תרגיל בית 3 ~ עברי נגר ~ נגזרות וחקירה

שחר פרץ

24 באוגוסט 2024

1

1. השתכנעתי

2. נמצא את כמות הזמן שיקח למצילה לעבור כתלות ב־θ_1. נשתמש ב־x_1, y_1, x_2, y_2 כמו בסרטוט הבא:

לפי הגדרת הפונקציות הטריגונומטריות, וכלל החיבור, יתקיים:

$$\tan\theta_2 = \frac{x_2}{\ell_2},\ \tan\theta_1 = \frac{x_1}{\ell_1},\ x + y = d$$

טענה 1. נציב ונקבל קשר גיאומטרי בין הזוויות:

$$d = \underbrace{\ell_1\tan\theta_1}_{x_1} + \underbrace{\ell_2\tan\theta_2}_{x_2} \implies \ell_2\tan\theta_2 = d - \ell_1\tan\theta_1 \implies \theta_2 = \arctan\left(\frac{d - \ell_1\tan\theta_1}{\ell_2}\right)$$

עתה, נרצה למצוא ישירות את $t(\theta_1)$. משום ש־$s = t \cdot v$ אז $t = \frac{s}{v}$. נסמן ב־t_1 את כמות הזמן שלוקח לעבור את y_1, וב־t_2 את כמות הזמן שלוקח לעבור את y_2.

$$t(\theta_1) = t_1 + t_2 = \frac{y_1}{v_1} + \frac{y_2}{v_2}$$

באמצעות הגדרת ה־$\cos$ נמצא את y_1, y_2:

$$\cos\theta_1 = \frac{\ell_1}{y_1},\ \cos\theta_2 = \frac{\ell_2}{y_2} \implies y_1 = \frac{\ell_1}{\cos\theta_1},\ y_2 = \frac{\ell_2}{\cos\theta_2}$$

טענה 2. נציב:

$$t(\theta_1) = \frac{\ell_1}{v_1\cos\theta_1} + \frac{\ell_2}{v_2\cos\theta_2}$$

ננסה למצוא את הערך של $\frac{1}{\cos\theta_2}$:

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\cos\theta_2} = \sec\theta_2 &= \sqrt{\sec^2\theta_2} && \text{since } \sec^2 = 1 + \tan^2 \\
&= \sqrt{1 + \tan^2\theta_2} && \text{לפי טענה 1} \\
&= \sqrt{1 + \tan^2\left(\arctan\left(\frac{d - \ell_1\tan\theta_1}{\ell_2}\right)\right)} && \text{since } \tan(\arctan x) = x \\
&= \sqrt{1 + \left(\frac{d - \ell_1\tan\theta_1}{\ell_2}\right)}
\end{aligned}$$

טענה 3. נציב חזרה בטענה 1. נשתמש בעובדה ש־$x^2 = (-x)^2$:

$$t(\theta_1) = \frac{\ell_1}{v_1\cos\theta_1} + \frac{\ell_2}{v_2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\ell_1\tan\theta_1 - d}{\ell_2}\right)}$$

3. כדי למצוא את הזמן המינימלי, נגזור את $t(\theta_1)$, לפי הנוסחה של טענה 2.

$$t'(\theta_1) = -\frac{\ell_1\sin\theta_1 + v_1\cos\theta_1}{v_1^2\cos^2\theta_1} - \frac{\ell_2\sin\theta_2 + v_2\cos\theta_2}{v_2^2\cos^2\theta_2}$$

נשווה ל־0 כדי לנסות למצוא את נקודות סטציונריות.

$$\frac{\ell_1\sin\theta_1 + v_1\cos\theta_1}{v_1^2\cos^2\theta_1} = -\frac{\ell_2\sin\theta_2 + v_2\cos\theta_2}{v_2^2\cos^2\theta_2}$$

1. **שאלה:** מסך קולנוע נמצא בגובה 10 מטר מהרצפה וגובהו 20 מטר. באיזה מרחק x ממנו יש לשבת על מנת שזווית הראיה θ תהיה מקסימלית?

תשובה: מתוך הסרטוט שבשיעורי הבית:

$$\theta = \tan\frac{20+10}{x} - \tan\frac{10}{x} = \tan\frac{30}{x} - \tan\frac{10}{x}$$

נרצה ש־θ תהיה מקסימלית. נגזור נסמן $\theta(x) = \theta$ כתלות ב־x. נגזור ונשווה ל־0 כדי למצוא נקודות סטציונריות:

$$\begin{aligned}
\theta(x)' = \frac{30}{x^2}\cdot\sec^2\left(\frac{30}{x}\right) - \frac{10}{x^2}\cdot\left(\sec^2\frac{10}{x}\right) &= 0 && \cdot x^2\\
\sec^2\frac{30}{x} - \sec^2\frac{10}{x} &= 0 && +\sec^2\tfrac{10}{x}\\
\sec^2\frac{30}{x} &= \sec 2\frac{10}{x} && \operatorname{arcsec}\\
\frac{30}{x} &= \frac{10}{x} + 2\pi k && \cdot x,\ -10\\
20 &= 2x\pi k && \cdot\tfrac{1}{2\pi k}\\
\frac{10}{\pi k} &= x
\end{aligned}$$

ידוע ת.ה. θ

2. **שאלה:** מהן אורכי הצלעות של המבחן עם היקף מינימלי ששטחו S?

תשובה: בהינתן שטח S, נסמן צלע אחת ב־x ועבור הצלע השנייה y יתקיים $S = xy \implies y = \frac{S}{x}$. נתבונן בפונקציית ההיקף P וננסה למצוא לה מינימום:

$$P(x) = 2x + 2y = 2\left(x + \frac{S}{x}\right)$$

נגזור ונשווה ל־0 כדי למצוא נקודות סטציונריות:

$$\begin{aligned}
P'(x) = 2\left(1 - \frac{S}{x^2}\right) &= 0 && \cdot\tfrac{x^2}{2}\\
x^2 - S &= 0 && +S,\ \sqrt{}\\
x &= \pm\sqrt{S}
\end{aligned}$$

בהתחשב בתחום הגדרה $x \geq 0$, נמצא שהנקודה הסטציונרית היחידה היא $x = \sqrt{S}$. נציב בטבלה כדי למצוא סוג קיצון:

x	$\frac{\sqrt{S}}{2}$	S	$S+1$
f'	$-$	0	$+$
f	$\searrow$	$\cup$	$\nearrow$

בהתאם לחישובים הבאים:

$$f'\left(\frac{\sqrt{S}}{2}\right) = 2 - 2\cdot\frac{S}{S/4} = 2 - 4 = -2 \leq 0$$

$$f'(S+1) = 2 - 2\cdot\underbrace{\frac{S}{(S+1)^2}}_{\leq 1} \geq 0$$

סה"כ מינימום לוקאלי ב־$x = \sqrt{S}$, בו יתקיים:

$$P(x) = P(\sqrt{S}) = 2\sqrt{S} + 2\cdot\frac{S}{S} = 2(\sqrt{S}+1)$$

נבדוק קיצון קצה:

$$\lim_{x\to\infty} f(x) = 2x + \frac{\cancel{S}}{\cancel{x}} = \infty \leq 2\sqrt{S} + 2,\ \lim_{x\to 0^+} f(x) = \cancel{2x} + \frac{S}{x} = +\infty \leq 2\sqrt{S} + 2$$

סה"כ ב־$x=0$ מינימום מוחלט. נחשב את צלעות המלבן:

$$x=\sqrt{S},\ y=\frac{S}{\sqrt{S}}=S,\implies \boldsymbol{x=y=\sqrt{S}}$$

3. **שאלה:** מבין כל הגלילים הסגורים משני הצדדים, עם שטח פנים של $50cm^2$, מה היחס בין גובה הגליל לבסיסו במקרה של הגליל עם הנפח הגדול ביותר?

ידועה ההגבלה ידוע שהמעטפת היא $2\pi rh$ ושהבסיסים הם πr^2 כל אחד; אזי, שטח הפנים יהיה $50=2\pi r(r+h)$. נמצא את הנפח V יהיה:

$$25=\pi r^2+rh \implies rh=25-\pi r^2 \implies h=\frac{25}{r}-\pi r$$
$$V=\pi r^2 h \implies V(r)=\pi r^2\cdot\left(\frac{25}{r}-\pi r\right)=\pi\left(25r-r^3\right)$$

נגזור את הנפח כדי למצוא מקסימום:

$$V'(r)=25-3r^2=0 \implies r^2=\frac{25}{3} \implies r=\pm\frac{5}{\sqrt{3}}$$

כאשר הפתרון השלילי מחוץ לתחום ההגדרה $r\geq 0$. באותה הנקודה, יתקיים שהנפח יהיה $V\approx 151$. נתבונן בקצוות תחום ההגדרה $0\leq r$:

$$\lim_{r\to\infty}V(r)=\lim_{r\to\infty}\pi r(25-r^2)=\left(\lim_{r\to\infty}\pi r\right)\cdot\left(\lim_{r\to\infty}25-r^2\right)=\infty\cdot(-\infty)=-\infty\leq 151$$
$$\lim_{r\to 0^+}\pi r(25-r^2)=0\leq 151$$

סה"כ $r=\frac{5}{\sqrt{3}}$ קיצון מוחלט. אזי, שטח בסיס הוא $\pi r^2=\frac{5\pi}{\sqrt{3}}$, וגובה הגליל הוא $h=\frac{25\sqrt{3}}{5}-\frac{5\pi}{\sqrt{3}}$. סה"כ, היחס יהיה:

$$\frac{S}{h}=\frac{\frac{5\pi}{\sqrt{3}}}{5\sqrt{3}-\frac{5\pi}{\sqrt{3}}}$$

בעיה: זה לא עובד.

. . . . 3 . . . .

1. נחקור את הפונקציה $f(x)=\frac{e^x}{1+x}$.
   - **תחום הגדרה:** $1+x\neq 0 \implies \boldsymbol{x\neq -1}$
   - **סימטריה:** סתירה; $x=2 \implies f(2)=2.43\neq\pm-0.135=f(-2)$
   - **חיתוך עם הצירים:** $7f(0)=\frac{e^0}{1+0}=1$

$$f(x)=0 \implies \frac{e^x}{x+1}=0 \implies e^x=0 \implies x=\ln 0\in\varnothing$$

סה"כ נקודות החיתוך היחידה $\langle 0,1\rangle$.

   - **סטציונריות וסוגן:** נגזור.

$$f'(x)=\frac{(1+x)e^x-e^x\cdot 1}{(1+x)^2}=\frac{e^x+xe^x-e^x}{(1+x)^2}=\frac{e^x}{(1+x)^2}$$

נשווה ל־0:

$$\frac{xe^x}{(1+x)^2}=0 \implies xe^x=0 \implies x=0$$

נמצא את סוג הנקודה. נתבונן בסימן של הנגזרת.

x	-2	-1	-0.5	0	1
$f'(x)$	$-$	0	$-$	0	$+$
$f(x)$	$\searrow$	$\varnothing$	$\searrow$	$\cup$	$\nearrow$

כלומר כאשר $x=0$ המינימום היחיד קיים. משמע $\langle 0,1\rangle$ נקודת המינימום היחידה.

- **נקודות עוגף:** נתבונן בנגזרת השנייה, ונשוואה אותה ל־0:

$$f''(x)=[xe^x]'=e^x+xe^x=0 \implies e^x(x+1)=0 \implies \begin{cases} e^x=0 \implies x=\ln 0\in\varnothing \\ x+1=0 \implies x=-1 \end{cases}$$

נתבונן בכיוון הנגזרת השנייה בין בתחומים המוגדרים ובין נקודות ה־0:

x	-2	-1	0
$f''(x)$	$-$	0	$+$
$f(x)$	$\cap$	$\varnothing$	$\cup$

סה"כ אין נקודות עוקף.

- **אסימפטוטות:**

$$\begin{aligned}
\lim_{x\to\infty} f(x) &= \lim_{x\to\infty}\frac{e^x}{x+1} = \frac{e^\infty}{\infty} = +\boldsymbol{\infty}\\
\lim_{x\to-\infty} f(x) &= \lim_{x\to-\infty}\frac{e^x}{x+1} = \frac{\frac{e}{\infty}}{-\infty} = \frac{0}{-\infty} = \mathbf{0}\\
\lim_{x\to-1^+} f(x) &= \lim_{x\to-1^+}\frac{e^x}{x+1} = \frac{e^{-1}}{+0} = \boldsymbol{\infty}\\
\lim_{x\to-1^-} f(x) &= \lim_{x\to-1^-}\frac{e^x}{x+1} = \frac{e^{-1}}{-0} = -\boldsymbol{\infty}
\end{aligned}$$

- **תחומי עלייה/ירידה:** על בסיס הטבלה של הנגזרת הראשונה; עליה: $x>0$ / ירידה: $x<0\wedge x\neq -1$
- **תחומי קעירות/קמירות:** על בסיס הטבלה של הנגזרת השנייה; קעירות: $x<1$ / קמירות: $x>-1$

2. נחקור את הפונקציה $f(x)=\frac{(x+a)^2}{1-|x|}$.

- **תחום הגדרה:** $1-|x|\neq 0 \implies |x|\neq 1 \implies \boldsymbol{x\neq\pm 1}$
- **סימטריה:** עבור $x\geq 0$ כללי:

$$\begin{aligned}
f(x)=\frac{(x+a)^2}{1-x} &\overset{!}{=} \frac{(a-x)^2}{1-x}=f(-x) \quad \cdot(1-x)\\
(x+a)^2 &= (x-a)^2 \quad \sqrt{\ }\\
x+a &= x-a\\
2a=0 &\implies \boldsymbol{a=0}
\end{aligned}$$

סה"כ הפונקציה תהיה זוגית אמ"מ $a=0$. אם נרצה שהיא תהיה אי־זוגית, באופן דומה נקבל $x+a=-x+a$ כלומר $2x=0 \implies x=0$, וזו סתירה עבור $x=2$.

- **חיתוך עם הצירים:** $f(0)=\frac{(0+a)^2}{1-|0|}=a^2$

$$f(x)=0 \implies \frac{(x+a)^2}{1-|x|}=0 \implies (x+a)^2=0 \implies x+a=\pm 0 \implies x=-a$$

סה"כ נקודות חיתוך $\langle -a,0\rangle,\ \langle 0,a^2\rangle$

- **נק' סטציונריות וסוגן:** נגזור ונשווה ל־0. נפריד למקרים: אם $x>0$ ואם $x<0$

$$f'(x)=\begin{cases} \dfrac{2(x+a)|x|-1}{1-2|x|+x^2} & x>0 \\ \dfrac{2(x+a)|x|+1}{1-2|x|+x^2} & x<0 \end{cases}$$

בהשוואה ל־0:

$$\frac{2(x+a)|x|\pm 1}{\cdots}=0 \implies 2(x+a)|x|\pm 1=0 \implies 2x|x|+2a\pm 1=0$$

נפריד למקרים. אם $x>0$:

$$2x^2+2a-1=0 \implies x_{1,2}=\frac{-2a+\sqrt{4a^2+4\cdot 2}}{-2}$$

- **נק' פיתול:** נתבונן בנגזתר השנייה:

$$f''(x) = \begin{cases} 2|x| \cdot 2(x+a) \end{cases}$$

- **אסימפטוטות וגבולות:**
- **תחומי עלייה/ירידה:**
- **תחומי קמירות/קעירות:**
- **סרטוט:**

3. נחקור את הפונקציה $f(x) = \sqrt{(a^2-x^2)(1+2x^2)}$

- **תחום הגדרה:** $g(x) := (a^2-x^2)(1+2x^2) \geq 0$. נמצא נקודות חיתוך עם ציר ה־x ונבדוק כיוון.

$$\begin{cases} a^2 - x^2 = 0 & \implies a^2 = x^2 \implies x = \pm a \\ \vee 1 + 2x^2 = 0 & \implies x^2 = -0.5 \implies x \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} g(0) &= (a^2 - 0^2)(1 + 2 \cdot 0^2) = a^2 \geq 0 \\ g(2a) &= (a^2 - 4a^2)(2 + 8a^2) = -4a^2 - 16a^4 \leq 0 \\ g(-2a) &= (a^2 - 4a^2)(2 + 8a^2) = -4a^2 - 16a^4 \leq 0 \end{aligned}$$

נציב בטבלה:

x	$-2a$	$-a$	0	a	$2a$
$g(x)$	$-$	0	$+$	0	$-$

סה"כ, הפונקציה מוגדרת בעבור $g(x) \geq 0$, כלומר $\boldsymbol{-a \leq x \leq a}$.

- **סימטריה:**

$$\forall x \in \mathbb{R}. f(x) = \sqrt{(a^2-x^2)(1+2x^2)} = \sqrt{(a^2-(-x)^2)(1+2(-x)^2)} = f(-x)$$

סה"כ **הפונקציה זוגית**, לכל a. היא לא פונקציית קו ישר ולכן לא ייתכן שהיא גם אי־זוגית.

- **חיתוך עם הצירים:** $f(0) = \sqrt{(a^2-0)(1+2\cdot 0)} = a\sqrt{2}$

$$f(x) = 0 \iff \sqrt{g(x)} = 0 \iff g(x) = 0 \iff x = \pm a$$

אזי $\boldsymbol{\langle a, 0, \rangle, \langle -a, 0 \rangle, \langle 0, a\sqrt{2} \rangle}$ נקודות החיתוך עם הצירים.

- **נק' סטציונריות וסוגן:** נגזור ונשווה ל־0.

$$f'(x) = \frac{-2x(1+2x^2) + 4x(a^2-x^2)}{\sqrt{(a^2-x^2)(1+2x^2)}} = \frac{2x(-1+2a^2-4x^2)}{\sqrt{(a^2-x^2)(1+2x^2)}} = 0 \implies 2x(-1+2a^2-4x^2) = 0$$

נפלג למקרים. אם $2x = 0$ אז עבור $x = 0$ השוויון יתקיים, אחרת, השוויון הבא יצטרך להתקיים:

$$-1 + 2a^2 - 4x^2 = 0 \implies x^2 = \frac{-1+2a^2}{4} \implies x = \pm\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}$$

נשים לב שהנקודה הזו קיימת אמ"מ $-1 + 2a^2 \geq 0$. נמצא נקודות חיתוך כדי להבין מתי השוויון מתקיים.

$$2a^2 - 1 = 0 \implies a^2 = 0.5 \implies a = \pm\frac{1}{\sqrt{2}}$$

ידוע כי $-2^{-0.5} \leq 0 \leq 2^{-0.5}$, כלומר עבור $a = 0$ נוכל לבדוק מה יתקיים. שם, נמצא $-1 + 2 \cdot 0^2 = -1 \leq 0$, ומשום שזו פרבולות בקצוות האחרים של התחום היא תהיה חיובית, וסה"כ הא"ש יתקיים אמ"מ $a \notin (-2^{0.5}, 2^{0.5})$. נרצה גם לדעת שבהינתן a שעבורן הן מוגדרות, האם הן יהיו בתחום ההגדרה. נפתור את אי־השוויון $\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2} \leq a$. נמצא נקודות חיתוך של שתי הפונקציות:

$$\implies -1 + 2a^2 = 4a^2 \iff 2a^2 = -1 \iff a = \sqrt{-0.5} \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$$

כלומר אין נקודות חיתוך, משמע נוכל לבחור ערך a אקראי בתחום ההגדרה ולבדוק אם עליו יתקיים אי־השוויון, ומכאן יגרר על השאר. עבור $a = 2 > 2^{0.5}$, נציב ונקבל ש־$\frac{1}{2}\sqrt{-1+4} \leq 2$, כדרוש. באופן דומה אי־השוויון $-a \leq -\frac{1}{2}\sqrt{-1+a^2}$ יתקיים גם הוא. נסכם: שתי הנקודות הללו קיימות אמ"מ $a \notin (-2^{0.5}, 2^{0.5})$, לכל ערך a.

נמצא את סוג הנקודות הסטציונריות: נפלג למקרים.

אם $\boldsymbol{a > \sqrt{2}^{-1}} \implies a \in \mathbb{R}_+ \setminus (-2^{-0.5}, 2^{0.5})$:

$-a$	$\frac{-a-\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}}{2}$	$-\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}$	$-\frac{1}{4}\sqrt{-1+2a^2}$	0	$\frac{1}{4}\sqrt{-1+2a^2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}$	$\frac{a+\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}}{2}$	a
0	$+$	0	$-$	0	$-$	0	$+$	0
$\cup$	$\nearrow$	$\cap$	$\searrow$	$\cup$	$\nearrow$	$\cap$	$\searrow$	$\cup$

ניעזרתי בכיוון של ההצבות הבאות:

$$f'\left(\frac{-a-\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}}{2}\right) = \frac{\overbrace{\left(-a-\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}\right)}^{\leq 0}(\cancel{-1+2a^2} - (\overbrace{4(-a^2-a\sqrt{-1+2a^2})}^{\geq 0}\cancel{-1+2a^2}))}{\underbrace{\sqrt{\cdots}}_{\geq 0}} = \frac{(+)(-)^2}{(+)} \geq 0$$

$$f'\left(-\frac{1}{4}\sqrt{-1+2a^2}\right) = \frac{\overbrace{(-\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2})}^{\leq 0}(\overbrace{-1+2a^2+\sqrt{-1+2a^2})}^{\geq 1}}{\underbrace{\sqrt{\cdots}}_{\geq 0}} = \frac{(-)(+)}{+} \leq 0$$

כאשר ידוע $|a| \geq 2^{0.5}$ ולכן $2a^2 \geq 4 \geq 1$ וסה"כ אי־השוויון בסוגריים תקין.

באופן דומה, ערכם של המקבילים לערכים אלו החיוביים יהיה זהה (כיוון הביטוי בסוגריים הימניות בו x ממעלה שנייה לא ישתנה, אך המקדם שלהם בסוגריים השמאליות כן ישנה את כיוונו כי הוא ממעלה ראשונה). נמצא את ערכי ה־y של נקודות הקיצון שמצאנו:

$$f\left(\pm\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}\right) = \sqrt{\left(a^2-\frac{1}{4}(-1+2a^2)\right)\left(1+-\frac{1}{2}(-1+2a^2)\right)} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}a^2-\frac{1}{4}\right)\left(\frac{3}{2}-a^2\right)}$$

$$f(0) = \sqrt{(a^2-0^2)(1+2\cdot 0^2)} = \sqrt{a^2} = |a| = a$$

$$f(\pm a) = \sqrt{a^2-(\pm a)^2}(1+2a^2) = 0$$

אם $a \in (0, 2^{0.5}]$:

x	$-a$	$-0.5a$	0	$0.5a$	a
$f'(x)$	0	$+$	0	$-$	0
$f(x)$	$\cup$	$\nearrow$	$\cap$	$\searrow$	$\cup$

ניעזרתי בכיוון של ההצבות הבאות:

$$f'(-0.5a) = \frac{-a(-1+2a^2-4\cdot\frac{1}{4}a^2)}{\sqrt{\cdots}} = \frac{-a(-1+a^2)}{\sqrt{\cdots}} = \frac{\overbrace{a-a^2}^{\geq 0}}{\underbrace{\sqrt{\cdots}}_{\geq 0}} \geq 0$$

$$f'(0.5a) = \frac{a(-1+2a^2-4\frac{1}{4}a^2)}{\sqrt{\cdots}} = \frac{\overbrace{a^2-a}^{\leq 0}}{\underbrace{\sqrt{\cdots}}_{\geq 0}} \leq 0$$

כאשר מתקיים אי־השוויון $a^2 < a$ כי $a < \frac{1}{\sqrt{2}} < 1$ (ראה למה 1 בסעיף 6).

סה"כ, נקודות הקיצון הן:

$$\begin{cases} \left\langle \pm\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2},\ \sqrt{\left(\frac{1}{2}a^2-\frac{1}{4}\right)\left(\frac{3}{2}-a^2\right)}\right\rangle \text{ max} & a \in (\sqrt{2}^{-1}, \infty) \\ \langle 0, a\rangle, \langle \pm a, 0\rangle \qquad \text{min} & \\ \langle 0, a\rangle \quad \text{max} & a \in (0, \sqrt{2}^{-1}] \\ \langle 0, \pm a\rangle \text{ min} & \end{cases}$$

- **נק' פיתול:** אין צורך בסעיף זה.
- **אסימפטוטות וגבולות:** לא מצאנו נקודות אי־הגדרה, והפונקציה מוגדרת בקצוות תחום ההגדרה שלה. אזי, הפונקציה רציפה בכל תחום, וללא אסימפטוטות אופקיות.
- **תחומי עלייה/ירידה:** על בסיס הטבלה שבעזרתה מצאנו נקודות סטציונריות, תחומי העלייה והירידה הם:

$$\nearrow: \begin{cases} x \in \left(a, -\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}\right) \cup \left(0, \frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}\right) & a \in (\sqrt{2}^{-1}, \infty) \\ x \in (-a, 0) & a \in (0, \sqrt{2}^{-1}] \end{cases}$$

$$\searrow: \begin{cases} x \in \left(-\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}, 0\right) \cup \left(\frac{1}{2}\sqrt{-1+2a^2}, a\right) & a \in (\sqrt{2}^{-1}, \infty) \\ x \in (0, a) & a \in (0, \sqrt{2}^{-1}] \end{cases}$$

- **תחומי קמירות/קעירות:** אין צורך בסעיף זה.
- **סרטוט:**

. . . . 4 . . . .

א) **שאלה:** לאילו ערכי a של הפונקציה $f(x) = x^4 + ax^3 + 6x^2$ שתי נקודות פיתול.

פתרון: נשווה ל־0 את הנגזרת השנייה כדי למצוא נקודות חשודות פיתול:

$$f''(x) = 4x^3 + 3ax^2 + 12x = 0 \implies f''(x) = 12x^2 + 6ax + 12 = 0 \implies x_{1,2} = \frac{6a \pm \sqrt{9a^2 - 576}}{24}$$

הנקודות הללו יהיו קיימות אמ"מ $9a^2 - 576 \geq 0$. שורשי הפררבולה הזו (כתלות ב־a) יהיו $a_{1,2} = \pm 8$, ומשום שזו פרבולה שמחה, אי־השוויון יתקיים כאשר $a \notin (-8, 8)$. אך, כאשר אי־השוויון יתקיים באופן הדוק השורש יוציא רק נקודה אחת, אזי שתי נקודות פיתול שונות ימצאו כאשר $x \notin [-8, 8]$.

ב) עבור ערך ה־a שבו הדיסקמיננטה של הנגזרת השנייה תהיה 0, כלומר הנגזרת השנייה תשתווה ל־0 בנקודה אחת בלבד. זה יקרה בעת ש־$\boldsymbol{a = \pm 8} \impliedby 9a^2 - 576 = 0$.

. . . . 5 . . . .

a) נרצה להוכיח $\forall x \in \mathbb{R}_+ . \sin x < x$. נתבונן ב־$f(x) = \sin x - x$, ונוכיח את אי־השוויון $f(x) < 0$. נתבונן בנגזרתה של הפונקציה: $f'(x) = \cos x - 1$. נרצה למצוא לה נקודות קיצון. נתבונן בא"ש $\cos x = 1 \implies x = 0.5\pi k$, וממחזוריות $\cos x$ והגדרת הזזה אופקית, בפרט $x = k\pi$ נקודות המקסימום היחידות, ו־$x = 0.5 + \pi k$ נקודות המינימום היחידות. בפרט עבור $k = 0$ נמצא $x = 0, x = 0.5\pi$ נקודות מינימום ומקסימום בהתאמה, כלומר $f(x)$ מונוטונית יורדת בתחום $x \in [0, 0.5\pi]$. משום ש־$f(0) = \sin 0 - 0 = 0$, אזי $f(x) \leq 0$ עבור $x \in [0, 0.5\pi]$. מכיוון שאין קיצון נוסף בתחום, נסיק $\forall x \in (0, 0.5\pi] . f(x) < 0$. עבור $x > 0.5\pi$, נתון $\sin x \leq 1 < 0.5\pi < x$, כלומר גם כאן יתקיים אי־השוויון המבוקש. סה"כ הוכח אי־השוויון לכל $x \in \mathbb{R}_+$.

b) נרצה להוכיח $\forall x \in \mathbb{R}_+ . \cos x > 1 - \frac{x^2}{2}$. נתבונן בפונקציה $f(x) = \cos x - 1 + \frac{x^2}{2}$, ונוכיח את אי־השוויון $f(x) > 0$. נגזור אותה, ונקבל $f'(x) = -\sin x - x$. נגזור שוב, ונקבל $f''(x) = -\cos x - 1$, שהיא פונקציה קטנה או שווה ל־0 בכל תחומה (מהגדרת הזזה). לכן, $f'(x)$ מונוטונית יורדת בכל תחומה. יתקיים $f'(0) = -\sin 0 - 0 = 0$, כלומר לכל $x > 0$ נדע $f'(x) \leq 0$. אזי, גם $f(x)$ מונוטונית יורדת חזק, ובגלל ש־$f(0) = \cos 0 - 1 - \frac{0^2}{2} = 0$ אז סה"כ גם הפונקציה הזו תקיים $f(x) < 0$ כדרוש.

c) נרצה להוכיח $\sin x > x - \frac{x^3}{6}$. נתבונן בפונקציה $f(x) = \sin x - x + \frac{x^3}{6}$, ונוכיח את אי השוויון $f(x) < 0$. נגזור ונקבל $f'(x) = \cos x - 1 + 0.5x^2,\ f''(x) = -\sin x + x,\ f'''(x) = -\cos x + 1 < 0$. ידוע שמתקיים $f(0) = f'(0) = f''(0) = f'''(0) = 0$, ולכן f''' מונוטונית יורדת מתחת ל־0, וכן f'', f' ו־$f(x)$ כדרוש (מונוטוניי יורד תחת ציר ה־0 $\Longleftarrow$ $\forall x \in \mathbb{R}_+ . f(x) < 0$).

. . . . 6 . . . .

צ.ל. $\forall x \geq -1, 0 \leq a \leq 1 . (1+x)^a \leq 1 + ax$. יהיו $x \geq -1, 0 \leq a \leq 1$. נעביר אגפים ונמצא שקילות להוכחת הא"ש $f(x) := (1+x)^a - 1 + ax \leq 0$, כלומר $f(x) \leq 0$. נגזור:

$$\begin{aligned} f(x) &= (1+x)^a - 1 + ax & f(0) &= 1^a - 1 + a \cdot 0 = 0 \\ f'(x) &= a(1+x)^{a-1} - a & f'(0) &= a(1+0)^{a-1} - a = a - a = 0 \\ f''(x) &= \underbrace{(a^2 - a)}_{\leq 0} \underbrace{(1+x)}_{\geq 0} \leq 0 & & \end{aligned}$$

הסתמכנו שני אי־שוויונים בטענות לעיל. הראשון, $x + 1 \geq 0$, שנגרר ישירות מכך ש־$x \geq -1$ (נוסיף 2 לשני האגפים). השני, $g(a) = a^2 - a$, נכון כי $g'(a) = 2a - 1$ יהיה קטן ממש מ־0 לכל $0 \leq a \leq 1$, כלומר $g(a)$ מונוטוני יורד החל מנקודת ההתחלה שלו $g(0) = 0$, אזי

$g(a) \leq 0$. סה"כ הטענות לעיל אכן נכונות, תחת הנתונים. באופן דומה להסקות שהתבצעו בשאלה קודמת, $f'' < 0$ ולכן f' מונוטוני יורד, ומשום ש־$f'(0) = 0$ אז $\forall x \geq 0. f'(x) \leq 0$, ובאופן דומה $f(x) \leq 0$ גם כן (תחת אותם התנאים שניתנו), כדרוש.

עתה, נותר להוכיח שוויון אמ"מ $a = 1 \vee x = -1$. משיקולים דומים, לכל $-1 \leq x$ נדע $f'''(x) \geq 0$ וכך (באופן דומה להוכחת אי־השוויון לעיל) יגרר $f(x)$ מונוטונית עולה באותו התחום, כלומר הקיצון היחיד הוא קיצון מקסימום כאשר $x = -1$, שם אכן יתקיים $f(x) = 0$ (כלומר, שוויון). נדע, שהפונקציה תעלה/תרד חזק בכל תחום אחר כי היא לא קבועה, אלא אם $a = 1$, בעת הזו $f(x) = (1+x)^1 - 1 - x \cdot 1 = 0$ (כלומר, שוויון גם במקרה הזה). סה"כ אלו המקרים היחידים בהם ייתכן שוויון.

PID . . . . 7 . . . .

. . . .

שחר פרץ, 2024

אההה כן טקסט תחתון