

Υδατική Χημεία

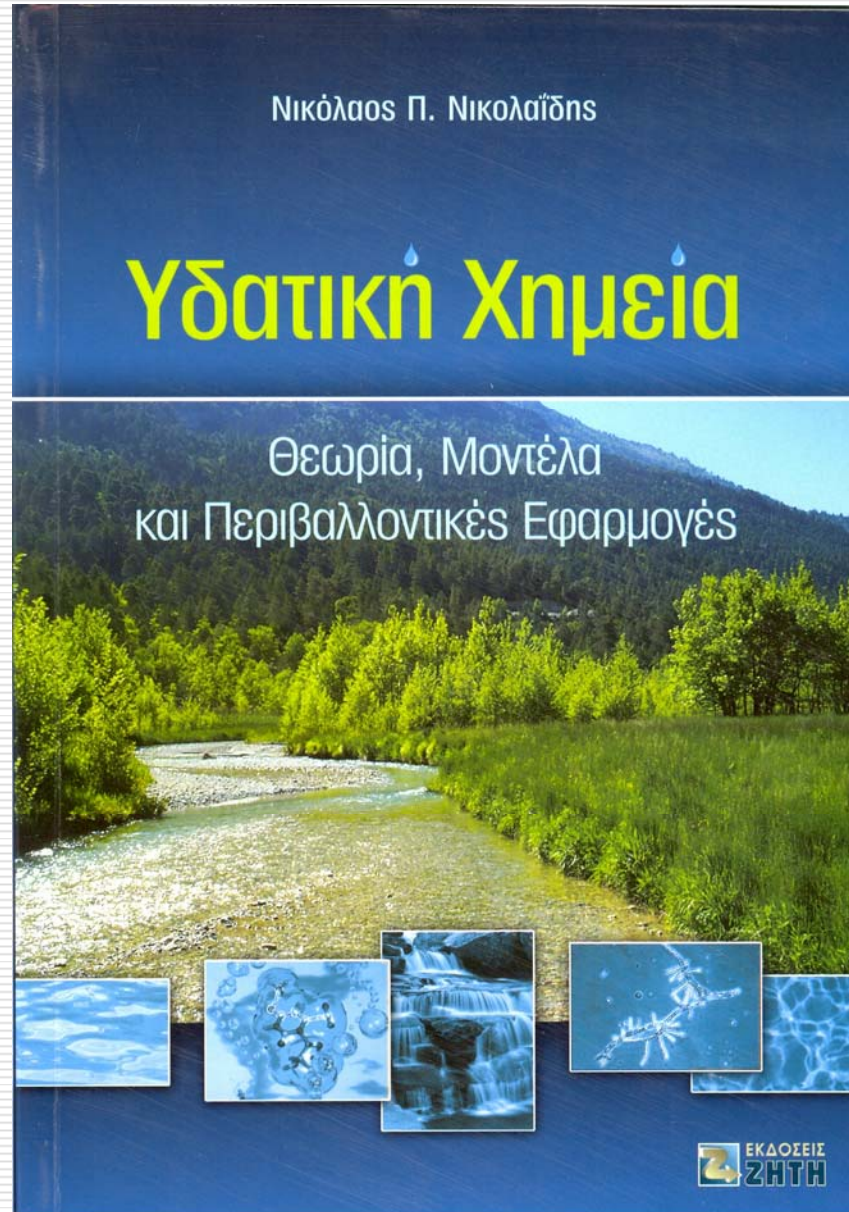
Νίκος Ξεκουκουλωτάκης

Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Γραφείο Κ1.122, τηλ.:28210-37796

e-mail:nikosxek@gmail.com



Άσκηση εμπέδωσης



- Σε κλειστό δοχείο αναμιγνύονται 7 γραμμάρια αζώτου και 1,5 γραμμάρια υδρογόνου σε κατάλληλες συνθήκες ώστε να πραγματοποιηθεί χημική αντίδραση. Να βρεθεί πόσα γραμμάρια αμμωνίας θα σχηματιστούν.

Περίληψη



- Φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού
 - ✓ Δομή και ιδιότητες του νερού
 - ✓ Δεσμός υδρογόνου
- Διαλύματα
 - ✓ Τρόποι έκφρασης της συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας σε διάλυμα
 - ✓ Παραδείγματα και Ασκήσεις



Φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού

Δομή και ιδιότητες του νερού



- Παρόλο που η χημική δομή του νερού είναι απλή, το νερό έχει μοναδικές και αξιοσημείωτες φυσικοχημικές ιδιότητες.
- Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού σχετίζονται άμεσα με τη δομή του.

Σύσταση του νερού



- Το μόριο του νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου.
- Ο χημικός τύπος του νερού είναι H_2O .
- Το υδρογόνο υπάρχει στη φύση σε τρία ισότοπα: 1H (πρώτιο), 2H ή D (δευτέριο) και 3H ή T (τρίτιο).
- Το οξυγόνο υπάρχει στη φύση σε τρία σταθερά ισότοπα: ^{16}O , ^{17}O και ^{18}O .

Σύσταση του νερού

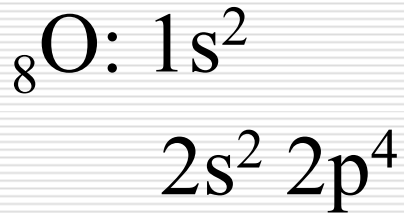


- Από το συνδυασμό των ισοτόπων του υδρογόνου και του οξυγόνου προκύπτουν 18 διαφορετικά μόρια νερού.
- Η ακριβής ισοτοπική αναλογία του φυσικού νερού εξαρτάται από την προέλευση του.
- Εφεξής, ο όρος *νερό* αναφέρεται στο φυσικό μίγμα των διαφόρων ισοτοπικών του μορφών.
- Το μοριακό βάρος του φυσικού μίγματος των ισοτόπων του νερού είναι 18,015 g/mol.

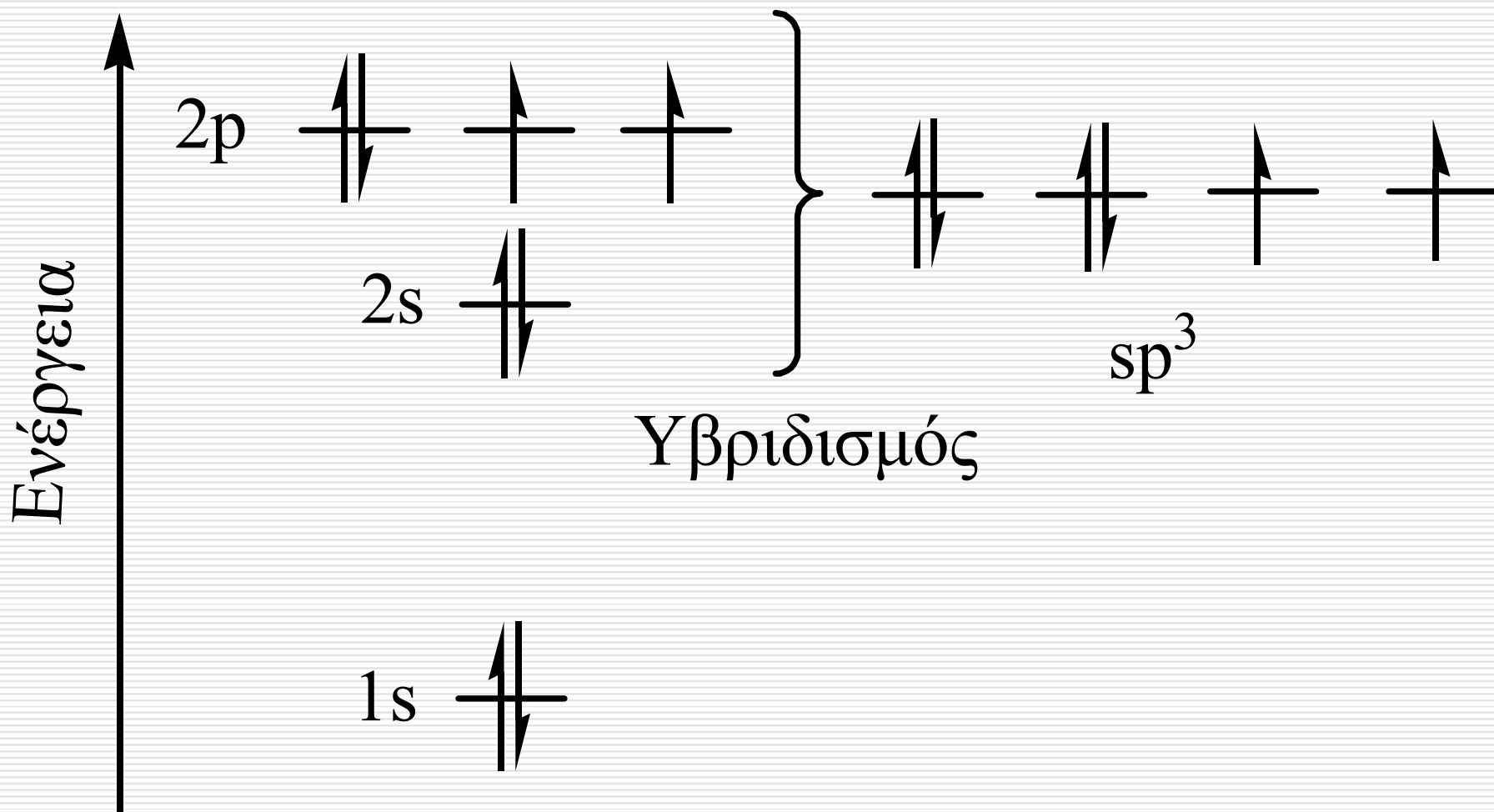
Σχήμα του νερού



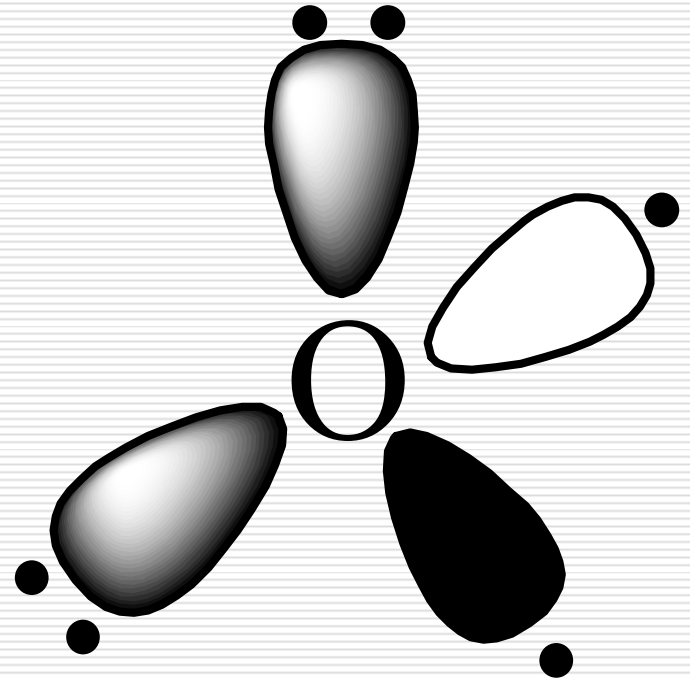
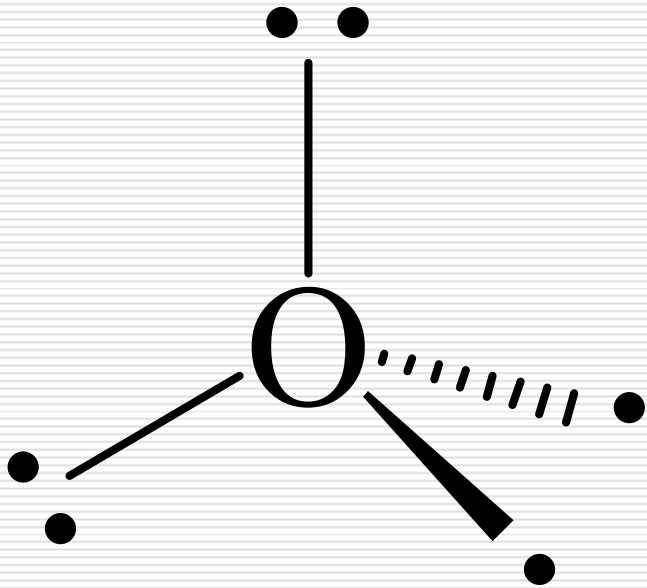
- Ο ατομικός αριθμός (Z) του οξυγόνου είναι 8.
- Κατά συνέπεια το άτομο του οξυγόνου έχει 8 ηλεκτρόνια τα οποία τοποθετούνται σε τροχιακά ως εξής:



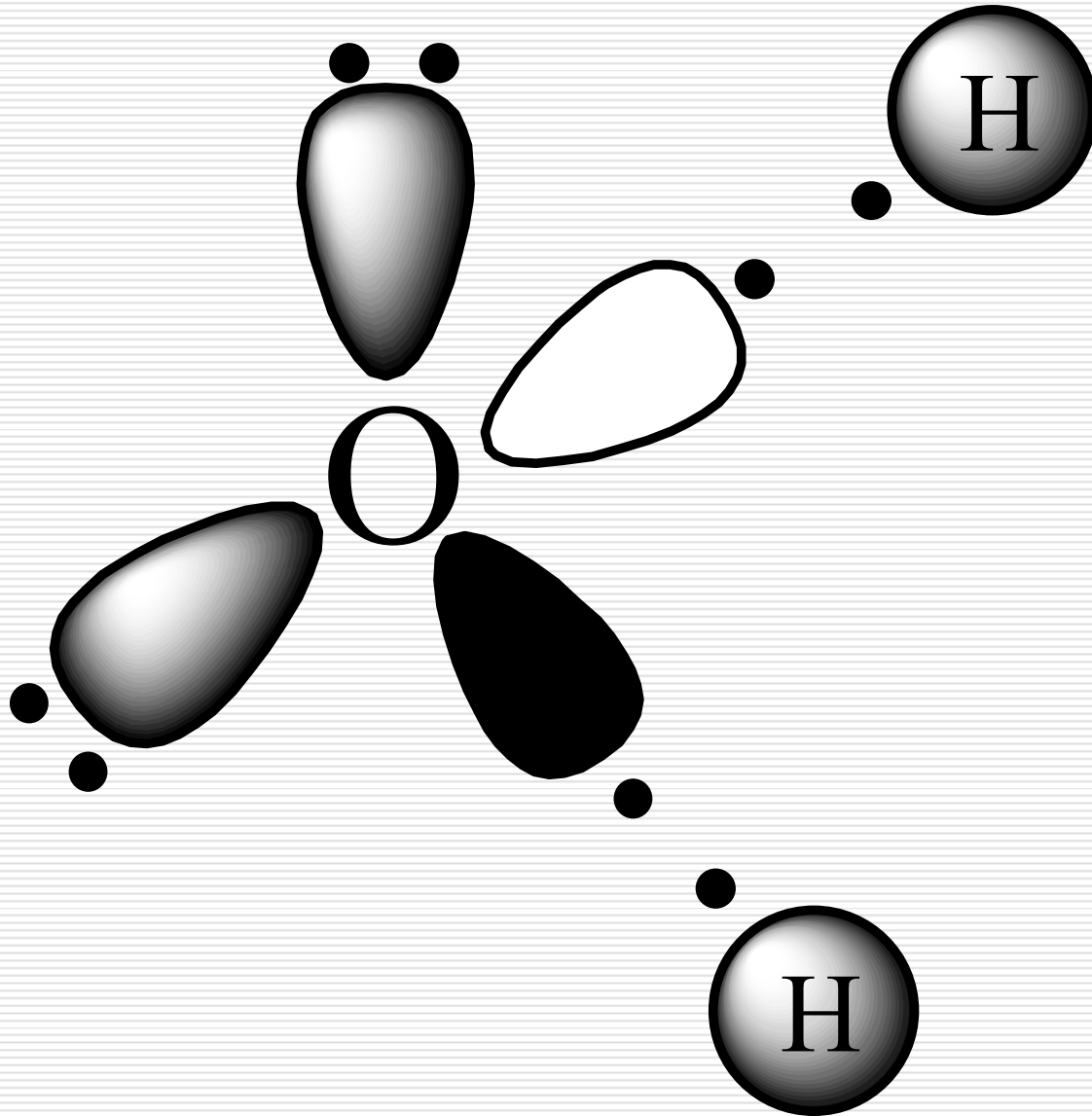
Ενεργειακό διάγραμμα οξυγόνου



Τετραεδρική διάταξη των τροχιακών



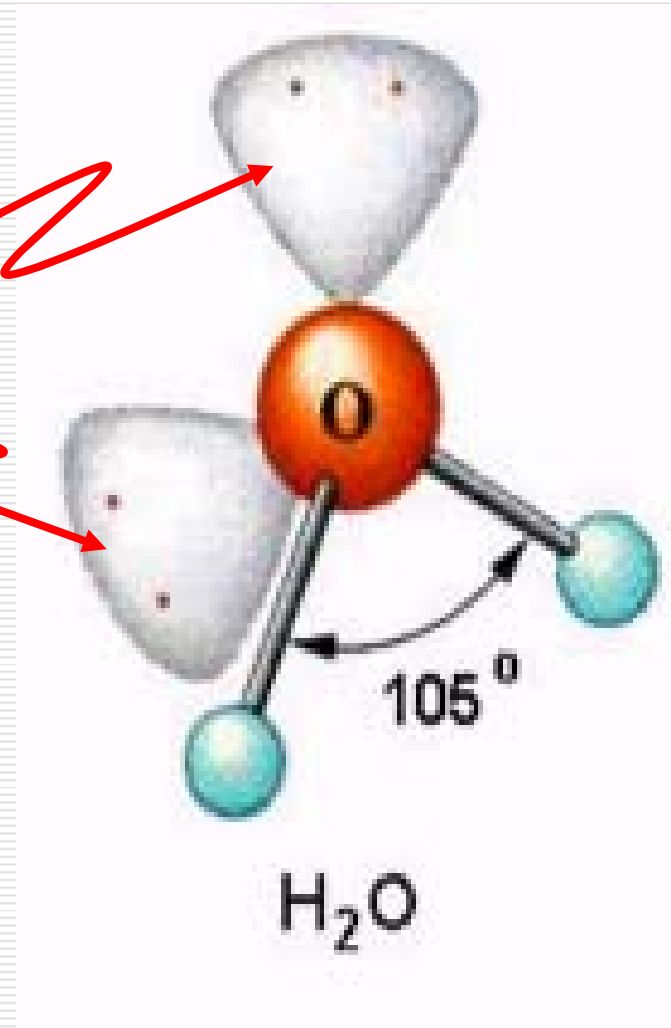
Σχηματισμός ομοιοπολικών δεσμών



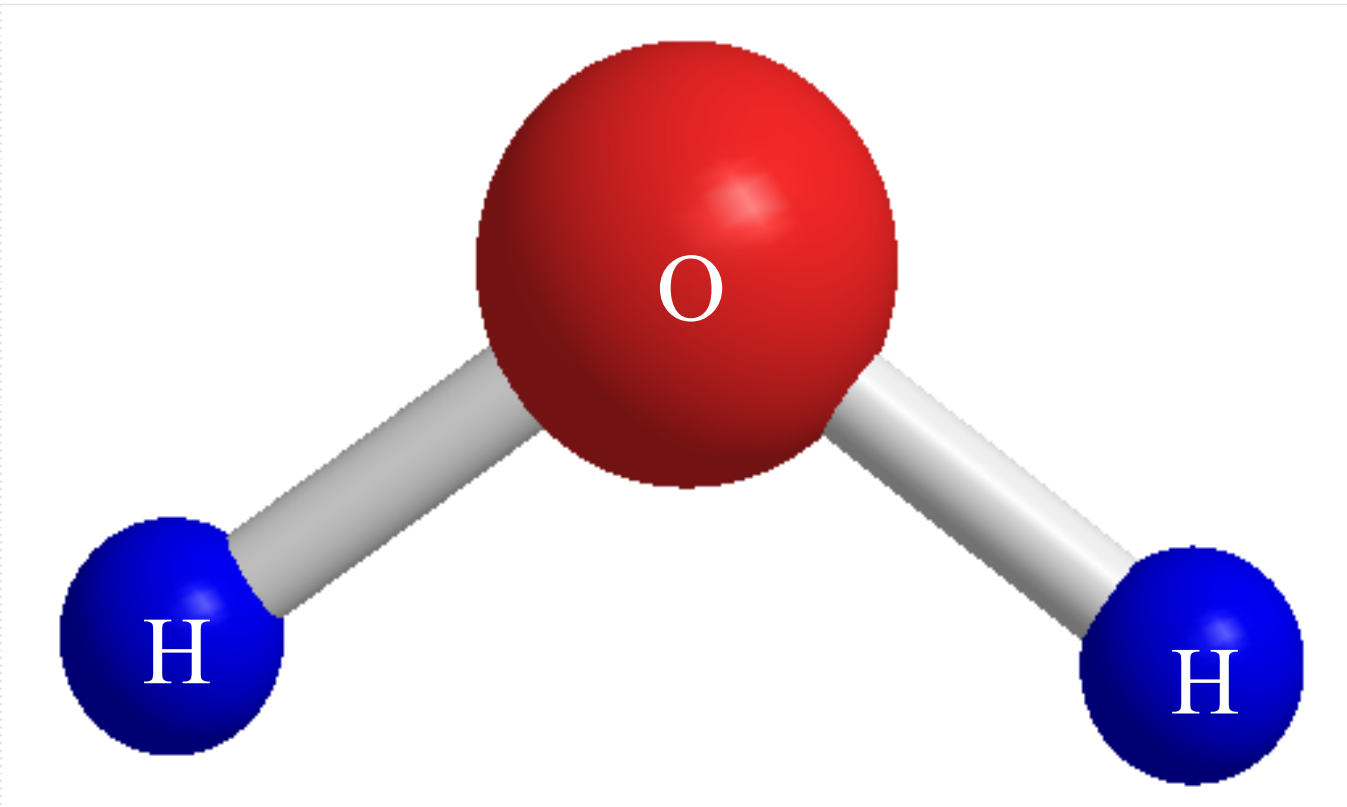
Μόριο νερού



Μη δεσμικά ζεύγη
ηλεκτρονίων



Σχήμα του μορίου του νερού



Το μόριο του νερού έχει σχήμα ισοσκελούς τριγώνου με το οξυγόνο να βρίσκεται στην κορυφή.

Πολικότητα του νερού

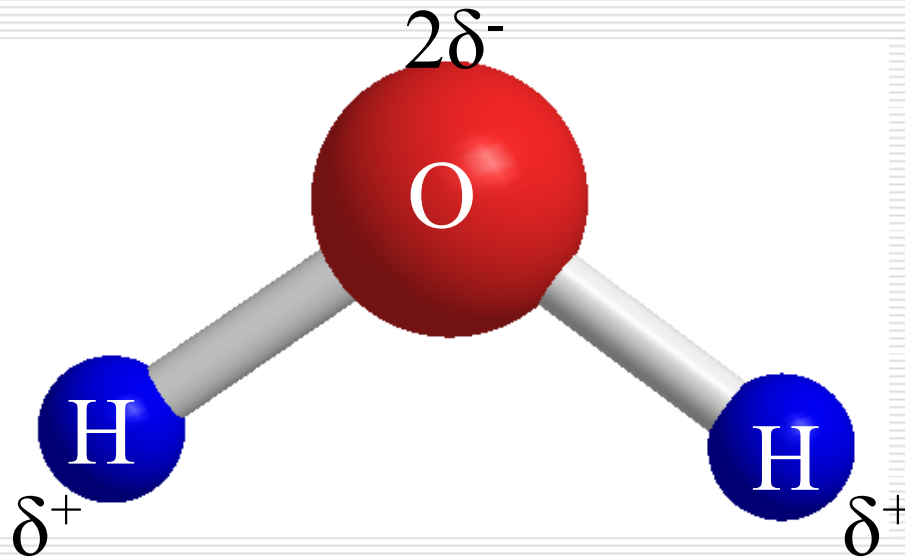


- Λόγω της μεγάλης διαφοράς ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των ατόμων υδρογόνου και οξυγόνου, οι χημικοί δεσμοί στο μόριο του νερού είναι ισχυρά πολωμένοι.
- Το οξυγόνο (3,5) είναι περισσότερο ηλεκτραρνητικό από το υδρογόνο (2,1), κατά συνέπεια έλκει το ζεύγος ηλεκτρονίων του ομοιοπολικού δεσμού προς το μέρος του.

Πολικότητα του νερού



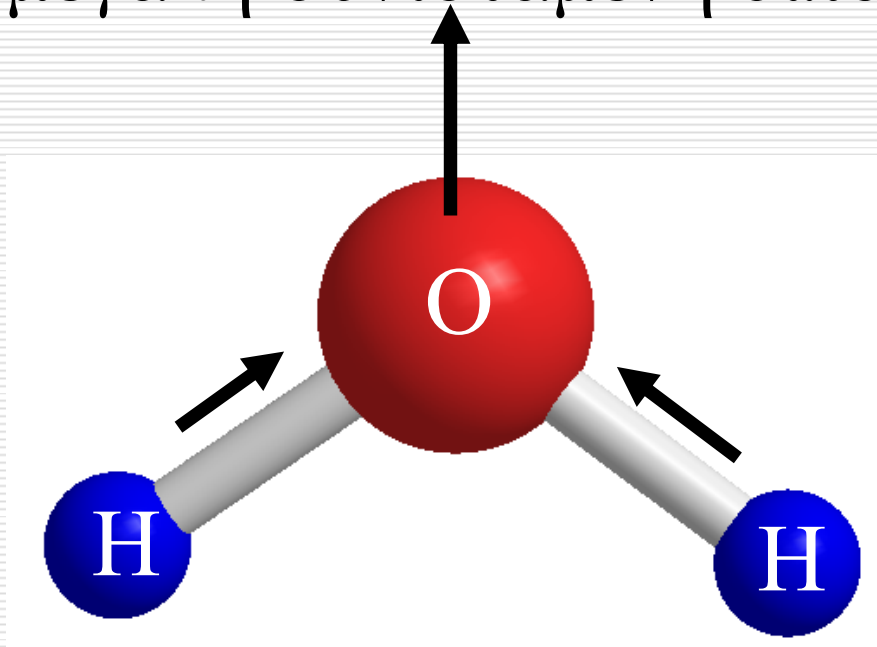
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κλάσματος θετικού φορτίου (δ^+) στα άτομα του υδρογόνου και ισοδύναμου κλάσματος αρνητικού φορτίου ($2\delta^-$) στο άτομο του οξυγόνου



Διπολική ροπή του νερού



- Μέτρο της πολικότητας ενός μορίου είναι η διπολική ροπή, μ (διανυσματικό μέγεθος).
- Λόγω του σχήματος του, το μόριο του νερού εμφανίζει μεγάλη συνισταμένη διπολική ροπή.

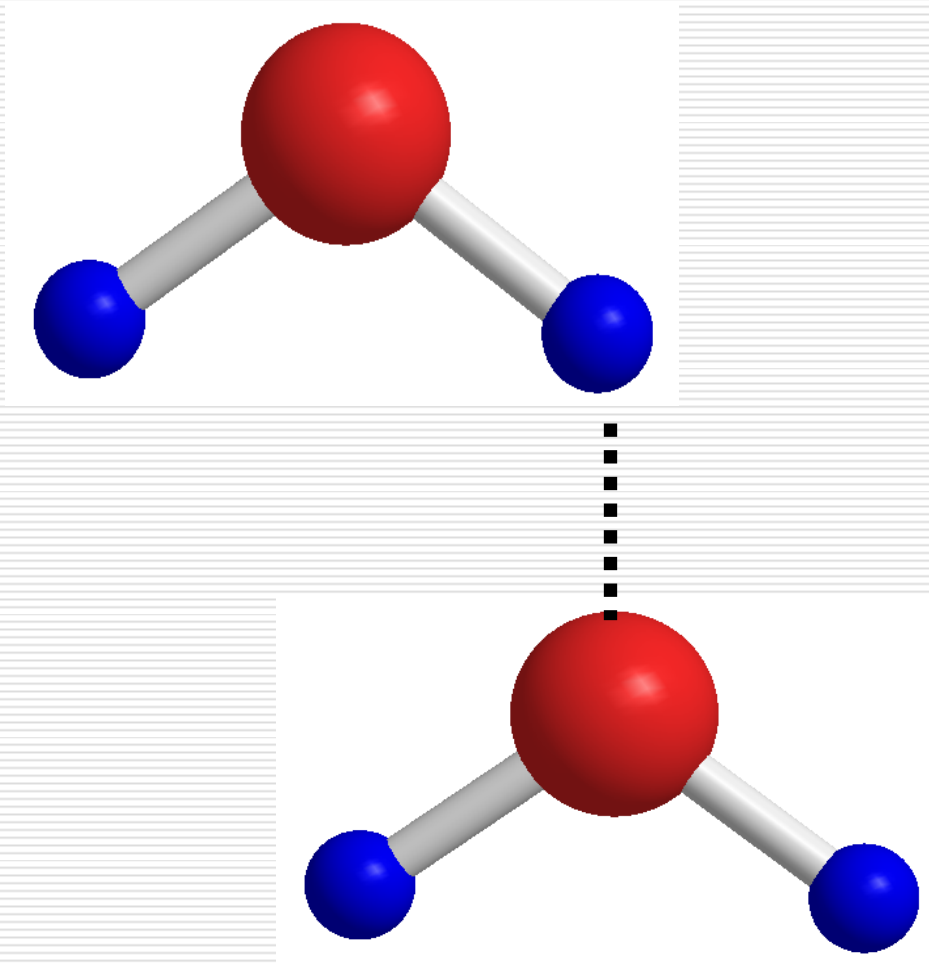


Διαμοριακές δυνάμεις



- Αναπτύσσεται μια ελκτική ηλεκτροστατική δύναμη Coulomb μεταξύ των αντίθετα φορτισμένων ατόμων υδρογόνου και οξυγόνου.
- Τα μόρια του νερού τείνουν να διευθετηθούν με το υδρογόνο του ενός μορίου να κατευθύνεται προς το οξυγόνο ενός γειτονικού μορίου.

Διευθέτηση των μορίων του νερού



Δεσμός υδρογόνου



- Μεταξύ του ατόμου υδρογόνου ενός μορίου νερού και των μη δεσμικών ζευγών ηλεκτρονίων του οξυγόνου ενός γειτονικού μορίου νερού αναπτύσσεται μια ισχυρή διαμοριακή ηλεκτροστατική έλξη.
- Η έλξη αυτή ονομάζεται *δεσμός υδρογόνου*.
- Η ισχύς του δεσμού υδρογόνου είναι περίπου το 1 έως 5% της ισχύος του ομοιοπολικού δεσμού H-O.

Δεσμός υδρογόνου



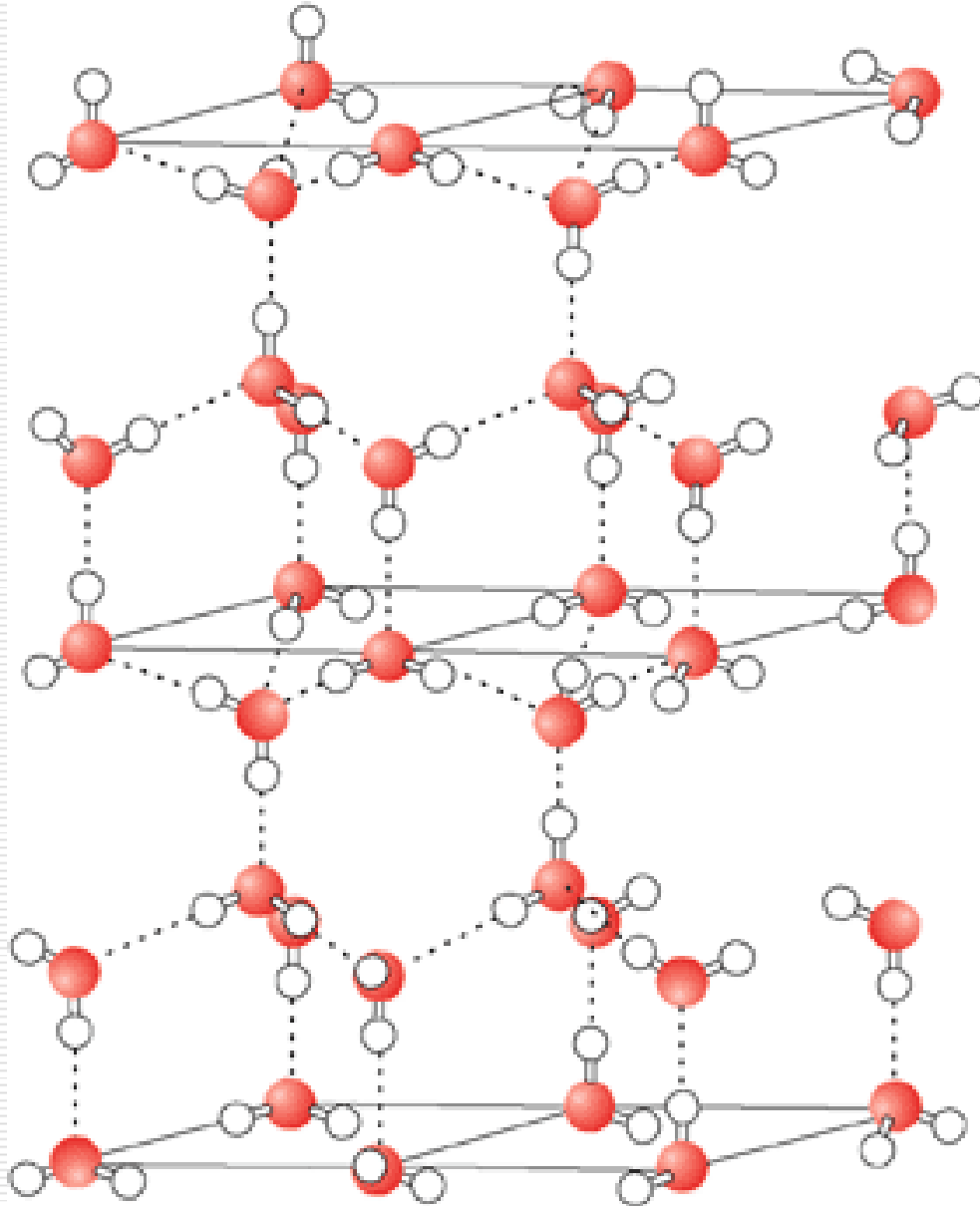
- Λόγω του δεσμού υδρογόνου τα μόρια του νερού συγκρατούνται πολύ ισχυρά μεταξύ τους συγκριτικά με άλλα μόρια παραπλήσιου μοριακού βάρους.
- Η ύπαρξη του δεσμού υδρογόνου εξηγεί πολλές από τις αξιοσημείωτες και μοναδικές ιδιότητες του νερού.
- Τα μόρια του νερού συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν συμπλέγματα με χαρακτηριστική δομή.

Δομή του πάγου

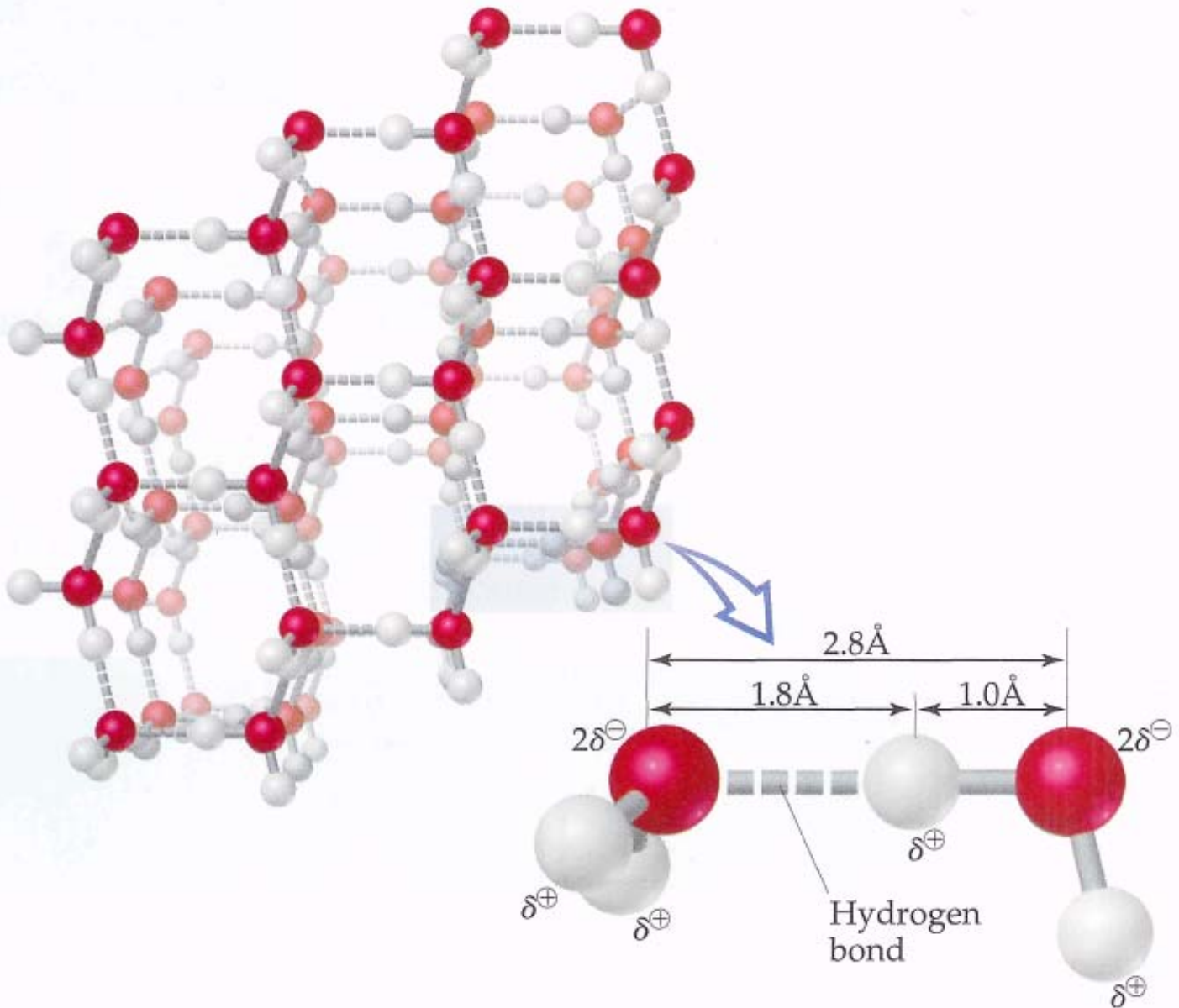


- Στον πάγο, τα μόρια του νερού διευθετούνται σε μία τετραεδρική, ανοικτή διάταξη.
- Κάθε άτομο οξυγόνου περιβάλλεται τετραεδρικά από 4 άτομα υδρογόνου εκ των οποίων τα δυο ενώνονται με ομοιοπολικό δεσμό και τα άλλα δύο συγκρατούνται ισχυρά με δεσμούς υδρογόνου.

Δομή του πάγου



Δομή του πάγου



Δομή του πάγου



- Στη δομή αυτή του πάγου η ανάπτυξη δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού είναι η βέλτιστη δυνατή.
- Κάθε μόριο νερού σχηματίζει 4 δεσμούς υδρογόνου με τα γειτονικά του μόρια.
- Λόγω της ύπαρξης των δεσμών υδρογόνου, η δομή του πάγου περιέχει μεγάλες κοιλότητες.
- Κατά συνέπεια, ο πάγος έχει σχετικά μικρή πυκνότητα.

Δεσμός υδρογόνου και ιδιότητες νερού



- Η ύπαρξη των δεσμών υδρογόνου στο μόριο του νερού εξηγεί πολλές από τις μοναδικές και αξιοσημείωτες ιδιότητές του.
- Για παράδειγμα, σε σύγκριση με άλλα μόρια με παρόμοιο μοριακό βάρος, το νερό έχει ασυνήθιστα υψηλό σημείο ζέσεως.
- Ως αποτέλεσμα το νερό είναι υγρό στις συνηθισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

Δεσμός υδρογόνου και ιδιότητες νερού



- Η ύπαρξη των δεσμών υδρογόνου στο μόριο του νερού μπορεί να εξηγήσει και άλλες φυσικοχημικές ιδιότητες όπως:
 - ✓ Πυκνότητα
 - ✓ Θερμοχωρητικότητα
 - ✓ Ενθαλπία σχηματισμού
 - ✓ Ενθαλπία τήξης
 - ✓ Επιφανειακή τάση
 - ✓ Ιξώδες

Δεσμός υδρογόνου και ιδιότητες νερού



- Παραδείγματα των μοναδικών ιδιοτήτων του νερού είναι:
- ✓ Η ικανότητά του να διαλύει μια πληθώρα ενώσεων
- ✓ Η ικανότητά του να ανταλλάσσει μεγάλα ποσά θερμότητας
- ✓ Η μεγάλη του πυκνότητα και τα μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την άντλησή του
- ✓ Το μεγάλο του ιξώδες

Δεσμός υδρογόνου και ιδιότητες νερού



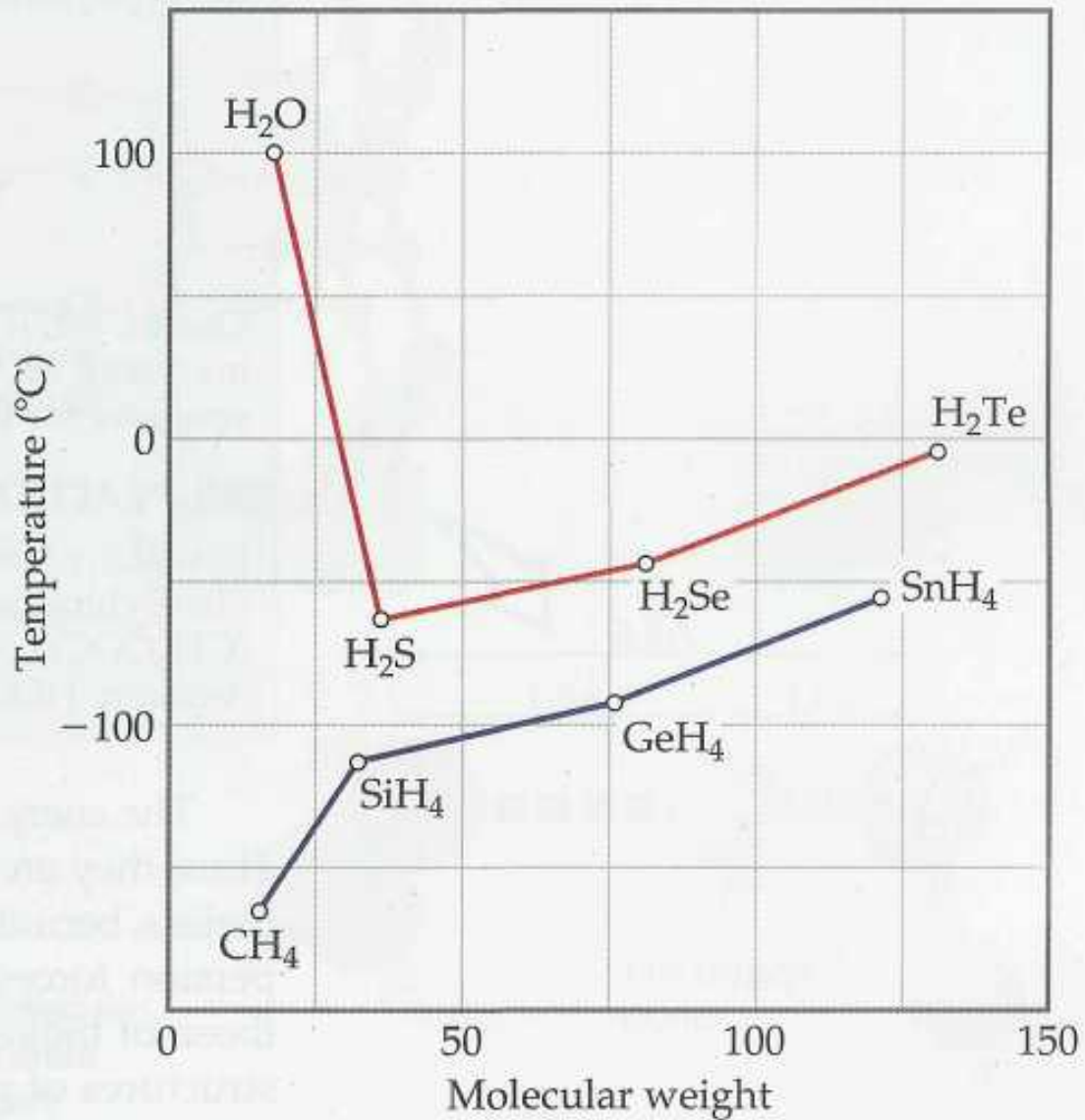
- Το νερό μπορεί να διαλύει ένα μεγάλο αριθμό ουσιών ή να μεταφέρει ως αιωρούμενα διάφορα στερεά σωματίδια.
- Τα διαλυμένα και αιωρούμενα σωματίδια προσδίδουν στο νερό ιδιότητες που σχετίζονται με:
 - ✓ την ποσιμότητά του,
 - ✓ την γεύση του,
 - ✓ την οσμή του και
 - ✓ την διαβρωτική του ικανότητα.

Σημείο ζέσεως και σημείο πήξεως



- Το νερό βράζει στους $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε πίεση 1 atm .
- Το σημείο ζέσεως του νερού είναι ασυνήθιστα υψηλό σε σχέση με τις ενώσεις με υδρογόνο των στοιχείων της ομάδας VIA του περιοδικού πίνακα (H_2S , H_2Se , H_2Te).

Σημείο ζέσεως και μοριακό βάρος



Σημείο ζέσεως και δεσμός υδρογόνου



- Το υψηλό σημείο ζέσεως του νερού μπορεί να εξηγηθεί με την ύπαρξη των δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού.
- Η ύπαρξή τους απαιτεί την προσφορά μεγαλύτερων ποσών ενέργειας με την μορφή θερμότητας ώστε η άτακτη θερμική κίνηση να υπερνικήσει τις διαμοριακές δυνάμεις μεταξύ των μορίων και το υγρό να μετατραπεί σε αέριο.

Σημείο τήξεως και δεσμός υδρογόνου



- Ο πάγος λιώνει στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Κατά την τήξη του πάγου, η κινητική ενέργεια των μορίων πρέπει να αυξηθεί σημαντικά ώστε να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου και ο πάγος να μετατραπεί σε νερό.
- Κατά συνέπεια, απαιτείται μεγαλύτερη θερμότητα για να λιώσει ο πάγος σε σχέση με άλλα μόρια με παραπλήσιο μοριακό βάρος.

Πυκνότητα του νερού, $\rho = m/V$



- Η πυκνότητα του νερού εξαρτάται από την θερμοκρασία.
- Μέχρι τους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$: Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του πάγου αυξάνεται και ο όγκος του (θερμική διαστολή) λόγω της αύξησης της κινητικής ενέργειας των μορίων του νερού. Άρα μειώνεται η πυκνότητα.

Πυκνότητα του νερού



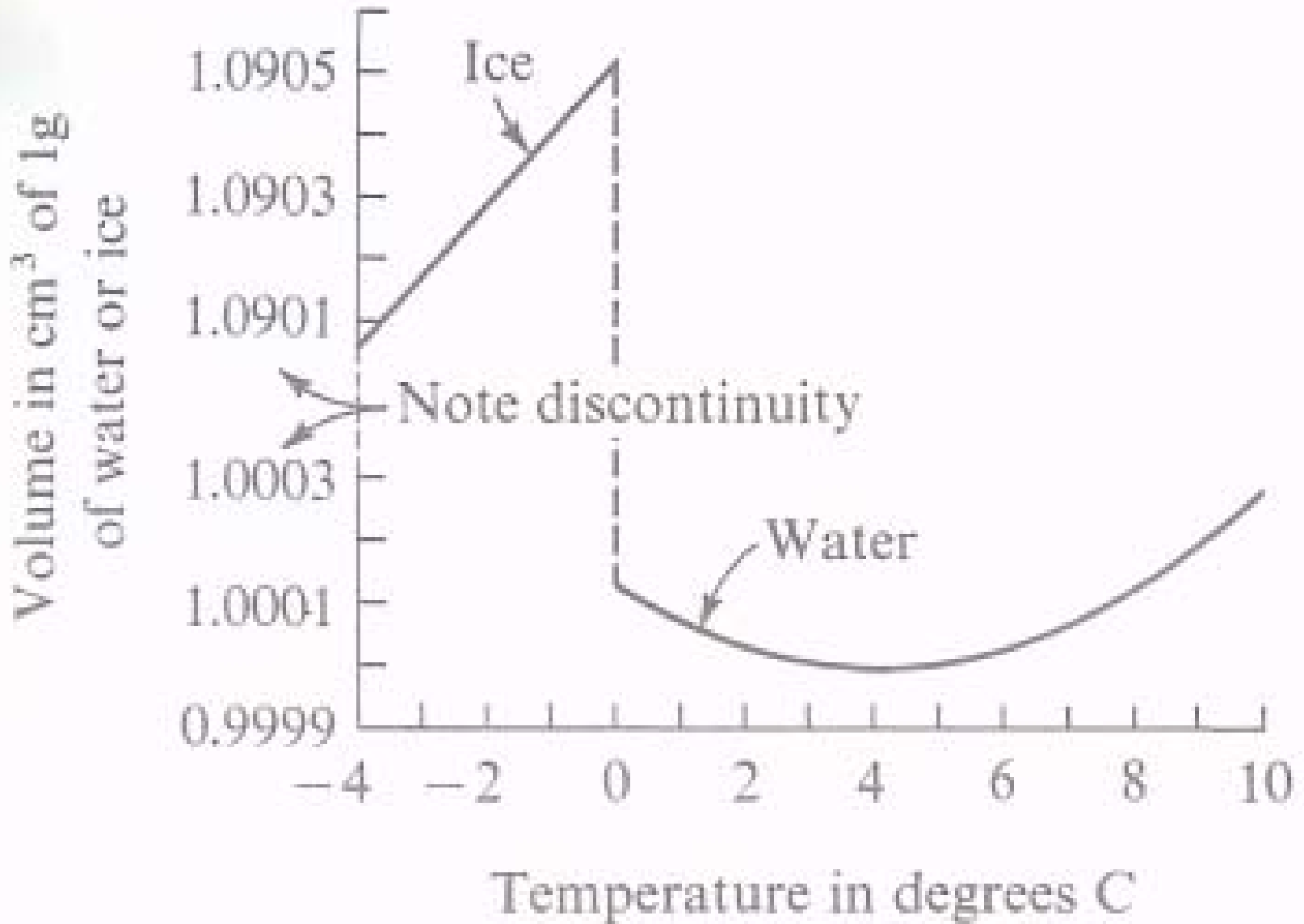
- Στους 0 °C: Όταν λιώνει ο πάγος ένα μέρος των δεσμών υδρογόνου σπάζει και καταστρέφεται εν μέρει η τετραεδρική διάταξη των μορίων του νερού.
- Τα μόρια του νερού που δεν ενώνονται πλέον μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου καταλαμβάνουν τους κενούς χώρους που υπάρχουν.

Πυκνότητα του νερού



- Άρα η πυκνότητα του νερού στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι μεγαλύτερη από αυτήν του πάγου στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Το νερό στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ εξακολουθεί να έχει σε σημαντικό ποσοστό την τετραεδρική δομή του πάγου.

Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας



Πυκνότητα του νερού



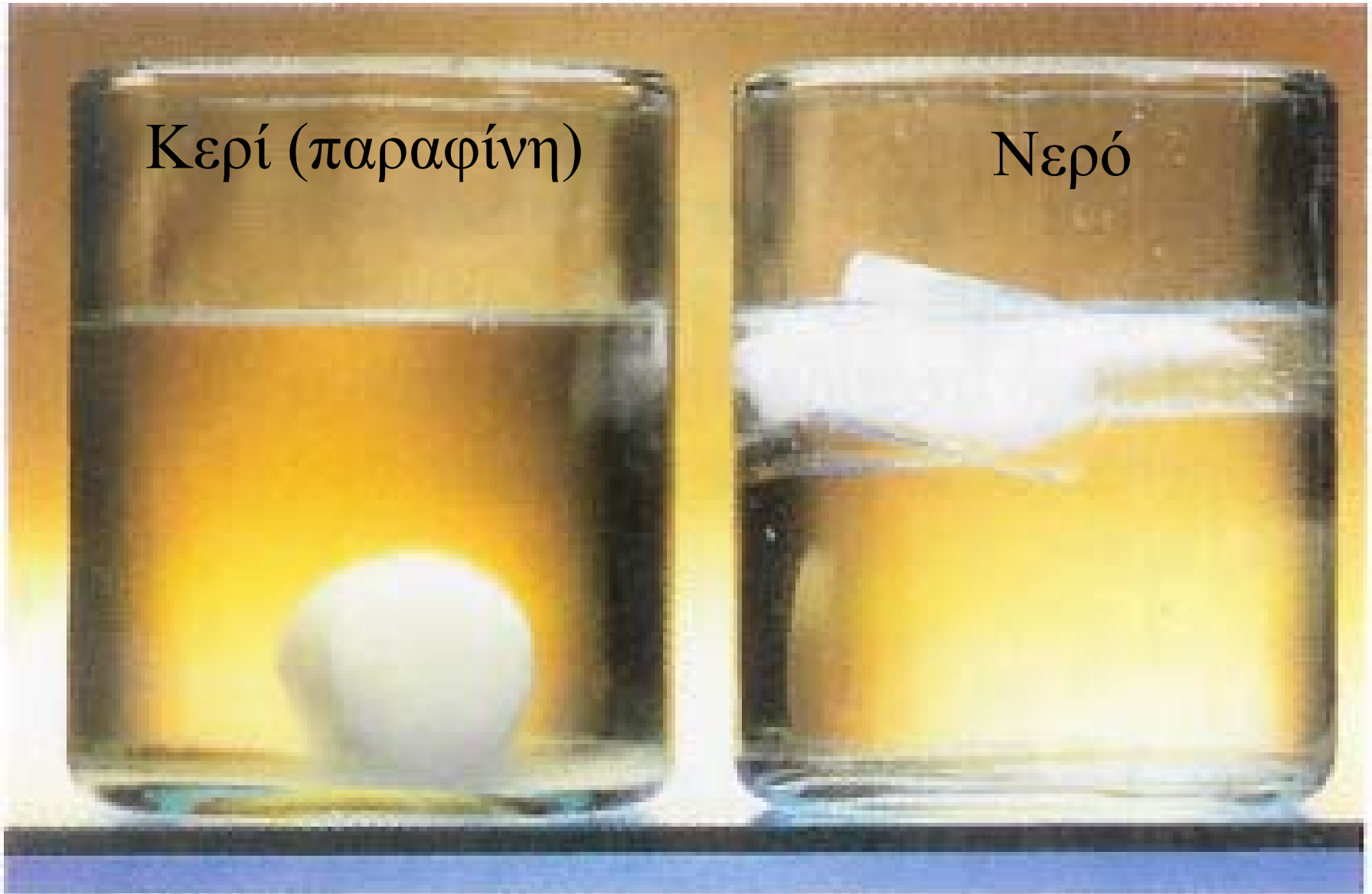
- 0 °C έως 4 °C: Το φαινόμενο συνεχίζεται μέχρι τους 4 °C. Συνεχίζει να σπάσει ένα μέρος των δεσμών υδρογόνου και τα μόρια του νερού που δεν ενώνονται πλέον μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου καταλαμβάνουν τους κενούς χώρους που εξακολουθούν να υπάρχουν στη δομή του νερού.
- Ο όγκος του νερού συνεχίζει να μειώνεται.
- Κατά συνέπεια το νερό εμφανίζει την μέγιστη πυκνότητά του στους 4 °C (3.98 °C).

Πυκνότητα του νερού

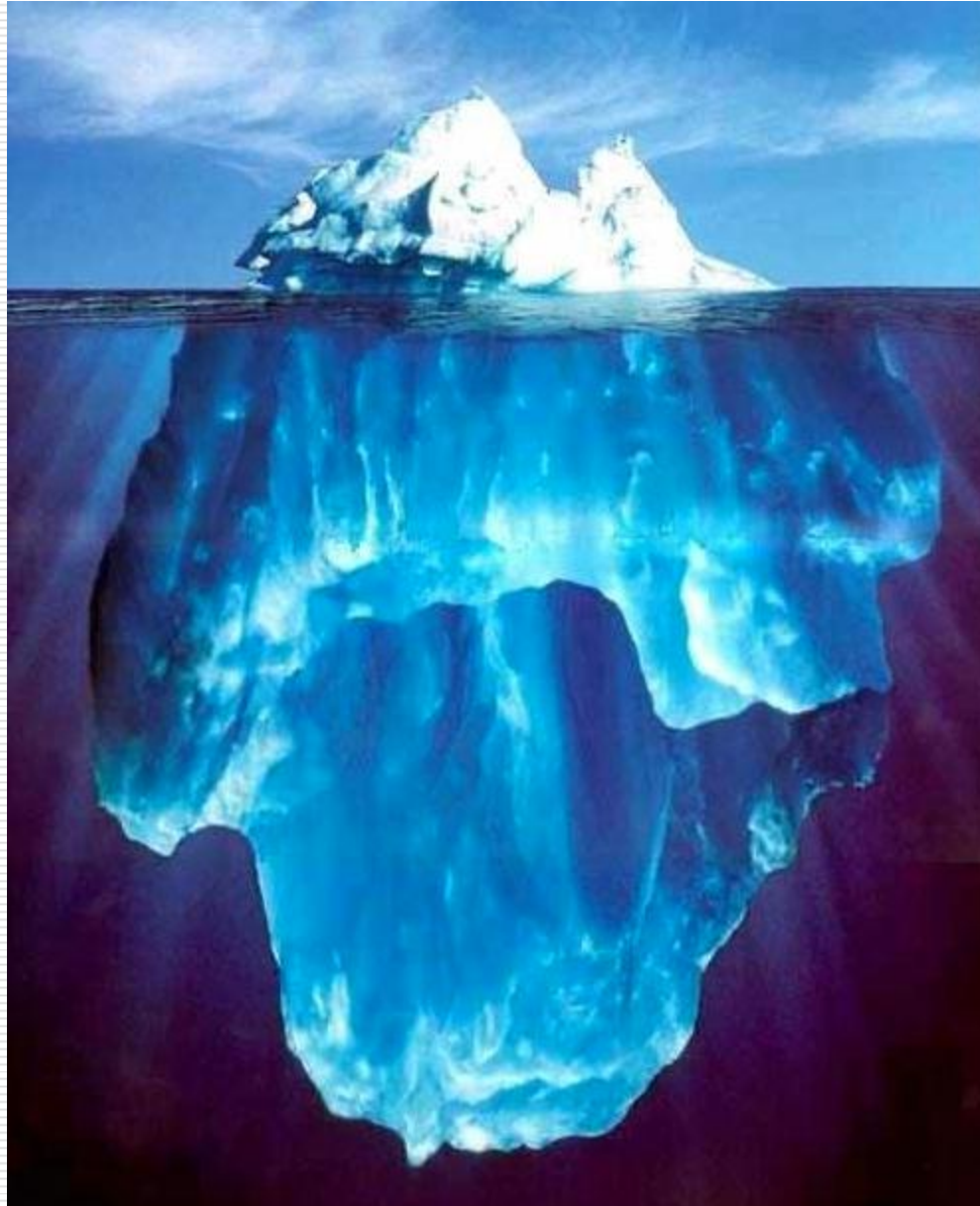


- 4 °C και πάνω: Η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της θερμικής κίνησης των μορίων του νερού.
- Κατά συνέπεια ο όγκος πλέον αυξάνεται και η πυκνότητα μειώνεται.
- Συνέπεια όλων των παραπάνω είναι ο πάγος να επιπλέει στο νερό.

Ο πάγος επιπλέει στο νερό



Ο πάγος επιπλέει στο νερό



Ο πάγος έχει μεγαλύτερο όγκο από το νερό



Νερό, πάγος και ζωή



- Αν ο πάγος δεν είχε μικρότερη πυκνότητα και δεν επέπλεε στο νερό τότε το χειμώνα οι λίμνες και τα ποτάμια θα πάγωναν ολοσχερώς.
- Ως αποτέλεσμα είναι ότι δεν θα μπορούσε να υπάρξει και να αναπτυχθεί ζωή μέσα στο νερό.



Νερό και διηλεκτρική σταθερά

- Η διηλεκτρική σταθερά ενός υγρού είναι μέτρο της ικανότητάς του να επιτρέπει το διαχωρισμό των φορτίων.

- Δύναμη Coulomb:
$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

- Όπου:

- ✓ q_1, q_2 : φορτία

- ✓ r : απόσταση

- ✓ ϵ_0 : διηλεκτρική σταθερά του κενού, 8.85×10^{-12} C²/N·m²

- ✓ ϵ : διηλεκτρική σταθερά του μέσου

Διηλεκτρική σταθερά διαφόρων υλικών



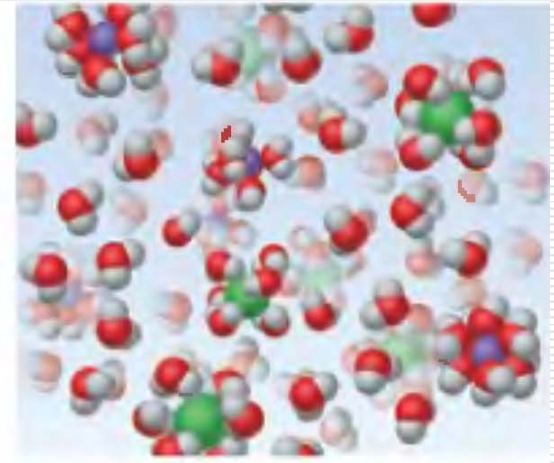
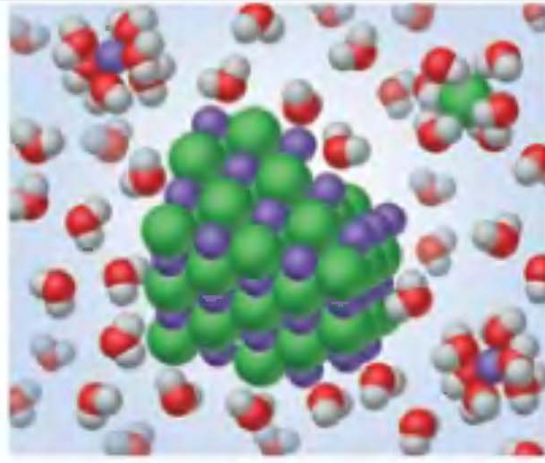
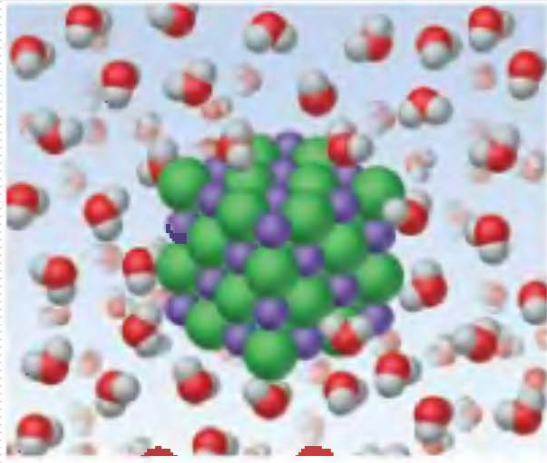
Υλικό	Διηλεκτρική σταθερά
Κενό	1.00000
Αέρας	1.00059
Βακελίτης	4.9
Χαλαζίας	3.78
Γυαλί πυρέξ	5.6
Πολυστερήνη	2.56
Τεφάλ	2.1
Συνθετικό λάστιχο	6.7
Νάυλον	3.4
Χαρτί	3.7
Τιτανιούχο στρόντιο	233
Νερό	80
Έλαιο σιλικόνης	2.5

Διαλυτική ικανότητα του νερού

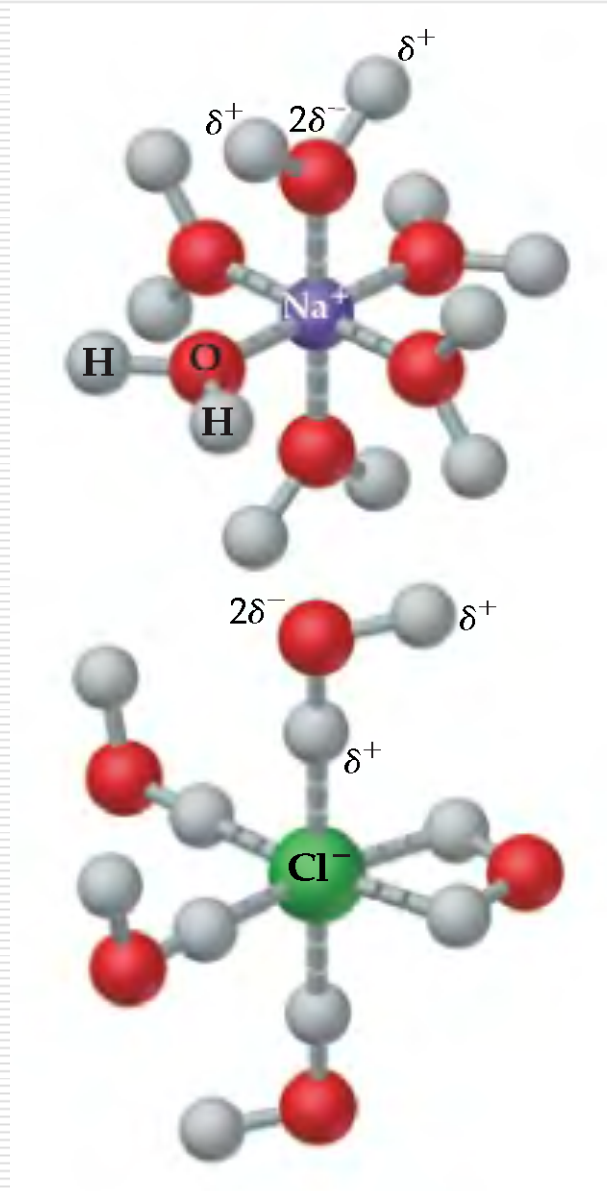


- Παρόλο που το νερό είναι ομοιοπολική ένωση, η μεγάλη τιμή της διηλεκτρικής σταθερά σε συνδυασμό με την μεγάλη διπολική ροπή καθιστούν το νερό άριστο διαλύτη ιονικών και πολικών ενώσεων.
- Τα πολικά μόρια του νερού έλκονται με την επιφάνεια ενός ιονικού κρυστάλλου μέσω δυνάμεων ιόντος-διπόλου.

Διαλυτική ικανότητα του νερού



Διαλυτική ικανότητα του νερού



Διαλυτική ικανότητα του νερού



- Καθώς τα ιόντα εγκαταλείπουν την επιφάνεια του κρυστάλλου περιβάλλονται πλήρως από μόρια νερού.
- Τα άτομα του οξυγόνου έλκονται από τα θετικά ιόντα (κατιόντα) ενώ τα άτομα του υδρογόνου έλκονται από τα αρνητικά ιόντα (ανιόντα).
- Η ικανότητα του νερού να διαλύει ιονικές ενώσεις, όπως είναι τα άλατα, εξηγεί την παρουσία μικρών ποσοτήτων ανόργανων ιόντων στα φυσικά νερά.

Διαλύματα



- Διάλυμα = ομογενές μίγμα
- Διάλυμα
 - ✓ Διαλύτη: συνήθως βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία, π.χ. νερό
 - ✓ Διαλυμένη(ες) ουσία(ες): βρίσκονται συνήθως σε μικρότερη αναλογία και μπορεί να είναι αέριες (O_2 , CO_2), υγρές (αιθανόλη: CH_3CH_2OH) ή στερεές ($NaCl$, γλυκόζη: $C_6H_{12}O_6$).

Μοριακές μονάδες συγκέντρωσης



- Μοριακή συγκέντρωση κατ' όγκο ή (γραμμο)μοριακότητα (Molarity, M): Τα moles της διαλυμένης ουσίας τα οποία περιέχονται σε 1 λίτρο διαλύματος:

$$c = \frac{n}{V}$$

όπου:
c= συγκέντρωση (concentration) σε mol/L=M
n= moles της διαλυμένης ουσίας, mol
V= όγκος του διαλύματος σε L

- Μοριακή συγκέντρωση κατά βάρος (Molality): Τα moles της διαλυμένης ουσίας τα οποία περιέχονται σε 1 kg διαλύτη

Συγκέντρωση και moles



$$\left. \begin{array}{l} n = \frac{m}{M_r} \\ c = \frac{n}{V} \end{array} \right\} \Leftrightarrow c = \frac{m}{M_r V}$$

Κανονικότητα (Normality, N)



- Τα (γραμμο)ισοδύναμα (gr-eq ή eq) της διαλυμένης ουσίας τα οποία περιέχονται σε 1 λίτρο διαλύματος.
- Το ισοδύναμο βάρος (EW) μιας ουσίας σχετίζεται με το μοριακό της βάρος.
- Ορίζεται με βάση το είδος της ουσίας ή τη χημική αντίδραση στην οποία συμμετέχει.

Ισοδύναμο βάρος, EW



$$EW = \frac{M_r}{\alpha}$$

- Για ιόντα: α = φορτίο του ιόντος
- Για οξέα και βάσεις: α = αριθμός των H^+ ή των HO^- που αντιδρούν
- Για οξειδο-αναγωγικές αντιδράσεις: α = αριθμός των ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται

Ισοδύναμα και κανονικότητα



➤ Ισοδύναμα: $eq = \frac{m}{EW}$

όπου:

eq: ισοδύναμα

m: μάζα της ουσίας σε g

EW: ισοδύναμο βάρος

➤ Κανονικότητα: $N = \frac{eq}{V}$

όπου:

N: κανονικότητα σε eq/L

eq: ισοδύναμα

V: όγκος του διαλύματος σε L

Κανονικότητα και Μοριακότητα



$$N = \frac{eq}{V} = \frac{m}{EW \times V} = \frac{m}{\frac{M_r}{\alpha} \times V} = \alpha \times M$$

δηλαδή

$$N = \alpha \times M$$

Ατομικά βάρη των στοιχείων



PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Main groups												Main groups						
1A ^a																	8A	
1	2A											3A	4A	5A	6A	7A	2	
1	2											13	14	15	16	17	18	
1	1 H 1.00794																	2 He 4.002602
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012182	Transition metals										5 B 10.811	6 C 12.0107	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.998403	10 Ne 20.1797
3	11 Na 22.989770	12 Mg 24.3050	3B 3	4B 4	5B 5	6B 6	7B 7	8B 8 9 10		1B 11	2B 12	13 Al 26.981538	14 Si 28.0855	15 P 30.973761	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948	
4	19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955910	22 Ti 47.867	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.938049	26 Fe 55.845	27 Co 58.933200	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.92160	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc [98]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.293
6	55 Cs 132.90545	56 Ba 137.327	71 Lu 174.967	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.078	79 Au 196.96655	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98038	84 Po [208.98]	85 At [209.99]	86 Rn [222.02]
7	87 Fr [223.02]	88 Ra [226.03]	103 Lr [262.11]	104 Rf [261.11]	105 Db [262.11]	106 Sg [266.12]	107 Bh [264.12]	108 Hs [269.13]	109 Mt [268.14]	110 [271.15]	111 [272.15]	112 [277]	113 [284]	114 [289]	115 [288]	116 [292]		

*Lanthanide series	57 *La 138.9055	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04
†Actinide series	89 †Ac [227.03]	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03588	92 U 238.02891	93 Np [237.05]	94 Pu [244.06]	95 Am [243.06]	96 Cm [247.07]	97 Bk [247.07]	98 Cf [251.08]	99 Es [252.08]	100 Fm [257.10]	101 Md [258.10]	102 No [259.10]



Παραδείγματα

- 1.1. Να γίνει η μετατροπή 120 mg/L CO_3^{2-} σε κανονική συγκέντρωση

Απάντηση: $N=4 \text{ meq/L}$

- 1.2. Να γίνει η μετατροπή 50 mg/L HCl σε κανονική συγκέντρωση ($\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$)

Απάντηση: $N=1,37 \text{ meq/L}$

- 1.3. Να μετατραπούν 10 mg/L O_2 σε κανονική συγκέντρωση ($\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$)

Απάντηση: $N=1,25 \text{ meq/L}$

Παραδείγματα



- 1.4. Ένα δείγμα νερού περιέχει $[\text{Ca}^{2+}] = 92 \text{ mg/L}$ και $[\text{Mg}^{2+}] = 34 \text{ mg/L}$. Ποια είναι η σκληρότητά του εκφρασμένη σε mg/L CaCO_3 ;

Απάντηση: 370 mg/L CaCO_3

- 1.5. Ποιο είναι το περιεχόμενο σε άνθρακα εκφρασμένο σε mg/L C ενός διαλύματος που περιέχει $2 \text{ mg/L C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$;

Απάντηση: $0,8 \text{ mg/L C}$

Μονάδες συγκέντρωσης ως προς μάζα



- Η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας σε mg ή μg ή ng η οποία περιέχεται σε 1 λίτρο διαλύματος:

$$\text{mg ή μg ή ng/L} = \frac{\text{μάζα διαλυμένης ουσίας σε mg ή μg ή ng}}{\text{όγκος του διαλύματος σε L}}$$

$$\text{mg ή μg ή ng/L} = M_r \times \text{mmol/L ή μmol/L ή nmol/L}$$

Αδιάστατες εκφράσεις συγκέντρωσης



- Μέρη στο εκατομμύριο (parts per million, ppm) ή στο δισεκατομμύριο (parts per billion, ppb) ή στο τρισεκατομμύριο (parts per trillion, ppt):

$$\text{ppm ή ppb ή ppt} = \frac{\text{μάζα διαλυμένης ουσίας σε mg ή } \mu\text{g ή ng}}{\text{μάζα του διαλύματος σε kg}}$$

- Η πυκνότητα του νερού είναι $\rho=1 \text{ kg/L}$
- Άρα: **mg/L=ppm** και **$\mu\text{g/L=ppb}$** και **ng/L=ppt**

Αδιάστατες εκφράσεις συγκέντρωσης



➤ Γραμμομοριακό κλάσμα (mole fraction), x

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad \text{ή} \quad x_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^v n}$$

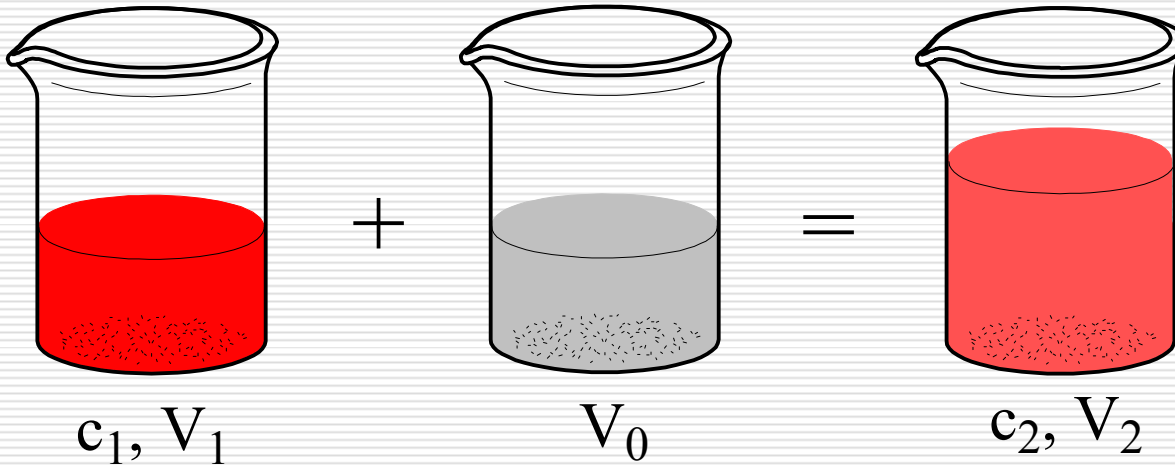
$$\sum_{i=1}^v x = 1$$

Τρόποι έκφρασης της περιεκτικότητας



- Περιεκτικότητα επί τοις εκατό βάρος κατά βάρος (% w/w ή % wt): Η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας σε g η οποία περιέχεται σε 100 g διαλύματος.
- Περιεκτικότητα επί τοις εκατό όγκο κατ' όγκο (% v/v ή % vol): Ο όγκος της διαλυμένης ουσίας σε mL η οποία περιέχεται σε 100 mL διαλύματος.
- Περιεκτικότητα επί τοις εκατό βάρος κατ' όγκο (% w/v): Η ποσότητα της διαλυμένης ουσίας σε g η οποία περιέχεται σε 100 mL διαλύματος.

Αραίωση διαλυμάτων



Διάλυμα 1

Νερό

Διάλυμα 2

$$n_1 = c_1 \times V_1$$

$$n_2 = c_2 \times V_2$$

Τα moles της διαλυμένης ουσίας είναι ίδια πριν και μετά την αραίωση

$$n_1 = n_2 \Leftrightarrow c_1 \times V_1 = c_2 \times V_2$$

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$$

Ασκήσεις



1. Υπολογίστε τη γραμμομοριακότητα (molarity) 500 mL διαλύματος που περιέχει 4 g διαλυμένης ουσίας με μοριακό βάρος 80 g/mol.

Απάντηση: $c=0,1 \text{ mol/L}$

2. Πόσα γραμμάρια διαλυμένης ουσίας με μοριακό βάρος 80 g/mol απαιτούνται για την παρασκευή διαλύματος 250 mL μοριακότητας 0,3 M;

Απάντηση: 6 g

Ασκήσεις



3. Απαιτείται η παρασκευή 500 mL διαλύματος NaOH 0,1M. Πόση ποσότητα διαλύματος 2M και πόση ποσότητα νερού πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του επιθυμητού διαλύματος;

Απάντηση: 25 mL διαλ. 2M και 475 mL νερού

Ασκήσεις

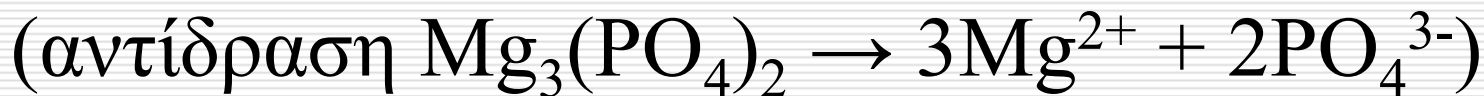


4. Υπολογίστε την κανονικότητα των παρακάτω διαλυμάτων:

α) Διάλυμα 90 mg/L CO_3^{2-}



β) Διάλυμα 90 mg/L $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$



Απάντηση: α) 3 meq/L, β) 2,04 meq/L

Ασκήσεις



5. Υπολογίστε την κανονικότητα των ακόλουθων διαλυμάτων:

α) 146 mg/L HCl (αντίδραση $\text{HCl} + \text{KOH} \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$)

β) 30 mg/L H_2SO_4 (αντίδραση $\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$)

γ) 90 mg/L CO_3^{2-} (αντίδραση $\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$)

Απάντηση: α) 4 meq/L, β) 0,61 meq/L, γ) 1,5 meq/L

Ασκήσεις



6. Υπολογίστε την κανονικότητα και την γραμμομοριακότητα διαλύματος που παρασκευάζεται με την διάλυση 10 g H_2SO_4 στο νερό, ώστε να προκύψουν 500 mL διαλύματος.

Απάντηση: $N=0,204 \text{ eq/L}$, $M=0.408 \text{ mol/L}$

7. Ένα πρότυπο διάλυμα οξαλικού οξέος έχει κανονικότητα 0,1N. Πόση ποσότητα νερού πρέπει να προσθέσουμε σε 50 mL αυτού του πρότυπου διαλύματος ώστε να προκύψει διάλυμα 0,02N;

Απάντηση: 200 mL νερού

Επιπλέον ασκήσεις



8. Να βρεθεί η συγκέντρωση των ιόντων Cl^- , Br^- και I^- σε mg/L η οποία απαιτείται για την πλήρη αντίδραση με ιόντα Ag^+ συγκέντρωσης 1 mg/L , αν η στοιχειομετρία της αντίδρασης είναι κάθε φορά 1:1.

Απάντηση: $0,33 \text{ mg/L Cl}^-$, $0,74 \text{ mg/L Br}^-$ και $1,18 \text{ mg/L I}^-$.

Επιπλέον ασκήσεις



9. Να βρεθεί η συγκέντρωση αζώτου των παρακάτω διαλυμάτων: α) 1 mg/L NO_2^- , β) 1 mg/L NO_3^- , γ) 1 mg/L NH_4^+

Απάντηση: α) 0,30 mg/L N, β) 0,23 mg/L N, γ) 0,78 mg/L N.

10. Η συγκέντρωση ιόντων αμμωνίου NH_4^+ σε εκροή μονάδας βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βρέθηκε 2,3 mg/L. Να βρεθεί αν η τιμή αυτή παραβιάζει το όριο των 1,8 mg/L αμμωνιακού αζώτου.

Απάντηση: όχι, 1,79 mg/L N.

Επιπλέον ασκήσεις



11. Σε μονάδα επεξεργασίας πόσιμου νερού προστίθεται ως κροκιδωτικό ένυδρο θεικό αργίλιο $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (alum) σε δοσολογία 25 mg/L. Να βρεθεί η δοσολογία σε mg/L Al.

Απάντηση: 2,02 mg/L Al

12. Τα υγρά απόβλητα μιας βιομηχανικής μονάδας περιέχουν 5 mg/L φαινόλης ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$). Το όριο απόρριψης των αποβλήτων είναι 3 mg/L ολικού οργανικού άνθρακα (Total Organic Carbon, TOC). Να βρεθεί αν παραβιάζεται το όριο απόρριψης.

Απάντηση: Ναι, $\text{TOC}=3,87 \text{ mg/L C}$

Επιπλέον ασκήσεις



13. Υπολογίστε τον αριθμό των γραμμαρίων που απαιτούνται για την παρασκευή των παρακάτω διαλυμάτων:

α) 200 mL διαλύματος NaCl 0,5 M

β) 500 mL διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ 0,001 M

γ) 250 mL διαλύματος $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 10^{-2} M

Απάντηση: α) 5,844 g NaCl, β) 0,147 g $K_2Cr_2O_7$, γ)
0.710 g $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$

Πόσιμο νερό

14. Τα κύρια ιόντα που απαντώνται σε ένα δείγμα εμφιαλωμένου νερού είναι:

$$[\text{Ca}^{2+}] = 33,2 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = 12,6 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 6,3 \text{ mg/L}$$

$$[\text{K}^+] = 0,35 \text{ mg/L}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 153 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Cl}^-] = 11,7 \text{ mg/L}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 5,7 \text{ mg/L}$$



ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ Ι.Γ.Μ.Ε. Μέσος όρος 2008:

PH 7,8 Αγωγιμότητα (25° C) 282 μS/cm, Στερεό Υπόλειμμα (180°) 160 mg/Lt.,
Ολική σκληρότητα 134 mg/Lt. (CaCo3)

Κατιόντα/Cations: Ασβέστιο Ca 33,2 mg/Lt., Μαγνήσιο Mg 12,6 mg/Lt.,
Νάτριο Na 6,3 mg/Lt., Κάλιο K 0,35 mg/Lt., Αμμώνιο NH4 <0,2 mg/Lt.,
Σίδηρος Fe <100 μg/Lt., Μαγγάνιο Mn <5μg/Lt.

Ανιόντα/Anions: Οξυανθρακικά HCO3 153 mg/Lt., Χλωριούχα Cl 11,7 mg/Lt.,
Θειικά SO4 5,7 mg/Lt., Νιτρικά NO3 <5 mg/Lt., Νιτρώδη NO2 <0,02 mg/Lt.

ΑΔΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Δ/ΝΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΝΟΜ. ΑΥΤΟΔ. ΧΑΛΙΔΩΝ Φ 14.19/1621/06

0,75L www.etanap.gr 0,75L



Πόσιμο νερό



- i. Υπολογίστε τις συγκεντρώσεις των ιόντων σε mol/L και eq/L.
- ii. Υπολογίστε τη σκληρότητα του νερού εκφρασμένη ως mg/L CaCO₃ (Υπενθύμιση: η σκληρότητα του νερού οφείλεται στα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου). Συμφωνεί η τιμή που υπολογίσατε με την τιμή η οποία αναγράφεται στην ετικέτα του εμφιαλωμένου νερού;
- iii. Το νερό είναι ηλεκτρικά ουδέτερο και ως εκ τούτου θα πρέπει οι ισοδύναμες συγκεντρώσεις ανιόντων και κατιόντων να είναι ίσες. Είναι το εμφιαλωμένο νερό του παραδείγματος ηλεκτρικά ουδέτερο;

Απαντήσεις



- i. Συγκεντρώσεις των ιόντων σε mol/L και eq/L.
- $[\text{Ca}^{2+}] = 33,2 \text{ mg/L}$ ή $0,828 \text{ mmol/L}$ ή $1,656 \text{ meq/L}$
- $[\text{Mg}^{2+}] = 12,6 \text{ mg/L}$ ή $0,518 \text{ mmol/L}$ ή $1,036 \text{ meq/L}$
- $[\text{Na}^+] = 6,3 \text{ mg/L}$ ή $0,274 \text{ mmol/L}$ ή $0,274 \text{ meq/L}$
- $[\text{K}^+] = 0,35 \text{ mg/L}$ ή $0,009 \text{ mmol/L}$ ή $0,009 \text{ meq/L}$
- $[\text{HCO}_3^-] = 153 \text{ mg/L}$ ή $2,508 \text{ mmol/L}$ ή $2,508 \text{ meq/L}$
- $[\text{Cl}^-] = 11,7 \text{ mg/L}$ ή $0,331 \text{ mmol/L}$ ή $0,331 \text{ meq/L}$
- $[\text{SO}_4^{2-}] = 5,7 \text{ mg/L}$ ή $0,059 \text{ mmol/L}$ ή $0,118 \text{ meq/L}$

Απαντήσεις



ii. Σκληρότητα του νερού εκφρασμένη ως mg/L
 CaCO_3 :

$$[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] = 1,346 \text{ mmol/L}$$

Άρα σκληρότητα: $1,346 \times 100,086 = 134,7 \text{ mg/L}$
 CaCO_3

Τιμή στην ετικέτα του εμφιαλωμένου νερού: 134
mg/L CaCO_3

Πολύ καλή συμφωνία τιμών

Απαντήσεις



➤ Ηλεκτρική ουδετερότητα

Σε_q/L κατιόντων=2,975 meq/L

Σε_q/L ανιόντων=2,957 meq/L

$$\text{Σχετικό σφάλμα} = \frac{2,975 - 2,957}{2,975} \times 100 = 0,6\%$$

Άρα πράγματι το νερό είναι ηλεκτρικά ουδέτερο