



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: **Φαινόμενο του Θερμοκηπίου &
Κλιματικές Μεταβολές**

ΕΝΟΤΗΤΑ: **4. Τα αέρια του ‘θερμοκηπίου’ και η επίδραση
τους στο ενεργειακό ισοζύγιο**

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: **ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ**

ΤΜΗΜΑ: **Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
ΑΓΡΙΝΙΟ**

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Επίκουρη Καθηγήτρια

του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος
& Φυσικών Πόρων

 2641074156

 afotiadi@upatras.gr

Εικόνα 1.1

από το IPCC report 2013



Εικόνα SPM 5

από το IPCC report 2013

- Το συνολικό **RF** το 2011 σε σχέση με το 1750 είναι:

+2.29 [1.13 – 3.33] W/m²



Τι προκάλεσε την αύξηση της Θερμοκρασίας τον τελευταίο αιώνα ;

Έκθεση IPCC 2007

Εικόνα SPM 2

από το IPCC report 2007

Έκθεση IPCC 2013

Εικόνα SPM 5

από το IPCC report 2013

- Η εκτίμηση του **RF** το 2011 αυξήθηκε σε σχέση με αυτή του 2005 κατά **43%**!
- Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και στην νέα εκτιμώμενη τιμή της επίδρασης των αερολυμάτων (ψύξη) που είναι μικρότερη από αυτή το 2005
- Το RF που οφείλεται στα αέρια του θερμοκηπίου αυξήθηκε σε σχέση με το 2005 κατά **7.5%** γι' αυτή την αύξηση θεωρείται υπεύθυνο κατά **80%** το CO₂



Αέρια του θερμοκηπίου

■ Αέρια του Θερμοκηπίου

✓ Διοξείδιο του Άνθρακα

(CO_2)

✓ Μεθάνιο

(CH_4)

✓ Υποξείδιο του Αζώτου

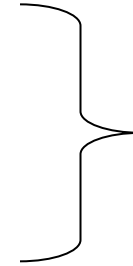
(N_2O)

✓ Όζον

(O_3)

✓ Χλωροφθοράνθρακες

(CFCs)



Μεγάλου χρόνου
ζωής αέρια
θερμοκηπίου
(Long-lived
greenhouse
gases, LLGHGs)

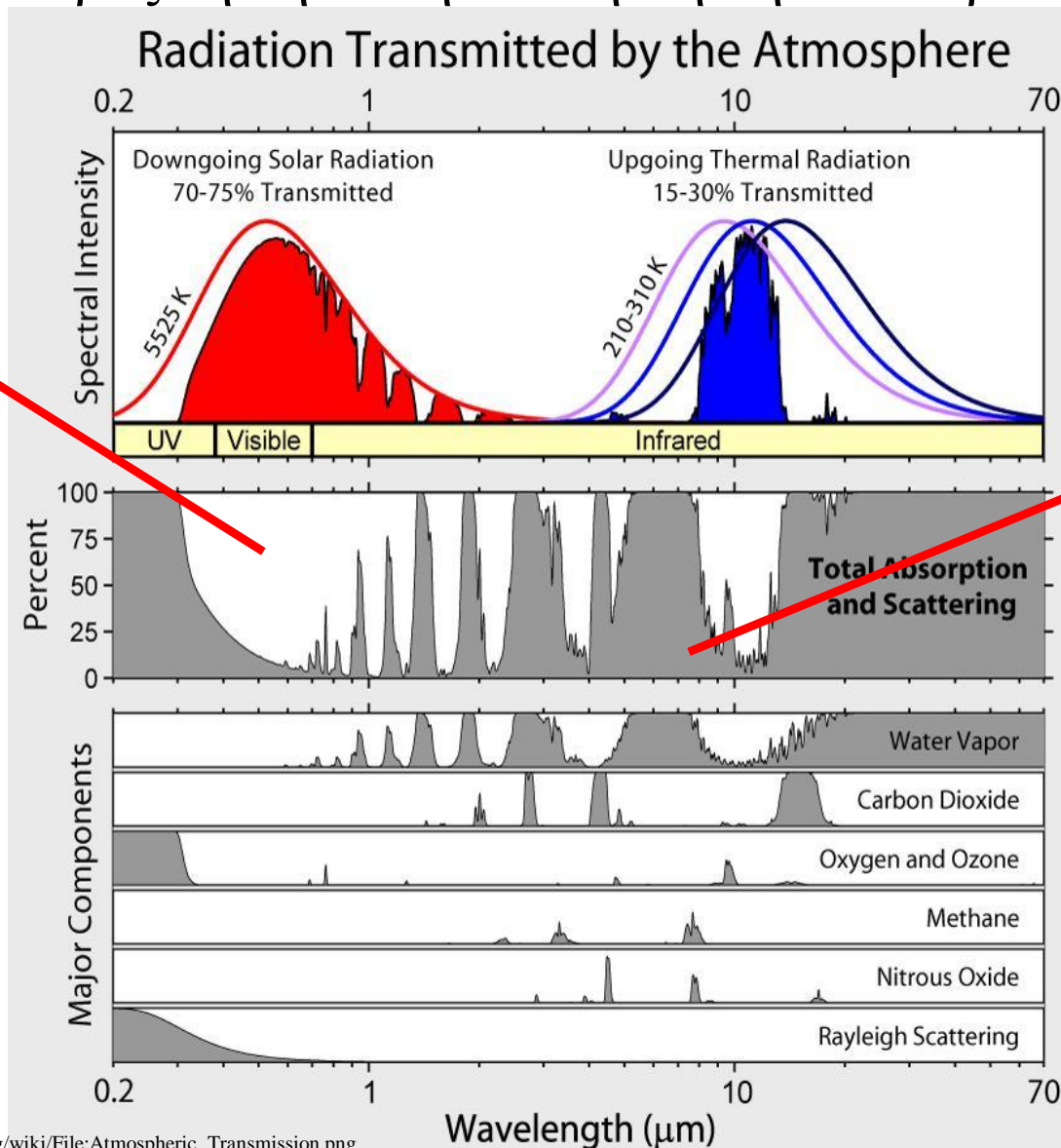
✓ Υδρατμοί

(H_2O)



Αέρια του θερμοκηπίου

Το συνολικό φάσμα απορρόφησης της Ατμόσφαιρας της Γης ως προς την ηλιακή και τη Γήινη ακτινοβολία



Η ατμόσφαιρα είναι σχετικά **Διαφανής** ως προς την ηλιακή ακτινοβολία

Μικρή εξασθένιση στην περιοχή με τη μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας

Η ατμόσφαιρα είναι σχετικά **Αδιαφανής** ως προς τη γήινη ακτινοβολία

⇒ Συνολική Εξασθένιση

⇒ Υδρατμοί (H_2O)

⇒ Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)

⇒ Οξυγόνο & Όζον (O_2 & O_3)

⇒ Μεθάνιο (CH_4)

⇒ Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O)

⇒ Σκέδαση Rayleigh



Αέρια του θερμοκηπίου

- Η συνεισφορά των αερίων στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου καθορίζεται από:
 - τα χαρακτηριστικά τους (π.χ. είναι τριατομικά μόρια, χρόνο ζωής του)
 - από τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα
- **Παράδειγμα:** το μόριο του CH_4 είναι **8 (23)** φορές ισχυρότερο αέριο του θερμοκηπίου σε σχέση με το CO_2 , όμως υπάρχει σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις και έχει και μικρότερο χρόνο ζωής \Rightarrow η συνολική του **συνεισφορά** να είναι **μικρότερη**

✓ Υδρατμοί (H_2O) συνεισφέρουν	36 - 72 %
✓ Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2) συνεισφέρει	9 – 26 %
✓ Μεθάνιο (CH_4) συνεισφέρει	4 – 9 %
✓ Όζον (O_3) συνεισφέρει	3 – 7 %



Πίνακας 2.1

από το IPCC report 2007

- Τιμές του 2005 σε σχέση με τα προ βιομηχανικής επανάστασης επίπεδα:
 - το CO_2 αυξήθηκε **35%** (το 2007 η συγκέντρωσή του εκτιμάται ότι έφτασε 383 ppm αύξηση 38%)
 - το CH_4 αυξήθηκε κατά **153%**
 - το N_2O αυξήθηκε κατά **18%**



Αέρια του θερμοκηπίου

■ Τιμές του 2011 σε σχέση με τα προ βιομηχανικής επανάστασης επίπεδα (1750):

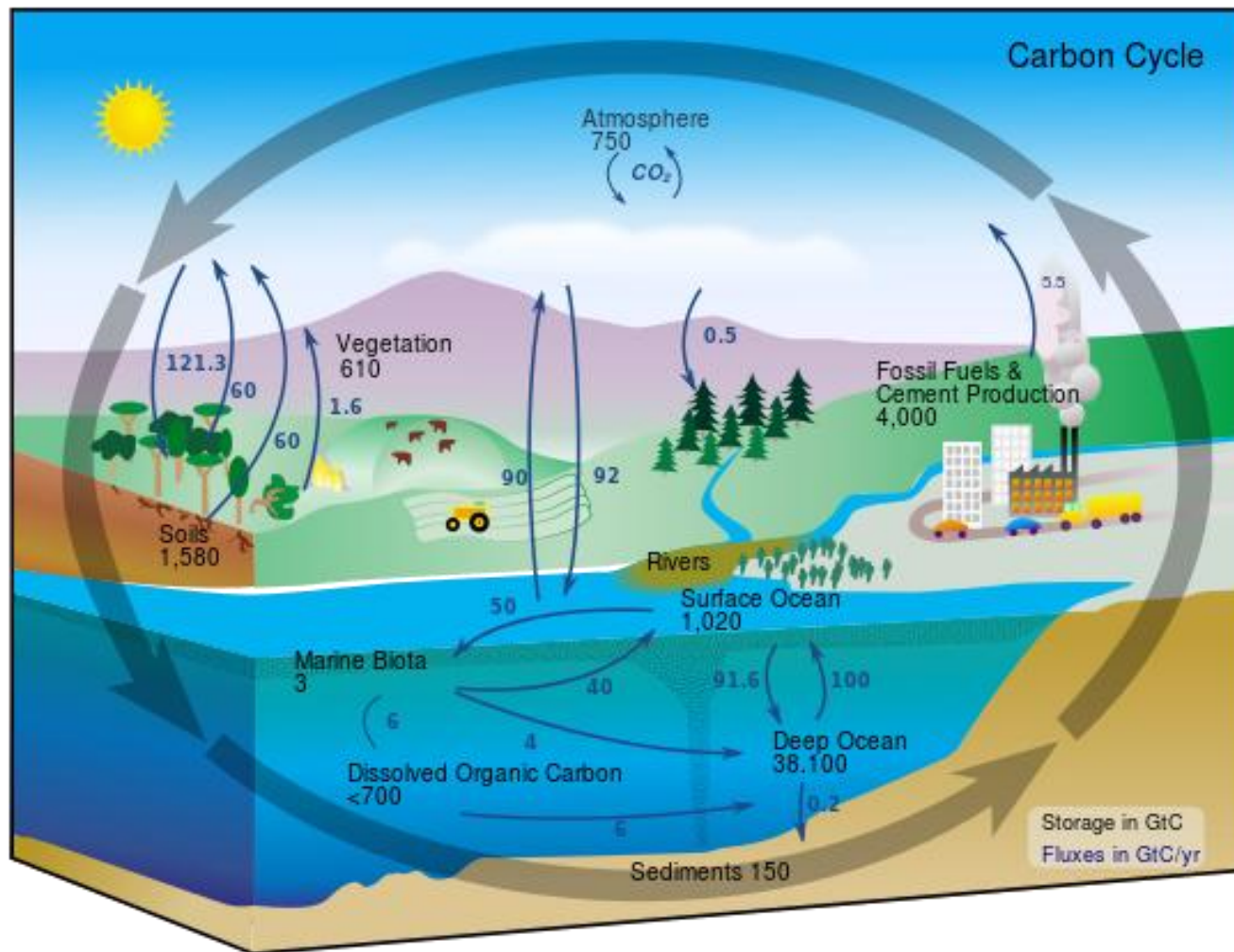
- το CO_2 αυξήθηκε κατά **40%** (το 2011 η συγκέντρωσή του εκτιμάται ότι έφτασε **391 ppm** αύξηση **40%**)
- το CH_4 αυξήθηκε κατά **150%**
- το N_2O αυξήθηκε κατά **20%**

Αέριο Θερμοκηπίου	1750	2011	% αύξηση
CO_2	278±2 (ppm)	391 (ppm)	40 %
CH_4	722±25 (ppb)	1803 (ppb)	150 %
N_2O	270±7 (ppb)	324 (ppb)	20 %



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

- Ο κύκλος του Άνθρακα: Βιογεωχημικός κύκλος μέσω του οποίου ο C



ανταλλάσσεται
μεταξύ Βιόσφαιρας-
Εδαφόςφαιρας-
Γεώσφαιρας-
Υγρόσφαιρας και
Ατμόσφαιρας

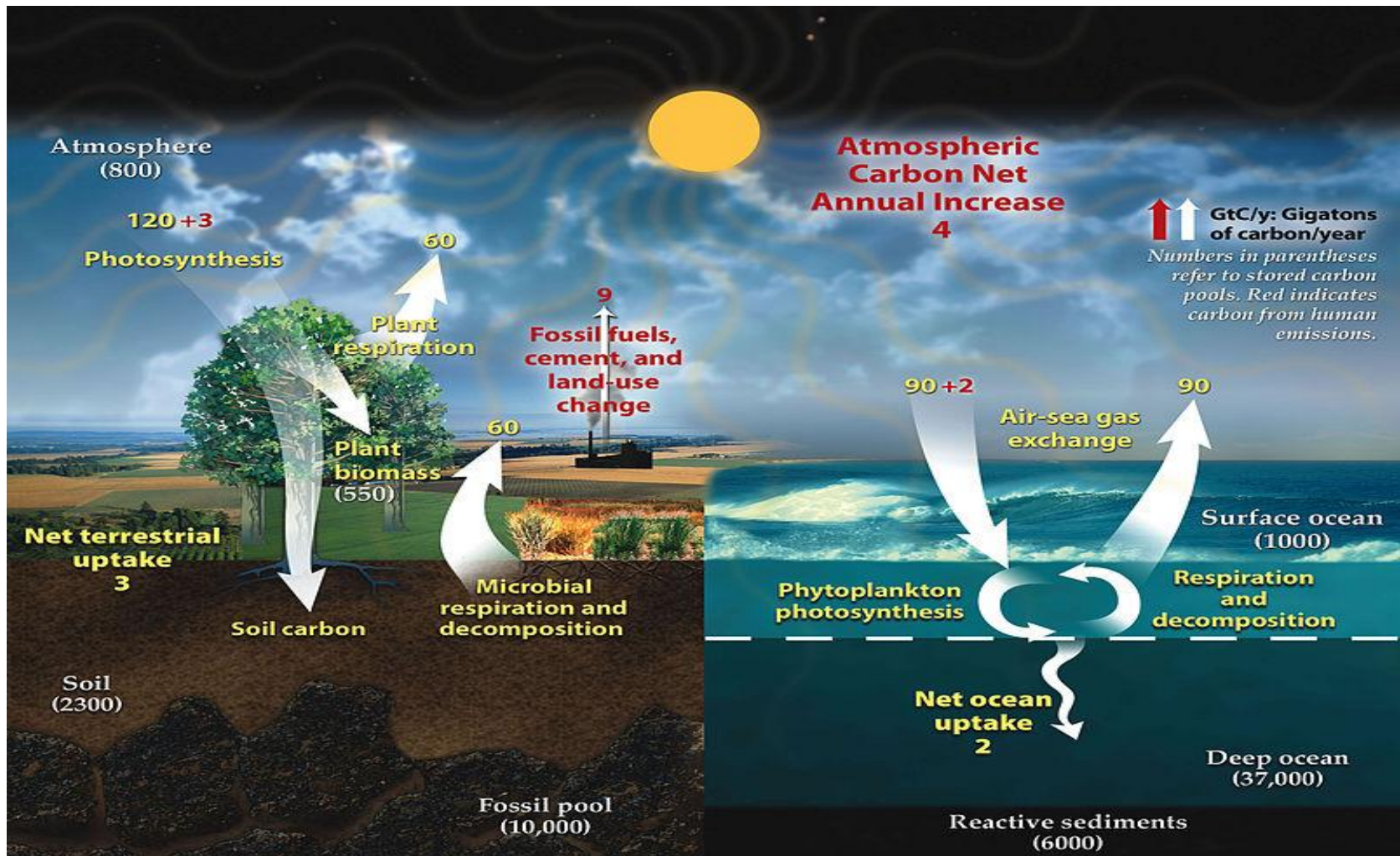
Είναι από τους πιο
σημαντικούς κύκλους
στη φύση που
επιτρέπει στον C να
ανακυκλώνεται και να
επαναχρησιμοποιείται
από τη Βιόσφαιρα

Ο κύκλος του C από τη NASA



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα



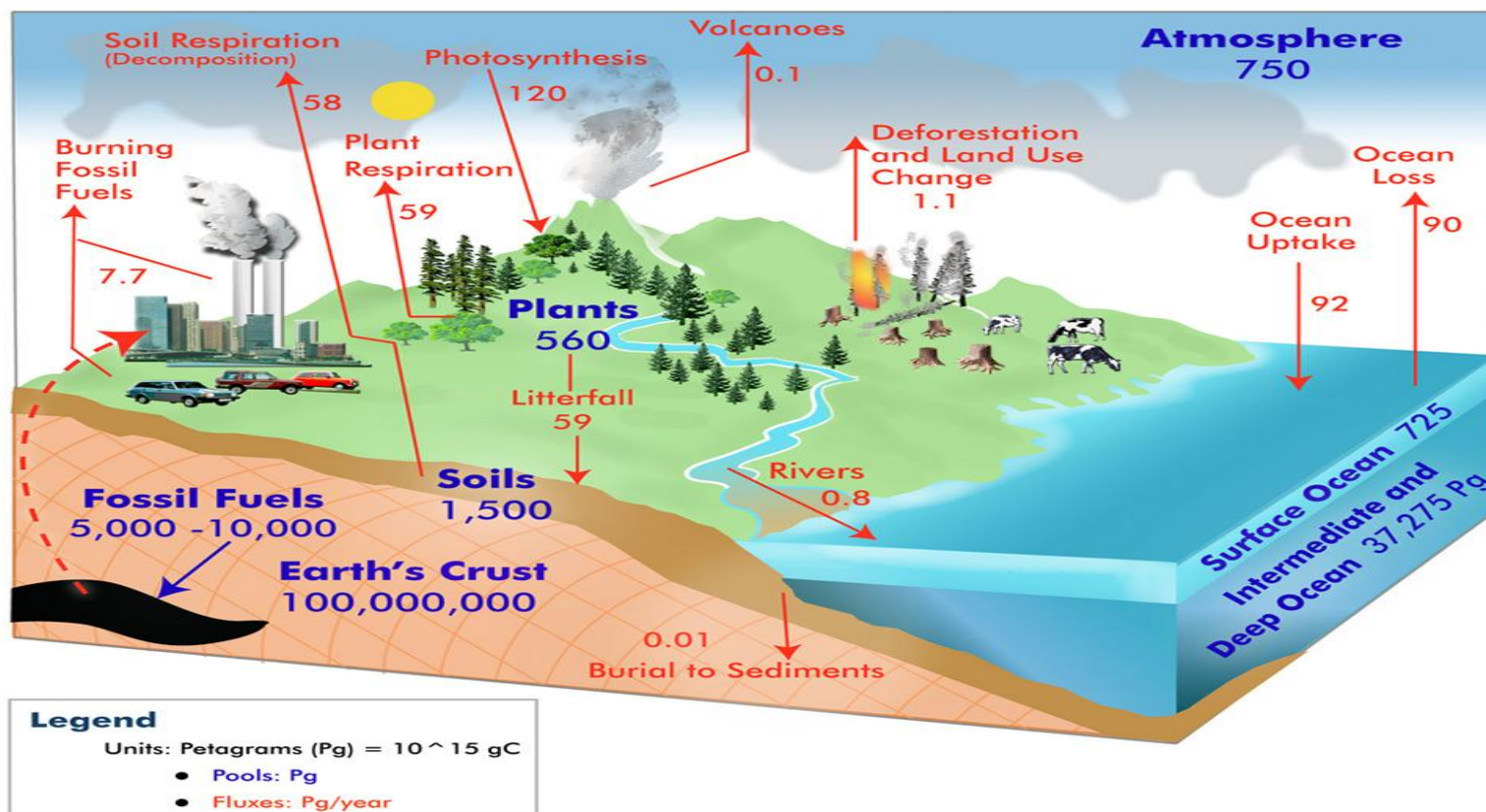
Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_in_Earth%27s_atmosphere#/media/File:Carbon_cycle.jpg



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

Ο κύκλος του Άνθρακα

Global Carbon Cycle



Copyright 2010 GLOBE Carbon Cycle Project, a collaborative project between the University of New Hampshire, Charles University and the GLOBE Program Office.
Data Sources: Adapted from Houghton, R.A. Balancing the Global Carbon Budget. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 007.35:313-347, updated emissions values are from the Global Carbon Project: Carbon Budget 2009.

Πηγή: http://www.nasa.gov/images/content/544800main_globe-CarbonCycle-hi.jpg



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

- Ο κύκλος του Άνθρακα

Εικόνα:

http://photos.state.gov/libraries/amgov/30145/maps/Map-Cycle_interactive.jpg

- Η διαδικασία αφομοίωσης του C από τον ωκεανό είναι μια αργή διαδικασία σε σχέση με τις υπόλοιπες συνιστώσες (ροές) του κύκλου του C



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα – Ατμόσφαιρα

Εικόνα από:

http://photos.america.gov/maps/amgov/30145/map-cycle_interactive.jpg/

■ **CO₂, CH₄ και CFCs απορροφούν υπέρυθρη ακτινοβολία και θερμαίνουν τον αέρα.**

❑ 121 Gt/yr στα φυτά

❑ 121,6 Gt/yr από τα φυτά, τα ζώα, τη χρήση γης, τις καλλιέργειες και το έδαφος

❑ 2500 Gt είναι αποθηκευμένοι στο έδαφος

❑ 1020 Gt είναι αποθηκευμένοι στην επιφάνεια των ωκεανών

❑ 90 Gt/yr από τον ωκεανό στην ατμόσφαιρα

❑ 92 Gt/yr από την ατμόσφαιρα στον ωκεανό

❑ 6,4 Gt/yr από την βιομηχανία

❑ 760 Gt είναι αποθηκευμένοι στην ατμόσφαιρα

Το μονοξείδιο του άνθρακα δεν επιδρά άμεσα στην παγκόσμια θερμοκρασία, αλλά συμβάλλει στην μόλυνση και επηρεάζει την ατμοσφαιρική χημεία.



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα – Καύση ορυκτών καυσίμων

Εικόνα από:

http://photos.america.gov/maps/amgov/30145/map-cycle_interactive.jpg/

■ Το μεθάνιο και άλλοι υδρογονάνθρακες σε άνθρακα, φυσικό αέριο και πετρέλαιο καίγονται και μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα παράγοντας θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια.

760 Gt είναι αποθηκευμένοι στην ατμόσφαιρα

3500 Gt είναι αποθηκευμένοι ως άνθρακας και καύσιμα ορυκτών

6,4 Gt/yr από τις βιομηχανικές εκπομπές (ρύποι)

■ Ο ασβεστόλιθος χρησιμοποιείται για να φτιαχτεί τσιμέντο, παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα ως παραπροϊόν.



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα – Έδαφος

Εικόνα από:

http://photos.america.gov/maps/amgov/30145/map-cycle_interactive.jpg/

■ Τα βακτήρια και οι μύκητες αποδομούν ενώσεις του άνθρακα από τα φυτά και τα ζώα> Μέσω αυτών των διαδικασιών παράγεται CO₂ και CH₄, με αποτέλεσμα ορισμένες ποσότητες να απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα.

❑ 560 Gt/yr ζωντανοί οργανισμοί

❑ 1,6 Gt/yr από χρήση γης και καλλιέργειες

❑ 60 Gt/yr από το έδαφος

❑ 60 Gt/yr από φυτά και ζώα

❑ 2500 Gt είναι αποθηκευμένοι στο έδαφος και σε οργανικό υλικό

■ Τα ζώα τρώνε φυτά (και άλλα ζώα) και εκπέμπουν CO₂ μέσω της διαδικασίας της αναπνοής. Μερικά ζώα, επίσης παράγουν μεθάνιο



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα – Ωκεανός (επιφάνεια)

Εικόνα από:

http://photos.america.gov/maps/amgov/30145/map-cycle_interactive.jpg/

- Το CO₂ που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα δεσμεύεται από τους ωκεανούς σχηματίζοντας διανθρακικά άλατα (bicarbonates).
- ❑ 760 Gt είναι αποθηκευμένοι στην ατμόσφαιρα
- ❑ 1000 Gt είναι αποθηκευμένοι στην επιφάνεια των ωκεανών
- ❑ 0,6 Gt/yr απορρέουν από το έδαφος προς τα ποτάμια και προς τον ωκεανό



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα – Ωκεανός (βαθύτερα στρώματα)

Εικόνα από: http://photos.america.gov/maps/amgov/30145/map-cycle_interactive.jpg/

- 38000 Gt C είναι αποθηκευμένοι στα βαθύτερα στρώματα του ωκεανού
- 1000 Gt/yr είναι αποθηκευμένοι στην επιφάνεια
- 92 Gt/yr εισέρχονται
- 100 Gt/yr εξέρχονται



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα – Ωκεανός (βαθύτερα στρώματα)

Εικόνα από:

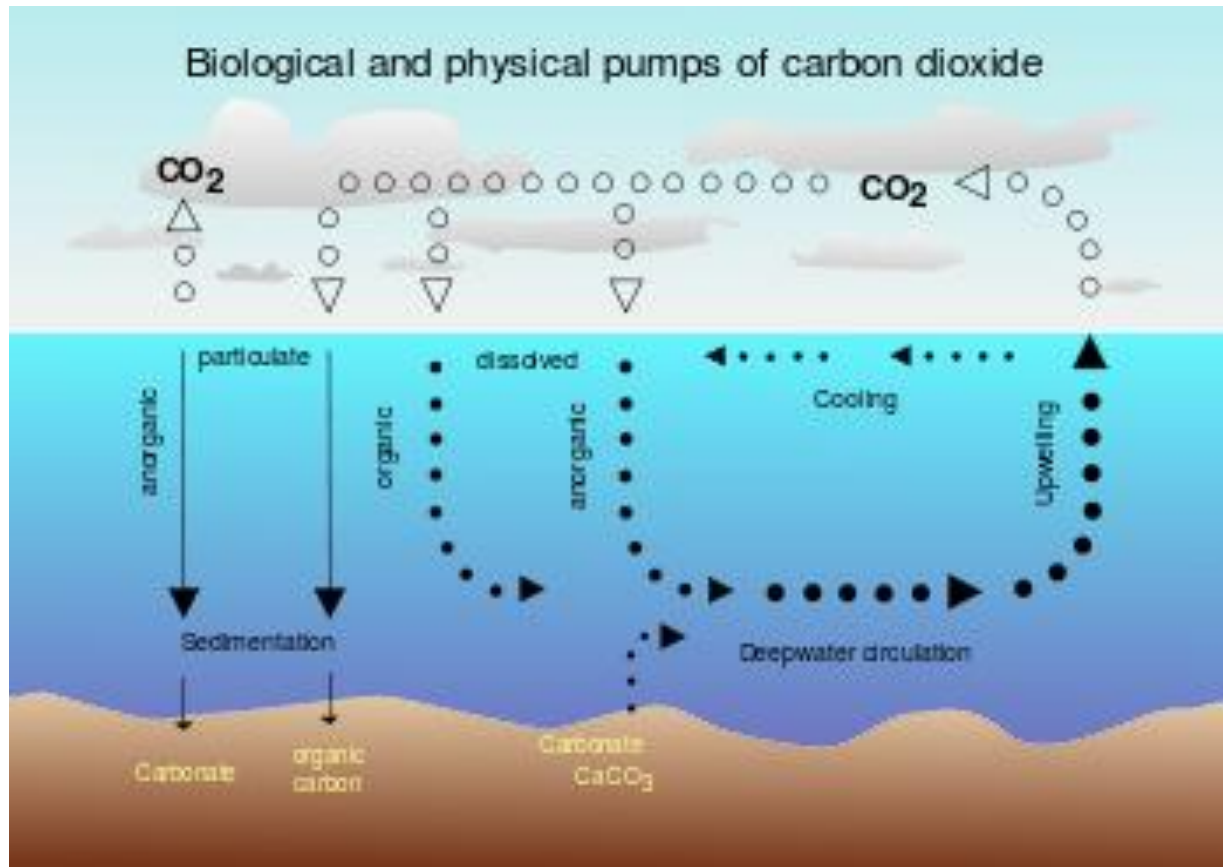
http://photos.america.gov/maps/amgov/30145/map-cycle_interactive.jpg/

- Φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί παραμένουν στον πυθμένα των ωκεανών. Για εκατομμύρια χρόνια τα υπολείμματά τους θαμμένα στο υπέδαφος του πυθμένα των ωκεανών, δημιουργώντας ορυκτά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας.
 - 3500 Gt αποθηκευμένων ορυκτών καυσίμων
 - 100 εκατομμύρια γιγατόνων αποθηκευμένα ιζηματογενή βράχια
- Ο άνθρακας στον ωκεανό συνδυάζει ασβέστιο που προέρχεται από διάβρωση των πετρωμάτων και ανθρακικό ασβέστιο (ασβεστόλιθο).
 - 0,2 Gt/yr εισέρχονται
- Άνθρακας είναι αποθηκευμένος σε πετρώματα , σε πολύ μεγάλο βάθος κάτω από το έδαφος, αλλά χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να συσσωρευτεί.



Αέρια του θερμοκηπίου – Ενώσεις του Άνθρακα

■ Ο κύκλος του Άνθρακα – Ωκεανός



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_sink#/media/File:CO2_pump_hg.svg

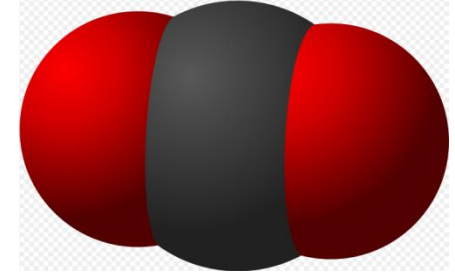
- Ο ωκεανός αποτελεί το μεγαλύτερο ρεζερβουάρ αποθήκευσης του άνθρακα (C)



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide



■ Το CO₂ δεν είναι άμεσα τοξικό όμως έχει έμμεσες επιδράσεις στην εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη, αλλά και στον ίδιο τον πλανήτη αφού αποτελεί το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου

■ Σε επίπεδο χιλιετίας, πριν το 1800 η συγκέντρωση του CO₂ κυμαίνονταν μεταξύ **260** και **285 ppm**

Μοριακό βάρος:	44
Σημείο τήξης:	-57 °C
Σημείο βρασμού:	-78 °C
Άχρωμο, άοσμο & άγευστο	
Διαλυτότητα στο νερό:	1.45 g/L
Απορροφά ακτινοβολία:	4.3 μm & 12.9-17.1 μm

Εικόνα:

<https://www.bas.ac.uk/wp-content/uploads/2015/04/002.jpg>

■ Μετά το 1800 (βιομηχανική επανάσταση) η συγκέντρωση του CO₂ εμφανίζει μία συνεχώς αυξητική τάση



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

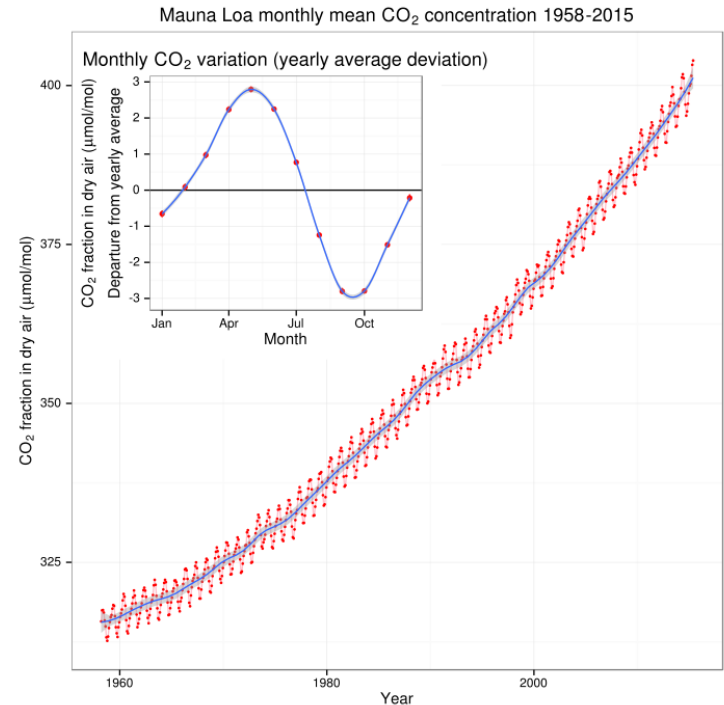
Σήμερα (Ιούλιος 2015): **401.30 ppm !**

- Ρυθμός αύξησης 1960-2005: **1.4 ppm yr⁻¹**
- Ρυθμός αύξησης 1980-2011: **1.7 ± 0.5 ppm yr⁻¹**
- Ενώ μετά το 2001 ο ρυθμός αύξησης έγινε:
2.0 ± 0.3 ppm yr⁻¹

○ Η συγκέντρωση του CO₂ αυξήθηκε σε σχέση με την προηγούμενη έκθεση του IPCC (δηλ. την περίοδο 2005-2011) κατά **11.7 ppm**

○ Συνεχείς μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ στη Nauna Loa (Hawaii) από το 1958 δείχνουν μια συνεχή μονότονη αυξητική τάση. Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο ρυθμός αύξησης έχει επιβραδυνθεί την τελευταία δεκαετία

○ Η συγκέντρωση του CO₂ ακολουθεί έναν ετήσιο κύκλο με μέγιστο εύρος, στο Νότιο ημισφαίριο, στο 1 ppm, ενώ στο Βόρειο φτάνει τα 15 ppm. Στη Mauna Loa το εύρος κυμαίνεται μεταξύ 5-6 ppm. Αυτός ο ετήσιος κύκλος οφείλεται στην εποχική δέσμευση και απελευθέρωση του CO₂ από τα γήινα οικοσυστήματα και σε πολύ μικρότερο βαθμό στις ωκεάνιες διαδικασίες

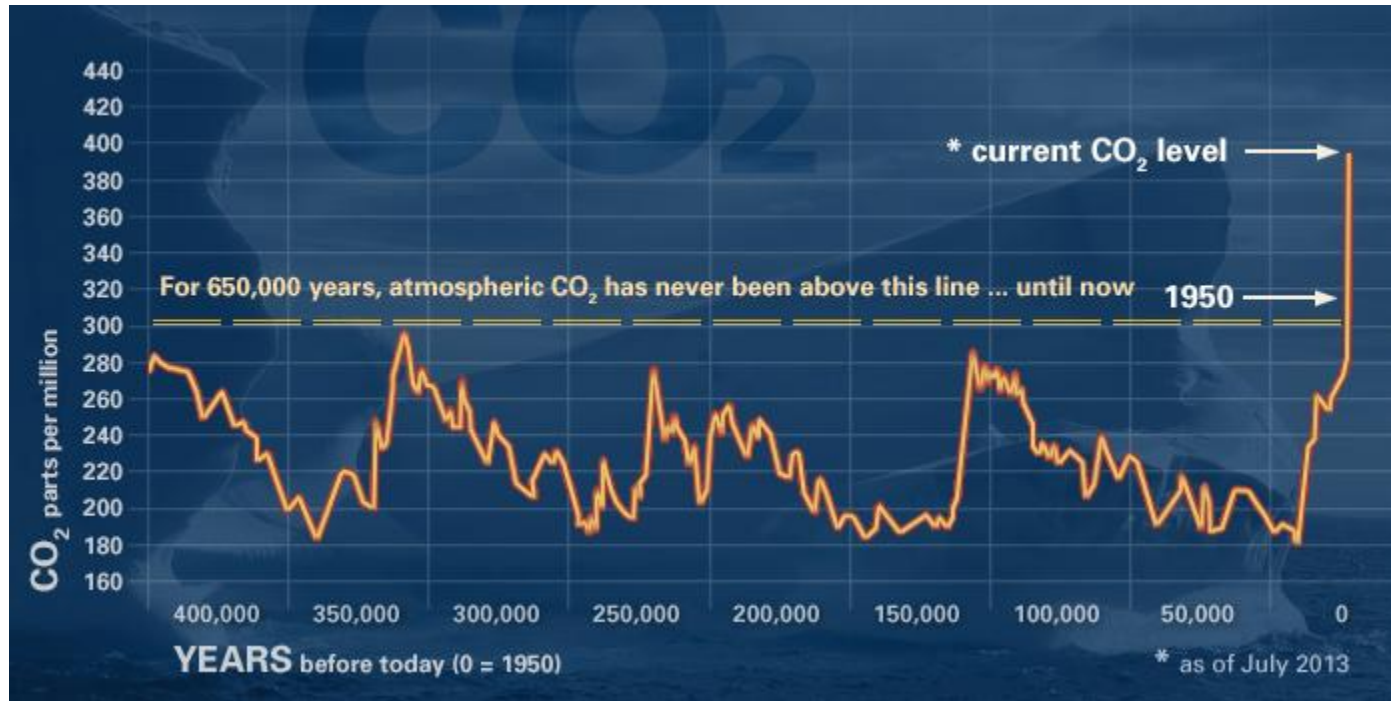


Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Mauna_Loa_Observatory#/media/File:Mauna_Loa_CO2_monthly_mean_concentration.svg



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂



Πηγή: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Evidence_CO2.jpg

Ο Κατά τους γεωλογικούς χρόνους η μεγάλης κλίμακας φυσική μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂ συνδέεται στενά με αντίστοιχες μεταβολές του κλίματος. Ανασύσταση της συγκέντρωσης του CO₂ δείχνει ότι αυτή μεταβάλλονταν μεταξύ 200 και 300 ppm καθώς το κλίμα μεταξύ παγετωνικών και μεσοπαγετωνικών περιόδων



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

- Στην προ-βιομηχανική εποχή το ισοζύγιο του CO₂ ήταν σε ισορροπία με το **98.1%** του CO₂ να βρίσκεται στους ωκεανούς και μόλις το **1.9%** στην ατμόσφαιρα.
- Μετά τη βιομηχανική επανάσταση έχουμε μαζική εκπομπή CO₂ στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Εκτιμάται ότι από αυτό μόλις το **80-85%** θα καταλήξει στους ωκεανούς ενώ το υπόλοιπο **15-20%** θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα.
- Μετά το 1800, μόνο το **42%** CO₂ του που έχει εισαχθεί στην ατμόσφαιρα έχει αφομοιωθεί στους ωκεανούς



Επειδή ο φυσικός κύκλος του C μεταξύ γήινης και ωκεάνιας βιόσφαιρας ολοκληρώνεται σε μια χρονική κλίμακα της τάξης των δεκάδων ή και εκατοντάδων χρόνων, η γρήγορη και μαζική εισαγωγή C στην ατμόσφαιρα από ανθρώπινες δραστηριότητες δεν μπορεί γρήγορα να εξισορροπηθεί



Δεν είναι δυνατόν να οριστεί με ακρίβεια ο χρόνος ζωής του CO₂ στην ατμόσφαιρα



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

- Εκτιμάται ότι από τα **100 μόρια CO₂** που εισάγονται στην ατμόσφαιρα:
 - **6** μόρια θα διαλυθούν στον ωκεανό σε **1** χρόνο
 - **29** μόρια θα διαλυθούν στον ωκεανό σε **10** χρόνια
 - **59** μόρια θα διαλυθούν στον ωκεανό σε **60** χρόνια
 - **84** μόρια θα διαλυθούν στον ωκεανό σε **360** χρόνια
 - **100** μόρια θα διαλυθούν στον ωκεανό σε **> 1000** χρόνια
- Τα πρώτα **6 μόρια** διαλύονται στα επιφανειακά νερά
- Τα επόμενα **23 μόρια** προέρχονται από μεταφορά μεταξύ επιφανειακών στρωμάτων και βαθύτερων στρωμάτων (θερμοκλινές)
- τα επόμενα **55 μόρια** προέρχονται από μεταφορά στα πολύ βαθύτερα στρώματα του ωκεανού
- και τα τελευταία **16** (αντιπροσωπεύουν το 16% του εισαγόμενου στην ατμόσφαιρα CO₂) παριστάνει στην ουσία το ποσοστό που θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

■ Πηγές & Καταβόθρες

• Πηγές

○ Φυσικές

- ✓ αναπνοή φυτών & ζώων
- ✓ αποσύνθεση οργανικών ουσιών
- ✓ ηφαίστεια & θερμές πηγές
- ✓ διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων

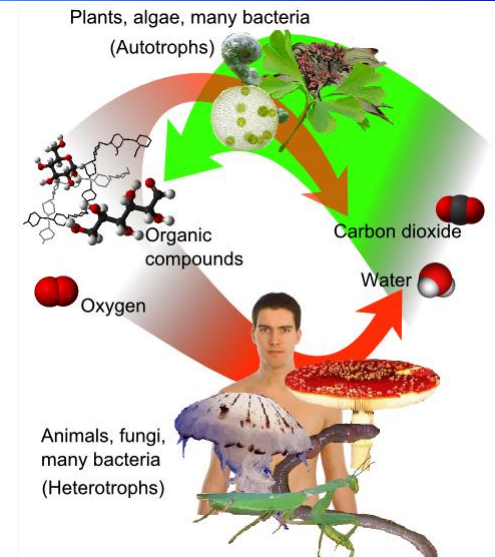
○ Ανθρωπογενείς

- ✓ Καύση ορυκτών καυσίμων
- ✓ Αλλαγή χρήσης γης
 - Μεταβαλλόμενες γεωργικές πρακτικές
 - Αποψίλωση δασών (πυρκαγιές)
 - Καύση βιομάζας

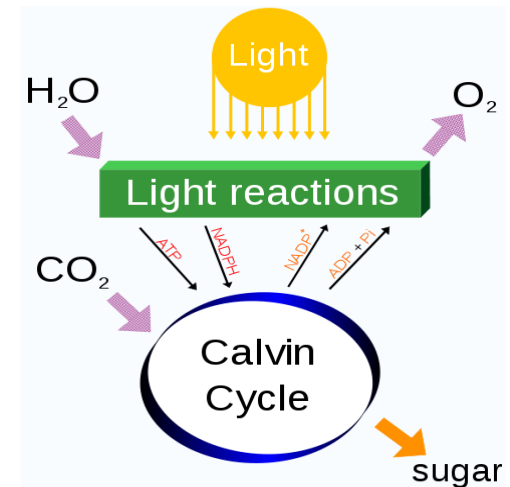
• Καταβόθρες

○ Δέσμευση από ωκεανούς

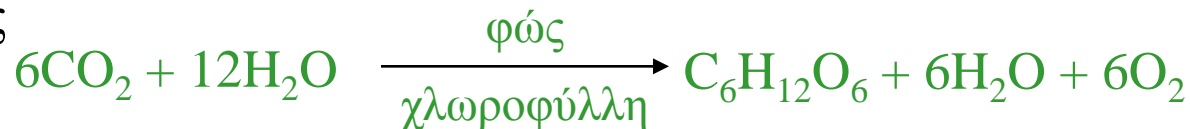
○ Φωτοσύνθεση



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide#/media/File:Auto-and_heterotrophs.png



Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simple_photosynthesis_overview.PNG



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

■ Πηγές & Καταβόθρες

CO₂ (Gt (C) yr⁻¹)*

Πηγές

Παραγωγή & καύση καυσίμων υλικών 5.5 ± 0.5

Αποψίλωση δασών & αλλαγή χρήσης γης 1.6 ± 1.0

Σύνολο 7.1 ± 1.1

Καταβόθρες

Ωκεανοί 2.0 ± 0.8

Δάση Β. Ημισφαιρίου 0.5 ± 0.5

Παραμένει στην Ατμόσφαιρα 3.2 ± 0.2

Σύνολο 5.7 ± 1.0

Καθαρό Ισοζύγιο 1.4 ± 1.5

Ανθρωπογενείς
Δραστηριότητες

**Εκπομπή CO₂
(10⁹ t yr⁻¹)**

Καύση άνθρακα 7

Καύση
πετρελαίου 5

Καύση φυσικού
αερίου 2

Άλλα 1

Σύνολο 15

* 1 Gt (C) = 10¹² Kg C



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

■ Πηγές & Καταβόθρες

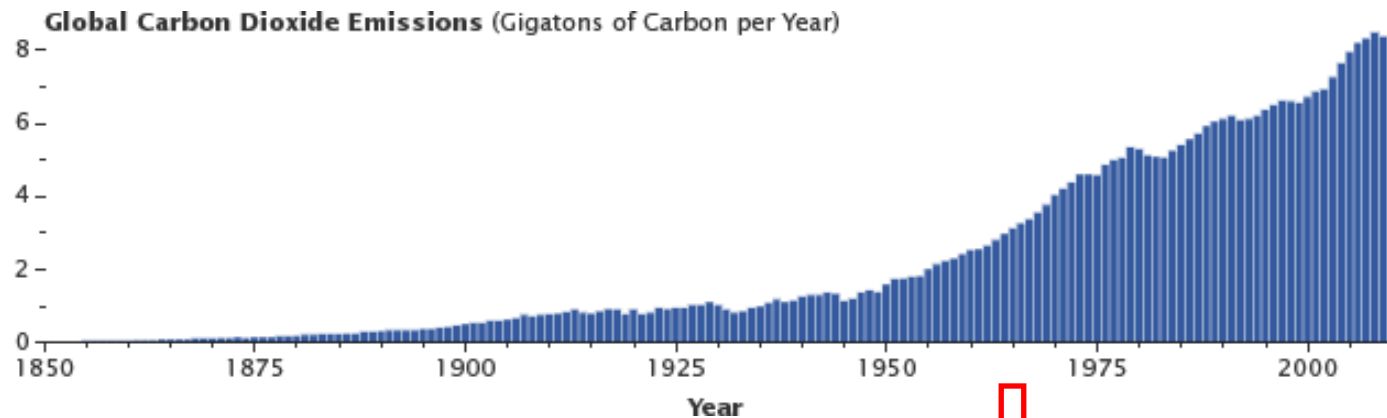
- Οι ωκεανοί περιέχουν πάνω από 50 φορές περισσότερο C σε σχέση με την ατμόσφαιρα
- 95% του C στους ωκεανούς βρίσκεται με τη μορφή ανόργανων ενώσεων διαλυμένων στο νερό (κυρίως ιόντα HCO₃⁻ και CO₃²⁻)
- το υπόλοιπο είναι διάφορες μορφές οργανικού C
- Η λήψη του C από τους ωκεανούς πραγματοποιείται σε τρία στάδια
 1. μεταφορά CO₂ μεταξύ ατμόσφαιρας-επιφάνειας ωκεανού
 2. χημικές αντιδράσεις του διαλυμένου CO₂ με συστατικά του νερού
 3. μεταφορά σε βαθύτερα ωκεάνια στρώματα μέσω διαδικασιών κατακόρυφης ανάμιξης
- ο ρυθμός λήψης CO₂ από τους ωκεανούς καθορίζεται από τα βήματα 2 & 3 και χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα και σφάλματα στην εκτίμηση
- C μεταφέρεται από τη γήινη βιόσφαιρα στους ωκεανούς μέσω των ποταμών
1.2 – 1.4 Gt (C) yr⁻¹



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

■ Πηγές & Καταβόθρες

- Η αποψίλωση δασών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μεταβολή της ανταλλαγής CO₂ μεταξύ βιόσφαιρας & ατμόσφαιρας
- Η αλλαγή χρήσης Γης ⇒ αθροιστικά εκπομπές **122 ± 40 Gt (C)** στην ατμόσφαιρα
- Εκπομπές CO₂ στις τροπικές περιοχές λόγω της αποψίλωσης των δασών εκτιμάται για τη δεκαετία 1980-1990 στους **1.6 ± 1.0 Gt (C) yr⁻¹**



Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page4.php>

- Εκπομπές CO₂ από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κυρίως χρήση ορυκτών καυσίμων και παραγωγή μπετού



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

▪ Πηγές & Καταβόθρες

○ Ροή CO₂ μεταξύ ατμόσφαιρας & ωκεανού: **90 Gt (C) yr⁻¹**

○ Ροή CO₂ μεταξύ γήινης βιόσφαιρας & ωκεανού: **60 Gt (C) yr⁻¹**

○ Ροή CO₂ μεταξύ ατμόσφαιρας & ωκεανού

+

○ Ροή CO₂ μεταξύ γήινης βιόσφαιρας & ωκεανού

} **Μια τάξη μεγέθους
μεγαλύτερες από**

} Εκπομπές CO₂ από καύση ορυκτών καυσίμων

+

} Εκπομπές CO₂ από αποψίλωση δασών

Όμως η συνολική ροή από ανθρωπογενείς πηγές (**7.1 Gt (C) yr⁻¹**) είναι σχεδόν συγκρίσιμη με την καθαρή ροή μεταξύ των 3 δεξαμενών



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

▪ Πηγές & Καταβόθρες

▪ Ο ρυθμός αύξησης του CO₂ στην ατμόσφαιρα έχει μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια

⇒ η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι **3.2 ± 0.2 Gt (C) yr⁻¹**

Εκπομπές CO₂ από καύση ορυκτών καυσίμων (ακριβής)

+

Εκπομπές CO₂ από αποψίλωση δασών (λιγότερο ακριβής)

7.1 Gt (C) yr⁻¹

$$7.1 \text{ Gt (C) yr}^{-1} - 3.2 \text{ Gt (C) yr}^{-1} = 3.9 \text{ Gt (C) yr}^{-1}$$

Θα πρέπει να ισούται με:

1. Λήψη από ωκεανούς = **2.0 ± 0.8 Gt (C) yr⁻¹**
2. Λήψη από βλάστηση = **0.5 ± 0.5 Gt (C) yr⁻¹**

⇒ υπάρχει ένα υπόλοιπο (καταβόθρα) των **1.4 ± 1.5 Gt (C) yr⁻¹** η οποία λείπει και αποτελεί πρόβλημα στον κύκλο του C

⇒ είναι αυτό που συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα



Αέρια του θερμοκηπίου – Διοξείδιο του Άνθρακα CO₂

- Το CO₂ έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (**Radiative Forcing**) σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια θερμοκηπίου

+1.68 (1.33 - 2.03) Wm⁻²

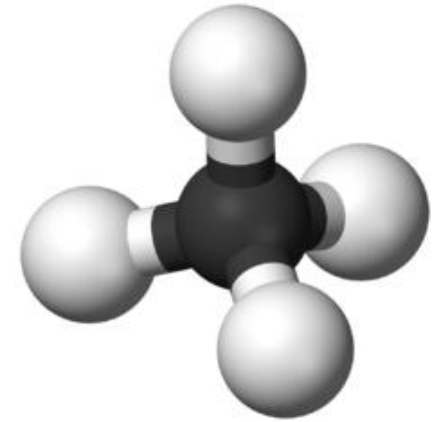
Εικόνα 8.6

από IPCC Report 2013



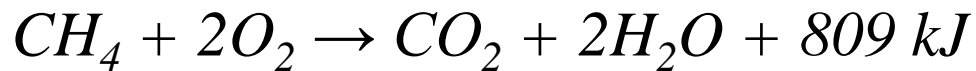
Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH₄

- Το μεθάνιο (CH₄) είναι το απλούστερο αλκάνιο δηλ. κορεσμένος υδρογονάνθρακας
- Είναι το δεύτερο σημαντικότερο αέριο από άποψη συμβολής (αμέσως μετά το CO₂) στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Είναι το κυριότερο συστατικό του φυσικού αερίου (75 – 90%)
- Είναι εύφλεκτο και με μεγάλη ενεργειακή απόδοση ⇒ χρησιμοποιείται σαν καύσιμο υλικό



Πηγή:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Methane#/media/File:Methane-CRC-MW-3D-balls.png>



Μοριακό βάρος: 16
Σημείο τήξης: -182.5 °C
Σημείο βρασμού: -161.5 °C
Άχρωμο, άοσμο, μη τοξικό & εύφλεκτο αέριο

Διαλυτότητα στο νερό: 35 g/m³
Χρόνος ζωής: 8.7±1.3 (10-15) έτη
Απορροφά ακτινοβολία: 4-3 μm & 7-8.5 μm

- Το CH₄ απορροφά 23 με 27 φορές περισσότερη ακτινοβολία από το CO₂. Όμως, υπάρχει σε μικρότερες συγκεντρώσεις & έχει μικρότερο χρόνο ζωής



Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH₄

○ Το CH₄ έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (Radiative Forcing) σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια θερμοκηπίου **+0.97 (0.74 -1.20) Wm⁻²**

○ **Προσοχή:** αυτό είναι το συνολικό RF του CH₄ δηλ. οφείλεται τόσο στην αύξηση της συγκέντρωσης του όσο και σε έμμεσες επιδράσεις που έχει π.χ. στη συγκέντρωση του O₃ και των υδρατμών στη στρατόσφαιρα

○ Το RF που οφείλεται αποκλειστικά στην αύξηση της συγκέντρωσης του CH₄ είναι: **+0.48 ± 0.05 Wm⁻²**

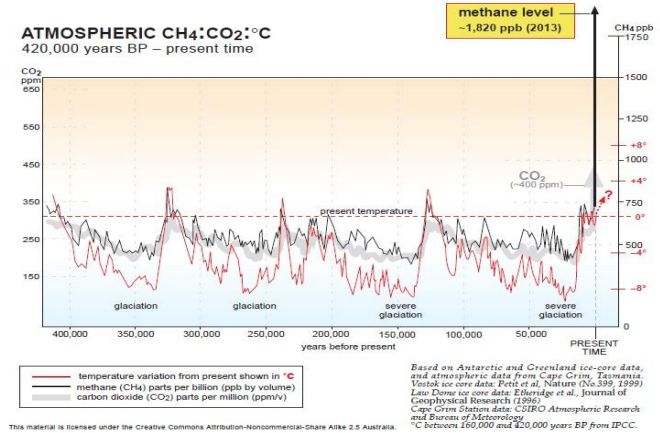
○ Τα τελευταία 650.000 χρόνια η συγκέντρωση του CH₄ κυμαινόταν μεταξύ 400 & 700 ppb

○ Το 2011 η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα είναι:

1803 ± 2 ppb

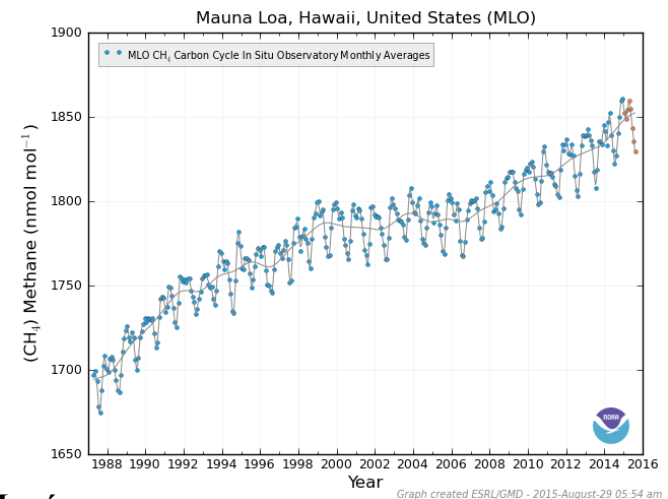
αυξήθηκε >1000 ppb τους 2 τελευταίους αιώνες

⇒ η μεγαλύτερη αύξηση που παρουσίασε τα τελευταία 80.000 έτη



Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_methane#/media/File:Atmospheric_CO2_CH4_Degrees_Centigrade_Over_Time_by_Reg_Morrison.jpg



Πηγή:

https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_methane#/media/File:Mlo_ch4_ts_obs_03437.png

Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH_4

■ Πηγές & Καταβόθρες

■ Πηγές

○ Βιογενείς

- ✓ έλη & πυθμένες λιμνών
- ✓ ορυζώνες
- ✓ χώροι ταφής απορριμάτων
- ✓ εκπνοή, πέψη & περιττώματα (αέρια) ζώων (κυρίως Βοοειδών)
- ✓ ωκεανοί
- ✓ τερμίτες
- ✓ δάση

○ Μη-βιογενείς

- ✓ εξόρυξη & καύση ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, Πετρέλαιο, κάρβουνο)
- ✓ καύση βιομάζας
- ✓ διαχείριση αποβλήτων
- ✓ γεωλογικές πηγές (Υδρίτες CH_4 , γεωθερμικό CH_4 , ηφαίστεια)

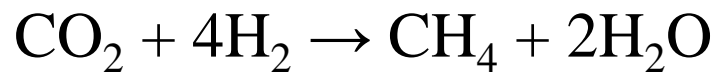
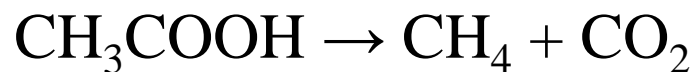
70% των
συνολικών
πηγών



Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH₄

■ Πηγές & Καταβόθρες

- Το CH₄ που προέρχεται από φυσικές πηγές παράγεται από βιολογικές διαδικασίες: αποσύνθεση οργανικών υλικών από βακτηρίδια κάτω από αναερόβιες συνθήκες
- Το CH₄ στην κτηνοτροφία επίσης προέρχεται από βιολογικές διεργασίες (τα μηρυκαστικά καταναλώνουν φυτά τα οποία ζυμώνονται στο πεπτικό τους σύστημα παράγεται μεθάνιο το οποίο εκπέμπουν κατά την εκπνοή ή με τα περιττώματα τους)
- Παραγωγή CH₄ μέσω βιολογικών διεργασιών: πολύπλοκη ακολουθία διαδικασιών
 1. Ζύμωση οργανικών μακρομορίων σε → Οξικό οξύ (CH₃COOH), άλλα καρβοξυλικά οξέα, αλκοόλες, CO₂, H₂
 2. Δευτερεύουσα ζύμωση των αλκοολών και των καρβοξυλικών οξέων σε οξικά άλατα, εστέρες, H₂, CO₂
 3. Μετατροπή αυτών των προϊόντων σε CH₄ μέσω του μικροβίου methanogenic Archaea:



Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH_4

■ Πηγές & Καταβόθρες ($Tg(CH_4) yr^{-1}$)

■ Πηγές

○ Φυσικές

- ✓ Υδροτόποι (έλη, λίμνες) (μεγαλύτερη πηγή)
- ✓ ωκεανοί
- ✓ πυρκαγιές δασών
- ✓ τερμίτες
- ✓ γεωλογικές πηγές (Υδρίτες CH_4 , γεωθερμικό CH_4 , ηφαίστεια)

○ Ανθρωπογενείς

- ✓ ορυζώνες
- ✓ εξόρυξη & καύση ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, Πετρέλαιο, κάρβουνο)
- ✓ ταφή απορριμμάτων & επεξεργασία λημμάτων
- ✓ κτηνοτροφία & διαχείριση ζωικών λιπασμάτων (κοπριά)
- ✓ καύση βιομάζας (μερικώς)

> 60%
του συνόλου
των
πηγών



- Πηγές & Καταβόθρες ($Tg (CH_4) yr^{-1}$)

Εικόνα 7.6

από IPCC Report, 2007

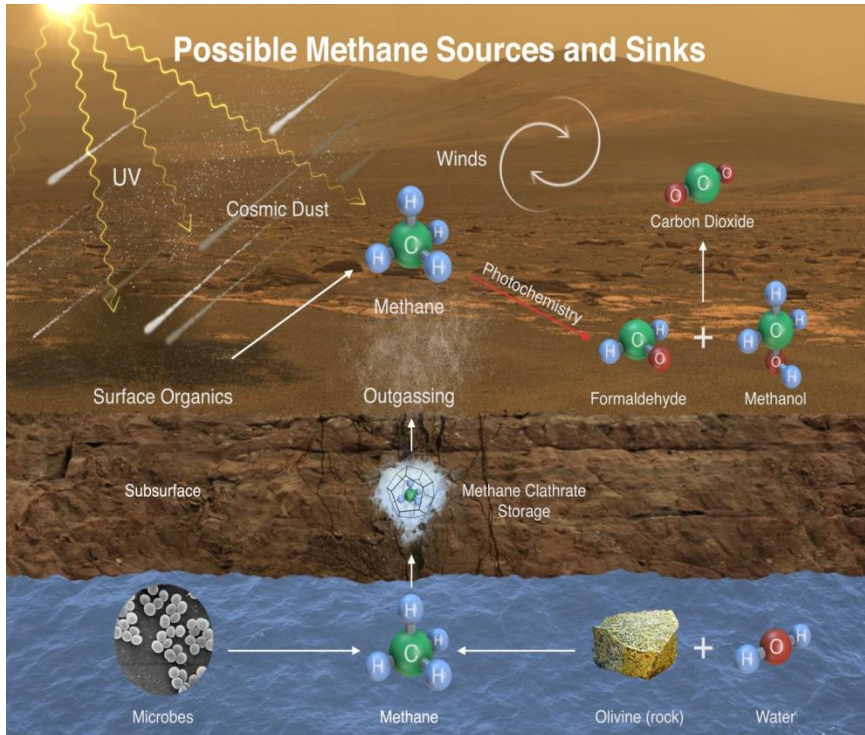


Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH_4

■ Πηγές & Καταβόθρες

■ Καταβόθρες

- Οξείδωση στην τροπόσφαιρα από ρίζες OH^\cdot
- Βιολογική οξείδωση του CH_4 στο έδαφος
- Απώλεια προς τη στρατόσφαιρα
- οξείδωση από άτομα Cl στο θαλάσσιο οριακό στρώμα



■ Η αβεβαιότητα στις καταβόθρες του CH_4 είναι:

- $\pm 103 \text{ Tg}$ (20%) οξείδωση από OH^\cdot
- $\pm 15 \text{ Tg}$ (50%) δέσμευση έδαφος
- $\pm 8 \text{ Tg}$ (20%) στρατόσφαιρα

■ Θεωρώντας διαφορετικό χρόνο ζωής για το CH_4 (8.7 ± 1.3 έτη) η αβεβαιότητα για την ένταση του συνόλου των καταβοθρών είναι: **$\pm 15\%$** .

Πηγή:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Possible_Methane_Sources_and_Sinks_on_Mars.jpg

Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH_4

▪ Πηγές & Καταβόθρες ($\text{Tg}(\text{CH}_4) \text{ yr}^{-1}$)

- Η μετρούμενη συγκέντρωση του CH_4 στην ατμόσφαιρα το 2005 (**1.774 ppb**)
 - ⇒ ατμοσφαιρικό φορτίο της ατμόσφαιρας σε = **4,932 Tg**
 - ⇒ **0.6 Tg yr⁻¹** μέση ετήσια αύξηση κατά την περίοδο 2000-2005
 - ⇒ μέσες ετήσιες εκπομπές **~582 Tg(CH₄) yr⁻¹**
- Η διαφοροποίηση με την προηγούμενη έκθεση (TAR) οφείλεται στο ότι εκεί χρησιμοποιήθηκε μέσος ρυθμός αύξησης των επιπέδων του CH_4 στην ατμόσφαιρα = **8 ppb yr⁻¹**, ενώ η παρούσα έκθεση χρησιμοποιεί ρυθμό αύξησης **0.2 ppb yr⁻¹**
- Ρυθμός αύξησης επιπέδων CH_4 στην ατμόσφαιρα:
 - Αρχές '80: **14 ppb yr⁻¹** (**~ 1% yr⁻¹**)
 - Μετά '80: **σταδιακή μείωση**
 - Εξαίρεση:
 - 1991 → **14 ppb yr⁻¹**
 - 1998 → **18 ppb yr⁻¹**
 - 1999-2005: ~ **μηδενικός ρυθμός**



Αέρια του θερμοκηπίου – Μεθάνιο CH₄

- Κατά τη διάρκεια του **2007** τα επίπεδα του **CO₂** στην ατμόσφαιρα **αυξήθηκαν** κατά **0.6%** (ή 19×10^9 t)
- Αντίστοιχα τα επίπεδα του **CH₄** αυξήθηκαν κατά **27×10^6 t** μετά από μία σχεδόν δεκαετία πολύ μικρής ή και σχεδόν μηδενικής αύξησης (τα στοιχεία προήρθαν από 60 σταθμούς σε όλο τον κόσμο)
- **CO₂**: ο ρυθμός αύξησης επιταχύνθηκε τις τελευταίες δεκαετίες
 - > 2 ppm δεκαετία 2000
 - ~ 1.5 ppm δεκαετία '80
 - < 1 ppm δεκαετία '60
- **CH₄**: αυξήθηκε για πρώτη φορά μετά το **1998!**
- Η αύξηση του **CH₄** αποδίδεται:
 - στη συνεχώς & ταχέως βιομηχανική ανάπτυξη της Ασίας
 - κυρίως στην απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων που ήταν δεσμευμένες στους μόνιμους πάγους της Αρκτικής και τώρα με τη θέρμανση και το λιώσιμο απελευθερώνονται και εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα

Εικόνα 2.1 και 2.2

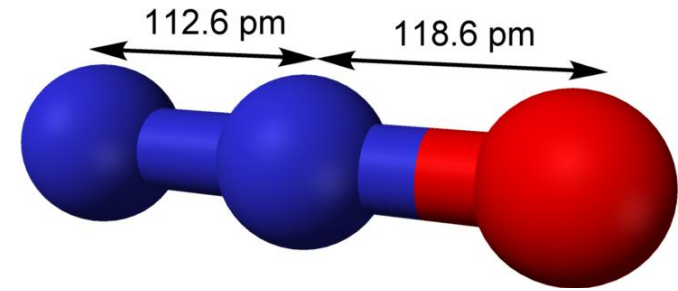
από IPCC Report, 2013

NAI: extracted from figures 2.1 and 2.2 of IPCC report 2013



Αέρια του θερμοκηπίου – Υποξείδιο του Αζώτου N_2O

■ Το υποξείδιο ή πρωτοξείδιο του αζώτου (N_2O) παίζει σημαντικό ρόλο στην φυσικο-χημεία της ατμόσφαιρας καθώς είναι **αέριο του θερμοκηπίου** αλλά και **ρύπος**. Επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στην χημεία της στρατόσφαιρας καθώς αντιδρά με το O_3



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrous_oxide

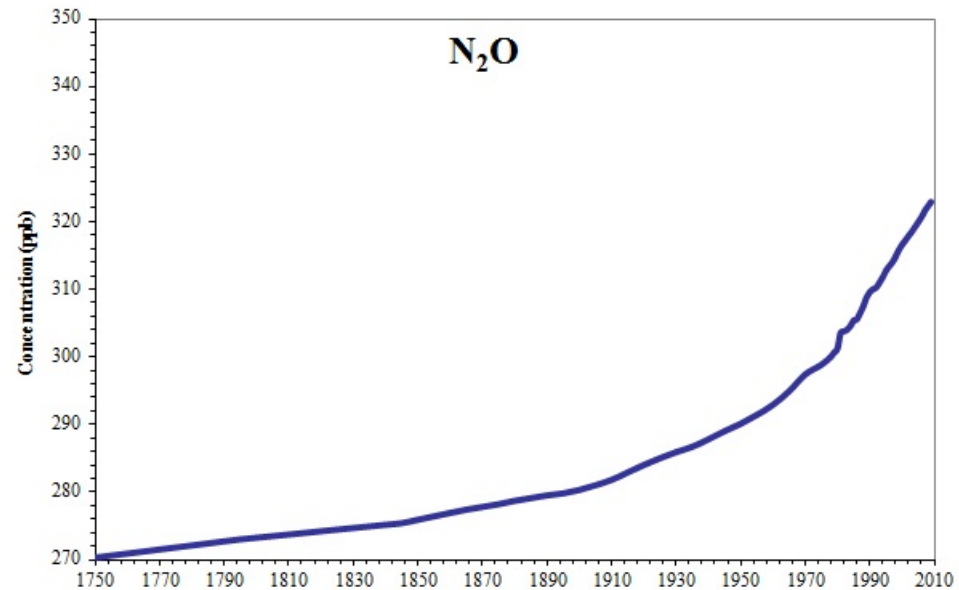
- Το N_2O συνεισφέρει **~6%** στην παγκόσμια θέρμανση λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου
- Είναι γνωστό ως **ιλαρυντικό αέριο** ή **αέριο γέλωτος** λόγω της ευφορίας που προκαλεί εισπνεόμενο

Μοριακό βάρος:	44
Σημείο τήξης:	-90.86 °C
Σημείο βρασμού:	-88.48 °C
Άχρωμο, άφλεκτο αέριο με ευχάριστη & ελαφρώς γλυκιά οσμή & γεύση	
Διαλυτότητα στο νερό:	0.15 g/100 ml (15 °C) , είναι διαλυτό σε αλκοόλη, αιθέρα & θειϊκό οξύ
Χρόνος ζωής:	120 ± 30 έτη
Απορροφά ακτινοβολία:	3-5 μm & 7.5-9 μm



Αέρια του θερμοκηπίου – Υποξείδιο του Αζώτου N_2O

- Το N_2O έχει την τέταρτη μεγαλύτερη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing) σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια θερμοκηπίου **+0.17 (0.13 - 0.21) Wm^{-2}**
- Το N_2O απορροφά περίπου 270 φορές περισσότερο ακτινοβολία ανά μόριο σε σχέση με το CO_2 . Θεωρείται όμως λιγότερο σημαντικό αέριο θερμοκηπίου διότι υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε μικρότερη συγκέντρωση
- Πριν τη βιομηχανική επανάσταση η συγκέντρωση του N_2O κυμαινόταν περίπου στα **270 ± 7 ppb**.
- Το 2011 η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα είναι:
324.2 ppb



Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/atmospheric-concentration-of-n2o-ppb-1>

αυξήθηκε κατά **18%** σε σχέση με την προ-βιομηχανική εποχή



Εικόνα 2.3

από IPCC Report, 2013

- Τις τελευταίες δεκαετίες η συγκέντρωση του N_2O στην ατμόσφαιρα αυξάνει γραμμικά με ένα ρυθμό $\sim 0.8 \text{ ppb yr}^{-1}$ ή $0.26\% \text{ yr}^{-1}$



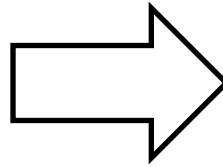
Αέρια του θερμοκηπίου – Υποξείδιο του Αζώτου N_2O

■ Πηγές & Καταβόθρες ($Tg (N) yr^{-1}$)

■ Πηγές

○ Φυσικές

- ✓ Ωκεανοί
- ✓ Τροπικά εδάφη
 - Βροχοφόρα δάση
 - Σαβάννα
- ✓ Εύκρατα εδάφη
 - Δάση
 - Λιβάδια



Εικόνα 7.7

από IPCC Report, 2007

○ Ανθρωπογενείς

- ✓ Καλλιεργήσιμα εδάφη
- ✓ Καύση βιομάζας
- ✓ Βιομηχανικές πηγές
- ✓ Κτηνοτροφία

~40% του
συνόλου των
πηγών με
κυριότερη τις
καλλιέργειες



Αέρια του θερμοκηπίου – Υποξείδιο του Αζώτου N_2O

- Η μεγαλύτερη πηγή του N_2O είναι το έδαφος με την μεγαλύτερη ένταση να παρατηρείται στα τροπικά γεωγραφικά πλάτη βόρεια του Ισημερινού
- Οι μέσες ετήσιες εκπομπές του N_2O από την επιφάνεια του εδάφους έχουν αυξηθεί κατά **40 – 50%** σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή

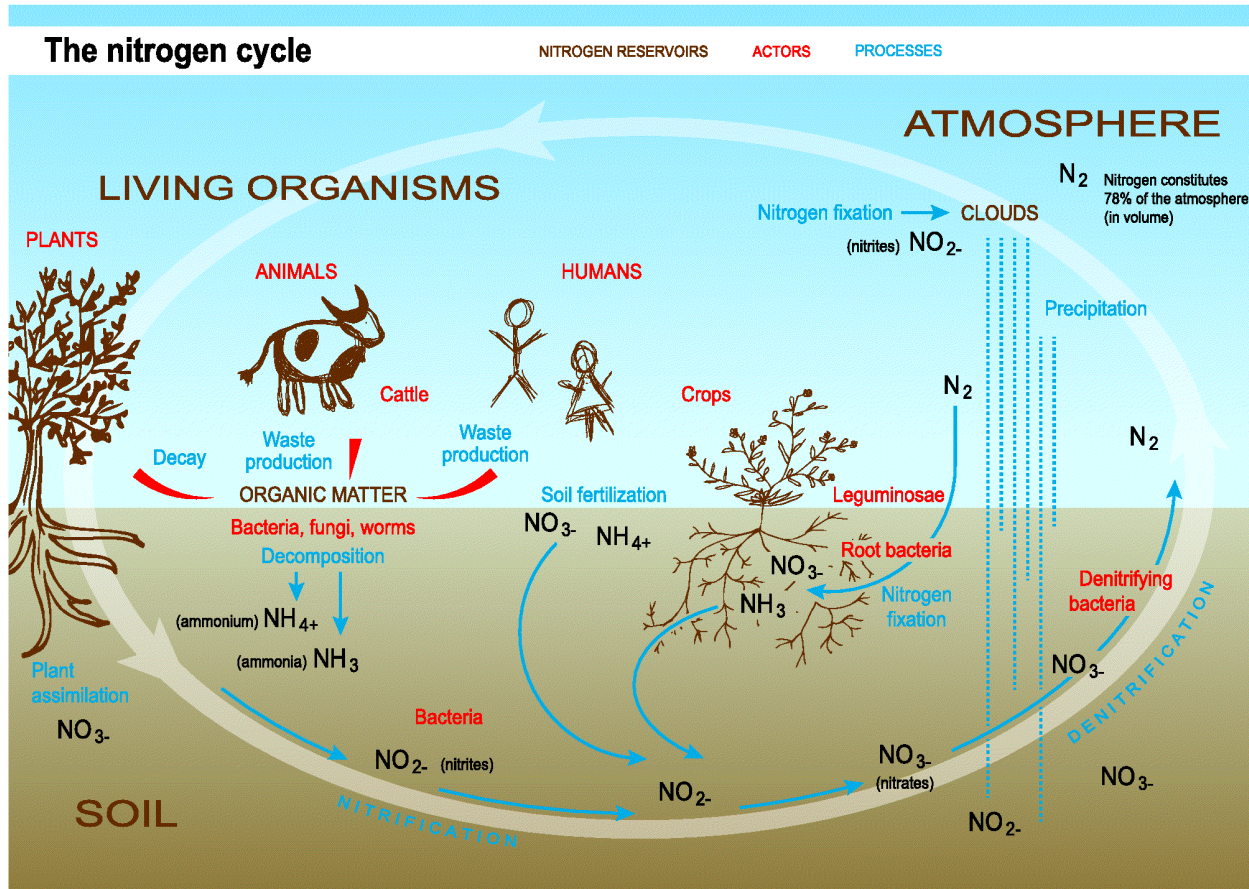
Εικόνα 7.16

από IPCC Report, 2007



Αέρια του θερμοκηπίου – Υποξείδιο του Αζώτου N_2O

■ Ο Κύκλος του Αζώτου



Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/the-nitrogen-cycle>



Αέρια του θερμοκηπίου – Υποξείδιο του Αζώτου N_2O

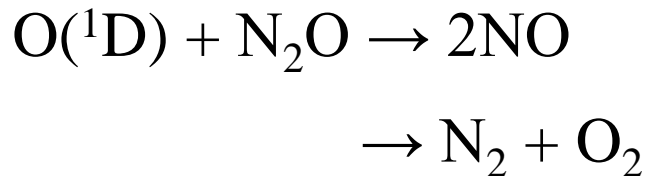
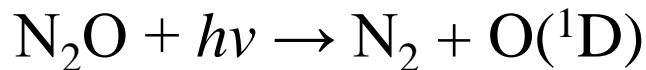
■ Πηγές & Καταβόθρες ($Tg(N) yr^{-1}$)

■ Καταβόθρες

- Στρατόσφαιρα ($\sim 12.3 Tg(N) yr^{-1}$)
- Δέσμευση από το έδαφος

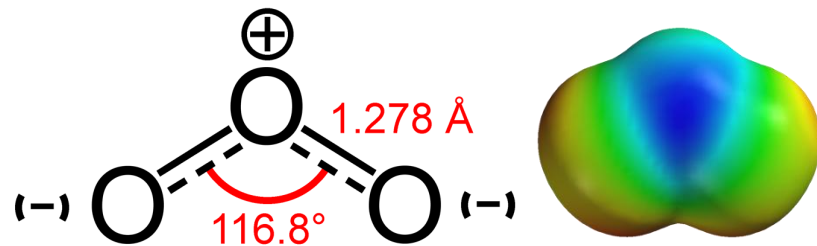
■ Το N_2O είναι ανενεργό (χημικά αδρανές) στην τροπόσφαιρα

■ Η μεγαλύτερη καταβόθρα του N_2O είναι η φωτοδιάσπαση του στη στρατόσφαιρα ($\sim 90\%$) και η αντίδραση του με διεγερμένο ατομικό οξυγόνο $O(^1D)$ ($\sim 10\%$). Η οξείδωση του N_2O από οδηγεί στην παραγωγή NO και είναι η κυριότερη πηγή O_3 στη στρατόσφαιρα



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

■ Όζον (O_3): τριατομικό μόριο του οξυγόνου γνωστό και ως αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου. Πολύ λιγότερο σταθερό από το διατομικό μόριο



Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>

- Το O_3 στη στρατόσφαιρα είναι θεμελιώδους σημασίας για τη ζωή στον πλανήτη αφού απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία εμποδίζοντας την να φτάσει στη Γη
- Το O_3 στη τροπόσφαιρα θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος καθώς έχει επιβλαβείς επιδράσεις στην υγεία (αναπνευστικό σύστημα) των οργανισμών
- Το O_3 αποτελεί ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο της ατμόσφαιρας. Είναι ασταθές & διασπάται εύκολα. Παίζει σημαντικό ρόλο στη φωτοχημεία
- Το O_3 είναι **αέριο θερμοκηπίου**

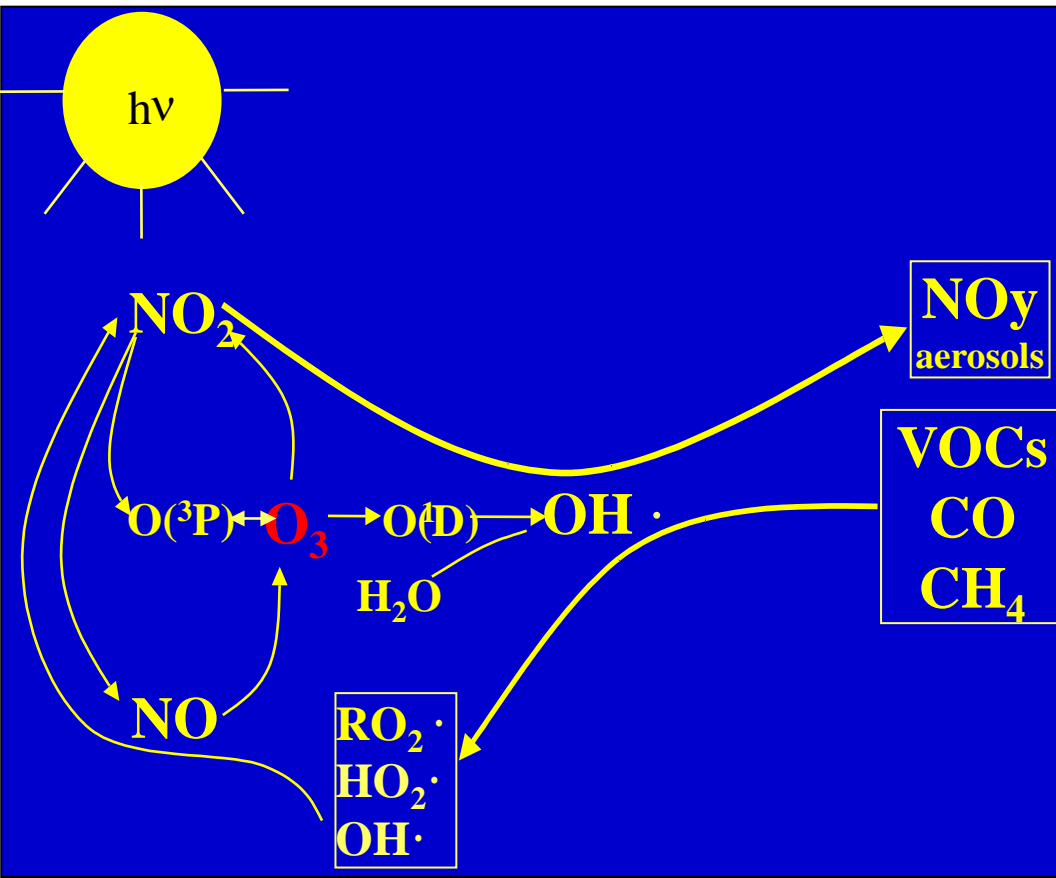
Μοριακό βάρος:	16
Σημείο τήξης:	-192.5 °C
Σημείο βρασμού:	-11.9 °C
Γαλαζωπό χρώμα, ιδιαίτερη οσμή & εξαιρετικά χημικά ενεργό	
Διαλυτότητα στο νερό:	0.105 g/100 ml (0 °C) ελάχιστα διαλυτό, πολύ περισσότερο διαλυτό στον τετραχλωράνθρακα & σε φθοράνθρακες
Χρόνος ζωής:	22 ημέρες (τροπόσφαιρα)
Απορροφά ακτινοβολία:	9.6 μm



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- Τροποσφαιρικό όζον (O_3): παράγεται ως δευτερογενής ρύπος
- Το O_3 εμπλέκεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου **άμεσα** όντας το ίδιο αέριο θερμοκηπίου αλλά και **έμμεσα** ελέγχοντας τον χρόνο ζωής άλλων αερίων θερμοκηπίου

Παράδειγμα: η φωτοδιάσπαση του O_3 οδηγεί στην παραγωγή ριζών $OH\cdot$ που αποτελούν την σημαντικότερη καταβόθρα του CH_4



- Λόγω των περιορισμένων μετρήσεων της συγκέντρωσης του όζοντος, για τον προσδιορισμό της επίδρασης του στο ενεργειακό ισοζύγιο (Radiative Forcing) τα μοντέλα εκτιμούσαν μεταβολές στην τροποσφαιρική χημεία προκαλούμενες από μεταβολές στις εκπομπές πρόδρομων ενώσεων: NO_x , CO , $NMVOCS$, CH_4



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- Τα μοντέλα νέας γενιάς (CTMs) που συνδυάζουν τροποσφαιρική & στρατοσφαιρική χημεία ή GCMs με on line χημεία λαμβάνουν υπόψη τους και μια από τις σημαντικότερες πηγές τροποσφαιρικού O_3 , που ως τώρα δεν λαμβανόταν υπόψη, **την εισροή του από τη στρατόσφαιρα**
- Τα επίπεδα του τροποσφαιρικού O_3 εμφανίζουν σημαντική μεταβλητότητα στο χώρο & το χρόνο κυρίως λόγω μεταβολών στις εκπομπές των πρόδρομων ενώσεων που οδηγούν στην παραγωγή του
- Οι τάσεις των επιπέδων του τροποσφαιρικού όζοντος εμφανίζουν μεταβολή και ως προς το πρόσημο & ως προς το μέγεθος
- Η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού O_3 εκτιμάται είτε με βάση τις εκπομπές των πρόδρομων ενώσεων (NO_x , CO , CH_4 , $VOCs$). Αυτές εμφανίζουν για τη δεκαετία 1990 – 2000
 - Εμφανίζουν μείωση στην Ευρώπη
 - Αύξηση στις αναπτυσσόμενες χώρες
 - Σημαντική μεταβλητότητα σε περιοχές που εμφανίζονται φαινόμενα καύσης βιομάζας (πυρκαγιές)



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- Η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού O_3 εκτιμάται και άμεσα με ραδιοβολίσεις. Ανάλυση αυτών των μετρήσεων έδειξε:
 - **Ευρώπη:** αύξηση του τροποσφαιρικού O_3 από τις αρχές του 20ου αιώνα ως τα τέλη του '80. Στη συνέχεια σταθεροποίηση και μικρή τάση μείωσης
 - **Ιαπωνία:** 33 ετών ραδιοβολίσεις έδειξαν αύξηση του O_3 κατά τις περιόδους 1970-1985 και 1986-2002 (αέριες μάζες από Κίνα & Ευρασία)
 - **Καναδάς:** ραδιοβολίσεις έδειξαν αρνητική τάση την περίοδο 1980-1990 και θετική την περίοδο 1991-2001 (στρατόσφαιρα)
- Μετρήσεις εδάφους ή από αεροσκάφη σε περιοχές του Β. Ημισφαιρίου δείχνουν διαφορετικές τάσεις, θετικές ή αρνητικές, ανάλογα την περιοχή
 - Μικρά γεωγραφικά πλάτη (τροπικές & υποτροπικές περιοχές): έχει καταγραφεί σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού O_3 με βάση τις δορυφορικές μετρήσεις TOMS και από αεροσκάφη του προγράμματος MOZAIC
 - **Αύξηση** = 1.12 ± 0.05 ppb yr⁻¹ στους τροπικούς του Β. Ημισφαιρίου
 - **Αύξηση** = 1.03 ± 0.08 ppb yr⁻¹ στους τροπικούς του Ν. Ημισφαιρίου

Εικόνα 2.7

από IPCC Report, 2013



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- Η επίδραση του τροποσφαιρικού O_3 στο ενεργειακό ισοζύγιο (**Radiative forcing**) εκτιμάται:

$$+0.40 \text{ Wm}^{-2} \quad (+0.2 \text{ ως } +0.6) \text{ Wm}^{-2}$$

με μέσο επίπεδο επιστημονικής κατανόησης

Αβεβαιότητα στην εκτίμηση εισάγεται από δύο κυρίως αιτίες:

- 1/ τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται (CTMs, GCMs, μοντέλα διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας)
- 2/ λόγω της πιθανής υπερεκτίμησης από τα μοντέλα των επιπέδων του τροποσφαιρικού O_3 στην προβιομηχανική εποχή



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- Διαπιστώθηκε η ένδειξη ύπαρξης feedback μεταξύ του **τροποσφαιρικού O_3** και μεταβολής του κλίματος καθώς διαπιστώθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ των ημερήσιων συγκεντρώσεων του O_3 κατά το θέρος με την θερμοκρασία
- Η συσχέτιση αυτή αποδόθηκε στην επίδραση της θερμοκρασίας στις εκπομπές των VOCs & στη θερμική διάσπαση των **PANs** (peroxyacetylnitrate, ανυδρίτης του υπεροξικού και νιτρικού οξέος) που δρα ως καταβόθρα των NO_x
- Η συσχέτιση αυτή παρατηρήθηκε το 1988 στις ΗΠΑ & το 2003 στην Ευρώπη οπότε μετρήθηκαν εξαιρετικά υψηλά επίπεδα O_3 κοντά στο έδαφος



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- **Στρατοσφαιρικό όζον (O_3):** η εξασθένιση της στιβάδας του O_3 στη στρατόσφαιρα επηρεάζει αρνητικά (προκαλεί μείωση) το ενεργειακό ισοζύγιο
- Σε πλανητική κλίμακα το **στρατοσφαιρικό O_3** εμφάνισε **μείωση** από τα τέλη του '70 ως τις αρχές του '90 αγγίζοντας το ελάχιστο την περίοδο 1992-1993 (6% κάτω από τη μέση τιμή της περιόδου 1964-1980). Στη συνέχεια παρουσίασε μικρή **αύξηση**
- **Περίοδος 2000 – 2003:** επίπεδα στρατοσφαιρικού O_3 **4% κάτω** από τη μέση τιμή της περιόδου 1964-1980 \Rightarrow ανάκτηση της στιβάδας του O_3
- Οι μεγαλύτερες μεταβολές στο **στρατοσφαιρικό O_3** μετά το 1980 εμφανίστηκαν στην **Ανταρκτική** τέλη χειμώνα-αρχές άνοιξης. Εκεί, η συνολική κολώνα του O_3 την περίοδο Σεπτέμβριο-Οκτώβριο είναι **40-50%** κάτω από τα προ του '80 επίπεδα.
- Η μείωση του O_3 στην **Αρκτική** είναι **μικρότερη** από αυτή στην **Ανταρκτική** τέλη
- Στην Αρκτική το O_3 παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή από χρόνο σε χρόνο (Interannual variability)
- Η εποχική αλλά και η από έτος σε έτος μεταβολή του O_3 περιπλέκει τον προσδιορισμό της επίδρασης του στο ενεργειακό ισοζύγιο



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- Οι μεταβολές (μείωση) του O_3 είναι μεγαλύτερες στα μέσα γεωγραφικά πλάτη του Ν. Ημισφαιρίου σε σχέση με το Βόρειο
- την περίοδο **2000-2003**: τα επίπεδα του O_3 στο **Ν. Ημισφαίριο** ήταν **6%** σε σχέση με τα προ του '80 επίπεδα, ενώ στο **Β. Ημισφαίριο** ήταν **3%**
- Στο **Β. Ημισφαίριο** είναι μεγαλύτερη η εποχική μεταβολή του O_3 με τη μείωση του να είναι **4%** την περίοδο **χειμώνα-άνοιξη** & **2%** το **θέρος**
- Το **30%** της μείωσης του O_3 στα μέσα γεωγραφικά πλάτη του **Β. Ημισφαιρίου** δεν αποδίδεται στην ανθρωπογενή χημεία (καταστροφή του O_3 από ανθρωπογενείς ενώσεις) αλλά σε δυναμικά αίτια (αλλαγή του ύψους της τροπόπαυσης ή θέρμανση της κατώτερης στρατόσφαιρας πάλι από ανθρωπογενή αίτια) \Rightarrow αυτά τα δυναμικά αίτια ενδεχομένως συνεισφέρουν σημαντικά στην επίδραση του O_3 στο ενεργειακό ισοζύγιο

Συνολική συγκέντρωση κολώνας O_3 σε DU 

Εικόνα 2.6

από IPCC Report, 2013



Αέρια του θερμοκηπίου – Όζον (O_3)

- Βασισμένοι στις προσομοιώσεις μοντέλων που περιελάμβαναν στρατοσφαιρική χημεία & στην ‘καλύτερη’ εκτίμηση βάσει των παρατηρήσεων της περιόδου 1979-1998 η επίδραση του **στρατοσφαιρικού O_3** στο ενεργειακό ισοζύγιο (**Radiative Forcing**) για την περίοδο 1750 – 2005 εκτιμάται:

$$-0.05 \pm 0.10 \text{ Wm}^{-2}$$



Το – οφείλεται
στη μείωση της
στοιβάδας του O_3

Διαχρονική μεταβολή του RF του O_3 ➔

Εικόνα 8.7

από IPCC Report, 2013

- Η **συνολική επίδραση (RF) του O_3 Στρατοσφαιρικού & Τροποσφαιρικού** εκτιμάται:

$$+0.35 \text{ Wm}^{-2} \quad (+0.15 \text{ ως } +0.55) \text{ Wm}^{-2}$$



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- Υδροφθοράνθρακες (HFCs)
- Υπερφθοράνθρακες (PFCs)
- Εξαφθοριούχο θείο (SF_6)
- Είναι ενώσεις ανθρωπογενούς παρασκευής & προέλευσης
- Απορροφούν σημαντικά υπέρυθρη (IR) ηλιακή ακτινοβολία και γι' αυτό συνεισφέρουν στην διαταραχή (**forcing**) του ενεργειακού ισοζυγίου
- Η σημαντική αλληλοεπικάλυψη που εμφανίζεται στις φασματικές γραμμές απορρόφησης από τις διάφορες ενώσεις εισάγει αβεβαιότητα στον υπολογισμό του radiative forcing
- Η συγκέντρωση των **HFCs** και κατά συνέπεια και η συμβολή τους στο **RF** αυξήθηκε σε σχέση με τους **CFCs** και **HCFCs** τα οποία και αντικατέστησαν σαν συνέπεια του πρωτοκόλλου του Montreal



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- Υδροφθοράνθρακες (HFCs)
- Πηγές: ανθρωπογενείς

Διαρροές ψυκτικών αερίων ψυγείων και κλιματιστικών (αντικαθιστούν πλέον τους απαγορευμένους χλωροφθοράνθρακες (CFCs))

- Οι HFCs με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση είναι (μετρήσεις 2005):
 - HFC-134a = 35 ppt
 - HFC-23 = 17.5 ppt
 - HFC-152a = 3.9 ppt
 - HFC-125 = 3.7 ppt
- Χρόνος ζωής: 1.4 – 270 έτη



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- HFCs εμφανίζουν αυξητικές τάσεις και μάλιστα αυτές είναι πιο έντονες στο Βόρειο Ημισφαίριο αφού κυρίως βρίσκονται οι πηγές τους

- **HFC-134a:** χρησιμοποιείται στα κλιματιστικά & ψυγεία, αυξάνει με έντονο ρυθμό. Επειδή αντικατέστησε κάποια CFCs (π.χ. CFC-12), η συγκέντρωση του εμφανίζουν αυξητική τάση & μάλιστα είναι πιο έντονη στο Βόρειο Ημισφαίριο αφού κυρίως εκεί βρίσκονται οι πηγές εκπομπής και εκτιμάται στα **62.7 ppt**

- Με μέσο χρόνο ζωής ~14 έτη τα σημερινά επίπεδα του στην ατμόσφαιρα καθορίζονται κυρίως από τις εκπομπές και δευτερευόντως από τους μηχανισμούς καταστροφής. Οι εκπομπές του εκτιμάται ότι ισούνται με τη βιομηχανική παραγωγή
- Η ταχύτερη αύξηση των εκπομπών του HFC-134a σημειώθηκε κατά τη δεκαετία του '90 (1995-1998) και κυρίως στην Ευρώπη
- Έχει τη μεγαλύτερη συμβολή στο RF των HFCs

Εικόνα 2.4

από IPCC Report, 2013



- **HFC-152a:** foam blower με μέσο χρόνο ζωής ~1.5 έτη, η συγκέντρωση του αυξάνει εκθετικά
- Έντονη αύξηση παρατηρήθηκε την περίοδο 1996-2000 με μια τάση σταθεροποίησης το 2003
- Οι αυξανόμενες εκπομπές του φαίνεται να αντισταθμίζονται μερικώς από τη γρήγορη καταστροφή του στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων

Εικόνα 2.4

από IPCC Report, 2013



- **HFC-23**: μέσο χρόνο ζωής ~222 έτη
- Παράγεται σαν υπο-προϊόν της παραγωγής του HCFC-22
- Η συγκέντρωση του αυξάνει σχεδόν γραμμικά καθοδηγούμενη κυρίως από τις εκπομπές HCFC-22. Ενώ, οι διαδικασίες καταστροφής του παίζουν ελάχιστο ρόλο στο ισοζύγιο του
- Η συγκέντρωση του το 2011 εκτιμάται στα: **24.0 ppt**

Εικόνα 2.4

από IPCC Report, 2013

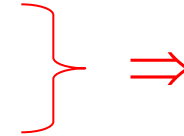
- Οι συγκεντρώσεις των **HFC-125 (9.58 ppt)** και **HFC-143a (12.04 ppt)** (και τα δύο χρησιμοποιούνται σε ψυκτικά ψυγείων & κλιματιστικών) είναι μικρότερες συνεχώς αυξανόμενες



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

▪ Υπερφθοράνθρακες (**PFCs**: CF_4 (**PFC-14**) & C_2F_6 (**PFC-116**)) & Εξαφθοριούχο θείο (**SF₆**)

- Έχουν μεγάλη ικανότητα να απορροφούν ακτινοβολία
- Χρόνο ζωής: 1.000 – 50.000 έτη



▪ Πηγές: ανθρωπογενείς

- Υπερφθοράνθρακες (**PFCs**): Ανεπιθύμητα παραπροϊόντα κατά την παραγωγή Al και από βιομηχανίες ημιαγωγών
- Εξαφθοριούχο θείο (**SF₆**): Διαρροές υποσταθμών διανομής ηλεκτρικού ρεύματος και από μεταλλουργίες Mg και Al



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- Οι συγκεντρώσεις των SF_6 και C_2F_6 και \Rightarrow το Radiative Forcing αυξήθηκε κατά 20% από το 2001 έως το 2005
- Η συγκέντρωση του CF_4 εκτιμάται το 2011 στα **79 ppt**
- Η μία φυσική πηγή (λιθοσφαιρική) του εξηγεί μόνο το μισό της ποσότητας (35 ppt) που υπάρχει στην ατμόσφαιρα
- Έχει χρόνο ζωής ίσο με 50.000 έτη
- Η συγκέντρωση του C_2F_6 εκτιμάται το 2011 στα **4.16 ppt** και χρόνο ζωής ίσο με 10.000 έτη
- Η συγκέντρωση του SF_6 ήταν **7.29 ppt** το 2011. Δεδομένου του μεγάλου χρόνου ζωής του (3200 έτη) οι εκπομπές συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα

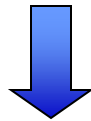
Εικόνα 2.4

από IPCC Report, 2013



- **Radiative Forcing** των **HFCs + PFCs + SF₆**:

$$= \mathbf{0.03 \text{ Wm}^{-2}}$$



Αύξηση **69%** σε σχέση με το 1998
και **76 %** από το 2005 έως το 2011

- Η συμβολή των HFCs στο RF είναι 0.02 W/m^2 και από τους HFCs τη μεγαλύτερη συμβολή έχει το HFC-134a με 0.01 W/m^2



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- Αφορά ενώσεις που προκαλούν την καταστροφή της στοιβάδας του O_3 στη στρατόσφαιρα και που ορισμένες από αυτές είναι σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου.
- Αυτές οι ενώσεις είναι:
 - ο Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)
 - ο Υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs)
 - ο Χλωράνθρακες
 - ο Bromocarbons
 - ο Halons

Οι ενώσεις αυτές προκαλούν διαταραχή στο ενεργειακό ισοζύγιο (Radiative forcing) ίση με:

$$+0.330 \pm 0.033 \text{ Wm}^{-2}$$

⇒ **11%** του συνολικού radiative forcing

⇒ 73% του RF των αλογονανθράκων προέρχεται κυρίως από τα CFCs !

Με την ένωση **CFC-12 (freon)** να έχει την **3η** σημαντικότερη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (Radiative forcing) !



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ είχε σαν αποτέλεσμα να μειωθούν οι εκπομπές των **CFCs, HCFCs, HFCs**
 - από 7.5 Gt (CO₂-eq) yr⁻¹ στα τέλη του '80
 - σε 2.5 Gt (CO₂-eq) yr⁻¹ το 2000
- Με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ οι συγκεντρώσεις των δύο κυριότερων CFCs (**CFC-11 & CFC-113**) εμφανίζουν **μείωση** από τα μέσα της δεκαετίας του '90
- Παρά τη μείωση των εκπομπών λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής τους (**45 & 85 έτη** αντίστοιχα), οι καταβόθρες τους μπόρεσαν να μειώσουν τα επίπεδα τους μόνο κατά 2% & 1% yr⁻¹ αντίστοιχα
- Το 2011 η συγκέντρωση του **CFC-11** ήταν **237.7 ppt** μειούμενο κατά 12.9 ppt από το 2005
- Η συγκέντρωση του **CFC-113** ήταν **74.3 ppt** το 2011 (μειώθηκε κατά 4.3 ppt από το 2005)

Εικόνα 2.4

από IPCC Report, 2013

⇒ παρόλα αυτά η επίδραση τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μειώθηκε σημαντικά
Μετά από ταχύτατη αύξηση την περίοδο 1950-1990



- Ένας άλλος σημαντικός χλωροφθοράνθρακας το **CFC-12 (freon)** έφτασε τελικά σε ένα σταθερό επίπεδο όπου εκπομπές = απώλειες
- Το 2011 η συγκέντρωση του **CFC-12** ήταν **528.5 ppt** μειούμενο κατά 13.8 ppt σε σχέση με το 2005

Όμως λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής που έχει (**~100 έτη**) \Rightarrow ακόμη και αν οι εκπομπές του μηδενιστούν η ατμοσφαιρική του συγκέντρωση θα μειώνεται με ένα ρυθμό $\sim 1\% \text{ yr}^{-1}$

Εικόνα 2.4

από IPCC Report, 2013

Η συνδυασμένη επίδραση των **CFCs** και **HCFCs** στο ενεργειακό ισοζύγιο παρουσίασε μείωση από το 2003



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- **Μεθυλο-χλωροφόρμιο (CH_3CCl_3):** χλωροφθοράνθρακας - διαλύτης με πολύ μεγάλη σημασία όχι για την επίδραση του στο ενεργειακό ισοζύγιο που είναι πολύ μικρή, αλλά γιατί
 - είναι μία ένωση που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των ριζών OH^\bullet που αποτελούν την κυριότερη καταβόθρα για: CH_4 , CFCs. HCFCs
 - αλλά αποτελεί και τον κύριο μηχανισμό παραγωγής θεικών, νιτρικών & κάποιων οργανικών αερολυμάτων
- Χρόνος ζωής: 4.9 έτη
- Πηγές εκπομπής: βιομηχανία
- Η συγκέντρωση του άρχισε να αυξάνει συστηματικά από το 1972, άγγιξε μέγιστες τιμές το **1992** και στη συνέχεια κάτω από τις δεσμεύσεις του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ παρατηρείται μείωση
 - Εκπομπές CH_3CCl_3 : Ευρώπη 2001-2003: 1.2 – 2.3 Gg yr⁻¹
ΗΠΑ 2001-2002: 2.2 Gg yr⁻¹
Ανατολική Ασία 2001: 1.7 Gg
- Συγκέντρωση CH_3CCl_3 το 2011: **6.3 ppt** μείωση κατά 12.0 ppt από το 2005 !



■ CCl₄ (τετραχλωράνθρακας):

Άρχισε να μειώνεται ταχύτατα μετά το 1990 όπου παρουσίασε μέγιστο. Τα επίπεδα του είναι υψηλότερα στο Β. Ημισφαίριο όπου και οι εκπομπές του είναι μεγαλύτερες

Χρόνος ζωής: 20 – 30 έτη ⇒

■ Συγκέντρωση το 2011: **85.8 ppt** (μείωση κατά 7.4 ppt από το 2005)

• Υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs): χρόνο ζωής = 1.3 – 20 έτη

• **HCFC-22**: αύξανε συστηματικά την περίοδο 1975-2000. Η συγκέντρωσή του το 2011 ήταν 213.3 ppt (αυξήθηκε κατά 44.5 ppt από το 2005 κυρώς από εκπομπές της Ασίας, ενώ μειώθηκαν οι εκπομπές από ανεπτυγμένες χώρες)

Εικόνα 2.4

από IPCC Report, 2013

• **HCFC-141b & HCFC-142b**: οι συγκεντρώσεις τους το 2011 ήταν **21.4** και **21.1 ppt** αντίστοιχα εμφανίζοντας αύξηση σε σχέση με το 2005 κατά 3.7 και 5.73 ppt



Αέρια του θερμοκηπίου – Άλλα αέρια βάση του Πρωτοκόλλου του Montreal

- Προστέθηκαν 2 νέες ενώσεις στη λίστα:
- **Nitrogen trifluoride (NF₃)**: χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών
 - Η συγκέντρωση του το 2011 ήταν **0.86 ppt** (αυξανόμενο κατά 0.49 ppt από το 2005)
 - Η συμβολή του στο συνολικό ανθρωπογενές RF εκτιμάται στα **0.0002 W/m²**
- **Sulfuryl fluoride (SO₂F₂)**: χρησιμοποιείται fumigant
 - Η συμβολή του στο συνολικό ανθρωπογενές RF εκτιμάται στα **0.0003 W/m²**

• **Συνολική επίδραση των αλογονανθράκων** στο ενεργειακό ισοζύγιο (Radiative Forcing) :

- CFCs
- HCFCs
- HFCs
- PFCs
- SF₆

Radiative forcing: (0.360 ± 0.036) Wm⁻²



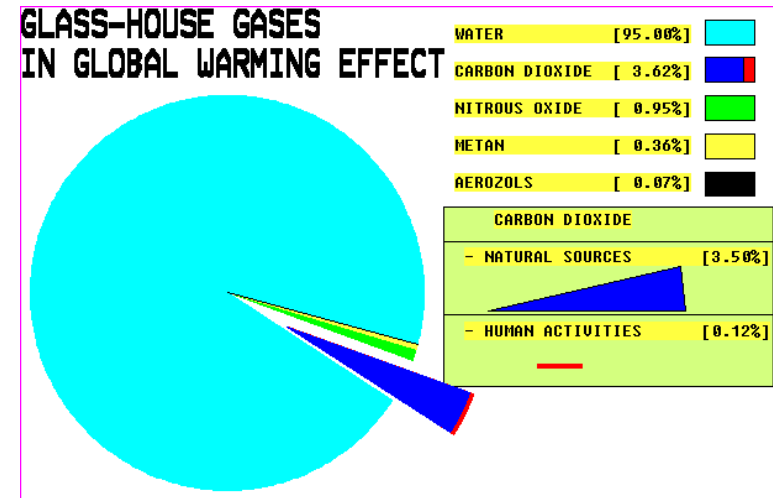
Αυξήθηκε σε σχέση με το 2005 !



■ Το **85 %** αυτού οφείλεται στις εξής ενώσεις: CFC-12, CFC-11, HCFC-22 και CFC-113

Αέρια του θερμοκηπίου – Ο ρόλος των Υδρατμών

- Οι υδρατμοί (H_2O) είναι το σημαντικότερο αέριο θερμοκηπίου συμβάλλοντας στο φαινόμενο σε ποσοστό **66%** αν υπολογιστούν μόνο οι υδρατμοί ή **85-95%** αν συνυπολογιστούν και τα νέφη
- Οι υδρατμοί (H_2O) απορροφούν υπέρυθη ακτινοβολία σε δύο φασματικές ζώνες: 2.5 – 3.4 μm & 10 – 13 μm



Πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Greenhouse_Gases_In_Global_Warming_Effect.gif

- Η συγκέντρωση των υδρατμών (H_2O) μεταβάλλεται σημαντικά ανά γεωγραφική περιοχή, δεν επηρεάζεται όμως από ανθρώπινες δραστηριότητες με εξαίρεση την περίπτωση πολύ τοπικής κλίμακας π.χ. άρδευση γης
- Οι ανθρωπογενείς εκπομπές H_2O είναι < 1%



Αέρια του θερμοκηπίου – Ο ρόλος των Υδρατμών

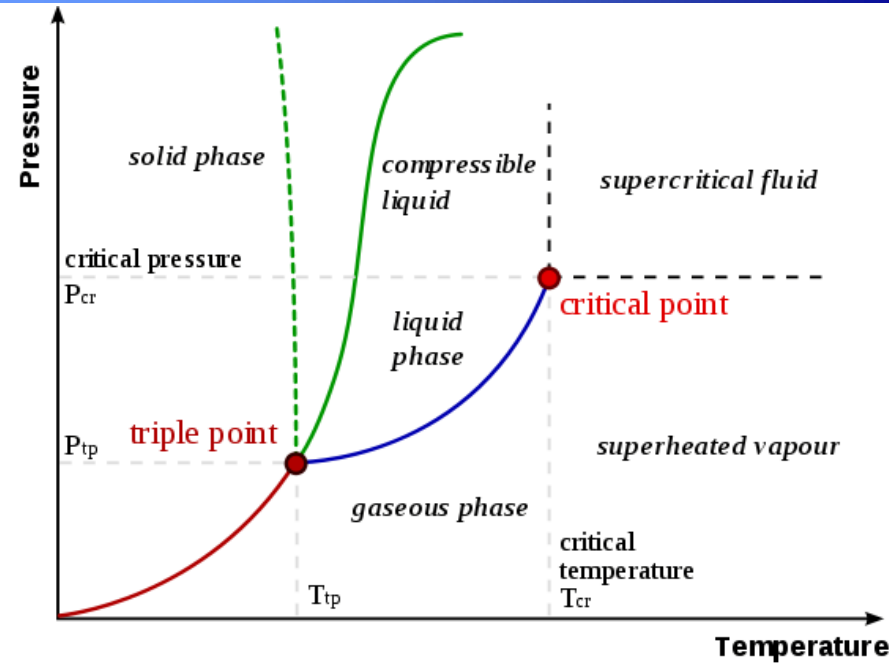
- Εξίσωση Clausius–Clapeyron:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T \cdot \Delta V} \Rightarrow \ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\Delta h}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Δείχνει ότι όταν ο αέρας θερμαίνεται τότε μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών \Rightarrow η θέρμανση συνδέεται με αύξηση της συγκέντρωσης των υδρατμών



Θετικό feedback



Πηγή: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Phase-diag2.svg>

- Οι υδρατμοί (H_2O) είναι το μόνο αέριο θερμοκηπίου η συγκέντρωση του οποίου εμφανίζει σημαντική χωρο-χρονική μεταβολή
- Επίσης, είναι το μοναδικό αέριο θερμοκηπίου που υπάρχει, πολλές φορές ταυτόχρονα, σε τρεις διαφορετικές φάσεις: στερεή, υγρή & αέρια και το οποίο αλλάζει φάση με ταυτόχρονη ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον



Αέρια του θερμοκηπίου – Ο ρόλος των Υδρατμών

- Υδρατμοί (H_2O) στη στρατόσφαιρα όπου προέρχονται από την οξείδωση του CH_4
- Η συγκέντρωσή τους, όπως δείχνουν δορυφορικές μετρήσεις παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα
- Μετρήσεις 14 ετών δείχνουν τάση αύξησης των υδρατμών στην στρατόσφαιρα με ρυθμό 0.05 ppm yr^{-1} από το 1980 ως το 2000
- Μετά το 2000 η συγκέντρωση των υδρατμών στην κατώτερη στρατόσφαιρα φαίνεται να μειώνεται παρά την αύξηση του CH_4 . Προτάθηκαν διάφοροι μηχανισμοί να εξηγήσουν αυτή την αντίθεση
- Μετά το 2005 εμφανίζεται τάση αύξησης
- Η γενική τάση κατά την περίοδο 1980-2010 στο ατμοσφαιρικό στρώμα 16 – 26 Km είναι αύξηση κατά $1.0 \pm 0.2 \text{ ppm}$

Εικόνα 2.5

από IPCC Report 2013



Αέρια του θερμοκηπίου – Ο ρόλος των Υδρατμών

- Επίδραση υδρατμοί (H_2O) στο ενεργειακό ισοζύγιο (Radiative Forcing): **+0.12 - +0.20 $\text{Wm}^{-2} \text{decade}^{-1}$**
- Θεωρώντας σταθερό ρυθμό αύξησης των υδρατμών στην στρατόσφαιρα με ρυθμό 0.05 ppm yr^{-1} , το radiative forcing για την περίοδο 1980-2000 εκτιμήθηκε: $+0.29 \text{ Wm}^{-2}$
- Άλλες μελέτες στηρίχτηκαν σε CTMs (Chemical Transport Models) για τον προσδιορισμό της αύξησης του CH_4 σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή και εκτίμησαν το RF για την περίοδο 1750-2000 χωρίς όμως να λάβουν υπόψη δυναμικού τύπου feedbacks:

$$\mathbf{+0.07 \pm 0.05 \text{ Wm}^{-2}}$$

- Θεωρείται η καλύτερη εκτίμηση. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα ($\pm 0.05 \text{ Wm}^{-2}$) λόγω του εύρους των εκτιμήσεων που λαμβάνουν υπόψη και άλλες επιδράσεις
- Είναι 3 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την εκτίμηση του IPCC 2001 αλλά παρέμεινε ίδια με αυτή του IPCC 2007
- **Radiative Forcing** από υδρατμούς που εκπέμπονται από αεροσκάφη: **+0.002 Wm^{-2}**



Εικόνα 8.2

από IPCC Report 2013



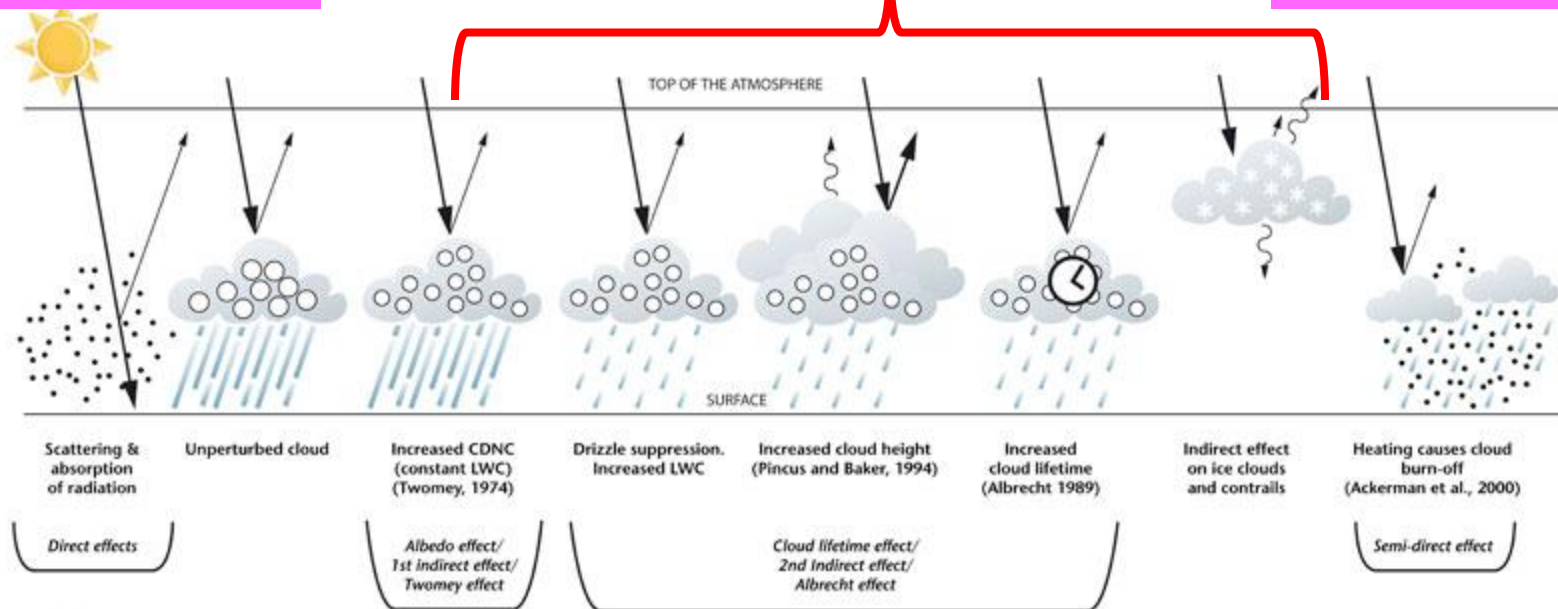
Ο Ρόλος των Αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο του Πλανήτη

■ Τα αερολύματα επηρεάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη με τους εξής τρόπους:

Άμεση επίδραση
Direct effect

Έμμεση επίδραση
Indirect effect

Ημι-άμεση επίδραση
Semi-direct effect



 **Met Office**

Πηγή: <http://globalmirroreffect.blogspot.gr/>

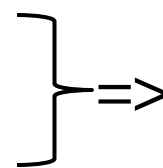


Ο Ρόλος των Αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο του Πλανήτη

■ Άμεση επίδραση (**Direct Effect**) των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο

○ Σκέδασης (Σκέδαση Mie)

○ Απορρόφησης (**Black carbon, Dust**)



Ψύξη λόγω μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια

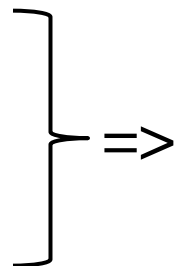
■ Έμμεση επίδραση (**Indirect Effect**) των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο

■ Δρόντας σαν πυρήνες συμπύκνωσης παίζουν σπουδαίο ρόλο στο σχηματισμό των νεφών & επηρεάζουν:

○ τις οπτικές ιδιότητες του νέφους ⇒ ανακλαστικότητα του (albedo)

○ τον χρόνο ζωής του νέφους

○ την ικανότητα του να δίνει βροχή



Ψύξη του πλανήτη λόγω μεταβολής των οπτικών ιδιοτήτων των νεφών

■ Ημι-άμεση επίδραση (**semi-direct Effect**) των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο

○ είναι ο μηχανισμός κατά τον οποίο η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα τροποσφαιρικά αερολύματα οδηγεί σε θέρμανση της τροπόσφαιρας, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη σχετική υγρασία και την ευστάθεια της και κατά συνέπεια τον σχηματισμό και τον χρόνο ζωής των νεφών



Ο Ρόλος των Αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο του Πλανήτη

■ Η **συνολική** επίδραση (άμεση + έμμεση) των αερολυμάτων (aerosols) στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι ψύξη και ισούται με:

$$\mathbf{-0.9 \text{ W/m}^2} \quad (-1.9 \text{ έως } -0.1) \text{ Wm}^{-2}$$

■ Η επίδραση των αερολυμάτων (aerosols) στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι αντίθετη από αυτή των αερίων του θερμοκηπίου

■ Μόνο τα σωματίδια αιθάλης (**Black Carbon, BC**) που προέρχονται από καύση βιομάζας προκαλούν **θέρμανση** ίση με **0.40 W/m²** (0.05 – 0.8 W/m²) λόγω ισχυρής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας

■ Σε αντίθεση με τα αέρια θερμοκηπίου & παρά την πρόοδο που επετεύχθη από προηγούμενες εκθέσεις IPCC (π.χ. 2007), η επίδραση των αερολυμάτων στο ενεργειακό ισοζύγιο εξακολουθεί να παραμένει ο παράγοντας με τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα

Εικόνα 8.8

από IPCC Report 2013



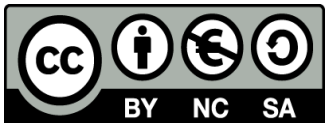
Σημειώματα

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση: **1**.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright: Πανεπιστήμιο Πατρών, **Αγγελική Φωτιάδη, 2014**. **Αγγελική Φωτιάδη**. «**Φαινόμενο του Θερμοκηπίου και Κλιματικές Μεταβολές. 4^η ενότητα**». Έκδοση: **1.0**. Αγρίνιο **2014**. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:<https://eclass.upatras.gr/courses/ENV119/>

Σημείωμα Αδειοδότησης



Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons

«Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις της καθηγήτριας **Α. Φωτιάδη**».

ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΤΡΙΤΩΝ

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες:

Διαφάνεια 9: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_Transmission.png

Διαφάνεια 13:

https://en.wikipedia.org/wiki/Biogeochemical_cycle#/media/File:Carbon_cycle-cute_diagram.svg

Διαφάνεια 14:

https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide_in_Earth%27s_atmosphere#/media/File:Carbon_cycle.jpg

Διαφάνεια 22: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_sink#/media/File:CO2_pump_hg.svg

Διαφάνεια 23: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_sink#/media/File:CO2_pump_hg.svg
<http://serc.carleton.edu/eslabs/carbon/6a.html>

Διαφάνεια 24:

https://en.wikipedia.org/wiki/Mauna_Loa_Observatory#/media/File:Mauna_Loa_CO2_monthly_mean_concentration.svg

Διαφάνεια 25: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Evidence_CO2.jpg

Διαφάνεια 26: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Evidence_CO2.jpg

Διαφάνεια 28: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide#/media/File:Auto-and_heterotrophs.png

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simple_photosynthesis_overview.PNG

Διαφάνεια 31: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page4.php>

Διαφάνεια 35: <https://en.wikipedia.org/wiki/Methane#/media/File:Methane-CRC-MW-3D-balls.png>

Διαφάνεια 36:

https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_methane#/media/File:Atmospheric_CO2_CH4_Degrees_Centigrade_Over_Time_by_Reg_Morrison.jpg

https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_methane#/media/File:Mlo_ch4_ts_obs_03437.png

Διαφάνεια 41:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Possible_Methane_Sources_and_Sinks_on_Mars.jpg

Διαφάνεια 42:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Possible_Methane_Sources_and_Sinks_on_Mars.jpg

Διαφάνεια 44: https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrous_oxide

Διαφάνεια 45: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/atmospheric-concentration-of-n2o-ppb-1>

Διαφάνεια 49: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/the-nitrogen-cycle>

Διαφάνεια 51: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>

Διαφάνεια 74:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Greenhouse_Gases_In_Global_Warming_Effect.gif

Διαφάνεια 75: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Phase-diag2.svg>

Διαφάνεια 79: <http://globalmirroreffect.blogspot.gr/>