# לוגיקה ותורת הקבוצות

## פרק 5 - עוצמות

### תוכן העניינים

1. עוצמות ..... 1

# עוצמות

## שאלות

**1)** ללא שימוש בפונקציית שקילות:

א. הוכיחו כי $\mathbb{N}_{odd}=\{1,3,5,\ldots\}$ ו- $\mathbb{N}_{even}=\{0,2,4,\ldots\}$ שוות עוצמה.

ב. הוכיחו כי $\mathbb{N}=\{1,2,3,\ldots\}$ ו- $\mathbb{N}_{even}=\{0,2,4,\ldots\}$ שוות עוצמה.

ג. הוכיחו כי $\mathbb{N}^2=\mathbb{N}\times\mathbb{N}$ שקולה ל- $\mathbb{N}=\{1,2,3,\ldots\}$.

ד. הוכיחו כי $\mathbb{N}\sim\mathbb{Z}$.

ה. הוכיחו כי $\mathbb{N}\sim\mathbb{Q}^+$, כאשר $\mathbb{Q}^+$ היא קבוצת הרציונליים החיוביים.

ו. הוכיחו כי $[0,1]\sim[0,3]$.

ז. הוכיחו כי $[0,1]\sim[3,4]$.

ח. הוכיחו כי $[0,1]\sim[3,5]$.

ט. הוכיחו כי לכל שתי קבוצות $A,B$, מתקיים $A\times B\sim B\times A$.

**2)** הוכיחו את השקילויות הבאות באמצעות פונקציות חח"ע ועל בין הקבוצות:
(פונקציית שקילות)

א. $(0,2010)\sim(0,\infty)$

ב. $[1,3)\cup[4,8]\sim[0,1]$

ג. $\{(x,y)|x^2+y^2=1\}\sim\{(x,y)|x^2+y^2=4\}$

ד. $\mathbb{N}\sim\mathbb{Z}$

ה. $\mathbb{N}\times\{0,1\}\sim\mathbb{N}$

ו. $(-1,1)\sim\mathbb{R}$

ז. $\mathbb{N}\times[0,1)\sim[0,\infty)$

ח. $(0,1]\sim(0,1)$

ט. $[0,1)\times[0,1)\sim[0,1)$

י. $\{0,1\}^{\mathbb{N}}\sim\{0,1\}^{\mathbb{N}_{even}}\times\{0,1\}^{\mathbb{N}_{odd}}$

יא. $\{0,1\}^{\mathbb{N}}\times\{0,1\}^{\mathbb{N}}\sim\{0,1,2,3\}^{\mathbb{N}}$

יב. $\{0,1\}^{A}\sim P(A)$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – טל פלדמן ©

<u>הגדרה</u>: קבוצה $A$ היא אינסופית אם קיימת קבוצה שחלקית לה ממש ושקולה לה.

היעזרו בהגדרה זו לפתרון שאלות **3-4**.

**3)** תהיינה $A,B$ קבוצות. הוכיחו:

א. אם $A$ אינסופית, אז $A\cup B$ אינסופית.

ב. אם $A$ אינסופית וגם $A\subseteq B$, אז $B$ אינסופית.

**4)** תהיינה $A,B$ קבוצות, ונתון כי $A\cap B$ שקולה ל-$A$.

הוכיחו או הפריכו:

א. אם $A\cup B\neq B$, אז $A$ אינסופית.

ב. אם $A\cup B\neq A$, אז $B$ אינסופית.

ג. אם $A$ סופית, אז $A\subseteq B$.

**5)** נגדיר יחס $\sim$ בין קבוצות באופן הבא: $(A,B)\in\sim \Leftrightarrow A,B$ שוות עוצמה.

הוכיחו כי $\sim$ הוא יחס שקילות.

**6)** הוכיחו:

א. $\aleph_0+n=\aleph_0$, כאשר $n\in\mathbb{N}$.

ב. $\aleph_0+\aleph_0=\aleph_0$

ג. $3\cdot\aleph_0\cdot 2\cdot\aleph_0=\aleph_0$

ד. $n\cdot\aleph_0=\aleph_0$, כאשר $n\in\mathbb{N}$.

ה. $\aleph_0\cdot\aleph_0=\aleph_0$

ו. $\aleph_0^n=\aleph_0$ (היעזרו במשפט קב"ש)

ז. אם $\aleph_0\le\alpha$, אז $\alpha=\alpha+3$.

ח. $2^{\aleph_0}=\aleph_0^{\aleph_0}$

ט. $\aleph^{\aleph_0}=2^{\aleph_0}$

י. $\aleph_0^{\aleph}>2^{\aleph_0}$ (הדרכה: הסיקו מהסעיף הקודם כי $\aleph^{\aleph_0}>\aleph_0^{\aleph}$)


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – טל פלדמן ©

**7)** גדירות היטב של אריתמטיקה של עוצמות.

א. תהיינה $k_1,k_2$ עוצמות ויהיו $A,B$ קבוצות, כך ש- $|A|=k_1,|B|=k_2$.

נגדיר פעולת הפרש בין עוצמות באופן הבא: $k_1-k_2=|A-B|$.

פעולה זו אינה מוגדרת היטב, כלומר התוצאות של ההפרש משתנות בהתאם לקבוצה ולא בהתאם למחלקה.

הציגו 2 דוגמאות לקבוצות שעוצמתן $\aleph_0$, אך עוצמת ההפרש שונה בכל אחת מהדוגמאות.

ב. הוכיחו כי אם מתקיים $A\sim B\wedge C\sim D\wedge A\cap C=\varnothing\wedge B\cap D=\varnothing$, אז $(A\cup C)\sim(B\cup D)$.

ג. הוכיחו כי אם $A\sim B\wedge C\sim D$, אז $A\times C\sim B\times D$.

**8)** הוכיחו כי לכל שלוש קבוצות $A,B,C$ מתקיים:

א. $A\times(B\times C)\sim(A\times B)\times C$

ב. אם $B\cap C=\varnothing$, אז $A^B\times A^C\sim A^{(B\cup C)}$, והראו כי $B\cap C=\varnothing$ הכרחית.

ג. $(A\times B)^C=A^C\times B^C$

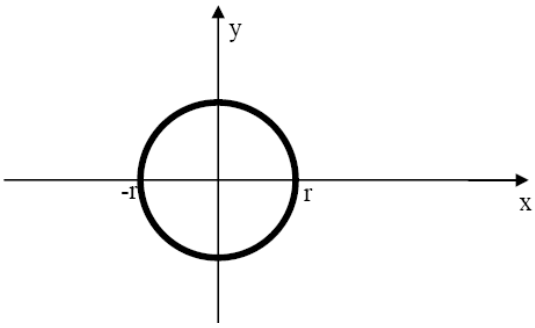
ד. $(A^B)^C\sim A^{B\times C}$

**9)** הוכיחו כי הקבוצה $A=\mathbb{Q}$, קבוצת המספרי הרציונליים,

ו- $B=\{f(x)=ax^2+bx+c:a,b,c\in\mathbb{Q}\}$ שוות עוצמה.

**10)** מעגל במישור ברדיוס $r$ (כאשר $r>0$ ממשי), שמרכזו בראשית הצירים, הוא קבוצת כל הנקודות $(x,y)$ במישור המקיימות את המשוואה $x^2+y^2=r^2$, כמודגם בציור שלהלן.

הוכיחו שלכל $r>0$, עוצמת מעגל ברדיוס $r$ שמרכזו בראשית הצירים היא $\aleph$.




**11)** הוכיחו או הפריכו:

תהיינה $A,B$ שתי קבוצות כלשהן. אם $A\oplus B$ היא קבוצה מעוצמה $\aleph_0$ וגם $A\cap B$ היא קבוצה מעוצמה $\aleph_0$, אז $A\cup B$ היא קבוצה מעוצמה $\aleph_0$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – טל פלדמן ©

**12)** נגדיר $P_2(\mathbb{N})=\{A\subseteq\mathbb{N}\,|\,|A|=2\}$. כלומר, $P_2(\mathbb{N})$ היא קבוצת כל תתי-הקבוצות בנות שני אברים של הטבעיים.
מהי עוצמת $P_2(\mathbb{N})$? הוכיחו.

**13)** נסמן ע"י $\mathbb{N}$ את קבוצת המספרים הטבעיים $\mathbb{N}=\{1,2,3,\cdots\}$ וב-$\mathbb{R}^+$ את הממשיים החיוביים.

א. מה העוצמה של הקבוצה $A_4=\left(a\in\mathbb{R}\,\middle|\,a^4\in\mathbb{N}\right)$?
למשל, $1,\sqrt{5},2,\sqrt[4]{7}\in A_4$.

ב. מה העוצמה של $A=\left(a\in\mathbb{R}^+\,\middle|\,\exists k\in\mathbb{N},a^k\in\mathbb{N}\right)$?
למשל, $1,\sqrt{5},2,\sqrt[4]{7},\sqrt[100]{3},\sqrt[3]{4}\in A$.

ג. הראו שקבוצה של מעגלים זרים במישור ניתנת לשידוך לקבוצה חלקית של טבעיים.

**14)** תהי $A=\left\{x\in\mathbb{R}\,\middle|\,\forall n\in\mathbb{N}\left(x<\frac{1}{n}\right)\wedge\exists n\in\mathbb{N}\left(x>-\frac{1}{n}\right)\right\}$.
מה עוצמת $A$?

**15)** תהי $A=\{(a,b)\,|\,a\in\mathbb{R},b\in\mathbb{R},a<b\}$. כלומר, $A$ היא קבוצת כל הקטעים הפתוחים ב-$\mathbb{R}$.
מהי עוצמת $A$? הוכיחו.

**16)** נגדיר יחס $S$ מעל $\mathbb{R}\times\mathbb{R}$ באופן הבא: $(x_1x_2)S(y_1y_2)\Leftrightarrow\lfloor x_1\rfloor=\lfloor y_1\rfloor$,
כאשר $S$ יחס שקילות (אין צורך להוכיח זאת).
הוכיחו כי קבוצת המנה $(\mathbb{R}\times\mathbb{R})/_S$ היא מעוצמה $\aleph_0$.

**17)** הוכיחו או הפריכו: לכל קבוצה $A$ מתקיים $A\times\mathbb{N}\sim A\times(\mathbb{N}-\{1\})$.

**18)** הוכיחו כי עוצמת הקבוצה $(1,2)\cup(2,3)\cup(3,4)\cup\cdots=\bigcup_{n\in\mathbb{N}}(n,n+1)$ היא $\aleph$.

**19)** תהי $A$ קבוצה מעוצמה $\aleph_0$ ויהי $E$ יחס שקילות מעל $A$.
הוכיחו כי $|E|=\aleph_0$.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – טל פלדמן ©

**20)** הוכיחו או הפריכו:

לכל זוג קבוצות $A,B$ מתקיים $(A\times B)^C \sim (A^C\times B)\cup(A\times B^C)$.

**21)** פונקציית הסינוס $\sin:\mathbb{R}\to\mathbb{R}$ היא פונקציה מחזורית בעלת מחזור של $2\pi$.

כלומר, $\sin(x+2\pi)=\sin(x)$, לכל $x\in\mathbb{R}$.

עבור $0\le x\le 2\pi$ מתקיים $\sin x=0\Leftrightarrow x\in\{0,\pi,2\pi\}$.

מצאו את עוצמת הקבוצה $O_{\sin}=\{x\in\mathbb{R}\,|\sin x=0\}$. הוכיחו.

**22)** האם קיימת קבוצה $A$, כך ש-$|P(A)|=\aleph_0$? הוכיחו.

**23)** הוכיחו כי קבוצה בת-מניה של ישרים לא יכולה לכסות את המישור $\mathbb{R}^2$.

**24)** קבעו האם לקבוצה אחת עוצמה גדולה יותר, או שהן שוות:

א. $\{0,1\}^{\mathbb{R}}$, $\{0,1\}^{P(\mathbb{R})}$

ב. $P(\mathbb{R})^{\mathbb{N}}$, $P(\mathbb{R})^{P(\mathbb{N})}$

ג. $\mathbb{R}^{\mathbb{N}}$, $\mathbb{N}^{\mathbb{R}}$

**25)** חשבו את עוצמת הקבוצות הבאות:

א. קבוצת כל הסדרות האינסופיות של הטבעיים.

ב. קבוצת כל הסדרות האינסופיות העולות ממש של הטבעיים.

ג. קבוצת כל הסדרות הבינאריות האינסופיות.

ד. קבוצת כל הסדרות הבינאריות האינסופיות, שאין בהן את הרצף 10.

ה. קבוצת כל הסדרות הבינאריות האינסופיות, שאין בהן את הרצף 00.

ו. קבוצת כל הסדרות הבינאריות האינסופיות, שאין בהן את הרצף 10 וגם את הרצף 00.

ז. קבוצת כל היחסים מעל $\mathbb{N}$.

ח. קבוצת כל היחסים הרפלקסיביים מעל $\mathbb{N}$.

לפתרונות מלאים בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתב ופתר – טל פלדמן ©