

Ευρωπαϊκή Ολυμπιάδα Φυσικών Επιστημών 2012-13
Τοπικός διαγωνισμός στη Φυσική και Χημεία
08-12-2012

Σχολείο: _____

Ονόματα των μαθητών της ομάδας:

1) _____

2) _____

3) _____

Στόχοι της εργαστηριακής άσκησης

Οι βασικοί στόχοι της εργαστηριακής άσκησης είναι δύο:

- 1) Η μέτρηση της ενθαλπίας εξουδετέρωσης διαλύματος ισχυρής βάσης (NaOH) από ισομοριακό διάλυμα ισχυρού οξέος (HCl).
- 2) Η μελέτη της αγωγιμότητας του διαλύματος άλατος σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση (molarity) του διαλύματος.

Βασικές Έννοιες και Φυσικά Μεγέθη: Ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος - Συγκέντρωση (Molarity) διαλύματος - Ισχυρό οξύ - Ισχυρή βάση - Εξουδετέρωση διαλύματος οξέος από διάλυμα βάσης - Ενθαλπία εξουδετέρωσης - Εξώθερμες, Ενδόθερμες αντιδράσεις.

Πώς σχεδιάστηκε η πειραματική διαδικασία - Θεωρητικό υπόβαθρο της άσκησης

A) Θερμότητα που παράγεται κατά την εξουδετέρωση ισχυρού οξέος από ισχυρή βάση

Η αντίδραση εξουδετέρωσης οξέος από βάση είναι μια **εξώθερμη** αντίδραση: Παράγεται ποσό θερμότητας (Q) που προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας ($\Delta\theta$) του διαλύματος. Σύμφωνα με την εξίσωση της θερμιδομετρίας, η μεταβολή της θερμοκρασίας $\Delta\theta$ του διαλύματος σχετίζεται με το ποσό της θερμότητας που την προκαλεί με τη σχέση:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (1)$$

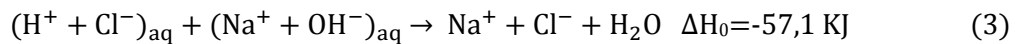
όπου m είναι η μάζα και c η ειδική θερμότητα του διαλύματος. Σε πολύ ικανοποιητική προσέγγιση, η ειδική θερμότητα των υδατικών διαλυμάτων που χρησιμοποιούμε είναι ίση με την ειδική θερμότητα του νερού:

$$c = 4,2 \text{ J/g} \cdot \text{C} = 4200 \text{ J/Kg} \cdot \text{C}$$

Αν μια χημική αντίδραση πραγματοποιείται σε ανοικτό δοχείο, τότε η πίεση του συστήματος διατηρείται σταθερή (ίση με την ατμοσφαιρική πίεση). Στην περίπτωση αυτή, το ποσό της θερμότητας Q που μεταφέρεται προς ή από το χημικό σύστημα, ισούται με τη **μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH) του συστήματος:**

$$\Delta H = Q \quad (2)$$

Η μεταβολή της ενθαλπίας σε μια χημική αντίδραση, προσδιορίζει τη μεταβολή του ενεργειακού περιεχομένου μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων της αντίδρασης. Για παράδειγμα, κατά την εξουδετέρωση 1 mol υδροχλωρικού οξέος (HCl) από 1 mol υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) σε υδατικό διάλυμα, παράγονται $\Delta H_0 = 57,1 \text{ KJ}$ ενέργειας με τη μορφή θερμότητας:



(Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η αντίδραση είναι εξώθερμη. Η τιμή του ΔH_0 έχει ληφθεί από το σχολικό βιβλίο χημείας Β' Λυκείου θετικής κατεύθυνσης (έκδοση Υπουργείου Παιδείας, 2012))
 Η μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH_0) κατά την εξουδετέρωση **1 mol H^+** από **1 mol OH^-** σε αραιό υδατικό διάλυμα, ονομάζεται **ενθαλπία εξουδετέρωσης**.

Πώς θα σχεδιάσουμε ένα πείραμα με στόχο τη μέτρηση της ενθαλπίας εξουδετέρωσης ΔH_0 ;

Η μεταβολή της ενθαλπίας είναι ανάλογη του αριθμού (n) των mol του HCl που εξουδετερώνονται από ίσο αριθμό (n) mol NaOH. Έτσι, αν εξουδετερωθούν n mol HCl από n mol NaOH σε υδατικό διάλυμα, τότε η μεταβολή της ενθαλπίας του συστήματος θα είναι:

$$\Delta H = n \cdot \Delta H_0 = -57,1 \cdot n \text{ KJ} \quad (4)$$

Αν αναμείξουμε **ίσους όγκους (V)** διαλυμάτων HCl και NaOH **ίσων συγκεντρώσεων (molarity) C**, τότε σύμφωνα με την αντίδραση (3) θα εξουδετερωθούν $n = C \cdot V$ mol οξέος από ίσο αριθμό ($n = C \cdot V$) mol βάσης με αποτέλεσμα να μεταβληθεί η ενθαλπία του συστήματος κατά:

$$\Delta H = n \cdot \Delta H_0 = C \cdot V \cdot \Delta H_0 \quad (5)$$

Συνδυάζουμε τις σχέσεις (1), (2) και (5) και βρίσκουμε ότι ισχύει:

$$m \cdot c \cdot \Delta \theta = C \cdot V \cdot \Delta H_0$$

όπου m η μάζα του διαλύματος που προέκυψε από την ανάμειξη του διαλύματος του HCl με το διάλυμα NaOH. Ο όγκος του (τελικού) διαλύματος είναι ίσος με $2 \cdot V$ και η πυκνότητά του (δεδομένου ότι τα διαλύματά μας είναι αραιά) ισούται με **$\rho = 1 \text{ g/mL} = 10^3 \text{ g/L}$** . Ωστε η μάζα m του τελικού διαλύματος είναι: $m = 2\rho \cdot V$. Αντικαθιστούμε τη μάζα και τις τιμές των σταθερών στην τελευταία εξίσωση και μετά από μερικές πράξεις βρίσκουμε τη σχέση:

$$\Delta \theta = \frac{\Delta H_0}{8,4} \cdot C \quad (6)$$

όπου η συγκέντρωση C μετριέται σε mol/L και η ενθαλπία εξουδετέρωσης ΔH_0 σε KJ/mol.

Η σχέση (6) μας λέει ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας του χημικού μας συστήματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης C των διαλυμάτων οξέος - βάσης που αναμείξαμε. Ωστε σύμφωνα με την (6), αν αναμείξουμε ισομοριακά διαλύματα HCl και NaOH ίσων όγκων V για διάφορες τιμές του C, και μετρήσουμε τις αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας του χημικού συστήματος τότε τα πειραματικά σημεία (C, $\Delta \theta$) βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία που διέρχεται από το μηδέν. Η κλίση κ της ευθείας αυτής είναι ίση με $\Delta H_0/8,4$.

Υπολογίζοντας την κλίση της πειραματικής ευθείας $\Delta \theta$ -C, μπορούμε να βρούμε την πειραματική τιμή του ΔH_0 .

B) Αγωγιμότητα ενός διαλύματος

Είναι γνωστό ότι ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα είναι αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, συμπεριφέρεται όπως ένας αντιστάτης, δηλαδή υπακούει στο **νόμο του Ohm**: Αν βυθίσουμε στο διάλυμα δύο καλώδια (ηλεκτρόδια) και τους εφαρμόσουμε τάση U, τότε από το διάλυμα θα διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα I, ανάλογο της τάσης U:

$$I = \sigma \cdot U \quad (7)$$

Η σταθερά σ ονομάζεται **αγωγιμότητα** και εξαρτάται από το είδος του ηλεκτρολυτικού διαλύματος, τη θερμοκρασία, την απόσταση των ηλεκτροδίων που βυθίσαμε στο διάλυμα και από τη συγκέντρωση ιόντων του διαλύματος. Για διάλυμα NaCl, αν κρατήσουμε σταθερή τη θερμοκρασία (θερμοκρασία περιβάλλοντος) και την απόσταση των ηλεκτροδίων, τότε η αγωγιμότητα (σ) εξαρτάται μόνο από τη συγκέντρωση των ιόντων του διαλύματος.

Στο μέρος A της άσκησης, από την εξουδετέρωση ισομοριακών διαλυμάτων HCl και NaOH, συγκέντρωσης C και όγκου V προέκυψαν διαλύματα NaCl¹. Αν θεωρήσουμε ότι η εξουδετέρωση είναι πλήρης, η αγωγιμότητα κάθε διαλύματος οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στα ιόντα Na^+ και Cl^- . Η

¹ Από την ανάμειξη διαλύματος HCl όγκου V και συγκέντρωσης C με διάλυμα NaOH όγκου V και συγκέντρωσης C, προκύπτει διάλυμα NaCl όγκου 2V. Ο συνολικός αριθμός mol ιόντων Na^+ και Cl^- στο νέο διάλυμα είναι $CV + CV = 2CV$. Επομένως η συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα NaCl ισούται με: $\frac{CV + CV}{2V} = C$

συνολική συγκέντρωση ιόντων του διαλύματος (Na^+ και Cl^-) είναι C. Μπορεί να αποδειχθεί θεωρητικά ότι κάτω από ορισμένες συνθήκες, η αγωγιμότητα σ είναι γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης C των ιόντων:

$$\sigma = \lambda \cdot C + \sigma_0 \quad (8)$$

όπου λ , σ_0 σταθερές που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και την απόσταση των ηλεκτροδίων καθώς και από την αγωγιμότητα του διαλύτη.

Πώς θα ελέγξουμε πειραματικά τη σχέση 8 και πώς θα υπολογίσουμε τις σταθερές λ και σ_0 ;

Στο μέρος A έχουν προκύψει διαλύματα NaCl διαφορετικών συγκεντρώσεων. Με τη βοήθεια ενός συστήματος ηλεκτροδίων εφαρμόζουμε σε κάθε διάλυμα μια τάση U και μετράμε το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από το διάλυμα. Με τη βοήθεια της σχέσης (7) υπολογίζουμε την αγωγιμότητα σ .

Τοποθετούμε τα πειραματικά σημεία (C, σ) σε σύστημα αξόνων συγκέντρωσης - αγωγιμότητας και διαπιστώνουμε ότι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή. Από την κλίση της ευθείας αυτής υπολογίζουμε το λ και από την τομή της με τον κάθετο άξονα (σ) υπολογίζουμε το σ_0 .

Πειραματική διαδικασία

Όργανα και υλικά

1. Τροφοδοτικό εναλλασσομένου ρεύματος 6,3 Volt, 50 Hz (ή γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης -προτιμώμενη τάση ~10 Volt AC, 5 KHz).
2. Δύο Πολύμετρα.
3. Σύστημα ηλεκτροδίων.
4. Διακόπτης μαχαιωτός. Έξι καλώδια.
5. Θερμόμετρο -10...110C (ψηφιακό).
6. Ογκομετρικός κύλινδρος 10 mL.
7. 5 δοκιμαστικοί σωλήνες. Στατώ δοκιμαστικών σωλήνων.
8. Φιαλίδιο με αποσταγμένο νερό.
9. Τέσσερα πλαστικά φιαλίδια με διαλύματα NaOH 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 M όγκου 20 mL το καθένα
10. Διάλυμα HCl 1 M.
11. Διάλυμα NaCl άγνωστης συγκέντρωσης C', όγκου 10 mL, σε δοκιμαστικό σωλήνα.
12. Χαρτί μιλιμετρέ. Αριθμομηχανή. Χάρακας 20 cm. Μολύβι, στυλό.
13. Χαρτί κουζίνας. Προστατευτικά γυαλιά, πλαστικά γάντια.

Προσοχή: Αποφεύγουμε την επαφή με τα διαλύματα οξέος και βάσης. Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, φοράμε προστατευτικά γυαλιά και γάντια. Αν έρθουμε σε επαφή με οξύ ή βάση, ξεπλένουμε με νερό βρύσης.

Πείραμα 1: Παρασκευή διαλυμάτων HCl 0,8 M - 0,6 M - 0,4 M - 0,2 M

1. Διαθέτουμε διάλυμα HCl 1 M. Υπολογίζουμε τον όγκο V_1 του διαλύματος HCl 1 M που χρειάζεται για να παρασκευάσουμε με αραιώση 10 mL διαλύματος HCl 0,2 M.

Υπολογισμοί (παρασκευή 10 mL διαλύματος 0,2 M): _____

$V_1 = \underline{\quad} \text{ mL}$

Με προσοχή, ρίχνουμε στον ογκομετρικό κύλινδρο V_1 mL διαλύματος HCl 1 M και συμπληρώνουμε με αποσταγμένο νερό μέχρι τα 10 mL.

Αποθέτουμε 5 mL από το διάλυμα που παρασκευάσαμε στον 1^ο δοκιμαστικό σωλήνα (μέχρι το πρώτο σημάδι του δοκιμαστικού σωλήνα).

Το υπόλοιπο διάλυμα HCl το ρίχνουμε μέσα στη λεκάνη που θα μας υποδείξει ο επιβλέπων καθηγητής. Ξεπλένουμε και στεγνώνουμε τον ογκομετρικό κύλινδρο με χαρτί κουζίνας.

2. Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με το βήμα 1 και παρασκευάζουμε διαλύματα 0,4 M και 0,6 M και 0,8 M. Αμέσως μετά την παρασκευή κάθε διαλύματος αποθέτουμε 5mL διαλύματος στους δοκιμαστικούς σωλήνες 2 και 3 και 4, αντίστοιχα.

Υπολογισμοί (παρασκευή 10 mL διαλύματος 0,4 M): _____

$$V_2 = \text{___ mL}$$

Υπολογισμοί (παρασκευή 10 mL διαλύματος 0,6 M): _____

$$V_3 = \text{___ mL}$$

Υπολογισμοί (παρασκευή 10 mL διαλύματος 0,8 M): _____

$$V_4 = \text{___ mL}$$

Πείραμα 2: Μέτρηση της μεταβολής της θερμοκρασίας του χημικού συστήματος, κατά την εξουδετέρωση διαλύματος HCl από διάλυμα NaOH

1. Μετράμε τη θερμοκρασία θ_1 του διαλύματος HCl 0,2 M, στον 1^ο δοκιμαστικό σωλήνα και καταχωρούμε την τιμή της στον Πίνακα Μετρήσεων A.
2. Μετράμε με τον ογκομετρικό κύλινδρο 5 mL διαλύματος NaOH 0,2 M και το ρίχνουμε μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα. Παρακολουθούμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας του διαλύματος που προκύπτει, αναδεύοντας διαρκώς. Καταγράφουμε στον Πίνακα Μετρήσεων A τη **μέγιστη** τιμή της ένδειξης του θερμόμετρου (θ_2).
Τοποθετούμε το δοκιμαστικό σωλήνα στη θέση του, **χωρίς να τον αδειάσουμε**. Ξεπλένουμε και στεγνώνουμε τον ογκομετρικό κύλινδρο.
3. Επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο βήμα για τα υπόλοιπα διαλύματα: 5mL HCl 0,4 M + 5mL NaOH 0,4 M, 5mL HCl 0,6 M + 5mL NaOH 0,6 M, 5mL HCl 0,8 M + 5mL NaOH 0,8 M και **συμπληρώνουμε τα αντίστοιχα κελιά του Πίνακα Μετρήσεων A**.

Πειραματικό γράφημα της σχέσης 6 - Μέτρηση του ΔH_0

4. Συμπληρώνουμε όλα τα κελιά του Πίνακα Μετρήσεων A.
Στο μιλιμετρέ χαρτί σχεδιάζουμε σύστημα ορθογωνίων αξόνων. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετούμε τις τιμές της συγκέντρωσης C των ιόντων του τελικού διαλύματος και στον κατακόρυφο τις τιμές του $\Delta\theta$, επιλέγοντας κατάλληλες κλίμακες. Στο επίπεδο των δύο αξόνων τοποθετούμε τα πειραματικά σημεία, σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα Μετρήσεων A.
Σχεδιάζουμε ευθεία **διερχόμενη από το μηδέν**, έτσι ώστε να περνάει όσο το δυνατόν πλησιέστερα από το σύνολο των σημείων.
5. Υπολογίζουμε την κλίση της πειραματικής ευθείας και από αυτήν, την τιμή της ενθαλπίας εξουδετέρωσης ΔH_0 (σχέση 6).

Υπολογισμοί: _____

Κλίση (κ) πειραματικής ευθείας: $\kappa = \text{_____}$

$$\Delta H_0 = \text{_____ KJ/mol}$$

Πείραμα 3: Μελέτη της αγωγιμότητας σ διαλύματος NaCl σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση (C) των ιόντων του

1. Μετράμε την αγωγιμότητα των τεσσάρων διαλυμάτων NaCl που έχουμε στους δοκιμαστικούς σωλήνες 1, 2, 3 και 4: Συνθέτουμε το κύκλωμα που εικονίζεται στο σχήμα 1. Βυθίζοντας τα δύο ηλεκτρόδια διαδοχικά σε κάθε διάλυμα, μετράμε το ρεύμα I που διέρχεται από αυτό και την τάση U μεταξύ των ηλεκτροδίων. Υπολογίζουμε την αγωγιμότητα σ κάθε διαλύματος από το πηλίκο I/U (σχέση 7):

$$\sigma = \frac{I}{U}$$

Μετά από κάθε μέτρηση, σκουπίζουμε τα ηλεκτρόδια με χαρτί κουζίνας. Καταχωρούμε τις μετρήσεις μας στον Πίνακα Μετρήσεων Β και συμπληρώνουμε όλα τα κελιά του.

Πειραματικό γράφημα της σχέσης 8 - Μέτρηση της συγκέντρωσης ιόντων «άγνωστου» διαλύματος NaCl

2. Στο μιλιμετρέ χαρτί σχεδιάζουμε σύστημα ορθογωνίων αξόνων. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετούμε τις τιμές της συγκέντρωσης C των ιόντων του διαλύματος NaCl και στον κατακόρυφο τις τιμές του σ , επιλέγοντας κατάλληλες κλίμακες. Στο επίπεδο των δύο αξόνων τοποθετούμε τα πειραματικά σημεία, σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα Μετρήσεων Β.

Σχεδιάζουμε ευθεία έτσι ώστε να περνάει όσο το δυνατόν πλησιέστερα από το σύνολο των σημείων (η ευθεία δεν περνάει κατ' ανάγκη από την αρχή των αξόνων). Από την κλίση της υπολογίζουμε τη σταθερά λ της σχέσης 8 και από το σημείο τομής της με τον άξονα σ , τη σταθερά σ_0 :

Υπολογισμοί: _____

$\lambda =$ _____ $\sigma_0 =$ _____

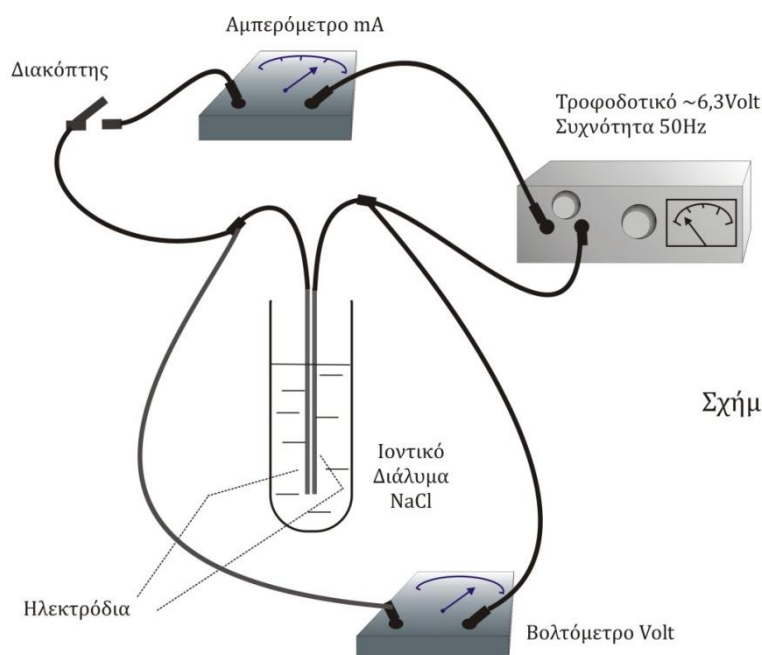
Η εξίσωση της πειραματικής ευθείας γράφεται:

3. Στον πέμπτο δοκιμαστικό σωλήνα (X) υπάρχουν 10 mL διαλύματος NaCl άγνωστης συγκέντρωσης C'. Μετράμε την αγωγιμότητά του και με βάση το πειραματικό γράφημα αγωγιμότητας (σ) - συγκέντρωσης (C), υπολογίζουμε τη συγκέντρωση ιόντων του διαλύματος: Η αγωγιμότητα του «άγνωστου» διαλύματος NaCl είναι:

$\sigma_{\text{αγν.}} =$ _____ **mMho**

Η συγκέντρωση ιόντων του «άγνωστου» διαλύματος NaCl είναι:

$C_{\text{αγν.}} =$ _____ **M**



Σχήμα 1

Ερωτήσεις

1. Η τιμή της ενθαλπίας εξουδετέρωσης που υπολογίσαμε κατά την πειραματική διαδικασία διαφέρει **σημαντικά** από την τιμή 57,1 KJ/mol, που λαμβάνουμε από τη βιβλιογραφία. Ποια είναι **η κύρια αιτία** (ή **κύριες αιτίες**), στην οποία (ή στις οποίες) οφείλεται αυτή η σημαντική διαφορά;
 - a. Η διαφορά αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο, σε σφάλματα κατά τη διαδικασία παρασκευής των διαλυμάτων. **ΣΩΣΤΗ - ΛΑΘΟΣ**
 - b. Η διαφορά αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο, σε θερμικές απώλειες κατά τη μέτρηση της θερμοκρασίας του διαλύματος: Ένα μέρος της θερμότητας που εκλύεται κατά την εξουδετέρωση διαχέεται στο περιβάλλον. **ΣΩΣΤΗ - ΛΑΘΟΣ**
 - c. Η διαφορά αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο, σε σφάλματα κατά την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων: στο σχεδιασμό της πειραματικής ευθείας Δθ-C και στον υπολογισμό της κλίσης της. **ΣΩΣΤΗ - ΛΑΘΟΣ**
 - d. Η χημική θερμοδυναμική θεωρία, με βάση την οποία έγινε ο σχεδιασμός του πειράματος 1 δεν περιγράφει με την απαιτούμενη ακρίβεια το φαινόμενο που μελετάμε. **ΣΩΣΤΗ - ΛΑΘΟΣ**
 - e. Η διαφορά των δύο τιμών οφείλεται κατά κύριο λόγο σε τυχαία σφάλματα κατά τη λειτουργία της πειραματικής διάταξης και στη χρήση των οργάνων μέτρησης. **ΣΩΣΤΗ - ΛΑΘΟΣ**

2. Από το γράφημα του πειράματος 3, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όταν **αυξάνουμε τη συγκέντρωση** του διαλύματος NaCl, τότε **αυξάνει** η αγωγιμότητας του διαλύματος. Δώστε μια **σύντομη** θεωρητική εξήγηση αυτού του πειραματικού συμπεράσματος.

3. (A) Από την πειραματική διαδικασία διαπιστώσατε ότι η εξουδετέρωση διαλύματος NaOH από διάλυμα HCL είναι μια εξώθερμη ή μια ενδόθερμη αντίδραση; (Αιτιολογήστε την απάντηση)
(B) Εξηγήστε στη γλώσσα της ενέργειας αυτό το πειραματικό δεδομένο.

(A) _____

(B) _____

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ Α			
C mol/L	θ1 °C	θ2 °C	Δθ=θ2-θ1 °C
0,0	-	-	0
0,2			
0,4			
0,6			
0,8			

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ Β			
C mol/L	U Volt	I mA	σ=I/U mMho
0,2			
0,4			
0,6			
0,8			

Αξιολόγηση της άσκησης

Εργαστηριακή θέση:

Υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου διαλύματος HCl 1M για την παρασκευή των απαιτούμενων διαλυμάτων (1μ για κάθε διάλυμα)	0-4	
Καταγραφή τιμών αρχικής - τελικής θερμοκρασίας και μεταβολής της θερμοκρασίας στον Πίνακα Α (1μ για κάθε στήλη). Μουτζούρες: -1μ. Μονάδες δίπλα στις αριθμητικές τιμές: -1μ	0-3	
Έλεγχος των τιμών των Δθ, με βάση πρότυπες τιμές: 2μ ανά κελί, για απόκλιση $\sigma < 10\%$. 1μ για $10\% < \sigma < 20\%$, 0μ για $\sigma > 20\%$	0-8	
Επιλογή κλίμακας στους άξονες του πρώτου γραφήματος: 1μ για κάθε άξονα. Αναγραφή μεγεθών και μονάδων στους άξονες: 1μ για κάθε άξονα.	0-4	
Τοποθέτηση των πειραματικών σημείων στο επίπεδο των αξόνων: 1μ για κάθε σημείο.	0-4	
Σχεδίαση της πειραματικής ευθείας: 2μ	0-2	
Υπολογισμός της κλίσης της πειραματικής ευθείας: 2μ Υπολογισμός της μεταβολής της ενθαλπίας εξουδετέρωσης: 2μ	0-4	
Συναρμολόγηση του κυκλώματος του σχήματος 1: 2μ Σύνδεση και ρύθμιση του αμπερομέτρου: 1μ Σύνδεση και ρύθμιση του βολτόμετρου: 1μ	0-4	
Συμπλήρωση του Πίνακα Β (1μ για κάθε στήλη). Μουτζούρες: -1μ. Μονάδες δίπλα στις αριθμητικές τιμές: -1μ	0-3	
Επιλογή κλίμακας στους άξονες του δεύτερου γραφήματος: 1μ για κάθε άξονα. Αναγραφή μεγεθών και μονάδων στους άξονες: 1μ για κάθε άξονα.	0-4	
Τοποθέτηση των πειραματικών σημείων στο επίπεδο των αξόνων: 1μ για κάθε σημείο.	0-4	
Σχεδίαση της πειραματικής ευθείας: 2μ	0-2	
Υπολογισμός της κλίσης της πειραματικής ευθείας: 2μ Υπολογισμός της σταθεράς σ_0 : 1μ	0-3	
Υπολογισμός της συγκέντρωσης του άγνωστου διαλύματος NaCl: Μέτρηση της αγωγιμότητας: 1μ Υπολογισμός του σ από το γράφημα: 1μ Απόκλιση της πειραματικής τιμής από την τιμή του παρασκευάσματος ($C=0,5M$): 4μ για $0 < C_{\text{πειρ.}} - C < 0,1$. 3μ για $0,1 < C_{\text{πειρ.}} - C < 0,15$. 2μ για $0,15 < C_{\text{πειρ.}} - C < 0,2$. 1μ για $0,2 < C_{\text{πειρ.}} - C < 0,25$. 0μ για $0,25 < C_{\text{πειρ.}} - C $	0-6	
Ερώτηση 1: 0-1μ ανά επιλογή.	0-5	
Ερώτηση 2	0-5	
Ερώτηση 3: Α: 0-2,5μ. Β: 0-2,5μ	0-5	
Σύνολο μονάδων M	0-70	
Αναγωγή στα 100: $M' = M \times 100 / 70$	0-100	