

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΟΞΕΑ - ΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΙΟΝΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

### ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

#### Ερωτήσεις θεωρίας - Τύπου Α

**ΕΡΩΤΗΣΗ 1.** Οι ιοντικές ενώσεις όταν διαλυθούν στο νερό

- α. ιοντίζονται πλήρως
- β. ιοντίζονται μερικώς
- γ. δίστανται
- δ. καταβυθίζονται πλήρως

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

Πολλές ιοντικές ενώσεις είναι ευδιάλυτες στο νερό, ενώ άλλες είναι δυσδιάλυτες. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ποσότητα που διαλύεται δίστανται πλήρως σε ιόντα.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 2.** Οι ομοιοπολικές ενώσεις όταν διαλυθούν στο νερό

- α. ιοντίζονται μερικώς
- β. δίστανται
- γ. ιοντίζονται μερικώς ή πλήρως
- δ. ορισμένες ιοντίζονται πλήρως, ορισμένες μερικώς και ορισμένες δεν ιοντίζονται

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

Για παράδειγμα, ιοντίζεται πλήρως το HCl, μερικώς το CH<sub>3</sub>COOH και καθόλου η γλυκόζη C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> ή το εξάνιο C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 3.** Από τα παρακάτω ζεύγη ουσιών, συζυγές ζεύγος οξέος - βάσης κατά Bronsted-Lowry αποτελεί το

	Συζυγές οξύ	Συζυγής βάση
α.	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>
β.	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>
γ.	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>
δ.	S <sup>2-</sup>	HS <sup>-</sup>

**Λύση**

Σωστό είναι το β.

Η συζυγής βάση έχει ένα πρωτόνιο (H<sup>+</sup>) λιγότερο από το συζυγές οξύ ή μεταξύ τους διαφέρουν κατά ένα πρωτόνιο (H<sup>+</sup>).

**ΕΡΩΤΗΣΗ 4.** Από τα παρακάτω ζεύγη ουσιών, συζυγές ζεύγος βάσεως - οξέος κατά Bronsted-Lowry αποτελεί το

	Συζυγής βάση	Συζυγές οξύ
α.	$\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{H}_2\text{O}$
β.	$\text{NH}_2^-$	$\text{NH}_4^+$
γ.	$\text{CH}_3\text{NH}_2$	$\text{CH}_3\text{NH}_3^+$
δ.	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

Το συζυγές οξύ έχει ένα πρωτόνιο ( $\text{H}^+$ ) περισσότερο από τη συζυγή βάση.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 5.** Διάλυμα  $\text{HBr}$  στους  $25\text{ }^\circ\text{C}$  έχει  $\text{pH} = 2,3$ . Το ίδιο διάλυμα στους  $40\text{ }^\circ\text{C}$  θα έχει  $\text{pH}$

- α. μικρότερο από 2,3
- β. ίσο με 2,3
- γ. μεγαλύτερο από 2,3
- δ. το οποίο δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί

**Λύση**

Σωστό είναι το β.

Η αύξηση της θερμοκρασίας, πρακτικά, δεν μεταβάλλει τις συγκεντρώσεις της διαλυμένης ουσίας, άρα δεν αλλάζει την  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  και το  $\text{pH}$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 6.** Διάλυμα  $\text{HNO}_3$  στους  $25\text{ }^\circ\text{C}$  έχει  $\text{pH} = 2$ . Το ίδιο διάλυμα στους  $40\text{ }^\circ\text{C}$  θα έχει  $\text{pOH}$

- α. μικρότερο από 12
- β. ίσο με 12
- γ. μεγαλύτερο από 12
- δ. το οποίο δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί

**Λύση**

Σωστό είναι το α.

$\text{pH} = 2$  τόσο στους  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , όσο και στους  $40\text{ }^\circ\text{C}$ . Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την  $K_w$ , άρα  $K_{w,40\text{ }^\circ\text{C}} > K_{w,25\text{ }^\circ\text{C}} \Rightarrow \text{p}K_{w,40\text{ }^\circ\text{C}} < \text{p}K_{w,25\text{ }^\circ\text{C}} (=14)$ .

Συνεπώς,  $\text{pH}_{40\text{ }^\circ\text{C}} + \text{pOH}_{40\text{ }^\circ\text{C}} < 14 \Rightarrow 2 + \text{pOH}_{40\text{ }^\circ\text{C}} < 14 \Rightarrow \text{pOH}_{40\text{ }^\circ\text{C}} < 12$

Παρατήρηση:

Αύξηση της  $K_w$  συνεπάγεται μείωση της  $\text{p}K_w$ , μείωση του εύρους της κλίμακας  $\text{pH}$  και μείωση του ουδέτερου  $\text{pH}$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 7.** Στους 25 °C προσθέτουμε μικρή ποσότητα νερού σε διάλυμα  $\text{Ba}(\text{OH})_2$   $5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ . Το αραιωμένο διάλυμα μπορεί να έχει pH ίσο με

- α. 11,7
- β. 12
- γ. 12,7
- δ. 1,7

**Λύση**

Σωστό είναι το α.

Έχουμε ισχυρή διπρωτική βάση, άρα στο αρχικό διάλυμα θα έχουμε  $[\text{OH}^-] = 2C_{\text{Ba}(\text{OH})_2} = 10^{-2} \text{ M}$  και  $\text{pH} = 12$ . Με την αραιώση το pH θα ελαττωθεί αλλά θα παραμείνει σε βασική περιοχή, δηλαδή μεγαλύτερη του 7.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 8.** Το pOH διαλύματος  $\text{KOH}$   $10^{-8} \text{ M}$  στους 25 °C είναι ίσο με

- α. 8
- β. 6
- γ. 6,98
- δ. 7,02

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

Πρόκειται για πολύ αραιό διάλυμα βάσης, άρα θα έχει ένα ασθενέστατα βασικό pH (λίγο πάνω από 7), άρα το pOH θα είναι λίγο κάτω από 7.

Επισημαίνεται ότι ο ακριβής υπολογισμός του pOH θα πρέπει να λάβει υπόψη του και τη συνεισφορά σε υδροξείδια από το νερό (αυτοϊοντισμός).

**ΕΡΩΤΗΣΗ 9.** Σε σταθερή θερμοκρασία υδατικό διάλυμα ασθενούς οξέος  $\text{HA}$  αραιώνεται με νερό.

- α. με την αραιώση η  $K_a$  του οξέος αυξάνεται
- β. το αραιωμένο διάλυμα έχει μικρότερο pOH από το αρχικό διάλυμα
- γ. ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{HA}$  είναι ίδιος και στα δύο διαλύματα
- δ. το αραιωμένο διάλυμα έχει μικρότερο pH από το αρχικό διάλυμα

**Λύση**

Σωστό είναι το β.

Με την αραιώση διαλύματος οξέως το pH αυξάνεται τείνοντας προς το 7, άρα το pOH μειώνεται, αφού  $\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_w$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 10.** Για να συγκρίνουμε την ισχύ δύο ασθενών μονοπρωτικών οξέων μπορούμε να συγκρίνουμε

- α. τους βαθμούς ιοντισμού κάθε οξέος σε διαλύματα ίδιας συγκέντρωσης
- β. τους βαθμούς ιοντισμού σε διαλύματα ίδιας θερμοκρασίας
- γ. τις σταθερές ιοντισμού σε διαλύματα ίδιας συγκέντρωσης
- δ. τις σταθερές ιοντισμού στην ίδια θερμοκρασία

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 11.** Αναμειγνύουμε, σε σταθερή θερμοκρασία, διάλυμα  $\text{HCOOH}$   $0,1\text{M}$  ( $\Delta 1$ ), με διάλυμα όγκου  $200\text{ mL}$  που περιέχει  $0,02\text{ mol}$   $\text{HCOOH}$  ( $\Delta 2$ ), οπότε προκύπτει διάλυμα  $\Delta 3$ . Συνεπώς,  
**α.** το διάλυμα  $\Delta 1$  έχει μικρότερο  $\text{pH}$  από το διάλυμα  $\Delta 3$   
**β.** το διάλυμα  $\Delta 2$  έχει μικρότερο  $\text{pH}$  από το διάλυμα  $\Delta 3$   
**γ.** το διάλυμα  $\Delta 1$  περιέχει λιγότερα  $\text{mol OH}^-$  από όσα περιέχει το διάλυμα  $\Delta 3$   
**δ.** το διάλυμα  $\Delta 2$  περιέχει περισσότερα  $\text{mol OH}^-$  από όσα περιέχει το διάλυμα  $\Delta 3$

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

Λόγω ανάμειξης για το διάλυμα  $\Delta 3$  ισχύει  $\text{mol OH}^-_{\Delta 3} = \text{mol OH}^-_{\Delta 2} + \text{mol OH}^-_{\Delta 1}$ .

Επειδή  $C_{\Delta 2} = \frac{n}{V} = \frac{0,02}{0,2} = 0,1\text{M}$  τα δύο διαλύματα έχουν ίδιο  $\text{pH}$ . Επίσης,

συγκρίσεις  $\text{mol}$  ανάμεσα στα  $\Delta 1$  και  $\Delta 2$  δεν μπορούν να γίνουν γιατί δεν είναι γνωστός ο όγκος του  $\Delta 1$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 12.** Σε υδατικό διάλυμα  $\text{NH}_3$   $0,8\text{M}$ , ( $\Delta 1$ ), σε σταθερή θερμοκρασία, διαλύουμε μικρή ποσότητα στερεού  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος του διαλύματος, οπότε προκύπτει υδατικό διάλυμα  $\Delta 2$ . Συνεπώς  
**α.** το διάλυμα  $\Delta 2$  έχει μεγαλύτερο  $\text{pH}$  από το διάλυμα  $\Delta 1$   
**β.** στο διάλυμα  $\Delta 2$  ο βαθμός ιοντισμού της αμμωνίας είναι μεγαλύτερος από το βαθμό ιοντισμού της αμμωνίας στο διάλυμα  $\Delta 1$   
**γ.** το διάλυμα  $\Delta 2$  έχει περισσότερα  $\text{mol H}_3\text{O}^+$  από το διάλυμα  $\Delta 1$   
**δ.** το διάλυμα  $\Delta 2$  έχει περισσότερα  $\text{mol OH}^-$  από το διάλυμα  $\Delta 1$

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

Στο διάλυμα  $\Delta 1$  προστέθηκε οξύ ( $\text{NH}_4^+$ ), άρα τα  $\text{mol H}_3\text{O}^+$  αυξήθηκαν.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 13.** Σε υδατικό διάλυμα  $\text{NH}_3$   $0,1\text{M}$  ( $\Delta 1$ ) προσθέτουμε ίσο όγκο υδατικού διαλύματος  $\text{KOH}$   $0,1\text{M}$  ( $\Delta 2$ ), σε σταθερή θερμοκρασία, δημιουργώντας υδατικό διάλυμα  $\Delta 3$ .  
**α.** το διάλυμα  $\Delta 1$  έχει μεγαλύτερο  $\text{pH}$  από το διάλυμα  $\Delta 3$   
**β.** το διάλυμα  $\Delta 1$  έχει μεγαλύτερο  $\text{pH}$  από το διάλυμα  $\Delta 2$   
**γ.** στο διάλυμα  $\Delta 3$  ο βαθμός ιοντισμού της  $\text{NH}_3$  είναι μεγαλύτερος από το βαθμό ιοντισμού της  $\text{NH}_3$  στο διάλυμα  $\Delta 1$   
**δ.** στο διάλυμα  $\Delta 3$  ο βαθμός ιοντισμού της  $\text{NH}_3$  είναι μικρότερος από το βαθμό ιοντισμού της  $\text{NH}_3$  στο διάλυμα  $\Delta 1$

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

Λόγω επίδρασης κοινού ιόντος ( $[\text{OH}^-]$ ).

**ΕΡΩΤΗΣΗ 14.** Κατά την ανάμειξη διαλύματος  $\text{HNO}_3$  0,1 M με ίσο όγκο διαλύματος  $\text{NH}_3$  0,1 M στους 25 °C, προκύπτει διάλυμα με:

- α)  $\text{pH} < 7$
- β)  $\text{pH} > 7$
- γ)  $\text{pH} = 7$
- δ)  $\text{pH}$  το οποίο δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί.

**Λύση**

Σωστό είναι το α.

Στο τελικό διάλυμα έχουμε ίσα mol ( $0,1 \cdot V$  mol) από το μονοπρωτικό οξύ και την μονοπρωτική βάση, οπότε έχουμε πλήρη εξουδετέρωση. Το pH του τελικού διαλύματος θα καθορίζεται από το άλας  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , το οποίο διίσταται στα ιόντα  $\text{NH}_4^+$  που είναι ασθενές οξύ και  $\text{NO}_3^-$  που δεν υδρολύεται. Επομένως το τελικό διάλυμα θα έχει  $\text{pH} < 7$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 15.** Διαθέτουμε υδατικό διάλυμα  $\text{NH}_3$  συγκέντρωσης C (Δ1) και υδατικό διάλυμα  $\text{NaOH}$  επίσης συγκέντρωσης C (Δ2), τα οποία βρίσκονται στους 25 °C.

- α. η διαβίβαση μικρής ποσότητας αέριου υδροβρωμίου στα διαλύματα Δ1 και Δ2 μειώνει το βαθμό ιοντισμού των δύο βάσεων
- β. Ίσοι όγκοι των διαλυμάτων Δ1 και Δ2 απαιτούν ίση ποσότητα υδροβρωμίου προκειμένου το τελικό διάλυμα να αποκτήσει  $\text{pH} = 7$
- γ. Ίσοι όγκοι των διαλυμάτων Δ1 και Δ2 απαιτούν ίση ποσότητα υδροβρωμίου για πλήρη εξουδετέρωση
- δ. το διάλυμα Δ1 έχει μεγαλύτερο pH από το διάλυμα Δ2

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

Πλήρης εξουδετέρωση σημαίνει ότι το οξύ και η βάση είναι σε στοιχειομετρική αναλογία, δηλαδή δεν περισσεύει ποσότητα ούτε από το αρχικό οξύ ούτε από την αρχική βάση. Στην περίπτωση αυτή ισχύει  $n_{\text{NH}_3} = n_{\text{NaOH}} = C \cdot V = n_{\text{HBr}}$

**ΕΡΩΤΗΣΗ 16.** Κατά την αραιώση υδατικού διαλύματος  $\text{KCl}$  0,15 M, σε σταθερή θερμοκρασία

- α. το pH του διαλύματος μειώνεται
- β. ο αριθμός των mol των  $\text{H}_3\text{O}^+$  μειώνεται
- γ. ο αριθμός των mol των  $\text{H}_3\text{O}^+$  αυξάνεται
- δ. το pOH του διαλύματος μειώνεται

**Λύση**

Σωστό είναι το γ.

Το διάλυμα τόσο πριν όσο και μετά την αραιώση έχει  $\text{pH} = 7$ , αφού το  $\text{KCl}$  είναι άλας που διίσταται σε ιόντα, τα οποία δεν αντιδρούν με το νερό. Με την αραιώση αυξάνεται ο όγκος του διαλύματος ενώ παραμένει σταθερή η συγκέντρωση  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Άρα αυξάνει το πλήθος των mol των  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 17.** Σε υδατικό διάλυμα  $\text{NaCl}$  ( $\Delta 1$ ), προσθέτουμε υδατικό διάλυμα  $\text{HCl}$   $0,6\text{M}$  ( $\Delta 2$ ), σε σταθερή θερμοκρασία, δημιουργώντας υδατικό διάλυμα ( $\Delta 3$ ).

- το διάλυμα ( $\Delta 3$ ) έχει μικρότερο  $\text{pH}$  από το διάλυμα ( $\Delta 2$ )
- στο διάλυμα ( $\Delta 2$ ) ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{HCl}$  είναι μεγαλύτερος από το βαθμό ιοντισμού του  $\text{HCl}$  στο διάλυμα ( $\Delta 3$ )
- στο διάλυμα ( $\Delta 2$ ) ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{HCl}$  είναι μικρότερος από το βαθμό ιοντισμού του  $\text{HCl}$  στο διάλυμα ( $\Delta 3$ )
- στο διάλυμα ( $\Delta 3$ ) ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{H}_2\text{O}$  είναι μικρότερος από το βαθμό ιοντισμού του  $\text{H}_2\text{O}$  στο διάλυμα ( $\Delta 1$ ).

**Λύση**

Σωστό το δ.

Έχουμε επίδραση κοινού ιόντος ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) στην ισορροπία αυτοϊοντισμού του νερού, λόγω της προσθήκης του διαλύματος  $\text{HCl}$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 18.** Ρυθμιστικό διάλυμα υποχλωριώδους οξέος/υποχλωριώδους καλίου  $\text{HClO}/\text{KClO}$  μπορεί να δημιουργηθεί με την ανάμειξη

- $200\text{ mL}$  διαλύματος  $\text{HClO}$   $0,2\text{ M}$  με  $200\text{ mL}$  διαλύματος  $0,2\text{ M KCl}$
- $200\text{ mL}$  διαλύματος  $\text{HClO}$   $0,3\text{ M}$  με  $300\text{ mL}$  διαλύματος  $\text{KOH}$   $0,2\text{ M}$
- $200\text{ mL}$  διαλύματος  $\text{HCl}$   $0,2\text{ M}$  με  $100\text{ mL}$  διαλύματος  $\text{KClO}$   $0,3\text{ M}$
- $200\text{ mL}$  διαλύματος  $\text{HClO}$   $0,1\text{ M}$  με  $100\text{ mL}$  διαλύματος  $\text{KClO}$   $0,4\text{ M}$

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

Μόνο στην περίπτωση αυτή έχουμε μερική εξουδετέρωση της ασθενούς βάσης  $\text{ClO}^-$  με ισχυρό οξύ. Στην α δεν υπάρχει συζυγές ζεύγος. Στη β έχουμε πλήρη και όχι μερική εξουδετέρωση. Στη γ περισεύει ισχυρό οξύ.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 19.** Το κυανό βρωμοθυμόλης είναι δείκτης, που όταν προστεθεί σε διάλυμα με  $\text{pH}$  μικρότερο του 6 παίρνει κίτρινο χρώμα, ενώ σε διάλυμα με  $\text{pH}$  μεγαλύτερο του 7,6 παίρνει κυανό χρώμα. Η προσθήκη λίγων σταγόνων δείκτη κυανού της βρωμοθυμόλης σε διάλυμα  $\Delta$  χρωματίζει το διάλυμα κίτρινο. Το διάλυμα  $\Delta$  μπορεί να περιέχει

- $\text{HI}$  σε συγκέντρωση  $10^{-7}\text{ M}$
- $\text{NH}_4\text{I}$  σε συγκέντρωση  $0,1\text{ M}$
- διάλυμα  $\text{KI}$   $0,1\text{ M}$
- διάλυμα  $\text{KOH}$   $0,1\text{ M}$

**Λύση**

Σωστό είναι το β.

Μόνο το β περιέχει οξύ ( $\text{NH}_4^+$ ) σε κατάλληλη συγκέντρωση. Το α περιέχει οξύ αλλά είναι πολύ αραιό και έχει  $\text{pH}$  ελάχιστα μικρότερο του 7. Το γ έχει  $\text{pH} = 7$  γιατί περιέχει αλάτι που διίσταται σε ιόντα που δεν επηρεάζουν το  $\text{pH}$  και το δ περιέχει βάση.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 20.** Το ενδιάμεσο χρώμα ενός δείκτη ΗΔ, που είναι ασθενές μονοπρωτικό οξύ, βρίσκεται στην περιοχή pH (3, 5). Η σταθερά ιοντισμού του δείκτη μπορεί να είναι

- α.  $K_{a(H\Delta)} = 10^{-3}$
- β.  $K_{a(H\Delta)} = 10^{-4}$
- γ.  $K_{a(H\Delta)} = 10^{-6}$
- δ.  $K_{a(H\Delta)} = 10^{-8}$

**Λύση**

Σωστό είναι το β

Η περιοχική αλλαγής χρώματος του δείκτη προσδιορίζεται μέσω της σχέσης  $pK_{a,H\Delta} - 1 < pH < pK_{a,H\Delta} + 1$ . Αφού  $pK_{a,H\Delta} - 1 = 3 \Rightarrow pK_{a,H\Delta} = 4$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 21.** Τιτλοδοτούμε υδατικό διάλυμα  $HCOOH$  ( $K_a = 10^{-4}$ ) 0,1 Μ με πρότυπο διάλυμα  $KOH$  0,1 Μ. Για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου σημείου ο πιο κατάλληλος δείκτης είναι το

- α. ερυθρό του κογκό (pH: 3-5)
- β. ερυθρό του αιθυλίου (pH: 4,5-6,5)
- γ. κυανούν της βρωμοθυμόλης (pH: 6-7,6)
- δ. ερυθρό της κρεζόλης (pH: 7,2-8,8)

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

Στο ισοδύναμο σημείο θα υπάρχει μόνο το άλας  $HCOOK$  που επηρεάζει το pH. Το άλας αυτό δίνει τη βάση  $HCOO^-$  που έχει  $K_b = 10^{-10}$ . Λόγω της πολύ μικρής  $K_b$  αναμένεται το διάλυμα να έχει ασθενώς βασικό pH, περίπου στην περιοχική pH 7,5 - 9. Συνεπώς, χρειαζόμαστε έναν δείκτη με περιοχική αλλαγής χρώματος που συμπεριλαμβάνει την περιοχική 7,5 - 9 ή βρίσκεται πολύ κοντά της, άρα το ερυθρό της κρεζόλης.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 22.** Στην οξυμετρία

- α. το τιτλοδοτούμενο διάλυμα μπορεί να είναι ισχυρό οξύ ή ασθενές οξύ .
- β. το pH του τιτλοδοτούμενου διαλύματος αυξάνεται με την προσθήκη προτύπου διαλύματος.
- γ. το τελικό σημείο ταυτίζεται με το ισοδύναμο σημείο.
- δ. το pH του τιτλοδοτούμενου διαλύματος μειώνεται με την προσθήκη προτύπου διαλύματος

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

Στην οξυμετρία το πρότυπο διάλυμα είναι οξύ, άρα το τιτλοδοτούμενο διάλυμα περιέχει βάση και το pH του διαλύματος της βάσης μειώνεται καθώς προστίθεται σε αυτό πρότυπο διάλυμα οξέος.

- ΕΡΩΤΗΣΗ 23.** Από την καμπύλη ογκομέτρησης (τιτλοδότησης) οξέος ΗΑ αγνώστου συγκέντρωσης με ισχυρή βάση
- μπορούμε να καταλάβουμε αν το οξύ είναι ισχυρό ή ασθενές
  - μπορούμε να προσδιορίσουμε το ισοδύναμο σημείο της ογκομέτρησης
  - μπορούμε να προσδιορίσουμε την σταθερά ιοντισμού του ΗΑ .
  - όλα τα προηγούμενα.

**Λύση**

Σωστό είναι το δ.

Αν το ΗΑ είναι ισχυρό το pH στο ισοδύναμο σημείο θα είναι 7, ενώ αν είναι ασθενές οξύ το pH στο ισοδύναμο σημείο θα είναι βασικό.

Το μέσον του κατακόρυφου τμήματος της καμπύλης ογκομέτρησης μας δίνει το ισοδύναμο σημείο της ογκομέτρησης ( $V_{ισ.}$ ,  $pH_{στο\ ισοδ.\ σημείο}$ ).

Όταν έχει προστεθεί όγκος προτύπου διαλύματος  $\frac{V_{ισ.}}{2}$  το ογκομετρούμενο διάλυμα

είναι ρυθμιστικό για το οποίο ισχύει  $[HA]=[A^-]$ , άρα από την εξίσωση Henderson - Hasselbalch προκύπτει ότι  $pH = pK_a$ . Επομένως, από την καμπύλη ογκομέτρησης

βρίσκουμε το σημείο  $\left(\frac{V_{ισ.}}{2}, pH_{στο\ V_{ισοδ.}/2}\right)$  και από αυτό την  $pK_a$  του ΗΑ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 24.** Το οξυγόνο και το θείο είναι στοιχεία της 16<sup>ης</sup> ομάδας του περιοδικού πίνακα ενώ έχουν σχετικές ατομικές μάζες 16 και 32, αντίστοιχα.

Από τις ενώσεις  $H_2O$  και  $H_2S$  ισχυρότερο οξύ κατά Bronsted-Lowry είναι

- το  $H_2O$  γιατί το O είναι πιο ηλεκτραρνητικό στοιχείο από το S .
- το  $H_2S$  γιατί σε μία ομάδα του περιοδικού πίνακα η ισχύς των οξέων αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω.
- Το  $H_2O$  γιατί σε μία ομάδα του περιοδικού πίνακα η ισχύς των οξέων αυξάνεται από κάτω προς τα πάνω.
- Το  $H_2S$  γιατί το S είναι λιγότερο ηλεκτραρνητικό στοιχείο από το O .

**Λύση**

Σωστό είναι το β.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 25.** Διαθέτουμε ένα διάλυμα  $HIO_2$  0,01 M (Y1) και ένα διάλυμα  $HIO_3$  0,01 M (Y2) στους 25 °C. Για τα δύο αυτά διαλύματα

- ισχύει  $pH_{Y1} > pH_{Y2}$  .
- ισχύει  $2 < pH_{Y1} = pH_{Y2} < 7$  .
- η σύγκριση της οξύτητάς τους είναι αδύνατη με αυτά τα στοιχεία , επειδή δεν δίνονται οι σταθερές ιοντισμού των οξέων.
- ισχύει  $pH_{Y1} < pH_{Y2}$  .

**Λύση**

Σωστό είναι το α.

Η παρουσία ενός επιπλέον ατόμου O στο μόριο του  $HIO_3$  αυξάνει την ισχύ του ως οξύ, λόγω του πρόσθετου -I επαγωγικού φαινομένου.

Ερωτήσεις θεωρίας - Τύπου Β

**ΕΡΩΤΗΣΗ 1.** Σε διάλυμα  $\text{HCl}$   $0,8 \text{ M}$ , στους  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , προσθέτουμε

- α) νερό
- β) αέριο  $\text{HCl}$
- γ) διάλυμα  $\text{HCl}$   $0,2 \text{ M}$
- δ) Διάλυμα  $\text{HCl}$   $1 \text{ M}$

Να εξηγήσετε πώς θα μεταβληθεί το  $\text{pH}$  του αρχικού διαλύματος σε κάθε περίπτωση.

**Λύση**

- α) Με την αραιώση το  $\text{pH}$  ενός διαλύματος οξέος αυξάνεται τείνοντας προς την τιμή 7, στους  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- β) Το νέο διάλυμα λόγω της προσθήκης καθαρού  $\text{HCl}$  θα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση  $\text{HCl}$ , άρα θα έχει μικρότερο  $\text{pH}$  από το αρχικό.
- γ) Το νέο διάλυμα λόγω της προσθήκης αραιότερου διαλύματος  $\text{HCl}$  θα έχει μικρότερη συγκέντρωση  $\text{HCl}$ , άρα θα έχει μεγαλύτερο  $\text{pH}$  από το αρχικό.
- δ) Το νέο διάλυμα λόγω της προσθήκης πυκνότερου διαλύματος  $\text{HCl}$  θα έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση  $\text{HCl}$ , άρα θα έχει μικρότερο  $\text{pH}$  από το αρχικό.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 2.** Αραιώνουμε υδατικό διάλυμα οξέος  $\text{HA}$ . Να εξηγήσετε:

- α) Πώς θα μεταβληθεί το  $\text{pH}$  του διαλύματος;
- β) Πώς θα μεταβληθεί ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{HA}$ ;

**Λύση**

- α) Με την αραιώση το  $\text{pH}$  των όξινων διαλυμάτων αυξάνεται τείνοντας προς το 7.
  - β) Εξαρτάται.
- Αν το  $\text{HA}$  είναι ισχυρό οξύ ο βαθμός ιοντισμού παραμένει σταθερός και ίσος με 1.  
Αν το  $\text{HA}$  είναι ασθενές οξύ ο βαθμός ιοντισμού αυξάνεται με την αραιώση ( $\downarrow C$ ),

όπως φαίνεται και από τη σχέση  $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$ .

Το ίδιο αποτέλεσμα παίρνουμε και στη περίπτωση που δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την απλοποιημένη σχέση Ostwald, επειδή  $\alpha > 0,1$ , και πρέπει να

χρησιμοποιήσουμε τη σχέση  $K_a = \frac{\alpha^2 \cdot C}{1 - \alpha}$ .

Αν με την αραιώση ( $C \downarrow$ ) είχαμε και μείωση του βαθμού ιοντισμού ( $\alpha \downarrow$ ), τότε ο αριθμητής θα μειωνόταν και ο παρονομαστής θα αυξανόταν. Κατά συνέπεια, η  $K_a$  θα μειωνόταν, άτοπο αφού η τιμή της παραμένει ίδια.



Το ιόν νατρίου δεν αντιδρά με το νερό, αλλά το βρωμιώδες ιόν είναι η συζυγής βάση του ασθενούς βρωμιώδους οξέος. Αφού το διάλυμα του  $\text{NaBrO}_2$  περιέχει βάση θα έχει  $\text{pH} > 7$ .

Εναλλακτικά:

Το βρωμιώδες ιόν αντιδρά με το νερό  $\text{BrO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HBrO}_2 + \text{OH}^-$  παράγοντας υδροξείδια. Συνεπώς, στο διάλυμα θα έχουμε  $[\text{OH}^-] > [\text{H}_3\text{O}^+]$  και  $\text{pH} > 7$ .

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι  $\text{pH}_{\text{NaBr}} < \text{pH}_{\text{NaBrO}_2}$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 6.** Δίνονται τρία υδατικά διαλύματα ασθενούς οξέος  $\text{HA}$ .

Διάλυμα (Δ1) : συγκέντρωσης  $c_1 \text{ M}$  και θερμοκρασίας  $\theta_1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Διάλυμα (Δ2) : συγκέντρωσης  $c_2 \text{ M}$  και θερμοκρασίας  $\theta_1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Διάλυμα (Δ3) : συγκέντρωσης  $c_1 \text{ M}$  και θερμοκρασίας  $\theta_2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Για τους βαθμούς ιοντισμού  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  του οξέος  $\text{HA}$  στα διαλύματα Δ1, Δ2, και Δ3, αντίστοιχα, ισχύει:  $\alpha_3 < \alpha_1 < \alpha_2 < 0,1$

Να εξηγήσετε:

α) Σε ποιο από τα διαλύματα Δ1 και Δ2 το  $\text{HA}$  έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση.

β) Ποιο από τα διαλύματα Δ1 και Δ3 βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία.

**Λύση**

α) Εφόσον  $\alpha < 0,1$  ισχύει η απλοποιημένη μορφή του νόμου του Ostwald, οπότε

$$K_a = \alpha_1^2 c_1 = \alpha_2^2 c_2 \Rightarrow \frac{c_2}{c_1} = \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 < 1, \text{ δεδομένου ότι } \alpha_1 < \alpha_2. \text{ Από τη σχέση αυτή}$$

προκύπτει ότι  $c_2 < c_1$ .

β) Ομοίως ισχύουν  $K_{a,\theta_1} = \alpha_1^2 c_1$  (1) και  $K_{a,\theta_2} = \alpha_3^2 c_1$  (2). Διαιρώντας κατά μέλη τις (1)

$$\text{και (2) έχουμε } \frac{K_{a,\theta_1}}{K_{a,\theta_2}} = \frac{\alpha_1^2 c_1}{\alpha_3^2 c_1} = \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_3} \right)^2 > 1 \text{ δεδομένου ότι } \alpha_3 < \alpha_1. \text{ Συνεπώς,}$$

$K_{a,\theta_1} > K_{a,\theta_2}$ . Επειδή, ο ιοντισμός των οξέων είναι ενδόθερμη αντίδραση έπεται ότι υψηλότερη σταθερά ιοντισμού αντιστοιχεί σε υψηλότερη θερμοκρασία, άρα θα ισχύει  $\theta_1 > \theta_2$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 7.** Δύο υδατικά διαλύματα Δ1 και Δ2 βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία και περιέχουν:

α) Το Δ1  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $0,1 \text{ M}$  και το Δ2  $\text{HCOOH}$   $1 \text{ M}$ . Αν για τους βαθμούς ιοντισμού ισχύει  $\alpha_1 = \alpha_2 < 0,1$  να εξηγήσετε ποιο από τα δύο οξέα είναι ισχυρότερο.

β) Το Δ1  $\text{HA}$   $c \text{ M}$  και το Δ2  $\text{HB}$   $c \text{ M}$ . Αν το Δ1 έχει  $\text{pH} = 4$  και το Δ2 έχει  $\text{pH} = 3$  να εξηγήσετε ποιο από τα δύο οξέα είναι ισχυρότερο.

**Λύση**

α) Τα δύο διαλύματα έχουν διαφορετικές συγκεντρώσεις, άρα θα πρέπει να υπολογίσουμε τις σταθερές ιοντισμού των δύο οξέων και να κάνουμε τη σύγκριση. Από την απλοποιημένη μορφή του νόμου του Ostwald έχουμε:

$$K_{a,\text{CH}_3\text{COOH}} = \alpha_1^2 \cdot C_1 = \alpha_1^2 \cdot 0,1 \text{ (1) και } K_{a,\text{HCOOH}} = \alpha_2^2 \cdot C_2 = \alpha_2^2 \cdot 1 \text{ (2).}$$





$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot V}{C_{\text{NaOH}}}}{\frac{C_{\text{HCl}} \cdot V}{C_{\text{NaOH}}}} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{10^{-3}} \gg 1 \Rightarrow V_2 \gg V_1$$

β) Στην πλήρη εξουδετέρωση του διαλύματος HCl, στο διάλυμα θα υπάρχει μόνο το άλας NaCl, οπότε προκύπτει ουδέτερο διάλυμα (pH = 7).

Στην πλήρη εξουδετέρωση του διαλύματος CH<sub>3</sub>COOH στο διάλυμα θα υπάρχει μόνο το άλας CH<sub>3</sub>COONa, το οποίο διίσταται δίνοντας το ιόν Na<sup>+</sup> που δεν αντιδρά με το νερό και δεν επηρεάζει το pH και το ιόν CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> που είναι η συζυγής βάση του CH<sub>3</sub>COOH. Επομένως, προκύπτει διάλυμα με pH > 7.

### ΕΡΩΤΗΣΗ 11.

Διαθέτουμε δύο υδατικά διαλύματα Δ1 και Δ2 που έχουν pH = 3. Το Δ1 περιέχει το οξύ HA και το Δ2 περιέχει το οξύ HB.

- Αραιώνουμε 10 mL από κάθε διάλυμα μέχρι όγκου 1000 mL. Το αραιωμένο διάλυμα Δ1 βρέθηκε να έχει pH=5, ενώ το αραιωμένο διάλυμα Δ2 βρέθηκε να έχει pH=4.
- Σε όγκο 10 mL από τα διαλύματα Δ1 και Δ2 προστέθηκε διάλυμα NaOH συγκέντρωσης C M μέχρι πλήρους εξουδετέρωσης. Για το Δ1 απαιτήθηκε 1 mL και για το Δ2 100 mL.

α) Να δείξετε ότι ένα από τα δύο οξέα είναι ισχυρό.

β) Να βρείτε την συγκέντρωση των διαλυμάτων Δ1, Δ2 και NaOH.

### Λύση

α) Γνωρίζουμε η αραιώση αυξάνει λιγότερο το pH ενός διαλύματος που περιέχει ασθενές οξύ σε σχέση με ένα διάλυμα που περιέχει ισχυρό οξύ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα ασθενή οξέα με την αραιώση αυξάνεται ο βαθμός ιοντισμού τους, ενώ στα ισχυρά ο βαθμός ιοντισμού τους παραμένει 1. Ως εκ τούτου, αν κάποιο από τα δύο είναι ισχυρό οξύ αυτό θα είναι το HA που είχε μεγαλύτερη μεταβολή στο pH. Έστω, λοιπόν, ότι το HA είναι ισχυρό οξύ.

Στο αρχικό διάλυμα είχαμε  $\text{pH} = 3 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \Rightarrow C_{\text{HA, αρχ.}} = 10^{-3} \text{ M}$ .

Για την αραιώση ισχύει

$$C_{\text{HA, αρχ.}} \cdot V_{\text{αρχ.}} = C_{\text{HA, τελ.}} \cdot V_{\text{τελ.}} \Rightarrow 10^{-3} \text{ M} \cdot 10 \text{ mL} = C_{\text{HA, τελ.}} \cdot 100 \text{ mL} \Rightarrow C_{\text{HA, τελ.}} = 10^{-5} \text{ M}$$

Αφού το αραιωμένο διάλυμα περιέχει ισχυρό οξύ με συγκέντρωση 10<sup>-5</sup> M θα έχει pH=5, αυτό ισχύει, άρα πράγματι το HA είναι ισχυρό οξύ.

### Παρατήρηση:

Τα παρακάτω ισχύουν μόνο όταν οι προσεγγίσεις μπορούν να γίνουν τόσο στο αρχικό όσο και στο αραιωμένο διάλυμα.

(Α) Αν αραιώσουμε διάλυμα ισχυρού οξέος μεταβάλλοντας τον όγκο του από V σε 10<sup>x</sup> · V φορές, το pH του διαλύματος αυξάνεται κατά x μονάδες.

Έστω, C<sub>1</sub> η συγκέντρωση του αρχικού διαλύματος και C<sub>2</sub> η συγκέντρωση του

$$\text{αραιωμένου τότε } C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot 10^x V_1 \Rightarrow C_2 = \frac{C_1}{10^x} \text{ και}$$

επειδή είναι ισχυρό οξύ

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_2 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_1}{10^x} \Rightarrow \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2}{[\text{H}_3\text{O}^+]_1} = 10^{-x} \Rightarrow -\log \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2}{[\text{H}_3\text{O}^+]_1} = -\log 10^x \Rightarrow \text{pH}_2 - \text{pH}_1 = x$$

(B) Αντίθετα αν το οξύ είναι ασθενές τότε το pH του διαλύματος αυξάνεται κατά  $\frac{x}{2}$  μονάδες.

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2}{[\text{H}_3\text{O}^+]_1} = \frac{\sqrt{K_a C_2}}{\sqrt{K_a C_1}} = \sqrt{\frac{C_1 \cdot 10^{-x}}{C_1}} \Rightarrow \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2}{[\text{H}_3\text{O}^+]_1} = 10^{-\frac{x}{2}} \Rightarrow$$

$$-\log \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2}{[\text{H}_3\text{O}^+]_1} = -\log 10^{-\frac{x}{2}} \Rightarrow \text{pH}_2 - \text{pH}_1 = \frac{x}{2}$$

(Γ) Αντίστοιχα ισχύουν και για τα διαλύματα βάσεων.

B) Η συγκέντρωση του διαλύματος HA, υπολογίστηκε προηγουμένως σε  $10^{-3}$  M

i. Για την εξουδετέρωση του διαλύματος που περιέχει το οξύ HA ισχύει:

$$C_{\text{oξ.}} \cdot V_{\text{oξ.}} = C_{\beta.} \cdot V_{\beta.} \Rightarrow 10^{-3} \text{ M} \cdot 10 \text{ mL} = C_{\beta.} \cdot 1 \text{ mL} \Rightarrow C_{\beta.} = 10^{-2} \text{ M}$$

Άρα η συγκέντρωση του διαλύματος NaOH  $10^{-2}$  M

ii. Για την εξουδετέρωση του διαλύματος που περιέχει το οξύ HB ισχύει:

$$C_{\text{oξ.}} \cdot V_{\text{oξ.}} = C_{\beta.} \cdot V_{\beta.} \Rightarrow C_{\text{oξ.}} \cdot 10 \text{ mL} = 0,01 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL} \Rightarrow C_{\text{oξ.}} = 0,1 \text{ M}$$

Άρα η συγκέντρωση του διαλύματος HB είναι 0,1M.

## ΕΡΩΤΗΣΗ 12.

Δίνεται πρωτολυτικός δείκτης HΔ με  $\text{p}K_a = 5$  Αν ο δείκτης προστεθεί σε ένα διάλυμα χυμού μήλου, που έχει  $\text{pH} = 3$ ,

α) τι τιμή θα έχει ο λόγος  $[\Delta^-] / [\text{H}\Delta]$ ;

β) Με δεδομένο ότι η όξινη μορφή του δείκτη έχει χρώμα κόκκινο και η βασική κίτρινο, τι χρώμα θα αποκτήσει το διάλυμα;

Πανελλαδικές 2014

### Λύση

α) Ο δείκτης ιοντίζεται ως εξής  $\text{H}\Delta + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \Delta^- + \text{H}_3\text{O}^+$  .

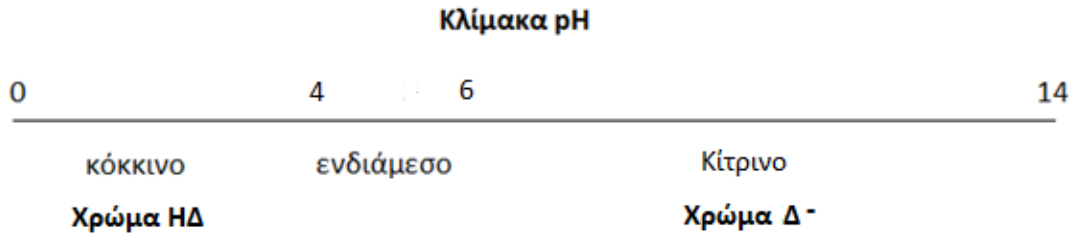
Δεδομένου ότι ο δείκτης δεν επηρεάζει το pH, επηρεάζεται όμως από αυτό έχουμε

$$K_{a,\text{H}\Delta} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\Delta^-]}{[\text{H}\Delta]} \Rightarrow \frac{[\text{H}\Delta]}{[\Delta^-]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_{a,\text{H}\Delta}} \Rightarrow \frac{[\text{H}\Delta]}{[\Delta^-]} = \frac{10^{-3}}{10^{-5}} \Rightarrow \frac{[\text{H}\Delta]}{[\Delta^-]} = 100 \Rightarrow [\text{H}\Delta] = 100 \cdot [\Delta^-]$$

β) Αφού βρήκαμε ότι στο συγκεκριμένο διάλυμα κυριαρχεί η μορφή HΔ, το διάλυμα θα έχει κόκκινο χρώμα

Εναλλακτικά:

Ο συγκεκριμένος δείκτης έχει περιοχή αλλαγής χρώματος σε pH 4 έως 6.



Αφού το διάλυμα έχει  $pH=3$ , κυριαρχεί η μορφή  $H\Delta$  και το διάλυμα έχει κόκκινο χρώμα.

**ΕΡΩΤΗΣΗ 13.**

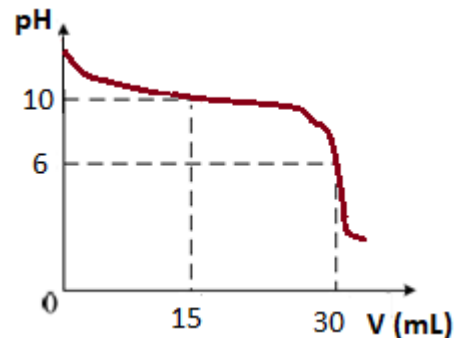
Δίνεται η διπλανή καμπύλη ογκομέτρησης εξουδετέρωσης, η οποία έγινε στους  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

α) Σε ποια κατηγορία ογκομετρήσεων, οξυμετρία ή αλκαλιμετρία, εντάσσεται αυτή η ογκομέτρηση;

β) Να βρείτε το  $pH$  στο ισοδύναμο σημείο.

γ) Να εξηγήσετε αν ο ηλεκτρολύτης που ογκομετρείται είναι ισχυρός ή ασθενής; Σε περίπτωση που πρόκειται για ασθενή ηλεκτρολύτη να υπολογίσετε την σταθερά ιοντισμού του.

δ) Γιατί στην ογκομέτρηση αυτή είναι καλύτερα να χρησιμοποιήσουμε το δείκτη μπλε της βρωμοθυμόλης με  $pK_{a_1} = 7,3$  από τον δείκτη ηλιανθίνη που έχει  $pK_{a_2} = 3,5$ .



**Λύση**

α) το  $pH$  ελαττώνεται με την προσθήκη προτύπου διαλύματος, άρα προστίθεται οξύ και έχουμε οξυμετρία.

β) Το ισοδύναμο σημείο είναι στο μέσον του σχεδόν κατακόρυφου τμήματος της καμπύλης ογκομέτρησης. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι το  $pH$  στο ισοδύναμο σημείο είναι 6.

γ) Αν ογκομετρούνταν ισχυρή βάση θα έπρεπε το διάλυμα στο ισοδύναμο σημείο να είναι ουδέτερο, δηλαδή να έχει  $pH=7$ , που δεν ισχύει. Συνεπώς, ογκομετρείται ασθενής βάση.

Όταν στο διάλυμα έχει προστεθεί ο μισός όγκος προτύπου από αυτόν που απαιτείται για την πλήρη εξουδετέρωση, ( $\frac{V_{\text{ισοδ.}}}{2}$ ), θα έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα

για το οποίο θα ισχύει  $n_B = n_{BH^+} \Rightarrow C_B = C_{BH^+}$ , οπότε από την εξίσωση Henderson-Hasselbalch έχουμε:

$$pOH = pK_b + \log \frac{C_{BH^+}}{C_B} \Rightarrow pOH = pK_b + 0 \Rightarrow 14 - pH = pK_b \Rightarrow pK_b = 14 - 10 \Rightarrow pK_b = 4$$

Επομένως,  $K_b = 10^{-4}$ .

δ) Η περιοχή μεταβολής χρώματος του δείκτη μπλε της βρωμοθυμόλης είναι, περίπου, από 6,3 έως 8,3. Αντίστοιχα, η περιοχή μεταβολής χρώματος της ηλιανθίνης είναι, περίπου, από 2,5 έως 4,5. Συνεπώς, καταλληλότερος δείκτης είναι το μπλε της βρωμοθυμόλης που αλλάζει χρώμα πολύ πιο κοντά στο  $pH$  που έχει το ογκομετρούμενο διάλυμα στο ισοδύναμο σημείο.

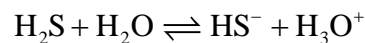
**ΕΡΩΤΗΣΗ 14.** Να εξηγήσετε ποιες από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι σωστές και ποιες λανθασμένες;

- α) Το  $\text{HS}^-$  είναι συζυγές οξύ του  $\text{H}_2\text{S}$  και συζυγής βάση του  $\text{S}^{2-}$ .
- β) Ένα διάλυμα  $\text{HCl}$  0,1 M έχει μεγαλύτερο pH από ένα διάλυμα  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 M.
- γ) Ένα διάλυμα  $\text{HCl}$   $10^{-7}$  M, στους 25 °C, έχει  $\text{pH} = 7$ .
- δ) Το καθαρό νερό στους 50 °C έχει  $\text{pH} = 7$ .
- ε) Ένα υδατικό διάλυμα ασθενούς οξέος HA όγκου V έχει βαθμό ιονισμού  $\alpha_1$ . Αν το διάλυμα αραιωθεί μέχρι όγκου  $V_2 = \lambda \cdot V_1$ , τότε ο νέος βαθμός ιονισμού  $\alpha_2$  υπολογίζεται από τη σχέση  $\alpha_2 = \lambda \cdot \alpha_1$ . Δίνεται ότι οι βαθμοί ιονισμού  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$  είναι μικρότεροι από 0,1 και ότι τα δύο διαλύματα βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία.

**Λύση**

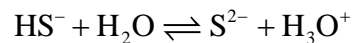
α) Λανθασμένη.

Από τις αντιδράσεις ιοντισμού



οξύ                    συζ. βάση

και

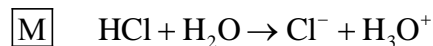


οξύ                    συζ. βάση

συμπεραίνουμε ότι η πρόταση είναι λανθασμένη. Το σωστό είναι ότι το  $\text{HS}^-$  είναι η συζυγής βάση του  $\text{H}_2\text{S}$  και το συζυγές οξύ του  $\text{S}^{2-}$ .

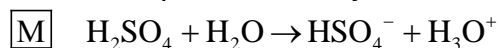
β) Σωστή.

Για το υδροχλώριο έχουμε



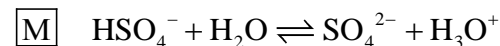
Τελ.                    -                    0,1                    0,1

Αντίστοιχα, για το θειικό οξύ ισχύει



Τελ.                    -                    0,1                    0,1

και



Αρχ.                    0,1                    -                    0,1

Τελ.                    0,1 - x                    x                    0,1 + x

Επειδή η  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  στο διάλυμα του θειικού οξέος είναι μεγαλύτερη (λόγω του 2<sup>ου</sup> ιοντισμού του), το διάλυμα αυτό έχει μικρότερο pH.

γ) Λανθασμένη.

Αφού το διάλυμα περιέχει οξύ θα έχει pH μικρότερο του 7. Επειδή το διάλυμα του οξέος είναι πολύ αραιό το pH του διαλύματος θα είναι λίγο μικρότερο του 7.

Παρατήρηση:

Αν ζητηθεί ο ακριβής υπολογισμός του pH ενός τέτοιου διαλύματος θα πρέπει στους υπολογισμούς που θα κάνουμε να λάβουμε υπόψη μας και τον αυτοϊοντισμό του

νερού, διότι η συνεισφορά του νερού σε  $[H_3O^+]$  δεν είναι αμελητέα σε ένα τόσο αραιό διάλυμα.

δ) Λανθασμένη.

Επειδή οι αντιδράσεις ιοντισμού είναι ενδόθερμες στους 50 °C θα ισχύει

$K_{w,50} > K_{w,25} \Rightarrow K_{w,50} > 10^{-14} \Rightarrow pK_{w,50} < 14$ . Συνεπώς, η κλίμακα pH θα έχει εύρος μικρότερο από 14, άρα το μέσον της, που αντιστοιχεί στο ουδέτερο pH, θα είναι μικρότερο από 7.

ε) Λανθασμένη.

Από την απλοποιημένη μορφή του νόμου του Ostwald έχουμε

$$K_a = \alpha_1^2 \cdot C_1 = \alpha_2^2 \cdot C_2 \quad (1).$$

Επίσης, για την αραιώση ισχύει  $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot \lambda V_1 \Rightarrow C_1 = \lambda \cdot C_2 \quad (2)$ .

Από (1) και (2) έχουμε  $\alpha_1^2 \cdot \lambda \cdot C_2 = \alpha_2^2 \cdot C_2 \Rightarrow \alpha_2 = \sqrt{\lambda} \cdot \alpha_1$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 15.** Διαθέτουμε ένα διάλυμα  $HBrO$  (Y1) και ένα διάλυμα  $HBrO_3$  (Y2) με ίσες συγκεντρώσεις, μεγαλύτερες από  $10^{-4} M$  στους 25 °C. Ποιό από τα δύο διαλύματα είναι πιο όξινο; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

**Λύση**

Ο συντακτικός τύπος του υποβρωμιώδους οξέος είναι  $H-O-Br$ . Όταν το βρώμιο ενωθεί και με άλλα άτομα οξυγόνου δημιουργείται -I επαγωγικό φαινόμενο, με αποτέλεσμα το κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων μεταξύ H και O να μετατοπίζεται περισσότερο προς το οξυγόνο, γεγονός που κάνει ακόμη πιο εύκολη την απόσπαση του  $H^+$ . Οπότε το  $HBrO_3$  είναι ισχυρότερο οξύ από το  $HBrO$ . Σε δύο διαλύματα ασθενών οξέων ίσης συγκέντρωσης, το ισχυρότερο από αυτά δημιουργεί διάλυμα με μικρότερο pH. Συνεπώς,  $pH_{Y2} < pH_{Y1}$ .

**ΕΡΩΤΗΣΗ 16.** Το θείο και το σελήνιο είναι στοιχεία της 16<sup>ης</sup> ομάδας του περιοδικού πίνακα ενώ έχουν σχετικές ατομικές μάζες 32 και 79 αντίστοιχα. Οι ενώσεις τους με το υδρογόνο είναι οξέα κατά Arrhenius. Ποιο από τα δύο οξέα αναμένεται να είναι ισχυρότερο;

**Λύση**

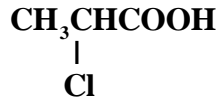
Γνωρίζουμε ότι σε μια δεδομένη ομάδα του Περιοδικού Πίνακα η ισχύς των οξέων των στοιχείων αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω.

Το θείο και το σελήνιο ανήκουν στην ίδια ομάδα και επειδή  $Ar_S < Ar_{Se}$  το σελήνιο είναι πιο κάτω στην 16<sup>η</sup> ομάδα.

Επομένως, το Se θα έχει μεγαλύτερη ατομική ακτίνα από το S. Όταν μεγαλώνει το μήκος του δεσμού με το H, ο δεσμός εξασθενεί με αποτέλεσμα να αποσπάται ευκολότερα  $H^+$  και να ενισχύεται ο όξινος χαρακτήρας. Ως εκ τούτου, η ένωση του σεληνίου με το υδρογόνο ( $H_2Se$ ) θα είναι ισχυρότερο οξύ από την αντίστοιχη ένωση του θείου με το υδρογόνο ( $H_2S$ ).

**ΕΡΩΤΗΣΗ 17.** Με βάση τον συντακτικό τύπο των μορίων να συγκρίνετε την ισχύ των οξέων

2-χλώρο-προπανικό οξύ, 3-χλώρο-προπανικό οξύ, 2,2-δichλωροπροπανικό οξύ.



**Λύση**

Τα 2 χλώρια δίπλα από το την καρβοξυλομάδα (στη θέση 2 της ανθρακικής αλυσίδας) ασκούν ισχυρότερο -I επαγωγικό φαινόμενο απ' ότι το ένα άτομο χλωρίου.

Επίσης, το ένα άτομο χλωρίου ασκεί ισχυρότερο -I επαγωγικό φαινόμενο, όταν βρίσκεται εγγύτερα στην καρβοξυλομάδα (στη θέση 2 έναντι της θέσης 3), άρα το 2-χλωρο-προπανικό οξύ είναι ισχυρότερο από το 3-χλωρο-προπανικό οξύ.

Συνοψίζοντας ισχύει:  $K_{a, \text{CH}_3\text{CCl}_2\text{COOH}} > K_{a, \text{CH}_3\text{CH}(\text{Cl})\text{COOH}} > K_{a, \text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}}$ .



**Γ3.**

Αφού  $K_{a\text{HCOOH}} > K_{a\text{CH}_3\text{COOH}}$  το μυρμικικό οξύ είναι ισχυρότερο οξύ και η ισορροπία  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{HCOONa} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COONa} + \text{HCOOH}$  είναι μετατοπισμένη προς τα αριστερά.

**Γ4.**

Με την αραιώση η νέα συγκέντρωση του διαλύματος που θα προκύψει είναι:  
 $C_1 \cdot V = C_2 \cdot 10V \Rightarrow C_2 = 0,1 \cdot C_1 \Rightarrow C_2 = 0,1 \text{ M}$ . Στο νέο διάλυμα θα ισχύει:

$$K_{a\text{HCOOH}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{C} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{10^{-4} \cdot 0,1 \text{ M}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,5}, \text{ οπότε } \text{pH} = 2,5$$

Άρα η μεταβολή pH είναι:  $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{τελ.}} - \text{pH}_{\text{αρχ.}} = 2,5 - 2 = 0,5$ .

**ΑΣΚΗΣΗ 2.** Διαθέτουμε ποσότητα στερεού  $\text{CH}_3\text{COONa}$  και διάλυμα  $\text{Y1}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  με συγκέντρωση  $C_1 = 0,1 \text{ M}$

**Γ1.** Να προσδιορίσετε την σταθερά ιοντικής ισορροπίας  $K_a$  του  $\text{CH}_3\text{COOH}$  αν το διάλυμα  $\text{Y1}$  εμφανίζει  $\text{pH} = 3$ .

**Γ2.** Σε  $500 \text{ mL}$  νερό προσθέτουμε  $4,1 \text{ g}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$  χωρίς μεταβολή του όγκου. Να προσδιορίσετε το  $\text{pH}$  του διαλύματος  $\text{Y2}$  που προκύπτει.

**Γ3.** Σε  $500 \text{ mL}$  διαλύματος  $\text{Y1}$  προσθέτουμε  $4,1 \text{ g}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$  χωρίς μεταβολή του όγκου. Να προσδιορίσετε το  $\text{pH}$  του διαλύματος  $\text{Y3}$  που προκύπτει.

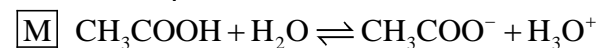
**Γ4.** Να προσδιορίσετε πόσα  $\text{g}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$  πρέπει να προσθέσουμε σε  $500 \text{ mL}$  διαλύματος  $\text{Y1}$  χωρίς μεταβολή του όγκου, ώστε να προκύψει διάλυμα  $\text{Y4}$  με  $\text{pH}$  αυξημένο κατά μια μονάδα σε σχέση με το  $\text{pH}$  του διαλύματος  $\text{Y3}$ .

Δίνεται ότι  $M_r_{\text{CH}_3\text{COONa}} = 82$  όλα τα διαλύματα βρίσκονται σε θερμοκρασία  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  όπου  $K_w = 10^{-14}$  και ότι οι συνήθεις προσεγγίσεις ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις.

**Λύση**

**Γ1.**

Για το διάλυμα  $\text{Y1}$  ισχύει



Αρχ.	0,1	–	–
Αντ.	x	–	–
Παρ.	–	x	x
Χ.Ι.	$0,1 - x$	x	x

$$\text{pH} = 3 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ M} \Rightarrow x = 10^{-3} \text{ και } K_a = \frac{x^2}{C} = \frac{(10^{-3})^2}{0,1} = 10^{-5}.$$

**Γ2.**

$$C_{\text{CH}_3\text{COONa}} = \frac{n}{V} = \frac{m/M_r}{V} = \frac{4,1/82}{0,5} \text{ M} = \frac{0,05}{0,5} \text{ M} = 0,1 \text{ M}$$

Το  $\text{CH}_3\text{COONa}$  δίσταται  $\text{CH}_3\text{COONa} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$  δίνοντας  $0,1 \text{ M}$  ιόντα  $\text{Na}^+$  που δεν υδρολύονται και  $0,1 \text{ M}$  ιόντα  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  που υδρολύονται



Αρχ.	0,1	–	–
Αντ.	$x_2$	–	–
Παρ.	–	$x_2$	$x_2$
Χ.Ι.	$0,1 - x_2$	$x_2$	$x_2$

$$K_b = \frac{x_2^2}{0,1} \Rightarrow \frac{K_w}{K_a} = \frac{x_2^2}{0,1} \Rightarrow \frac{10^{-14}}{10^{-5}} = \frac{x_2^2}{0,1} \Rightarrow x_2 = 10^{-5} \text{ οπότε: } \text{pOH} = 5 \text{ και } \text{pH} = 9.$$

**Γ3.**

Το διάλυμα  $\text{Y3}$  περιέχει  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $0,1 \text{ M}$  και  $\text{CH}_3\text{COONa}$   $0,1 \text{ M}$ , άρα είναι ρυθμιστικό.

Το  $\text{CH}_3\text{COONa}$  στο νερό δίσταται:  $\text{CH}_3\text{COONa} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$  δίνοντας  $0,1 \text{ M}$  ιόντα  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  (και τα ιόντα  $\text{Na}^+$  που δεν υδρολύονται).

Για το ρυθμιστικό διάλυμα ισχύει:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{C_{\text{CH}_3\text{COO}^-}}{C_{\text{CH}_3\text{COOH}}} \Rightarrow \text{pH} = -\log 10^{-5} + \log \frac{0,1}{0,1} \Rightarrow \text{pH} = 5.$$

#### Γ4.

Έστω ότι προσθέτουμε  $\omega$  mol  $\text{CH}_3\text{COONa}$  στα  $500 \text{ mL}$  διαλύματος Υ1. Το pH του νέου ρυθμιστικού διαλύματος θα είναι ίσο με 6.

Το διάλυμα αυτό θα περιέχει  $\text{CH}_3\text{COONa}$  σε συγκέντρωση  $C \text{ M}$  και  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $0,1 \text{ M}$ . Το  $\text{CH}_3\text{COONa}$  στο νερό δίσταται:

$\text{CH}_3\text{COONa} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$  δίνοντας  $C \text{ M}$  ιόντα  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  (και τα ιόντα  $\text{Na}^+$  που δεν υδρολύονται).

Υποθέτουμε ότι το διάλυμα  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $0,1 \text{ M}$  και  $\text{CH}_3\text{COO}^-$   $C \text{ M}$  είναι ρυθμιστικό με  $\text{pH} = 6$  οπότε ισχύει:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{C_{\text{CH}_3\text{COO}^-}}{C_{\text{CH}_3\text{COOH}}} \Rightarrow 6 = 5 + \log \frac{C}{0,1} \Rightarrow \log \frac{C}{0,1} = 1 \Rightarrow \frac{C}{0,1} = 10 \Rightarrow C = 1 \text{ M}.$$

Επομένως,  $n_{\text{CH}_3\text{COONa}} = C \cdot V = 1 \cdot 0,5 \Rightarrow n_{\text{CH}_3\text{COONa}} = 0,5$ .

Η μάζα  $\text{CH}_3\text{COONa}$  που προστέθηκε είναι:  $m_{\text{CH}_3\text{COONa}} = n \cdot M_r = 0,5 \cdot 82 \text{ g} = 41 \text{ g}$

Προστέθηκαν  $41 \text{ g}$   $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

Αφού  $C_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,1 \text{ M}$  και  $C_{\text{CH}_3\text{COONa}} = 1 \text{ M}$  πράγματι το διάλυμα είναι ρυθμιστικό (παραπλήσιες συγκεντρώσεις και σαφώς μεγαλύτερες από  $10^{-6} \text{ M}$ ).

**ΑΣΚΗΣΗ 3.** Διαθέτουμε διάλυμα Y1 που περιέχει  $\text{NH}_3$  και έχει  $\text{pH}=11$  και διάλυμα Y2 που περιέχει  $\text{NaOH}$  και έχει  $\text{pH}=13$ .

**Γ1.** Να υπολογίσετε:

α) Τη συγκέντρωση της  $\text{NH}_3$  στο διάλυμα Y1 αν γνωρίζετε ότι για την παρασκευή του Y1 διαλύθηκαν  $V=4,48\text{L}$  (μετρημένα σε stp) αέριας  $\text{NH}_3$  σε νερό και το διάλυμα αραιώθηκε μέχρι όγκου  $V_1=2\text{L}$ .

β) Τη σταθερά ιοντικής ισορροπίας  $K_b$  της  $\text{NH}_3$

γ) Τη συγκέντρωση του  $\text{NaOH}$  στο διάλυμα Y2.

**Γ2.** Αραιώνουμε μέρος των δύο αρχικών διαλυμάτων με νερό μέχρι να αποκτήσουν δεκαπλάσιο όγκο. Να υπολογίσετε και να σχολιάσετε τη μεταβολή  $\text{pH}$  ανάμεσα στα αρχικά και τα αραιωμένα διαλύματα.

**Γ3.** Σε  $100\text{ mL}$  από το διάλυμα Y1 προσθέτουμε  $0,09\text{ mol}$   $\text{NH}_3$  χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος του. Να υπολογίσετε το  $\text{pH}$  του διαλύματος που θα προκύψει.

**Γ4.** Ογκομετρούμε  $10\text{ mL}$  από το καθένα από τα διαλύματα Y1 και Y2 με πρότυπο διάλυμα  $\text{HCl}$   $0,05\text{ M}$ . Να υπολογίσετε το όγκο του προτύπου διαλύματος που απαιτείται για κάθε περίπτωση ώστε να φτάσουμε στο ισοδύναμο σημείο της ογκομέτρησης.

Δίνεται ότι όλα τα διαλύματα βρίσκονται σε θερμοκρασία  $25^\circ\text{ C}$  και ότι ισχύουν οι γνωστές προσεγγίσεις.

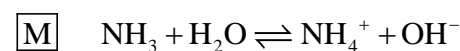
**Λύση**

**Γ1.**

α) Για το διάλυμα Y1 ισχύει

$$C_{\text{NH}_3} = \frac{n}{V} = \frac{V_{\text{STP}} / V_{\text{mol,STP}}}{V} = \frac{4,48 / 22,4}{2} \text{ M} = 0,1 \text{ M}.$$

β) Η  $\text{NH}_3$  ιοντίζεται



Αρχ. 0,1                      -                      -

Αντ. x                         -                      -

Παρ. -                         x                      x

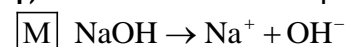
X.I.  $0,1-x$                       x                      x

Δίνεται ότι στο διάλυμα Y1 ισχύει:

$$\text{pH}=11 \Rightarrow \text{pOH}=3 \Rightarrow [\text{OH}^-]=10^{-3} \text{ M} \Rightarrow x=10^{-3} \text{ M}.$$

$$K_b = \frac{x^2}{C} = \frac{(10^{-3})^2}{0,1} = 10^{-5}.$$

γ) Το  $\text{NaOH}$  είναι ισχυρή βάση



Αρχ.  $\omega$

Τελ. -                       $\omega$                        $\omega$

και ισχύει:  $\text{pH}=13 \Rightarrow \text{pOH}=1 \Rightarrow [\text{OH}^-]=0,1 \text{ M} \Rightarrow \omega=0,1.$

Άρα η συγκέντρωση του NaOH στο διάλυμα Υ2 είναι 0,1 Μ.

**Γ2.**

Υπολογίζουμε τις συγκεντρώσεις των δύο διαλυμάτων μετά την αραιώση.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot 10V_1 \Rightarrow C_2 = 0,1 C_1 = 0,01 \text{ M}.$$

Άρα,  $C_{2,\text{NH}_3} = 0,01 \text{ M}$  και  $C_{2,\text{NaOH}} = 0,01 \text{ M}$ .

Για το αραιωμένο διάλυμα αμμωνίας ισχύει:

$$K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C_{2,\text{NH}_3}} \Rightarrow [\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot C_{2,\text{NH}_3}} = \sqrt{10^{-5} \cdot 0,01} = 10^{-3,5}, \quad \text{άρα} \quad \text{pOH} = 3,5 \text{ και}$$

$$\text{pH} = 10,5.$$

$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\text{τελ.}} - \text{pH}_{\text{αρχ.}} = 10,5 - 11 = 0,5.$$

Για το αραιωμένο διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου ισχύει:

$$[\text{OH}^-] = C_{2,\text{NaOH}} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-2} \Rightarrow \text{pOH} = 2 \text{ και } \text{pH} = 12.$$

$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\text{τελ.}} - \text{pH}_{\text{αρχ.}} = 12 - 13 = 1.$$

Για την ίδια αραιώση, παρατηρούμε ότι το διάλυμα της ασθενούς βάσης εμφανίζει μικρότερη μεταβολή pH. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι με την αραιώση ο βαθμός ιοντισμού της ασθενούς βάσης αυξάνεται.

**Γ3.**

Υπολογίζουμε τα συνολικά mol  $\text{NH}_3$  στο διάλυμα

$$n_{\text{ολ.}} = n_{\text{αρχ.}} + 0,09 \text{ mol} = (C \cdot V + 0,09) \text{ mol} = (0,1 \cdot 0,1 + 0,09) \text{ mol} = 0,1 \text{ mol}$$

Η νέα συγκέντρωση της  $\text{NH}_3$  είναι:  $C_{\text{NH}_3} = \frac{n}{V} = \frac{0,1}{0,1} \text{ M} = 1 \text{ M}$ , επομένως:

$$K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C} \Rightarrow [\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot C} \Rightarrow [\text{OH}^-] = \sqrt{10^{-5} \cdot 1} = 10^{-2,5} \Rightarrow \text{pOH} = 2,5 \quad \text{και}$$

$$\text{pH} = 11,5.$$

**Γ4.**

Στο ισοδύναμο σημείο κάθε ογκομέτρησης μονοπρωτικού οξέος με μονοπρωτική βάση ισχύει ότι τα mol οξέος είναι ίσα με τα mol βάσης, δηλαδή  $n_{\text{οξ}} = n_{\text{βασ.}}$

Παρατηρούμε ότι  $n_{\text{NH}_3} = C \cdot V = 0,1 \cdot 0,01 \text{ mol} = 10^{-3} \text{ mol}$  και

$n_{\text{NaOH}} = C \cdot V = 0,1 \cdot 0,01 \text{ mol} = 10^{-3} \text{ mol}$ , συνεπώς και τα δύο διαλύματα θα χρειαστούν το ίδιο όγκο προτύπου και συγκεκριμένα

$$V_{\text{προτύπου}} = \frac{n}{C} = \frac{10^{-3}}{0,05} \text{ L} = 0,02 \text{ L}.$$

Άρα και στις δύο ογκομετρήσεις απαιτήθηκαν 20 mL πρότυπου διαλύματος HCl.

**ΑΣΚΗΣΗ 4.** Διαθέτουμε 100 mL υδατικού διαλύματος  $\text{HCOOH}$  9,2% (w/v) (διάλυμα Δ1)

Γ1 α. Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του διαλύματος Δ1.

β. Να υπολογίσετε το βαθμό ιοντισμού του  $\text{HCOOH}$  στο Δ1.

γ. Να υπολογίσετε το pH του Δ1.

Γ2. Να υπολογίσετε τον όγκο του νερού που πρέπει να προσθέσουμε στο διάλυμα Δ1, ώστε:

α. Να αυξηθεί ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{HCOOH}$  κατά 50%.

β. Να προκύψει διάλυμα Δ2 με  $\text{pH} = 2$ .

Γ3. Διάλυμα ασθενούς μονοβασικού οξέος  $\text{HA}$  0,1 M έχει  $\text{pH} = 2,5$ .

Να εξηγήσετε αν το  $\text{HA}$  είναι ισχυρότερο οξύ από το  $\text{HCOOH}$ .

Δίνονται:  $M_{\text{HCOOH}} = 46$ ,  $K_{\text{a}(\text{HCOOH})} = 2 \cdot 10^{-4}$ ,  $\log 2 = 0,3$ , η θερμοκρασία σε όλες τις περιπτώσεις είναι η ίδια και ότι επιτρέπονται οι γνωστές προσεγγίσεις.

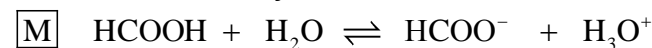
**Λύση**

Γ1.

α. Έστω  $V_{\Delta 1} = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$ , τότε  $m_{\text{HCOOH}} = 9,2 \text{ g}$

Επιπλέον  $n_{\text{HCOOH}} = \frac{9,2}{46} \text{ mol} = 0,2 \text{ mol}$ , συνεπώς  $C_{\text{HCOOH}} = \frac{n_{\text{HCOOH}}}{V_{\text{HCOOH}}} = \frac{0,2 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 2 \text{ M}$

β. Το  $\text{HCOOH}$  ιοντίζεται:



Αρχ.  $C_1$  - -

Αντ.  $\alpha_1 \cdot C_1$  - -

Παρ. -  $\alpha_1 \cdot C_1$   $\alpha_1 \cdot C_1$

Χ.Ι.  $C_1 \cdot (1 - \alpha_1)$   $\alpha_1 \cdot C_1$   $\alpha_1 \cdot C_1$

Επιτρέπονται οι προσεγγίσεις, συνεπώς

$$K_{\text{a}(\text{HCOOH})} = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{HCOOH}} \Rightarrow K_{\text{a}(\text{HCOOH})} = \frac{\alpha_1^2 C_1^2}{C_1(1 - \alpha_1)} \Rightarrow K_{\text{a}(\text{HCOOH})} = \frac{\alpha_1^2 C_1}{(1 - \alpha_1)} \Rightarrow$$

$$K_{\text{a}(\text{HCOOH})} = \alpha_1^2 \cdot C_1 \Rightarrow \alpha_1 = \sqrt{\frac{K_{\text{a}(\text{HCOOH})}}{C_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{2}} = 10^{-2}.$$

γ.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha_1 \cdot C_1 = 10^{-2} \cdot 2 \Rightarrow \text{pH} = -\log 2 \cdot 10^{-2} = -\log 2 - \log 10^{-2} = -0,3 + 2 \Rightarrow \text{pH} = 1,7$$

Γ2.

α. Δίνεται ότι  $\alpha_2 = \alpha_1 + \frac{50}{100} \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2 = 1,5 \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ , η τιμή της  $K_{\text{a}}$  δεν

αλλάζει (η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται) και επιτρέπονται οι προσεγγίσεις, άρα

$$K_{\text{a}(\text{HCOOH})} = \alpha_1^2 \cdot C_1 = \alpha_2^2 \cdot C_2 \Rightarrow \alpha_1^2 \cdot C_1 = (1,5 \alpha_1)^2 \cdot C_2 \Rightarrow \alpha_1^2 \cdot C_1 = 2,25 \cdot \alpha_1^2 \cdot C_2 \Rightarrow$$

$$C_1 = 2,25 \cdot C_2 \Rightarrow C_2 = \frac{C_1}{2,25} = \frac{2}{2,25} \text{ M}$$

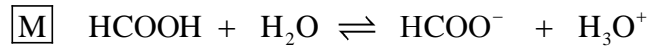
Τα mol διατηρούνται κατά την αραιώση, άρα

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow 2 \cdot 0,1 \text{ mol} = \frac{2}{2,25} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = 0,225 \text{ L}$$

συνεπώς  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,125 \text{ L}$ .

**β.** Επειδή το pH αυξήθηκε από 1,7 σε 2 έχουμε αραιώση, έστω  $C_3$  η συγκέντρωση του ζητούμενου διαλύματος.

Το  $\text{HCOOH}$  ιοντίζεται:



Αρχ.	$C_3$	–	–
Αντ.	x	–	–
Παρ.	–	x	x
Χ.Ι.	$C_3 - x$	x	x

Δίνεται ότι  $\text{pH} = 2 \Rightarrow x = 10^{-2}$  και ότι επιτρέπονται οι προσεγγίσεις, οπότε:

$$K_{a(\text{HCOOH})} = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{HCOOH}} \Rightarrow K_{a(\text{HCOOH})} = \frac{x^2}{C_3 - x} \Rightarrow K_{a(\text{HCOOH})} \approx \frac{x^2}{C_3}$$

$$\Rightarrow C_3 = \frac{(10^{-2})^2}{2 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow C_3 = 0,5 \text{ M}$$

Η νέα συγκέντρωση του διαλύματος είναι 0,5 M. Επειδή τα mol διατηρούνται κατά

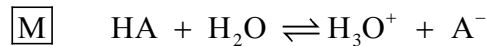
την αραιώση, άρα  $C_1 \cdot V_1 = C_3 \cdot V_3 \Rightarrow 2 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot V_3 \Rightarrow V_3 = 0,4 \text{ L}$

και  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3 \text{ L}$ .

**Γ3.**

Για να προσδιορίσουμε ποιο είναι το ισχυρότερο οξύ πρέπει να συγκρίνουμε τις δύο σταθερές ιοντισμού. Γι' αυτό θα πρέπει να βρούμε τη σταθερά ισορροπίας του  $\text{HA}$ .

Το  $\text{HA}$  ιοντίζεται:



Αρχ.	0,1	–	–
Ιοντ.	y	–	–
Παρ.	–	y	y
Χ.Ι.	$0,1 - y$	y	y

Δίνεται ότι  $\text{pH} = 2,5 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = y = 10^{-2,5}$  και ότι επιτρέπονται οι προσεγγίσεις, οπότε:

$$K_{a(\text{HA})} = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{HA}} \Rightarrow K_{a(\text{HA})} = \frac{y^2}{0,1 - y} \Rightarrow K_{a(\text{HA})} \approx \frac{y^2}{0,1} = \frac{(10^{-2,5})^2}{0,1} \Rightarrow K_{a(\text{HA})} = 10^{-4}$$

Το  $\text{HCOOH}$  είναι ισχυρότερο οξύ αφού έχει μεγαλύτερη  $K_a$ .

**ΑΣΚΗΣΗ 5.** Σε καθαρό νερό προσθέτουμε 30 mL διαλύματος NaOH  $10^{-4}$  M και δημιουργείται διάλυμα (Δ1) με  $[H_3O^+] = 5 \cdot 10^{-8}$  M.

Γ1 α. Να υπολογίσετε την συγκέντρωση του NaOH στο διάλυμα (Δ1).

β. Να υπολογίσετε τον όγκο του καθαρού νερού που χρησιμοποιήθηκε.

Γ2. Στο διάλυμα (Δ1) προσθέτουμε τον ελάχιστο δυνατό όγκο διαλύματος HCOOH  $1,5 \cdot 10^{-3}$  M που απαιτείται για την πλήρη εξουδετέρωσή του, δημιουργώντας το διάλυμα (Δ2).

α. Να υπολογίσετε τον όγκο του διαλύματος HCOOH που απαιτήθηκε.

β. Να εξηγήσετε σε ποια περιοχή τιμών θα κυμαίνεται το pH του διαλύματος (Δ2).

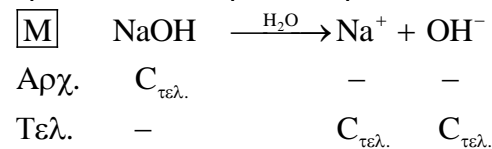
Δίνονται :  $\log 5 = 0,7$ ,  $\log 2 = 0,3$ ,  $\theta = 25^\circ C$  και  $K_w = 10^{-14}$

**Λύση**

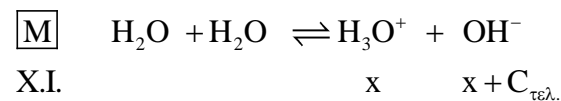
Γ1.

α. Αρχικά έχουμε  $n_{NaOH} = C_{αρχ.} \cdot V_{αρχ.} = 10^{-4} \cdot 0,03 \text{ mol} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$ .

Επειδή η συγκέντρωση των οξωνίων στο διάλυμα (Δ1) είναι της τάξης του  $10^{-7}$  M πρέπει να λάβουμε υπ' όψη και τον αυτοϊοντισμό του νερού.



και



Δίνεται ότι από τους ιοντισμούς έχουμε  $[H_3O^+] = x = 5 \cdot 10^{-8}$ . Επίσης, ισχύει

$$[H_3O^+][OH^-] = 10^{-14} \Rightarrow 5 \cdot 10^{-8}(5 \cdot 10^{-8} + C_{τελ.}) = 10^{-14} \Rightarrow$$

$$5 \cdot 10^{-8} + C_{τελ.} = 2 \cdot 10^{-7} \Rightarrow C_{τελ.} = 1,5 \cdot 10^{-7}$$

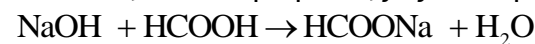
Συνεπώς,  $C_{NaOH} = 1,5 \cdot 10^{-7}$  M

β. Αφού το διάλυμα NaOH προστίθεται σε καθαρό νερό, πρόκειται για αραιώση.

$$C_{αρχ.} \cdot V_{αρχ.} = C_{τελ.} \cdot V_{τελ.} \Rightarrow 10^{-4} M \cdot 0,03 L = 1,5 \cdot 10^{-7} M(0,03 L + V_{H_2O}) \Rightarrow V_{H_2O} = 19,97 L.$$

Γ2

α. Από τη στοιχειομετρία της εξουδετέρωσης έχουμε:



καταλήγουμε στη σχέση  $n_{HCOOH} = n_{NaOH}$ , άρα

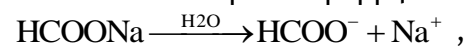
$$C_{HCOOH} \cdot V_{HCOOH} = n_{NaOH} \Rightarrow V_{HCOOH} = \frac{n_{NaOH}}{C_{HCOOH}} \Rightarrow V_{HCOOH} = \frac{3 \cdot 10^{-6}}{1,5 \cdot 10^{-3}} L = 2 \cdot 10^{-3} L = 2 \text{ mL}$$

β. Το pH του αραιωμένου διαλύματος NaOH είναι:

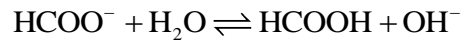
$$pH = -\log 5 \cdot 10^{-8} = -\log 5 + 8 = 7,3$$

Η προσθήκη HCOOH θα ελαττώσει το pH.

Στο τελικό διάλυμα του μυρμηκικού νατρίου έχουμε τη διάσταση



και την υδρόλυση του μυρμηκικού ιόντος, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:



Είναι φανερό ότι λόγω της υδρόλυσης του μυρμηκικού ιόντος, το διάλυμα θα περιέχει υδροξείδια, άρα θα είναι βασικό διάλυμα.

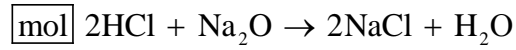
Άρα το pH του διαλύματος Δ2 θα είναι μεγαλύτερο από 7 και μικρότερο από 7,3.



**Γ3.**

**α.** Τα δύο συστατικά αντιδρούν, οπότε υπολογίζουμε τα mol τους.

$$n_{\text{HCl}} = 0,01 \text{ mol} \text{ και } n_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{310 \cdot 10^{-3}}{62} \text{ mol} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$



$$\text{Αρχ.} \quad 10^{-2} \quad 5 \cdot 10^{-3} \quad - \quad -$$

$$\text{Τελ.} \quad - \quad - \quad 10^{-2} \quad 10^{-2}$$

Κανένα από τα ιόντα του NaCl δεν υδρολύεται, άρα το διάλυμα Δ3 είναι ουδέτερο και έχει  $\text{pH} = 7$ .

**β.** Για το νερό του Δ3 ισχύει:  $\alpha_2 = \frac{C_{\text{H}_3\text{O}^+}}{C_{\text{H}_2\text{O}}} \Rightarrow \alpha_2 = \frac{10^{-7}}{55,5} = 1,8 \cdot 10^{-9}$ .







Επίσης, επιτρέπονται οι προσεγγίσεις αφού  $\alpha_2 < 0,1$ , άρα

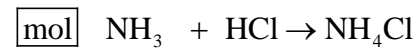
$$K_b = \frac{x_2^2}{0,4} \Rightarrow K_b = \frac{(2 \cdot 10^{-3})^2}{0,4} = 10^{-5} .$$

### Γ2

Τα δύο συστατικά αντιδρούν, οπότε υπολογίζουμε τα mol τους.

Έτσι:  $n_{\text{NH}_3} = 0,4 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,04 \text{ mol}$  και  $n_{\text{HCl}} = 0,3 \cdot \frac{2}{15} \text{ mol} = 0,04 \text{ mol} .$

Έχουμε εξουδετέρωση :



Αρχ. 0,04      0,04      -

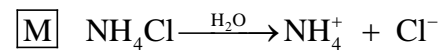
Αντ. 0,04      0,04      -

Παρ. -      -      0,04

Τελ. -      -      0,04

Το τελικό διάλυμα έχει όγκο  $V_{\Delta 3} = (0,1 + 0,3) \text{ L} = 0,4 \text{ L}$  και περιέχει μόνο  $\text{NH}_4\text{Cl}$

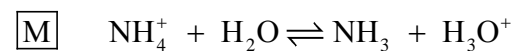
με συγκέντρωση:  $C_{\text{NH}_4\text{Cl}} = \frac{n}{V} = \frac{0,04}{0,4} \text{ M} = 0,1 \text{ M}$ . Το  $\text{NH}_4\text{Cl}$  δίσταται:



Αρχ. 0,1      -      -

Τελ. -      0,1      0,1

Το  $\text{NH}_4^+$  ιοντίζεται:



Αρχ. 0,1      -      -

Αντ.  $x_3$       -      -

Παρ. -       $x_3$        $x_3$

Χ.Ι.  $0,1 - x_3$        $x_3$        $x_3$

Έστω ότι επιτρέπονται οι προσεγγίσεις, τότε στην ισορροπία έχουμε:

$$K_{a,\text{NH}_4^+} = \frac{K_w}{K_{b,\text{NH}_3}} \Rightarrow \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-5}} \Rightarrow 10^{-9} = \frac{x_3^2}{0,1 - x_3} \Rightarrow 10^{-9} \approx \frac{x_3^2}{0,1} \Rightarrow x_3 = 10^{-5}$$

Επειδή  $x_3(10^{-5}) \ll 0,1$ , ισχύει  $0,1 - x_3 \approx 0,1$ , άρα καλώς έγινε η προσέγγιση.

Επομένως, για το Δ3 έχουμε  $\text{pH} = 5$  και  $\alpha_3 = \frac{x_3}{0,1} = \frac{10^{-5}}{10^{-1}} = 10^{-4} .$

### Γ3

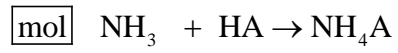
Υπολογίζουμε τα mol των συστατικών και το συνολικό όγκο. Έτσι:

$n_{\text{NH}_3} = 0,4 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,04 \text{ mol} ,$

$n_{\text{HA}} = 0,1 \cdot 0,3 \text{ mol} = 0,03 \text{ mol}$  και

$V_{\Delta 4} = (0,1 + 0,3) \text{ L} = 0,4 \text{ L}$ .

Έχουμε εξουδετέρωση:



Αρχ. 0,04      0,03      –

Αντ. 0,03      0,03      –

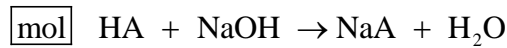
Παρ. –            –            0,03

Τελ. 0,01        –            0,03

Τα διαλύματα του άλατος  $\text{NH}_4\text{A}$  είναι ουδέτερα, γιατί ισχύει:

$K_{a(\text{NH}_4^+)} = K_{b(\text{A}^-)} = 10^{-9}$ . Στο διάλυμα υπάρχει και αμμωνία, άρα το Δ4 είναι βασικό.





$$\text{Αρχ.} \quad 0,11 \quad 0,01 \quad -$$

$$\text{Αντ.} \quad 0,01 \quad 0,01 \quad -$$

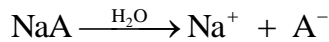
$$\text{Παρ.} \quad - \quad - \quad 0,01$$

$$\text{Τελ.} \quad 0,10 \quad - \quad 0,01$$

Οι συγκεντρώσεις των συστατικών στο τέλος της αντίδρασης είναι:

$$C_{(\text{HA})\Delta 2} = \frac{0,1}{1,1} \text{ M} = \frac{1}{11} \text{ M} \quad \text{και} \quad C_{(\text{NaA})\Delta 2} = \frac{0,01}{1,1} \text{ M} = \frac{1}{110} \text{ M}$$

Το NaA δίσταται:



Στο διάλυμα συνυπάρχουν το ασθενές οξύ HA και η συζυγής του βάση A<sup>-</sup>.

Επομένως, έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα (HA / A<sup>-</sup>), για το οποίο ισχύει:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2 [\text{A}^-]_2}{[\text{HA}]_2} \Rightarrow 10^{-6} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2 \cdot \frac{1}{110}}{\frac{1}{11}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+]_2 = 10^{-5}, \quad \text{άρα} \quad \text{pH}_2 = 5.$$

$$\text{β.} \quad \alpha_2 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_2}{[\text{HA}]_2} = \frac{10^{-5}}{\frac{1}{11}} = 1,1 \cdot 10^{-4}.$$

Παρατήρηση: Ο βαθμός ιοντισμού είναι μικρότερος από τον  $\alpha_1$  λόγω Ε.Κ.Ι.

### Γ3.

α. Για την αραιώση ισχύει:

$$C_{(\text{HA})\Delta 1} \cdot V_{\Delta 1} = C_{(\text{HA})\Delta 3} \cdot V_{\Delta 3} \Rightarrow 0,1 \cdot 0,1 = C_{(\text{HA})\Delta 3} \cdot 10 \Rightarrow C_{(\text{HA})\Delta 3} = 10^{-3} \text{ M}.$$

Το HA ιοντίζεται:  $\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$  και οι προσεγγίσεις είναι

αποδεκτές επειδή ( $\frac{K_a}{C_{\text{HA}(\Delta 3)}} = \frac{10^{-6}}{10^{-3}} < 10^{-2}$ ), οπότε

$$K_a = \frac{x_3^2}{10^{-3} - x_3} \Rightarrow 10^{-6} \approx \frac{x_3^2}{10^{-3}} \Rightarrow x_3 = 10^{-4,5}.$$

Συνεπώς:  $[\text{H}_3\text{O}^+]_3 = x_3 = 10^{-4,5}$  άρα  $\text{pH}_3 = 4,5$ .

$$\text{β.} \quad \alpha_3 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_3}{[\text{HA}]_3} = \frac{10^{-4,5}}{10^{-3}} = 10^{-1,5} (3,16 \cdot 10^{-2}).$$

Παρατήρηση: Ο βαθμός ιοντισμού είναι μεγαλύτερος από τον  $\alpha_1$  λόγω αραιώσης.

### Γ4.

α. Υπολογίζουμε τα mol των συστατικών και το συνολικό όγκο.

$$n_{\text{HA}} = 0,1 \cdot 1,1 \text{ mol} = 0,11 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{1}{990} \cdot 9,9 \text{ mol} = 0,01 \text{ mol} \quad \text{και}$$

$$V_{\Delta 4} = (1,1 + 9,9) \text{ L} = 11 \text{ L}.$$

Τα συστατικά αντιδρούν.



Αρχ. 0,11      0,01      -

Αντ. 0,01      0,01      -

Παρ. -      -      0,01

Τελ. 0,10      -      0,01

Οι συγκεντρώσεις των συστατικών στο τέλος της αντίδρασης είναι:

$$C_{(\text{HA})\Delta 4} = \frac{0,1}{11} \text{ M} = \frac{1}{110} \text{ M} \quad \text{και} \quad C_{(\text{NaA})\Delta 4} = \frac{0,01}{11} \text{ M} = \frac{1}{1100} \text{ M}.$$



Στο διάλυμα συνυπάρχουν το ασθενές οξύ HA και η συζυγής του βάση A<sup>-</sup>.

Επομένως, έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα (HA / A<sup>-</sup>), για το οποίο ισχύει:

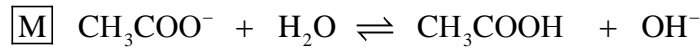
$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_4 [\text{A}^-]_4}{[\text{HA}]_4} \Rightarrow 10^{-6} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_4 \cdot \frac{1}{1100}}{\frac{1}{110}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+]_4 = 10^{-5}, \quad \text{άρα} \quad \text{pH}_4 = 5.$$

$$\beta. \alpha_4 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_4}{[\text{HA}]_4} = \frac{10^{-5}}{\frac{1}{110}} = 1,1 \cdot 10^{-3}.$$

Καλώς έγιναν οι προσεγγίσεις, αφού  $C_{\text{NaA}} = \frac{1}{1100} = 9,1 \cdot 10^{-4} \gg x(10^{-5})$ .

γ. Το διάλυμα Δ2 έχει μεγαλύτερη ρυθμιστική ικανότητα, γιατί έχει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε HA και A<sup>-</sup>.





Αρχ.	C <sub>2</sub>	-	-	
Αντ.	2·10 <sup>-6</sup>	-	-	
Παρ.	-	2·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	
Χ.Ι.	C <sub>2</sub> - 2·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	

Στην ισορροπία ισχύει:

$$K_{b(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \Rightarrow 10^{-9} = \frac{(2 \cdot 10^{-6})^2}{C_2 - 2 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow C_2 - 2 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 10^{-3} \Rightarrow C_2 \approx 4 \cdot 10^{-3}$$

Άρα C<sub>Δ2</sub> = 0,004 M.

Με την αραίωση τα mol παραμένουν σταθερά, οπότε:

$$C_{\Delta 1} \cdot V_{\Delta 1} = C_{\Delta 2} \cdot V_{\Delta 2} \Rightarrow 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,05 \text{ L} = 0,004 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot V_{\Delta 2} \Rightarrow V_{\Delta 2} = 1,25 \text{ L}.$$

$$\text{Επειδή } V_{\Delta 2} = V_{\Delta 1} + V_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\Delta 2} - V_{\Delta 1} = 1,25 - 0,05 \text{ L} = 1,2 \text{ L}$$

**Γ3.**

$$\text{Έστω } n_{\text{HBr}} = \psi \text{ mol. Τότε } V_{\text{HBr}} = \frac{n}{C} = \frac{\psi}{0,05} \text{ L} = 20\psi \text{ L}.$$

$$\text{Επίσης } n_{\text{CH}_3\text{COOK}} = 0,1 \cdot 0,11 \text{ mol} = 0,011 \text{ mol και } V_{\text{ολικό}} = (20\psi + 0,11) \text{ L}.$$

Εφόσον το Δ3 είναι ρυθμιστικό διάλυμα, αντιδρά πλήρως το HBr. Έτσι:



Αρχ	0,011	ψ	-	-
Αντ.	ψ	ψ	-	-
Παρ.	-	-	ψ	ψ
Τελ.	0,011 - ψ	-	ψ	ψ

Έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα (CH<sub>3</sub>COOH/CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) όπου το CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> προέρχεται από την διάσπαση του CH<sub>3</sub>COOK, συνεπώς ισχύει η σχέση:

$$K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \xrightarrow{\text{pH}=6} 10^{-5} = \frac{10^{-6} [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\Rightarrow 10[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] \Rightarrow 10\left(\frac{\psi}{V_{\text{ολικό}}}\right) = \left(\frac{0,011 - \psi}{V_{\text{ολικό}}}\right) \Rightarrow 11\psi = 0,011 \Rightarrow \psi = 10^{-3}$$

$$\text{Συνεπώς : } V_{\text{HBr}} = 20\psi \text{ L} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 20 \text{ mL}.$$

**ΑΣΚΗΣΗ 11.** 2,5 mmol  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  διαλύονται σε νερό και δημιουργείται διάλυμα Δ1, όγκου 5 L.

Γ1. Πόσα mL διαλύματος  $\text{HCl}$  0,01 M πρέπει να προστεθούν σε 0,5 L του Δ1, ώστε να δημιουργηθεί διάλυμα Δ2 με  $\text{pH} = 7$ ;

Γ2. Πόσα  $\text{cm}^3$  αέριου  $\text{HCl}$  μετρημένα σε STP πρέπει να διαβιβαστούν σε 2 L του Δ1, χωρίς μεταβολή όγκου του διαλύματος, ώστε να δημιουργηθεί διάλυμα Δ3 με  $\text{pH} = 3$ ;

Γ3. Σε 2 L του Δ1 προστέθηκαν 40 mL υδατικού διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M με  $\text{pH} = 3$  και δημιουργήθηκε υδατικό διάλυμα Δ4.

α. Να υπολογίσετε την σταθερά ιοντισμού του οξικού οξέος.

β. Να υπολογίσετε το  $\text{pH}$  του Δ4.

Δίνονται :  $M_{\text{r}_{\text{Ca}(\text{OH})_2}} = 74$  και  $K_w = 10^{-14}$ .

**Λύση**

Γ1.

$$C_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}.$$

Το  $C_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$  είναι ισχυρή βάση και το  $\text{HCl}$  ισχυρό οξύ, άρα πρέπει να προστεθεί τόσο διάλυμα  $\text{HCl}$ , ώστε να έχουμε πλήρη εξουδετέρωση. Επισημαίνεται ότι, μετά την πλήρη εξουδετέρωση στο διάλυμα Δ2 θα υπάρχει μόνο το άλας  $\text{CaCl}_2$ , του οποίου τα ιόντα δεν υδρολύονται γιατί προέρχονται από ισχυρό οξύ και ισχυρή βάση, επομένως το διάλυμα Δ2 θα έχει  $\text{pH} = 7$ .

$$n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = C_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \cdot V_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \Rightarrow n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \text{ mol} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$



$$\text{Αντ.} \quad 2,5 \cdot 10^{-4} \quad 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \quad - \quad -$$

$$V_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{C_{\text{HCl}}} = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}} \text{ L} = 0,05 \text{ L} = 50 \text{ mL}.$$

Γ2.

Το διάλυμα Δ3 είναι όξινο, συνεπώς μετά την αντίδραση θα περισσεύει  $\text{HCl}$ .

$$\text{Έχουμε : } n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = C_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \cdot V_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \Rightarrow n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \text{ mol} = 10^{-3} \text{ mol},$$

Έστω  $\psi$  mol  $\text{HCl}$  και  $V_{\text{ολικό}} = 2 \text{ L}$ .



$$\text{Αρχ.} \quad 10^{-3} \quad \psi \quad -$$

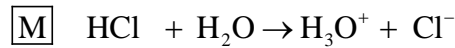
$$\text{Αντ.} \quad 10^{-3} \quad 2 \cdot 10^{-3} \quad -$$

$$\text{Παρ.} \quad - \quad - \quad 10^{-3}$$

$$\text{Τελ.} \quad - \quad \psi - 2 \cdot 10^{-3} \quad 10^{-3}$$

$$\text{Έχουμε νέες συγκεντρώσεις : } C_{\text{CaCl}_2} = \frac{10^{-3}}{2} \text{ M και } C_{\text{HCl}} = \frac{\psi - 2 \cdot 10^{-3}}{2} \text{ M (1).}$$

Όπως ήδη είδαμε το  $\text{CaCl}_2$  δεν επηρεάζει το  $\text{pH}$ . Το οξύ ιοντίζεται πλήρως:



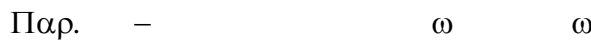
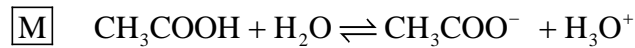
Όμως  $\text{pH} = 3 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} = C_{\text{HCl}}$ .

Από (1) έπεται ότι  $10^{-3} = \frac{\psi - 2 \cdot 10^{-3}}{2} \Rightarrow \psi = 4 \cdot 10^{-3}$

Επομένως:  $n_{\text{HCl}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$  και  $V_{\text{HCl(STP)}} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 22.400 \text{ cm}^3 = 89,6 \text{ cm}^3$ .

### Γ3.

α. Το οξικό οξύ ιοντίζεται:



$\text{pH} = 3 \Rightarrow \omega = 10^{-3} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ M}$

Για την ισορροπία έχουμε:  $K_a = \frac{\omega^2}{0,1 - \omega} = \frac{10^{-6}}{0,1 - 10^{-3}} = 10^{-5}$ .

β. Έχουμε :  $n_{\text{Ca(OH)}_2} = C_{\text{Ca(OH)}_2} \cdot V_{\text{Ca(OH)}_2} \Rightarrow n_{\text{Ca(OH)}_2} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \text{ mol} = 10^{-3} \text{ mol}$ ,

$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = C_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot V_{\text{CH}_3\text{COOH}} \Rightarrow n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,1 \cdot 0,04 \text{ mol} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ .

Επίσης,  $V_{\text{ολ.}} = 2,04 \text{ L}$

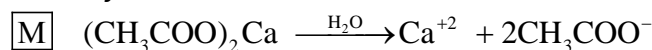
Για την εξουδετέρωση:



Για τις τελικές συγκεντρώσεις έχουμε:

$C_{(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}} = \frac{10^{-3}}{2,04} \text{ M}$  και  $C_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2,04} \text{ M}$

Το άλας δίσταται :



Προέκυψε ρυθμιστικό διάλυμα  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$ , για το οποίο ισχύει:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2,04}}{\frac{2 \cdot 10^{-3}}{2,04}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-5}, \text{ \acute{a}\rho\alpha \text{ pH} = 5.}$$

**ΑΣΚΗΣΗ 12.** Ένα οξύ HA έχει διαλυτότητα (μέγιστη δυνατή συγκέντρωση)  $0,9 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  και  $K_{a(\text{HA})} = 10^{-5}$ . 300 mL ενός υδατικού διαλύματος HA (διάλυμα Δ1), στους 25 °C, έχει pH ίσο με:

α. 2 β. 3 γ. 7

Γ1 α. Να επιλέξετε τη σωστή απάντηση.

β. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

γ. Να υπολογίσετε την συγκέντρωση του Δ1.

Γ2. Πόσα mL νερού πρέπει να προστεθούν σε 20 mL του Δ1, ώστε να δημιουργηθεί υδατικό διάλυμα Δ2, με βαθμό ιοντισμού  $\alpha_2 = 0,04$ ;

Γ3. Με την ανάμιξη όγκων από τα Δ1 και Δ2 δημιουργήθηκε υδατικό διάλυμα Δ3, όγκου 100 mL, με βαθμό ιοντισμού του HA  $\alpha_3 = 0,02$ .

α. Να υπολογίσετε την συγκέντρωση των οξωνίων στο Δ3.

β. Να υπολογίσετε τους όγκους των Δ1 και Δ2 που δημιούργησαν το Δ3.

Δίνονται :  $\log 3 = 0,48$ ,  $\theta = 25^\circ\text{C}$  και  $K_w = 10^{-14}$

**Λύση**

Γ1

α. Σωστό το β.

β. Κάθε υδατικό διάλυμα οξέος είναι όξινο, δηλαδή στους 25 °C έχει  $\text{pH} < 7$ , οπότε απορρίπτεται το γ. Το μικρότερό του δυνατό pH του οξέος επιτυγχάνεται στη μεγαλύτερή του συγκέντρωση.

Από το νόμο αραιώσεως του Ostwald για το HA έχουμε:

$$K_a = \frac{x^2}{C_{(\text{HA})\text{max}} - x} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{x^2}{0,9 - x} \Rightarrow 10^{-5} \approx \frac{x^2}{0,9} \Rightarrow 9 \cdot 10^{-6} = x^2 \Rightarrow x = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Καλώς έγινε η προσέγγιση αφού  $x(3 \cdot 10^{-3}) \ll 0,9$ .

Συνεπώς, το μικρότερο δυνατό pH που μπορεί να επιτευχθεί για το διάλυμα του HA είναι:  $\text{pH} = -\log 3 \cdot 10^{-3} = 3 - \log 3 = 2,52$ , οπότε απορρίπτεται το α.

γ. Ισχύει ο νόμος αραιώσεως του Ostwald:

$$K_a = \frac{x_1^2}{C_{(\text{HA})\Delta 1} - x_1} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{(10^{-3})^2}{C_{(\text{HA})\Delta 1} - 10^{-3}} \Rightarrow C_{(\text{HA})\Delta 1} - 10^{-3} = 10^{-1} \Rightarrow C_{(\text{HA})\Delta 1} \approx 10^{-1}.$$

Άρα για να έχει το διάλυμα Δ1  $\text{pH} = 3$  πρέπει  $C_{(\text{HA})\Delta 1} = 0,1 \text{ M}$ .

Γ2.

$$\text{Για το } \Delta 1 \text{ έχουμε: } \alpha_1 = \frac{x_1}{C_{(\text{HA})\Delta 1}} = \frac{10^{-3}}{10^{-1}} = 0,01.$$

Για το Δ2 ισχύει  $\alpha_2 = 0,04 = 4\alpha_1$ . Επειδή  $\alpha_1, \alpha_2 < 0,1$  ισχύει ο προσεγγιστικός τύπος του νόμου αραιώσεως του Ostwald και για τα δύο διαλύματα, έτσι:

$$K_a = \alpha_1^2 \cdot C_{(\text{HA})\Delta 1} = \alpha_2^2 \cdot C_{(\text{HA})\Delta 2} \Rightarrow \alpha_1^2 \cdot C_{(\text{HA})\Delta 1} = 16 \cdot \alpha_1^2 \cdot C_{(\text{HA})\Delta 2} \Rightarrow C_{(\text{HA})\Delta 2} = \frac{C_{(\text{HA})\Delta 1}}{16}$$

Με την αραιώση τα mol παραμένουν σταθερά, οπότε:

$$C_{(\text{HA})\Delta 1} \cdot V_{\Delta 1} = C_{(\text{HA})\Delta 2} \cdot V_{\Delta 2} \Rightarrow C_{(\text{HA})\Delta 1} \cdot V_{\Delta 1} = \frac{C_{(\text{HA})\Delta 1}}{16} \cdot V_{\Delta 2} \Rightarrow V_{\Delta 2} = 16 \cdot V_{\Delta 1} \Rightarrow V_{\Delta 2} = 320 \text{ mL}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\Delta 2} - V_{\Delta 1} = (320 - 20) \text{ mL} = 300 \text{ mL}.$$

**Γ3.**

Επειδή  $\alpha_2, \alpha_3 < 0,1$  ισχύει ο προσεγγιστικός τύπος του νόμου αραιώσεως του Ostwald και για τα δύο διαλύματα.

α. Για το Δ3 ισχύει:  $K_a = \alpha_3^2 \cdot C_{(HA)\Delta 3} \Rightarrow C_{(HA)\Delta 3} = \frac{K_a}{\alpha_3^2} \Rightarrow C_{(HA)\Delta 3} = \frac{10^{-5}}{4 \cdot 10^{-4}} = \frac{1}{40}$

Άρα,  $C_{(HA)\Delta 3} = \frac{1}{40} \text{ M}$  και  $C_{H_3O^+} = \alpha_3 \cdot C_{(HA)\Delta 3} \Rightarrow C_{H_3O^+} = 0,02 \cdot \frac{1}{40} \text{ M} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ M}$

β. Πρώτα βρίσκουμε τη συγκέντρωση του ΗΑ στο διάλυμα Δ2.

$K_a = \alpha_2^2 \cdot C_{(HA)\Delta 2} \Rightarrow C_{(HA)\Delta 2} = \frac{K_a}{\alpha_2^2} \Rightarrow C_{(HA)\Delta 2} = \frac{10^{-5}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} = \frac{1}{160}$ , άρα

$C_{(HA)\Delta 2} = \frac{1}{160} \text{ M}.$

Για την ανάμειξη ισχύει:

$C_{(HA)\Delta 1} \cdot V_{\Delta 1} + C_{(HA)\Delta 2} \cdot V_{\Delta 2} = C_{(HA)\Delta 3} \cdot V_{\Delta 3} \Rightarrow \frac{1}{10} \cdot V_{\Delta 1} + \frac{1}{160} \cdot V_{\Delta 2} = \frac{1}{40} \cdot V_{\Delta 3} \Rightarrow$

$16V_{\Delta 1} + V_{\Delta 2} = 4V_{\Delta 3} \Rightarrow 15V_{\Delta 1} + (V_{\Delta 1} + V_{\Delta 2}) = 4V_{\Delta 3} \Rightarrow 15V_{\Delta 1} + V_{\Delta 3} = 4V_{\Delta 3} \Rightarrow$

$V_{\Delta 1} = \frac{3V_{\Delta 3}}{15} = 20 \text{ mL},$  οπότε  $V_{\Delta 2} = 80 \text{ mL}.$

**ΑΣΚΗΣΗ 13.** Διαθέτουμε υδατικό διάλυμα **KOH** (διάλυμα Δ1) και υδατικό διάλυμα μονοπρωτικής ασθενούς βάσης **B** (διάλυμα Δ2). Επίσης γνωρίζουμε ότι:

- Με την ανάμειξη **20 mL Δ1** και **50 mL Δ2** προκύπτει διάλυμα Δ3 με **pH = 11**.
- Με την ανάμειξη **20 mL Δ1** και **80 mL Δ2** προκύπτει διάλυμα Δ4 με **pH = 11**.

Γ1 α. Να βρείτε το **pH** του Δ2.

β. Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του **KOH** στο Δ1.

Γ2. Να υπολογίσετε τον όγκο σε **STP** αερίου **HCl** που πρέπει να διαβιβασθεί σε **200 mL** του Δ1, για να δημιουργηθεί διάλυμα Δ5 με **pH = 7**.

Γ3. Η ελάχιστη δυνατή ποσότητα **HCl**, που απαιτείται για την πλήρη εξουδετέρωση **200 mL** του Δ2, είναι **0,73 g**. Να υπολογίσετε τη **K<sub>b</sub>** της βάσης **B**.

Γ4. Να υπολογίσετε το **pH** διαλύματος Δ6 που προκύπτει από την ανάμειξη **50 mL** του Δ2 και **20 mL** διαλύματος **HClO<sub>4</sub> 0,125 M**.

Δίνονται : **Mr<sub>HCl</sub> = 36,5** και **K<sub>w</sub> = 10<sup>-14</sup>**.

**Λύση**

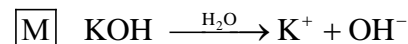
Γ1.

α. Γνωρίζουμε ότι με ανάμειξη δύο διαλυμάτων προκύπτει τελικό διάλυμα με ενδιάμεσο pH. Προφανώς αν τα αρχικά διαλύματα έχουν ίσα pH, τότε και το τελικό διάλυμα θα έχει το ίδιο pH.

Με βάση τα δεδομένα, διαφορετικές αναμειξεις των Δ1 και Δ2 δίνουν τα διαλύματα Δ3 και Δ4 που έχουν το ίδιο pH. Για να συμβαίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει το Δ1 και το Δ2 να έχουν το ίδιο pH, δηλαδή **pH = 11**.

Συνεπώς, **pH<sub>Δ2</sub> = 11** (και **pH<sub>Δ1</sub> = 11**).

β. Αφού το Δ1 έχει **pH = 11**.



Για το KOH :	Αρχ.	C	-	-
	Τελ.	-	C	C

**pH = 11**  $\Rightarrow$  **pOH = 3**  $\Rightarrow$  **[OH<sup>-</sup>] = 10<sup>-3</sup> = C**. Άρα **C<sub>KOH</sub> = 10<sup>-3</sup> M**.

Γ2.

Λαμβάνει χώρα αντίδραση, ανάμεσα σε ισχυρό οξύ και ισχυρή βάση. Δεδομένου ότι θέλουμε το τελικό pH να είναι 7, θα λάβει χώρα πλήρης εξουδετέρωση (το παραγόμενο άλας **KCl** προέρχεται από ισχυρό οξύ και ισχυρή βάση, άρα τα ιόντα του δεν υδρολύονται και τα διαλύματά του είναι ουδέτερα). Υπολογίζουμε τα mol του **KOH**: **n<sub>KOH</sub> = C · V = 10<sup>-3</sup> · 0,2 mol = 2 · 10<sup>-4</sup> mol**.



Αρχ.	2 · 10 <sup>-4</sup>	2 · 10 <sup>-4</sup>	-	
Τελ.	-	-	2 · 10 <sup>-4</sup>	

Προφανώς **n<sub>HCl</sub> = 2 · 10<sup>-4</sup> mol** και **V<sub>(STP)HCl</sub> = 2 · 10<sup>-4</sup> · 22,4 L = 4,48 cm<sup>3</sup>**.

Γ3.

**n<sub>HCl</sub>' =  $\frac{0,73}{36,5}$  mol = 0,02 mol**.



Αρχ. 0,02    0,02    -

Τελ.    -    -    0,02

$$\text{Επομένως, } C_B = \frac{0,02 \text{ mol}}{0,2 \text{ L}} = 0,1 \text{ M}.$$

Για το Δ2 έχουμε βρει ότι  $\text{pH} = 11 \Rightarrow \text{pOH} = 3 \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ M}$ .

Έστω ότι ισχύει ο νόμος αραιώσεως του Ostwald, τότε:

$$K_b = \frac{x^2}{C_B - x} \Rightarrow K_b = \frac{(10^{-3})^2}{0,1 - 10^{-3}} = 10^{-5}.$$

Καλώς έγινε η προσέγγιση αφού  $10^{-3} \ll 0,1$ .

**Γ4.**

Το  $\text{HClO}_4$  είναι ισχυρό οξύ οπότε το ιόν  $\text{ClO}_4^-$  δεν υδρολύεται.

$$n'_B = 0,1 \cdot 0,05 \text{ mol} = 0,005 \text{ mol} \quad \text{και} \quad n_{\text{HClO}_4} = 0,125 \cdot 0,02 \text{ mol} = 0,0025 \text{ mol}$$

$$\text{Επίσης, } V_{\Delta 6} (50 + 20) \text{ mL} = 0,07 \text{ L}$$



Αρχ. 0,005    0,0025    -

Αντ. 0,0025    0,0025    -

Παρ.    -    -    0,0025

Τελ. 0,0025    -    0,0025

Προκύπτει ρυθμιστικό διάλυμα ( $\text{B} / \text{BH}^+$ ).

Από την εξίσωση Henderson-Hasselbalch έχουμε:

$$\text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{C_{\text{BH}^+}}{C_B} \Rightarrow \text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{\frac{n_{\text{BH}^+}}{V_{\text{τελ.}}}}{\frac{n_B}{V_{\text{τελ.}}}} \Rightarrow \text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{n_{\text{BH}^+}}{n_B} \Rightarrow$$

$$\text{pOH} = -\log 10^{-5} + \log \frac{0,0025}{0,0025} \Rightarrow \text{pOH} = 5 \quad \text{και} \quad \text{pH} = 9.$$

Επειδή  $C_B = C_{\text{BH}^+} = \frac{2,5 \text{ mmol}}{70 \text{ mL}} \approx 0,036 \text{ M} \gg x (10^{-5})$ , καλώς έγιναν οι προσεγγίσεις.

**ΑΣΚΗΣΗ 14.** Διαθέτουμε τα υδατικά διαλύματα  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M (διάλυμα Δ1),  $\text{HA}$  0,1 M (διάλυμα Δ2) και  $\text{NaOH}$  0,1 M (διάλυμα Δ3).

Γ1. Να υπολογίσετε τη  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  στα διαλύματα Δ1, Δ2 και Δ3.

Γ2. Να υπολογίσετε την αναλογία όγκων με την οποία πρέπει να αναμείξουμε τα διαλύματα Δ1 και Δ3 για να προκύψει διάλυμα με  $\text{pH} = 5$ .

Γ3. Αναμειγνύουμε τα διαλύματα Δ1 και Δ2 με αναλογία των όγκων 3:1, να υπολογίσετε τη  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  του διαλύματος που θα προκύψει.

Δίνονται:  $K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})} = 10^{-5}$ ,  $K_{a(\text{HA})} = 6 \cdot 10^{-6}$   $\theta = 25^\circ\text{C}$  και  $K_w = 10^{-14}$  και ότι επιτρέπονται οι γνωστές προσεγγίσεις.

**Λύση**

Γ1.

Δεδομένου ότι επιτρέπονται οι προσεγγίσεις έχουμε:

$$\text{Για το Δ1 } [\text{H}_3\text{O}^+]_1 = \sqrt{K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})} \cdot C_{\text{CH}_3\text{COOH}}} = \sqrt{10^{-5} \cdot 0,1} = 10^{-3}.$$

$$\text{Για το Δ2 } [\text{H}_3\text{O}^+]_2 = \sqrt{K_{a(\text{HA})} \cdot C_{\text{HA}}} = \sqrt{6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1} = \sqrt{6} \cdot 10^{-3,5}.$$

Το διάλυμα Δ3 περιέχει ισχυρή βάση, άρα

$$[\text{OH}^-]_3 = [\text{NaOH}] = 10^{-1} \Rightarrow \text{pOH}_3 = 1 \text{ και } \text{pH}_3 = 13. \text{ Άρα } [\text{H}_3\text{O}^+]_3 = 10^{-13} \text{ M}.$$

Γ2.

Διερεύνηση

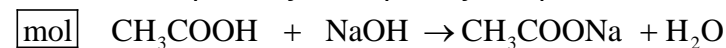
Έστω ότι πρέπει να προσθέσουμε τόσο όγκο διαλύματος  $\text{NaOH}$ , ώστε να έχουμε πλήρη εξουδετέρωση. Τότε στο διάλυμα θα υπάρχει μόνο το άλας  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Το άλας δίσταται και το ανιόν  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  είναι ασθενής βάση, ενώ το κατιόν  $\text{Na}^+$  δεν υδρολύεται. Συνεπώς, το διάλυμα που θα προκύψει θα είναι βασικό ( $\text{pH} > 7$ ). Όμως το ζητούμενο  $\text{pH}$  είναι 5, άρα η υπόθεση είναι άτοπη. Επειδή το ζητούμενο διάλυμα έχει μικρότερο  $\text{pH}$  από το  $\text{pH}$  που έχει το διάλυμα στην πλήρη εξουδετέρωση συνάγεται ότι στο ζητούμενο διάλυμα το οξύ θα είναι σε περίσσεια.

Έστω ότι απαιτούνται  $V_1$  L από το διάλυμα Δ1 και  $V_2$  L από το διάλυμα Δ3.

Υπολογίζουμε τα mol των αντιδρώντων.

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = C \cdot V = 0,1 \cdot V_1 \text{ και } n_{\text{NaOH}} = C \cdot V = 0,1 \cdot V_2.$$

Από την αντίδραση εξουδετέρωσης έχουμε:



$$\text{Αρχ.} \quad 0,1 \cdot V_1 \quad 0,1 \cdot V_2 \quad -$$

$$\text{Αντ.} \quad 0,1 \cdot V_2 \quad 0,1 \cdot V_2 \quad -$$

$$\text{Παρ.} \quad - \quad - \quad 0,1 \cdot V_2$$

$$\text{Τελ.} \quad 0,1(V_1 - V_2) \quad - \quad 0,1 \cdot V_2$$

Παρατηρούμε ότι σχηματίστηκε ρυθμιστικό διάλυμα  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$ , για το οποίο ισχύει:



**ΑΣΚΗΣΗ 15.** Δίνεται υδατικό διάλυμα  $\text{HCOONa}$  3,4% (w/v) (διάλυμα Δ1).

**Γ1 α.** Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του διαλύματος Δ1.

**β.** Να υπολογίσετε το βαθμό ιοντισμού(υδρόλυσης) του  $\text{HCOO}^-$  στο Δ1.

**Γ2.** Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση υδατικού διαλύματος  $\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOK}$  (διάλυμα Δ2), στο οποίο ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COO}^-$  είναι ίσος με αυτόν του  $\text{HCOO}^-$  στο διάλυμα Δ1.

**Γ3.** Να υπολογίσετε την αναλογία των mol ποσοτήτων  $\text{HI}$ , που απαιτούνται για την πλήρη αντίδραση ίσων όγκων από τα διαλύματα Δ1 και Δ2.

**Γ4.** Να υπολογίσετε την αναλογία των όγκων με την οποία πρέπει να αναμειχθούν τα διαλύματα Δ1 και Δ2 για να προκύψει τελικό διάλυμα με  $\text{pH} = 9$ .

Δίνονται: Οι σχετικές ατομικές μάζες  $\text{H} = 1, \text{C} = 12, \text{O} = 16$  και  $\text{Na} = 23, K_w = 10^{-14}$ ,  $K_{a(\text{HCOOH})} = 2 \cdot 10^{-4}$ ,  $K_{a(\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOH})} = 5 \cdot 10^{-5}$  και ότι όλα τα διαλύματα βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία.

**Λύση**

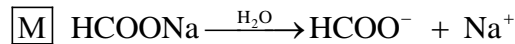
**Γ1.**

**α.** Έστω  $V_{\Delta 1} = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$ , τότε  $m_{\text{HCOONa}} = 3,4 \text{ g}$

Επιπλέον  $M_r_{\text{HCOONa}} = 1 + 12 + 32 + 23 = 68$  άρα  $n_{\text{HCOOH}} = \frac{3,4}{68} \text{ mol} = 0,05 \text{ mol}$ , οπότε

$$C_{\text{HCOONa}} = \frac{n_{\text{HCOONa}}}{V_{\text{HCOONa}}} = \frac{0,05 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 0,5 \text{ M}$$

**β.** Το  $\text{HCOONa}$  δίσταται:



Αρχ.	0,5	-	-	
Τελ.	-	0,5	0,5	

Το  $\text{HCOO}^-$  είναι η συζυγής βάση του  $\text{HCOOH}$  και υδρολύεται σύμφωνα με τη χημική εξίσωση  $\text{HCOO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCOOH} + \text{OH}^-$

$$\text{Επίσης, } K_{b(\text{HCOO}^-)} = \frac{K_w}{K_{a(\text{HCOOH})}} = \frac{10^{-14}}{2 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^{-11}$$

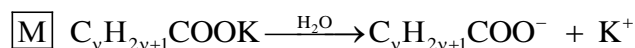
Έστω ότι επιτρέπονται οι προσεγγίσεις. Από το νόμο του Ostwald έχουμε:

$$K_{b(\text{HCOO}^-)} = \frac{\alpha_1^2 \cdot C_1}{1 - \alpha_1} \Rightarrow K_{b(\text{HCOO}^-)} \approx \alpha_1^2 \cdot C_1 \Rightarrow 5 \cdot 10^{-11} \approx \alpha_1^2 \cdot 0,5 \Rightarrow \alpha_1 = 10^{-5}$$

(καλώς έγινε η προσέγγιση).

**Γ2.**

Το  $\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOK}$  δίσταται:



Αρχ.	C	-	-	
Τελ.	-	C	C	

Το  $\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COO}^-$  είναι η συζυγής βάση του  $\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOH}$  και υδρολύεται σύμφωνα με τη χημική εξίσωση  $\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOH} + \text{OH}^-$

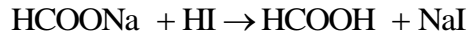
Αφού  $\alpha_2 = \alpha_1 = 10^{-5}$  επιτρέπονται οι προσεγγίσεις. Από την απλοποιημένη μορφή του νόμου του Ostwald έχουμε:

$$K_{b(C_vH_{2v+1}COO^-)} \approx \alpha_2^2 \cdot C \Rightarrow \frac{K_w}{K_{a(C_vH_{2v+1}COOH)}} = \alpha_2^2 \cdot C \Rightarrow \frac{10^{-14}}{5 \cdot 10^{-5}} = (10^{-5})^2 \cdot C \Rightarrow C = 2.$$

$$\text{Άρα : } C_{C_vH_{2v+1}COOK} = 2 \text{ M}$$

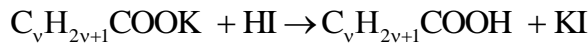
**Γ3.**

Γράφουμε την πρώτη χημική εξίσωση:



Αφού πρόκειται για πλήρη αντίδραση ισχύει:  $n_{HI} = n_{HCOONa} = C \cdot V = 0,5 \cdot V \text{ mol}$  (1)

Γράφουμε τη δεύτερη χημική εξίσωση:



Επίσης ισχύει  $n'_{HI} = n_{C_vH_{2v+1}COOK} = C \cdot V = 2 \cdot V \text{ mol}$  (2)

Διαιρώντας τα (1) και (2) κατά μέλη καταλήγουμε:

$$\frac{n_{HI}}{n'_{HI}} = \frac{0,5 \cdot V}{2 \cdot V} = \frac{1}{4}.$$

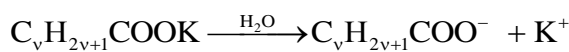
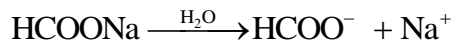
**Γ4.**

Το τελικό pH είναι 9, άρα  $pOH = 5$  και  $[OH^-] = 10^{-5} \text{ M}$ .

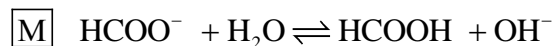
Με την ανάμειξη κάθε άλας μεταβάλλει τη συγκέντρωση του. Τελικά έχουμε:

$$C'_{HCOONa} = \frac{0,5 \cdot V_1}{V_1 + V_2} \text{ M (1) και } C'_{C_vH_{2v+1}COOK} = \frac{2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \text{ M (2)}$$

Τα άλατα δίστανται :

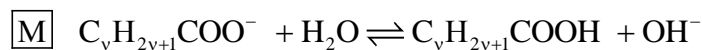


και υδρολύονται τα εξής ιόντα:



Ιοντ. x

Παρ. x x



Ιοντ. ψ

Παρ. ψ ψ

Λόγω της επίδρασης κοινού ιόντος συνολικά έχουμε:

$$[HCOO^-] = C'_{HCOONa} - x \approx C'_{HCOONa}$$

$$[C_vH_{2v+1}COO^-] = C'_{C_vH_{2v+1}COOK} - \psi \approx C'_{C_vH_{2v+1}COOK}$$

$$[HCOOH] = x$$

$$[C_vH_{2v+1}COOH] = \psi$$

$$[OH^-] = x + \psi = 10^{-5}$$

Από τις σταθερές του ιοντισμού προκύπτει:

$$K_{b(\text{HCOO}^-)} = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{HCOO}^-]} \Rightarrow 5 \cdot 10^{-11} = \frac{x(x + \psi)}{C'_{\text{HCOONa}}} \Rightarrow x(x + \psi) = 5 \cdot 10^{-11} \cdot C'_{\text{HCOONa}} \quad (3)$$

και

$$K_{b(\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COO}^-)} = \frac{[\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COO}^-]} \Rightarrow 2 \cdot 10^{-10} = \frac{\psi(x + \psi)}{C'_{\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOK}}}$$

$$\Rightarrow \psi(x + \psi) = 2 \cdot 10^{-10} \cdot C'_{\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOK}} \quad (4)$$

Προσθέτοντας τις (3) και (4) προκύπτει:

$$(x + \psi)^2 = 5 \cdot 10^{-11} \cdot C'_{\text{HCOONa}} + 2 \cdot 10^{-10} \cdot C'_{\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOK}} \Rightarrow$$

$$(10^{-5})^2 = 5 \cdot 10^{-11} \cdot C'_{\text{HCOONa}} + 2 \cdot 10^{-10} \cdot C'_{\text{C}_v\text{H}_{2v+1}\text{COOK}} \Rightarrow \quad (1),(2)$$

$$10^{-10} = 5 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{0,5 \cdot V_1}{V_1 + V_2} + 2 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} \Rightarrow$$

$$V_1 + V_2 = 5 \cdot 10^{-1} \cdot 0,5 \cdot V_1 + 2 \cdot 2 \cdot V_2 \Rightarrow V_1 + V_2 = 0,25 \cdot V_1 + 4 \cdot V_2 \Rightarrow$$

$$0,75 \cdot V_1 = 3 \cdot V_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{0,75} = \frac{4}{1}.$$



**Δ3.**

Η συγκέντρωση του διαλύματος που προέκυψε από ανάμειξη είναι:

$$C_3 \cdot V_3 = C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2 \Rightarrow C_3 = \frac{0,1 \cdot 0,2 + 1,6 \cdot 0,3}{0,5} \text{ M} \Rightarrow C_3 = 1 \text{ M} , \text{ άρα}$$

$$K_a = \frac{x_3^2}{C_3} \Rightarrow x_3 = \sqrt{K_a \cdot C_3} \Rightarrow x_3 = \sqrt{10^{-4} \cdot 1} \Rightarrow x_3 = 10^{-2} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2} \text{ M} \Rightarrow \text{pH} = 2.$$

**Δ4.**

Η συγκέντρωση του NaF στο διάλυμα είναι  $C_{\text{NaF}} = \frac{n}{V} = \frac{0,05}{0,5} \text{ M} = 0,1 \text{ M}.$

Το NaF στο νερό δίσταται:  $\text{NaF} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+ + \text{F}^-$  δίνοντας 0,1 M ιόντα  $\text{F}^-$  και ιόντα  $\text{Na}^+$  που δεν αντιδρούν με το νερό. Το διάλυμα HF 0,1 M και  $\text{F}^-$  0,1 M είναι ρυθμιστικό οπότε το pH του είναι:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{C_{\text{NaF}}}{C_{\text{HF}}} \Rightarrow \text{pH} = -\log 10^{-4} + \log \frac{0,1}{0,1} = 4.$$

**Δ5.**

Τα mol HF στο διάλυμα είναι:  $n_{\text{HF}} = C \cdot V = 0,1 \cdot 0,5 \text{ mol} = 0,05 \text{ mol}$

Το HF και το NaOH αντιδρούν μεταξύ τους



Αρχ.	0,05		0,05		–		–
------	------	--	------	--	---	--	---

Αντ.	0,05		0,05		–		–
------	------	--	------	--	---	--	---

Παρ.	–		–		0,05		–
------	---	--	---	--	------	--	---

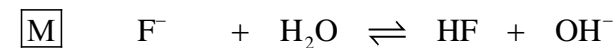
Χ.Ι.	–		–		0,05		–
------	---	--	---	--	------	--	---

Στο τελικό διάλυμα έχουμε μόνο NaF με συγκέντρωση αι

$$C_{\text{NaF}} = \frac{n}{V} = \frac{0,05}{0,5} \text{ M} = 0,1 \text{ M}.$$

Το NaF στο νερό δίσταται:  $\text{NaF} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+ + \text{F}^-$  δίνοντας 0,1 M ιόντα  $\text{F}^-$  και ιόντα  $\text{Na}^+$  που δεν αντιδρούν με το νερό.

Τα ιόντα  $\text{F}^-$  αντιδρούν με το νερό:



Αρχ.	0,1		–		–		–
------	-----	--	---	--	---	--	---

Αντ.	$x_5$		–		–		–
------	-------	--	---	--	---	--	---

Παρ.	–		$x_5$		$x_5$		–
------	---	--	-------	--	-------	--	---

Χ.Ι.	$0,1 - x_5$		$x_5$		$x_5$		–
------	-------------	--	-------	--	-------	--	---

Από τη σταθερά ιοντικής ισορροπίας έχουμε

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{x_5^2}{C} \Rightarrow \frac{10^{-14}}{10^{-4}} = \frac{x_5^2}{0,1} \Rightarrow x_5 = 10^{-5,5} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-5,5} \text{ M} \Rightarrow \text{pOH} = 5,5 \Rightarrow \text{pH} = 8,5$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 2.** Διαθέτουμε διάλυμα Y1  $\text{NH}_3$  συγκέντρωσης 1 M που εμφανίζει  $\text{pH} = 11,5$  και διάλυμα Y2  $\text{NH}_4\text{Cl}$  συγκέντρωσης 1 M.

**Δ1.** Να υπολογίσετε την σταθερά ιοντισμού της  $\text{NH}_3$ .

**Δ2.** Αναμειγνύουμε 200 mL διαλύματος Y1 με 200 mL διαλύματος Y2. Να υπολογίσετε το pH του διαλύματος που θα προκύψει.

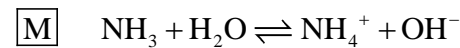
**Δ3.** Αναμειγνύουμε 200 mL διαλύματος Y1 με 200 mL διαλύματος Y2 και 100 mL διαλύματος  $\text{NaOH}$  0,5 M. Να υπολογίσετε την συγκέντρωση υδροξειδίων του διαλύματος Y3 που θα προκύψει.

**Δ4.** Αναμειγνύουμε 200 mL διαλύματος Y1, 200 mL διαλύματος Y2 και 100 mL διαλύματος  $\text{HCl}$  2 M. Το διάλυμα αραιώνεται με νερό μέχρι όγκο 4 L. Να υπολογίσετε το pH του διαλύματος Y4 που θα προκύψει

Δίδεται ότι τα διαλύματα βρίσκονται όλα σε θερμοκρασία  $25^\circ \text{C}$  όπου η σταθερά ιοντισμού του  $\text{H}_2\text{O}$  είναι:  $K_w = 10^{-14}$ . Οι συνήθεις προσεγγίσεις ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις.

**Λύση**

**Δ1.**



Αρχ. 1                      -              -

Αντ. x                      -              -

Παρ. -                      x              x

Χ.Ι.  $1-x$                       x              x

Δίνεται ότι  $\text{pH} = 11,5 \Rightarrow \text{pOH} = 2,5 \Rightarrow x = 10^{-2,5}$ , οπότε

$$K_{b\text{NH}_3} = \frac{x^2}{C} \Rightarrow K_b = \frac{(10^{-2,5})^2}{1} \Rightarrow K_b = 10^{-5}.$$

**Δ2.**

Οι νέες συγκεντρώσεις θα είναι:

$$\text{NH}_3: C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow C_2 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_1 + V_2} \Rightarrow C_2 = \frac{1 \cdot 0,2}{0,4} \text{ M} \Rightarrow C_2 = 0,5 \text{ M} \text{ και}$$

$$\text{NH}_4\text{Cl}: C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow C_2 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_1 + V_2} \Rightarrow C_2 = \frac{1 \cdot 0,2}{0,4} \text{ M} \Rightarrow C_2 = 0,5 \text{ M}$$

Το  $\text{NH}_4\text{Cl}$  στο νερό δίσταται:  $\text{NH}_4\text{Cl} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$  δίνοντας 0,5 M ιόντα

$\text{NH}_4^+$  και ιόντα  $\text{Cl}^-$  που δεν αντιδρούν με το νερό. Το διάλυμα  $\text{NH}_3$  0,5 M και  $\text{NH}_4^+$  0,5 M είναι ρυθμιστικό, οπότε το pH του είναι:

$$\text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{C_{\text{NH}_4^+}}{C_{\text{NH}_3}} \Rightarrow \text{pOH} = -\log 10^{-5} + \log \frac{0,5}{0,5} \Rightarrow \text{pOH} = 5 \Rightarrow \text{pH} = 9$$

**Δ3.**

Τα mol των ουσιών στο διάλυμα πριν την αντίδραση είναι:

$$n_{\text{NH}_3} = C \cdot V = 1 \cdot 0,2 \text{ mol} = 0,2 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NH}_4\text{Cl}} = C \cdot V = 1 \cdot 0,2 \text{ mol} = 0,2 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaOH}} = C \cdot V = 0,5 \cdot 0,1 \text{ M} = 0,05 \text{ M}$$

Για την εξουδετέρωση έχουμε τον πίνακα:

<b>mol</b>	$\text{NH}_4\text{Cl}$	$+$	$\text{NaOH}$	$\rightarrow$	$\text{NH}_3$	$+$	$\text{NaCl}$	$+$	$\text{H}_2\text{O}$
Αρχ.	0,2		0,05		0,2		–		–
Αντ.	0,05		0,05		–		–		–
Παρ.	–		–		0,05		0,05		
Τελ.	0,15		–		0,25		0,05		

Έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα  $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$ , οπότε

$$[\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{C_{\text{NH}_3}}{C_{\text{NH}_4^+}} \Rightarrow [\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{n_{\text{NH}_3} / V_{\text{τελ.}}}{n_{\text{NH}_4^+} / V_{\text{τελ.}}} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-5} \cdot \frac{0,25}{0,15} \text{ M} \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{5}{3} 10^{-5} \cdot \text{M}$$

#### Δ4.

Τα mol των ουσιών στο διάλυμα που προκύπτει είναι:

$$n_{\text{NH}_3} = C \cdot V = 1 \cdot 0,2 \text{ mol} = 0,2 \text{ mol} .$$

$$n_{\text{NH}_4\text{Cl}} = C \cdot V = 1 \cdot 0,2 \text{ mol} = 0,2 \text{ mol} .$$

$$n_{\text{HCl}} = C \cdot V = 2 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,2 \text{ mol} .$$

Για την εξουδετέρωση έχουμε τον πίνακα:

<b>mol</b>	$\text{NH}_3$	$+$	$\text{HCl}$	$\rightarrow$	$\text{NH}_4\text{Cl}$
Αρχ.	0,2		0,2		0,2
Αντ.	0,2		0,2		–
Παρ.	–		–		0,2
Τελ.	–		–		0,4

Στο διάλυμα υπάρχει μόνο  $\text{NH}_4\text{Cl}$  με συγκέντρωση  $C = \frac{n}{V} = \frac{0,4}{4} \text{ M} = 0,1 \text{ M} .$

Το  $\text{NH}_4\text{Cl}$  στο νερό δίσταται  $\text{NH}_4\text{Cl} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$  δίνοντας 0,1 M ιόντα

$\text{NH}_4^+$ , οπότε έχουμε τον παρακάτω πίνακα συγκεντρώσεων:

<b>M</b>	$\text{NH}_4^+$	$+$	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$	$\text{NH}_3$	$+$	$\text{H}_3\text{O}^+$
Αρχ.	0,1				–		–
Αντ.	y				–		–
Παρ.	–				y		y
X.I.	0,1–y				y		y

Ισχύει επίσης:

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{y^2}{0,1} \Rightarrow \frac{10^{-14}}{10^{-5}} = \frac{y^2}{0,1} \Rightarrow y = 10^{-5} \Rightarrow \text{pH} = 5 .$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 3.** Διαθέτουμε διάλυμα NaOH 0,5 M όγκου 800 mL (διάλυμα Y1).

**Δ1.** Πόσα mL διαλύματος HCl 1 M πρέπει να προστεθούν σε 100 mL του Y1, για να δημιουργηθεί ουδέτερο διάλυμα;

**Δ2.** Πόσα λίτρα διαλύματος HCN 0,5 M πρέπει να προστεθούν σε 100 mL του Y1, για να δημιουργηθεί ρυθμιστικό διάλυμα Y2, με pH=10;

**Δ3.** Σε 100 mL του Y1, προσθέτουμε 0,1 mol στερεού NH<sub>4</sub>Cl, χωρίς μεταβολή όγκου, δημιουργώντας το διάλυμα Y4.

α. Να υπολογίσετε το pH του Y4.

β. Να υπολογίσετε το βαθμό ιοντισμού της αμμωνίας στο Y4.

Δίνονται:  $M_{\text{r,NaOH}} = 40$ ,  $K_{\text{b(NH}_3)} = 10^{-5}$ ,  $K_{\text{a(HCN)}} = 4 \cdot 10^{-10}$ ,  $K_{\text{w}} = 10^{-14}$  και ότι για όλα τα διαλύματα  $\theta = 25^\circ\text{C}$

**Λύση**

**Δ1.**

Έχουμε αντίδραση ισχυρής βάσης με ισχυρό οξύ. Τα mol της βάσης είναι:

$$n_{\text{NaOH}} = C \cdot V \Rightarrow n_{\text{NaOH}} = 0,5 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,05 \text{ mol}.$$

Για να δημιουργηθεί ουδέτερο διάλυμα πρέπει να έχουμε πλήρη εξουδετέρωση.



$$\text{Αρχ. } 0,05 \quad 0,05 \quad -$$

$$\text{Τελ. } - \quad - \quad 0,05$$

Συνεπώς απαιτούνται 0,05 mol HCl, οπότε  $V_{\text{HCl}} = \frac{n}{C} = \frac{0,05 \text{ mol}}{1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 0,05 \text{ L}$  ή 50 mL.

**Δ2.**

Έχουμε αντίδραση ισχυρής βάσης με ασθενές οξύ. Επιπλέον, για να δημιουργηθεί ρυθμιστικό διάλυμα πρέπει να γίνει μερική εξουδετέρωση του ασθενούς οξέος από την ισχυρή βάση, άρα το ασθενές οξύ να είναι σε περίσσεια.

$$n_{\text{NaOH}} = C \cdot V \Rightarrow n_{\text{NaOH}} = 0,5 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,05 \text{ mol}.$$

Έστω ότι θα χρειαστούμε V L διαλύματος HCN 0,5 M, άρα

$$n_{\text{HCN}} = C \cdot V \Rightarrow n_{\text{HCN}} = 0,5 \cdot V \text{ mol}.$$



$$\text{Αρχ. } 0,05 \quad 0,5V \quad -$$

$$\text{Αντ. } 0,05 \quad 0,05 \quad -$$

$$\text{Παρ. } - \quad - \quad 0,05$$

$$\text{Τελ. } - \quad 0,5V - 0,05 \quad 0,05$$

Δίνεται ότι δημιουργήθηκε ρυθμιστικό διάλυμα με pH=10, επομένως από την εξίσωση Henderson - Hasselbalch έχουμε:

$$\left[ \text{H}_3\text{O}^+ \right] = K_{\text{a(HCN)}} \frac{[\text{HCN}]}{[\text{CN}^-]} \Rightarrow 10^{-10} = 4 \cdot 10^{-10} \frac{0,5V - 0,05}{\frac{V_{\text{ολικό}}}{0,05}} \Rightarrow$$

$$1 = 4 \cdot \frac{0,5V - 0,05}{0,05} \Rightarrow 1 = 4 \cdot (10V - 1) \Rightarrow 5 = 40V \Rightarrow V = 0,125.$$

Συνεπώς, πρέπει να προστεθούν 0,125 L (ή 125 mL), διαλύματος HCN 0,5 M.

Παρατήρηση:

Επειδή,  $V=0,125\text{ L}$  και  $V_{\text{ολικό}}=0,225\text{ L}$ , έχουμε

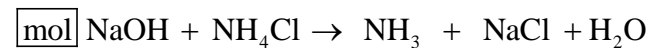
$$[\text{HCN}] = \frac{0,5V - 0,05}{V_{\text{ολικό}}} M = 0,055\text{ M} \quad [\text{NaCN}] = \frac{0,05}{V_{\text{ολικό}}} = 0,22\bar{2}, \text{ επομένως σωστά}$$

εφαρμόστηκε η εξίσωση Henderson - Hasselbalch, αφού ο  $x$  ( $10^{-10}$ ) είναι πολύ μικρότερος τόσο του 0,22, όσο και του 0,05.

### Δ3.

α) Έχουμε αντίδραση της ισχυρής βάσης με το  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Επίσης,  $n_{\text{NaOH}}=0,05\text{ mol}$  και  $n_{\text{NH}_4\text{Cl}}=0,1\text{ mol}$ .



Αρχ. 0,05      0,1      –

Αντ. 0,05      0,05      –

Παρ. –      –      0,05

Τελ. –      0,05      0,05

Το παραγόμενο NaCl δίσταται ( $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ ) σε ιόντα που δεν υδρολύονται, άρα δεν επηρεάζει το pH.

Δίσταται το  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ως εξής:  $\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$ .

Παρατηρούμε ότι στο διάλυμα συνυπάρχουν  $\text{NH}_3$  και  $\text{NH}_4^+$ , άρα έχει δημιουργηθεί ρυθμιστικό διάλυμα.

Από την εξίσωση Henderson - Hasselbalch έχουμε:

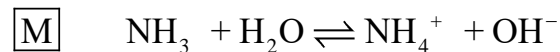
$$\text{pOH} = \text{p}K_{\text{b NH}_3} + \log \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow \text{pOH} = -\log 10^{-5} + \log \frac{\frac{0,05}{V_{\text{ολικό}}}}{\frac{0,05}{V_{\text{ολικό}}}} \Rightarrow \text{pOH} = 5 + 0 \Rightarrow \text{pOH} = 5.$$

Συνεπώς,  $\text{pH} = 9$ .

β) Στο ρυθμιστικό διάλυμα ισχύει  $[\text{NH}_3] = \frac{0,05}{0,1} M = 0,5 M$  και

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{0,05}{0,1} M = 0,5 M.$$

Επίσης, έχουμε την ισορροπία



Αρχ      0,5                      0,5      –

Ιοντ.     $10^{-5}$                       –              –

Παρ.    –                               $10^{-5}$      $10^{-5}$

Χ.Ι.     $0,5 - 10^{-5}$                $0,5 + 10^{-5}$      $10^{-5}$

$$\text{Άρα, } \alpha = \frac{10^{-5}}{0,5} = 2 \cdot 10^{-5}.$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 4.** 400 mL υδατικού διαλύματος  $\text{NH}_3$  1,7% (w/v) έχει  $\text{pH} = 11,5$  (διάλυμα  $\text{Y}_1$ )

**Δ1 α.** Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση της αμμωνίας στο  $\text{Y}_1$ .

**β.** Να υπολογίσετε τη σταθερά ιοντισμού της αμμωνίας.

**Δ2.** Σε 100 mL του  $\text{Y}_1$  προσθέτουμε υδατικό διάλυμα  $\text{HI}$  0,4 M, οπότε δημιουργείται διάλυμα  $\text{Y}_2$ , που έχει  $\text{pH} = 7$ . Να υπολογίσετε τον όγκο του  $\text{Y}_2$ .

**Δ3.** Σε 100 mL του  $\text{Y}_1$  προσθέτουμε 0,09 mol  $\text{CuO}$ , οπότε ελευθερώνεται αέριο  $\text{A}$  και απομένει στερεό  $\text{B}$ . Μετά την απομάκρυνση του  $\text{B}$  έχουμε το διάλυμα  $\text{Y}_3$ .

**α.** Να υπολογίσετε την συγκέντρωση των υδροξειδίων στο  $\text{Y}_3$ .

**β.** Να υπολογίσετε τον όγκο του αερίου  $\text{A}$  που ελευθερώθηκε σε πίεση 2,05 atm και στους 127 °C.

Δίνονται :  $\text{Mr}_{\text{NH}_3} = 17$ ,  $\text{K}_w = 10^{-14}$  και ότι επιτρέπονται οι γνωστές προσεγγίσεις.

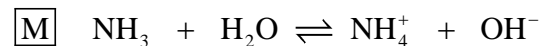
**Λύση**

**Δ1**

$$\alpha. C_{\text{NH}_3} = \frac{n_{\text{NH}_3}}{V_{\text{NH}_3}} = \frac{m_{\text{NH}_3} / \text{Mr}_{\text{NH}_3}}{V_{\text{NH}_3}} = \frac{1,7}{17 \cdot 0,1 \text{ L}} = 1 \text{ M}.$$

$$\beta. \text{pH} = 11,5 \Rightarrow \text{pOH} = 2,5 \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-2,5} \text{ M}.$$

Η αμμωνία ιοντίζεται :



$$\text{Αρχ.} \quad 1 \qquad \qquad \qquad - \qquad \qquad \qquad -$$

$$\text{Ιοντ.} \quad 10^{-2,5} \qquad \qquad \qquad - \qquad \qquad \qquad -$$

$$\text{Παρ.} \quad - \qquad \qquad \qquad 10^{-2,5} \qquad \qquad 10^{-2,5}$$

$$\text{Χ.Ι.} \quad 1 - 10^{-2,5} \qquad \qquad \qquad 10^{-2,5} \qquad \qquad 10^{-2,5}$$

$$\text{K}_{\text{b}(\text{NH}_3)} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow \text{K}_{\text{b}(\text{NH}_3)} = \frac{10^{-2,5} \cdot 10^{-2,5}}{1 - 10^{-2,5}} \approx \frac{10^{-2,5} \cdot 10^{-2,5}}{1} \Rightarrow \text{K}_{\text{b}(\text{NH}_3)} = 10^{-5}.$$

**Δ2**

**α. Διερεύνηση**

Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η  $\text{NH}_3 + \text{HI} \rightarrow \text{NH}_4\text{I}$ .

Έστω ότι πρέπει να προσθέσουμε τόσο όγκο διαλύματος  $\text{HI}$ , ώστε να έχουμε πλήρη εξουδετέρωση. Τότε στο διάλυμα θα υπάρχει μόνο το άλας  $\text{NH}_4\text{I}$ . Το άλας δίσταται

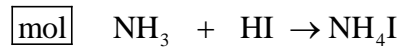
και το κατιόν  $\text{NH}_4^+$  είναι ασθενές οξύ, ενώ το ανιόν  $\text{I}^-$  δεν υδρολύεται. Συνεπώς, το διάλυμα που θα προκύψει θα είναι όξινο. Άτοπο, αφού το ζητούμενο  $\text{pH}$  είναι 7.

Επειδή το ζητούμενο  $\text{pH}$  είναι υψηλότερο από αυτό της πλήρους εξουδετέρωσης, συμπεραίνεται ότι πρέπει να προστεθεί λιγότερο οξύ από το στοιχειομετρικώς απαιτούμενο.

Άρα θα έχουμε μερική εξουδετέρωση της βάσης από ισχυρό οξύ και θα προκύψει ρυθμιστικό διάλυμα.

Έστω, ω τα mol του  $\text{HI}$  που προστέθηκαν.

Έχουμε την αντίδραση:



Αρχ. 0,1      ω      -

Αντ. ω      ω      -

Παρ. -      -      ω

Τελ. 0,1-ω      -      ω

Για το ρυθμιστικό διάλυμα ( $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$ )  $\text{pH} = 7$ , άρα  $\text{pOH} = 7 \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-7}$  και

$$K_{b(\text{NH}_3)} = \frac{[\text{OH}^-][\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow 10^{-5} \approx \frac{10^{-7} \cdot \frac{n_{\text{NH}_4^+}}{V_{\text{ολικό}}}}{\frac{n_{\text{NH}_3}}{V_{\text{ολικό}}}} \Rightarrow 100 \cdot n_{\text{NH}_3} = n_{\text{NH}_4^+} \Rightarrow$$

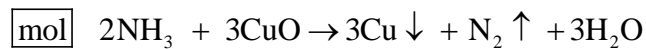
$$100 \cdot (0,1 - \omega) = \omega \Rightarrow 10 = 101 \cdot \omega \Rightarrow \omega = \frac{10}{101} \text{ mol}.$$

$$\text{Άρα, } V_{\text{HI}} = \frac{n_{\text{HI}}}{C_{\text{HI}}} = \frac{\omega \text{ mol}}{0,4 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = \frac{10}{0,4} \text{ L} = 0,248 \text{ L} \text{ και } V_{\text{Y}_2} = (0,1 + 0,248) \text{ L} = 0,348 \text{ L}.$$

**Δ3.**

**α.**  $n'_{\text{NH}_3} = C \cdot V = 1 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,1 \text{ mol}.$

Έχουμε την αντίδραση :



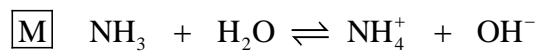
Αρχ. 0,1      0,09      -      -      -

Αντ.  $\frac{2}{3} \cdot 0,09$       0,09      -      -      -

Παρ. -      -      0,09      0,03      0,09

Τελ. 0,04      -      0,09      0,03      0,09

$$C'_{\text{NH}_3} = \frac{0,04}{0,1} \text{ M} = 0,4 \text{ M}. \text{ Η αμμωνία ιοντίζεται :}$$



Αρχ. 0,4      -      -

Ιοντ. y      -      -

Παρ. -      y      y

X.I. 0,4-y      y      y

$$\text{Ισχύει: } K_{b(\text{NH}_3)} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow K_{b(\text{NH}_3)} = \frac{y \cdot y}{0,4 - y} \Rightarrow 10^{-5} \approx \frac{y^2}{0,4} \Rightarrow y = 2 \cdot 10^{-3}.$$

$$\text{Άρα, } C_{\text{OH}^-} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ M}.$$

**β.** Για το παραγόμενο  $\text{N}_2$ , στις συγκεκριμένες συνθήκες ισχύει:

$$PV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{P} \Rightarrow V = \frac{0,03 \cdot 0,082 \cdot (273 + 127)}{2,05} \text{ L} = 0,48 \text{ L}.$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 5.** Στο σχολικό εργαστήριο διαθέτουμε υδατικό διάλυμα οξικού οξέος 6% w/v (διάλυμα Y1) και υδατικό διάλυμα  $\text{CH}_3\text{COOK}$  0,5 M (διάλυμα Y2).

**Δ1 α.** Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του  $\text{CH}_3\text{COOH}$  στο Y1.

**β.** Να υπολογίσετε το pH του Y1.

**Δ2.** Σε 400 mL του Y1 προσθέτουμε 8 g σκόνης Ca χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος του διαλύματος.

**α.** Να υπολογίσετε τον όγκο του υδρογόνου, μετρημένο σε STP, που ελευθερώθηκε.

**β.** Να υπολογίσετε το pH του διαλύματος που προκύπτει.

**Δ3.** Ποιος είναι ο μέγιστος όγκος ρυθμιστικού διαλύματος με  $\text{pH}=5$  που μπορούμε να παρασκευάσουμε, αν στο εργαστήριο διαθέτουμε 600 mL από το διάλυμα Y1 και 800 mL από το διάλυμα Y2;

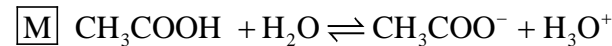
Δίνονται:  $M_{\text{r}_{\text{CH}_3\text{COOH}}} = 60$ ,  $A_{\text{r}_{\text{Ca}}} = 40$ ,  $K_{\text{a}(\text{CH}_3\text{COOH})} = 10^{-5}$ ,  $K_{\text{w}} = 10^{-14}$  και ότι για όλα τα διαλύματα  $\theta = 25^\circ\text{C}$ .

**Λύση**

**Δ1**

$$\text{α. } C = \frac{n}{V} = \frac{\frac{m}{M_{\text{r}}}}{V} = \frac{\frac{6}{60}}{0,1} \Rightarrow C = 1 \text{ M.}$$

**β.** Σύμφωνα με την αντίδραση ιοντισμού του οξικού οξέος έχουμε :



Αρχ.	1	–	–
Αντ.	$x_1$	–	–
Παρ.	–	$x_1$	$x_1$
Χ.Ι	$1-x_1$	$x_1$	$x_1$

Για την ισορροπία ισχύει:

$$K_{\text{a}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{x_1^2}{1-x_1} \Rightarrow 10^{-5} \approx \frac{x_1^2}{1} \Rightarrow x_1 = 10^{-2,5}$$

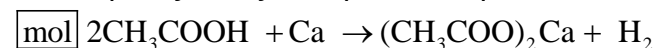
Καλώς έγινε η προσέγγιση αφού  $1 \gg 10^{-2,5}$ .

Έτσι,  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,5} \text{ M}$ , άρα έχει  $\text{pH} = 2,5$ .

**Δ2.**

$$\text{α. } n'_{\text{CH}_3\text{COOH}} = C_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot V'_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1 \cdot 0,4 \text{ mol} = 0,4 \text{ mol} \text{ και } n_{\text{Ca}} = \frac{8}{40} \text{ mol} = 0,2 \text{ mol.}$$

Από τη μεταξύ τους αντίδραση έχουμε :

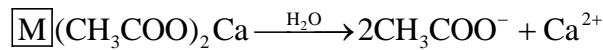


Αρχ.	0,4	0,2	–	–
Αντ.	0,4	0,2	–	–
Παρ.	–	–	0,2	0,2
Τελ.	–	–	0,2	0,2

$$V_{\text{H}_2(\text{STP})} = 0,2 \cdot 22,4 \text{ L} = 4,48 \text{ L}.$$

$$\beta. C_{(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}} = \frac{0,2}{0,4} \text{ M} = 0,5 \text{ M}$$

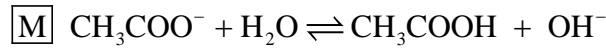
Το  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$  δίδεται :



$$\text{Δίς.} \quad 0,5 \qquad \qquad \qquad -$$

$$\text{Παρ.} \quad - \qquad \qquad \qquad 2 \cdot 0,5 = 1$$

Το  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  υδρολύεται:



$$\text{Αρχ.} \quad 1 \qquad \qquad \qquad - \qquad \qquad -$$

$$\text{Ιοντ.} \quad x_2 \qquad \qquad \qquad - \qquad \qquad -$$

$$\text{Παρ.} \quad - \qquad \qquad \qquad x_2 \qquad \qquad x_2$$

$$\text{Χ.Ι.} \quad 1 - x_2 \qquad \qquad \qquad x_2 \qquad \qquad x_2$$

Για την ισορροπία ισχύει:

$$K_{\text{b}(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = \frac{K_w}{K_{\text{a}(\text{CH}_3\text{COOH})}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \Rightarrow \frac{10^{-14}}{10^{-5}} = \frac{x_2^2}{1 - x_2} \Rightarrow 10^{-9} \approx \frac{x_2^2}{1} \Rightarrow x_2 = 10^{-4,5}$$

Καλώς έγινε η προσέγγιση αφού  $1 \gg 10^{-4,5}$ .

$$\text{Έτσι : } [\text{OH}^-] = 10^{-4,5} \text{ M} \Rightarrow \text{pOH} = 4,5 \quad \text{άρα } \text{pH} = 9,5.$$

**Δ3.** Το  $\text{CH}_3\text{COOK}$  δίδεται  $\text{CH}_3\text{COOK} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{K}^+$ , οπότε έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα  $(\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-)$  για το οποίο ισχύει :

$$[\text{H}_3\text{O}^+]_3 = K_a \cdot \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]_3}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_3} \Rightarrow 10^{-5} = 10^{-5} \cdot \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]_3}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]_3} \Rightarrow n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{CH}_3\text{COOK}} \Rightarrow$$

$$1 \cdot V_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,5 \cdot V_{\text{CH}_3\text{COOK}} \Rightarrow \frac{V_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{V_{\text{CH}_3\text{COOK}}} = \frac{1}{2}.$$

Επομένως, για κάθε 1 mL διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Y1) που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να προσθέσουμε 2 mL διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOK}$  (Y2).

Αν χρησιμοποιήσουμε όλο το διάλυμα  $\text{CH}_3\text{COOH}$  θα χρειαστούμε διπλάσιο όγκο διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOK}$ , δηλαδή 1.200 mL, άτοπο, αφού στη διάθεσή μας έχουμε μόνο 800 mL από το διάλυμα Y2.

Αν χρησιμοποιήσουμε όλο το διάλυμα  $\text{CH}_3\text{COOK}$  θα χρειαστούμε τον μισό όγκο διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , δηλαδή 400 mL, δεκτό, αφού στη διάθεσή μας έχουμε 600 mL από το διάλυμα αυτό.

$$\text{Συνεπώς, } V_{\text{ολικό,max}} = (400 + 800) \text{ mL} = 1200 \text{ mL}.$$

### ΠΡΟΒΛΗΜΑ 6.

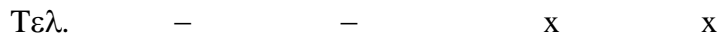
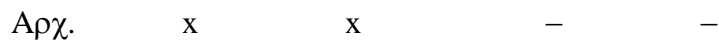
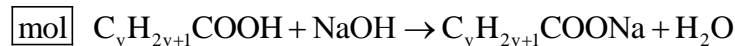
- Δ1.** 1,5 g οργανικού οξέος  $C_vH_{2v+1}COOH$  διαλύονται σε νερό δημιουργώντας διάλυμα Y1 όγκου 500 mL. 20 mL του διαλύματος Y1 ογκομετρούνται με πρότυπο διάλυμα  $NaOH$  0,025M. Η αλλαγή του χρώματος του κατάλληλου δείκτη κατά την ογκομέτρηση συμβαίνει όταν έχουν προστεθεί 40 mL του πρότυπου διαλύματος. Να προσδιορίσετε τον συντακτικό τύπο του οξέος.
- Δ2.** Το διάλυμα Y1 εμφανίζει  $pH = 3$ . Να προσδιορίσετε τη σταθερά ιοντικής ισορροπίας του οξέος
- Δ3.** Να υπολογίσετε πόσα g στερεού  $NaOH$  πρέπει να προσθέσουμε σε 300 mL του διαλύματος Y1, ώστε να παραλάβουμε ρυθμιστικό διάλυμα Y2 με  $pH = 5$ . Η προσθήκη στερεού δεν μεταβάλλει τον όγκο του διαλύματος.
- Δ4.** Να υπολογίσετε πόσα mL διαλύματος  $C_6H_5COOH$  1M πρέπει να προσθέσουμε σε 100 mL του διαλύματος Y1 ώστε να παραλάβουμε τελικό διάλυμα με  $pH = 2,5$ .

Δίνονται: Οι σταθερές ιοντικής ισορροπίας  $C_6H_5COOH: K'_a = 6 \cdot 10^{-5}$  και νερού  $K_w = 10^{-14}$ , οι σχετικές ατομικές μάζες:  $H = 1, C = 12, O = 16$  και  $Na = 23$ , ότι όλες οι παραπάνω διαδικασίες έγιναν υπό σταθερή θερμοκρασία και ότι επιτρέπονται οι συνήθεις προσεγγίσεις.

### Λύση

#### Δ1.

Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά την ογκομέτρηση είναι η εξής



Στο ισοδύναμο σημείο της ογκομέτρησης ισχύει:

$$C_{\text{oξ}} \cdot V_{\text{oξ}} = C_{\text{βασ}} \cdot V_{\text{βασ}} \Rightarrow C_{\text{oξ}} = \frac{C_{\text{βασ}} \cdot V_{\text{βασ}}}{V_{\text{oξ}}} \Rightarrow C_{\text{oξ}} = \frac{0,025 \cdot 0,04}{0,02} M \Rightarrow C_{\text{oξ}} = 0,05M$$

Τα mol του οξέος στο αρχικό διάλυμα είναι:  $n_{\text{oξ}} = C \cdot V = 0,05 \cdot 0,5 \text{ mol} = 0,025 \text{ mol}$

Οπότε για τη σχετική μοριακή μάζα του οξέος έχουμε:

$$n = \frac{m}{Mr} \Rightarrow Mr = \frac{m}{n} \Rightarrow Mr = \frac{1,5}{0,025} \Rightarrow Mr = 60.$$

Από την  $Mr$  προσδιορίζεται το  $v$  του γενικού τύπου με την βοήθεια των σχετικών ατομικών μαζών ως εξής:

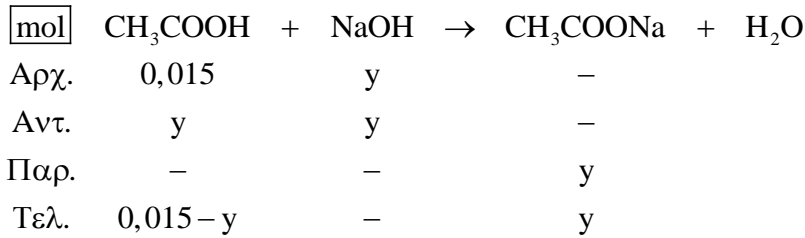
$$Mr(C_vH_{2v+1}COOH) = 60 \Rightarrow 14 \cdot v + 46 = 60 \Rightarrow v = 1 \text{ οπότε πρόκειται για το } CH_3COOH.$$

#### Δ2.

Το διάλυμα Y1 έχει  $pH = 3$  και συγκέντρωση  $C_{\text{oξ}} = 0,05 M$ , οπότε αφού ισχύουν οι

$$\text{συνήθεις προσεγγίσεις έχουμε: } pH = 3 \Rightarrow x = 10^{-3} \text{ και } K_a = \frac{x^2}{C_{\text{oξ}}} = \frac{(10^{-3})^2}{0,05} = 2 \cdot 10^{-5}.$$

**Δ3.** Έστω ότι προστίθενται  $y$  mol  $NaOH$ . Αυτά αντιδρούν με το  $CH_3COOH$ . Τα mol του  $CH_3COOH$  είναι:  $n'_{\text{oξ}} = C_{\text{oξ}} \cdot V_2 = 0,05M \cdot 0,3L = 0,015 \text{ mol}$ . Έχουμε τον παρακάτω πίνακα μεταβολής των mol.



Οι νέες συγκεντρώσεις είναι:

$$\text{CH}_3\text{COOH} : C_{\text{οξ1}} = \frac{0,015 - y}{0,3} \text{ M} \quad \text{και} \quad \text{CH}_3\text{COONa} : C_{\text{συζ, βασ1}} = \frac{y}{0,3} \text{ M}.$$

Το διάλυμα είναι ρυθμιστικό και ισχύει η σχέση Henderson - Hasselbalch, οπότε:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{C_{\text{βασ}}}{C_{\text{οξ}}} \Rightarrow 5 = -\log(2 \cdot 10^{-5}) + \log \frac{\frac{y}{0,3}}{\frac{0,015 - y}{0,3}} \Rightarrow$$

$$5 = -\log 2 - \log 10^{-5} + \log \frac{y}{0,015 - y} \Rightarrow 5 = -\log 2 + 5 + \log \frac{y}{0,015 - y} \Rightarrow \text{NaOH}$$

$$\log 2 = \log \frac{y}{0,015 - y} \Rightarrow 2 = \frac{y}{0,015 - y} \Rightarrow y = 0,01.$$

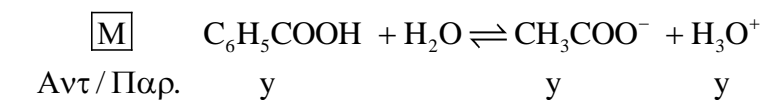
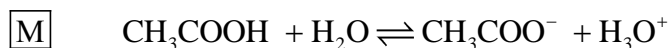
$$M_{\text{rNaOH}} = 23 + 16 + 1 = 40. \text{ Άρα, } m_{\text{NaOH}} = n \cdot M_{\text{r}} = 0,01 \cdot 40 \text{ g} = 0,4 \text{ g}.$$

**Δ4.** Έστω  $V_x$  ο όγκος του διαλύματος  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  1 M που πρέπει να προστεθεί. Οι συγκεντρώσεις των ασθενών οξέων μετά την ανάμειξή τους είναι:

$$\text{CH}_3\text{COOH} : C \cdot V_3 = C_3 \cdot (V_3 + V_x) \Rightarrow C_3 = \frac{C \cdot V_3}{(V_3 + V_x)} \Rightarrow C_3 = \frac{0,05 \cdot 0,1}{0,1 + V_x}$$

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} : C' \cdot V_x = C_4 \cdot (V_3 + V_x) \Rightarrow C_4 = \frac{C' \cdot V_x}{(V_3 + V_x)} \Rightarrow C_4 = \frac{1 \cdot V_x}{0,1 + V_x}$$

Τα δύο οξέα ιοντίζονται μερικά και έχουν ως κοινό ιόν τα οξώνια, οπότε:  
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = x + y = 10^{-2,5}$ . Έχουμε τους παρακάτω ιοντισμούς



Συνολικά για τις συγκεντρώσεις έχουμε:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = C_3 - x \approx C_3, \quad [\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}] = C_4 - y \approx C_4, \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = x + y,$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = x \quad \text{και} \quad [\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] = y$$

Επομένως, από τις δύο σταθερές ιοντισμού έχουμε για κάθε περίπτωση:

$$K_a = \frac{x \cdot (x + y)}{C_3} \Rightarrow K_a \cdot C_3 = x \cdot (x + y) \quad \text{και} \quad K'_a = \frac{y \cdot (x + y)}{C_4} \Rightarrow K'_a \cdot C_4 = y \cdot (x + y).$$

Προσθέτοντας κατά μέλη και αντικαθιστώντας τις συγκεντρώσεις έχουμε

$$K_a \cdot C_3 + K_a' \cdot C_4 = (x + y)^2 \Rightarrow 2 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,005}{0,1 + V_x} + 6 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{V_x}{0,1 + V_x} = (10^{-2,5})^2 \Rightarrow V_x = 0,018 \text{ L.}$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 7.**

**Δ1.** Σε 500 mL νερού διαβιβάζεται αέριο HI και δημιουργείται διάλυμα Y1, όγκου 500 mL. Τα 160 mL του Y1 προστίθενται σε περίσσεια διαλύματος  $\text{KMnO}_4$ , οπότε σχηματίζονται  $\text{MnI}_2$ , KI,  $\text{H}_2\text{O}$  και 5 mmol στερεού ιωδίου.

**Δ1.** Να υπολογίσετε το pH του Y1.

**Δ2.** Το Y1 χρησιμοποιείται ως πρότυπο διάλυμα, για την ογκομέτρηση 55 mL διαλύματος ασθενούς μονόξινης βάσης B. Η προσθήκη 10 mL του Y1 δημιουργεί διάλυμα Y2, με συγκέντρωση οξωνίων  $\frac{2}{3} \cdot 10^{-9} \text{ M}$ . Η προσθήκη επιπλέον 40 mL του Y1 δημιουργεί διάλυμα Y3, με συγκέντρωση υδροξειδίων  $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ M}$ .

α. Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση της βάσης B.

β. Να υπολογίσετε τη σταθερά ιοντισμού της βάσης B.

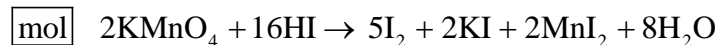
γ. Να υπολογίσετε το pH στο ισοδύναμο σημείο.

Δίνονται:  $\log 15 = 1,18$ ,  $\theta = 25^\circ \text{C}$ ,  $K_w = 10^{-14}$  και ότι επιτρέπονται οι γνωστές προσεγγίσεις.

**Λύση**

**Δ1.**

α. Το HI είναι σε έλλειμμα και αντιδρά πλήρως.



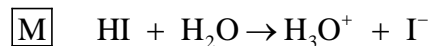
Αντ.  $x$

Παρ.  $\frac{5}{16}x$

Δίνεται ότι  $n_{\text{I}_2} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \Rightarrow \frac{5}{16}x \text{ mol} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \Rightarrow x = 16 \cdot 10^{-3}$ .

Άρα,  $n_{\text{HI}} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$  και  $C_{\text{HI}} = \frac{n_{\text{HI}}}{V} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,16 \text{ L}} = 0,1 \text{ M}$ .

Το HI ιοντίζεται πλήρως :



Αρχ. 0,1                      -                      -

Τελ.                      -                      0,1                      0,1

Συνεπώς:  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-1}$  και  $\text{pH} = 1$ .

**Δ2.**

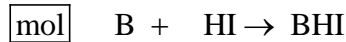
Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η εξής:



Γνωρίζουμε ότι το άλας BHI, επειδή παρέχει στο διάλυμα το ιόν  $\text{BH}^+$ , που είναι ασθενές οξύ και  $\text{I}^-$  που δεν υδρολύεται γιατί προέρχεται από ισχυρό οξύ, θα δημιουργεί υδατικά διαλύματα με όξινο pH.

Παρατηρούμε ότι τα διαλύματα Y2 όσο και το Y3 είναι βασικά, συνεπώς και στα δύο είμαστε πριν την πλήρη εξουδετέρωση, δηλαδή και στα δύο έχουμε μερική εξουδετέρωση της βάσης B, άρα είναι ρυθμιστικά διαλύματα.

Για το Y2: Έστω ότι υπάρχουν z mol B. Προσθέτουμε 10 mL διαλύματος HI 0,1 M ή 0,001 mol HI, οπότε έχουμε:



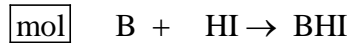
$$\text{Αρχ.} \quad z \quad 10^{-3} \quad -$$

$$\text{Αντ.} \quad 10^{-3} \quad 10^{-3} \quad -$$

$$\text{Παρ.} \quad - \quad - \quad 10^{-3}$$

$$\text{Τελ.} \quad z-10^{-3} \quad - \quad 10^{-3}$$

Για το Υ3 : Προσθέτουμε 50 mL HI 0,1 M ή 0,005 mol HI, οπότε έχουμε:



$$\text{Αρχ.} \quad z \quad 5 \cdot 10^{-3} \quad -$$

$$\text{Αντ.} \quad 10^{-3} \quad 5 \cdot 10^{-3} \quad -$$

$$\text{Παρ.} \quad - \quad - \quad 5 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Τελ.} \quad z-5 \cdot 10^{-3} \quad - \quad 5 \cdot 10^{-3}$$

Για το ρυθμιστικό διάλυμα Υ2 δίνεται ότι  $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{2}{3} \cdot 10^{-9} \text{ M} \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{3}{2} \cdot 10^{-5} \text{ M}$ ,

οπότε:

$$K_{b(B)} = \frac{[\text{OH}^-][\text{BH}^+]}{[\text{B}]} \approx \frac{[\text{OH}^-] \frac{n_{\text{BH}^+}}{V_{\text{ολ.}}}}{\frac{n_{\text{B}}}{V_{\text{ολ.}}}} = \frac{(1,5 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{-3}}{z-10^{-3}} \quad (1).$$

Για το ρυθμιστικό διάλυμα Υ3 δίνεται ότι  $[\text{OH}^-] = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ M}$ , οπότε

$$K_{b(B)} = \frac{[\text{OH}^-][\text{BH}^+]}{[\text{B}]} \approx \frac{[\text{OH}^-] \frac{n'_{\text{BH}^+}}{V'_{\text{ολ.}}}}{\frac{n'_{\text{B}}}{V'_{\text{ολ.}}}} = \frac{(1,8 \cdot 10^{-6}) \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{z-5 \cdot 10^{-3}} \quad (2).$$

Από (1) και (2) έχουμε :

$$\frac{(1,5 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{-3}}{z-10^{-3}} = \frac{(1,8 \cdot 10^{-6}) \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{z-5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow z-5 \cdot 10^{-3} = 0,6(z-10^{-3}) \Rightarrow 0,4z = 4,4 \cdot 10^{-3} \Rightarrow z = 0,011$$

$$\text{Συνεπώς: } C_{\text{B}} = \frac{0,011}{0,055} \text{ M} = 0,2 \text{ M}.$$

$$\beta. \text{ Με αντικατάσταση στην (1) έχουμε : } K_{b(B)} = \frac{1,5 \cdot 10^{-8}}{0,011-0,001} = 1,5 \cdot 10^{-6}.$$

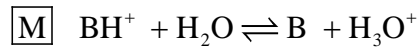
γ. Στο ισοδύναμο σημείο θα έχουν σχηματισθεί 0,011 mol BHI. Ο όγκος του πρότυπου διαλύματος που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι:  $V''_{\text{HI}} = \frac{0,011}{0,1} \text{ L} = 0,11 \text{ L}$  και ο

συνολικός όγκος  $V_{\text{ολικός}} = 0,165 \text{ L}$ .

$$\text{Επομένως: } C_{\text{BHI}} = \frac{0,011}{0,165} \text{ M} = \frac{1}{15} \text{ M}.$$



Και το  $\text{BH}^+$  ιοντίζεται:



Αρχ.  $\frac{1}{15}$                       -                      -

Αντ.  $\omega$                                       -                      -

Παρ. -     $\omega$                        $\omega$

Χ.Ι.  $\frac{1}{15} - \omega$                                        $\omega$                        $\omega$

Για την ισορροπία έχουμε:

$$K_{a(\text{BH}^+)} = \frac{K_w}{K_{b(\text{B})}} = \frac{[\text{B}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{BH}^+]} \Rightarrow \frac{10^{-14}}{1,5 \cdot 10^{-6}} = \frac{\omega^2}{\frac{1}{15} - \omega} \Rightarrow \frac{10^{-8}}{1,5} \approx \frac{\omega^2}{\frac{1}{15}} \Rightarrow \omega = \frac{1}{15} \cdot 10^{-3,5}.$$

Επομένως,  $\text{pH} = -\log \frac{1}{15} \cdot 10^{-3,5} = 3,5 + \log 15 = 3,5 + 1,18 = 4,68.$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 8.** Δείκτης ΗΔ έχει  $K_{a(\text{H}\Delta)} = 8 \cdot 10^{-6}$ . Για τα διαλύματα που περιέχουν τον δείκτη ΗΔ ισχύει:

- Όταν  $[\text{H}\Delta] \geq 8[\Delta^-]$  εμφανίζουν χρώμα κίτρινο.
- Όταν  $[\Delta^-] \geq 8[\text{H}\Delta]$  εμφανίζουν χρώμα μπλε.
- Όταν  $\frac{1}{8}[\text{H}\Delta] < [\Delta^-] < 8[\text{H}\Delta]$  εμφανίζουν χρώμα πράσινο.

**Δ1.** Σε διάλυμα Υ1 το οποίο περιέχει άλας προστίθενται σταγόνες του δείκτη ΗΔ, οπότε στην ισορροπία έχουμε  $[\text{H}\Delta] = [\Delta^-]$ .

- Να υπολογίσετε το pH του Υ1.
- Να υπολογίσετε το βαθμό ιοντισμού του δείκτη στο Υ1.
- Τι χρώμα έχει το Υ1;

**Δ2.** Σε υδατικό διάλυμα Υ2 που περιέχει μόνο τον δείκτη ΗΔ ο βαθμός ιοντισμού του είναι ίσος με 0,2.

- Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του δείκτη στο Υ2.
- Να υπολογίσετε το pH του Υ2.
- Τι χρώμα έχει το Υ2;

**Δ3.** Δημιουργούμε διάλυμα Υ3 με την ανάμειξη 280 mL 0,1 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  και 150 mL 0,2 M  $\text{NH}_3$ . Στο Υ3 προσθέτουμε σταγόνες του ΗΔ.

- Να προσδιορίσετε το χρώμα του Υ3.
- Μπορεί και πότε η συνεχής προσθήκη διαλύματος NaOH θα μετατρέψει το χρώμα του Υ3 σε κίτρινο;

Δίνονται :  $K_{b(\text{NH}_3)} = 10^{-5}$ ,  $K_{a(\text{CH}_3\text{COOH})} = 10^{-5}$ ,  $K_w = 10^{-14}$ ,  $\log 2 = 0,3$  και  $\theta = 25^\circ\text{C}$ .

**Λύση**

**Δ1**

α. Για την ισορροπία του δείκτη  $\text{H}\Delta + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \Delta^-$  έχουμε:  $[\text{H}\Delta] = [\Delta^-]$

$$\text{και } K_{a(\text{H}\Delta)} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_1 [\Delta^-]_1}{[\text{H}\Delta]_1} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+]_1 = 8 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \text{pH}_1 = 6 - 3 \log 2 = 5,1.$$

$$\beta. \alpha_1 = \frac{[\Delta^-]_1}{[\text{H}\Delta]_1 + [\Delta^-]_1} \Rightarrow \alpha_1 = 0,5.$$

γ. Επειδή έχουμε  $[\text{H}\Delta] = [\Delta^-]$  το χρώμα του διαλύματος είναι πράσινο.

**Δ2**

α. Ισχύει ο νόμος αραιώσεως του Ostwald,

$$K_{a(\text{H}\Delta)} = \frac{\alpha_2^2 C_{\text{H}\Delta}}{1 - \alpha_2} \Rightarrow 8 \cdot 10^{-6} = \frac{0,2^2 C_{\text{H}\Delta}}{1 - 0,2} \Rightarrow C_{\text{H}\Delta} = 1,6 \cdot 10^{-4}, \text{ άρα } C_{\text{H}\Delta} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ M.}$$

$$\beta. [\text{H}_3\text{O}^+]_2 = \alpha_2 C_{\text{H}\Delta} = 0,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 2^5 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \text{pH}_2 = 6 - 5 \log 2 = 4,5.$$

$$\gamma. \alpha_2 = 0,2 = \frac{[\Delta^-]_2}{[\text{H}\Delta]_2 + [\Delta^-]_2} \Rightarrow [\text{H}\Delta]_2 + [\Delta^-]_2 = 5[\Delta^-]_2 \Rightarrow [\text{H}\Delta]_2 = 4[\Delta^-]_2.$$

Προφανώς το χρώμα του διαλύματος είναι πράσινο.

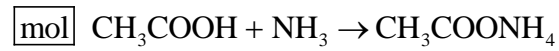
### Δ3

α. Υπολογίζουμε τις ποσότητες των συστατικών.

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = C_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot V_{\text{CH}_3\text{COOH}} \Rightarrow n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,1 \cdot 0,28 \text{ mol} = 0,028 \text{ mol} \text{ και}$$

$$n_{\text{NH}_3} = C_{\text{NH}_3} \cdot V_{\text{NH}_3} \Rightarrow n_{\text{NH}_3} = 0,2 \cdot 0,15 \text{ mol} = 0,03 \text{ mol} .$$

Τα συστατικά αντιδρούν :



$$\text{Αρχ.} \quad 0,028 \quad 0,030 \quad -$$

$$\text{Τελ.} \quad - \quad 0,002 \quad 0,028$$

Το  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  δημιουργεί ουδέτερο διάλυμα επειδή

$$K_{\text{b}(\text{NH}_3)} = K_{\text{a}(\text{CH}_3\text{COOH})} = 10^{-5}, \text{ επομένως } K_{\text{a}(\text{NH}_4^+)} = K_{\text{b}(\text{CH}_3\text{COO}^-)} = 10^{-9} .$$

Όλα τα διαλύματα της  $\text{NH}_3$  είναι βασικά, άρα  $\text{pH} > 7$  και το διάλυμα έχει μπλε χρώμα.

β. Το διάλυμά μας, όπως προαναφέρθηκε είναι βασικό. Με την προσθήκη διαλύματος  $\text{NaOH}$  θα εξακολουθεί να βρίσκεται στην βασική περιοχή, οπότε δεν μπορεί να αποκτήσει κίτρινο χρώμα.

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 9.** Διαθέτουμε υδατικό διάλυμα  $\text{HCOOH}$  με  $\text{pH} = 2$  (διάλυμα  $\text{Y1}$ ). Ογκομετρούμε  $50 \text{ mL}$  του  $\text{Y1}$  με όξινο διάλυμα  $\text{KMnO}_4$   $0,5 \text{ M}$ . Με την προσθήκη του  $\text{KMnO}_4$  ελευθερώνεται  $\text{CO}_2$ , το οποίο και συλλέγουμε ποσοτικά. Διαπιστώνουμε ότι μετά την προσθήκη  $40 \text{ mL}$ , η επόμενη σταγόνα του διαλύματος του  $\text{KMnO}_4$  διατηρεί το ερυθροϊώδες της χρώμα.

**Δ1 α.** Να υπολογίσετε την συγκέντρωση του  $\text{Y1}$ .

**β.** Να υπολογίσετε τη σταθερά ιοντισμού του  $\text{HCOOH}$ .

**γ.** Να υπολογίσετε τον όγκο του νερού που πρέπει να προστεθεί σε κάποιο όγκο του  $\text{Y1}$ , ώστε να δημιουργηθούν  $450 \text{ mL}$  υδατικού διαλύματος  $\text{Y2}$ , στο οποίο ο βαθμός ιοντισμού του  $\text{HCOOH}$  είναι ίσος με  $0,03$ .

**Δ2.** Μεταφέραμε όλο το  $\text{CO}_2$  σε δοχείο όγκου  $20,73 \text{ L}$  που περιείχε  $\text{H}_2$ . Θερμαίνουμε το δοχείο στους  $1800^\circ\text{C}$  και μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας, σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$  με  $K_c = 4$ , η ολική πίεση στο δοχείο βρέθηκε ίση με  $0,82 \text{ atm}$ .

**α.** Να υπολογίσετε την αρχική ποσότητα του  $\text{H}_2$ .

**β.** Να υπολογίσετε την απόδοση της παραπάνω αντίδρασης.

**Δ3.** Δημιουργήσαμε υδατικό διάλυμα  $\text{Y3}$ , όγκου  $480 \text{ mL}$ , με  $\text{pH} = 4$  αφού αναμείξαμε  $80 \text{ mL}$  του  $\text{Y1}$  και υδατικό διάλυμα  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

**α.** Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

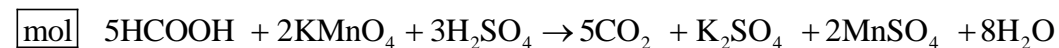
**β.** Να υπολογίσετε το βαθμό ιοντισμού του  $\text{HCOOH}$  στο  $\text{Y3}$ .

**Δίνονται:** Για όλα τα διαλύματα:  $\theta = 25^\circ\text{C}$  και  $K_w = 10^{-14}$ .

**Λύση**

**Δ1**

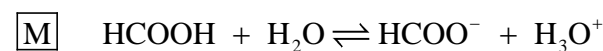
**α.**  $n_{\text{KMnO}_4} = 0,5 \cdot 0,04 \text{ mol} = 0,02 \text{ mol}$  Από τη αντίδραση, στην οποία αντέδρασε πλήρως το  $\text{HCOOH}$  έχουμε :



Αντ.	0,05	0,02	–	–	–
Παρ.	–	–	0,05	–	–

$$\text{Έτσι : } C_{\text{HCOOH}(\text{Y1})} = \frac{0,05}{0,05} \text{ M} = 1 \text{ M.}$$

**β.**  $\text{pH} = 2 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2}$  Το  $\text{HCOOH}$  ιοντίζεται :



Αρχ.	1	–	–
Αντ.	$10^{-2}$	–	–
Παρ.	–	$10^{-2}$	$10^{-2}$
Χ.Ι.	$1 - 10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$

$$K_{a(\text{HCOOH})} = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCOOH}]} \Rightarrow K_{a(\text{HCOOH})} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-2}}{1 - 10^{-2}} \approx 10^{-4}.$$

γ. Για το Y1 :  $\alpha_1 = \frac{10^{-2}}{1} = 0,01$ . Για το Y2 :  $\alpha_2 = 0,03 = 3\alpha_1$ .

Επειδή  $\alpha_1, \alpha_2 < 0,1$  ισχύει ο προσεγγιστικός τύπος του νόμου αραιώσεως του Ostwald. Έτσι:

$$K_{a(\text{HCOOH})} = \alpha_1^2 C_1 = \alpha_2^2 C_2 \Rightarrow \alpha_1^2 C_1 = 9\alpha_1^2 C_2 \Rightarrow C_1 = 9C_2 \Rightarrow$$

$$\frac{n_{\text{HCOOH}}}{V'_{Y1}} = 9 \frac{n_{\text{HCOOH}}}{V_{Y2}} \Rightarrow 9V'_{Y1} = V_{Y2} \Rightarrow V'_{Y1} = \frac{450}{9} \text{ mL} = 50 \text{ mL}.$$

### Δ2

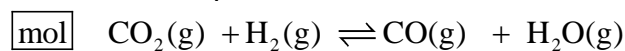
α.  $T = (273 + 1800) \text{ K} = 2073 \text{ K}$ . Από την καταστατική εξίσωση έχουμε:

$$P_{\text{ολικη}} \cdot V = n_{\text{ολικα}} \cdot R \cdot T \Rightarrow n_{\text{ολικα}} = \frac{P_{\text{ολικη}} \cdot V}{R \cdot T} \Rightarrow n_{\text{ολικα}} = \frac{0,82 \cdot 20,73}{0,082 \cdot 2073} \text{ mol} = 0,1 \text{ mol}.$$

Λόγω της στοιχειομετρίας της αντίδρασης ( $\Delta n = 0$ ) ισχύει σε κάθε θέση ισορροπίας ότι  $n_{\text{ολικα}} = \text{σταθερά}$ , άρα

$$n_{\text{ολικα}} = n_{\text{αρχ., CO}_2} + n_{\text{αρχ., H}_2} \Rightarrow n_{\text{αρχ., H}_2} = (0,10 - 0,05) \text{ mol} = 0,05 \text{ mol}$$

β. Για την αντίδραση :



Αρχ.	0,05	0,05	-	-
------	------	------	---	---

Αντ.	y	y	-	-
------	---	---	---	---

Παρ.	-	-	y	y
------	---	---	---	---

Χ.Ι.	0,05 - y	0,05 - y	y	y
------	----------	----------	---	---

Για την ισορροπία έχουμε:

$$K_c = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2]} \Rightarrow 4 = \left( \frac{y}{0,05 - y} \right)^2 \Rightarrow 2 = \frac{y}{0,05 - y} \Rightarrow y = \frac{0,1}{3}.$$

$$\text{Συνεπώς, } \alpha = \frac{y}{0,05} = \frac{2}{3}.$$

### Δ3

α. Μετά την εξουδετέρωση στο Y3 έχουμε οπωσδήποτε (HCOO)<sub>2</sub>Ca. Το άλας αυτό προέρχεται από ισχυρή βάση και ασθενές οξύ, τα υδατικά του διαλύματα είναι βασικά. Επειδή το pH = 4, συνεπάγεται ότι έχουμε περίσσεια HCOOH. Έτσι,

$$n'_{\text{HCOOH}} = 1 \cdot 0,08 \text{ mol} = 0,08 \text{ mol} \text{ και } n_{\text{Ca(OH)}_2} = n \text{ mol. Τότε :}$$



Αρχ.	n	0,08		
------	---	------	--	--

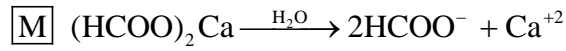
Αντ.	n	2n		
------	---	----	--	--

Παρ.			n	
------	--	--	---	--

Τελ.	-	0,08 - 2n	n	
------	---	-----------	---	--

$$\text{Έχουμε : } C_{\text{HCOOH}} = \frac{0,08 - 2n}{0,48} \text{ M} = C_3 \text{ M (1) και } C_{(\text{HCOO})_2\text{Ca}} = \frac{n}{0,48} \text{ M} = C'_3 \text{ M (2).}$$

Το (HCOO)<sub>2</sub>Ca διίσταται:



Έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα ( $\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-$ ), για το οποίο ισχύει  $\text{pH} = 4$  και

$$K_{a(\text{HCOOH})} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} \Rightarrow 10^{-4} = \frac{10^{-4} \cdot 2C_3'}{C_3} \Rightarrow C_3 = 2C_3' \quad (3).$$

Η (3) λόγω (1) και (2) γίνεται:

$$\frac{0,08 - 2n}{0,48} = 2 \cdot \frac{n}{0,48} \Rightarrow 0,08 = 4n \Rightarrow n = 0,02.$$

Επειδή  $V_{\text{Ca(OH)}_2} = (480 - 80) \text{ mL} = 400 \text{ mL} = 0,4 \text{ L}$ , προκύπτει ότι,

$$C_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{n_{\text{Ca(OH)}_2}}{V_{\text{Ca(OH)}_2}} \Rightarrow C_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{0,02}{0,4} \text{ M} = 0,05 \text{ M}.$$

β. Από την (1) έχουμε :  $C_{\text{HCOOH}} = \frac{0,08 - 2 \cdot 0,02}{0,48} \text{ M} = \frac{0,04}{0,48} \text{ M} = \frac{1}{12} \text{ M}$  και

$$\alpha = \frac{C_{\text{H}_3\text{O}^+}}{C_{\text{HCOOH}}} \Rightarrow \alpha = \frac{10^{-4}}{\frac{1}{12}} = 1,2 \cdot 10^{-3}.$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 10.** Μία ποσότητα αέριου HI χωρίζεται σε τέσσερα ίσα μέρη.  
**Δ1.** Το πρώτο μέρος διαβιβάζεται σε 600 mL όξινου διαλύματος  $K_2Cr_2O_7$  0,1 M οπότε καταβυθίζονται ποσοτικά 0,15 mol στερεού ιωδίου.

Να υπολογίσετε τη συνολική ποσότητα του HI.

**Δ2.** Το δεύτερο μέρος του HI διαλύεται σε 7 L διαλύματος HCOOH 0,25 M, χωρίς μεταβολή του όγκου του διαλύματος.

α. Να υπολογίσετε τη μεταβολή pH του διαλύματος.

β. Να υπολογίσετε το % ποσοστό μεταβολής του βαθμού ιοντισμού του HCOOH.

**Δ3.** Το τρίτο μέρος του HI διαβιβάζεται σε 2 L διαλύματος HBr 0,65 M, χωρίς μεταβολή όγκου, οπότε δημιουργείται διάλυμα Υ3. Να υπολογίσετε το pH του Υ3.

**Δ4.** Το τέταρτο μέρος του HI διαβιβάζεται σε κενό δοχείο όγκου 2,8 L, οπότε διασπάται σύμφωνα με τη χημική εξίσωση:  $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$  ( $K_c = \frac{1}{9}$ ). Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του HI στην ισορροπία.

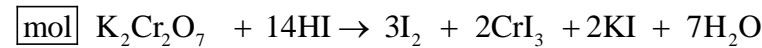
Δίνονται :  $K_{a(HCOOH)} = 4 \cdot 10^{-4}$ ,  $\theta = 25^\circ C$  για όλα τα διαλύματα,  $K_w = 10^{-14}$  και ότι ισχύουν οι γνωστές προσεγγίσεις.

**Λύση**

**Δ1**

$$n_{K_2Cr_2O_7} = C_{K_2Cr_2O_7} \cdot V_{K_2Cr_2O_7} \Rightarrow n_{K_2Cr_2O_7} = 0,1 \cdot 0,6 \text{ mol} = 0,06 \text{ mol}.$$

Για την αντίδραση ισχύει:



$$\text{Αρχ.} \quad 0,06 \quad \quad \quad x \quad \quad -$$

$$\text{Αντ.} \quad 0,05 \quad \quad 14 \cdot 0,05 \quad \quad -$$

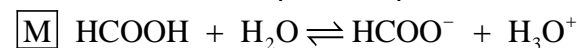
$$\text{Παρ.} \quad - \quad \quad - \quad \quad 3 \cdot 0,05$$

$$\text{Τελ.} \quad 0,01 \quad \quad x - 0,7 \quad \quad 0,15$$

Αφού σχηματιστήκαν 0,15 mol  $I_2$  απαιτήθηκαν 0,05 mol  $K_2Cr_2O_7$ , άρα το  $K_2Cr_2O_7$  ήταν σε περίσσεια καθώς η αρχική ποσότητα του ήταν 0,06 mol. Άρα, το HI αντέδρασε πλήρως και η αρχική ποσότητά του ήταν  $x - 0,7 = 0 \Rightarrow x = 0,7$ , δηλαδή 0,7 mol. Επομένως, η συνολική ποσότητα του HI ήταν  $4 \cdot 0,7 \text{ mol} = 2,8 \text{ mol}$ .

**Δ2.**

Θα υπολογίσουμε πρώτα το pH και τον βαθμό ιοντισμού στο αρχικό διάλυμα του HCOOH, δηλαδή πριν την προσθήκη του HI.



$$\text{Αρχ.} \quad 0,25 \quad \quad \quad - \quad \quad -$$

$$\text{Αντ.} \quad x_1 \quad \quad \quad - \quad \quad -$$

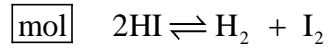
$$\text{Παρ.} \quad - \quad \quad \quad x_1 \quad \quad x_1$$

$$\text{Χ.Ι.} \quad 0,25 - x_1 \quad \quad \quad x_1 \quad \quad x_1$$

Από την ισορροπία έχουμε:



**Δ4.**



Αρχ. 0,7      -      -

Αντ.  $2x_4$       -      -

Παρ.      -       $x_4$        $x_4$

Χ.Ι.  $0,7 - 2x_4$        $x_4$        $x_4$

Προφανώς, για το  $x_4$  ισχύει:  $0 < x_4 < 0,35$ . Για την ισορροπία έχουμε:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} \Rightarrow \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \left(\frac{\frac{x_4}{V_{\text{δοχείου}}}}{\frac{0,7 - 2x_4}{V_{\text{δοχείου}}}}\right)^2 \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{x_4}{0,7 - 2x_4} \Rightarrow 0,7 = 5x_4 \Rightarrow x_4 = 0,14.$$

$$C_{\text{HI(Χ.Ι.)}} = \frac{0,7 - 2 \cdot 0,14}{2,8} \text{ M} = \frac{0,42}{2,8} \text{ M} = 0,15 \text{ M}.$$

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ 11.** Σε πέντε δοχεία περιέχονται τα επόμενα διαλύματα:

- διάλυμα  $\text{KNO}_3$  0,1 M (διάλυμα Y1)
- διάλυμα  $\text{NH}_3$  0,1 M (διάλυμα Y2)
- διάλυμα  $\text{HCOOH}$  0,1 M (διάλυμα Y3)
- διάλυμα  $\text{NaOH}$  0,1 M (διάλυμα Y4)
- διάλυμα  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  0,1 M (διάλυμα Y5)

**Δ1** α. Να βρείτε ποιο διάλυμα περιέχεται σε κάθε δοχείο με βάση τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα :

Δοχείο	1	2	3	4	5
pH	2,35	2,65	7	11	13

**β.** Να δικαιολογήσετε την επιλογή σας.

**Δ2.** Με ποια αναλογία όγκων πρέπει να αναμείξουμε το διάλυμα Y4 με το διάλυμα Y5, ώστε να προκύψει ρυθμιστικό διάλυμα Y6 με  $\text{pH} = 4$ .

**Δ3.** Αναμειγνύουμε ίσους όγκους των διαλυμάτων Y3, Y4, Y5 και δημιουργούμε το διάλυμα Y7.

α. Να υπολογίσετε το  $\text{pH}$  του Y7.

β. Να υπολογίσετε το ποσοστό εξουδετέρωσης του  $\text{HCOOH}$  στο Y7.

Δίνονται:  $K_{b(\text{NH}_3)} = 10^{-5}$ ,  $K_{a(\text{HCOOH})} = 2 \cdot 10^{-4}$ ,  $K_{a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})} = 5 \cdot 10^{-5}$ ,  $K_w = 10^{-14}$ , ότι σε όλα τα διαλύματα  $\theta = 25^\circ\text{C}$  και ότι οι συνήθεις προσεγγίσεις ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις.

**Λύση**

**Δ1**

α.

Δοχείο	1	2	3	4	5
pH	2,35	2,65	7	11	13
Διάλυμα	Y3	Y5	Y1	Y2	Y4

**β.** Το διάλυμα  $\text{KNO}_3$  δίσταται σε ιόντα που δεν επηρεάζουν το  $\text{pH}$ , άρα το διάλυμα Y1 έχει  $\text{pH} = 7$ .

Το  $\text{NaOH}$  είναι ισχυρή βάση, άρα το διάλυμα  $\text{NaOH}$  0,1 M (Y4) έχει  $\text{pH} = 13$ .

Η αμμωνία είναι ασθενής βάση, το διάλυμα  $\text{NH}_3$  0,1 M (Y2) έχει  $\text{pH} > 7$ , άρα έχει  $\text{pH} = 11$ .

Τα δύο οξέα έχουν ίδια συγκέντρωση και το  $\text{HCOOH}$  είναι ισχυρότερο (έχει μεγαλύτερη σταθερά ιοντισμού), άρα το διάλυμά του (Y3) θα έχει μικρότερο  $\text{pH}$ , συνεπώς θα έχει  $\text{pH} = 2,35$ .

**Δ2.**

Έστω ότι θα χρειαστούμε  $V_{Y4}$  L από το διάλυμα  $\text{NaOH}$  0,1 M και  $V_{Y5}$  L από το διάλυμα  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  0,1 M. Τα mol των δύο συστατικών είναι  $n_{\text{NaOH}} = 0,1 \cdot V_{Y4}$  mol

και  $n_{C_6H_5COOH} = 0,1 \cdot V_{Y5}$  mol . Δίνεται ότι προκύπτει ρυθμιστικό διάλυμα, άρα έχουμε μερική εξουδετέρωση του ασθενούς οξέως, δηλαδή  $0,1 \cdot V_{Y5} > 0,1 \cdot V_{Y4}$  . Έτσι,



Αρχ.  $0,1 \cdot V_{Y5}$        $0,1 \cdot V_{Y4}$       –

Αντ.  $0,1 \cdot V_{Y4}$        $0,1 \cdot V_{Y4}$       –

Παρ. –                      –                       $0,1 \cdot V_{Y4}$

Τελ.  $0,1 \cdot (V_{Y5} - V_{Y4})$       –                       $0,1 \cdot V_{Y4}$



Έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα ( $C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-$ ) με  $pH=4$  για το οποίο ισχύει:

$$[H_3O^+] = K_{a(C_6H_5COOH)} \cdot \frac{[C_6H_5COOH]}{[C_6H_5COO^-]} \Rightarrow 10^{-4} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,1 \cdot (V_{Y5} - V_{Y4})}{\frac{0,1 \cdot V_{Y4}}{V_{Y4} + V_{Y5}}} \Rightarrow$$

$$2 = \frac{(V_{Y5} - V_{Y4})}{V_{Y4}} \Rightarrow \frac{V_{Y5}}{V_{Y4}} = \frac{3}{1}$$

### Δ3.

Επειδή έχουμε ίσους όγκους και ίσες συγκεντρώσεις, θα έχουμε και ίσα mol για το κάθε συστατικό. Έστω  $n$  mol. Η βάση καταναλώνεται πλήρως, σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:



Αρχ.  $n$                        $n$                       –

Αντ.  $x$                        $x$                       –

Παρ. –                      –                       $x$

Τελ.  $n - x$                        $n - x$                        $x$

και



Αρχ.  $n$                        $n - x$                       –

Αντ.  $n - x$                        $n - x$                       –

Παρ. –                      –                       $n - x$

Τελ.  $x$                       –                       $n - x$

Συνολικά έχουμε:

$$n_{HCOOH} = n_{C_6H_5COONa} \Rightarrow C_{HCOOH} = C_{C_6H_5COONa} = \frac{(n - x) \text{ mol}}{V_{\text{ολικό}}} = C \text{ M} \text{ και}$$

$$n_{HCOONa} = n_{C_6H_5COOH} \Rightarrow C_{HCOONa} = C_{C_6H_5COOH} = \frac{x \text{ mol}}{V_{\text{ολικό}}} = C' \text{ M}$$

Τα δύο άλατα δίστανται , οπότε προκύπτουν δύο ρυθμιστικά διαλύματα ( $HCOOH / HCOO^-$ ) και ( $C_6H_5COOH / C_6H_5COO^-$ ) για τα οποία έχουμε:

$$K_{a(HCOOH)} = \frac{[H_3O^+][HCOO^-]}{[HCOOH]} \Rightarrow 2 \cdot 10^{-4} = \frac{[H_3O^+] \cdot C'}{C} \text{ (1) και}$$

$$K_{a(C_6H_5COOH)} = \frac{[H_3O^+][C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} \Rightarrow 5 \cdot 10^{-5} = \frac{[H_3O^+] \cdot C}{C'} \quad (2)$$

Πολλαπλασιάζοντας κατά μέλη τις (1) και (2) προκύπτει ότι,

$$10^{-8} = [H_3O^+]^2 \Rightarrow [H_3O^+] = 10^{-4} \text{ και } pH = 4.$$

**β.** Η (1) γίνεται:

$$2 \cdot 10^{-4} = \frac{10^{-4} \cdot \frac{x}{3V}}{\frac{n-x}{3V}} \Rightarrow \frac{2}{1} = \frac{x}{n-x} \Rightarrow \frac{x}{n} = \frac{2}{3}. \text{ Το ποσοστό εξουδετέρωσης του}$$

$$HCOOH \text{ είναι: } \frac{x}{n} \cdot 100\% = \frac{2}{3} \cdot 100\% = 66,6\%$$



$$K_{b(\text{NH}_3)} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{y^2}{C' - y} \Rightarrow 10^{-5} \approx \frac{(10^{-3,5})^2}{C'} \Rightarrow C' = 10^{-2}.$$

Έχουμε αραιώση οπότε ισχύει :

$$C \cdot V = C' \cdot V' \Rightarrow 1 \cdot 0,02 = 0,01 \cdot (0,02 + V_{\text{H}_2\text{O}}) \Rightarrow V_{\text{H}_2\text{O}} = 1,98 \text{ L}.$$

γ. Το διάλυμα του ασθενούς οξέος απαιτεί πολύ μεγαλύτερη αραιώση, γιατί καθώς αραιώνεται αυξάνεται ο βαθμός ιοντισμού του. Αντίθετα, στα ισχυρά οξέα ο βαθμός ιοντισμού είναι πάντα ίσος με 1.

**Δ2.**

α. Το νέο pH θα είναι 12, άρα  $\text{pOH} = 2 \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-2} \text{ M}$ . Προστίθεται ισχυρό οξύ και το διάλυμα παραμένει βασικό, άρα η ισχυρή βάση είναι σε περίσσεια (το παραγόμενο KCl δεν επηρεάζει το pH).

$$n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \Rightarrow n_{\text{KOH}} = 1 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,1 \text{ mol}.$$

Έστω z τα mol του HCl με  $0 < z < 0,1$ .



Αρχ. 0,1      z      -

Αντ.    z      z      -

Παρ.    -      -      z

Τελ. 0,1-z    -      z

Η τελική συγκέντρωση του KOH είναι  $C_{\text{KOH}} = \frac{0,1-z}{0,1} \text{ M}$ . Αφού είναι ισχυρή βάση

ισχύει  $\frac{0,1-z}{0,1} = 10^{-2} \Rightarrow z = 0,1 - 0,001 = 0,099$ . Επομένως, πρέπει να προστεθούν

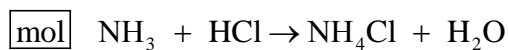
0,099 mol αερίου HCl.

β. Το νέο pH θα είναι 9,5. Έστω ότι η προστιθέμενη ποσότητα αερίου HCl είναι όση απαιτείται για πλήρη εξουδετέρωση. Τότε στο διάλυμα θα υπήρχε μόνο το άλας  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , το οποίο διίσταται δίνοντας το μη υδρολυόμενο ιόν  $\text{Cl}^-$  και το ασθενές οξύ  $\text{NH}_4^+$ , άρα το pH του νέου διαλύματος θα είναι όξινο, ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ, αφού το ζητούμενο pH είναι βασικό.

Η εκδοχή να είναι σε περίσσεια το HCl ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ, αφού πάλι το διάλυμα θα είναι όξινο.

Συνεπώς, η  $\text{NH}_3$  είναι σε περίσσεια.

$$n_{\text{NH}_3} = C \cdot V = 1 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ mol} \text{ και έστω } \varphi \text{ τα mol του HCl με } 0 < \varphi < 0,1.$$



Αρχ. 0,1      φ      -

Αντ.    φ      φ      -

Παρ.    -      -      φ

Τελ. 0,1-φ    -      φ

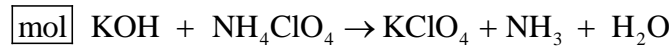
Συνοπάρχουν στο διάλυμα  $\text{NH}_3$  και  $\text{NH}_4^+$  (από τη διάσταση του  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), άρα έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα. Επομένως:

$$[\text{OH}^-] = K_{b(\text{NH}_3)} \cdot \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} \Rightarrow 10^{-4.5} = 10^{-5} \frac{V_{\text{τελ.}}}{\frac{\phi}{V_{\text{τελ.}}}} \Rightarrow 10^{0.5} = \frac{0,1-\phi}{\phi} \Rightarrow \phi = \frac{0,1}{1+10^{0.5}} = 0,024$$

Επομένως, πρέπει να προστεθούν 0,024 mol αερίου HCl.

### Δ3.

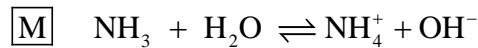
Τα δύο συστατικά αντιδρούν,  $n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \Rightarrow n_{\text{KOH}} = 1 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,1 \text{ mol}$ .



Αρχ.	0,1	0,1	-	-	-
Τελ.	-	-	0,1		

Το  $\text{KClO}_4$  δίσταται και τα ιόντα του  $\text{K}^+$  και  $\text{ClO}_4^-$  δεν υδρολύονται, ενώ ιοντίζεται

η αμμωνία, για την οποία έχουμε  $C_{\text{NH}_3} = \frac{0,1}{0,1} \text{ M} = 1 \text{ M}$



Αρχ.	1	-	-	-	-
Ιοντ.	λ	-	-		
Παρ.	-	λ	λ		
Χ.Ι.	1-λ	λ	λ		

Για την ισορροπία ισχύει:

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{\lambda^2}{1-\lambda} \Rightarrow 10^{-5} \approx \frac{\lambda^2}{1} \Rightarrow \lambda = 10^{-2.5}, \text{ άρα } \text{pOH} = 2,5 \text{ και } \text{pH} = 11,5.$$

### Δ4.

Τα δύο συστατικά αντιδρούν,  $n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{KOH}} \Rightarrow n_{\text{KOH}} = 1 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,1 \text{ mol}$ .

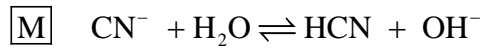
Έστω ότι η προστιθέμενη ποσότητα HCN είναι όση απαιτείται για πλήρη εξουδετέρωση. Τότε στο διάλυμα θα υπήρχε μόνο το άλας KCN, το οποίο δίσταται δίνοντας το μη υδρολυόμενο ιόν  $\text{K}^+$  και την ασθενή βάση  $\text{CN}^-$ , άρα το pH του νέου διαλύματος θα είναι βασικό. Βασικό όμως είναι και το ζητούμενο pH, οπότε πρέπει να εξετάσουμε την εκδοχή αυτή διεξοδικότερα.

Αφού έχουμε πλήρη εξουδετέρωση θα ισχύει:



Αντ.	0,1	0,1	-	-	-
Παρ.	-	-	0,1		

$C_{\text{KCN}} = \frac{0,1}{0,1} \text{ M} = 1 \text{ M}$ . Το KCN δίσταται  $\text{KCN} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{K}^+ + \text{CN}^-$  και το  $\text{CN}^-$  ιοντίζεται:



Αρχ.	1	-	-
Αντ.	$\mu$	-	-
Παρ.	-	$\mu$	$\mu$
Χ.Ι.	$1-\mu$	$\mu$	$\mu$

Για την ισορροπία ισχύει :

$$K_{b(\text{CN}^-)} = \frac{K_w}{K_{a(\text{HCN})}} = \frac{[\text{HCN}][\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} \Rightarrow \frac{10^{-14}}{4 \cdot 10^{-10}} = \frac{\mu^2}{1-\mu} \Rightarrow \frac{1}{4} \cdot 10^{-4} \approx \frac{\mu^2}{1} \Rightarrow \mu = \frac{10^{-2}}{2}$$

$$\text{Άρα } \text{pOH} = -\log \frac{10^{-2}}{2} = -\log 10^{-2} - \log \frac{1}{2} = 2 + \log 2 \Rightarrow \text{pOH} = 2,3 \Rightarrow \text{pH} = 11,7 > 10.$$

Προφανώς, για να έχουμε  $\text{pH} = 10$  πρέπει η ποσότητα του οξέος (υδροκυανίου) να είναι μεγαλύτερη από 0,1 mol. Έτσι:



Αρχ.	0,1	$\omega$	-
Αντ.	0,1	0,1	-
Παρ.	-	-	0,1
Τελ.	-	$\omega-0,1$	0,1

$$C'_{\text{HCN}} = \frac{\omega-0,1}{0,1} \text{ M} = (10\omega-1) \text{ M}.$$

$$C'_{\text{KCN}} = \frac{0,1}{0,1} \text{ M} = 1 \text{ M}. \text{ Το KCN δίσταται : } \text{KCN} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{K}^+ + \text{CN}^-$$

Έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα ( $\text{HCN}/\text{CN}^-$ ) με  $\text{pH} = 10$ , για το οποίο ισχύει :

$$K_{a(\text{HCN})} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} \Rightarrow 4 \cdot 10^{-10} = \frac{10^{-10} \cdot 1}{10\omega-1} \Rightarrow 10\omega-1 = 0,25 \Rightarrow \omega = 0,125.$$

Πρέπει να διαβιβασθούν 0,125 mol αέριου  $\text{HCN}$ .

Ημερομηνία τροποποίησης: 20/04/2020

Επιμέλεια: Βατούγιος Πέτρος - Παπαστεργιάδης Θωμάς

Επιστημονικός έλεγχος: Αποστολόπουλος Κωνσταντίνος - Γιαλούρης Παρασκευάς