}\frac{x}{x-[\sin x]}$

**9)** $\lim\limits_{x\to 0}\ln\left(4+[\arctan x]\right)$

**10)** נתון כי $f(x)=2^{\left[\frac{x}{2}\right]}$.

א. הוכיחו כי הגבול $\lim\limits_{x\to\infty}\frac{f(x+1)}{f(x)}$ אינו קיים לפי היינה.

ב. חשבו את הגבול $\lim\limits_{x\to\infty}\left(f(x)\right)^{\frac{1}{x}}$ לפי היינה.

ג. תנו דוגמה לסדרה חיובית $a_n$, כך ש- $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{a_{n+1}}{a_n}$ אינו קיים אך $\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{a_n}$ קיים.

**11)** הוכיחו כי הגבול $\lim\limits_{x\to\infty}\left\{\sqrt{x}\right\}=\lim\limits_{x\to\infty}\left(\sqrt{x}-\left[\sqrt{x}\right]\right)$ אינו קיים לפי היינה.

רמז: הוכיחו ראשית כי לכל $n$ טבעי מתקיים $\left[n^2-1\right]=n-1$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

**10)** ב. $\sqrt{2}$

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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. $\lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{(-3)^{5n}-2(-3)^{n}+2}{(-3)^{3n}+(-3)^{n}+2}$

ב. $\lim\limits_{n\to\infty}\dfrac{(-3)^{5n}-2(-3)^{n}+2}{(-3)^{2n}+(-3)^{n}+2}$

ג. $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\dfrac{1}{n}-1\right)^{n}$

**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. $\lim\limits_{n\to\infty}\left(2\left\lfloor\dfrac{n}{2}\right\rfloor-n\right)$

ב. $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\lfloor 4n\rfloor-4\lfloor n\rfloor\right)$

ג. $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\dfrac{n}{4}-\left[\dfrac{n}{4}\right]\right)$

**3)** נתון ש- $(a_n)$ סדרה עולה ממש של מספרים שלמים.

א. הוכיחו שקיים איבר אי-שלילי בסדרה.

ב. הוכיחו כי $\lim\limits_{n\to\infty}\left(1+\dfrac{1}{a_n}\right)^{a_n}=e$.

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

**5)** חשבו את הגבול הבא $\lim\limits_{n\to\infty}\left[\dfrac{n+(-1)^{n}}{n}\right]^{n}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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 $\underline{\lim}_{n\to\infty}a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n\to\infty}a_n$.

**11)** נתונה סדרה $a_n=n\sin\frac{\pi}{4}n$.
מצאו את כל הגבולות החלקיים של הסדרה ובמיוחד את $\underline{\lim}_{n\to\infty}a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n\to\infty}a_n$.

**12)** נתונה סדרה $a_n=1,1,2,1,2,3,1,2,3,4,1,2,3,4,5,\ldots$.
מצאו את כל הגבולות החלקיים של הסדרה ובמיוחד את $\underline{\lim}_{n\to\infty}a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n\to\infty}a_n$.

**13)** נתונה סדרה $a_n=(-1)^n\frac{n+1}{n}$.
מצאו את כל הגבולות החלקיים של הסדרה ובמיוחד את $\underline{\lim}_{n\to\infty}a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n\to\infty}a_n$.

**14)** נתונה סדרה $a_n=(-1)^n\cdot\sqrt[n]{n^{40}}+\frac{1}{n^2}\sin\left(\frac{n}{4}\right)$.
מצאו את $\underline{\lim}_{n\to\infty}a_n$ ו- $\overline{\lim}_{n\to\infty}a_n$.

**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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. $a_{n_k}\to L$ , $a_{m_k}\to L$
2. כל איברי הסדרה $a_n$ מופיעים בלפחות אחת מתת הסדרות הנתונות.

הוכיחו: $a_n\to L$.

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

**18)** נתונה סדרה חיובית $a_n$ המקיימת $\overline{\lim_{n\to\infty}}a_n\cdot\overline{\lim_{n\to\infty}}\frac{1}{a_n}=1$.

הוכיחו כי הסדרה מתכנסת.

**19)** פתרו את שני הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו שלכל סדרה חסומה $a_n$, $\inf a_n\le\underline{\lim}a_n\le\overline{\lim}a_n\le\sup a_n$

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

ב. מצאו סדרה $a_n$ שעבורה $\inf a_n<\underline{\lim}a_n<\overline{\lim}a_n<\sup a_n$.

**20)** הוכיחו שהסדרה $a_n$ מתכנסת במובן הרחב אם ורק אם $\underline{\lim}a_n=\overline{\lim}a_n$.

**21)** הוכיחו את המשפט המפורסם הבא:

לכל שתי סדרות חסומות $a_n,b_n$ מתקיים

א. $\overline{\lim}(a_n+b_n)\le\overline{\lim}a_n+\overline{\lim}b_n$

ב. $\underline{\lim}(a_n+b_n)\ge\underline{\lim}a_n+\underline{\lim}b_n$

**22)** נתונות שתי סדרות חסומות $a_n$ ו- $b_n$.

קבעו האם הטענה בכל סעיף נכונה, והוכיחו זאת.

א. ייתכן שמתקיים $\overline{\lim}(a_n+b_n)<\overline{\lim}a_n+\overline{\lim}b_n$.

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

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

הוכיחו כי $\overline{\lim_{n\to\infty}}(a_n+b_n)\ge \underline{\lim_{n\to\infty}}a_n+\overline{\lim_{n\to\infty}}b_n$.

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

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

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- $(b_n)$,

המקיימות $\lim_{n\to\infty}a_nb_n=1$.

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

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

**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- $\underline{\lim_{n\to\infty}}a_n$, 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 $\lim_{n\to\infty}\left(\sqrt{n^2-1}-(n-1)\right)=1$.

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 $\overline{\lim_{n\to\infty}}a_n$, וקבעו האם ל- $\{a_n\mid n\in\mathbb{N}\}$

יש מקסימום.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**27)** תהי $(a_n)=\left(n-\sqrt{n}\left[\sqrt{n}\right]\right)$.

א. הוכיחו כי הסדרה $(a_n)$ חסומה מלרע.

ב. הוכיחו ש- $0$ הוא גבול חלקי של $(a_n)$.

ג. מצאו את $\inf\{a_n \mid n\in N\}$ ואת $\underline{\lim}_{n\to\infty} a_n$, וקבעו האם ל- $\{a_n \mid n\in N\}$ יש מינימום.

ד. יהי $\ell$ מספר טבעי.

הוכיחו שכמעט לכל $n$, מתקיים $n<\sqrt{n^2+2\ell}<n+1$.

ה. יהי $\ell$ מספר טבעי.

הוכיחו כי $\lim_{n\to\infty} n\left(\sqrt{n^2+2\ell}-n\right)=\ell$.

ו. הוכיחו, בעזרת סעיף ה', שכל מספר טבעי הוא גבול חלקי של $(a_n)$.

ז. האם $(a_n)$ חסומה מלעיל?

ח. חשבו את $\overline{\lim}_{n\to\infty} a_n$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפט שטולץ

## שאלות

1) חשבו: $\lim_{n\to\infty}\frac{1+\sqrt{2}+\sqrt[3]{3}+\ldots+\sqrt[n]{n}}{n}$.

2) חשבו: $\lim_{n\to\infty}\frac{1\cdot 3+2\cdot 5+3\cdot 7+\ldots+n\cdot(2n+1)}{n^3}$.

3) חשבו: $\lim_{n\to\infty}\frac{1^p+2^p+3^p+\ldots+n^p}{n^{p+1}}$, כאשר $p$ קבע שלם וחיובי.

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

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

6) נתון כי $\lim_{n\to\infty}a_n=L$.

הוכיחו כי:

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

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $1$

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

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

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

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

6) שאלת הוכחה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $a_n = \frac{1}{\sqrt{1}} + \frac{1}{\sqrt{2}} + \ldots + \frac{1}{\sqrt{n}}$ שואפת לאינסוף.

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

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

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

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

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**9)** נגדיר סדרה $x_n$ 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)** סדרה $x_n$ מקיימת $x_{n+2}=\sqrt{x_{n+1}x_n}$ לכל $n$ טבעי, ו- $1\le x_1\le x_2\le 2$.
הוכיחו שהסדרה מתכנסת.

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

**11)** הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

א. נתונה סדרה $x_n$.

אם $\lim_{n\to\infty}|x_{n+1}-x_n|=0$, 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:

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

**הערה**

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

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $\lim_{n\to\infty} b_n = \infty$ או $\lim_{n\to\infty} b_n = -\infty$.

**3)** אם $\lim_{n\to\infty} |c_n| = k$, אז $\lim_{n\to\infty} c_n = k$ או $\lim_{n\to\infty} c_n = -k$.

**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 $\lim_{n\to\infty} a_n^2 = L$, אז $\lim_{n\to\infty} a_n = \sqrt{L}$.

**10)** אם $a_n < b_n$ לכל $n$, אז $\lim_{n\to\infty} a_n < \lim_{n\to\infty} b_n$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

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

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

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

ה. אם $a_n$ ו- $b_n$ סדרות חסומות, אז גם הסדרה $c_n = \frac{1}{2^{a_n}}\left(b_n^2 + 2b_n\right)$ 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 $a_n = \frac{1-2+3-4+5-6+\ldots+(-1)^{n-1}n}{n}$ מתבדרת.

**17)** אם לכל $n$ מתקיים: $x_n \in (0,1)$ , $4x_n(1-x_{n+1}) > 1$ אז הסדרה $x_n$ מתכנסת ל- $\frac{1}{2}$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**19)** הוכיחו או הפריכו:

א. אם הסדרה $(x_n+\frac{1}{n}x_n)$ מתכנסת, אז הסדרה $x_n$ מתכנסת.

ב. אם הסדרה $\left(x_n^2+\frac{1}{n}x_n\right)$ מתכנסת, אז הסדרה $x_n$ מתכנסת.

**20)** $x_n$ 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 $\lim\limits_{n\to\infty}b_n=b$, $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=a$ ו- $a<b$, אז כמעט לכל $n$ מתקיים $a_n<b_n$.

ב. אם $\lim\limits_{n\to\infty}b_n=b$, $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=a$ וכמעט לכל $n$ מתקיים $a_n\le b_n$, אז $a\le b$.

**22)** תהי $(a_n)$ סדרה מתכנסת במובן הרחב.

הוכיחו או הפריכו:

א. אם $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=0$, אז כמעט לכל $n$ מתקיים $a_n=0$.

ב. אם $\lim\limits_{n\to\infty}a_n\ge 0$, אז כמעט לכל $n$ מתקיים $a_n\ge 0$.

ג. אם $\lim\limits_{n\to\infty}a_n\neq 0$, אז כמעט לכל $n$ מתקיים $a_n\neq 0$.

ד. אם $\lim\limits_{n\to\infty}a_n>0$, אז כמעט לכל $n$ מתקיים $a_n>0$.

**23)** הוכיחו או הפריכו:

א. אם $(a_n)$ סדרה מתכנסת ואם $a_n\le k$ לכל $n$, אז $\lim\limits_{n\to\infty}a_n\le k$.

ב. אם $(a_n)$ סדרה מתכנסת ואם $a_n<k$ לכל $n$, אז $\lim\limits_{n\to\infty}a_n\le k$.

**24)** תהי $(a_n)$ סדרה **חיובית**, המקיימת $a_{n+1}\le\frac{a_n-a_n^2}{2}$, לכל $n$.

הוכיחו או הפריכו: $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=0$.

**25)** הוכיחו או הפריכו:

אם $\lim\limits_{n\to\infty}(a_n)^2=0$, אז $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=0$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

הוכיחו או הפריכו:

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

ב. $a_nb_n\to 0$

**27)** נניח שסדרה $a_n$ מקיימת $a_{2n-2}\le a_{2n}\le a_{2n+1}\le a_{2n-1}$ 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:

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

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

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

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

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

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

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

הוכיחו או הפריכו:

הגבול של הסדרה קיים והוא קטן מ- $3$.

רמז: לכל $x\ge 0$ מתקיים $\ln(1+x)\le x$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**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 $\lim_{n\to\infty}b_n=\infty$, אז $\lim_{n\to\infty}a_n=0$.

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

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

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

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

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**43)** הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

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

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**44)** הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

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

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

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

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

**45)** הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

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

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

**46)** נתונה סדרה חיובית $(a_n)$.

הוכיחו או הפריכו:

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

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

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 $\lim_{n\to\infty} \frac{a_{n+1}}{a_n}$ 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. $\lim_{n\to\infty} \frac{a_n}{2^n} = 0$.

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

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

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

ג. 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:

א. אם קיים $N$ טבעי, כך ש- $a_N$ חיובי, אז $a_n > 2$ לכל $n \geq N$.

ב. כמעט כל איברי $(a_n)$ חיוביים או שכל איברי $(a_n)$ שליליים.

ג. אם לכל $n$ מתקיים בנוסף $a_{n+1} < \frac{a_n}{a_1}$, אז $a_1 < -1$.

**50)** תהי $(a_n)$ סדרה, כך ש- $\lim_{n\to\infty}(a_{n+1} - a_n) = 0$.
הוכיחו או הפריכו כל אחת מהטענות הבאות:

א. 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.

ב. אם $|a_n| > 0$ לכל $n$, אז מתקיים:
כמעט כל איברי $a_n$ חיוביים או כמעט כל איברי $a_n$ שליליים.

ג. אם לכל $n$ מתקיים $|a_n| \geq n$, אז $(a_n)$ מתכנסת במובן הרחב.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 19 - אינטגרלים מיידיים

### תוכן העניינים

1. אינטגרלים מידיים ..... 265
2. מציאת פונקציה קדומה ..... 268

# אינטגרלים מיידיים

## שאלות

חשבו את האינטגרלים בשאלות **1-12** (פתירה על ידי הכלל: $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + c$):

**1)** $\int 4dx$ **2)** $\int x^4 dx$ **3)** $\int \frac{1}{x^2} dx$

**4)** $\int \sqrt{x} dx$ **5)** $\int \frac{1}{x\sqrt{x}} dx$ **6)** $\int 4x^{10} dx$

**7)** $\int (2x^2 - x + 1) dx$ **8)** $\int \left(\frac{3}{x^4} + 2\sqrt[3]{x}\right) dx$ **9)** $\int (x^2+1)^2 dx$

**10)** $\int (x^2+1)(x+2) dx$ **11)** $\int \frac{1+2x^2+x^4}{x^2} dx$ **12)** $\int \frac{x+1}{\sqrt{x}} dx$

חשבו את האינטגרלים בשאלות **13-20**:

(פתירה על ידי הכלל: $\int (ax+b)^n dx = \frac{(ax+b)^{n+1}}{a\cdot(n+1)} + c$)

**13)** $\int (4x+1)^{10} dx$ **14)** $\int (x^2-2x+1)^{10} dx$ **15)** $\int \frac{4}{(x-2)^5} dx$

**16)** $\int \sqrt[3]{4x-10} dx$ **17)** $\int \frac{10}{\sqrt{2x+4}} dx$ **18)** $\int \frac{x}{(x-1)^4} dx$

**19)** $\int \frac{dx}{\sqrt{x-1}-\sqrt{x}}$ **20)** $\int \frac{xdx}{\sqrt{x+1}+1}$

חשבו את האינטגרלים בשאלות **21-26**:

(פתירה על ידי הכלל: $\int \frac{1}{ax+b} dx = \frac{\ln|ax+b|}{a} + c$)

**21)** $\int \frac{1}{4x} dx$ **22)** $\int \frac{1+x+x^2}{x} dx$ **23)** $\int \left(1+\frac{1}{x}\right)^2 dx$

**24)** $\int \frac{1}{4x-1} dx$ **25)** $\int \frac{x+3}{x+2} dx$ **26)** $\int \frac{4x+1}{x+2} dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

חשבו את האינטגרלים בשאלות **27-29**:

(פתירה על ידי הכלל: $\int e^{ax+b}dx=\frac{e^{ax+b}}{a}+c$)

**27)** $\int\left(e^{4x}+e^{-x}\right)dx$

**28)** $\int\left(e^{x+1}\right)^2dx$

**29)** $\int\left(4\sqrt{e^x}+\frac{1}{\sqrt[3]{e^{4x}}}\right)dx$

**30)** חשבו את האינטגרל: $\int\frac{2^x+4^{2x}+10^{3x}}{5^x}dx$

(פתירה על ידי הכלל: $\int a^{mx+n}dx=\frac{a^{mx+n}}{m\ln a}+c$)

חשבו את האינטגרלים בשאלות **31-33**:

**31)** $\int\frac{1}{1+4x^2}dx$

**32)** $\int\frac{1}{\sqrt{4-x^2}}dx$

**33)** $\int\frac{x^2}{1-x^2}dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $4x+c$

2) $\frac{x^5}{5}+c$

3) $-\frac{1}{x}+c$

4) $\frac{x^{1.5}}{1.5}+c$

5) $-\frac{2}{\sqrt{x}}+c$

6) $\frac{4x^{11}}{11}+c$

7) $\frac{2x^3}{3}-\frac{x^2}{2}+x+c$

8) $-\frac{1}{x^3}+\frac{3\sqrt[3]{x^4}}{2}+c$

9) $\frac{x^5}{5}+\frac{2x^3}{3}+x+c$

10) $\frac{x^4}{4}+\frac{2x^3}{3}+\frac{x^2}{2}+2x+c$

11) $-\frac{1}{x}+2x+\frac{x^3}{3}+c$

12) $\frac{x^{1.5}}{1.5}+\frac{x^{0.5}}{0.5}+c$

13) $\frac{(4x+11)^{11}}{44}+c$

14) $\frac{(x-1)^{21}}{21}+c$

15) $-\frac{1}{(x-2)^4}+c$

16) $\frac{3}{16}\sqrt[3]{(4x-10)^4}+c$

17) $10\sqrt{2x+4}+c$

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

19) $-\frac{2}{3}\left((x-1)^{3/2}+x^{3/2}\right)+c$

20) $\frac{2}{3}\sqrt{(x+1)^3}-x+c$

21) $\frac{\ln|x|}{4}+c$

22) $\ln|x|+x+\frac{x^2}{2}+c$

23) $x+2\ln|x|-\frac{1}{x}+c$

24) $\frac{\ln|4x-1|}{4}+c$

25) $x+\ln|x+2|+c$

26) $4\left(x-1.75\ln|x+2|\right)+c$

27) $\frac{e^{4x}}{4}-e^{-x}+c$

28) $\frac{e^{2x+2}}{2}+c$

29) $8e^{\frac{x}{2}}-\frac{3e^{-\frac{4x}{3}}}{4}+c$

30) $\frac{\left(\frac{2}{5}\right)^x}{\ln\left(\frac{2}{5}\right)}+\frac{\left(\frac{16}{5}\right)^x}{\ln\left(\frac{16}{5}\right)}+\frac{(200)^x}{\ln(200)}+c$

31) $\frac{1}{2}\arctan(2x)+c$

32) $\arcsin\left(\frac{x}{2}\right)+c$

33) $-\left(x-\frac{1}{2}\ln\left|\frac{1+x}{1-x}\right|\right)+c$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# מציאת פונקציה קדומה

## שאלות

**1)** נתונה הנגזרת הבאה: $f'(x)=2x-\sqrt[3]{4x}$.
ידוע כי הפונקציה עוברת בנקודה $(2,3)$.
מצאו את הפונקציה.

**2)** נתונה הנגזרת הבאה: $f'(x)=\sqrt[3]{5x+7}$.
ידוע כי הפונקציה חותכת את ציר ה- $x$ בנקודה שבה $x=4$.
מצאו את הפונקציה.

**3)** נתונה הנגזרת הבאה: $f'(x)=\frac{10}{\sqrt[5]{x+1}}+(x-1)^2$.
ידוע כי הפונקציה חותכת את ציר ה- $y$ בנקודה שבה $y=-6$.
מצאו את הפונקציה.

**4)** נתונה נגזרת של פונקציה: $f'(x)=2x-6$.
ערך הפונקציה בנקודת הקיצון שלה הוא 5.
מצאו את הפונקציה.

**5)** נתונה נגזרת של פונקציה: $f'(x)=\sqrt{x+2}-\sqrt{x-1}+2$.
שיפוע המשיק לפונקציה, בנקודה שבה $y=5\frac{2}{3}$, הוא 3.
מצאו את הפונקציה.

**6)** נתונה הנגזרת השנייה של פונקציה: $f''(x)=6x+6$.
שיפוע הפונקציה בנקודת הפיתול שלה הוא $-12$,
וערך הפונקציה בנקודה זו הוא 1.
מצאו את הפונקציה.

**7)** נתונה הנגזרת השנייה של פונקציה: $f''(x)=1+\frac{8}{x^3}$.
המשיק לפונקציה בנקודת הפיתול שלה הוא הישר $y=-4$.
מצאו את הפונקציה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**8)** נתונה פונקציה $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ המקיימת $f(0)=0$ ,

ונתון בנוסף כי לכל $x_0$ ממשי: $\lim\limits_{x\to x_0}\frac{f(x)-f(x_0)}{x-x_0}=|x_0|$ .

א. מצאו את תחומי הרציפות של הפונקציה.

ב. חשבו את הגבול הבא או קבעו שהוא אינו קיים $\lim\limits_{x\to 0}f(x)$

ג. מצאו כמה נקודות חיתוך יש לגרף הפונקציה עם ציר ה- $x$ .

ד. מצאו את כל נקודות הפיתול של הפונקציה.

ה. תהי $G(x)$ פונקציה קדומה של $|x|$.

חשבו את הנגזרת $\left(G(x)-f(x)\right)'$.

## תשובות סופיות

**1)** $f(x)=x^2-\frac{3}{16}\sqrt[3]{(4x)^4}+2$

**2)** $f(x)=\frac{3}{20}\sqrt[3]{(5x+7)^4}-12\frac{3}{20}$

**3)** $f(x)=12\frac{1}{2}\sqrt[5]{(x+1)^4}+\frac{1}{3}(x-1)^3-18\frac{1}{6}$

**4)** $f(x)=x^2-6x+14$

**5)** $f(x)=\frac{2}{3}\sqrt{(x+2)^3}-\frac{2}{3}\sqrt{(x-1)^3}+2x-3$

**6)** $f(x)=x^3+3x^2-9x-10$

**7)** $f(x)=\frac{1}{2}x^2+\frac{4}{x}+3x+2$

**8)** א. רציפה לכל $x$ .  ב. $\lim\limits_{x\to 0}f(x)=0$  ג. נקודת חיתוך אחת $(0,0)$.

ד. נקודת פיתול אחת $(0,0)$.  ה. $0$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 20 - אינטגרלים בשיטת "הנגזרת כבר בפנים"

תוכן העניינים

1. אינטגרלים בשיטת הנגזרת כבר בפנים ..... 270

# אינטגרלים בשיטת "הנגזרת כבר בפנים"

## שאלות

**הערה: את האינטגרלים בפרק זה ניתן לפתור גם בעזרת שיטת ההצבה.**

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int \frac{2x}{x^2+1}dx$

2) $\int \cot x dx$

3) $\int \frac{x^2}{x^3+1}dx$

4) $\int \tan x dx$

5) $\int \frac{1}{x\ln x}dx$

6) $\int \frac{e^{x+2}}{e^x+1}dx$

7) $\int e^{x^2}2x dx$

8) $\int \frac{e^{\tan x}}{\cos^2 x}dx$

9) $\int e^{-2x^2}x dx$

10) $\int \cos\left(2x^2+1\right)\cdot 4x dx$

11) $\int \cos\left(\sin x\right)\cdot \cos x dx$

12) $\int \frac{\cos\left(\ln x\right)}{x}dx$

13) $\int \cos\left(10x^4+1\right)x^3 dx$

14) $\int \sin\left(x^2+1\right)x dx$

15) $\int \frac{\sin\sqrt{x}}{\sqrt{x}}dx$

16) $\int \frac{\ln x}{x}dx$

17) $\int \frac{\arctan x}{1+x^2}dx$

18) $\int \frac{\left(\tan x\right)}{\cos^2 x}dx$

19) $\int \frac{2x}{\sqrt{x^2+1}}dx$

20) $\int \frac{\cos x}{\sqrt{2\sin x}}dx$

21) $\int 2x\sqrt{x^2+1}dx$

22) $\int x^2\sqrt{x^3+4}dx$

23) $\int \frac{\sqrt{\ln x}}{x}dx$

24) $\int \frac{\sqrt{\arctan x}}{1+x^2}dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $\ln\left|x^2+1\right|+c$

2) $\ln\left|\sin x\right|+c$

3) $\frac{1}{3}\ln\left|x^3+1\right|+c$

4) $-\ln\left|\cos x\right|+c$

5) $\ln\left|\ln\left|x\right|\right|+c$

6) $e^2\ln\left|e^x+1\right|+c$

7) $e^{x^2}+c$

8) $e^{\tan x}+c$

9) $-\frac{e^{-2x^2}}{4}+c$

10) $\sin\left(2x^2+1\right)+c$

11) $\sin\left(\sin x\right)+c$

12) $\sin\left(\ln x\right)+c$

13) $\frac{1}{40}\sin\left(10x^4+1\right)+c$

14) $-\frac{1}{2}\cos\left(x^2+1\right)+c$

15) $-2\cos\left(\sqrt{x}\right)+c$

16) $\frac{1}{2}\left(\ln x\right)^2+c$

17) $\frac{1}{2}\left(\arctan x\right)^2+c$

18) $\frac{1}{2}\left(\tan x\right)^2+c$

19) $2\sqrt{x^2+1}+c$

20) $\sqrt{2\sin x}+c$

21) $\frac{2}{3}\left(x^2+1\right)^{\frac{3}{2}}+c$

22) $\frac{2}{9}\left(x^3+4\right)^{\frac{3}{2}}+c$

23) $\frac{2}{3}\left(\ln x\right)^{\frac{3}{2}}+c$

24) $\frac{2}{3}\left(\arctan x\right)^{\frac{3}{2}}+c$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 21 - אינטגרלים בשיטת אינטגרציה בחלקים

תוכן העניינים

1. אינטגרלים בשיטת אינטגרציה בחלקים..... 272

# אינטגרלים בשיטת אינטגרציה בחלקים

## שאלות

חשבו את האינטגרלים בשאלות **1-23**:

**1)** $\int xe^x dx$ **2)** $\int x^4 \ln x dx$ **3)** $\int x \sin x dx$

**4)** $\int \left(x^2+2x+3\right)\ln x dx$ **5)** $\int x^2 \sin 4x dx$ **6)** $\int x^2 e^{-4x} dx$

**7)** $\int \ln x dx$ **8)** $\int \ln \frac{1}{\sqrt[3]{x}} dx$ **9)** $\int \arctan x dx$

**10)** $\int \arcsin x dx$ **11)** $\int x \cdot \ln \sqrt[5]{x-2} dx$ **12)** $\int \frac{x}{\cos^2 x} dx$

**13)** $\int \frac{\ln x}{x^2} dx$ **14)** $\int x \arctan x dx$ **15)** $\int x^2 \ln\left(x^2+1\right) dx$

**16)** $\int \ln^2 x dx$ **17)** $\int \left(\frac{\ln x}{x}\right)^2 dx$ **18)** $\int e^x \cos x dx$

**19)** $\int e^{2x} \sin 4x dx$ **20)** $\int \sqrt{1-x^2} dx$ **21)** $\int \frac{xe^x}{(x+1)^2} dx$

**22)** $\int x \tan^2 x dx$ **23)** $\int (x+1)^4 \cdot \sqrt{x+2} dx$

**24)** מצאו נוסחת נסיגה עבור $\int x^n e^x dx$ באשר $n$ טבעי.

**25)** חשבו את $\int x^4 e^x dx$.

**26)** מצאו נוסחת נסיגה עבור $\int \cos^n x dx$ באשר $n$ טבעי.

**27)** חשבו את $\int \cos^4 x dx$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**28)** מצאו נוסחת נסיגה עבור $\int \sin^n x dx$ באשר $n$ טבעי.

**29)** חשבו את $\int \sin^4 x dx$.

**30)** מצאו נוסחת נסיגה עבור $\int \frac{1}{\left(1+x^2\right)^n} dx$ באשר $n$ טבעי.

**31)** חשבו את $\int \frac{1}{\left(1+x^2\right)^4} dx$.

**32)** חשבו את האינטגרלים $\int e^{ax} \sin bx dx$, $\int e^{ax} \cos bx dx$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $xe^x - e^x + c$

2) $\frac{x^5}{5}\left(\ln x - \frac{1}{5}\right) + c$

3) $x\cos x + \sin x + c$

4) $\left(\frac{x^3}{3} + x^2 + 3x\right)\ln x - \frac{x^3}{9} + \frac{x^2}{2} + 3x + c$

5) $-\frac{x^2}{4}\cos 4x + \frac{1}{2}\left(\frac{x}{4}\sin x + \frac{1}{16}\cos 4x\right) + c$

6) $-\frac{x^2}{4}e^{-4x} + \frac{1}{2}\left(-\frac{1}{4}xe^{-4x} - \frac{1}{16}e^{-4x}\right) + c$

7) $x\ln x - x + c$

8) $-\frac{1}{3}\left(x\ln x - x\right) + c$

9) $x\arctan x - \frac{1}{2}\ln\left|1 + x^2\right| + c$

10) $x\arcsin x + \sqrt{1 - x^2} + c$

11) $\frac{1}{5}\left(\frac{x^2}{2}\ln\left(x-2\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{2} + 2x + 4x\ln\left|x-2\right|\right)\right) + c$

12) $x\tan x + \ln\left|\cos x\right| + c$

13) $-\frac{1}{x}\ln x - \frac{1}{x} + c$

14) $\arctan x \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{1}{2}\left(x - \arctan x\right) + c$

15) $\frac{x^3}{3}\ln\left(x^2 + 1\right) - \frac{2}{3}\left(\frac{x^3}{3} - x + \arctan x\right) + c$

16) $x\left(\ln x\right)^2 - 2\left(x\ln x - x\right) + c$

17) $-\frac{1}{x}\ln x - \frac{2}{x}\left(\ln x - 1\right) + c$

18) $-e^x\cos x + \frac{e^x\left(\sin x + \cos x\right)}{2} + c$

19) $\frac{e^{2x}\left(-\cos 4x + \frac{1}{2}\sin 4x\right)}{5} + c$

20) $\frac{x\sqrt{1 - x^2} + \arcsin x}{2} + c$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

21) $\frac{e^x}{x+1}+c$

22) $x(\tan x-x)+\ln|\cos x|+\frac{x^2}{2}+c$

23) $\frac{2}{9}(x+1)(x+2)^{\frac{9}{2}}-\frac{4}{99}(x+2)^{\frac{11}{2}}+c$

24) $x^n e^x-n\int x^{n-1}e^x dx$

25) $e^x\left(x^4-4x^3+12x^2-24x+24\right)+c$

26) $\frac{1}{n}\left\{(\cos x)^{n-1}\sin x+(n-1)\int(\cos x)^{n-2}dx\right\}$

27) $\frac{1}{4}\left(\cos^3 x\sin x+3\cdot 5(\cos x\sin x+x)\right)+c$

28) $\frac{1}{n}\left(-(\sin x)^{n-1}\cos x+(n-1)\int(\sin x)^{n-2}dx\right)$

29) $\frac{1}{4}\left(-\sin^3 x\cos x+3\cdot 5(x-\sin x\cos x)\right)+c$

30) $\frac{1}{2n}\left(\frac{x}{(1+x^2)^n}+\int\frac{dx}{(1+x^2)^n}(2n-1)\right)$

31) $\frac{1}{6}\left\{\frac{x}{(1+x^2)^3}+\frac{1}{4}\left\{\frac{x}{(1+x^2)^2}+\frac{1}{2}\left\{\frac{x}{1+x^2}+\arctan x\right\}\right\}\right\}$

32) $\int e^{ax}\cos bx dx=e^{ax}\frac{b\sin bx+a\cos bx}{a^2+b^2}$, $\int e^{ax}\sin bx dx=e^{ax}\frac{a\sin bx-b\cos bx}{a^2+b^2}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 22 - אינטגרלים בשיטת ההצבה

### תוכן העניינים

1. אינטגרלים בשיטת ההצבה ..... 276

# אינטגרלים בשיטת ההצבה

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int \frac{2x}{\left(x^2+1\right)^2}dx$

2) $\int \sqrt{x^3+4}\cdot x^5 dx$

3) $\int \frac{2x^3}{\sqrt{x^2+1}}dx$

4) $\int \frac{e^x}{e^{2x}+1}dx$

5) $\int \frac{1}{x\ln^4 x}dx$

6) $\int \frac{1}{x\sqrt{1-\ln^2 x}}dx$

7) $\int e^{x^2}x^3 dx$

8) $\int e^{\sqrt[3]{x}}dx$

9) $\int \frac{1}{\sqrt{x(1+x)}}dx$

10) $\int 2x^3\cos\left(x^2+1\right)dx$

11) $\int x^3\left(3x^2-1\right)^{14}dx$

12) $\int \frac{\cos^2(\ln x)}{x}dx$

13) $\int \sqrt{1+\frac{1}{x^2}}dx$

14) $\int \ln^3 x dx$

15) $\int \frac{x^3 dx}{x^8+2}$

16) $\int \frac{\ln^4 x}{x}dx$

17) $\int \frac{\arctan^2 x}{1+x^2}dx$

18) $\int \frac{dx}{x\cdot\ln x\cdot\ln(\ln x)}$

19) $\int \arctan\sqrt{x}dx$

20) $\int \frac{x^7}{\left(1-x^4\right)^2}dx$

21) $\int \frac{dx}{\sqrt{1+e^{2x}}}$

22) $\int \cos(\ln x)dx$

23) $\int \frac{1}{\sqrt{x}\left(1+\sqrt[3]{x}\right)}dx$

24) $\int x^5\sqrt[3]{x^3+1}dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $-\frac{1}{x^2+1}+c$

2) $\frac{2}{3}\left(\frac{\left(\sqrt{x^3+4}\right)^5}{5}-\frac{4}{3}\left(\sqrt{x^3+4}\right)^3\right)+c$

3) $2\left(\frac{\sqrt{x^2+1}^3}{3}-\sqrt{x^2+1}\right)+c$

4) $\arctan\left(e^x\right)+c$

5) $-\frac{1}{3(\ln x)^3}+c$

6) $\arcsin(\ln x)+c$

7) $\frac{1}{2}\left(x^2e^{x^2}-e^{x^2}\right)+c$

8) $3e^{\sqrt[3]{x}}\left(\sqrt[3]{x}^2-2\sqrt[3]{x}+2\right)+c$

9) $\ln\left|\left(x+\frac{1}{2}\right)+\sqrt{\left(x+\frac{1}{2}\right)^2-\frac{1}{4}}\right|+c$

10) $x^2\sin\left(x^2+1\right)+\cos\left(x^2+1\right)+c$

11) $\frac{1}{18}\left(\frac{\left(3x^2-1\right)^{16}}{16}+\frac{\left(3x^2-1\right)^{15}}{15}\right)+c$

12) $\frac{1}{2}\left(\ln x+\frac{1}{2}\sin(2\ln x)\right)+c$

13) $\sqrt{x^2+1}+\frac{1}{2}\ln\left|\frac{\sqrt{x^2+1}-1}{\sqrt{x^2+1}+1}\right|+c$

14) $x\left(\ln^3 x-3\ln^2 x+6\ln x-6\right)+c$

15) $\frac{1}{4\sqrt{2}}\arctan\left(\frac{x^4}{\sqrt{2}}\right)+c$

16) $\frac{(\ln x)^5}{5}+c$

17) $\frac{(\arctan x)^3}{3}+c$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

18) $\ln\left|\ln\left(\ln x\right)\right|+c$

19) $x\arctan\sqrt{x}-\sqrt{x}+\arctan\sqrt{x}+c$

20) $-\frac{1}{4}\left(-\frac{1}{1-x^4}-\ln\left|1-x^4\right|\right)+c$

21) $\frac{1}{2}\ln\left|\frac{\sqrt{1+e^{2x}}-1}{\sqrt{1+e^{2x}}+1}\right|+c$

22) $\frac{x}{2}\left(\cos\left(\ln x\right)+\sin\left(\ln x\right)\right)+c$

23) $6\left(\sqrt[6]{x}-\arctan\sqrt[6]{x}\right)+c$

24) $\frac{\left(\sqrt[3]{x^3+1}\right)^7}{7}-\frac{\left(\sqrt[3]{x^3+1}\right)^4}{4}+c$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 23 - אינטגרלים של פונקציות רציונליות

### תוכן העניינים

1. אינטגרלים של פונקציה רציונלית ..... 279
2. חילוק פולינומים ואינטגרלים של פונקציה רציונלית ..... 281
3. אינטגרלים שמשלבים הצבה ופונקציה רציונלית ..... 282

# אינטגרלים של פונקציה רציונלית

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int \frac{x+1}{(x-4)^2}dx$

2) $\int \frac{2x+5}{(x^2-2x+1)^4}dx$

3) $\int \frac{dx}{x^2-4}$

4) $\int \frac{2-x}{x^2+5x}dx$

5) $\int \frac{x}{x^2+5x+6}dx$

6) $\int \frac{x^2+x-1}{x^3-x}dx$

7) $\int \frac{6x^2+4x-6}{x^3-7x-6}dx$

8) $\int \frac{10x}{x^4-13x^2+36}dx$

9) $\int \frac{8x}{(x-2)^2(x+2)}dx$

10) $\int \frac{5-x}{x^3+x^2}dx$

11) $\int \frac{9x+36}{x^3+6x^2+9x}dx$

12) $\int \frac{dx}{(x^2-2x+1)(x^2-4x+4)}$

13) $\int \frac{1}{x^2+2x+3}dx$

14) $\int \frac{1}{x^2+x+1}dx$

15) $\int \frac{2x^2+x-1}{(x^2+1)(x-3)}dx$

16) $\int \frac{2x^2+2x+1}{(x^2+1)(x+2)}dx$

17) $\int \frac{3}{(x^2+1)(x^2+4)}dx$

18) $\int \frac{1}{x(x^2+1)^2}dx$

19) $\int \frac{25x^2}{(x-1)(x^2+4)^2}dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $\ln|x-4|-\frac{5}{x-4}+c$

2) $-\frac{1}{3(x-6)^6}-\frac{1}{(x-1)^7}+c$

3) $\frac{1}{4}\ln\left|\frac{x-2}{x+2}\right|+c$

4) $\frac{2}{5}\ln|x|-\frac{7}{5}|x+5|+c$

5) $3\ln|x+3|-2\ln|x+2|+c$

6) $\ln|x|+\frac{1}{2}|x-1|-\frac{1}{2}\ln|x+1|+c$

7) $\ln|x+1|+2\ln|x+2|+3\ln|x-3|+c$

8) $\ln|x+3|+\ln|x-3|-\ln|x+2|-\ln|x-2|+c$

9) $\ln|x-2|-\frac{4}{x-2}-\ln|x+2|+c$

10) $6\ln\left|\frac{x+1}{x}\right|-\frac{5}{x}+c$

11) $4\ln\left|\frac{x}{x+3}\right|+\frac{3}{x+3}+c$

12) $2\ln\left|\frac{x-1}{x-2}\right|-\frac{1}{x-1}-\frac{1}{x-2}+c$

13) $\frac{1}{\sqrt{2}}\arctan\left(\frac{x+1}{\sqrt{2}}\right)+c$

14) $\frac{1}{\sqrt{3/4}}\arctan\left(\frac{x+0.5}{\sqrt{3/4}}\right)+c$

15) $\arctan x+2\ln|x-3|+c$

16) $\frac{1}{2}\ln\left(x^2+1\right)+\ln|x+2|+c$

17) $\arctan x-\frac{1}{2}\arctan\left(\frac{x}{2}\right)+c$

18) $\ln|x|-\frac{1}{2}\ln\left(x^2+1\right)+\frac{1}{2\left(x^2+1\right)}+c$

19) $\frac{1}{16}\left(\arctan\left(\frac{x}{2}\right)+\frac{1}{2}\sin\left(\arctan\left(\frac{x}{2}\right)\right)\right)+c$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חילוק פולינומים ואינטגרלים של פונקציה רציונלית

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int \frac{3x^3-5x^2+4x-2}{x-1}dx$

2) $\int \frac{x^4+2x^3-10x^2-8x}{x+4}dx$

3) $\int \frac{12x^3-11x^2+6x-1}{4x-1}dx$

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

5) $\int \frac{x^4-4x^2+x+1}{x^2-4}dx$

## תשובות סופיות

1) $x^3-x^2+2x+c$

2) $\frac{x^4}{4}-\frac{2x^3}{3}-x^2+c$

3) $x^3-x^2+x+c$

4) $\frac{x^3}{3}+\ln|x-1|-\frac{1}{x-1}+c$

5) $\frac{x^3}{3}+\frac{3}{4}\ln|x-2|+\frac{1}{4}\ln|x+2|+c$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינטגרלים שמשלבים הצבה ופונקציה רציונלית

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int \frac{dx}{\sqrt[3]{x}-x}$

2) $\int \frac{dx}{\sqrt[3]{x}+\sqrt{x}}$

3) $\int \frac{1}{1+\sqrt[4]{x-1}}dx$

4) $\int \frac{\sqrt[3]{x^2}}{x+1}dx$

5) $\int \frac{1}{1+e^x}dx$

6) $\int \sqrt{1+e^x}dx$

7) $\int \frac{1}{x\sqrt{1-x^2}}dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $-1.5\ln\left|1-\sqrt[3]{x}^{2}\right|+c$

2) $6\left(\frac{\left(1+\sqrt[6]{x}\right)^{3}}{3}-\frac{3\left(1+\sqrt[6]{x}\right)}{2}+3\left(1+\sqrt[6]{x}\right)-\ln\left|1+\sqrt[6]{x}\right|\right)+c$

3) $4\left(\frac{\left(1+\sqrt[4]{x-1}\right)^{2}}{3}-\frac{3\left(1+\sqrt[4]{x-1}\right)^{2}}{2}+3\left(1+\sqrt[4]{x-1}\right)-\ln\left|1+\sqrt[4]{x-1}\right|\right)+c$

4) $\frac{3}{2}\sqrt[3]{x}+\ln\left|\sqrt[3]{x}+1\right|-\frac{1}{2}\ln\left(\left(\sqrt[3]{x}-0.5\right)^{2}+0.75\right)-\sqrt{3}\arctan\left(\frac{2\sqrt[3]{x}-1}{\sqrt{3}}\right)+c$

5) $-\ln\left|1+e^{x}\right|+x+c$

6) $2\sqrt{1+e^{x}}+\ln\left|\frac{\sqrt{1+e^{x}}-1}{\sqrt{1+e^{x}}+1}\right|+c$

7) $\ln\left|\frac{1-\sqrt{1-x^{2}}}{x}\right|+c$

## נוסחאות

$$\left(a-b\right)^{3}=a^{3}-3a^{2}b+3ab^{2}-b^{3}$$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 24 - אינטגרלים טריגונומטריים והצבות טריגונומטריות

תוכן העניינים


1. אינטגרלים טריגונומטריים - מבוא ..... (ללא ספר)

2. אינטגרלים טריגונומטריים - פתרון על ידי זהויות ..... 284

3. אינטגרלים טריגונומטריים - פתרון על ידי הצבות פשוטות ..... 286

4. אינטגרלים טריגונומטריים - פתרון על ידי הצבה כללית ..... 287

5. הצבות טריגונומטריות שמטרתן להיפטר משורשים ..... 288

6. חישוב שטחים בין פונקציות טריגונומטריות ..... 291

# אינטגרלים טריגונומטריים – פתרון על ידי זהויות

זכרו כי:

| | |
|---|---|
| $\int \cos x dx = \sin x + c$ | $\int \cos(ax+b)dx = \frac{1}{a}\sin(ax+b)+c$ |
| $\int \sin x dx = -\cos x + c$ | $\int \sin(ax+b)dx = -\frac{1}{a}\cos(ax+b)+c$ |
| $\int \tan x dx = -\ln\lvert\cos x\rvert + c$ | $\int \tan(ax+b)dx = -\frac{1}{a}\ln\lvert\cos(ax+b)\rvert + c$ |
| $\int \cot x dx = \ln\lvert\sin x\rvert + c$ | $\int \cot(ax+b)dx = \frac{1}{a}\ln\lvert\sin(ax+b)\rvert + c$ |
| $\int \frac{1}{\cos^2 x}dx = \tan x + c$ | $\int \frac{1}{\cos^2(ax+b)}dx = \frac{1}{a}\tan(ax+b)+c$ |
| $\int \frac{1}{\sin^2 x}dx = -\cot x + c$ | $\int \frac{1}{\sin^2(ax+b)}dx = -\frac{1}{a}\cot(ax+b)+c$ |

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int\left(\sin 2x - 4\cos\frac{x}{3}\right)dx$

2) $\int \frac{dx}{\cos^2 4x}$

3) $\int \frac{dx}{\sin^2 10x}$

4) $\int\left(\cos^2 x - \sin^2 x\right)dx$

5) $\int\left(\cos^4 x - \sin^4 x\right)dx$

6) $\int\left(\sin x + \cos x\right)^2 dx$

7) $\int \sin x\cos x\cos 2x dx$

8) $\int \tan^2 x dx$

9) $\int \frac{dx}{\left(\sin x\cos x\right)^2}$

10) $\int \sin 7x\cos 5x dx$

11) $\int\left(\cos x\cos 2x + \sin x\sin 2x\right)dx$

12) $\int\left(\sin^4 x + \cos^4 x\right)dx$

13) $\int \cos^2 x dx$

14) $\int \sin^2 4x dx$

15) $\int \cos^3 x dx$

16) $\int \sin^3 4x dx$

17) $\int \cos^4 x dx$

18) $\int \sin^4 4x dx$

19) $\int \frac{1+\cos 2x}{1-\cos 2x}dx$

20) $\int \frac{\sin 5x - \sin x}{\sin 4x - \sin 2x}dx$

21) $\int \frac{\sin 2x - \cos 2x + 1}{\sin 2x + \cos 2x + 1}dx$

22) $\int \frac{\sin^3 x}{1-\cos x}dx$

23) $\int \frac{1+\cos^3 x}{\cos^2\frac{x}{2}}dx$

24) $\int \sin^2 x\cos^4 x dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $-\frac{1}{2}\cos 2x-12\sin\frac{x}{3}+c$

2) $\frac{1}{4}\tan 4x+c$

3) $-10\cot 10x+c$

4) $\frac{1}{2}\sin 2x+c$

5) $\frac{1}{2}\sin 2x+c$

6) $x-\frac{1}{2}\cos 2x+c$

7) $-\frac{1}{16}\cos 4x+c$

8) $\tan x-x+c$

9) $\tan x-\cot x+c$

10) $\frac{1}{2}\left(-\frac{1}{12}\cos 12x-\frac{1}{2}\cos 2x\right)+c$

11) $\sin x+c$

12) $\frac{3}{4}x+\frac{1}{16}\sin 4x+c$

13) $\frac{x}{2}+\frac{\sin 2x}{4}+c$

14) $\frac{x}{2}-\frac{\sin 8x}{16}+c$

15) $\frac{3}{4}\sin x+\frac{1}{12}\sin 3x+c$

16) $-\frac{3}{16}\cos 4x+\frac{1}{48}\cos 12x+c$

17) $\frac{3}{8}x+\frac{1}{4}\sin 2x+\frac{1}{32}\sin 4x+c$

18) $\frac{3}{8}x-\frac{1}{16}\sin 8x+\frac{1}{128}\sin 16x+c$

19) $-\cot x-x+c$

20) $2\sin x+c$

21) $\ln|\cos x|+c$

22) $-\cos x-\frac{1}{4}\cos 2x+c$

23) $3x+\frac{1}{2}\sin 2x-2\sin x+c$

24) $\frac{1}{8}\left(\frac{1}{2}x+\frac{1}{8}\sin 2x-\frac{1}{8}\sin 4x-\frac{1}{24}\sin 6x\right)+c$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינטגרלים טריגונומטריים – פתרון על ידי הצבות פשוטות

זכרו כי:

$$\int f(\sin x)\cdot\cos x dx = \left|\begin{matrix}\sin x = t\\ (x=\arcsin t)\end{matrix}\right| = \int f(t)\,dt$$

$$\int f(\cos x)\cdot\sin x dx = \left|\begin{matrix}\cos x = t\\ (x=\arccos t)\end{matrix}\right| = \int f(t)(-dt)$$

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int(\sin^2 x+\sin x+2)\cos x dx$

2) $\int(\cos^3 x+\cos x-2)\sin x dx$

3) $\int\cos^3 x dx$

4) $\int\sin^3 2x dx$

5) $\int\sin^4 x\cos^5 x dx$

6) $\int\sin^5 x\cos^4 x dx$

7) $\int\cos^5 x dx$

8) $\int\tan^5 x dx$

9) $\int\frac{1}{\cos x}dx$

10) $\int\frac{dx}{\sin x}$

11) $\int\sin 2x\cdot e^{\cos x}dx$

12) $\int\frac{2\sin x}{\cos 2x+4\cos x+7}dx$

## תשובות סופיות

1) $\frac{\sin^3 x}{3}+\frac{\sin^2 x}{2}+2\sin x+c$

2) $\frac{-\cos^4 x}{4}-\frac{\cos^2 x}{2}+2\cos x+c$

3) $\sin x-\frac{\sin^3 x}{3}+c$

4) $-\frac{1}{2}\left(\cos 2x-\frac{\cos^3 2x}{3}\right)+c$

5) $\frac{1}{5}\sin 5x-\frac{2}{7}\sin^7 x+\frac{1}{9}\sin^9 x+c$

6) $-\frac{1}{5}\cos^5 x+\frac{2}{7}\cos^7 x-\frac{1}{9}\cos^9 x+c$

7) $\sin x-\frac{2}{3}\sin^3 x+\frac{\sin^5 x}{5}+c$

8) $\frac{1}{4\cos^4 x}+\frac{1}{\cos^2 x}-\ln|\cos x|+c$

9) $\frac{1}{2}\ln\left|\frac{1+\sin x}{1-\sin x}\right|+c$

10) $\frac{1}{2}\ln\left|\frac{\cos x-1}{\cos x+1}\right|+c$

11) $-2e^{\cos x}(\cos x-1)+c$

12) $-\frac{1}{\sqrt{2}}\arctan\left(\frac{\cos x+1}{\sqrt{2}}\right)+c$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינטגרלים טריגונומטריים – פתרון על ידי הצבה כללית

זכרו כי:

$$\int f(\sin x,\cos x)\,dx = \left| \begin{array}{c} t=\tan\frac{x}{2} \\ (x=2\arctan t) \end{array} \right| = \int f\left(\frac{2t}{1+t^2},\frac{1-t^2}{1+t^2}\right)\frac{2}{1+t^2}\,dt$$

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int \frac{dx}{1+\sin x}$

2) $\int \frac{dx}{1+\sin x+\cos x}$

3) $\int \frac{\cos x}{2-\cos x}\,dx$

## תשובות סופיות

1) $-\frac{2}{\tan\left(\frac{x}{2}\right)+1}+c$

2) $\ln\left|1+\tan\left(\frac{x}{2}\right)\right|+c$

3) $-x+2\left(\frac{2}{3\sqrt{1/3}}\arctan\left(\frac{\tan(x/2)}{\sqrt{1/3}}\right)\right)+c$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# הצבות טריגונומטריות שמטרתן להיפטר משורשים

$$\int f\left(\sqrt{a^2-x^2}\right)dx = \left| \begin{matrix} x = a\sin t \\ (t = \arcsin\frac{x}{a}) \end{matrix} \right| = \int f\left(a\cos t\right)\cdot\left(a\cos t dt\right)$$

$$\int f\left(\sqrt{a^2+x^2}\right)dx = \left| \begin{matrix} x = a\tan t \\ (t = \arctan\frac{x}{a}) \end{matrix} \right| = \int f\left(\frac{a}{\cos t}\right)\cdot\left(\frac{a}{\cos^2 t}dt\right)$$

$$\int f\left(\sqrt{x^2-a^2}\right)dx = \left| \begin{matrix} x = \frac{a}{\cos t} \\ (t = \arccos\frac{a}{x}) \end{matrix} \right| = \int f\left(a\tan t\right)\cdot\left(\frac{-a\sin t}{\cos^2 t}dt\right)$$

## שאלות

חשבו את האינטגרלים הבאים:

1) $\int \frac{dx}{x^2\sqrt{4-x^2}}$

2) $\int \frac{1}{\sqrt{x^2+4}}dx$

3) $\int \sqrt{4x^2-1}dx$

הערה: כדי לפתור את השאלה צריך לדעת "אינטגרלים של פונקציות רציונליות".

4) $\int \frac{dx}{x^2\sqrt{x^2-1}}$

5) $\int \frac{x^2}{\sqrt{4-x^2}}dx$

6) $\int \sqrt{x^2+2x-3}dx$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

7) $\int \sqrt{-6x-x^2}\,dx$

8) $\int \frac{dx}{\left(4+x^2\right)^2}$

9) $\int \frac{dx}{\left(x^2+2x+5\right)^{3/2}}$

10) $\int \sqrt{x^2+1}\,dx$

11) $\int \frac{1}{\sqrt{x^2-1}}\,dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $-\frac{1}{4}\cot\left(\arcsin\frac{x}{2}\right)+c$

2) $\frac{1}{2}\ln\left|\frac{1+\sin\left(\arctan\left(\frac{x}{2}\right)\right)}{1-\sin\left(\arctan\left(\frac{x}{2}\right)\right)}\right|+c$

3) $\frac{1}{8}\left[\ln\left|1-\sqrt{1-\frac{4}{x^2}}\right|+\frac{1}{1-\sqrt{1-\frac{4}{x^2}}}-\ln\left|1+\sqrt{1-\frac{4}{x^2}}\right|-\frac{1}{1+\sqrt{1-\frac{4}{x^2}}}\right]+c$

4) $\sin\left(\arccos\left(\frac{1}{x}\right)\right)+c$

5) $2\left\{\arcsin\left(\frac{x}{2}\right)-\frac{1}{2}\sin\left(2\left(\arcsin\frac{x}{2}\right)\right)\right\}+c$

6) $\ln\left|1-\sqrt{1-\frac{4}{(x+1)^2}}\right|+\frac{1}{1-\sqrt{1-\frac{4}{(x+1)^2}}}-\ln\left|1+\sqrt{1-\frac{4}{(x+1)^2}}\right|-\frac{1}{1+\sqrt{1-\frac{4}{(x+1)^2}}}+c$

7) $\frac{9}{2}\left\{\arcsin\frac{x+3}{3}+\frac{1}{2}\sin\left(2\arcsin\frac{x+3}{3}\right)\right\}+c$

8) $\frac{1}{16}\left\{\arctan\left(\frac{x}{2}\right)+\frac{1}{2}\sin\left(2\arctan\frac{x}{2}\right)\right\}+c$

9) $\frac{1}{4}\sin\left(\arctan\left(\frac{x+1}{2}\right)\right)+c$

10) $\left\{\frac{1}{2}\ln\left|\sqrt{1+x^2}+x\right|+\frac{1}{2}x\sqrt{x^2+1}\right\}$

11) $\ln\left|x+\sqrt{x^2-1}\right|+c$

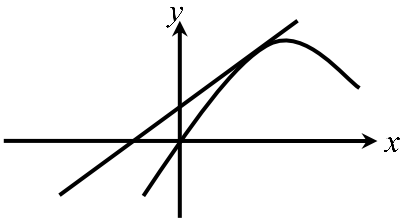

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב שטחים בין פונקציות טריגונומטריות

## שאלות

**1)** נתונה הפונקציה $f(x)=x+2\sin x$ .

בתחום שבין ראשית הצירים לנקודת המקסימום הראשונה מימינה העבירו לפונקציה משיק ששיפועו 1.

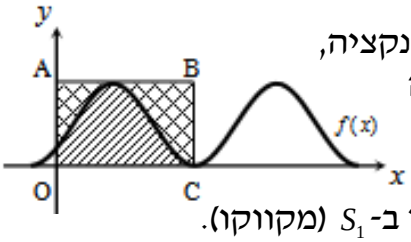



א. מצאו את משוואת המשיק.

ב. חשבו את גודל השטח הכלוא בין הפונקציה, המשיק וציר ה- $x$ , ברביע הראשון והשני.

**2)** באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה $f(x)=\frac{\sin 2x+1}{2}$ ,

בתחום $-0.25\pi \le x \le 1.75\pi$ .




נעביר משיק AB דרך נקודת המקסימום של הפונקציה, ונעלה אנך לציר ה- $x$ מנקודת החיתוך הראשונה של גרף הפונקציה עם ציר ה- $x$ בתחום הנתון, המסומנת ב-C, כך שנוצר המלבן ABCO.

השטח הכלוא בין גרף הפונקציה והצירים יסומן ב- $S_1$ (מקווקו).

השטח הכלוא בין צלעות המלבן, גרף הפונקציה וציר ה- $y$ יסומן ב- $S_2$ .

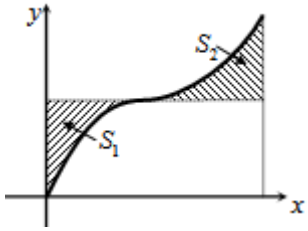
א. מצאו את משוואת הצלע AB של המלבן.

ב. חשבו את היחס $\frac{S_1}{S_2}$ .

**3)** באיור שלהלן נתונה הפונקציה $y=\sin x+x$ , בתחום $0\le x\le 2\pi$ .

א. האם יש לפונקציה נקודות קיצון פנימיות בתחום הנתון? הוכיחו זאת.

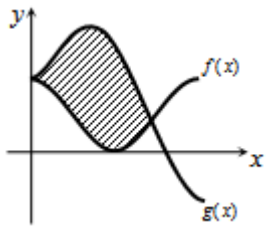
ב. נוריד אנך מגרף הפונקציה לציר ה- $x$ בנקודה שבה $x=2\pi$ , ונעביר ישר המקביל לציר ה- $x$ מהנקודה שמאפסת את הנגזרת.
הראו כי השטחים המסומנים בשרטוט, $S_1$ ו- $S_2$ , שווים.





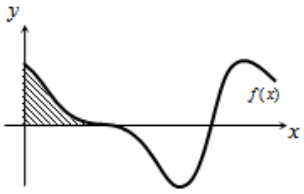
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**4)** באיור שלהלן מתוארים הגרפים של הפונקציות
$f(x)=\cos^2 x$ ו- $g(x)=\sin^2 x+\cos x$ , בתחום $0\le x\le \pi$ .



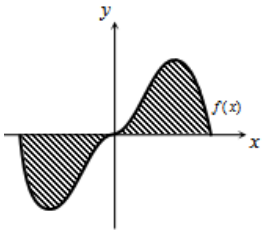

א. מצאו את נקודות החיתוך של הגרפים בתחום הנתון.
ב. חשבו את השטח הכלוא בין שני הגרפים.
השתמשו בזהות $\cos 2\alpha=\cos^2\alpha-\sin^2\alpha$ .

**5)** הנגזרת של פונקציה $f(x)$ היא $f'(x)=-\cos 2x-\sin x$ .




א. מצאו את שיעורי ה- $x$ של הנקודות המקיימות
$f'(x)=0$ , בתחום $0<x<2\pi$ .
ידוע כי הנקודה המקיימת $f'(x)=0$ , אשר אינה קיצון,
נמצאת על ציר ה- $x$ .
ב. מצאו את הפונקציה $f(x)$ .
ג. באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה בתחום הנתון.
חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה והצירים.

**6)** נתונה הפונקציה $y=-x^2\cos x+2x\sin x+2\cos x$ .




א. הוכיחו כי נגזרת הפונקציה היא $y'=x^2\sin x$ .
באיור שלהלן נתונה הפונקציה $f(x)=x^2\sin x$ ,
בתחום $-\pi\le x\le \pi$ .
ב. הראו כי גרף הפונקציה עובר בראשית הצירים.
ג. חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה וציר ה- $x$ בתחום הנתון.

**7)** נתונה הפונקציה $f(x)=a\cos x+b\sin x$ , כאשר $a,b$ פרמטרים.
הפונקציה חותכת את ציר ה- $x$ בנקודה שבה $x=\frac{\pi}{4}$ ,
והיא חיובית בתחום $\left[0,\frac{\pi}{4}\right]$ .
גודל השטח הכלוא מתחת לפונקציה בתחום $\left[0,\frac{\pi}{4}\right]$ הוא $2\sqrt{2}-2$ .
מצאו את ערכי הפרמטרים $a$ ו- $b$ .


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

**1)** א. $y=x+2$ ב. $\pi$ יח"ש.

**1)** א. $y=1$ ב. $\frac{S_1}{S_2}=\frac{3\pi+2}{3\pi-2}=1.538$

**2)** א. אין נקודת קיצון, הנקודה $(\pi,\pi)$ היא נקודת פיתול.

ב. $S=0.5\pi^2-2=2.934$

**3)** א. $\left(\frac{2\pi}{3},\frac{1}{4}\right)$ , $(0,1)$ ב. $S=1.5\frac{\sqrt{3}}{2}=1.299$

**4)** א. $x=\frac{\pi}{2}$ , $\frac{7\pi}{6}$ , $\frac{11\pi}{6}$ ב. $f(x)=-\frac{1}{2}\sin 2x+\cos x$ ג. $\frac{1}{2}$ יח"ש.

**5)** א. שאלת הוכחה. ב. שאלת הוכחה. ג. $S=2(\pi^2-4)\approx 11.74$ .

**6)** $b=-2$ , $a=2$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# נספח – זהויות בטריגו

$$\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$$

$$\begin{cases}\tan\alpha=\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\\ \cot\alpha=\dfrac{\cos\alpha}{\sin\alpha}\end{cases}$$

$$\begin{cases}\sin 2\alpha=2\sin\alpha\cos\alpha\\ \cos 2\alpha=\cos^2\alpha-\sin^2\alpha=1-2\sin^2\alpha=2\cos^2\alpha-1\end{cases}$$

$$\begin{cases}1+\tan^2\alpha=\dfrac{1}{\cos^2\alpha}\\ 1+\cot^2\alpha=\dfrac{1}{\sin^2\alpha}\end{cases}$$

$$\begin{cases}\sin^2\alpha=\dfrac{1}{2}(1-\cos 2\alpha)\\ \cos^2\alpha=\dfrac{1}{2}(1+\cos 2\alpha)\end{cases}$$

$$\begin{cases}\sin\alpha\cos\beta=\dfrac{1}{2}\big(\sin(a+\beta)+\sin(\alpha-\beta)\big)\\ \sin\alpha\sin\beta=\dfrac{1}{2}\big(\cos(a-\beta)-\cos(\alpha+\beta)\big)\\ \cos\alpha\cos\beta=\dfrac{1}{2}\big(\cos(a+\beta)+\cos(\alpha-\beta)\big)\end{cases}$$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 25 - האינטגרל המסוים, אינטגרביליות לפי רימן ולפי דארבו

תוכן העניינים


1. האינטגרל המסוים, הנוסחה היסודית של החדו"א ..... 295
2. מונוטוניות האינטגרל, אי שוויונות אינטגרליים ..... 301
3. האינטגרל המסוים לפי ההגדרה, אינטגרביליות ..... 304
4. משפטי האינטגרביליות ..... 307
5. אינטגרביליות לפי דארבו ..... 308
6. אינטגרביליות לפי דארבו - תרגול נוסף באנגלית ..... 310

# האינטגרל המסוים, הנוסחה היסודית של החדו"א

## שאלות

חשבו את האינטגרלים בשאלות **1-9**:

**1)** $\int_1^4 \left(x^2-4x+1\right)dx$

**2)** $\int_1^2 \frac{4x+1}{2x^2+x+5}dx$

**3)** $\int_0^1 xe^{-x}dx$

**4)** $\int_1^e \frac{\ln^4 x}{x}dx$

**5)** $\int_1^4 \frac{1}{x^2+4x+5}dx$

**6)** $\int_0^\pi \cos^2 10x dx$

**7)** $\int_0^4 f(x)dx$, כאשר $f(x)=\begin{cases}\sqrt{x} & 0\le x<1\\ \frac{1}{x^2} & x\ge 1\end{cases}$.

**8)** $\int_{-1}^4 \sqrt{4+|x-1|}dx$

**9)** $\int_0^2 \max\left\{x,x^2\right\}dx$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**10)** הוכיחו כי:

א. $\int_a^b f(x)dx = \int_a^b f(a+b-x)dx$

ב. $\int_0^1 x^m(1-x)^n dx = \int_0^1 x^n(1-x)^m dx$

**11)** הוכיחו שלכל פונקציה רציפה $f$:

א. $\int_0^{\pi/2} f(\sin x)dx = \int_0^{\pi/2} f(\cos x)dx$

ב. $\int_0^{\pi} x\, f(\sin x)dx = \frac{\pi}{2}\int_0^{\pi} f(\sin x)dx$

**12)** תהי $f:[1,\infty)\to\mathbb{R}$ מוגדרת על ידי $f(x)=\int_1^x \frac{\ln t}{1+t}dt$.

פתרו את המשוואה $f(x)+f\left(\frac{1}{x}\right)=2$.

**13)** ללא חישוב האינטגרלים, חשבו את הערך של $\int_1^x \frac{1}{1+t^2}dt+\int_1^{1/x}\frac{1}{1+t^2}dt$.

**14)** חשבו: $\int_0^{\pi/2}\frac{\sqrt[4]{\sin x}}{\sqrt[4]{\sin x}+\sqrt[4]{\cos x}}dx$.

**15)** חשבו: $\int_0^{\pi}\frac{x\sin x}{1+\cos^2 x}dx$.

**16)** נתונה פונקציה רציפה $f$. הוכיחו:

א. אם $f$ זוגית, אזי $\int_{-a}^{a} f(x)dx = 2\int_0^a f(x)dx$.

ב. אם $f$ אי-זוגית, אזי $\int_{-a}^{a} f(x)dx = 0$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

חשבו את האינטגרלים בשאלות **17-18**:

**17)** $\int_{-1}^{1}\left(x^3+x^5\right)\cos x dx$

**18)** $\int_{-4}^{4}\frac{\sin x+1}{x^2+1}dx$

**19)** נתון כי $f(x)$ פונקציה רציפה ואי-זוגית לכל $x$, ונתון כי $|f(x)|\le\frac{1}{2}$.

חשבו את האינטגרל $\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}}\ln\left(\frac{1-f(x)}{1+f(x)}\right)dx$.

**20)** חשבו את ערך האינטגרלים הבאים:

א. $\int_{0}^{\pi/2}\frac{f(\sin x)}{f(\sin x)+f(\cos x)}dx$

ב. $\int_{0}^{\pi/2}\frac{f(\cos x)}{f(\sin x)+f(\cos x)}dx$

ג. $\int_{0}^{\pi/2}\frac{1}{1+\tan^n x}dx \quad (n\in\mathbb{N})$

**21)** (אזהרה לגבי שיטת ההצבה)

א. חשבו את האינטגרל $\int_{-1}^{1}\frac{1}{1+x^2}dx$, בעזרת ההצבה $t=\frac{1}{x}$.

ב. חשבו את האינטגרל $\int_{-1}^{1}\frac{1}{1+x^2}dx$ ישירות.

ג. בסעיפים א' ו-ב' קיבלנו תשובות שונות. הסבירו את הסתירה.

**22)** הוכיחו כי $\int_{0}^{\pi}\frac{1}{1+\cos^2 x}dx=2\int_{0}^{\pi/2}\frac{1}{1+\cos^2 x}dx$.

**23)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. בעזרת ההצבה $t=\tan x$ חשבו את האינטגרל $\int\frac{1}{1+\cos^2 x}dx$.

ב. חשבו את ערך האינטגרל $\int_{0}^{\pi}\frac{1}{1+\cos^2 x}dx$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**24)** חשבו את ערך האינטגרל $\int_0^{\pi} \frac{x}{1+\cos^2 x}dx$.

**25)** תהי $f(x)$ פונקציה גזירה פעמיים בקטע $[a,b]$.

נניח כי הישר המשיק לגרף הפונקציה בנקודה $x=a$ יוצר זווית $\frac{\pi}{3}$ עם הכיוון החיובי של ציר $x$ והישר המשיק לגרף הפונקציה בנקודה $x=b$ יוצר זווית $\frac{\pi}{4}$ עם הכיוון החיובי של ציר $x$.

חשבו את ערך האינטגרל $\int_{e^a}^{e^b} \frac{f''(\ln x)}{x}dx$.

**26)** הוכיחו:

אם $f$ פונקציה רציפה ומחזורית על כל הישר ואם $T$ המחזור של $f$

אז לכל מספר ממשי $a$ מתקיים $\int_a^{a+T} f(x)dx = \int_0^T f(x)dx$.

**27)** הוכיחו או הפריכו את הטענות הבאות:

א. אם $f$ ו- $g$ פונקציות רציפות ב-$[a,b]$, ואם $\int_a^b f(t)dt = 0$ וגם $\int_a^b g(t)dt = 0$, אז $\int_a^b f(t)g(t)dt = 0$.

ב. אם $f$ זוגית ואינטגרבילית בכל קטע,

אז הפונקציה $g(x) = \int_0^x f(t)dt$ אי-זוגית.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $-6$

2) $\ln\left(\frac{15}{8}\right)$

3) $-2e^{-1}+1$

4) $\frac{1}{5}$

5) $\arctan 6-\arctan 3$

6) $\frac{\pi}{2}$

7) $\frac{17}{12}$

8) $\frac{2}{3}\left(-16+6^{1.5}+7^{1.5}\right)$

9) $\frac{17}{6}$

10) שאלת הוכחה.

11) שאלת הוכחה.

12) $x=e^2$

13) $0$

14) $\frac{\pi}{4}$

15) $\frac{\pi^2}{4}$

16) שאלת הוכחה.

17) $0$

18) $2\arctan 4$

19) $0$

20) א, ב, ג. $\frac{\pi}{4}$

21) א. $0$ ב. $\frac{\pi}{2}$ ג. ראו בסרטון.

22) שאלת הוכחה.

23) א. $\frac{1}{\sqrt{2}}\arctan\left(\frac{\tan x}{\sqrt{2}}\right)+c$ ב. $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$

24) $\frac{\pi^2}{2\sqrt{2}}$

25) $1-\sqrt{3}$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**26)** שאלת הוכחה.

**27)** שאלת הוכחה.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# מונוטוניות האינטגרל, אי שוויונות אינטגרליים

## שאלות

1) תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה אינטגרבילית,
ונניח כי $m\le f(x)\le M$ לכל $x$ בקטע $[a,b]$.
הוכיחו כי $m(b-a)\le\int_a^b f(x)dx\le M(b-a)$.

הוכיחו את אי-השוויונים בשאלות **2-10**:

2) $\frac{2}{41}\le\int_{-1}^{3}\frac{dx}{1+x^4}\le 4$

3) $6\le\int_{-4}^{2}\sqrt{1+x^2}\,dx\le 6\sqrt{17}$

4) $2\le\int_0^2 e^{x^2}dx\le 2e^4$

5) $\frac{1}{2}e^{-10}\le\int_0^{10}\frac{e^{-x}}{x+10}dx\le 1$

6) $\frac{1}{\sqrt[3]{\ln 4}}\le\int_3^4\frac{dx}{\sqrt[3]{\ln x}}\le\frac{1}{\sqrt[3]{\ln 3}}$

7) $\frac{\pi}{14}\le\int_0^{\pi/2}\frac{dx}{3+4\sin^2 x}dx\le\frac{\pi}{6}$

8) $\frac{2}{9}\le\int_{-1}^{1}\frac{dx}{8+x^3}\le\frac{2}{7}$

9) $-\frac{1}{2}\le\int_0^1 x\cdot\sin\left(\frac{\ln(x+1)}{x+1}\right)dx\le\frac{1}{2}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**10)** $\int_0^{\pi} x^2 \arctan\left(\frac{\sin x}{x+4}\right)dx \le \frac{\pi^4}{6}$

**11)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה אינטגרבילית.
בהסתמך על המשפט, שטוען כי גם $|f|$ אינטגרבילית בקטע,
הוכיחו כי $\left|\int_a^b f(x)dx\right| \le \int_a^b |f(x)|dx$.

**12)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה המקיימת $|f(x)|\le\int_0^x f(t)dt$ לכל $x\in[0,1]$.
הוכיחו כי $f(x)=0$ לכל $x\in[0,1]$.

**13)** תהי $f:[0,a]\to\mathbb{R}$ , כך ש- $f''(x)>0$ לכל $x\in[0,a]$.
הוכיחו כי $\int_0^a f(x)dx > af(\frac{a}{2})$.
תנו משמעות גיאומטרית לתוצאה שהתקבלה.

**14)** תהי $g$ פונקציה רציפה ב- $[a,b]$, המקיימת $\int_a^b |g(t)|dt=0$.
הוכיחו כי לכל $x$ בקטע $(a,b)$, מתקיים $g(x)=0$.

**15)** תהי $f$ פונקציה אינטגרבילית בקטע $[a,b]$, המקיימת $\int_a^b f(x)dx>1$.
הוכיחו שקיים $x_0$ בקטע $[a,b]$, עבורו $f(x_0)>\frac{1}{b-a}$.

**16)** יהי $n$ מספר טבעי, ותהי $f$ פונקציה מונוטונית עולה ואינטגרבילית בקטע $[1,n]$.
הוכיחו כי $f(1)+f(2)+\ldots+f(n-1)\le\int_1^n f(x)dx\le f(2)+f(3)+\ldots+f(n)$.

**17)** חשבו את הגבול $\lim_{n\to\infty}\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\ln k$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**18)** הוכיחו שאם הפונקציה $f$ רציפה בקטע $[a,b]$, גזירה בקטע $(a,b)$

וגם $f'(x)\le M$ לכל $x$ בקטע זה, וכן $f(a)=0$, אז $\int_a^b f(x)dx \le \frac{M(b-a)^2}{2}$.

**19)** יהיו $f,g:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציות אינטגרביליות.

נניח כי $f$ עולה ו- $g$ אי-שלילית.

הוכיחו שקיים $c\in[a,b]$, כך ש- $\int_a^b f(x)g(x)dx = f(b)\int_a^c g(x)dx + f(a)\int_c^b g(x)dx$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# האינטגרל המסוים לפי ההגדרה, אינטגרביליות

חשבו את הגבולות בשאלות **1-7**:

**1)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{1^4+2^4+\ldots+n^4}{n^5}$

**2)** $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{\sin\frac{1}{n}+\sin\frac{2}{n}+\ldots+\sin\frac{n}{n}}{n}$

**3)** $\lim\limits_{n\to\infty}\left\{\frac{1}{n+1}+\frac{1}{n+2}+\ldots+\frac{1}{n+n}\right\}$

**4)** $\lim\limits_{n\to\infty}\left\{\frac{n}{n^2+1^2}+\frac{n}{n^2+2^2}+\ldots+\frac{n}{n^2+n^2}\right\}$

**5)** $\lim\limits_{n\to\infty}\left\{\frac{1}{\sqrt{n^2+1^2}}+\frac{1}{\sqrt{n^2+2^2}}+\ldots+\frac{1}{\sqrt{n^2+n^2}}\right\}$

**6)** $\lim\limits_{n\to\infty}\left\{\frac{\sqrt{n+1}+\sqrt{n+2}+\ldots+\sqrt{2n}}{n^{3/2}}\right\}$

**7)** $\lim\limits_{n\to\infty}\left[\frac{n}{(n+1)^2}+\frac{n}{(n+2)^2}+\ldots+\frac{n}{(n+n)^2}\right]$

**8)** חשבו: $\lim\limits_{n\to\infty}\ln\left(\frac{\sqrt[n]{n!}}{n}\right)$.

* תרגיל זה רלוונטי רק למי שלמד אינטגרלים לא-אמיתיים.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

חשבו את האינטגרלים בשאלות **9-12** על פי ההגדרה (של רימן):

תוכלו להיעזר בזהויות הבאות:

$$1+2+3+\ldots+n=0.5n(n+1)$$
$$1^2+2^2+3^2+\ldots+n^2=\frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$$
$$1^3+2^3+3^3+\ldots+n^3=\frac{1}{4}n^2(n+1)^2$$
$$\sin\alpha+\sin 2\alpha+\ldots+\sin n\alpha=\frac{\sin\frac{n}{2}\alpha\sin\frac{n+1}{2}\alpha}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

**9)** $\int_0^1 x\,dx$ **10)** $\int_0^1 x^2dx$ **11)** $\int_0^1 x^3dx$ **12)** $\int_0^\pi \sin x\,dx$

**13)** חשבו לפי ההגדרה של רימן את $\int_1^4 x^2dx$.

**14)** חשבו לפי ההגדרה של רימן את $\int_1^2 \frac{1}{x}dx$.

רמז: השתמשו בחלוקה הבאה של הקטע $P=\left\{1=2^{\frac{0}{n}},2^{\frac{1}{n}},2^{\frac{2}{n}},2^{\frac{3}{n}},\ldots,2^{\frac{n}{n}}=2\right\}$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $\frac{1}{5}$

2) $1-\cos 1$

3) $\ln 2$

4) $\frac{\pi}{4}$

5) $\ln\left(1+\sqrt{2}\right)$

6) $\frac{2^{1.5}}{1.5}-\frac{2}{3}$

7) $\ln 2$

8) $-1$

9) $\frac{1}{2}$

10) $\frac{1}{3}$

11) $\frac{1}{4}$

12) $2$

13) $21$

14) $0.5$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# משפטי האינטגרביליות

## שאלות

**1)** בדקו עבור כל אחת מהפונקציות הבאות האם היא אינטגרבילית בקטע $[a,b]$:

א. $f(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{x-1} & x\neq 1\\ 1 & x=1\end{cases}$ $\quad [a,b]=[0,2]$

ב. $f(x)=\dfrac{x^2+x+1}{x^2+1}$ $\quad [a,b]=[-4,14]$

ג. $f(x)=\begin{cases}4x & x\neq 1\\ -41 & x=1\end{cases}$ $\quad [a,b]=[0,9]$

**2)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו שפונקציית דיריכלה אינה אינטגרבילית בשום קטע $[a,b]$.

ב. מצאו דוגמה לפונקציה חסומה בקטע מסוים שאינה אינטגרבילית בו.

ג. מצאו דוגמה לפונקציה מונוטונית למקוטעין בקטע $[-1,1]$, שאינה אינטגרבילית בקטע.

**3)** לגבי כל אחת מהטענות, קבעו אם היא נכונה או לא נכונה. נמקו.

א. קיימת פונקציה אינטגרבילית $f$, בקטע $[a,b]$, שאין לה פונקציה קדומה בקטע זה.

ב. קיימת פונקציה $f$, החסומה בקטע $[a,b]$ וגזירה בקטע $(a,b)$, שאינה אינטגרבילית ב-$[a,b]$.

**4)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases}0 & x\in\mathbb{Q},\ x\neq\frac{1}{2},\ x\neq\frac{1}{4}\\ 1 & x\notin\mathbb{Q}\\ 2 & x=\frac{1}{2},\ x=\frac{1}{4}\end{cases}$.

האם הפונקציה אינטגרבילית בקטע $[0,1]$?

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

# אינטגרביליות לפי דארבו

## שאלות

**1)** נתונה $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ , המוגדרת על ידי $f(x)=x$ .

א. מצאו את האינטגרל העליון והאינטגרל התחתון של הפונקציה בקטע.

ב. הוכיחו שהפונקציה אינטגרבילית לפי ההגדרה של דארבו ומצאו את האינטגרל המסוים שלה בקטע.

**2)** נתונה $f:[0,2]\to\mathbb{R}$ המוגדרת על ידי $f(x)=x^2$ .

א. מצאו את האינטגרל העליון והתחתון של הפונקציה בקטע.

ב. הוכיחו שהפונקציה אינטגרבילית לפי ההגדרה של דארבו בקטע ומצאו את האינטגרל המסוים שלה בקטע.

**3)** נתונה הפונקציה הבאה $f(x)=\begin{cases}0 & 0\le x<0.5\\ 2 & x=0.5\\ 1 & 0.5<x\le 1\end{cases}$ .

הוכיחו שהפונקציה אינטגרבילית לפי ההגדרה של דארבו.

**4)** נתונה הפונקציה $f(x)=\begin{cases}1 & x\in\mathbb{Q}\\ -1 & x\notin\mathbb{Q}\end{cases}$ בקטע $[0,1]$ .

א. בדקו, לפי ההגדרה של דארבו, האם הפונקציה אינטגרבילית בקטע.

ב. תנו דוגמה לפונקציה $f$ , כך ש- $|f|$ ו- $f^2$ אינטגרביליות, אך $f$ לא אינטגרבילית.

**5)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה חסומה.

נניח שקיימת חלוקה $P$ של הקטע $[a,b]$, כך ש- $L(P,f)=U(P,f)$ .

הוכיחו ש- $f$ פונקציה קבועה.

**6)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה חסומה.

נניח שקיימת חלוקה $P_n$ של הקטע $[a,b]$, כך ש- $U(P_n,f)-L(P_n,f)\to 0$ .

א. הוכיחו ש- $f$ אינטגרבילית בקטע.

ב. הוכיחו כי $\lim\limits_{n\to\infty}U(P_n,f)=\lim\limits_{n\to\infty}L(P_n,f)=\int_a^b f(x)dx$ .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**7)** בכל אחד מהסעיפים הבאים הוכיחו שהפונקציה אינטגרבילית בעזרת קריטריון רימן. בנוסף, חשבו את האינטגרל המסוים של הפונקציה בקטע.

א. $f(x)=x$ , בקטע $[0,1]$.

ב. $f(x)=x^2$ , בקטע $[0,2]$.

**8)** הוכיחו שהפונקציה $f(x)=\frac{1}{x}$ אינטגרבילית בקטע $[1,2]$ בעזרת קריטריון רימן.

## תשובות סופיות

**1)** א. $\overline{\int_0^1} f=\underline{\int_0^1} f=\frac{1}{2}$ ב. $\int_0^1 f\,dx=\frac{1}{2}$

**2)** א. $\overline{\int_0^2} f=\underline{\int_0^2} f=\frac{8}{3}$ ב. $\int_0^2 f\,dx=\frac{8}{3}$

**3)** שאלת הוכחה.

**4)** א. שאלת הוכחה. ב. $f(x)=\begin{cases}1 & x\in\mathbb{Q}\\ -1 & x\notin\mathbb{Q}\end{cases}$

**5)** שאלת הוכחה.

**6)** שאלת הוכחה.

**7)** שאלת הוכחה.

**8)** שאלת הוכחה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינטגרביליות לפי דארבו – תרגול נוסף באנגלית

## שאלות

**1)** תהי $f:[0,2]\to\mathbb{R}$ מוגדרת על ידי $f(x)=x^2$.
מצאו סכום דארבו עליון ותחתון של הפונקציה המתאים לחלוקת הקטע ל- $n$ תת-קטעים בעלי אורך שווה, כאשר $n=6,8,10,20$.

**2)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הגדירו את המושג עידון של חלוקה.

ב. הוכיחו את המשפט הבא:
תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה חסומה ויהיו $P$ ו- $Q$ שתי חלוקות של הקטע, כך ש- $Q$ עידון של $P$, אז $L(Q,f)\ge L(Q,P),\ U(Q,f)\le U(Q,P)$.

ג. הוכיחו את המסקנה הבאה מהמשפט:
תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה חסומה, אז $\underline{\int_a^b} f(x)dx \le \overline{\int_a^b} f(x)dx$.

**3)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הוכיחו את קריטריון רימן לאינטגרביליות.
כלומר, הוכיחו את המשפט הבא:
פונקציה חסומה $f$ היא אינטגרבילית בקטע $[a,b]$ אם ורק אם לכל $\varepsilon>0$ קיימת חלוקה $P$ של הקטע $[a,b]$, כך ש- $U(P,f)-L(P,f)<\varepsilon$.

ב. הוכיחו את המסקנה מהמשפט לעיל:
תהי $f$ פונקציה חסומה בקטע $[a,b]$, ונניח כי $(P_n)$ היא סדרה של חלוקות של הקטע $[a,b]$, כך ש- $U(P_n,f)-L(P_n,f)\underset{n\to\infty}{\to}0$.
הוכיחו ש- $f$ אינטגרבילית.

ג. נתון $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ מוגדרת על ידי $f(x)=\begin{cases} x & x=1/n \\ 0 & x\ne 1/n\end{cases}$.
הוכיחו כי $f$ אינטגרבילית ומצאו את $\int_0^1 f(x)dx$.

**4)** הוכיחו את המשפטים הבאים:

א. פונקציה רציפה בקטע סגור היא אינטגרבילית בקטע.

ב. פונקציה מונוטונית בקטע סגור היא אינטגרבילית בקטע.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**5)** סדרת פונקציות $f_n(x):[0,1]\to\mathbb{R}$ מוגדרת על ידי: $f_n(x)=\begin{cases}\dfrac{nx^{n-1}}{1+x} & 0\le x<1\\ 0 & x=1\end{cases}$.

הוכיחו כי $\int_0^1 \lim_{n\to\infty} f_n(x)dx=0$, $\lim_{n\to\infty}\int_0^1 f_n(x)dx\,\frac{1}{2}$.

**6)** תהי פונקציה $f:[0,1]\to\mathbb{R}$, כך ש- $f(x)=x$ לכל $x$ רציונלי,
ו- $f(x)=0$ לכל $x$ אי-רציונלי.
העריכו את האינטגרל העליון והתחתון של $f$, והראו כי $f$ אינה אינטגרבילית.

**7)** תהי $f:[0,1]\to[0,1]$, מוגדרת באופן הבא:

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{q} & \text{אם } x=\dfrac{p}{q}\neq 1\text{, כאשר } p,q\in\mathbb{N}\text{, ול-}p,q\text{ אין גורמים משותפים}\\ 0 & \text{אם } x\text{ אי-רציונלי או } x=0 \text{ או } x=1\end{cases}$$

א. תהי $A_N$ מוגדרת באופן הבא, לכל $N\in\mathbb{N}$: $A_N=\left\{x\in(0,1)\,|\,x=\dfrac{p}{q}\right\}$,
כאשר $p,q\in\mathbb{N}$, $q\le N$ ול-$p,q$ אין גורמים משותפים.
הראו שהקבוצה $A_N$ סופית.

ב. ל- $N\in\mathbb{N}$ ו- $\varepsilon>0$ נתונים, הראו כי קיימים קטעים
$[x_1,x_2],[x_3,x_4],\dots,[x_{2m-1},x_{2m}]$, כך ש:
$0<x_1<x_2<x_3<x_4<\dots<x_{2m-1}<x_{2m}<1$,
$A_N\subseteq(x_1,x_2)\cup(x_3,x_4)\cup\dots\cup(x_{2m-1},x_{2m})$,
ו- $|x_1-x_2|+|x_3-x_4|+\dots+|x_{2m-1}-x_{2m}|\le\dfrac{\varepsilon}{2}$.

ג. הראו ש- $f$ אינטגרבילית.

ד. מצאו שתי פונקציות אינטגרביליות, $g$ ו- $h$ ב- $[0,1]$,
כך שההרכבה $g\circ h$ אינה אינטגרבילית.

**8)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ אינטגרבילית וכן $[c,d]\subseteq[a,b]$.
הראו ש- $f$ אינטגרבילית ב- $[c,d]$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**9)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. תהי $f$ חסומה ב-$[c,d]$, ונתון:

$$M=\sup\{f(x)\mid x\in[c,d]\},\quad M'=\sup\{|f(x)|\mid x\in[c,d]\}$$

$$m=\inf\{f(x)\mid x\in[c,d]\},\quad m'=\inf\{|f(x)|\mid x\in[c,d]\}$$

הוכיחו כי $M'-m'\le M-m$.

ב. תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ אינטגרבילית.

הוכיחו כי $|f|$ ו-$f^2$ אינטגרביליות.

**10)** תהיינה $f$ ו-$g$ שתי פונקציות אינטגרביליות ב-$[a,b]$.

א. הוכיחו כי אם $f(x)\le g(x)$ לכל $x\in[a,b]$, אז $\int_a^b f(x)dx\le\int_a^b g(x)dx$.

ב. הוכיחו כי $\left|\int_a^b f(x)dx\right|\le\int_a^b|f(x)|dx$.

ג. הוכיחו כי אם $m\le f(x)\le M$ לכל $x\in[a,b]$,

אז $m(b-a)\le\int_a^b f(x)dx\le M(b-a)$.

היעזרו באי-שוויון זה כדי להראות ש-$\frac{\sqrt{3}}{8}\le\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}}\frac{\sin x}{x}dx\le\frac{\sqrt{2}}{6}$.

**11)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}_{\ge0}$ (כלומר, $f(x)\ge0$).

א. הוכיחו כי אם $f$ רציפה וכן $\int_a^b f(x)dx=0$, אז $f(x)=0$ לכל $x\in[a,b]$.

ב. הביאו דוגמה לפונקציה $f$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$, כאשר $\int_a^b f(x)dx=0$,

אבל קיים $x_0\in[a,b]$, עבורו $f(x_0)>0$.

הערה: $f$ לא תהיה רציפה.

**12)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה חסומה.

נניח שלכל $c\in(0,1)$, הפונקציה $f$ אינטגרבילית ב-$[c,1]$.

א. הוכיחו כי $f$ אינטגרבילית ב-$[0,1]$.

ב. היעזרו בסעיף א, והוכיחו כי $f(x)=\begin{cases}0 & x=0\\ \sin\frac{1}{x} & x\in(0,1]\end{cases}$

אינטגרבילית ב-$[0,1]$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**13)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה חסומה.

נניח שכאשר המכפלה $fg$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$, עבור פונקציה אינטגרבילית כלשהי $g$, מתקיים $\int_a^b (fg)(x)dx=0$.

הוכיחו כי $f(x)\equiv 0$ (כלומר, $f(x)=0$ לכל $x\in[a,b]$).

**14)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. יהיו $x,y\ge 0$.

הוכיחו כי $\lim_{n\to\infty}\left(x^n+y^n\right)^{\frac{1}{n}}=\max\{x,y\}$.

ב. תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}_{\ge 0}$ רציפה.

הוכיחו כי $\lim_{n\to\infty}\left(\int_a^b (f(x))^n dx\right)=\sup\{f(x)\mid x\in[a,b]\}$.

**15)** [אי-שוויון קושי-שוורץ]

א. יהיו $x_1,x_2,\dots x_n,y_1,y_2,\dots y_n\in\mathbb{R}$.

הוכיחו כי $\left|\sum_{i=1}^n x_iy_i\right|\le\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)^{\frac{1}{2}}\left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right)^{\frac{1}{2}}$.

רמז: $\sum_{i=1}^n (tx_i+y_i)^2\ge 0$ לכל $t\in\mathbb{R}$.

ב. תהיינה $f,g$ שתי פונקציות אינטגרביליות ב-$[a,b]$.

הוכיחו כי $\left|\int_a^b f(x)g(x)dx\right|\le\left(\int_a^b (f(x))^2dx\right)^{\frac{1}{2}}\left(\int_a^b (g(x))^2dx\right)^{\frac{1}{2}}$.

רמז: $\int_a^b [tf(x)+g(x)]^2dx\ge 0$ לכל $t\in\mathbb{R}$.

**16)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה אינטגרבילית.

נשנה את הערכים של $f$ במספר סופי של נקודות.

הוכיחו שהפונקציה שמתקבלת אינטגרבילית.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**17) סעיף א'**

1. הוכיחו כי $b^n-a^n=(b-a)\left(b^{n-1}+b^{n-2}a+b^{n-3}a+...++b^{n-2}+a^{n-1}\right)$, כאשר $n\in\mathbb{Z}^+$ וכן $a,b\in\mathbb{R}$.

2. הוכיחו כי $k^n<\frac{(k+1)^{n+1}-k^{n+1}}{n+1}<(k+1)^n$, כאשר $k,n\in\mathbb{Z}^+$.

3. הוכיחו כי $\sum_{k=1}^{m-1}k^n<\frac{m^{n+1}}{n+1}<\sum_{k=1}^{m}k^n$.

כלומר, $1^n+2^n+...+(m-1)^n<\frac{m^{n+1}}{n+1}<1^n+2^n+...+(m-1)^n+m^n$.

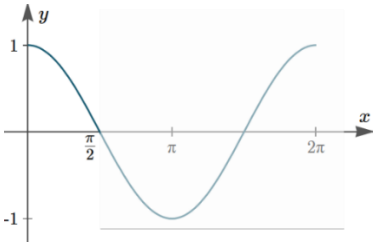
**סעיף ב'**

תהי $f(x)=x^n$ מוגדרת בתחום $[0,1]$, כאשר $n\in\mathbb{N}$.

בעזרת סכומי רימן, הוכיחו כי $f$ אינטגרבילית ב-$[0,1]$, וחשבו $\int_0^1 f(x)dx$.

רמז: חלקו את הקטע $[0,1]$ ל-$m$ קטעים שווים והיעזרו בסעיף א' להערכת הסכומים העליונים והתחתונים.

**18)** תהי $f(x)=\cos x$ מוגדרת ב-$\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$, כאשר $n\in\mathbb{N}$.




השתמשו בסכומי רימן והוכיחו ש- $f$ אינטגרבילית ב-$\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$, וחשבו את $\int_0^{\pi/2} f(x)dx$.

רמז 1: חלקו את $\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$ ל-$n$ קטעים שווים, והניחו כי $n\to\infty$.

רמז 2: השתמשו בזהות הטריגונומטרית הבאה, כאשר $k\in\mathbb{Z}^+$ ו-$\theta\in\mathbb{R}$,

$\sin\frac{\theta}{2}\cos k\theta=\frac{1}{2}\left[\sin\frac{(2k+1)\theta}{2}-\sin\frac{(2k-1)\theta}{2}\right]$, כדי להעריך את הסכום:

$\sin\frac{\theta}{2}\sum_{k=1}^{n}\cos k\theta=\frac{1}{2}\left[\sin\frac{(2n+1)\theta}{2}-\sin\frac{\theta}{2}\right]$.

**19)** חשבו את $\int_1^2 f(x)dx$, בעזרת החלוקה $P_n=\left\{\overset{=1}{x_0},x_1,\dots,\overset{=2}{x_n}\right\}$,

כאשר $x_i=2^{\frac{i}{n}}$ $(0\le i\le n)$, וגם:

א. $f(x)=\frac{1}{x}$

ב. $f(x)=\frac{1}{x^2}$ $\quad P_4=\left\{1,2^{\frac{1}{4}},2^{\frac{2}{4}},2^{\frac{3}{4}},2\right\}$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**20)** תהיינה $f,g$ שתי פונקציות אינטגרביליות בקטע $[a,b]$. הוכיחו:

א. אם $f(x)\le g(x)$ לכל $x\in[a,b]$, אז $\int_a^b f(x)dx\le\int_a^b g(x)dx$.

ב. אם $m\le f(x)\le M$ לכל $x\in[a,b]$, אז $m(b-a)\le\int_a^b f(x)dx\le M(b-a)$.

**21)** נניח כי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ אינטגרבילית אי-שלילית.

הוכיחו כי $\sqrt{f}$ אף היא אינטגרבילית ב-$[a,b]$.

**22)** נתונה הפונקציה $f:[a,b]\to\mathbb{R}$. הוכיחו או הפריכו:

א. אם $f$ אינטגרבילית, אי-שלילית ולא שווה זהותית לאפס,

אז $\int_a^b f(x)dx>0$.

ב. אם $f$ רציפה, אי-שלילית ולא שווה זהותית לאפס, אז $\int_a^b f(x)dx>0$.

ג. אם $f$ אינטגרבילית, אז כך גם $f^2$.

ד. אם $|f|$ אינטגרבילית, אז כך גם $f$.

**23)** חשבו את $\int_{0.25}^{4.3}\lfloor x\rfloor dx$, כאשר $\lfloor x\rfloor=\max\{n\in\mathbb{Z}\mid n\le x\}$

(פונקציית הערך השלם).

**24)** הוכיחו כי אם $f$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$ ו-$\alpha\in\mathbb{R}$,

אז $\alpha f$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$, וכן $\int_a^b\alpha f(x)dx=\alpha\int_a^b f(x)dx$.

רמז: הניחו תחילה כי $\alpha\ge 0$, והיעזר בפונקציה $-f$, ל-$\alpha<0$.

**25)** הוכיחו כי אם $f,g$ אינטגרביליות ב-$[a,b]$, אז כך גם $f+g$,

ובנוסף מתקיים $\int_a^b(f+g)=\int_a^b f+\int_a^b g$.

רמז: הוכיחו כי $\overline{\int_a^b}(f+g)\le\overline{\int_a^b}f+\overline{\int_a^b}g$ וכן $\underline{\int_a^b}(f+g)\ge\underline{\int_a^b}f+\underline{\int_a^b}g$.

**26)** נניח כי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ אינטגרבילית וכן שקיים $c>0$, כך ש-$|f(x)|\ge c$ לכל

$x\in[a,b]$. [לחלופין: $f$ אינטגרבילית ואינה אפס; $\frac{1}{f}$ חסומה]

הוכיחו כי גם $g=\frac{1}{f}$ אינטגרבילית בקטע $[a,b]$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**27)** נניח כי $f,g$ אינטגרביליות ב-$[a,b]$.

א. הוכיחו כי גם $f\cdot g$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$.

ב. הוכיחו כי אם $|g(x)|\ge c>0$ לכל $x\in[a,b]$,

אז גם $\frac{f}{g}$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$.

**28)** הניחו כי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ וכן ש-$a<c<b$, והוכיחו כי:

א. אם $f$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$, אז היא אינטגרבילית גם ב-$[a,c]$ ו-$[c,b]$.

ב. אם $f$ אינטגרבילית ב-$[a,c]$ ו-$[c,b]$, אז היא אינטגרבילית גם ב-$[a,b]$.

ג. באיזה מהמקרים, בסעיפים א' ו-ב', מתקיים השוויון:

$\int_a^b f(x)dx=\int_a^c f(x)dx+\int_c^b f(x)dx$.

**29)** נניח כי $f,g$ אינטגרביליות ב-$[a,b]$.

נגדיר $\varphi=\max\{f,g\}$ וכן $\psi=\min\{f,g\}$.

הוכיחו כי גם $\varphi,\psi$ אינטגרביליות ב-$[a,b]$.

רמז: $\max\{a,b\}=\frac{1}{2}\left[a+b+|a-b|\right]$, $\min\{a,b\}=$?

**30)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה חסומה.

בהינתן החלוקה $P=\{x_0,\dots,x_n\}$ של $[a,b]$ וכן $\varepsilon>0$,

נגדיר שתי תתי-קבוצות, $A_\varepsilon(P)$ ו-$B_\varepsilon(P)$ של $\{1,\dots,n\}$, באופן הבא:

$i\in A_\varepsilon(P)$ אם $M_i-m_i<\varepsilon$, ו-$i\in B_\varepsilon(P)$ אם $M_i-m_i\ge\varepsilon$.

כמו כן, נגדיר $s_\varepsilon(P)=\sum_{i\in B_\varepsilon(P)}\Delta x_i$.

הוכיחו כי פונקציה חסומה $f$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$ אם ורק אם

לכל $\varepsilon>0$ ולכל $\tau>0$ קיים $\delta>0$, כך שלכל $P$ כנ"ל $\|P\|<\delta\Rightarrow s_\varepsilon(P)<\tau$.

**31)** נניח כי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ חסומה ותהי $P=\{x_0,x_1,\dots,x_n\}$ חלוקה של $[a,b]$.

א. האם תמיד נוכל לבחור תגיות $C=\{c_1,\dots,c_n\}$ ל-$P$,

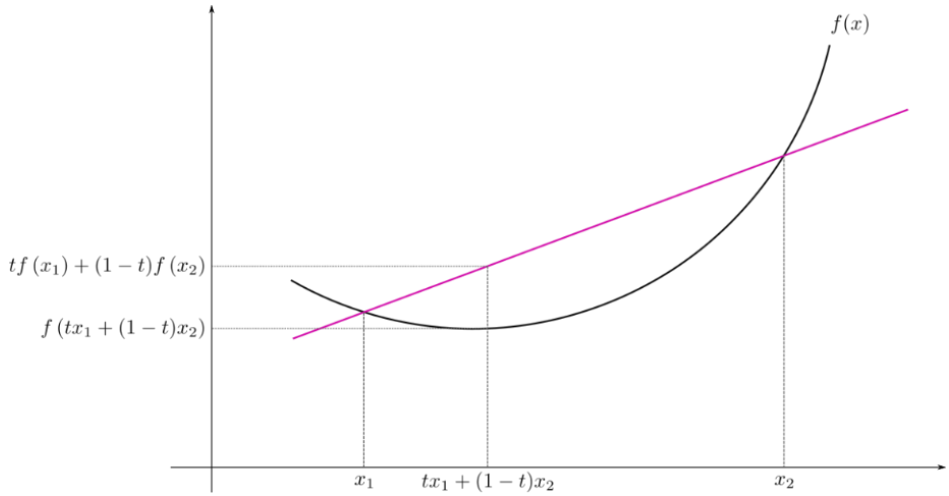
כך ש-$S(f;P,C)=L(f,P)$? נמקו.

הערה: ב"תגיות" הכוונה ש- $x_{i-1}<c_i<x_i$.

ב. האם התשובה תשתנה אם יינתן גם כי $f$ רציפה?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**32)** זכרו כי פונקציה $f$ על קטע $I$ תיקרא קמורה, אם לכל $a,b\in I$, ולכל $t\in[0,1]$, מתקיים $f\left(t\cdot a+(1-t)\cdot b\right)\le t\cdot f(a)+(1-t)\cdot f(b)$.




א. תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ קמורה.

הוכיחו כי לכל $t_1,\dots,t_n\in[0,1]$ המקיימים $\sum_{i=1}^{n}t_i=1$, מתקיים אי-השוויון $f\left(\sum_{i=1}^{n}t_ia_i\right)\le\sum_{i=1}^{n}t_if(a_i)$. [רמז: אינדוקציה על $n$]

ב. (אי-שוויון יֶנְסֶן)
תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ קמורה ורציפה, ותהי $g:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ רציפה.
הוכיחו כי $f\left(\int_0^1 g(x)\,dx\right)\le\int_0^1 f\left(g(x)\right)dx$.

**33)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ רציפה ותהי $F(x)=\int_0^x f(t)\,dt$.

א. הוכיחו כי $f$ אי-זוגית אם ורק אם $F$ זוגית.

ב. הוכיחו כי $f$ זוגית אם ורק אם $F$ אי-זוגית.

**34)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ רציפה ותהי $F(x)=\int_0^x f(t)\,dt$.

א. הוכיחו כי אם $F$ מחזורית, אז גם $f$ מחזורית.

ב. מצאו דוגמה שבה $f$ מחזורית אבל $F$ לא-מחזורית.

**35)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ אינטגרבילית.

הוכיחו שקיים $c\in[a,b]$, כך ש-$\int_a^c f(x)\,dx=\int_c^b f(x)\,dx$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**36)** תהי $A$ קבוצת כל הפונקציות $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ , שהן אינטגרביליות בכל $[a,b]$,
ומקיימות את השוויון הבא לכל $x\in\mathbb{R}$ : $\boxed{\int_0^x f(t)\,dt = f(x)-1}$ .

א. מצאו דוגמה לפונקציה ב-$A$ .

ב. הוכיחו כי אם $f\in A$ , אז $f$ גזירה ב- $\mathbb{R}$ .
(רמז : תחילה הראו ש- $f$ רציפה).

ג. מצאו את כל הפונקציות $f$ ב-$A$ .

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 26 - שימושי האינטגרל המסויים (שטח-אורך קשת)

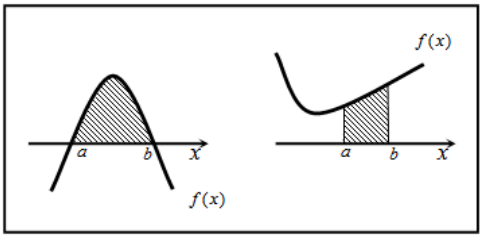
תוכן העניינים

1. חישוב שטחים ..... 319
2. חישוב שטחים ביחס לציר ה-y ..... 339
3. אורך קשת ..... 340

# חישוב שטחים

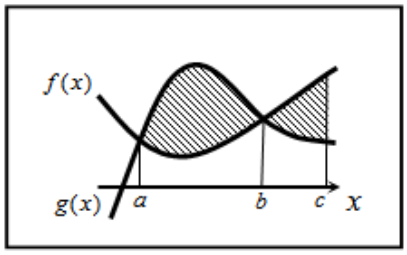
## חישוב שטחים באמצעות אינטגרל (מקרים פרטיים)

1. שטח הכלוא בין גרף פונקציה וציר ה- $x$ :




$$S=\int_a^b f(x)\,dx$$

2. שטח הכלוא בין שני גרפים, כך שגרף אחד כולו מעל השני :

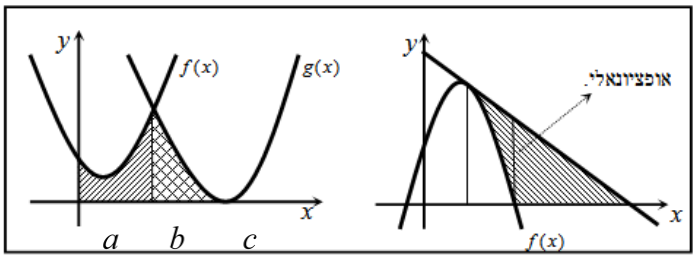



$$S_1=\int_a^b \left(g(x)-f(x)\right)dx$$

$$S_2=\int_b^c \left(f(x)-g(x)\right)dx$$

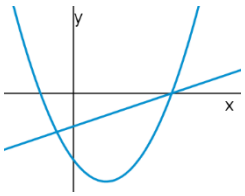
$$S=S_1+S_2$$

3. שטח הכלוא בין שני גרפים וציר ה- $x$ :

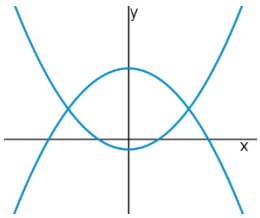



$$S=\int_a^b f(x)\,dx+\int_b^c g(x)\,dx$$

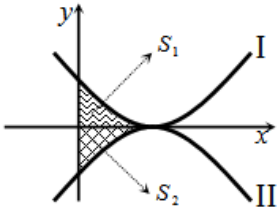
## שאלות




**1)** נתונות הפונקציות $f(x)=x^2-4x-12$ ו- $g(x)=x-6$.
חשבו את גודל השטח הכלוא בין הגרפים של $f$ ו- $g$.



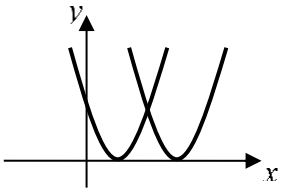

**2)** נתונות הפונקציות $f(x)=x^2-1$ , $g(x)=7-x^2$.
חשבו את גודל השטח הכלוא בין הגרפים של $f$ ו- $g$.



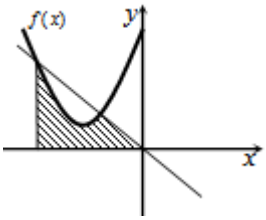

**3)** נתונות הפונקציות $f(x)=(x-2)^2$ ו- $g(x)=-(x-2)^2$,
כמתואר באיור.

א. התאימו בין הפונקציות לגרפים I ו-II.

ב. נסמן את השטחים שבין כל פונקציה והצירים ב- $S_1$ ו- $S_2$, כמתואר באיור.
הראו כי השטחים $S_1$ ו- $S_2$ שווים זה לזה.




**4)** נתונות הפונקציות $f(x)=x^2-2x+1$ , $g(x)=x^2-6x+9$.
חשבו את גודל השטח הכלוא בין הפונקציות ובין ציר ה- $x$.



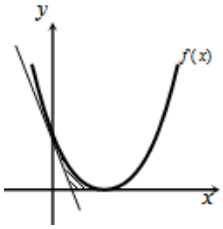

**5)** נתונה הפונקציה $f(x)=x^2+6x+12$.
ישר העובר בראשית הצירים חותך את גרף הפונקציה בנקודה שבה $x=-4$, כמתואר באיור.

א. מצאו את משוואת הישר.

ב. מצאו את נקודת החיתוך השנייה של הישר והפונקציה.

ג. מצאו את השטח המוגבל בין הישר, גרף הפונקציה, ציר ה- $x$ והישר $x=-4$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

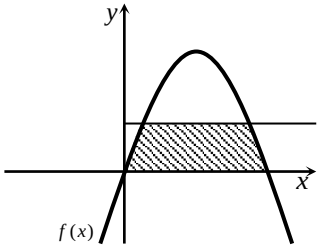



**6)** נתונה הפונקציה $f(x)=(x-2)^2$ .
בנקודת החיתוך שלה עם ציר ה- $y$ נעביר משיק.

א. מצאו את משוואת המשיק.

ב. מצאו את נקודת החיתוך של המשיק עם ציר ה- $x$ .

ג. חשבו את השטח הכלוא בין המשיק, גרף הפונקציה וציר ה- $x$ (השטח המסומן).

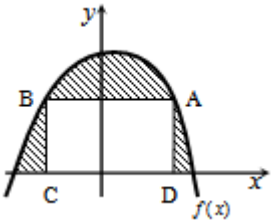



**7)** נתונה הפונקציה $f(x)=kx-x^2$ .
הישר $y=9$ חותך את גרף הפונקציה בשתי נקודות.
ידוע כי שיעור ה- $x$ של אחת מנקודות אלה הוא $x=9$ .

א. מצאו את ערך הפרמטר $k$ .

ב. מצאו את נקודת החיתוך השנייה בין שני הגרפים.

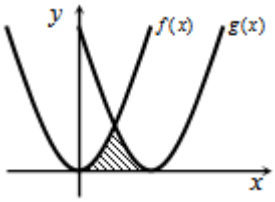
ג. חשבו את השטח המוגבל בין גרף הפונקציה, הישר וציר ה- $x$ (השטח המסומן).




**8)** הנגזרת של הפונקציה $f(x)$ , המתוארת באיור שלהלן,
היא $f'(x)=3-2x$ . ישר AB, שמשוואתו $y=6$
חותך את גרף הפונקציה $f(x)$ בנקודות A ו-B.
מנקודות אלו מורידים אנכים לציר ה- $x$ ,
כך שנוצר מלבן ABCD.
ידוע ששיעור ה- $x$ של הנקודה A הוא $x=4$ .

א. מצאו את הפונקציה $f(x)$ .

ב. חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה, המלבן וציר ה- $x$ (השטח המסומן).



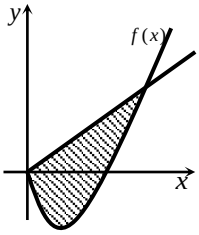

**9)** באיור שלהלן חותך גרף הפונקציה $f(x)=x^2$
את גרף הפונקציה $g(x)$ , בנקודה שבה $x=2$ .
הנגזרת של הפונקציה $g(x)$ היא $g'(x)=2x-8$ .

א. מצאו את הפונקציה $g(x)$ .

ב. חשבו את השטח הכלוא בין שני הגרפים וציר ה- $x$ (השטח המסומן).


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**10)** באיור שלהלן מתוארים גרף הפונקציה $f(x)$ והישר $y=2x$.



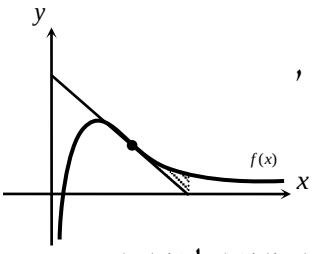

נגזרת הפונקציה $f(x)$ היא $f'(x)=2x-6$,
וידוע כי הישר חותך את הפונקציה
בנקודה שבה ערך ה- $y$ הוא $y=16$.

א. מצאו את הפונקציה $f(x)$.

ב. האם יש לגרף הפונקציה ולישר עוד נקודות חיתוך? אם כן, מצאו אותן.

ג. חשבו את השטח המוגבל בין גרף הפונקציה והישר.

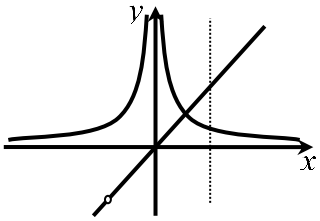
**11)** ענו על הסעיפים הבאים:




א. מבין כל המשיקים לגרף הפונקציה $f(x)=\frac{2}{x^2}-\frac{1}{x^3}$,
מצאו את משוואת המשיק ששיפועו מינימלי.

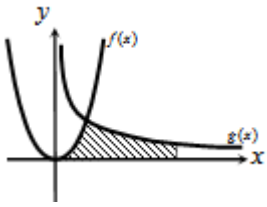
ב. באיור שלהלן מתוארים הגרפים של הפונקציה
והמשיק שמצאת בסעיף א'.
חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה, המשיק, ואנך לציר ה- $x$,
היוצא מנקודת החיתוך של המשיק עם ציר ה- $x$.

**12)** נתונות שתי פונקציות $g(x)=\frac{x^2+2x}{x+2}$, $f(x)=\frac{1}{x^2}$.




חשבו את גודל השטח הכלוא בין הפונקציות,
הישר $x=2$ וציר ה- $x$.

**13)** באיור שלהלן מתוארים הגרפים של הפונקציות

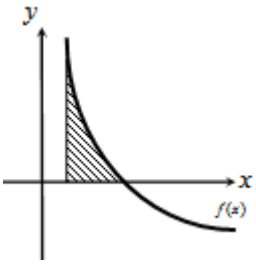



$f(x)=2x^2$ ו- $g(x)=\frac{a}{x^2}$ ($a$ קבוע), בתחום $x>0$.
ידוע כי הגרפים נחתכים ברביע הראשון,
בנקודה הנמצאת על הישר $y=4x$.

א. מצאו את נקודת החיתוך של הגרפים ואת $a$.

ב. חשבו את השטח המוגבל בין שני הגרפים, ציר ה- $x$ והישר $x=4$.

**14)** גרף הפונקציה $f(x)=\frac{a-x^2}{x^2}$ ($a$ קבוע)




חותך את ציר ה- $x$ בנקודה $(6,0)$.

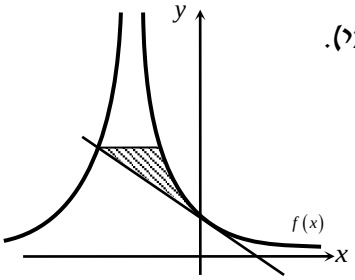
א. מצאו את $a$ וכתבו את הפונקציה.

ב. חשבו את השטח המוגבל בין גרף הפונקציה,
ציר ה- $x$ והישר $x=2$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**15)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{A}{(2x+A)^2}$ ($A$ פרמטר חיובי).

ידוע כי שיפוע הפונקציה בנקודת החיתוך שלה עם ציר ה- $y$, הוא $-\frac{1}{9}$.




א. מצאו את ערך הפרמטר $A$.

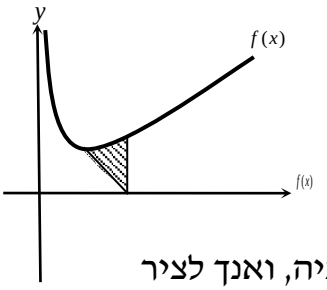
ב. כתבו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה בנקודת החיתוך עם ציר ה- $y$.

ג. הראו כי המשיק חותך את גרף הפונקציה בנקודה שבה $x=-4.5$.

ד. העבירו ישר אופקי מנקודת החיתוך של המשיק וגרף הפונקציה מהסעיף הקודם, ומצאו את נקודת החיתוך הנוספת של ישר זה עם גרף הפונקציה.

ה. חשבו את השטח כלוא בין המשיק, הישר וגרף הפונקציה (היעזרו באיור).

**16)** באיור שלהלן נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{1}{\sqrt{2x}}+x$.

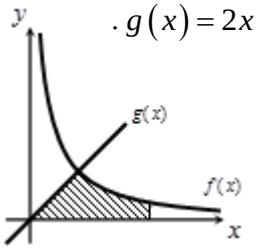



א. מצאו את נקודת המינימום שלה.

ב. מנקודת המינימום של הפונקציה נעביר ישר לנקודה $(2,0)$, שעל ציר ה- $x$.

מצאו את השטח הכלוא בין ישר זה, גרף הפונקציה, ואנך לציר ה- $x$, היוצא מהנקודה $(2,0)$ עד לנקודת החיתוך עם גרף הפונקציה.

**17)** באיור הבא מתוארים גרפים של הפונקציות $f(x)=\frac{16}{\sqrt{x}}$ ו- $g(x)=2x$.



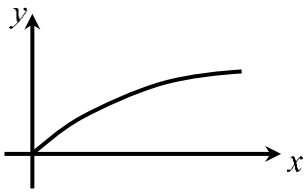

א. מצאו את נקודת החיתוך של הגרפים.

ב. חשבו את השטח המוגבל בין שני הגרפים, ציר ה- $x$ והישר $x=9$.

**18)** נתונה הפונקציה $f(x)=(x-6)\sqrt{x}$.

חשבו את גודל השטח הכלוא בין הפונקציה, המשיק לפונקציה בנקודת המינימום שלה וציר ה- $y$.

**19)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{x}{\sqrt{x^2+1}}$ ברביע הראשון.




לפונקציה העבירו משיק העובר בראשית הצירים.

חשבו את גודל השטח הכלוא בין הפונקציה, המשיק והישר $x=\sqrt{3}$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**20)** באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה $f(x)=1-\frac{1}{\sqrt{x}}$.

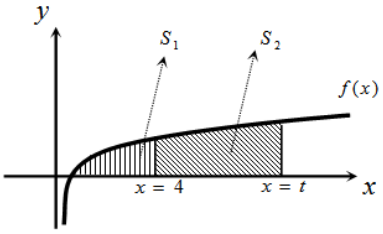
נעביר שני אנכים לציר ה- $x$, $x=4$ ו- $x=t$ (כאשר $t>4$).

נסמן את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה וציר ה- $x$ ב- $S_1$,

ואת השטח הכלוא בין גרף הפונקציה, ציר ה- $x$ והאנכים ב- $S_2$.

ידוע כי $8S_1=S_2$.

מצאו את $t$.




**21)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{x\sqrt{x}-8}{\sqrt{x}}$.

א. ענו על הסעיפים הבאים:

1. מצאו את תחום ההגדרה של הפונקציה.
2. מצאו את נקודת החיתוך של הפונקציה עם ציר ה- $x$.
3. הראו כי הפונקציה עולה בכל תחום הגדרתה.

ב. נעביר משיק לגרף הפונקציה ששיפועו הוא $m=\frac{17}{16}$.

מצאו את נקודת ההשקה.

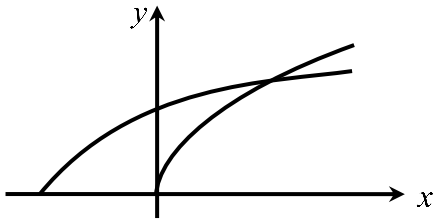
ג. חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה, ציר ה- $x$ ואנך לציר ה- $x$ מנקודת ההשקה שמצאת בסעיף הקודם.

**22)** נתונות שתי פונקציות $g(x)=\sqrt{2x}$, $f(x)=\sqrt{x+b}$, כאשר $(b>0)$.

גודל השטח הכלוא בין הפונקציות

וציר ה- $x$ הוא $2\frac{2}{3}$ יחידות שטח.

מצאו את ערכו של הפרמטר $b$.




**23)** באיור שלהלן מתוארים גרפים של הפונקציות $f(x)=x^2$ ו- $g(x)=\frac{32}{\sqrt{x}}$,

ברביע הראשון.

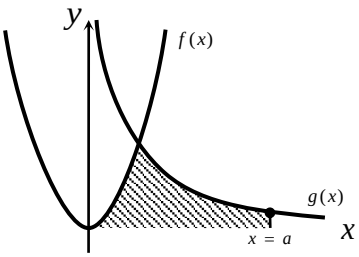
נעביר ישר $x=a$, החותך את גרף הפונקציה $g(x)$

ויוצר את השטח הכלוא בין שני הגרפים,

ציר ה- $x$ והישר (השטח המסומן).

ידוע כי שטח זה שווה ל- $S=85\frac{1}{3}$.

מצאו את $a$.



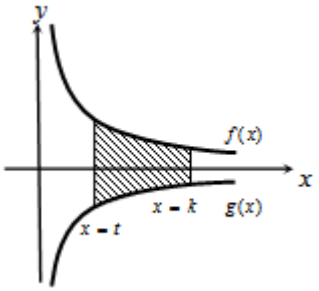


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**24)** באיור שלהלן מתוארים הגרפים של הפונקציות $f(x)=\frac{3}{\sqrt{x}}$ ו- $g(x)=-\frac{3}{\sqrt{x}}$.

נעביר שני ישרים $x=k$ ו- $x=t$, אשר חותכים את הגרפים של הפונקציות ויוצרים את הקטעים AB ו-CD.

ידוע כי $AB=2CD$.

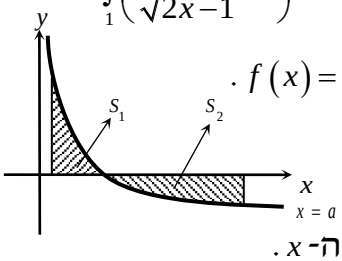



א. הראו כי $k=4t$.

ב. השטח הכלוא בין הפונקציות לבין הישרים $x=k$ ו- $x=t$, הוא $S=12$. מצאו את $t$.

**25)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. מצאו עבור איזה ערך של $a$, $(a>1)$ יתקיים $\int_1^a\left(\frac{3}{\sqrt{2x-1}}-1\right)dx=0$.




ב. באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה $f(x)=\frac{3}{\sqrt{2x-1}}-1$.

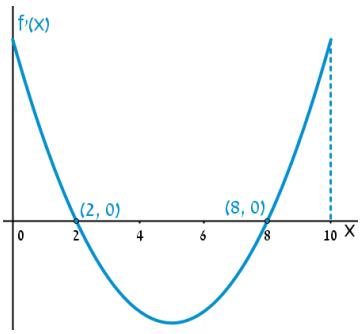
נעביר שני אנכים לציר ה- $x$, $x=1$ ו- $x=13$, כך שנוצרים השטחים $S_1$ ו- $S_2$.

מצאו את נקודת החיתוך של הפונקציה עם ציר ה- $x$.

ג. ענו על תתי-הסעיפים הבאים:

1. חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה, ציר ה- $x$ והאנך $x=1$, כלומר את $S_1$.

2. היעזרו בתוצאה שהתקבלה ובסעיף א' וקבעו לכמה שווה השטח $S_2$. נמקו.



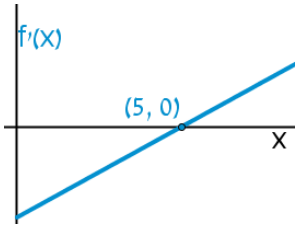

**26)** הפונקציה $f(x)$ מוגדרת בתחום $0\le x\le 10$.

בציור מתואר גרף הנגזרת $f'(x)$.

א. שרטטו סקיצה של גרף הפונקציה $f(x)$, אם $f(2)=6$, $f(0)=-4$, $f(5)=0$, וכן $f(10)>0$.

ב. חשבו את השטח המוגבל ע"י **גרף הנגזרת** והצירים ברביע הראשון, עד לנקודה שבה $x=2$.

**27)** להלן גרף הפונקציה $f'(x)$ , אשר חותך את ציר ה- $x$ בנקודה אחת בלבד, $(5,0)$.




א. מצאו את התחומים שבהם $f'(x)$ חיובית, ואת התחומים שבהם היא שלילית.

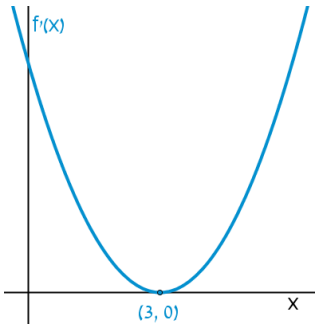
ב. קבעו מהם תחומי העלייה והירידה של הפונקציה $f(x)$ .

ג. כתבו את נקודת הקיצון של הפונקציה $f(x)$ , אם ידוע כי שיעור ה- $y$ שלה הוא $y=-2$ .

ד. שרטטו סקיצה של גרף הפונקציה $f(x)$ , אם ידוע כי גרף הפונקציה חותך את ציר ה- $y$ כאשר $y=8$ .

ה. חשבו את השטח הכלוא בין **גרף הנגזרת** $f'(x)$ והצירים.

**28)** באיור שלהלן מתוארת הנגזרת $f'(x)$ .

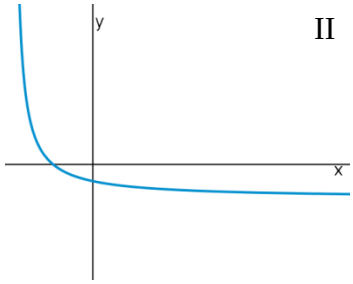


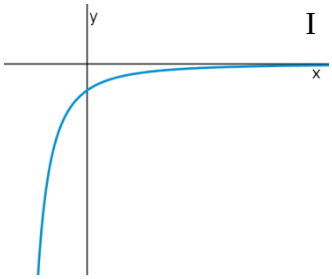

א. האם לפונקציה $f(x)$ יש נקודות קיצון? נמקו.

ב. שרטטו סקיצה של גרף הפונקציה $f(x)$ , אם ידוע כי $f(3)=4$ , וכי היא חותכת את ציר ה- $y$ בנקודה שבה $y=-5$ .

ג. חשבו את השטח הכלוא בין **גרף הנגזרת** $f'(x)$ והצירים ברביע הראשון.

**29)** באיורים שלהלן מתוארים גרפים של הפונקציות $f(x)$ ו- $f'(x)$ :

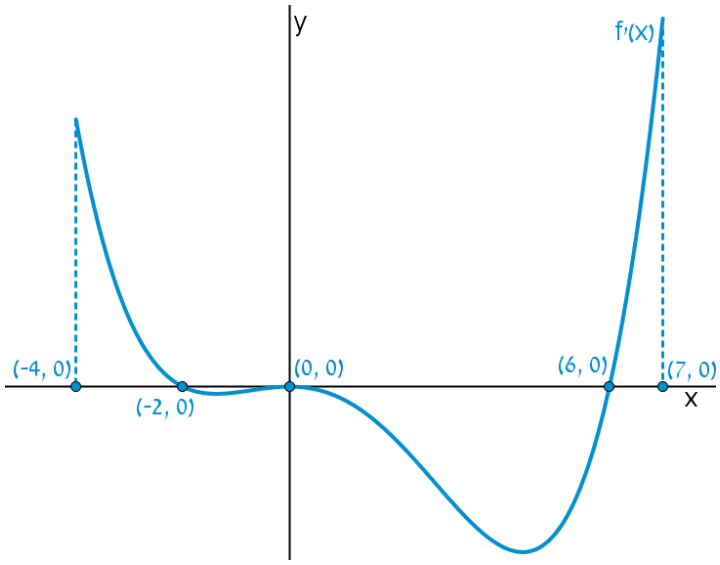



א. זהו איזה גרף שייך לאיזו פונקציה ונמקו.

ב. נתון $f(10)=-3$ , וכי $f(x)$ חותכת את ציר ה- $y$ בנקודה שבה $y=-2$ . מהו השטח המוגבל בין **גרף הנגזרת** $f'(x)$ , הצירים והישר $x=10$ ?

**30)** נתון גרף הנגזרת $f'(x)$ :




א. שרטטו את גרף הפונקציה $f(x)$ בתחום $-4 \le x \le 7$,

לפי הנתונים $f(0)=-2$ , $f(-2)=7.6$ ו- $f(6)=-606.8$ .

ב. חשבו את השטח המוגבל בין **גרף הנגזרת** וציר ה- $x$ ברביע השלישי.

ג. חשבו את השטח המוגבל בין **גרף הנגזרת** וציר ה- $x$ ברביע הרביעי.

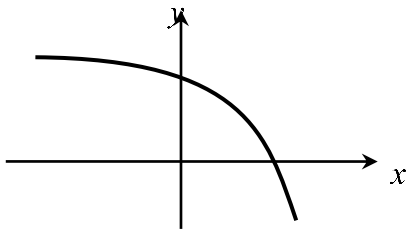

כתב ופתר – גיא סלומון ©

## פונקציות מעריכיות

### אינטגרלים מיידים של פונקציות מעריכיות

| אינטגרלים יסודיים | אינטגרלים של פונקציות מורכבות |
|---|---|
| $\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + c$ | $\int a^{mx+n} dx = \frac{a^{mx+n}}{m \cdot \ln a} + c$ |
| $\int e^x dx = e^x + c$ | $\int e^{mx+n} dx = \frac{e^{mx+n}}{m} + c$ |

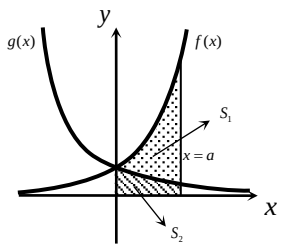
**31)** נתונה הפונקציה $f(x) = 5 - e^x$.
העבירו לפונקציה משיק ששיפועו $-e$.
חשבו את גודל השטח הכלוא בין
הפונקציה, המשיק וציר ה- $x$.
ניתן להשאיר $e$ ו- $\ln$ בתשובה.




**32)** נתונה הפונקציה $f(x) = e^{bx}$, כאשר $b > 0$.
גודל השטח הכלוא בין הפונקציה, המשיק לפונקציה העובר בראשית הצירים
וציר ה- $y$ הוא $\frac{e-2}{4}$.
מצאו את ערכו של הפרמטר $b$.

**33)** נתונות הפונקציות $g(x) = e^{-x}$ ו- $f(x) = e^{\frac{1}{2}x}$.
מנקודה הנמצאת על גרף הפונקציה $g(x)$ ברביע הראשון הורידו אנך לשני
הצירים. המשך האנך לציר ה- $y$ חותך את הפונקציה $f(x)$,
ומנקודת החיתוך יורד אנך נוסף לציר ה- $x$, כך שנוצר מלבן.
הוכיחו כי שטחו המקסימלי של מלבן כזה הוא $\frac{3}{e}$.

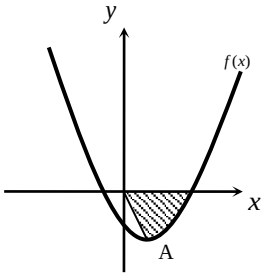
**34)** באיור שלהלן מתוארים גרפים של הפונקציות
$f(x) = e^{2x}$ ו- $g(x) = e^{-2x}$.
נעביר אנך לציר ה- $x$ את הישר $x = a$,
כאשר $a > 0$, כמתואר באיור.
אנך זה יוצר את השטחים $S_1$ ו- $S_2$.
ידוע כי השטח $S_1$ גדול פי 3 מהשטח $S_2$.
מצאו את $a$.





כתב ופתר – גיא סלומון ©

**35)** נתונה הפונקציה $f(x)=e^{2x-1}-2ex-2$ .




הנקודה A היא נקודת המינימום של הפונקציה.

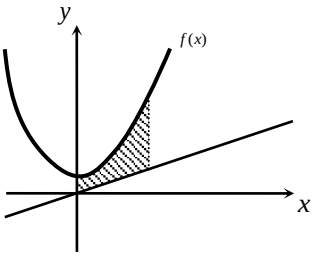
א. מצאו את שיעורי הנקודה A.

מחברים את הנקודה A עם ראשית הצירים.

ב. כתבו את משוואת הישר המחבר את הנקודה A עם הראשית.

ג. חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה, הישר וציר ה- $x$ , אם ידוע כי גרף הפונקציה חותך את ציר ה- $x$ בנקודה שבה $x=1.7$ .

**36)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{e^x+e^{ax}}{4}$ .



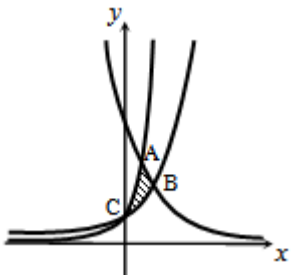

ידוע כי הפונקציה עוברת דרך הנקודה $\left(1,\frac{e^3+1}{4e^2}\right)$ .

א. מצאו את $a$ וכתבו את הפונקציה.

ב. באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה $f(x)$ , והישר $y=0.1x$ .

חשבו את השטח המוגבל בין גרף הפונקציה, הישר, ציר ה- $y$ והאנך $x=2$ .

**37)** באיור שלהלן מתוארים גרפים של שלוש פונקציות:



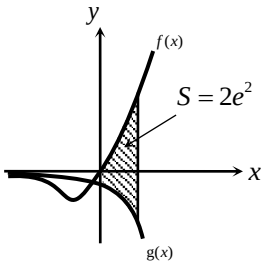

1. $f(x)=2^x$ 2. $g(x)=4^x$ 3. $h(x)=2^{4-2x}$

א. קבעו איזה גרף מתאר כל פונקציה.

ב. מצאו את שיעורי הנקודות A, B ו-C (נקודות החיתוך בין הגרפים).

ג. חשבו את השטח המסומן באיור.

**38)** ענו על הסעיפים הבאים:




א. גזרו את הפונקציה $y=e^x(x-1)$ .

ב. באיור שלהלן מתוארים גרפים של הפונקציות $g(x)=-e^x$ ו- $f(x)=xe^x$ .

נעביר ישר $x=a$ , כאשר $a>0$ , החותך את הגרפים של שתי הפונקציות ויוצר את השטח הכלוא בין הגרפים של שניהם, ציר ה- $y$ והישר (מקווקו).

ידוע כי שטח זה שווה ל- $2e^2$ .

מצאו את $a$ .

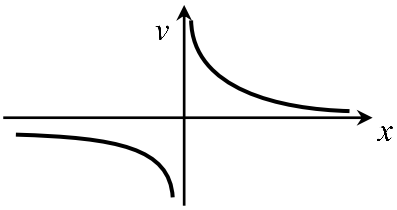

כתב ופתר – גיא סלומון ©

## פונקציות לוגריתמיות

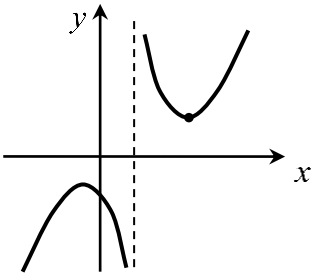
### אינטגרלים מיידים של פונקציות לוגריתמיות

| אינטגרל יסודי | אינטגרל של פונקציה מורכבת |
|---|---|
| $\int \frac{1}{x}dx = \ln\lvert x\rvert + c$ | $\int \frac{1}{ax+b}dx = \frac{1}{a}\ln\lvert ax+b\rvert + c$ |

**39)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{1}{x}$.
חשבו את גודל השטח הכלוא בין הפונקציה, הישרים $x=-1$ ו-$x=-4$ וציר ה-$x$.
ניתן להשאיר $\ln$ בתשובה.



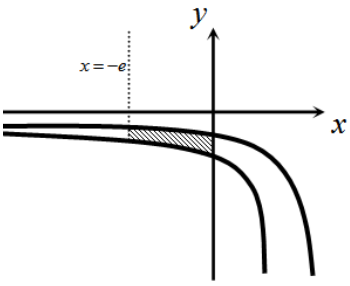

**40)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{x^2+3}{x-1}$.
חשבו את גודל השטח הכלוא בין גרף הפונקציה, המשיק לפונקציה בנקודה שבה $x=2$, ואנך לציר ה-$x$ העובר בנקודת המינימום שלה.
אפשר להשאיר ביטוי עם $\ln$ בתשובה.




**41)** באיור שלהלן נתונות הפונקציות $f(x)=\frac{a}{x-1}$ ו-$g(x)=\frac{a-1}{x-2}$, בתחום $x<0$.
ידוע כי הגרפים של הפונקציות נחתכים בנקודה שבה $x=3$.

א. מצאו את $a$ וכתבו את שתי הפונקציות.

ב. חשבו את השטח המוגבל ע"י הגרפים של שתי הפונקציות, ציר ה-$y$ והישר $x=-e$.

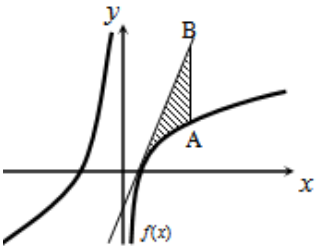




כתב ופתר – גיא סלומון ©

**42)** נתונה הפונקציה $f(x)=7+ax+\frac{b}{x}$.

ידוע כי משוואת המשיק לגרף הפונקציה בנקודת החיתוך שלה עם ציר ה- $x$ היא $y=18x-9$.




א. מצאו את $a$ ו- $b$ וכתבו את הפונקציה.

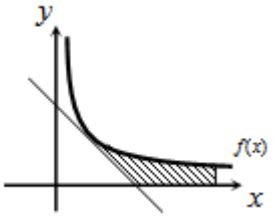
נעביר ישר המקביל לציר ה- $y$, שחותך את גרף הפונקציה בנקודה A, ואת משוואת המשיק בנקודה B. אורך הקטע AB הוא 18.

ב. מצאו את משוואת הישר הנ"ל, אם ידוע כי הנקודה A נמצאת מימין לנקודת החיתוך של גרף הפונקציה עם ציר ה- $x$.

ג. חשבו את השטח המוגבל בין גרף הפונקציה, המשיק והישר.

**43)** נגזרת הפונקציה $f(x)$ היא $f'(x)=-\frac{4}{x^2}$.

משוואת המשיק לגרף הפונקציה בנקודה שבה $x=2$ היא $y=4-x$.

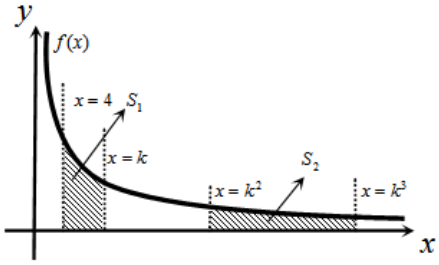



א. מצאו את $f(x)$.

ב. באיור שלהלן מתוארים גרף הפונקציה $f(x)$ ומשיק, בתחום $x>0$.
חשבו את השטח המוגבל בין גרף הפונקציה, המשיק, ציר ה- $x$ והישר $x=e^2$.

**44)** באיור שלהלן נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{2}{x}$, בתחום $x>0$.

נעביר את הישרים $x=k$ , $x=k^2$ , $x=k^3$ ו- $x=4$, כמתואר באיור $(x>4)$.



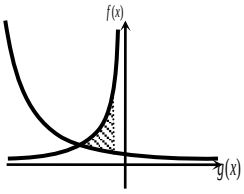

א. הביעו באמצעות $k$ את השטחים $S_1$ ו- $S_2$.

ב. הראו כי ההפרש $S_2-S_1$ אינו תלוי ב- $k$, וחשבו את ערכו.

ג. נתון כי השטח $S_2$ גדול פי 3 מהשטח $S_1$.
מצאו את $k$.

**45)** נתונות הפונקציות $f(x)=-\frac{4}{x}$ ו- $g(x)=\frac{k}{2x+5}$.

גרף $g(x)$ חותך את ציר ה- $y$ בנקודה שבה $y=0.4$.



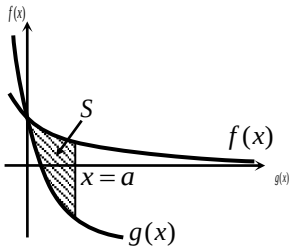

א. מצאו את הפונקציה $g(x)$.

ב. מצאו את נקודת החיתוך של שני הגרפים.

ג. חשבו את השטח המוגבל ע"י שני הגרפים והישר $x=-1$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**46)** באיור שלהלן מתוארים גרפים של הפונקציות
$f(x)=\ln\left(e^{-x}+1\right)$ ו- $g(x)=\ln\left(e^{-2x}+e^{-3x}\right)$,
בתחום $x\ge 0$.

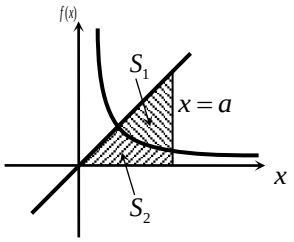



א. הראו כי הגרפים נחתכים על ציר ה- $y$.

ב. נעביר ישר $x=a$ $(a>1)$, המאונך לציר ה- $x$, חותך את הגרפים של שתי הפונקציות ויוצר את השטח $S$ (ראה איור).
מצאו את ערכו של $a$, עבורו מתקיים $S=4$.

**47)** באיור שלהלן מתוארים גרפים של הפונקציה $f(x)=\dfrac{2}{3x-1}$ והישר $y=x$.

א. מצאו את נקודת החיתוך של הפונקציה והישר, ברביע הראשון.




נעביר אנך לציר ה- $x$, $x=a$, הנמצאו מימין לנקודת החיתוך שמצאת בסעיף הקודם.
האנך חותך את הגרפים ויוצר את השטחים $S_1$ ו- $S_2$, המתוארים באיור.

ב. מצאו את הערך של $a$, עבורו השטח $S_2$ יהיה שווה ל- $\frac{1}{2}+\frac{2}{3}\ln 7$.

ג. עבור ערך ה- $a$ שנמצא בסעיף הקודם, חשבו את יחס השטחים $\dfrac{S_1}{S_2}$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

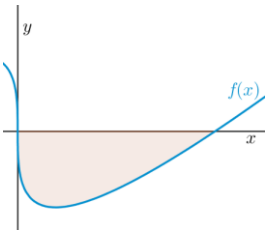
## פונקציית חזקה עם מעריך רציונאלי

### אינטגרלים מיידים של פונקצית חזקה עם מעריך רציונאלי

| אינטגרל יסודי | אינטגרל של פונקציה מורכבת |
|---|---|
| $\int \sqrt[n]{x^m}\,dx=\int x^{\frac{m}{n}}\,dx=\frac{x^{\frac{m}{n}+1}}{\frac{m}{n}+1}+c$ | $\int \sqrt[n]{(ax+b)^m}\,dx=\int (ax+b)^{\frac{m}{n}}\,dx=\frac{(ax+b)^{\frac{m}{n}+1}}{a\cdot\left(\frac{m}{n}+1\right)}+c$ |

תנאי לקיום האינטגרציה $\frac{m}{n}\neq -1$.

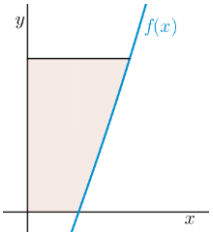
**48)** באיור שלהלן מופיע גרף הפונקציה $f(x)=x-4\sqrt[3]{x}$.




א. מצאו את נקודות החיתוך של הפונקציה עם ציר ה- $x$.

ב. חשבו את השטח הנוצר בין גרף הפונקציה והצירים.

**49)** באיור שלהלן מופיע גרף הפונקציה $f(x)=\frac{x^2-4}{\sqrt{x}}$.

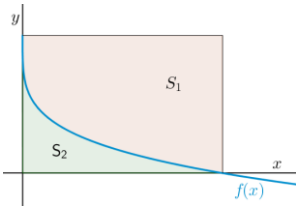



א. מהו תחום ההגדרה של הפונקציה?

ב. מצאו את נקודת החיתוך של הפונקציה עם ציר ה- $x$.

ג. נעביר אנך לציר ה- $y$ מהנקודה $(4,6)$.
חשבו את השטח הנוצר בין גרף הפונקציה, האנך והצירים, ברביע הראשון.

**50)** באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה $f(x)=2-\sqrt[4]{x}$.

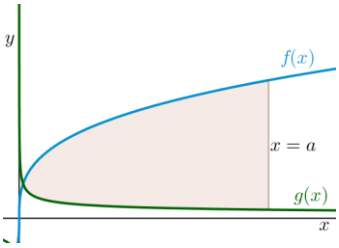



נעביר אנכים לצירים מנקודות החיתוך של גרף הפונקציה עם הצירים, כך שנוצר מלבן,
ונסמן את השטח שבין גרף הפונקציה והצירים ב- $S_1$,
ואת השטח שבין גרף הפונקציה והאנכים ב- $S_2$.

מצאו את היחס $\frac{S_1}{S_2}$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

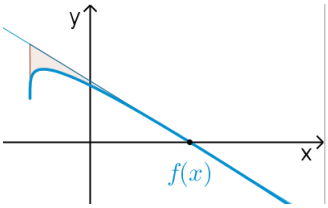
**51)** באיור שלהלן מתוארים גרפים של הפונקציות $f(x)=4\sqrt[3]{x}$ ו- $g(x)=\frac{1}{\sqrt[3]{x}}$.




א. מצאו את נקודת החיתוך של הגרפים בתחום $x>0$.

ב. נעביר אנך לציר ה- $x$, $x=a$ ($a$ פרמטר).
ידוע כי השטח שנוצר בין שני הגרפים, מנקודת החיתוך שלהם ועד לאנך, הוא $42\frac{3}{16}$ יח"ש.
מצאו את $a$.

**52)** נתונה הפונקציה $f(x)=\sqrt[4]{5x+6}-ax$, $a$ פרמטר.
ידוע כי גרף הפונקציה חותך את ציר ה- $x$ בנקודה שבה $x=2$.




א. מצאו את הפרמטר $a$ וכתבו את הפונקציה.

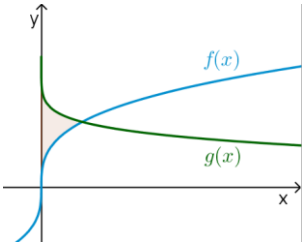
ב. מהו תחום ההגדרה של הפונקציה?

ג. מצאו את נקודת קיצון בקצה של הפונקציה.

ד. מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה, העובר דרך נקודת החיתוך שלה עם ציר ה- $x$.

ה. באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה $f(x)$ והמשיק שמצאנו בסעיף הקודם. נוריד אנך מהמשיק אל נקודת הקיצון בקצה של הפונקציה שמצאנו בסעיף ג'.
חשבו את השטח הנוצר בין גרף הפונקציה $f(x)$ והמשיק.

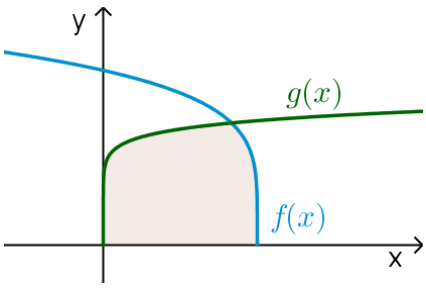
**53)** באיור שלהלן נתונים גרפים של הפונקציות $g(x)=2-\sqrt[6]{x}$ ו- $f(x)=\sqrt[3]{x}$.




א. מצאו את נקודת החיתוך של הגרפים.

ב. חשבו את השטח הכלוא בין שני הגרפים וציר ה- $y$.

**54)** הנגזרת של $f(x)$ היא $f'(x)=-\frac{1}{\sqrt[5]{(6-5x)^4}}$.
ידוע כי הפונקציה חותכת את ציר ה- $x$ בנקודה שבה $x=1.2$.

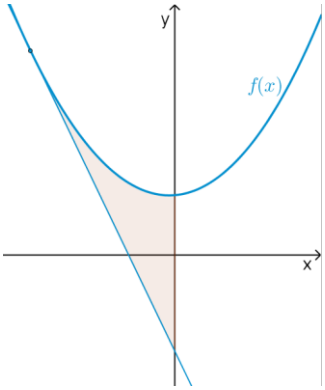



א. מצאו את $f(x)$.

ב. חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה $f(x)$, גרף הפונקציה $g(x)=\sqrt[10]{x}$ וציר ה- $x$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

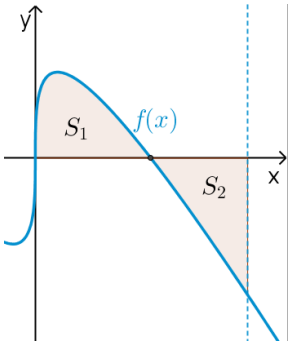
**55)** נתונה הפונקציה $f(x)=\frac{3}{\sqrt[3]{5-x}}+\frac{1}{2}x^2$ .




א. מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה בנקודה שבה $x=-3$ .

ב. חשבו את השטח הכלוא בין גרף הפונקציה $f(x)$ , המשיק וציר ה- $y$ .

**56)** נתונה הפונקציה $f(x)=\sqrt[3]{x}-4x$ .




א. מהו תחום ההגדרה של הפונקציה?

ב. מצאו את נקודות החיתוך של הפונקציה עם ציר ה- $x$ .

ג. באיור שלהלן מתואר גרף הפונקציה ברביע הראשון. השטח הכלוא בין גרף הפונקציה וציר ה- $x$ יסומן ב- $S_1$ .
נעביר ישר $x=k$ , אשר יוצר את השטח $S_2$ , כמתואר באיור.
מצאו את $k$ , אם ידוע כי $S_1=S_2$ .


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $57\frac{1}{6}$ יח"ש.

2) $21\frac{1}{3}$ יח"ש.

3) א. $f(x)=\text{I}$ , $g(x)=\text{II}$ ב. שאלת הוכחה.

4) $\frac{2}{3}$ יח"ש.

5) א. $y=-x$ ב. $(-3,3)$ ג. $7\frac{5}{6}$ יח"ש.

6) א. $y=-4x+4$ ב. $(1,0)$ ג. $\frac{2}{3}$ יח"ש.

7) א. $k=10$ ב. $(1,9)$ ג. $81\frac{1}{3}$ יח"ש.

8) א. $f(x)=-x^2+3x+10$ ב. $27\frac{1}{6}$ יח"ש.

9) א. $g(x)=(x-4)^2$ ב. $5\frac{1}{3}$ יח"ש.

10) א. $f(x)=x^2-6x$ ב. $(0,0)$ ג. $85\frac{1}{3}$ יח"ש.

11) א. $y=-x+2$ ב. $\frac{1}{8}$ יח"ש.

12) 1 יח"ש.

13) א. $a=32$ , $(2,8)$ ב. $13\frac{1}{3}$ יח"ש.

14) א. $a=36$ , $f(x)=\frac{36-x^2}{x^2}$ ב. 8 יח"ש.

15) א. $\text{A}=6$ ב. $y=-\frac{1}{9}x+\frac{1}{6}$ ג. הוכחה. ד. $\left(-1.5,\frac{2}{3}\right)$ ה. $\frac{5}{8}$ יח"ש.

16) א. $\min(0.5,1.5)$ ב. 1.75 יח"ש.

17) א. $(4,8)$ ב. 48 יח"ש.

18) 2.26 יח"ש.

19) 0.5 יח"ש.

20) $t=16$

21) א. i. $x>0$ ii. $(4,0)$ iii. $f'(x)=1+\frac{4}{x\sqrt{x}}>0$ ב. $(16,14)$ ג. 88 יח"ש.

22) $b=2$

23) $a=9$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**24)** א. שאלת הוכחה. ב. $t=1$

**25)** א. $a=13$ ב. $(5,0)$ ג. i. $S_1=2$ ii. $S_2=|-S_1|=2$.

**26)** ב. 10 יח"ש.

**27)** א. חיובית: $x>5$, שלילית: $x<5$. ב. עולה: $x>5$, יורדת: $x<5$.
ג. $\min(5,-2)$ ד. שאלת הוכחה. ה. 10 יח"ש.

**28)** א. לא. הנקודה $(3,0)$ היא פיתול, מכיוון שהפונקציה עולה לפניה ואחריה.
ב. שאלת הוכחה. ג. 9 יח"ש.

**29)** א. $f'(x):\mathrm{I}$, $f(x):\mathrm{II}$ ב. 1 יח"ש.

**30)** א. שאלת הוכחה. ב. 9.6 יח"ש. ג. 604.8 יח"ש.

**31)** $S=0.192$ יח"ש.

**32)** $b=2$

**33)** שאלת הוכחה.

**34)** $a=\ln 2$

**35)** א. $\mathrm{A}(1,-e-2)$ ב. $y=-(e+2)x$ ג. $S=4.744$ יח"ש.

**36)** א. $a=-2$, $f(x)=\dfrac{e^x+e^{-2x}}{4}$ ב. 1.52

**37)** ב. $\mathrm{C}(0,1)$, $\mathrm{B}\left(1\frac{1}{3},2.52\right)$, $\mathrm{A}(1,4)$ ג. $S=1.03$ יח"ש.

**38)** א. $y'=xe^x$ ב. $a=2$

**39)** $S=\ln 4$ יח"ש.

**40)** $S=4\ln 2-2$ יח"ש.

**41)** א. $a=2$, $g(x)=\dfrac{1}{x-2}$, $f(x)=\dfrac{2}{x-1}$ ב. $S=1.76$ יח"ש.

**42)** א. $b=-4$, $a=2$, $f(x)=7+2x-\dfrac{4}{x}$ ב. $x=2$
ג. 11.54 יח"ש. $S=6+\ln 256\approx$

**43)** א. $f(x)=\dfrac{4}{x}$ ב. $S=6-4\ln 2$ יח"ש.

**44)** א. $S_2=2\ln k$, $S_1=2\ln k-\ln 16$ ב. $S_2-S_1=\ln 16$ ג. $k=8$

**45)** א. $g(x)=\dfrac{2}{2x+5}$ ב. $(-2,2)$ ג. $S=\ln 5\frac{1}{3}\approx 1.674$ יח"ש.

**46)** ב. $a=2$

**47)** א. $(1,1)$ ב. $a=5$ ג. $\dfrac{S_1}{S_2}=5.955$

**48)** א. $(8,0)$, $(0,0)$ ב. $S=16$ יח"ש.

**49)** א. $x>0$ ב. $(2,0)$ ג. $S=18.149$ יח"ש.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**50)** $\frac{S_1}{S_2}=4$

**51)** א. $\left(\frac{1}{8},2\right)$ ב. $a=8$

**52)** א. $a=1$ , $f(x)=\sqrt[4]{5x+6}-x$ ב. $x\geq -1.2$ ג. $(-1.2,1.2)$

ד. $y=-\frac{27}{32}x+\frac{27}{16}$ ה. $S=4.56$ יח"ש.

**53)** א. $(1,1)$ ב. $S=\frac{11}{28}$ יח"ש.

**54)** א. $f(x)=(6-5x)^{\frac{1}{5}}$ ב. $S=1\frac{5}{66}$ יח"ש.

**55)** א. $y=-2\frac{15}{16}x-\frac{45}{16}$ ב. $S=4.56$ יח"ש.

**56)** א. כל $x$. ב. $\left(-\frac{1}{8},0\right)$ , $\left(\frac{1}{8},0\right)$ , $(0,0)$ ג. $k=\left(\frac{3}{8}\right)^{1.5}=0.2296..$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב שטחים ביחס לציר ה-$y$

## שאלות

**1)** חשבו את השטח הכלוא בין הפרבולה $y^2=-x$ והישר $y=x+6$.

**2)** חשבו את השטח הכלוא בין הפרבולה $x=y^2+2$ והישר $y=x-8$.

## תשובות סופיות

**1)** $20\frac{5}{6}$

**2)** $20\frac{5}{6}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אורך קשת

## שאלות

חשבו את אורך העקום הנתון:

1) $(1\le x\le 2)\ ,\ y=\frac{x^4}{8}+\frac{1}{4x^2}$

2) $(1\le x\le 8)\ ,\ y=x^{2/3}$

3) $(1\le x\le 2)\ ,\ y=\frac{x^5}{15}+\frac{1}{4x^3}$

4) $(0\le x\le 3)\ ,\ y=\frac{2}{3}\left(1+x^2\right)^{3/2}$

5) $(0\le x\le 3)\ ,\ y=\frac{1}{3}\sqrt{x}\left(3-x\right)$

6) $(1\le x\le 8)\ ,\ x^{2/3}+y^{2/3}=4$

7) $(0\le y\le 4)\ ,\ x=3y^{3/2}-1$

8) $(1\le x\le 2)\ ,\ y=\ln x$

9) $(1\le x\le 2)\ ,\ y=x^2$

## תשובות סופיות

1) $\frac{33}{16}$

2) $\frac{1}{9}\left\{\frac{40^{1.5}}{3}-\frac{13^{1.5}}{3}\right\}$

3) $\frac{1097}{480}$

4) 21

5) $\frac{1}{2}\left\{2\sqrt{3}+\frac{2}{3}3^{1.5}\right\}$

6) 9

7) $\frac{8}{243}\left\{82^{1.5}-1\right\}$

8) $\left\{\sqrt{5}+\frac{1}{2}\ln\left|\frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{5}+1}\right|\right\}-\left\{\sqrt{2}+\frac{1}{2}\ln\left|\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}+1}\right|\right\}$

9) $\sqrt{17}-\frac{\sqrt{5}}{2}+\frac{1}{4}\ln\left(\sqrt{17}+4\right)-\frac{1}{4}\ln\left(\sqrt{5}+2\right)$ (Decimal: 3.16784)


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 27 - שימושי האינטגרל המסויים (נפח-שטח מעטפת)

תוכן העניינים

1. חישוב נפח גוף-סיבוב ..... 341
2. חישוב שטח מעטפת גוף-סיבוב ..... 344
3. חישוב נפח גוף כללי ..... 345

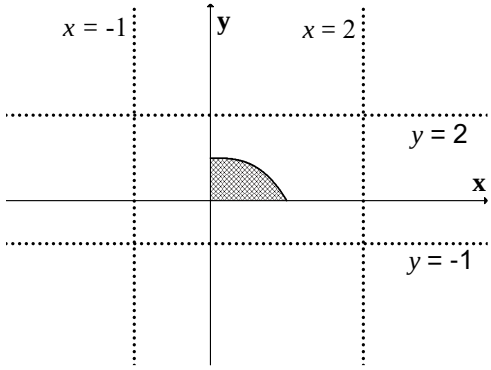
# חישוב נפח גוף-סיבוב

## שאלות

**1)** השטח הכלוא בין גרף הפונקציות $y=x^2$ ו- $y=2x$ מסתובב סביב ציר ה- $x$.
חשבו את נפח הגוף המתקבל בשתי דרכים:
א. שיטת הדיסקות (cavalieri).
ב. שיטת הקליפות הגליליות.

**2)** השטח הכלוא בין גרף הפונקציות $y=x^2$ ו- $y=2x$ מסתובב סביב ציר ה- $y$.
חשבו את נפח הגוף המתקבל בשתי דרכים:
א. שיטת הדיסקות (cavalieri).
ב. שיטת הקליפות הגליליות.

השטח הכלוא בין גרף הפונקציה $f(x)=1-x^3$ והצירים, מסתובב סביב ציר כלשהו.
מצאו את נפח הגוף המתקבל בכל מקרה בשאלות **3-8**:




**3)** ציר ה- $x$.

**4)** הישר $y=-1$.

**5)** הישר $y=2$.

**6)** ציר ה- $y$.

**7)** הישר $x=-1$.

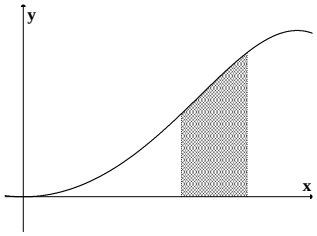
**8)** הישר $x=2$.

**9)** נסחו והוכיחו את הנוסחה לחישוב נפח גליל.

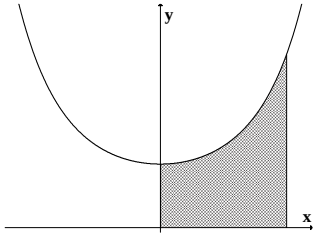
**10)** נסחו והוכיחו את הנוסחה לחישוב נפח חרוט.

**11)** נסחו והוכיחו את הנוסחה לחישוב נפח כדור.

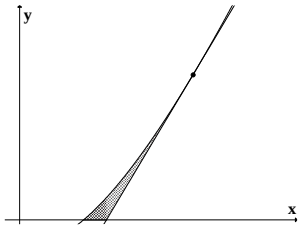

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©




**12)** השטח הכלוא בין גרף הפונקציה $y=\sin\left(x^2\right)$
והישרים $y=0$, $x=\sqrt{\frac{\pi}{3}}$, $x=\sqrt{\frac{\pi}{6}}$,
מסתובב סביב ציר ה- $y$.
מהו נפח הגוף המתקבל?




**13)** השטח הכלוא בין גרף הפונקציה $y=e^{x^2}$
והישרים $y=0,\ x=0,\ x=1$,
מסתובב סביב ציר ה- $y$.
מהו נפח הגוף המתקבל?




**14)** השטח הכלוא בין גרף הפונקציה $f\left(x\right)=x\ln x$,
המשיק לגרף בנקודה $\left(e,e\right)$ וציר ה- $x$,
מסתובב סביב ציר ה- $x$.
מהו נפח הגוף המתקבל?

**15)** השטח הכלוא בין הגרפים של $f(x)=x^2,\ f(x)=2x+8$, $x=0$
מסתובב סביב הישר $x=4$.
מצאו את נפח גוף הסיבוב שמתקבל.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) א. $\frac{64}{15}\pi$ ב. $\frac{64}{15}\pi$

2) א. $\frac{8}{3}\pi$ ב. $\frac{8}{3}\pi$

3) $\frac{9\pi}{14}$

4) $\frac{15\pi}{7}$

5) $\frac{33\pi}{14}$

6) $\frac{3\pi}{5}$

7) $2.1\pi$

8) $\frac{12\pi}{5}$

9) $V=\pi R^2\cdot H$

10) $V=\frac{\pi R^2\cdot H}{3}$

11) $V=\frac{4}{3}\pi R^3$

12) $\frac{\pi}{2}\left(\sqrt{3}-1\right)$

13) $\pi\left(e-1\right)$

14) $\frac{e^3-4}{54}\pi$

15) $128\pi$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב שטח מעטפת של גוף-סיבוב

## שאלות

1) הפונקציה $y=\sqrt{4-x^2}$ , עבור $-1\le x\le 1$ , מסתובבת סביב ציר ה- $x$ .
מהו שטח המעטפת של הגוף שנוצר?

2) נסחו והוכיחו את הנוסחה לחישוב שטח מעטפת של חרוט.

3) נסחו והוכיחו את הנוסחה לחישוב שטח מעטפת של כדור.

4) הפונקציה $x=\sqrt{9-y^2}$ , עבור $-2\le y\le 2$ , מסתובבת סביב ציר ה- $y$ .
מהו שטח המעטפת של הגוף שנוצר?

## תשובות סופיות

1) $8\pi$
2) $S=\pi R\sqrt{H^2+R^2}$
3) $S=4\pi R^2$
4) $24\pi$

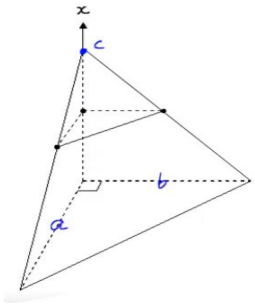

כתב ופתר – גיא סלומון ©

# חישוב נפח גוף כללי

## שאלות

**1)** מצאו נוסחה לחישוב נפח פירמידה ישרה, אשר גובהה $h$ ובסיסה הוא ריבוע שאורך צלעו $a$.

**2)** חשבו את נפחה של פירמידה, שבסיסה הוא משולש ישר זווית (ראו איור).




## תשובות סופיות

**1)** $V=\frac{a^2h}{3}$

**2)** $\frac{abc}{6}$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 28 - המשפט היסודי של החדו"א, משפטי הערך הממוצע לאינטגרלים

תוכן העניינים


1. המשפט היסודי של החדו״א - תרגילי חישוב ..... 346
2. המשפט היסודי של החדו״א - תרגילי תיאוריה ..... 349
3. משפטי הערך הממוצע לאינטגרלים ..... 352

# המשפט היסודי של החדו"א – תרגילי חישוב

## שאלות

בשאלות **1** ו-**2**, על סמך המשפט היסודי של החדו"א,
הוכיחו כי אם $f(x)$ רציפה וגם $a(x)$ ו-$b(x)$ גזירות, אזי:

**1)** $I(x)=\int_a^{b(x)} f(t)dt \Rightarrow I'(x)=f(b(x))b'(x)$

**2)** $I(x)=\int_{a(x)}^{b(x)} f(t)dt \Rightarrow I'(x)=f(b(x))b'(x)-f(a(x))a'(x)$

גזרו את הפונקציות בשאלות **3-6**:

**3)** $I(x)=\int_2^x e^{-t^2}dt$

**4)** $I(x)=\int_1^{x^3} \frac{\ln t}{t^2}dt$

**5)** $I(x)=\int_2^{x^3+x} t\ln t\,dt$

**6)** $I(x)=\int_{x^3}^{x^2} \frac{dt}{\sqrt{1+t^4}}$

חשבו את הגבולות בשאלות **7-9**:

**7)** $\lim_{x\to 0}\frac{\int_0^x \frac{tdt}{\cos t}}{\sin^2 x}$

**8)** $\lim_{x\to 0^+}\frac{1}{x^3}\int_0^{x^2}\sin\sqrt{t}\,dt$

**9)** $\lim_{x\to 4}\frac{x}{x-4}\int_4^x e^{t^2}dt$

**10)** חשבו את הגבול $\lim_{x\to\infty}\frac{\left(\int_0^x e^{t^2}dt\right)^2}{\int_0^x e^{2t^2}dt}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**11)** חקרו את הפונקציה $F(x)=\int_0^x (t+1)^4(t-1)^{10}dt$ , לפי הפירוט הבא:

תחום הגדרה, נקודות קיצון ותחומי עלייה וירידה, נקודות פיתול ותחומי קמירות וקעירות.

**12)** נתונה הפונקציה $g(t)=\int_0^{t^2-1} f(x)dx$ , כאשר $f(x)=2+\int_0^x \left(e^{y^2}+2\right)^2 dy$ .

חשבו את $g''(1)$ (הניחו כי $f$ רציפה).

**13)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

נגדיר $g(x)=\int_0^x (x-t)f(t)dt$ לכל $x\in\mathbb{R}$ .

הוכיחו כי $g''(x)=f(x)$ לכל $x\in\mathbb{R}$ .

**14)** תהי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה, ויהי $\alpha\neq 0$ .

נגדיר $g(x)=\frac{1}{\alpha}\int_0^x f(t)\sin\left[\alpha(x-t)\right]dt$ לכל $x\in\mathbb{R}$ .

הוכיחו כי $f(x)=g''(x)+\alpha^2 g(x)$ לכל $x\in\mathbb{R}$ .

**15)** תהי $f$ פונקציה רציפה וחיובית לכל $x\geq 0$ .

הוכיחו כי הפונקציה $z(x)=\frac{\int_0^x f(t)dt}{\int_0^x t\,f(t)dt}$ מונוטונית יורדת בקטע $[0,\infty)$.

**16)** מצאו את $\int_e^4 f(x)dx$ , אם נתון כי $\int_2^x \frac{t^3-t+2}{t^2-t}dt=\int_2^x f(t)dt+2\int_2^x \frac{1}{t-1}dt$ .

**17)** מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה $F(x)=\int_0^{\sin x} e^{t^2}dt$ , בנקודה $x_0=2\pi$ .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) שאלת הוכחה.

2) שאלת הוכחה.

3) $I'(x)=e^{-x^2}$

4) $I'(x)=\frac{\ln(x)^3}{(x^3)^2}\cdot 3x^2$

5) $I'(x)=(x^3+x)(3x^2+1)\ln(x^3+x)$

6) $I'(x)=\frac{2x}{\sqrt{1+x^8}}-\frac{3x^2}{\sqrt{1+x^{12}}}$

7) $\frac{1}{2}$

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

9) $4e^{16}$

10) $0$

11) תחום הגדרה: כל $x$.
נקודות קיצון: אין קיצון, עולה לכל $x$.
נקודות פיתול: $x=-1,1,-\frac{3}{7}$.
תחומי קמירות: $x>1$ , $-1<x<-\frac{3}{7}$.
תחומי קעירות: $-\frac{3}{7}<x<1$ , $x<-1$.

12) $40$

13) שאלת הוכחה.

14) שאלת הוכחה.

15) שאלת הוכחה.

16) $14-2\ln 4-\frac{1}{2}e^2-e$

17) $y=x-2\pi$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# המשפט היסודי של החדו"א – תרגילי תיאוריה

## שאלות

**1)** נתונה הפונקציה $f$ המוגדרת בקטע $[0,2]$ כך: $f(x)=\begin{cases}0 & 0\le x<1\\ 1 & 1\le x\le 2\end{cases}$.

א. הוכיחו ש- $f$ אינטגרבילית בקטע הנתון.

ב. מצאו את $F(x)=\int_0^x f(t)dt$ לכל $x$ בקטע הנתון.

ג. בדקו האם $F(x)$ רציפה/גזירה בקטע.

ד. האם $F'(x)=f(x)$?

**2)** נתונה הפונקציה $f$ המוגדרת בקטע $[-1,1]$ כך: $f(x)=\begin{cases}0 & x\ne 0\\ 1 & x=0\end{cases}$.

א. הוכיחו ש- $f$ אינטגרבילית בקטע הנתון.

ב. מצאו את $F(x)=\int_{-1}^x f(t)dt$ לכל $x$ בקטע הנתון.

ג. בדקו האם $F(x)$ רציפה/גזירה בקטע.

ד. האם $F'(x)=f(x)$?

**3)** נגדיר $f:[-1,1]\to\mathbb{R}$ על ידי $f(x)=\begin{cases}2x\sin\frac{1}{x^2}-\frac{2}{x}\cos\frac{1}{x^2} & ;\ x\ne 0\\ 0 & ;\ x=0\end{cases}$.

נגדיר $F:[-1,1]\to\mathbb{R}$ על ידי $F(x)=\begin{cases}x^2\sin\frac{1}{x^2} & ;\ x\ne 0\\ 0 & ;\ x=0\end{cases}$.

הוכיחו כי $F'=f$ ב- $[-1,1]$, אבל $\int_{-1}^1 f(t)dt$ לא קיים.

האם הדבר עומד בסתירה למשפט היסודי של החדו״א?

**4)** נתונה פונקציה אינטגרבילית $f:[a,b]\to\mathbb{R}$.

הוכיחו כי $\int_a^b f(t)dt=\lim_{x\to b^-}\int_a^x f(t)dt$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**5)** תהי $f$ פונקציה אינטגרבילית בקטע $[a,b]$, המקיימת $\int_a^b f(t)dt > 1$.

הוכיחו שקיים $x_1$, בקטע $(a,b)$, עבורו $\int_a^{x_1} f(t)dt = 1$.

**6)** תהי $f$ פונקציה רציפה ומחזורית לכל $x$, עם מחזור $p$.

הוכיחו שלאינטגרל $\int_x^{x+p} f(t)dt$ יש את אותו הערך לכל $x \in \mathbb{R}$.

**7)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. הראו כי הפונקציה $f(x) = \int_0^x \frac{1}{1+t^2}dt + \int_0^{1/x} \frac{1}{1+t^2}dt$ קבועה בקטע $(0,\infty)$,

ומצאו את הקבוע הממשי $C$ עבורו מתקיים $f(x) = C$ לכל $x \in (0,\infty)$.

ב. הוכיחו כי $\arctan x + \arctan\frac{1}{x} = \frac{\pi}{2}$ לכל $x > 0$.

**8)** תהי $f:[0,1] \to \mathbb{R}$ פונקציה רציפה ונניח כי $\int_0^1 f(x)dx = 1$.

הוכיחו שקיימת נקודה $c \in (0,1)$, כך ש- $f(c) = 3c^2$.

**9)** תהי $f$ פונקציה רציפה ב- $[0,\pi/2]$ ונניח כי $\int_0^{\pi/2} f(t)dt = 0$.

הוכיחו שקיימת נקודה $c \in (0,\pi/2)$, כך ש- $f(c) = 2\cos 2c$.

**10)** תהי $f:[0,\frac{\pi}{4}] \to \mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

הוכיחו שקיים $c \in [0,\pi/4]$, כך ש- $2\cos 2c\int_0^{\pi/4} f(t)dt = f(c)$.

**11)** תהי $f:[0,1] \to \mathbb{R}$ פונקציה גזירה.

הוכיחו שקיים $c \in (0,1)$, כך ש- $\int_0^1 f(x)dx = f(0) + \frac{1}{2}f'(c)$.

**12)** תהי $f:[a,b] \to \mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

נניח כי $\int_a^x f(t)dt = \int_x^b f(t)dt \quad \forall x \in [a,b]$.

הוכיחו כי $f(x) = 0 \quad \forall x \in [a,b]$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**13)** תהי $f$ פונקציה רציפה ב-$[a,b]$, ונניח כי קיימות שתי נקודות, $x_1 < x_2$,
בקטע $(a,b)$, שעבורן מתקיים $\int_a^{x_1} f(t)dt = \int_a^{x_2} f(t)dt$.

א. הוכיחו כי קיים $c$, בקטע $(a,b)$, כך ש-$f(c)=0$.

ב. האם הטענה שבסעיף א' נכונה גם אם לא נדרוש ש- $f$ רציפה ב-$[a,b]$,
ונסתפק בדרישה החלשה יותר, ש- $f$ אינטגרבילית ב-$[a,b]$? נמקו.

**14)** מצאו פונקציה קדומה לפונקציה $f(x)=e^{-|x|}$.

**15)** תהי $f$ פונקציה אינטגרבילית בכל קטע $[a,b]$,
ונניח שלכל $x\in\mathbb{R}$ מתקיים $f(x)=\int_0^x f(t)dt$.
הוכיחו כי $f(x)\equiv 0$ (כלומר, לכל $x\in\mathbb{R}$ מתקיים $f(x)=0$).

## תשובות סופיות

**1)** א. שאלת הוכחה. ב. $F(x)=\begin{cases}0 & 0\le x\le 1\\ x-1 & 1<x\le 2\end{cases}$ ג. רציפה ולא גזירה.
ד. לא.

**2)** א. שאלת הוכחה. ב. $F(x)=0$ לכל $x$ בקטע הנתון. ג. רציפה וגזירה.
ד. לא.

**7)** א. $C=0$ ב. שאלת הוכחה.

**14)** $F(x)=\begin{cases}-e^{-x}+D+2 & x\ge 0\\ e^{x}+D & x<0\end{cases}$

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

# משפטי הערך הממוצע לאינטגרלים

## שאלות

**1)** בסרטון התיאוריה הוכחנו את משפט הערך הממוצע לאינטגרלים בעזרת משפט ערך הביניים של קושי.
נסחו והוכיחו את משפט הערך הממוצע לאינטגרלים בעזרת משפט הערך הממוצע של לגראנז'.

**2)** תהי $f$ רציפה ב-$[a,b]$, ו-$\int_a^b f(x)dx=1$.
הוכיחו שקיים פתרון למשוואה $(b-a)f(x)=1$.

**3)** תהי $f$ פונקציה רציפה בקטע $[a,b]$, ונניח כי $a\le x_1<x_2\le b$
וכי $\int_a^{x_1} f(t)dt=\int_a^{x_2} f(t)dt$.
הוכיחו שקיים $x$, בקטע $(a,b)$, שעבורו $f(x)=0$.

**4)** הוכיחו, ללא חישוב האינטגרל, כי $\int_n^{n+1}\frac{1}{x}dx<\frac{1}{n}$ לכל $n\in\mathbb{N}$.

**5)** תהי $f$ פונקציה רציפה ויורדת בקטע $[n,n+1]$.
הוכיחו כי $f(n+1)<\int_n^{n+1} f(x)dx<f(n)$ לכל $n\in\mathbb{N}$.

**6)** יהיו $f,g:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציות רציפות המקיימות $\int_a^b f(x)dx=\int_a^b g(x)dx$.
הוכיחו שקיימת נקודה $c\in[a,b]$ כך ש- $f(c)=g(c)$.

**7)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה.
הוכיחו כי $\lim_{n\to\infty}\int_0^1 f(x^n)dx=f(0)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**8)** תהי $f:[0,\infty)\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

נתון כי $\lim_{x\to\infty} f(x)=a$.

הוכיחו כי $\lim_{n\to\infty}\int_0^1 f(nx)dx=a$.

**9)** חשבו את הערך הממוצע של הפונקציה $f(x)=\sin x\sin(x+\alpha)$ בקטע $[0,2\pi]$.

**10)** ניזכר במשפט הערך הממוצע לאינטגרלים.

תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

אז קיימת נקודה $c\in(a,b)$ כך ש- $\int_a^b f(x)dx=f(c)(b-a)$

הראו שהמשפט לעיל אינו נכון, אם נחליף את דרישת הרציפות בדרישה לאינטגרביליות.

**11)** הוכח כי $\frac{3}{\ln 2}\le\int_2^4\frac{x}{\ln x}dx\le\frac{6}{\ln 2}$.

**12)** הוכח כי $\frac{\pi^2}{9}\le\int_{\pi/6}^{\pi/2}\frac{x}{\sin x}dx\le\frac{2\pi^2}{9}$.

**13)** הוכח כי $\frac{1}{2e}\ln 2\le\int_0^{\pi/4}e^{-x^2}\tan x dx\le\frac{1}{2}\ln 2$.

**14)** תהי $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ פונקציה רציפה.

הוכח כי $\lim_{n\to\infty}\int_0^1 x^n f(x)dx=0$.

**15)** נסחו והוכיחו את משפט הערך הממוצע האינטגרלי השני.

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

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 29 - אינטגרלים לא אמיתיים

### תוכן העניינים

1. כללי ..... (ללא ספר)

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 30 - נושאים מתקדמים - רציפות במידה שווה

תוכן העניינים

1. רציפות במידה שווה לפי הגדרה. . . . . 354
2. תנאים לרציפות במידה שווה. . . . . 356
3. תנאים לשלילת רציפות במידה שווה. . . . . 358

# 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 $f$ ו- $g\neq 0$ 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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
$|f(y)-f(x)| \le M|y-x|$.

ב. הוכיחו ש- $f$ רציפה במידה שווה ב- $(a,b)$.

**11)** תהי $f$ פונקציה רציפה במידה שווה בקטע $I$, המקיימת $|f(x)| \ge c > 0$ לכל $x$ ב- $I$, ותהי $g(x)=\frac{1}{f(x)}$, לכל $x$ ב- $I$.
הוכיחו כי $g(x)$ רציפה במידה שווה ב- $I$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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- $(0,\infty)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $0\le x<\infty$.
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 $\lim\limits_{n\to\infty}\left(\ln\left(2\pi n+\frac{\pi}{2}\right)-\ln(2\pi n)\right)=0$.

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 $(0,\infty)$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**8)** ענו על הסעיפים הבאים:

א. נתון כי $f:(0,\infty)\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה המקיימת $|f'(x)|\to\infty$, כאשר $x\to\infty$.
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 $f:(0,\infty)\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה, כך ש- $f'$ לא חסומה.
הוכיחו כי ייתכן ש- $f$ רציפה במידה שווה.

**9)** נתון כי $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ פונקציה גזירה המקיימת $f'(x)=e^x\left(\sin^4 x+\cos^4 x\right)$.

א. הוכיחו כי $\frac{1}{2}\le\sin^4 x+\cos^4 x\le 1$ 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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 31 - קיצון של פונקציה של שני משתנים תחת אילוץ (כופלי לגראנז')

תוכן העניינים

1. קיצון של פונקציה של שני משתנים תחת אילוץ..... 360

# קיצון של פונקציה של שני משתנים תחת אילוץ (כופלי לגראנז')

## שאלות

בשאלות **1-4** מצאו את המקסימום והמינימום של הפונקציות, בכפוף לאילוץ הנתון:

**1)** $f(x,y)=x^2+y^2;\quad 2x^2+3xy=1-2y^2$

**2)** $f(x,y)=x^2-y^2;\quad x^2+y^2=1$

**3)** $f(x,y)=4x+6y;\quad x^2+y^2=13$

**4)** $f(x,y)=x^2y;\quad x^2+2y^2=6$

**5)** נתונה בעיית הקיצון $\max\{xy\}\quad s.t.\quad x+3y=12$, כאשר $x,y>0$.

א. פתרו את הבעיה.

ב. הביאו פתרון גרפי לבעיה.

**6)** נתונה בעיית הקיצון $\max\{2x+y\}\quad s.t.\quad \sqrt{x}+\sqrt{y}=9$, כאשר $x,y\geq 0$.

א. פתרו את הבעיה.

ב. הביאו פתרון גרפי לבעיה.

**7)** מבין כל הנקודות הנמצאות על הישר $x+3y=12$,
מצאו את זו שמכפלת שיעוריה מקסימלי.

**8)** מבין כל הנקודות שעל העקומה $2x^2+3xy=1-2y^2$, מצאו את הנקודות שמרחקן מראשית הצירים הוא מינימלי, ואת הנקודות שמרחקן מראשית הצירים הוא מקסימלי.

**9)** מצאו את המרחק הקצר ביותר מהישר $3x-6y+4=0$,
לפרבולה $x^2+2xy+y^2+4y=0$.

רמז: מרחק הנקודה $(x_0,y_0)$ מהישר $ax+by+c=0$, הוא $\frac{|ax_0+by_0+c|}{\sqrt{a^2+b^2}}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**10)** מוישל'ה קונה בשוק $x$ ק"ג מלפפונים ו- $y$ ק"ג עגבניות.
התועלת מצריכת הסל, $(x,y)$, נתונה על ידי $u(x,y)=\ln x+\ln y$.
מחיר ק"ג מלפפונים 1 ש"ח, ומחיר ק"ג עגבניות 2 ש"ח.
מוישל'ה קובע לעצמו להשיג רמת תועלת $\ln 16$,
והוא מעוניין להשיג זאת בעלות מינימאלית.
נסחו ופתרו את בעיית מוישל'ה.

**11)** דני קונה בשוק $x$ ק"ג מלפפונים ו- $y$ ק"ג עגבניות.
התועלת מצריכת הסל $(x,y)$ נתונה על ידי $u(x,y)=xy$.
מחיר ק"ג מלפפונים 1 ש"ח, ומחיר ק"ג עגבניות 3 ש"ח.
לדני תקציב של 12 ש"ח.
נסחו ופתרו את בעיית דני.

**12)** עקומת התמורה בין מנגו, $(x)$, ואננס, $(y)$, היא $x^2+y^2=13$.
לדני תועלת $f(x,y)=4x+6y$.
דני מחפש את הסל (אננס, מנגו) = $(x,y)$, על עקומת התמורה,
המביא למקסימום את התועלת שלו מצריכת מנגו ואננס.
נסחו ופתרו את הבעיה.

**13)** ליצרן פונקציית ייצור $Q=\sqrt{k}+\sqrt{L}$.
המחירים ליחידת $K$ ו- $L$ הם $P_K=2,\ P_L=1$.
היצרן נמצאו ברמת תפוקה 100 והוא מחפש את הצירוף $(K^*,L^*)$,
המביא למינימום את העלות.
נסחו את בעיית היצרן (לא לפתור).

**14)** נתונה בעיית קיצון תחת אילוץ $\max\{u(x,y)\}\ \ s.t.\ \ p_1x+p_2y=I$.
תהי $(x^*,y^*)$ נקודת הפתרון של הבעיה. ניתן להניח מצב קלאסי של השקה.
הוכיחו כי כופל לגראנז' $\lambda$ מקיים $\lambda=\dfrac{x\cdot u_x+y\cdot u_y}{I}$ בנקודת הפתרון של הבעיה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $\min\left(\pm\sqrt{1/7},\pm\sqrt{1/7}\right)$ $\max\left(\pm1,\mp1\right)$

2) $\max\left(\pm1,0\right)$ $\min\left(0,\pm1\right)$

3) $\min\left(-2,-3\right)$ $\max\left(2,3\right)$

4) $\min\left(\pm2,-1\right)$ $\max\left(\pm2,1\right)$

5) $\max\left(6,2\right)$

6) $\max\left(9,36\right)$

7) $\left(6,2\right)$

8) $\min\left(\pm\sqrt{1/7},\pm\sqrt{1/7}\right)$ $\max\left(\pm1,\mp1\right)$

9) $7/\sqrt{45}$

10) $\min\left(\sqrt{32},\sqrt{8}\right)$

11) $\max\left(6,2\right)$

12) $\max\left(2,3\right)$

13) $\sqrt{K}+\sqrt{L}=100$; $\min\left\{2K+L\right\}$

14) שאלת הוכחה.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 32 - נושאים מתקדמים - הצגה פרמטרית של פונקציה

תוכן העניינים

1. הצגה פרמטרית של עקום ..... 363
2. הנגזרת ושימושיה ..... 365
3. שימושי האינטגרל המסוים ..... 366

# הצגה פרמטרית של עקום

## שאלות

**1)** עברו מן ההצגה הפרמטרית הנתונה, להצגה קרטזית:

א. $t \ge 0,\ \ x = t^2 + 1,\ \ y = t^2$

ב. $0 \le t \le \pi,\ \ x = \sin t,\ \ y = \cos^2 t$

ג. $\pi \le t \le 2\pi,\ \ x = \cos t,\ \ y = 4\sin t$

**2)** עברו מן ההצגה הקרטזית הנתונה, להצגה פרמטרית:

א. $1 \le x \le 4,\ \ y = x^4 + 1$

ב. $-2 \le x \le 2,\ \ y = -\sqrt{4 - x^2}$

ג. $-2 \le x \le 2,\ \ y = +\sqrt{4 - x^2}$

**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. $x = \dfrac{20t}{4 + t^2},\ \ y = \dfrac{20t - 5t^2}{4 + t^2}$

ו. $x = ke^t + ke^{-t},\ \ y = ke^t - ke^{-t}$ ( $k$ קבוע).


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) א. $y=x-1,\ x\ge 1$ ב. $y=1-x^2,-1\le x\le 1$

ג. $x^2+\frac{y^2}{16}=1\ ,\ -1\le x\le 1, y\le 0$

2) $x=t,\ \ y=t^4+1,\ \ 1\le t\le 4$ ב. $x=2\cos t\ ,\ y=2\sin t\ ,\ \pi\le t\le 2\pi$

ג. $x=2\cos t\ ,\ y=2\sin t\ ,\ 0\le t\le \pi$

3) א. $y=(x+4)^2$ ב. $(x+4)^2+\left(\frac{y-1}{2}\right)^2=1$ ג. $x^{\frac{2}{3}}+y^{\frac{2}{3}}=4^{\frac{2}{3}}$

ד. $x^2-4xy+4y^2=2y-1$ ה. $x^2+y^2=25$ ו. $x^2-y^2=4k^2$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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) $y'=\dfrac{\cos t-\sin t\cdot t}{1-\cos t}$ , $y''=\dfrac{(-t\cos t-2\sin t)(1-\cos t)-\sin t(\cos t-t\sin t)}{(1-\cos t)^3}$

2) א. ראו בסרטון. ב. $y'=\dfrac{-2}{2t+1}$ 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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $0\le t\le \pi,\quad x=\cos t,\quad y=t+\sin t$
לבין ציר ה- $x$.

4) חשבו את השטח הכלוא בין העקום $0\le t\le 2\pi,\quad x=4\cos t,\quad y=\sin^2 t$
לבין ציר ה- $x$.

5) חשבו את אורך העקום $\begin{cases} x=t-\sin t \\ y=1-\cos t \end{cases}$ $0\le t\le 2\pi$.

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
$\begin{cases} x=\cos 2t \\ y=\sin 2t \end{cases}$ $0\le t\le 2\pi$
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 $-\pi\le t\le 2\pi$ $\begin{cases} x=4\sin t \\ y=10t \\ z=4\cos t \end{cases}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**11)** חשבו את אורך העקום $\mathbf{r}(t)=\left(e^t\cos t\right)\mathbf{i}+\left(e^t\sin t\right)\mathbf{j}+\left(e^t\right)\mathbf{k}$, $1\le t\le 3$.

## תשובות סופיות

**1)** $8/3$

**2)** $\pi ab$

**3)** $1.5\pi$

**4)** $16/3$

**5)** $8$

**6)** $4$

**7)** אורך העקום הוא $2\pi$. המרחק שעבר החלקיק הוא $4\pi$.

**8)** $4\pi r^2$

**9)** $6\pi/5$

**10)** $6\pi\sqrt{29}$

**11)** $\sqrt{3}e\left(e^2-1\right)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 33 - נושאים מתקדמים - הצגה פולרית של פונקציה

תוכן העניינים

1. קואורדינטות קוטביות ..... 368
2. הנגזרת ושימושיה ..... 370
3. שימושי האינטגרל המסוים ..... 371

# 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 המשואה $r=2\cos\theta+4\sin\theta$ לקואורדינטות קרטזיות.

ד. המירו את המשוואה $6r^3\sin\theta=4-\cos\theta$ לקואורדינטות קרטזיות.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) א. $(x,y)=\left(2,2\sqrt{3}\right)$ ב. $(r,\theta)=\left(\sqrt{2},\frac{5\pi}{4}\right)$

2) א. $(x,y)=\left(5,-5\sqrt{3}\right)$ ב. $(r,\theta)=\left(4,\frac{3\pi}{2}\right)$ ג. $(r,\theta)=\left(\sqrt{8},\frac{3\pi}{4}\right)$

3) א. $4r\cos\theta-r^2\cos^2\theta=1+r\cos\theta\cdot r\sin\theta$ ב. $(x+2)^2+y^2=2^2$

4) א. $r=4\sin\theta$ ב. $r\cos\theta=10$ ג. $r\sin\theta=4$

5) א. $x^2+y^2=4^2$ ב. $y=x$ ג. $(x-1)^2+(y-2)^2=5$

ד. $6\left(\sqrt{x^2+y^2}\right)^3\cdot y=4\sqrt{x^2+y^2}-x$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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

**1)** $y=\frac{11\sqrt{3}}{5}x-\frac{98}{5}$

**2)** $y=\frac{\sqrt{3}}{3}x\ ,\ y=-\frac{\sqrt{3}}{3}x$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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- $r=2$.

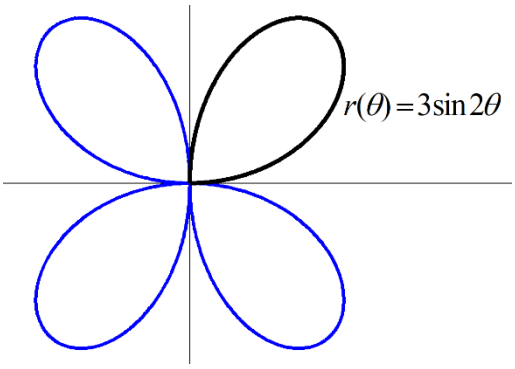
**5)** חשבו את השטח המוגבל בתוך $r=2$ ומחוץ ל- $r=3+2\sin\theta$.

**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 $0\le\theta\le 1$.

**11)** העקום $r=\cos\theta$, כאשר $0\le\theta\le\frac{\pi}{2}$, מסתובב סביב ציר ה- $x$.
מהו שטח המעטפת של הגוף הנוצר?


כתב ופתר – גיא סלומון ©

**12)** העקום $r=4+4\sin\theta$ , כאשר $-\frac{\pi}{2}\le\theta\le\frac{\pi}{2}$ , מסתובב סביב ציר ה- $y$ .
מהו שטח המעטפת של הגוף הנוצר?

## תשובות סופיות

**1)** $S=4\pi-6\sqrt{3}=2.174$

**2)** $S=22\pi-48$

**3)** $S=11\pi$

**4)** $S=\frac{11\sqrt{3}}{2}+\frac{14\pi}{3}=24.187$

**5)** $S=\frac{11\sqrt{3}}{2}-\frac{7\pi}{3}=2.196$

**6)** $10.37$

**7)** $S=\frac{\pi}{3}+\frac{\sqrt{3}}{2}$

**8)** $8$

**9)** $\ell=3\int_0^{\frac{\pi}{2}}\sqrt{1+3\cos^2 2\theta}\,d\theta$

**10)** $\ell=\frac{\sqrt{2}+\ln\left(\sqrt{2}+1\right)}{2}$

**11)** $S_x=\pi$

**12)** $S_y=102.4\pi$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# נספח - גרפים נפוצים בקואורדינטות פולריות

## קווים

1) $r\cos\theta = a$ - הישר $x = a$.
2) $r\sin\theta = b$ - הישר $y = b$.
3) $\theta = \beta$ - הישר העובר דך הראשית $y = (\tan\beta)x$.

## מעגלים

1. $r = a$ - מעגל שמרכזו בראשית הצירים ורדיוסו $a$.
2. $r = 2a\cos\theta$ - מעגל שמרכזו בנקודה $(a,0)$ ורדיוסו $|a|$.
3. $r = 2b\sin\theta$ - מעגל שמרכזו בנקודה $(0,b)$ ורדיוסו $|b|$.
4. $r = 2a\cos\theta + 2b\sin\theta$ - מעגל שמרכזו בנק' $(a,b)$ ורדיוסו $\sqrt{a^2+b^2}$.

## קרדיודות ולמניסקטות

1) קרדיודות $r = a \pm a\cos\theta,\ r = a \pm a\sin\theta$:
גרף בצורת לב שמכיל את הראשית.

2) למניסקטות עם לולאה פנימית $r = a \pm b\cos\theta,\ r = a \pm b\sin\theta$ $(a < b)$:
גרף שיכיל לולאה פנימית ושתמיד יכיל את הראשית.

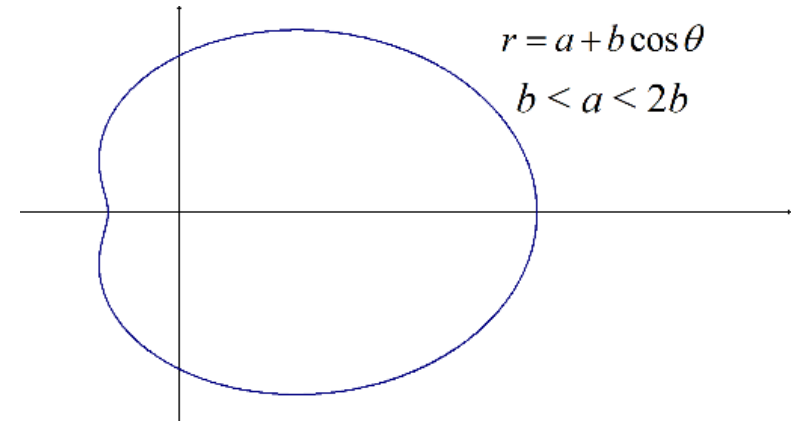
3) למניסקטות ללא לולאה פנימית $r = a \pm b\cos\theta,\ r = a \pm b\sin\theta$ $(a > b)$:
גרף ללא לולאה פנימית שאינו מכיל את הראשית.

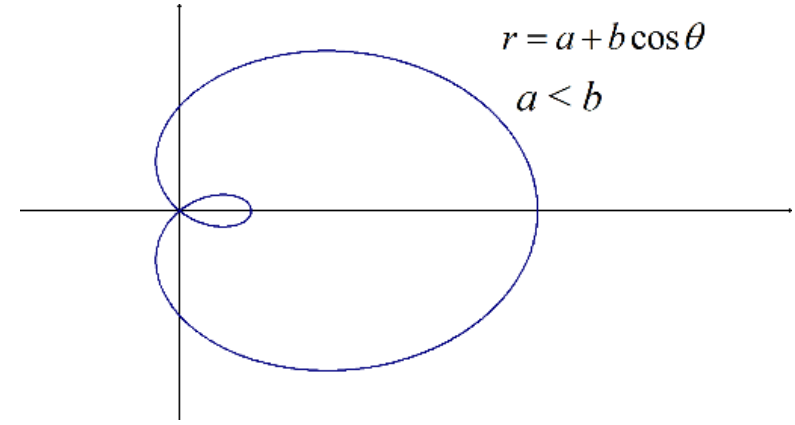
* נשרטט בדרך כלל עבור מחזור שלם $0 \le \theta \le 2\pi$.

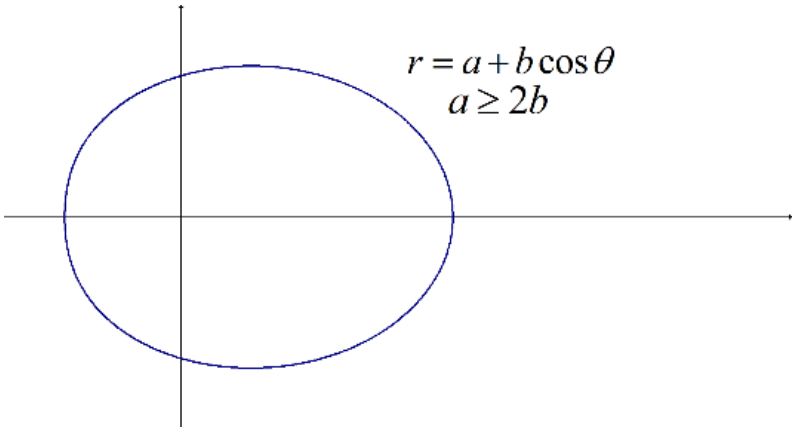

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## למינסקטות ביתר פירוט

**הגרף של** $r = a + b\cos\theta$ :



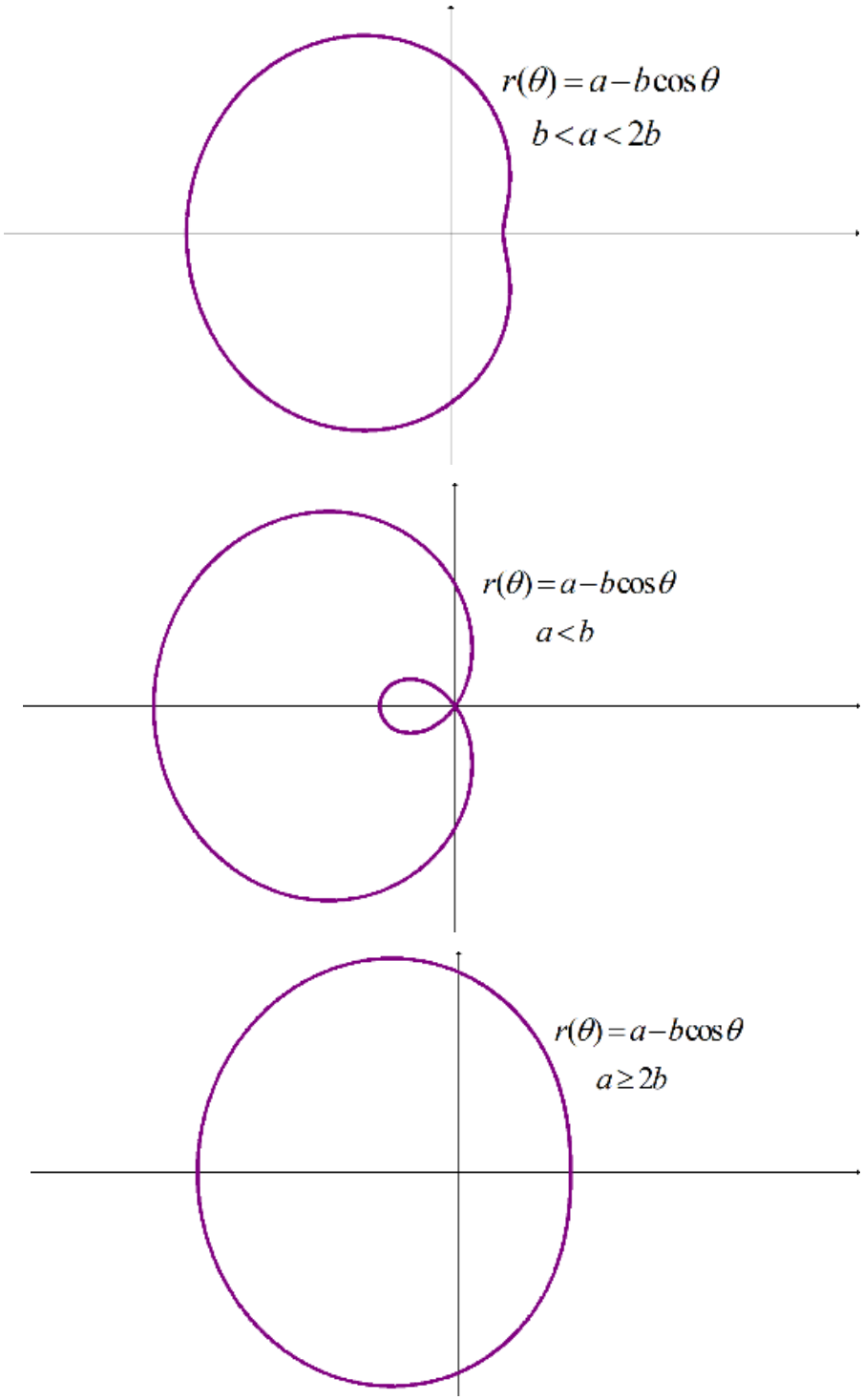





כתב ופתר – גיא סלומון ©

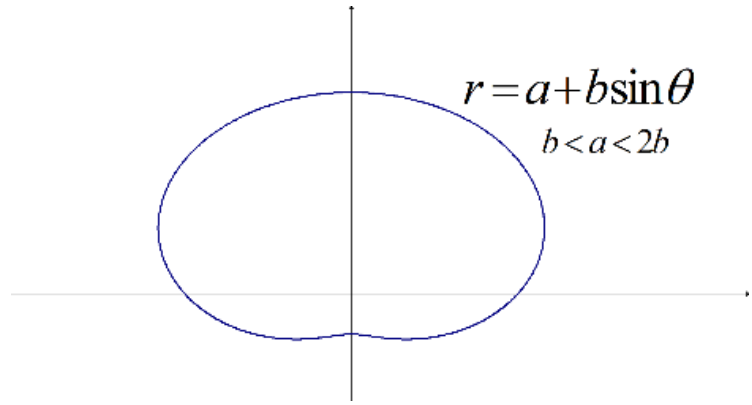
**הגרף של** $r = a - b\cos\theta$

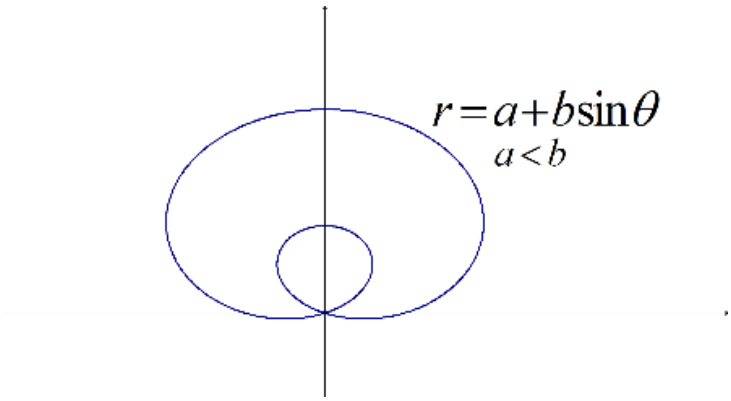


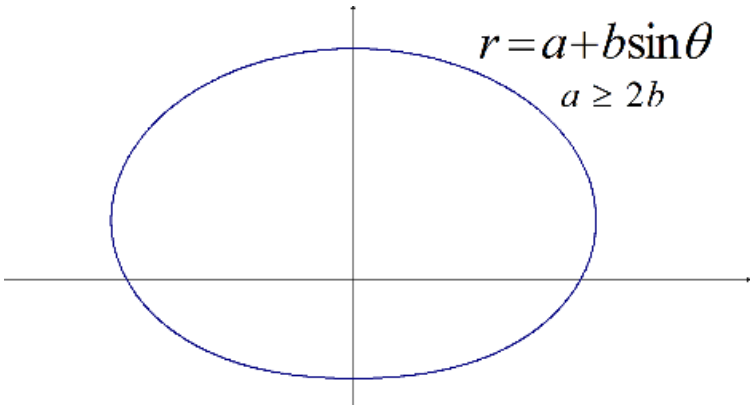


כתב ופתר – גיא סלומון ©

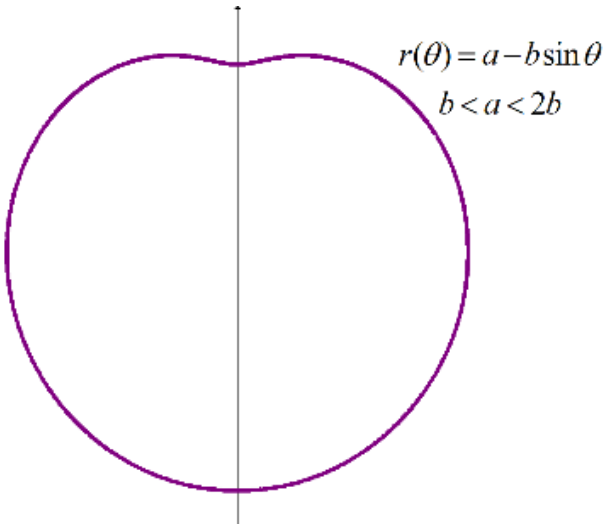
**הגרף של** $r = a + b\sin\theta$

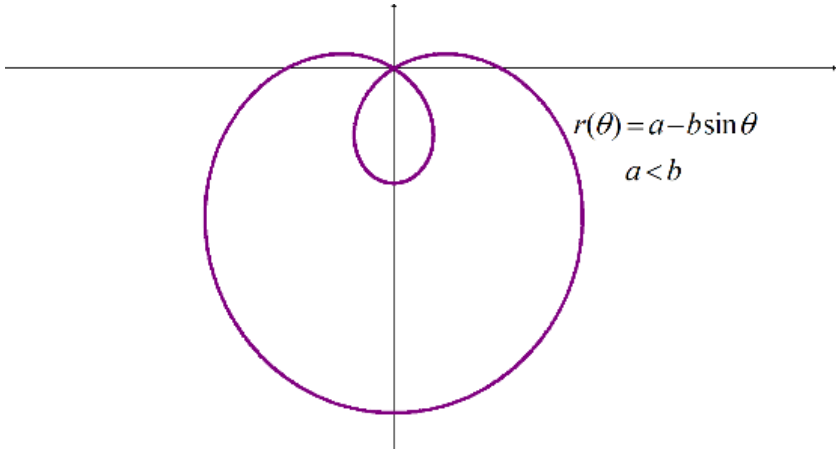


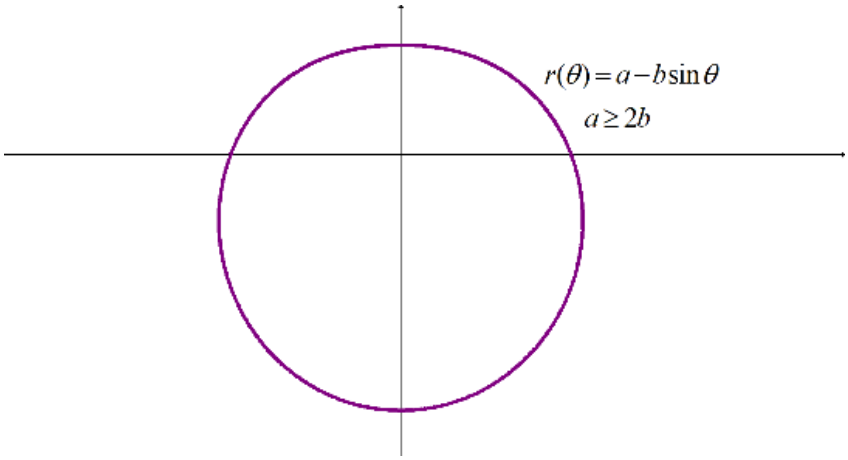



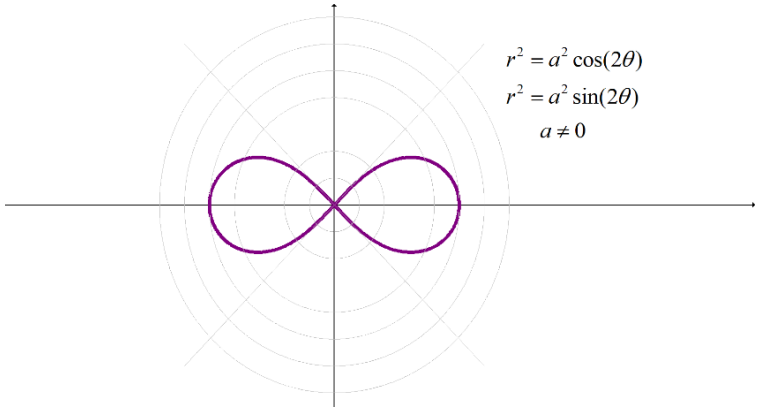
**הגרף של** $r = a - b\sin\theta$

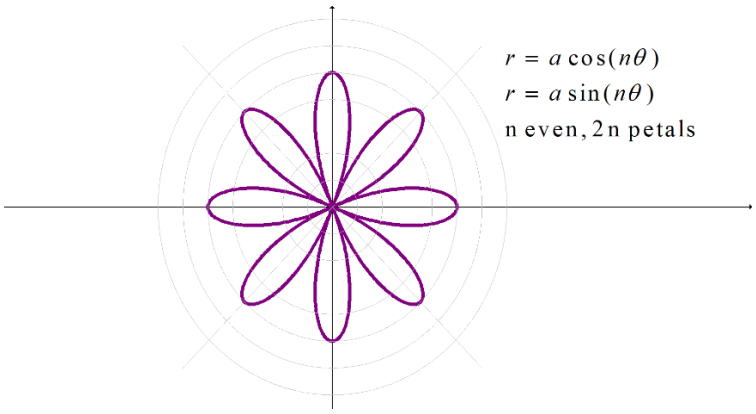


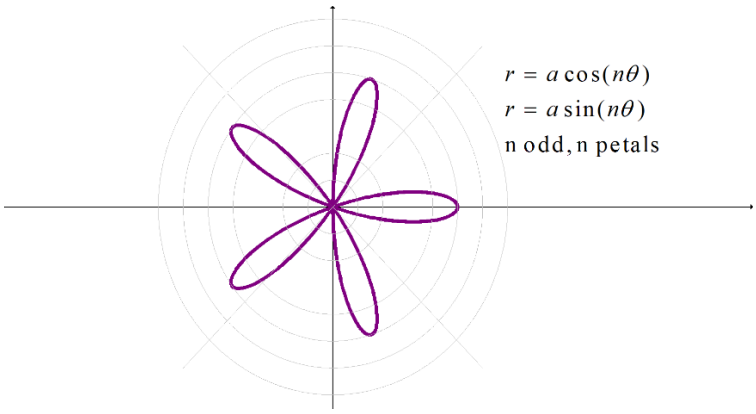



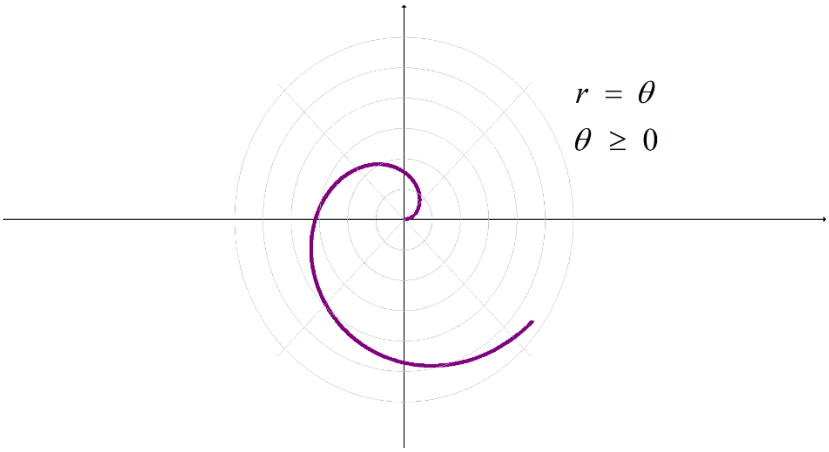



# גרפים נפוצים נוספים





לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 34 - נושאים מתקדמים - פונקציות טריגונומטריות

תוכן העניינים

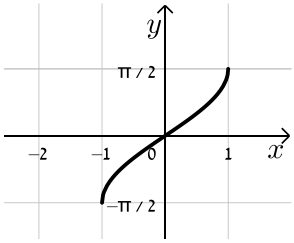
1. נושאים מתקדמים - פונקציות טריגונומטריות ..... 379

# נושאים מתקדמים – פונקציות טריגונומטריות

## סיכום כללי

### הגדרת הפונקציות הטריגונומטריות ההפוכות

תיאור גרפי של הפונקציה $f(x)=\arcsin(x)$ :

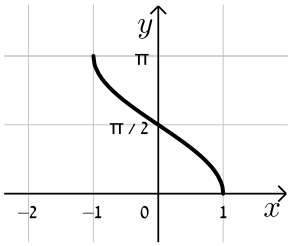



סימון נוסף: $f(x)=\sin^{-1}(x)$ .

תחום הגדרה: $-1\le x\le 1$ .

טווח: $-\frac{\pi}{2}\le f(x)\le\frac{\pi}{2}$ .

תיאור גרפי של הפונקציה $f(x)=\arccos(x)$ :

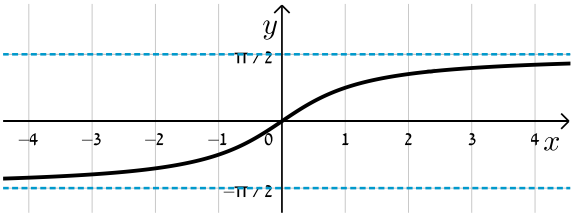



סימון נוסף: $f(x)=\cos^{-1}(x)$ .

תחום הגדרה: $-1\le x\le 1$ .

טווח: $0\le f(x)\le\pi$ .

תיאור גרפי של הפונקציה $f(x)=\arctan(x)$ :

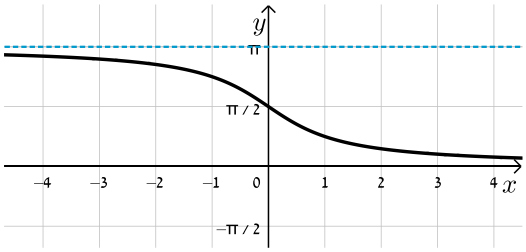



סימון נוסף: $f(x)=\tan^{-1}(x)$ .

תחום הגדרה: $-\infty<x<\infty$ .

טווח: $-\frac{\pi}{2}<f(x)<\frac{\pi}{2}$ .

תיאור גרפי של הפונקציה $f(x)=\operatorname{arccot}(x)$ :




סימון נוסף: $f(x)=\cot^{-1}(x)$ .

תחום הגדרה: $-\infty<x<\infty$ .

טווח: $0<f(x)<\pi$ .


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

## קשרים בין הפונקציות הטריגונומטריות להפוכות

עבור הפונקציות הטריגונומטריות, שאינן חח"ע, נקבל את הקשרים הבאים:

| הפונקציה | הזהות |
|---|---|
| סינוס | $\sin\left(\sin^{-1}(x)\right)=x \qquad -1\le x\le 1$ |
| | $\sin^{-1}\left(\sin(x)\right)=\begin{cases} x-2\pi k & -\frac{\pi}{2}+2\pi k\le x\le \frac{\pi}{2}+2\pi k \\ \pi(k+1)-x & \frac{\pi}{2}+2\pi k\le x\le \frac{3\pi}{2}+2\pi k \end{cases}$ |
| קוסינוס | $\cos\left(\cos^{-1}(x)\right)=x \qquad -1\le x\le 1$ |
| | $\cos^{-1}\left(\cos(x)\right)=\begin{cases} x-2\pi k & 2\pi k\le x\le \pi(1+2k) \\ 2\pi k-x & \pi(1+2k)\le x\le 2\pi(k+1) \end{cases}$ |
| טנגנס | $\tan\left(\tan^{-1}(x)\right)=x \qquad -\infty<x<\infty$ |
| | $\tan^{-1}\left(\tan(x)\right)=x-\pi k \qquad -\frac{\pi}{2}+\pi k<x<\frac{\pi}{2}+\pi k$ |
| קוטנגנס | $\cot\left(\cot^{-1}(x)\right)=x \qquad -\infty<x<\infty$ |
| | $\cot^{-1}\left(\cot(x)\right)=x-\pi k \qquad \pi k<x<\pi+\pi k$ |

## שאלות

בשאלות **1-12** חשבו ללא מחשבון:

**1)** $\arcsin\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

**2)** $\arccos(-1)$

**3)** $\operatorname{arccot}\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)$

**4)** $\arctan\left(-\sqrt{3}\right)$

**5)** $\arccos\left(\frac{\pi}{3}\right)$

**6)** $\arcsin(-0.5)$

**7)** $\arcsin\left(\sin\left(-\frac{\pi}{6}\right)\right)$

**8)** $\sin\left(\arcsin(-0.5)\right)$

**9)** $\sin\left(\arccos\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right)$

**10)** $\cos\left(\operatorname{arccot}(1)\right)$

**11)** $\sin\left(2\arctan\left(\sqrt{3}\right)\right)$

**12)** $\tan\left(-\operatorname{arccot}\left(\sqrt{3}\right)\right)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

בשאלות **13-15** מצאו את תחום ההגדרה של הפונקציות:

**13)** $y=\arcsin\frac{2x+1}{3-3x}$

**14)** $y=\arccos\frac{x+3}{2x+1}$

**15)** $y=\arctan\frac{1}{1-\ln x}$

בשאלות **16-19**, הוכיחו כי לכל $x$ מתחום ההגדרה מתקיים:

**16)** $\arcsin x+\arccos x=\frac{\pi}{2}$

**17)** $\sin\left(2\arccos x\right)=2x\sqrt{1-x^2}$

**18)** $\arctan x+\arctan y=\arctan\frac{x+y}{1-xy}$

**19)** $\arctan x+\arctan\frac{1}{x}=\frac{\pi}{2}\frac{x}{|x|}\ ,\ x\neq 0$

**20)** הראו את הקשר $\arctan 1+\arctan 2+\arctan 3=\pi$.

## תשובות סופיות

**1)** $-\frac{\pi}{4}$ **2)** $\pi$ **3)** $\frac{\pi}{3}$ **4)** $-\frac{\pi}{3}$

**5)** $\phi$ **6)** $-\frac{\pi}{6}$ **7)** $-\frac{\pi}{6}$ **8)** $-\frac{1}{2}$

**9)** $\frac{1}{2}$ **10)** $1$ **11)** $\frac{\sqrt{3}}{2}$ **12)** $-\frac{1}{\sqrt{3}}$

**13)** $x\leq\frac{2}{5}\ ,\ x\geq 4$ **14)** $x\leq-\frac{4}{3}\ ,\ x\geq 2$ **15)** $x>0\ ,\ x\neq e$

**16) - 20)** שאלות הוכחה.

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 35 - נושאים מתקדמים - פונקציות היפרבוליות

תוכן העניינים


1. הגדרת הפונקציות ההיפרבוליות ..... 382
2. זהויות עם פונקציות היפרבוליות ..... 384
3. נגזרות של פונקציות היפרבוליות ..... 385
4. הפונקציות ההיפרבוליות ההפוכות ..... 386
5. גזירה של פונקציות היפרבוליות הפוכות ..... 387

# הגדרת הפונקציות ההיפרבוליות

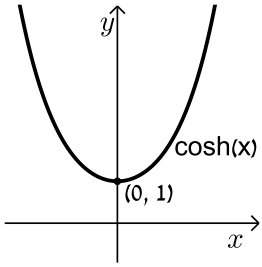
## סיכום כללי

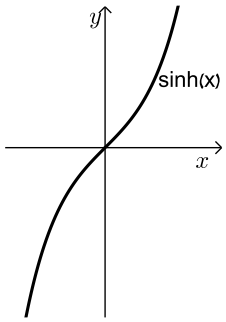
### הפונקציות ההיפרבוליות

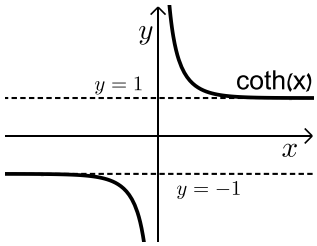
$$\sinh(x)=\frac{e^x-e^{-x}}{2} \qquad \tanh(x)=\frac{e^x-e^{-x}}{e^x+e^{-x}}$$

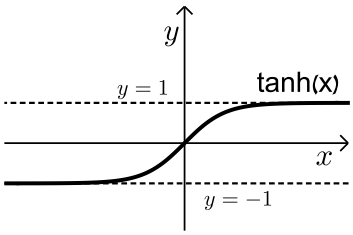
$$\cosh(x)=\frac{e^x+e^{-x}}{2} \qquad \coth(x)=\frac{e^x+e^{-x}}{e^x-e^{-x}}$$

### תיאורים גרפיים




## שאלות

**1)** חשבו את ערכה של הפונקציה ההיפרבולית $\sinh(x)$, עבור $x=1$.

**2)** נתון כי $\sinh(x_0)=-1$.
חשבו את ערכן של הפונקציות $\cosh(x_0)$, $\tanh(x_0)$ ו- $\coth(x_0)$.

**3)** חשבו $\sinh(\ln 5)$.

**4)** חשבו $\tanh(-3\ln 2)$.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

## תשובות סופיות

1) $1.175$

2) $\cosh(x_0)=\sqrt{2}$ , $\tanh(x_0)=-\frac{\sqrt{2}}{2}$ , $\coth(x_0)=-\sqrt{2}$

3) $2.4$

4) $-\frac{63}{65}$


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# זהויות עם פונקציות היפרבוליות

## סיכום כללי

טבלת זהויות יסודיות של פונקציות היפרבוליות

| ארגומנט שלילי | טנגנס וקוטנגנס היפרבוליים | סינוס וקוסינוס היפרבוליים |
|---|---|---|
| $\cosh(-x)=\cosh(x)$ | $1+\tanh^2(x)=\frac{1}{\cosh^2(x)}$ | $\cosh(x)\pm\sinh(x)=e^{\pm x}$ |
| $\sinh(-x)=-\sinh(x)$ | $\coth^2(x)-1=\frac{1}{\sinh^2(x)}$ | $\cosh^2(x)-\sinh^2(x)=1$ |

| סכום והפרש ארגומנטים |
|---|
| $\sinh(x\pm y)=\sinh(x)\cosh(y)\pm\cosh(x)\sinh(y)$ |
| $\cosh(x\pm y)=\cosh(x)\cosh(y)\pm\sinh(x)\sinh(y)$ |

| זהויות של ארגומנט כפול |
|---|
| $\sinh(2x)=2\sinh(x)\cosh(x)$ |
| $\cosh(2x)=\cosh^2(x)+\sinh^2(x)=2\sinh^2(x)+1=2\cosh^2(x)-1$ |

## שאלות

**1)** הוכיחו את הזהות $\sinh(2x)=2\sinh(x)\cosh(x)$.

**2)** הוכיחו את הזהות הכפולה $\sinh\left(\frac{x}{2}\right)=\sqrt{\frac{\cosh(x)-1}{2}}=\frac{\sinh(x)}{\sqrt{2(\cosh(x)+1)}}$,

בתחום $x\geq 0$.

**3)** הוכיחו את הזהות $\cosh^4(x)-\sinh^4(x)=\cosh(2x)$.

**4)** הוכיחו את הזהויות $\cosh(x\pm y)=\cosh(x)\cosh(y)\pm\sinh(x)\sinh(y)$.

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

# נגזרות של פונקציות היפרבוליות

## סיכום כללי

<u>הנגזרות היסודיות של הפונקציות ההיפרבוליות</u>

| | |
|---|---|
| $\left(\tanh(x)\right)' = \dfrac{1}{\cosh^2(x)}$ | $\left(\sinh(x)\right)' = \cosh(x)$ |
| $\left(\coth(x)\right)' = \dfrac{-1}{\sinh^2(x)}$ | $\left(\cosh(x)\right)' = \sinh(x)$ |

## שאלות

1) גזרו את הפונקציה $f(x) = \cosh(\ln x)$.

2) גזרו את הפונקציה $f(x) = \sinh(\tanh(x))$.

3) גזרו את הפונקציה $f(x) = \cosh(\ln(\sin x))$.

4) גזרו את הפונקציה $f(x) = \sinh^2(x^3)$.

## תשובות סופיות

1) $f'(x) = \dfrac{\sinh(\ln x)}{x}$

2) $f'(x) = \dfrac{\cosh(\tanh(x))}{\cosh^2(x)}$

3) $f'(x) = \sinh(\ln(\sin(x))) \cdot \cot(x)$

4) $f'(x) = 3x^2 \sinh(2x^3)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# הפונקציות ההיפרבוליות ההפוכות

## סיכום כללי

### הפונקציות ההיפרבוליות ההפוכות

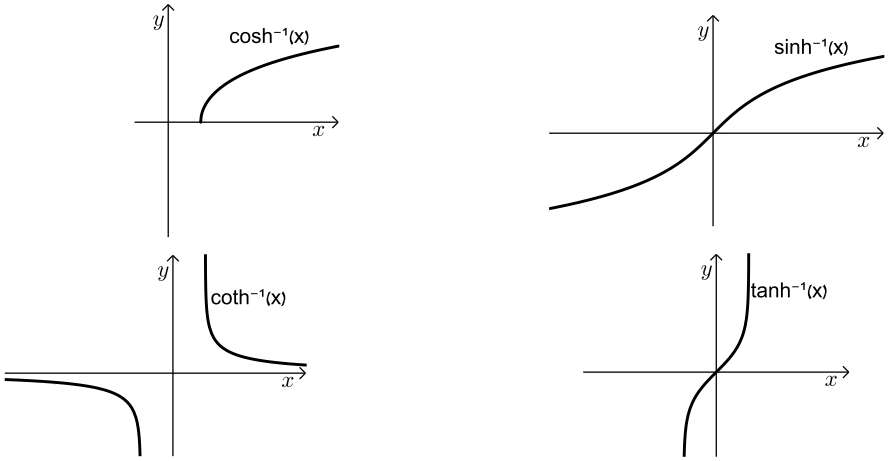
$$\tanh^{-1}(x)=\frac{1}{2}\ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right)$$

$$\coth^{-1}(x)=\frac{1}{2}\ln\left(\frac{x+1}{x-1}\right)$$

$$\sinh^{-1}(x)=\ln\left(x+\sqrt{x^2+1}\right)$$

$$\cosh^{-1}(x)=\ln\left(x+\sqrt{x^2-1}\right)$$

### תיאורים גרפיים




### הערה

קיים גם סימון של פונקציה הפוכה עם arc, למשל $\sinh^{-1}(x)=\operatorname{arcsinh}(x)$.

## שאלות

1) הוכיחו כי $\sinh(\operatorname{arc}\cosh(x))=\sqrt{x^2-1}$, לכל $|x|>1$.

2) הוכיחו כי $\cosh(\operatorname{arc}\tanh(x))=\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$, לכל $|x|<1$.

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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# גזירה של פונקציות היפרבוליות הפוכות

## סיכום כללי

<u>הנגזרות היסודיות של הפונקציות ההיפרבוליות</u>

| | |
|---|---|
| $\left(\tanh^{-1}(x)\right)'=\frac{1}{1-x^2}\ ,\ \lvert x\rvert<1$ | $\left(\sinh^{-1}(x)\right)'=\frac{1}{\sqrt{x^2+1}}$ |
| $\left(\coth^{-1}(x)\right)'=\frac{1}{1-x^2}\ ,\ \lvert x\rvert>1$ | $\left(\cosh^{-1}(x)\right)'=\frac{1}{\sqrt{x^2-1}}\ ,x>1$ |

## שאלות

1) גזרו את הפונקציה $f(x)=\ln\left(\operatorname{arcsinh}(x)\right)$.

2) גזרו את הפונקציה $f(x)=\ln\left(\cosh\left(\operatorname{arctanh}(x)\right)\right)$.

3) גזרו את הפונקציה $f(x)=\operatorname{arcsinh}\left(\operatorname{arccosh}\left(\tan(x)\right)\right)$.

## תשובות סופיות

1) $f'(x)=\frac{1}{\sqrt{1+x^2}\cdot\ln\left(x+\sqrt{x^2+1}\right)}$

2) $f'(x)=\frac{x}{1-x^2}$

3) $f'(x)=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\cosh^{-1}(\tan x)\right)^2}}\cdot\frac{1}{\sqrt{\tan^2 x-1}}\cdot\frac{1}{\cos^2 x}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 36 - הוכחות של משפטים נבחרים בקורס

תוכן העניינים

1. הוכחות של משפטים נבחרים ..... 388

# 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

$$\left(f\left(g(x)\right)\right)'=f'\left(g(x)\right)\cdot g'(x)$$

**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 $\lim\limits_{x\to x_0}\frac{f(x)}{g(x)}=\lim\limits_{x\to x_0}\frac{f'(x)}{g'(x)}$.

**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- $f'(c)$ $\frac{f(b)-f(x)}{b-a}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# אינפי להנדסה ומדעים

## פרק 37 - תרגילים מתקדמים נוספים (הפרק באנגלית)

תוכן העניינים


1. סדרות ..... 390
2. גבולות ורציפות ..... 391
3. משפט ערך הביניים ומשפט ויירשטראס ..... 392
4. גזירות ומשפטי הערך הממוצע ..... 393
5. טורי חזקות וטורי טיילור ..... 395
6. המשפט היסודי של החדוא, משפט ערך הביניים לאינטגרלים וסכומי רימן ..... 396
7. נפח שטח מעטפת ומשפט פאפוס ..... 398

# 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 $a_n \to \alpha$.

**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 $|x_0 - a_n| \to d(x_0, A)$. 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 $|x_n| \to \infty$.

**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 $x_n \to x_0$.

**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).


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# Continuity and Limits (גבולות ורציפות)

## Questions

**1)** Let $\lim_{x\to 0}\frac{f(x)}{x^2}=5$. Show that $\lim_{x\to 0}\frac{f(x)}{x}=0$.

**2)** Let $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ and $x_0\in\mathbb{R}$. Suppose $\lim_{x\to x_0} f(x)$ exists.

Show that $\lim_{x\to 0} f(x+x_0)=\lim_{x\to x_0} f(x)$.

**3)** Let $f(x)=|x|$ for every $x\in\mathbb{R}$. Show that $f$ is continuous on $\mathbb{R}$.

**4)** Let $f:[0,\pi]\to\mathbb{R}$ 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 $f:[0,\infty)\to\mathbb{R}$ 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 $f:[0,1]\to[a,b]$ be one-one and onto. Suppose $f$ is continuous.
Show that $f^{-1}$ is also continuous.

**7)** Let $f:(0,1)\to\mathbb{R}$ 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 $x_n\to x_0$ 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 $\lim_{n\to\infty} q_n=\infty$.

b) Show that $f$ is continuous at every irrational.

c) Show that $f$ is discontinuous at every rational.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# 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 $\alpha$ 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 $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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 $p(x):\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ be a polynomial function of odd degree. Show that $p$ is onto.

**4)** Let $f,g:[0,1]\to\mathbb{R}$ 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 $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# Mean Value Theorem, L'Hôpital's Rule, Differentiability (משפט לגראנז', כלל לופיטל וגזירות)

## Questions

**1)** Does there exist a differentiable function $f:[0,2]\to\mathbb{R}$ satisfying $f(0)=-1,\ f(2)=4$ and $f'(x)\le 2$, for all $x\in[0,2]$?

**2)** Let $f:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ be differentiable such that for some $\alpha\in\mathbb{R}$, $|f'(x)|\le\alpha<1$ 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 $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ 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 $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ 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 $c_1\ne c_2$ in $(0,1)$ such that $f(c_1)+f(c_2)=2$.

**5)** Let $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ 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 $f:[0,1]\to\mathbb{R}$ and $a_n=f\left(\frac{1}{n}\right)-f\left(\frac{1}{n+1}\right),\ n=1,2,\ldots$
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.


www.GooL.co.il לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**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.


כתב ופתר – גיא סלומון ©

# Power Series, Taylor Series (טורי חזקות וטורי טיילור)

## Questions

**1)** Let $f:(a,b)\to\mathbb{R}$ be infinitely differentiable and let $x_0\in(a,b)$. Suppose that there exists $M>0$ such that $\left|f^{(n)}(x)\right|\le M^n$ 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 $A_n=\sup\{a_k^{\frac{1}{k}}:k\ge n\}$.
$(A_n)$ converges since it is decreasing and bounded below (by 0).
So $A_n\to L$ for some $L\ge 0$.

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 $\sum_{n=1}^{\infty}a_nx^n$ is $\frac{1}{L}$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

# המשפט היסודי של החדו"א, משפט ערך הביניים לאינטגרלים וסכומי רימן

## שאלות

**1)** תהי $f:[-1,1]\to\mathbb{R}$ מוגדרת כך: $f(x)=\begin{cases}0 & -1\le x<0\\ 1 & 0\le x\le 1\end{cases}$,

ונגדיר את $F(x)=\int_{-1}^{x} f(t)\,dt$ עבור $-1\le x\le 1$.

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 $f:[-1,1]\to\mathbb{R}$, 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 $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ רציפה.

הוכיחו כי $\lim\limits_{\|P\|\to 0} S(P,f)=\int_a^b f(x)\,dx$.

סימונים: $P=\{\overset{=a}{x_0},x_1,\dots,\overset{=b}{x_n}\}$, $S(P,f)=\sum_{i=1}^{n} f(c_i)\Delta x_i$, $\Delta x_i=x_i-x_{i-1}$,

$c_i\in[x_{i-1},x_i]$, $\|P\|=\max\limits_{1\le i\le n}\{\Delta x_i\}$.

**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 $\lim\limits_{n\to\infty} a_n$.

**5)** תהיינה $f,g:[a,b]\to\mathbb{R}$, כך ש- $f'$ ו- $g'$ רציפות ב- $[a,b]$.

הוכיחו כי $\int_a^b f(x)g'(x)\,dx=\left[f(x)g(x)\right]_a^b-\int_a^b f'(x)g(x)\,dx$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – גיא סלומון ©

**6)** תהי $\phi:[\alpha,\beta]\to\mathbb{R}$ גזירה ברציפות, ותהי $f$ רציפה בטווח של $\phi$.
הוכיחו כי $\int_{\alpha}^{\beta} f\left(\phi(t)\right)\phi'(t)dt=\int_{\phi(\alpha)}^{\phi(\beta)} f(x)dx$ .

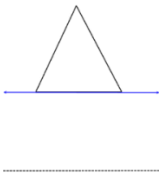
**7)** תהי $f:[a,b]\to\mathbb{R}$ רציפה ויהיו $u,v:[a,b]\to\mathbb{R}$ גזירות.
הוכיחו כי אם הטווחים של $u$ ו-$v$ מוכלים ב-$[a,b]$,
אז $\frac{d}{dx}\int_{u(x)}^{v(x)} f(t)dt=f\left(v(x)\right)\frac{dv}{dx}-f\left(u(x)\right)\frac{du}{dx}$ .

לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il

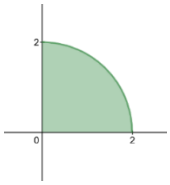
# נפח שטח מעטפת ומשפט פאפוס

## שאלות

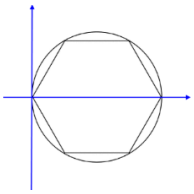
**1)** נתון משולש שווה צלעות עם בסיס המתלכד עם ציר ה- $x$.
אורך צלע המשולש $a$.
השתמשו במשפט פאפוס על מנת לחשב את נפח הגוף,
הנוצר על ידי סיבוב המשולש סביב הישר $y=-a$.



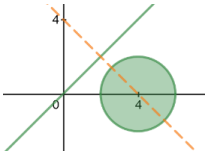
**2)** השתמשו במשפט פאפוס ומצאו את מרכז הכובד של התחום
$D=\{(x,y)\,|\,x^2+y^2=4,\ x\ge 0 \text{ and } y\ge 0\}$.
רמז: נפח כדור בעל רדיוס $r$, הוא $\frac{4}{3}\pi r^3$.



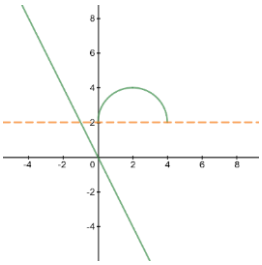

**3)** נתון משושה החסום במעגל $(x-2)^2+y^2=1$.
המשושה מסתובב סביב ציר ה- $y$.
מצאו את שטח הפנים של השטח שנוצר,
ואת נפח הגוף שנוצר.



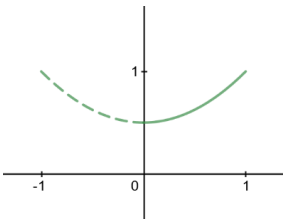
**4)** הדיסק המעגלי $(x-4)^2+y^2\le 4$ מסתובב סביב הציר $y=x$.
מצאו את נפח הגוף שנוצר.




**5)** נתבונן בקשת המעגלית $(x-2)^2+(y-2)^2=4,\ y\ge 2$.
הקשת מסתובבת סביב הציר $y+2x=0$.
מצאו את שטח הפנים של הגוף שנוצר.




**6)** יהיו $(\bar{x},\bar{y})$ מרכז העקום $y=\frac{1}{2}(x^2+1),\ 0\le x\le 1$.
מצאו את $\bar{x}$ בעזרת משפט פאפוס.





כתב ופתר – גיא סלומון ©