



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Χημεία Περιβάλλοντος

Ενότητα 2: Ρύπανση Υδάτων

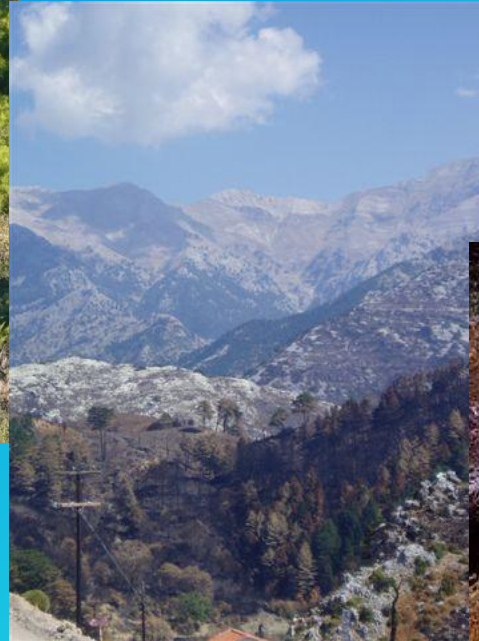
Εμμανουήλ Δασενάκης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Χημείας  
Εργαστήριο Χημείας Περιβάλλοντος

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

**ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ  
ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**



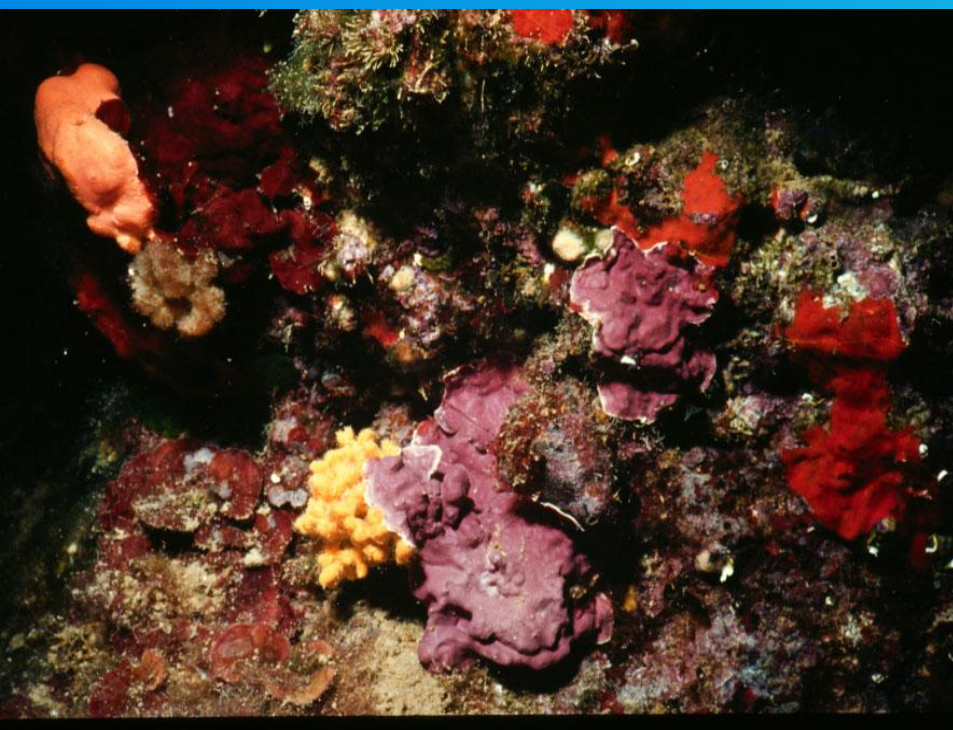
Ένας κήπος, ένα έλος, ένα δάσος ή ακόμα και ολόκληρος ο πλανήτης, είναι παραδείγματα οικοσυστημάτων, δηλαδή συνόλων από ζώντες οργανισμούς (βιοκοινότητα) που βρίσκονται σε μία δεδομένη γεωγραφική έκταση που ονομάζεται **βιότοπος** μέσα στον οποίο δρα αυτή η **βιοκοινότητα**. Ο βιότοπος χαρακτηρίζεται τόσο από συγκεκριμένες **αβιοτικές**, φυσικοχημικές παραμέτρους, όσο και από στοιχεία **βιοτικά**. Πρέπει να σημειώσουμε ότι ένα οικοσύστημα δεν είναι απλά το άθροισμα βιοκοινότητας και βιότοπου, αλλά περικλείει και κάθε δυναμική σχέση και λειτουργικό μηχανισμό που συνδέει τους οργανισμούς μεταξύ τους, καθώς και με τον βιότοπο.



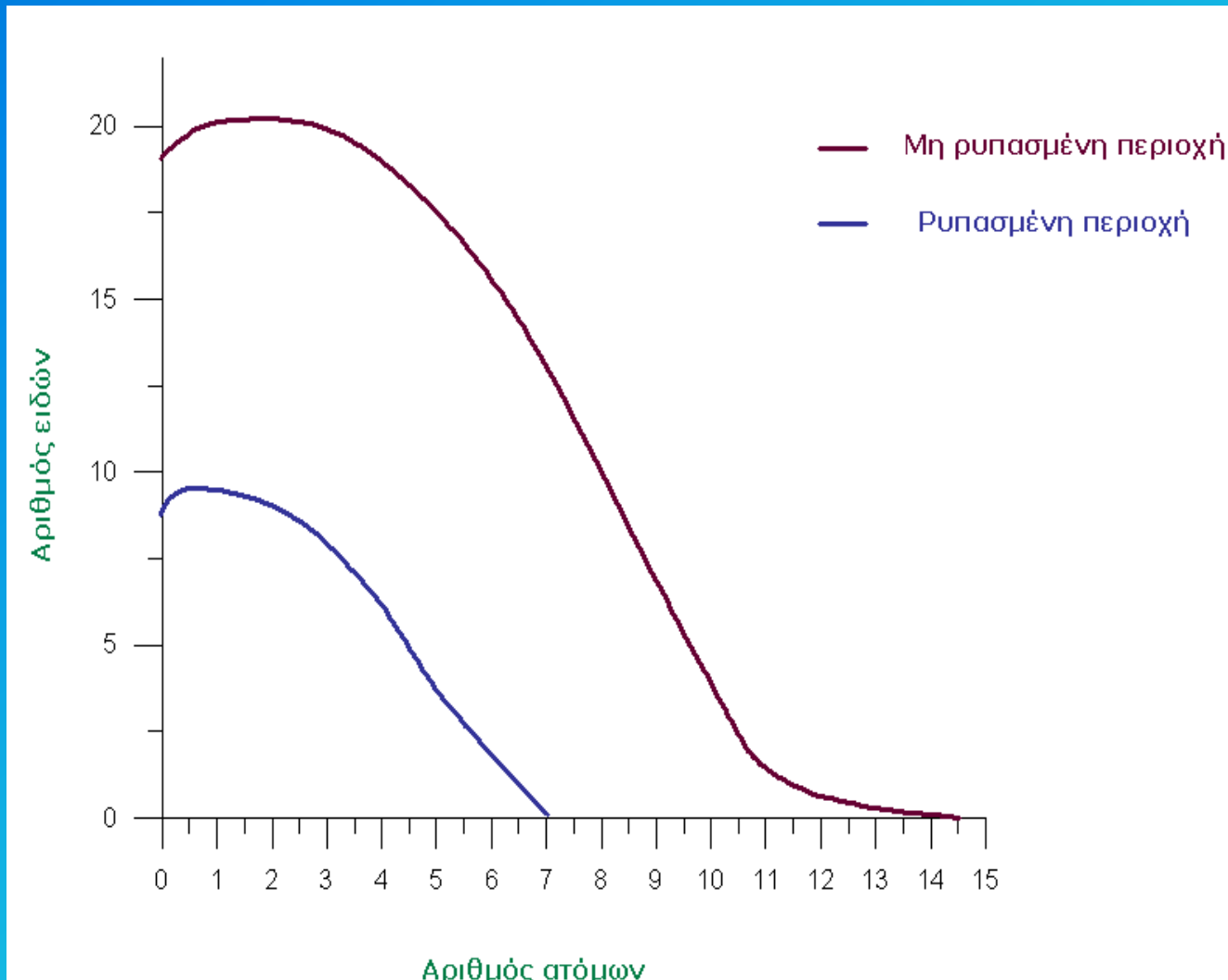


## ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ - BIODIVERSITY

Η ποικιλία έχει μεγάλη σημασία για την ευστάθεια ενός οικοσυστήματος. Ως **ευστάθεια** ορίζεται η δυνατότητα των οικοσυστημάτων να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση ισορροπίας μετά την επιβολή κάποιας εξωτερικής «έντασης» ή «διαταραχής» (“stress”) που διαφοροποίησε το μέγεθος ή την σύνθεση του πληθυσμού τους. Εάν η ευστάθεια είναι μικρή, τότε μετά από μια σημαντική διαταραχή το οικοσύστημα ξεπερνάει το δεδομένο «**όριο θραυσμού**» του και δεν μπορεί να επανέλθει στην αρχική κατάσταση ισορροπίας του, άρα καταστρέφεται ή υποβαθμίζεται. Η μεγάλη ποικιλία παρέχει πολλές δυνατές διεξόδους και δικλείδες ασφαλείας για την ροή ύλης και ενέργειας στο οικοσύστημα, το οποίο λόγω μεγάλου και πολύπλοκου πλέγματος ενεργειακών ροών μπορεί να «απορροφήσει» τη διαταραχή και να διατηρήσει την ισορροπία ειδών.



Έχει αποδειχτεί ότι γενικά η ρύπανση μιας περιοχής μειώνει δραστικά την ποικιλία των ειδών και κάνει το οικοσύστημα περισσότερο ευάλωτο και ασταθές. Στο σχήμα φαίνεται η επίδραση της ρύπανσης στην ποικιλία των διατόμων στις εκβολές ενός ρυπασμένου και ενός μη ρυπασμένου ποταμού.



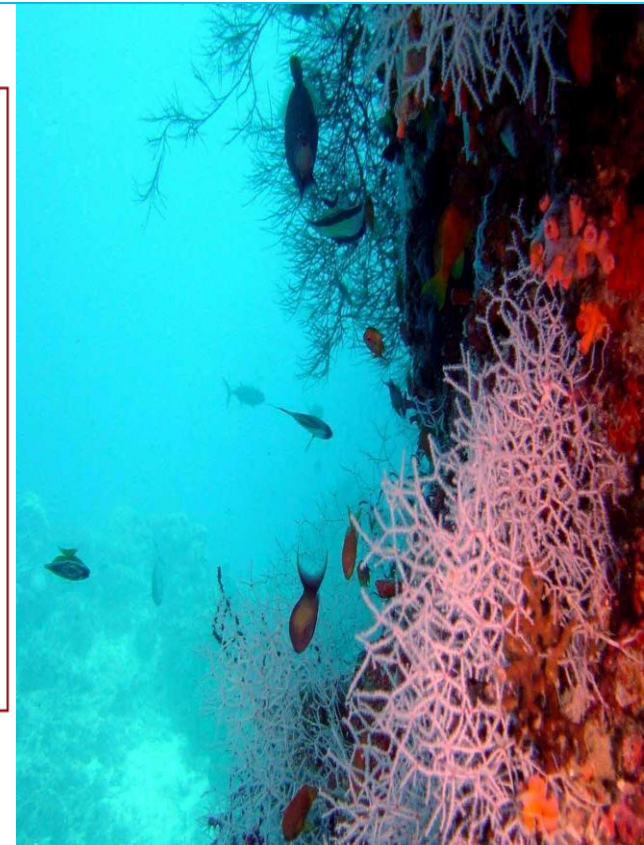
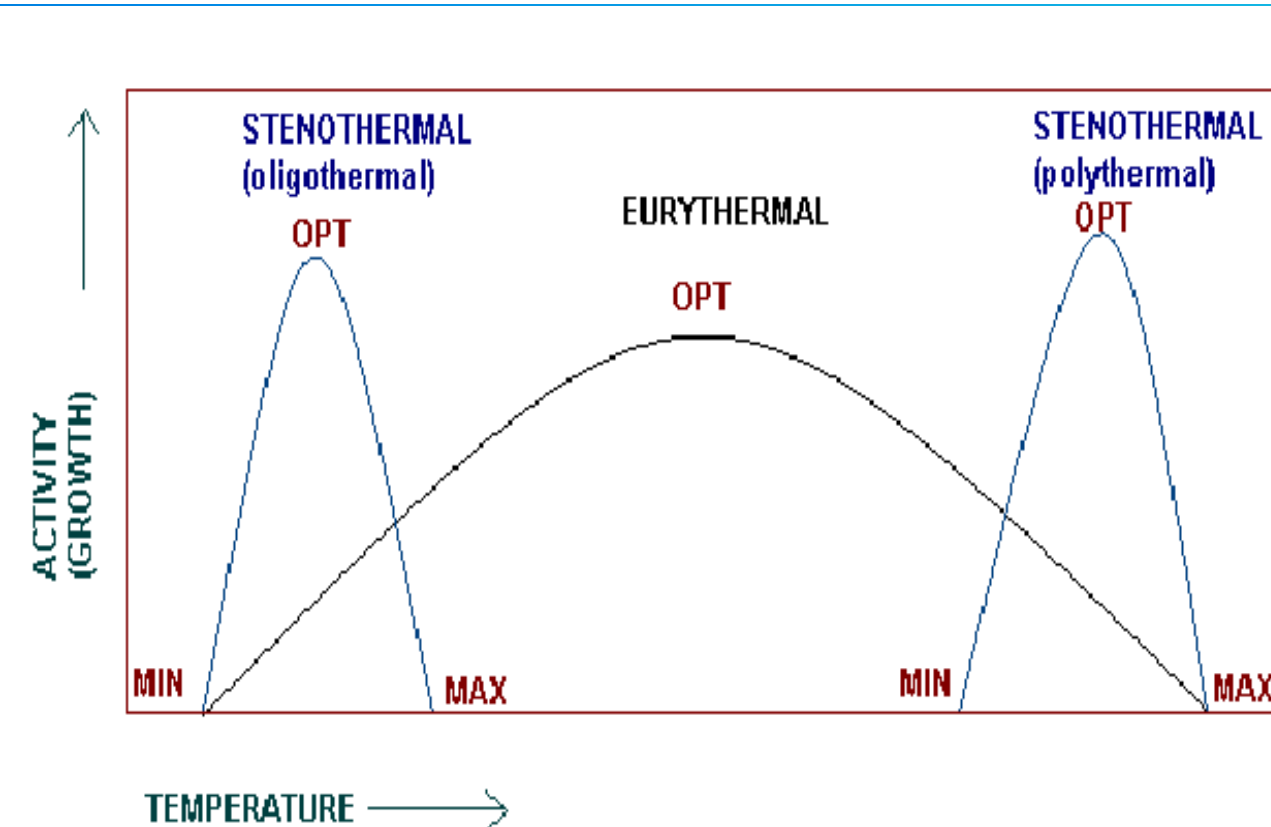


• Ο κάθε οργανισμός για να ζήσει και να αναπτυχθεί έχει ανάγκη από ορισμένες προϋποθέσεις στο περιβάλλον του. Αυτές δεν είναι ίδιες για όλους τους οργανισμούς αλλά διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ των ειδών και κατά περίπτωση. Όταν ο οργανισμός δεν βρίσκει στο περιβάλλον του τις προϋποθέσεις που χρειάζεται, δεν μπορεί να επιβιώσει και να αναπτυχθεί ομαλά.

• **Ο Νόμος του Liebig** ή νόμος του «ελαχίστου» αναφέρει ότι για κάθε είδος οργανισμού υπάρχει ένα ελάχιστο όριο απαραίτητων συνθηκών υποστρώματος. Η ανάπτυξη του οργανισμού εξαρτάται από εκείνο το στοιχείο του υποστρώματος που βρίσκεται σε μικρότερη σχετικά ποσότητα, δηλαδή σε αναλογία σημαντικά διαφορετική από την προβλεπόμενη ή απαιτούμενη για την εξέλιξη ενός φυσικού μηχανισμού. Το στοιχείο αυτό ονομάζεται «περιοριστικός παράγοντας». Για παράδειγμα, σε μία έρημο περιοριστικός παράγων είναι το νερό (υγρασία), ενώ σε μία λίμνη μπορεί να είναι το οξυγόνο ή κάποιο θρεπτικό στοιχείο κτλ.



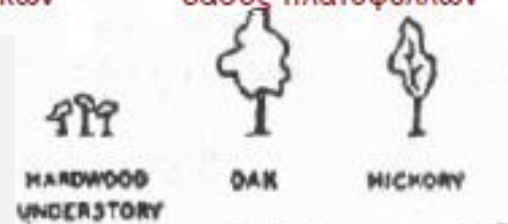
Ο νόμος του Shelford ή νόμος «ανοχής» ορίζει ότι τα όρια ανοχής ενός οργανισμού στη μεταβολή των παραμέτρων του περιβάλλοντος του δεν είναι απεριόριστα. Κάθε οργανισμός ανέχεται κάποια όρια μεταβολών των συνθηκών του περιβάλλοντος που είναι χαρακτηριστικά για κάθε είδος. Ανάλογα με το αν ανέχεται μεγάλες ή μικρές μεταβολές μιας παραμέτρου (π.χ. θερμοκρασίας, υγρασίας, αλατότητας κτλ.) του περιβάλλοντός του, ο οργανισμός μπορεί να χαρακτηριστεί ως "ευρύοικος" ή "στενόοικος". Στο σχήμα εξετάζεται η δραστηριότητα ενός οργανισμού συναρτήσει της θερμοκρασίας. Παρατηρείται ότι ο ευρύθερμος οργανισμός έχει μεγαλύτερες δυνατότητες επιβίωσης σε αλλαγές θερμοκρασίας παρά ο στενόθερμος. Αντίθετα σε περιπτώσεις διαρκούς επικράτησης υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας, ευνοούνται οι αντίστοιχοι στενόθερμοι οργανισμοί.







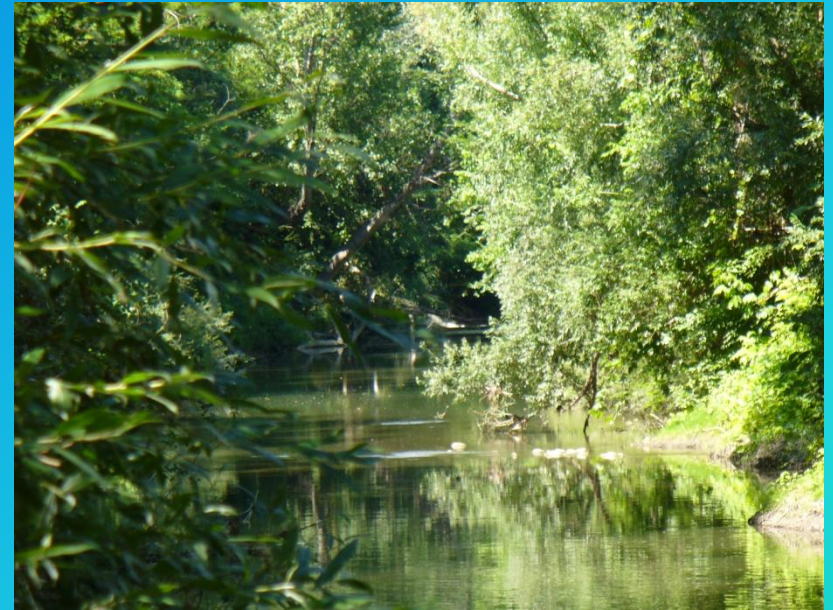
Η **διαδοχή** αυτή οφείλεται, σε αλλαγές που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον από επιδράσεις της ίδιας της βιοκοινότητας. Οι γενικές γραμμές και ο ρυθμός διαδοχής καθορίζονται από το φυσικό υπόστρωμα του βιότοπου. Όλη αυτή η μεταβολή τείνει σε ένα σταθεροποιημένο οικοσύστημα με την ανώτατη δυνατή βιομάζα. Τα πρώτα στάδια στην εξέλιξη ονομάζονται «**αρχικά**» ή **πρόδρομα** και τα τελικά σταθεροποιημένα στάδια ονομάζονται «**κορύφωση**». Το οικοσύστημα στην εξέλιξη του τείνει να αυξήσει τη σταθερότητα και την αντοχή του, δηλαδή τείνει να αποκτήσει μια σύνθετη δομή που να το προστατεύει από διαταραχές, τείνει να αποκτήσει αυτό που λέγεται υψηλή «**ομοιόσταση**», δηλαδή να φτάσει στο σημείο να ανθίσταται αποτελεσματικά στις μεταβολές και να παραμένει σε κατάσταση ισορροπίας.



## Παράδειγμα διαδοχής

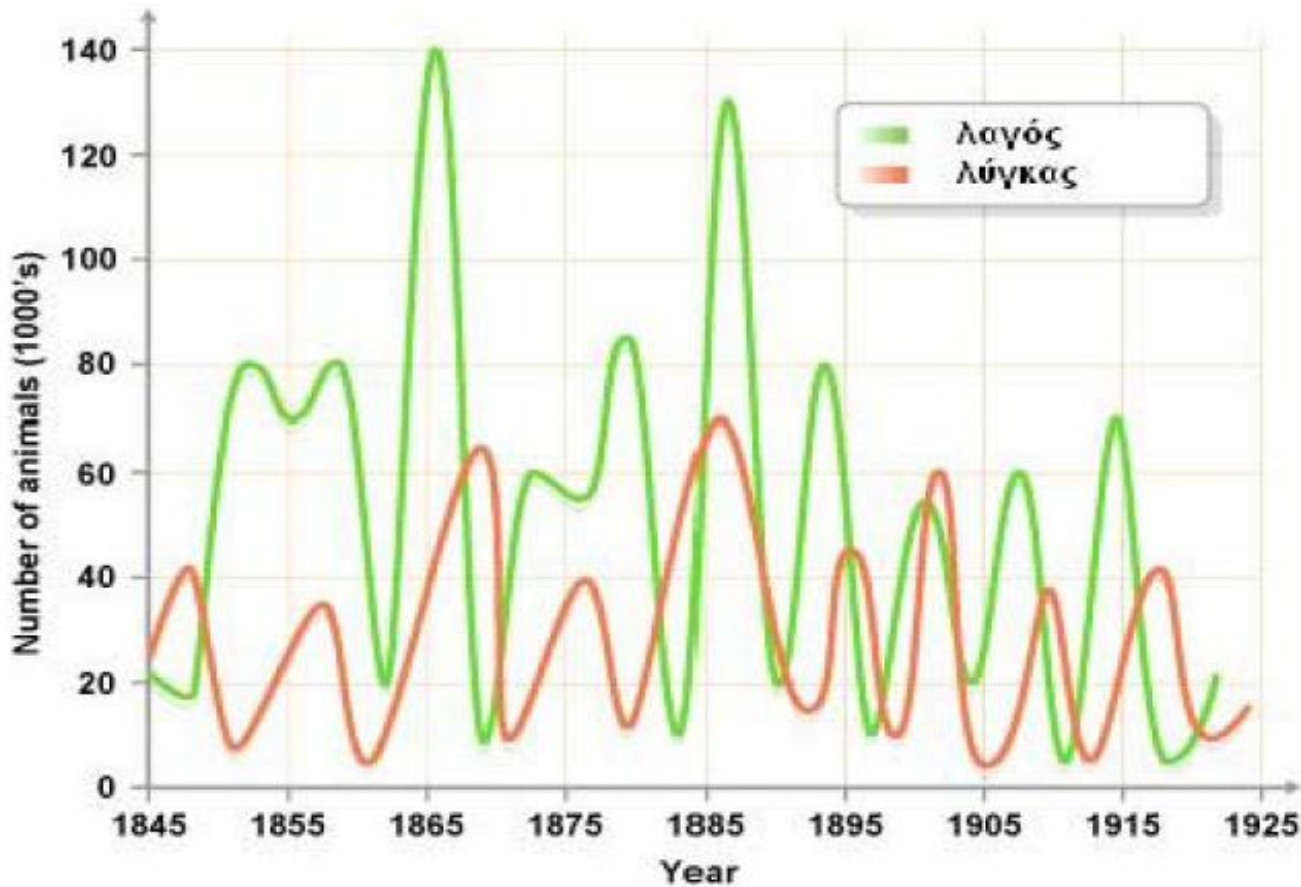


Σημειώνεται ότι ενώ η βιομάζα, η ποικιλία και η σταθερότητα είναι μέγιστες στο κορυφαίο στάδιο, το σύστημα δεν είναι αρκετά παραγωγικό. Ο ρυθμός καθαρής παραγωγής είναι μεγαλύτερος στα πρώτα στάδια ανάπτυξης και διαδοχής. Αυτό σημαίνει ότι τα πρώτα στάδια είναι περισσότερο «συμφέροντα» για άμεση εκμετάλλευση από τον άνθρωπο για παραγωγή τροφής, ενώ τα τελικά είναι κατάλληλα για αισθητική απόλαυση, τουρισμό, επιστημονική παρατήρηση κτλ.



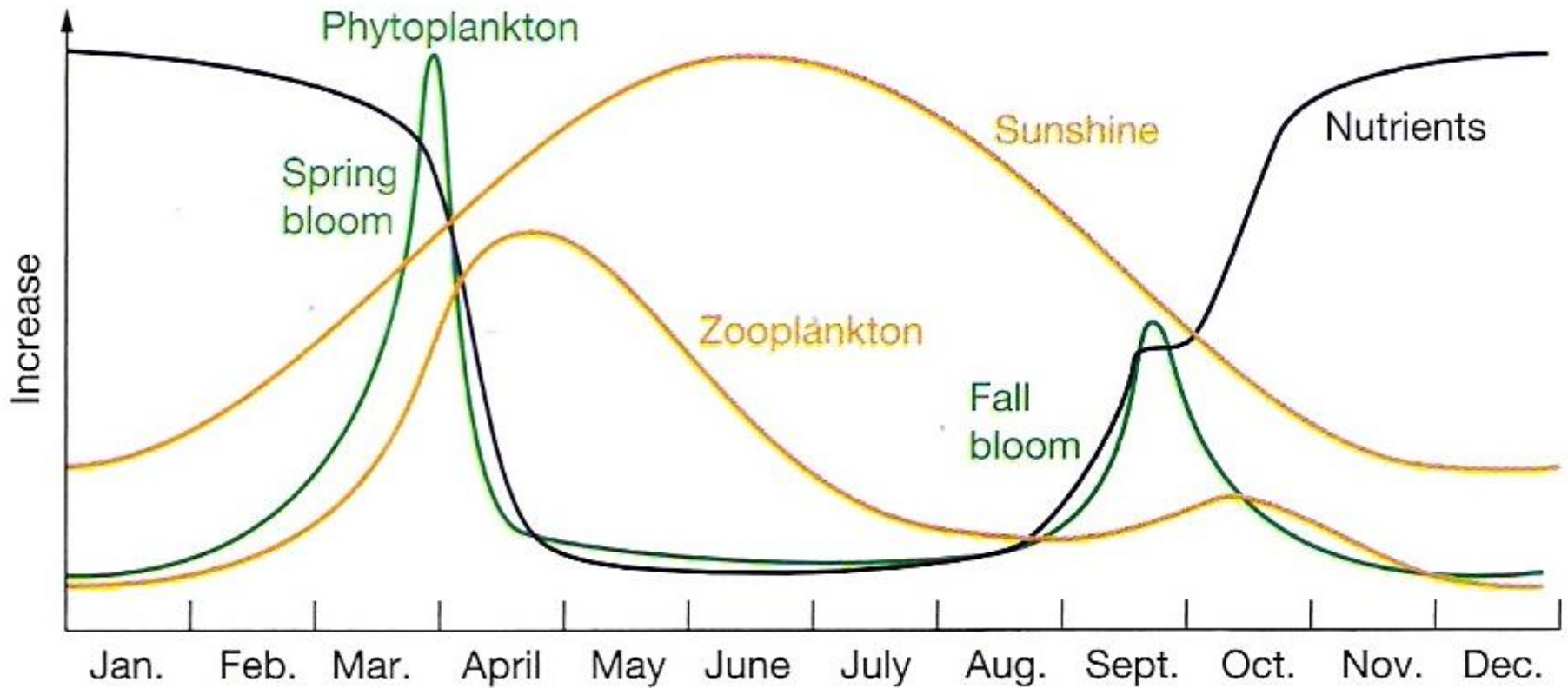
Παράδειγμα παραγωγικών συστημάτων πολύ φτωχής ποικιλίας και μικρής ευστάθειας παρέχουν οι μονοκαλλιέργειες (π.χ. σιτηρά, τριφύλλι, οπωροφόρα κτλ.). Τα συστήματα αυτά, ενώ έχουν μεγάλη παραγωγή, έχουν πολύ μικρό δείκτη ποικιλίας ειδών και είναι πολύ ευαίσθητα σε κλιματολογικές ή άλλες μεταβολές του φυσικού υποστρώματος. Έτσι, στις καλλιέργειες αυτές συμβαίνουν συχνά σοβαρές καταστροφές από ασθένειες ή από τη μεταβολή των αβιοτικών παραγόντων (ξηρασίες, παγετοί κτλ.).

Η σχέση πληθυσμών δύο ανταγωνιστών, ή ενός αρπακτικού και του θηράματος του, είναι πολύ συχνά αυξομειώσεις με κάποια διαφορά φάσης. Η κατανόηση των φαινομένων αυτών είναι απόλυτα απαραίτητη και επιτρέπει τη διάκριση π.χ. της ελάττωσης ενός πληθυσμού που υπόκειται σε μείωση λόγω αύξησης του εχθρού του, από ένα πληθυσμό που μειώνεται λόγω ρύπανσης κτλ. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται στις σχέσεις μεταξύ φυτοπλαγκτού (παραγωγού) και ζωοπλαγκτού (καταναλωτή).



Σχήμα 7: Διακυμάνσεις στους πληθυσμούς λαγού και λυγκός





**ΕΠΟΧΙΑΚΕΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟΥ- ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟΥ**

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι επίδρασης που επιβάλλονται από τον άνθρωπο στα φυσικά οικοσυστήματα και το περιβάλλον: η αφαίρεση, η αλλαγή, η προσθήκη και η ανάμιξη.

Η αφαίρεση περιλαμβάνει εκμετάλλευση μη ζωντανών οργανισμών, ιδιαίτερα όμως σημαντικών για τη ζωή, όπως νερό, άνθρακας, μέταλλα, πετρέλαιο κ.λπ.

Η αλλαγή περιλαμβάνει τροποποίηση των φυσικών μορφών ροής ύλης και ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται, για παράδειγμα, με την προώθηση διαδικασιών και οργανισμών που είναι χρήσιμα στον άνθρωπο ή καταστέλλοντας αντίστοιχα εκείνες που θεωρείται ότι εμποδίζουν την οικονομική εκμετάλλευση των οικοσυστημάτων π.χ. πρακτικές καταστολής οργανισμών στις γεωργικές πρακτικές (απαλλαγή από παράσιτα, ανταγωνιστές, αρπακτικά, κ.λπ).

Η προσθήκη αναφέρεται στην εισαγωγή μέσα στα φυσικά οικοσυστήματα ύλης και ενέργειας που θεωρείται απλά άχρηστη ή ανεπιθύμητη (κλασική ρύπανση).

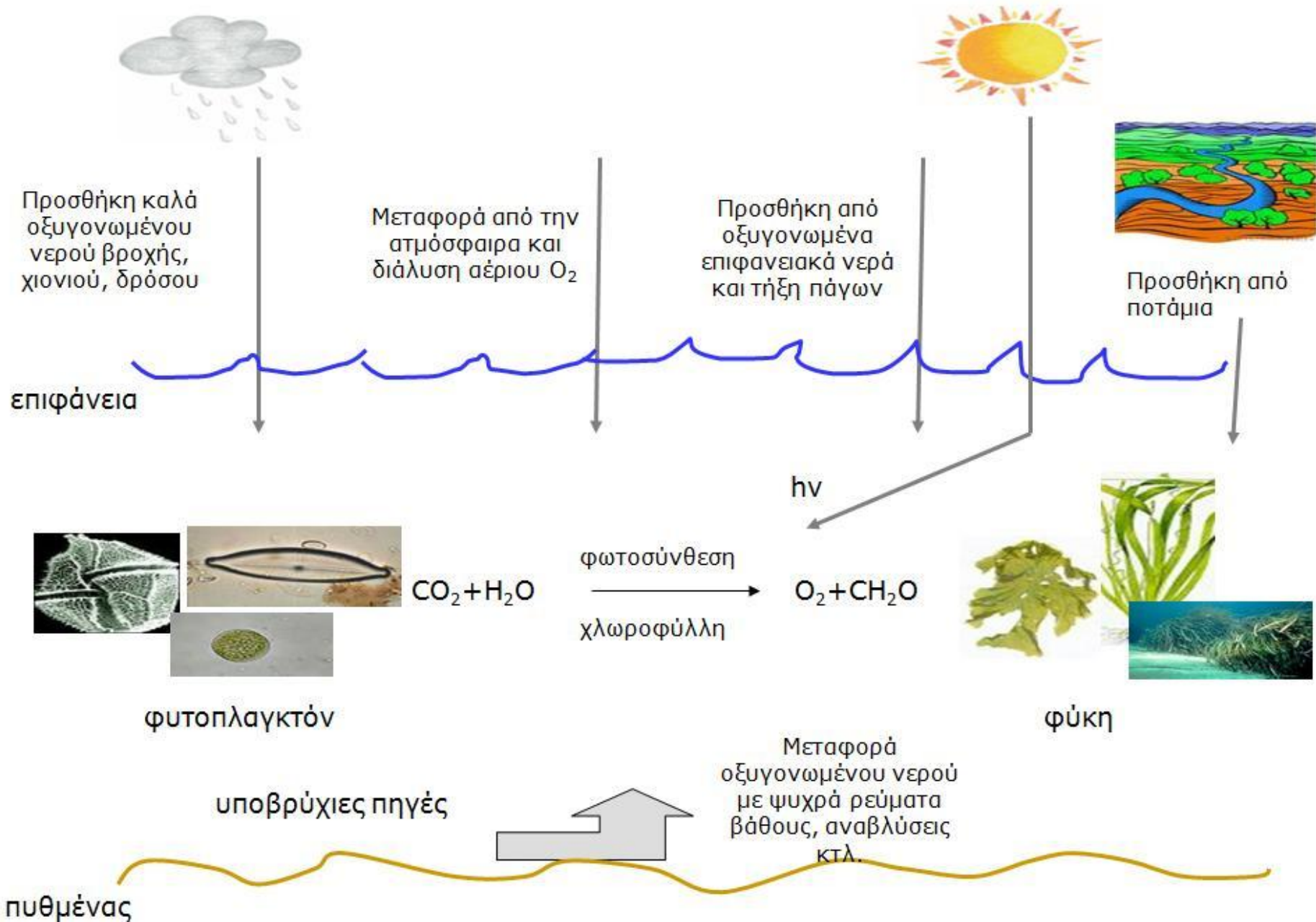
Η ανάμιξη τέλος, είναι ο απεντοπισμός (μεταφύτευση, εκτοπισμός) συστατικών, που ανήκαν σε διαφορετικά οικοσυστήματα, ακούσια (μέσω μεταφοράς γενικά) ή και εκούσια (χρήση εισαγόμενων οργανισμών στη γεωργία και στην υδατοκαλλιέργεια). Πέρα από την προσθήκη, η αφαίρεση, η αλλαγή και η ανάμιξη μπορούν να αποτελέσουν επίσης στοιχεία ρύπανσης.



**Το διαλυμένο οξυγόνο, DO (Dissolved Oxygen),** είναι πιθανότατα η πιο σημαντική παράμετρος για τον χαρακτηρισμό της περιβαλλοντικής ποιότητας των υδάτων, αφού η έλλειψη οξυγόνου συνεπάγεται την κατάρρευση των υδάτινων οικοσυστημάτων και τον θάνατο των υδρόβιων οργανισμών από ασφυξία. Συχνά, η εμφάνιση μεγάλων αριθμών νεκρών ψαριών ή άλλων οργανισμών οφείλεται στην μείωση του διαλυμένου οξυγόνου σε μια περιοχή. Η περιορισμένη ανανέωση των νερών μέσω των θαλάσσιων ρευμάτων, η ύπαρξη μεγάλου οργανικού φορτίου από απόβλητα, η εμφάνιση ευτροφικών φαινομένων είναι οι συνηθέστερες αιτίες για την μείωση των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.



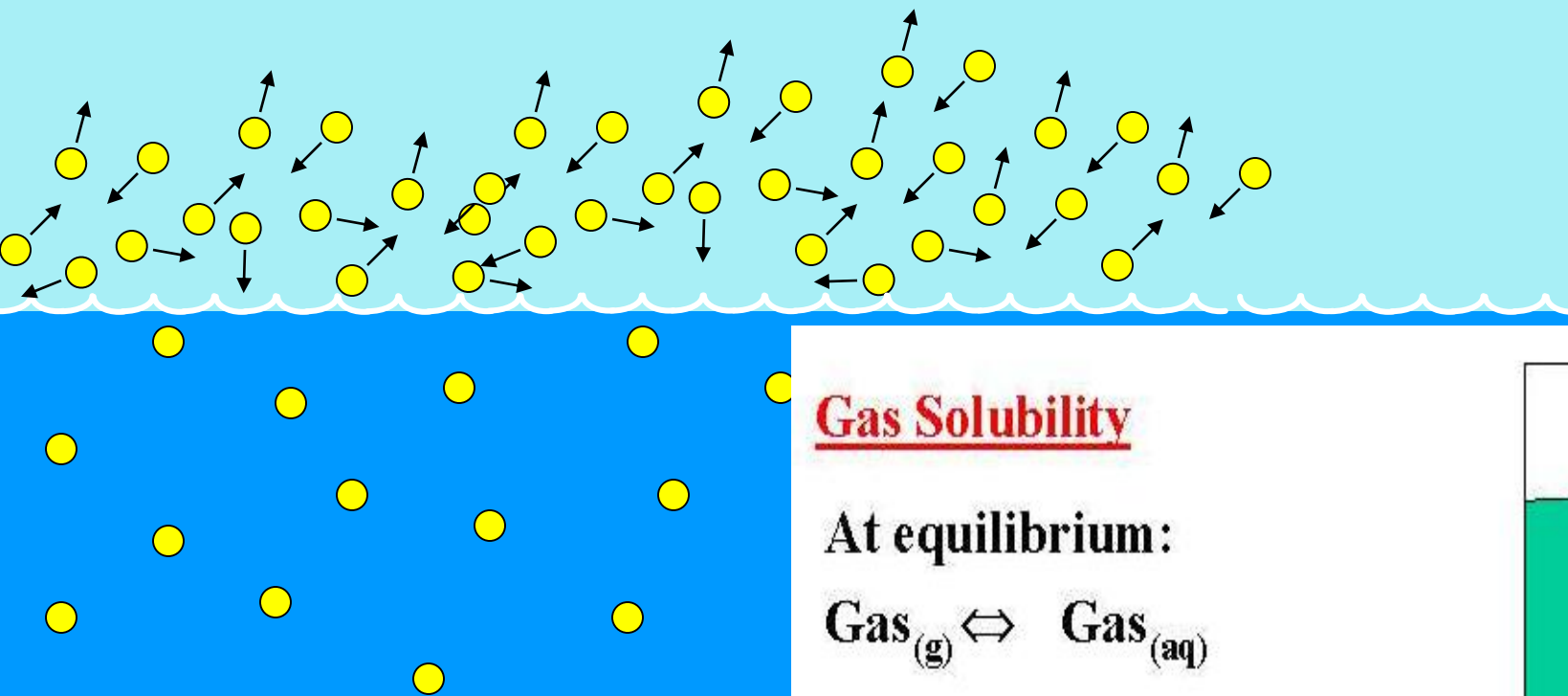
# Μηχανισμός εμπλουτισμού υδάτων με οξυγόνο





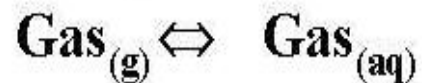
# νόμος του Henry

Το ποσοστό ενός αερίου στην ατμόσφαιρα σχετίζεται με τη συγκέντρωση του αερίου στα νερά



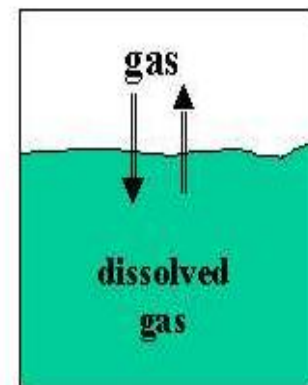
## Gas Solubility

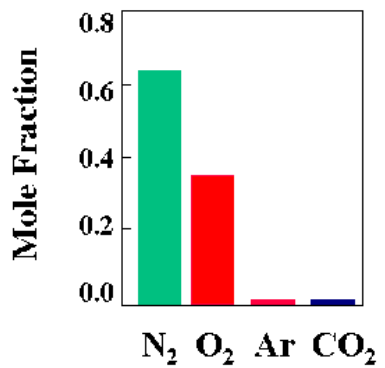
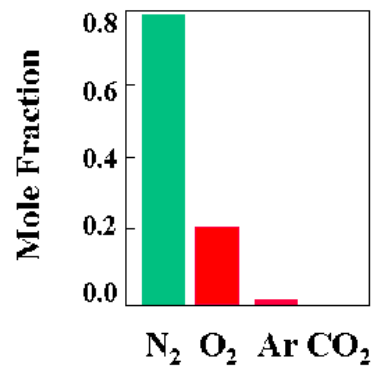
At equilibrium:



**Equilibrium constant:**

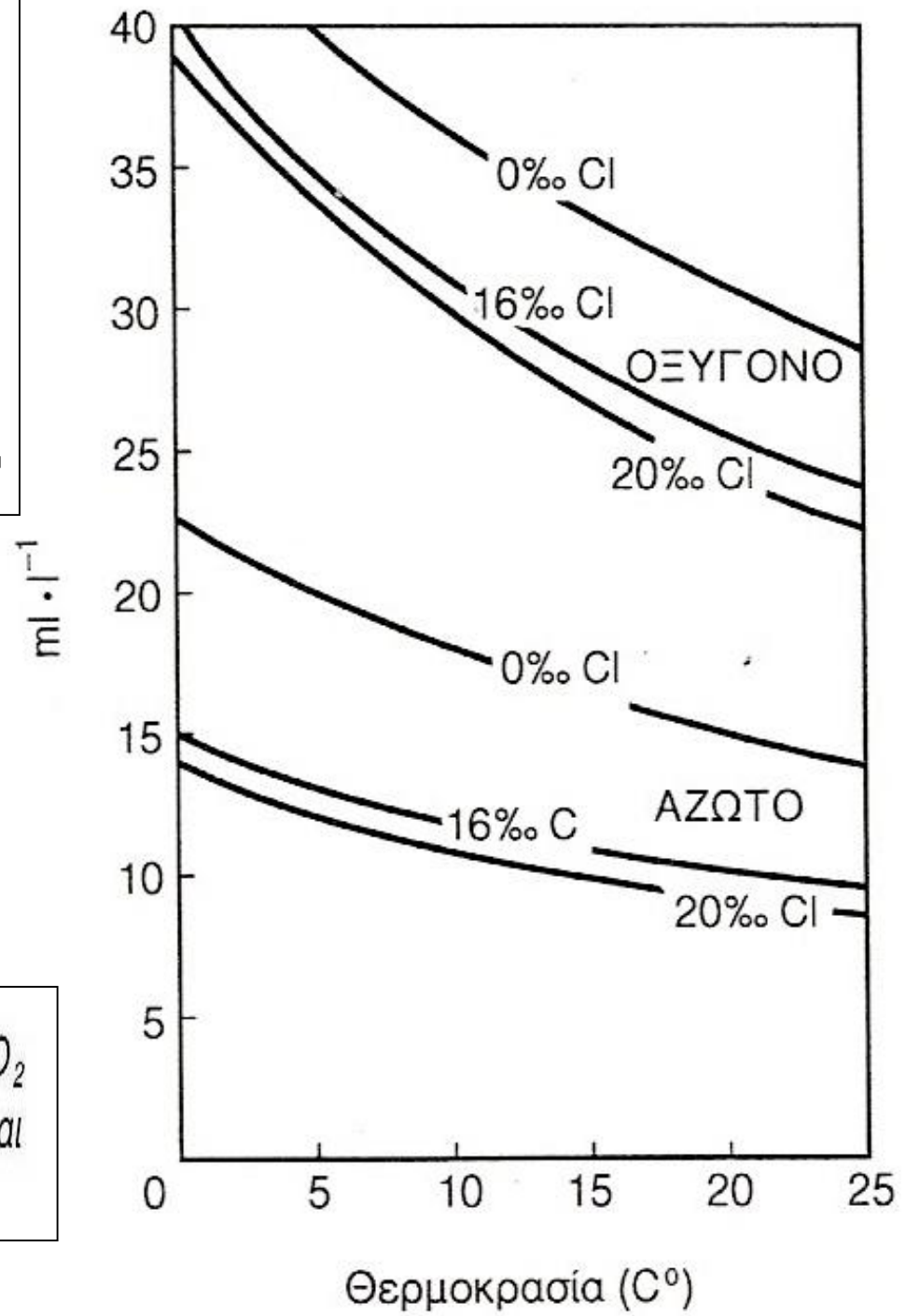
$$K_{eq} = \frac{[\text{Gas}]_{aq}}{[\text{Gas}]_g}$$





**Dry Air  
Composition**

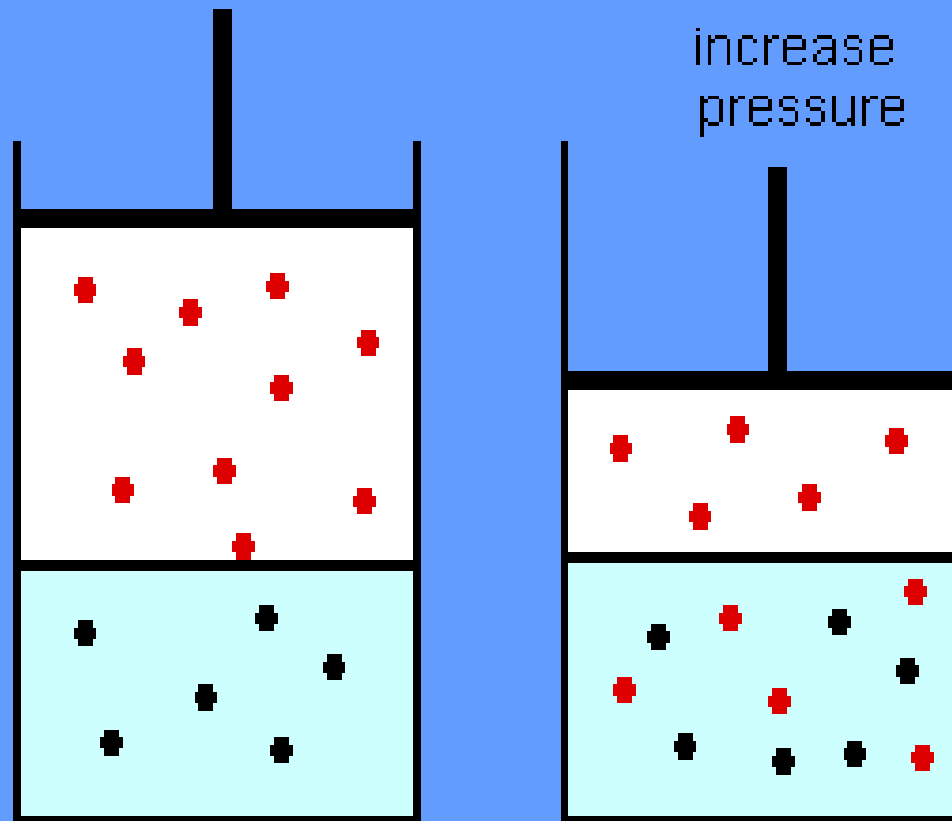
**Seawater S=35  
P = 1 atm, T = 20°C**



Η διαλυτότητα των κυριότερων ατμοσφαιρικών αερίων (O<sub>2</sub> και N<sub>2</sub>) στο θαλάσσιο νερό σε διάφορες χλωριότητες και πίεση 1 atm.



# Solubility of a gas vs. Pressure



More gas molecules are  
soluble at higher  
pressure.

Solubility of oxygen (C) in sea water ( $\text{cm}^3 \text{dm}^{-3}$ ) with respect to an atmosphere of 20.95% oxygen and 100% relative humidity at a total atmospheric pressure of 760 mm Hg. (UNESCO, 1973)\*

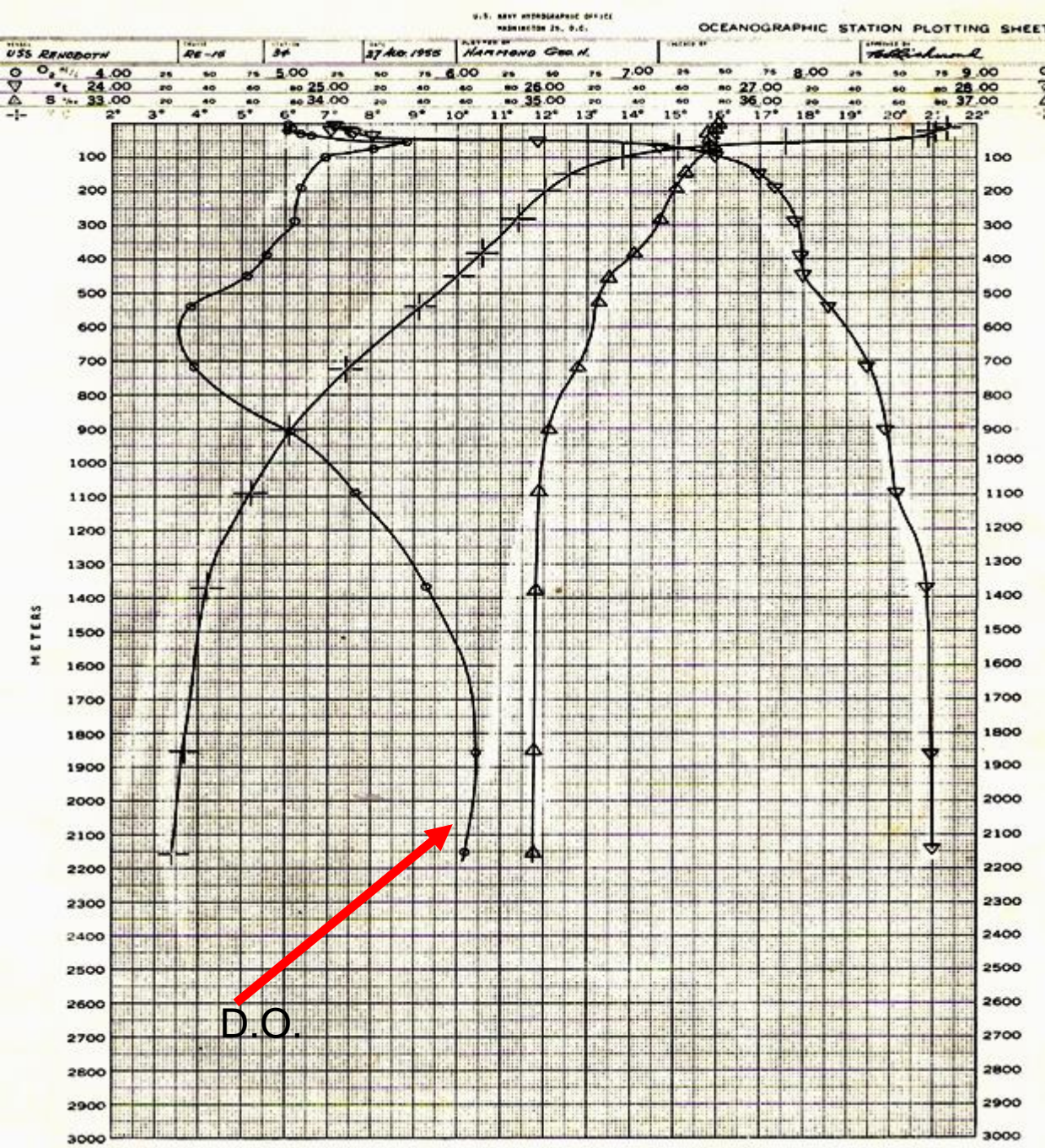
T (°C)	Salinity (‰)														
	0	5	10	15	20	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38
0	10.22	9.87	9.54	9.22	8.91	8.61	8.32	8.27	8.21	8.16	8.10	8.05	7.99	7.94	7.88
1	9.94	9.60	9.28	8.97	8.68	8.39	8.11	8.05	8.00	7.94	7.89	7.84	7.78	7.73	7.68
2	9.67	9.35	9.04	8.74	8.45	8.17	7.90	7.85	7.79	7.74	7.69	7.64	7.59	7.53	7.48
3	9.41	9.10	8.80	8.51	8.23	7.96	7.70	7.65	7.60	7.55	7.50	7.45	7.40	7.35	7.30
4	9.16	8.86	8.57	8.29	8.02	7.76	7.51	7.46	7.41	7.36	7.31	7.26	7.22	7.17	7.12
5	8.93	8.64	8.36	8.09	7.83	7.57	7.33	7.28	7.23	7.18	7.14	7.09	7.04	7.00	6.95
6	8.70	8.42	8.15	7.89	7.64	7.39	7.15	7.11	7.06	7.01	6.97	6.92	6.88	6.83	6.79
7	8.49	8.22	7.95	7.70	7.45	7.22	6.98	6.94	6.89	6.85	6.81	6.76	6.72	6.67	6.63
8	8.28	8.02	7.76	7.52	7.28	7.05	6.82	6.78	6.74	6.69	6.65	6.61	6.57	6.52	6.48
9	8.08	7.83	7.58	7.34	7.11	6.89	6.67	6.63	6.59	6.54	6.50	6.46	6.42	6.38	6.34
10	7.89	7.64	7.41	7.17	6.95	6.73	6.52	6.48	6.44	6.40	6.36	6.32	6.28	6.24	6.20
11	7.71	7.47	7.24	7.01	6.80	6.58	6.38	6.34	6.30	6.26	6.22	6.18	6.14	6.10	6.07
12	7.53	7.30	7.08	6.86	6.65	6.44	6.24	6.21	6.17	6.13	6.09	6.05	6.01	5.98	5.94
13	7.37	7.14	6.92	6.71	6.50	6.31	6.11	6.07	6.04	6.00	5.96	5.93	5.89	5.85	5.82
14	7.20	6.98	6.77	6.57	6.37	6.17	5.99	5.95	5.91	5.88	5.84	5.80	5.77	5.73	5.70
15	7.05	6.84	6.63	6.43	6.24	6.05	5.87	5.83	5.79	5.76	5.72	5.69	5.65	5.62	5.58
16	6.90	6.69	6.49	6.30	6.11	5.93	5.75	5.71	5.68	5.64	5.61	5.58	5.54	5.51	5.48
17	6.75	6.55	6.36	6.17	5.99	5.81	5.64	5.60	5.57	5.53	5.50	5.47	5.43	5.40	5.37
18	6.61	6.42	6.23	6.05	5.87	5.69	5.53	5.49	5.46	5.43	5.40	5.36	5.33	5.30	5.27
19	6.48	6.29	6.11	5.93	5.75	5.59	5.42	5.39	5.36	5.33	5.29	5.26	5.23	5.20	5.17
20	6.35	6.17	5.99	5.81	5.64	5.48	5.32	5.29	5.26	5.23	5.20	5.17	5.14	5.10	5.07
21	6.23	6.05	5.87	5.70	5.54	5.38	5.22	5.19	5.16	5.13	5.10	5.07	5.04	5.01	4.98
22	6.11	5.93	5.76	5.60	5.44	5.28	5.13	5.10	5.07	5.04	5.01	4.98	4.95	4.92	4.89
23	5.99	5.82	5.65	5.49	5.34	5.18	5.04	5.01	4.98	4.95	4.92	4.89	4.87	4.84	4.81
24	5.88	5.71	5.55	5.39	5.24	5.09	4.95	4.92	4.89	4.86	4.84	4.81	4.78	4.75	4.73
25	5.77	5.61	5.45	5.30	5.15	5.00	4.86	4.84	4.81	4.78	4.75	4.73	4.70	4.67	4.65
26	5.66	5.51	5.35	5.20	5.06	4.92	4.78	4.75	4.73	4.70	4.67	4.65	4.62	4.59	4.57
27	5.56	5.41	5.26	5.11	4.97	4.83	4.70	4.67	4.65	4.62	4.60	4.57	4.54	4.52	4.49
28	5.46	5.31	5.17	5.03	4.89	4.75	4.62	4.60	4.57	4.55	4.52	4.50	4.47	4.45	4.42
29	5.37	5.22	5.08	4.94	4.81	4.67	4.55	4.52	4.50	4.47	4.45	4.42	4.40	4.37	4.35
30	5.28	5.13	4.99	4.86	4.73	4.60	4.47	4.45	4.43	4.40	4.38	4.35	4.33	4.31	4.28
31	5.19	5.05	4.91	4.78	4.65	4.53	4.40	4.38	4.36	4.33	4.31	4.28	4.26	4.24	4.22
32	5.10	4.96	4.83	4.70	4.58	4.45	4.33	4.31	4.29	4.26	4.24	4.22	4.20	4.17	4.15

\* Based on measurements by Carpenter (1966) and Murray and Riley (1969a) fitted by Weiss (1970) to the thermodynamically consistent equation:  
 $\ln C = A_1 + A_2(100/T) + A_3 \ln(T/100) + A_4(T/100) + S_{\text{‰}}[B_1 + B_2(T/100) + B_3(T/100)^2]$   
 where

$$\begin{array}{ccccccc}
 A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & B_1 & B_2 & B_3 \\
 -173.4292 & 249.6339 & 143.3483 & -21.8492 & -0.033096 & 0.014259 & -0.0017000
 \end{array}$$

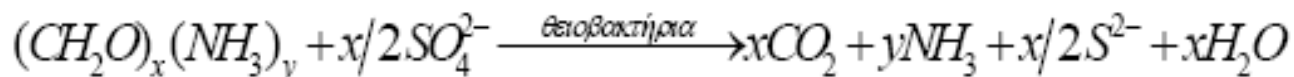
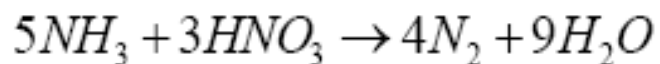
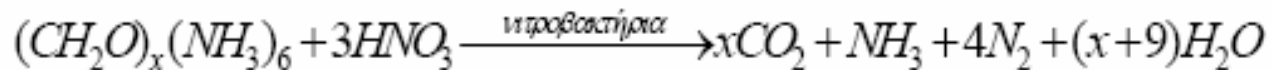
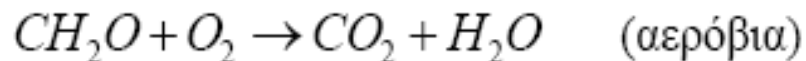
and T and S<sub>‰</sub> are the absolute temperature (K) and salinity in parts per mille respectively.





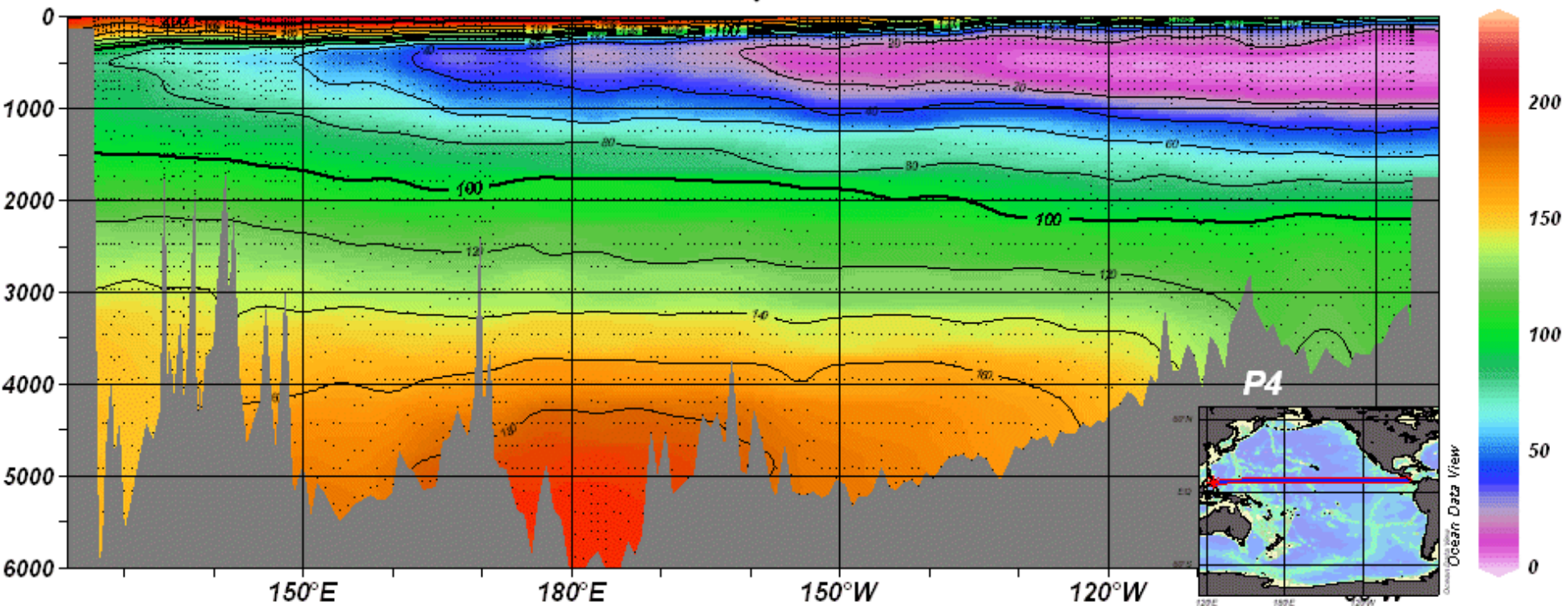
## ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΑ ΝΕΡΑ

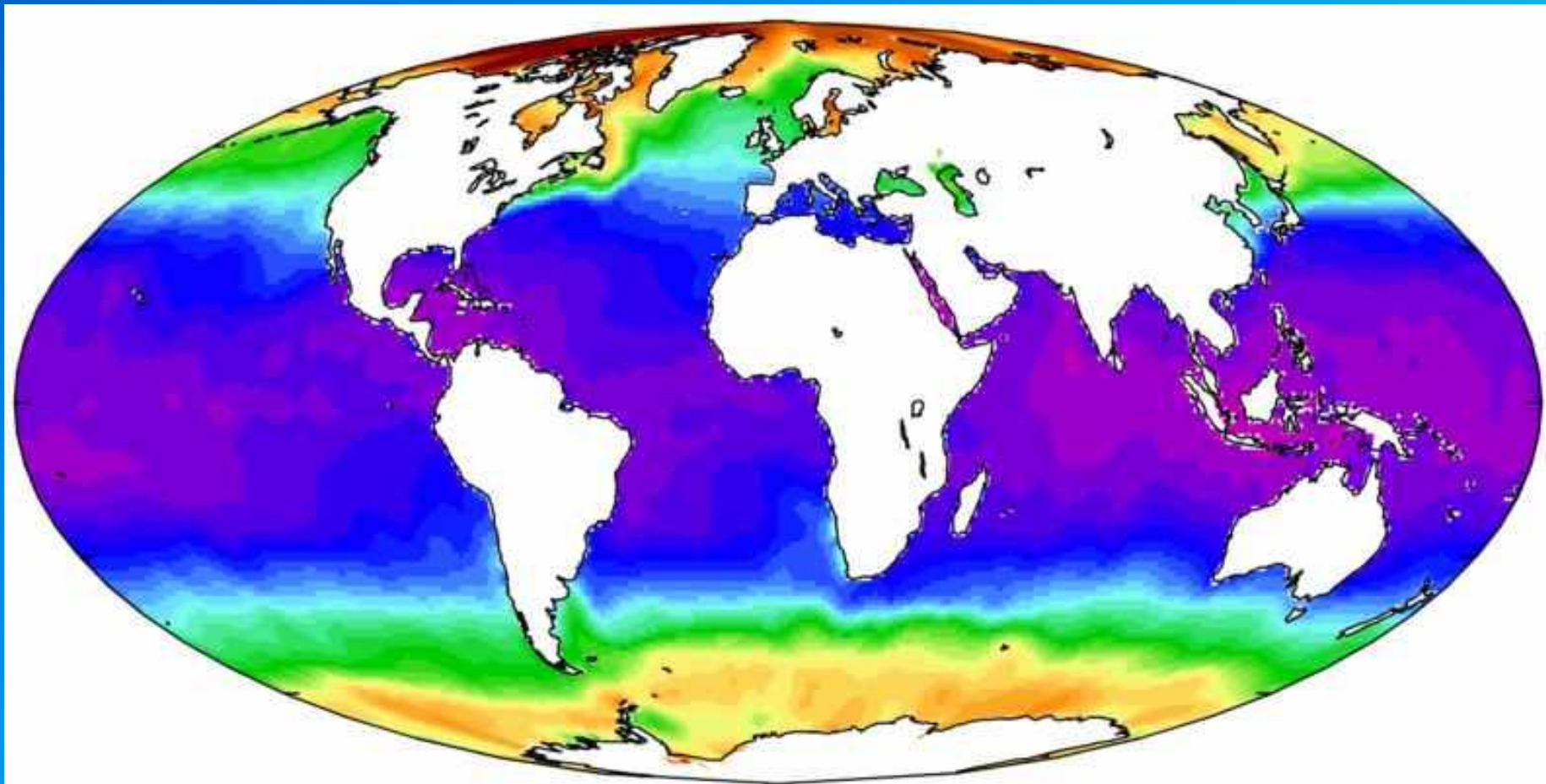
- Κατανάλωση της βιομάζας και καταστροφή της οργανικής ύλης και των μεταβολικών προϊόντων του φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού προκαλεί άμεση κατανάλωση του οξυγόνου σε καθαρά χημικές και κυρίως, σε βακτηριακές οξειδώσεις που συμβαίνει κάτω από την φωτοσυνθετική ζώνη, στους πυθμένες, τα δέλτα των ποταμών και τις εξόδους των οχετών
- Στις ζώνες αυτές παρατηρείται μείωση, μέχρι και πλήρης κατανάλωση του διαλυτού οξυγόνου, αλλά και ανάπτυξη υποξικών ή ανοξικών συνθηκών, με χρήση και αναγωγή οξυγονούχων ριζών, όπως νιτρικών, νιτρωδών και θεικών, που αντίστοιχα μετατρέπονται σε αμμωνία (ή και διάζωτο) με επενέργεια διάφορων νιτροβακτηριδίων και θειούχα ή υδρόθειο με μεσολάβηση θειοβακτηρίων



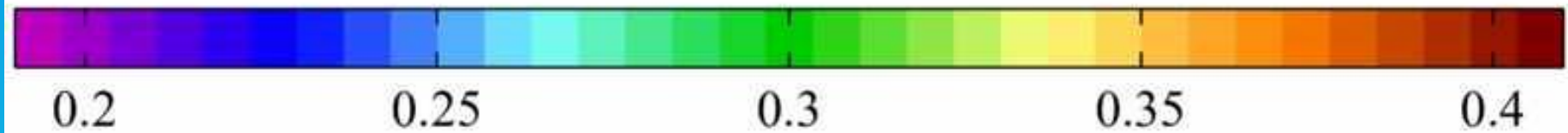


# Oxygen [ $\mu\text{mol/kg}$ ]





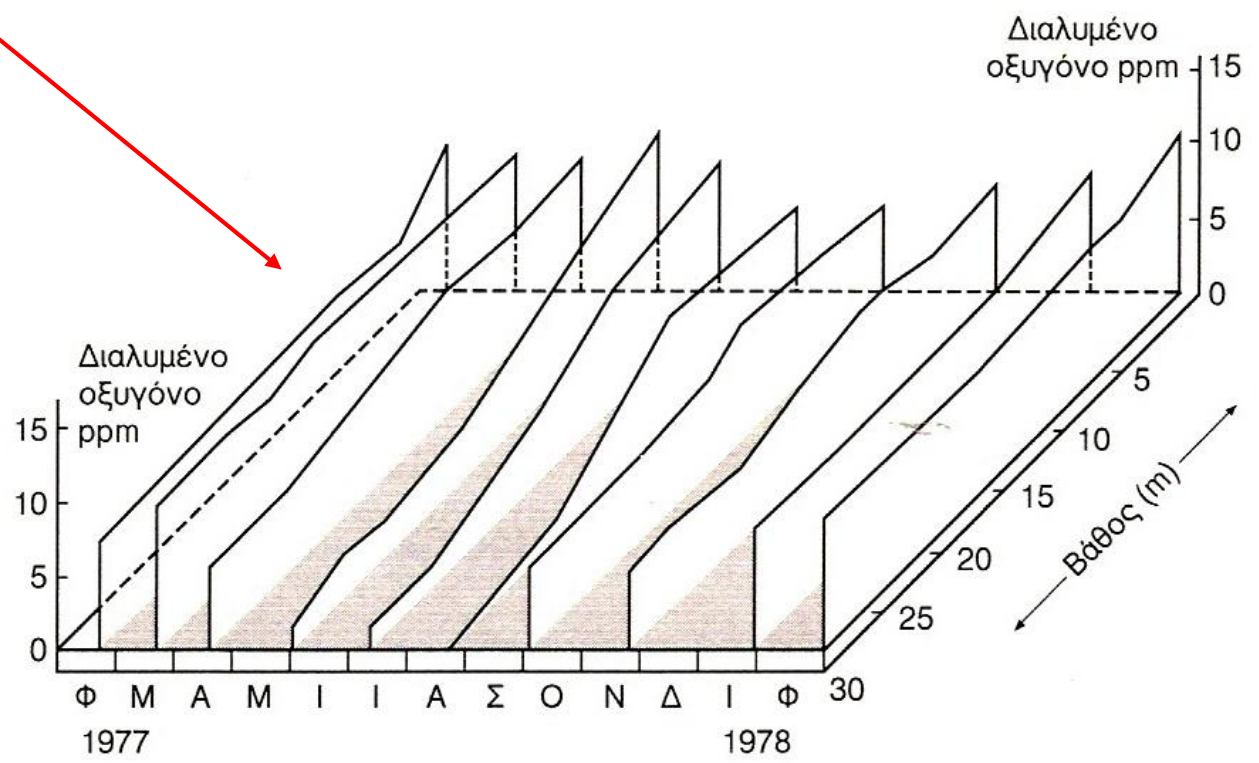
Sea-surface oxygen [mol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>]





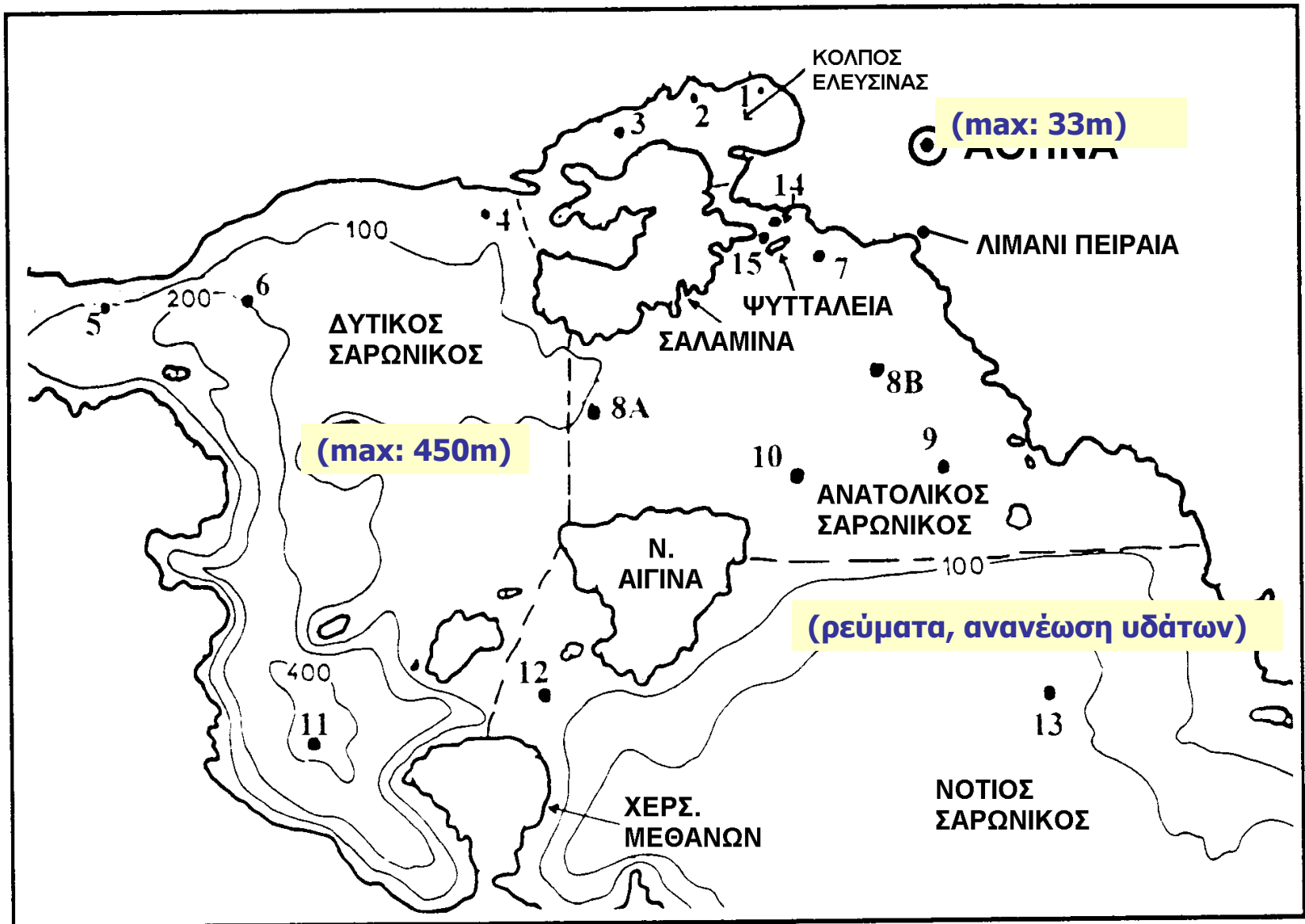


Το Σχ. 95 δείχνει τις μεταβολές της συγκεντρώσεως οξυγόνου με το βάθος για διάφορους μήνες της περιόδου 1977-78.



Σχήμα 95

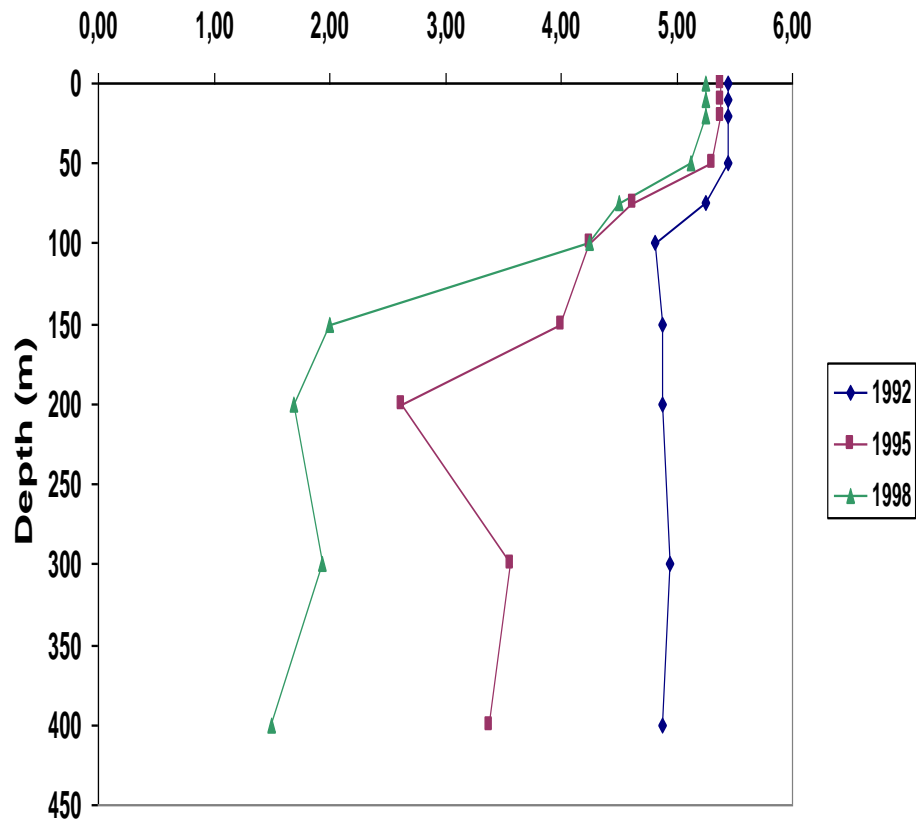
Είναι σαφής η σταδιακή κατανάλωση του οξυγόνου όσο αυξάνει η στρωμάτωση, με κατακόρυφη πτώση την διάρκεια του θέρους.



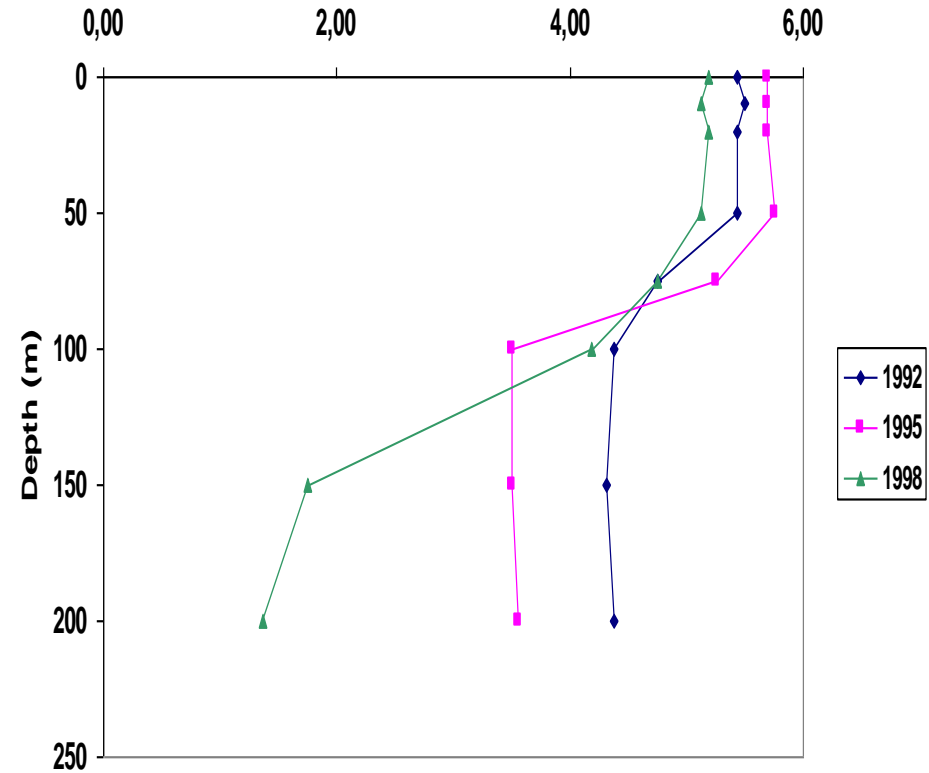


# ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (ml/l) ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ 6, 11

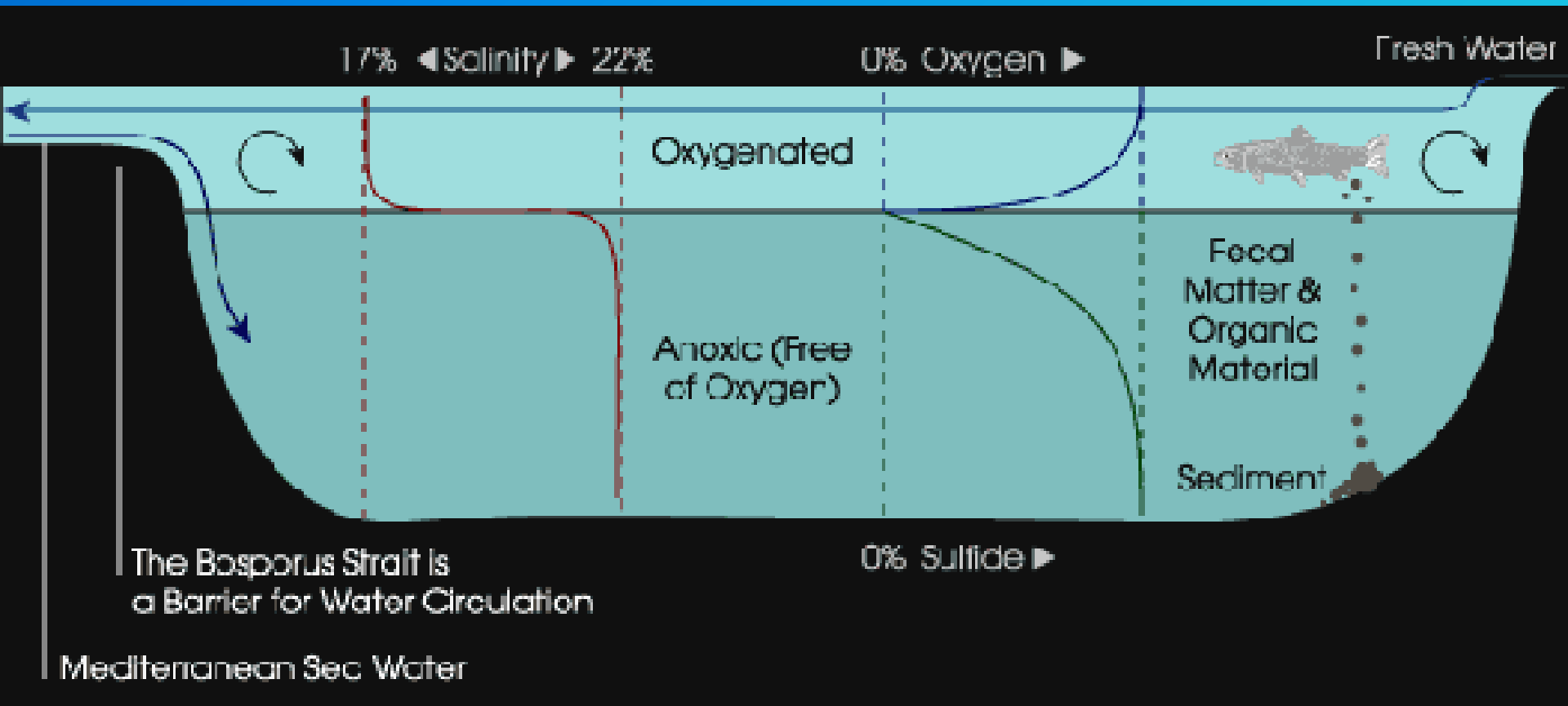
ST-11



ST-6



# ΟΞΥΓΟΝΟ ΣΤΗ ΜΑΥΡΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

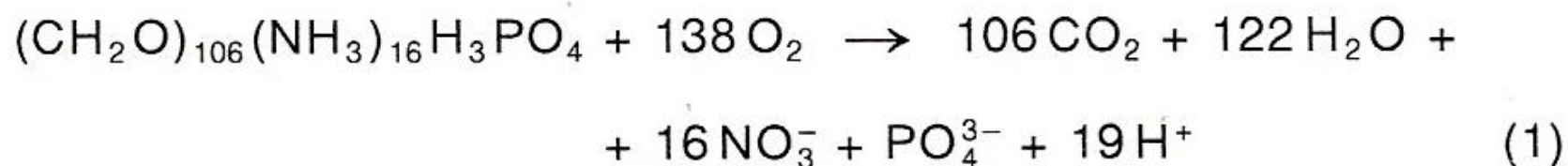




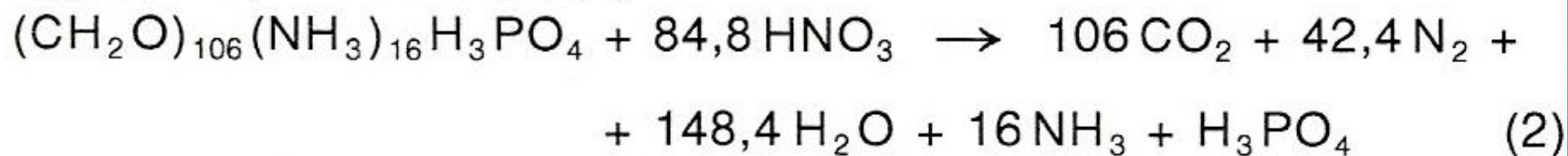
Βασικά οι ανοξικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από τα εξής στοιχεία:

1. Απουσία  $O_2$ , απουσία  $NO_2^-$  και  $NO_3^-$ .
2. Αναγωγή των  $SO_4^{2-}$  και παραγωγή  $H_2S$  και θειούχων.
3. Υποβιβασμό του δυναμικού οξειδοαναγωγής με ταυτόχρονη ελάττωση της απομακρύνσεως των οργανικών ουσιών.  
Όταν απουσιάζει το  $O_2$ , τα νιτρικά χρησιμεύουν ως πηγή οξυγόνου και ως οξειδωτικά μέσα αναγόμενα σε  $NH_3$  και  $N_2$ .

Αντί δηλαδή να λαμβάνει χώρα η γενικευμένη αντίδραση (1)



έχουμε την αντίστοιχη (2):



Many elements in the periodic table can exist in more than one oxidation state.

For example:

<u>Element</u>	<u>Oxidation State</u>	<u>Species</u>
Nitrogen	N (+V)	$\text{NO}_3^-$
	N(+III)	$\text{NO}_2^-$
	N(O)	$\text{N}_2$
	N (-III)	$\text{NH}_3, \text{NH}_4^+$
Sulfur	S (+VI)	$\text{SO}_4^{2-}$
	S (+II)	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
	S (O)	$\text{S}^\circ$
	S(-II)	$\text{H}_2\text{S}, \text{HS}^-, \text{S}^{2-}$
Iron	Fe (+III)	$\text{Fe}^{3+}$
	Fe (+II)	$\text{Fe}^{2+}$
Manganese	Mn (+VI)	$\text{MnO}_4^{2-}$
	Mn (+IV)	$\text{MnO}_2 (\text{s})$
	Mn (+III)	$\text{MnOOH} (\text{s})$
	Mn (+II)	$\text{Mn}^{2+}$

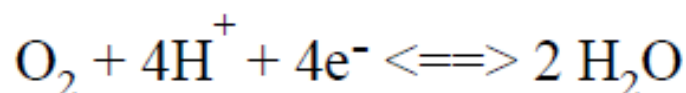
Why study **redox** (reduction/oxidation) reactions:

1. Redox reactions fuel and constrain almost all life processes.
2. Redox reactions are a major determinant of chemical species present in natural environments.



### What sets the pE in the ocean at pH ~ 8 and pO<sub>2</sub> 0.2 atm?

Probably the O<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O couple, this is the typical pE for oxic conditions.



$$E^\circ = 1.229$$

$$\log K = 83.1$$

$$n=4$$

$$K = \frac{(\text{H}_2\text{O})^2}{(\text{e}^-)^4 (\text{H}^+)^4 p\text{O}_2}$$

$$\log K = 2 \log (\text{H}_2\text{O}) - \log p\text{O}_2 - 4 \log (\text{H}^+) - 4 \log (\text{e}^-)$$

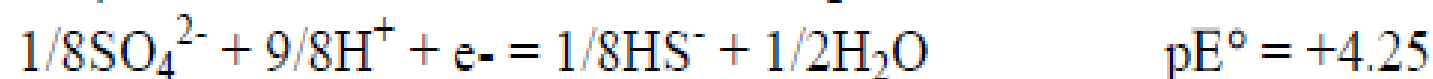
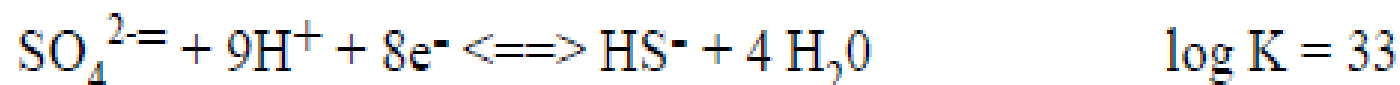
$$83 = 0 \quad -(-0.68) + 4\text{pH} \quad + 4\text{pE}$$

where (H<sub>2</sub>O) ≈ 1 (=1.0 in distilled water; 0.98 in seawater)

$$p\text{O}_2 = 0.21 \text{ atm} \quad \text{pH} \approx 8.0 \text{ to } 8.2$$

So, pE = (83 - 0.68 - 32)/4 = 12.4 to 12.6, depending on pH. Positive pE oxidizing environment.

What is the pE of water at pH = 8 in equilibrium with the SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>S couple (e.g. anoxic waters)? Assume that HS<sup>-</sup> = 10<sup>-5</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 10<sup>-3</sup>. This is typical for the anoxic end-member condition.



$$\text{pE} = \text{pE}^\circ - \log (\text{HS}^-)^{1/8} / (\text{SO}_4^{2-})^{1/8} (\text{H}^+)^{9/8}$$

$$\text{pE} = \text{pE}^\circ - 1/8 \log (\text{HS}^-) + 1/8 \log (\text{SO}_4^{2-}) + 9/8 \log (\text{H}^+)$$

$$\text{pE} = 4.25 + 0.63 - 0.37 - 9/8\text{pH}$$

$$\text{pE} = 4.25 + 0.63 - 0.37 - 9.0$$

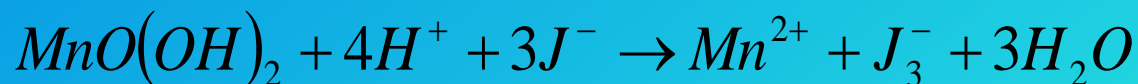
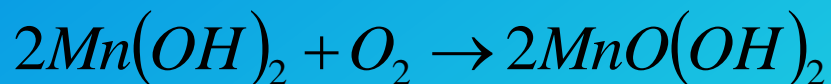
$$\text{pE} = -4.49$$

The more negative the pE the more “reducing” the environment.

# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΕ ΝΕΡΑ

## Μέθοδος WINKLER:

Το διαλυμένο οξυγόνο αντιδρά με το  $Mn(OH)_2$ , που σχηματίζεται με την προσθήκη  $MnSO_4$  και  $NaOH$  σχηματίζοντας καστανό ίζημα  $MnO(OH)_2$ . Οξίνιση του διαλύματος με  $H_2SO_4$  επιτρέπει στο άλας του μαγγανίου (IV) που σχηματίζεται με αυτό τον τρόπο να οξειδώσει το  $KJ$  που έχει μόλις προστεθεί, απελευθερώνοντας ισοδύναμη ποσότητα ιωδίου.



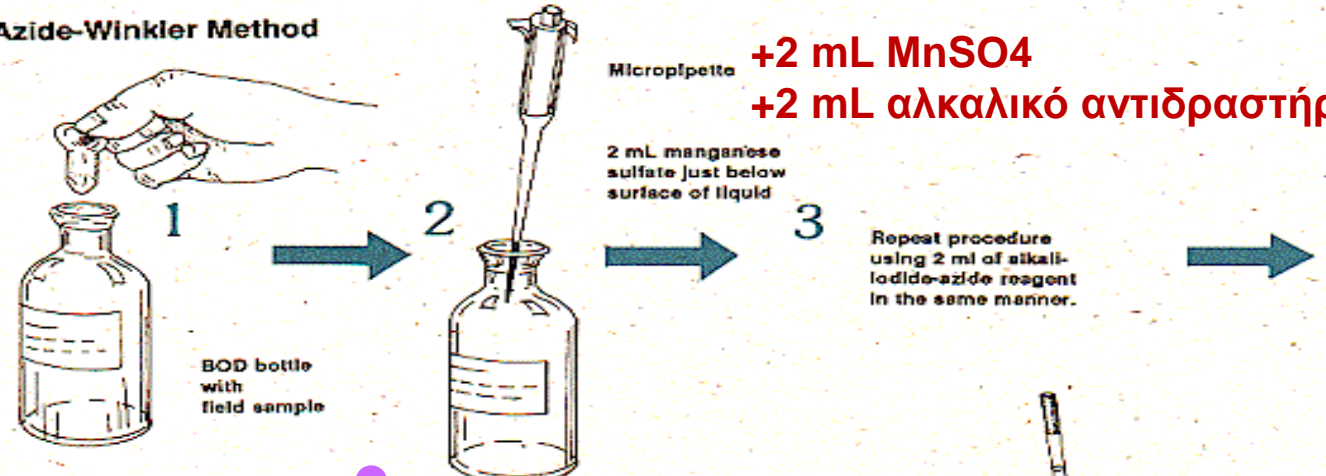
Το ιώδιο προσδιορίζεται με τη βοήθεια τιτλοδοτημένου διαλύματος  $Na_2S_2O_3$  και δείκτη άμυλο, σύμφωνα με την αντίδραση:





# ΠΟΡΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

## Azide-Winkler Method

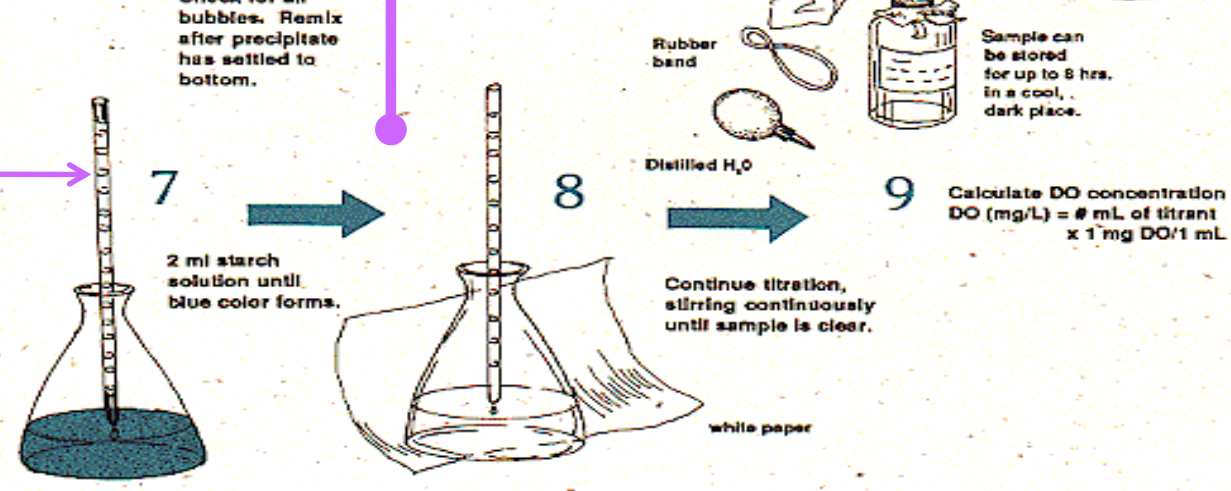


+2 mL MnSO<sub>4</sub>  
+2 mL αλκαλικό αντιδραστήριο



+4 mL π. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

2 x 100 mL (σε κάθε κωνική)  
+1 mL άμυλο



Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

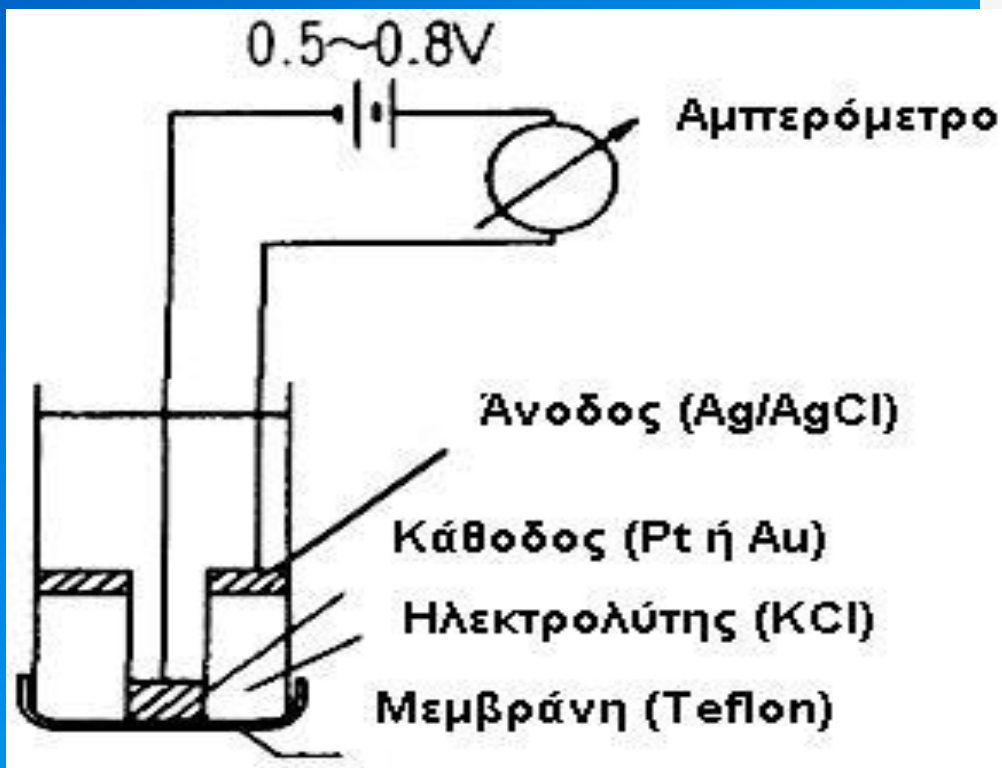
- Aluminum foil
- Rubber band
- Distilled H<sub>2</sub>O

white paper

Τρόποι έκφρασης  
συγκέντρωσης;  
Διαλυμένου  
οξυγόνου



**mg/l,  
ml/l,  
mmol/l,  
mgat/l,  
mg/kg,  
ml/kg**



Στην άνοδο (+) γίνεται η αντίδραση:  $2\text{Ag} + 2\text{Cl}^- \rightarrow 2\text{AgCl} + 2\text{e}^-$  (800 mV)

Στην κάθοδο (-) γίνεται η αντίδραση:  $2\text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}^-$

Συνολικά:  $2\text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{Ag} + 2\text{Cl}^- \rightarrow 2\text{AgCl} + 2\text{e}^- + 2\text{OH}^-$

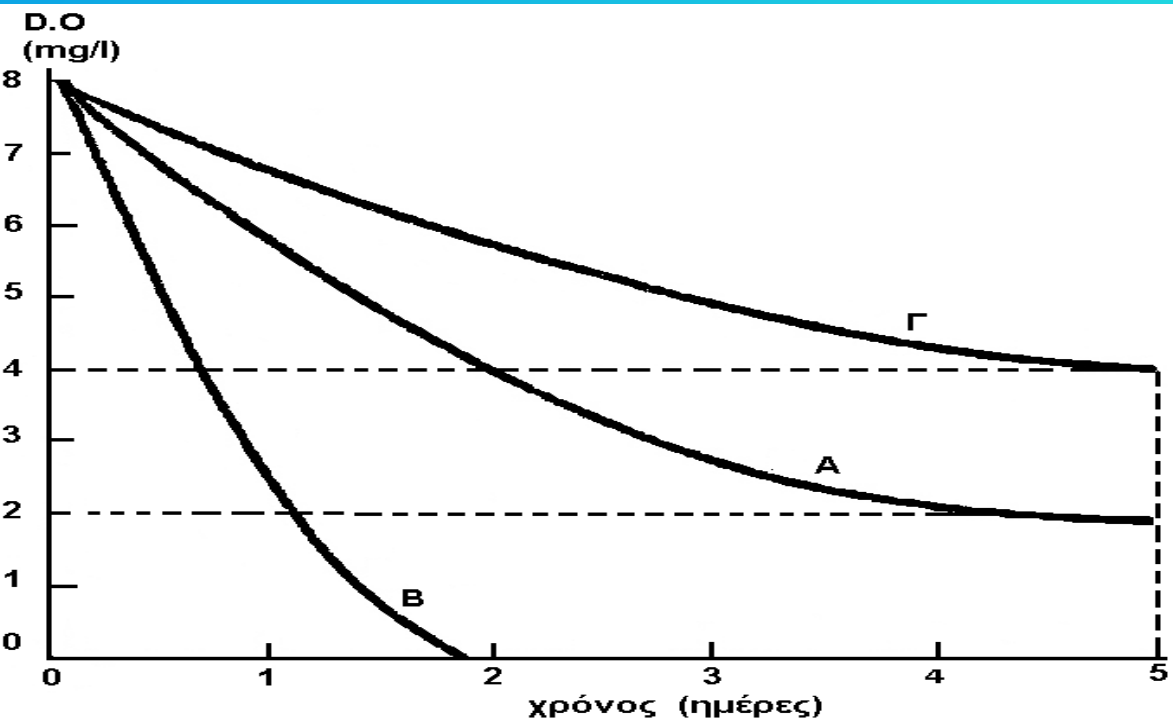
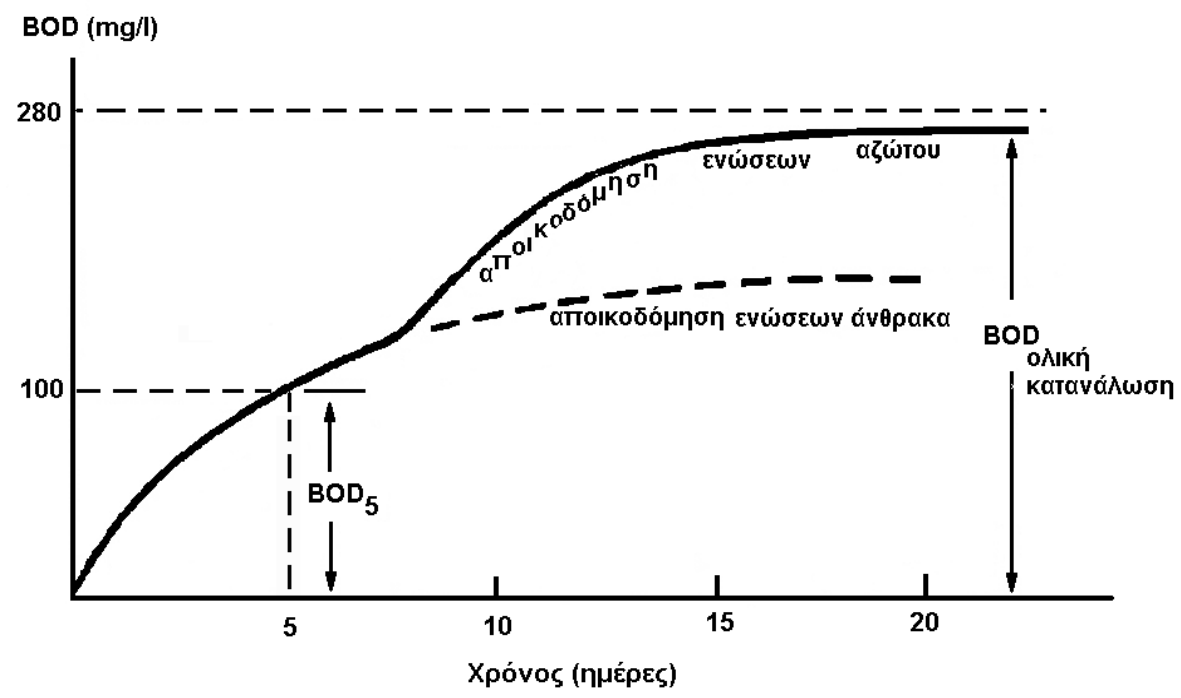
Το  $\text{O}_2$  ανάγεται στην κάθοδο και για κάθε μόριό του παράγονται 4 ηλεκτρόνια. Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται είναι ανάλογο του οξυγόνου που ανάγεται. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από την αναγωγή του  $\text{O}_2$ , μεταφράζεται από το όργανο σε αντίστοιχη συγκέντρωση.



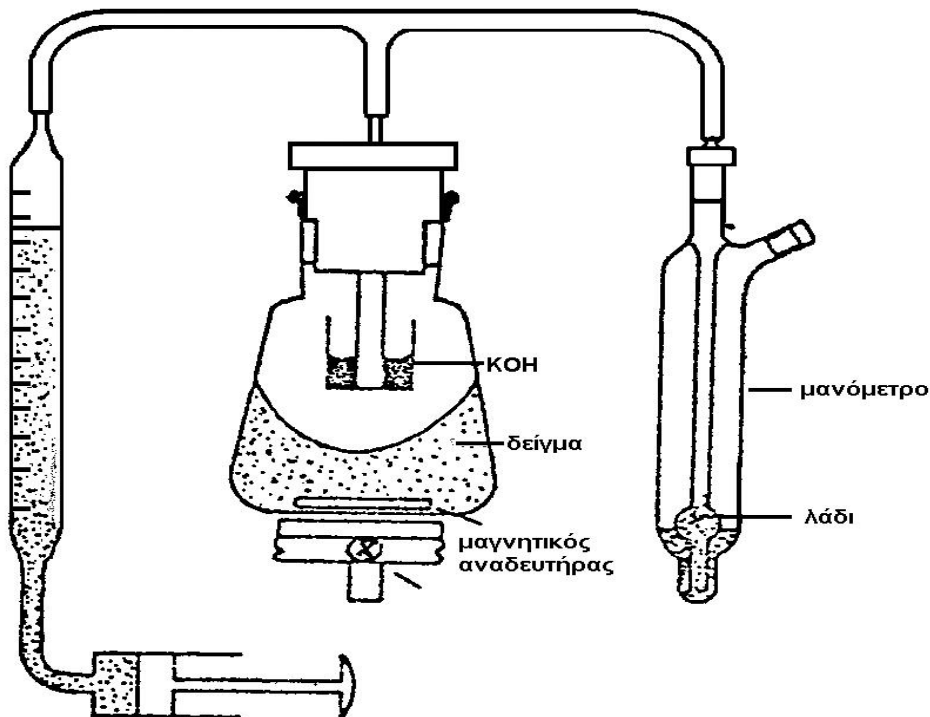
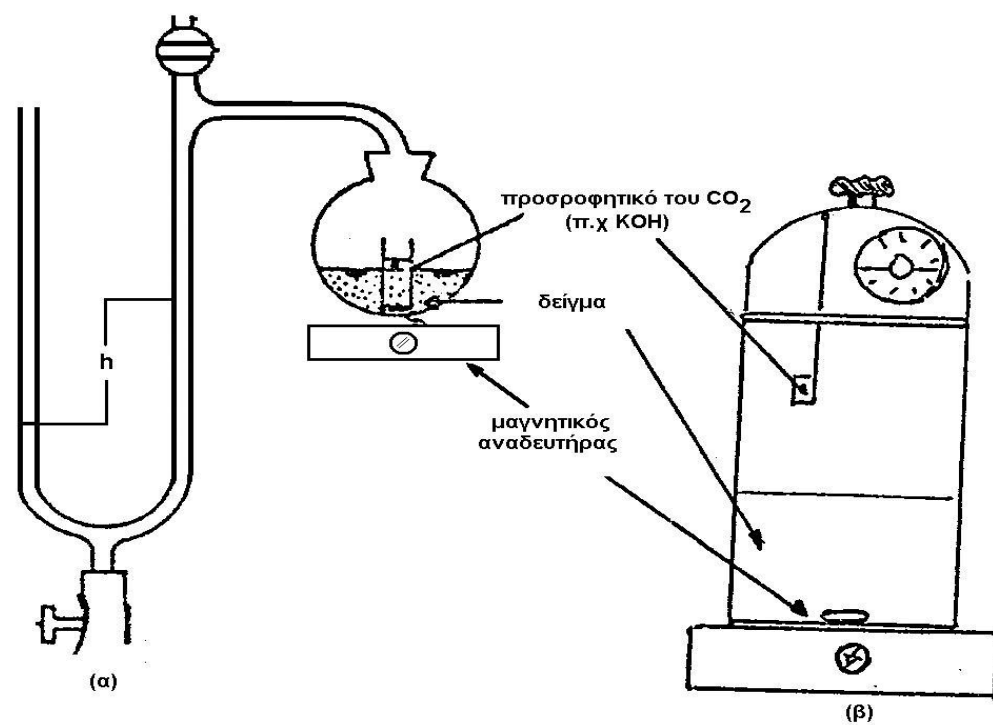
# ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (BOD)

Με τον όρο Βιοχημικός Απαιτούμενο Οξυγόνο (BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND/ BOD) ορίζεται η ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου που καταναλώνεται από μικροοργανισμούς για την οξειδωτική αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα αποβλήτου σε χρόνο  $\chi$  ημερών (συνήθως 5), απουσία φωτός και σε θερμοκρασία 20°C. Με το BOD υπολογίζεται το φορτίο των βιοδιασπόμενων οργανικών ουσιών ώστε να προσδιοριστεί η πιθανότητα εμφάνισης ανοξίας στον αποδέκτη που καταλήγουν τα απόβλητα.





# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ BOD



$BOD (mg/l) = (D1 - D2) / A$   
όπου  
D1 η αρχική συγκέντρωση  
του O<sub>2</sub>  
D2 η συγκέντρωση του O<sub>2</sub>  
μετά την επώαση, σε mg/l  
A είναι ο συντελεστής  
αραίωσης



# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΟD



BOD TRAK



Το BOD είναι από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους δείκτες ποιότητας των αποβλήτων αλλά επηρεάζεται από σειρά παραμέτρων (είδος και αριθμός μικροοργανισμών, φύση οργανικών ουσιών, συνυπάρχουσες ουσίες, ποσότητα και είδος θρεπτικών συστατικών, αρχική συγκέντρωση οξυγόνου, σταθερότητα ή τυχόν διακυμάνσεις θερμοκρασίας κλπ) που τον κάνουν ευαίσθητο σε σφάλματα για την αποφυγή των οποίων χρειάζεται προσοχή, εξάσκηση και πιστή τήρηση της ίδιας διαδικασίας για όλα τα δείγματα, τυφλά κλπ.

Η παρουσία τοξικών ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων) παρακωλύει τον προσδιορισμό γιατί καταστρέφεται η μικροβιακή πανίδα.



# ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (COD)

Με τον όρο χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (CHEMICAL OXYGEN DEMAND, C.O.D) υποδηλώνεται η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση του συνόλου των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στο δείγμα που μπορούν να οξειδωθούν με ισχυρό χημικό οξειδωτικό μέσο.

Ο προσδιορισμός του COD έχει ιδιαίτερη αξία για νερό και απόβλητα που περιέχουν τοξικές ουσίες, οι οποίες σκοτώνουν τους μικροοργανισμούς και εμποδίζουν τον προσδιορισμό του BOD. Έτσι μόνο με το COD ή τον προσδιορισμό του ολικού οργανικού άνθρακα, μπορεί να προσδιοριστεί ολική φόρτιση ενός αποβλήτου σε οργανικές ενώσεις.



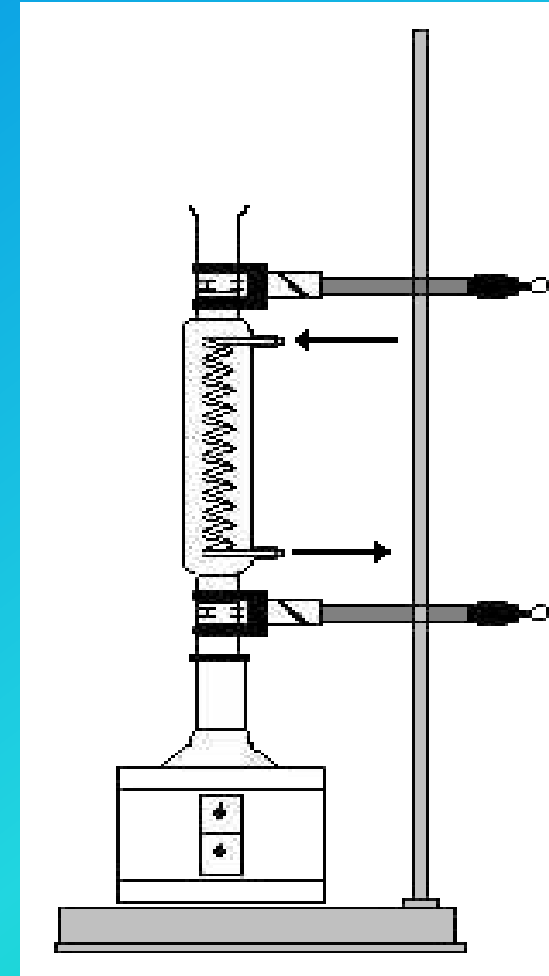


# ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ COD

Μια οργανική ένωση του τύπου  $C_xH_yO_z$  θα οξειδωθεί με οξυγόνο προς  $CO_2$  και  $H_2O$  κατά την αντίδραση:  $C_xH_yO_z + [x + (y-z)/2] O_2 \rightarrow xCO_2 + \psi H_2O$

Το  $K_2Cr_2O_7$  δρα ως οξειδωτικό σύμφωνα με την αντίδραση:  $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

Το δείγμα ζέεται με μίγμα γνωστής ποσότητας διχρωμικού καλίου και θειϊκού οξέος. Η περίσσεια του διχρωμικού καλίου προσδιορίζεται ογκομετρικά με πρότυπο διάλυμα  $Fe(II)$ . Η ποσότητα του διχρωμικού καλίου που καταναλώνεται είναι ανάλογη με την ποσότητα των οργανικών ενώσεων.



### Τιμές BOD και COD σε διάφορα νερά και απόβλητα

Προέλευση	COD με $K_2Cr_2O_6$ ( $O_2$ mg/l)	BOD ( $O_2$ mg/l)
Νερά ποταμών χωρίς ρύπανση	—	< 1
Νερά ποταμών που έχουν ρυπανθεί	—	> 10
Νερά αποβλήτων μετά την κατεργασία	—	10–20
Νερά οικιακών ή βιομηχ. αποβλήτων	—	300–5000
Επιτρεπτά όρια στη Β. Ελλάδα (1978)	90	30
» » » » (1983)	250	80
Ακατέργαστα λύματα (οικιακά)	420	360
Βιομηχανία γάλακτος	700–5 600	500–4 200
Βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου	2 400	780
Βιομηχανία κελλουλόζης	800	300
Βιομηχανία ζάχαρης	2 000	1 800
Βιομηχανία κονσερβ. λαχανικών	—	100–300
Βαφεία	—	300–600
Σφαγεία (αίμα μόσχου)	234 000	167 000
Οινοπνευματοποιία	90 000	50 000

Παράμετρος ρύπανσης	Ακατέργαστα λύματα	Πρωτοβάθμια κατεργασία		Δευτεροβάθμια κατεργασία		Τρτοβάθμια κατεργασία	
	<i>ppm (mg/l)</i>	<i>ppm</i>	<b>I.K.*</b>	<i>ppm</i>	<b>I.K.</b>	<i>ppm</i>	<b>I.K.</b>
<b>BOD</b>	<b>300</b>	<b>195</b>	<b>35%</b>	<b>30</b>	<b>90%</b>	<b>2,5</b>	<b>&gt;95%</b>
<b>COD</b>	<b>400</b>	<b>280</b>	<b>30%</b>	<b>80</b>	<b>80%</b>	<b>2-10</b>	<b>&gt;95%</b>
<b>Αιωρούμενα</b>	<b>300</b>	<b>120</b>	<b>60%</b>	<b>30</b>	<b>90%</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>&gt;90%</b>
<b>Ολικό N</b>	<b>60</b>	<b>48</b>	<b>20%</b>	<b>30</b>	<b>50%</b>	<b>&lt;6</b>	<b>&gt;90%</b>
<b>Ολικός P</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>12%</b>	<b>10</b>	<b>30%</b>	<b>&lt;0,15</b>	<b>&gt;95%</b>
<b>Κολοβακτηρίδια/<i>ml</i></b>	<b>15x10<sup>4</sup></b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1000</b>	<b>-</b>	<b>&lt;0,02</b>	<b>-</b>



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



**ΣΗΜΕΙΩΜΑΤΑ**



# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Εμμανουήλ Δασενάκης 2015. Εμμανουήλ Δασενάκης. «Χημεία Περιβάλλοντος. Βασικές Οικολογικές Έννοιες». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/CHEM3>.

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/7)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## **Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες**

Εικόνα 1: [διαφάνεια 2] Βυθός. Copyrighted. Σύνδεσμος:  
<http://www.naturalmentebrancaleone.org/la-posidonia-oceanica/>. Πηγή:  
[www.naturalmentebrancaleone.org](http://www.naturalmentebrancaleone.org).

Εικόνες 2,3,4: [διαφάνεια 3] Βιότοποι. Copyrighted.

Εικόνα 5: [διαφάνεια 4 αριστερά] Copyrighted.

Εικόνα 6: [διαφάνεια 4 δεξιά] Copyright David Hall. Σύνδεσμος:  
<http://marinebio.org/oceans/conservation/biodiversity/>. Πηγή: [marinebio.org](http://marinebio.org).

Εικόνα 7: [διαφάνεια 6 αριστερά] Copyrighted.

Εικόνα 8: [διαφάνεια 6 κέντρο] Copyrighted, AFP. Σύνδεσμος:  
<http://www.gettyimages.com/detail/news-photo/tons-of-dead-fish-float-on-a-fish-pond-in-purwakarta-21-news-photo/108872796>. Πηγή:  
[www.gettyimages.com](http://www.gettyimages.com).

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/7)

Εικόνα 9: [διαφάνεια 6 δεξιά] Copyrighted. Σύνδεσμος:  
<http://www.meteo.md/mold/denizemli2012.htm>. Πηγή: [www.meteo.md](http://www.meteo.md).

Εικόνα 10: [διαφάνεια 7 δεξιά] <αναφορά>. Copyrighted. Σύνδεσμος:  
<http://s626.photobucket.com/user/caesarbuclatan/media/76-underwater-fishcopy.gif.html>. Πηγή: [s626.photobucket.com](http://s626.photobucket.com).

Εικόνα 11: [διαφάνεια 8] <αναφορά>. Copyright 2002 Brooks Cole, Thomson Learning . Σύνδεσμος:  
<http://people.eku.edu/ritchisong/RITCHISO/317notes2.html>. Πηγή:  
[www.eku.edu](http://www.eku.edu).

Εικόνες 12,13: [διαφάνεια 9] Copyrighted.

Εικόνα 14: [διαφάνεια 10 αριστερά] Διακυμάνσεις πληθυσμών λαγού και λυγκός. Copyrighted. Σύνδεσμος:  
[http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/edexcel\\_pre\\_2011/environment/populationsandpyramidsrev5.shtml](http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/edexcel_pre_2011/environment/populationsandpyramidsrev5.shtml). Πηγή: [www.bbc.co.uk](http://www.bbc.co.uk).



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/7)

Εικόνα 15: [διαφάνεια 10 δεξιά άνω] Λύγκας. Copyrighted. Σύνδεσμος: [http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/carnivores/images/lynx\\_gro\\_lars\\_gangas.jpg](http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/carnivores/images/lynx_gro_lars_gangas.jpg). Πηγή: ec.europa.eu.

Εικόνα 16: [διαφάνεια 10 δεξιά κάτω] Λαγός. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.kslamias.gr/?p=71>. Πηγή: www.kslamias.gr.

Εικόνα 17: [διαφάνεια 11] Copyrighted.

Εικόνα 18: [διαφάνεια 13] Copyrighted, AFP. Σύνδεσμος: <http://www.gettyimages.com/detail/news-photo/tons-of-dead-fish-float-on-a-fish-pond-in-purwakarta-21-news-photo/108872796>. Πηγή: www.gettyimages.com.

Εικόνα 18: [διαφάνεια 14] Μηχανισμός εμπλουτισμού υδάτων με οξυγόνο. Copyrighted.

Εικόνα 19: [διαφάνεια 17] Solubility of gas vs. Pressure. Copyright C. Ophardt, c. 2003. Σύνδεσμος: <http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/174tempres.html>. Πηγή: chemistry.elmhurst.edu.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/7)

Εικόνα 20: [διαφάνεια 19] Copyrighted.

Εικόνα 21: [διαφάνεια 21] Copyrighted.

Εικόνα 22: [διαφάνεια 22] Sea-surface oxygen. CC BY 3.0. Σύνδεσμος: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A\\_Yool\\_WOA\\_surf\\_O2.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_Yool_WOA_surf_O2.png). Πηγή: commons.wikimedia.org.

Εικόνα 23: [διαφάνεια 26] Οξυγόνο στη Μαύρη θάλασσα. Copyrighted. Σύνδεσμος: [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/education-and-outreach/additional/science-focus/ocean-color/dead\\_zones.shtml](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/education-and-outreach/additional/science-focus/ocean-color/dead_zones.shtml). Πηγή: disc.sci.gsfc.nasa.gov, Graphic adapted from Black Sea Sediments by Holger Lueschen.

Εικόνα 24: [διαφάνεια 32] How to Measure Dissolved Oxygen. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/management/joysmanual/4oxygen.html>. Πηγή: www.ecy.wa.gov.

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/7)

Εικόνα 25: [διαφάνεια 33 άνω δεξιά] HCMR, Ελληνικό κέντρο θαλασσιών ερευνών. Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://www.hcmr.gr/gr/listview3\\_el.php?id=1033](http://www.hcmr.gr/gr/listview3_el.php?id=1033). Πηγή: [www.hcmr.gr](http://www.hcmr.gr).

Εικόνα 26: [διαφάνεια 33 κάτω δεξιά] Copyrighted.

Εικόνα 27: [διαφάνεια 34 μέσο] Dissolved oxygen measuring device / automatic / hand-held. Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://www.directindustry.com/prod/ysi-life-science/product-26601-1660834.html#product-item\\_1660826](http://www.directindustry.com/prod/ysi-life-science/product-26601-1660834.html#product-item_1660826). Πηγή: [www.directindustry.com](http://www.directindustry.com).

Εικόνα 28: [διαφάνεια 34 δεξιά] Dissolved oxygen (DO) probe. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://promarchive.com/product/25277>. Πηγή: [promarchive.com](http://promarchive.com).

Εικόνα 29: [διαφάνεια 35] Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD). Copyrighted.

Εικόνα 30: [διαφάνεια 38 άνω] BOD Trak apparatus. Copyrighted. Σύνδεσμος: <http://www.camlab.co.uk/bod-trak-apparatus-110240v-p15393.aspx>. Πηγή: [www.camlab.co.uk](http://www.camlab.co.uk).

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/7)

Εικόνα 31: [διαφάνεια 38 μέσο] Copyrighted.

Εικόνα 32: [διαφάνεια 38 κάτω] Traditional manometric technique for BOD analysis. Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://www.velp.com/en/products/lines/2/family/31/bod\\_analysis/24/bod\\_analysis\\_bms\\_6](http://www.velp.com/en/products/lines/2/family/31/bod_analysis/24/bod_analysis_bms_6). Πηγή: [www.velp.com](http://www.velp.com).

Εικόνα 33: [διαφάνεια 39] Copyrighted.

Εικόνα 34: [διαφάνεια 40] Copyrighted. Σύνδεσμος:

[http://www.wecf.eu/english/articles/2007/02/hcb\\_australia.php](http://www.wecf.eu/english/articles/2007/02/hcb_australia.php). Πηγή: [www.wecf.eu](http://www.wecf.eu).



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/7)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Πίνακες

Πίνακας 1: [διαφάνεια 18] Solubility of Oxygen in sea water (UNESCO, 1973). Copyrighted. Πηγή: Based on measurements by Carpenter (1966), Weiss (1970).