

# חשבון אינטגרלי ומשוואות דיפרנציאליות רגילות להנדסת חשמל

פרק 10 - המשפט היסודי של החדו"א, משפטי הערך הממוצע לאינטגרלים

תוכן העניינים

1. המשפט היסודי של החדו"א - תרגילי חישוב. .... 1
2. המשפט היסודי של החדו"א - תרגילי תיאוריה. .... 4
3. משפטי הערך הממוצע לאינטגרלים. .... 7

## 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:

$$I(x) = \int_a^{b(x)} f(t) dt \Rightarrow I'(x) = f(b(x))b'(x) \quad (1)$$

$$I(x) = \int_{a(x)}^{b(x)} f(t) dt \Rightarrow I'(x) = f(b(x))b'(x) - f(a(x))a'(x) \quad (2)$$

גזרו את הפונקציות בשאלות 3-6:

$$I(x) = \int_1^{x^3} \frac{\ln t}{t^2} dt \quad (4)$$

$$I(x) = \int_2^x e^{-t^2} dt \quad (3)$$

$$I(x) = \int_{x^3}^{x^2} \frac{dt}{\sqrt{1+t^4}} \quad (6)$$

$$I(x) = \int_2^{x^3+x} t \ln t dt \quad (5)$$

חשבו את הגבולות בשאלות 7-9:

$$\lim_{x \rightarrow 4} \frac{x}{x-4} \int_4^x e^{t^2} dt \quad (9)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{x^3} \int_0^{x^2} \sin \sqrt{t} dt \quad (8)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\int_0^x \frac{t dt}{\cos t}}{\sin^2 x} \quad (7)$$

$$(10) \text{ חשבו את הגבול } \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\left( \int_0^x e^{t^2} dt \right)^2}{\int_0^x e^{2t^2} dt}$$

**(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  $f(x) = 2 + \int_0^x (e^{y^2} + 2)^2 dy$ .

חשבו את  $g'(1)$  (הניחו כי  $f$  רציפה).

**(13)** תהי  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  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  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  פונקציה רציפה, ויהי  $\alpha \neq 0$ .

נגדיר  $g(x) = \frac{1}{\alpha} \int_0^x f(t) \sin[\alpha(x-t)] dt$  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  $\int_2^x f(t) dt + 2 \int_2^x \frac{1}{t-1} dt = \int_2^x \frac{t^3 - t + 2}{t^2 - t} dt$ .

**(17)** מצאו את משוואת המשיק לגרף הפונקציה  $F(x) = \int_0^{\sin x} e^{t^2} dt$ , בנקודה  $x_0 = 2\pi$ .

## תשובות סופיות

(1) שאלת הוכחה.

(2) שאלת הוכחה.

$$(3) \quad I'(x) = e^{-x^2}$$

$$(4) \quad I'(x) = \frac{\ln(x)^3}{(x^3)^2} \cdot 3x^2$$

$$(5) \quad I'(x) = (x^3 + x)(3x^2 + 1) \ln(x^3 + x)$$

$$(6) \quad I'(x) = \frac{2x}{\sqrt{1+x^8}} - \frac{3x^2}{\sqrt{1+x^{12}}}$$

$$(7) \quad \frac{1}{2}$$

$$(8) \quad \frac{2}{3}$$

$$(9) \quad 4e^{16}$$

$$(10) \quad 0$$

(11) תחום הגדרה: כל  $x$ .

נקודות קיצון: אין קיצון, עולה לכל  $x$ .

$$\text{נקודות פיתול: } x = -1, 1, -\frac{3}{7}.$$

$$\text{תחומי קמירות: } x > 1, -1 < x < -\frac{3}{7}.$$

$$\text{תחומי קעירות: } -\frac{3}{7} < x < 1, x < -1.$$

$$(12) \quad 40$$

(13) שאלת הוכחה.

(14) שאלת הוכחה.

(15) שאלת הוכחה.

$$(16) \quad 14 - 2 \ln 4 - \frac{1}{2}e^2 - e$$

$$(17) \quad y = x - 2\pi$$

## המשפט היסודי של החדו"א – תרגילי תיאוריה

### שאלות

1 נתונה הפונקציה  $f$  המוגדרת בקטע  $[0, 2]$  כך:  $f(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x < 1 \\ 1 & 1 \leq x \leq 2 \end{cases}$ .

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:  $f(x) = \begin{cases} 0 & x \neq 0 \\ 1 & x = 0 \end{cases}$ .

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  $f: [-1, 1] \rightarrow \mathbb{R}$  על ידי  $f(x) = \begin{cases} 2x \sin \frac{1}{x^2} - \frac{2}{x} \cos \frac{1}{x^2} & ; x \neq 0 \\ 0 & ; x = 0 \end{cases}$ .

נגדיר  $F: [-1, 1] \rightarrow \mathbb{R}$  על ידי  $F(x) = \begin{cases} x^2 \sin \frac{1}{x^2} & ; x \neq 0 \\ 0 & ; x = 0 \end{cases}$ .

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  $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ .

הוכיחו כי  $\int_a^b f(t)dt = \lim_{x \rightarrow b^-} \int_a^x f(t)dt$ .

(5) תהי  $f$  פונקציה אינטגרלית 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  $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$  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  $f: [0, \frac{\pi}{4}] \rightarrow \mathbb{R}$  פונקציה רציפה.

הוכיחו שקיים  $c \in [0, \pi/4]$ , כך ש-  $f(c) = 2 \cos 2c \int_0^{\pi/4} f(t) dt$ .

(11) תהי  $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$  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  $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$  פונקציה רציפה.

נניח כי  $\int_a^x f(t) dt = \int_x^b f(t) dt \quad \forall x \in [a, b]$ .

הוכיחו כי  $f(x) = 0 \quad \forall x \in [a, b]$ .

(13) תהי  $f$  פונקציה רציפה ב- $[a, b]$ , ונניח כי קיימות שתי נקודות,  $x_1 < x_2$ ,

$$\int_a^{x_1} f(t) dt = \int_a^{x_2} f(t) dt \quad \text{בקטע } (a, b), \text{ שעבורו מתקיים}$$

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  $[a, b]$ ,

$$\text{ונניח שלכל } x \in \mathbb{R} \text{ מתקיים } f(x) = \int_0^x f(t) dt$$

הוכיחו כי  $f(x) \equiv 0$  (כלומר, לכל  $x \in \mathbb{R}$  מתקיים  $f(x) = 0$ ).

### תשובות סופיות

(1) א. שאלת הוכחה. ב.  $F(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 1 \\ x-1 & 1 < x \leq 2 \end{cases}$  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.

$$F(x) = \begin{cases} -e^{-x} + D + 2 & x \geq 0 \\ e^x + D & x < 0 \end{cases} \quad (14)$$

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://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  $a \leq x_1 < x_2 \leq b$ .  
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  $f, g: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$  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  $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$  פונקציה רציפה.  
הוכיחו כי  $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^1 f(x^n) dx = f(0)$ .



(8) תהי  $f: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  פונקציה רציפה.

נתון כי  $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = a$ .

הוכיחו כי  $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^1 f(nx) dx = a$ .

(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  $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$  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  $\frac{3}{\ln 2} \leq \int_2^4 \frac{x}{\ln x} dx \leq \frac{6}{\ln 2}$ .

(12) הוכח כי  $\frac{\pi^2}{9} \leq \int_{\pi/6}^{\pi/2} \frac{x}{\sin x} dx \leq \frac{2\pi^2}{9}$ .

(13) הוכח כי  $\frac{1}{2e} \ln 2 \leq \int_0^{\pi/4} e^{-x^2} \tan x dx \leq \frac{1}{2} \ln 2$ .

(14) תהי  $f: [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}$  פונקציה רציפה.

הוכח כי  $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^1 x^n f(x) dx = 0$ .

(15) נסחו והוכיחו את משפט הערך הממוצע האינטגרלי השני.

לתשובות מלאות בסרטוני וידאו היכנסו לאתר [www.GooL.co.il](http://www.GooL.co.il)