

יסודות הכימיה ב



תוכן העניינים

1.	תכונות הגזים	1
2.	תרמוכימיה	8
3.	חמצון-חיזור	16
4.	שיווי משקל כימי	28
5.	שיווי משקל בתגובת שיקוע של חומר יוני	38
6.	מצבי הצבירה של החומר והמעברים ביניהם	42
7.	תרמודינמיקה	46

יסודות הכימיה ב

פרק 1 - תכונות הגזים

תוכן העניינים

1. חוקי הגזים וחישובים סטויכיומטריים.....1
2. תנועה מולקולרית - דיפוזיה ואפוזיה.....6

חוקי הגזים וחישובים סטויכיומטריים

שאלות

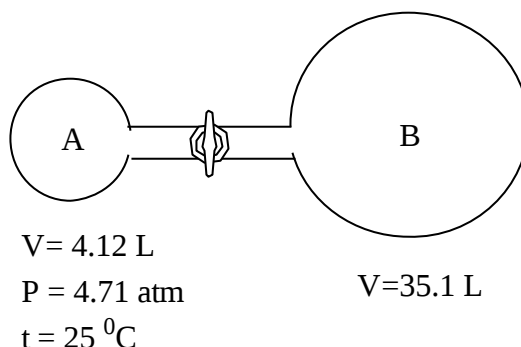
- 1) בכלי סגור A ישנם 5.6 גרם של חנקן, $N_{2(g)}$, ובכלי סגור B 5.6 גרם של אתן, $C_2H_{4(g)}$, כאשר שני הגזים נמצאים באותה טמפרטורה. נתון גם שהלחץ בכלי A כפול מהלחץ בכלי B. בהנחה והגזים הם אידיאליים, מהו המפשט הנכון?
- א. מספר המולים של חנקן בכלי A כפול ממספר המולים של אתן בכלי B.
 - ב. ריכוז הגז בכלי A שווה לריכוז הגז בכלי B.
 - ג. הנפח של כלי A גדול פי 2 מהנפח של כלי B.
 - ד. הנפח של כלי A קטן פי 2 מהנפח של כלי B.
- 2) הריאקציה $4FeS_{2(s)} + 11O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} + 8SO_{2(g)}$ התרחשה ב- $25^\circ C$. מה יהיה הלחץ הסופי שנקבל בכלי שנפחו 30 ליטר, אם נתחיל מ-300 גרם של FeS_2 ו-100 גרם חמצן?
- א. 1.85 atm (לחץ אטמוספירי)
 - ב. 6.52 atm
 - ג. 0.15 atm
 - ד. 44.86 atm
- 3) 10 גרם גז בוטאן, C_4H_{10} , נשרפו שריפה מלאה. מה יהיה נפח הגז CO_2 שהתקבל בסוף התהליך, בתנאי STP?
- א. 15.4 ליטר.
 - ב. 22.4 ליטר.
 - ג. 0.22 ליטר.
 - ד. 3.9 ליטר.
- 4) תערובת של גזים מכילה 25% N_2 , 50% O_2 ו-25% Cl_2 , באחוזים משקליים. בתנאי לחץ וטמפרטורה סטנדרטיים, הלחץ החלקי של:
- א. החמצן שווה ל-380 mm Hg.
 - ב. החנקן שווה ל-0.25 atm.
 - ג. הכלור גדול מ-0.25 atm.
 - ד. הכלור קטן מ-0.25 atm.

- 5) בתגובה $I_{2(g)} + 3Cl_{2(g)} \rightarrow 2ICl_{3(g)}$ השתמשו ב-12.6 ליטר של $Cl_{2(g)}$ ובכמות מספקת של $I_2(g)$. כמה ליטר של $ICl_{3(g)}$ ניתן לקבל?
הניחו שכל הגזים מתקבלים באותם תנאי לחץ וטמפרטורה.
- א. 4.2 ליטר.
 - ב. 8.4 ליטר.
 - ג. 18.9 ליטר.
 - ד. 22.4 ליטר.
- 6) כימאית מכינה דגימת גז הליום בלחץ, בטמפרטורה ובנפח מסוימים, ולאחר מכן מסלקת מחצית ממולקולות הגז.
איזה שינוי צריך להתחולל בטמפרטורה, כדי שהלחץ והנפח יישארו בלי שינוי?
- 7) בקבוק שנפחו $2.6 \mu l$ מכיל גז CO_2 ב- $15^\circ C$, כאשר הלחץ בבקבוק הוא 2 טור.
מהו מספר האטומים שנמצאים בבקבוק?
- 8) לגליל A (עם בוכנה) שנפחו 3.0 ליטר, הכניסו דוגמת גז (פחמימן) שמסתה 2.55 גרם. הכלי נמצא ב- $82^\circ C$ והלחץ שמפעילה הדוגמה על דפנות הכלי הוא 0.95 אטמוספירות.
- א. מהי המסה המולרית של הגז?
 - ב. מקררים את הכלי ל- $0^\circ C$. מה יקרה לבוכנה? הסבירו.
- 9) סדרו את הגזים הבאים בסדר עולה לפי צפיפותם: NO , NH_3 , N_2 .
הטמפרטורה והלחץ בכל הדגימות שווים.
- 10) צפיפותה של תרכובת גזית היא 0.943 גרם/ליטר בטמפרטורה של 298 K ובלחץ של 53.1 kPa.
א. מהי המסה המולרית של התרכובת?
ב. מה תהיה צפיפותה בלחץ של 1.5 אטמוספירות וב-298 K?
- 11) גז N_2O נאסף מעל פני המים. נפח הגז הלח היה 126 מ"ל ב- $21^\circ C$ ובלחץ של 755 טור.
מה יהיה נפחה של כמות שווה של N_2O יבש, אילו נאסף ב-755 טור וב- $21^\circ C$?
לחץ של אדי מים הוא 18.65 טור ב- $21^\circ C$.

12 בתגובה בין $(\text{CH}_3)_2\text{N}_2\text{H}_2$ מוצק ועודף של N_2O_4 נוזלי, נוצרים CO_2 גזי, חנקן גזי ואדי מים. הגזים נאספו בכלי סגור עד שהגיעו ללחץ של 2.5 אטמוספירות ולטמפרטורה של 400 K.

מה היו הלחצים החלקיים של N_2 , CO_2 ו- H_2O , בתנאים אלה?

13 נתונה המערכת



בגולה A מצוי גז ניאון, $\text{Ne}_{(g)}$, ובגולה B ישנו ריק (ואקום). פתחו את הברז המחובר בין הגולות ונתנו לגז הניאון להתפשט, תוך שמירה על הטמפרטורה. א. מהו הלחץ הסופי במערכת (הזניחו את הנפח של הצנרת המחוברת בין שתי הגולות)?

ב. אם במקום הניאון היה בגולה A חמצן, $\text{O}_{2(g)}$, האם הלחץ הסופי במערכת היה גדול יותר, שווה, או קטן יותר מאשר הלחץ הסופי שקיבלתם בסעיף א? נמקו.

14 גז מסוים מסדרת הפריאונים מכיל את היסודות פחמן, כלור ופלואור באחוזים המשקליים 61.5% F, 23.0% Cl, 15.5% C.

נמצא שדוגמה של גז זה, במסה של 2.650 גרם, תופסת נפח של 428 מ"ל ב- 24.3°C ולחץ של 742 מ"מ כספית.

א. מהי הנוסחה האמפירית של הגז?

ב. מהי הנוסחה המולקולרית של הגז?

15 2 ליטר גז C_3H_8 עורבבו עם 5 ליטר גז חמצן, כאשר הנפחים נמדדו באותם תנאי לחץ וטמפרטורה. הגזים הגיבו ביניהם, וכתוצאה מכך נוצרו CO_2 גזי ומים נוזליים.

התעלמו מנפח המים הנוצרים, וקבעו את הנפח הסופי של הגזים בסוף התגובה. (תנאי הלחץ והטמפרטורה במהלך התגובה נשארו קבועים)

16 מיכל קשיח בנפח 5 ליטר מכיל 0.176 מול של גז NO ב-298 K. הוסיפו כמות של 0.176 מול של O_2 גזי למיכל והתרחשה תגובה שיצרה NO_2 גזי. חשבו את הלחץ הכולל ביחידות של טור, בסיום התגובה ב-298 K.

17) לצורך שריפה מלאה של תרכובת אורגנית A השתמשו ב-5 ליטר של $O_{2(g)}$, וכתוצאה מכך נוצרו 5 ליטר של $CO_{2(g)}$ ו-5 ליטר של $H_2O_{(g)}$, כאשר כל הנפחים נמדדו באותם תנאי לחץ וטמפרטורה.

- מהי הנוסחה האמפירית של תרכובת A? פרטו את החישובים.
- ידוע ש-2 ליטר של תרכובת A במצב גז כבדים פי 30 מי 2 ליטר של מימן גזי (כל הנפחים נמדדו באותם תנאי לחץ וטמפרטורה).
- קבעו את הנוסחה המולקולרית של תרכובת A. פרטו.

18) בפירוק של תחמוצת מסוימת בתנאי החדר (לחץ 1.0 אטמוספירה וטמפרטורה K 298) התקבלו 25 ליטר של חנקן גזי ו-37.5 ליטר של חמצן גזי. מהי הנוסחה האמפירית של התחמוצת:

- N_2O_3
- N_3O_2
- NO_3
- N_2O

19) בכלי א' יש 0.8 גרם של CH_4 , ובכלי ב' יש 1.4 גרם של C_2H_4 , כאשר הגזים נמצאים באותם תנאי לחץ וטמפרטורה. בחרו את ההיגד הלא נכון:

- הנפח של כלי א' שווה לזה של כלי ב'.
- מספר מולי אטומי המימן (H) בשני הכלים שווה.
- צפיפות הגז בכלי א' קטנה מצפיפות הגז בכלי ב'.
- מספר מולי אטומי הפחמן (C) בכלי א' שווה לזה שבכלי ב'.

20) גז ארסין, AsH_3 , נמצא במיכל שנפחו 500 מ"ל. הלחץ במיכל שווה ל-300 טור והטמפרטורה בו היא 223 K. כתוצאה מהחימום, הגז שבמיכל עובר פירוק, ותוצרי הפירוק הם $As_{(s)}$ וגז מימן. הלחץ בתום הפירוק שווה ל-408 טור, והטמפרטורה לאחר הפירוק שווה ל-223 K. חשבו את אחוז הארסין שהתפרק.

תשובות סופיות

- (1) ד
- (2) א
- (3) א
- (4) ד
- (5) ב
- (6) ירידה של פי 2.
- (7) $5.23 \cdot 10^{14}$ אטומים.
- (8) א. 26 גרם־מול. ב. תרד.
- (9) $\text{NH}_3 < \text{N}_2 < \text{NO}$
- (10) א. 44 גרם־מול. ב. 2.7 גרם־ליטר.
- (11) 122.88 מ"ל.
- (12) $P(\text{CO}_2) = 0.55 \text{ atm}$; $P(\text{N}_2) = 0.83 \text{ atm}$; $P(\text{H}_2\text{O}) = 1.11 \text{ atm}$
- (13) א. 0.49 אטמ'. ב. שווה.
- (14) א. C_2ClF_5 ב. C_2ClF_5
- (15) 4 ליטר.
- (16) 1.29 אטמ'.
- (17) א. CH_2O ב. $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$
- (18) א
- (19) ד
- (20) 67.27%

תנועה מולקולרית – דיפוזיה ואפוזיה

שאלות

- 1) לאיזה מבין הגזים הבאים (בהנחה של התנהגות אידיאלית) תהיה המהירות המולקולרית הממוצעת הנמוכה ביותר?
 - א. גז Cl_2 ב- 0°C .
 - ב. גז CF_4 ב- 100°C .
 - ג. גז HCl ב- -10°C .
 - ד. גז NH_3 ב- 25°C .
- 2) פחמימן, שנוסחתו האמפירית היא C_2H_3 , עבר באפוזיה דרך פקק נקבובי בזמן של 349 שניות. למספר שווה של חלקיקי Ar נדרשו 210 שניות כדי לעבור באפוזיה דרך הפקק, באותם תנאי לחץ וטמפרטורה. מהן המסה המולרית והנוסחה המולקולרית של הפחמימן?
- 3) 2.36 גרם זרחן (P_4) בערו בכלור (Cl_2), ותוצר התגובה היה 10.5 גרם זרחן כלורי. קצב האפוזיה של אדי התוצר היה ארוך פי 1.77 מזה של כמות שווה של CO_2 , באותם תנאי לחץ וטמפרטורה. מהן המסה המולרית והנוסחה המולקולרית של הזרחן הכלורי?
- 4) סטודנטית קיבלה דגימה גזית של חומר לא ידוע, והשתמשה במתקן אפוזיה כדי למדוד את המסה המולרית שלו. כאשר הכניסה למתקן CH_4 , מצאה ש-0.956 גרם עברו באפוזיה במשך 2.5 שעות בטמפרטורת החדר. בתנאים זהים התרחשה אפוזיה של 2.292 גרם של החומר הלא ידוע. מהי המסה המולרית של החומר הלא ידוע?
- 5) מיכל קשיח בנפח 5 ליטר מכיל 24.5 גרם של N_2 גזי ו-28 גרם של O_2 גזי.
 - א. חשבו את הלחץ הכולל של תערובת הגזים שבמיכל ב- 298 K .
 - ב. אם נוצר במיכל חריר קטנטן וחלק מתערובת הגזים יוצא דרך חריר זה, האם היחס בין המולים של N_2 ו- O_2 במיכל יעלה/ירד/לא ישתנה?

6) שלושה מקלרים, שכל אחד מהם מכיל גז אחר, נמצאים ב- 25°C ומחוברים ביניהם. יש להניח שהטמפרטורה לא משתנה ונפח הצינורות זניח. בטבלה הבאה נתונים על כל אחד מהמכלים:

מיכל 3	מיכל 2	מיכל 1	מיכל
O_2	N_2	Ar	סוג הגז
1.46 atm	0.908 atm	2.71 atm	לחץ בכלי
3 ליטר	2 ליטר	5 ליטר	נפח הכלי

- א. מהו הלחץ הסופי שישרור במערכת לאחר פתיחת השסתומים שמחברים בין המכלים?
- ב. מהו הלחץ החלקי של כל אחד משלושת הגזים לאחר פתיחת השסתומים?
- ג. חשבו את המהירות הממוצעת של כל אחד משלושת הגזים.
- ד. חשבו את האנרגיה הקינטית של כל אחד משלושת הגזים.

7) קצב האפוזיה של אמוניה דרך פתח קטן במתקן זכוכית הוא $3.5 \cdot 10^{-4}$ מול בזמן של 15.0 דקות ובטמפרטורה של 200°C . חשבו את מספר מולי התרכובת שיעברו דרך אותו הפתח בזמן של 25.0 דקות ובטמפרטורה של 200°C .

תשובות סופיות

- 1) א
- 2) 110.5 גרם/מול, C_8H_{12}
- 3) 138 גרם/מול, PCl_3
- 4) 92 גרם/מול
- 5) א. 8.55 אטמ'. ב. ירד.
- 6) א. 1.97 אטמ'. ב. $\text{O}_2 : 0.179 \text{ atm}$; $\text{N}_2 : 0.074 \text{ atm}$; $\text{Ar} : 0.554 \text{ atm}$
- ג. $\text{O}_2 : 481.83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $\text{N}_2 : 1.515 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $\text{Ar} : 430.96 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- ד. $\text{O}_2 : 668.62 \text{ J}$, $\text{N}_2 : 274.88 \text{ J}$, $\text{Ar} : 2.043 \text{ kJ}$
- 7) 0.000583 mol

יסודות הכימיה ב

פרק 2 - תרמוכימיה

תוכן העניינים

1. קביעת ערך השינוי באנתלפיה בעזרת השינויים בסביבה 8
2. קביעת ערך השינוי באנתלפיה בעזרת חוק הס 10

קביעת ערך שינוי האנתלפיה בעזרת השינויים בסביבה

שאלות

1) בשריפת 1 גרם של $C_2H_{4(g)}$ נפלטה אנרגיה שגרמה לחימום 300 גרם של מים

מ- $19^\circ C$ ל- $60^\circ C$. מהי האנתלפיה של שריפת $C_2H_{4(g)}$?

$$C_p = 4.2 \frac{J}{g \cdot ^\circ C}$$

החום הסגולי של מים נתון על ידי

2) חום השריפה של פחם הוא 6 kcal/g .

מהי מסת הפחם, שיוכל לספק בזמן שריפתו כמות חום שתספיק כדי להפוך 20 ק"ג קרח מוצק ב- $0^\circ C$ למים במצב גזי בטמפרטורה של $100^\circ C$?

$$c = 4.2 \frac{J}{g \cdot ^\circ C}; \Delta H_m^\circ = 6.06 \frac{kJ}{mol}; \Delta H_b^\circ = 40.7 \frac{kJ}{mol}$$

נתון עבור המים כי

3) בערבוב 100 מ"ל תמיסת $Pb(NO_3)_2$ בריכוז 0.2 M עם 100 מ"ל תמיסת KI

בריכוז 0.8 M, נוצר משקע והטמפרטורה עלתה ב- $1.5^\circ C$.

חשבו את שינוי האנתלפיה ΔH , לתגובת השיקוע.

$$c = 4.2 \frac{J}{g \cdot ^\circ C}$$

זכרו כי קיבול החום של מים הוא

4) כמות של 25.23 גרם מתנול (CH_3OH) קפאו, ו- 4.1 kJ חום נפלטו לסביבה.

מהי אנתלפיית ההיתוך של מתנול?

$$24.4 \frac{J}{Kmol}$$

5) קיבול החום של נחושת הוא

כמה חום נדרש, על מנת להעלות את הטמפרטורה של 120 גרם נחושת

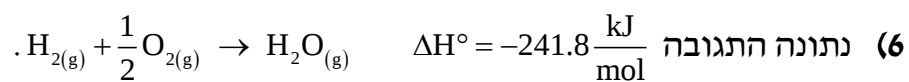
מ- 300 K ל- 340 K ?

א. $\sim 1844 \text{ J}$

ב. $\sim 117.1 \text{ kJ}$

ג. $\sim 976 \text{ J}$

ד. $\sim 2929 \text{ J}$



מהי כמות החום שנפלטת, ב-kJ, כאשר 36 גרם של גז מימן מגיבים עם 36 גרם של גז חמצן?

- א. 544 kJ
- ב. -8630 kJ
- ג. 272 kJ
- ד. -1088 kJ

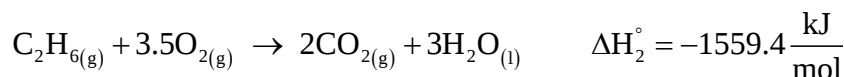
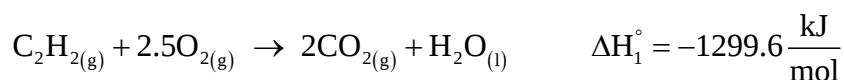
תשובות סופיות

- 1 $-1446.48 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
- 2 2395.06 גרם.
- 3 $-63 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
- 4 $5.2 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
- 5 א
- 6 א

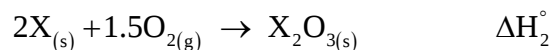
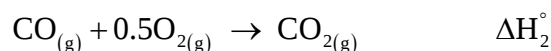
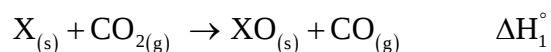
קביעת ערך שינוי האנתלפיה בעזרת חוק הס

שאלות

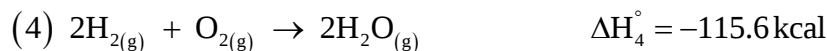
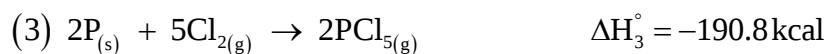
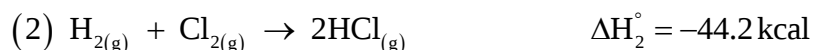
(1) נתונות התגובות הבאות :

חשבו את חום התגובה $\text{C}_2\text{H}_{2(g)} + 2\text{H}_{2(g)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_{6(g)}$.(2) פתחו ביטוי עבור ΔH לתגובה $2\text{XO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} \rightarrow \text{X}_2\text{O}_{3(s)} + \text{CO}_{(g)}$,

כאשר נתונים התהליכים הבאים :

(3) חשבו את אנתלפיית התגובה $\text{PCl}_{5(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)} \rightarrow \text{POCl}_{3(g)} + 2\text{HCl}_{(g)}$,

כאשר נתונים התהליכים הבאים :

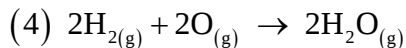
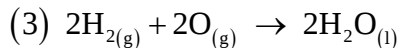
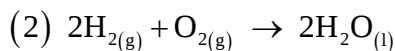
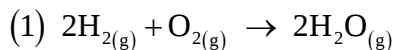
(4) חשבו את האנתלפיה של התגובה $2\text{MgO}_{(s)} + \text{Si}_{(s)} \rightarrow \text{SiO}_{2(s)} + \text{Mg}_{(s)}$,

כאשר נתון :

$$\Delta H_f^\circ (\text{SiO}_{2(s)}) = -20.33 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

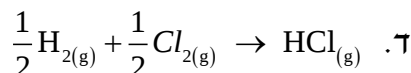
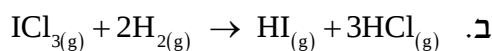
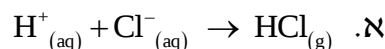
$$\Delta H_f^\circ (\text{MgO}_{(s)}) = -182.22 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

5) נתונים התהליכים האקסותרמיים הבאים :



איזה תהליך הוא האקסותרמי ביותר? נמקו.

6) איזו משוואה מבין המשוואות הבאות מתארת את תהליך היווצרות הגז HCl ?



7) במהלך מטבוליזם (תגובה עם חמצן) של גלוקוז ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(s)}$) נוצרים $\text{CO}_{2(g)}$

ו- $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, ונפלט חום שניתן לנצלו לביצוע עבודה בשיעור של 70%.

חשבו את מסת הגלוקוז שיש לשרוף, כשאישה מטפסת על הר ומשקיעה לשם כך עבודה בשיעור של 3300 kJ, כאשר נתון :

$$\Delta H_f^\circ (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(s)}) = -1273.3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_f^\circ (\text{CO}_{2(g)}) = -393.5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}_{(l)}) = -285.8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

א. 212 גרם.

ב. 510 גרם.

ג. 302.4 גרם.

ד. 728 גרם.



- א. מהי כמות האנרגיה המשתחררת, כאשר 0.256 מול של $\text{NF}_{3(g)}$ נוצרים מהיסודות הנ"ל בלחץ של אטמוספירה אחת ובטמפרטורה של 289 K?
- ב. היעזרו בטבלה הבאה וחשבו את אנתלפיית הקשר $F-F$.

הקשר	אנתלפיית הקשר $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$N \equiv N$	946
$F-N$	272

9 נתון כי

$$\Delta H_c^\circ(\text{CH}_3\text{COCH}_{3(l)}) = -1821.4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_c^\circ(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}_{(l)}) = -1816.7 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

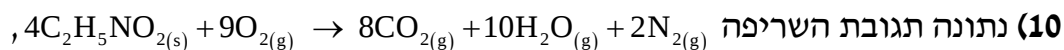
שינוי האנתלפייה (ΔH_c°) עבור התהליך $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COH}_{(l)} \rightarrow \text{CH}_3\text{COCH}_{3(l)}$, שווה ל:

א. $-4.7 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

ב. $-3638.1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

ג. $4.7 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

ד. $3638.1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$



וידוע כי חום השריפה של גליצין ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$) הוא $\Delta H_c^0 = -973.49 \frac{\text{kJ}}{\text{mole}}$.
חשבו את אנתלפיית ההיווצרות של גליצין, כאשר נתון:

Substance	$\Delta H_f^0, \text{kJ mol}^{-1}$
$\text{CO}_{2(g)}$	-393.5
$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	-285.8

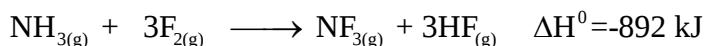
א. $-9900 \frac{\text{kJ}}{\text{mole}}$

ב. $-1258 \frac{\text{kJ}}{\text{mole}}$

ג. $-528 \frac{\text{kJ}}{\text{mole}}$

ד. אף תשובה אינה נכונה.

11) נתונות שתי תגובות:



א. 1. חשבו את ΔH^0 עבור התגובה $2\text{NH}_{3(g)} + 3\text{F}_{2(g)} \rightarrow \text{N}_{2(g)} + 6\text{HF}_{(g)}$

2. מהו $\Delta H_f^0(\text{NF}_{3(g)})$?

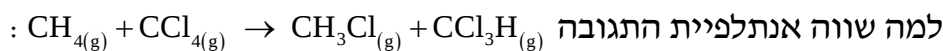
3. נתון כי $\Delta H_f^0(\text{HF}_{(g)}) = -271 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$, חשבו את $\Delta H_f^0(\text{NH}_{3(g)})$.

ב. נתונות אנתלפיות הקשר:

קשר	$H-F$	$F-F$	$N-H$
$\Delta H_D^0 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$	565	158	391

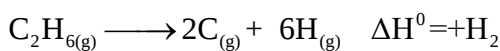
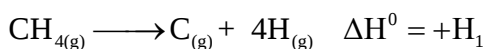
חשבו את אנתלפיית הקשר הממוצעת בין חנקן לפלואור ב- $\text{NF}_{3(g)}$.

(12) נתון כי $\Delta H_D^0(C-H) = 412 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ ו- $\Delta H_D^0(C-Cl) = 338 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$.



- א. 0
- ב. +74
- ג. -74
- ד. +850

(13) נתון :



והניחו שאנתלפיית הקשר $C-H$ במולקולת מתאן ($\text{CH}_{4(g)}$) שווה לזו שבמולקולת אתאן ($\text{C}_2\text{H}_{6(g)}$).

לפי נתוני השאלה, אנתלפיית הקשר $C-C$ במולקולת C_2H_6

שווה (ביחידות $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$) ל :

- א. $\frac{H_1}{4} + \frac{H_2}{6}$
- ב. $\frac{H_2}{6} - \frac{H_1}{4}$
- ג. $H_2 - \frac{H_1}{6}$
- ד. $H_2 - \frac{3H_1}{2}$

(14) תהליך שריפה של די מתיל אתר גזי (CH_3OCH_3) אקסותרמי יותר מתהליך

השריפה של אתנול גזי ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), כי :

- א. בין מולקולות הכוהל קיימים קשרי מימן.
- ב. נקודת הרתיחה של כוהל גבוהה מזו של אתר.
- ג. יש להשקיע יותר אנרגיה לניתוק קשרים בכוהל.
- ד. יש להשקיע יותר אנרגיה לניתוק קשרים באתר.

תשובות סופיות

(1) $-312 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

(2) $\Delta H_3 - 2\Delta H_1 - 3\Delta H_2$

(3) $-32.5 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$

(4) $344.11 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$

(5) ג

(6) ד

(7) ג

(8) א. 33.79 kJ ב. $140.67 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

(9) ג

(10) ג

(11) א. -1659.4 kJ 2. -62.35 kJ 3. $16.65.4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ ב. $281.33 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

(12) א

(13) ד

(14) ג

יסודות הכימיה ב

פרק 3 - חמצון-חיזור

תוכן העניינים

1. תגובת חמצון-חיזור - מושגי יסוד 16
2. יישום של תהליכי תמְזִיז - תאים חשמליים 20

תגובת חמצון-חיזור – מושגי יסוד

שאלות

1) נתונה שרשרת תגובות: $\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{A} \text{H}_2\text{SO}_3 \xrightarrow{B} \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3 \xrightarrow{C} \text{H}_2\text{S}$: מהי הקביעה הנכונה :

- א. A , B ו- C הם חומרים מחמצנים.
- ב. A , B ו- C הם חומרים מחזרים.
- ג. A ו- B הם חומרים מחזרים, אך C חומר מחמצן.
- ד. A ו- B הם חומרים מחמצנים, אך C חומר מחזר.

2) נתונים ההיגדים שמתייחסים לתגובה $3\text{N}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5 + 4\text{NO}$

1. 0.2 מול מחזר מסרו 0.4 מול אלקטרונים.
 2. 0.2 מול מחזר מגיבים עם 0.2 מולי מחמצן.
 3. בתהליך זה N_2O_3 הוא מחמצן ומחזר.
 4. 0.1 מול מחמצן קיבלו 0.2 מול אלקטרונים.
 5. אף אחד מההיגדים הוא לא נכון.
- אילו מההיגדים נכונים :

- א. 1 ו-4.
- ב. 2 ו-3.
- ג. 5 בלבד.
- ד. 3 ו-4.
- ה. 3 בלבד.

3) נתונה תגובת חמצון-חיזור: $2\text{NO}_{(g)} + 2\text{H}_{2(g)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(g)} + \text{N}_{2(g)}$: מספר האלקטרונים שעוברים ממחזר למחמצן בתגובה זו הוא :

- א. 1
- ב. 2
- ג. 3
- ד. 4

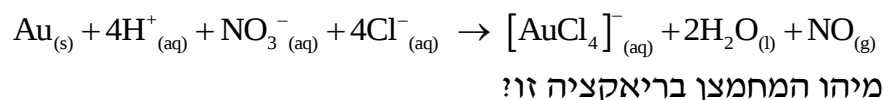
4) מספר החמצון של היסוד vanadium במינרל $\text{Rb}_4\text{Na}[\text{HV}_{10}\text{O}_{28}]$ הוא :

- א. -6
- ב. +8
- ג. +3
- ד. +5

5) בריאקציה מסוימת היון SO_3^{2-} משתנה והופך ליון $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$. לפיכך, ניתן לומר ש:

- א. אטומי הגופרית עוברים חמצון.
- ב. אטומי הגופרית הם המחמצנים.
- ג. אטומי החמצן עוברים חיזור.
- ד. שינוי זה איננו חלק מתהליך חמצון חיזור.

6) זהב מגיב עם תערובת של חומצה כלורית וחומצה חנקתית בהתאם למשוואה:



- א. Au
- ב. H^+
- ג. NO_3^-
- ד. Cl^-

7) סמנו את התשובה שבה מספר החמצון של היסוד המסומן בקו ב אינו נכון:

- א. MnO_2 , 4+
- ב. SO_3^{2-} , 4+
- ג. ClO_3^- , 7+
- ד. Cr_2O_3 , 3+

8) איזו מבין התגובות הבאות איננה תגובת חמצון-חיזור?

- א. $\text{MnO}_4^- + 5\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^+ \rightarrow 5\text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$
- ב. $\text{Au} + 4\text{H}^+ + \text{NO}_3^- + 4\text{Cl}^- \rightarrow [\text{AuCl}_4]^- + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NO}$
- ג. $6\text{HF} + \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_3\text{AlF}_6 + 6\text{H}_2\text{O}$
- ד. $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

9) ל-50 מ"ל תמיסת CuBr_2 , בריכוז 0.4 M , הזרימו 2.5 ליטר כלור גזי בתנאי החדר.

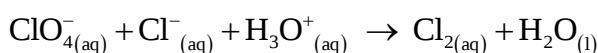
- א. רשמו ניסוח התהליך.
- ב. חשבו את מס' מולי האלקטרונים שהשתתפו בתהליך.
- ג. 1. לתמיסה שהתקבלה נוספה תמיסת AgNO_3 . מהו המשקע שיתקבל? רשמו ניסוח התהליך.
2. איזה נפח תמיסת 0.1 M AgNO_3 יידרש לשיקוע מלא? פרטו.
- ד. לאחר סינון המשקע, הוסף מגנזיום לתמיסה.
 1. רשמו ניסוח לתהליך שהתרחש.
 2. מהו מספר מולי האלקטרונים שהשתתפו בתהליך הנ"ל? (הניחו שכל החומרים הגיבו עד הסוף)

10) להלן שני ניסויים:

- בניסוי 1 הוסיפו גז כלור לתמיסת נחושת ברומית (CuBr_2) בריכוז 1 M , וכתוצאה מכך התרחשה תגובה.
- בניסוי 2 הוסיפו אלומיניום ($\text{Al}_{(s)}$) לתמיסת נחושת ברומית (CuBr_2) בריכוז 1 M , וכתוצאה מכך והתרחשה תגובה.
- א. עבור כל ניסוי:
 1. ציינו מהו המחמצן ומהו המחזור.
 2. נסחו ואזנו את תגובת חמצון-חיזור.
- להלן שני ניסויים נוספים:

- בניסוי 3 הוסיפו נחושת ($\text{Cu}_{(s)}$) לתמיסת AgNO_3 בריכוז 1 M והתרחשה התגובה $\text{Cu}_{(s)} + \text{Ag}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Cu}^{+2}_{(aq)} + \text{Ag}_{(s)}$.
- בניסוי 4 הוסיפו אלומיניום ($\text{Al}_{(s)}$) לתמיסת KCl(aq) בריכוז 1 M , ולא התרחשה תגובה.
- ב. 1. דרגו את היסודות Cu , Al , K , Ag על פי נטייתם לחזור.
- 2. האם תתרחש תגובה בין תמיסת AgNO_3 ובין $\text{Al}_{(s)}$? נמקו.

11) נתון הניסוח הבלתי-מאוזן הבא:



- א. רשמו ניסוח מאוזן וקבע את המחמצן ואת המחזור.
- ב. כמה אלקטרונים עוברים בתהליך שבו נוצרים 5 ליטר כלור בתנאי STP?

12) אזנו את המשוואה הבאה, ציינו את המחמצן והמחזור, וקבעו ואת מספר מולי האלקטרונים שמשתתפים בתגובה



תשובות סופיות

(1) ב

(2) ד

(3) ד

(4) ד

(5) ב

(6) ג

(7) ג

(8) ג

(9) א. $2\text{Br}^-_{(\text{aq})} + \text{Cl}_{2(\text{g})} \rightarrow \text{Br}_{2(\text{l})} + 2\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ ב. 0.04 מול.ג. 1. AgCl 2. 0.4 ליטר.ד. 1. $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{Mg}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Cu}_{(\text{s})} + \text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})}$ 2. 0.04 מול.(10) א. 1. Br^- מחזור, Cl_2 מחמצן, Al מחזור, Cu^{2+} מחמצן.ב. 1. $\text{K} > \text{Al} > \text{Cu} > \text{Ag}$ 2. כן.

(11) 0.39 מול.

(12) 2 מול.

יישום של תהליכי חמצון-חיזור – תאים חשמליים

שאלות

1) כמה זמן יש להפעיל תא אלקטרוליטי, בכדי לקבל ציפוי כסף מתכתי, שמסתו 0.8 גרם, אם מועבר זרם של 2.5 אמפר בתוך תמיסה מימית של AgNO_3 ?

א. פחות משתי דקות.

ב. 9.54 דקות.

ג. 4.76 דקות.

ד. 4.76 שעות.

2) נתונים: $E^0(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0.54 \text{ V}$, $E^0(\text{Br}_2/\text{Br}^-) = 1.09 \text{ V}$

$E^0(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0.8 \text{ V}$, $E^0(\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}) = -0.13 \text{ V}$, $E^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0.76 \text{ V}$

בהתבסס על טבלת פוטנציאלי החיזור הסטנדרטיים, מי מהחומרים המופיעים

להלן יכולים לחזור $\text{I}_{2(s)}$ ל- $\text{I}^-_{(aq)}$?

א. $\text{Br}^-_{(aq)}$

ב. $\text{Ag}_{(s)}$

ג. $\text{Pb}_{(s)}$

ד. $\text{Zn}^{2+}_{(aq)}$

3) חשבו את הפרש הפוטנציאליים ΔE ב- 25°C של תא אלקטרוכימי, המורכב

מחצי תא אבץ, שבו יוני אבץ בריכוז 0.01 M , וחצי תא נוסף, שבו Br_2 נוזלי

ובתוכו יוני Br^- בריכוז 10^{-4} M .

נתון כי $E^0(\text{Br}_2/\text{Br}^-) = 1.09 \text{ V}$, $E^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0.76 \text{ V}$.

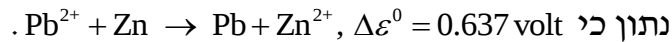
א. 1.78 V

ב. 0.13 V

ג. 2.145 V

ד. 1.72 V

4) תא אלקטרוכימי מורכב מאלקטרודת אבץ ואלקטרודת עופרת. סמנו את המשפט שאינו נכון.



א. הקתודה היא אלקטרודת האבץ.

ב. הריאקציה הספונטאנית מתרחשת בכיוון הרשום.

ג. אלקטרודת העופרת טעונה במטען חיובי.

ד. האבץ עובר חמצון בתהליך הזה.

5) בהתבסס על פוטנציאלי החיזור הסטנדרטיים שלהלן, סמנו את המשפט הנכון.

נתונים: $E^0(\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}) = -2.36 \text{ V}$, $E^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0.34 \text{ V}$

$E^0(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0.8 \text{ V}$, $E^0(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0.44 \text{ V}$, $E^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0.76 \text{ V}$

א. מגנזיום מתכתי (Mg) לא מגיב עם יוני אבץ (Zn^{2+}) בתמיסה מימית.

ב. נחושת מתכתית (Cu) מגיבה עם יוני אבץ (Zn^{2+}) בתמיסה מימית.

ג. ברזל מתכתי (Fe) מגיב עם יוני אבץ (Zn^{2+}) בתמיסה מימית.

ד. ברזל מתכתי (Fe) מגיב עם יוני מימן (H^+) בתמיסה מימית.

6) חשבו את הפוטנציאל הסטנדרטי ε^0 עבור חצי התא $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{(\text{s})}$.

השתמשו בפוטנציאלי החיזור הסטנדרטיים של Fe^{2+}/Fe ושל $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$.

נתון כי $E^0(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0.44 \text{ V}$, $E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0.77 \text{ V}$

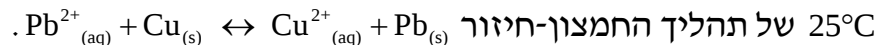
א. 0.33 volt

ב. -0.33 volt

ג. -0.037 volt

ד. 1.21 volt

7) בהתבסס על פוטנציאלי החיזור הסטנדרטיים, מהו קבוע שיווי המשקל ב-



נתון כי $E^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0.34 \text{ V}$, $E^0(\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}) = -0.13 \text{ V}$

א. $1.17 \cdot 10^{-16}$

ב. 0.343

ג. $1.31 \cdot 10^{-8}$

ד. $1.43 \cdot 10^{-7}$

8) תא ריכוזי של מימן משמש ככלי למדידת pH. מה יהיה ה-pH באנודה בתא המפורט להלן? מתח התא שווה ל-0.122 Volt ב-25°C, ונתון כי

$$\text{Pt}, \text{H}_2 (1 \text{ atm}) / \text{H}^+ (\text{pH}=?) \parallel \text{H}^+ (1\text{M}) / \text{H}_2 (1 \text{ atm}), \text{Pt}$$

א. $\text{pH} = 1.03$

ב. $\text{pH} = 4.75$

ג. $\text{pH} = 2.068$

ד. $\text{pH} = 4.12$

9) נתון התא האלקטרוכימי $\text{Fe}^{2+} (1\text{M}) / \text{Fe}^{3+} (1\text{M}) \parallel \text{Cu}^{2+} (1\text{M}) / \text{Cu}$. איזו מבין הפעולות הבאות תגרום לעלייה הגדולה ביותר במתח התא?

א. הורדת ריכוז יוני הנחושת פי 2.

ב. הורדת ריכוז יוני Fe^{2+} פי 2.

ג. הכפלת ריכוז יוני הנחושת (פי 2).

ד. הכפלת ריכוז יוני Fe^{2+} (פי 2).

10) נתון תא אלקטרוכימי שבו האנודה היא $\text{Zn} / \text{Zn}^{+2} (1.0\text{M})$ ($\mathcal{E}_{\text{Zn}^{+2} (1.0\text{M}) / \text{Zn}}^0 = -0.76 \text{ V}$). מהו צריך להיות חצי התא של הקטודה, כדי שהפוטנציאל של התא כולו יהיה הגבוה ביותר?

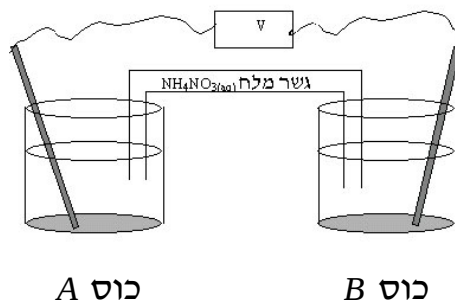
א. $\mathcal{E}_{\text{Mg}^{+2} (1.0\text{M}) / \text{Mg}}^0 = -2.36 \text{ V}$

ב. $\mathcal{E}_{\text{Cd}^{+2} (1.0\text{M}) / \text{Cd}}^0 = -0.40 \text{ V}$

ג. $\mathcal{E}_{\text{Cu}^{+2} (1.0\text{M}) / \text{Cu}}^0 = -0.34 \text{ V}$

ד. $\mathcal{E}_{\text{Pt}^{+2} (1.0\text{M}) / \text{Pt}}^0 = -1.20 \text{ V}$

11) נתון תא אלקטרוכימי:



כוס A (האנודה) מכילה תמיסת $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ (קל תמס) ואלקטרודת מגנזיום במשקל 12.30 גרם. כוס B (הקטודה) מכילה תמיסת $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (קל תמס) ואלקטרודת נחושת במשקל 12.30 גרם. התא פעל במשך 15 דקות ולאחר מכן נשקלו האלקטרודות. מהו המשפט **נכון**:

- המסה של שתי האלקטרודות יחד שווה ל- 24.60 גרם.
- המסה של שתי האלקטרודות יחד קטנה מ- 24.60 גרם.
- המסה של שתי האלקטרודות יחד גדולה מ- 24.60 גרם.
- אי אפשר לקבוע כי חסרים נתונים.

12) עבור תגובת חמצון-חיזור $\text{Ni}_{(s)} + \text{Sn}^{+2}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Ni}^{+2}_{(aq)} + \text{Sn}_{(s)}$, ערכו של קבוע שיווי

המשקל (לפי הריכוזים) בטמפרטורת החדר שווה ל- $5.00 \cdot 10^3$.

נתון כי $\varepsilon^0 = -0.140 \text{ V}$. $\text{Sn}^{+2} + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}$

א. חשבו את פוטנציאל החיזור הסטנדרטי עבור יוני ניקל.

נתון התא $\text{Ni}_{(s)} / \text{Ni}^{+2}_{(aq)} (1.00 \cdot 10^{-3} \text{ M}) // \text{Sn}^{+2} (9.00 \cdot 10^{-2} \text{ M}) / \text{Sn}$

- חשבו את המתח שנמדד ברגע חיבור התא.
- חצי תא סטנדרטי של ניקל (Ni) חובר לחצי תא סטנדרטי של מימן. עקב חיבור התא נמדד מתח חיובי.

(חצי תא מימן: $2\text{H}^{+}_{(aq)} + 2e \rightleftharpoons \text{H}_{2(g)}$ $\varepsilon^0 = 0.00 \text{ V}$)

- איזה מתח נמדד ברגע חיבור התא?
- האם ה- pH בתא המימן עלה, ירד או נשאר קבוע? נמקו.
- רשמו את התגובה המאוזנת שמתרחשת עקב חיבור שני חצאי-התאים.

4. איזה יון עבר חיזור ומהו המחזור בתגובה זו?

13) נתונות שתי מחציות התגובה ופוטנציאלי החיזור התקניים שלהן:

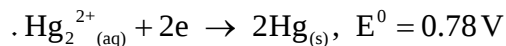
חצי תגובה	$E^0 (V)$
$Fe^{3+}_{(aq)} + e \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$	0.77
$MnO_4^-_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$	1.49

- א. כתבו את התגובה המאוזנת שמתרחשת.
 ב. מהו מספר מולי האלקטרונים העוברים בתגובה, כאשר 2.5 מול של $MnO_4^-_{(aq)}$ מגיב?
 ג. כתבו תיאור סכמתי של התא האלקטרוכימי, שניתן לבנות על פי התגובה הזאת.
 ד. חשבו את מתח התא בתנאים תקינים.
 ה. חשבו את K_c .
 ו. מה יהיה מתח התא כאשר הריכוזים של מרכיבי התא הם:

$$[Fe^{2+}_{(aq)}] = [Fe^{3+}_{(aq)}] = 0.6 M, [Mn^{2+}_{(aq)}] = 0.2 M,$$

$$[MnO_4^-_{(aq)}] = 0.1 M, [H^+_{(aq)}] = 1 M$$

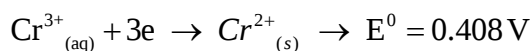
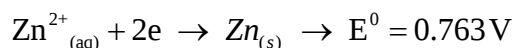
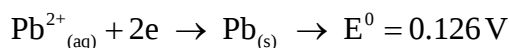
14) נתונים שני חצאי תאים $E^0 = 0.28 V$ $Co^{2+}_{(aq)} + 2e \rightarrow Co_{(s)}$



כאשר יוצרים מהם תא אלקטרוכימי:

- א. כיוון זרימת האלקטרונים הוא מחצי התא של הקובלט לחצי התא של הכספית.
 ב. כיוון זרימת האלקטרונים הוא מחצי התא של הכספית לחצי התא של הקובלט.
 ג. כספית היא אנודה.
 ד. כיוון זרימת האניונים בגשר המלח הוא לכיוון חצי התא של הכספית.

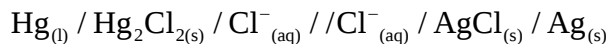
15) נתונות משוואות מחציות התא הבאות:



החומר המחזור הטוב ביותר הוא:

- א. Zn
 ב. Pb
 ג. Cr^{2+}
 ד. Cr^{3+}

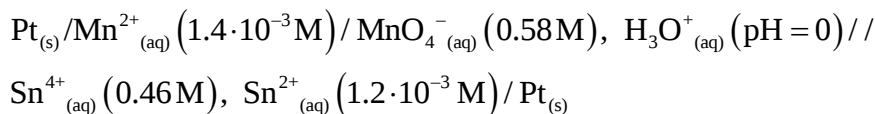
16) כתבו את מחציות התגובה ואת המשוואה המאוזנת לתגובת התא הבא :



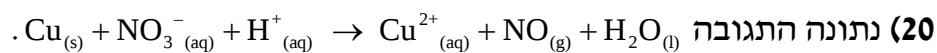
17) סטודנטית קיבלה מחצית-תא תקני Fe^{2+}/Fe ומחצית-תא נוספת המכילה מתכת לא ידועה M טבולה בתמיסת MNO_3 בריכוז $1M$. כאשר חיברו את שתי מחציות התא בטמפ' החדר, התא השלם פעל כתא גלווני בעל מתח תא של $1.24V$. הניחו לתגובה להימשך כל הלילה ואז שקלו את האלקטרודות. נמצא שאלקטרודת הברזל קלה יותר ואלקטרודת המתכת הלא ידועה כבדה יותר. מהו הפוטנציאל התקני של הצמד הלא ידוע M^+/M , אם נתון כי $E^0(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0.44V$.

18) זרם של 350mA , שהועבר בתמיסה מימית של מנגן חנקתי במשך 13.7 שעות, גרם לשיקוע של 4.9 גרם של מנגן. מהו מספר החמצון של מנגן במנגן חנקתי?

19) לתא הבא פוטנציאל של $1.45V$:



חשבו את קבוע שיווי המשקל עבור התגובה שמתרחשת בתא.



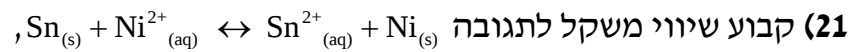
א. אזנו את המשוואה בעזרת חצאי התגובות.

התגובה הנ"ל מתרחשת בתא. המתח שנמדד הוא: $E^0 = 0.62V$.

ב. היעזרו בנתוני הטבלה הבאה וחשבו את פוטנציאל החיזור התקני עבור

מחצית התגובה של NO_3^- .

חצי תגובה	$E^0 (V)$
$\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e \leftrightarrow \text{Cu}_{(s)}$	0.34
$\text{NO}_3^-_{(aq)} + 4\text{H}^+_{(aq)} + 3e \leftrightarrow \text{NO}_{(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	?



הוא $2 \cdot 10^{-4}$ (ב- 298 K).

- א. האם פוטנציאל החיזור התקני של $\text{Ni}^{2+}_{(aq)}$ גבוה או נמוך מזה של יוני $\text{Sn}^{2+}_{(aq)}$? נמקו ללא חישובים.
- ב. פנו את התא מהחומרים המופיעים בניסוח התגובה, והתא סיפק אנרגיה. רשמו בצורה סכמתית את המבנה של תא זה.
- ג. כאשר התא הגיע לשיווי משקל נלקח מדגם מתמיסת $\text{Sn}^{2+}_{(aq)}$, והוכנסה לתוכה אלקטרודת בדיל. פוטנציאל האלקטרודה נמדד לעומת אלקטרודה תקנית של מימן, ונמצא שהוא -0.26 V .
- מהו ריכוז יוני הבדיל בתום פעולת התא? נתון: $E^0(\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}) = -0.14 \text{ V}$.

תשובות סופיות

(1) ג

(2) ג

(3) ג

(4) א

(5) ד

(6) ג

(7) א

(8) ג

(9) ד

(10) ד

(11) ג

(12) א. -0.249 V ב. 0.167 V ג. 0.249 V ד. עלה.3. $2\text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{Ni}_{(\text{s})} \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + \text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})}$ 4. Ni מחזור, H^+ עובר חיזור.(13) א. $5\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{MnO}_4^{-}_{(\text{aq})} + 8\text{H}^+_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 5\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$ ב. 12.5 מול. ג. $\text{Pt}_{(\text{s})} / \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}, \text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} // \text{MnO}_4^{-}_{(\text{aq})}, \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}, \text{H}^+_{(\text{aq})}$ ד. 0.72 V ה. $1.04 \cdot 10^{61}$ ו. 0.71 V

(14) א

(15) ב

(16) $2\text{Hg}_{(\text{l})} + 2\text{AgCl}_{(\text{s})} \rightarrow 2\text{Ag}_{(\text{s})} + \text{Hg}_2\text{Cl}_{2(\text{s})}$ (17) 0.8 V (18) $+2$ (19) $1.97 \cdot 10^{34}$ (20) א. $\text{NO}_3^{-}_{(\text{aq})} + 1.5\text{Cu}_{(\text{s})} + 4\text{H}^+_{(\text{aq})} \rightarrow \text{NO}_{(\text{aq})} + 1.5\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ ב. 0.96 V (21) א. נמוך. ב. $8.55 \cdot 10^{-5}\text{ M}$

יסודות הכימיה ב

פרק 4 - שיווי משקל כימי

תוכן העניינים

1. שיווי משקל כימי 28

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:

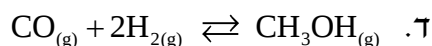
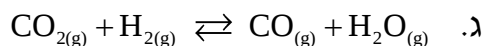
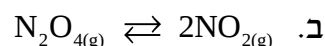
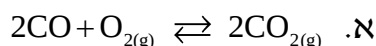
א. דחיסת המערכת והורדת הטמפרטורה.

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: $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} \quad \Delta H^0 = 180.8 \text{ kJ}$
 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 $2SO_{3(g)} \rightleftharpoons 2SO_{2(g)} + O_{2(g)}$ 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:

- הלחץ החלקי של $SO_{3(g)}$ קטן מ-1.2 בר.
- הלחץ החלקי של $SO_{2(g)}$ גדול מ-1.2 בר.
- הלחץ החלקי של $O_{2(g)}$ 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, $PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$.
 א. חשבו את הלחץ החלקי (ביחידות bar) של כל מרכיבי המערכת במצב של שיווי המשקל.

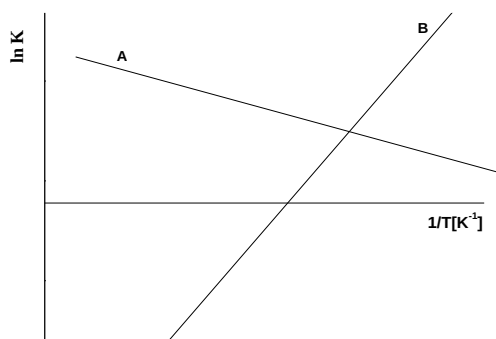
- חשבו את אחוז הפירוק של PCl_5 בתנאים אלה.
- חשבו את ה- K_p בטמפרטורה של 550 K.

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:



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.

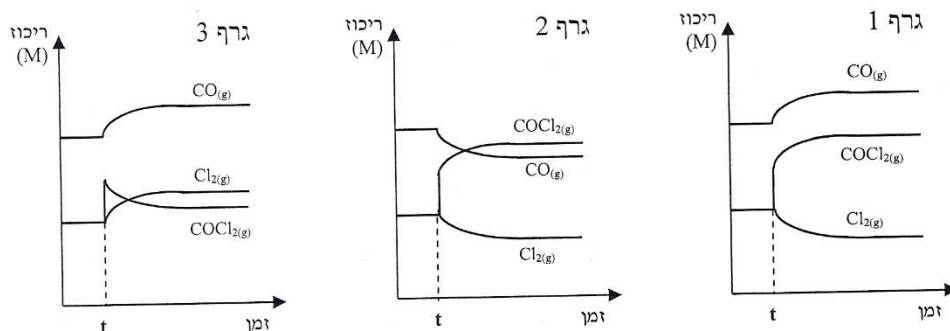
חשבו את קבוע שיווי המשקל החדש.

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:



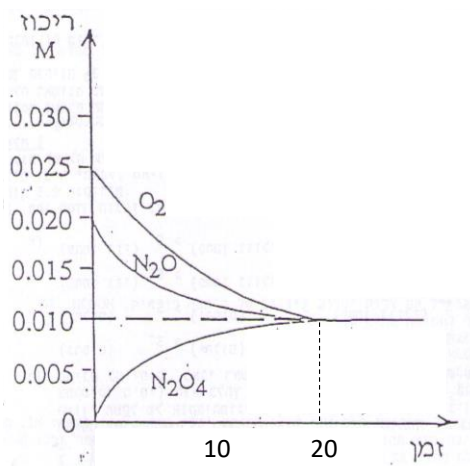
א. גרף 1.

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):

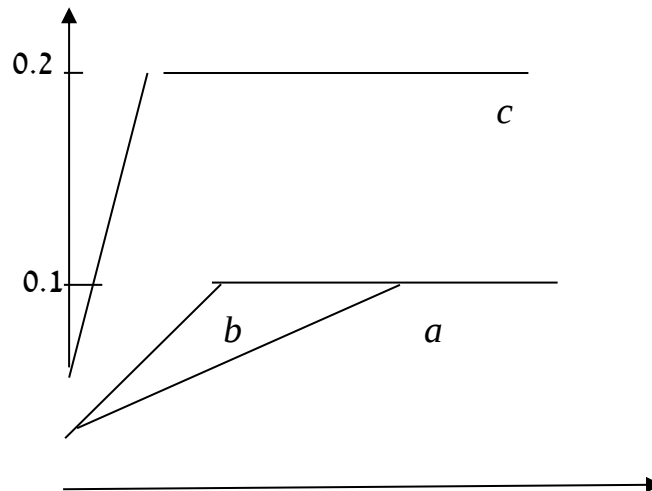


- רשמו את התגובה המתרחשת בכלי התגובה.
- חשבו את ערכו של קבוע שיווי המשקל לפי הריכוזים.
- האם הלחץ הכללי במערכת מרגע הכנסת החומרים ועד השגת שיווי המשקל יגדל, יקטן או לא ישתנה? נמקו.
- ברגע מסוים חיברו למערכת זו כלי נוסף, שנפחו 5 ליטר והוא נשמר בטמפרטורה של 380 K, ובו נמצא חמצן בריכוז של 0.01 M. תארו באופן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

יסודות הכימיה ב

פרק 5 - שיווי משקל בתגובת שיקוע של חומר יוני

תוכן העניינים

1. שיווי משקל בתגובת שיקוע של חומר יוני..... 38

שיווי משקל בתגובת שיקוע של חומר יוני

שאלות

1) ענו על הסעיפים הבאים:

- א. המסיסות של המלח $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ היא $1.1 \cdot 10^{-5}$ גרם ב-100 גרם מים, בטמפרטורה של 20°C .
חשבו את ה- K_{sp} של $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$.
ב. להלן שתי תמיסות רוויות, האחת ב- CuS והשנייה ב- Fe_2S_3 .
באיזו מהן ריכוז ה- S^{2-} נמוך יותר?
נתון כי $K_{sp}(\text{Fe}_2\text{S}_3) = 1.0 \cdot 10^{-88}$; $K_{sp}(\text{CuS}) = 8.0 \cdot 10^{-36}$.

2) כמה גרם של $\text{La}(\text{IO}_3)_3$ ניתן להמיס ב:

- א. 250 מ"ל מים?
ב. 250 מ"ל תמיסת LiIO_3 בריכוז של 0.05 M?
נתון כי $K_{sp}(\text{La}(\text{IO}_3)_3) = 1.0 \cdot 10^{-11}$.

3) הוסיפו תמיסה מרוכזת של KIO_3 , במנות קטנות, לתמיסה של Ba^{2+} בריכוז 0.05 M, ו- Ag^+ ב-0.04 M.

- א. איזה יון ישקע קודם?
נתון כי $K_{sp}(\text{AgIO}_3) = 10^{-11}$; $K_{sp}(\text{Ba}(\text{IO}_3)_2) = 10^{-9}$.
ב. מה יהיה ריכוז יון זה בתמיסה, כאשר היום השני עומד לשקוע?

4) נתונה תמיסת מלח קשה-תמס $\text{Ba}(\text{IO}_3)_2$, כאשר ריכוז היום השלילי בתמיסה הוא $1.26 \cdot 10^{-3} \text{ M}$.

- א. חשבו את ה- K_{sp} עבור $\text{Ba}(\text{IO}_3)_2$.
ב. חשבו את מסיסותו של $\text{Ba}(\text{IO}_3)_2$ בתמיסה של NaIO_3 בריכוז 0.01 M.

5) להלן תמיסה המכילה יוני Cl^- , Br^- , I^- ו- CrO_4^{2-} , כאשר ריכוז כל יון הוא 0.1M, שהוסיפו לה בהדרגה תמיסת AgNO_3 .

איזה משקע יופיע ראשון, ובאיזה סדר יופיעו שאר המשקעים?

$$K_{sp}(\text{AgI}) = 8.3 \cdot 10^{-17}; K_{sp}(\text{AgBr}) = 5 \cdot 10^{-13}$$

$$K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \cdot 10^{-10}; K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1.2 \cdot 10^{-12}$$

נתון כי

6) הוסיפו 0.5 ליטר של תמיסת TiNO_3 , בריכוז $2.8 \cdot 10^{-4} \text{ M}$, ל-0.5 ליטר תמיסת

$$\text{KI} \text{ בריכוז זהה. נתון כי } K_{sp}(\text{TiI}) = 4 \cdot 10^{-8}.$$

האם יופיע משקע?

7) ריכוז יוני Ag^+ בתמיסה מסוימת הוא $4 \cdot 10^{-3}$. נתון כי $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \cdot 10^{-10}$.

חשבו את הריכוז המקסימלי של יוני כלור שניתן להוסיף, עד ש- $\text{AgCl}_{(s)}$ יחל לשקוע.

8) נתון חומר יוני קשה-תמס CH_3COOAg ($K_{sp} = 5.2 \cdot 10^{-3}$).

א. חשבו את מסיסותו במים. פרטו את החישובים.

ב. נתונים החומרים $\text{AgNO}_{3(s)}$, $\text{CH}_3\text{COONa}_{(s)}$, $\text{K}_2\text{S}_{(2)}$, $\text{KNO}_{3(s)}$.

התייחסו לכל אחד מהחומרים הללו, וציינו את החומר שיגרום להגדלת

המסיסות של $\text{CH}_3\text{COONa}_{(s)}$ $f(x)$. נמקו.

$$K_{sp}(\text{Ag}_2\text{S}) = 5.7 \cdot 10^{-51}.$$

נתון כי

9) תנאי לאי-היווצרות משקע הוא:

א. להשתמש במומס שהוא חומר יוני קל-תמס.

ב. כשמנת הריכוזים של היונים (Q) שווה ל- K_{sp} .

ג. כשמנת הריכוזים של היונים (Q) נמוכה מ- K_{sp} .

ד. כשמנת הריכוזים של היונים (Q) גבוהה מ- K_{sp} .

10) נוכחות של יון משותף בתמיסה,

א. מגדילה את מסיסות המשקע.

ב. לא משפיעה על מסיסות המשקע.

ג. מקטינה את מסיסות המשקע.

ד. גורמת להיווצרות שני משקעים.

11) ל- $\text{AgOH}_{(s)}$ ($K_{sp} = 2.50 \cdot 10^{-16}$) הוכנסה תמיסה רוויה של $\text{AgOH}_{(aq)}$.
 מהו ערך ה- pH של התמיסה שנוצרה בתנאי החדר?
 (יש להתחשב ביוני OH^- , שמקורם במסיסות החלקית של המשקע)

12) ניתן להשפיע על מסיסות המשקע על ידי

- א. הוספת מים.
- ב. הגדלת הטמפרטורה.
- ג. הקטנת הטמפרטורה.
- ד. כל התשובות נכונות.

תשובות סופיות

- (1) א. $K_{sp} = 502.48 \cdot 10^{-35}$ ב. CuS
- (2) א. 0.13 g ב. $1.328 \cdot 10^{-5} \text{ g}$
- (3) א. Ag^+ ב. $0.71 \cdot 10^{-6} \text{ M}$
- (4) א. 10^{-9} ב. 10^{-5} M
- (5) AgI, ואחריו AgBr, AgCl ואז Ag_2CrO_4 .
- (6) לא.
- (7) $> 0.45 \cdot 10^{-7} \text{ M}$
- (8) א. 0.0072 M ב. $\text{K}_2\text{S}_{(2)}$
- (9) ג
- (10) ג
- (11) 7.01
- (12) ד

יסודות הכימיה ב

פרק 6 - מצבי הצבירה של החומר והמעברים ביניהם

תוכן העניינים

1. שיווי משקל בין הפאזות.....42

שיווי משקל בין הפאזות

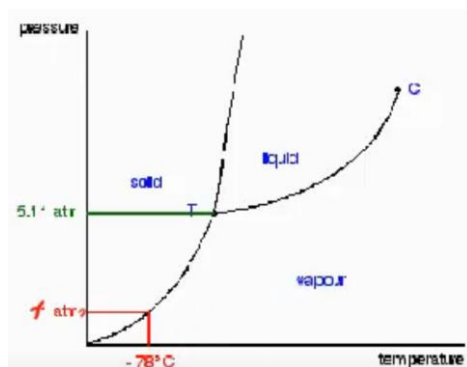
שאלות

- 1) באנליזה של טיפה מתמיסת HCl, בנפח 0.05 מ"ל, נמצאו $1.505 \cdot 10^{19}$ מולקולות HCl.
חשבו את הלחץ האוסמוטי (ביחידות kPa), שנוצר על ידי התמיסה בטמפרטורת החדר.
- 2) נתונה תמיסה של אתנול (C_2H_5OH), בריכוז 6.45 M וצפיפות $0.952 \frac{g}{cm^3}$.
א. חשבו את המולליות, השבר המולי והאחוז המשקלי של האתנול בתמיסה.
ב. חשבו את הירידה בטמפרטורת הקיפאון של התמיסה.
$$K_{f(water)} = 1.86 K \cdot \frac{kg}{mol}$$
- 3) חשבו את נקודת הרתיחה של תמיסה, שהוכנה על ידי ערבוב של 100 גרם של סוכרוז ($C_{12}H_{22}O_{11}$) ו-500 גרם של מים.
$$K_{b(water)} = 0.51 K \cdot \frac{kg}{mol}$$
- 4) המסת 3 גרם של חומר מסוים ב-100 גרם של CCl_4 , מעלה את נקודת הרתיחה של התמיסה ב- $0.6^\circ C$. נתון שעבור הממס הטהור $K_b = 5.03 K \cdot \frac{kg}{mol}$, $K_f = 3.18 K \cdot \frac{kg}{mol}$, וכן שלחץ אדי הממס הטהור בטמפרטורת החדר הוא 100 mm Hg.
חשבו את:
א. המסה המולרית של המומס.
ב. הירידה בנקודת הקיפאון.
ג. ירידת לחץ האדים בטמפרטורת החדר.
- 5) העריכו את השינוי בלחץ האדים של מים, כתוצאה מהכנת תמיסה בעלת ריכוז של 1m בטמפרטורה של $100^\circ C$.
- 6) 106.3 גרם של תרכובת לא ידועה הומסו ב-863.5 גרם של (C_6H_6).
נתון כי לחץ האדים של התמיסה שהתקבלה הוא 86.7 טור, וידוע כי לחץ האדים של בנזן טהור הוא 98.6 טור.
מצאו את המסה המולרית של התרכובת.

- 7) המסת 2.441 גרם של חומצה בנזואית (C_6H_5COOH) ב-250 גרם של בנזן (C_6H_6) מורידה את נקודת הקיפאון ב- $0.2048^\circ C$. נתון $K_f(\text{benzene}) = 5.12 K \cdot \frac{kg}{mol}$. מהו מצבה של החומצה בבנזן?
- 8) 18.04 גרם של חומר בלתי-נדיף הומסו ב-100 גרם של מים, ב- $20^\circ C$, ולחץ האדים ירד מ-17.535 mm Hg ל-17.226 mm Hg. א. מהי המסה המולרית של החומר? ב. באיזו טמפרטורה התמיסה תקפא? נתון כי $K_f = 1.855 K \cdot \frac{kg}{mol}$.
- 9) בכלי שנפחו 20 ליטר קיים שיווי משקל בין אדי אתנול לבין כמות קטנה של אתנול נוזלי. נתון גם כי הטמפרטורה בכלי היא $25^\circ C$, הכלי מכיל אוויר יבש והלחץ הכולל בו הוא 750 טור. ידוע כי לחץ אדי אתנול ב- $25^\circ C$ הוא 58.9 טור. בשלב מסוים הוקטן נפח הכלי ל-5 ליטר בטמפרטורה קבועה. א. מהו הלחץ החלקי של האתנול בנפח הקטן? הסבירו. ב. מהו הלחץ הכולל של התערובת בנפח הקטן?
- 10) נתונה תמיסה מימית של מלח $FeCl_x$, שבה השבר המולי של הממס הוא 0.98, ונתון כי טמפרטורת הקיפאון של התמיסה היא $-8.435^\circ C$. קבעו את מטענו של היון החיובי במלח. נתון כי $K_f(H_2O) = 1.86 K \cdot \frac{kg}{mol}$.
- 11) הלחץ האוסמוטי של תמיסה מימית של חלבון הוא 6.1 torr ב- $0^\circ C$. התמיסה הוכנה על ידי הוספת כמות קטנה של חלבון ב-100 מ"ל מים (נפח התמיסה שהתקבלה שווה בקירוב ל-100 מ"ל). נתון שצפיפות התמיסה היא $1.2 \frac{g}{cm^3}$, וידוע כי הצפיפות של מים היא $1 \frac{g}{cm^3}$. העריכו את המסה המולקולרית של החלבון.

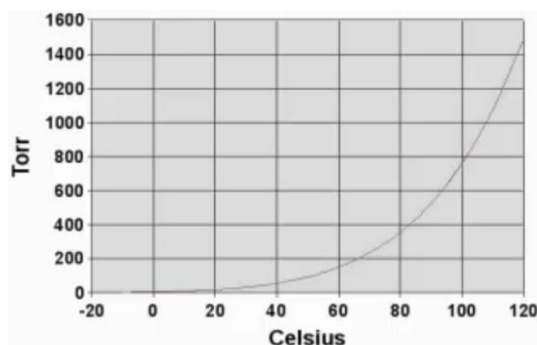
12) להלן דיאגרמת פאזות של פחמן דו-חמצני. ענו על הסעיפים הבאים לפיה :

- מהו מצב הצבירה של פחמן דו-חמצני בתנאים סטנדרטיים?
- מהו מצב הצבירה של פחמן דו-חמצני בתנאים של 0.75 אטמוספירות ובטמפרטורה של -114°C ?
- פחמן דו-חמצני נמצא בלחץ של 3883.6 mm Hg ובטמפרטורה של -78°C . הציעו דרך לקבלת פחמן דו-חמצני נוזלי.
- איזו פאזה צפופה יותר, מוצקה או נוזלית? נמקו.



13) היעזרו באיור הבא וקבעו :

- את טמפרטורת הרתיחה של המים, כאשר החלץ החיצוני שווה 80 kPa.
- אנטרופיית האידוי התקנית, כאשר נתון $\Delta H_{b(\text{water})}^0 = 40700 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$.
- האנרגיה החופשית של האידוי בטמפרטורת החדר.



תשובות סופיות

- (1) 2476
- (2) מולילות: $10 \frac{\text{mol}}{\text{kg}}$, שבר מולי: 0.15, אחוז משקלי: 31.16 g.
- (3) 100.189°C
- (4) א. $252.1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ב. 0.38°C ג. 15 mm Hg
- (5) ירידה של 0.02 atm.
- (6) $70.4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$
- (7) עברה התלכדות, $i = 0.5$.
- (8) א. $M_w = 159 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ב. -2.1°C
- (9) א. 58.9 torr ב. 2823.3 torr
- (10) FeCl_3
- (11) $560224.1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$
- (12) א. א. גז. ב. מוצק. ג. ראו בסרטון. ד. מוצקה.
- (13) א. $93-95^\circ\text{C}$ ב. $\Delta S_b = 109.05 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$ ג. $8203.8 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$

יסודות הכימיה ב

פרק 7 - תרמודינמיקה

תוכן העניינים

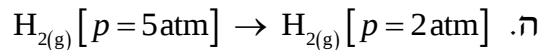
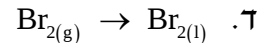
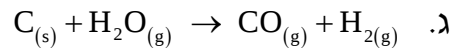
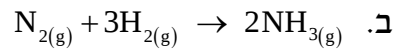
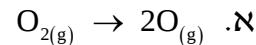
1. תרמודינמיקה..... 46

תרמודינמיקה

שאלות

- 1) 2.5 מול של מים מתאדים בנקודת הרתיחה שלהם בלחץ של 1.000 atm. המים נמצאים בגליל עם בוכנה, והאידיאלי מתרחש עקב חימום המערכת. הבוכנה נעה ללא חיכוך, כך שהלחץ הפנימי נשאר קבוע. מהי העבודה שנעשתה?
- 2) גז אידיאלי, בלחץ 1 atm וטמפרטורה של 30°C , מתפשט נגד לחץ חיצוני של 0.3 atm לתוך כלי שנפחו 2.5 ליטר. כמה עבודה מבצע הגז?
- 3) גז חומם בכלי עם בוכנה על ידי קבלת חום של 7000 J. הגז התפשט כנגד לחץ חיצוני של 750 torr, ונפח הכלי גדל מ-700 ml ל-1450 ml. מהו השינוי באנרגיה הפנימית של הגז?
- 4) 1.00 mol של גז אידיאלי נמצא בכלי שנפחו 8 ליטר. הלחץ בכלי הוא 3 atm והטמפרטורה היא 298 K. הגז מתפשט לנפח של 20.00 ליטר ולחץ 1.20 atm, בשני מסלולים שונים:
מסלול 1 – התפשטות איזותרמית הפיכה.
מסלול 2 – בשני שלבים:
שלב א – הגז מקורר בנפח קבוע עד שהלחץ יורד ל-1.20 atm.
שלב ב – הגז מחומם ומושאר להתפשט כנגד לחץ קבוע של 1.20 atm, עד שנפחו מגיע ל 20.00 ליטר.
חשבו את w , q , Δ , U בכל אחד מהמסלולים.
- 5) מול אחד של גז אידיאלי מתפשט, תוך שמירה על טמפרטורת החדר, מנפח התחלתי של 1 ליטר לנפח סופי של 4 ליטר. מצאו את העבודה שנעשתה
א. כנגד ואקום.
ב. כנגד לחץ חיצוני של 0.5 atm.

6) ביחס לתגובות הבאות, קבעו האם האנטרופיה גדלה, קטנה או לא השתנתה:



7) חשבו את שינוי האנטרופיה במערכת, בסביבה וביקום, כאשר 14 גרם של חנקן מכפילים את הנפח בתהליך:

א. התפשטות איזותרמית הפיכה.

ב. התפשטות איזותרמית לא-הפיכה (הלחץ החיצוני הוא 0).

8) חשבו את כמות החום ואת שינוי האנטרופיה במעבר של 2 מול אמוניה נוזלית (NH_3) בטמפרטורה של $-40^\circ C$ עד לאמוניה גזית ב- $200^\circ C$, כאשר התהליך נעשה בלחץ קבוע.

נתונים:

$$\Delta H_v^0(NH_3) = 5.56 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}, \quad c_p(NH_{3(l)}) = 17.9 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

$$c_p(NH_{3(g)}) = 8.92 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}, \quad t_b(NH_{3(l)}) = -33.46^\circ C$$

9) האנטרופיה של בדיל לבן ואפור בטמפרטורת החדר היא $S^0 = 6.3 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} ^\circ K$,

$S^0 = 6.16 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} ^\circ K$. שינוי האנטלפיה במעבר מבדיל לבן לאפור הוא $0.53 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$. איזו צורה של בדיל יציבה יותר?

10) נתונים:

	$\Delta H_f^0 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right)$	$\Delta G_f^0 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right)$
$SO_{2(g)}$	-289.41	-301.43
$SO_{3(g)}$	-396.9	-3171.74

א. נסחו תגובה בין SO_2 גזי לבין חמצן גזי, לקבלת SO_3 גזי.

ב. איזו תחמוצת יציבה יותר בנוכחות חמצן, בתנאים תקינים?

ג. חשבו את שינוי האנטרופיה עבור התגובה הנתונה.

ד. מהו תחום הטמפרטורות שבו התהליך הוא ספונטני?

11 נתונה תגובה $\text{H}_{2(g)} + \text{CO}_{2(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)} + \text{CO}_{(g)}$, ונתונים :

$$\Delta G_f^0(\text{CO}_{2(g)}) = -397.4 \text{ kJ}, \Delta G_f^0(\text{CO}_{(g)}) = -137.15 \text{ kJ}, \Delta G_f^0(\text{H}_2\text{O}_{(g)}) = -228.58 \text{ kJ}$$

א. האם התגובה ספונטנית בטמפרטורת החדר?

ב. חשבו את קבוע שיווי המשקל של התגובה הנתונה.

12 כמות בלתי-ידועה של PCl_5 חוממה בכלי שנפחו 12 ליטר, ונתונה תגובה אפשרית, $\text{PCl}_{5(g)} \rightarrow \text{PCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$. נמצא שבשיווי משקל הכלי מכיל 0.21

מול PCl_5 , 0.32 מול PCl_3 ו-0.32 מול של Cl_2 .

א. חשבו את קבוע שיווי המשקל (K_p, K_c) עבור המערכת הנתונה,

בטמפרטורת החדר.

ב. חשבו את ΔG^0 עבור תגובה זו.

13 מול 1 של CO גזי ומול אחד של מים גזיים עורבבו במיכל בנפח 10 ליטר, שחומם עד 1000°C , והתרחשה התגובה $\text{CO}_{(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_{2(g)}$.

בשיווי משקל נמצאו 0.57 מול של CO .

א. חשבו את קבוע שיווי המשקל (K_p, K_c) בטמפרטורה הנתונה.

ב. חשבו את ΔG^0 עבור תגובה זו בטמפרטורת החדר.

ג. חשבו את ΔG^0 עבור תגובה זו בטמפרטורת החדר, כאשר נתונים

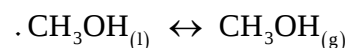
$$P(\text{H}_2) = 0.25 \text{ atm}, P(\text{CO}) = 1.20 \text{ atm},$$

הלחצים החלקיים :

$$P(\text{H}_2\text{O}) = 0.66 \text{ atm}, P(\text{CO}_2) = 0.78 \text{ atm}$$

14 נתונים שני גדלים $\Delta G_f^0(\text{CH}_3\text{OH}_{(l)}) = -39.73 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$, ונתון שיווי המשקל הבא :

$$\Delta G_f^0(\text{CH}_3\text{OH}_{(g)}) = -38.69 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$



א. חשבו את ΔG^0 עבור תהליך זה בטמפרטורת החדר.

ב. מהו ΔG בשיווי משקל?

ג. האם הטמפרטורה שבה תהליך הרתיחה של CH_3OH ספונטני נמוכה,

גבוהה או שווה לטמפרטורת החדר? נמקו.

(15) נתונים :

$$\Delta H_f^0(\text{CH}_{4(g)}) = -74.8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}, \Delta H_f^0(\text{CO}_{2(g)}) = -393.5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}, \Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}_{(l)}) = -285.9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$S^0(\text{CH}_{4(g)}) = 186.2 \text{ J/K mol}, S^0(\text{CO}_{2(g)}) = 213.6 \text{ J/K mol}$$

$$S^0(\text{O}_{2(g)}) = 205 \text{ J/K mol}, S^0(\text{H}_2\text{O}_{(l)}) = 70 \text{ J/K mol}$$

- א. חשבו את ΔG^0 לתגובת השריפה של מתאן ב- 800°K .
- ב. האם התהליך ספונטני?
- ג. איך תשפיע הקטנת הטמפרטורה על מידת הספונטניות של התהליך? נמקו.

- (16)** 100 גרם של בנזן מתאדים בנקודת הרתיחה שלו, 80.2°C , ב- 760 mm Hg , כאשר חום האידוי הוא $94.4 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$. נתון שמסה מולרית של בנזן היא $78 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$. מה ערכם של הגדלים הבאים:
- א. עבודה שמתבצעת בתהליך הפיך, W .
- ב. כמות החום, Q .
- ג. שינוי האנרגיה הפנימית, ΔU .

- (17)** מול אחד של גז אידיאלי מונו-אטומי עובר תהליך הפיך, שבו מוכפל נפחו. שינוי האנתלפיה בתהליך הוא $\Delta H^0 = 500 \text{ cal}$, והחום שעובר בו הוא $Q = 400 \text{ cal}$. נתון גם כי $c_p = 5 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} \cdot \text{deg}$.
- א. חשבו את הטמפרטורה והלחץ הסופיים, אם הטמפרטורה ההתחלתית היא 20°C , והלחץ ההתחלתי הוא 1 atm .
- ב. חשבו את העבודה שבוצעה, ואת השינוי באנרגיה הפנימית של הגז.

- (18)** מול של גז אידיאלי מתפשט מנפח של 10 ליטר ומטמפרטורה של 25°C , לנפח של 50 ליטר ומטמפרטורה של 100°C . נתון $c_p = 6.5 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} \cdot \text{deg}$.
- התהליך מתרחש בשני מסלולים:
- מסלול א – הגז חומם בנפח קבוע ל- 100°C ואז התפשט באופן הפיך איזותרמי לנפח של 50 ליטר.
- מסלול ב – הגז התפשט באופן הפיך איזותרמי לנפח של 50 ליטר ואז חומם בנפח קבוע ל- 100°C .
- חשבו עבור שני המסלולים את ΔU , W , q .

תשובות סופיות

$$W = -7747.31 \text{ J} \quad (1)$$

$$W = -53195.6 \text{ J} \quad (2)$$

$$\Delta U = 6925 \text{ J} \quad (3)$$

$$(4) \text{ מסלול ראשון: } W = -2224.47 \text{ J}, q = 2224.47 \text{ J}, \Delta U = 0$$

$$\text{מסלול שני: } W = -1459.08 \text{ J}, q = 1459.08 \text{ J}, \Delta U = 0$$

$$(5) \text{ א. } W = 0 \quad \text{ב. } W = -151.987 \text{ J}$$

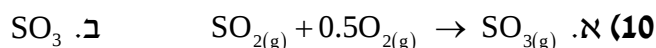
$$(6) \text{ א. גדלה. ב. קטנה. ג. גדלה. ד. קטנה. ה. גדלה.}$$

$$(7) \text{ א. } \Delta S_{\text{universe}} = 0, \Delta S_{\text{environment}} = -2.88 \text{ J/K}, \Delta S_{\text{system}} = 2.88 \text{ J/K}$$

$$\text{ב. } \Delta S_{\text{universe}} = 2.88 \text{ J/K}, \Delta S_{\text{environment}} = 0, \Delta S_{\text{system}} = 2.88 \text{ J/K}$$

$$(8) Q = 15519.03 \text{ cal}, \Delta S = 71.77 \text{ cal/K}$$

$$(9) \text{ בדיל לבן.}$$



$$\Delta S^0 = -0.094 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \quad \text{ג.}$$

$$\text{ד. } T < 1047.76 \text{ K}$$

$$(11) \text{ א. לא. ב. } K = 2.8 \cdot 10^{-5}$$

$$(12) \text{ א. } K_p = 0.98, K_c = 0.04 \quad \text{ב. } \Delta G^0 = -50.03 \text{ J/mol}$$

$$(13) \text{ א. } K_p = K_c = 0.57 \quad \text{ב. } \Delta G^0 = 1392 \text{ J/mol} \quad \text{ג. } \Delta G^0 = -2078.8 \text{ J/mol}$$

$$(14) \text{ א. } \Delta G^0 = 1.04 \text{ kJ/mol} \quad \text{ב. } \Delta G = 0 \quad \text{ג. גבוהה.}$$

$$(15) \text{ א. } \Delta G_{800}^0 = -696.4 \text{ kJ} \quad \text{ב. כן. ג. ראו בסרטון.}$$

$$(16) \text{ א. } W = -3756.12 \text{ J} \quad \text{ב. } Q = 9440 \text{ cal} \quad \text{ג. } \Delta U = 8541.7 \text{ cal}$$

$$(17) \text{ א. } T = 373 \text{ K}, P_2 = 0.64 \text{ atm} \quad \text{ב. } W = -63.1 \text{ cal}, \Delta U = 336.92 \text{ cal}$$

$$(18) \text{ מסלול ראשון: } W = -1193.4 \text{ cal}, q = 1532.4 \text{ cal}, \Delta U = 339 \text{ cal}$$

$$\text{מסלול שני: } W = -953.49 \text{ cal}, q = 1292.5 \text{ cal}, \Delta U = 339 \text{ cal}$$