

Εργαστήριο Γενικής και Ανόργανης Χημείας

Εργαστηριακή Άσκηση 3: Μέτρηση pH

Ματιάδης Δημήτρης
Χημικός

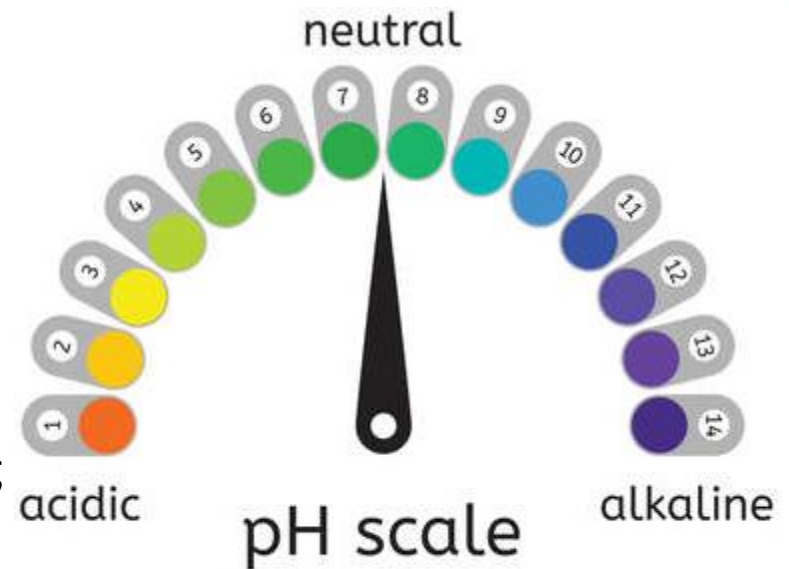
Η παρουσίαση που ακολουθεί προορίζεται για συμπληρωματικό ενημερωτικό υλικό των φοιτητών που παρακολούθησαν το εργαστήριο.

Οι εικόνες, η ύλη και το υλικό δεν είναι στο σύνολό τους πρωτότυπα και βασίζονται στις σημειώσεις και σε αρχεία που είναι ανεβασμένα στο eclass του μαθήματος και/ή στο διαδίκτυο.

Στόχοι εργαστηριακής άσκησης

Μετά την ολοκλήρωση του μαθήματος θα είστε σε θέση να γνωρίζετε:

- ✓ Την έννοια του pH - παραδείγματα
- ✓ Τις μεθόδους μέτρησής του
- ✓ Πώς να πραγματοποιείτε μετρήσεις pH στο εργαστήριο
- ✓ Πώς να επιλέγετε σωστά τη μέθοδο μέτρησης που θα χρησιμοποιήσετε



Έννοια pH – Παραδείγματα

- **pH:** Κύρια έκφραση οξύτητας υδατικού διαλύματος, δηλαδή της συγκέντρωσης των ιόντων H^+ ή κατιόντων υδροξωνίου H_3O^+
- **Ουδέτερο διάλυμα** $pH = 7$, **όξινο** $pH < 7$, **βασικό (αλκαλικό)** $pH > 7$. Τιμές κατά κανόνα: 1-14.

Εισαγωγή:

- **Αυτοϊοντισμός νερού**



ή



- Από το νόμο της χημικής ισορροπίας προκύπτει

$$K_w = [H^+] [OH^-] = 10^{-14} \text{ M}$$

$$\text{Άρα, } [H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ M}$$

Έννοια pH – Παραδείγματα

- $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ M} \rightarrow$ ουδέτερο διάλυμα
- $[H^+] > [OH^-] \rightarrow$ όξινο διάλυμα
- $[H^+] < [OH^-] \rightarrow$ βασικό διάλυμα

- Σε υδατικό διάλυμα **HCl 0.1 M (ισχυρό οξύ)**, ισχύει:



0.1 M

0.1M 0.1 M

Άρα, $[H^+] = 0.1 \text{ M}$ ή 10^{-1}M

Έννοια pH – Παραδείγματα

- $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ πχ αν $[\text{H}^+] = 10^{-3}\text{M} \rightarrow \text{pH} = 3$
- Αντίστοιχα, ισχύει $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$ πχ αν $[\text{OH}^-] = 10^{-2}\text{M} \rightarrow \text{pOH} = 2$
- $K_w = 10^{-14} \Rightarrow [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \Rightarrow \text{pH} + \text{pOH} = 14$ (αραιά υδατικά διαλύματα, 25 °C)

Έννοια pH – Παραδείγματα

- $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ πχ αν $[\text{H}^+] = 10^{-3}\text{M} \rightarrow \text{pH} = 3$
- Αντίστοιχα, ισχύει $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$ πχ αν $[\text{OH}^-] = 10^{-2}\text{M} \rightarrow \text{pOH} = 2$
- $K_w = 10^{-14} \Rightarrow [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \Rightarrow \text{pH} + \text{pOH} = 14$ (αραιά υδατικά διαλύματα, 25 °C)

Στο προηγούμενο παράδειγμα:

- Σε υδατικό διάλυμα **HCl 0.1 M (ισχυρό οξύ)**, ισχύει:



0.1 M

0.1M 0.1 M

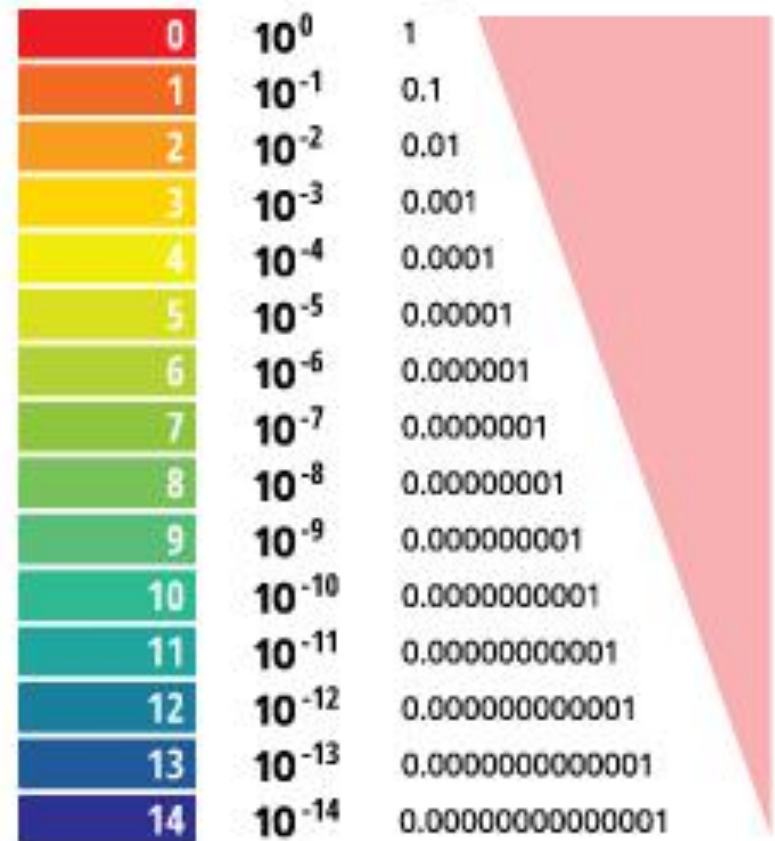
Άρα, $[\text{H}^+] = 0.1 \text{ M}$ ή $10^{-1}\text{M} \Rightarrow \text{pH} = 1$

Και $\text{pOH} = 14 - \text{pH} \Rightarrow \text{pOH} = 13$

Έννοια pH – Παραδείγματα

- Με αύξηση θερμοκρασίας \rightarrow pK_a μειώνεται (βλ. φυλλάδιο)
- Η συγκέντρωση ιόντων $[H^+]$ ή $[OH^-]$ περιέχει κατά κανόνα εκθετικό μέρος \rightarrow λόγος που εισήχθη η έννοια του pH

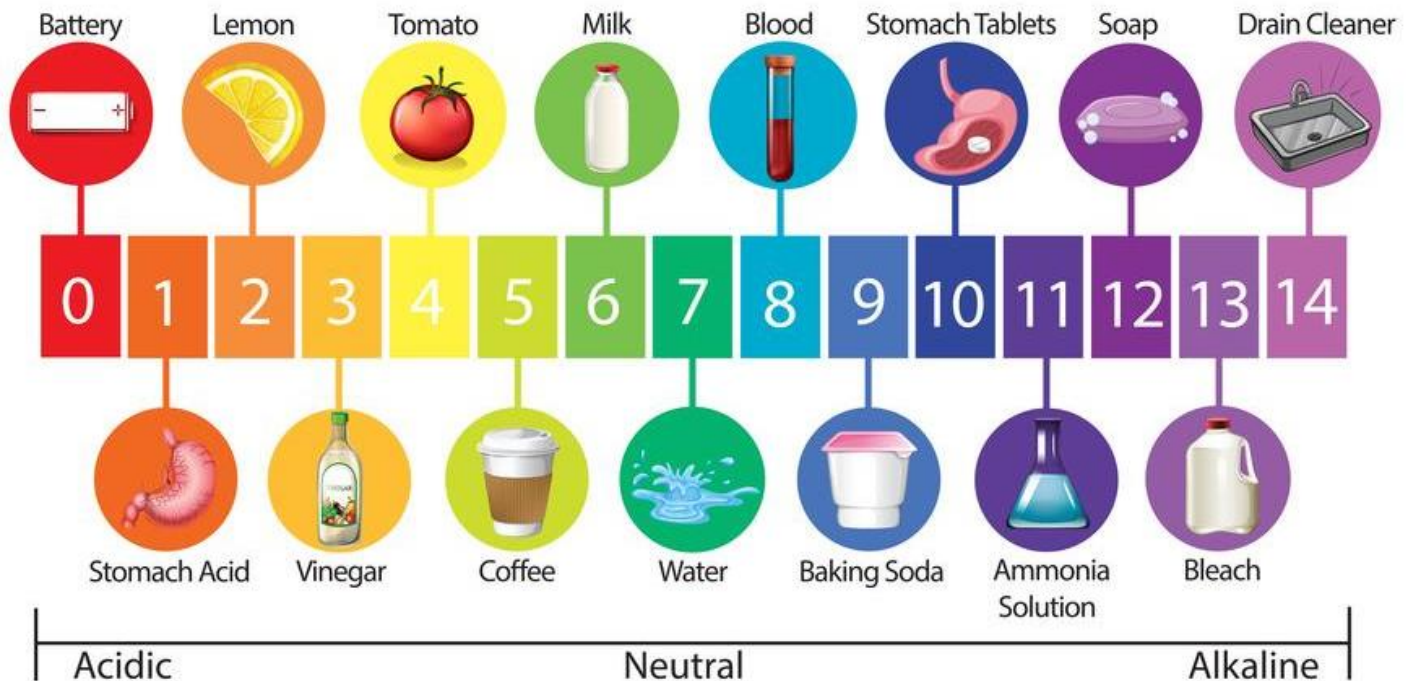
$$pH = -\log [H^+]$$



Έννοια pH – Παραδείγματα

- Επιπλέον παραδείγματα: Coca cola, pH = 2.5 → “fake news”
- Πόσιμο νερό, pH = 6.5-9.5 (Αθήνας, pH = 7.7)
- Νερό → παραμονή στην ατμόσφαιρα → διάλυση CO₂ → σχηματισμός H₂CO₃ → όξινο pH (<7)

The pH Scale



Ασθενή οξέα - βάσεις

- Ασθενές οξύ (πχ CH_3COOH)



$$\text{Σταθερά ιοντισμού: } K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Μεγάλη τιμή $K_a \rightarrow$ μικρή τιμή $pK_a \rightarrow$ ισχυρότερο οξύ

Ασθενή οξέα - βάσεις

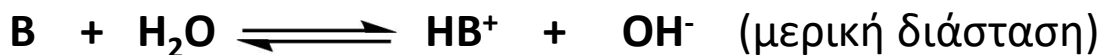
- Ασθενές οξύ (πχ CH_3COOH)



$$\text{Σταθερά ιοντισμού: } K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Μεγάλη τιμή $K_a \rightarrow$ μικρή τιμή $pK_a \rightarrow$ ισχυρότερο οξύ

- Ασθενής βάση (πχ NH_3)



$$\text{Σταθερά ιοντισμού: } K_b = \frac{[\text{HB}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} \quad (\text{δε μπαίνει το νερό στις εξισώσεις})$$

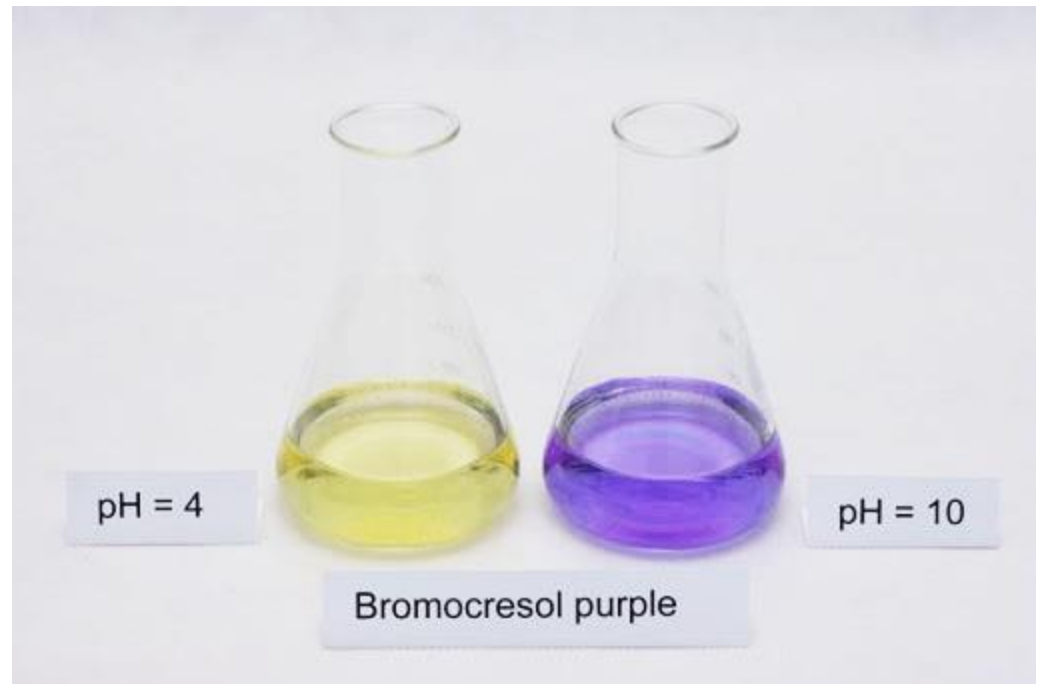
Μεγάλη τιμή $K_b \rightarrow$ μικρή τιμή $pK_b \rightarrow$ ισχυρότερο οξύ

- Ισχύει $pK_a + pK_b = 14$

Μέτρηση pH

Γίνεται με τρεις τρόπους:

1. Με δείκτες



Μέτρηση pH

Γίνεται με τρεις τρόπους:

1. Με δείκτες
2. Με pHμετρικό χαρτί



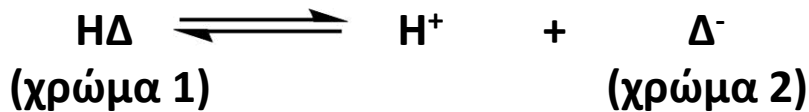
Μέτρηση pH

Γίνεται με τρεις τρόπους:

1. Με δείκτες
2. Με pHμετρικό χαρτί
3. Με pH-μετρο



- Ασθενή οργανικά οξέα ή βάσεις



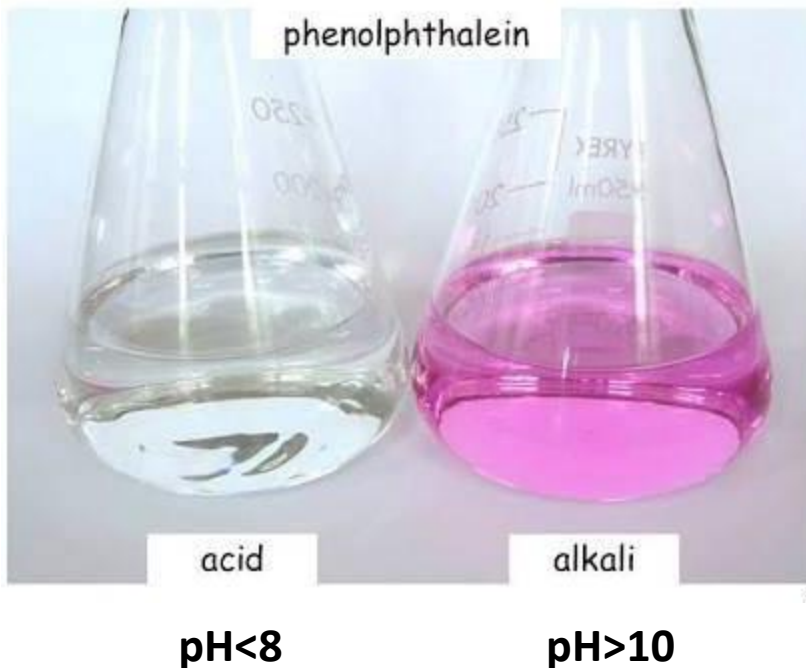
Ισχύει:

$$K_{\text{H}\Delta} = \frac{[\text{H}^+][\Delta^-]}{[\text{H}\Delta]} \Rightarrow \text{p}K_{\text{H}\Delta} = \text{pH} - \log \frac{[\Delta^-]}{[\text{H}\Delta]} \Rightarrow \boxed{\text{pH} = \text{p}K_{\text{H}\Delta} - \log \frac{[\text{H}\Delta]}{[\Delta^-]}}$$

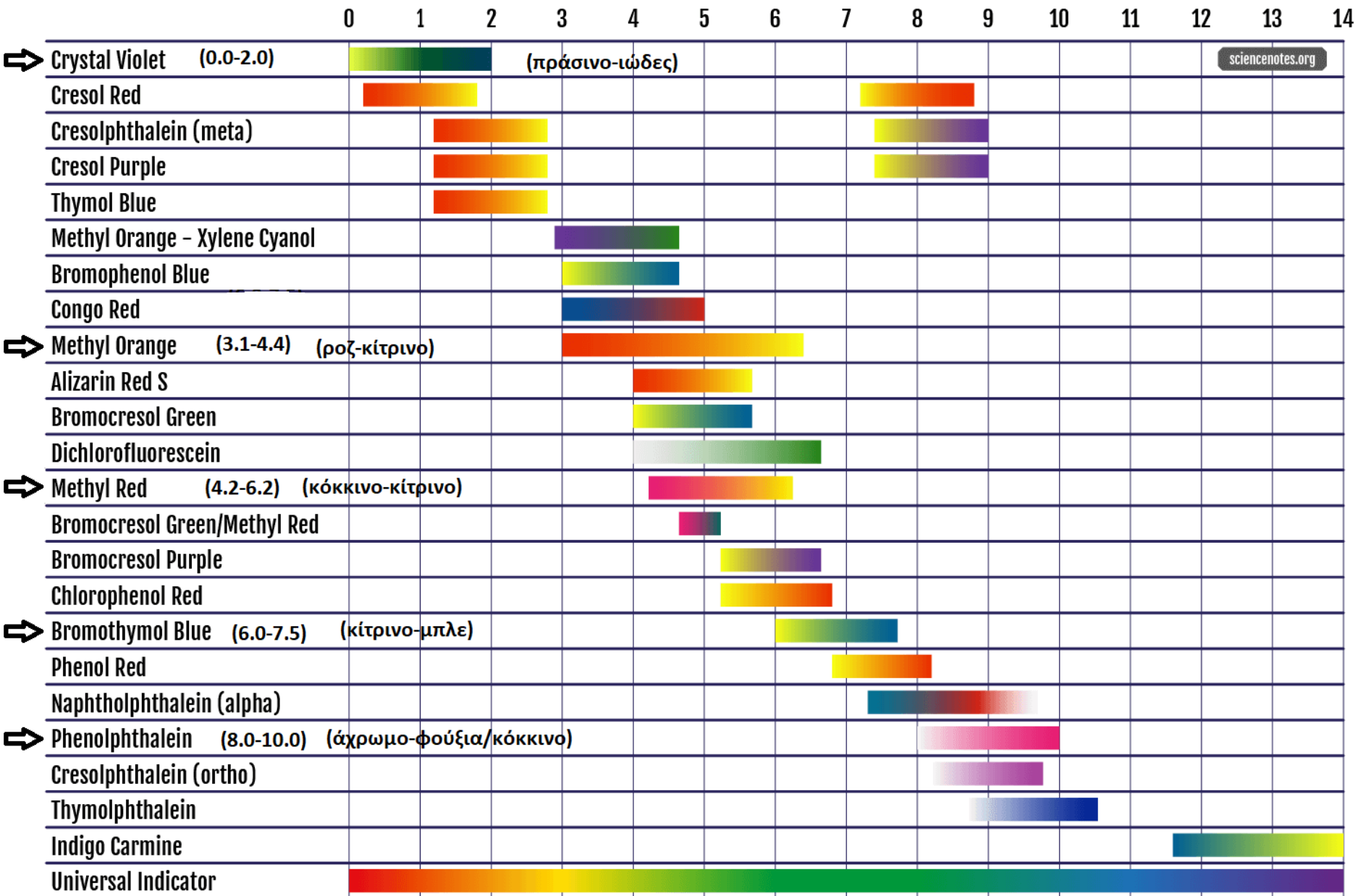
- Ισχύει ότι το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται το χρώμα 1 όταν ισχύει $\frac{[\text{H}\Delta]}{[\Delta^-]} = 10$
- Άρα $\text{pH} = \text{p}K_{\text{H}\Delta} - 1$, δηλαδή **υπερισχύει το χρώμα 1, όταν $\text{pH} \leq \text{p}K_{\text{H}\Delta} - 1$**
- Αντίστοιχα για το χρώμα 2, όταν $\text{pH} \geq \text{p}K_{\text{H}\Delta} + 1$
- Ενδιάμεση περιοχή \rightarrow ενδιάμεσα χρώματα (περιοχή μετάπτωσης)

Παράδειγμα

- Η φαινολοφθαλείνη είναι ο πιο διαδεδομένος δείκτης.
- Έχει **περιοχή μετάπτωσης 8-10** (χρώμα 1: άχρωμο, χρώμα 2: κόκκινο)
- Σε διάλυμα με $\text{pH} < 8$ αν προσθέσουμε 1-2 σταγόνες δείκτη παραμένει άχρωμο
- Σε $\text{pH} > 10$, χρωματίζεται κόκκινο-ροζ το διάλυμα



Δείκτες



sciencenotes.org

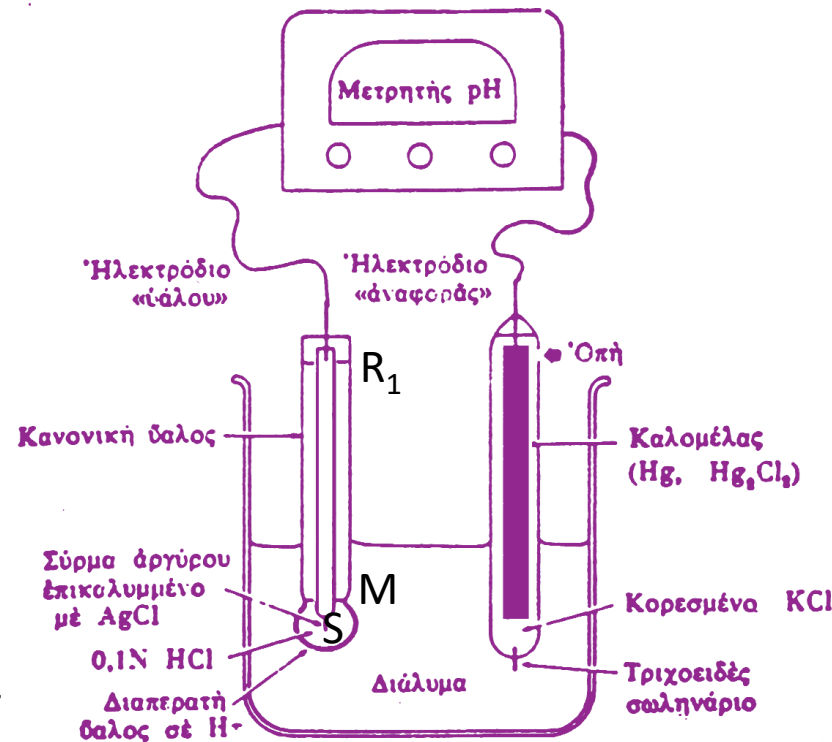
ρΗ-μετρικό χαρτί

- Εφαρμόζονται **απευθείας** στο διάλυμα
- Ακρίβεια μέτρησης ± 0.5 μονάδες
- ρΗ 0-14, αλλά υπάρχουν και ταινίες για πιο στενές περιοχές τιμών
- <https://www.youtube.com/watch?v=3yfiHGIG6fE>



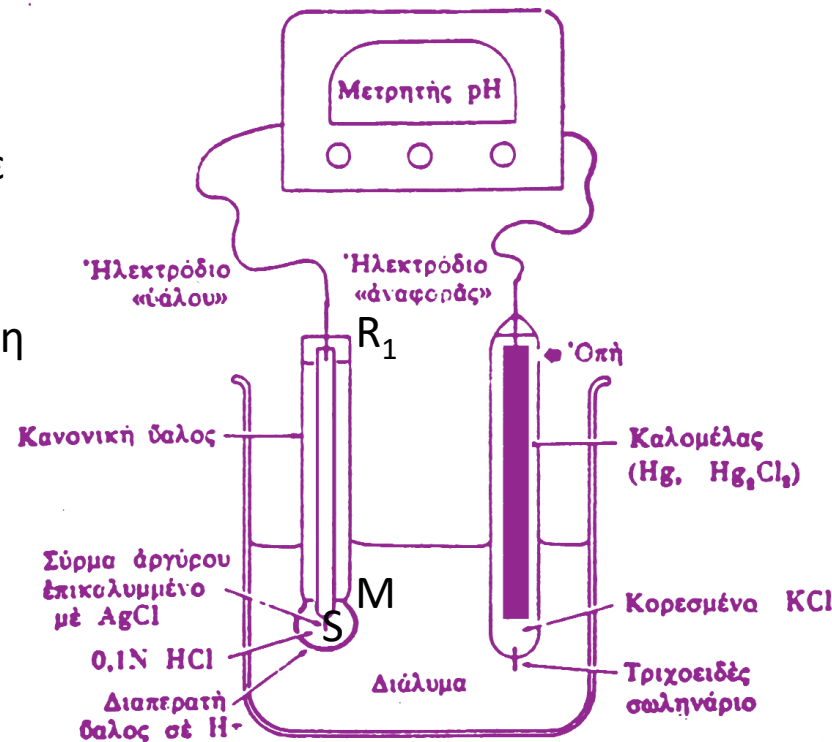
pH-μετρο

- Ηλεκτρομετρική μέθοδος
- Αποτελούνται από ενδεικτικό ηλεκτρόδιο υάλου (μέτρησης), ηλεκτρόδιο αναφοράς και ειδική συσκευή μέτρησης
- Ηλεκτρόδιο μέτρησης: Εσωτερικό ηλεκτρόδιο μόνιμα βυθισμένο σε διάλυμα S σταθερής $[H^+]$
- Διάλυμα S περιέχεται σε λεπτή μεμβράνη M από ειδικό γυαλί
- Όταν βυθίζεται σε διάλυμα αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού – συνάρτηση της διαφοράς στη $[H^+]$



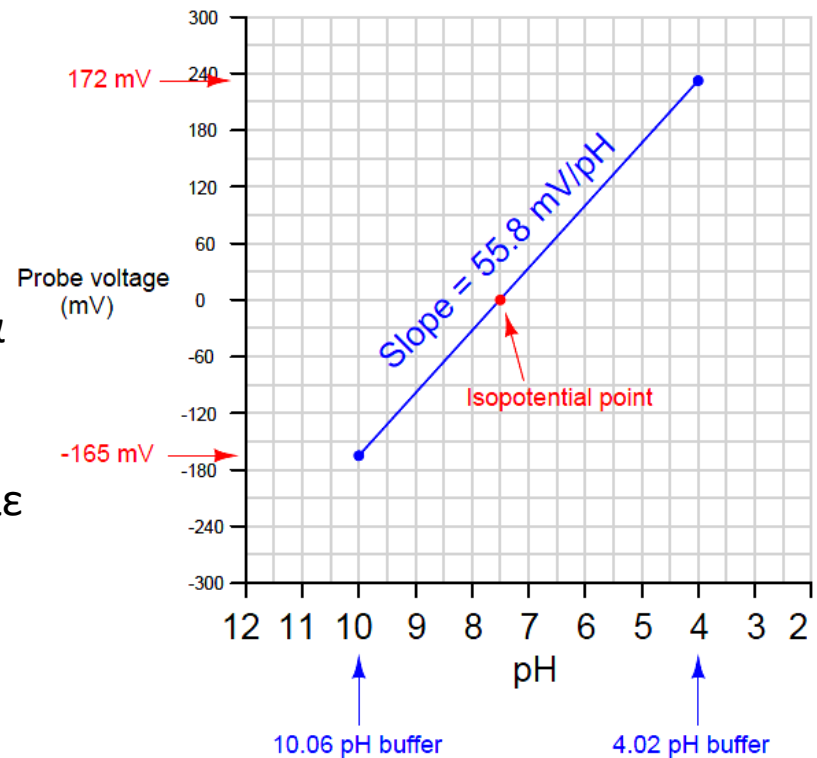
pH-μετρο

- Ηλεκτρόδιο αναφοράς: Συμπλήρωση ηλεκτροχημικού στοιχείου
- Τα δύο ηλεκτρόδια συνήθως είναι συνδυασμένα σε ένα. (συνδυασμένο ηλεκτρόδιο)
- Συνδέονται με το pH-μετρο που μετατρέπει την τάση που αναπτύσσεται στα άκρα των ηλεκτροδίων σε μονάδες pH.



pH-μετρο

- Για να γίνει μέτρηση, κάνουμε:
- α) αντιστάθμιση θερμοκρασίας. Ρύθμιση θερμοκρασίας οργάνου στη θερμοκρασία διαλύματος
- β) Ρύθμιση μηδενός με εμφάπτιση σε διάλυμα με pH 7
- γ) Ρύθμιση κλίσης με εμφάπτιση σε διάλυμα με pH 4 ή 10 (για όξινη ή αλκαλική περιοχή)



Πειραματικό Μέρος

- Θα μετρήσουμε δείκτες (τους 5 διαθέσιμους) και pH-μετρικά χαρτιά για να προσδιορίσουμε το pH δύο γνωστών διαλυμάτων.
- Τα δύο γνωστά είναι ένα διάλυμα HCl 0.1 M (α) και NaOH 0.1 M (β).
- (α) μεταφέρουμε μία ποσότητα 2-3 mL του διαλύματος σε δοκιμαστικούς σωλήνες
- **Στον δοκιμαστικό σωλήνα 1** προσθέτουμε 1 σταγόνα φαινολοφθαλεΐνης, στον 2 μπλε της βρωμοθυμόλης, στον 3 κόκκινο του μεθυλίου, στον 4 ηλιανθίνη και στον 5 κρυσταλλικό ιώδες.
- Παίρνουμε τα παρακάτω χρώματα:
- Συμπέρασμα: $0 < \text{pH} < 2$
- pHμετρικό χαρτί: ??

Δοκιμ. σωλήνας	Χρώμα
1	(άχρωμο)
2	κίτρινο
3	κόκκινο
4	ροζ
5	σκούρο μπλε

<https://www.youtube.com/watch?v=XMcyHyWqMIM>

Πειραματικό Μέρος

- Θα μετρήσουμε δείκτες (τους 5 διαθέσιμους) και pH-μετρικά χαρτιά για να προσδιορίσουμε το pH δύο γνωστών διαλυμάτων και δύο αγνώστων
- Τα δύο γνωστά είναι ένα διάλυμα HCl 0.1 M (α) και NaOH 0.1 M (β).
- (β) μεταφέρουμε μία ποσότητα 2-3 mL του διαλύματος σε δοκιμαστικούς σωλήνες
- Στον δοκιμαστικό σωλήνα 1 προσθέτουμε 1 σταγόνα φαινολοφθαλεΐνης, στον 2 μπλε της βρωμοθυμόλης, στον 3 κόκκινο του μεθυλίου, στον 4 ηλιανθίνη και στον 5 κρυσταλλικό ιώδες.
- Παίρνουμε τα παρακάτω χρώματα:
- Συμπέρασμα: $\text{pH} > 10$
- pHμετρικό χαρτί: ??

Δοκιμ. σωλήνας	Χρώμα
1	Μαγenta
2	Σκούρο μπλε
3	Κίτρινο
4	Κίτρινο
5	Σκούρο ιώδες

Άσκηση (δύσκολη) – λυμένη

- (Ερ.) Ποιο είναι το pH διαλύματος HCl 10^{-8} M;

(Απ.) είναι $[H^+] = 10^{-8}$ M, άρα pH = 8;

Άσκηση (δύσκολη) – λυμένη

- (Ερ.) Ποιο είναι το pH διαλύματος HCl 10^{-8} M;

(Απ.) είναι $[H^+] = 10^{-8}$ M, άρα pH = 8;

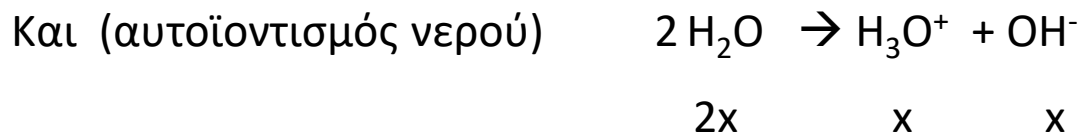
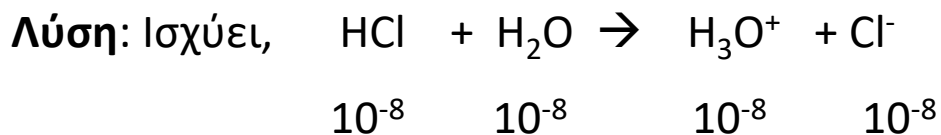
Όχι!!!

Ποτέ, Π-Ο-Τ-Ε δεν μπορεί ένα διάλυμα οξέος να έχει pH πάνω από 7

Άσκηση (δύσκολη) – λυμένη

- (Ερ.) Ποιο είναι το pH διαλύματος HCl 10^{-8} M;

(Απ.) είναι $[H^+] = 10^{-8}$ M, άρα $pH = 8$;



Έχουμε $[H_3O^+][OH^-] = 10^{-14}$

$$\left. \begin{array}{l} [H_3O^+] = x + 10^{-8} \\ [OH^-] = x \end{array} \right\} (x + 10^{-8})x = 10^{-14} \Rightarrow x^2 + 10^{-8}x - 10^{-14} = 0 \Rightarrow x = 9.51 \cdot 10^{-8}$$

Άρα, $[H_3O^+] = 10^{-8} + 9.51 \cdot 10^{-8} \Rightarrow \underline{pH = 6.98}$