



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

**ΑΝΟΙΚΤΑ** ακαδημαϊκά  
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

ΕΝΟΤΗΤΑ: ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

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



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη

# ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΦΩΤΙΑΔΗ

Λέκτορας

του Τμήματος Διαχείρισης  
Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων

 2641074156

 [afotiadi@upatras.gr](mailto:afotiadi@upatras.gr)

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

## ■ Ενώσεις του Άνθρακα

- ✓ Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>)
- ✓ Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)
- ✓ Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)
- ✓ Υδρογονάνθρακες πλην μεθανίου (NMHC)

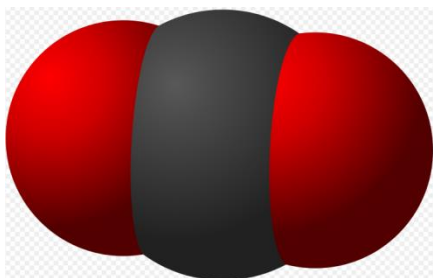
## ▪ Ο κύκλος του Άνθρακα:

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.

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Διοξείδιο του Άνθρακα CO<sub>2</sub>

- Το CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> κυμαίνονταν μεταξύ **260** και **285** ppm
- Μετά το 1800 η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> εμφανίζει μία συνεχώς αυξητική τάση



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

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ – ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ CO<sub>2</sub>

- ο Το CO<sub>2</sub> έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing) σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια θερμοκηπίου  
**+1.66 ± 0.17 Wm<sup>-2</sup>**



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Διοξείδιο του Άνθρακα CO<sub>2</sub>

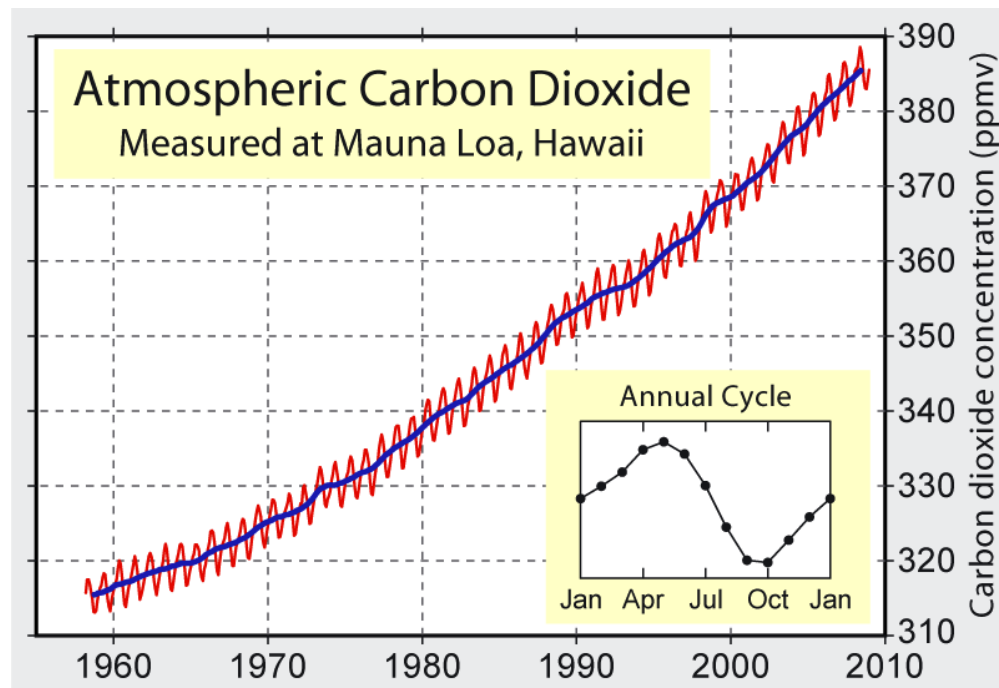
Σήμερα: **379 ppm !**

Ρυθμό αύξησης 1960-2005:

1.4 ppm yr<sup>-1</sup>

Οι συνεχείς μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στη Mauna Loa (Hawaii) από το 1958 δείχνουν μια συνεχή μονότονη αύξητική τάση. Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο ρυθμός αύξησης έχει επιβραδυνθεί την τελευταία δεκαετία

Ο Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> από τα γήινα οικοσυστήματα και σε πολύ μικρότερο βαθμό στις ωκεάνιες διαδικασίες




## ■ Διοξείδιο του Άνθρακα CO<sub>2</sub>


ο Κατά τους γεωλογικούς χρόνους η μεγάλη κλίμακας φυσική μεταβολή της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> συνδέεται στενά με αντίστοιχες μεταβολές του κλίματος. Ανασύσταση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> δείχνει ότι αυτή μεταβάλλονταν μεταξύ 200 και 300 ppm καθώς το κλίμα μεταβάλλονταν μεταξύ παγετωνικών και μεσοπαγετωνικών περιόδων

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Διοξείδιο του Άνθρακα CO<sub>2</sub>

- Στην προ-βιομηχανική εποχή το ισοζύγιο του CO<sub>2</sub> ήταν σε ισοροπία με το 98.1% του CO<sub>2</sub> να βρίσκεται στους ωκεανούς και μόλις το 1.9% στην ατμόσφαιρα.
- Μετά τη βιομηχανική επανάσταση έχουμε μαζική εκπομπή CO<sub>2</sub> 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% CO<sub>2</sub> 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 εξισοροπηθεί

 Δεν είναι δυνατόν να οριστεί με ακρίβεια ο χρόνος ζωής του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Διοξείδιο του Άνθρακα CO<sub>2</sub>

ο Εκτιμάται ότι από τα **100 μόρια CO<sub>2</sub>** 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

ο Τα πρώτα **6 μόρια** διαλύονται στα επιφανειακά νερά

ο προέρχονται από μεταφορά μεταξύ επιφανειακών στρωμάτων και βαθύτερων στρωμάτων (thermocline)

ο τα επόμενα **55 μόρια** προέρχονται από μεταφορά στα πολύ βαθύτερα στρώματα του ωκεανού

ο και τα τελευταία **16** (αντιπροσωπεύουν το 16% του εισαγόμενου στην ατμόσφαιρα CO<sub>2</sub>) παριστάνει στην ουσία το ποσοστό που θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Διοξείδιο του Άνθρακα CO<sub>2</sub>

## Πηγές & Καταβόθρες

### ● Πηγές

#### ○ Φυσικές

αναπνοή φυτών & ζώων  
αποσύνθεση οργανικών ουσιών  
ηφραίστεια & θερμές πηγές  
διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων

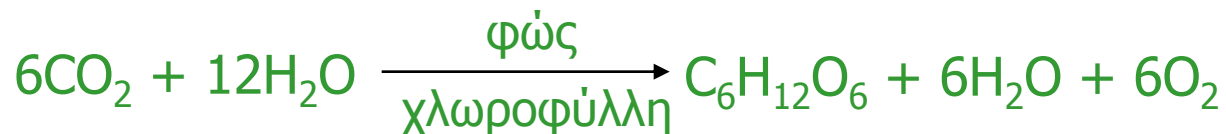
#### ○ Ανθρωπογενείς

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

### ● Καταβόθρες

○ Δέσμευση από ωκεανούς

○ Φωτοσύνθεση



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Διοξείδιο του Άνθρακα CO<sub>2</sub>

## Πηγές & Καταβόθρες

**CO<sub>2</sub> (Gt (C) yr<sup>-1</sup>)\***

### 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 CO<sub>2</sub>  
(10<sup>9</sup> t yr<sup>-1</sup>)**

Καύση άνθρακα 7

Καύση  
πετρελαίου 5

Καύση φυσικού  
αερίου 2

Άλλα 1

**Σύνολο 15**

\* **1 Gt (C) = 10<sup>12</sup> Kg C**

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Διοξείδιο του Άνθρακα $\text{CO}_2$ 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  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{CO}_3^{2-}$ )
- το υπόλοιπο είναι διάφορες μορφές οργανικού C
- Η λήψη του C από τους ωκεανούς πραγματοποιείται σε τρία στάδια
  1. μεταφορά  $\text{CO}_2$  μεταξύ ατμόσφαιρας-επιφάνειας ωκεανού
  2. χημικές αντιδράσεις του διαλυμένου  $\text{CO}_2$  με συστατικά του νερού
  3. μεταφορά σε βαθύτερα ωκεάνια στρώματα μέσω διαδικασιών κατακόρυφης ανάμιξης
- ο ρυθμός λήψης  $\text{CO}_2$  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<sup>-1</sup>**

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Διοξείδιο του Άνθρακα $\text{CO}_2$ Πηγές & Καταβόθρες

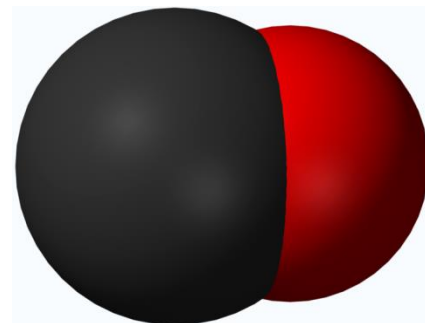
- Οι ωκεανοί περιέχουν πάνω από **50 φορές** περισσότερο C σε σχέση με την ατμόσφαιρα
- **95%** του C στους ωκεανούς βρίσκεται με τη μορφή ανόργανων ενώσεων διαλυμένων στο νερό (κυρίως ιόντα  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{CO}_3^{2-}$ )
- το υπόλοιπο είναι διάφορες μορφές οργανικού C
- Η λήψη του C από τους ωκεανούς πραγματοποιείται σε τρία στάδια
  - 1.** μεταφορά  $\text{CO}_2$  μεταξύ ατμόσφαιρας-επιφάνειας ωκεανού
  - 2.** χημικές αντιδράσεις του διαλυμένου  $\text{CO}_2$  με συστατικά του νερού
  - 3.** μεταφορά σε βαθύτερα ωκεάνια στρώματα μέσω διαδικασιών κατακόρυφης ανάμιξης
- ο ρυθμός λήψης  $\text{CO}_2$  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<sup>-1</sup>**



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

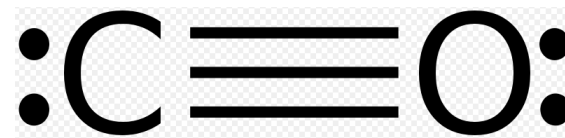
## ■ Μονοξείδιο του Άνθρακα CO

ο Το CO προέρχεται από την **ατελή καύση** των υδρογονανθράκων, που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα, όταν δεν υπάρχει επαρκής ποσότητα οξυγόνου ή αρκετός χρόνος για την πλήρη μετατροπή τους σε CO<sub>2</sub> (**πλήρης καύση**). Παραγωγή CO από ατελή καύση ⇒ απώλεια των 2/3 της διαθέσιμης θερμικής ενέργειας



ο **71%** προέρχεται από **αυτοκίνητα**. Μικρότερο ποσοστό συνεισφέρουν:

- ✓ μονάδες θέρμανσης
- ✓ βιομηχανικές κατεργασίες
- ✓ καύση στερεών αποβλήτων



Μοριακό βάρος:	28
Σημείο τήξης:	-205 °C
Σημείο βρασμού:	-191.5 °C
Άχρωμο, άοσμο, άγευστο, αναφλέξιμο & <b>πολύ τοξικό</b>	
Διαλυτότητα στο νερό:	0.026 Kg/m <sup>3</sup>
Χρόνος ζωής:	30 – 90 ημέρες

ο Προηγούμενη δεκαετία: **300 10<sup>6</sup> t/day CO** σχεδόν αποκλειστικά στο Βόρειο Ημισφαίριο

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

- ο Τροποσφαιρικό CO κυμαίνεται: **40 – 200 ppb**
- ο Το CO είναι περισσότερο στο Βόρειο Ημισφαίριο απ' ότι στο Νότιο
  - ✓ **Βόρειο Ημισφαίριο:** το CO ελαττώνεται με το ύψος. Εκτιμάται, μέση τιμή της συγκέντρωσης του **~120 ppb** στο 45° Β
  - ✓ **Νότιο Ημισφαίριο:** το CO είναι ομοιόμορφα αναμεμιγμένο κατά την κατακόρυφο. Εκτιμάται μέση συγκέντρωση **~60 ppb** στο 45° Β
- ο Το CO εμφανίζει **εποχική κύμανση** με εύρος **±40%** γύρω από τη μέση τιμή στο Βόρειο Ημισφαίριο και **20%** στο Νότιο.
  - Μέγιστο:** τοπική άνοιξη
  - Ελάχιστο:** αργά το καλοκαίρι – νωρίς το φθινόπωρο

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξείδιο του Άνθρακα CO

## Πηγές & Καταβόθρες

- Η κυριότερη πηγή είναι η οξείδωση του CH<sub>4</sub> από ρίζες OH<sup>-</sup>

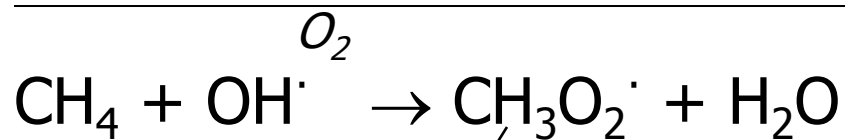
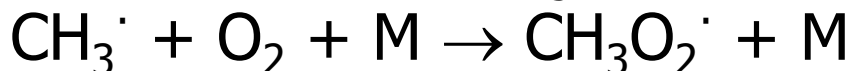
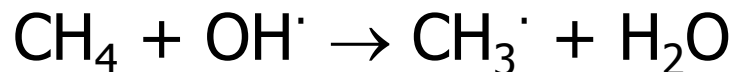
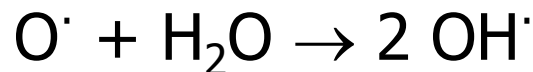
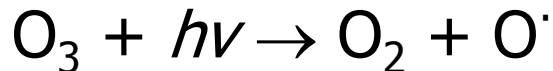
<b>Πηγές</b>	<b>(Tt (CO)yr<sup>-1</sup>)</b>
Τεχνολογικές διαδικασίες (καύση & βιομηχανία)	<b>300-550</b>
Καύση βιομάζας	<b>300-700</b>
Βιογενείς	<b>60-160</b>
Ωκεανοί	<b>20-200</b>
Οξείδωση Μεθανίου (CH <sub>4</sub> )	<b>400-1000</b>
Οξείδωση μη μεθανικών υδρογονανθράκων (NMHC)	<b>200-600</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>1800-2700</b>
<b>Καταβόθρες</b>	
Αντίδραση με ρίζες OH <sup>-</sup>	<b>1400-2600</b>
Δέσμευση από το έδαφος	<b>250-640</b>
Απώλειες στη Στρατόσφαιρα	<b>~100</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>2100-3000</b>

- **~2/3** του CO προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

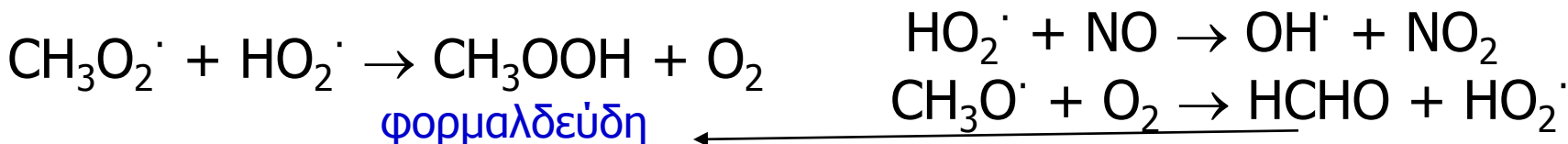
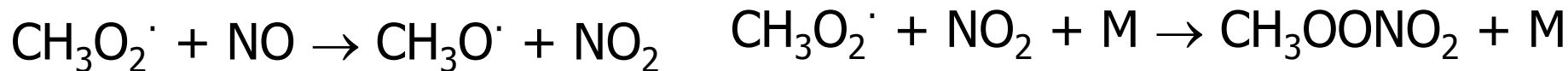
## Μονοξειδίο του Άνθρακα CO

- Η κυριότερη πηγή είναι η οξειδωση του CH<sub>4</sub> από ρίζες OH•



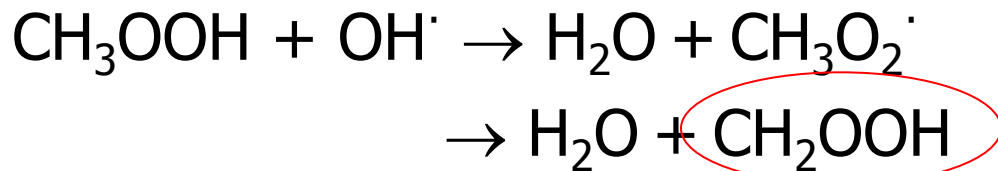
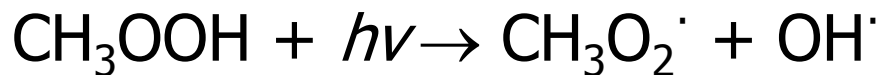
*Μεθυλο-υπεροξειδικές ρίζες*

- Οι μεθυλο-υπεροξειδικές ρίζες στην τροπόσφαιρα μπορούν να αντιδράσουν με: NO, NO<sub>2</sub>, ρίζες HO<sub>2</sub>• ή οργανικές υπεροξειδικές ρίζες (RO<sub>2</sub>•). Οι κυριότερες αλληλεπιδράσεις από αυτές είναι με τα NO και HO<sub>2</sub>•

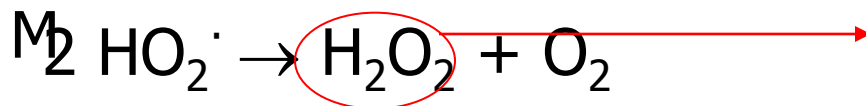


# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

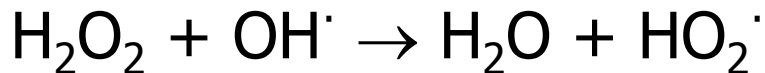
## Μονοξειδίο του Άνθρακα CO



- Ένα άλλο σετ αντιδράσεων είναι:



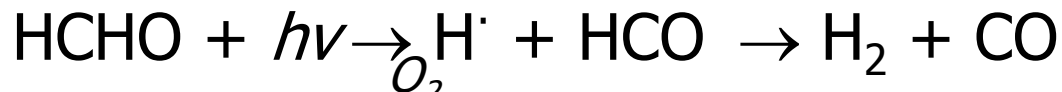
Το υπεροξειδίο του υδρογόνου είναι το κυριότερο οξειδωτικό μέσο που παρατηρείται στα νέφη, την ομίχλη και την βροχή



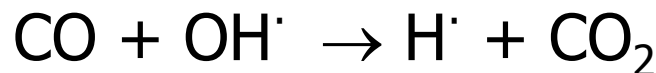
# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξειδίο του Άνθρακα CO

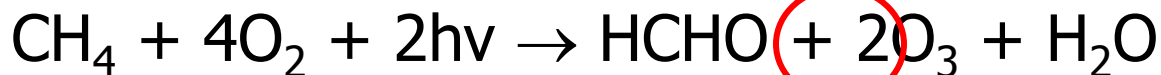
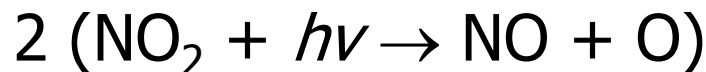
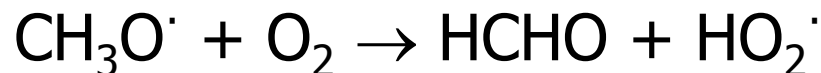
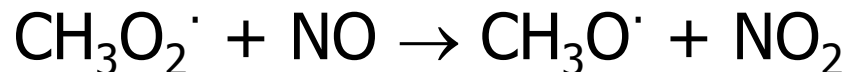
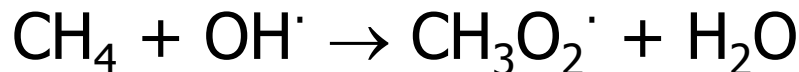
- Τελικά το CO θα παραχθεί από την φωτόλυση της σχηματιζόμενης φορμαλδεύδης ή και από την αντίδραση της με τις ρίζες υδροξυλίου



- Κάτω από την ύπαρξη ισχυρών οξειδωτικών (π.χ. OH $\cdot$ ) θα οξειδωθεί περαιτέρω σε CO $_2$ :

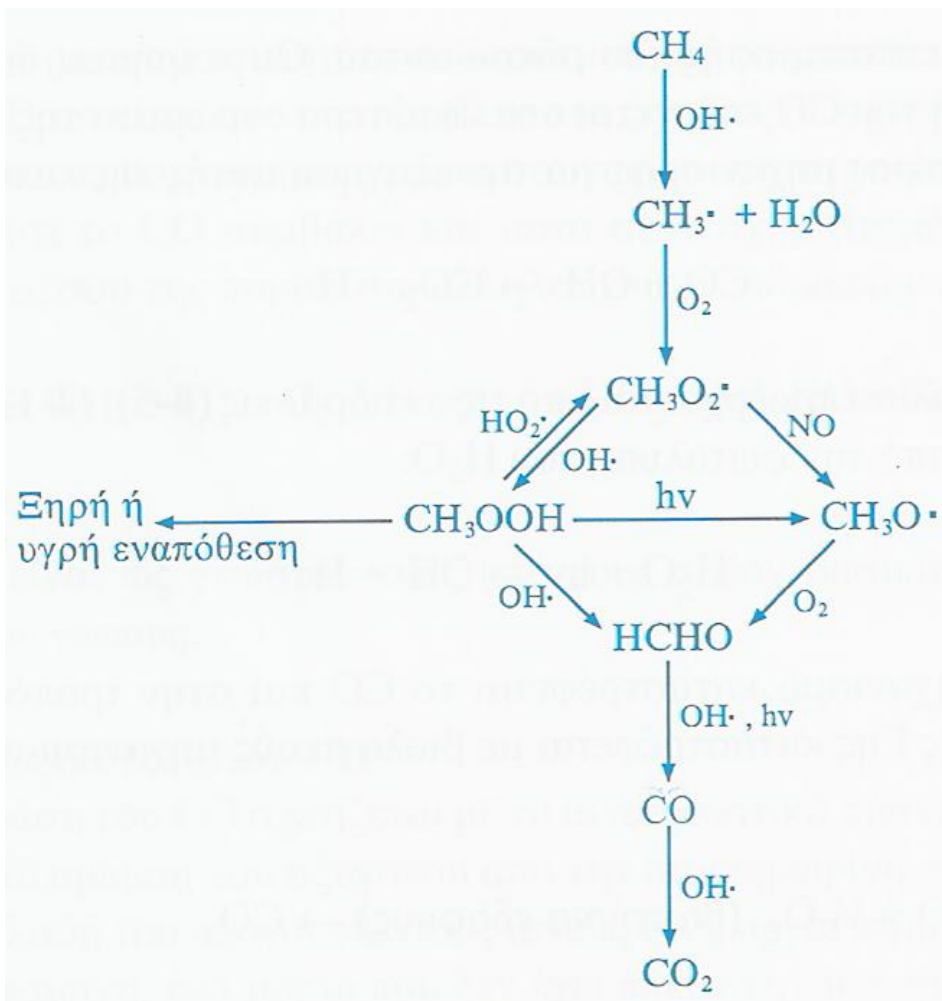


- Όταν τα επίπεδα του NO $_x$  είναι υψηλά υπερισχύουν οι αντιδράσεις των ριζών HO $_2\cdot$  και CH $_3$ O $_2\cdot$  με το NO, και η οξείδωση του CH $_4$  περιγράφεται:



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξείδιο του Άνθρακα CO



Αλληλουχία αντιδράσεων κατά την οξείδωση του CH<sub>4</sub> & CO

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξειδίο του Άνθρακα CO

- Η οξείδωση του CH<sub>4</sub> στην ατμόσφαιρα ευθύνεται για την παραγωγή του 80% του CO στις μη κατοικημένες περιοχές
- Σε πλανητική κλίμακα οι τιμές υποβάθρου του CO κυμαίνονται:  
(**0.06 – 0.14 mg/m<sup>3</sup>**) ή (**0.05 – 0.12 ppb**)
- Σε ευρωπαϊκές πόλεις με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο η μέση οκτάωρη συγκέντρωση του CO είναι: **< 20 mg/m<sup>3</sup> (17 ppm) – 60 mg/m<sup>3</sup> (53 ppm)**
- Η συγκέντρωση του CO εντός των τροχοφόρων είναι μεγαλύτερη εντός των τροχοφόρων από αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα
- Σε υπόγεια, πολυόροφα γκαράζ αυτοκινήτων, τούνελ και άλλους κλειστούς χώρους, όπου χρησιμοποιούνται τροχοφόρα αλλά με μη επαρκή εξαερισμό, τα μέσα επίπεδα CO ανέρχονται για μερικές ώρες σε **115 mg/m<sup>3</sup> (100 ppm)**
- Σε κατοικίες με παροχή αερίου οι συγκεντρώσεις του CO είναι **> 60-115 mg/m<sup>3</sup>**
- Ο καπνός του τσιγάρου σε κατοικίες, γραφεία, οχήματα και εστιατόρια δύναται να αυξήσει την 8-ωρη συγκέντρωση του CO σε επίπεδα **23-46 mg/m<sup>3</sup>**



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξειδίο του Άνθρακα CO

- Η δεύτερη φυσική πηγή του CO είναι η επιφάνεια των ωκεανών
- Μετρήσεις στα επιφανειακά ύδατα των ωκεανών και στον υπερκείμενο ατμοσφαιρικό αέρα έδειξαν ότι συγκέντρωση του CO **90** φορές μεγαλύτερη από αυτή της ισορροπίας ⇒

⇒ συνεχή μεταφορά μάζας CO από τον ωκεανό προς την ατμόσφαιρα

- Ο βαθμός *υπερκορεσμού* του CO στα επιφανειακά ωκεάνια στρώματα αυξάνεται με την παρουσία ηλιακού φωτός. Ο μηχανισμός δεν είναι γνωστός. Μπορεί να προέρχεται:

- φωτοχημική οξείδωση της θαλάσσιας οργανικής ύλης
- βιολογική οξείδωση της θαλάσσιας οργανικής ύλης από θαλάσσιους οργανισμούς
- Υπάρχει ένας ακόμη μηχανισμός φυσικής παραγωγής CO: η αποσύνθεση της χλωροφύλλης  
**{χλωροφύλλη (διάσπαση) → CO + άλλα προϊόντα}**

**12%**  
της  
συνολικής  
έκλυσης CO  
στην  
ατμόσφαιρα

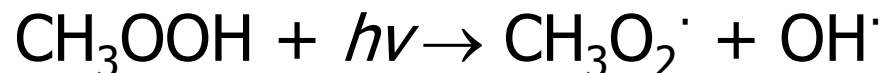
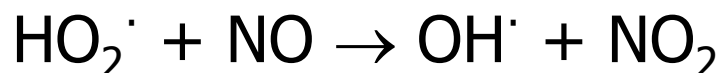
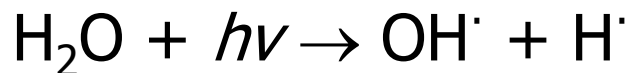
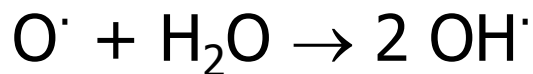
- Άλλες φυσικές πηγές του CO: **Ηφαιστεια** & **δασικές πυρκαγιές**

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξειδίο του Άνθρακα CO

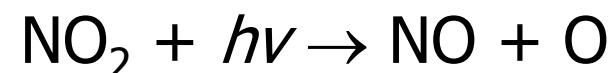
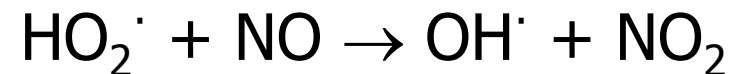
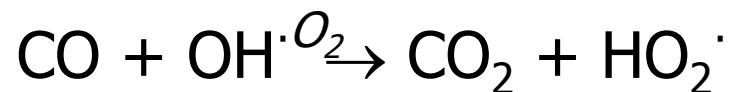
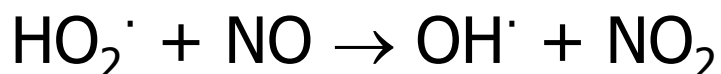
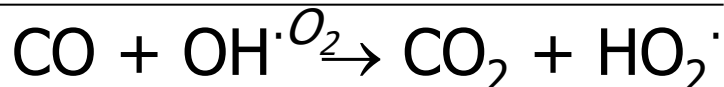
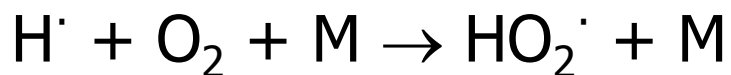
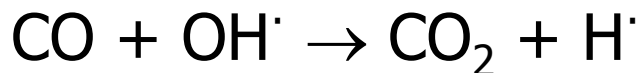
■ Η κυριότερη καταβόθρα του CO, στην τροπόσφαιρα αλλά και στην κατώτερη στρατόσφαιρα, είναι η οξείδωση του από ρίζες OH•:

■ Οι ρίζες OH• προέρχονται από τις εξής αντιδράσεις:



Αντιδράσεις παραγωγής ριζών OH•

■ Η οξείδωση του CO συμβάλλει στο σχηματισμό φωτοχημικού νέφους & συνοψίζεται:



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

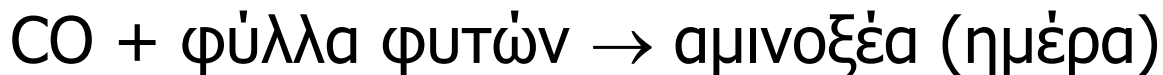
## Μονοξειδίο του Άνθρακα CO

- Στην **επιφάνεια του εδάφους** το **CO** καταστρέφεται μέσω βιολογικών διεργασιών μέσω των αντιδράσεων:



⇒ στις πόλεις η 'απουσία' εδάφους συμβάλει στην περιορισμένη απομάκρυνση του CO σ' αυτές

- **Βλάστηση:** μερικά φυτά έχουν επίσης μια σχετική ικανότητα απορρόφησης **CO** με ρυθμό 2 μg/s/m<sup>2</sup> (περίπου ίδιο με αυτόν της επιφάνειας του εδάφους). Οι μηχανισμοί δεν είναι γνωστοί αλλά περιγράφονται σχηματικά:



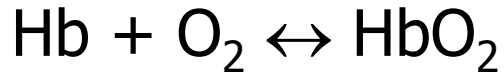
# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξείδιο του Άνθρακα CO

- **Τοξικότητα του CO:** σχετίζεται με το αναπνευστικό σύστημα. Διαχέεται ταχέως στους πνεύμονες, στα τριχοειδή αγγεία και στις ζωτικές μεμβράνες. Ανταγωνίζεται έντονα τη δέσμευση O<sub>2</sub>.

- Περίπου το 80-90% του απορροφημένου CO από την αιμογλοβίνη του αίματος παράγοντας **καρβοξυαιμογλοβίνη (HbCO)** η οποία αποτελεί δείκτη έκθεσης του CO στο αίμα

- Όταν η αιμογλοβίνη έλθει σε επαφή με O<sub>2</sub> σχηματίζεται οξυ-αιμογλοβίνη



- Η έλξη της αιμογλοβίνης προς το CO είναι **200-250** φορές **μεγαλύτερη** από ότι προς το O<sub>2</sub> αρκούν μικρές μερικές πιέσεις CO για να δεσμεύσουν σημαντική ποσότητα αιμογλοβίνης σχηματίζοντας καρβοξυαιμογλοβίνη



- Ο σχηματισμός της καρβοξυαιμογλοβίνης μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει O<sub>2</sub> δυσχεραίνοντας έτσι την οξυγόνωση των εξωαγγειακών ιστών

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξείδιο του Άνθρακα CO

- Η **τοξική επίδραση του CO** γίνεται εμφανής σε όργανα & ιστούς που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες O<sub>2</sub>:
  - πνεύμονας
  - καρδιά
  - εγκέφαλος
  - σκελετικοί μύες
  - αναπτυσσόμενα έμβρυα
- Η ανοξική αυτή εσωτερική λειτουργία οδηγεί σε:
  - νευρολογικά προβλήματα
  - νευροκινητικές δυσλειτουργίες
    - ελλιπή συντονισμό κινήσεων
    - παραπάτημα
    - μειωμένη ικανότητα οδήγησης
    - αυπνία
  - δυσλειτουργία σε επίπεδα καρβοξυαιμογλοβίνης 5.1-8.2%

## ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

- Σε Υγιή άτομα η ενδογενής παραγωγή **καρβοξυαιμογλοβίνης** είναι της τάξης των **0.4 – 0.7%**

- κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης ανέρχεται σε **0.7 – 2.5 %**

- Τα 'Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα' αναφέρουν για το CO:

- έκθεση 8 ή περισσότερων ωρών σε συγκέντρωση CO **12-17 mg/m<sup>3</sup>** (10-15 ppm) προξενεί στο αίμα **2.0-2.5%** καρβοξυαιμογλοβίνης σε μη καπνιστές

- έκθεση 8 ή περισσότερων ωρών σε συγκέντρωση CO **35 mg/m<sup>3</sup>** (30 ppm) προξενεί στο αίμα **5%** καρβοξυαιμογλοβίνης σε μη καπνιστές

- Μη καπνιστές που λόγω επαγγέλματος εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα CO (οδηγοί, τροχονόμοι, αστυνομικοί, εργαζόμενοι σε χώρους στάθμευσης, συνεργεία & τούνελ, πυροσβέστες, υπάλληλοι διοδίων) παρουσιάζουν μακροχρόνιες συγκεντρώσεις **καρβοξυαιμογλοβίνης** στο αίμα της τάξης των **5%**

- Καπνιστές παρουσιάζουν επίπεδα της τάξης του **10%** (ο καπνός του τσιγάρου περιέχει 400 ppm CO, εισπνέεται για 5 λεπτά, ενώ ο κύκλος επαναλαμβάνεται αρκετές φορές την ημέρα)

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξείδιο του Άνθρακα CO

- Έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO επιφέρει:
  - Πονοκέφαλο
  - Ναυτία
  - Ζάλη
  - Εμετικές τάσεις
  - Ατονία
  - Δυσφορία στο στήθος
  - Δυσκολία στην αναπνοή
  - Πόνο στα αυτιά
  - Αναισθησία & τελικά θάνατο
- Αν ο οργανισμός απομακρυνθεί έγκαιρα από το περιβάλλον υψηλών συγκεντρώσεων CO, **επανέρχεται** στη φυσιολογική του λειτουργία σιγά-σιγά (**4-5 ώρες**)
- Υπάρχουν μελέτες που δείχνουν συσχέτιση μόνιμων καρδιακών προβλημάτων από παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO
- Ευθύνεται ~το ίδιο με τη χοληστερόλη στη δημιουργία λιπαρού στρώματος στα αιμοφόρα αγγεία
- **Η δράση του είναι προσθετική**

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## Μονοξείδιο του Άνθρακα CO

- Προτείνονται τα ακόλουθα όρια έκθεσης ανάλογα με το χρόνο έκθεσης έτσι, ώστε να μην υπερβεί η **καρβοξυαιμογλοβίνης** το επίπεδο των **2.5%**
  - 100 mg/m<sup>3</sup> για 15 λεπτά
  - 60 mg/m<sup>3</sup> για 30 λεπτά
  - 30 mg/m<sup>3</sup> για μία ώρα
  - 10 mg/m<sup>3</sup> για 8 ώρες
- Μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις του CO στην βλάστηση και στα υλικά δεν αποδεικνύουν μέχρι τώρα κάποια συσχέτιση



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ▪ Υδρογονάνθρακες (HCs)

▪ Κατηγορία χημικών ενώσεων που περιλαμβάνει ενώσεις που αποτελούνται από C και H (οργανικές ενώσεις του C)

**Εξαίρεση αποτελούν:** τα οξείδια του C ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3, \dots$ ), τα ανθρακικά άλατα ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3, \dots$ ) και τα καρβίδια (ενώσεις των μετάλλων με άνθρακα:  $\text{CaC}_2$ ,  $\text{Al}_4\text{C}_3, \dots$ )

▪ Στα μόρια των απλούστερων υδρογονανθράκων όλοι οι δεσμοί του C είναι μεταξύ C και ατόμων του H, εκτός από τον ελάχιστο αριθμό που απαιτείται για τους δεσμούς C-C

ο Οι απλούστεροι υδρογονάνθρακες διακρίνονται στους **άκυκλους** από τους οποίους οι περιέχοντες **1-4 άτομα άνθρακα** είναι **αέριοι**, **5-6 άτομα άνθρακα** είναι **υγροί** και από **7 άτομα άνθρακα και πάνω** είναι στερεοί και στους **κυκλικούς**, που διακρίνονται στους κεκορεσμένους και στους αρωματικούς, από τους οποίους οι περισσότεροι είναι υγροί και στερεοί.

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

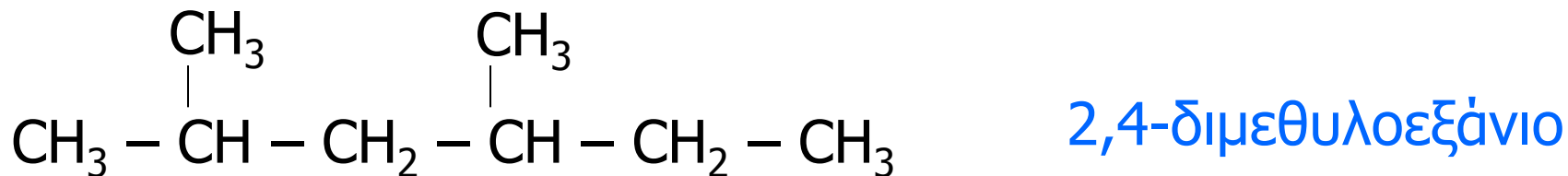
## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

- Οι απλούστεροι υδρογονάνθρακες είναι τα **αλκάνια** (ή **παραφίνες**) στα μόρια των οποίων το άτομο του C ενώνεται μόνο με άλλα άτομα C και άτομα H μέσω απλών δεσμών (είναι δηλ. κορεσμένες ενώσεις). Έχουν γενικό τύπο:  $C_nH_{2n+2}$

**Αλκάνια** ( $C_nH_{2n+2}$ ): Μερικά μέλη της ομάδας των αλκανίων

$CH_4$	Μεθάνιο
$CH_3 - CH_3$	Αιθάνιο
$CH_3 - CH_2 - CH_3$	Προπάνιο
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$	n-βουτάνιο

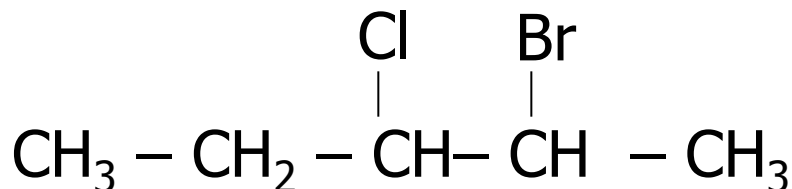
- ο Η δομή του μορίου των **αλκανίων** δεν αποτελείται μόνο από μία ευθεία αλυσίδα. Μπορεί αυτή να έχει και διακλαδώσεις π.χ.



# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

ο Μάλιστα η διακλαδώσεις μπορεί να είναι άτομα διαφορετικά του C και H π.χ.

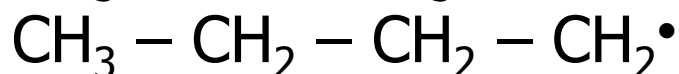
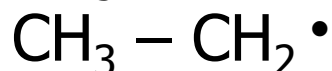
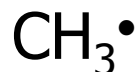


2-βρώμο-3-χλωροπεντάνιο

ο Η δομή των μορίων των αλκανίων δεν είναι υποχρεωτικά αλυσίδα ευθύγραμμη ή με διακλαδώσεις μπορεί η δομή τους να περιέχει και δακτυλίους. Σ' αυτή την περίπτωση καλούνται **κυκλοαλκάνια** ( $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ )

ο Τα αλκάνια συνήθως αντιδρούν αντικαθιστώντας ένα άτομο H. Όταν το άτομο H αφαιρεθεί, το μόριο που απομένει μετατρέπεται σε ελεύθερη ρίζα και αποκαλείται **ρίζα αλκυλίου**

ο Παραδείγματα ριζών αλκυλίων:



Μεθύλιο

Αιθύλιο

Προπύλιο

Ισοπροπύλιο

n-βουτύλιο

**Ριζές αλκυλίου** ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}^\bullet$ ):  $\text{R}^\bullet$

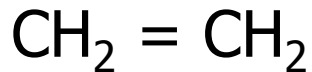
Το ελεύθερο  $e^-$  που διαθέτουν τις καθιστά εξαιρετικά χημικά ενεργές  $\Rightarrow$  παίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

ο Οι υδρογονάνθρακες στα μόρια των οποίων υπάρχει τουλάχιστον ένας διπλός δεσμός μεταξύ δύο γειτονικών ατόμων C ονομάζονται **αλκένια** ή (**ολεφίνες**). Έχουν γενικό

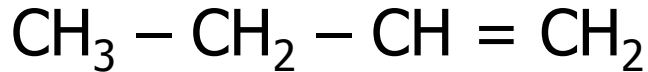
τύπο:  $C_nH_{2n}$



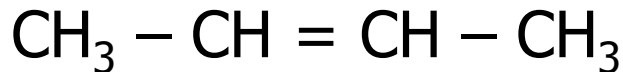
Αιθένιο (Αιθυλένιο)



Προπένιο (Προπυλένιο)



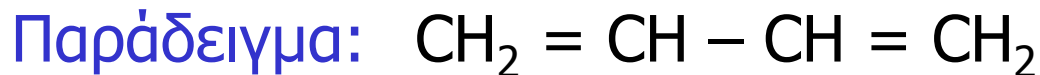
1-βουτένιο



2-βουτένιο

ο Οι υδρογονάνθρακες στα μόρια των οποίων υπάρχουν 2 διπλοί δεσμοί & κανένας δακτύλιος ονομάζονται **αλκαδιένια**.

Έχουν γενικό τύπο:  $C_nH_{2n-2}$



1,3-βουταδιένιο

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ▪ Υδρογονάνθρακες (HCs)

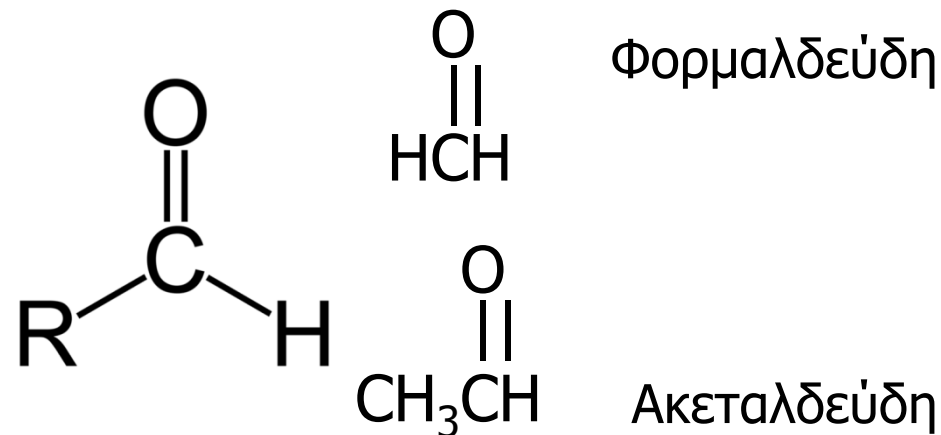
ο Οι υδρογονάνθρακες στα μόρια των οποίων υπάρχει τουλάχιστον ένας τριπλός δεσμός μεταξύ δύο γειτονικών ατόμων C ονομάζονται **αλκίνια**.

Έχουν γενικό τύπο:  $C_nH_{2n-2}$

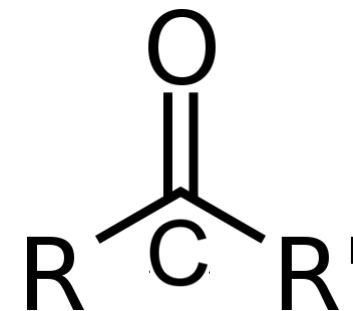
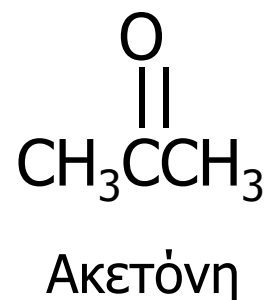
Παράδειγμα:  $CH \equiv CH$  **αιθίνιο ή ακετυλένιο ή ασετυλίνη**

ο Οι υδρογονάνθρακες μπορεί να αποκτήσουν ένα ή περισσότερα άτομα O. Από τους οξυγονομένους υδρογονάνθρακες δύο ειδών καρβονύλια παίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμόσφαιρα

## ▪ Αλδεύδες:



## ▪ Κετόνες:

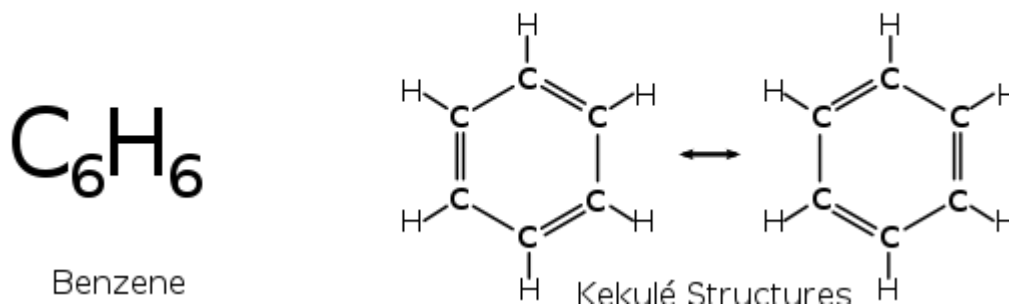


# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

ο Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες (αλκένια, αλκαδιένια & αλκίνια) μπορεί να είναι και κυκλικοί έχοντας στο μόριο τους **δομές δακτυλίων** οπότε καλούνται αντίστοιχα κυκλοαλκένια, κυκλοαλκαδιένια & κυκλοαλκίνια

ο Ένας κλασικός ακόρεστος υδρογονάνθρακας είναι το **βενζένιο** ή **βενζόλιο**

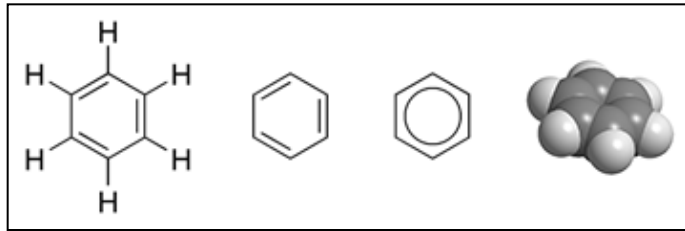


ο Οι υδρογονάνθρακες που έχουν στο μόριο τους **έναν δακτύλιο** καλούνται **μονοκυκλικοί**

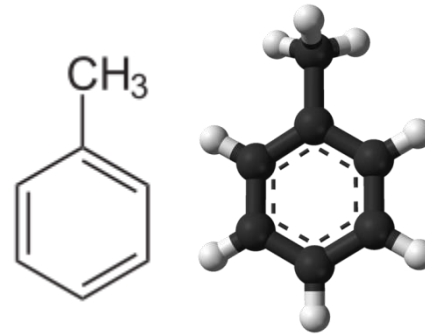
ο Οι υδρογονάνθρακες που έχουν στο μόριο τους **τουλάχιστον δύο (2) δακτυλίους** καλούνται **πολυκυκλικοί**

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

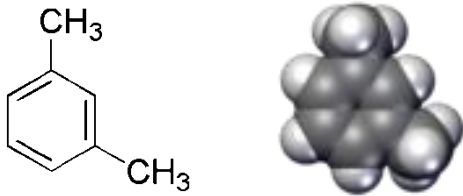
- Οι υδρογονάνθρακες που έχουν στο μόριο τους τη χαρακτηριστική **δομή του βενζολίου** καλούνται **αρωματικοί**
- Μερικοί γνωστοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι:



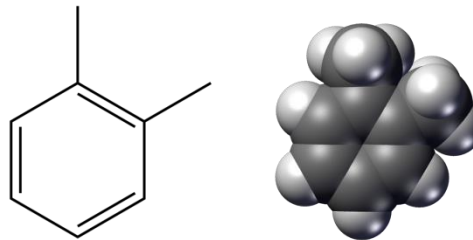
Βενζόλιο (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)



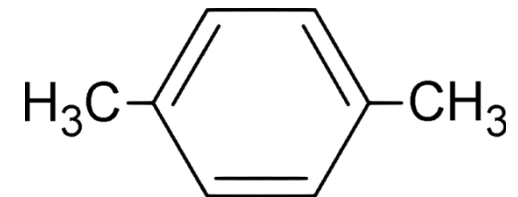
Τολουόλιο



μ-ξυλόλιο



ο-ξυλόλιο



ρ-ξυλόλιο

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ▪ Υδρογονάνθρακες (HCs)

- Στην πλειοψηφία τους παράγονται στη φύση από την αποσύνθεση οργανικών υλικών και βρίσκονται κυρίως στο αργό πετρέλαιο
- Σ' έναν υδρογονάνθρακα, η φύση των δεσμών C-C καθορίζει στην ουσία και τις ιδιότητες του
- Μία κοινή ιδιότητα των υδρογονανθράκων είναι η **καύση**
  - **Χρήσεις:** οι υδρογονάνθρακες αποτελούν την **σημαντικότερη πηγή ενέργειας** στη Γη. Η κυριότερη χρήση τους είναι αυτή του καύσιμου υλικού (π.χ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο)
  - Σε όλες τους τις μορφές χρησιμοποιούνται σαν καύσιμο υλικό π.χ.
    - ✓ **Αέρια:** φυσικό αέριο
    - ✓ **Υγρή:** πετρέλαιο
    - ✓ **Στερεή:** λιγνίτης
  - Στη στερεή τους μορφή αποτελούν επίσης το κύριο συστατικό της ασφάλτου

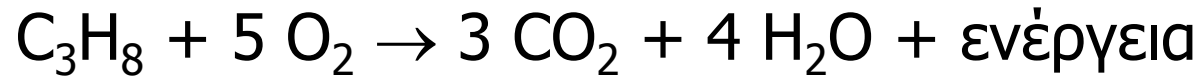


# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

ο Καύση υδρογονανθράκων: κατά την καύση τους παράγουν **ενέργεια**, **CO<sub>2</sub>** και **steam (υδρατμοί)**

Παραδείγματα:



ο Άλλες χρήσεις των υδρογονανθράκων συναντώνται στη βιομηχανία παρασκευής:

- πλαστικών
- παραφινών
- διαλυτών
- κεριών
- ελαίων

ο Ορισμένοι υδρογονάνθρακες εμπλέκονται στην ενίσχυση του **φαινομένου του θερμοκηπίου**

ο Κυρίως σε συνδυασμό με τα NO<sub>x</sub> & την παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην **φωτοχημεία** της **ατμόσφαιρας**

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

ο Το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) είναι ο πιο απλός αλλά και ο πιο άφθονος υδρογονάνθρακας στην ατμόσφαιρα

ο Οι ανθρώπινες δραστηριότητες προσθέτουν στην ατμόσφαιρα  $\sim 1 \times 10^8 \text{ t yr}^{-1}$  υδρογονάνθρακες με κύριο συστατικό το  $\text{CH}_4$  ( $\sim 90\%$ ). Το υπόλοιπο 10% αφορά μια μεγάλη ποικιλία υδρογονανθράκων

ο Επειδή το  $\text{CH}_4$  δεν μετέχει ουσιαστικά σε φωτοχημικές αντιδράσεις μελετάται χωριστά & έχει καθιερωθεί ένας διαχωρισμός των υδρογονανθράκων σε δύο κατηγορίες:

1. Μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ )
2. Μη Μεθανικούς υδρογονάνθρακες (NMHCs) ή πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs)

■ **VOCs:** κάθε πτητική οργανική ένωση η οποία όταν εισέλθει στην ατμόσφαιρα μπορεί να παραμείνει σε αυτή τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για να πάρει μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις

■ **VOCs:** πρέπει να είναι πτητικοί στην συνήθη θερμοκρασία  $\Rightarrow$  τάση ατμών  $> 0.1 \text{ mmHg}$  στις κανονικές συνθήκες ( $20^\circ\text{C}$ , και πίεση  $760 \text{ mmHg}$ )

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

ο Τα 'Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα' αφορούν κυρίως τους **αέριους υδρογονάνθρακες** & **τα προϊόντα οξειδωσής** τους, ειδικά τις **Αλδεύδες** που συνδέονται με τη φωτοχημική ρύπανση

ο Κριτήρια έχουν θεσπιστεί και για τους **Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)** καθώς έχει αποδειχθεί ότι **συμβάλουν** ή και **προκαλούν** ανάπτυξη **καρκίνου** των πνευμόνων

ο Ο πρώτος αυτής της κατηγορίας των υδρογονανθράκων, ο οποίος είναι και πολύ τοξικός είναι το **βενζόλιο**

ο **Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)**: είναι συνηθισμένα προϊόντα πυρόλυσης οργανικής ύλης

ο Προέρχονται κυρίως από:

- μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων
- καταλυτική διάσπαση πετρελαίου
- ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς που λειτουργούν με καύση μαζούτ
- παραγωγή κωκ

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

ο Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ): απορροφούνται από αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη & παραμένουν στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μια περίοδο:

μερικές μέρες ως 2-3 εβδομάδες

⇒ ο χρόνος αυτός είναι ικανός για τη μεταφορά και τον διασκορπισμό τους σε μεγάλη κλίμακα (περιφερειακή, διηπειρωτική)

ο Μέσω της βροχής μεταφέρονται και στο υδάτινο περιβάλλον, όπου μπορεί να συσσωρευτούν στους πυθμένες των υδάτινων όγκων

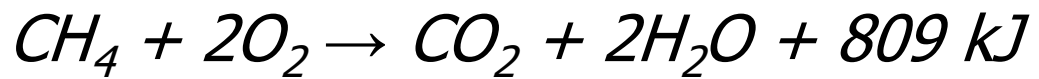
⇒σοβαρές επιδράσεις στην υδρόβια ζωή

ο στην ατμόσφαιρα υπάρχει μια τάση ελάττωσης τους μέσω φωτοχημικών ή και καταλυτικών μηχανισμών σε αντιδράσεις τους με:

- $O_3$
- $O_2$
- $OH\cdot$

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

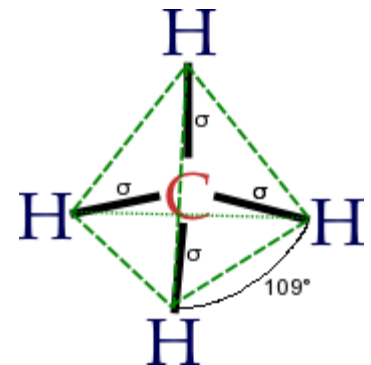
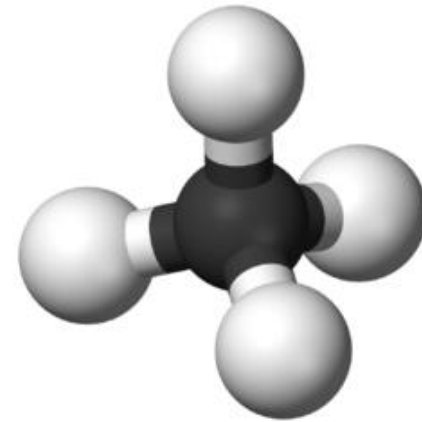
- Το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) είναι το απλούστερο αλκάνιο δηλ. κορεσμένος υδρογονάνθρακας
- Είναι το δεύτερο σημαντικότερο αέριο από άποψη συμβολής (αμέσως μετά το CO<sub>2</sub>) στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Είναι το κυριότερο συστατικό του φυσικού αερίου (75 – 90%)
- Είναι εύλεκτο και με μεγάλη ενεργειακή απόδοση ⇒ χρησιμοποιείται σαν καύσιμο υλικό



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

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

- Το CH<sub>4</sub> απορροφά 23 με 27 φορές περισσότερη ακτινοβολία από το CO<sub>2</sub>. Όμως, υπάρχει σε μικρότερες συγκεντρώσεις & έχει μικρότερο χρόνο ζωής



# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

ο Το CH<sub>4</sub> έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing) σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια θερμοκηπίου **+0.48 ± 0.05 Wm<sup>-2</sup>**

ο Τα τελευταία 650.000 χρόνια η συγκέντρωση του CH<sub>4</sub> κυμαινόταν μεταξύ 400 & 700 ppb.

ο Σήμερα η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα είναι:

**1774.62 ± 1.22 ppb**

αυξήθηκε >1000 ppb τους 2 τελευταίους αιώνες ⇒ η μεγαλύτερη αύξηση που παρουσίασε τα τελευταία 80.000 έτη τέλη '70-αρχές '80 παρουσίασε τον μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης (**1% yr<sup>-1</sup> ή 14 ppb yr<sup>-1</sup>**)

μετά το '90 ο ρυθμός αύξησης μειώθηκε σημαντικά. Την περίοδο 1998-2005 ήταν σχεδόν **μηδενικός**

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

## ■ Πηγές

### ■ Πηγές & Καταβόθρες

#### ○ Βιογενείς

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

70% των  
συνολικών  
πηγών

#### ○ Μη-βιογενείς

- ✓ εξόρυξη & καύση ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, Πετρέλαιο, κάρβουνο)
- ✓ καύση βιομάζας
- ✓ διαχείριση αποβλήτων
- ✓ γεωλογικές πηγές (Υδρίτες CH<sub>4</sub>, γεωθερμικό CH<sub>4</sub>, ηφαιστεια)

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

## ▪ Πηγές & Καταβόθρες

- Το CH<sub>4</sub> που προέρχεται από φυσικές πηγές παράγεται από βιολογικές διαδικασίες: αποσύνθεση οργανικών υλικών από βακτηρίδια κάτω από αναερόβιες συνθήκες
- Το CH<sub>4</sub> κτηνοτροφία επίσης προέρχεται από βιολογικές διεργασίες (τα μυρηκαστικά καταναλώνουν φυτά τα οποία ζυμώνονται στο πεπτικό τους σύστημα παράγεται μεθάνιο το οποίο εκπέμπουν κατά την εκπνοή ή με τα περριτώματα τους)
- Παραγωγή CH<sub>4</sub> μέσω βιολογικών διεργασιών: πολύπλοκη ακολουθία διαδικασιών
  1. Ζύμωση οργανικών μακρομορίων σε → Οξικό οξύ (CH<sub>3</sub>COOH), άλλα καρβοξυλικά οξέα, αλκοόλες, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>
  2. Δευτερεύουσα ζύμωση των αλκοολών και των καρβοξυλικών οξέων σε πξικά άλατα, εστέρες, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>
  3. Μετατροπή αυτών των προϊόντων σε CH<sub>4</sub> μέσω του μικροβίου **methanogenic Archaea**:  
$$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$$
$$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$$



# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

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

### ■ Πηγές

#### ο Φυσικές

- ✓ Υδροτόποι (έλη, λίμνες) (μεγαλύτερη πηγή)
- ✓ ωκεανοί
- ✓ πυρκαγιές δασών
- ✓ τερμίτες
- ✓ γεωλογικές πηγές (Υδρίτες CH<sub>4</sub>, γεωθερμικό CH<sub>4</sub>, ηφαιστεια)

#### ο Ανθρωπογενείς

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

> 60%  
του συνόλο  
των  
πηγών

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

## ■ Πηγές & Καταβόθρες (Tg (CH<sub>4</sub>) yr<sup>-1</sup>)

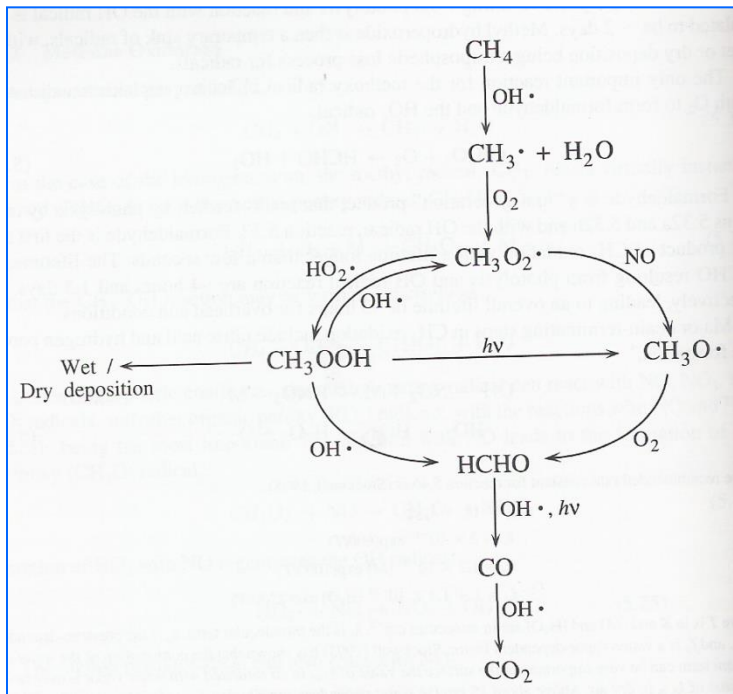
References	Hein et al., 1997 <sup>c</sup>	Houweling et al., 2000 <sup>c</sup>	Olivier et al., 2005	Wuebbles and Hayhoe, 2002	Scheehle et al., 2002	J. Wang et al., 2004 <sup>c</sup>	Mikaloff Fletcher et al., 2004 <sup>a,c</sup>	Chen and Prinn, 2006 <sup>c</sup>	TAR	AR4
Base year	1983–1989		2000		1990	1994	1999	1996–2001	1998	2000–2004
<b>Natural sources</b>		<b>222</b>		<b>145</b>		<b>200</b>	<b>260</b>	<b>168</b>		
Wetlands	231	163		100		176	231	145		
Termites		20		20		20	29	23		
Ocean		15		4						
Hydrates				5		4				
Geological sources		4		14						
Wild animals		15								
Wildfires		5		2						
<b>Anthropogenic sources</b>	<b>361</b>		<b>320</b>	<b>358</b>	<b>264</b>	<b>307</b>	<b>350</b>	<b>428</b>		
Energy					74	77				
Coal mining	32		34	46			30	48 <sup>d</sup>		
Gas, oil, industry	68		64	60			52	36 <sup>e</sup>		
Landfills & waste	43		66	61	69	49	35			
Ruminants	92		80	81	76	83	91	189 <sup>f</sup>		
Rice agriculture	83		39	60	31	57	54	112		
Biomass burning	43			50	14	41	88	43 <sup>e</sup>		
C3 vegetation			27							
C4 vegetation			9							
<b>Total sources</b>	<b>592</b>			<b>503</b>		<b>507</b>	<b>610</b>	<b>596</b>	<b>598</b>	<b>582</b>
Imbalance	+33								+22	+1
<b>Sinks</b>										
Soils	26			30		34	30		30	30 <sup>g</sup>
Tropospheric OH	488			445		428	507		506	511 <sup>g</sup>
Stratospheric loss	45			40		30	40		40	40 <sup>g</sup>
<b>Total sink</b>	<b>559</b>			<b>515</b>		<b>492</b>	<b>577</b>		<b>576</b>	<b>581<sup>g</sup></b>

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

## ■ Πηγές & Καταβόθρες

### ■ Καταβόθρες

- Οξείδωση στην τροπόσφαιρα από ρίζες OH<sup>•</sup>
- Βιολογική οξείδωση του CH<sub>4</sub> στο έδαφος
- Απώλεια προς τη στρατόσφαιρα
- οξείδωση από άτομα Cl στο θαλάσσιο οριακό στρώμα (;)



■ Η αβεβαιότητα στις καταβόθρες του CH<sub>4</sub> είναι:

- ±103 Tg (20%) οξείδωση από OH<sup>•</sup>
- ±15 Tg (50%) δέσμευση έδαφος
- ±8 Tg (20%) στρατόσφαιρα

■ Θεωρώντας διαφορετικό χρόνο ζωής για το CH<sub>4</sub> (8.7 ± 1.3 έτη) η αβεβαιότητα για την ένταση του συνόλου των καταβοθρών είναι: ±15%.

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ - ΜΕΘΑΝΙΟ CH<sub>4</sub>

## ▪ Πηγές & Καταβόθρες ( Tg (CH<sub>4</sub>) yr<sup>-1</sup> )

▪ Η μετρούμενη συγκέντρωση του CH<sub>4</sub> στην ατμόσφαιρα το 2005 (1.774 ppb)

⇒ ατμοσφαιρικό φορτίο της ατμόσφαιρας σε = 4,932 Tg

⇒ 0.6 Tg yr<sup>-1</sup> μέση ετήσια αύξηση κατά την περίοδο 2000-2005

⇒ μέσες ετήσιες εκπομπές ~582 Tg(CH<sub>4</sub>) yr<sup>-1</sup>

▪ Η διαφοροποίηση με την προηγούμενη έκθεση (TAR) οφείλεται στο ότι εκεί χρησιμοποιήθηκε μέσος ρυθμός αύξησης των επιπέδων του CH<sub>4</sub> στην ατμόσφαιρα = 8 ppb yr<sup>-1</sup>, ενώ η παρούσα έκθεση χρησιμοποιεί ρυθμό αύξησης 0.2 ppb yr<sup>-1</sup>

▪ Ρυθμός αύξησης επιπέδων CH<sub>4</sub> στην ατμόσφαιρα:

- Αρχές '80: 14 ppb yr<sup>-1</sup> (~ 1% yr<sup>-1</sup> )

- Μετά '80: σταδιακή μείωση

- Εξαίρεση:

• 1991 → 14 ppb yr<sup>-1</sup>

• 1998 → 18 ppb yr<sup>-1</sup>

- 1999-2005: ~ μηδενικός ρυθμός

# ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Κατά τη διάρκεια του 2007 τα επίπεδα του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα **αυξήθηκαν** κατά **0.6%** (ή  $19 \times 10^9 \text{ t}$ )
- Αντίστοιχα τα επίπεδα του  $\text{CH}_4$  αυξήθηκαν κατά  $27 \times 10^6 \text{ t}$  μετά από μία σχεδόν δεκαετία πολύ μικρής ή και σχεδόν μηδενικής αύξησης (τα στοιχεία προήρθαν από 60 σταθμούς σε όλο τον κόσμο)
- $\text{CO}_2$ : ο ρυθμός αύξησης επιταχύνθηκε τις τελευταίες δεκαετίες
  - ο  $> 2 \text{ ppm}$  δεκαετία 2000
  - ο  $\sim 1.5 \text{ ppm}$  δεκαετία '80
  - ο  $< 1 \text{ ppm}$  δεκαετία '60
- $\text{CH}_4$ : **αυξήθηκε για πρώτη φορά μετά το 1998 !**
- Η αύξηση του  $\text{CH}_4$  αποδίδεται:
  - ο στη συνεχώς & ταχέως βιομηχανική ανάπτυξη της Ασίας
  - ο 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

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

- Οι **VOCs** παίζουν κεντρικό ρόλο στη χημεία της ατμόσφαιρας
- Μία καταγραφή στις ΗΠΑ προσδιόρισε ~600 είδη ανθρωπογενούς προέλευσης

### ■ Πηγές:

- Η **μεγαλύτερη** πηγή των **VOCs** είναι τα μέσα μεταφοράς (οχήματα) όπου παράγονται λόγω της **ατελούς καύσης των καυσίμων υλικών** ή λόγω **εξάτμισης** τους
- Χρήση τους ως διαλυτικό μέσο
- χημική βιομηχανία
- παραγωγή & μεταφορά καυσίμων υλικών
- Συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές **VOCs** (εκτιμήσεις 1995):  
**142 Tg yr<sup>-1</sup>**
- **VOCs** εκπέμπονται επίσης από τη βλάστηση και κυρίως από το φύλλωμα των δέντρων
- Εκπέμπεται πλήθος **VOCs** αλλά κυρίως **Ισοπρένιο** (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>, 2-μεθυλο-1,3-βουταδιένιο) & **μονοτερπένια**
- Οι εκπομπές **VOCs** είναι υψηλές κατά τη διάρκεια της ημέρας & ελάχιστες ή μηδαμινές τη νύχτα λόγω απουσίας ηλιακού φωτός

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

*Περισσότερο άφθονοι υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα*

<b>VOCs</b>	<b>Αναλογία μίγματος (ppbC)</b>
Αιθάνιο	27.1
Αιθένιο	22.3
Ακετυλένιο	17.3
Προπάνιο	56.0
Προπένιο	7.8
i-βουτάνιο	19.4
Βουτάνιο	42.0
i-πεντάνιο	52.4
Πεντάνιο	24.0
2-μεθυλοπεντάνιο	16.0
3-μεθυλοπεντάνιο	11.8
Εξάνιο	10.8
Μεθυλοκυκλοπεντάνιο	10.1

# ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ – ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (C)

## ■ Υδρογονάνθρακες (HCs)

*Περισσότερο άφθονοι υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα*

<b>VOCs</b>	<b>Αναλογία μίγματος (ppbC)</b>
Βενζόλιο	17.0
3-μεθυλοεξάνιο	7.4
Επτάνιο	6.0
Μεθυλοκυκλοεξάνιο	7.0
Τολουένιο	49.1
Αιθυλοβενζόλιο	7.6
m- Και p-ξυλένια	25.2
ο-ξυλένιο	10.0
1,2,4-τριμεθυλοβενζόλιο	8.2
Φορμαλδεύδη	9.1
Ακεταλδεύδη	14.8
Ακετόνη	22.4

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

