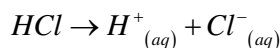




יסודות הכימיה 124114 (2010)

פתרון תרגיל בית מס' 12 – חומצות ובסיסים, תמיסות מגן (בופרים)

1. א. HCl היא חומצה חזקה המתפרקת ליונים במלואה לפי התגובה:



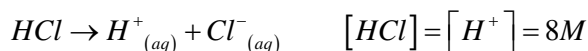
$$[HCl] = 5 \cdot 10^{-9} M$$

ריכוז החומצה נמוך מאוד וכתוצאה מכך גם ריכוז H^+ גם נמוכה מאוד (יותר קטנה מהתרומה של המים), לכן צריך להתחשב גם ביוניזציה העצמית של המים שתורמת $H^+ 1 \cdot 10^{-7} M$.

HCl	$Cl^-_{(aq)}$	$H^+_{(aq)}$	
$5 \cdot 10^{-9}$	0	$1 \cdot 10^{-7} M$	בהתחלה:
	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9} + 1 \cdot 10^{-7} = 1.05 \cdot 10^{-7}$	בש"מ:

$$pH = -\log [H^+] = -\log (1.05 \cdot 10^{-7}) = 6.98$$

ב.



$$pH = -\log [H^+] = -\log (8) = 0.9$$

ג. HCl הינה חומצה חזקה ולכן תגובת הפירוק שלה במים היא: $HCl \rightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

$$n_{(HCl)} = C \cdot V = 0.05 \frac{\text{mol}}{L} \cdot 0.1 L = 5 \cdot 10^{-3} \text{mol}$$

$$n_{(H^+)} = n_{(HCl)} = 5 \cdot 10^{-3} \text{mol}$$

$$[H^+] = \frac{n_{(H^+)}}{V} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{mol}}{0.2L} = 0.025M$$

$$pH = -\log [H^+] = -\log (0.025) = 1.6$$

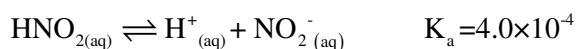
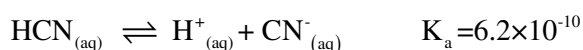
ד. $NaOH$ הוא בסיס חזק ולכן תגובת הפירוק שלו במים היא: $NaOH \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

$$[OH^-] = [NaOH] = 0.5M$$

$$pOH = -\log [OH^-] = -\log (0.5) = 0.3$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 0.3 = 13.7$$

2. HCN ו- HNO_2 הן חומצות חלשות, לכן הצורונים העיקריים בתמיסה הם: HCN, HNO_2, H_2O



החומצה HNO_2 בעלת קבוע הפירוק הגדול ביותר לכן הפירוק של חומצה זו הוא המשמעותי ביותר, הפירוק של HCN ושל H_2O זניח.

$$K_a = 4.0 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]}$$



$\text{HNO}_{2(aq)}$	$\text{H}^+_{(aq)}$	$\text{NO}_2^-_{(aq)}$
5M	-	-
5-X	X	X

$$\Rightarrow 4.0 \cdot 10^{-4} = \frac{X^2}{5-X} \cong \frac{X^2}{5} \quad \Rightarrow \quad X = 4.5 \cdot 10^{-2}$$

$$\left[\frac{X}{[\text{HNO}_2]_0} \cdot 100 = \frac{4.5 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot 100 = 0.9\% < 5\% \right. \text{בדיקה:}$$

$$[\text{H}^+] = 4.5 \cdot 10^{-2} \text{ M} \quad \Rightarrow \quad \text{pH} = -\log(4.5 \cdot 10^{-2}) = 1.35 \quad \text{לכן:}$$

$$K_a = 6.2 \cdot 10^{-10} = \frac{[\text{H}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]}$$

חישוב ריכוז CN^- בש"מ: יוני CN^- מגיעים מפירוק של HCN :

נציב את ריכוז יוני ההדרוניום בקבוע הפירוק של HCN : $[\text{HCN}] \approx [\text{HCN}]_0 \approx 1.00 \text{ M}$

$$K_a(\text{HCN}) = 6.2 \cdot 10^{-10} = \frac{(4.5 \cdot 10^{-2})(\text{CN}^-)}{1.00} \Rightarrow [\text{CN}^-] = 1.4 \cdot 10^{-8} \text{ M}$$

3. התגובה היא תגובת סתירה בין חומצה חזקה ובסיס חזק: $\text{NaOH} + \text{HClO}_4 \rightarrow \text{NaClO}_4(s) + \text{H}_2\text{O}(l)$

חישוב כמות NaOH הדרושה לסתירה של כל החומצה ועודף הבסיס לקבלת $\text{pH} = 9.7$.

$$n(\text{HClO}_4) = C \times V = 1.6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0.3 \text{ L} = 0.48 \text{ mol} \quad \text{כמות הבסיס הדרושה לסתור של כל החומצה:}$$

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HClO}_4) = 0.48 \text{ mol} \quad \text{לפי היחסים הסטכיומטרים:}$$

$$m(\text{NaOH}) = n \times M_w = 0.48 \text{ mol} \times 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 19.2 \text{ g}$$

כמות הבסיס הדרושה לקבלת $\text{pH} = 9.7$:

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 9.7 = 4.5 \quad \text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = 4.5 \quad [\text{OH}^-] = 3.16 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

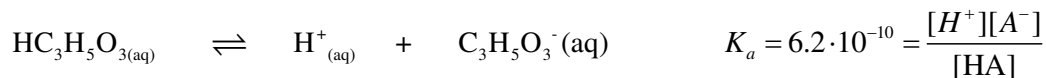
$$n(\text{OH}^-) = C \times V = 3.16 \cdot 10^{-5} \text{ M} \times 0.3 \text{ L} = 9.48 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \quad n(\text{NaOH}) = n(\text{OH}^-) = 9.48 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

$$m(\text{NaOH}) = n \times M_w = 9.48 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \times 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0.00038 \text{ g}$$

$$m_{\text{tot}}(\text{NaOH}) = 19.2 \text{ g} + 0.00038 \text{ g} = 19.20038 \text{ g}$$



4. אחוז הפירוק של החומצה נמוך ולכן זוהי חומצה חלשה. מרכיבי התמיסה העיקריים הם: HA , H_2O .
נניח כי נפח התמיסה 1 L.



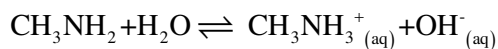
$HA_{(aq)}$	$H^+_{(aq)}$	$A^-(aq)$
0.1M	-	-
0.1-X	X	X

לפי אחוז הפירוק:

$$\frac{X}{[HA]} \times 100 = \frac{X}{0.1 - X} \times 100 = 3.7 \Rightarrow X = 3.57 \cdot 10^{-3} M$$

$$[A^-] = [H^+] = X = 3.7 \cdot 10^{-3} M \quad K_a = \frac{(3.57 \cdot 10^{-3})^2}{0.1 - 3.57 \cdot 10^{-3}} = 1.32 \cdot 10^{-4}$$

5. CH_3NH_2 הוא בסיס חלש, ולכן מרכיבי התמיסה: H_2O , CH_3NH_2 . נניח כי נפח התמיסה 1L.



CH_3NH_2	$CH_3NH_3^+_{(aq)}$	$OH^-_{(aq)}$
1-X	X	X

$$K_b = \frac{X^2}{1 - X} \cong \frac{X^2}{1} \Rightarrow X = 2.1 \cdot 10^{-2}$$

$$[OH^-] = 2.01 \cdot 10^{-2} M \Rightarrow pOH = 1.68 \Rightarrow pH = 14 - 1.68 = 12.32$$

6. א. נניח כי נפח התמיסה 1L. $BOH \rightleftharpoons B^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$

BOH	$B^+_{(aq)}$	$OH^-_{(aq)}$	
0.7M	0	0	בהתחלה:
0.7- x	x	x	בש"מ:

$$K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]} = \frac{x^2}{0.7 - x} = 10^{-5}$$

נזניח את x ביחס ל- 0.7:

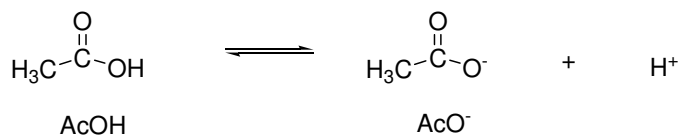
$$\frac{x^2}{0.7} = 10^{-5} \quad x = 2.6 \cdot 10^{-3} \ll 0.7$$



$$pOH = -\log [OH^-] = -\log (2.6 \times 10^{-3}) = 2.6$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 2.6 = 11.4$$

ב. חומצה אצטית היא חומצה חלשה ולכן תגובת הפירוק שלה היא תגובת ש"מ:



$$\text{AcOH} \rightleftharpoons \text{AcO}^- + \text{H}^+ \quad K_a = \frac{[\text{AcO}^-][\text{H}^+]}{[\text{AcOH}]} = 1.8 \cdot 10^{-5}$$

AcOH	AcO ⁻	H ⁺	
0.25 M	0	0	בהתחלה:
0.25 - x	x	x	בש"מ:

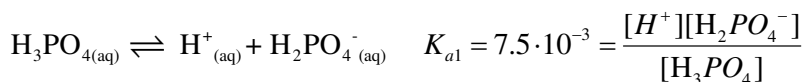
$$K_a = \frac{[\text{AcO}^-][\text{H}^+]}{[\text{AcOH}]} = \frac{x^2}{0.25 - x} = 1.8 \cdot 10^{-5}$$

נזניח את x ביחס ל 0.25:

$$\frac{x^2}{0.25} = 1.8 \cdot 10^{-5} \quad x = 2.12 \cdot 10^{-3} M \ll 0.25$$

$$pH = -\log [H^+] = -\log (2.12 \cdot 10^{-3}) = 2.67$$

7. הפירוק העיקרי הוא של H₃PO₄. נניח כי נפח התמיסה הוא 1 L.



H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	H ⁺	
5	0	0	בהתחלה:
5 - x	x	x	בש"מ:

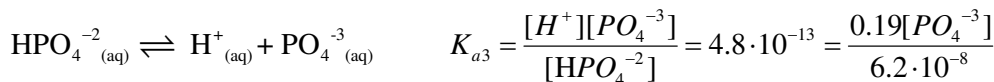
$$7.5 \cdot 10^{-3} = \frac{X^2}{5 - X} \quad X = [H^+] = 0.19 M \Rightarrow pH = 0.72$$

$$[H^+] = 0.19 M \Rightarrow pH = 0.72$$



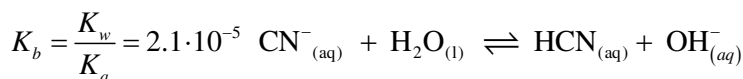
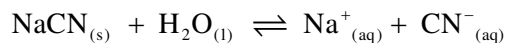
$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{H}^+] = 0.19\text{M}$$

$$K_{a2} = 6.2 \cdot 10^{-8} = \frac{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = \frac{0.19 \times [\text{HPO}_4^{2-}]}{0.19} \quad [\text{HPO}_4^{2-}] = 6.2 \cdot 10^{-8}\text{M}$$



$$[\text{PO}_4^{3-}] = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{M}$$

8.8



$\text{CN}^-_{(aq)}$	$\text{HCN}_{(aq)}$	$\text{OH}^-_{(aq)}$
$0.05 - X$	X	X

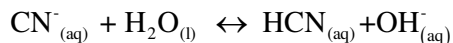
$$K_b = \frac{[\text{HCN}][\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{X^2}{0.05 - X} \Rightarrow X = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-3}\text{M} \Rightarrow p\text{OH} = 3 \Rightarrow p\text{H} = 14 - 3 = 11$$

ב.

$$\text{Mw}(\text{NaCN}) = 49 \text{ g/mol}$$

חישוב ה-pH של התמיסה לפני ההוספה:



$\text{CN}^-_{(aq)}$	$\text{HCN}_{(aq)}$	$\text{OH}^-_{(aq)}$
$\frac{1 \cdot 10^{-3} - X}{0.9}$	$\frac{X}{0.9}$	$\frac{X}{0.9}$

$$\frac{\left(\frac{X}{0.9}\right)^2}{\left(\frac{1 \cdot 10^{-3} - X}{0.9}\right)} = 2.1 \cdot 10^{-5} \Rightarrow X = 1.349 \cdot 10^{-4} \Rightarrow p\text{H} = 10.17$$

$$n(\text{NaCN}) = \frac{m}{\text{Mw}} = \frac{2.450\text{g}}{49 \text{ g/mol}} = 0.05\text{mol}$$

מס' מולים של NaCN שהוספו:

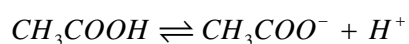
הריכוז ההתחלתי של CN^- :

$$[CN^-] = \frac{0.05 \text{ mol} + 1 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0.9 \text{ L}} = 0.056 \text{ M}$$

$CN^-_{(aq)}$	$HCN_{(aq)}$	$OH^-_{(aq)}$
$0.056 - X$	X	X

$$K_b = \frac{X^2}{0.056 - X} \Rightarrow pH = 11.0 \Rightarrow \Delta pH = 11.0 - 10.12 = 0.88$$

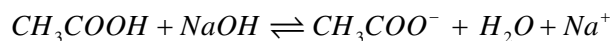
9. א. ה- pH במצב ההתחלתי יקבע לפי אנדרסון-היסלבך לכן :



$$pH = pK_a + \log \frac{CH_3COO^-}{CH_3COOH} = -\log 1.8 \cdot 10^{-5} + \log \frac{0.24}{0.24} = 4.74$$

התוספת של ה- NaOH (0.05ml) תקטין את מספר המולים של החומצה CH_3COOH (כתוצאה מהתגובה)

ותגדיל את מספר המולים של הבסיס המצומד CH_3COO^- לפי התגובה :



נחשב את מספר המולים של המרכיבים :

$$n_{(CH_3COOH)} = n_{(CH_3COO^-)} = C \times V = 0.24 \text{ M} \times 0.01 \text{ L} = 0.024 \text{ mol}$$

$$n(NaOH) = 0.05 \cdot 10^{-3} \times 0.2 = 10^{-5} \text{ mol}$$

אחרי התגובה עם NaOH :

$$n(CH_3COOH) = n(CH_3COOH)_{initial} - n(NaOH)_{initial} = 0.024 - 10^{-5} \approx 0.024 \text{ mol}$$

$$n(CH_3COO^-) = n(CH_3COO^-)_{initial} + n(NaOH)_{initial} = 0.024 + 10^{-5} \approx 0.024 \text{ mol}$$

ולכן ה- pH של התמיסה כמעט ולא משתנה.

ב. נחשב את מספר המולים לאחר התגובה כשריכוז החומצה הוא 0.002M :

$$n_{(CH_3COOH)} = n_{(CH_3COO^-)} = C \cdot V = 0.002 \cdot 0.01 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

אחרי התגובה עם NaOH :

$$n(CH_3COOH) = n(CH_3COOH)_{initial} - n(NaOH)_{initial} = 2 \cdot 10^{-5} - 10^{-5} = 10^{-5} \text{ mol}$$

$$n(CH_3COO^-) = n(CH_3COO^-)_{initial} + n(NaOH)_{initial} = 2 \cdot 10^{-5} + 10^{-5} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$pH = pK_a + \log \frac{CH_3COO^-}{CH_3COOH} = -\log 1.8 \cdot 10^{-5} + \log \frac{3 \cdot 10^{-5}}{10^{-5}} = 4.74 + 0.47 = 5.2$$

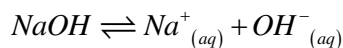
במקרה הזה, ריכוז הבופר נמוך מאוד, לכן הקיבולת שלו נמוכה יותר וכושר שימור ה- pH יורד.



$$pH = pK_a + \log \frac{CH_3COO^-}{CH_3COOH} = 4.74 + \log \frac{0.01}{0.392} = 3.14 \quad \text{ג.}$$

ריכוז החומצה גבוהה יותר מריכוז הבסיס המוצמד (מלח) לכן הבופר שומר על pH חומצי יותר.
הערה: בופר מגן בצורה הכי טובה על ה pH של התמיסה כאשר ריכוז החומצה שווה לריכוז הבסיס המוצמד,
ולכן הבופר שהוכן בסעיף א. הינו בופר שמגן בצורה טובה יותר.

ד.



$$n(NaOH) = n(OH^-) = 10^{-5} \text{ mol}$$

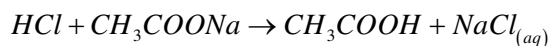
$$C = \frac{n}{V} = \frac{10^{-5}}{(0.01 + 0.05 \cdot 10^{-3})} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$p(OH) = -\log[OH^-] = -\log 1 \cdot 10^{-3} \text{ M} = 3 \quad pH = 14 - p(OH) = 11$$

10. לפי משוואת אנדרסון-הסלבלך: $pH = pK_a + \log \frac{CH_3COO^-}{CH_3COOH}$ כדי ש- $pH = pK_a$ ריכוז החומצה והבסיס

המוצמד צריכים להיות שווים: $n(CH_3COOH) = n(CH_3COO^-)$

התגובה מתרחשת בין הבסיס המוצמד לבין חומצת המלח HCl:



$$C(HCl) = 0.5 \text{ M} \quad C(CH_3COO^-) = 0.1 \text{ M}$$

נניח שנפח תמיסת החומצה הדרוש הוא $V(HCl)$ ונפח תמיסת המלח הדרוש הוא $V(CH_3COONa)$:

$$n(CH_3COOH) = n(HCl) = C(HCl) \times V(HCl) = 0.5 \times V(HCl)$$

$$n(CH_3COONa) = n(CH_3COONa)_0 - n(HCl) = C(CH_3COONa)_0 \times V(CH_3COONa)_0 - C(HCl) \times V(HCl) = 0.1 \times V(CH_3COONa) - 0.5 \times V(HCl)$$

מאחר ומספר המולים של החומצה ושל המלח צריך להיות שווה נקבל:

$$n(CH_3COONa) = n(CH_3COOH)$$

$$0.1 \times V(CH_3COONa) - 0.5 \times V(HCl) = 0.5 \times V(HCl)$$

$$\boxed{V(CH_3COONa) = 10 \times V(HCl)}$$

הערה: בשאלה לא ציינו מה הריכוז הסופי של הבופר לכן ניתן למצוא את היחס בלבד. עבור ריכוזי תמיסת בופר שונים ניתן לקבוע (לפי היחס הנ"ל) את הנפחים הדרושים ולהשלים עם מים עד לנפח 1 ליטר.



$$[NH_3] = x \quad [NH_4^+] = y \quad \text{נניח ש:}$$

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{1.8 \cdot 10^{-5}} = 5.55 \cdot 10^{-10} \quad pK_a = 9.25$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} \Rightarrow 9 = 9.25 + \log \frac{x}{y} \quad \frac{x}{y} = 10^{-0.25} = 0.56$$

מאחר וריכוז תמיסת המגן 0.05M:

$$[NH_3] + [NH_4^+] = x + y = 0.05M$$

מפתרון שתי המשוואות מתקבל:

$$x = [NH_3] = 0.026M$$

ונהפך הדרוש כדי להגיע לריכוז הנ"ל בתמיסה שנפחה הסופי 200ml:

$$[NH_3]_{(stock)} = 0.1M \quad V_{(final)} = 200ml = 0.2L$$

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{0.026 \cdot 0.2}{0.1} = 0.052L = 52ml$$

$$y = [NH_4^+] = 0.024M \quad V(NH_4^+) = 48ml$$

ריכוז החומצה ונפח המים שצריך להוסיף:

$$V(H_2O) = 200ml - 48ml - 52ml = 100ml$$

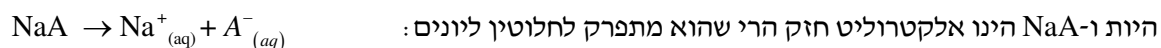


HA	$A^-_{(aq)}$	$H^+_{(aq)}$	
0.25 M	0	0	בהתחלה:
0.25 - x	x	x	בש"מ:

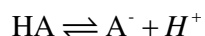
$$K_a = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]} = \frac{x^2}{0.25 - x} = 1.6 \times 10^{-5}$$

$$\frac{x^2}{0.25} = 1.6 \times 10^{-5} \quad x = 2 \times 10^{-3} \ll 0.25 \quad \text{נזניח את x ביחס ל-0.25:}$$

$$pH = -\log [H^+] = -\log (2 \cdot 10^{-3}) = 2.7$$



$$[A^-] = [NaA] = 0.15M$$





HA	$A^-_{(aq)}$	$H^+_{(aq)}$	
$0.25 - 2 \cdot 10^{-3} = 0.248 \text{ M}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3} + 0.15 = 0.152 \text{ M}$	בהתחלה:
$0.248 - x$	$2 \cdot 10^{-3} - x$	$0.152 - x$	בש"מ:

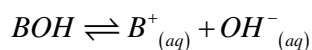
$$K_a = \frac{[A^-][H^+]}{[HA]} = \frac{(2 \times 10^{-3} - x)(0.152 - x)}{0.248 + x} \approx \frac{(2 \times 10^{-3} - x)0.152}{0.248} = 1.6 \times 10^{-5}$$

$$x = 1.974 \times 10^{-3} \text{ M} \ll 0.15$$

$$\text{pH} = -\log [H^+] = -\log (2 \cdot 10^{-3} - 1.974 \cdot 10^{-3}) = 4.58$$

התשובה הנכונה היא תשובה א'.

$$C = \frac{n}{V} = \frac{0.5 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 1 \text{ M}$$



13. תמיסה א':

ע"מ לפשט את הפתרון נניח כי נפח התמיסה 1 L ובה 1 mol של BOH:

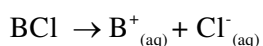
BOH	$B^+_{(aq)}$	$OH^-_{(aq)}$	
1	0	0	בהתחלה:
$1 - x$	x	x	בש"מ:

$$K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]} = \frac{x^2}{1-x} \approx \frac{x^2}{1} = 2.8 \times 10^{-7} \quad x = 5.3 \times 10^{-4} \ll 1$$

$$\text{pOH} = -\log [OH^-] = -\log (5.3 \cdot 10^{-4}) = 3.3$$

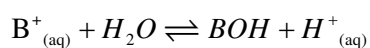
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3.3 = 10.7$$

תמיסה ב':



היות ו-BCl הינו אלקטרוליט חזק הוא מתפרק לחלוטין ליונים במים:

$$[B^+] = C = \frac{n}{V} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 1 \text{ M}$$





$B^+_{(aq)}$	BOH	$H^+_{(aq)}$	
2	0	0	מספר מולים בהתחלה:
2-x	x	x	מספר מולים בש"מ:
$\frac{2-x}{2}$	$\frac{x}{2}$	$\frac{x}{2}$	ריכוז בש"מ:

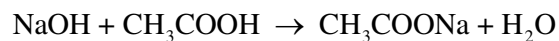
$$k_a = \frac{k_w}{k_b} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{2.8 \cdot 10^{-7}} = 3.57 \cdot 10^{-8}$$

$$K_a = \frac{[BOH][H^+]}{[B^+]} = \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^2}{\left(\frac{2-x}{2}\right)} = 3.57 \cdot 10^{-8}$$

$$x = 3.78 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$pH = -\log[H^+] = -\log(3.87 \times 10^{-4} \text{ mol}/2L) = 3.72$$

התשובה הנכונה היא תשובה ב'



14. תגובת סתירה:

$$n(NaOH) = \frac{m}{Mw} = \frac{0.04g}{40 \frac{g}{mol}} = 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(CH_3COOH) = n(NaOH) = 10^{-3} \text{ mol}$$

$$v(CH_3COOH) = \frac{n}{C} = \frac{10^{-3} \text{ mol}}{0.02M} = 0.05L = 50ml$$

התשובה הנכונה היא תשובה ד'