

Αρχές Οικολογίας και Περιβαλλοντικής Χημείας

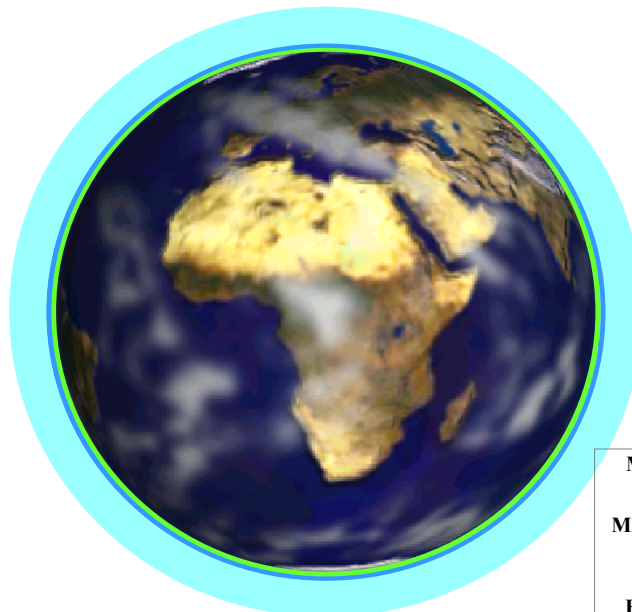
Ατμοσφαιρική χημεία

Νίκος Μαμάσης

Τομέας Υδατικών Πόρων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα 2008

ΓΗ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ



**ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ
ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΑ**
(ΥΨΟΣ 50 km -
ΠΟΣΟΣΤΟ
ΜΑΖΑΣ 99.9%)

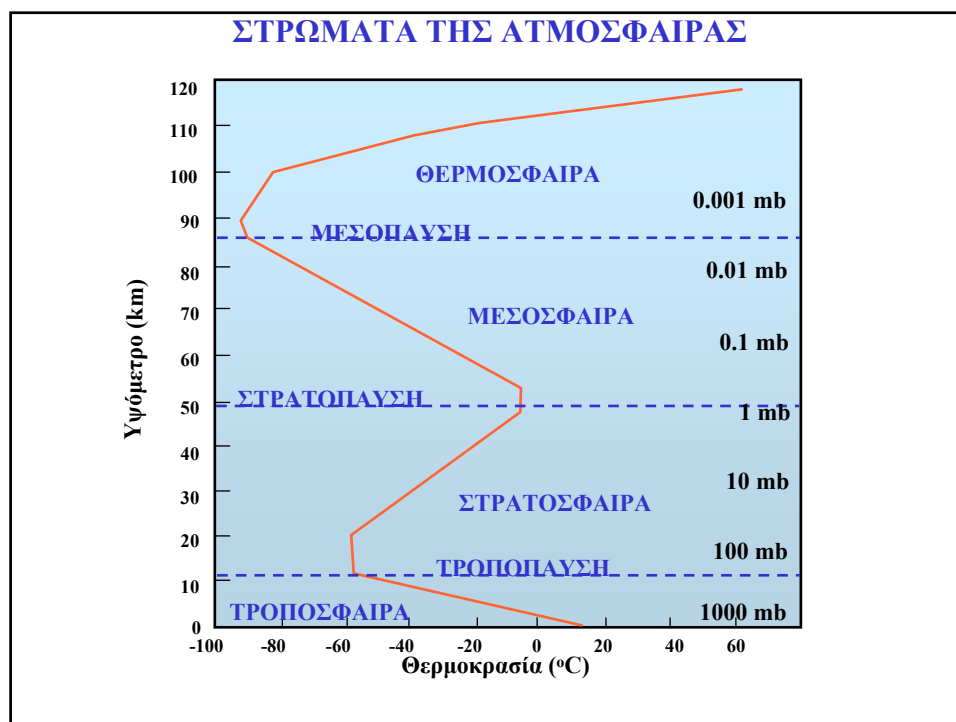
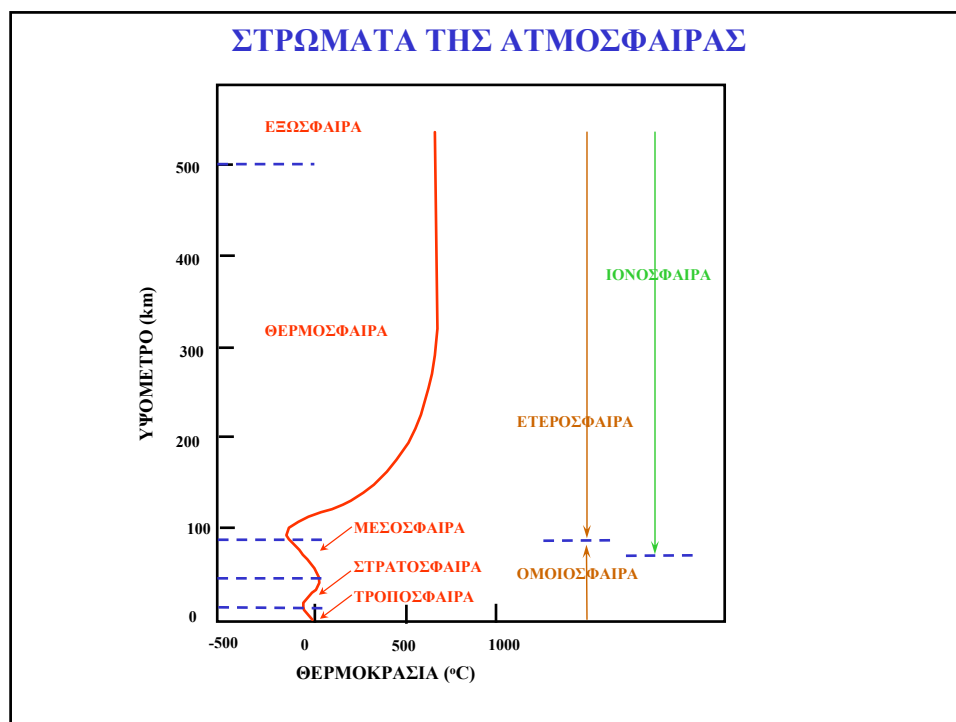
ΟΜΟΙΟΣΦΑΙΡΑ
(ΥΨΟΣ 85 km -
ΠΟΣΟΣΤΟ
ΜΑΖΑΣ 99.999%)

**ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ,
ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΑ,
ΜΕΣΟΣΦΑΙΡΑ
ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΣΦΑΙΡΑ**
(ΥΨΟΣ 500 km)

ΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΑ ΓΗΣ:
6370 km

ΜΑΖΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ:
 $5.14 \cdot 10^{18}$ kg

**ΜΕΣΗ ΠΙΕΣΗ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ: 988 hP**



ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΟΜΟΙΟΣΦΑΙΡΑ

Στοιχεία			Ενώσεις		
Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό όγκου (%)	Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό όγκου (%)
Άζωτο	N ₂	78.08	Υδρατμοί	H ₂ O	0-4
Οξυγόνο	O ₂	20.95	Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	0.035
Όζον	O ₃	0.000004	Μεθάνιο	C H ₄	0.00017
Αργόν	Ar	0.93	Οξείδιο του αζώτου	N ₂ O	0.00003
Νέον	Ne	0.0018	Ατμοσφαιρικά αιώρηματα		0.000001
Ήλιον	He	0.0005			
Υδρογόνο	H ₂	0.00005	Χλωροφθοράνθρακες		
Ξέον	Xe	0.000009		CFCs	0.00000001
Κρυπτόν	Kr	0.0011			

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

	ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
N₂	- Αποσύνθεση φυτών και ζώων - Μετατροπή οργανικών ενώσεων σε άζωτο, από αναερόβια βακτηρίδια	- Δέσμευση (fixation) από βιολογικούς μικροοργανισμούς κυρίως στο έδαφος - Δέσμευση από κεραυνούς και άλλες διεργασίες ιονισμού στην ατμόσφαιρα - Δέσμευση από την παραγωγή τεχνητών λιπασμάτων	- Πριν την εμφάνιση του ανθρώπου υπήρχε ισοζύγιο μεταξύ εισόδου και εξόδου του αερίου στην ατμόσφαιρα - Στον 20^ο αιώνα παρατήθηκε αύξηση της βιομηχανικής δέσμευσης αλλά και της βιολογικής (προέρχεται κυρίως από την καλλιέργεια των οσπρίων) - Η βιομηχανική δέσμευση έχει τριπλασιαστεί τα τελευταία 30 χρόνια και η απορροή εκτάσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται λιπάσματα, σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες, προκαλεί μείωση του οξυγόνου και ανάπτυξη φυκιών
O₂	- Φωτοσύνθεση - Φωτοδιάσπαση του νερού	- Διαπνοή - Αποσύνθεση - Καύσεις - Παραγωγή οξειδίων	- Είναι το περισσότερο χημικά ενεργό από τα αέρια που βρίσκονται σε αφθονία στην ατμόσφαιρα - Σήμερα όλα τα ανόργανα γήινα υλικά είναι πλήρως οξειδωμένα και η δράση του οξυγόνου συνεχίζεται με το συνεχώς σχηματιζόμενο οργανικό υλικό - Όλη η σημερινή ποσότητα έχει δημιουργηθεί από την κατά μέσο όρο ελαφρά υπεροχή της φωτοσύνθεσης έναντι της διαπνοής και της αποσύνθεσης. Η υπεροχή αυτή διατηρήθηκε για μεγάλο τμήμα της ιστορίας της γης και αυξήθηκε τα τελευταία λίγα εκατομμύρια έτη.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

	ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Ar	Η αφθονία του στην ατμόσφαιρα οφείλεται στο ισότοπο ^{40}Ar το οποίο συσσωρεύεται σε όλη την ιστορία της γης από ραδιενεργό διάσπαση του καλίου (^{40}K) στο στερεό φλοιό της γης, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιείται σταδιακή διάχυση στην επιφάνεια		Είναι χημικά αδρανές και αναμεμιγμένο σε όλη την ομοιόσφαιρα.
H₂O	Εξάτμιση	Συμπύκνωση	Η ποσότητα των υδρατμών μεταβάλλεται έντονα στο χώρο και το χρόνο δεδομένου ότι εμπλέκονται στον υδρολογικό κύκλο. Η σημερινή υδρόσφαιρα είναι 100 φορές μικρότερη από την ποσότητα των υδρατμών που έχει διοχετευθεί στην ατμόσφαιρα από τα ηφαίστεια
CO₂	• Απελευθερώνεται από το εσωτερικό της γης • Διαπνοή • Εδαφικές διεργασίες • Καύση δασών και ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) • Αποσύνθεση φυτών • Ωκεάνια έκλυση	• Διάλυση στους ωκεανούς • Κατανάλωση από φωτοσύνθεση	• Εμπλέκεται σε ένα σύνθετο παγκόσμιο κύκλο • Ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης μεταβάλλεται σε ημερήσια και εποχική βάση, ενώ το CO₂ αποθηκεύεται στις ρίζες τα κλαδιά και τα φύλλα των φυτών • Οι ωκεανοί παίζουν σημαντικό ρόλο στον κύκλο δεδομένου ότι αποτελούν μια αχανή δεξαμενή για το CO₂

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

	ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
CH₄	• Αναερόβιες διεργασίες βακτηριδίων σε υγρότοπους - οριζώνες (40%) • Πεπτικές διεργασίες των ζώων (βιοχημικές αντιδράσεις στο στομάχι) • Καύση βιομάζας και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες • Παραγωγή στερεών καυσίμων • Εξόρυξη πετρελαίου και γαιάνθρακα	Καταστρέφεται στην τροπόσφαιρα από το υδροξύλιο OH που παράγεται από την χλωρίδα με βάση την αντίδραση: $\text{CH}_4 + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	
N₂O	• Βιολογικοί μηχανισμοί στον ωκεανό και το έδαφος • Βιομηχανική καύση - αυτοκίνητα -αεροπλάνα-καύση βιομάζας • Αποτέλεσμα της χρήσης χημικών λιπασμάτων • Χημικές διαδικασίες με βακτήρια και μικρόβια στο έδαφος	• Καταστρέφεται από φωτοχημικές αντιδράσεις στη στρατόσφαιρα και παράγει οξείδια (NO_x) • Καταστρέφεται από την υπεριώδη ακτινοβολία	Σχετικά αδρανές
CFCs	• Ψυκτικά αέρια (freon) και κλιματιστικά • Προωθητικά αερίων • Διαλυτικό στον καθαρισμό ηλεκτρονικών μικροκυκλωμάτων	Διασπώνται στην στρατόσφαιρα από την υπεριώδη ακτινοβολία σε μόρια χλωρίου	Προέρχονται αποκλειστικά από ανθρωπογενή δράση. Δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα πριν το 1930

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

	ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
SO₂	- Φυσική οξείδωση ενώσεων του θείου, οι οποίες προέρχονται από βιολογικές λειτουργίες των οργανισμών - Καύση γαιάνθρακα και πετρελαίων, πλούσιων σε θείο - Τήξη των θειούχων μεταλλευμάτων		Είναι ένα από τα πιο καταστροφικά αέρια της ατμόσφαιρας για τους ζωντανούς οργανισμούς. Όταν η συγκέντρωση ξεπεράσει την κανονική προκαλείται ερεθισμός και καταστροφή των ιστών των φυτών και των ζώων. Στις πόλεις όπου καταγράφονται συγκεντρώσεις πάνω από 1 ppm η εισπνοή του είναι η μεγαλύτερη αιτία καταστροφής των πνευμόνων (μετά το κάπνισμα). Ακόμη έχει παρατηρηθεί στο παρελθόν πλήρης καταστροφή της βλάστησης γύρω από βιομηχανίες, ιδιαίτερα όταν ο εξαερισμός της περιοχής δεν ήταν επαρκής
O₃	- Ένωση μοριακού με ατομικό οξυγόνο - Ανθρώπινες δραστηριότητες (καύσεις)	- Φωτοδιάσπαση από την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας - Καταστροφή από φωτοχημικές αντιδράσεις με οξειδία του αζώτου και χλώριο στη μέση και ανώτερη στρατόσφαιρα . - Ένωση με άλλα αέρια ή με άλλα μόρια όζοντος.	- Στην επιφάνεια είναι το κύριο συστατικό της αιθαλομίχλης (smog), αλλά η πλειονότητα (97%) βρίσκεται στην στρατόσφαιρα - Η μείωσή του θα είναι υπεύθυνη για αύξηση των καρκίνων του δέρματος, θα έχει αρνητική επίδραση στα φυτά και στα ζώα, ενώ μπορεί να προκαλέσει πτώση της θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας με συνέπεια την κλιματική αλλαγή - Φαίνεται ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες ανεβάζουν τη συγκέντρωση του όζοντος

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ - AEROSOLS

Είναι τα υγρά και στερεά σωματίδια που βρίσκονται σε πολύ μεγάλο αριθμό στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Είναι πολύ μικρά (ακτίνα 10^{-3} - $10 \mu\text{m}$) και πέφτουν αργά ώστε να θεωρηθούν κατακρήμνιση. Τα μεγαλύτερα είναι συγκρίσιμα με σταγόνες νεφών αλλά διακρίνονται γιατί περιέχουν μεγαλύτερη αναλογία στερεών η διαλυμένων υλικών.

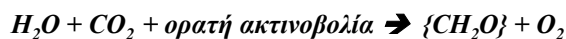
- Με ακτίνα $< 0.1 \mu\text{m}$ ονομάζονται **πυρήνες του Aitken (Aitken nuclei)** από τον Σκότο Aitken που πρώτος τα μέτρησε. Αποτελούν τη κύρια ποσότητα για την συμπίκνωση των σταγόνων στα νέφη. Αριθμητικά είναι τα περισσότερα αλλά περιλαμβάνουν το 1/5 της συνολικής μάζας.
- Με ακτίνα $0.1-1.0 \mu\text{m}$ ονομάζονται **μεγάλοι πυρήνες (large nuclei)**. Είναι δέκα φορές λιγότερα από τα προηγούμενα αλλά περιλαμβάνουν το μισό της συνολικής μάζας.
- Με ακτίνα $> 1 \mu\text{m}$ ονομάζονται **γιγάντιοι πυρήνες (giant nuclei)**. Αν και αριθμητικά πολύ λίγοι (σπάνια υπερβαίνουν 1000/λίτρο) περιλαμβάνουν μεγάλο μέρος της συνολικής μάζας.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ - AEROSOLS

ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
- Φυσικές και τεχνητές καύσεις (Aitken, μεγάλοι, γιγάντιοι) - Ηφαίστεια (Aitken, μεγάλοι, γιγάντιοι) - Μετατροπές αερίων σε σωματίδια, όταν τα αέρια προέρχονται από το μεταβολισμό και την αποσύνθεση ζωντανών οργανισμών (Aitken, μεγάλοι, γιγάντιοι) - Ένωση μικρότερων πυρήνων (μεγάλοι, γιγάντιοι) - Εισροή σωματιδίων αλατιού όταν οι φυσαλίδες σπάνε στην επιφάνεια της θάλασσας (μεγάλοι, γιγάντιοι) - Άνοδος σκόνης από τον αέρα στην έρημο (γιγάντιοι)	- Ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μεγαλύτερα σωματίδια, όταν μεταφέρονται μακριά από τις περιοχές παραγωγής (Aitken) - Παρασύρονται από τους υδρατμούς για να σχηματίσουν νεφοσταγονίδια (Aitken) - Απομακρύνονται με τον σχηματισμό των νεφών (μεγάλοι) - Παρασύρονται από τη βροχή (γιγάντιοι)	- Μεγάλες συγκεντρώσεις των μεγάλων πυρήνων είναι υπεύθυνες για την διάχυση του ηλιακού φωτός και την δημιουργία της ξηράς αχλός (dry haze) όταν επικρατούν αντικυκλώνες - Τα σωματίδια παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία των νεφών, στην ορατότητα, και σε ορισμένες χημικές διαδικασίες στην τροπόσφαιρα. Ακόμη η διάχυση τους στη στρατόσφαιρα παίζει σημαντικό ρόλο στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία - Χωρίς τα aerosols η θερμοκρασία τον 20^ο αιώνα θα ανέβαινε 20% ακόμη. Ίσως σε αυτά να οφείλεται η πτώση θερμοκρασίας κατά την περίοδο 1949-1970, ενώ μετά το 1970 το CO₂ και το CH₄ με μεγαλύτερο χρόνο ζωής συντέλεσαν ώστε να ξανανεβεί η θερμοκρασία

ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

1. Φωτοσύνθεση (photosynthesis)



Με την παραπάνω διαδικασία η παραγωγή οξυγόνου συνδέεται και με βιολογικές διεργασίες, δεδομένου ότι το μονομερές $\{CH_2O\}$ που παράγεται είναι η βασική δομική μονάδα για τα μόρια υδατανθράκων, που σχηματίζουν τα κύτταρα των φυτών. Το νερό και το CO₂ που χρειάζονται για τη φωτοσύνθεση υπάρχουν άφθονα στις θάλασσες (50 φορές περισσότερο CO₂ από ότι στην ατμόσφαιρα σε διαλυμένη μορφή) αν και οι μικρές ποσότητες στον αέρα είναι πολύ σημαντικές για το κομμάτι της βιόσφαιρας στην ξηρά. Χρησιμοποιώντας αυτά τα αποθέματα και το ηλιακό φως η ζωή δημιουργεί το απόθεμα οξυγόνου από το οποίο τώρα εξαρτάται

2. Φωτοδιάσπαση του νερού (photodissociation)



Ο ρόλος της φωτοδιάσπασης ερευνάται. Υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με το ρυθμό της αντίδρασης ο οποίος εξαρτάται από τον ρυθμό άλλων ανταγωνιστικών φωτοχημικών αντιδράσεων στην ίδια υπεριώδη ακτινοβολία. Ακόμη ο ρυθμός παραγωγής του οξυγόνου εξαρτάται από τον ρυθμό διαφυγής του υδρογόνου στην ατμόσφαιρα. Αν ο ρυθμός διαφυγής είναι μικρός τότε το οξυγόνο ενώνεται πάλι με το υδρογόνο για να σχηματίσει νερό

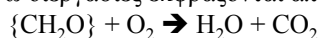
ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Αναπνοή (respiration). Διαδικασία με την οποία ζωντανοί οργανισμοί παράγουν ενέργεια με υψηλά ρυθμιζόμενη οξειδωση της τροφής

Αποσύνθεση (decay). Διαδικασία όπου βακτήρια αντιδρούν στα πτώματα των νεκρών οργανισμών

Καύση ορυκτών καυσίμων (combustion of fossil fuels). Το οξυγόνο καταναλώνεται από όλες τις καύσεις (φωτιές δασών, γαιάνθρακας, πετρέλαιο). Με τους σημερινούς ρυθμούς καύσης ο άνθρωπος καταναλώνει σε ένα χρόνο το οξυγόνο που παράχθηκε με φωτοσύνθεση σε 1000 χρόνια

Οι τρεις παραπάνω διεργασίες εκφράζονται από την αντίδραση:



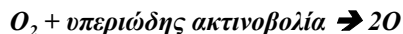
Διάφορες οξειδώσεις (oxidation). Από το καθαρό οξυγόνο που έχει παραχθεί από τα φυτά (φωτοσύνθεση μείον αποσύνθεση), στην ιστορία της γης, μόνο το 10% είναι τώρα αποθηκευμένο στην ατμόσφαιρα. Το περισσότερο μετατράπηκε σε διάφορα οξείδια (Fe_2O_3) και ενώσεις του άνθρακα (CaCO_3 , MgCO_3) στην επιφάνεια της γης. Σημειώνεται ότι η παραγωγή των ενώσεων του άνθρακα είναι από τις κύριες αιτίες μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο έχει απελευθερωθεί από τα ηφαίστεια σε όλη την χρονική εξέλιξη της ατμόσφαιρας

ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΘΕΜΑΤΑ ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ - ACID RAIN

- Η καύση καυσίμων που περιέχουν θείο απελευθερώνει το άχρωμο διοξείδιο του θείου στον αέρα
- Στη συνέχεια το SO_2 οξειδώνεται σε SO_3 το οποίο ενυδατώνεται (hydrated) (όταν η ατμόσφαιρα είναι αρκετά υγρή) σε H_2SO_4 στις σταγόνες των νεφών, διατηρώντας οξύτητα μακριά από την κανονική ($\text{PH} = 5.6$)
- Σαν αποτέλεσμα πραγματοποιείται η όξινη βροχή κοντά σε βιομηχανικές περιοχές, η οποία οξειδώνει μέταλλα, προκαλεί ζημιές στα εδάφη μεγάλων περιοχών, στη βλάστηση (ειδικά στα δέντρα), στα ποτάμια και τις λίμνες
- Το φαινόμενο της όξινης βροχής διερευνάται και πιστεύεται πως εμπλέκονται και άλλα οξείδια όπως αυτά του αζώτου

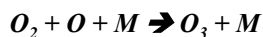
ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΘΕΜΑΤΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ - ΟΖΟΝΤΟΣ

1. Φωτοδιάσπαση του οξυγόνου



Η αντίδραση διατηρεί πάνω από το 50% των ατόμων και μορίων οξυγόνου (στο επίπεδο πάνω από τα 120 km). Το ατομικό οξυγόνο που παράγεται με αυτήν την αντίδραση είναι το κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας σε ύψη μεγαλύτερα των 100 km. Το ποσοστό ατομικού οξυγόνου είναι πολύ χαμηλό στη στρατόσφαιρα και σχεδόν μηδενικό πιο χαμηλά. Απορροφά υπεριώδη την ακτινοβολία (0.1-0.2 μm) και επιδρά στη θέρμανση της θερμόσφαιρας

2. Σχηματισμός όζοντος



Το M είναι ένα τρίτο μόριο οποιουδήποτε αερίου που θα πρέπει να μεταφέρει την θερμότητα που απελευθερώνεται από την αντίδραση

ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΟΖΟΝΤΟΣ

1. Φωτοδιάσπαση του όζοντος



Το όζον είναι ισχυρός απορροφητής της υπεριώδους ακτινοβολίας (0.2-0.3 μm) διαμέσου της φωτοδιάσπασης

2. Διάσπαση του όζοντος

Περικλείει μια επανασύνδεση με το ατομικό οξυγόνο με τη βοήθεια καταλύτη (ένα υδροξύλιο)

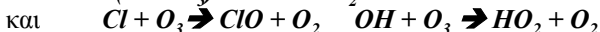
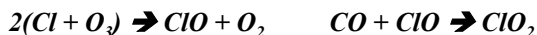


Τα άτομα υδρογόνου και τα υδροξύλια προέρχονται από υδρατμούς, μοριακό οξυγόνο και μεθάνιο

3. Αντίδραση με χλώριο και οξείδια του αζώτου

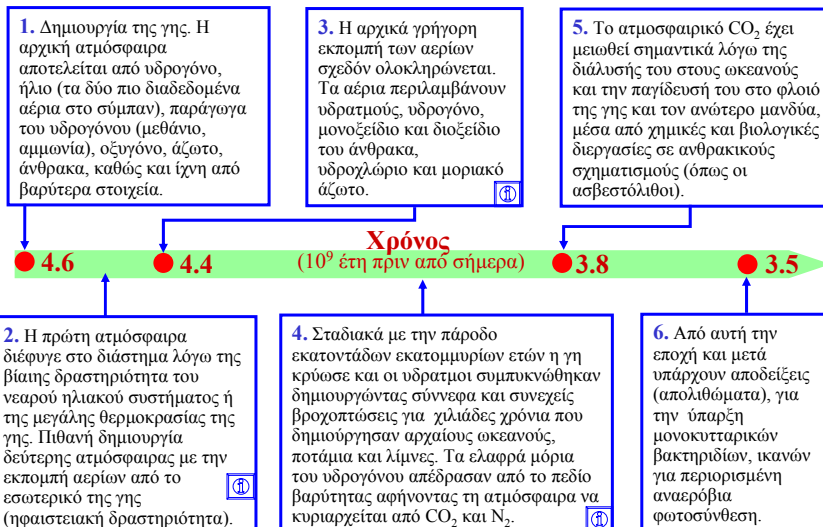
Στη στρατόσφαιρα το όζον καταστρέφεται από οξείδια του αζώτου (NO_x , NO , NO_2) και ρίζες χλωρίου (Cl , ClO). Τα πρώτα προέρχονται από το N_2O και τα δεύτερα από τους χλωροφθοράνθρακες. Και τα δύο αέρια μεταφέρονται στη στρατόσφαιρα όπου το πρώτο οξειδώνεται, ενώ οι δεύτεροι από την υπεριώδη γίνονται ρίζες χλωρίου

Κατόπιν



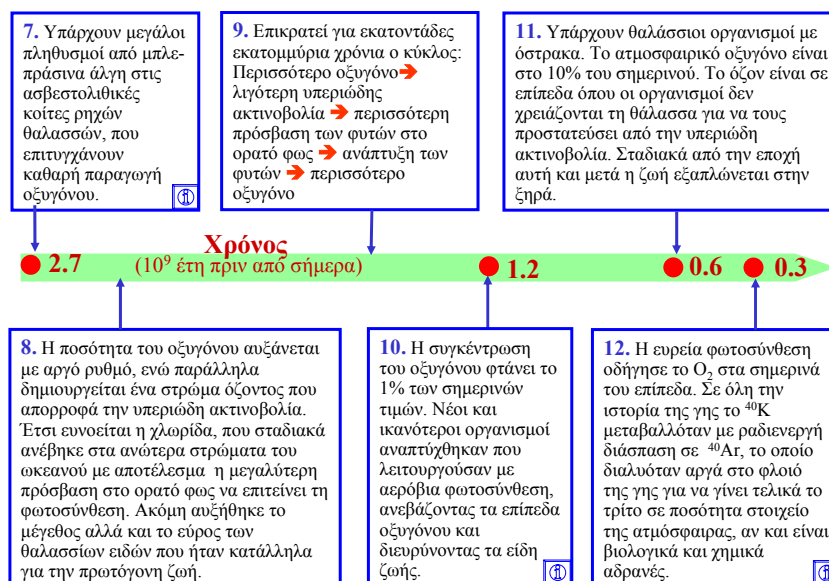
και οι δύο αντιδράσεις οδηγούν στην αφαίρεση του όζοντος και του ατομικού οξυγόνου

ΜΙΑ ΠΙΘΑΝΗ* ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

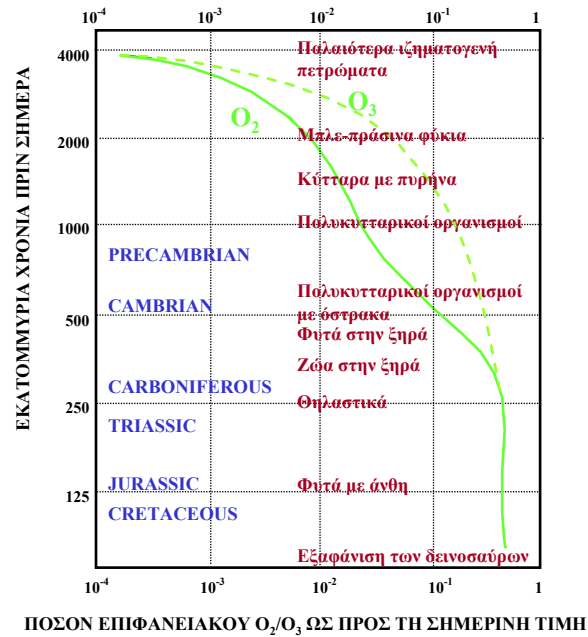


* Η γνώση που σχετίζεται με την εξέλιξη της ατμόσφαιρας είναι σχετικά περιορισμένη, δεδομένου ότι οι χρονικές περίοδοι στις οποίες δημιουργήθηκε και εξελίχθηκε η γήινη ατμόσφαιρα, χωρίζονται με το παρόν από μια **χρονική άβυσσο**. Έτσι στη συνέχεια παρουσιάζονται οι υποθέσεις εκείνες που έχουν γενικότερη αποδοχή από την επιστημονική κοινότητα, και που φαίνεται να τεκμηριώνονται από ορισμένες ενδείξεις

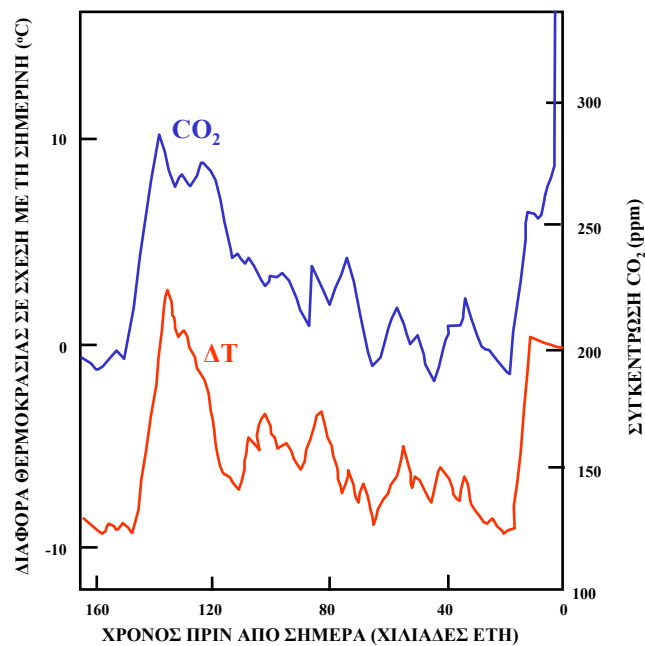
ΜΙΑ ΠΙΘΑΝΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (συνέχεια)



ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ- ΟΖΟΝΤΟΣ

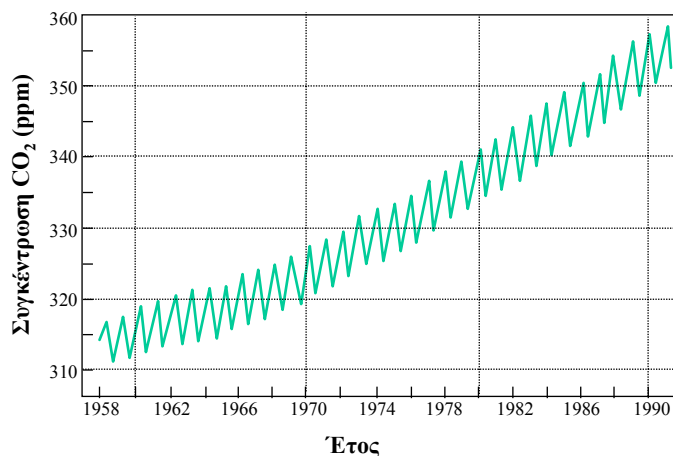


ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

(από το 1960 στη θέση Mauna Loa, Hawaii)



ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα εκτιμήθηκε 0.0280% σε όγκο ή 280 ppm το 1850, 315 ppm το 1958 και 353 ppm το 1992. Να υπολογιστεί η συνολική μάζα του αερίου στην ατμόσφαιρα στις παραπάνω χρονολογίες, καθώς και η μέση ετήσια μεταβολή στις περιόδους 1850-1958 και 1958-1992.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ
ΜΑΖΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	M_a (kg)	$5.14 \cdot 10^{18}$
ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΑΕΡΑ	$MB_{\xi A}$ (αριθμός)	28.96
ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	MBC (αριθμός)	12
ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ CO_2	$MBCO_2$ (αριθμός)	44
ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΓΚΟΥ CO_2 ΤΟ 1992, 1958, 1850	$P(VCO_2)_{1992}$, $P(VCO_2)_{1958}$ $P(VCO_2)_{1850}$ (%)	0.0353, 0.0315, 0.028
ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΑΖΑΣ CO_2 ΤΟ 1992, 1958, 1850	$P(MCO_2)_{1992}$, $P(MCO_2)_{1958}$ $P(MCO_2)_{1850}$ (%)	$P(VCO_2) \cdot MBCO_2 / MB_{\xi A}$
ΜΑΖΑ CO_2 ΤΟ 1992, 1958, 1850	$M(CO_2)_{1992}$, $M(CO_2)_{1958}$ $M(CO_2)_{1850}$ (kg)	$M_a \cdot P(MCO_2) / 100$
ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΤΩΝ 1850-1958	N_1 (ακέραιος)	108
ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΤΩΝ 1958-1992	N_2 (ακέραιος)	34
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ 1850-1958	$A_{1850-1958}$ (%)	$100 \cdot [M(CO_2)_{1958} / M(CO_2)_{1850}]^{1/N_1} - 1$
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ 1958-1992	$A_{1958-1992}$ (%)	$100 \cdot [M(CO_2)_{1992} / M(CO_2)_{1958}]^{1/N_2} - 1$

ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Σύμφωνα με προβλέψεις, το έτος 2000 θα καίγονται $3 \cdot 10^{13}$ kg ορυκτών καυσίμων ανά έτος, ενώ $2 \cdot 10^{12}$ kg άνθρακα θα εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από τις φωτιές στα τροπικά δάση. Ο άνθρακας αποτελεί το 80% της μάζας των ορυκτών καυσίμων. Σημαντικό ποσοστό της ποσότητας του άνθρακα (περίπου 50%) τελικά διαλύεται στους ωκεανούς ή απορροφάται από τη βιομάζα ενώ το υπόλοιπο προστίθεται στο CO_2 της ατμόσφαιρας. Να υπολογιστεί η αναμενόμενη ετήσια αύξηση του CO_2 στην ατμόσφαιρα κατά το έτος 2000.

ΜΕΤΑΒΑΝΤΗ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ
ΜΑΖΑ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΤΟ 2000	$M(\text{OK})_{2000}$ (kg/year)	$3 \cdot 10^{13}$
ΠΟΣΟΣΤΟ C ΣΤΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	$P(\text{C})$ %	80
ΜΑΖΑ C ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ ΤΟ 2000	$M1(\text{C})_{2000}$ (kg/year)	$2 \cdot 10^{12}$
ΜΑΖΑ C ΑΠΟ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΤΟ 2000	$M2(\text{C})_{2000}$ (kg/year)	$M(\text{OK})_{2000} \cdot P(\text{C})/100$
ΜΑΖΑ C ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΤΟ 2000	$M(\text{C})_{2000}$ (kg/year)	$M1(\text{C})_{2000} + M2(\text{C})_{2000}$
ΜΑΖΑ CO_2 ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΤΟ 2000	$M1(\text{CO}_2)$ (kg/year)	$M(\text{C})_{2000} \cdot \text{MBCO}_2 / \text{MBC}$
ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	$P(\text{CO}_2)$ (%)	50
ΜΑΖΑ CO_2 ΑΠΟ ΦΩΤΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	$M2(\text{CO}_2)$ (kg/year)	$M1(\text{CO}_2) \cdot P(\text{CO}_2)/100$
ΜΑΖΑ CO_2 ΤΟ 2000 ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΑΥΞΗΣΗΣ 1958-1992	$M(\text{CO}_2)_{2000}$ (kg)	$M(\text{CO}_2)_{1992} \cdot (1 + A_{1958-1992} / 100)^8$
ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟ 2000	A_{2000} (%)	$100 \cdot M2(\text{CO}_2) / M(\text{CO}_2)_{2000}$

ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Στη βιόσφαιρα οι διεργασίες της φωτοσύνθεσης, διαπνοής και της αποσύνθεσης διακινούν περίπου $5 \cdot 10^{13}$ kg άνθρακα ανά έτος. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της βιόσφαιρας βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο, οι χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης CO_2 πραγματοποιούνται την άνοιξη (προς καλοκαίρι) που επικρατεί η φωτοσύνθεση των άλλων δύο διεργασιών. Αντίθετα το φθινόπωρο (προς χειμώνα) σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης δεδομένου ότι η η αποσύνθεση της βιομάζας επικρατεί της φωτοσύνθεσης. Ζητείται να εκτιμηθεί η μέγιστη δυνατή εποχιακή διακύμανση στη συγκέντρωση (σε ppm) του CO_2 στην ατμόσφαιρα και να συγκριθεί με την παρατηρημένη διακύμανση του δείγματος μετρήσεων του αερίου στη θέση Mauna Loa, Hawaii.

ΜΕΤΑΒΑΝΤΗ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ
ΜΑΖΑ C ΓΙΑ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ	$M\Phi(\text{C})$ (kg/year)	$5 \cdot 10^{13}$
ΜΑΖΑ CO_2 ΓΙΑ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ	$M\Phi(\text{CO}_2)$ (kg/year)	$M\Phi(\text{C}) \cdot \text{MBCO}_2 / \text{MBC}$
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ	(%)	$100 \cdot M\Phi(\text{CO}_2) / M(\text{CO}_2)_{1992}$