

$\exists f : A \xrightarrow{\text{דפיכה}} B \Leftrightarrow |A| = |B|$  ראשית, נזכיר כי

1. א. הוכח  $|R| = |(0,1)|$ .  
הוכחה .

$$f : R \rightarrow (0,1)$$

$$f(x) = \begin{cases} -\frac{1}{4x} + 1, & x \in [1, \infty) \\ \frac{x}{4} + \frac{1}{2}, & x \in (-1,1) \\ -\frac{1}{4x}, & x \in (-\infty, -1] \end{cases}$$

f מוגדרת על תחומים זרים ולכן פונקציה.

f לינארית בכל תחום והתמונות:  $f[[1, \infty)] = [\frac{3}{4}, 1)$ ,  $f[(-1,1)] = (\frac{1}{4}, \frac{3}{4})$ ,  $f[(-\infty, -1)] = (0, \frac{1}{4}]$  זרות ומכסות את כל R, לכן f חח"ע ועל.

ב. הוכח  $|(-1,1)| = |(-a,a)| \quad \forall a \in R^+$

$f(x) = ax$  לינארית ולכן חח"ע.  $f[(-1,1)] = (-a,a)$  ולכן על.

ג. השתמש ב-ב' כדי להראות שעוצמת הריבוע  $A = \{(x,y) \in R^2 : -1 < x < 1 \wedge -1 < y < 1\}$

שווה לעוצמת המלבן  $B = \{(x,y) \in R^2 : -2 < x < 2 \wedge -3 < y < 3\}$ .

$f(x,y) = (2x,3y)$  לינארית ולכן חח"ע.  $f[A] = B$  ולכן על.

ד. הוכח שעוצמת הריבוע  $\{(x,y) \in R^2 : -1 \leq x \leq 1 \wedge -1 \leq y \leq 1\}$  שווה לעוצמת העיגול

$\{(x,y) \in R^2 : x^2 + y^2 \leq 1\}$ .

$|A| = |B|$  צ"ל  $A = \{(x,y) \in R^2 : -1 \leq x \leq 1, -1 \leq y \leq 1\}$ ,  $B = \{(x,y) \in R^2 : x^2 + y^2 \leq 1\}$

נעזר בפונ'  $h : A \rightarrow C$  כאשר:  $C = \{(x,y) \in R^2 : |x| + |y| \leq 1\}$   
 $h(x,y) = \frac{x+y}{2} + \frac{x-y}{2}$   
 המוכיחה לגביהן ש  $|A| = |C|$

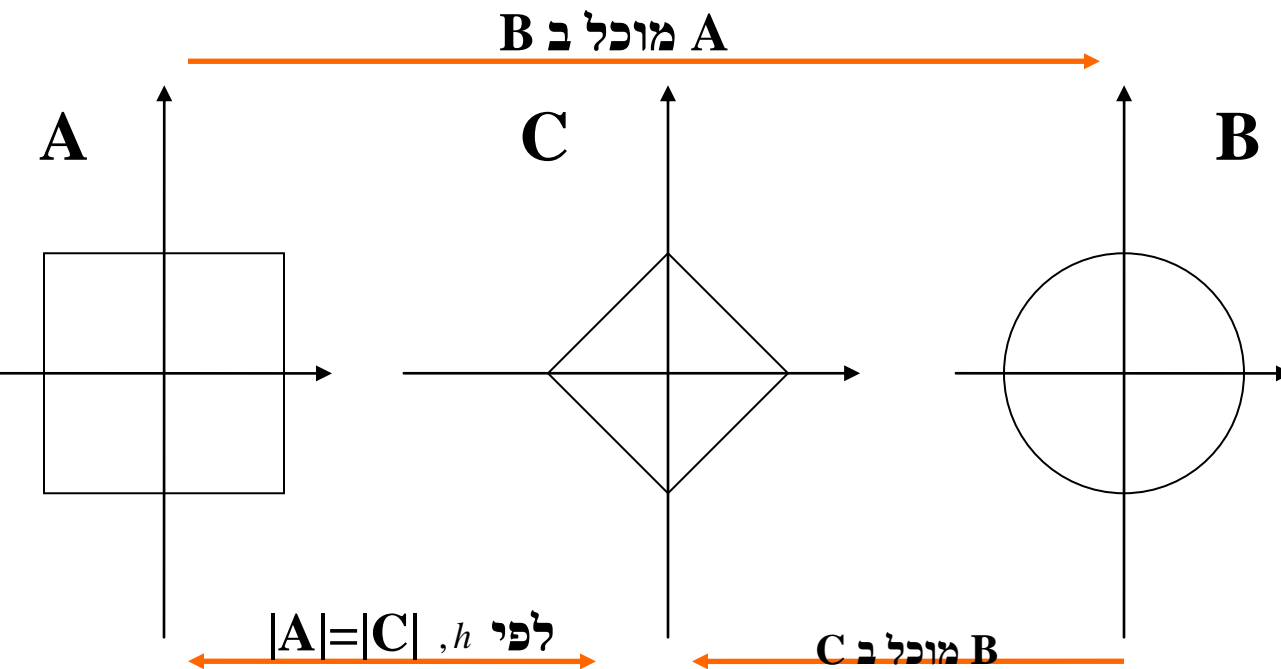
נשים לב ש-

$$1. \quad B \subseteq A \text{ לכן: } f(x) = \begin{cases} x, & x \in B \\ 0, & x \notin B \end{cases} \quad f: A \rightarrow B: \forall x \in A \text{ היא בוודאי על ולכן } |A| \geq |B|$$

$$2. \quad C \subseteq B \text{ לכן } g(x) = \begin{cases} x, & x \in C \\ 0, & x \notin C \end{cases} \quad g: B \rightarrow C: \forall x \in B \text{ היא בוודאי על ולכן}$$

$$\text{לכן } |A| \geq |B| \geq |C| \wedge |A|=|C| \Rightarrow |A|=|B|=|C|$$

ולכן  $|A|=|B|$



2. הוכח  $|N|=|N \times N|$ .

**הוכחה.** נביט באוסף הזוגות הסדורים של מספרים טבעיים, ונחלק אותם לקבוצות לפי סכום האיברים בזוג. בקבוצה הראשונה יהיה הזוג (1,1), בקבוצה השנייה יהיו הזוגות (1,2), (2,1), בקבוצה השלישית יהיו הזוגות (1,3), (2,2), (3,1) וכדומה.

נגדיר פונקציה  $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N} \times \mathbb{N}$  באופן הבא:

- 1 נשלח לזוג הראשון בקבוצה הראשונה
- 2 נשלח לזוג הראשון בקבוצה השנייה
- 3 נשלח לזוג השני בקבוצה השנייה
- 4 נשלח לזוג הראשון בקבוצה השלישית
- ...

קל לראות שפונקציה זו מוגדרת היטב. לכל מספר טבעי פשוט עוקבים אחרי התהליך הזה ורואים לאיזה זוג הוא נשלח. כמו כן, לכל זוג ניתן לעבור על התהליך עד שיגיע המספר שישלח אליו. כמו כן קל לראות שפונקציה זו חח"ע מכיוון שכל זוג מקבל {אינדקס אחד ויחיד וגם על מכיוון שלכל זוג יהיה אינדקס.

3. יהיו  $B, A$  קבוצות סופיות. הוכח  $|B|^{|A|} = |\{f \mid f: A \rightarrow B\}|$  פונקציה.

נגדיר  $|A| = m, |B| = n$ .

(אינטואיטיבית, לכל מקור ב- $A$  (ויש  $m$  כאלו) קיימות  $n$  אופציות ב- $B$  אליהן הוא יכול להשלח:

$$|\{f \mid f: A \rightarrow B\}| = n \cdot n \cdot \dots \cdot n = n^m = |B|^{|A|}$$

פעמים  $m$       פעמים  $m$

נגדיר  $A = \{a_1, \dots, a_m\}, B = \{b_1, \dots, b_n\}$  ונבנה פונקציה הפיכה

$$g: \{f \mid f: A \rightarrow B\} \rightarrow B^m$$

$$g(f) = (f(a_1), \dots, f(a_m))$$

חח"ע:

$$g(f) = g(h)$$

$$\Downarrow$$

$$(f(a_1), \dots, f(a_m)) = (h(a_1), \dots, h(a_m))$$

$$\Downarrow$$

$$\forall j = 1, \dots, m \quad f(a_j) = h(a_j)$$

$$\Downarrow$$

$$f = h$$

על:

$$\forall (b_{i_1}, \dots, b_{i_m}) \in B^m \quad \exists f: A \rightarrow B \quad : \quad f(a_j) = b_{i_j}$$

ולכן,

$$\forall (b_{i_1}, \dots, b_{i_m}) \in B^m \quad \exists f: A \rightarrow B \quad : \quad g(f) = (f(a_1), \dots, f(a_m)) = (b_{i_1}, \dots, b_{i_m})$$

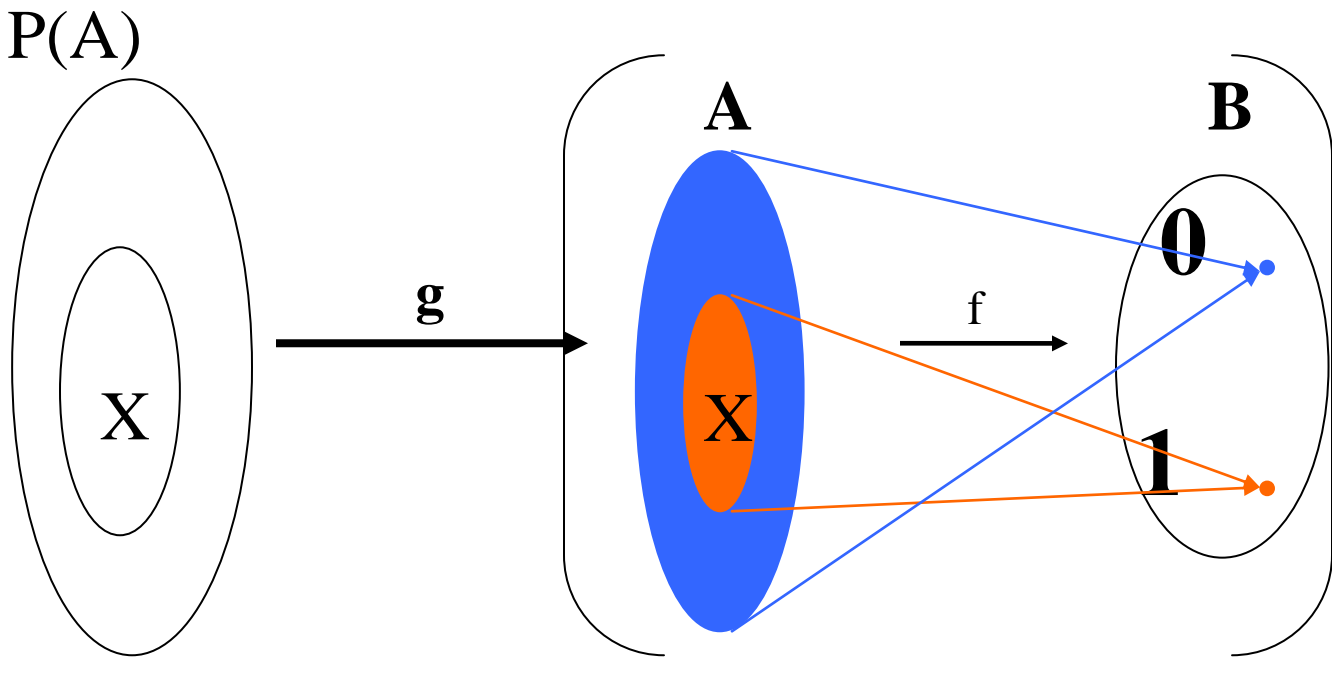
4. הנח נכונות של (3) למקרה הכללי (כלומר,  $B, A$  לא בהכרח סופיות) והוכח  $P(A) = 2^{|A|}$ .  
 (רמז: בנה התאמה חח"ע ועל מ- $P(A)$  לקבוצת הפונקציות  $\{f \mid f: A \rightarrow \{0,1\}\}$ .)

נגדיר:  $\{0,1\}^A = \{f \mid f: A \rightarrow B\}$  עבור  $B=\{0,1\}$ , לפי ההנחה  $|\{0,1\}^A| = 2^{|A|}$ . נוכיח:  $|P(A)| = |B^A|$

$$g: P(A) \rightarrow \{f \mid f: A \rightarrow \{0,1\}\}$$

$$\forall X \in P(A) \quad \left( \begin{array}{c} \downarrow \\ X \subseteq A \end{array} \right) \quad g(X) = \begin{cases} \text{"המוגדרת } f: A \rightarrow \{0,1\} \text{ ע"י} \\ \forall a \in A \quad f(a) = \begin{cases} 0, a \notin X \\ 1, a \in X \end{cases} \end{cases}$$

כלומר, כל תת קב'  $X$  של  $A$  בתחום תשלח לפונ' בטווח השולחת ל-1 את איברי  $X$  ול-0 את איברי  $A \setminus X$  (נקראת הפונקציה האופיינית של  $X$ ). לכן אם הקב' שונות הפונ' שונות ולכן לכל מקור תמונה יחידה



על:  $g$

$$\forall f \in \{0,1\}^A \quad \forall a \in A \quad \begin{cases} \text{if } f(a) = 0 \text{ then } a \notin X \\ \text{if } f(a) = 1 \text{ then } a \in X \end{cases} \Rightarrow X \subseteq A \Rightarrow X \in P(A)$$

$$\forall f \in \{0,1\}^A \quad \exists X \in P(A) : g(X) = f \Rightarrow g \text{ על}$$

$$g(X_1) = g(X_2)$$

$$\Downarrow$$

$$\forall a \in A \quad f_1(a) = \begin{cases} 0, a \notin X_1 \\ 1, a \in X_1 \end{cases} = \begin{cases} 0, a \notin X_2 \\ 1, a \in X_2 \end{cases} = f_2(a)$$

$$\Downarrow$$

$$a \in X_1 \Leftrightarrow a \in X_2$$

$$\Downarrow$$

$$X_1 = X_2$$

$$\Downarrow$$

תח"ע"

5. יהיו  $B, A$  קבוצות שוות עוצמה ויהיו  $a \in A, b \in B$ . הוכח  $|A \setminus \{a\}| = |B \setminus \{b\}|$ .

$$|A| = |B| \Rightarrow \exists \text{ הפיכה } f : A \rightarrow B \Rightarrow \exists f(a) \in B \wedge \exists f^{-1}(b) \in A$$

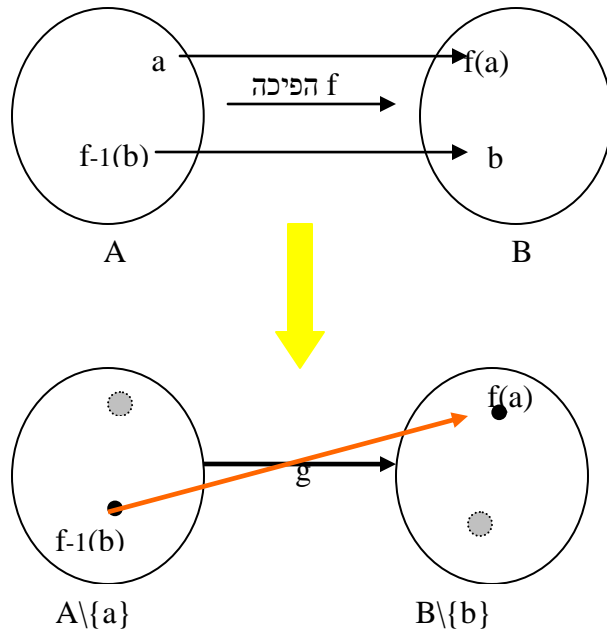
נגדיר :

$$g : A \setminus \{a\} \rightarrow B \setminus \{b\}$$

ע"י :

$$\forall x \in A \setminus \{a\} \quad g(x) = \begin{cases} f(x), x \neq f^{-1}(b) \\ f(a), x = f^{-1}(b) \end{cases}$$

כלומר, נבנה את  $g$  בדיוק כמו  $f$  בכל נקודה פרט לכך שנשלח את מקור הנק' החסרה בטווח  $f^{-1}(b)$  לתמונת הנק' החסרה בתחום  $f(a)$ .



נראה ש g על:

$$\forall y \in B \setminus \{b\}$$

$$(y \in (B \setminus \{b\}) \setminus f(a))$$

$\vee$

$$(y = f(a))$$

$\Downarrow$

$\Downarrow$

$$f \text{ הפיכה} \Rightarrow \exists x \in (A \setminus \{a\}) \setminus f^{-1}(b) : y = f(x) = g(x)$$

$$\exists f^{-1}(b) \in A : y = f(a) = g(f^{-1}(b))$$

$$\Rightarrow \forall y \in B \setminus \{b\} \exists x \in (A \setminus \{a\}) : y = g(x) \Rightarrow g \text{ על}$$

נראה ש g חז"ע:

$$\forall u, v \in A \setminus \{a\}$$

$$\text{if } : u, v \neq f^{-1}(b) : g(a) = f(a) = f(b) = g(b) \Rightarrow a = b : \text{ע"כ} \Rightarrow \text{ע"כ} g$$

$$\text{if } : u = f^{-1}(b) \wedge v \neq f^{-1}(b) \Rightarrow u \neq v \wedge g(v) = f(v) \neq f(a) = g(u) \Rightarrow \text{ע"כ} g$$

↓

$$a \notin A \setminus \{a\} \text{ כי}$$

$$v \neq a \text{ אז}$$

$$\text{if } : v = f^{-1}(b) \wedge u \neq f^{-1}(b) : \text{קודם כמו מקרה קודם}$$

(כלומר, במקרה אחד תמונות שוות גורר מקורות שווים. במקרה שני מקורות שונים גורר תמונות שונות. המוכיחים חז"ע g בשני המיקרים האפשריים)