

מבוא לכימיה אנליטית

פרק 6 - שיווי משקל כימי

תוכן העניינים

1. שיווי משקל כימי.....1

שיווי משקל כימי

שאלות

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

לטמפרטורה של 480°C והגיעה לשיווי-משקל לפי המשוואה



בשיווי משקל, ריכוז הגז Cl_2 הוא 0.03 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 CO_2 בשיווי משקל:

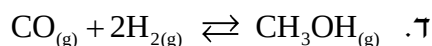
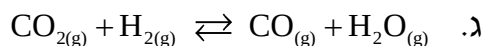
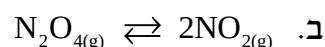
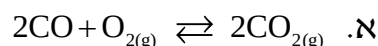
א. דחיסת המערכת והורדת הטמפרטורה.

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: $\text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} \quad \Delta H^0 = 180.8 \text{ kJ}$. 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.
- ΔH^0 עשוי לגדול וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתקצר.
- עשוי לקטון וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתארך.
- K ו- ΔH^0 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 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.

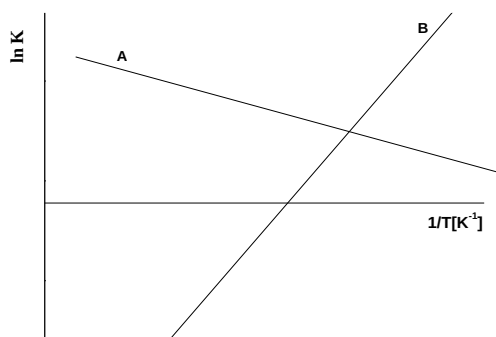
- חשבו את אחוז הפירוק של PCl_5 בתנאים אלה.
- חשבו את ה- K_p בטמפרטורה של 550 K.

ב. אם נבצע את התגובה בטמפרטורה של 400 K (כאשר כל מרכיבי המערכת במצב גזי), האם אחוז הפירוק של 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 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 NO_2 ו- N_2O_4 גזי. הלחץ ההתחלתי של N_2O_4 שווה ל-1.30 bar ושל 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 N_2O_4 עלתה או ירדה במהלך התגובה. נמקו.
- חשבו את הלחצים החלקיים של N_2O_4 ושל 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- 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°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 (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°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 ציקלוקסאן (C) ומתיל ציקלופנטאן (M) הם איזומרים. קבוע שיווי המשקל של התגובה $C_{(aq)} \rightleftharpoons M_{(aq)}$, הוא 0.14 ב- 25°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°C . כעבור זמן-מה המערכת

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

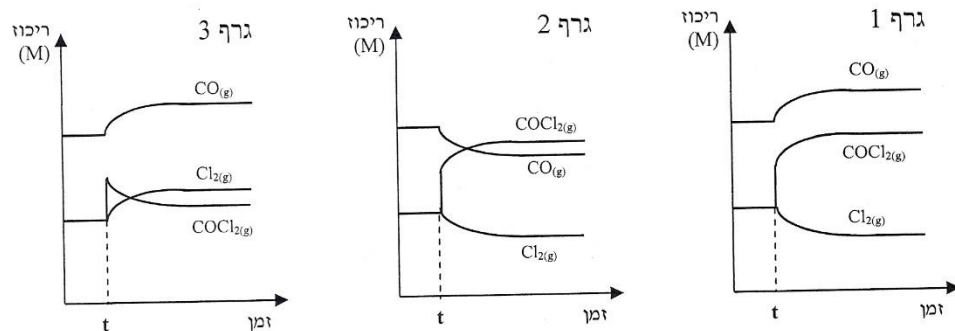
חשבו את קבוע שיווי המשקל החדש.

ד. האם התגובה הישירה היא אקסותרמית או אנדותרמית?

18 נתונה מערכת שנמצאת בשיווי משקל $\text{CO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(g)}$.

בזמן t מעלים את הריכוז של $\text{COCl}_{2(g)}$ ללא שינוי ביתר הפרמטרים.

איזה מהגרפים הבאים מתאר נכון את התנהגות המערכת בעקבות ההפרעה:



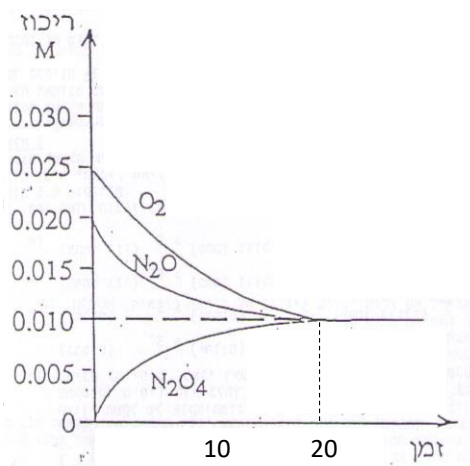
א. גרף 1.

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):

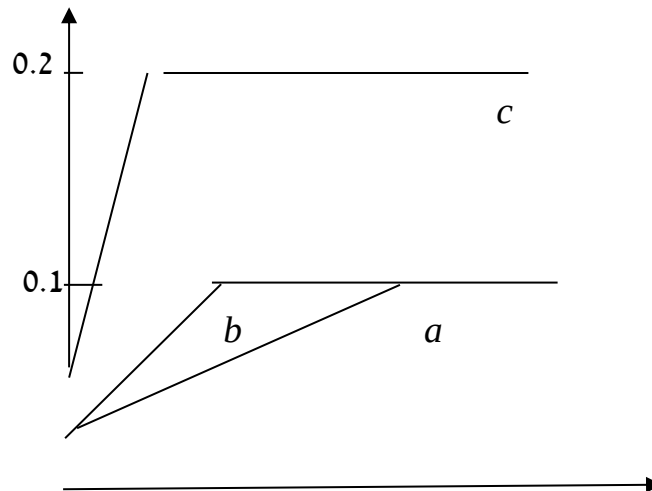


- רשמו את התגובה המתרחשת בכלי התגובה.
- חשבו את ערכו של קבוע שיווי המשקל לפי הריכוזים.
- האם הלחץ הכללי במערכת מרגע הכנסת החומרים ועד השגת שיווי המשקל יגדל, יקטן או לא ישתנה? נמקו.
- ברגע מסוים חיברו למערכת זו כלי נוסף, שנפחו 5 ליטר והוא נשמר בטמפרטורה של 380 K, ובו נמצא חמצן בריכוז של 0.01 M. תארו באופן 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 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 N_2O_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.