# כימיה כללית ואנליטית

## פרק 6 - שיווי משקל כימי

### תוכן העניינים

1. שיווי משקל כימי ..... 1

# שיווי משקל כימי

## שאלות

**1)** תערובת המכילה $HCl_{(g)}$, בריכוז $0.075\,M$ ו-$O_{2(g)}$ בריכוז $0.033\,M$, חוממה לטמפרטורה של $480°C$ והגיעה לשיווי-משקל לפי המשוואה

$$4HCl_{(g)} + O_{2(g)} \leftrightarrow 2Cl_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

בשיווי משקל, ריכוז הגז כלור $(Cl_2)$ הוא $0.03\,M$.

מהו ערכו של קבוע שיווי המשקל $K_c$?

א. $1.1\cdot10^{-3}$

ב. 889

ג. 0.13

ד. 480

**2)** נתונה ריאקציה בשיווי משקל: $\Delta H^0 = 173\frac{kJ}{mol}$ $CO_{2(g)} + C_{(s)} \leftrightarrow 2CO_{(g)}$.

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 $Ne_{(g)}$ והעלאת הלחץ הכללי.

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

א. $2CO + O_{2(g)} \rightleftarrows 2CO_{2(g)}$

ב. $N_2O_{4(g)} \rightleftarrows 2NO_{2(g)}$

ג. $CO_{2(g)} + H_{2(g)} \rightleftarrows CO_{(g)} + H_2O_{(g)}$

ד. $CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftarrows CH_3OH_{(g)}$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**4)** נתונה תגובת שיווי משקל: $N_{2(g)}+O_{2(g)} \rightleftarrows 2NO_{(g)} \quad \Delta H^0=180.8\,kJ$.
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**:

א. $K$ עשוי לגדול וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתארך.
ב. $\Delta H^0$ עשוי לגדול וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתקצר.
ג. $K$ עשוי לקטון וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתארך.
ד. $K$ ו-$\Delta H^0$ עשויים לגדול וזמן השגת שיווי המשקל עשוי להתקצר.

**5)** נתונה תגובת שיווי משקל $2SO_{3(g)} \rightleftarrows 2SO_{2(g)}+O_{2(g)}$, 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 $SO_{3(g)}$ שווה ל-$1.2$ בר, הלחץ החלקי של $O_{2(g)}$ שווה ל-$0.6$ בר והלחץ החלקי של $SO_{2(g)}$ שווה ל-$1.2$ בר.
מהו המשפט **הנכון** לגבי המערכת במצב של שיווי משקל:

א. הלחץ החלקי של $SO_{3(g)}$ קטן מ-$1.2$ בר.
ב. הלחץ החלקי של $SO_{2(g)}$ גדול מ-$1.2$ בר.
ג. הלחץ החלקי של $O_{2(g)}$ גדול מ-$0.6$ בר.
ד. 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, $PCl_{5(g)} \rightleftarrows PCl_{3(g)}+Cl_{2(g)}$.

א. 1. חשבו את הלחץ החלקי (ביחידות bar) של כל מרכיבי המערכת במצב של שיווי המשקל.
2. חשבו את אחוז הפירוק של $PCl_5$ בתנאים אלה.
3. חשבו את ה-Kp בטמפרטורה של $550\,K$.

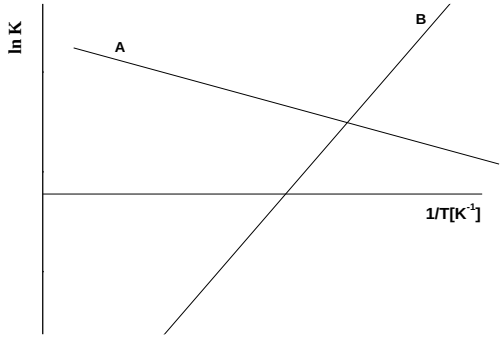
ב. אם נבצע את התגובה בטמפרטורה של $400\,K$ (כאשר כל מרכיבי המערכת במצב גזי), האם אחוז הפירוק של $PCl_5$ יהיה קטן, גדול יותר או שווה לזה שחושב בסעיף א.2? נתון גם שבעת התהליך הישיר הכלי מתחמם. נמקו **ללא** חישובים.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**7)** לתגובה $2A_{(g)} \rightleftarrows B_{(g)} + 3C_{(g)}$ בטמפרטורת החדר $Kc = 2.5$. 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) $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftarrows 2NH_{3(g)} \quad \Delta H^0 < 0$
2) $N_2O_{4(g)} \rightleftarrows 2NO_{2(g)} \quad \Delta H^0 < 0$
3) $2SO_{3(g)} \rightleftarrows 2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H^0 > 0$

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. $A = 2,\ B = 1$


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**9)** לכלי **סגור**, בנפח 6.0 ליטר ובטמפרטורה של $380\,K$, הוכנסו גז $N_2O_4$ ו- $NO_2$ גזי. הלחץ ההתחלתי של $N_2O_4$ שווה ל- $1.30\,bar$ ושל $NO_2$, $0.08\,bar$.
בין הגזים מתקיימת תגובת שיווי המשקל $2NO_{2(g)} \rightleftarrows N_2O_{4(g)}$.
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 |

א. 1. האם מסה של $N_2O_4$ עלתה או ירדה במהלך התגובה. נמקו.
2. חשבו את הלחצים החלקיים של $N_2O_4$ ושל $NO_2$ בזמן $t = 2\,min$.

ב. 1. חשבו את הלחצים החלקיים של הגזים **במצב שיווי משקל**.
2. רשמו ביטוי לקבוע שיווי המשקל לפי הלחצים, וחשבו את ערכו של קבוע שיווי המשקל לפי הלחצים בתנאים אלה.

ג. בדקה ה-14 הכלי חומם, וכתוצאה מכך, ריכוז ה- $NO_2$ עלה.
1. האם התהליך הישיר הוא אקסותרמי או אנדותרמי? נמקו.
2. האם זמן השגת שיווי המשקל החדש קצר, ארוך יותר, או שווה לזה שהיה? נמקו.

**10)** בתגובת שיווי המשקל $2A_{(g)} \rightleftarrows 2B_{(g)} + C_{(g)}$, 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 | $1.35\cdot10^{-1}$ | $1.77\cdot10^{-2}$ | $1.25\cdot10^{-3}$ |

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

מהי הקביעה **הלא** נכונה:
א. 1 בלבד.
ב. 3 בלבד.
ג. 2 ו-3.
ד. 1 ו-3.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**11)** נתונה תגובת שיווי המשקל $SbCl_{5(g)} \rightleftarrows SbCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$, כאשר $K_c\left(T = 520K\right) = 0.025$.

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

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

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

ג. תגובת שיווי המשקל $SbCl_{5(g)} \rightleftarrows SbCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$ נחקרה בטמפרטורה של $500\,K$. לתוך כלי ריק, בנפח 100 ליטר ושמוחזק בטמפרטורה של $500\,K$ הוכנסו 2.0 מול של $SbCl_{3(g)}$, 3.0 מול של $SbCl_{5(g)}$ ו-5.0 מול של $Cl_{2(g)}$. אחרי זמן מסוים המערכת הגיעה למצב של שיווי משקל.

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

האם תגובת פירוק של $SbCl_{5(g)}$ ל-$SbCl_{3(g)}$ ול-$Cl_{2(g)}$ היא אנדותרמית או אקסותרמית? נמקו.

**12)** שני מכלים נמצאים בטמפרטורה של $450^0C$. בראשון, שנפחו 5 ליטר, קיים שיווי המשקל $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftarrows 2NH_{3(g)}$. הלחצים החלקיים שנמדדו בו הם:

$P_{N2} = 11.85\,bar,\ P_{H2} = 23.70\,bar,\ P_{NH3} = 35.55\,bar$.

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

כמה גרם חנקן צריך להוסיף למיכל זה, כדי שבשיווי המשקל 60% מהמימן יהפכו לאמוניה $\left(NH_3\right)$ 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 ה**מתאים** ביותר שמבטא את קבוע שיווי המשקל:

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

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

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

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


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**14)** נתונה תגובה שהסתיימה בשיווי המשקל $A_{(g)}+2B_{(g)} \rightleftarrows 3C_{(g)},\ \Delta H^0<0$.

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 ה**לא 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 $2SO_{2(g)}+O_{2(g)} \rightleftarrows 2SO_{3(g)}$.

**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: $SO_{3(g)}:0.6\,M,\ \ O_{2(g)}:0.2\,M,\ \ SO_{2(g)}:0.4\,M$.

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 $SO_{3(g)}:0.3M,\ \ O_{2(g)}:0.1M,\ \ SO_{2(g)}:0.4\,M$.

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?


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**16)** סטודנטית מכניסה לגליל גז $A$ ב-10 אטמוספירות וב-$25°C$. כתוצאה מכך, בגליל מתרחשת התגובה הבאה, שמסתיימת בהיווצרות מצב של שיווי משקל:

$A_{(g)} \rightleftarrows 2B_{(g)} + 3C_{(g)}$. 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 $C_{(aq)} \rightleftarrows M_{(aq)}$, הוא 0.14 ב-$25°C$.

א. חוקרת מכינה תמיסה של $0.02\,M$ $C_{(aq)}$ ו-$0.1M$ $M_{(aq)}$. האם המערכת נמצאת בשיווי משקל? אם לא, האם ייווצרו עוד מגיבים או תוצרים?

ב. מהם ריכוזי ה-$C$ וה-$M$ בשיווי המשקל?

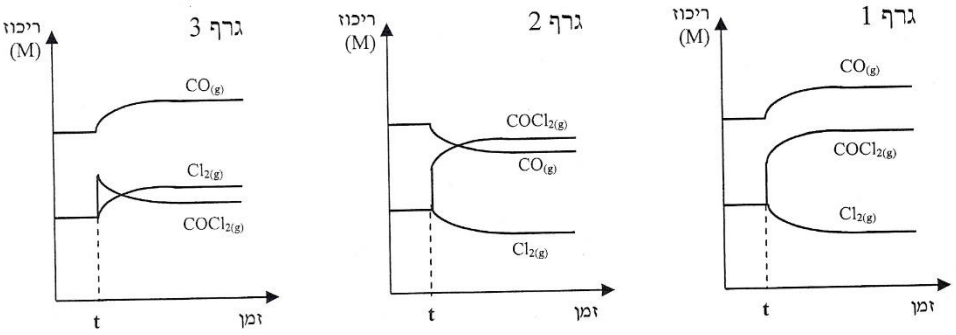
ג. המערכת חוממה במצב שיווי משקל ל-$50°C$. כעבור זמן-מה המערכת חזרה לשיווי המשקל שבו הריכוז של $C$ שווה ל-$0.1M$. חשבו את קבוע שיווי המשקל החדש.

ד. האם התגובה הישירה היא אקסותרמית או אנדותרמית?

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

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.

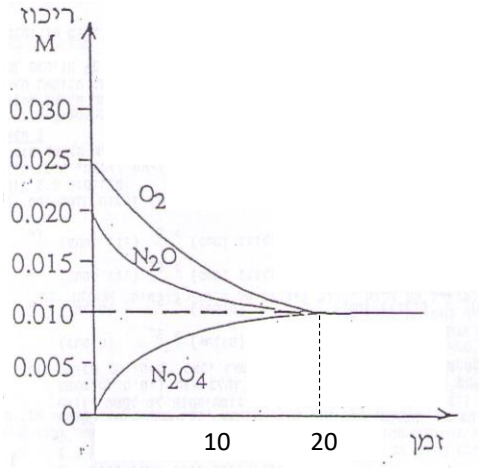
ב. גרף 2.

ג. גרף 3.

ד. גרפים 1 ו-3.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**19)** לכלי שנפחו 5.0 ליטר, המוחזק בטמפרטורה $380\,K$, הוכנסו $N_2O_{(g)}$ ו-$O_{2(g)}$.
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.

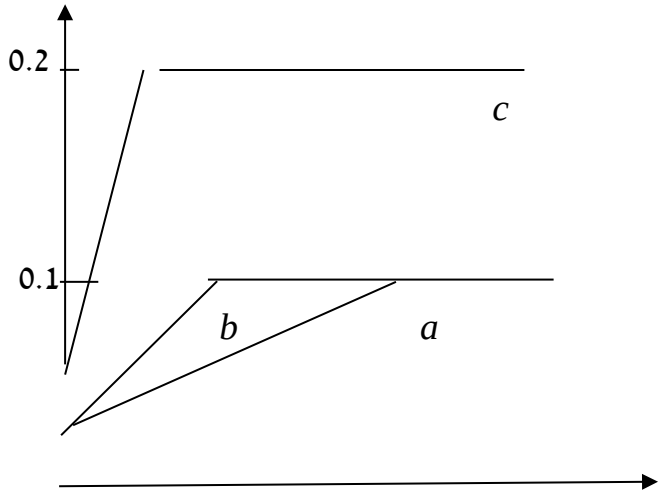
ג. האם הלחץ הכללי במערכת מרגע הכנסת החומרים ועד השגת שיווי המשקל יגדל, יקטן או לא ישתנה? נמקו.

ד. ברגע מסוים חיברו למערכת זו כלי נוסף, שנפחו 5 ליטר והוא נשמר בטמפרטורה של $380\,K$, ובו נמצא חמצן בריכוז של $0.01M$.
תארו באופן גרפי את השתנות הלחץ החלקי של החמצן ושל $N_2O_{4(g)}$ במשך 30 דקות מרגע החיבור של הכלי הנוסף. נמקו.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

**20)** נתונה תגובה הפיכה $H_{2(g)} + CO_{2(g)} \Leftrightarrow H_2O_{(g)} + CO_{(g)}$,
ונתונים שלושה כלים $a$, $b$ ו-$c$. נפחו של כל כלי 1 ליטר, ולכל כלי הכניסו 0.2 מול $H_{2(g)}$ ו- 0.2 מול $CO_{2(g)}$. להלן תיאור גרפי של השתנות הריכוז של $CO_{(g)}$ עם הזמן, המתאים לכל אחת מהמערכות $a$, $b$ ו-$c$.

**ריכוז** (M) CO




**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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©

## תשובות סופיות

**1)** ב

**2)** א

**3)** ב

**4)** ג

**5)** ד

**6)** א. 1. $P(PCl_5)=0.15\,bar;\ P(PCl_3)=P(Cl_2)=1.31\,bar$

2. 89.73% 3. 11.44 ב. יגדל.

**7)** א

**8)** ב

**9)** א. 1. ירדה. 2. $P(N_2O_4)=0.8\,bar;\ P(NO_2)=1.08\,bar$

ב. 1. $P(N_2O_4)=0.54\,bar;\ P(NO_2)=1.6\,bar$ 2. 0.21

ג. 1. אקסותרמי. 2. קצר.

**10)** ב

**11)** א. תגדל.

ב. $C(SbCl_5)=0.033\,M;\ C(Cl_2)=0.047\,M;\ C(SbCl_3)=0.017\,M$

ג. אקסותרמי.

**12)** 8.03 גרם.

**13)** ג

**14)** ד

**15)** א. $C(SO_2)=1M;\ C(O_2)=0.5\,M$ ב. 11.25 ג. ירד

ד. נוטה ליצור תוצרים ה. אנדותרמי.

**16)** א. 78.12 ב. $2.198\cdot10^{-4}$

**17)** א. מגיבים. ב. $[M]=0.015\,M;\ [C]=0.105\,M$

ג. 0.2 ד. אנדותרמי.

**18)** ג

**19)** א. $3O_{2(g)}+2N_2O_{(g)}\Leftrightarrow 2N_2O_{4(g)}$ 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.


לפתרון מלא בסרטוני וידאו היכנסו לאתר www.GooL.co.il
כתבה ופתרה – ד"ר אבלינה ברט ©