

## פתרון מאגר שאלות לבחינה - כימיה כללית ופיזיקלית

16:18:36 2025-02-10

### תוכן העניינים

2	שאלה 1 - לחצים חלקיים וספונטניות
2	פתרון - לחצים חלקיים בשיווי משקל
5	שאלה 2 - שיווי משקל
6	פתרון - שיווי משקל
6	סעיף ב - חישוב קבוע הקצב
6	סעיף ג - כמות החומר השני באמצע התגובה
7	האם יש צורך בכל הניסויים?
7	שאלה 3 - תגובת שריפה
7	פתרון - תרכובת A
8	סעיף ב - נבדוק את הנוסחה המולקולרית
8	סעיף ג - מניפולציות על גז אידיאלי ולואיס
9	שאלה 4 - מבנה וקישור
9	פתרון - גיאומטריה והכלאה
12	סעיף ב - אורביטלים מולקולריים
15	שאלה 5 - חימצון חיזור וספונטניות
16	פתרון - תנאים לספונטניות
16	שאלה 6 - קינטיקה וספונטניות
17	פתרון - זיהוי סוג התגובה
17	סעיף ב' - שינויים
17	סעיף ג - אנטרופיה
17	שאלה 7 - תהליך שריפה
17	פתרון שאלה 7
19	שאלה 8 - שיווי משקל ולחצים
20	פתרון שאלה 8
21	שאלה 9 - חומצות ובסיסים
21	פתרון סעיף א - ערך pH של חומצה לקטית
21	פתרון סעיף ב - לאחר הוספת המלח
22	פתרון סעיף ג - הוספת בסיס לתמיסת בופר?
23	סעיף ד - ערך של חומצה חזקה שנדרש כדי לחזור
23	שאלה 10 - גזים
23	פתרון סעיף א - מציאת נוסחה אמפירית
24	סעיף ב' - נבדוק את הנוסחה המולקולרית
24	סעיף ג = נפח של הגז בלחץ ובתנאים
24	שאלה 11 - שיווי משקל

25	פתרון מציאת סדרים
25	סעיף ב - נמצא את ערכו של קבוע הקצב
26	סעיף ג - מציאת טמפי
26	שאלה 12 - קינטיקה
27	פתרון סעיף א - חישוב ריכוזי כל החומרים בשיווי משקל
28	סעיף ב - נבדוק מה יקרה לאחר הוספת גז של יוד
28	סעיף ג - השפעת שינויים
28	שאלה 13 - תמיסת בופר
29	פתרון סעיף א
30	סעיף ב - ריכוז לאחר הוספת בסיס
30	סעיף ג - ריכוז לאחר הוספת חומצה
31	סעיף 4 - מציאת כמות וחומר שיש להוסיף
31	שאלה 14 - כוחות בין-מולקולריים
32	פתרון - סעיף א משקל מולקולרי
32	סעיף ב - מסה מולרית של חלבון
33	סעיף ג' - לחץ אדים ועוד
34	שאלה 15
34	פתרון סעיף א - מציאת ריכוז
35	פתרון סעיף ב
36	פתרון סעיף ג

**שאלה 1 - לחצים חלקיים וספונטניות**

לתוך כלי בנפח של **1.5 ליטר** מכניסים **0.0343 מול** של הגז  $XCl_3$ , אוטמים את הכלי ומחממים אותו לטמפרטורה של  $100^\circ C$ . מתרחשת התגובה הבאה, ונמצא כי בשווי משקל הלחץ בכלי הוא **0.8 אטמוספרות**:



א. חשב את הלחצים החלקיים של הגזים  $XCl_3$ ,  $X$ ,  $Cl_2$  בשווי משקל.

ב. חשב את ערכי  $K_p$  ו-  $\Delta G$  בטמפרטורה של  $100^\circ C$ .

ג. חשב את ערך  $K_c$  בטמפרטורה של  $100^\circ C$ .

ד. האם האנטרופיה בתגובה עולה או יורדת?

**פתרון - לחצים חלקיים בשיווי משקל**

**חלק א: חישוב הלחצים החלקיים של הגזים בשווי משקל**

**1. הגדרת משתנים**

- כמות החומר ההתחלתית של  $XCl_3$ : 0.0343 מול
- נסמן את השינוי בכמות החומר בתגובה ב-  $x$ .

**2. טבלת ICE**

רכיב	(מולים) התחלתי	(מולים) שינוי	(מולים) בש"מ
$XCl_3(g)$	0.0343	$-2x$	$0.0343 - 2x$

רכיב	(מולים) התחלתי	(מולים) שינוי	(מולים) בש"מ
X (g)	0	+2x	2x
Cl <sub>2</sub> (g)	0	+3x	3x

3. שימוש בלחץ הכולל לחישוב  $x$  הלחץ הכולל נתון כ- 0.8 אטמוספרות, ולכן:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{XCl}_3} + P_{\text{X}} + P_{\text{Cl}_2}$$

נשתמש במשוואת הגז האידיאלי:

$$P = \frac{nRT}{V}$$

לכן, עבור כל רכיב:

$$P_{\text{XCl}_3} = \frac{(0.0343 - 2x)RT}{1.5}$$

$$P_{\text{X}} = \frac{2xRT}{1.5}$$

$$P_{\text{Cl}_2} = \frac{3xRT}{1.5}$$

בהצבה למשוואת הלחץ הכולל:

$$\frac{(0.0343 - 2x)RT}{1.5} + \frac{2xRT}{1.5} + \frac{3xRT}{1.5} = 0.8$$

נפתור ל- $x$  ונחשב את הלחצים החלקיים.

$$x = 0.00163 \text{ mol}$$

4. חישוב הלחצים החלקיים

$$P_{\text{XCl}_3} = \frac{(0.0343 - 2(0.00163)) \times (0.0821 \times 373)}{1.5} = 0.634 \text{ atm}$$

$$P_{\text{X}} = \frac{2(0.00163) \times (0.0821 \times 373)}{1.5} = 0.0665 \text{ atm}$$

$$P_{\text{Cl}_2} = \frac{3(0.00163) \times (0.0821 \times 373)}{1.5} = 0.0997 \text{ atm}$$

חלק ב: חישוב  $K_p$  ו- $\Delta G$  ב- $100^\circ\text{C}$

**1. חישוב  $K_p$**  נשתמש במשוואת שיווי משקל:

$$K_p = \frac{(P_X)^2 \cdot (P_{Cl_2})^3}{(P_{XCl_3})^2}$$

לאחר הצבת הערכים שנקבל מ-(א) נחשב את  $K_p$ .

בהצבת הערכים:

$$K_p = \frac{(0.0665)^2 \cdot (0.0997)^3}{(0.634)^2}$$

$$K_p = 1.1 \times 10^{-5}$$

**2. חישוב  $\Delta G$**  נשתמש במשוואת האנרגיה החופשית של גיבס:

$$\Delta G = -RT \ln K_p$$

כאשר:

$$J/mol \cdot K \ R = 8.314 \cdot$$

$$K \ T = 373 \cdot$$

$$\Delta G = -(8.314 \times 373) \times \ln(1.1 \times 10^{-5})$$

$$\Delta G = 287 - (-10.1)$$

$$\Delta G = 28700 \text{ J} = 28.7 \text{ kJ}$$

**חלק ג: חישוב  $K_c$  ב- $100^\circ C$**  נשתמש בקשר בין  $K_p$  ל- $K_c$ :

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$

כאשר:

$$\Delta n = (2 + 3) - 2 = 3$$

ולכן:

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{K_p}{(RT)^3} \\ &= \frac{1.1 \times 10^{-5}}{(0.0821 \times 373)^3} \\ &= 5.67 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

חלק ד: האם האנטרופיה בתגובה עולה או יורדת? אנטרופיה קשורה למספר מולקולות הגז. במקרה זה:

- בצד המגיבים: 2 מולקולות גז
  - בצד התוצרים:  $2 + 3 = 5$  מולקולות גז
- מאחר שמספר המולקולות גדל, ניתן לקבוע ש:

$$\Delta S > 0$$

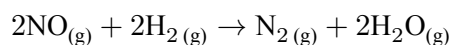
האנטרופיה עולה.

סיכום תשובות סופיות

1. לחצים חלקיים של הגזים:
  - $\text{atm } P_{\text{XCl}_3} = 0.634$
  - $\text{atm } P_{\text{X}} = 0.0665$
  - $\text{atm } P_{\text{Cl}_2} = 0.0997$
2.  $K_p = 1.1 \times 10^{-5}$
3.  $\text{kJ } \Delta G = 28.7$
4.  $K_c = 5.67 \times 10^{-12}$
5. האנטרופיה בתגובה עולה ( $\Delta S > 0$ )

שאלה 2 - שיווי משקל

להלן נתונה התגובה הבאה:



בכדי ללמוד את התגובה ביצעו סדרה של ניסויים הנתונים למטה:

ניסוי	ריכוז התחלתי $\text{mol/L}[\text{NO}]$	ריכוז התחלתי $\text{mol/L}[\text{H}_2]$	קצב יצירה של $\text{N}_2$ ב $\text{mol/L} \cdot \text{min}$
1	0.0060	0.0010	$\times 10^{-4} 1.8$
2	0.0060	0.0020	$\times 10^{-4} 3.6$
3	0.0010	0.0060	$\times 10^{-4} 0.30$
4	0.0020	0.0060	$\times 10^{-4} 1.2$

א. קבעו את סדר התגובה ביחס ל- $\text{H}_2$  ול- $\text{NO}$  וכתבו משוואת קצב כוללת לתגובה.

ב. חשבו את ערך  $K$  עבור התגובה.

ג. בניסוי מספר 2, חשבו את ריכוז ה- $\text{NO}$  שנותר בכלי כאשר מחצית מכמות ה- $\text{H}_2$  נצרכה.

ד. האם יש צורך בכל ארבעת הניסויים בכדי לקבוע את משוואת הקצב לתגובה?

## פתרון - שיווי משקל

ניעזר בשיטת הקצבים הראשוניים:

$$\frac{[\text{NO}]_1^m \cdot [\text{H}_2]_1^n}{[\text{N}_2]} = 1.8 \times 10^{-4}$$

$$\frac{[\text{NO}]_2^m \cdot [\text{H}_2]_2^n}{[\text{N}_2]} = 3.6 \times 10^{-4}$$

נחלק את המשוואות, נשים לב שהריכוז ההתחלתי של NO זהה. נקבל:

$$\frac{[\text{NO}]_1^m \cdot [\text{H}_2]_1^n}{[\text{N}_2]} \cdot \frac{[\text{N}_2]}{[\text{NO}]_2^m \cdot [\text{H}_2]_2^n} = \frac{1.8 \times 10^{-4}}{3.6 \times 10^{-4}}$$

$$\frac{[\text{H}_2]_1^n}{[\text{H}_2]_2^n} = \left( \frac{0.0010}{0.0020} \right)^n = 0.5$$

$$\Rightarrow \boxed{n = 1}$$

שימו לב שהמקדמים הסטיוכומטריים לא משנים לעניין הסדר. קיבלו שהריאקציה מסדר ראשון עבור  $\text{H}_2$ , נמשיך ל- $m$ :  
ריכוז  $\text{H}_2$  זהה בניסוי השלישי והרביעי. ניעזר בכך כדי שיצמצמו.

$$\frac{[\text{NO}]_3^m \cdot [\text{H}_2]_3^n}{[\text{N}_2]} \cdot \frac{[\text{N}_2]}{[\text{NO}]_4^m \cdot [\text{H}_2]_4^n} = \frac{0.30 \times 10^{-4}}{1.2 \times 10^{-4}}$$

$$\frac{[\text{NO}]_3^m}{[\text{NO}]_4^m} = \left( \frac{0.0010}{0.0020} \right)^m = \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow \boxed{m = 2}$$

כלומר שהריאקציה מסדר שני עבור NO. משוואת הקצב הכוללת היא:

$$\boxed{r = [\text{NO}]^2 [\text{H}_2]}$$

## סעיף ב - חישוב קבוע הקצב

נציב את מה שקיבלנו באחד הקצבים כדי לקבל את ערכו של  $k$ :

$$r_1 = k(0.0060)^2(0.0010) = 1.8 \times 10^{-4}$$

$$k = \frac{1.8 \times 10^{-4}}{(0.0060)^2(0.0010)} = \boxed{5000}$$

## סעיף ג - כמות החומר השני באמצע התגובה

להבנתי ניתן להעזר במקדמים הסטיוכומטריים. היחסים הם 1:1, כאשר במצב שבו חצי מכמות המימן התפרקה נשארו 0.0010 מול, נוריד את הכמות הזאת ממולי NO ונקבל  $[\text{NO}] = 0.0060 - 0.0010 = \boxed{0.0050}$ .

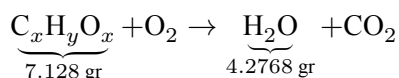
**האם יש צורך בכל הניסויים?**

לדעתי לא. נדרשים שני ניסויים כדי לקבוע כל אחד מהסדרים, אבל ניתן לשלב - למשל ניסוי אחד שבו יהיה ריכוז דומה, ואז להשתמש בשלושה ניסויים בלבד במקום בארבעה.

**שאלה 3 - תגובת שריפה**

תרכובת A מכילה את היסודות פחמן מימן וחמצן בלבד. שרפו בשריפה מלאה 7.128 גרם תרכובת A והתקבלו 4.2768 גרם מים ופחמן דו חמצני. הפחמן הדו חמצני נאסף בכלי שנפחו 4.038 ליטר בטמפר' של  $125^{\circ}C$ . הלחץ ששרר בכלי הוא 1.92 אטמוספירות.

- א. מהי הנוסחה האמפירית של התרכובת A?
- ב. משקלם של 1.5 מול של A הוא 270 גרם. מהי הנוסחה המולקולרית של A?
- ג. תרכובת אחרת בעלת נוסחה אמפירית  $CH_2Br$  מנודפת כולה לפאזה הגזית ב  $375 K$  ובלחץ של  $0.983 atm$ . נמצא כי הצפיפות הגזית של התרכובת היא  $6.00 g/L$ . מהי הנוסחה המולקולרית של התרכובת ושרטטו מבנה לוויס לתרכובת?

**פתרון - תרכובת A**

ניעזר במשוואת הגזים:

$$PV = nRT$$

נתון לנו:

$$P = 1.92 \text{ atm}$$

$$V = 4.038 \text{ L}$$

$$R = 0.08201$$

$$T = 398 \text{ K}$$

$$n = ?$$

נציב:

$$1.92 \times 4.038 = n \times 0.08201 \times 398$$

$$n_{CO_2} \approx \boxed{0.237}$$

$$\Rightarrow n_C = \boxed{0.237}$$

$$\Rightarrow Mass_C = \boxed{2.85 \text{ gr}}$$

נמצא את מולי המימן בעזרת משקל המימן:

$$n_{H_2O} = \frac{4.2768}{18} \approx \boxed{0.236}$$

$$\Rightarrow n_H = 2 \times 0.236 = \boxed{0.475}$$

$$\Rightarrow Mass_H = \boxed{0.475 \text{ gr}}$$

נמצא את משקל החמצן:

$$\begin{aligned} \text{Mass}_O + 0.475 + 2.85 &= 7.128 \\ \Rightarrow \text{Mass}_O &= \boxed{3.803 \text{ gr}} \\ \Rightarrow n_O &= \frac{3.803}{16} \approx \boxed{0.237 \text{ mol}} \end{aligned}$$

נסכם את המולים:

$$O = 0.237$$

$$H = 0.475$$

$$C = 0.237$$

נחלק בגורם הקטן ביותר 0.237 ונקבל שהנוסחה האימפירית היא:



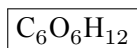
**סעיף ב - נבדוק את הנוסחה המולקולרית**

משקל הנוסחה האמפירית הוא:

$$12 + 16 + 2 = 30 \text{ gr}$$

מהנתון נובע שמשקל של מול אחד של החומר הוא  $2/3 \times 270 = 178.2 \text{ gr}$

נחלק במשקל של הנוסחה האימפירית והיחס שמתקבל הוא  $1/6$  בערך, מכאן שהנוסחה המולקולרית היא:



**סעיף ג - מניפולציות על גז אידיאלי ולואיס**

נוכל לקבל את הנוסחה המולקולרית בעזרת מציאת המשקל המולקולרי, שאותו נקבל בעזרת הצפיפות.

$$\begin{aligned} d &= \frac{m}{V} = \frac{MwP}{RT} \\ \frac{6}{1} &= \frac{Mw \times 0.983}{0.082 \times 375} \\ Mw &= \frac{6 \times 0.082 \times 375}{0.983} = \frac{184.5}{0.983} \approx \boxed{187.69} \end{aligned}$$

משקל הנוסחה האימפירית הוא:

$$12 + 2 + 80 = 94$$

מכאן שצריך לכפול בשתיים לקבלת הנוסחה המולקולרית:  $\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$ .

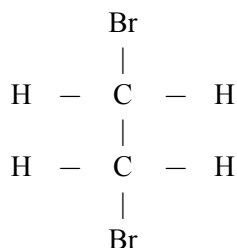


לא לשכוח - נצייר את מבנה לואיס של המולקולה.

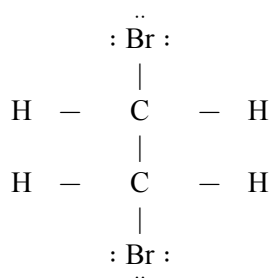
$$4 \times 2 + 4 + 7 \times 2 = 26$$
 מספר אלקטרוני הקשר הוא

נתחיל מבניית השלד ויצירת קשרים יחידים, הפחמן במרכז מימן תמיד בקצוות:

נוודא מי באמצע לפי אלקטרוניביות נמוכה - הברום יותר אלקטרושלילי. נציב את הפחמן במרכז.



נותרו לי 12 אלקטרונים לפזר.



הערה - אני לא בטוח לגבי מבנה לואיס כאן.

#### שאלה 4 - מבנה וקישור

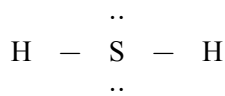
**סעיף א' :** מהי הגיאומטריה של המולקולות הבאות, ומהי ההכלאה (ההיברידיזציה) של האטום המרכזי בכל אחת מהן?

- $\text{H}_2\text{S}$  •
- $\text{PF}_5$  •
- $\text{SO}_2$  •
- $\text{ClO}_3^-$  •
- $\text{CO}_2$  •

**סעיף ב' :** נתונות המולקולות הבאות  $\text{O}_2^{-2}$ ,  $\text{O}_2^{-1}$ ,  $\text{O}_2^{+1}$ . ציירו דיאגרמה של רמות האנרגיה של האורביטלים המולקולריים עבור תרכובות אלו. איזה מן המולקולות פראמגנטית? איזה מולקולה היציבה ביותר?

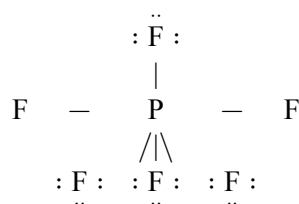
#### פתרון - גיאומטריה והכלאה

$\text{H}_2\text{S}$  נתחיל ממבנה לואיס - לגופרית יש שישה אלקטרוני ערכיות וסה"כ יש שמונה. מבנה לואיס:



מכאן שמדובר בנוטציה של  $\text{AX}_2\text{E}_2$ , הצורה היא **טטרדאדר Bent** (מעוקם), וההיברידיזציה היא  $sp^3$ .

\$\\_5PF\\$ פלואור 7 אלקטרוני ערכיות ולזרחה, 5 סה"כ 40 לסדר.

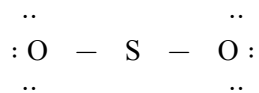


יש גם אלקטרוניים לא קושרים על הפלואור מהצדדים. בכל מקרה מדובר באחת החריגות מכלל האוקטט, של אוקטט מורחב. הנוטציה היא מהצורה  $AX_5$ , הצורה היא בי-פרמידה - **Bipyramidal Trigonal**, וההיברידיזציה  $sp^3d$ .

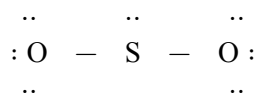
\$\\_2SO\\$ לחמצן יש שישה אלקטרוני ערכיות וכך גם לגופרית, סה"כ 18 לסדר. הגופרית תהיה האטום המרכזי כי החמצן יותר אלקטרושלילי. לדעתי יש כאן רזוננס.



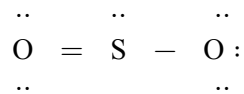
נותרו 14 אלקטרוניים לסדר:



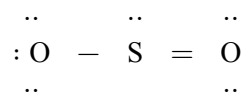
נותרו עוד שניים:



המבנה שגוי כי לא מתקיים כלל האוקטט על המרכזי - נעביר מהקצוות ליצירת קשרים כפולים:



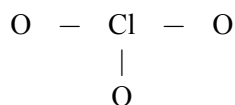
זה אכן מבנה רזוננס, כי גם ייתכן:



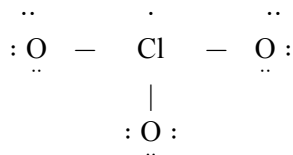
המבנה הוא מהצורה  $AX_2E$ , מכאן שהצורה היא **Planar Trigonal - Bent** וההיברידיזציה  $sp^2$ .

$\$ _3^{-1}\text{ClO}\$$  הכלור פחות אלקטרושלילי - נשים אותו במרכז.

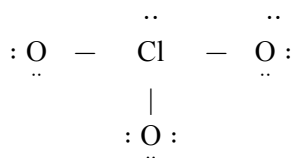
יש לנו  $25 = 7 + 6 \times 3 + 1$  אלקטרוני ערכיות לסדר. שימו לב שבגלל שהמטען שלישי יותר יש +1 אלקטרון ערכיות.



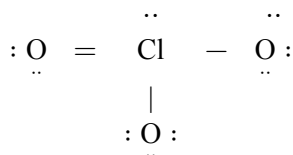
נותרו: 19



בעיה - מבנה לא תקין כי המרכזי לא משלים אוקטט. נעביר אליו אלקטרונים:



לא ברור לי איפה נמצא האלקטרון העודף, ככל הנראה יש כמה אפשרויות:

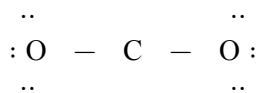


בכל מקרה, הנוטציה של המולקולה היא מהצורה  $\text{AX}_3\text{E}$ , כך שהצורה היא טטראדר (**Pyramidal Trigonal**), (וההיברידיזציה מסוג  $sp^3$ ).

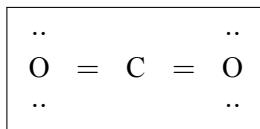
$\$ _2\text{CO}\$$  מולקולות הפחמן פחות אלקטרושלילית ומכאן שהיא במרכז. יש לנו 16 אלקטרוני ערכיות:



נותרו 10 אלקטרונים לסדר:



בעיה - לא מתקיים אוקטט. ננסה ליצור קשרים כפולים:



המולקולה מהצורה  $AX_2$ , המבנה הגיאומטרי שלה הוא לינארי וההיברידיזציה מסוג  $sp$ .

**סעיף ב - אורביטלים מולקולריים**

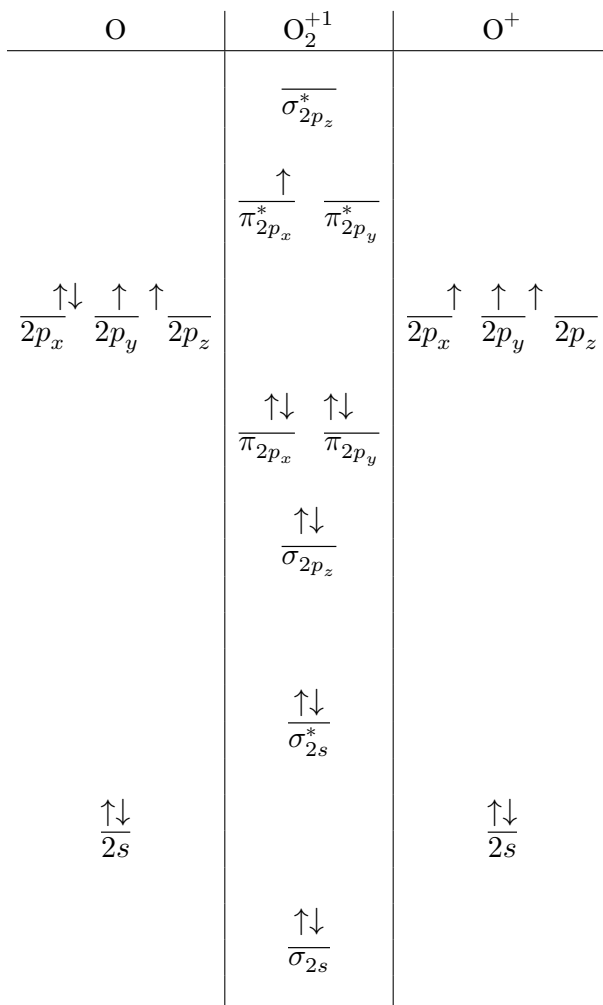
$O_2^{+1}$  סדר הקשר:

$$\begin{aligned} \text{BO} &= \frac{e_{\text{bond}}^- - e_{\text{antibond}}^-}{2} \\ &= \frac{8 - 3}{2} = \boxed{2.5} \end{aligned}$$

מבין כל המולקולות,  $O_2^{+1}$  הכי יציבה, כי סדר הקשר שלה הוא הגובה ביותר (חישובים להלן).

**ככל שסדר הקשר גבוה יותר כך המולקולה יותר יציבה.** לא קיימת מולקולה עם סדר קשר 0.

המולקולה פאראמגנטית מפני שיש לה אלקטרון לא מזווג.

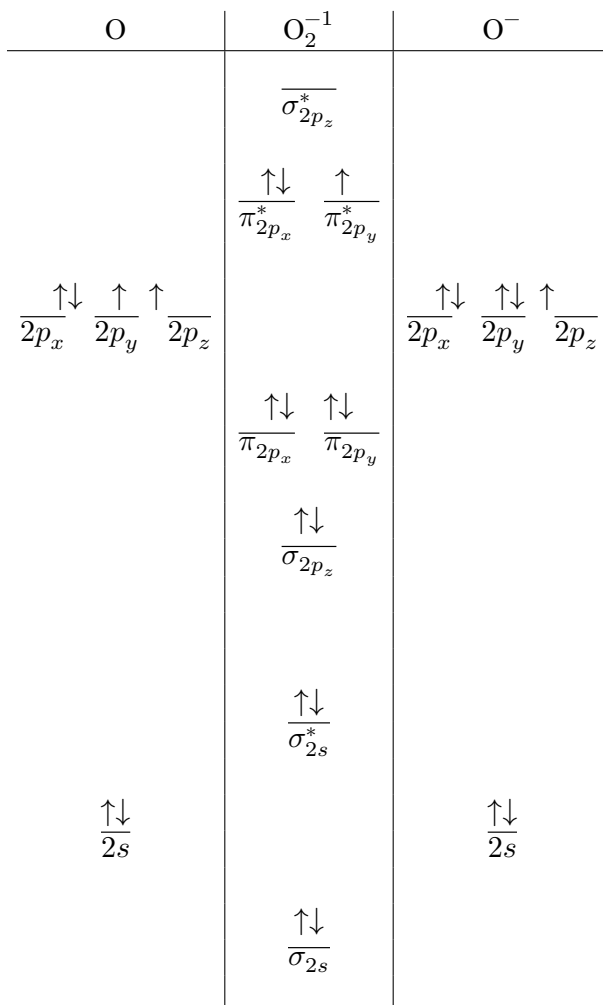


החל מחמצמן (למעלה), הסידור יהיה כמו בתשובה, אבל ביחס לאטומים עם מספר אטומי קטן משבע, הרמות של  $\sigma_{2p_z}$  מתחלפות עם הרמות של  $\pi_{2p_x}$  ו- $\pi_{2p_y}$ .

סדר הקשר: O<sub>2</sub><sup>-1</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{BO} &= \frac{e_{\text{bond}}^- - e_{\text{antibond}}^-}{2} \\
 &= \frac{8 - 5}{2} = \boxed{1.5}
 \end{aligned}$$

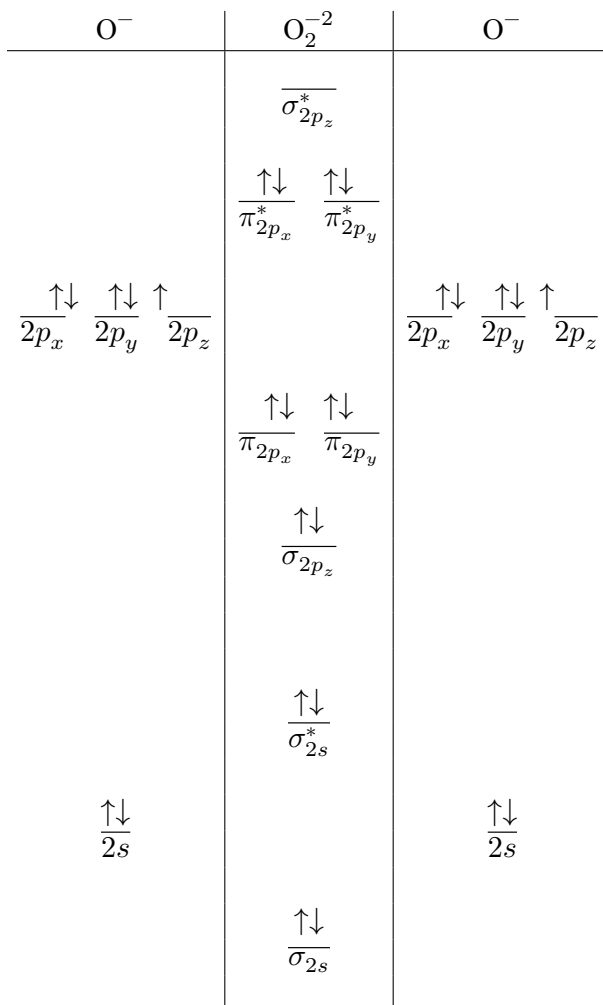
המולקולה פאראמגנטית מפני שיש לה אלקטרון אחד לא מזווג.



סדר הקשר:  $O_2^{-2}$

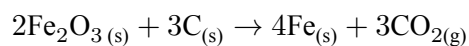
$$\begin{aligned}
 \text{BO} &= \frac{e_{\text{bond}}^- - e_{\text{antibond}}^-}{2} \\
 &= \frac{8 - 6}{2} = \boxed{1}
 \end{aligned}$$

המולקולה לא פאראמגנטית מפני שכל האלקטרונים שלה מזווגים.



**שאלה 5 - חימצון חיזור וספונטניות**

אחת השיטות להפקת ברזל היא על ידי חיזורו עם פחם על פי המשוואה הבאה:



להלן כמה נתונים תרמודינמיים על החומרים המשתתפים בתגובה:

חומר	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (J/mol K)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-824.2	87.4
C(s)	0	5.74
Fe(s)	0	27.28
CO <sub>2</sub> (g)	-393.5	213.6

באילו טמפרטורות תגובת החיזור הנ"ל תהיה ספונטנית? הסבירו בפירוט.

## פתרון - תנאים לספונטניות

1. ראשית, נחשב את האנתלפיה  $\Delta H_{\text{rex}}^\circ$  הכוללת של התגובה:

$$4\text{Fe} \cdot 0 + 3\text{CO}_2 \cdot (-393.5) = -1180.5 \text{ kJ}$$

$$\text{מגיבים: } 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (-824.2) + 3\text{C} \cdot 0 = -1648.4 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{rex}}^\circ = -1180.5 - (-1648.4) = \boxed{+467.9 \text{ kJ}}$$

2. כעת נחשב את האנטרופיה הכוללת  $\Delta S_{\text{rex}}^\circ$ :

$$\text{תוצרים: } 4\text{Fe} \cdot 27.28 + 3\text{CO}_2 \cdot 213.6 = 749.92 \text{ J/K}$$

$$\text{מגיבים: } 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 87.4 + 3\text{C} \cdot 5.74 = 192.02 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{\text{rex}}^\circ = 749.92 - 192.02 = +557.9 \text{ J/K} = \boxed{+0.5579 \text{ kJ/K}}$$

3. תגובה היא ספונטנית כאשר  $\Delta G < 0$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$= 467.9 - T \cdot 0.5579$$

$$\Rightarrow \Delta G < 0 \Leftrightarrow 467.9 - T \cdot 0.5579 < 0$$

$$\Leftrightarrow 467.9 < T \cdot 0.5579$$

$$\Leftrightarrow \boxed{T > 838.6 \text{ K}}$$

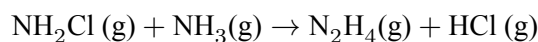
4. מסקנה: התגובה תהיה ספונטנית בטמפרטורות הגבוהות מ- $565.6^\circ\text{C}$ .

זה הגיוני כי:

- התגובה היא אנדותרמית ( $\Delta H > 0$ ), כלומר - היא לוקחת חום מהסביבה. אנרגיית התוצרים גבוהה מאנרגיית המגיבים.
- יש עלייה באנטרופיה ( $\Delta S > 0$ ) בגלל יצירת גז  $\text{CO}_2$ .
- לכן, רק בטמפרטורות גבוהות מספיק, הגורם  $T\Delta S$  יגבר על  $\Delta H$  והתגובה תהפוך לספונטנית לקריאה נוספת - סיכום על ספונטניות.

## שאלה 6 - קינטיקה וספונטניות

החומר הידרזין  $\text{N}_2\text{H}_4$  שימש כדלק לרקטות במלחמת העולם השנייה, את החומר ניתן להכין על פי התגובה הנתונה למטה:



קבועי שיווי המשקל של התגובה נבדקו בטמפרטורות שונות כנתון בטבלה למטה:

$T(\text{K})$	$K_p$
300	$1.525 \times 10^6$
400	$5.522 \times 10^5$
500	$7.515 \times 10^3$



- א. האם התגובה אנדותרמית או אקסותרמית?
  - ב. איך ישתנה היחס בין תוצרים למגיבים אם נבצע את השינויים הבאים:
1. העלאת הטמפרטורה של התגובה
  2. הוספת זרז
  3. הרחקה של הידרזין  $N_2H_4$  מכלי התגובה
  4. הוספה של אמוניה  $NH_3$  לכלי התגובה
- ג. כיצד לדעתכם משתנה האנטרופיה עולה או יורדת עבור תגובה זו בטמפרטורה של  $300^\circ K$ ?

### פתרון - זיהוי סוג התגובה

כדי לקבוע אם התגובה אנדותרמית או אקסותרמית, נסתכל על השינוי בקבוע שיווי המשקל עם העלייה בטמפרטורה:

- לפי עקרון לה שטלייה, כאשר מעלים טמפרטורה, המערכת תיטה לכיוון הצד האנדותרמי.
  - מהנתונים נראה שכשהטמפרטורה עולה, ערך  $K_p$  יורד - כלומר, שהתגובה נוטה יותר לכיוון המגיבים.
  - מכאן שהתגובה ההפוכה (לכיוון המגיבים) היא אנדותרמית, והתגובה ימינה (לכיוון התוצרים) היא אקסותרמית.
- סך הכל קיבלנו שהתגובה היא אקסותרמית.

### סעיף ב' - שינויים

1. העלאת הטמפרטורה תביא להעלאת ריכוז המגיבים, שכן מדובר בתגובה אקסותרמית. כלומר, תקטין את  $K_p$ .
2. הוספת זרז לא תשפיע על יחס המגיבים והתוצרים.
3. הרחקה של הידרזין תטה לכיוון יצירת תוצרים נוספת.
4. הוספה של אמוניה תביא לעליה בתוצרים.

**הערה** - להבנתי היה נכון יותר להשתמש בחץ כפול בתיאור התגובה.

### סעיף ג - אנטרופיה

הסעיף לא היה לי ברור. כנראה שמדובר בירידה.

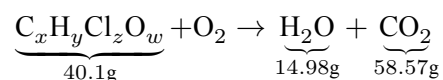
### שאלה 7 - תהליך שריפה

תרכובת מכילה את היסודות C, H, Cl, O בלבד. בכדי לגלות את הרכבה בוצעו מספר מדידות. בניסוי הראשון שרפו 40.10 גרם של התרכובת והתקבלו 58.57 גרם  $CO_2$  ו 14.98 גרם  $H_2O$ . דוגמא אחרת של התרכובת במשקל של 75.00 גרם נבדקה ונמצאה שהיא מכילה 22.06 גרם של היסוד Cl. בניסוי נוסף 7.20 גרם של התרכובת הוכנסו לכלי בנפח 1.5 ליטר בטמפרטורה של  $0^\circ C$  והלחץ הנמדד בכלי היה 0.298 atm - יש להניח שכל הדוגמא עברה לפאזה הגזית.

- חשבו את הנוסחה המולקולרית של התרכובת

### פתרון שאלה 7

בשלב הראשון של תהליך השרפה נמצא את  $x$  ו  $y$ :



מספר המולים של מים שהתקבל הוא:

$$\frac{14.98 \text{ gr}}{18 \text{ gr/mol}} = 0.832 \text{ mol H}_2\text{O}$$

$$\Rightarrow 0.832 \times 2 = 1.66 \text{ mol H}$$

$$\Rightarrow 1.6 \text{ gr H}$$

נמצא באופן דומה את המולים של הפחמן הדו חמצני:

$$\frac{58.57 \text{ gr}}{44 \text{ gr/mol}} = 1.33 \text{ mol}$$

$$\Rightarrow 1.33 \text{ mol C}$$

$$\Rightarrow 1.33 \times 12 \approx 16 \text{ gr C}$$

אנחנו לא יכולים להשמיט את הכלור - נשתמש בנתון על הדוגמא האחרת ונמיר אותו למשקל שיש לנו:

$$75.00 \rightarrow 22.06$$

$$40.10 \rightarrow 11.8 \text{ gr Cl}$$

$$\Rightarrow \frac{11.8}{35.45} = 0.333 \text{ mol Cl}$$

בשלב האחרון נחסיר את המשקלים שמצאנו כדי לזהות את משקל החמצן בדגימה הראשונה:

$$O_{\text{gr}} + 16 + 16 + 11.8 = 40.1$$

$$O_{\text{gr}} = 10.7 \text{ gr O}$$

$$\Rightarrow \frac{10.7}{16} = 0.669 \text{ mol O}$$

סך הכל קיבלנו את המולים הבאים:

$$H = 1.66 \text{ mol}$$

$$C = 1.33 \text{ mol}$$

$$Cl = 0.333 \text{ mol}$$

$$O = 0.669 \text{ mol}$$

נחלק במקדם הקטן ביותר ונקבל:

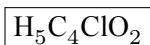
$$H = 5 \text{ mol}$$

$$C = 4 \text{ mol}$$

$$Cl = 1 \text{ mol}$$

$$O = 2 \text{ mol}$$

וסך הכל מצאנו שהנוסחה האימפירית של החומר היא:



אבל שאלו אותנו על הנוסחה המולקולרית, כדי לקבל אותה אנחנו צריכים לדעת את המשקל המולקולרי של החומר. בשביל זה נוכל להיעזר בנתון על הלחץ והמצב הגזי.

$$\begin{aligned} PV &= nRT \\ n &= \frac{PV}{RT} = \frac{0.298 \text{ atm} \times 1.5 \text{ L}}{0.08206 \times 273 \text{ K}} \\ &= \frac{0.447}{22.4} \approx 0.02 \end{aligned}$$

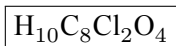
כעת אנחנו יודעים מה המשקל של 0.02 מולים של החומר, נמצא את המשקל של מול אחד שלו:

$$\begin{aligned} 0.02 &\rightarrow 7.20 \text{ gr} \\ 1.00 &\rightarrow \frac{7.2}{0.02} = \boxed{360 \text{ gr}} \end{aligned}$$

נבדוק את המשקל המולקולרי של הנוסחה האמפירית ונתאים אותה לנוסחה המולקולרית:

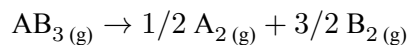
$$\begin{aligned} \text{H}_5\text{C}_4\text{ClO}_2 &\rightarrow 5 + 12 \times 4 + 35.45 + 16 \times 2 \approx 120 \text{ gr} \\ \Rightarrow \text{H}_{15}\text{C}_{12}\text{Cl}_3\text{O}_6 &\approx \boxed{360 \text{ gr}} \end{aligned}$$

**הערה** - החישוב כאן רגיש לעיגול המספרים. בחישובים אחרים יצא לי דווקא שהנוסחה המולקולרית ביחס של 2 : 1 לאימפירית, כלומר:



### שאלה 8 - שיווי משקל ולחצים

חומר גזי מתפרק לפי המשוואה:



השינוי בלחץ בחלקי של החומר  $\text{AB}_3$  נתון בטבלה בטמפ, של  $200^\circ\text{C}$  כפונקציה של הזמן בשעות.

זמן (בשעות)	כספית (מ"מ $\text{AB}_3$ לחץ)
0	660
5	330
15	165
35	82,5

- מצאו את סדר התגובה
- חשבו את קבוע המהירות של התגובה
- מה הלחץ הכללי בכלי אחרי 15 שעות

## פתרון שאלה 8

צריך להיזהר לא להסיק מסקנות - זמן מחצית החיים לא זהה, התגובה אינה מסדר ראשון. נפתור באופן מתודי. תחילה נשים לב שניתן להשתמש בלחצים בחלקיים במקום הריכוזים בגלל שהם פרופורציונאליים:

$$P(\text{AB}_3) \propto [\text{AB}_3]$$

מכאן נוכל להגדיר את משוואת הקצב:

$$r = k [\text{AB}_3]^m = k \times P(\text{AB}_3)^m$$

כעת נחשב ערכים של קצב ממוצע  $r_i = \frac{\Delta P_i}{\Delta t_i}$  בנקודות מסוימות, ונמצא איזה ערך של  $m$  מתאים לנתונים:

$$r_1 = \frac{330 - 660}{5 - 0} = -\frac{330}{5} = -66$$

$$\Rightarrow \boxed{r_1 = 66 = k(660)^m}$$

$$r_2 = \frac{165 - 330}{15 - 5} = -\frac{165}{10} = -16.5$$

$$\Rightarrow \boxed{r_2 = 16.5 = k(330)^m}$$

נחלק את המשוואות כדי לקבל את  $m$ :

$$\frac{66}{16.5} = \frac{k(660)^m}{k(330)^m}$$

$$4 = 2^m$$

$$\Rightarrow \boxed{m = 2}$$

מכאן שהריאקציה מסדר שני.

**סעיף ב'** - נחשב את קבוע המהירות של התגובה. נציב את הנתונים מהסעיף הקודם עבור  $t = 5, r_1$ :

$$r_1 = 66 = k(660)^2$$

$$k = \frac{66}{660^2} \approx \boxed{1.52 \times 10^{-4}}$$

**סעיף ג'** - נחשב את הלחץ הכללי בכלי לאחר 15 שעות:

לאחר 15 שעות הלחץ של  $\text{AB}_3$  ירד ב:

$$660 - 165 = \boxed{495}$$

כלומר, שנוצרו שאר הגזים בלחץ זה. ניעזר ביחסים הסטיוכומטריים למציאת הלחץ שנוצר מהם:

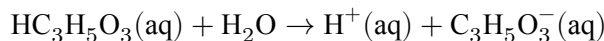
$$P(A_2) = 1/2 \cdot 495 = \boxed{247.5}$$

$$P(B_2) = 3/2 \cdot 495 = \boxed{742.5}$$

$$\Rightarrow P_{\text{tot}} = 165 + 247.5 + 742.5 = \boxed{1155 \text{ mmHg}}$$

### שאלה 9 - חומצות ובסיסים

חומצה לקטית (חומצת חלב)  $\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3$  מאוד חשובה בתהליכים ביולוגיים. משוואת הפירוק שלה במים היא:



ידוע כי בטמפרטורה של 298K קבוע הפירוק של החומצה הוא  $K_a = 1.38 \times 10^{-4}$ .

- א. חשבו את ערך pH של תמיסת חומצה לקטית בריכוז 0.5 M
- ב. לתמיסה בנפח 250 ml של חומצה לקטית בריכוז 0.5 M מוסיפים 0.045 מול של המלח של החומצה  $\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$ . מה יהיה pH של התמיסה?
- ג. לתמיסה שהוכנה בסעיף ב' מוסיפים 100 ml של תמיסת NaOH בריכוז 0.01 M. מה יהיה pH לאחר ההוספה?
- ד. חשבו מה הנפח של תמיסת HCl בריכוז 0.1 M שיש להוסיף לתמיסה בסעיף ג בכדי לחזור ל-pH המקורי של התמיסה שהוכנה בסעיף ב'.

### פתרון סעיף א - ערך pH של חומצה לקטית

נתון לנו קבוע פירוק, מכאן שמדובר בחומצה חלשה.

ניעזר בקבוע הפירוק.

נסמן את כמות החומצה שהתפרקה ב- $x$ , ובגלל היחסים זהו גם ריכוז  $[\text{H}_3\text{O}^+] = x$ . נחשב:

$$\frac{x^2}{0.5} \approx 1.38 \times 10^{-4}$$

$$x = \sqrt{6.90 \times 10^{-5}} = \boxed{8.31 \times 10^{-3}}$$

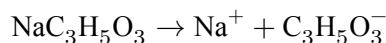
לא לשכוח - כדי לקבל את ערך pH נציב:

$$\text{pH} = -\log(8.31 \times 10^{-3})$$

$$= \boxed{2.08}$$

### פתרון סעיף ב - לאחר הוספת המלח

המלח  $\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$  יתפרק וייתן את הבסיס המצומד לחומצה הלקטית כך שיתקבל יון משותף:



ניעזר במשוואת הנדרסון האסלכך, תחילה נדרש למצוא את ריכוז המלח המצומד.

$$[\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3]_{\text{weak acid}} = \boxed{0.5}$$

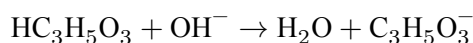
נתנו לנו את מספר המולים, נקבל את הריכוז בעזרת חלוקה בנפח - בשונה מהמקרה בו נתון לנו הריכוז.

$$[\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-]_{\text{conjugate base}} = \frac{0.045}{0.250 \text{ L}} = \boxed{0.180}$$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_a + \log \frac{[\text{conjugate base}]}{[\text{acid}]} \\ &= -\log(1.38 \times 10^{-4}) + \log \frac{0.180}{0.5} \\ &= 3.86 - 0.444 = \boxed{3.42} \end{aligned}$$

**פתרון סעיף ג - הוספת בסיס לתמיסת בופר?**

התמיסה שנוצרה היא תמיסת בופר, להבנתי, הוספת הבסיס תביא לתגובה עם החומצה החלשה ומים:



נחשב כמה מולים של בסיס נוספו:

$$0.01 \times 0.100 \text{ L} = \boxed{0.001 \text{ mol}}$$

נחשב את הריכוזים החדשים - השינוי השפיע גם על נפח התמיסה, ומכאן שצריך לחשב את הריכוזים מחדש ולא רק לחסר מהקודמים:

$$\begin{aligned} [\text{HC}_3\text{H}_5\text{O}_3] &= \frac{0.5 \text{ M} \times 0.250 \text{ L} - 0.001}{0.350 \text{ L}} \\ &= \frac{0.124 \text{ mol}}{0.350 \text{ L}} = \boxed{0.354} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-] &= \frac{0.045 + 0.001}{0.350 \text{ L}} \\ &= \frac{0.046 \text{ mol}}{0.350 \text{ L}} = \boxed{0.131} \end{aligned}$$

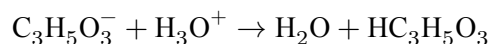
נציב את הריכוזים במשוואת הנדרסון האסלבאך ונקבל:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_a + \log \frac{[\text{conjugate base}]}{[\text{acid}]} \\ &= -\log(1.38 \times 10^{-4}) + \log \frac{0.131}{0.354} \\ &= 3.86 - 0.432 = \boxed{3.43} \end{aligned}$$

עליה קלה בערך pH אכן מתאימה למקרה של הוספת בסיס חזק לבופר.

## סעיף ד - ערך של חומצה חזקה שנדרש כדי לחזור

נמצא את הנפח הדרוש. הוספת החומצה תוביל לתגובה הבאה:



$$3.42 = 3.86 + \log \frac{0.131 - x}{0.354 + x}$$

$$-0.44 = \log \frac{0.131 - x}{0.354 + x}$$

$$10^{-0.44} = \frac{0.131 - x}{0.354 + x}$$

$$0.363x + 0.129 = 0.131 - x$$

$$1.363x = 0.002$$

$$x = \boxed{0.00147}$$

מצאנו את מספר המולים הדרוש, נעבור לנפח:

$$x \text{ L} \times 0.1 \text{ M} = 0.00147 \text{ mol}$$

$$x = \frac{0.00147}{0.1} = \boxed{0.0147 \text{ L}}$$

## שאלה 10 - גזים

לאחרונה התפרסמה ידיעה בעיתונות (על) אודות פרשת הרעלה בגז נוביצינק באנגליה. חוקרים בריטים אספו דוגמא של הגז ונמצא שהיא מכילה

C	H	O	P	F
39.10%	7.67%	26.11%	16.82%	10.3%

כמו כן ידוע כי המסה המולרית של החומר היא  $184.1 \text{ gr/mol}$ .

- א. מצאו את הנוסחה האימפירית של הגז נוביצינק
- מצאו את הנוסחה המולקולרית של הגז נוביצינק
- איזה נפח יתפסו 0.1 מול של הגז נוביצינק בלחץ של 10 atm ובטמפרטורה של  $173^\circ \text{K}$

## פתרון סעיף א - מציאת נוסחה אמפירית

בעיית סטיוכומטריה.

$$n = \frac{M}{M_w}$$

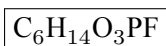
נניח לשם הנוחות שנבדק 100 גרם של החומר, נחשב כמה מולים יש מכל יסוד:

C	H	O	P	F
$39.10/12 = 3.25$	$7.67/1 = 7.67$	$26.11/16 = 1.63$	$16.82/30.9 = 0.544$	$10.3/19 = 0.542$

נחלק בגורם הכי קטן 0.542 ונקבל:

C	H	O	P	F
6	14	3	1	1

סך הכל מצאנו שהנוסחה האימפירית היא:

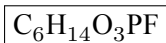


**סעיף ב' - נבדוק את הנוסחה המולקולרית**

המשקל המולקולרי של הנוסחה שקיבלנו הוא:

$$12 \times 6 + 14 + 16 \times 3 + 31 + 19 = \boxed{184 \text{ gr/mol}}$$

זה גם בדיוק המשקל המולקולרי של החומר ולכן הנוסחה האימפירית במקרה הזה שווה למולקולרית:



**סעיף ג = נפח של הגז בלחץ ובתנאים**

ניעזר במשוואת הגז האידיאלי

$$PV = nRT$$

$$10 \times V = 0.1 \cdot 0.08 \cdot 173$$

$$V = \boxed{0.138 \text{ L}}$$

**שאלה 11 - שיווי משקל**

נתונה התגובה הבאה:



בכדי ללמוד את קינטיקה של התגובה ביצעו סדרה של ניסויים המובאים בטבלה למטה:

מספר ניסוי	(M) $[\text{ClO}_2]$	(M) $[\text{OH}^-]$	קצב התחלתי (M/s)
1	0.05	0.1	$5.75 \times 10^{-2}$
2	0.1	0.1	$2.30 \times 10^{-1}$



מספר ניסוי	(M) $[\text{ClO}_2]$	(M) $[\text{OH}^-]$	קצב התחלתי (M/s)
3	0.1	0.05	$1.15 \times 10^{-1}$

- א. מצאו את סדר התגובה עבור  $\text{ClO}_2$  ועבור  $\text{OH}^-$  וסדר תגובה כולל
  - ב. מצאו את ערכו של קבוע הקצב
  - בתגובה אחרת שהיא תגובה מסדר ראשון מטרשחשת בטמפ' של  $70^\circ\text{C}$  ומגיעה תוך 60 דקות ל-40% הפיכת מגיבים לתוצרים. באיזו טמפ' תגיע התגובה ל-80% מהניצולת (קבלת תוצרים) תוך זמן של 120 דקות אם אנרגיית האקטיבציה שלה שווה ל  $60 \text{ kJ/mol}$ ?
- (סעיף ג' אינו חלק מסעיפים א ו ב)

### פתרון מציאת סדרים

ניעזר בשיטת הקצבים הראשוניים:

$$r = k [\text{ClO}_2]^n [\text{OH}^-]^m$$

$$\frac{\text{products}}{[\text{ClO}_2]_1 [\text{OH}^-]_1} = 5.75 \times 10^{-2}$$

נחלק בתגובה השנייה:

$$\frac{\text{products}}{[\text{ClO}_2]_1 [\text{OH}^-]_1} \frac{[\text{ClO}_2]_2 [\text{OH}^-]_2}{\text{products}} = \frac{5.75 \times 10^{-2}}{2.30 \times 10^{-1}}$$

$$\left( \frac{[\text{ClO}_2]_2}{[\text{ClO}_2]_1} \right)^n = \frac{1}{4}$$

$$\left( \frac{0.1}{0.05} \right)^n = \frac{1}{4}$$

נקבל שביחס ל-  $\text{ClO}_2$  הסדר הוא  $n = 2$ .

$$\left( \frac{[\text{OH}^-]_3}{[\text{OH}^-]_2} \right)^m = \frac{2.30 \times 10^{-1}}{1.15 \times 10^{-1}} = 2$$

קיבלו  $m = 1$ , כלומר שביחס ל  $\text{OH}^-$  הסדר הוא ראשון.

וסך הכל סדר התגובה הכולל הוא 3.

**סעיף ב - נמצא את ערכו של קבוע הקצב**

$$k (0.05)^2 (0.1) = 5.75 \times 10^{-2}$$

$$k = 230$$

## סעיף ג - מציאת טמפר'

אנרגיית האקטיבציה  $E_a$  רומזת לשימוש במשוואת אורניוס:

$$\ln \frac{K_1}{K_2} = -\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

משוואת הקצב האינטגרטיבית של ריאקציות מסדר ראשון היא:

$$\ln[A]_t = -k t + \ln[A]_0$$

נציב את הנתונים:

$$\begin{aligned} \ln 60\%[A]_{60} &= -k_1 60 \text{ s} + \ln[A]_0 \\ k_1 &= \ln \frac{[A]}{0.6[A]} / 60 = \boxed{0.0085} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln 20\%[A]_{120} &= -k_2 120 \text{ s} + \ln[A]_0 \\ k_2 &= \ln \frac{[A]}{0.1[A]} / 120 = \boxed{0.0134} \end{aligned}$$

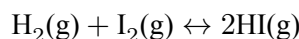
נציב במשוואה, נשים לב שצריך לכפול את אנרגיית האקטיבציה ב-1000 כדי לקבל ערך ב-ג'אול (במקום קילו ג'אול).

$$\begin{aligned} \ln \frac{0.0085}{0.0134} &= -\frac{60000}{8.31} \left( \frac{1}{343} - \frac{1}{T_2} \right) \\ -0.455 &= \underbrace{-7220 \frac{1}{343}}_{-21} + 7220/T_2 \\ 7220/T_2 &= 20.59 \\ T_2 &= 350.56 \end{aligned}$$

כלומר, שהטמפרטורה שבה זה יקרה תהיה סביב  $350.56 \text{ K}$ .

## שאלה 12 - קינטיקה

נתונה התגובה הבאה:



ידוע כי ב- $445^\circ\text{C}$  קבוע שיווי המשקל של התגובה הוא  $K_c = 51$ . לכלי שנפחו 1 ליטר הוכנסו 0.026 מול של  $\text{H}_2(\text{g})$  ו-0.0145 מול של  $\text{I}_2(\text{g})$  הכלי חומם ל- $445^\circ\text{C}$ .

- א. חשבו את ריכוזי כל החומרים בתגובה במצב שיווי משקל
- ב. מה יהיו ריכוזי כל המרכיבים אם במצב שיווי משקל נוסף למערכת  $1.7 \times 10^{-2}$  מול של הגז  $\text{I}_2(\text{g})$ ?
- ג. ענו כיצד כל אחד מהשינויים הבאים ישפיע על ריכוז התוצר  $\text{HI}(\text{g})$
- 1. הגדלת לחץ המערכת

2. הוצאה של  $I_2(g)$  מהמערכת  
 3. הוספה של  $H_2(g)$  למערכת

פתרון סעיף א - חישוב ריכוזי כל החומרים בשיווי משקל

גזים ושיווי משקל.

	$H_2(g)$	$I_2(g)$	$HI(g)$
init	0.026	0.0145	0
change	$-x$	$-x$	$+2x$
eq	$0.026 - x$	$0.0145 - x$	$2x$

האם להשתמש במשוואת הגזים האידיאלית?

$$K_P = K_c(RT)^{\Delta n=0} = 51$$

$$P = \frac{nRT}{v}$$

$$\begin{aligned} K_P &= \frac{(P(HI))^2}{P(H_2)P(I_2)} \\ &= \frac{(2xRT)^2}{((0.026 - x)RT)((0.0145 - x)RT)} \\ &= \frac{4x^2}{(0.026 - x)(0.0145 - x)} \end{aligned}$$

נניח ש  $x$  זניח ונקבל - טעות!

$$\begin{aligned} \frac{4x^2}{(0.026)(0.0145)} &= 51 \\ x^2 &\approx 0.019/4 = 0.0048 \\ x &= 0.069 \end{aligned}$$

מכאן נקבל תשובות לא הגיוניות:

$$[HI(g)] = 0.138[I_2]$$

נחזור שוב ונפתור את המשוואה באופן מלא:

$$\frac{4x^2}{(0.026 - x)(0.0145 - x)} = 51$$

$$4x^2 = (0.026 \cdot 0.0145 - 0.026x - 0.0145x + x^2) 51$$

$$4x^2 = (0.0003 - 0.040x + x^2) 51$$

$$47x^2 - 2.04x + 0.0192 = 0$$

$$\Rightarrow x_{1,2} = \frac{2.04 \pm \sqrt{4.16 - 3.609}}{2 \cdot 47}$$

$$\Rightarrow x_1 = \frac{2.04 + 0.74}{94} = \boxed{0.029}$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{2.04 - 0.74}{94} = \boxed{0.013}$$

$x_1$  לא הגיוני כי הוא מוביל לריכוז שלילי במגיבים. נציב את  $x_2$  ונקבל:

$$[\text{HI(g)}] = 0.013 \times 2 = \boxed{0.026}$$

$$[\text{I}_2] = 0.0145 - 0.013 = \boxed{0.0015}$$

$$[\text{H}_2(\text{g})] = 0.026 - 0.013 = \boxed{0.013}$$

**סעיף ב - נבדוק מה יקרה לאחר הוספת גז של יוד**

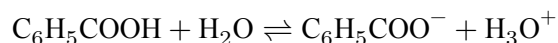
הפתרון כאב ראש.

**סעיף ג - השפעת שינויים**

1. הגדלת לחץ המערכת - לא צפוי לשנות את הריכוז. להבנתי יש מספר זהה של מולים בכל צד של הריאקציה.
2. הוצאת יוד (הוצאת אחד המגיבים) מהמערכת - צפויה להגדיל את התגובה הנגדית של בכיוון ההפוך (מימין לשמאל) ובכך להקטין את ריכוז התוצר.
3. הוספה של מימן (שוב אחד המגיבים) - תגרום לתגובה ליטות לכיוון פירוק גדול יותר של המגיב לתובת תוצר, ובכך להעלות את ריכוז התוצר.

**שאלה 13 - תמיסת בופר**

חומצה בנזואית  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  היא חומצה חז-פרויטית בעלת קבוע פירוק  $K_a = 6.3 \times 10^{-5}$ . מכינים תמיסת בופר על ידי המסה של 2 גרם חומצה בנזואית עם 2 גרם של המלח של החומצה  $\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}$  בתוך 750 ml מים.

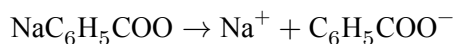


$$K_a = 6.3 \times 10^{-5}$$

- א. מה pH שיתקבל בתמיסת הבופר?
- ב. חשבו את ערך pH אם מוסיפים לתמיסת הבופר 10 ml של KOH בריכוז 0.2 M.
- ג. חשבו את ערך pH אם מוסיפים לתמיסת הבופר 100 ml של תמיסת HCl בריכוז 0.01 M.
- ד. איזה מרכיב של הבופר וכמה גרם ממנו צריך להוסיף לתמיסת הבופר שבסעיף א' על מנת לשנות את pH של תמיסת הבופר המקורית ל-4?

## פתרון סעיף א

נחשב את השפעת היות המשות:



מספר מולים של חומצה בנוזאית בתמיסה המקורית - לא נתון הריכוז נצטרך לחשב את הגרמים והמשקל המולרי כדי לקבל מולים.

$$\begin{aligned} m_w [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] &= 12 \times 7 + 6 + 16 \times 2 \\ &= 122 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mols} &= \frac{M}{\text{molar weight}} \\ &= \frac{2}{122} \\ &\approx \boxed{1.6 \times 10^{-2} \text{ mols}} \end{aligned}$$

מספר המולים של הבסיס המצומד הם ביחס של 1:1 למלח שנוסף, נחפש את המולים את המלח:

$$\begin{aligned} m_w [\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}] &= 23 + 12 \times 7 + 5 + 16 \times 2 \\ &= 144 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mols} &= \frac{M}{\text{molar weight}} \\ &= \frac{2}{144} \\ &\approx \boxed{1.4 \times 10^{-2} \text{ mols}} \end{aligned}$$

הריכוז ההתחלתי של החומצה הוא:

$$\text{conc.} = \frac{\text{mols}}{V} = \frac{1.6 \times 10^{-2}}{0.750} = \boxed{2.1 \times 10^{-2} \text{ M}}$$

הריכוז של הבסיס המצומד:

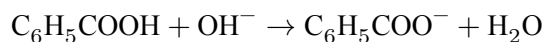
$$\text{conc.} = \frac{\text{mols}}{V} = \frac{1.4 \times 10^{-2}}{0.750} = \boxed{1.9 \times 10^{-2} \text{ M}}$$

נציב במשוואת הנדרסון-האסלבאך:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_a + \log \frac{[\text{conjugate base}]}{[\text{acid}]} \\ &= -\log(6.3 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.019}{0.021} \\ &= 4.2 - 4.3 \times 10^{-2} \\ &\approx \boxed{4.2} \end{aligned}$$

## סעיף ב - ריכוז לאחר הוספת בסיס

הבסיס שנוסיף יתפרק ליוני  $\text{OH}^-$  שיגיבו עם החומצה החלשה:



נמצא את השינויים - מספר המולים של  $\text{OH}^-$  הם ביחס ישיר לבסיס שנוסיף:

$$\begin{aligned} \text{mols}_{\text{OH}^-} &= 0.2 \text{ M} \times 0.010 \text{ L} \\ &= \boxed{2.0 \times 10^{-3}} \end{aligned}$$

נמצא את הריכוזים החדשים:

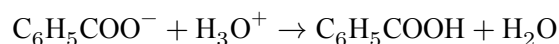
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	$\text{OH}^-$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$	$\text{H}_2\text{O}$
buffer: original	0.0160 mol		0.0190 mol	
add:		0.0020 mol		
changes:	-0.0020 mol	-0.0020 mol?	+0.0020 mol	
buffer: final				
amounts:	0.0140 mol	$\approx 0$	0.0210 mol	
concens:	$\frac{0.0140 \text{ mol}}{0.760 \text{ L}} =$ 0.0180 M	$\approx 0$	$\frac{0.0210 \text{ mol}}{0.760 \text{ L}} =$ 0.0280 M	

נחשב את ה-pH החדש:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_a + \log \frac{[\text{conjugate base}]}{[\text{acid}]} \\ &= -\log(6.3 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.0280}{0.0180} \\ &= 4.2 + 0.19 \\ &= \boxed{4.39} \end{aligned}$$

## סעיף ג - ריכוז לאחר הוספת חומצה

נחזור על התהליך מסעיף ב'. החומצה שנוסיף תתפרק ליוני הידרוניום שייצרו עם המים  $\text{H}_3\text{O}^+$ :



מספר יוני ההידרונים שיווצרו יהיה ביחס 1:1 לחומר שנוסיף:

$$\begin{aligned} \text{mols}_{\text{H}_3\text{O}^+} &= 0.01 \text{ M} \times 0.100 \text{ L} \\ &= \boxed{1.0 \times 10^{-3}} \end{aligned}$$

	$C_6H_5COO^-$	$H_3O^+$	$C_6H_5COOH$	$H_2O$
buffer: original	0.0190 mol		0.0160 mol	
add:		0.0010 mol		
changes:	-0.0010 mol	-0.0010 mol?	+0.0010 mol	
buffer: final				
amounts:	0.0180 mol	$\approx 0$	0.0170 mol	
concens:	$\frac{0.0180 \text{ mol}}{0.850 \text{ L}} =$ 0.021 M	$\approx 0$	$\frac{0.0170 \text{ mol}}{0.850 \text{ L}} =$ 0.020 M	

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= \text{p}K_a + \log \frac{[\text{conjugate base}]}{[\text{acid}]} \\
 &= -\log(6.3 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.021}{0.020} \\
 &= 4.2 + 0.021 \\
 &\approx \boxed{4.2}
 \end{aligned}$$

#### סעיף 4 - מציאת כמות וחומר שיש להוסיף

כדי שהתמיסה המקורית תהיה 4 אנחנו רוצים יותר חומצה. נציב כנעלם את הריכוז הנדרש:

$$\begin{aligned}
 4.2 + \log \frac{0.019}{x} &= 4 \\
 \log \frac{0.019}{x} &= -0.2 \\
 \frac{0.019}{x} &= 10^{-0.2} \\
 x &= 0.019/10^{-0.2} \\
 &= 0.0301
 \end{aligned}$$

כעת נחזור כדי למצוא את הכמות הנדרשת לריכוז זה:

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{mols}}{0.750 \text{ L}} &= 0.0301 \\
 \text{mols} &= \boxed{0.0226}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{mass} &= 122 \text{ g/mol} \times 0.0226 \text{ mol} \\
 &= \boxed{2.75 \text{ gr}}
 \end{aligned}$$

כלומר שנדרש להוסיף עוד 0.75 גרם של  $C_6H_5COOH$  לקבלת הריכוז המבוקש.

#### שאלה 14 - כוחות בין-מולקולריים

בשאלה זו אין קשר בין סעיפי השאלה כל סעיף יש לפתור ללא קשר לסעיף הקודם.

א. חשב את המשקל המולקולרי ( $M_w$ ) של חומר לא ידוע אם נתון כי 7.39 גרם של החומר הומסו ב 85 גרם של בנזן גרמו לעליה בנקודת הרתיחה של בנזן מ  $80.2^\circ\text{C}$  ל  $82.6^\circ\text{C}$ . וכן ידוע עבור בנזן  $K_b = 2.52^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ .

ב. לתמיסה מימת של חלבון לא ידוע המכילה 1.08 גרם ב 50 מיליליטר מים יש לחץ אוסמוטי של 5.85 mmHg ב  $25^\circ\text{C}$ . מצא את המסה המולרית של החלבון.

ג. ידוע כי הלחץ אדים הטהור של פנאן שווה 508.5 mmHg ולחץ האדים הטהר של הקסאן שווה ל 149.1 mmHg בטמפרטורה של  $25^\circ\text{C}$ . מכינים תמיסה של 50% פנאן ו-50% הקסן.

1. חשבו את הלחץ החלקי של פנאן ושל הקסן מעל התמיסה ואת הלחץ הכללי של התמיסה.
2. מה השבר המולי של פנאן של הקסאן בפאזה הגזית מעל התמיסה בשיווי משקל?
3. במדידה שביצע חוקר הוא מצא כי השבר המולרי של פנאן מעל התמיסה הוא 0.79 האם זאת תמיסה אידיאלית? הסבר

### פתרון - סעיף א משקל מולקולרי

שאלה על שינוי בנקודת הרתיחה.

דוגמא לטעות שלי:

$$m \text{ (molality)} = \frac{\text{mols}}{1\text{L}} = \frac{\frac{\text{Mass}}{M_w}}{1\text{L}}$$

בנסיבות המקרה הממס היה במשקל של 0.085 Kg, מכאן שהביטוי הנכון הוא:

$$m \text{ (molality)} = \frac{\text{mols}}{\text{mass of solvent (Kg)}} = \frac{\frac{\text{Mass}}{M_w}}{0.085 \text{ Kg}} = \frac{7.39 \text{ gr}}{M_w \cdot 0.085 \text{ Kg}}$$

$$\Delta T_b = i K_b m$$

$$2.4 = 2.52 m$$

$$m \approx 0.96$$

מכאן:

$$0.96 = \frac{7.39 \text{ gr}}{M_w \cdot 0.085 \text{ Kg}}$$

$$M_w \approx 90.6$$

לא לשכוח יחידות -  $M_w \approx 90.6 \text{ gr/mol}$ .

### סעיף ב - מסה מולרית של חלבון

ניעזר בנוסחה של לחץ אוסמוטי:

$$\pi = M \times RT$$

שוב נעשה מניפולציות על הנוסחאות:

$$M = \frac{n}{V} = \frac{\text{mass gr}}{M_w \cdot V}$$



$$\begin{aligned}\pi &= M \times RT \\ 5.85 &= M \times 0.082 \cdot 298 \text{ K} \\ M &= 0.239 \\ \Rightarrow 0.239 &= \frac{1.08 \text{ gr}}{M_w \cdot 0.050 \text{ L}} \\ M_w &= \boxed{90.37 \text{ gr/mol}}\end{aligned}$$

**טעות:** היחידות של כספית לא מתאימות לנוסחה! צריך להמיר לאטמוספירות.

נפתור מחדש:

$$\begin{aligned}\pi &= M \times RT \\ 5.85 \text{ mmHg} = 0.0076 \text{ atm} &= M \times 0.082 \cdot 298 \text{ K} \\ M &= 0.0003 \\ \Rightarrow 0.0003 &= \frac{1.08 \text{ gr}}{M_w \cdot 0.050 \text{ L}} \\ M_w &\approx \boxed{69449 \text{ gr/mol}}\end{aligned}$$

**לקח:** במשוואת הלחץ האוסמוטי התוצאה ביחידות של אטמוספירה.

**סעיף ג' - לחץ אדים ועוד**

**לחץ אדים** נשתמש בנוסחה של חוק ראולט:

$$\begin{aligned}P_{\text{tot}} &= \chi_{\text{pentane}} \times P^\circ(\text{pentane}) + \chi_{\text{hexane}} \times P^\circ(\text{hexane}) \\ &= 0.5 \times 508.5 + 0.5 \times 149.1 = 328.8 \text{ mmHg}\end{aligned}$$

הלחצים החלקיים:

$$\begin{aligned}P_{\text{hexane}} &= 254.25 \text{ mmHg} \\ P_{\text{pentane}} &= 74.55 \text{ mmHg}\end{aligned}$$

**שבר מולי** נשתמש בנוסחה לשבר מולי:

$$\chi_a = \frac{n_a}{n_a + n_b + \dots}$$

במקרה של גזים זה אותו הדבר.

מכאן שעבור הקסאן:

$$\chi_h = \frac{254.25}{328.8} = 0.773$$

ועבור פנטאן

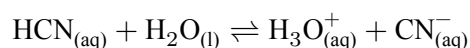
$$\chi_p = \frac{74.55}{328.8} = 0.226$$

האם זו תמיסה אידיאלית? בתמיסה אידיאלית מצופה דיוק גובה לחוק ראול. התכונות של חומרים בתמיסות כאלה קרובות מאוד לתכונות שלהם כחומר טהור, והם כמעט שלא משפיעים אחד על השני בכוחות בין-מולקולריים (גם האנתלפיה לא משתנה ועוד).

בנסיבות המקרה הייתה חריגה של 0.02 מהערך שמצאנו. בהנחה שלא מדובר בסתייה משמעותית או שגיאת מדידה, נראה שהתמיסה אידיאלית או קרובה לאידיאלית.

## שאלה 15

חומצה ציאנית מתפרקת לפי הנוסחה:



$$K_a = 6.3 \times 10^{-10}$$

הערה: בשאלה המקורית היה שימוש בחץ לא כפול, למרות שלהבנתי מדובר בתגובה שמגיעה לשיווי משקל.

- א. מה יהיה ה-pH התמיסה בריכוז 0.4 M?
- ב. מה יהיה ה-pH אם נוסיף 50 מ"ל של 0.2 M NaOH לתוך 50 מ"ל של התמיסה הנ"ל?
- ג. מה יהיה ה-pH לאחר הוספת 50 מ"ל נוספים של 0.2 M NaOH לתמיסה של סעיף ב'?

### פתרון סעיף א - מציאת ריכוז

התגובה מאוזנת.

נחשב את ה-pH של התמיסה בריכוז 4 מולר:

	$\text{HCN}_{(\text{aq})}$	$\text{H}_3\text{O}_{(\text{aq})}^+$	$\text{CN}_{(\text{aq})}^-$
init	0.4	-	-
change	$-x$ M	$+x$ M	$+x$ M
eq	$0.4 - x$ M	$x$ M	$x$ M

נשתמש בנתון על קבוע הפירוק של החומצה:

$$\frac{x^2}{0.4 - x} = 6.3 \times 10^{-10}$$

$x$  זניח נקבל:

$$\frac{x^2}{0.4 - x} \approx \frac{x^2}{0.4} = 6.3 \times 10^{-10}$$

$$x^2 = 0.4 \times 6.3 \times 10^{-10}$$

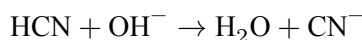
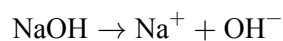
$$x = \sqrt{0.4 \times 6.3 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5}$$

נציב בהגדרת pH:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log 1.6 \times 10^{-5} = \boxed{4.8}$$

### פתרון סעיף ב

החומר שנוסיף יתפרק במים ויגיב עם החומצה:



ניעזר במשוואת הנדרסון האסלבאך עבור החומצה HCN והבסיס המצומד שלה  $\text{CN}^-$ , לשם כך נמצא את הריכוזים בתום התגובה. מספר המולים של HCN שהיו בהתחלה, לפני התגובה הם:

$$0.4 \text{ M} \times 0.05 \text{ L} = \boxed{0.02 \text{ mols}}$$

מספר המולים של הבסיס המצומד  $\text{CN}^-$  לאחר הוספת NaOH נוצרים ביחס של 1 : 1 עם המולים של NaOH:

$$0.2 \text{ M} \times 0.05 \text{ L} = \boxed{0.01 \text{ mols}}$$

מכאן, מספר המולים של החומצה לאחר התגובה:

$$0.02 - 0.01 = \boxed{0.01 \text{ mols}}$$

הנפח של התמיסה לאחר התגובה הוא  $\boxed{0.1 \text{ L}}$ , מכאן שהריכוזים הם:

$$\text{conc.} = \frac{\text{mols}}{\text{V}} = \frac{0.01}{0.1} = \boxed{0.1 \text{ M}}$$

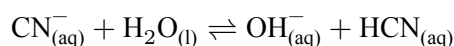
אפשר גם לחשוב על זה כהכפלה ב-10: אם ב-100 ml מצאנו 0.1 מולס, אז בשביל לקבל את מספר המולים בליטר אחד נצטרך לכפול בעשר.

נפתור:

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= \text{p}K_a + \log \frac{[\text{conjugate base}]}{[\text{acid}]} \\
 &= -\log(6.3 \times 10^{-10}) + \log \frac{[0.1]}{[0.1]} \\
 &= 9.2 + 0 \\
 &= \boxed{9.2}
 \end{aligned}$$

## פתרון סעיף ג

נשים לב שלאחר הוספת 50 ml נוספים של NaOH כל החומצה תתפרק. כדי לחשב את ה-pH ניעזר בקבוע הפירוק של המים, שכן התהליך שימשיך להתרחש בכלי הוא תגובה של המים כחומצה, עם עודף של  $\text{CN}^-$  שנוצר:



קבוע הפירוק של החומצה HCN נתון לנו בשאלה וקבוע הפירוק של המים ידוע. נוכל להיעזר בנוסחה הבאה כדי לקבל את קבוע הבירוק של הבסיס  $\text{CN}^-$ , וממנו לקבל את הערך של pOH

$$\begin{aligned}
 k_w &= k_a \times k_b \Rightarrow k_b = \frac{k_w}{k_a} \\
 k_b &= \frac{10^{-14}}{6.3 \times 10^{-10}} = \boxed{1.6 \times 10^{-5}}
 \end{aligned}$$

כעת נעבור לחישוב הערך של pOH בעזרת הנוסחה:

$$k_b = \frac{\text{conjugate acid}}{\text{weak base}}$$

$$\text{pOH} = -\log(\text{weak base})$$

כאשר במקרה שלנו  $\text{CN}^-$  הוא הבסיס החלש ו-HCN החומצה המצומדת.

הריכוז ההתחלתי של  $\text{CN}^-$  הוא:

$$\frac{0.02 \text{ mols}}{0.150 \text{ L}} = \boxed{0.13 \text{ M}}$$

נסמן ב-x את הריכוז שירד בעת התפרקות ויצירת HCN ו- $\text{OH}^-$ , מכאן שבשיווי משקל הריכוז של הבסיס הוא  $0.13 - x$ . נמצא את החלק שהתפרק ונוצא בעזרת קבוע הפירוק של הבסיס:

$$\begin{aligned}
 \frac{[\text{OH}^-][\text{HCN}]}{[\text{CN}^-]_{\text{eq}}} &= \frac{x^2}{0.13 - x} = 1.6 \times 10^{-5} \\
 x &= \sqrt{0.13 \times 1.6 \times 10^{-5}} \\
 &= \boxed{1.4 \times 10^{-3}}
 \end{aligned}$$

מכאן נקבל:

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\log 1.4 \times 10^{-3} \\ &= \boxed{2.8} \end{aligned}$$

מכאן:

$$\begin{aligned} \text{pH} + \text{pOH} &= 14 \\ \text{pH} &= 14 - 2.8 \\ &= \boxed{11.2} \end{aligned}$$