

# מבוא לכימיה אנליטית

פרק 7 - שיווי משקל כימי

תוכן העניינים

1. שיווי משקל כימי.....1

## שיווי משקל כימי

## שאלות

1) תערובת המכילה  $\text{HCl}_{(g)}$ , בריכוז  $0.075\text{ M}$  ו- $\text{O}_{2(g)}$  בריכוז  $0.033\text{ M}$ , חוממה

לטמפרטורה של  $480^\circ\text{C}$  והגיעה לשיווי-משקל לפי המשוואה



בשיווי משקל, ריכוז הגז  $\text{Cl}_2$  הוא  $0.03\text{ M}$ .

מהו ערכו של קבוע שיווי המשקל  $K_c$ ?

א.  $1.1 \cdot 10^{-3}$

ב. 889

ג. 0.13

ד. 480

2) נתונה ריאקציה בשיווי משקל:  $\text{CO}_{2(g)} + \text{C}_{(s)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(g)}$   $\Delta H^0 = 173 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

בחרו את הפעולה שתביא לעלייה בכמות הגז  $\text{CO}_2$  בשיווי משקל:

א. דחיסת המערכת והורדת הטמפרטורה.

ב. הוספת פחמן מוצק תוך כדי חימום.

ג. הורדת הלחץ תוך כדי הגדלת הנפח.

ד. הוספה של  $\text{Ne}_{(g)}$  והעלאת הלחץ הכללי.

3) באיזו תגובה הגדלת נפח הכלי מסיטה את התגובה לכיוון התוצרים?



(4) נתונה תגובת שיווי משקל:  $\text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} \quad \Delta H^\circ = 180.8 \text{ kJ}$ . בטמפרטורה של 298 K ערכו של קבוע שיווי המשקל הוא 0.01, וזמן השגת שיווי משקל בטמפרטורה זו הוא 452 שניות. נבצע את התגובה בכלי שנפחו 5.0 ליטר ובטמפרטורה של 250 K. מהו המשפט הנכון:

- עשוי לגדול וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתארך.
- $\Delta H^\circ$  עשוי לגדול וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתקצר.
- עשוי לקטון וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתארך.
- K ו- $\Delta H^\circ$  עשויים לגדול וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתקצר.

(5) נתונה תגובת שיווי משקל  $2\text{SO}_{3(g)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$ , עבורה ב- $T_1$ ,  $K_p = 0.15$ . לכלי התגובה, שנפחו 12.5 ליטר ושנמצא ב- $T_1$ , הוזרמו שלושת הגזים. בתחילת התגובה הלחץ החלקי של  $\text{SO}_{3(g)}$  שווה ל-1.2 בר, הלחץ החלקי של  $\text{O}_{2(g)}$  שווה ל-0.6 בר והלחץ החלקי של  $\text{SO}_{2(g)}$  שווה ל-1.2 בר. מהו המשפט הנכון לגבי המערכת במצב של שיווי משקל:

- הלחץ החלקי של  $\text{SO}_{3(g)}$  קטן מ-1.2 בר.
- הלחץ החלקי של  $\text{SO}_{2(g)}$  גדול מ-1.2 בר.
- הלחץ החלקי של  $\text{O}_{2(g)}$  גדול מ-0.6 בר.
- הלחץ הכללי בכלי התגובה קטן מ-3.0 בר.

(6) לכלי התגובה, שנפחו 3.00 ליטר ומוחזק בטמפרטורה של 550 K, הוכנסו 20.0 גרם של  $\text{PCl}_5$  גזי. תוך מספר דקות המערכת הגיעה למצב של שיווי משקל. בתנאים אלה הלחץ שווה ל-2.77 bar. כמו כן,  $\text{PCl}_{5(g)} \rightleftharpoons \text{PCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$ . א. חשבו את הלחץ החלקי (ביחידות bar) של כל מרכיבי המערכת במצב של שיווי המשקל.

- חשבו את אחוז הפירוק של  $\text{PCl}_5$  בתנאים אלה.
- חשבו את ה- $K_p$  בטמפרטורה של 550 K.

ב. אם נבצע את התגובה בטמפרטורה של 400 K (כאשר כל מרכיבי המערכת במצב גזי), האם אחוז הפירוק של  $\text{PCl}_5$  יהיה קטן, גדול יותר או שווה לזה שחושב בסעיף א.2? נתון גם שבעת התהליך הישיר הכלי מתחמם. נמקו ללא חישובים.

7) לתגובה  $2A_{(g)} \rightleftharpoons B_{(g)} + 3C_{(g)}$  בטמפרטורת החדר  $K_c = 2.5$ . לכלי התגובה בטמפרטורת החדר הוכנסו שלושת הגזים בריכוז  $2.5\text{ M}$  כל אחד. מהו המשפט הנכון:

- א. עד השגת שיווי המשקל ריכוזו של C ירד.
- ב. עד השגת שיווי המשקל ריכוזו של A ירד.
- ג. ריכוז כל מרכיבי התגובה לא ישתנה, כי המערכת נמצאת בשיווי משקל.
- ד. אי אפשר לדעת כי לא נתון נפח הכלי.

8) שתי העקומות להלן מתארות את  $\ln K$  כפונקציה של  $\frac{1}{T}$ :



נתונות שלוש תגובות:

- 1)  $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} \quad \Delta H^0 < 0$
- 2)  $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)} \quad \Delta H^0 < 0$
- 3)  $2SO_{3(g)} \rightleftharpoons 2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H^0 > 0$

איזו תגובה מתאימה לאיזה עקום, אם נתון שבתגובות שמתאימות לעקומות הגדלת הנפח גורמת להגדלת כמות התוצרים:

א.  $A = 3, B = 1$

ב.  $A = 3, B = 2$

ג.  $A = 1, B = 2$

ד.  $A = 2, B = 1$

- 9) לכלי סגור, בנפח 6.0 ליטר ובטמפרטורה של 380 K, הוכנסו גז  $\text{NO}_2$  ו-  $\text{N}_2\text{O}_4$  גזי. הלחץ ההתחלתי של  $\text{N}_2\text{O}_4$  שווה ל-1.30 bar ושל  $\text{NO}_2$  0.08 bar. בין הגזים מתקיימת תגובת שיווי המשקל  $2\text{NO}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{4(g)}$  במהלך התגובה בוצע מעקב אחר הלחץ הכללי ששרר במיכל:

| זמן (דקות) | 12   | 6    | 3.5  | 2.0  | 1.0  | 0    |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| לחץ (bar)  | 2.14 | 2.14 | 2.04 | 1.88 | 1.68 | 1.38 |

- האם מסה של  $\text{N}_2\text{O}_4$  עלתה או ירדה במהלך התגובה. נמקו.
- חשבו את הלחצים החלקיים של  $\text{N}_2\text{O}_4$  ושל  $\text{NO}_2$  בזמן  $t = 2 \text{ min}$ .
- חשבו את הלחצים החלקיים של הגזים במצב שיווי משקל.
  - רשמו ביטוי לקבוע שיווי המשקל לפי הלחצים, וחשבו את ערכו של קבוע שיווי המשקל לפי הלחצים בתנאים אלה.
  - בדקה ה-14 הכלי חומם, וכתוצאה מכך, ריכוז ה- $\text{NO}_2$  עלה.
- האם התהליך הישיר הוא אקסותרמי או אנדותרמי? נמקו.
  - האם זמן השגת שיווי המשקל החדש קצר, ארוך יותר, או שווה לזה שהיה? נמקו.

- 10) בתגובת שיווי המשקל  $2\text{A}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{B}_{(g)} + \text{C}_{(g)}$ , הוכנסו לכלי התגובה, שנפחו 4.0 ליטר, 0.2 מול של A. במהלך התגובה עקבו אחרי ריכוזו של A וחושב ה-Q. תוצאות הניסוי מובאות בטבלה הבאה:

| זמן (דקות) | 25   | 20   | 15                   | 10                   | 5                    |
|------------|------|------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Q          | 1.28 | 1.28 | $1.35 \cdot 10^{-1}$ | $1.77 \cdot 10^{-2}$ | $1.25 \cdot 10^{-3}$ |

- נתונות מספר קביעות:
- בין הדקות 15-20 הלחץ בכלי התגובה עלה.
  - בין הדקות 20-25 הלחץ בכלי נשאר קבוע.
  - המערכת הגיע לשיווי משקל בין הדקות 20-25.
- מהי הקביעה הלא נכונה:
- 1 בלבד.
  - 3 בלבד.
  - 2 ו-3.
  - 1 ו-3.

**11** נתונה תגובת שיווי המשקל  $\text{SbCl}_{5(g)} \rightleftharpoons \text{SbCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$ , כאשר  $K_c(T = 520\text{K}) = 0.025$ .

לתוך כלי ריק, בנפח 100 ליטר ושמוחזק בטמפרטורה של 520 K, הכניסו 2.0 מול של  $\text{SbCl}_{3(g)}$ , 3.0 מול של  $\text{SbCl}_{5(g)}$  ו-5.0 מול של  $\text{Cl}_{2(g)}$ .

א. האם מרגע הכנסת החומרים ועד השגת שיווי המשקל הריכוז של  $\text{SbCl}_{5(g)}$  גדל, קטן או נשאר ללא שינוי? נמקו.

ב. מהם הריכוזים של כל מרכיבי המערכת במצב שיווי משקל?

ג. תגובת שיווי המשקל  $\text{SbCl}_{5(g)} \rightleftharpoons \text{SbCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$  נחקרה בטמפרטורה של 500 K.

לתוך כלי ריק, בנפח 100 ליטר ושמוחזק בטמפרטורה של 500 K הוכנסו 2.0 מול של  $\text{SbCl}_{3(g)}$ , 3.0 מול של  $\text{SbCl}_{5(g)}$  ו-5.0 מול של  $\text{Cl}_{2(g)}$ .

אחרי זמן מסוים המערכת הגיעה למצב של שיווי משקל.

במצב זה, הריכוז של  $\text{SbCl}_{5(g)}$  היה 0.028 M.

האם תגובת פירוק של  $\text{SbCl}_{5(g)}$  ל- $\text{SbCl}_{3(g)}$  ול- $\text{Cl}_{2(g)}$  היא אנדותרמית או אקסותרמית? נמקו.

**12** שני מכלים נמצאים בטמפרטורה של  $450^\circ\text{C}$ . בראשון, שנפחו 5 ליטר, קיים שיווי המשקל  $\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$ . הלחצים החלקיים שנמדדו בו הם:

$$P_{\text{N}_2} = 11.85 \text{ bar}, P_{\text{H}_2} = 23.70 \text{ bar}, P_{\text{NH}_3} = 35.55 \text{ bar}$$

המיכל השני, שנפחו 1 ליטר, מכיל רק 1 מול מימן.

כמה גרם חנקן צריך להוסיף למיכל זה, כדי שבשיווי המשקל 60% מהמימן יהפכו לאמוניה ( $\text{NH}_3$ ) כשהטמפרטורה נשארת קבועה וזהה בשני המכלים?

**13** לכלי התגובה הוכנסו 0.16 מולים של A ו-0.16 מולים של B, ואחרי 18.5 דקות המערכת הגיעה למצב של שיווי המשקל. במצב זה נמצאים בכלי 0.12 מולים של A, 0.08 מולים של B ו-0.12 מולים של C.

מהו הביטוי המתאים ביותר שמבטא את קבוע שיווי המשקל:

א.  $K = \frac{P_C}{P_A \cdot (P_B)^2}$

ב.  $K = \frac{(P_C)^2}{P_A \cdot P_B}$

ג.  $K = \frac{(P_C)^3}{P_A \cdot (P_B)^2}$

ד.  $K = \frac{(P_C)^3}{(P_A)^2 \cdot P_B}$

- 14) נתונה תגובה שהסתיימה בשיווי המשקל  $A_{(g)} + 2B_{(g)} \rightleftharpoons 3C_{(g)}$ ,  $\Delta H^0 < 0$**   
 לכלי שנפחו 15 ליטר הוכנסו A ו-B בלבד. נתון שבזמן אפס הריכוז של B היה 0.20 M, והריכוז של A היה 0.10 M.  
 נתונות חמש קביעות עבור תגובה זו:
1. במצב של שיווי משקל הריכוז של C שווה ל-0.3 M.
  2. בתגובה זו, המעקב אחר השתנות הלחץ הכללי מאפשר לקבוע האם התגובה הגיעה למצב של שיווי משקל.
  3. אם במצב של שיווי משקל מגדילים את נפח הכלי ל-30 ליטר, הריכוז של C בזמן השינוי יקטן פי 2, ואחר כך יגדל עד השגת שיווי המשקל החדש.
  4. אם במצב של שיווי משקל מגדילים את נפח הכלי ל-30 ליטר, מספר המולים של C במצב שיווי המשקל החדש יהיה גדול מזה שבמצב שיווי המשקל לפני הגדלת הנפח.
  5. חימום יגרום להגדלת קבוע שיווי המשקל.
- מהן הקביעות הלא נכונות:
- א. 1, 2 ו-3.
  - ב. 1, 3 ו-4.
  - ג. 2, 3 ו-4.
  - ד. אף קביעה אינה נכונה.
- 15) הבשלושת הניסויים הבאים התרחשה התגובה  $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$**   
**בניסוי 1:** לכלי שנפחו 1 ליטר, המוחזק בטמפרטורה של 300 K, הכניסו תערובת של הגזים  $SO_2$  ו- $O_2$  בלבד. לאחר 10 דקות נמצא שריכוזי החומרים בכלי אינם משתנים עוד והם:  $SO_{2(g)}: 0.4M$ ,  $O_{2(g)}: 0.2M$ ,  $SO_{3(g)}: 0.6M$ .
- א. מהם הריכוזים ההתחלתיים של הגזים שהוכנסו לכלי?
  - ב. חשבו את ה- $K_c$  בטמפ' 300 K.
  - ג. האם הלחץ בכלי עלה, ירד או נשאר ללא שינוי מתחילת התגובה ועד השגת מצב שיווי משקל?
- בניסוי 2:** לכלי התגובה שנפחו 1 ליטר, המוחזק גם הוא בטמפרטורה של 300 K, הכניסו תערובת של אותם גזים כמו בניסוי הראשון. כעבור זמן מה בדקו את הרכב הגזים ונמצאו בכלי  $SO_{3(g)}: 0.3M$ ,  $O_{2(g)}: 0.1M$ ,  $SO_{2(g)}: 0.4M$ .
- ד. האם ברגע הבדיקה המערכת נוטה ליצור תוצרים, מגיבים, או נמצאת בשיווי משקל?
- בניסוי 3:** לכלי שנפחו 1 ליטר הוכנסו אותם מספרי מולים של הגזים  $SO_{2(g)}$  ו- $O_{2(g)}$  כמו בניסוי 1, אולם הושג שיווי משקל בזמן קצר יותר, ונמצא שריכוז  $SO_{2(g)}$  במצב שיווי המשקל היה גבוה מזה שבניסוי מספר 1.
- ה. האם התגובה הישירה היא אקסותרמית או אנדותרמית?

**16** סטודנטית מכניסה לגליל גז A ב-10 אטמוספירות וב- $25^{\circ}\text{C}$ . כתוצאה מכך, בגליל מתרחשת התגובה הבאה, שמסתיימת בהיווצרות מצב של שיווי משקל:

$$A_{(g)} \rightleftharpoons 2B_{(g)} + 3C_{(g)}$$

במצב זה הלחץ הכללי במערכת שווה ל-15.76 אטמ'.

א. חשבו את ה- $K_p$  עבור תגובה זו בטמפרטורה הנתונה.

ב. חשבו את ה- $K_c$  עבור תגובה זו בטמפרטורה הנתונה.

**17** ציקלוהקסאן (C) ומתיל ציקלופנטאן (M) הם איזומרים. קבוע שיווי המשקל של התגובה  $C_{(aq)} \rightleftharpoons M_{(aq)}$ , הוא 0.14 ב- $25^{\circ}\text{C}$ .

א. חוקרת מכינה תמיסה של  $C_{(aq)}$  0.02 M ו- $M_{(aq)}$  0.1 M. האם המערכת

נמצאת בשיווי משקל? אם לא, האם ייווצרו עוד מגיבים או תוצרים?

ב. מהם ריכוזי ה-C וה-M בשיווי המשקל?

ג. המערכת חוממה במצב שיווי משקל ל- $50^{\circ}\text{C}$ . כעבור זמן-מה המערכת

חזרה לשיווי המשקל שבו הריכוז של C שווה ל-0.1 M.

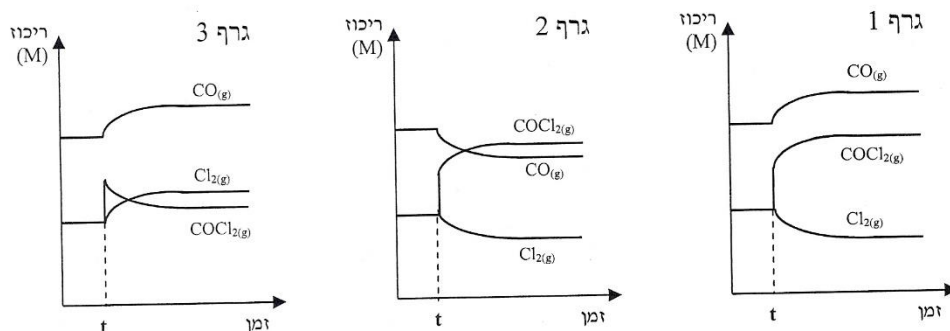
חשבו את קבוע שיווי המשקל החדש.

ד. האם התגובה הישירה היא אקסותרמית או אנדותרמית?

**18** נתונה מערכת שנמצאת בשיווי משקל  $CO_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons COCl_{2(g)}$ .

בזמן  $t$  מעלים את הריכוז של  $COCl_{2(g)}$  ללא שינוי ביתר הפרמטרים.

איזה מהגרפים הבאים מתאר נכון את התנהגות המערכת בעקבות ההפרעה:



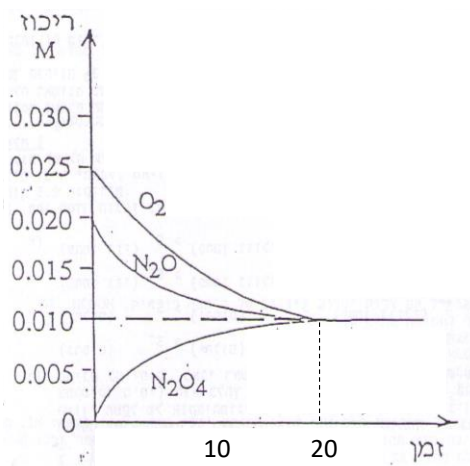
א. גרף 1.

ב. גרף 2.

ג. גרף 3.

ד. גרפים 1 ו-3.

**19** לכלי שנפחו 5.0 ליטר, המוחזק בטמפרטורה 380 K, הוכנסו  $\text{N}_2\text{O}_{(g)}$  ו-  $\text{O}_{2(g)}$ . הגרף שלהלן מתאר את השינויים בריכוזי החומרים (ביחידות מול לליטר) ביחס לזמן (בדקות):

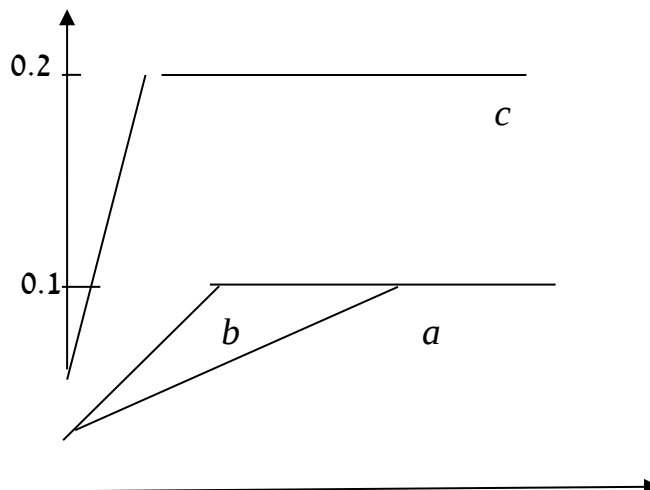


- א. רשמו את התגובה המתרחשת בכלי התגובה.
- ב. חשבו את ערכו של קבוע שיווי המשקל לפי הריכוזים.
- ג. האם הלחץ הכללי במערכת מרגע הכנסת החומרים ועד השגת שיווי המשקל יגדל, יקטן או לא ישתנה? נמקו.
- ד. ברגע מסוים חיברו למערכת זו כלי נוסף, שנפחו 5 ליטר והוא נשמר בטמפרטורה של 380 K, ובו נמצא חמצן בריכוז של 0.01 M. תארו באופן גרפי את השתנות הלחץ החלקי של החמצן ושל  $\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$  במשך 30 דקות מרגע החיבור של הכלי הנוסף. נמקו.



ונתונים שלושה כלים  $a$ ,  $b$  ו- $c$ . נפחו של כל כלי 1 ליטר, ולכל כלי הכניסו 0.2 מול  $\text{H}_{2(g)}$  ו-0.2 מול  $\text{CO}_{2(g)}$ . להלן תיאור גרפי של השתנות הריכוז של  $\text{CO}_{(g)}$  עם הזמן, המתאים לכל אחת מהמערכות  $a$ ,  $b$  ו- $c$ .

ריכוז  $\text{CO}$  (M)



זמן (דקות)

- א. חשבו את ערכו של  $K$  עבור המערכת  $a$ .
- ב. במה שונה מערכת  $a$ 
  1. ממערכת  $b$  ? הסבירו מהו הגורם להבדל.
  2. ממערכת  $c$  ? הסבירו מהו הגורם להבדל.
- ג. האם התגובה משמאל לימין היא אקסותרמית או אנדותרמית? נמקו.

תשובות סופיות

- (1) ב
- (2) א
- (3) ב
- (4) ג
- (5) ד
- (6) א.  $P(\text{PCl}_5) = 0.15 \text{ bar}$ ;  $P(\text{PCl}_3) = P(\text{Cl}_2) = 1.31 \text{ bar}$   
 2. 89.73%    3. 11.44    ב. יגדל.  
 (7) א  
 (8) ב
- (9) א.1. ירדה.    2.  $P(\text{N}_2\text{O}_4) = 0.8 \text{ bar}$ ;  $P(\text{NO}_2) = 1.08 \text{ bar}$   
 ב.1.  $P(\text{N}_2\text{O}_4) = 0.54 \text{ bar}$ ;  $P(\text{NO}_2) = 1.6 \text{ bar}$     2. 0.21  
 ג.1. אקסותרמי.    2. קצר.  
 (10) ב  
 (11) א. תגדל.  
 ב.  $C(\text{SbCl}_5) = 0.033 \text{ M}$ ;  $C(\text{Cl}_2) = 0.047 \text{ M}$ ;  $C(\text{SbCl}_3) = 0.017 \text{ M}$   
 ג. אקסותרמי.  
 (12) 8.03 גרם.  
 (13) ג  
 (14) ד
- (15) א.  $C(\text{SO}_2) = 1 \text{ M}$ ;  $C(\text{O}_2) = 0.5 \text{ M}$     ב. 11.25    ג. ירד  
 ד. נוטה ליצור תוצרים    ה. אנדותרמי.
- (16) א. 78.12    ב.  $2.198 \cdot 10^{-4}$
- (17) א. מגיבים.    ב.  $[C] = 0.105 \text{ M}$ ;  $[M] = 0.015 \text{ M}$   
 ג. 0.2    ד. אנדותרמי.  
 (18) ג
- (19) א.  $3\text{O}_{2(g)} + 2\text{N}_2\text{O}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{N}_2\text{O}_{4(g)}$     ב.  $10^6$     ג. הלחץ יקטן.  
 ד. הלחץ של  $\text{N}_2\text{O}_4$  ירד ונשאר קבוע; הלחץ של החמצן לא השתנה.
- (20) א. 1    ב.1. בכלי b היה זרז.    2. בכלי c הטמפרטורה גבוהה יותר.  
 ג. אנדותרמי.