

## 1. ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

### Η επίδραση της αραίωσης στο pH των Ρυθμιστικών Διαλυμάτων

2. ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ Χημεία: Οξέα, Βάσεις και Ιοντική ισορροπία.

### 3. ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΤΩΝ/ΤΡΙΩΝ

Ρυθμιστικά διαλύματα (Ρ.Δ.) ονομάζονται τα διαλύματα των οποίων το pH:

α) παραμένει πρακτικά σταθερό όταν προστεθεί σε αυτά μικρή αλλά υπολογίσιμη ποσότητα ισχυρών οξέων ή βάσεων

β) παραμένει σταθερό κατά την αραίωσή τους σε ορισμένα όρια. Αν υπερβούμε αυτά τα όρια τότε η τιμή του pH αλλάζει σημαντικά.

Είναι διαλύματα που έχουν παραπλήσιες συγκεντρώσεις ασθενούς οξέος (HA) και της συζυγής του βάσης (A<sup>-</sup>) ή ασθενούς βάσης (B) του συζυγές της οξέος (BH<sup>+</sup>).

Το pH των διαλυμάτων αυτών προσδιορίζεται, κατά κανόνα, από τη σχέση Henderson-Hasselbalch:

$$pH = pK_a + \log \frac{c_b}{c_a}$$

Για την αραίωση η εξίσωση αυτή δείχνει ότι το pH του Ρ.Δ. δεν επηρεάζεται καθόλου από την αραίωση, αφού ο λόγος  $\frac{c_b}{c_a}$  παραμένει σταθερός στην αραίωση.

### 4. ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΑ ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι μαθητές μετά την εργαστηριακή άσκηση θα μπορούν:

Να μελετούν εργαστηριακά (σε εικονικό εργαστήριο) τη συμπεριφορά των ρυθμιστικών διαλυμάτων στην αραίωση.

Να εξηγούν τα όρια διατήρησης της συμπεριφοράς των ρυθμιστικών διαλυμάτων στην αραίωση τους.

### 5. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Iridium Vlab, που είναι ένα ανοικτό περιβάλλον κατάλληλο για την επεξεργασία του εν λόγω θέματος και μπορεί να αποσταλεί ηλεκτρονικά στους μαθητές/τριες ασύγχρονα μέσω του e-class ή με mail.

[Κατεβάστε από ΕΔΩ τον φάκελο με το λογισμικό και το προσομοιωτικό υλικό στον Η/Υ σας.](#)

### 6. ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ

Δύο διδακτικές ώρες.

### 7. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ & ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ

Οι μαθητές/τριες θα πάρουν ένα φύλλο εργασίας και θα κληθούν να εργαστούν σε ομάδες στο Εργαστήριο της Πληροφορικής (ή στην η-τάξη σε περίπτωση που εφαρμόζεται Τηλεκπαίδευση). Οι ομάδες θα κάνουν πρόβλεψη για τη συμπεριφορά

των ρυθμιστικών διαλυμάτων στην αραιώση, θα διεξάγουν πειράματα, θα καταγράψουν τα πειραματικά δεδομένα και θα εξάγουν συμπεράσματα. Τέλος, στην ολομέλεια της τάξης, θα παρουσιάσουν και θα συζητήσουν τα συμπεράσματά τους.

## 8. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Το σενάριο υλοποιείται με τη βοήθεια ενός φύλλου εργασίας (ΦΕ) στο οποίο ζητείται να διερευνήσουν οι μαθητές/τριες στο εικονικό εργαστήριο ποια είναι η συμπεριφορά ενός ρυθμιστικού διαλύματος στην αραιώση. Στο πλαίσιο αυτό αξιολογείται το τρίπτυχο:

### Πρόβλεψη – Πειραματικός Έλεγχος – Εξήγηση

Σύμφωνα με το ΦΕ οι μαθητές/τριες από ένα αρχικό ρυθμιστικό διάλυμα παρασκευάζουν, στο εικονικό εργαστήριο, μια σειρά από διαλύματα με διαδοχικές αραιώσεις. Προσδιορίζουν το pH των διαλυμάτων αυτών με σκοπό να ελέγξουν τις προβλέψεις τους και να εξάγουν συμπεράσματα.

Η χρήση εικονικού εργαστηρίου κρίνεται απαραίτητη γιατί το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι εξαιρετικά δύσκολο να μελετηθεί στο πραγματικό σχολικό εργαστήριο. Επιπρόσθετα, οι μαθητές/τριες θα ενισχύσουν τις ψηφιακές τους δεξιότητες.

Τα βήματα της εργαστηριακής εργασίας, σύμφωνα με το ΦΕ:

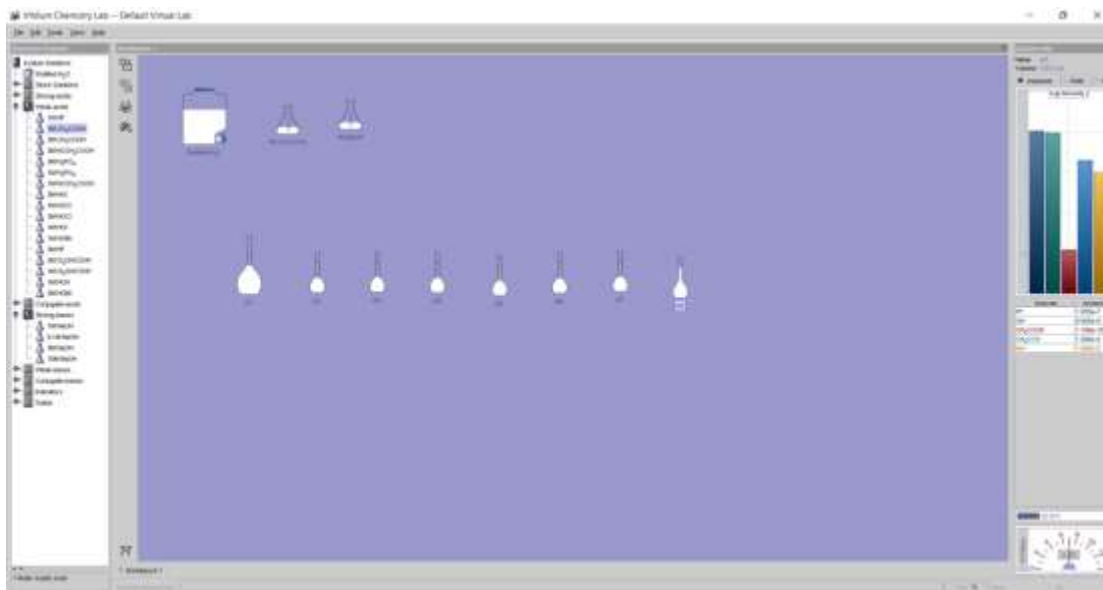
- Οι μαθητές/τριες θα παραλάβουν το λογισμικό IrYdium Vlab ασύγχρονα μέσω του e-class ή με mail για να το μελετήσουν.
- Θα δοθούν οδηγίες από τον καθηγητή για τη χρήση του λογισμικού και την πειραματική διαδικασία στο εικονικό εργαστήριο, όπως αυτή παρουσιάζεται στο ΦΕ για να κατανοήσουν πληρέστερα το σχεδιασμό της.
- Θα υπολογίσουν θεωρητικά τις τιμές του pH των ρυθμιστικών διαλυμάτων που παρασκεύασαν με βάση τον τύπο των Henderson- Hasselbalch.
- Θα προσδιορίσουν στο εικονικό εργαστήριο το pH τους, θα συγκρίνουν τις προβλέψεις τους με τα πειραματικά δεδομένα και θα εξάγουν συμπεράσματα. Στη συνέχεια θα συζητήσουν τα ευρήματά τους στην ολομέλεια της τάξης.

Απαραίτητα όργανα IrYdium Vlab	Αντιδραστήρια IrYdium Vlab
<ul style="list-style-type: none"><li>○ 1 ογκομετρική φιάλη των 500 mL</li><li>○ 7 ογκομετρικές φιάλες των 100 mL</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ 100 mL CH<sub>3</sub>COOH 1M</li><li>○ 100 mL NaOH 1M</li><li>○ Νερό (απιοντισμένο)</li></ul>

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Α. Παρασκευή της σειράς διαλυμάτων  $\text{CH}_3\text{COOH}$  –  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , στο εικονικό εργαστήριο (vlab).

Από τα διαλύματα  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 M &  $\text{NaOH}$  1 M που διαθέτει το εικονικό εργαστήριο παρασκευάζουμε διάλυμα  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 M –  $\text{CH}_3\text{COONa}$  0,1 M. Στη συνέχεια πραγματοποιούμε μια σειρά διαδοχικών αραιώσεων σε 10πλάσιο όγκο από το πρώτο (Δ1) προς το τελευταίο διάλυμα (Δ8), όπως φαίνεται στο ΦΕ.



Β. Θεωρητικοί υπολογισμοί

Για καθένα από τα διαλύματα της σειράς  $\text{CH}_3\text{COOH}$  –  $\text{CH}_3\text{COONa}$  οι μαθητές/τριες υπολογίζουν τις αναμενόμενες τιμές pH με βάση τον τύπο των Henderson-Hasselbalch.

Γ. Πειραματικός προσδιορισμός της τιμής pH των Ρ.Δ.  $\text{CH}_3\text{COOH}$  –  $\text{CH}_3\text{COONa}$  και συγκρίσεις.

Για καθένα από τα διαλύματα της σειράς  $\text{CH}_3\text{COOH}$  –  $\text{CH}_3\text{COONa}$  προσδιορίζουμε πειραματικά τις τιμές pH που μας δίνει το πεχάμετρο του εικονικού εργαστηρίου, στους 25 °C, και τις καταγράφουμε σε σχετικό πίνακα.

## 9. ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Γενικό σχόλιο

Εναλλακτικά, μπορούμε την ίδια ακριβώς πειραματική διαδικασία, να την εφαρμόσουμε, για σειρά διαλυμάτων  $\text{NH}_3$  –  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

## ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### Η επίδραση της αραιώσης στο pH των Ρυθμιστικών Διαλυμάτων.

ΟΝΟΜΑ: .....ΟΜΑΔΑ: .....

#### **Δραστηριότητα 1η: Παρασκευή σειράς διαλυμάτων**

Δ1: Σε ογκομετρική φιάλη των 500 mL εισάγονται 100 mL διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1 M και 50 mL διαλύματος  $\text{NaOH}$  1 M και το διάλυμα που προκύπτει αραιώνεται στα 500 mL.

Δ2: Από το Δ1 λαμβάνονται 10 mL και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται στα 100mL.

Δ3: Από το Δ2 λαμβάνονται 10 mL και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται στα 100 mL.

Δ4: Από το Δ3 λαμβάνονται 10 mL και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται στα 100 mL.

Δ5: Από το Δ4 λαμβάνονται 10 mL και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται στα 100 mL.

Δ6: Από το Δ5 λαμβάνονται 10 mL και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται στα 100 mL.

Δ7: Από το Δ6 λαμβάνονται 10 mL και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται στα 100 mL.

Δ8: Από το Δ7 λαμβάνονται 10 mL και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται στα 100 mL.

#### **Δραστηριότητα 2η: Υπολογισμός συγκεντρώσεων**

Να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις του οξέος και του άλατος στα 8 διαλύματα που παρασκευάσατε και να τις καταγράψετε στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Οι συγκεντρώσεις του οξέος και του άλατος στα 8 διαλύματα.

Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8
Ca =	Ca =	Ca =	Ca =	Ca =	Ca =	Ca =	Ca =
Cb =	Cb =	Cb =	Cb =	Cb =	Cb =	Cb =	Cb =

#### **Δραστηριότητα 3η: Θεωρητικός υπολογισμός pH**

Να υπολογίσετε το pH των παραπάνω διαλυμάτων με χρήση της εξίσωσης Henderson-Hasselbalch και να το καταγράψετε στον πίνακα 2 που ακολουθεί.

Δίνεται για το  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $\text{pK}_a = 4,76$

#### Δραστηριότητα 4η: Προσδιορισμός του pH με το πεχάμετρο

Να προσδιορίσετε με το εργαστηριακό πεχάμετρο τις τιμές pH των διαλυμάτων Δ1 έως Δ8, σε θερμοκρασία 25 °C, και να καταγράψετε στον πίνακα 2 που ακολουθεί.

**Πίνακας 2.** Τιμές pH των 8 διαλυμάτων: α) σύμφωνα με την εξίσωση Henderson-Hasselbalch, β) σύμφωνα με τα πειραματικά ευρήματα και τις παρατηρούμενες διαφορές.

Διάλυμα	Υπολογιζόμενη τιμή pH κατά Henderson-Hasselbalch /25°C	Πειραματική τιμή pH (Vlab) /25°C	Παρατηρούμενο ΔpH (Vlab) /25°C
Δ <sub>1</sub>			
Δ <sub>2</sub>			
Δ <sub>3</sub>			
Δ <sub>4</sub>			
Δ <sub>5</sub>			
Δ <sub>6</sub>			
Δ <sub>7</sub>			
Δ <sub>8</sub>			

#### Δραστηριότητα 5η: Εξαγωγή συμπερασμάτων

Να καταγράψετε τα συμπεράσματά σας σχετικά με τη συμπεριφορά των ρυθμιστικών διαλυμάτων στην αραιώση.

.....  
.....

#### ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Υπό ποια προϋπόθεση μπορούμε να χρησιμοποιούμε την εξίσωση των Henderson-Hasselbalch κατά την αραιώση ενός ρυθμιστικού διαλύματος;
2. Ποια προϋπόθεση νομίζετε ότι πρέπει να πληροί ένα ΡΔ για να εμφανίζει μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα (μεγάλη ικανότητα ρύθμισης του pH) στην αραιώση;
3. Τα ρυθμιστικά, κατά κανόνα, έχουν περιοχή χρήσης κοντά στην τιμή pK<sub>a</sub>. Μπορείτε να δώσετε μια εξήγηση γι' αυτό;
4. Σε ίσους όγκους V των διαλυμάτων Δ1 (NH<sub>3</sub> 0,1 M), Δ2 (NaOH 0,1 M) και Δ3 (NH<sub>3</sub> 0,1 M / NH<sub>4</sub>Cl 0,1 M) προστίθεται νερό όγκου x L, y L, ω L αντίστοιχα, ώστε να μεταβληθεί το pH τους κατά μία μονάδα. Να υπολογίσετε τις τιμές x, y, ω σε συνάρτηση με τον όγκο V των διαλυμάτων.

Δίνεται: θερμοκρασία 25 °C, όπου  $K_b(\text{NH}_3) = 10^{-5}$  &  $K_w = 10^{-14}$

#### ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιάστε σε υπολογιστικό φύλλο (xls), το γράφημα Πειραματικές Τιμές pH σε συνάρτηση με τις συγκεντρώσεις (- log C ) των συστατικών των διαλυμάτων, από τις τιμές του πίνακα 2.

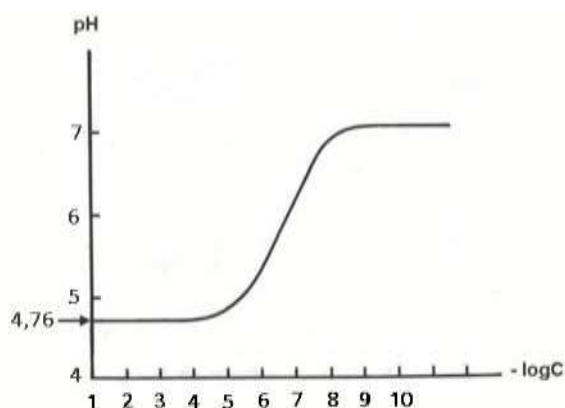
**Πίνακας 1.** Συγκεντρώσεις, θεωρητικές και πειραματικές τιμές για τα διαλύματα Δ1 έως Δ8.

Διάλυμα	Συγκεντρώσεις	Υπολογιζόμενη τιμή pH κατά Henderson-Hasselbalch	Πειραματική τιμή pH 25°C	ΔpH
Δ <sub>1</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-1</sup> M	4,76	4,76	
Δ <sub>2</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-2</sup> M	4,76	4,76	0
Δ <sub>3</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-3</sup> M	4,76	4,77	0,01
Δ <sub>4</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-4</sup> M	4,76	4,87	0,11
Δ <sub>5</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-5</sup> M	4,76	5,27	0,51
Δ <sub>6</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-6</sup> M	4,76	6,04	1,28
Δ <sub>7</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-7</sup> M	4,76	6,79	2,03
Δ <sub>8</sub>	Ca = Cb = 10 <sup>-8</sup> M	4,76	6,98	2,22

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΣΤΟΧΩΝ

Συνολικά οι μαθητές/τριες:

Ελέγχουν τις αρχικές τους απόψεις - προβλέψεις τους, με τα πειραματικά αποτελέσματα. Συζητούν τα αποτελέσματα του εικονικού εργαστηρίου μεταξύ τους στη ομάδα και προσπαθούν να εξηγήσουν τη συμπεριφορά των ρυθμιστικών διαλυμάτων κατά την αραιώσή τους και τις αποκλίσεις μεταξύ των πειραματικών αποτελεσμάτων και των θεωρητικά υπολογιζόμενων τιμών. Κοινοποιούν τα συμπεράσματά τους στη ολομέλεια της τάξης όπου καταλήγουν:



α) Η εξίσωση Henderson-Hasselbalch έχει προκύψει μετά από προσέγγιση.

β) Όταν ένα ρυθμιστικό διάλυμα αραιωθεί μέχρι συγκεντρώσεων μικρότερες ή ίσες από 10<sup>-3</sup> M, τότε πρακτικά έχει χάσει τη ρυθμιστική του ικανότητα και δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το pH του μέσω της εξίσωσης Henderson - Hasselbalch.

■ Ο καθηγητής έχει ρόλο οργανωτή, συντονιστή υποστηρικτή. Επίσης, στην ολομέλεια θα μπορούσε να προσθέσει ότι:

Τα ρυθμιστικά διαλύματα για να έχουν ικανότητα ρύθμισης του pH τόσο σε όξινο, όσο και σε βασικό περιβάλλον, θα πρέπει:

$$\frac{1}{10} \leq \frac{c_b}{c_a} \text{ ή } \frac{c_a}{c_b} \leq \frac{10}{1}$$

οπότε η περιοχή ρύθμισης προσδιορίζεται στο διάστημα τιμών:

$$pK_a - 1 \leq pH \leq pK_a + 1$$

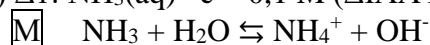
#### ΕΡΩΤΗΣΗ 4

Σε ίσους όγκους V των διαλυμάτων Δ1 (NH<sub>3</sub> 0,1 M), Δ2 (NaOH 0,1 M) και Δ3 (NH<sub>3</sub> 0,1 M / NH<sub>4</sub>Cl 0,1 M) προστίθεται νερό όγκου x L, y L, ω L αντίστοιχα, ώστε να μεταβληθεί το pH τους κατά μία μονάδα. Να υπολογίσετε τις τιμές x, y, ω σε συνάρτηση με τον όγκο V των διαλυμάτων.

Δίνεται: θερμοκρασία 25 °C, όπου  $K_b(\text{NH}_3) = 10^{-5}$  &  $K_w = 10^{-14}$

#### Ενδεικτική επίλυση

α) Δ1: NH<sub>3</sub>(aq) c = 0,1 M (ΔΙΑΛΥΜΑ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ)



$$\text{X.I.} \quad c-x \approx c \quad x \quad x \quad \frac{K_b}{c} = \frac{10^{-5}}{0,1} \leq 10^{-2}$$

- ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΡΑΙΩΣΗ:  $K_b \approx \frac{x^2}{c_1} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{x^2}{0,1} \Rightarrow x = [\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ M}$ .

Άρα, pOH = 3 & pH = 11

- ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΡΑΙΩΣΗ: pH = 10 & pOH = 4  $\Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-4} \text{ M}$ ,

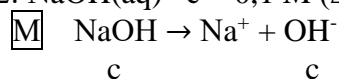
$$K_b \approx \frac{x^2}{c_2} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{(10^{-4})^2}{c_2} \Rightarrow c_2 = 10^{-3} \text{ M}$$

$$\frac{K_b}{c_2} = \frac{10^{-5}}{10^{-3}} = 10^{-2}, \text{ οριακά δεκτές οι προσεγγίσεις.}$$

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow 0,1 \cdot V = 10^{-3} \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = 100V$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 100V - V = 99V = x$$

β) Δ2: NaOH(aq) c = 0,1 M (ΔΙΑΛΥΜΑ ΙΣΧΥΡΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ)



- ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΡΑΙΩΣΗ: c = 0,1 M  $\Rightarrow [\text{OH}^-] = 0,1 \text{ M}$ .

Άρα, pOH = 1 & pH = 13

- ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΡΑΙΩΣΗ: pH=12, pOH=2 και  $[\text{OH}^-]=0,01 \text{ M}$ .

Άρα  $[\text{NaOH}]' = c' = 10^{-2} \text{ M}$ .

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow 0,1 \cdot V = 10^{-2} \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = 10V$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 10V - V = 9V = y$$

γ) Δ3: NH<sub>3</sub> 0,1 M / NH<sub>4</sub>Cl 0,1 M (ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ)

- ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΡΑΙΩΣΗ: Από εξίσωση Henderson:  $[\text{OH}^-] = K_b \frac{c_{\text{NH}_3}}{c_{\text{NH}_4^+}}$

με  $c_{\text{NH}_3} = c_{\text{NH}_4^+} = 0,1 \text{ M}$  προκύπτει:  $[\text{OH}^-] = 10^{-5} \cdot \frac{0,1}{0,1} \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-5} \text{ M}$ ,  
οπότε pOH = 5 & pH = 9.

- ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΡΑΙΩΣΗ: pH = 8 & pOH = 6. Τότε  $[\text{OH}^-] = 10^{-6} \text{ M}$ .

Αφού αλλάζει αισθητά η τιμή του pH δεν ισχύει η προσεγγιστική εξίσωση Henderson - Hasselbalch.

Έστω  $c_{\text{NH}_3} = c_{\text{NH}_4^+} = c_2$ . Από Ε.Κ.Ι. και χωρίς προσεγγίσεις καταλήγουμε

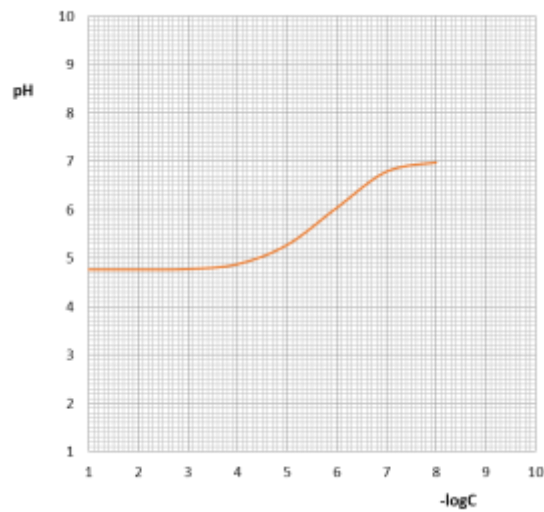
$$K_b = \frac{(c_{\text{NH}_4^+} + x) \cdot x}{c_{\text{NH}_3} - x} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{(c_2 + 10^{-6})10^{-6}}{c_2 - 10^{-6}} \Rightarrow c_2 = \frac{11}{9}10^{-6} \text{ M}$$

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \Rightarrow 0,1 \cdot V = \frac{11}{9}10^{-6} \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{9}{11} \cdot 10^5 \cdot V$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{9}{11} \cdot 10^5 \cdot V - V \Rightarrow V_{\text{H}_2\text{O}} \approx \frac{9}{11} \cdot 10^5 \cdot V = \omega$$

### ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιάστε σε υπολογιστικό φύλλο (xls), το γράφημα Πειραματικές Τιμές pH σε συνάρτηση με τις συγκεντρώσεις ( $-\log C$ ) των συστατικών των διαλυμάτων, από τις τιμές του πίνακα 2.



Ιδέα - Συγγραφή – Επιμέλεια:

Αρβανίτης Παύλος

\* Σε κάποια σημεία υπήρξε συνεργασία με τον Κ. Αποστολόπουλο