



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ 70, 176 71 ΑΘΗΝΑ

Κλιματική Αλλαγή

Πέτρος Κατσαφάδος

pkatsaf@hua.gr

Αθήνα 2025

ΣΥΓΓΡΑΜΜΑ

- Εισαγωγή στη Φυσική Κλιματολογία
- Κλιματική Αλλαγή και Παγκόσμια Κλιματικά Φαινόμενα
- Ισοζύγιο Ακτινοβολιών του Πλανήτη και Παγκόσμια Θέρμανση
- Κύκλος του Άνθρακα και Θερμοκηπικά Αέρια
- Φυσικό και Ενισχυμένο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
- Αεrolύμματα Φυσικής Προέλευσης ως Κλιματικοί Παράγοντες
- Προβολές του Κλίματος
- Ανοικτά Θέματα της Κλιματικής Αλλαγής
- Διαχείριση και Οπτικοποίηση Κλιματικών Δεδομένων



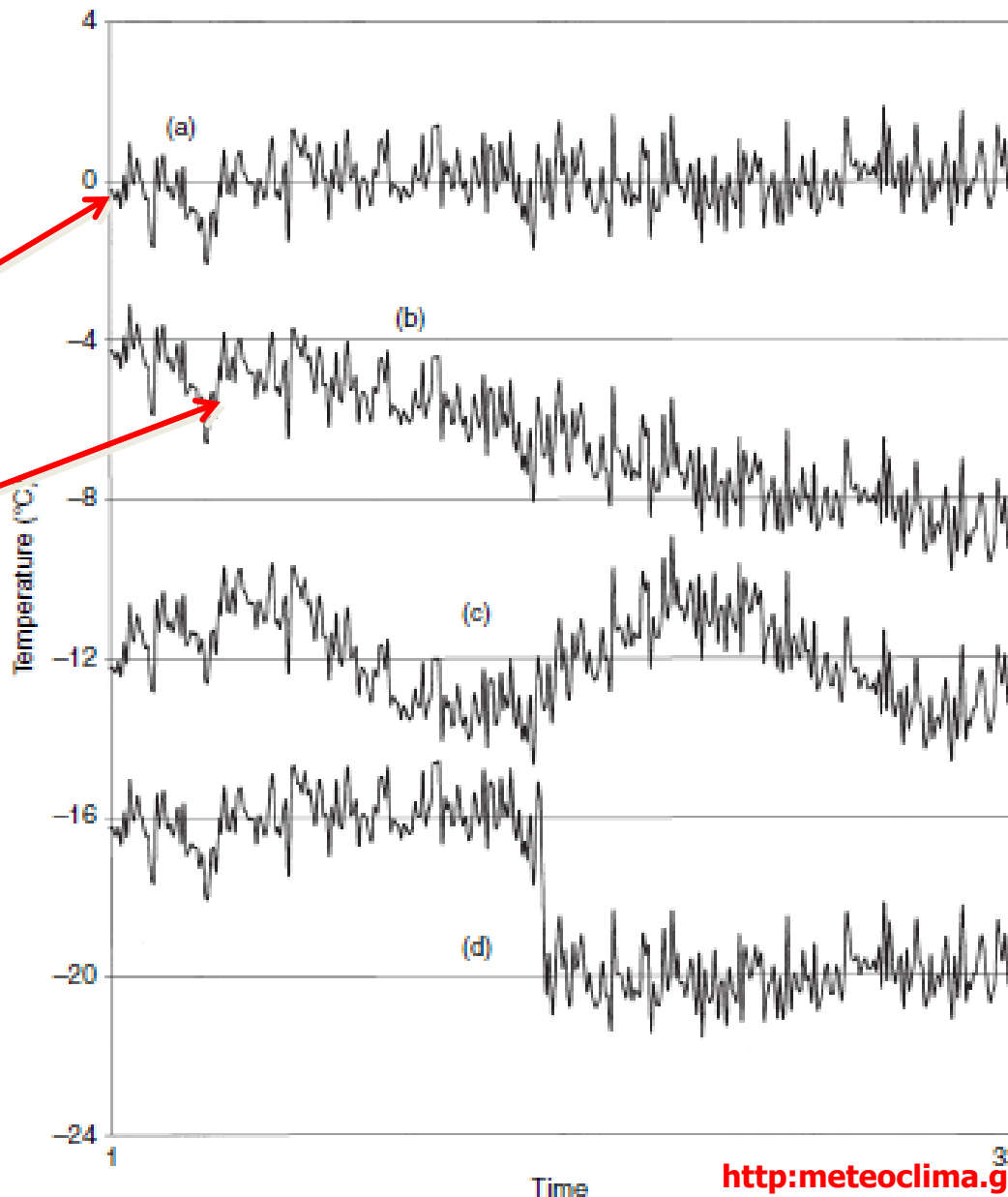
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

- Ο όρος *κλιματική αλλαγή* υποδηλώνει οποιαδήποτε συστηματική μεταβολή της στατιστικής κατανομής των ατμοσφαιρικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος) για εκτεταμένη χρονική περίοδο (δεκαετιών ή αιώνων ή εκατομμυρίων ετών)
- Την τρέχουσα χρονική περίοδο βιώνουμε τη μετάβαση του κλιματικού συστήματος από την παρούσα, μάλλον αποσταθεροποιημένη κατάσταση, σε μία νέα θέση ισορροπίας
- Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη η διερεύνηση των αιτιών της αποσταθεροποίησης καθώς και η εκτίμηση της χωρικής κατανομής των επιπτώσεων, λόγω των πολλών βαθμών ελευθερίας του συστήματος

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ vs ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

- Κλιματική μεταβλητότητα

☞ Κλιματική αλλαγή

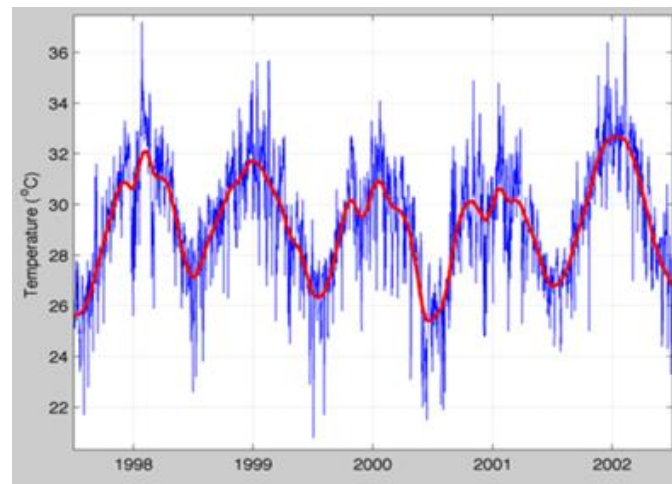


W.J. Burroughs, *Climate Change*, 2007
Cambridge University Press
The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK

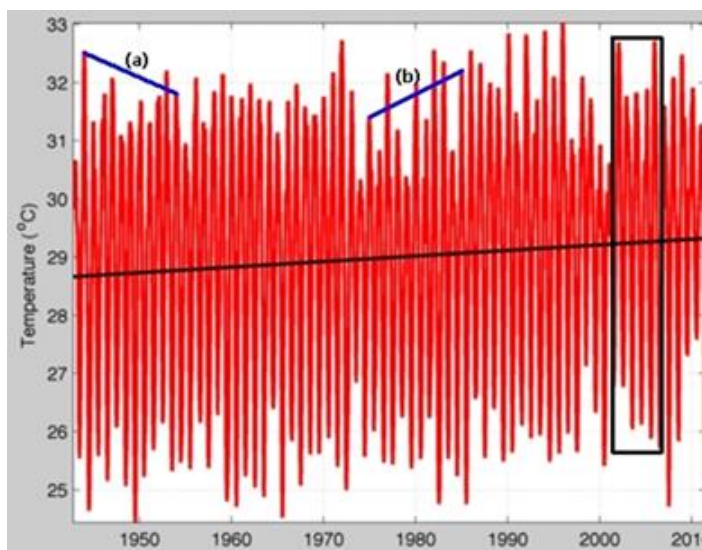
ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΚΑΙΡΟΥ & ΚΛΙΜΑΤΟΣ



Μεταβολή θερμοκρασίας 5 ημερών



Μεταβολή θερμοκρασίας 5 ετών



Μεταβολή θερμοκρασίας 50 ετών

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

- Μεταβολές στο κλίμα μπορούν να προκληθούν είτε από φυσικές (εσωτερικές) διεργασίες, μέσα στο κλιματικό σύστημα, είτε από μεταβολές στις ανθρωπογενείς ή φυσικές επιδράσεις (εξωτερικές)
- Η εσωτερική μεταβλητότητα ουσιαστικά μεταφέρει ενέργεια, χωρίς να υπάρχει καθαρή ενεργειακή μεταβολή, μιας και σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής η ενέργεια ούτε δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται
- Το κλίμα εξαναγκάζεται να αλλάξει σε μακροχρόνια βάση, σε αντίθεση με την εσωτερική μεταβλητότητα που είναι μη εξαναγκαζόμενη
- Αυτό προκαλείται μέσω αναδράσεων (feedbacks) κατά τις οποίες μία διαταραχή κλιματικής παραμέτρου επιφέρει μεταβολή σε μία άλλη και αυτή, με τη σειρά της, επιφέρει επιπλέον μεταβολή στην αρχική
- Κατά την αρνητική ανάδραση (negative feedback) η αρχική διαταραχή εξασθενεί από τις αλλαγές που επιφέρει, ενώ η θετική ανάδραση (positive feedback) δρα ενισχυτικά της διαταραχής

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ vs ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

1. ΦΥΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ

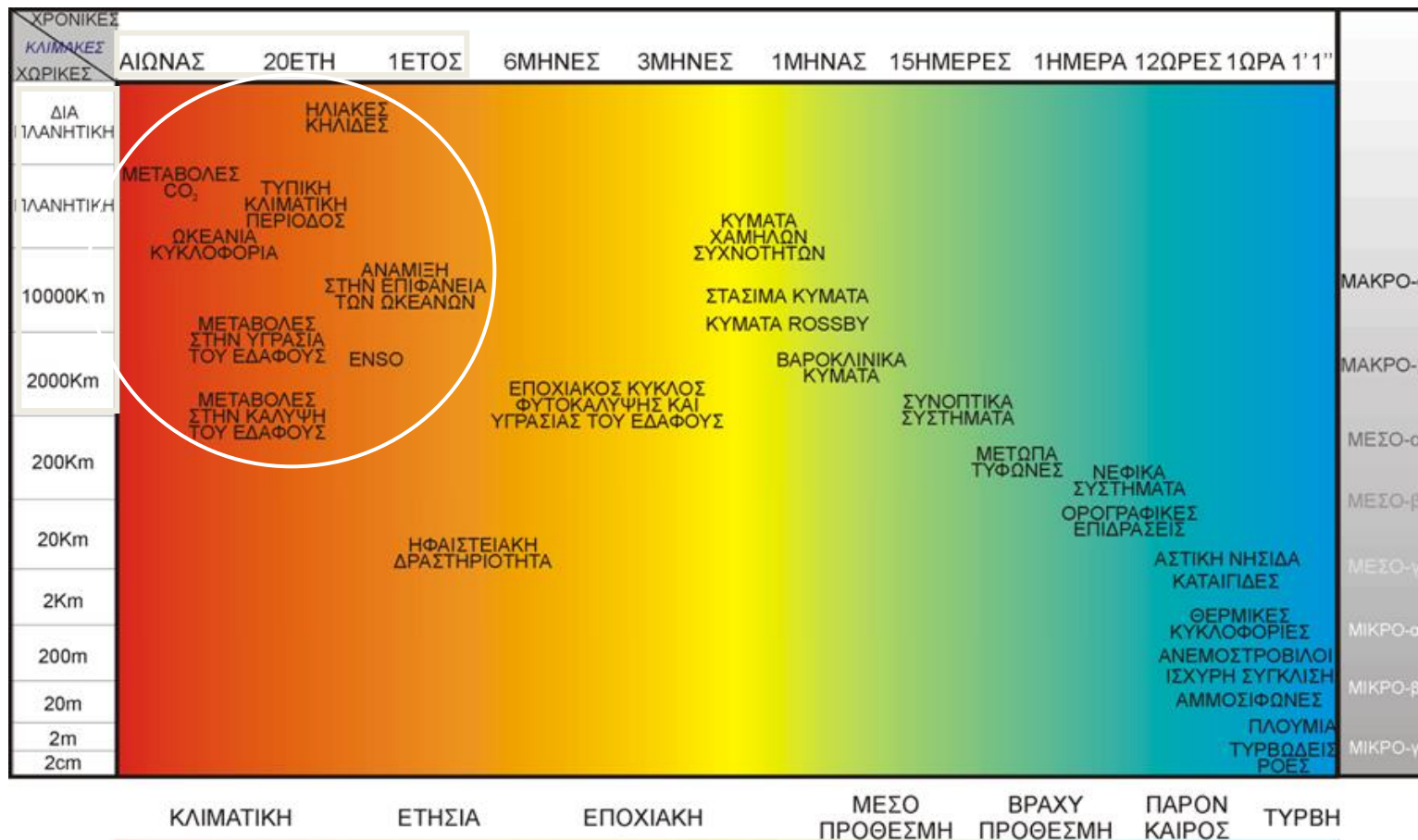
- Ηλιακή δραστηριότητα
- Αλλαγές στην τροχιά της Γης
- Ηφαιστειογενή δράση

2. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ

- Αλλαγή σύστασης της ατμόσφαιρας
- Αλλαγή χρήσεων γης

3. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ

ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ



(Κατσαφάδος, 2003)

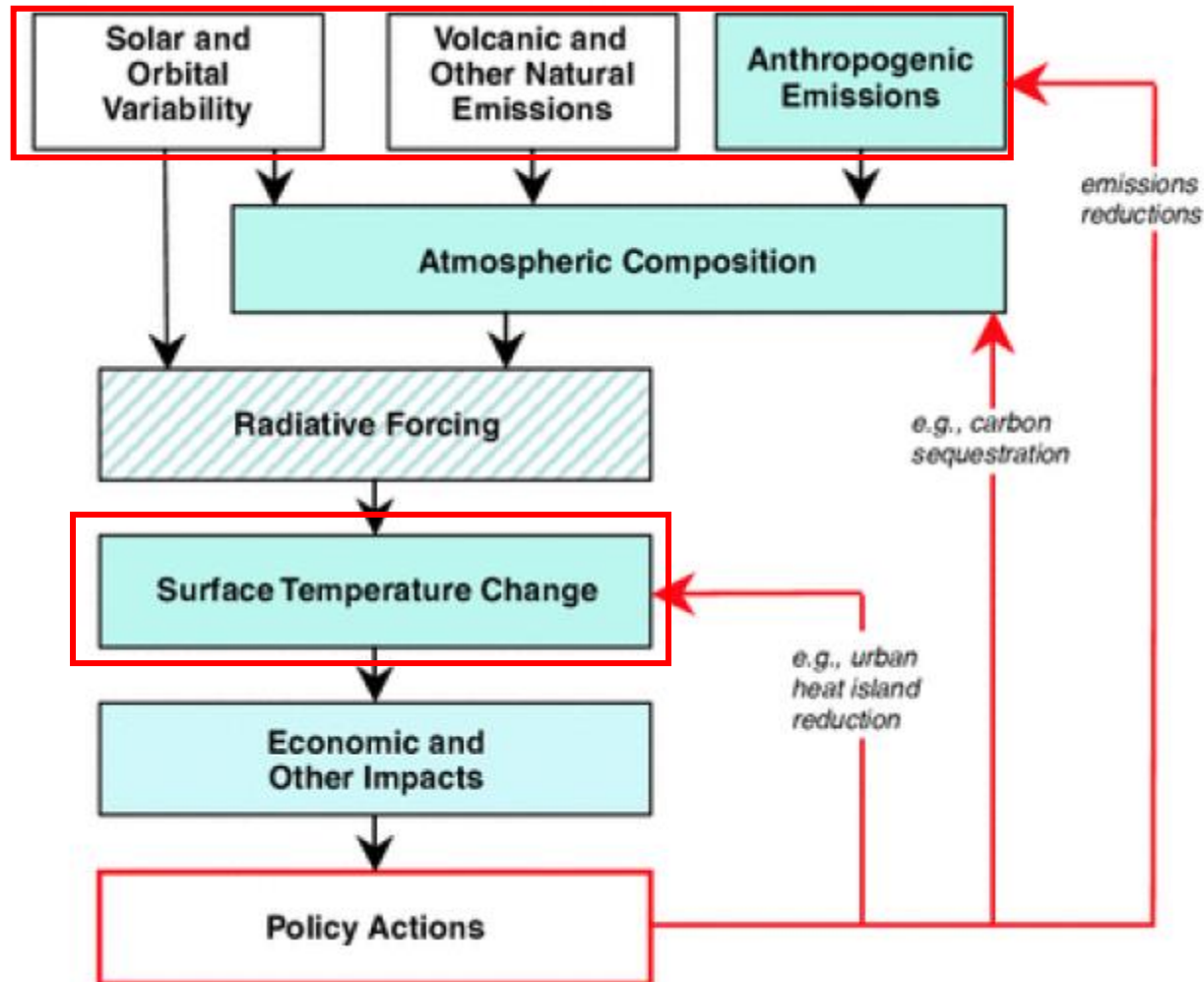
Η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα συνεχές φάσμα διεργασιών σε διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες

ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

- **1896:** Ο Σουηδός χημικός Svante Arrhenius υποστήριξε πως μεταβολές του CO_2 θα μπορούσαν να επηρεάσουν το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης και εκτίμησε πως οι βιομηχανικές εκπομπές θα μπορούσαν να προκαλέσουν παγκόσμια θέρμανση
- **1939:** Ο Βρετανός ερευνητής Guy Steward Callendar συνέδεσε την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του CO_2 για τα προηγούμενα 60 έτη

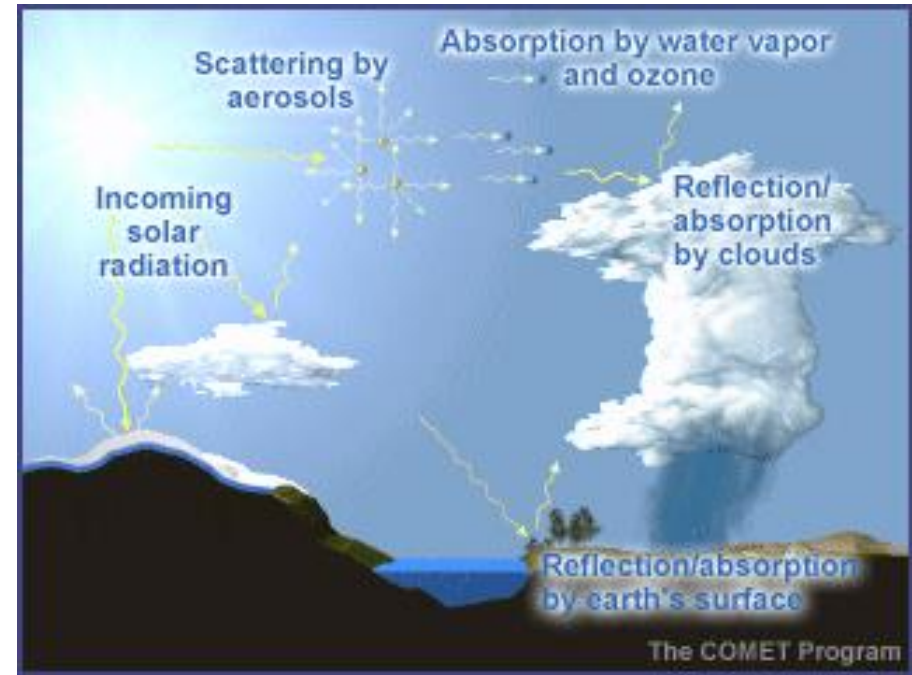


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ



ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΙ ΓΗΪΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Το σύνολο της ενέργειας που φτάνει στη Γη προέρχεται από τον Ήλιο
- Εισερχόμενη η ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα ένα μέρος της απορροφάται από το όζον και τους υδρατμούς και ένα άλλο μέρος της ανακλάται προς το διάστημα από τα νέφη και την επιφάνεια της Γης
- **Άμεση ηλιακή ακτινοβολία**: το μέρος της ακτινοβολίας που φτάνει απευθείας στην επιφάνεια της Γης
- Μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους ως **διάχυτη ακτινοβολία**
- Ανάλογα έχουμε την **ανακλώμενη** και την **γήϊνη** ακτινοβολία



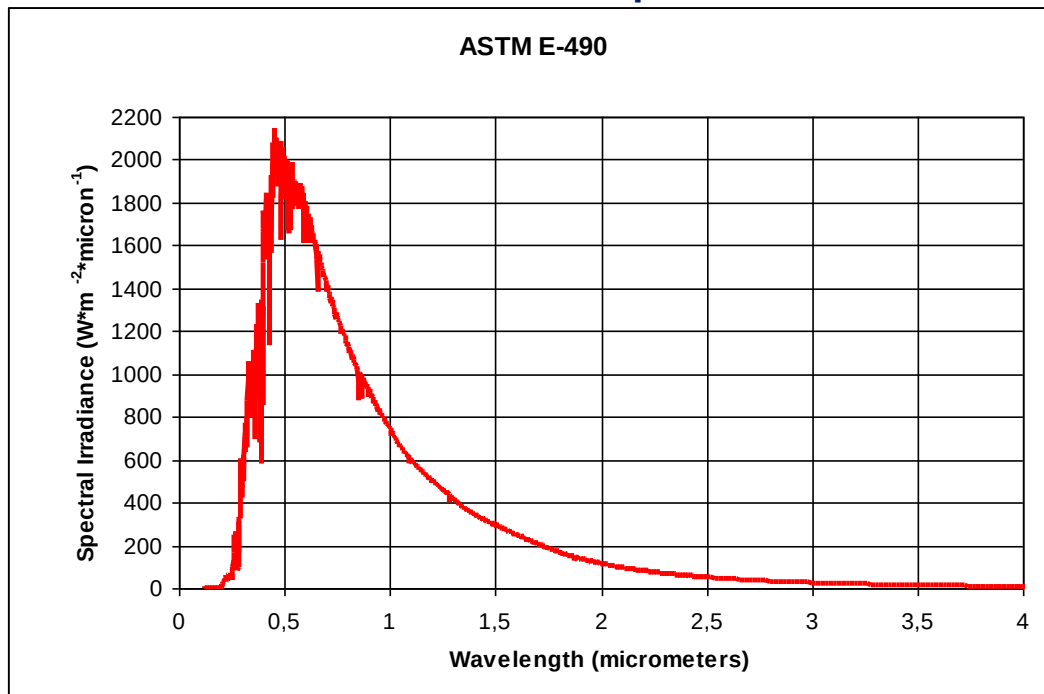
The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

ΦΑΣΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ηλιακή ακτινοβολία στο άνω όριο της
ατμόσφαιρας

**Ηλιακή Σταθερά = $1366,1 \text{ W m}^{-2}$
[SI unit]**

2000 ASTM Standard Extraterrestrial Spectrum Reference E-490-00

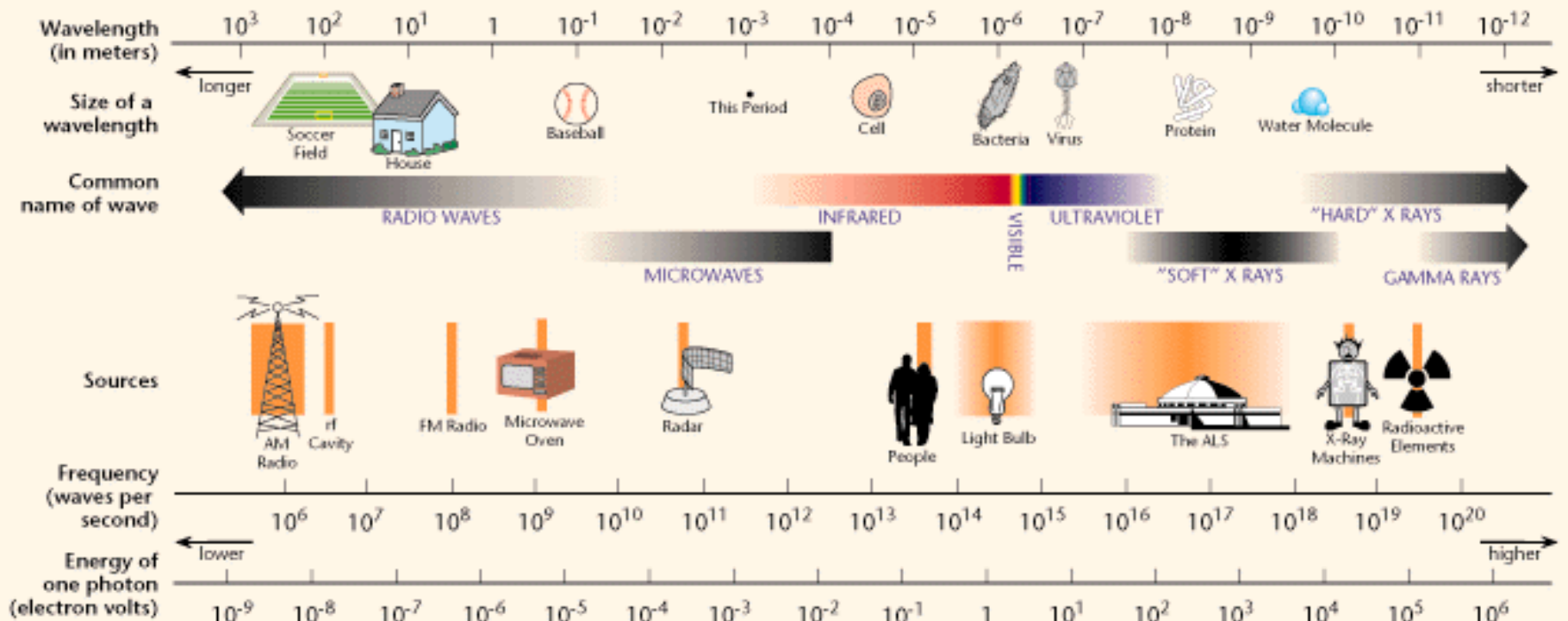


Ηλιακή ακτινοβολία στους Πλανήτες

Planet	Solar Irradiance, W m^{-2}		
	Mean	Perihelion	Aphelion
Mercury	9116,4	14447,5	6271,1
Venus	2611,0	2646,4	2575,7
Earth	1366,1	1412,5	1321,7
Mars	588,6	715,9	491,7
Jupiter	50,5	55,7	45,9
Saturn	15,04	16,76	13,53
Uranus	3,72	4,11	3,37
Neptune	1,510	1,515	1,507
Pluto	0,878	1,571	0,560

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

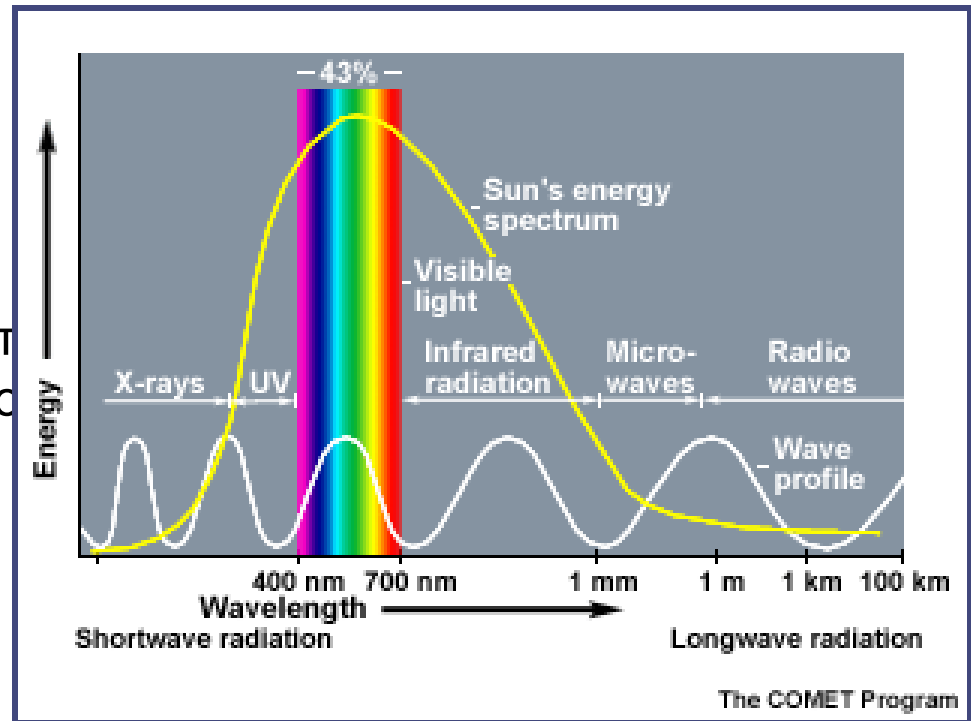
THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



Νόμος του Wien

- Για το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας ισχύει:
 $0.13\mu\text{m} < \lambda < 25\mu\text{m}$
- Από το νόμο του Wien προκύπτει πως το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας εντοπίζεται κοντά στα $\lambda = 0,50\mu\text{m}$
- Το **6%** περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται στο υπεριώδες, το **43%** βρίσκεται στο ορατό και το **51%** στο υπέρυθρο
- Το μέγιστο μήκος κύματος που εκπέμπει η επιφάνεια της γης είναι κοντά στα $10\mu\text{m}$

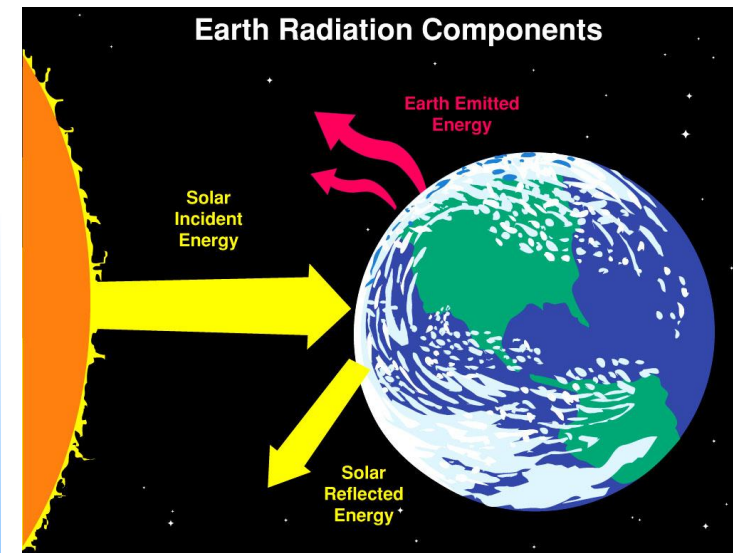
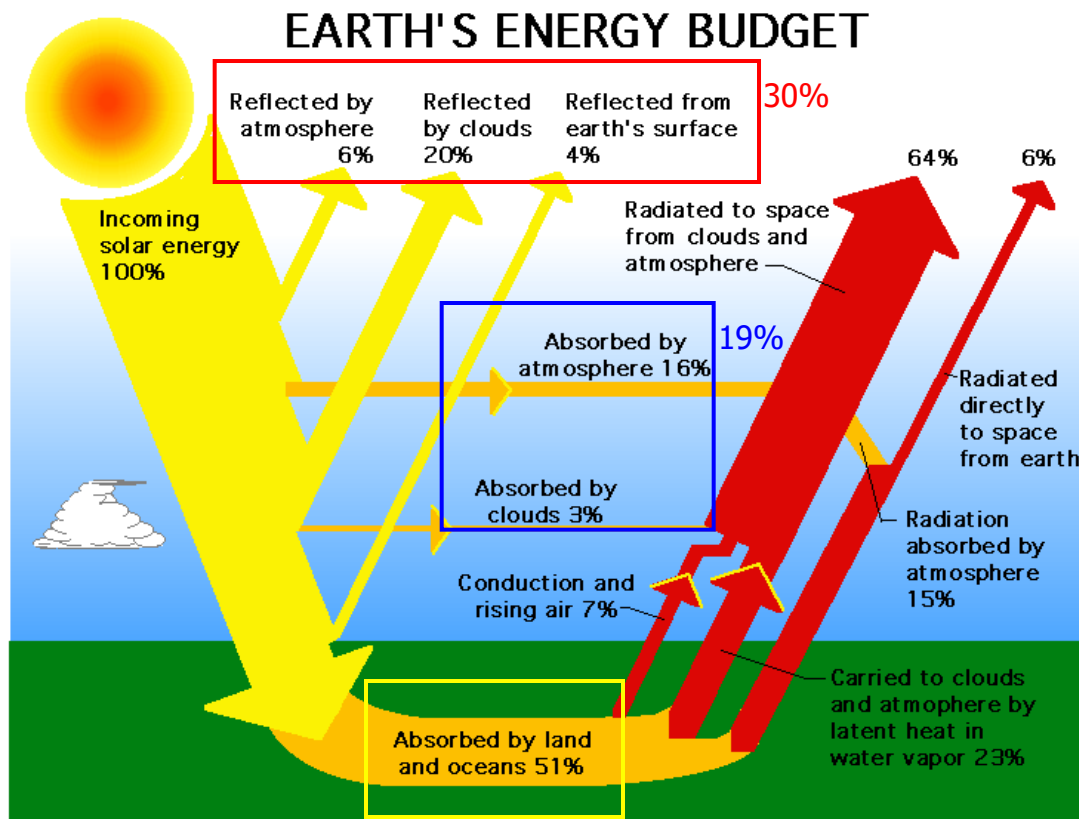
$$\lambda_m \cdot T = 2897.8 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$



The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΗ-ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

- Το 30% της εισερχόμενης στην ατμόσφαιρα ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται στο διάστημα
- Το 19% απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας
- Το υπόλοιπο 51% απορροφάται από την επιφάνεια της Γης



Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ποιά είναι η βασική πηγή ενέργειας στο σύστημα Γη–Ατμόσφαιρα;

Η ηλιακή ακτινοβολία

Από τις **100** μονάδες ενέργειας που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα συνεισφέρουν:

- 10^{-2} μονάδες οι ανθρώπινες δραστηριότητες
- 5×10^{-3} μονάδες το εσωτερικό της Γης
- 10^{-5} μονάδες τα άστρα
- Οι υπόλοιπες (περίπου **99,985** μονάδες) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από τον Ήλιο

Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

- Στην πράξη η Γη και η ατμόσφαιρα απορροφούν συνεχώς ηλιακή ακτινοβολία (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) ενώ παράλληλα εκπέμπουν τη δική τους στο διάστημα
- Η ηλιακή ακτινοβολία είναι της τάξης των $3,83 \times 10^{26} \text{ W}$ ενώ από αυτά το $1,8 \times 10^{16} \text{ W}$ φτάνει στα όρια της γήϊνης ατμόσφαιρας
- Σε ετήσια βάση η γη δέχεται ενέργεια ίση με $5,78 \times 10^{18} \text{ Joules}$ η οποία είναι 10πλάσια όλων των αποθεμάτων σε καύσιμα ενώ χρειάζεται 8 λεπτά για να διανύσει την απόσταση Ηλίου-Γης
- Η ακτινοβολία του Ήλιου είναι $2,6 \times 10^5$ φορές μεγαλύτερη από αυτήν της Γης όμως, σε βάθος χρόνου μπορούμε να πούμε ότι βρίσκεται σε ισορροπία ακτινοβολίας με το σύστημα Γη-Ατμόσφαιρα

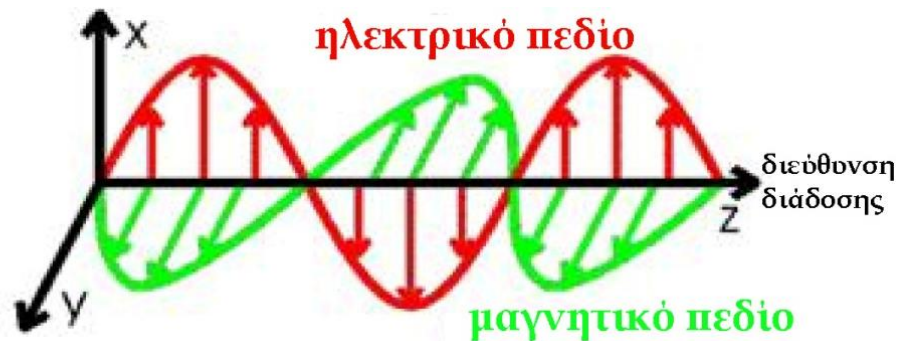
Γιατί συμβαίνει αυτό;

Διότι στο σύστημα φθάνει ένα πολύ μικρό κλάσμα της ηλιακής ενέργειας και έτσι σε μεγάλο χρονικό διάστημα η ενέργεια που εισέρχεται εξισορροπείται από την ενέργεια που εκπέμπεται

Η ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Κατά την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία του *Maxwell*, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται με τη μορφή ενός κύματος (ηλεκτρομαγνητικό κύμα)

Δύο συμφασικά πεδία (E & B) που μεταβάλλονται χωροχρονικά, διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός $c=3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (για το κενό), μεταφέροντας την ενέργεια του ηλεκτρικού (E) και του μαγνητικού πεδίου (B)



Θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής: $c = \lambda \cdot f$

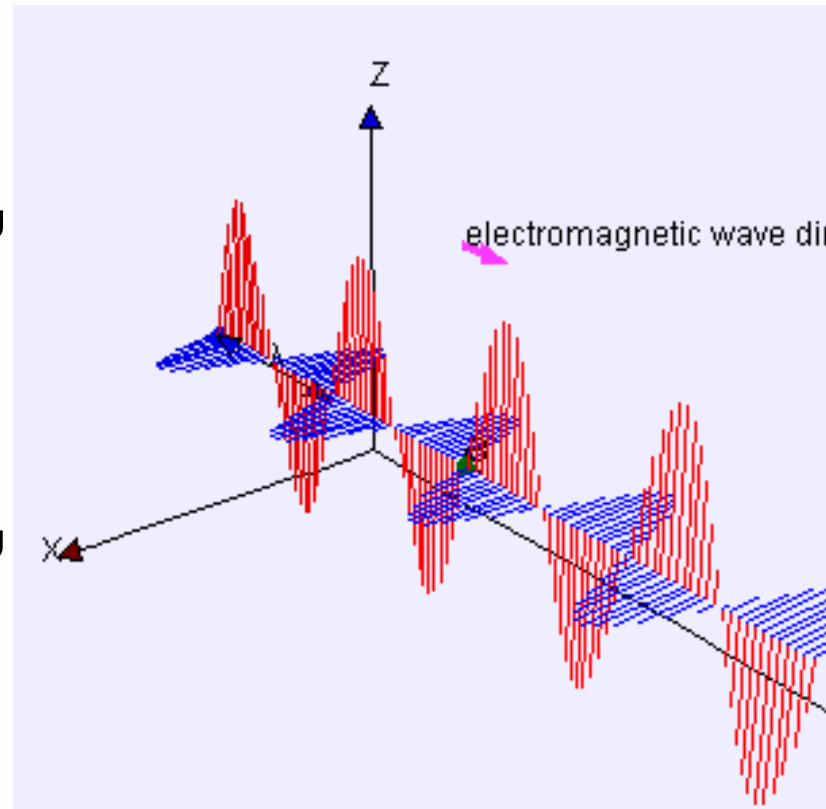
Όμως με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία δεν μπορούν να εξηγηθούν φαινόμενα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης

ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

$$E=E_0 \sin(k \cdot r - \omega \cdot t), B=B_0 \sin(k \cdot r - \omega \cdot t)$$

Όπου

- E_0, B_0 τα πλάτη του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα
- $f=1/T=c/\lambda$ (συχνότητα, s^{-1})
- $\omega=2\pi \cdot f$ (γωνιακή συχνότητα, $rad \cdot s^{-1}$)
- $k=\omega/c=2\pi/\lambda$ (κυματαριθμός, m^{-1})
- $r=(x,y,z)$ οι συντεταγμένες θέσης του διανύσματος (m)



ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ PLANCK

- Σύμφωνα με την κβαντική θεωρία του *Planck* από τα άτομα εκπέμπονται/απορροφώνται αδιαίρετα "πακέτα" που φέρουν ενέργεια και ορμή και ονομάζονται **φωτόνια ή κβάντα φωτός**
- Συνεπώς, από τα άτομα δεν εκπέμπονται/απορροφώνται με συνεχή τρόπο ηλεκτρομαγνητικά κύματα
- Το κάθε φωτόνιο χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη συχνότητα (*f*) και συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας (*E*)

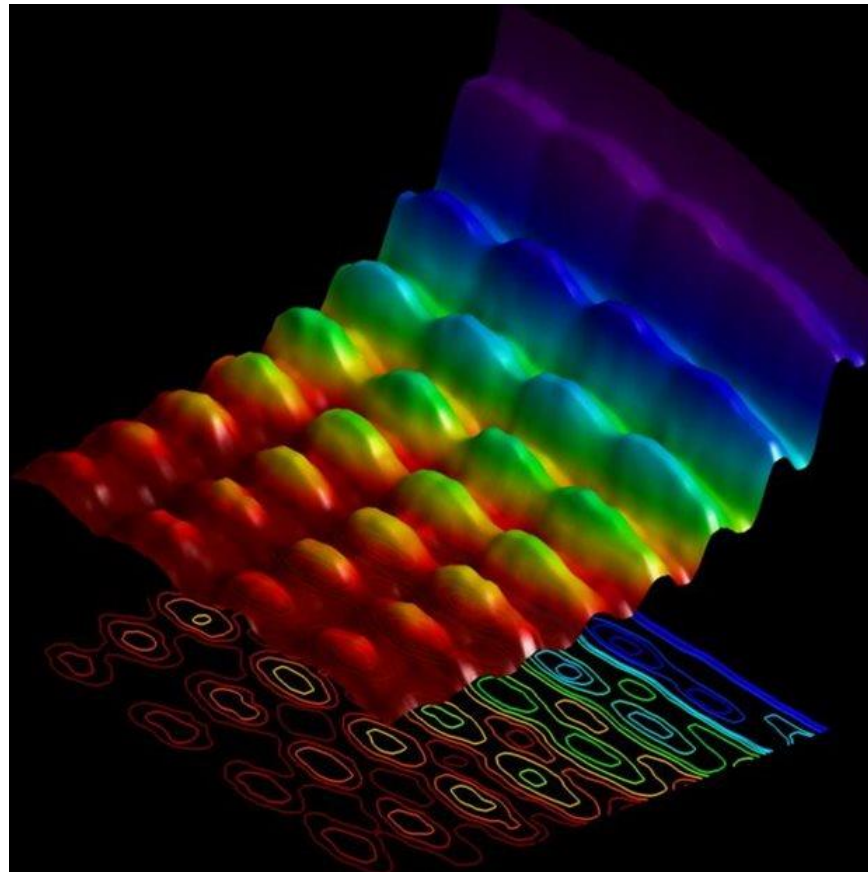
Ενέργεια φωτονίου

$$E = h \cdot f$$

$$h=6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

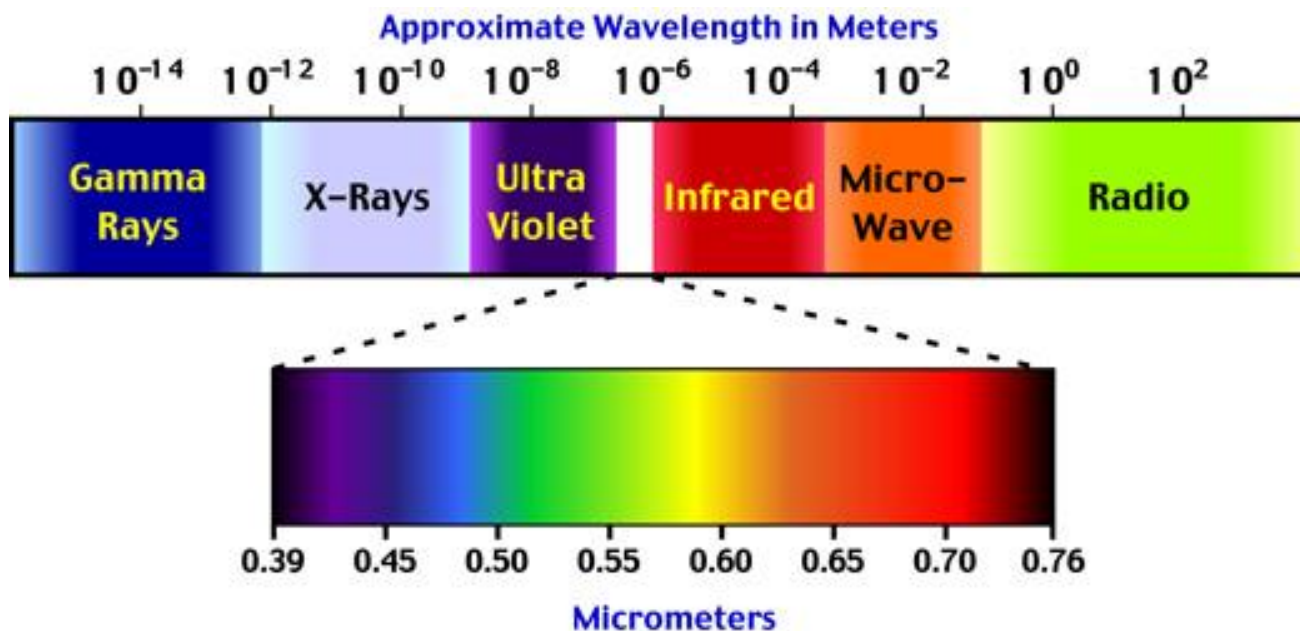
Η ΔΙΤΤΗ ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει **κυματικό** και **σωματιδιακό** χαρακτήρα
- Σε άλλα φαινόμενα η ακτινοβολία συμπεριφέρεται σαν κύμα (ηλεκτρομαγνητικό), ενώ σε άλλα φαινόμενα συμπεριφέρεται σαν σωματίδιο, το οποίο όμως έχει και κυματικές ιδιότητες



ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (I)

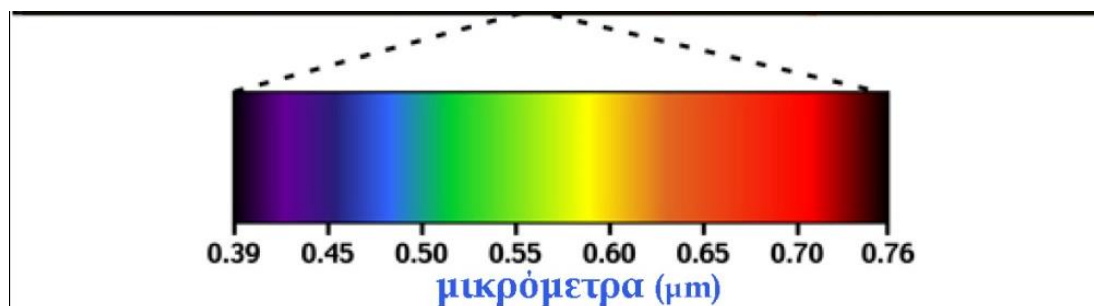
Το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε όλα τα δυνατά μήκη κύματος ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**



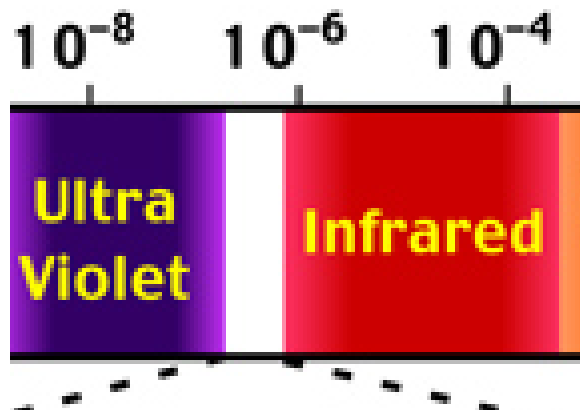
Σύνθεση ηλιακής ακτινοβολίας: το **50%** περίπου εμπίπτει στο υπέρυθρο, το **40%** περίπου βρίσκεται στην περιοχή του ορατού (0,4-0,7 μm) και περίπου το **10%** στο υπεριώδες ($\lambda < 0,4 \mu\text{m}$)

ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (II)

Ηλιακό φως: Το ορατό τμήμα του ηλιακού φάσματος από $0.39 \mu\text{m}$ (το κατώτερο) και $0.76 \mu\text{m}$ (το ανώτερο)



Ποιο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας μας ενδιαφέρει για την μελέτη της ατμόσφαιρας; Το τμήμα του φάσματος που εκτείνεται από $10^{-2} \mu\text{m}$ (10^{-8} m) έως $10^2 \mu\text{m}$ (10^{-4} m), δηλαδή από το υπεριώδες μέχρι και το υπέρυθρο



ΡΟΗ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ροή ακτινοβολίας (radiant flux): ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται η ενέργεια της ακτινοβολίας σε μονάδα ($\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ ή W). Για παράδειγμα η ροή ακτινοβολίας από τον Ήλιο είναι ίση με $3,83 \times 10^{26} \text{ W}$

Ολική ένταση ακτινοβολίας (irradiance): Το μέγεθος που προκύπτει αν διαιρεθεί η ροή ακτινοβολίας με το εμβαδό της περιοχής, μέσω της οποίας διαδίδεται και συμβολίζεται με το γράμμα E με μονάδα $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

Ολική ένταση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον εξωτερικό δίσκο του ήλιου: $6,33 \times 10^7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

Μονοχρωματική ένταση της ακτινοβολίας (E_λ): είναι η ένταση ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος

$$E = \int_0^{\infty} E_\lambda \cdot d\lambda$$

Ισότροπη ακτινοβολία: Η ακτινοβολία που έχει την ίδια ένταση και κυματική σύνθεση σε κάθε διεύθυνση του χώρου

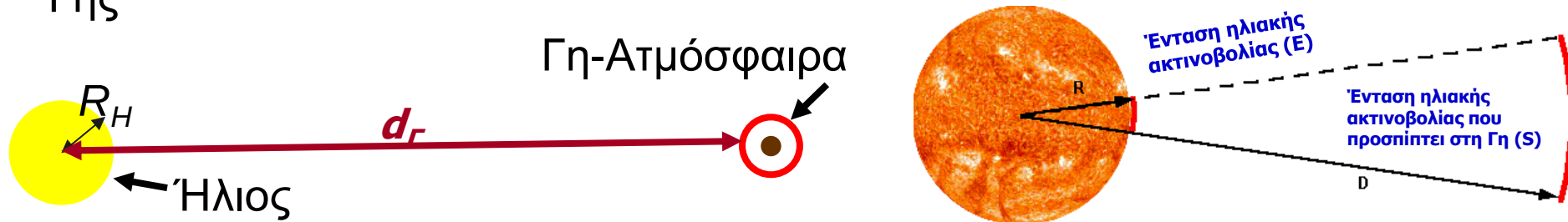
Όταν ισότροπη ακτινοβολία μήκους κύματος λ , προσπίπτει στην επιφάνεια ενός σώματος, ένα μέρος της **ανακλάται**, ένα άλλο μέρος της **απορροφάται** και το υπόλοιπο **διαδίδεται** μέσω του σώματος

ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ

Ολική απορροφητικότητα (A): Το τμήμα της ακτινοβολίας στο διάστημα μηκών κύματος $[\lambda, \lambda+d\lambda]$, που απορροφά ένα σώμα, ονομάζεται απορροφητικότητα και συμβολίζεται με A_λ . Η απορροφητικότητα εξαρτάται από τη **θερμοκρασία** και τη **φύση** του σώματος

$$A = \int_0^{\infty} A_\lambda \cdot d\lambda$$

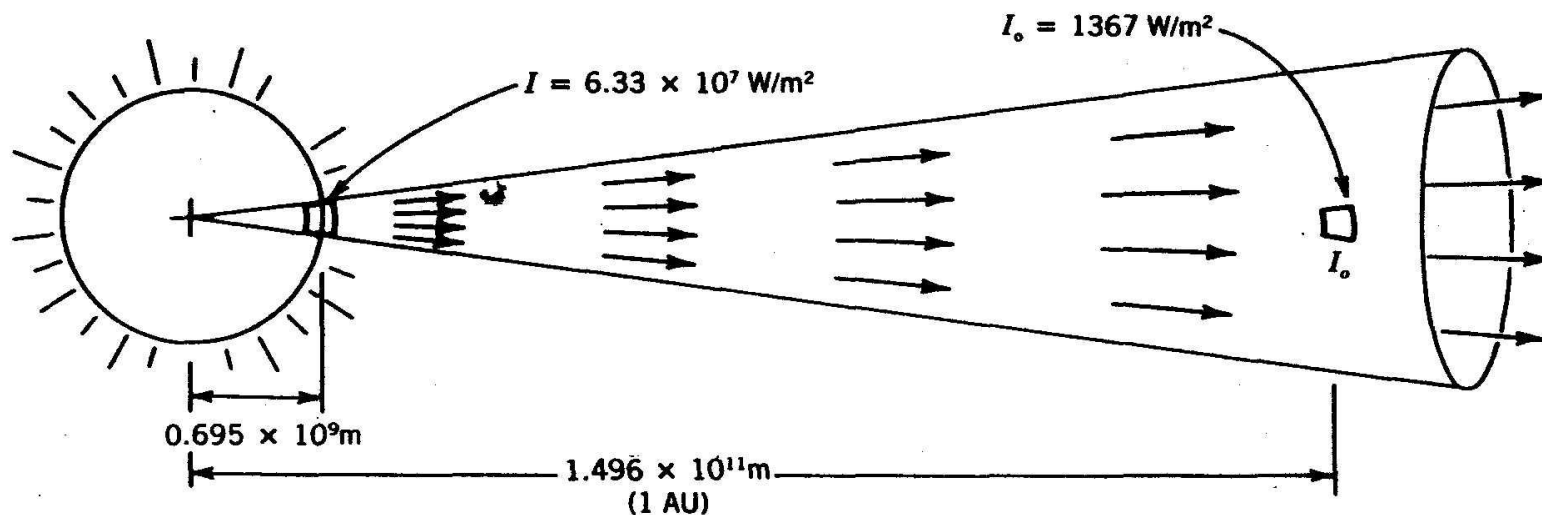
Ηλιακή σταθερά (S): Η μέση ηλιακή ισχύς (ολική ένταση) που προσπίπτει κάθετα ανά μονάδα επιφάνειας στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας της Γης



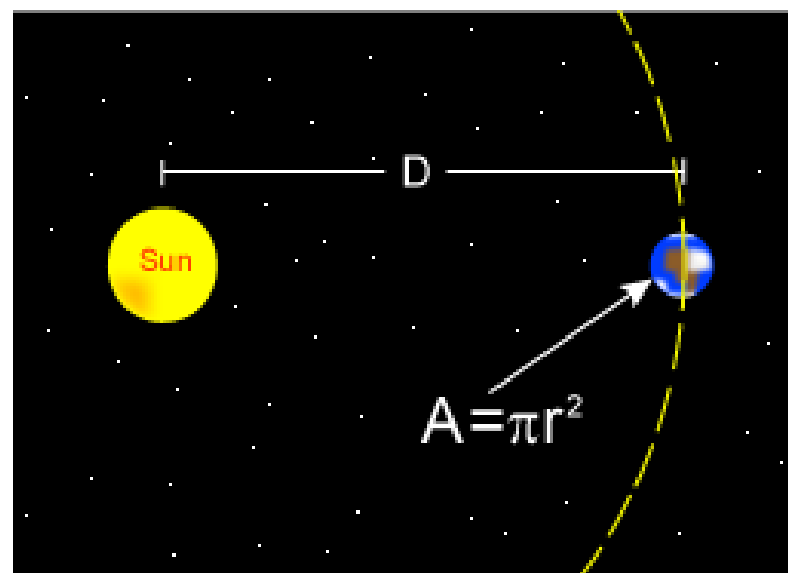
όπου $E=6,33 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $R_H=6,95 \times 10^8 \text{ m}$, $d_r=1,496 \times 10^{11} \text{ m}$

$$S = 1366,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

ΜΕΣΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ



$$\frac{S \cdot \pi \cdot R_{\text{Γ}}^2}{4\pi \cdot R_{\text{Γ}}^2} = \frac{1366,18}{4} \approx 341,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ “ΜΕΛΑΝΟΥ” ΣΩΜΑΤΟΣ (I)

Μελανό σώμα είναι ένα υποθετικό σώμα που μπορεί να εκπέμψει και να απορροφήσει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε όλο το φάσμα.

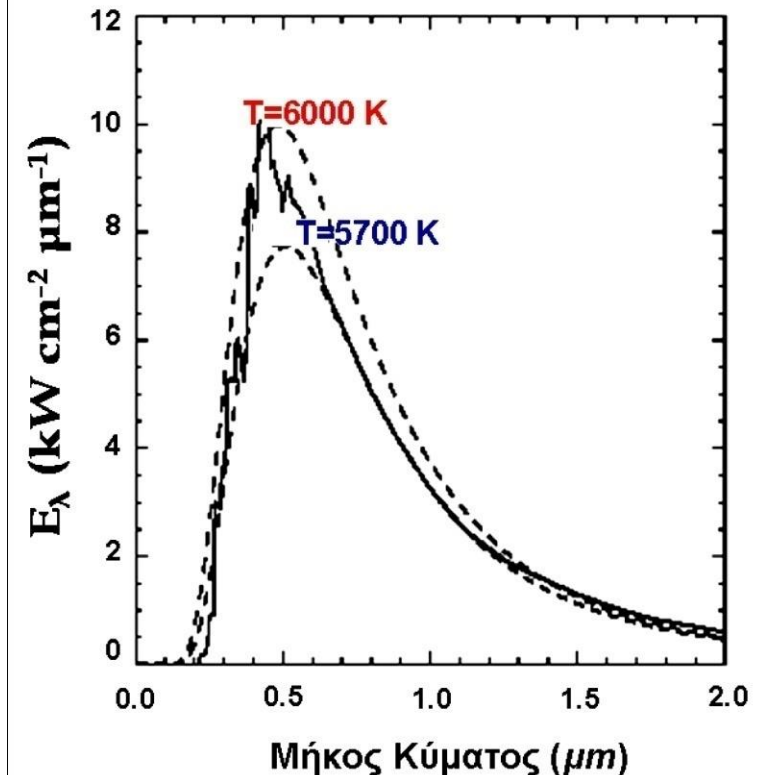
Ιδιότητες:

α) απορροφά το σύνολο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ($A_\lambda=1$)

β) εκπέμπει τη μέγιστη δυνατή ακτινοβολία, σε όλα τα μήκη κύματος και σε όλες τις κατευθύνσεις ($E_\lambda=1$)

Γιατί ενδιαφέρουν οι αρχές ακτινοβολίας του μελανού σώματος;

Διότι βρίσκουν εφαρμογή στην ηλιακή και γήινη εκπομπή ακτινοβολίας. Ο Ήλιος εκπέμπει περίπου σαν μελανό σώμα θερμοκρασίας 5800°K και η Γη σαν μελανό σώμα θερμοκρασίας 300°K .



ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ “ΜΕΛΑΝΟΥ” ΣΩΜΑΤΟΣ (II)

Αρχές ακτινοβολίας μελανού σώματος

- Είναι ισότροπη (ανεξάρτητη της διεύθυνσης διάδοσης) και εξαρτάται αποκλειστικά από την θερμοκρασία του σώματος
- Η ένταση της ακτινοβολίας δίνεται από το νόμο *Stefan – Boltzmann* όπου, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4})$ $E^* = \sigma \cdot T^4$
- Η μονοχρωματική ένταση ακτινοβολίας δίνεται από το νόμο του *Planck*

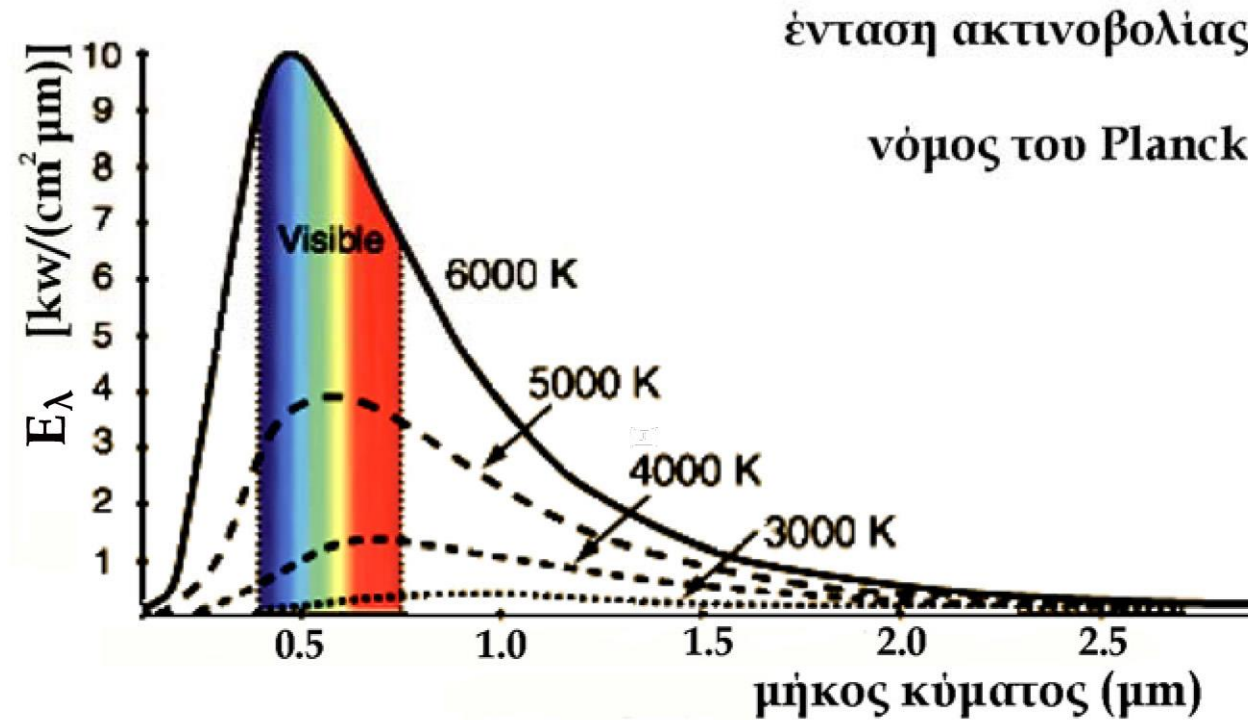
$$E_{\lambda}^* = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2 / \lambda \cdot T) - 1]} \quad , \quad c_1 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2 \text{ και } c_2 = 1,44 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Από την ολοκλήρωση της σχέσης του *Planck*, για όλα τα μήκη κύματος προκύπτει η σχέση των *Stefan-Boltzmann*

- *Νόμος του Wien*: $\lambda_{\max} \cdot T = 2897,8 \text{ } (\mu\text{m} \cdot \text{K})$

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ (III)

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ *PLANCK*



$$E_\lambda^* = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2/\lambda \cdot T) - 1]}$$

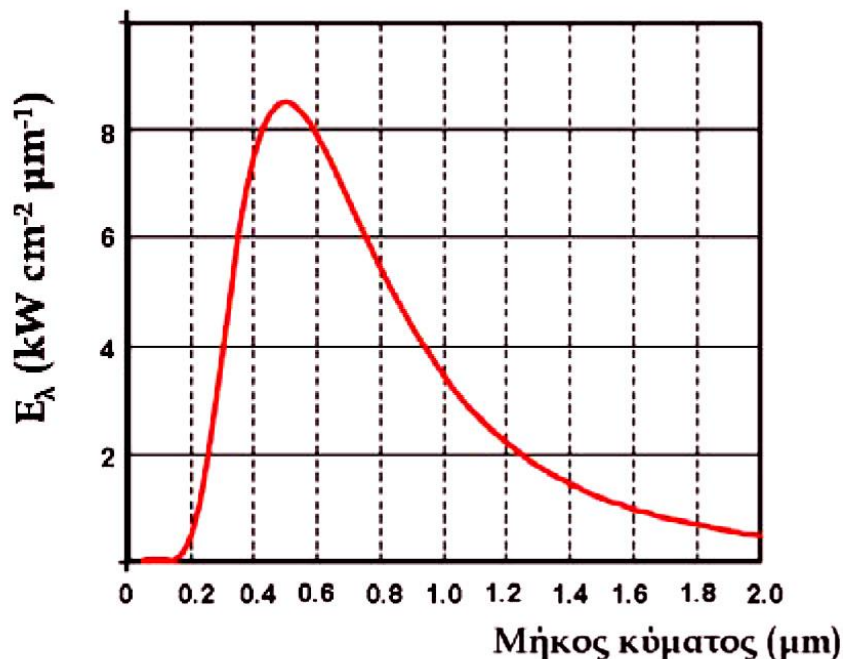
- Η εκπεμπόμενη ενέργεια αυξάνει μη γραμμικά με τη θερμοκρασία
- Αυξανόμενης της θερμοκρασίας T , αυξάνει και η συνολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία (νόμος Stefan – Boltzmann)
- Με αύξηση της θερμοκρασίας T το μέγιστο της κατανομής μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος (νόμος *Wien*)

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ (IV)

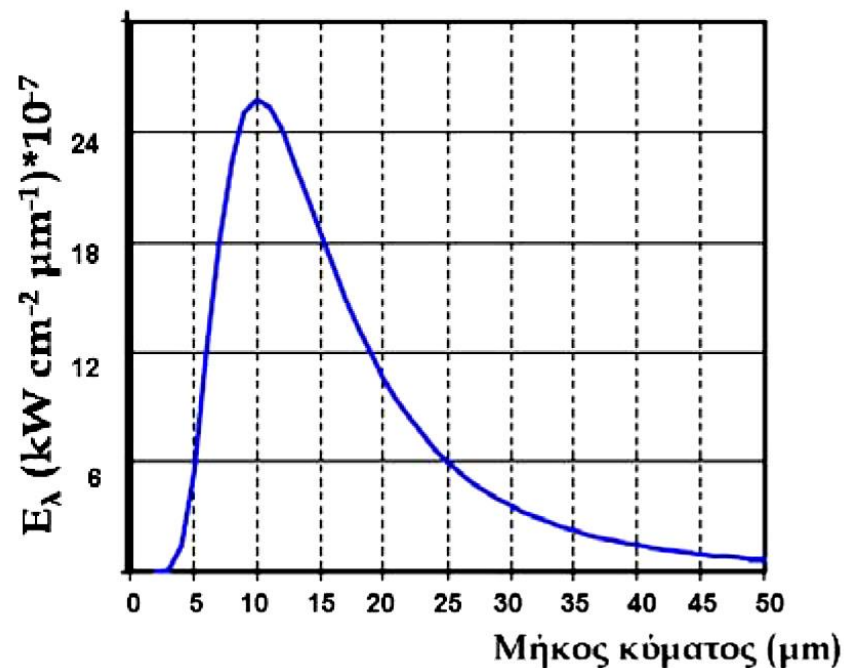
Σύμφωνα με το νόμο του *Wien* η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται στο ορατό και στο κοντινό υπέρυθρο με $\lambda < 4 \mu\text{m}$ (μέγιστο στα $\sim 0,5 \mu\text{m}$), ενώ το σύνολο της γήινης ακτινοβολίας (λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας) εμπίπτει στο μακρινό υπέρυθρο με $\lambda > 4 \mu\text{m}$ (μέγιστο στα $10 \mu\text{m}$).

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2897,8 \text{ (}\mu\text{m K)}$$

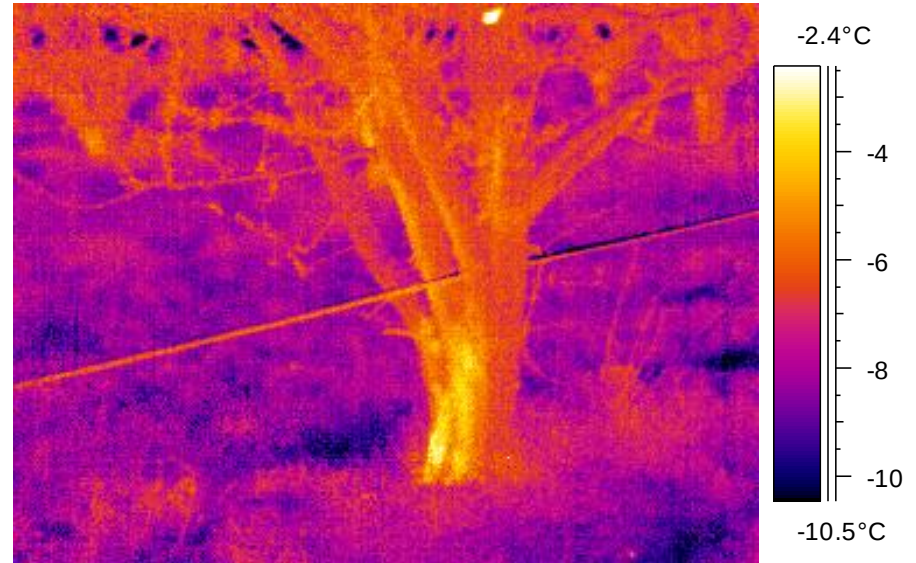
ΦΑΣΜΑ ΜΕΛΑΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 5800 K
ΟΛΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ: $6.34 \cdot 10^7 \text{ Wm}^{-2}$



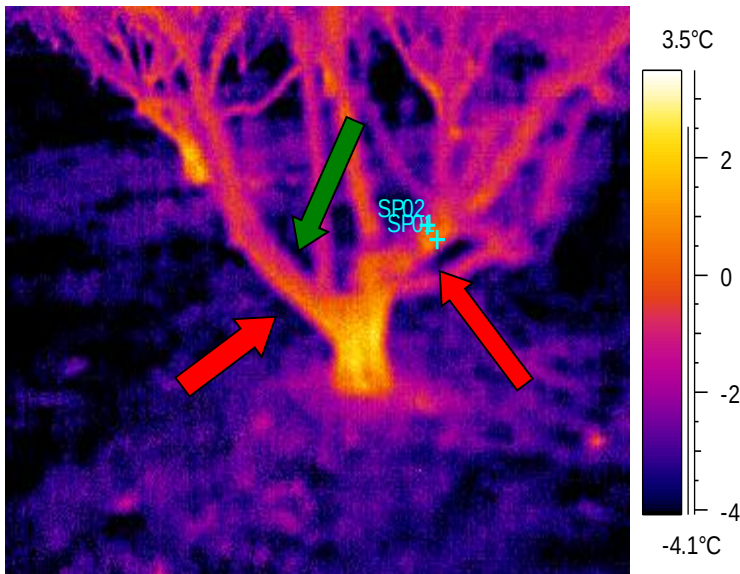
ΦΑΣΜΑ ΜΕΛΑΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 288 K
ΟΛΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ: 390 Wm^{-2}



ΟΡΑΤΟ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΘΡΟ ΦΑΣΜΑ



Απεικονίσεις στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα ακτινοβολιών

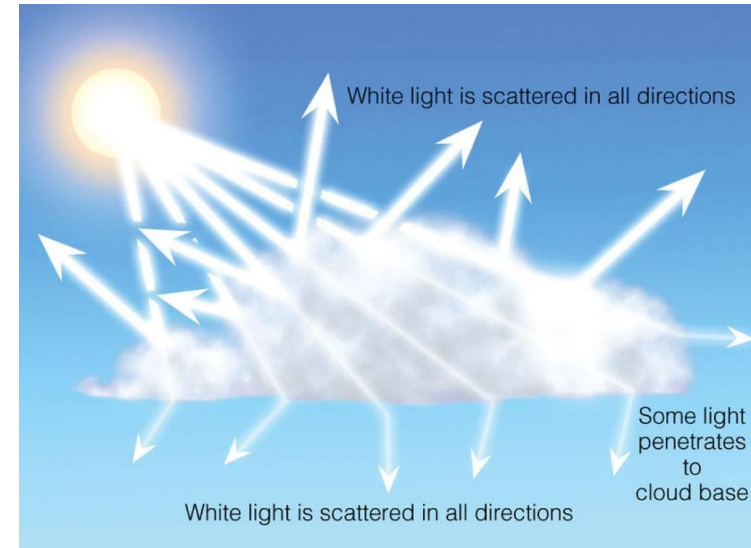


Διαφορά επιφανειακών
θερμοκρασιών στα
τμήματα κλαδιών λόγω
διαφορετικού
προσανατολισμού

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

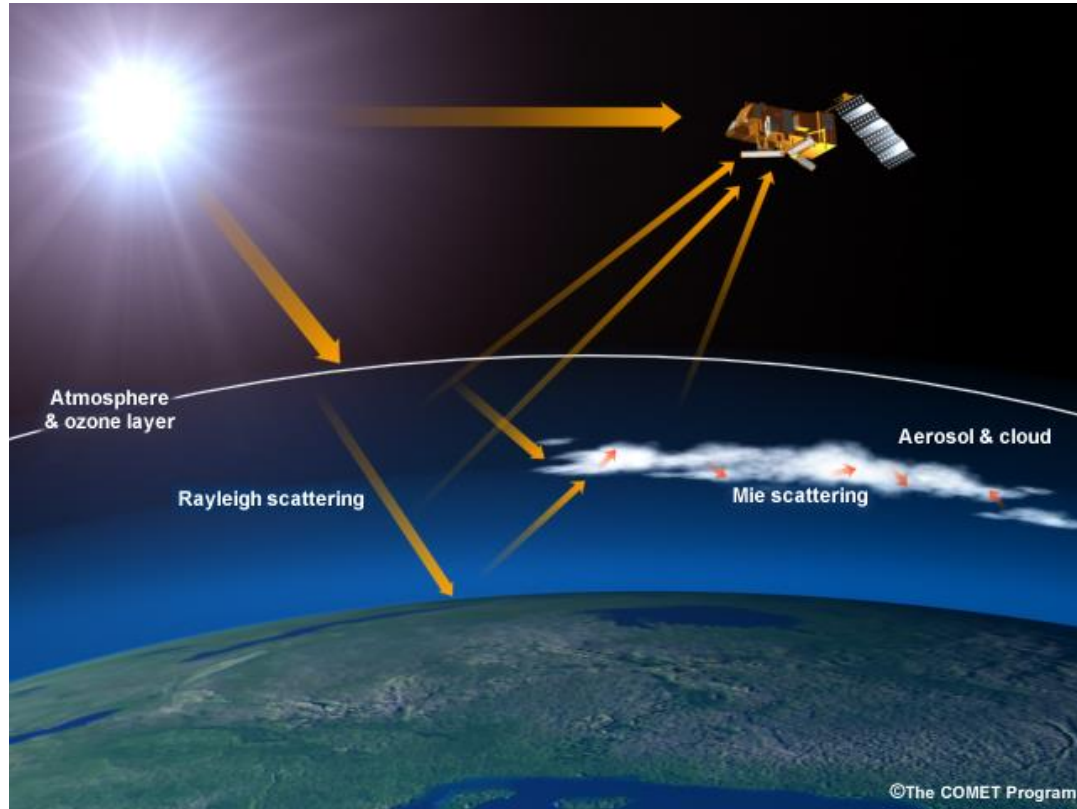
Η ακτινοβολία εξασθενεί από την σκέδαση, την ανάκλαση και την απορρόφηση. Οι 3 αυτές διεργασίες πραγματοποιούνται από τα μόρια και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας

- **Ανάκλαση (reflection):** Είναι η επιστροφή ενός τμήματος της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα. Πραγματοποιείται από σωματίδια μεγαλύτερα από $0,7 \mu\text{m}$
- **Σκέδαση-διάχυση (scattering-diffusion):** Είναι η αλλαγή στην διεύθυνση διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω πρόσπτωσης στα μόρια ή στα μικρά σωματίδια της ατμόσφαιρας. Δεν μεταβάλλεται η συχνότητα της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας
- **Απορρόφηση (absorption):** Είναι η μεταβολή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα από τα μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων



ΣΚΕΔΑΣΗ RAYLEIGH ΚΑΙ MIE

- Η σκέδαση **Rayleigh** δημιουργεί την διάχυτη ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα και σε αυτήν οφείλεται το γαλάζιο χρώμα του ουρανού και το κίτρινο του ηλίου
- Προέρχεται από σκέδαση σε σωματίδια μικρότερα του μήκους κύματος του ορατού ($<0,45\mu\text{m}$)
- Η σκέδαση από σωματίδια μεγαλύτερα από το μήκος κύματος του ορατού ($>0,75\mu\text{m}$) χαρακτηρίζεται ως σκέδαση **Mie**
- Σε αυτήν οφείλεται το λευκό/γκρι χρώμα των νεφών από τα σωματίδια του νερού



ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ακτινοβολία του μελανού σώματος είναι η μεγίστη ενέργεια που μπορεί να εκπέμπει ένα πραγματικό σώμα στη θερμοκρασία T . Για ένα οποιοδήποτε άλλο πραγματικό σώμα (φαιό σώμα) ορίζεται ένα νέο μέγεθος, η **ικανότητα εκπομπής (emissivity)**:

$$\varepsilon_{\lambda} = E_{\lambda} / E_{\lambda}^*$$

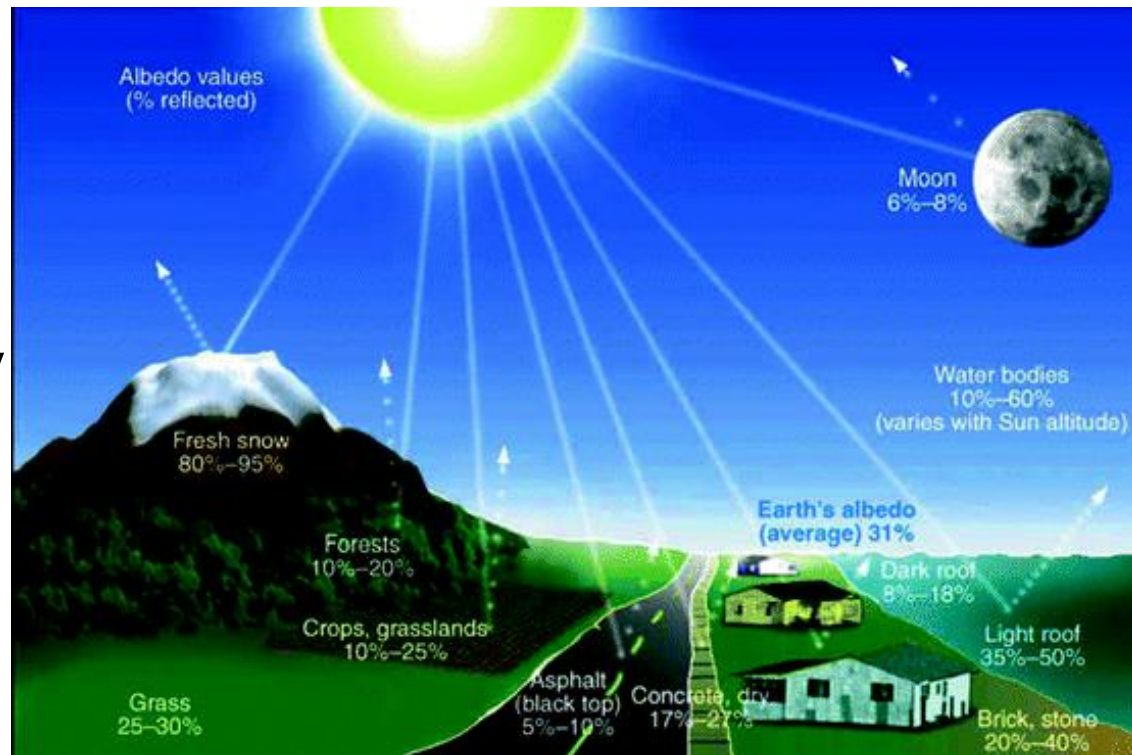
- **Ικανότητα εκπομπής** είναι το μέτρο του πόσο ισχυρά εκπέμπει ακτινοβολία ένα σώμα θερμοκρασίας T στο μήκος κύματος λ . Για το μελανό σώμα, η ικανότητα εκπομπής σ' όλα τα μήκη κύματος είναι ίση με τη μονάδα, ενώ για άλλα υλικά, το ε_{λ} , κυμαίνεται από 0 έως 1 και μπορεί να μεταβάλλεται με το μήκος κύματος
- **Ικανότητα απορρόφησης (A_{λ} , absorptivity)**: Το τμήμα της ακτινοβολίας στο διάστημα μηκών κύματος $[\lambda, \lambda + d\lambda]$, που απορροφά ένα σώμα. Η ικανότητα απορρόφησης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη φύση του σώματος
- **Νόμος του Kirckhoff**: Υλικά που έχουν υψηλή ικανότητα απορρόφησης σε ένα μήκος κύματος έχουν και υψηλή ικανότητα εκπομπής στο ίδιο μήκος κύματος. Για όλα τα σώματα η ικανότητα εκπομπής είναι ίση με την ικανότητα απορρόφησης $\varepsilon_{\lambda} = A_{\lambda}$

ΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- **Άμεση ηλιακή ακτινοβολία:** είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια που είναι κάθετη προς τις ηλιακές ακτίνες, όταν απομονωθεί μια λεπτή δέσμη ακτίνων (60%)
- **Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία:** είναι το σύνολο της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας που προσπίπτει σε στοιχειώδη οριζόντια επιφάνεια, όταν η επιφάνεια προστατεύεται από τις ακτίνες της άμεσης ακτινοβολίας. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται από σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (40%)
- **Ολική ηλιακή ακτινοβολία:** είναι το άθροισμα της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια
- **Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία:** είναι το ποσοστό της ολικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας χωρίς μεταβολή του μήκους κύματος
- **Καθαρή ακτινοβολία:** είναι η διαφορά μεταξύ όλων των εισερχόμενων και όλων των εξερχόμενων ροών ακτινοβολίας ανεξαρτήτως μήκους κύματος (γήινη και ηλιακή) σε οριζόντια επιφάνεια

ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ALBEDO

- **Albedo** είναι η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από μια επιφάνεια
- Υπολογίζεται ως ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας (ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος) που ανακλάται από μια επιφάνεια προς την συνολική εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία
- Εκφράζεται ως ποσοστό ή δεκαδική τιμή, με το **100% ή 1,00** να είναι πλήρης ανάκλαση και το **0** να αντιστοιχεί σε πλήρη απορρόφηση
- Τα λευκά αντικείμενα, όπως ένας χιονισμένος λόφος, έχουν υψηλό albedo (**80-90%**) ενώ τα σκοτεινά αντικείμενα, όπως η άσφαλτος, έχουν χαμηλό (**5-10%**)
- Η ανακλώμενη ακτινοβολία διατηρεί την **ίδια διεύθυνση** και **μήκος κύματος** με την προσπίπτουσα



ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ (I)

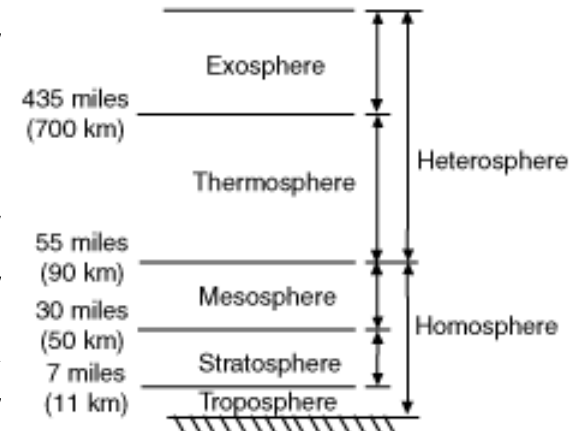
- Στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (από 20 km και πάνω) απορροφάται κυρίως η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία ($0,1 < \lambda < 0,37 \mu m$) από το O_3 και το ατομικό O
- Στην επιφάνεια της γης δεν φθάνει ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο από 0,29 μm
- Στην τροπόσφαιρα την ηλιακή ακτινοβολία την απορροφούν το CO_2 , οι υδρατμοί, το O_2 και το NO_2
- Απορρόφηση έχουμε επίσης από υδροσταγόνες, παγοκρυστάλλους καθώς και από αερολύματα

Γενικά: η ακτινοβολία με την περισσότερη ενέργεια (μικρά μήκη κύματος) θα απορροφηθεί γρήγορα από άτομα ή μόρια που θα γίνουν ιόντα ή θα διασπαστούν. Η ακτινοβολία με την μικρότερη ενέργεια θα διεισδύσει βαθύτερα, μέχρι να βρει αέρια σε αρκετή συγκέντρωση ικανά να την απορροφήσουν

ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

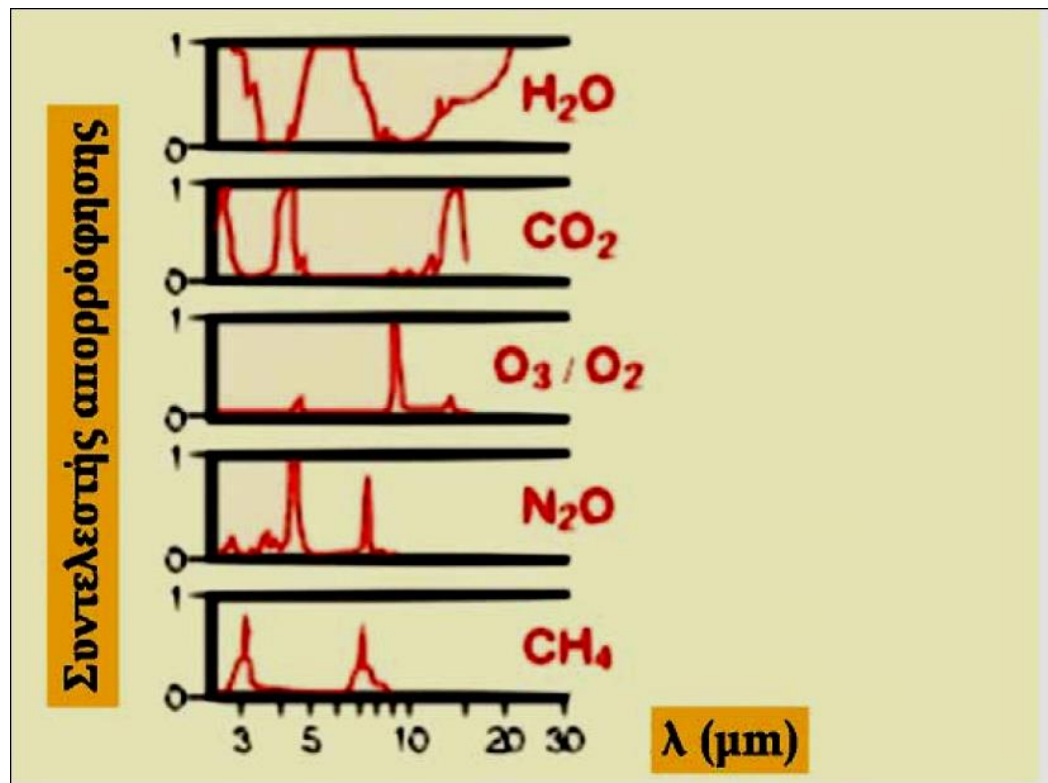


- Οι παραπάνω φωτοχημικές δράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλουν την σύσταση στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας
- Σε συνδυασμό με την διαδικασία της διάχυσης έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβλητή σύσταση της ανώτερης ατμόσφαιρας (ετερόσφαιρα), σε αντίθεση με την ομοιόμορφη σύσταση της ατμόσφαιρας κάτω από τα 90 km (ομοιόσφαιρα)



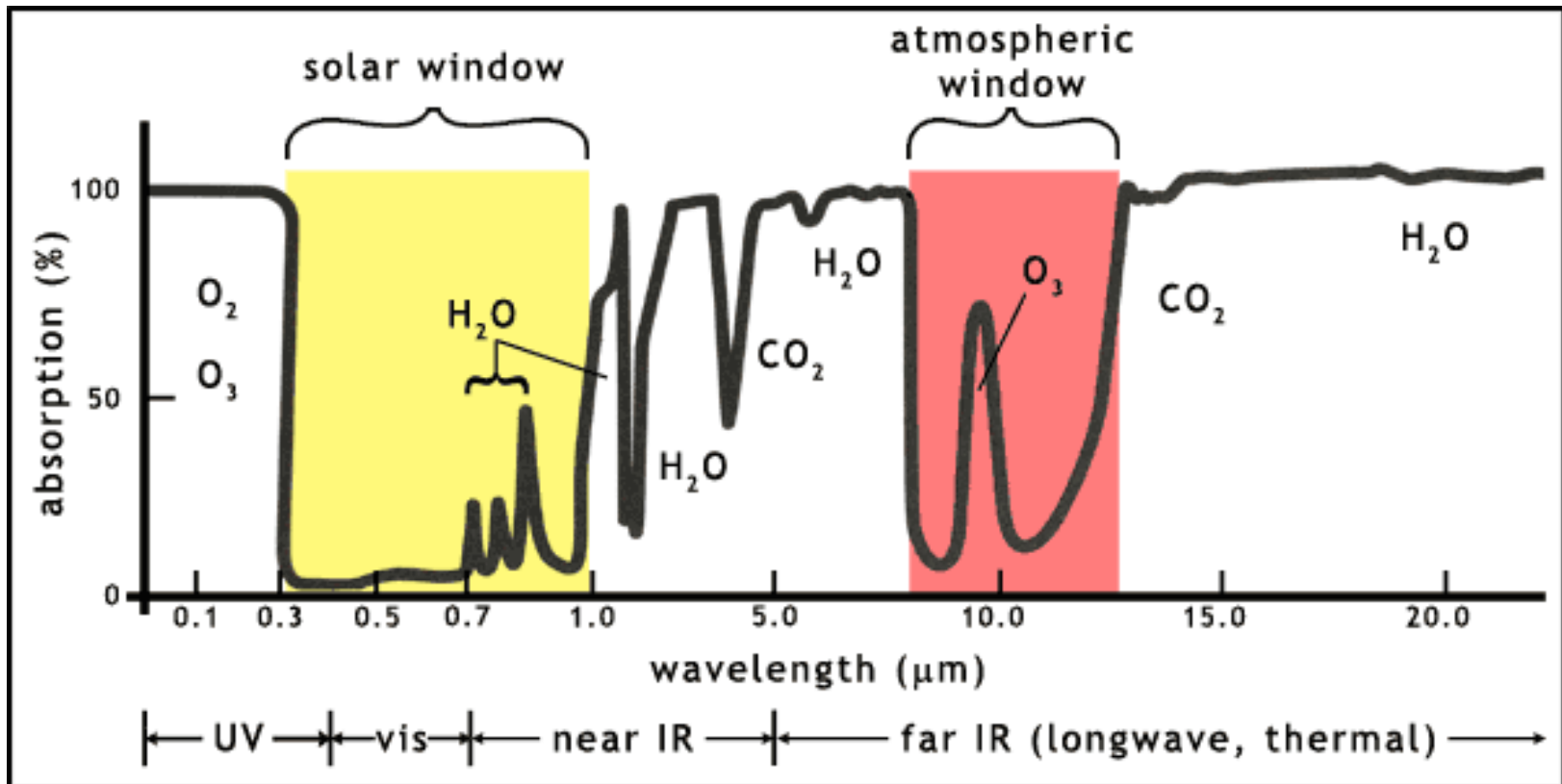
ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΪΝΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

- Η Γη και η ατμόσφαιρά της συμπεριφέρονται ως **φαιά σώματα** που πλησιάζουν όμως κατά πολύ τα **μελανά σώματα** (ικανότητα εκπομπής από 0,85 έως 0,99 κατά περίπτωση)
- Σημαντικοί απορροφητές της Γήινης ακτινοβολίας:
 H_2O , CO_2 , O_3/O_2 , CH_4 , N_2O



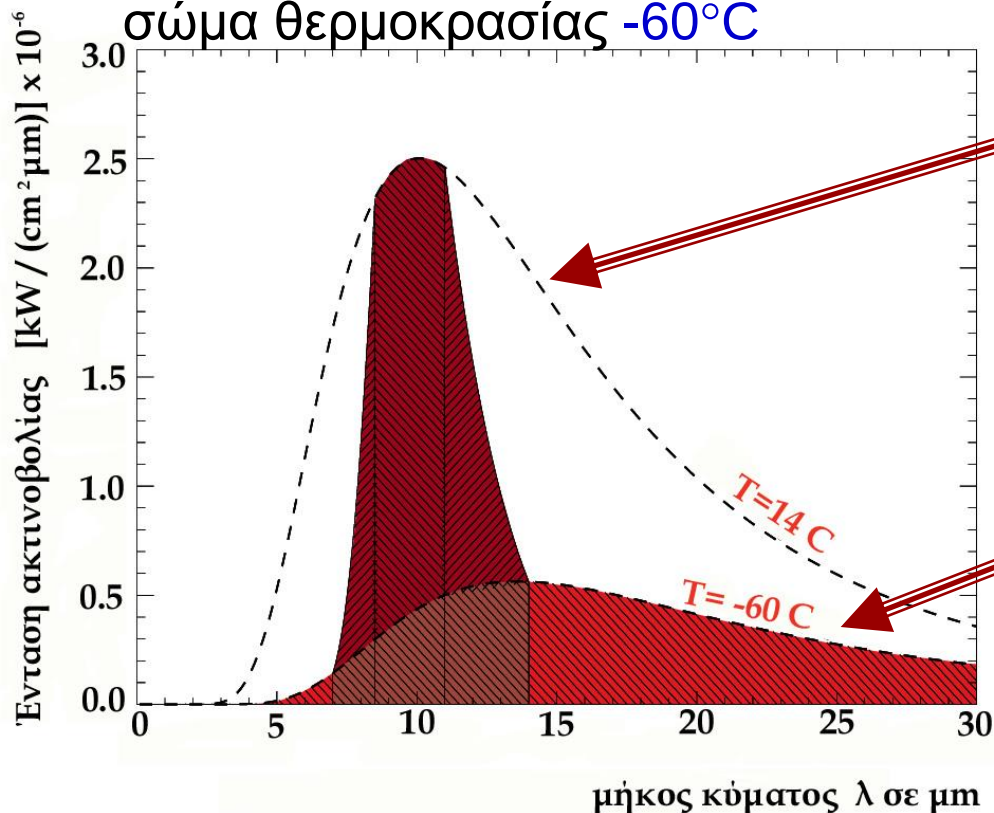
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ

Υπάρχει μια ζώνη ακτινοβολιών ($7,0 < \lambda < 14 \mu\text{m}$) που δεν τις απορροφά κανένα από τα αέρια της ατμόσφαιρας εκτός του O_3 (στην ανώτερη ατμόσφαιρα). Για τις ακτινοβολίες αυτές η ατμόσφαιρα είναι διαφανής. Λειτουργεί δηλαδή σαν ένα ανοιχτό παράθυρο που επιτρέπει στην ακτινοβολία να περάσει χωρίς απορρόφηση



ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΓΗΪΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Υποθέτοντας ότι η επιφάνεια του εδάφους βρίσκεται σε θερμοκρασία 14°C και συμπεριφέρεται περίπου σαν μελανό σώμα, τα νέφη ακτινοβολούν σαν μελανά σώματα, τότε η εκπομπή ακτινοβολίας από το έδαφος θα περνά αδιατάρακτη διαμέσου της ατμόσφαιρας μόνο στην περιοχή του ατμοσφαιρικού παράθυρου ($7 < \lambda < 14 \mu\text{m}$)
- Το τελευταίο ατμοσφαιρικό στρώμα βρίσκεται στο ύψος της τροπόπαυσης και η θερμοκρασία του είναι -60°C . Έτσι, στις περιοχές με $\lambda < 7 \mu\text{m}$ και $\lambda > 14 \mu\text{m}$ η ατμόσφαιρα εκπέμπει ενέργεια σαν μελανό σώμα θερμοκρασίας -60°C



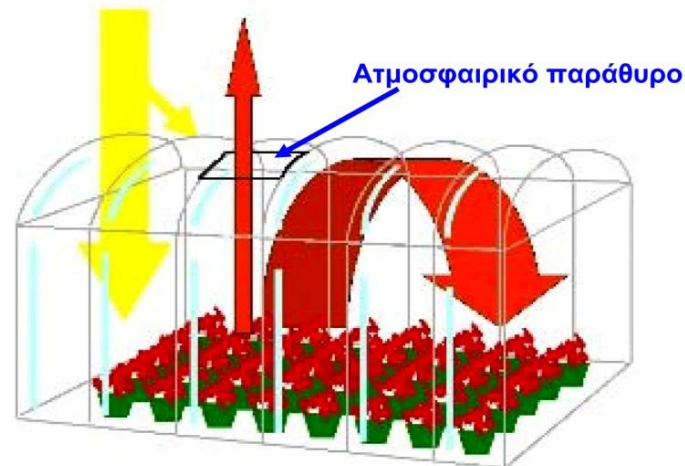
Ακτινοβολία μελανού σώματος
θερμοκρασίας $T=14^{\circ}\text{C}$

Ακτινοβολία μελανού σώματος
θερμοκρασίας $T=-60^{\circ}\text{C}$

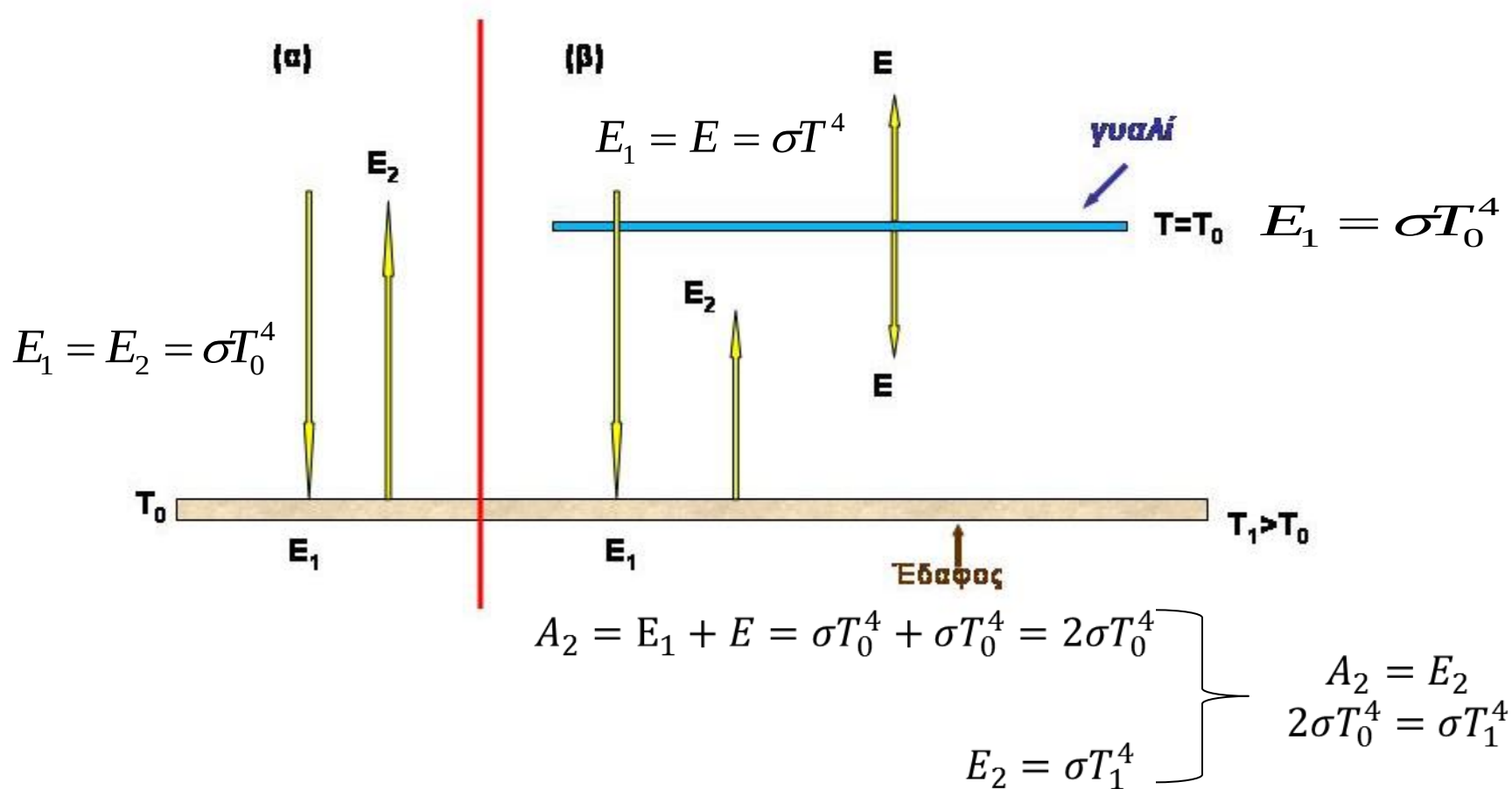
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ(I)

Θεωρώντας ένα απλοποιημένο παράδειγμα των συνθηκών μέσα σε ένα θερμοκήπιο πρέπει να υπάρχουν τρεις υποθέσεις:

- δεν υπάρχει απώλεια θερμότητας από το **έδαφος** προς τον αέρα (πρόκειται για εξαιρετικά απλοποιημένη παραδοχή),
- ο ρυθμός απώλειας θερμότητας από τα **επιφανειακά στρώματα του εδάφους** προς τα βαθύτερα, είναι πολύ μικρός και μπορεί να αγνοηθεί, και
- η ροή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από την **ατμόσφαιρα** προς το **θερμοκήπιο** είναι αμελητέα, σε σύγκριση με τη ροή της ηλιακής ακτινοβολίας και μπορεί να θεωρηθεί ίση με μηδέν



ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ(II)



$$T_1 = (2)^{\frac{1}{4}} T_0 = 1,19 T_0$$

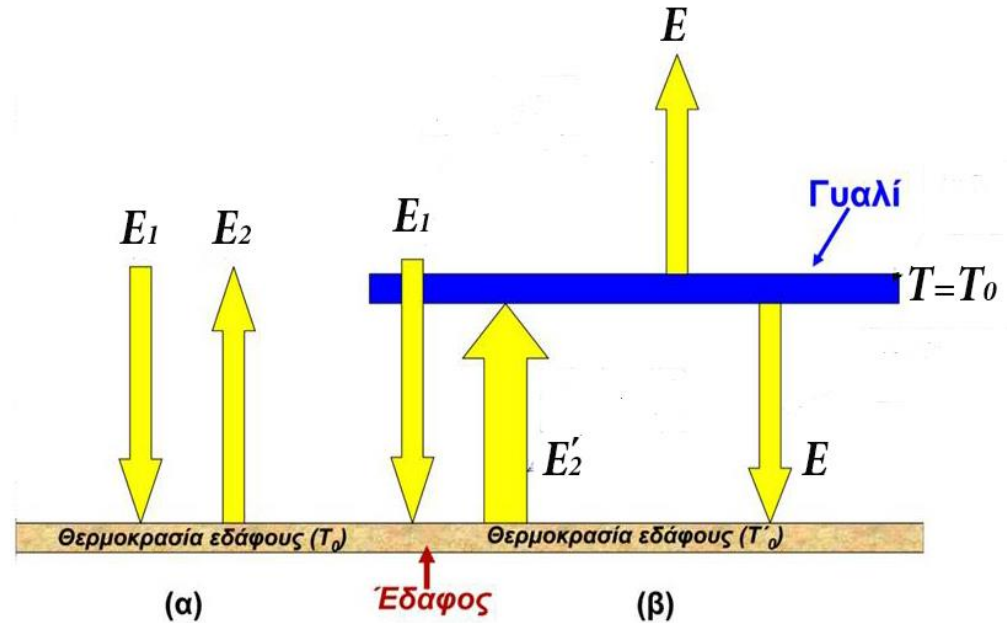
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ(III)

(α) χωρίς γυάλινη επιφάνεια

Η ηλιακή ακτινοβολία E_1 (μικρού μήκους κύματος) προσπίπτει στο έδαφος, το οποίο την απορροφά και εκπέμπει προς την ατμόσφαιρα γήινη ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος), που δίνεται από τη σχέση:

$$E_2 = \sigma T_0^4$$

Επειδή στο έδαφος υπάρχει ισοζύγιο ενέργειας, ισχύει:

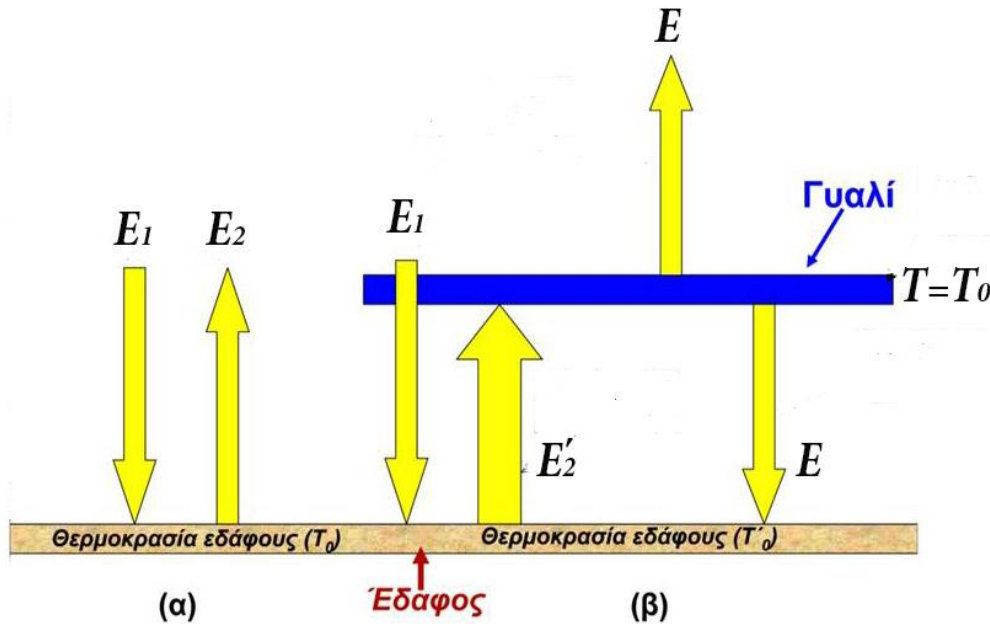


$$E_1 = E_2 \Rightarrow E_1 = \sigma T_0^4$$

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ(IV)

(β) με γυάλινη επιφάνεια

Το γυαλί θερμοκρασιακά αντιστοιχεί στη θέση του εδάφους της κατάστασης (α). Δηλαδή, η θερμοκρασία του $T=T_0$ (όση είχε το έδαφος πριν την τοποθέτηση της γυάλινης επιφάνειας), ενώ εκπέμπει ακτινοβολία E και προς τα πάνω και προς τα κάτω με θερμοκρασία $T=T_0$. Επομένως, $E = \sigma(T_0)^4$



Το έδαφος έχει θερμοκρασία T_0' . Δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία E_1 και την ακτινοβολία E από το γυαλί, ενώ εκπέμπει προς τα πάνω ακτινοβολία E_2' . Επειδή υπάρχει ισοζύγιο ενέργειας (ενεργειακή ισορροπία), ισχύει:

$$E_2' = E_1 + E \Rightarrow \sigma(T_0')^4 = \sigma T_0^4 + \sigma T_0^4 \Rightarrow \sigma(T_0')^4 = 2\sigma T_0^4 \Rightarrow$$

$$(T_0')^4 = 2T_0^4 \Rightarrow T_0' = \sqrt[4]{2}T_0 \Rightarrow T_0' = (2)^{1/4}T_0 \Rightarrow T_0' = 1,19T_0$$

Παράδειγμα: Έστω, $T_0=293 \text{ K}$ (20°C) $\Rightarrow T_0'=1,19 \cdot 293=348\text{K}$ (75°C)

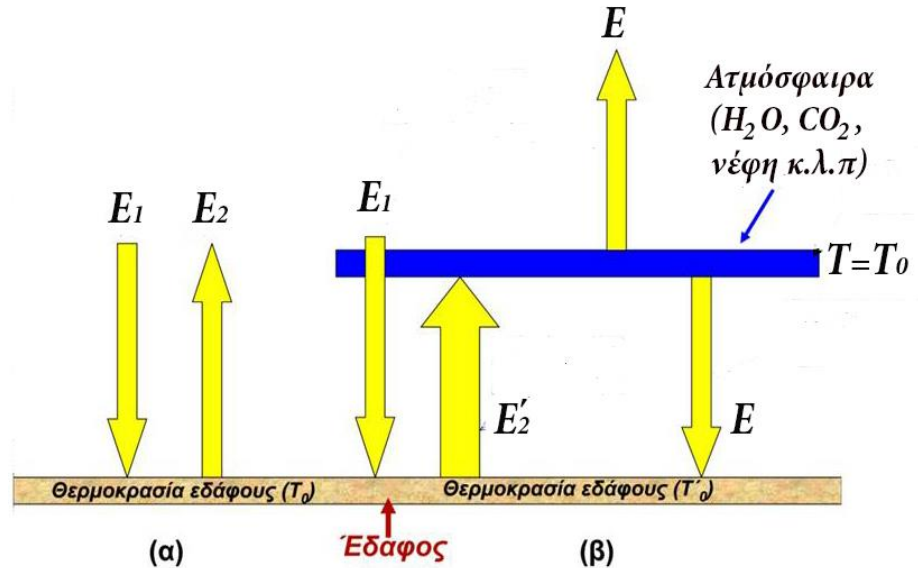
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΓΗ (I)

Ολική ένταση ηλιακής ακτινοβολίας:

$$S = 1366,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Μέση εισερχόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας (χωρίς ατμόσφαιρα):

$$(S \cdot \pi \cdot R_F^2) / (4\pi \cdot R_F^2) = S/4 \approx 341,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



Στην περίπτωση (α) χωρίς ατμόσφαιρα και από την ενέργεια (E_1), που απορροφάται από το έδαφος, μπορεί να υπολογισθεί η T_0

$$E_1 = 341,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \Rightarrow \sigma T_0^4 = 341,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \Rightarrow T_0 = 278 \text{ K} (\approx 5^\circ \text{C})$$

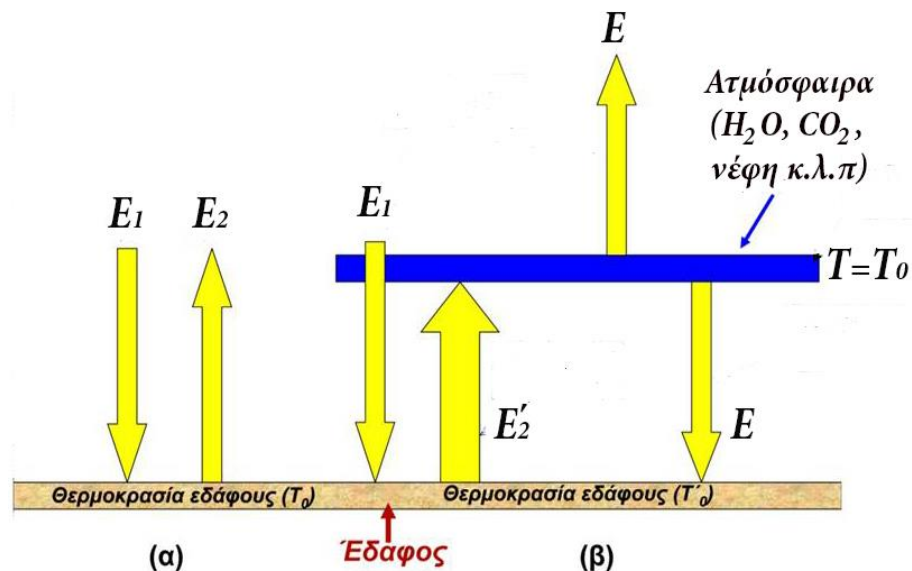
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΓΗ (II)

Ολική ένταση ηλιακής ακτινοβολίας:

$$S = 1366,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Μέση εισερχόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας (χωρίς ατμόσφαιρα):

$$(S \cdot \pi \cdot R_F^2) / (4\pi \cdot R_F^2) = S/4 \approx 341,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



Στην περίπτωση (β) με την παρουσία ατμόσφαιρας από την ενέργεια (E_1), που απορροφάται από το έδαφος, μπορεί να υπολογισθεί η T_0 . Λόγω ανακλαστικότητας της ατμόσφαιρας (albedo, $A=0,31$):

$$E_1 = (1 - A) \cdot 341,5 \approx 235,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \Rightarrow$$

$$\sigma T_0^4 = 235,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \Rightarrow T_0 = 253,9 \text{ K} (\approx -19^\circ \text{C})$$

Όμως, στην πραγματικότητα

για την επιφάνεια της γης

ισχύει:

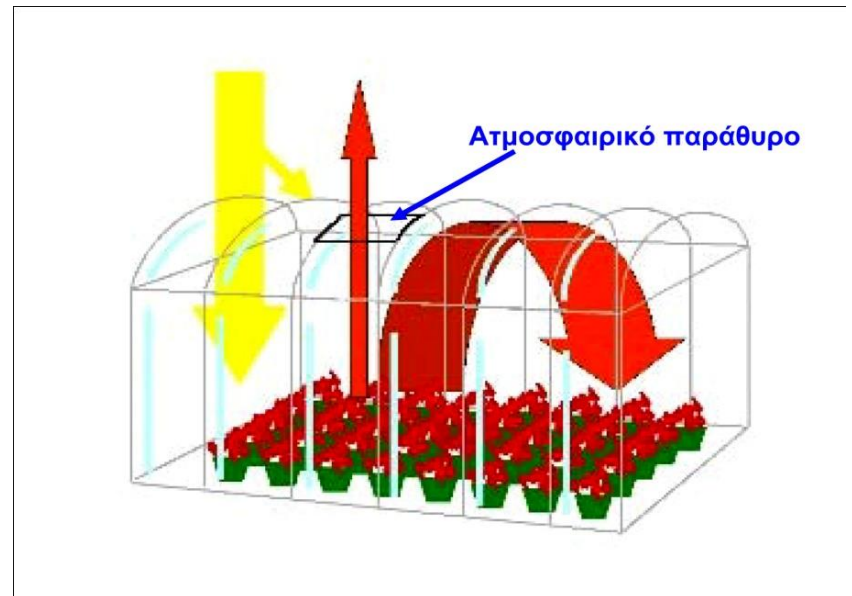
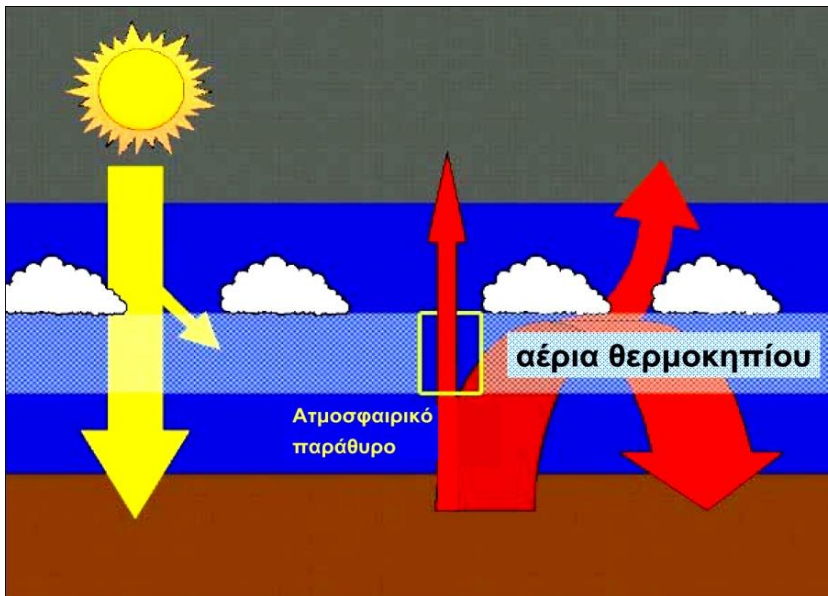
$$\sigma (T_0')^4 = 2\sigma \cdot T_0^4 \Rightarrow T_0' = 1,19 \cdot 253,9 \text{ K} = 303 \text{ K} (\approx 30^\circ \text{C})$$

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΓΗ (III)

- Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη, λόγω του ατμοσφαιρικού παράθυρου μεταξύ $7-14\ \mu\text{m}$, είναι τελικά περίπου 15°C
- Αν δεν υπήρχε η ατμόσφαιρα η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης θα ήταν περίπου -19°C , ενώ λόγω των ιδιοτήτων της ατμόσφαιρας φθάνει στους 15°C
- Το γυάλινο εμπόδιο είναι ικανό να δημιουργήσει μια σημαντική **αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους** και συνεπώς και του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο
- Οφείλεται στην **παγίδευση** της ακτινοβολίας από τη στιγμή που αυτή έχει αλλάξει από μικρού μήκους κύματος σε μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία
- Αυτό οφείλεται στο ότι το γυαλί είναι **διαφανές** στην ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος που εκπέμπει ο ήλιος και **αδιαφανές** στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπει η καλυμμένη επιφάνεια του εδάφους
- Το μέσο που μετασχηματίζει την ενέργεια είναι το **έδαφος**

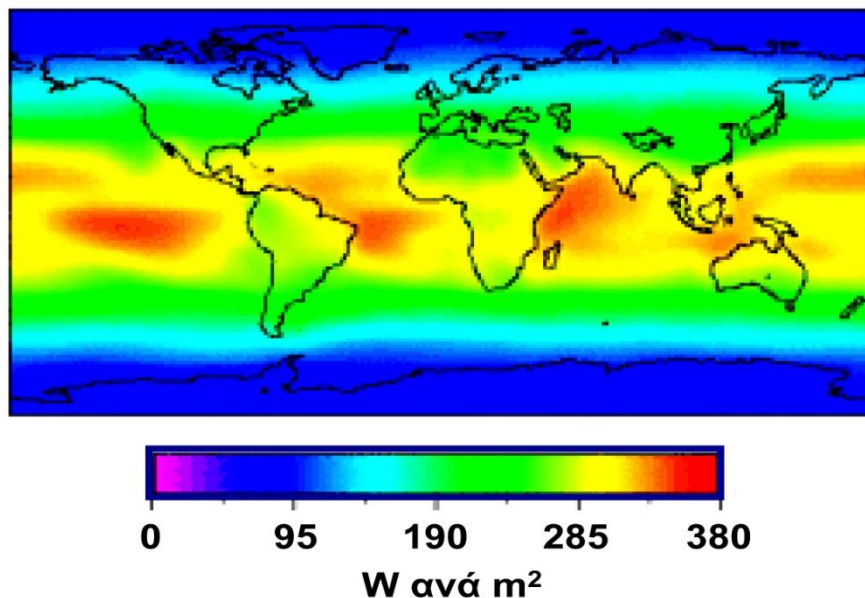
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΓΗ (IV)

- Η σπουδαιότητα του φαινομένου ξεπερνά την απλή εφαρμογή στα γεωργικά θερμοκήπια και εφαρμόζεται στην γενική επίδραση της παρουσίας της ατμόσφαιρας στην θερμοκρασία της Γης. Είναι όμως πιο πολύπλοκο πρόβλημα.
- Η ατμόσφαιρα δεν είναι μελανό σώμα για ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (όπως το γυαλί)
- Η μάζα της δεν είναι συγκεντρωμένη σ' ένα λεπτό στρώμα με ίδια θερμοκρασία , αλλά επεκτείνεται σε μεγάλα ύψη και η θερμοκρασία της είναι συνάρτηση του ύψους

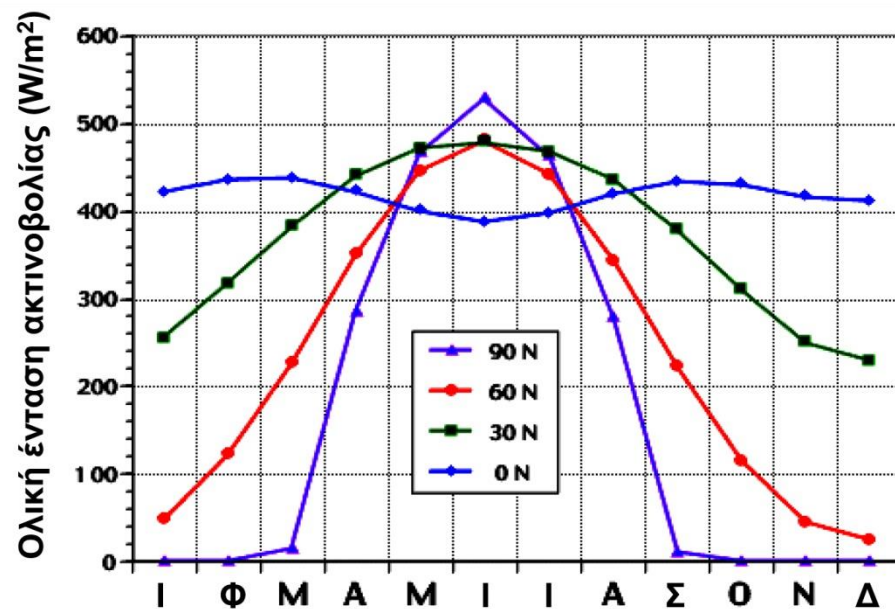


ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΗΣ-ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (I)

Η ηλιακή ισχύς που προσλαμβάνει η Γη ανά μονάδα επιφάνειας είναι ίση με $S/4=341,5W\cdot m^{-2}$. Όμως, η ηλιακή ακτινοβολία δεν απορροφάται ομοιόμορφα από την επιφάνεια της γης, ούτε η γήινη ακτινοβολία που χάνεται στο διάστημα εκπέμπεται ομοιόμορφα από την επιφάνεια της. Υπάρχει ένα ενεργειακό πλεόνασμα σε μια εκτεταμένη ζώνη γύρω από τον ισημερινό (γεωγραφικά πλάτη $<35^\circ$) και ένα έλλειμμα στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη ($>35^\circ$)



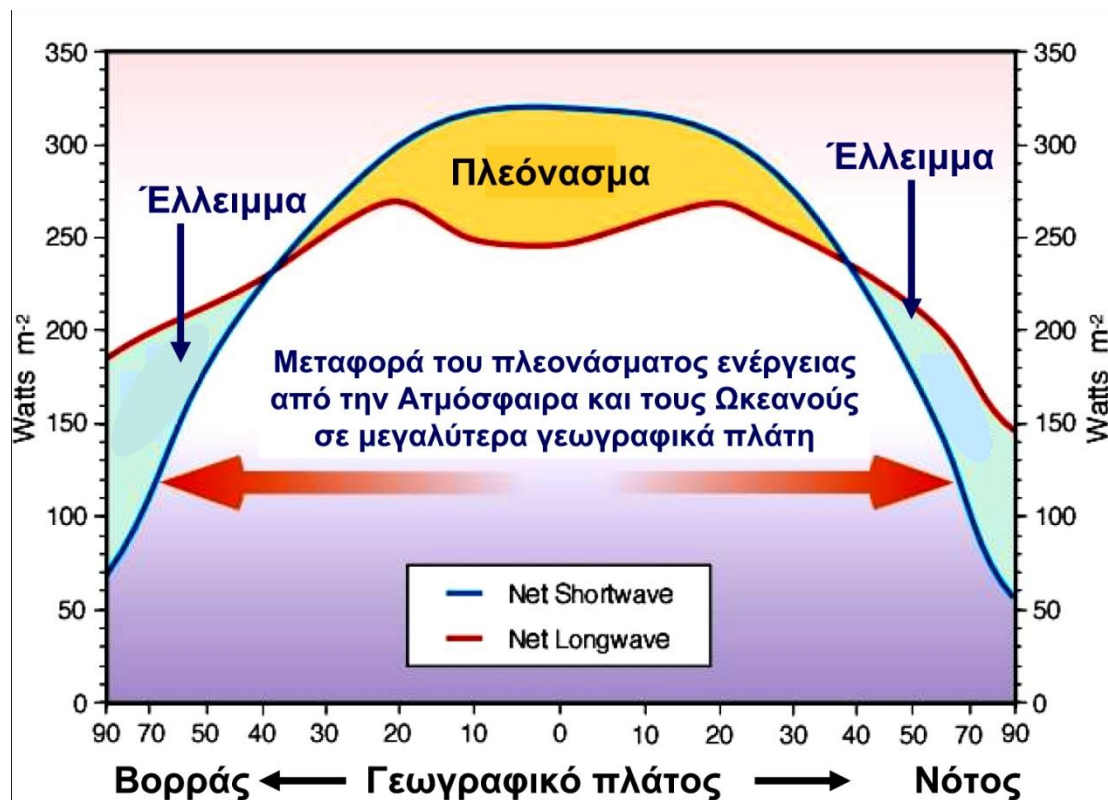
Μέση ετήσια απορρόφηση από την επιφάνεια της Γης (1987)



Μέσες μηνιαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΗΣ-ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (II)

Όμως, οι τροπικές περιοχές δεν γίνονται βαθμιαία θερμότερες, ούτε οι πολικές περιοχές ψυχρότερες. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει συνεχής μεταφορά ενέργειας κατά μήκος των μεσημβρινών από τα μικρά προς τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, με σκοπό την διατήρηση θερμικής ισορροπία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης είναι ή κύρια αιτία της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε πλανητική και συνοπτική κλίμακα.

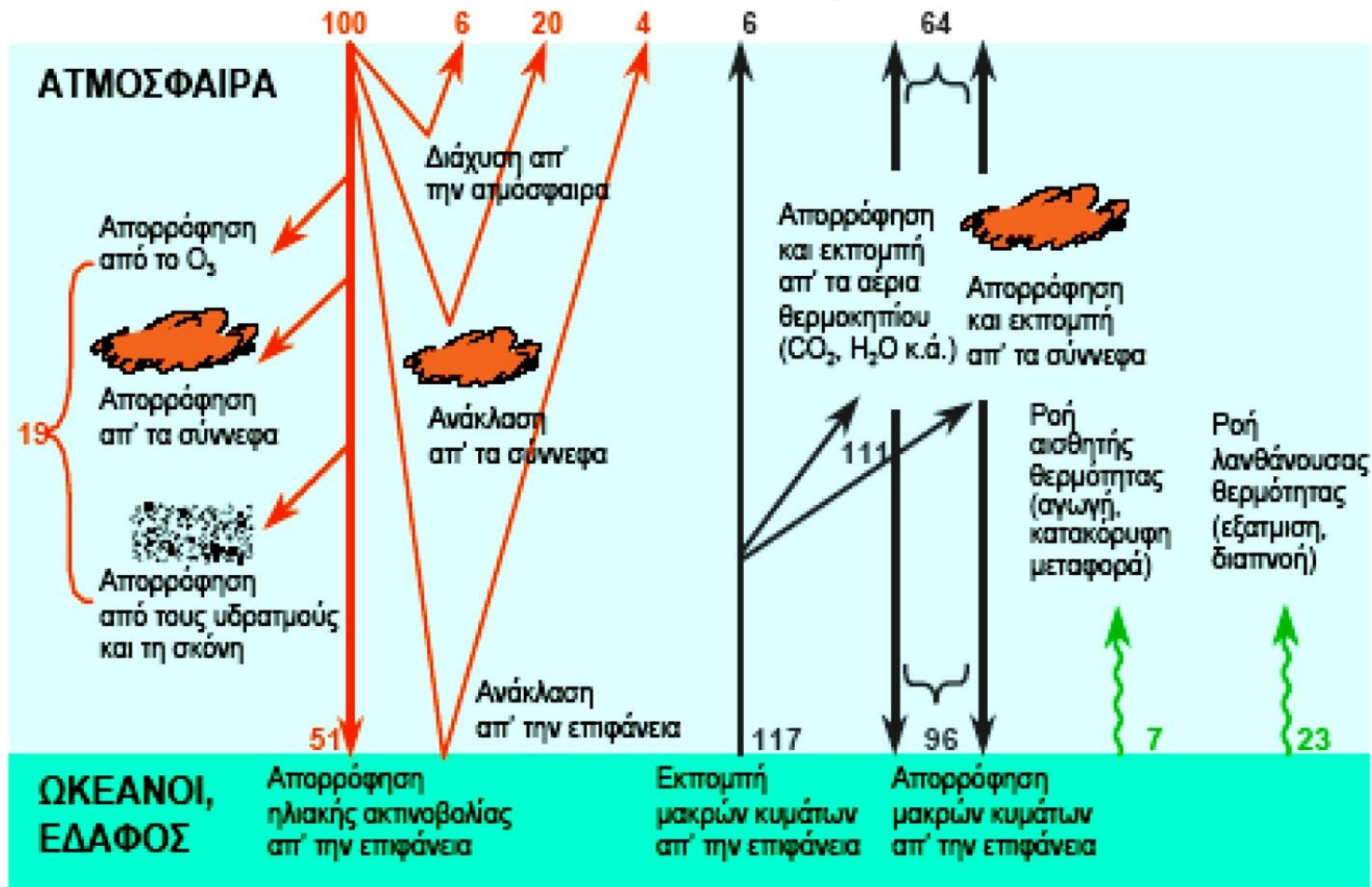


ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΓΗΣ-ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

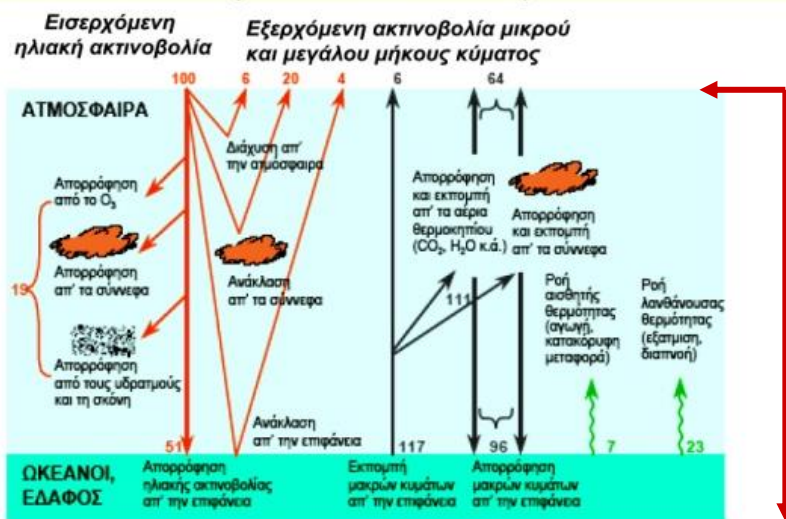
Ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος

Εισερχόμενη
ηλιακή ακτινοβολία

Εξερχόμενη ακτινοβολία μικρού
και μεγάλου μήκους κύματος

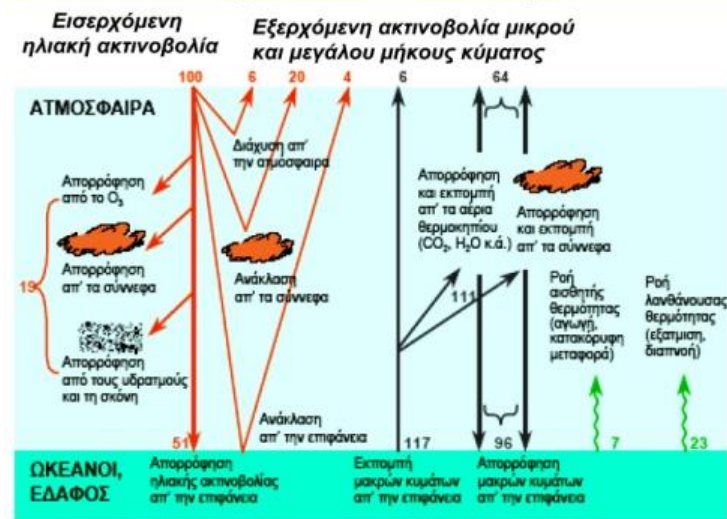


ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ



Κέρδη	Απώλειες
Ηλιακή ακτινοβολία: 100	Διάχυση από ατμόσφαιρα: 6
	Ανάκλαση από νέφη: 20
	Ανάκλαση από επιφάνεια γης: 4
	Υπέρυθρη από ατμοσφαιρικό παράθυρο: 6
	Εκπομπή υπέρυθρης από ατμόσφαιρα: 64
Σύνολο: 100	Σύνολο: 100

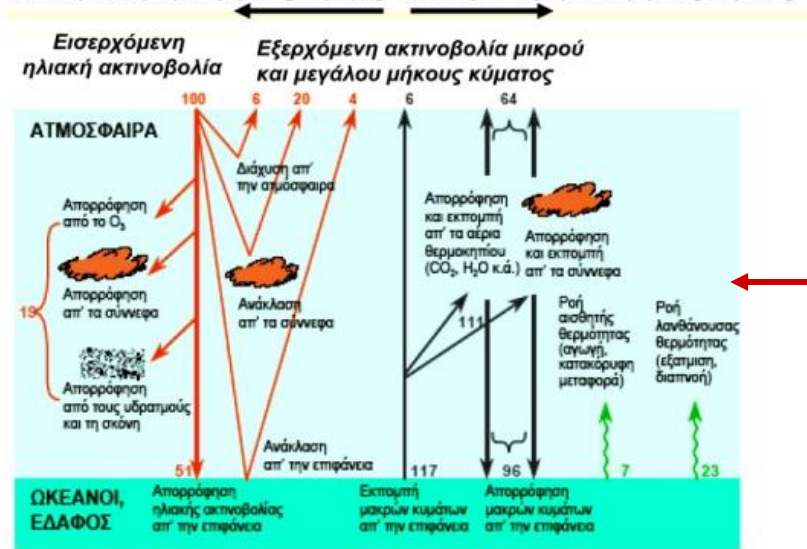
Ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος



ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΓΗΣ- ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Κέρδη	Απώλειες
Ηλιακή ακτινοβολία (Άμεση & διάχυτη): 51	Εκπομπή υπέρυθρης από γη: 117
Υπέρυθρη από αέρια θερμοκηπίου και νέφη: 96	Αισθητή: 7
	Λανθάνουσα: 23
Σύνολο: 147	Σύνολο: 147

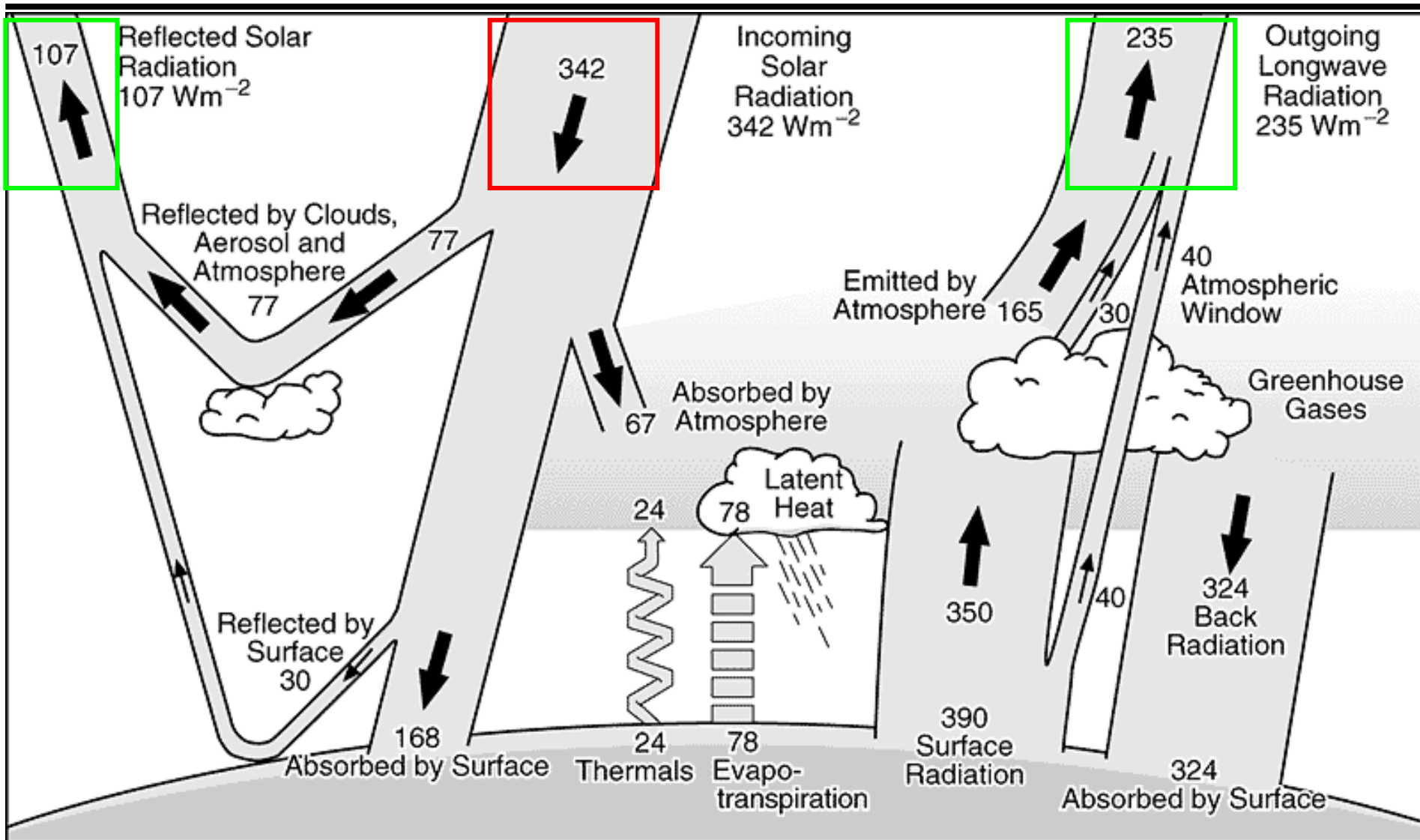
Ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος



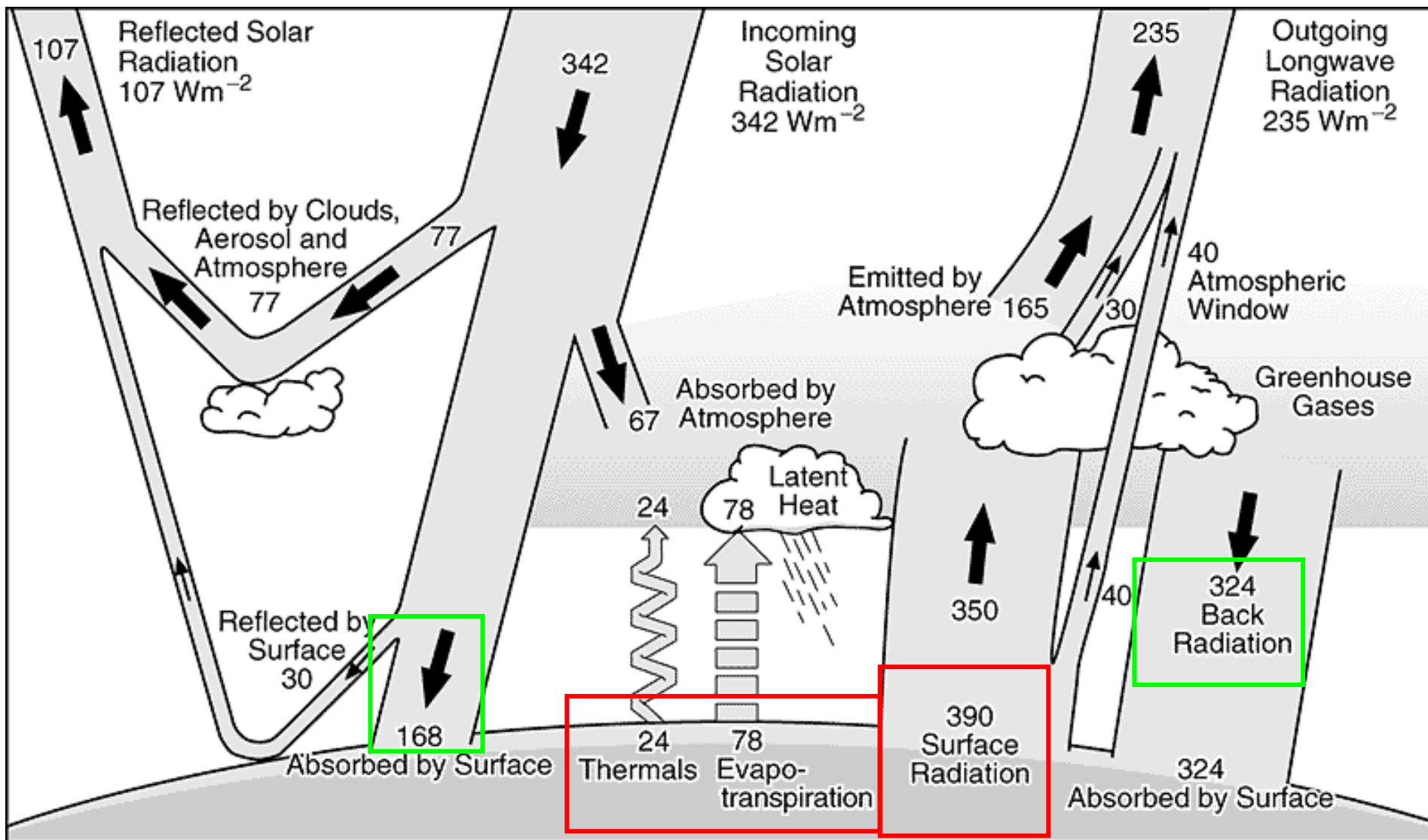
ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Κέρδη	Απώλειες
Απορρόφηση ηλιακής (Νέφη, O ₃ ,H ₂ O,σκόνη): 19	Εκπομπή υπέρυθρης στο διάστημα: 64
Απορρόφηση γήινης (Νέφη & αέρια θερμοκηπίου): 111	Εκπομπή υπέρυθρης προς τη γη: 96
Αισθητή: 7	
Λανθάνουσα: 23	
Σύνολο: 160	Σύνολο: 160

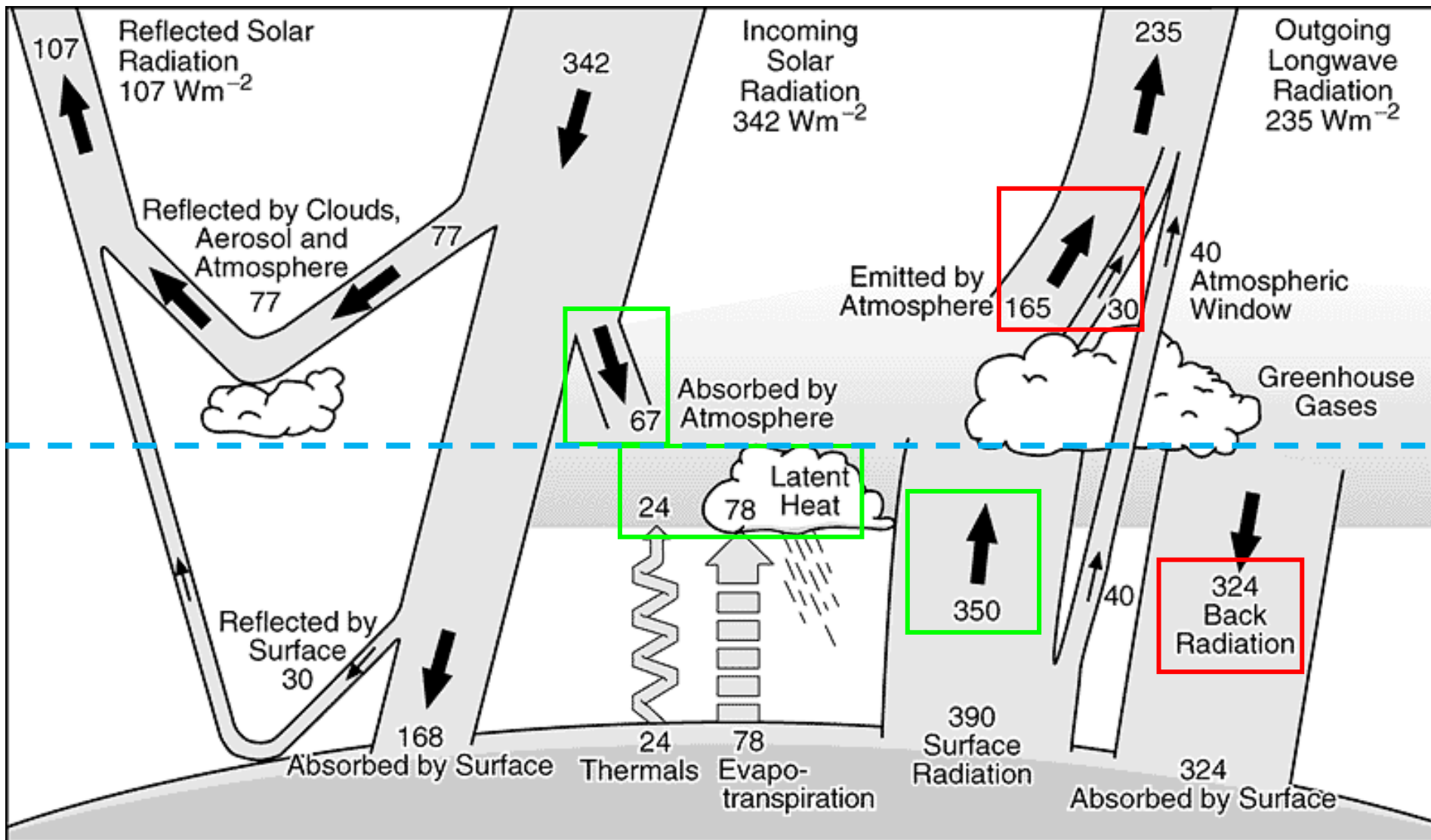
ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΤΗΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ



ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΓΗΣ- ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

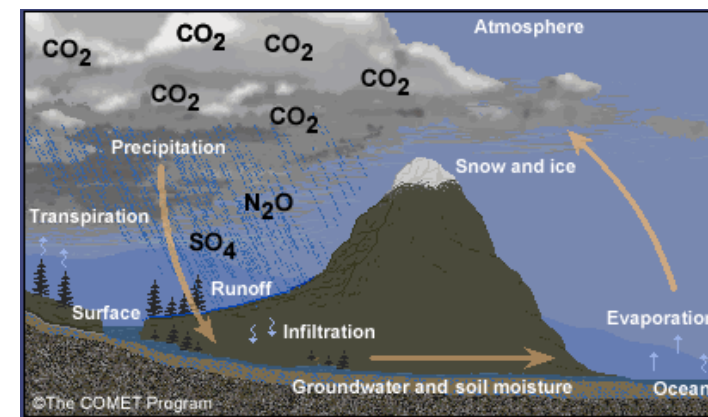
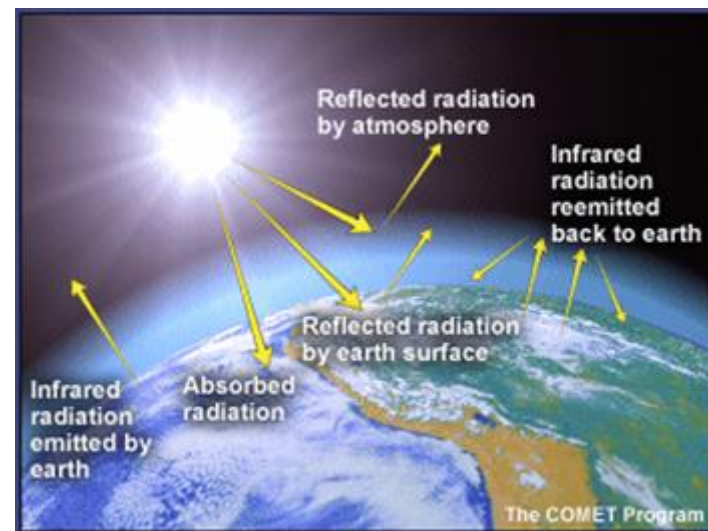


ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ



ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

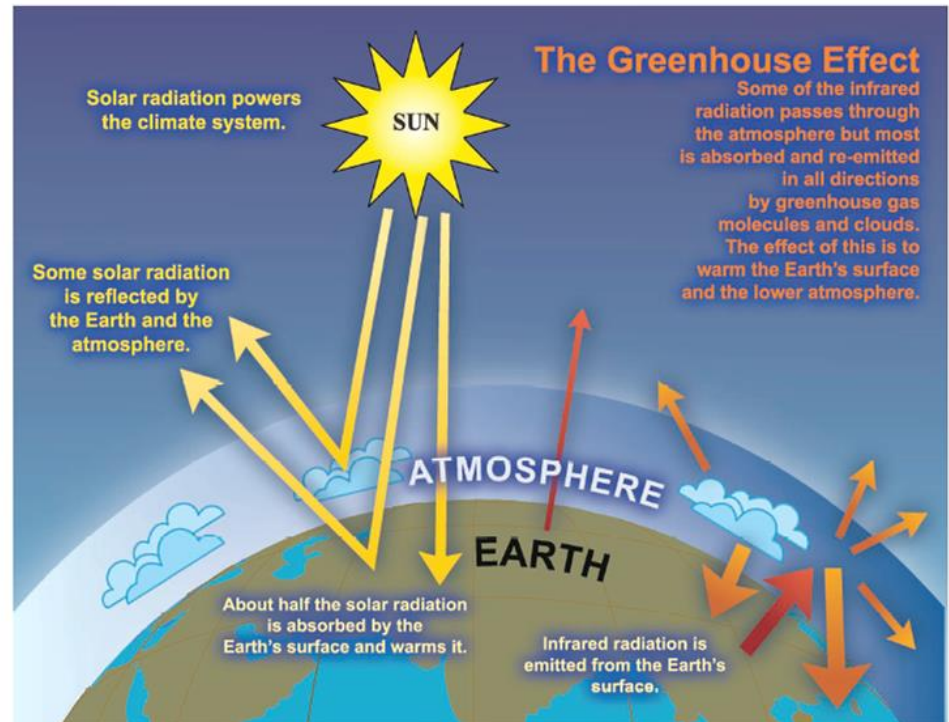
- Τα αέρια θερμοκηπίου, είναι οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και τα νιτρικά οξείδια, και δεν επιτρέπουν στη γη να γίνει ένας παγωμένος πλανήτης με θερμοκρασίες επιφάνειας -19°C
- Εντούτοις, κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα τα ποσά αερίων θερμοκηπίου μέσα στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί σημαντικά, που κυρίως οφείλεται στην σημαντική αύξηση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων
- Τα αποκαλούμενα "αέρια του θερμοκηπίου" απορροφούν σημαντικό μέρος της ακτινοβολούμενης ενέργειας από τη Γη και συμπεριφέρονται όπως οι γυάλινες επιφάνειες ενός θερμοκηπίου. Αυτά τα στοιχεία είναι υπεύθυνα για το γεγονός ότι η γη διατηρεί θερμοκρασίες κατάλληλες για την ανάπτυξη μιας πολυποίκιλης και σύνθετης βιόσφαιρας



The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

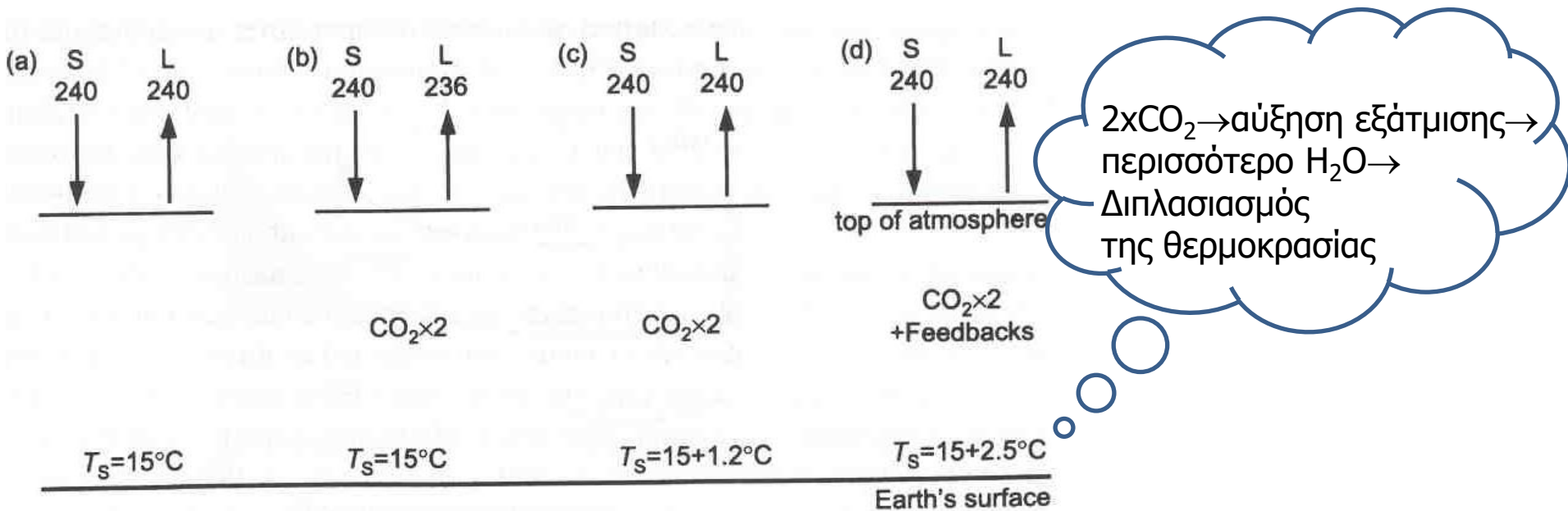
ΤΟ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (I)

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο
- Η επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας στη σύσταση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος έχει προκαλέσει ενίσχυση του φαινομένου
- Συνεπώς το φαινόμενο αρχίζει να λειτουργεί αντίστροφα προσφέροντας επιπλέον θερμότητα στην ατμόσφαιρα



IPCC, 2007

ΤΟ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (II)

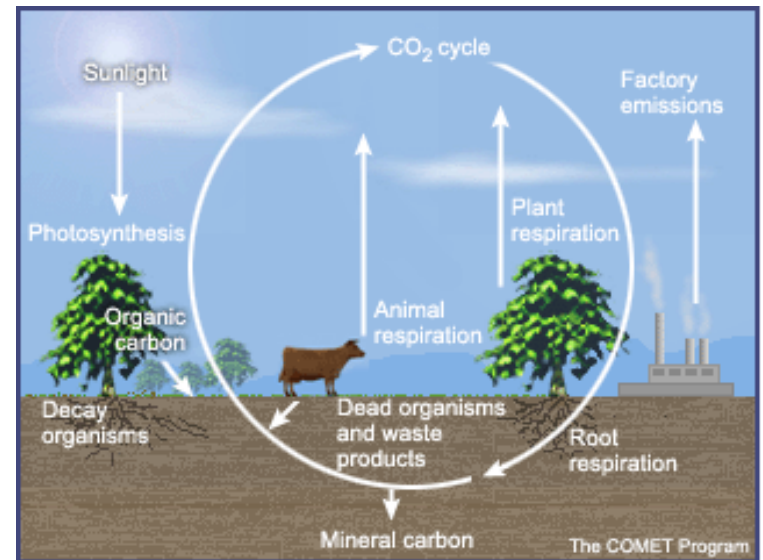


Σενάριο: διπλασιασμός συγκέντρωσης CO_2 στην ατμόσφαιρα $\Rightarrow$ μείωση της εξερχόμενης θερμικής ακτινοβολίας κατά $4\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
 $\Rightarrow$ αύξηση επιφανειακής θερμοκρασίας κατά $1,2^\circ\text{C}$

Αν ληφθεί υπόψη η ανάδραση του συστήματος Ατμόσφαιρα-Γη (feedbacks) η αύξηση της θερμοκρασίας είναι σχεδόν διπλάσια $\sim 2,5^\circ\text{C}$

ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Διοξείδιο του άνθρακα(CO_2): Ο άνθρακας, η δομική μονάδα της ζωής έχει φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές
- Απελευθερώνεται ως αέριο διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση ορυκτών καυσίμων ενώ απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης
- Μετατρέπεται σε οργανική (ανθρακούχα) βιομάζα μέσω της φωτοσύνθεσης των φυτών
- Επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ως αέριο CO_2 μέσω της βιολογικής διαδικασίας της αναπνοής



The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΤΟ CO₂ ...

- Φωτοσύνθεση



Φυσικές πηγές:

- αναπνοή των οργανισμών,
- μικροβιακή αποδόμηση της νεκρής οργανικής ύλης άνθρακα στο έδαφος (soil carbon),
- ροή από τους ωκεανούς προς την ατμόσφαιρα

Απώλειες:

- φωτοσύνθεση στα φυτά,
- ροή από την ατμόσφαιρα προς τους ωκεανούς

Ανθρωπογενείς πηγές:

- Καύση οργανικού άνθρακα (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) - 80% των ανθρωπογενών πηγών,
- αποψίλωση δασών και καύση βιομάζας (20%),
- ανθρακούχα μεταλλεύματα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τσιμέντου

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (I)

Συγκέντρωση: Μάζα συστατικού ανά μονάδα όγκου αέρα που περιέχεται. Εξαρτάται από το πλήθος των μορίων του συστατικού που βρίσκονται στον συνολικό όγκο του μείγματος. Πχ. για το CO_2 ισχύει

$$c = \frac{m_{co_2}}{V_{air}}, kg \cdot m^{-3}$$

Αναλογία Μίγματος: Εκφράζει την αναλογία συγκεκριμένου στοιχείου σε σχέση με το άθροισμα όλων των υπολοίπων στοιχείων (δηλαδή “1 μέρος στα 10” σημαίνει 10 gr του ενός στοιχείου σε 100 gr από όλα τα υπόλοιπα)

Οι τυπικές τιμές αναλογιών μίγματος για αέριους ρύπους είναι ιδιαίτερα μικρές. Συνεπώς χρησιμοποιούνται οι όροι *μέρη ανά εκατομμύριο- parts per million (ppm)* ή *μέρη ανά δισεκατομμύριο-parts per billion (ppb)*

Διακριτοποίηση με βάση τη μάζα (*ppmm*) ή τον όγκο (*ppmv*)

$$ppmm = \frac{m_i}{m_{total}} \times 10^6$$

$$ppmv = \frac{v_i}{v_{total}} \times 10^6$$

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ (II)

Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα (Residence time)

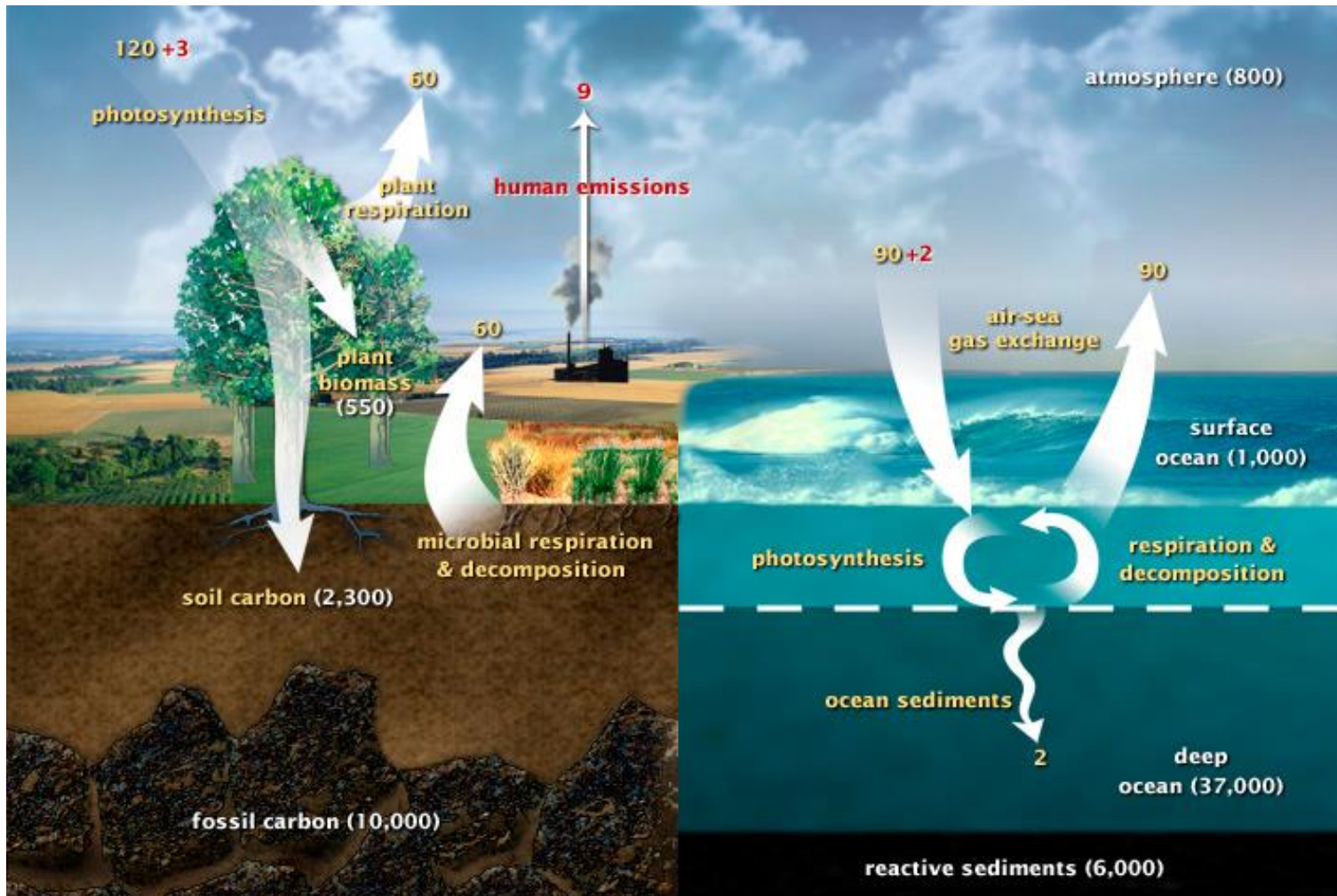
- ▶ Είναι ο μέσος χρόνος που ένα μόριο συστατικού διατηρείται στην ατμόσφαιρα μετά την εκπομπή ή τη δημιουργία του
- ▶ Για μείγματα με καλά ορισμένες πηγές και ρυθμούς εκπομπής προκύπτει από την αναλογία:

$$\frac{\text{μέση συγκέντρωση του συστατικού}}{\text{ρυθμός παραγωγής του συστατικού}}$$

- ▶ Είναι συνάρτηση όχι μόνο των ρυθμών εκπομπής αλλά και των ρυθμών απομάκρυνσης μέσω χημικών και φυσικών διεργασιών
- ▶ Ο χρόνος παραμονής αποτελεί ένδειξη των δυνατοτήτων συσσώρευσης των ουσιών στην ατμόσφαιρα

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ CO₂

- Το CO₂ αντιστοιχεί στο 0.041% (415 ppm) ανά όγκο στην ατμόσφαιρα
- Ισοδυναμεί με περίπου 3210 γιγατόνους (Gt) CO₂, περιλαμβάνοντας περίπου 875 Gt άνθρακα

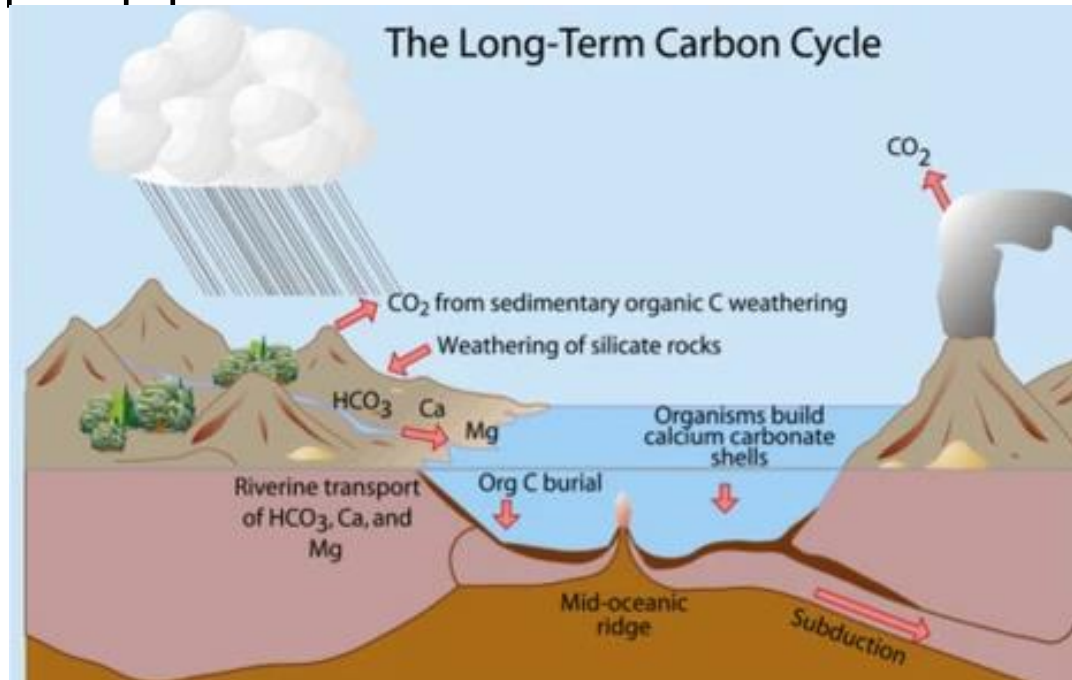


Ο ΑΡΓΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων και τεκτονικής δραστηριότητας, ο άνθρακας χρειάζεται **100-200 εκατομμύρια χρόνια** για να κινηθεί μεταξύ πετρωμάτων, εδάφους, ωκεανών και ατμόσφαιρας
- Κατά μέσο όρο, **10^{13} έως 10^{14} γραμμάρια (10-100 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι)** άνθρακα κινούνται μέσω του αργού κύκλου άνθρακα κάθε χρόνο
- Συγκριτικά, οι ανθρώπινες εκπομπές άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι της τάξης των 10^{15} γραμμαρίων, ενώ ο γρήγορος κύκλος άνθρακα μετακινεί από 10^{15} έως 10^{17} γραμμάρια άνθρακα ετησίως
- Στον ωκεανό, το μεγαλύτερο μέρος του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) παράγεται από οργανισμούς που δημιουργούν κέλυφος (ασβεστοποιούν) (όπως τα κοράλλια) και το πλαγκτόν (όπως τα κοκκολιθοφόρα και τα τρηματοφόρα)
- Ο αργός κύκλος επιστρέφει άνθρακα στην ατμόσφαιρα μέσω των ηφαιστείων

Ο ΑΡΓΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Η κίνηση του άνθρακα από την ατμόσφαιρα στη λιθόσφαιρα ξεκινά με τη βροχή
- Ο άνθρακας της ατμόσφαιρας συνδυάζεται με το νερό της βροχής για να σχηματίσει ένα ασθενές οξύ - ανθρακικό οξύ (H_2CO_3) - που πέφτει στην επιφάνεια
- Το οξύ διαλύει τα πετρώματα, μια διαδικασία που ονομάζεται χημική διάβρωση και απελευθερώνει ιόντα ασβεστίου (Ca), μαγνησίου (Mg), καλίου (K) ή νατρίου (Na)
- Τα ποτάμια μεταφέρουν τα ιόντα στον ωκεανό



Ο ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Ο χρόνος που χρειάζεται ο άνθρακας για να κινηθεί μέσω του γρήγορου κύκλου μετράται σε μια διάρκεια ζωής (~80 έτη)
- Ο γρήγορος κύκλος άνθρακα είναι σε μεγάλο βαθμό η κίνηση του άνθρακα μέσω των μορφών ζωής στη Γη ή στη βιόσφαιρα
- Μεταξύ 10^{15} και 10^{17} γραμμάρια (1.000 έως 100.000 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι) άνθρακα κινούνται στον γρήγορο κύκλο άνθρακα κάθε χρόνο
- Πολλά οργανικά μόρια περιέχουν άτομα άνθρακα που έχουν σχηματίσει ισχυρούς δεσμούς με άλλα άτομα άνθρακα, συνδυάζονται σε μακριές αλυσίδες και δακτυλίους
- Τέτοιες αλυσίδες και δακτύλιοι άνθρακα αποτελούν τη βάση των ζωντανών κυττάρων (πχ το DNA αποτελείται από δύο αλληλένδετα μόρια χτισμένα γύρω από μια αλυσίδα άνθρακα)
- Τα φυτά και το φυτοπλαγκτόν είναι βασικοί παράγοντες του γρήγορου κύκλου άνθρακα
- Το φυτοπλαγκτόν (μικροσκοπικοί οργανισμοί στον ωκεανό) και τα φυτά παίρνουν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα απορροφώντας το στα κύτταρά τους (φωτοσύνθεση)

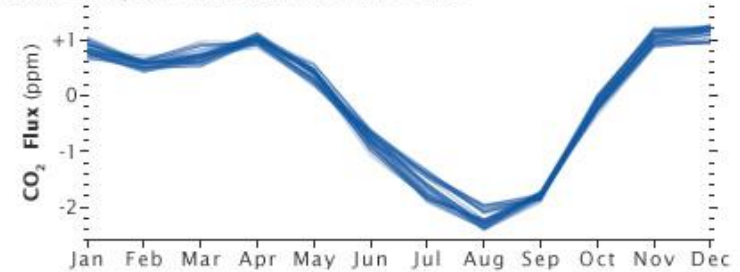
Ο ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Τέσσερις διεργασίες μπορούν να συμβούν για να μετακινηθεί ο άνθρακας από ένα φυτό προς την ατμόσφαιρα κατά την ίδια χημική αντίδραση (εκπομπή CO_2 προς την ατμόσφαιρα)
 - Τα φυτά διασπούν τη γλυκόζη ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) για να πάρουν την ενέργεια που χρειάζονται για να αναπτυχθούν
 - Τα ζώα (συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων) τρώνε τα φυτά ή το πλαγκτόν και διασπούν το σάκχαρο του φυτού για να πάρουν ενέργεια
 - Τα φυτά και το πλαγκτόν πεθαίνουν και αποσυντίθενται (τρώγονται από τα βακτήρια) στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου
 - Σε κάθε περίπτωση, το οξυγόνο συνδυάζεται με τη γλυκόζη για να απελευθερώσει νερό, διοξείδιο του άνθρακα και ενέργεια
- Και στις τέσσερις διεργασίες, το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται από την αντίδραση συνήθως καταλήγει στην ατμόσφαιρα

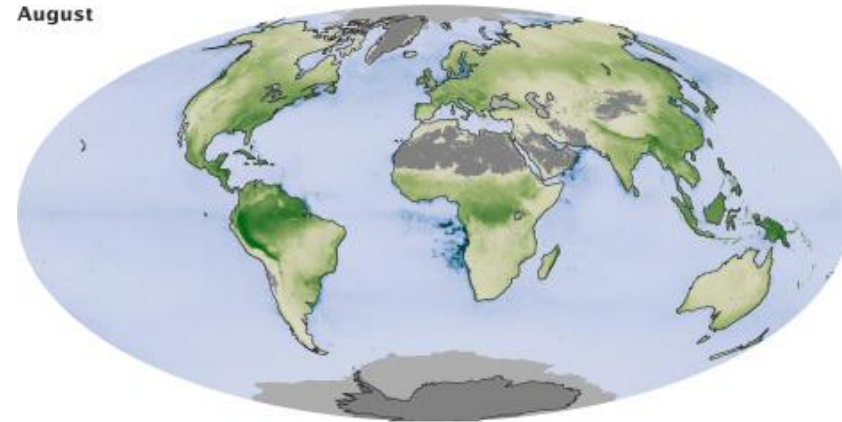
Ο ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Τον χειμώνα του βόρειου ημισφαιρίου, όταν αναπτύσσονται λίγα φυτά της ξηράς και πολλά σε αποσύνθεση, οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αυξάνονται
- Το χειμώνα είναι περιορισμένη και η ηλιακή ακτινοβολία που είναι απαραίτητη για τη φωτοσύνθεση
- Την άνοιξη, όταν τα φυτά αρχίζουν να αναπτύσσονται ξανά, οι συγκεντρώσεις άνθρακα μειώνονται

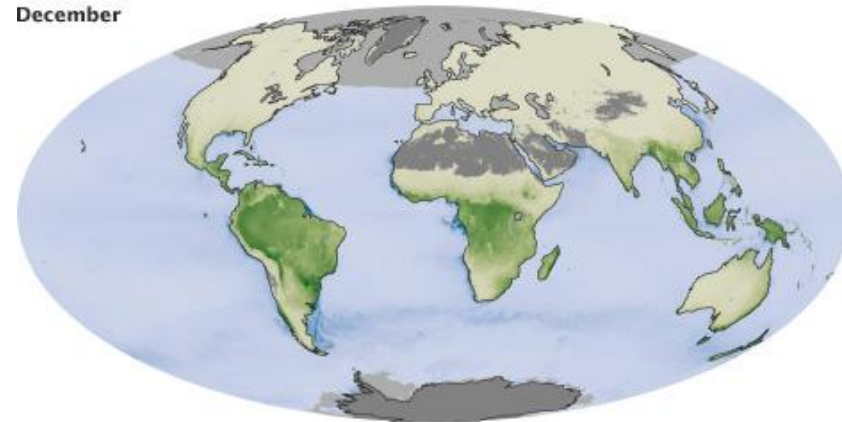
Monthly Change in Carbon Dioxide, 1959–2010



August



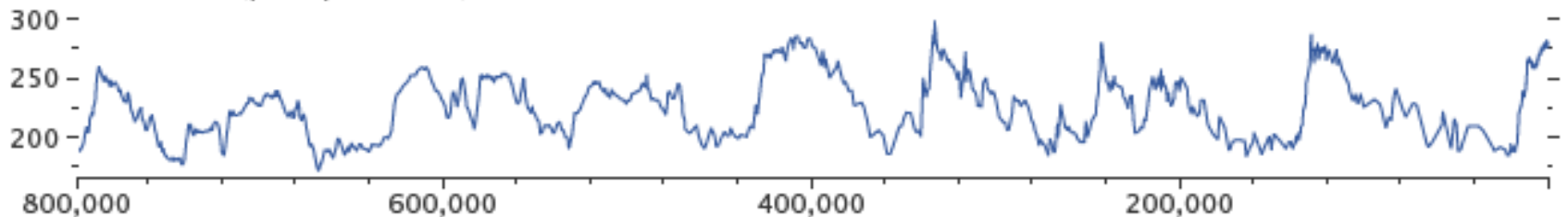
December



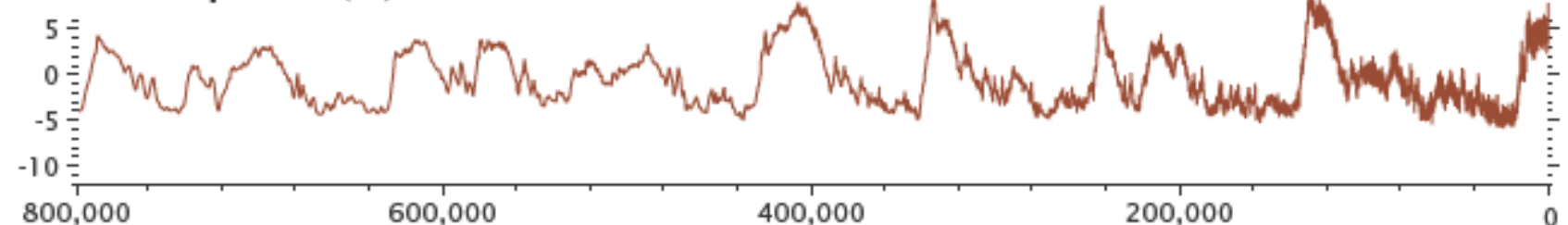
ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ CO₂

- Οι διακυμάνσεις στην τροχιά της Γης μεταβάλλουν την ποσότητα ενέργειας που λαμβάνει η Γη από τον Ήλιο και οδηγούν σε έναν κύκλο εποχών παγετώνων και θερμών περιόδων όπως το σημερινό κλίμα της Γης
- Οι εποχές των παγετώνων αναπτύχθηκαν όταν τα καλοκαίρια του βόρειου ημισφαιρίου κρύωσαν και οι πάγοι συσσωρεύτηκαν στην ξηρά, κάτι που με τη σειρά του επιβράδυνε τον κύκλο του άνθρακα
- Στο τέλος της τελευταίας Εποχής των Παγετώνων, πριν από ~10.000 χρόνια, το CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε δραματικά καθώς και η θερμοκρασία

Carbon Dioxide (parts per million)



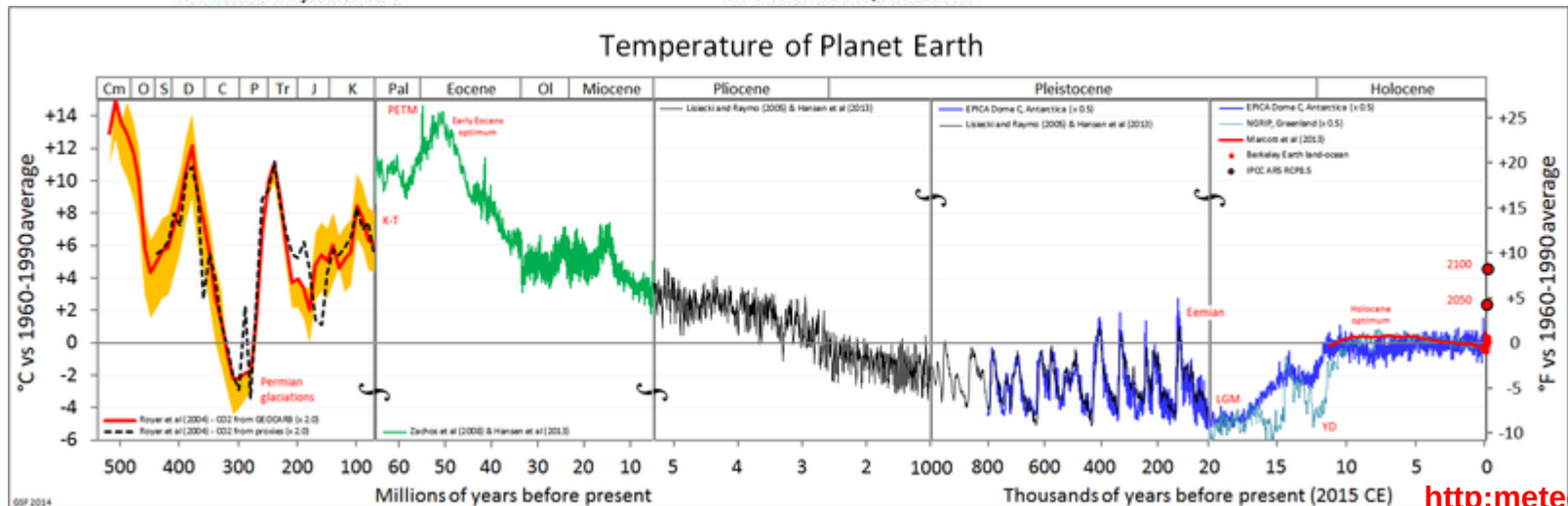
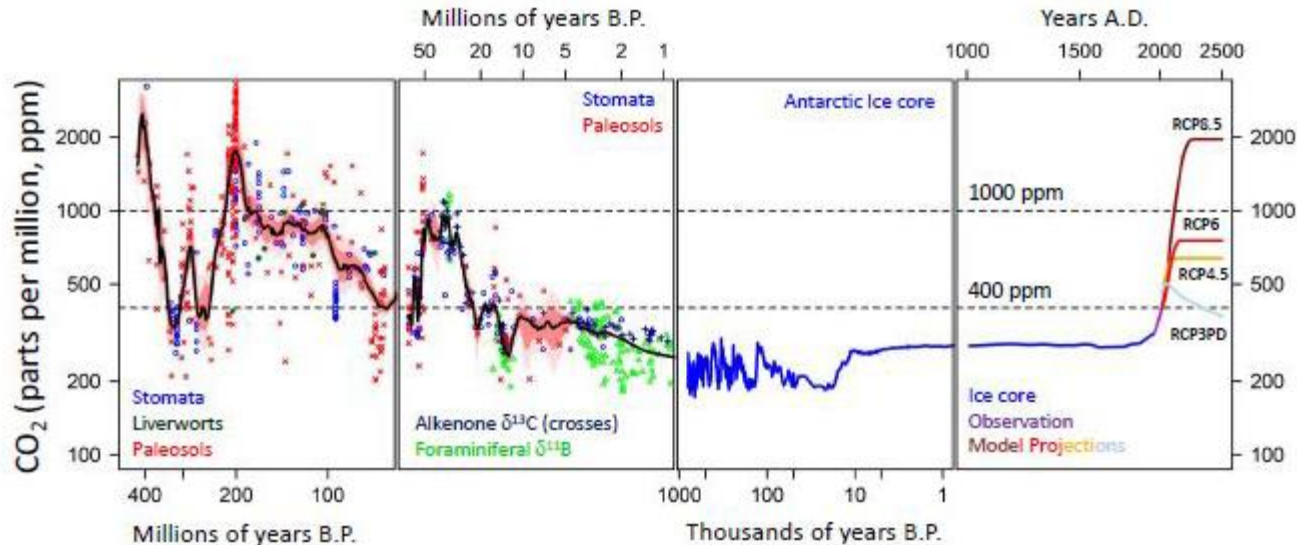
Antarctic Temperature (°C)



Date (Years Before Present)

ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ CO₂

- Περίοδος παγετώνων πριν από περίπου 300 εκατομμύρια χρόνια
- Ακολούθησε μια περίοδος έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας, διπλασιάζοντας τη συγκέντρωση CO₂ σε περίπου 1000ppm



ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

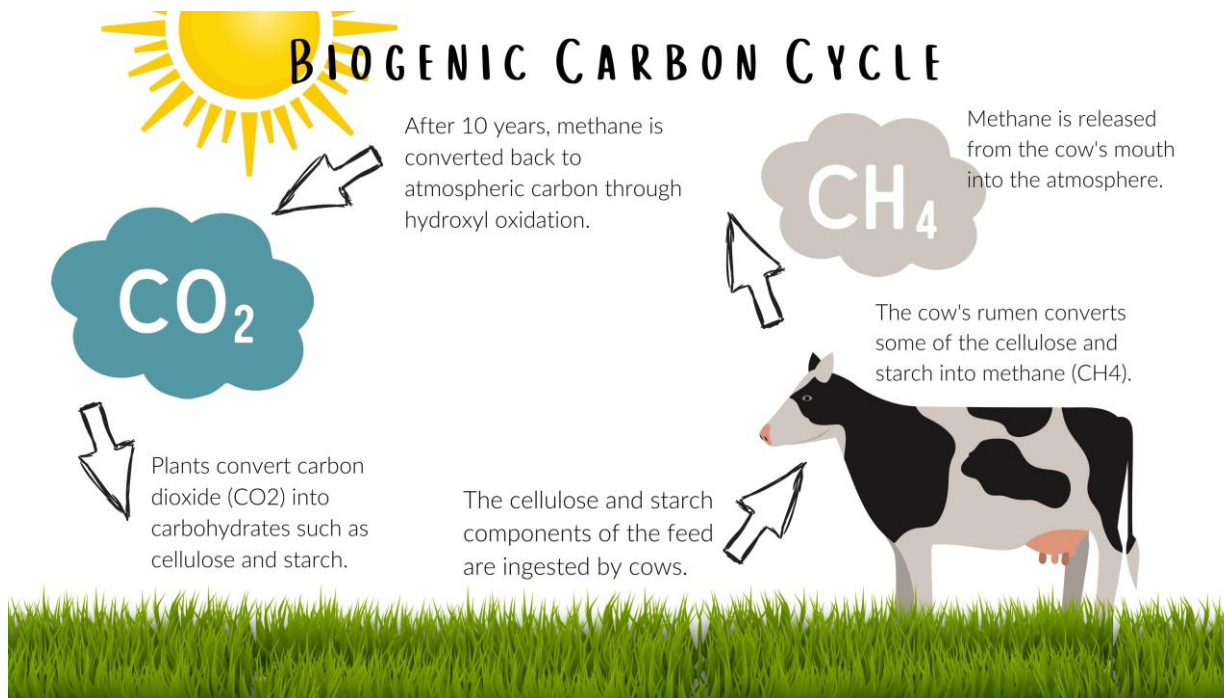
- Μεθάνιο(CH_4): Εκπέμπεται από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών σε υγρές επιφάνειες (παραδείγματος χάριν, υγρότοποι και ορυζώνες ρυζιού), από τις πεπτικές οδούς της βοσκής των ζώων ενώ μπορεί να προέλθει και από την επέκταση των καλλιεργούμενων εδαφών, την εντατικοποίηση της κτηνοτροφίας, τον αυξανόμενο αριθμό υλικών οδόστρωσης, και τη διαρροή από τις σωληνώσεις φυσικού αερίου
- Χλωροφλωράνθρακες (CFCs): Τα CFCs έχουν χρησιμοποιηθεί ιστορικά ευρέως ως ψυκτικές ουσίες στα κλιματιστικά μηχανήματα, τα ψυγεία, τους ψυκτήρες, και τις αντλίες θερμότητας ενώ βρίσκονται ακόμα σε χρήση σε πλαστικά αφρού

ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- **Νιτρικά οξείδια (N_2O):** Έχουν φυσική προέλευση, η συγκέντρωση τους όμως έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας καθώς παράγονται όταν νιτρικό άλας και αμμώνιο εναποτίθεται στο χώμα υπό μορφή **λιπασμάτων** ενώ εκπέμπονται επίσης από την **καύση λιγνιτών** σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας
- **Όζον (O_3):** Είναι σημαντικό να μην συγχέεται η παρουσία του όζοντος στη στρατόσφαιρα με την παρουσία όζοντος στην τροπόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα, το όζον μπορεί να είναι ένα σημαντικό συστατικό της αστικής ρύπανσης που προέρχεται κυρίως από την κυκλοφορία και την βιομηχανία
- **Υδρατμοί(H_2O):** Αντίθετα από τα υπόλοιπα ατμοσφαιρικά αέρια, οι υδρατμοί θεωρούνται ένα "μεταβλητό" αέριο δηλαδή το ποσοστό τους στην ατμόσφαιρα μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την περιοχή και το ύψος ενώ η ανθρώπινη δραστηριότητα δεν μεταβάλλει άμεσα τη συγκέντρωση τους στην ατμόσφαιρα

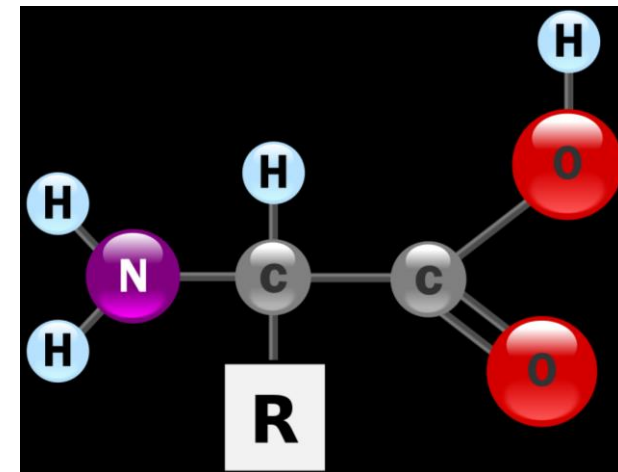
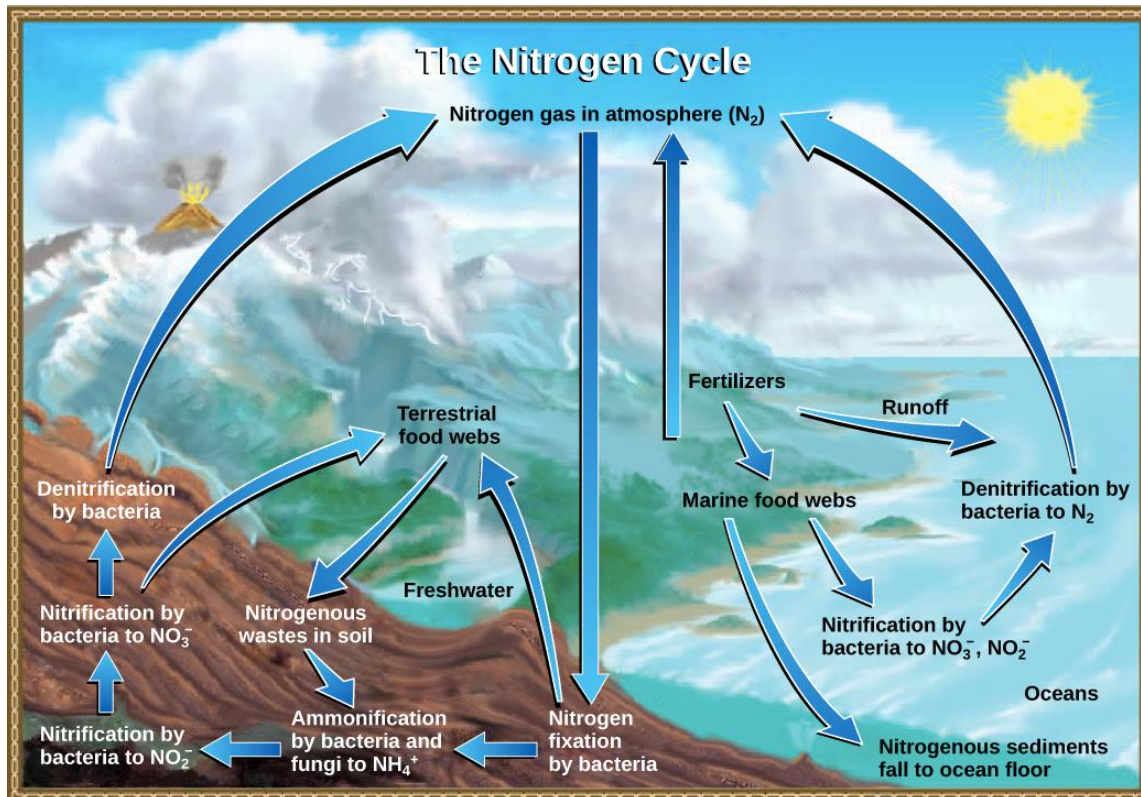
Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

- Η βασική φυσική πηγή CH_4 στην ατμόσφαιρα είναι οι **υγρότοποι**
- Άλλες φυσικές πηγές είναι οι, οι ωκεανοί, η βλάστηση, τα μυρμήγκια (τερμίτες) και υδρίτες CH_4
- Η ανθρωπογενής παραγωγή CH_4 περιλαμβάνει την παραγωγή ενέργειας από άνθρακα και φυσικό αέριο, τη διάθεση αποβλήτων σε χωματερές, την εκτροφή μηρυκαστικών ζώων (π.χ. βοοειδή και πρόβατα), τη γεωργία ρυζιού και την καύση βιομάζας

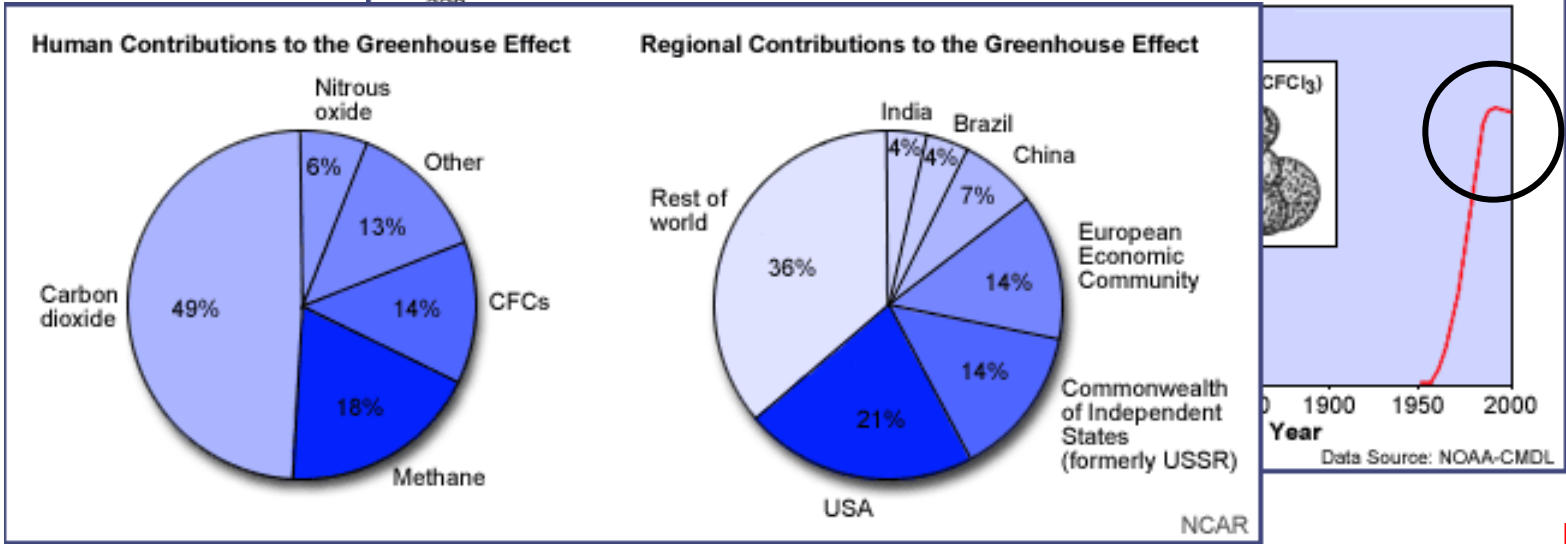
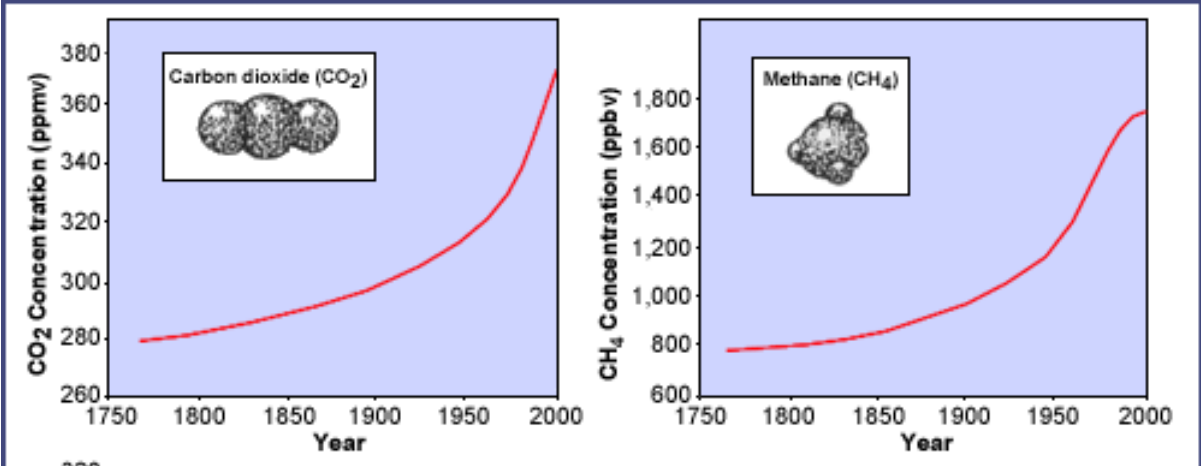


Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

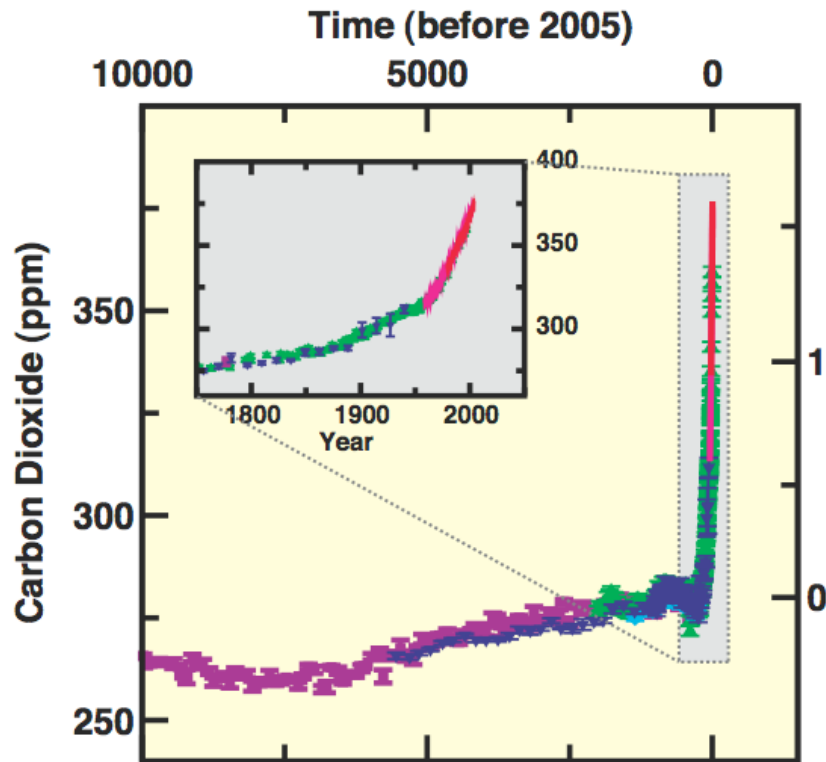
- Το άζωτο σχηματίζει απλές χημικές ουσίες (αμινοξέα) που είναι τα βασικά δομικά στοιχεία όλων των πρωτεϊνών, των ενζύμων και ιδιαίτερα του DNA
- Βοηθά τα φυτά να χρησιμοποιούν υδατάνθρακες για να αποκτήσουν ενέργεια, όπως ορισμένες τροφές που τρώμε μας βοηθούν να αποκτήσουμε ενέργεια
- Το άζωτο, με τη μορφή νιτρικών (NO_3), νιτρωδών (NO_2) και αμμωνίου (NH_4), είναι μια θρεπτική ουσία που απαιτείται για την ανάπτυξη των φυτών



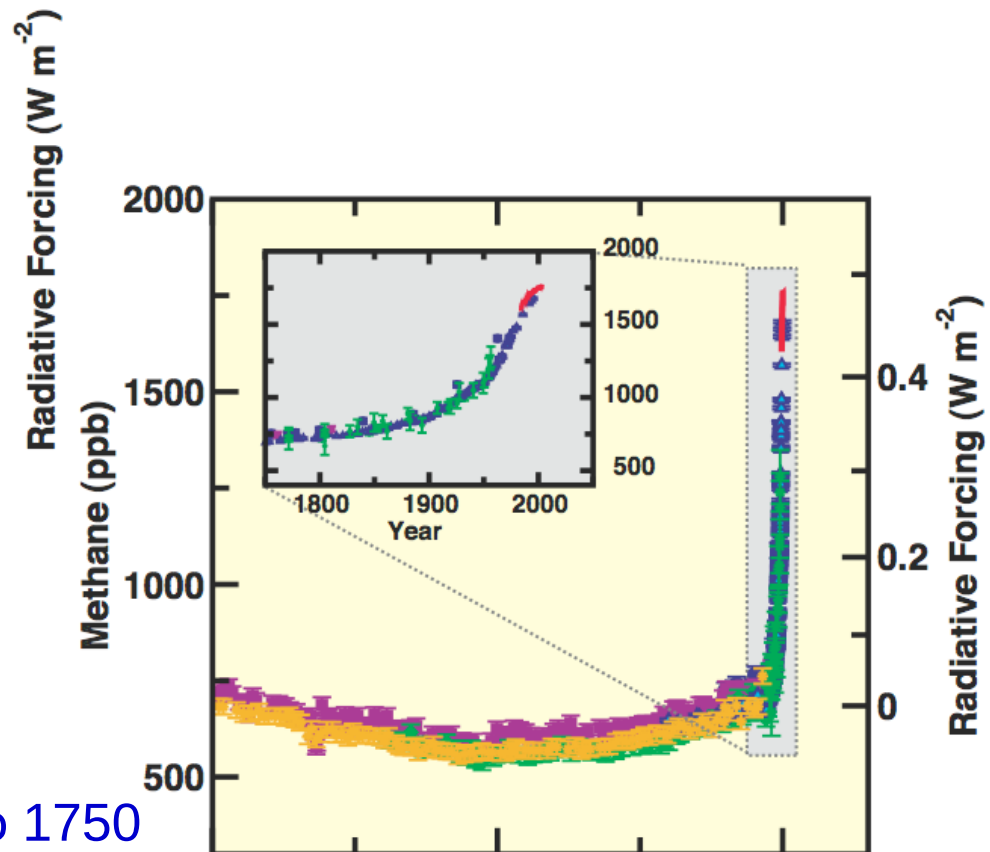
Η ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: ΟΛΕΣ ΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΕΧΟΥΝ ΑΥΞΗΘΕΙ



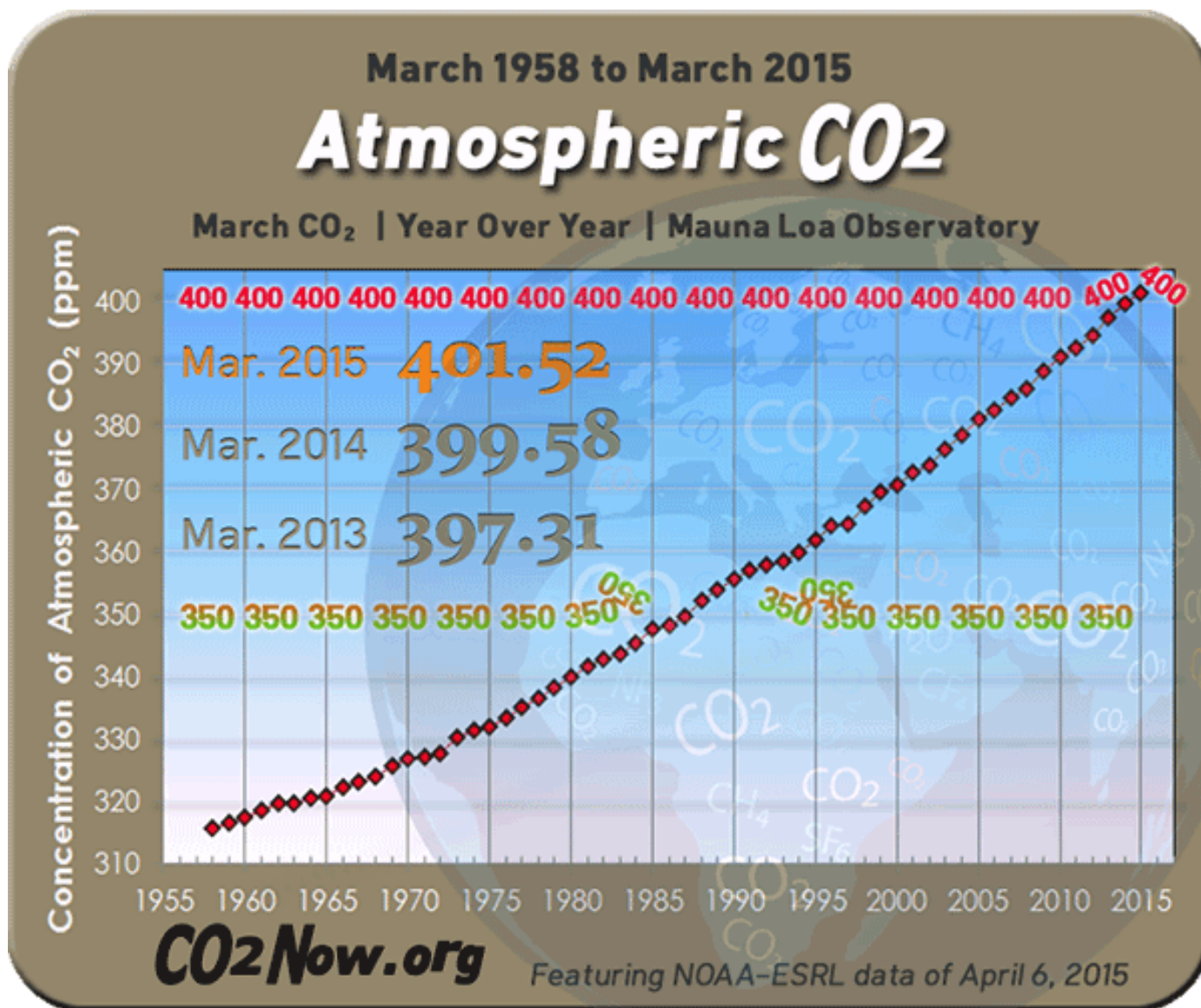
CO₂ αύξηση από 280 ppm το
1750 σε 379 ppm το 2005



CH₄ αύξηση από 715 ppb το 1750
σε 1774 ppb το 2005

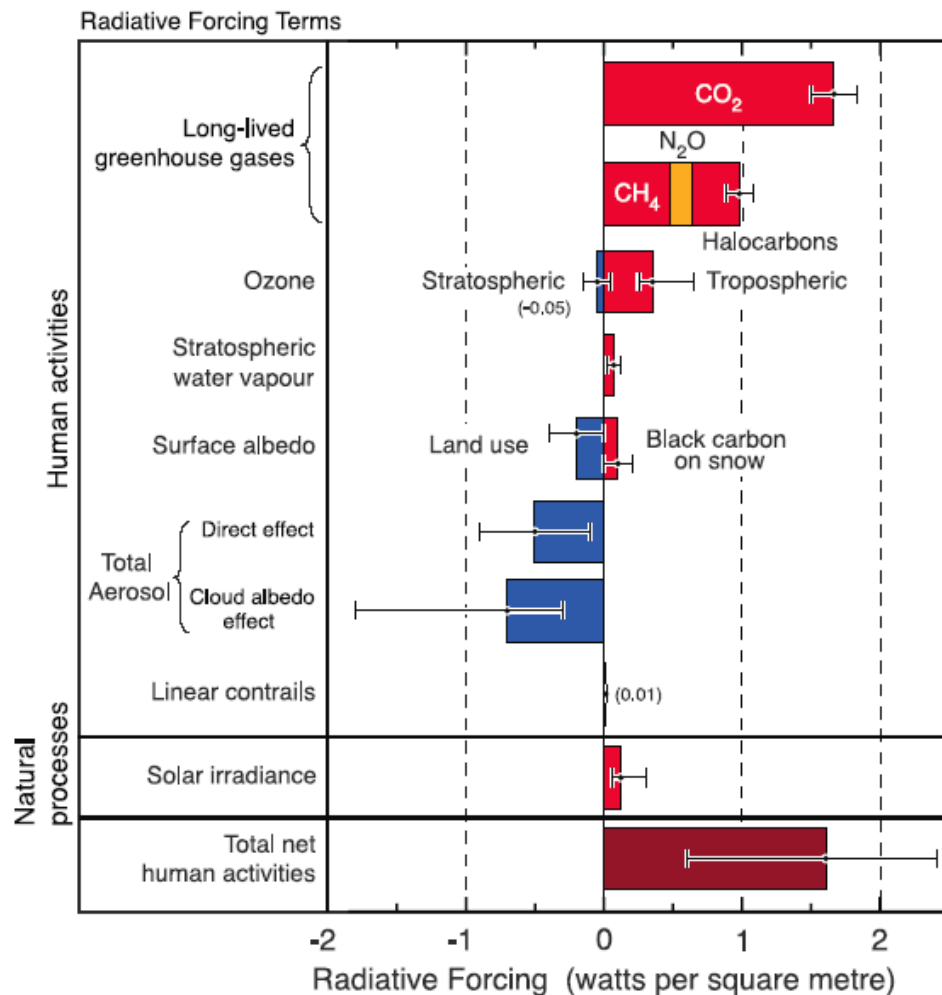
Πηγή: IPCC, 2007

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ CO₂ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1958-2015



RADIATIVE FORCING (ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΟΣ)

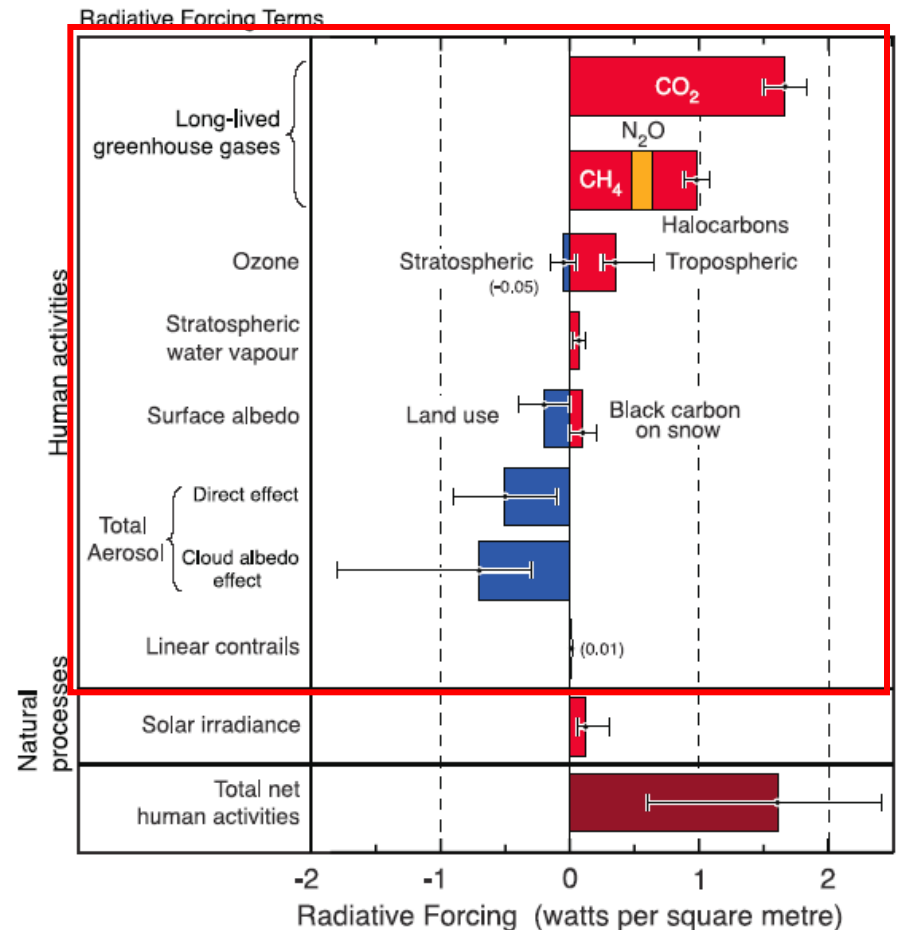
- Η επίδραση παραγόντων, όπως τα αέρια του θερμοκηπίου, στην κλιματική αλλαγή εκτιμάται υπό μορφή **κλιματικού εξαναγκασμού** δηλαδή της επίδρασης στο ισοζύγιο ακτινοβολιών
- Η επίδραση στο ισοζύγιο ακτινοβολιών αποτυπώνει τη διακύμανση του ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος Γης-Ατμόσφαιρας εάν ληφθούν υπόψη οι συγκεκριμένοι παράγοντες
- Ο όρος επίδραση στο ισοζύγιο ακτινοβολιών χρησιμοποιείται διότι οι παράγοντες αυτοί μεταβάλλουν το ισοζύγιο ανάμεσα στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία μέσα στη γήϊνη ατμόσφαιρα



Πηγή: IPCC, 2007

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

- Αύξηση της συγκέντρωσης CO₂
- Ενίσχυση του φωτοχημικού νέφους και της συγκέντρωσης τροποσφαιρικού όζοντος
- Αλλαγή των χρήσεων γης
- Αύξηση των contrails από τις πτήσεις των αεροπλάνων



Πηγή: IPCC, 2007

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η επίδραση στο ισοζύγιο ακτινοβολιών έχει σαν συνέπεια:

Μεταβολές κλιματικών παραμέτρων => νέα κατάσταση ισορροπίας
του κλιματικού συστήματος

Θετική επίδραση => θέρμανση της επιφάνειας της Γης (κατά μέσο όρο)

Αρνητική επίδραση => ψύξη της επιφάνειας της γης (κατά μέσο όρο)

Παγκόσμια μέση κλιματική παράμετρος ευαισθησίας (λ) (Ramanathan et al., 1985):

$$\lambda = \Delta T_s / \Delta F \approx 0,5 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2$$

Συνδέει τη μεταβολή της καθαρής κατακόρυφης ακτινοβολίας στην τροπόπαυση (ΔF) με τη μεταβολή της μέσης (ετήσιας) παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας ισορροπίας (ΔT_s).

Η σχέση αυτή προσδιορίζει τη μετάβαση του κλιματικού συστήματος από την αρχική στη νέα κατάσταση ισορροπίας

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΙΖΟΖΥΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

Species ^a	Concentrations ^b and their changes ^c		Radiative Forcing ^d	
	2005	Change since 1998	2005 (W m ⁻²)	Change since 1998 (%)
CO ₂	379 ± 0.65 ppm	+13 ppm	1.66	+13
CH ₄	1,774 ± 1.8 ppb	+11 ppb	0.48	-
N ₂ O	319 ± 0.12 ppb	+5 ppb	0.16	+11
	ppt	ppt		
CFC-11	251 ± 0.36	-13	0.063	-5
CFC-12	538 ± 0.18	+4	0.17	+1
CFC-113	79 ± 0.064	-4	0.024	-5
HCFC-22	169 ± 1.0	+38	0.033	+29
HCFC-141b	18 ± 0.068	+9	0.0025	+93
HCFC-142b	15 ± 0.13	+6	0.0031	+57
CH ₃ CCl ₃	19 ± 0.47	-47	0.0011	-72
CCl ₄	93 ± 0.17	-7	0.012	-7
HFC-125	3.7 ± 0.10 ^e	+2.6 ^f	0.0009	+234
HFC-134a	35 ± 0.73	+27	0.0055	+349
HFC-152a	3.9 ± 0.11 ^e	+2.4 ^f	0.0004	+151
HFC-23	18 ± 0.12 ^{g,h}	+4	0.0033	+29
SF ₆	5.6 ± 0.038 ⁱ	+1.5	0.0029	+36
CF ₄ (PFC-14)	74 ± 1.6 ⁱ	-	0.0034	-
C ₂ F ₆ (PFC-116)	2.9 ± 0.025 ^{g,h}	+0.5	0.0008	+22
CFCs Total^k			0.268	-1
HCFCs Total			0.039	+33
Montreal Gases			0.320	-1
Other Kyoto Gases (HFCs + PFCs + SF₆)			0.017	+69
Halocarbons			0.337	+1
Total LLGHGs			2.63	+9

Πηγή: IPCC, 2007

Δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης (Global Warming Potential-GWP)

Το **δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης** είναι ένα μέγεθος που αποτυπώνει το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που απορροφά ένα θερμοκηπικό αέριο σε συγκεκριμένο χρονικό εύρος σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα (τιμή αναφοράς 1)

GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)	
GREENHOUSE GASES	GWP
CARBON DIOXIDE	1
METHANE	25
NITROGEN PROTOXIDE	298
HYDROFLUOROCARBONS	124-14.800
PERFLUOROCARBONS	7.390-12.200
SULFUR HEXAFLUORIDE	22.800

Source IPCC

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (Global Warming Potential-GWP)

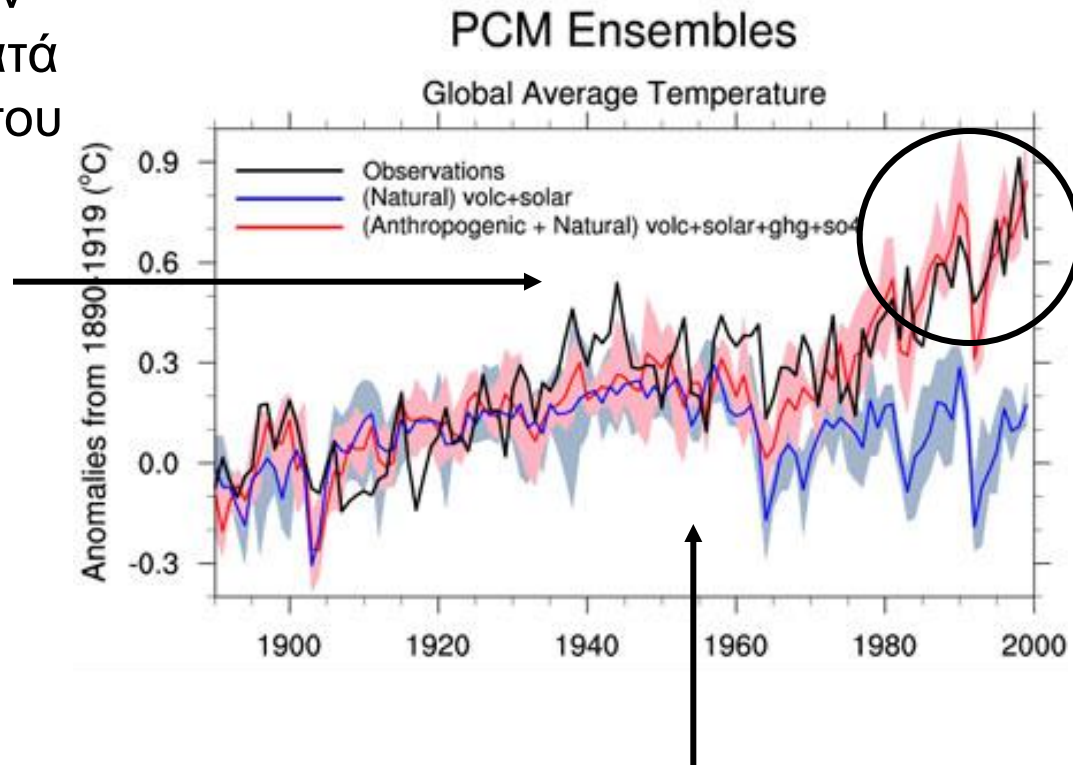
- Είναι ένα σχετικό μέγεθος και αφορά πόση πολλαπλάσια υπέρυθρη ακτινοβολία (θερμότητα) μπορεί να συγκρατήσει η μονάδα μάζας ενός θερμοκηπικού αερίου σε σχέση με τη μονάδα μάζας του CO₂
- Υπολογίζεται για συγκεκριμένη χρονική περίοδο 20-100-500 έτη

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR [†] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Methane ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
Substances controlled by the Montreal Protocol							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

- Η θερμοκρασία αέρα στην επιφάνεια έχει αυξηθεί κατά 1°F (**$0,7^{\circ}\text{C}$**) από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα

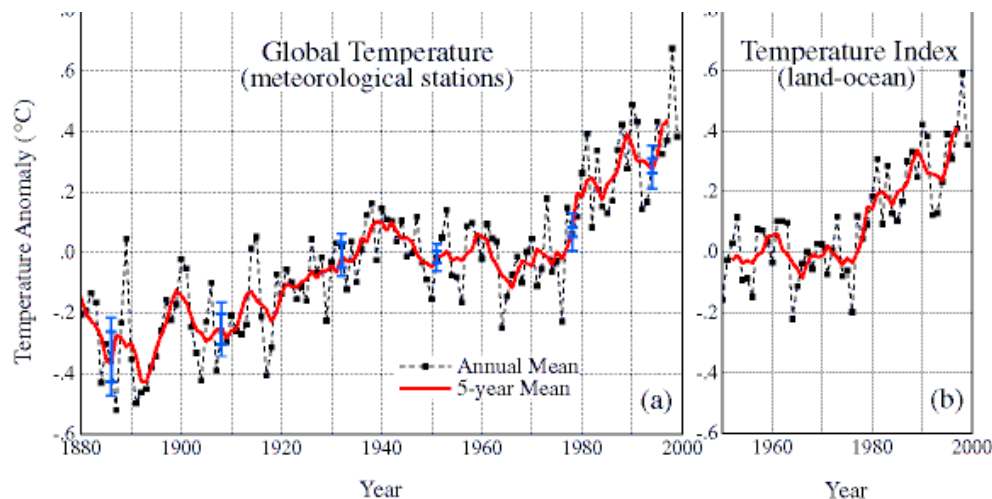
- Η ηλιακή δραστηριότητα συνέβαλε σε μια τάση αύξησης της μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο 1910-1940



- Η βιομηχανική δραστηριότητα αυξήθηκε μετά από τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο, αυξήθηκαν και οι εκπομπές θεϊκών αερολυμάτων με αποτέλεσμα πτώση της μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο 1940-1970

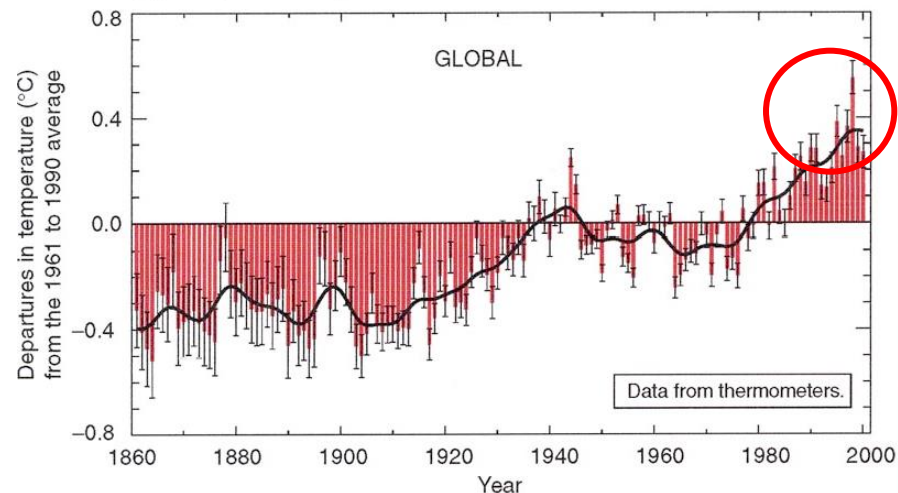
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

- 1990's η θερμότερη δεκαετία σε παγκόσμιο επίπεδο
- 1990's η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 1000 χρόνια
- 1950-1993 αύξηση των ελαχίστων θερμοκρασιών πάνω από ξηρά κατά $0,2^{\circ}\text{C}$

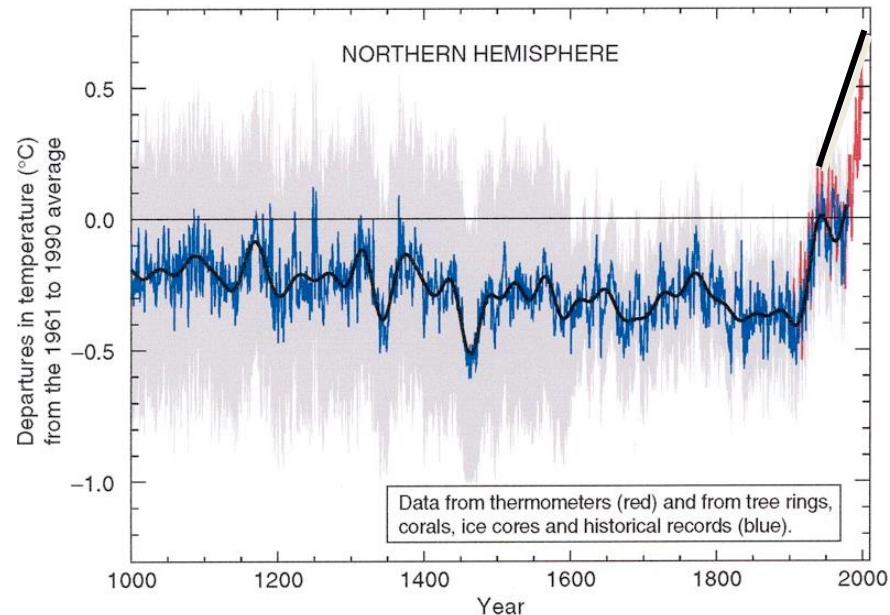


Variations of the Earth's surface temperature for:

(a) the past 140 years

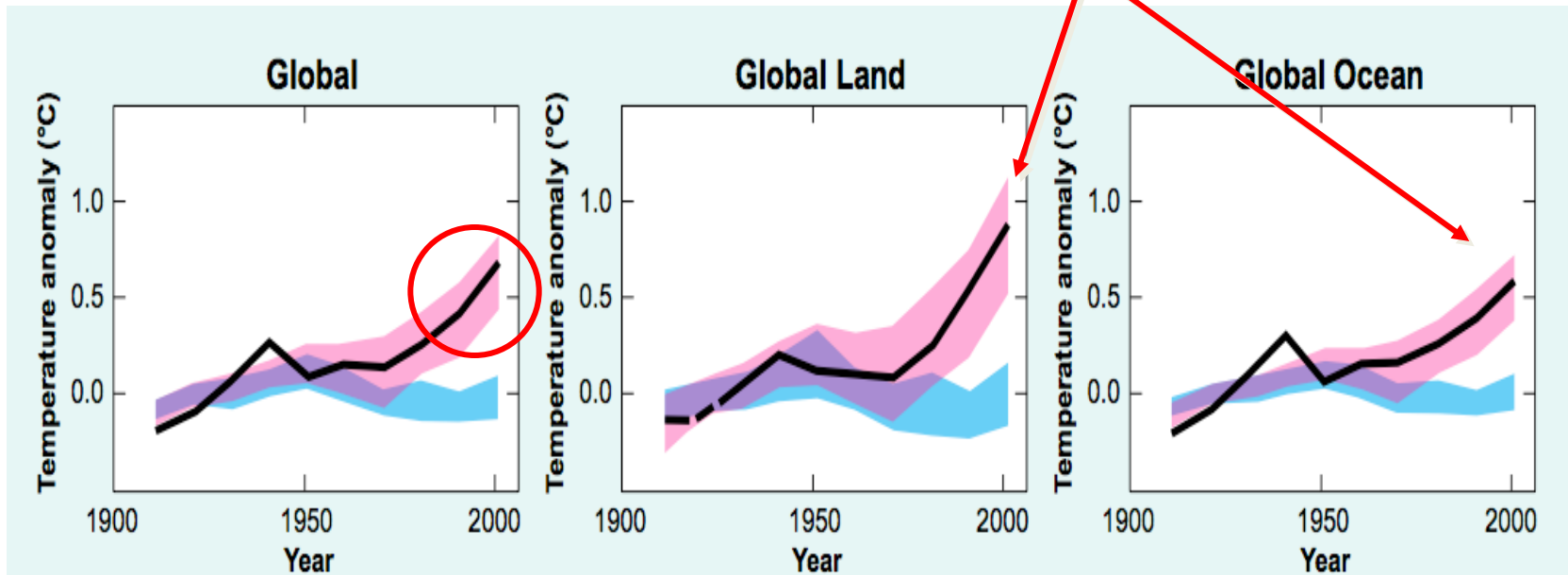


(b) the past 1,000 years



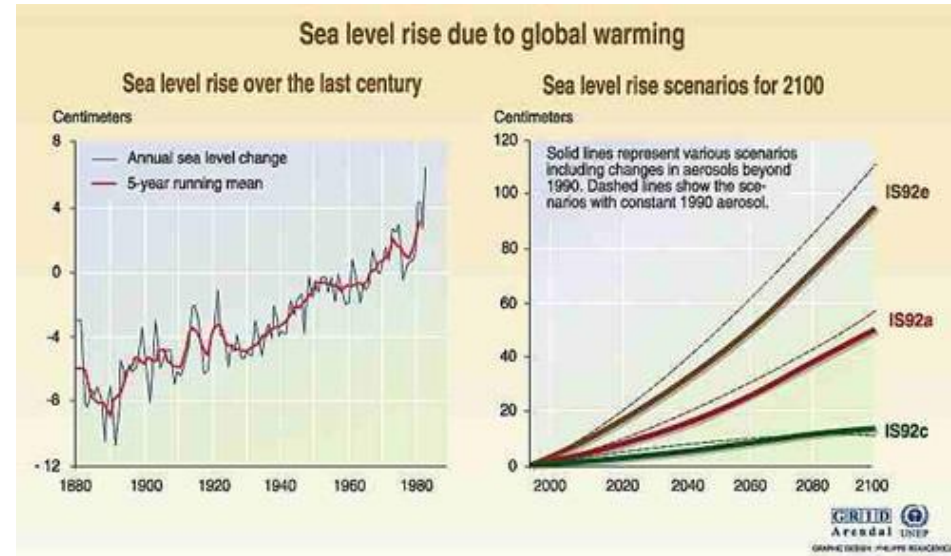
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

- Η συνεισφορά των χερσαίων εδαφών στην παγκόσμια άνοδο της θερμοκρασίας είναι περίπου **0,9°C**
- Η συνεισφορά των ωκεανών είναι **0,55°C**



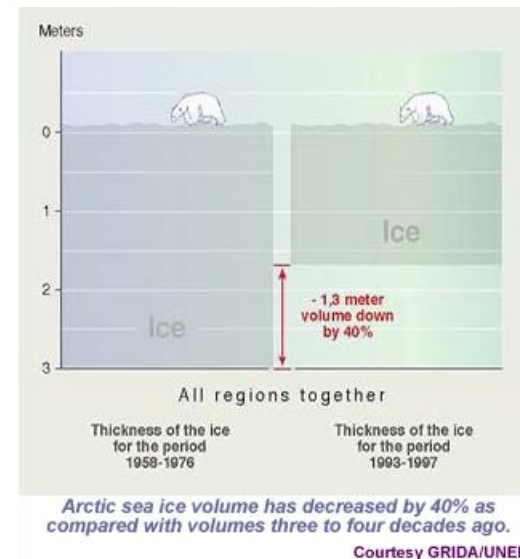
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

- **Άνοδος της μέσης στάθμης θάλασσας:** Η στάθμη θάλασσας έχει αυξηθεί 10-20cm κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα



- **Λιώσιμο των πάγων:** Σήμερα, το πάχος των παγετώνων κατά το θέρος στην Αρκτική είναι το μισό σε σχέση με το 1950 και μπορεί να οδηγήσει σε παγκόσμιες αλλαγές στην γενική κυκλοφορία των ωκεανών

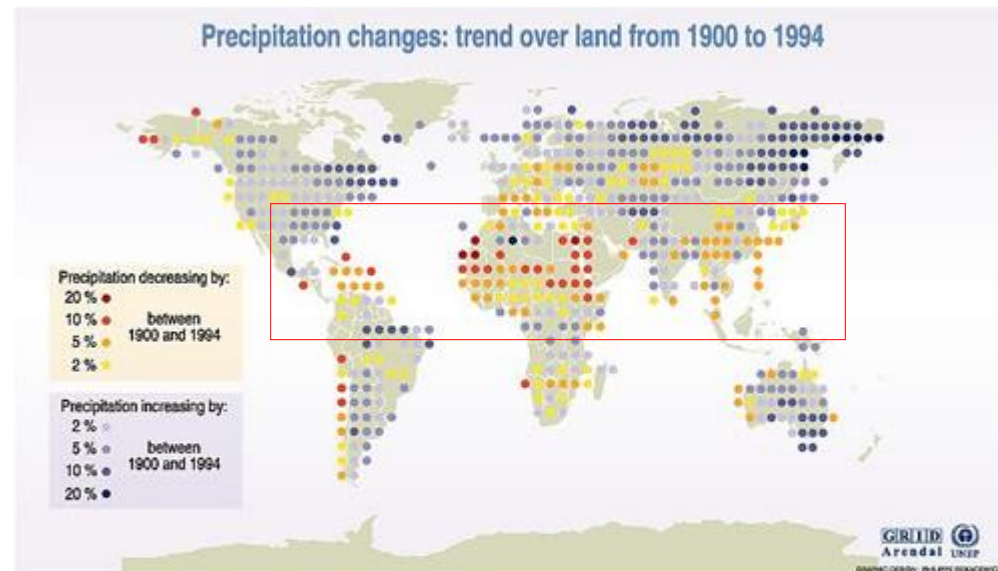
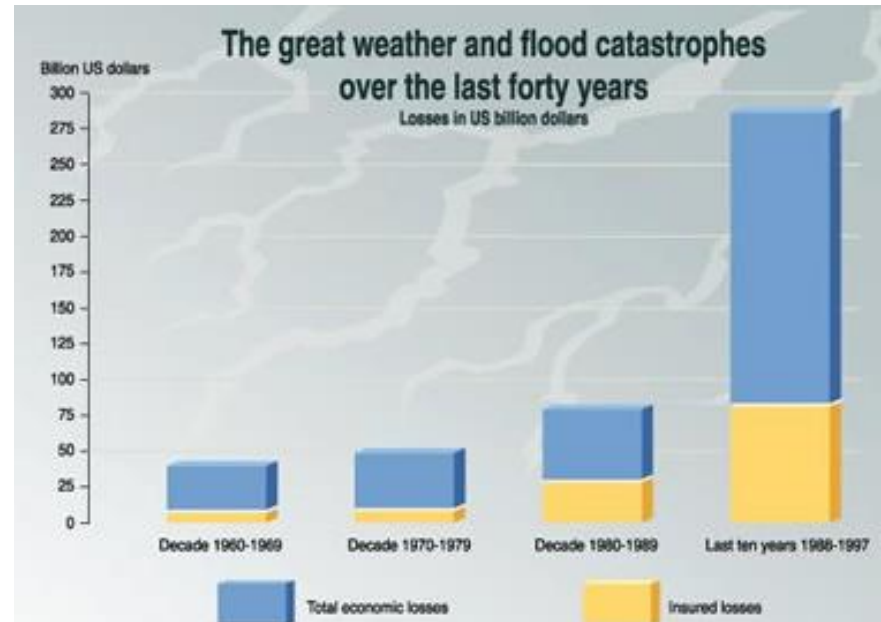
The upward trend in the graph on the left indicates that sea level has increased more than 12 cm since 1890. On the right, predictions of sea level change over the next 100 years indicate a continued rise of 10-90 cm.



Courtesy GRIDA/UNEP

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

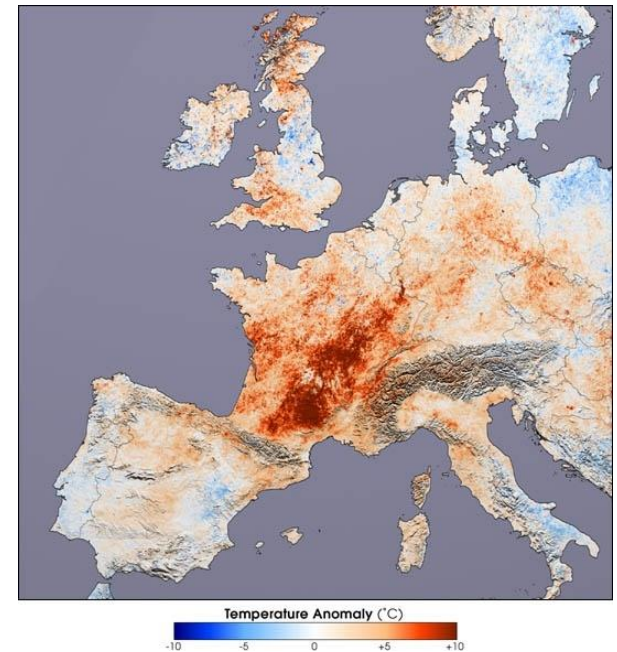
- **Πλημμύρες-Ακραία καιρικά φαινόμενα:** Καταγραφή αύξησης 5-10% των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα
- **Ξηρασίες:** Ενώ μερικά μέρη του κόσμου θα αντιμετωπίσουν σημαντική αύξηση των βροχοπτώσεων ορισμένα άλλα θα δοκιμαστούν από τα αυξανόμενα επίπεδα ξηρασίας καθώς χαρακτηριστικά ξηρές περιοχές, όπως είναι οι ηπειρωτικές, θα έχουν ακόμη εντονότερη εξάτμιση



Yellow, orange, and red dots indicate areas that have experienced less precipitation during the 20th century. Conversely, areas with gray dots have seen an increase in precipitation.

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

- **Καύσωνες:** Οι καύσωνες έχουν αυξηθεί σημαντικά τον τελευταίο αιώνα. Παραδείγματος χάριν, ένα κύμα καύσωνα το 1995 στο Σικάγο προκάλεσε 514 θανάτους και το 2003 στη Γαλλία περίπου 14000 θανάτους
- **Θερμοί χειμώνες:** Οι μεταβατικές εποχές έχουν επεκταθεί αρκετές ημέρες από τη δεκαετία του '60, όπου η άνθιση των φυτών παρατηρείται 6 ημέρες νωρίτερα ενώ τα φυλοβόλλα δέντρα ρίχνουν τα φύλλα τους 5 ημέρες αργότερα



ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

- **Αλλαγές στα οικοσυστήματα:** Έχει διαπιστωθεί μετανάστευση πολλών ειδών πανίδας ή μετάλλαξη τους κατά την προσαρμογή τους στις κλιματικές αλλαγές
- **Καλλιεργούμενες εκτάσεις:** Με την ερημοποίηση περιοχών λόγω ξηρασίας πολλές περιοχές γίνονται ακατάλληλες για τη γεωργία ενώ υπάρχουν εκτιμήσεις ότι από το 2080, περίπου 80 εκατομμύρια άνθρωποι, κυρίως στην Αφρική, θα λοιμοκτονούν λόγω της αλλαγής του κλίματος

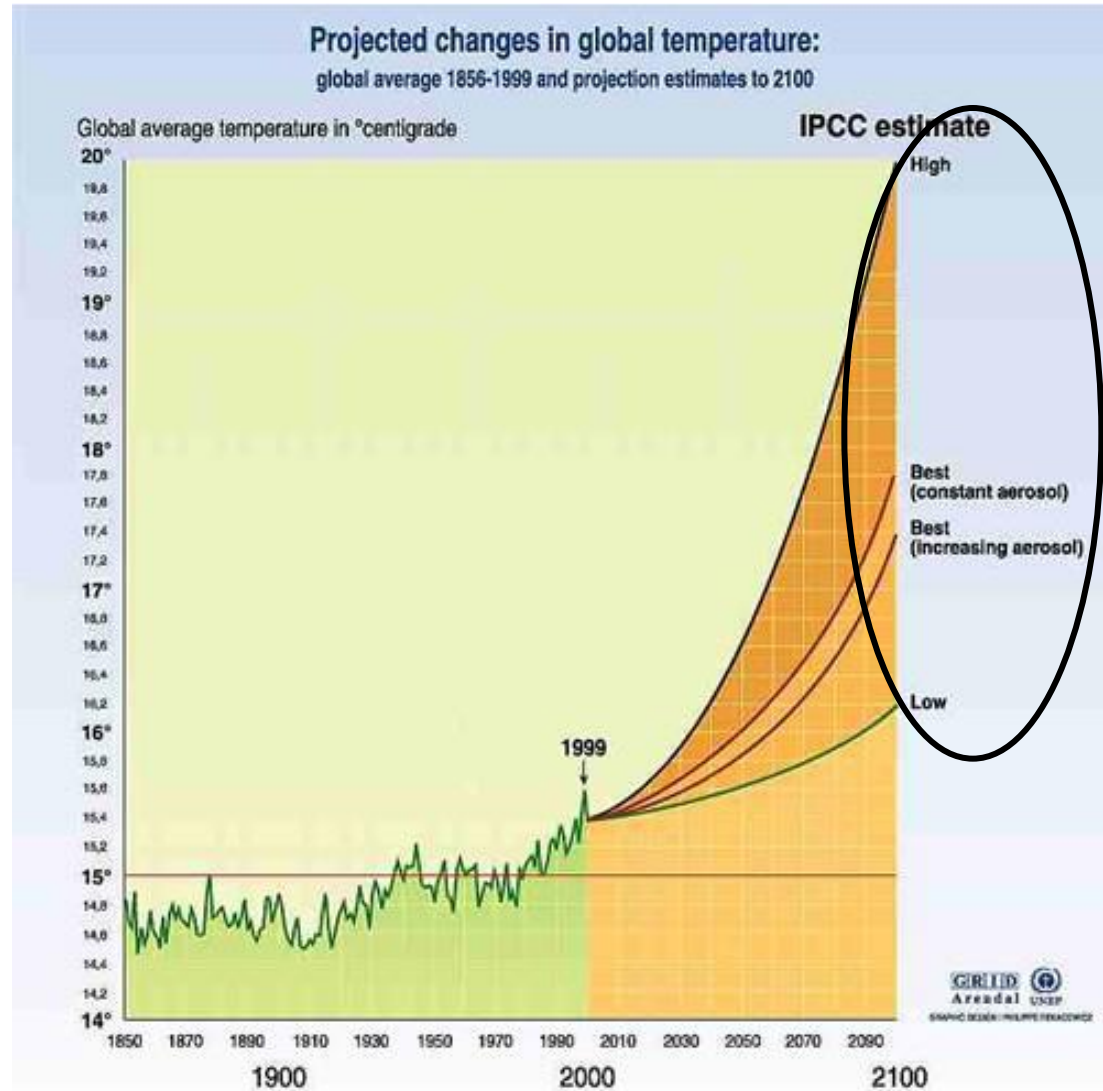


Scientists fear that polar bears may become extinct within 100 years as their Arctic habitat shrinks due to global warming.

© 2003 UCAR

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

- Σύμφωνα με πρόσφατα συμπεράσματα του IPCC, η μέση θερμοκρασία επιφανείας έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο **0,7°C** κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα
- Με βάση τα αποτελέσματα αριθμητικών προσομοιώσεων αναμένεται περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας έως το 2100
- Διαφοροποίηση εκτιμήσεων με βάση διαφορετικά σενάρια



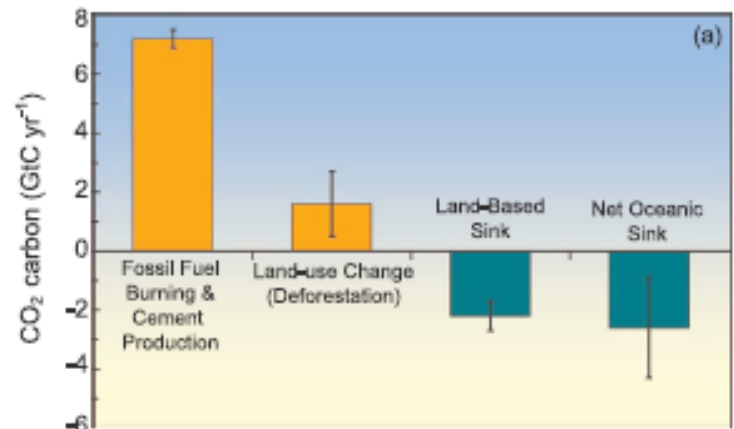
Actual global temperatures are plotted on the graph for years 1856-1999 and IPCC estimates of temperature are plotted for years 1999-2100. Different lines on the graph between 1999 and 2100 indicate high, low, and best estimates of future temperature.

ΚΑΠΟΙΑ ΠΡΩΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Είναι πολύ πιθανό (άνω του **90%**) πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες ευθύνονται για την παγκόσμια θέρμανση
- Η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας στο τέλος του αιώνα θα είναι μεταξύ **1,8°C** και **4°C**
- Τα επίπεδα της θάλασσας θα αυξηθούν από **28-43cm**
- Ο Αρκτικός θαλάσσιος πάγος θα εξαφανιστεί από το δεύτερο μισό του αιώνα
- Σε αρκετές περιοχές του πλανήτη θα αυξηθεί η συχνότητα εμφάνισης καυσώνων
- Η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει στην ενίσχυση της έντασης των τροπικών καταιγίδων και των κυκλώνων

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (CO₂)

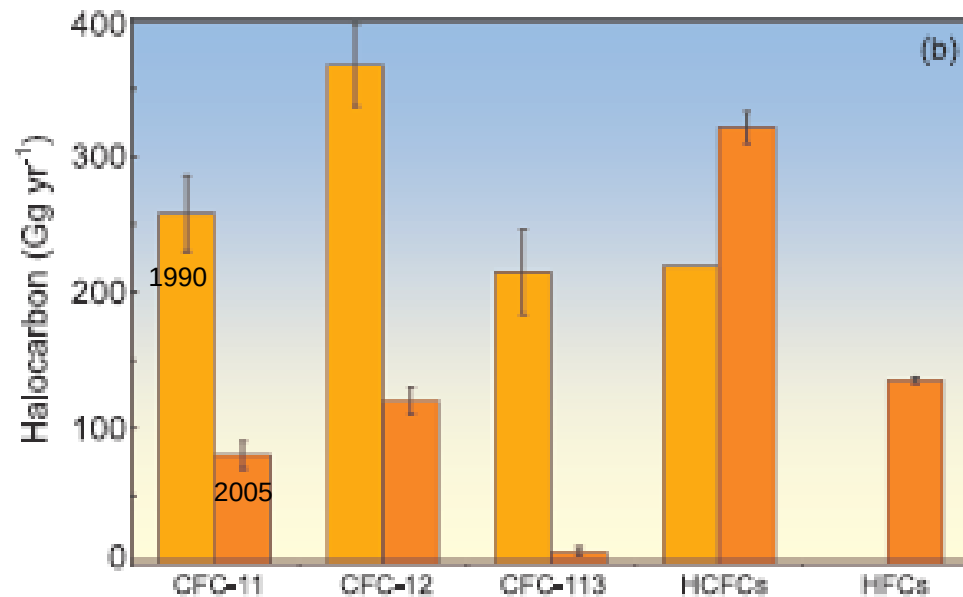
- Από το 1959 έως σήμερα το **55%** της αύξησης των συνολικών εκπομπών του CO₂ στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα
- Από αυτά το **75%** προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων ενώ το υπόλοιπο οφείλεται στην **μεταβολή της χρήσης γης**
- Τα τελευταία 25 έτη το CO₂ στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε από **3,2 σε 4,1 GtC yr⁻¹**
- Οι φυσικές εναλλαγές CO₂ μεταξύ ξηράς και ατμόσφαιρας εκτιμώνται σε **~120 GtC yr⁻¹** ενώ αυτές ανάμεσα σε ωκεανούς και ατμόσφαιρα σε **~100 GtC yr⁻¹**
- Οι φυσικές καταβόθρες του CO₂ καλύπτουν περίπου τις μισές από τις ανθρωπογενείς εκπομπές



Πηγή: IPCC, 2007

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (CFCs)

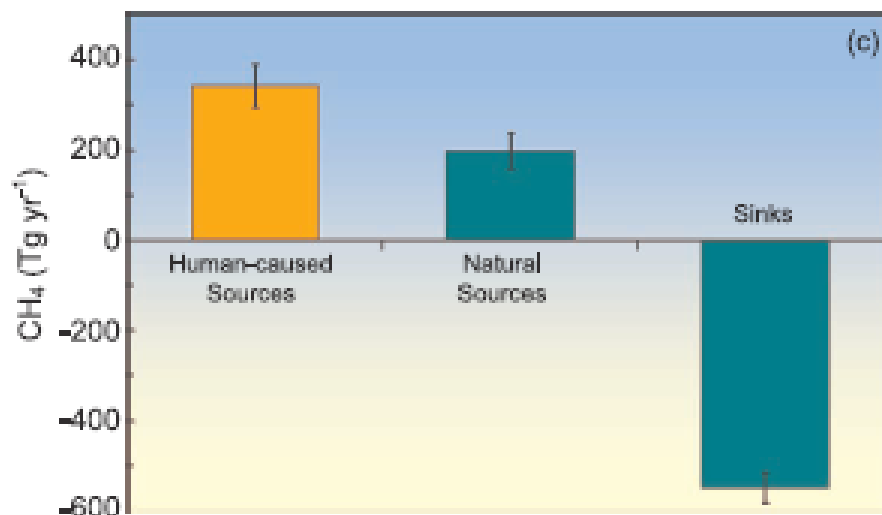
- Οι χρόνοι ζωής στην ατμόσφαιρα
 - CFCs είναι 45-100 έτη
 - HCFCs 1-18 έτη
 - HFCs είναι 1-270 έτη



Πηγή: IPCC, 2007

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (CH₄)

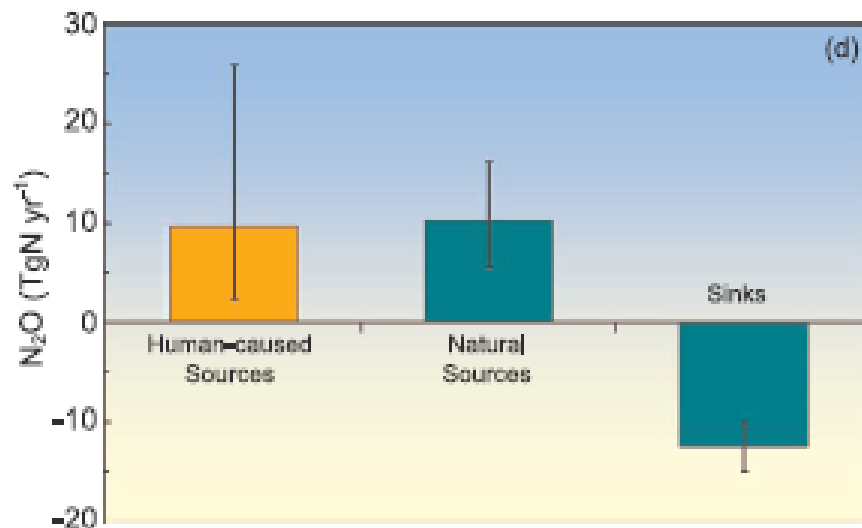
- Οι εκπομπές CH₄ από ανθρώπινη δραστηριότητα υπερβαίνουν το σύνολο των φυσικών εκπομπών
- Κατά την περίοδο 1960-1999 οι συγκεντρώσεις CH₄ αυξήθηκαν κατά μέσο όρο 6 φορές ταχύτερα σε σχέση με κάθε άλλη προηγούμενη περίοδο
- Η παραγωγή ενέργειας από λιγνίτη και φυσικό αέριο, οι χωματερές, οι οριζώνες και η καύση βιομάζας αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές παραγωγής
- Το CH₄ παραμένει στην ατμόσφαιρα περίπου 8,4 έτη



Πηγή: IPCC, 2007

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (N₂O)

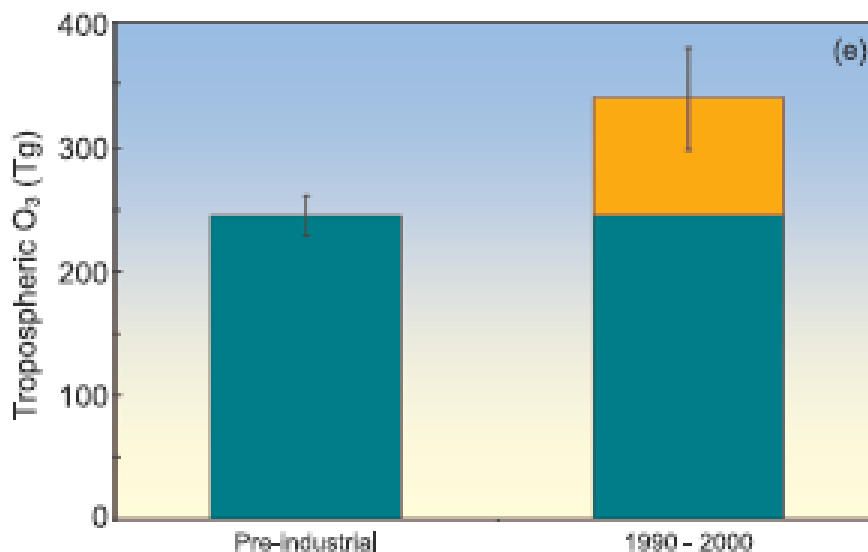
- Οι εκπομπές N₂O από ανθρώπινη δραστηριότητα βρίσκονται σε ισορροπία με το σύνολο των φυσικών εκπομπών
- Την περίοδο 1960-1999 οι συγκεντρώσεις N₂O αυξήθηκαν κατά μέσο όρο 2 φορές ταχύτερα από κάθε άλλη περίοδο
- Η εντατικοποίηση της γεωργίας με τη χρήση νιτρικών λιπασμάτων, η καύση βιομάζας και η παραγωγή νάϋλον είναι οι σημαντικότερες πηγές N₂O στην ατμόσφαιρα
- Ο χρόνος ζωής του N₂O στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 114 έτη



Πηγή: IPCC, 2007

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (O₃)

- Το τροποσφαιρικό όζον (O₃) παράγεται από φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα που περιλαμβάνουν CO, CH₄, NO_x και VOCs (volatile organic compounds)
- Είναι το πιο ευμετάβλητο από τα αέρια του θερμοκηπίου καθώς εξαρτάται από τις πρόδρομες χημικές ενώσεις και την ηλιακή ακτινοβολία
- Έχει χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα από μερικές ημέρες έως εβδομάδες



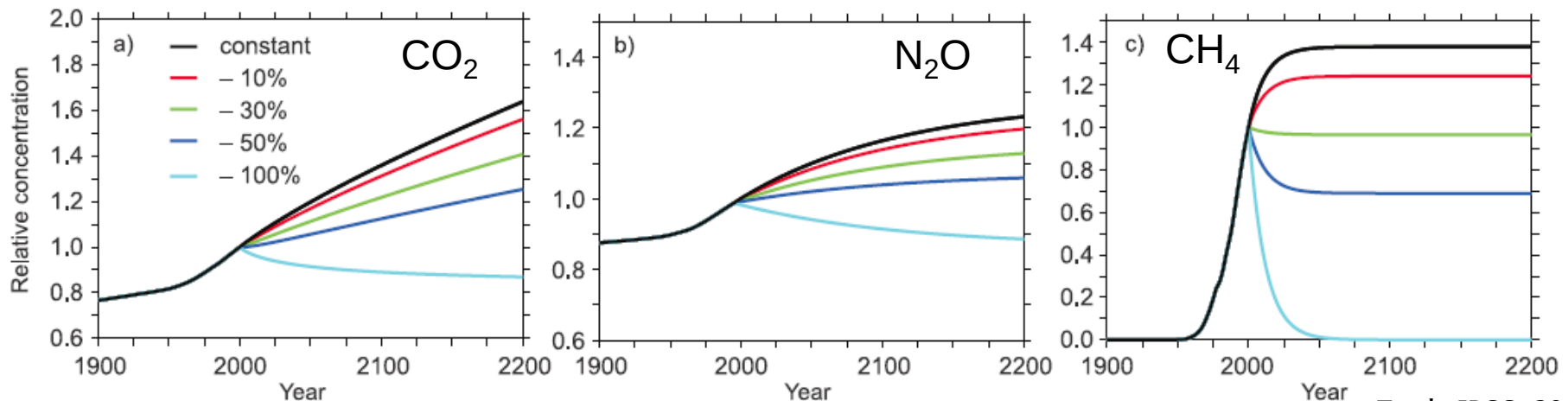
Πηγή: IPCC, 2007

ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Οι συγκέντρωσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα εξαρτώνται από τις βαθμίδες εκπομπών τους και τους ρυθμούς των διεργασιών απομάκρυνσης τους
- Το 50% της συγκέντρωσης CO_2 απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια 1 αιώνα, ενώ υπάρχει ένα ποσοστό (~20%) που παραμένει στην ατμόσφαιρα έως και 1000 έτη
- Λόγω του αργού ρυθμού απομάκρυνσης, το ατμοσφαιρικό CO_2 μπορεί να συνεχίζει να αυξάνει μακροχρόνια ακόμα και στην περίπτωση που μειωθεί δραστικά σε σχέση με σήμερα
- Ο χρόνος ζωής για το CH_4 είναι περίπου 10 έτη, για το N_2O περίπου 110 έτη και για το HCFC 12 έτη

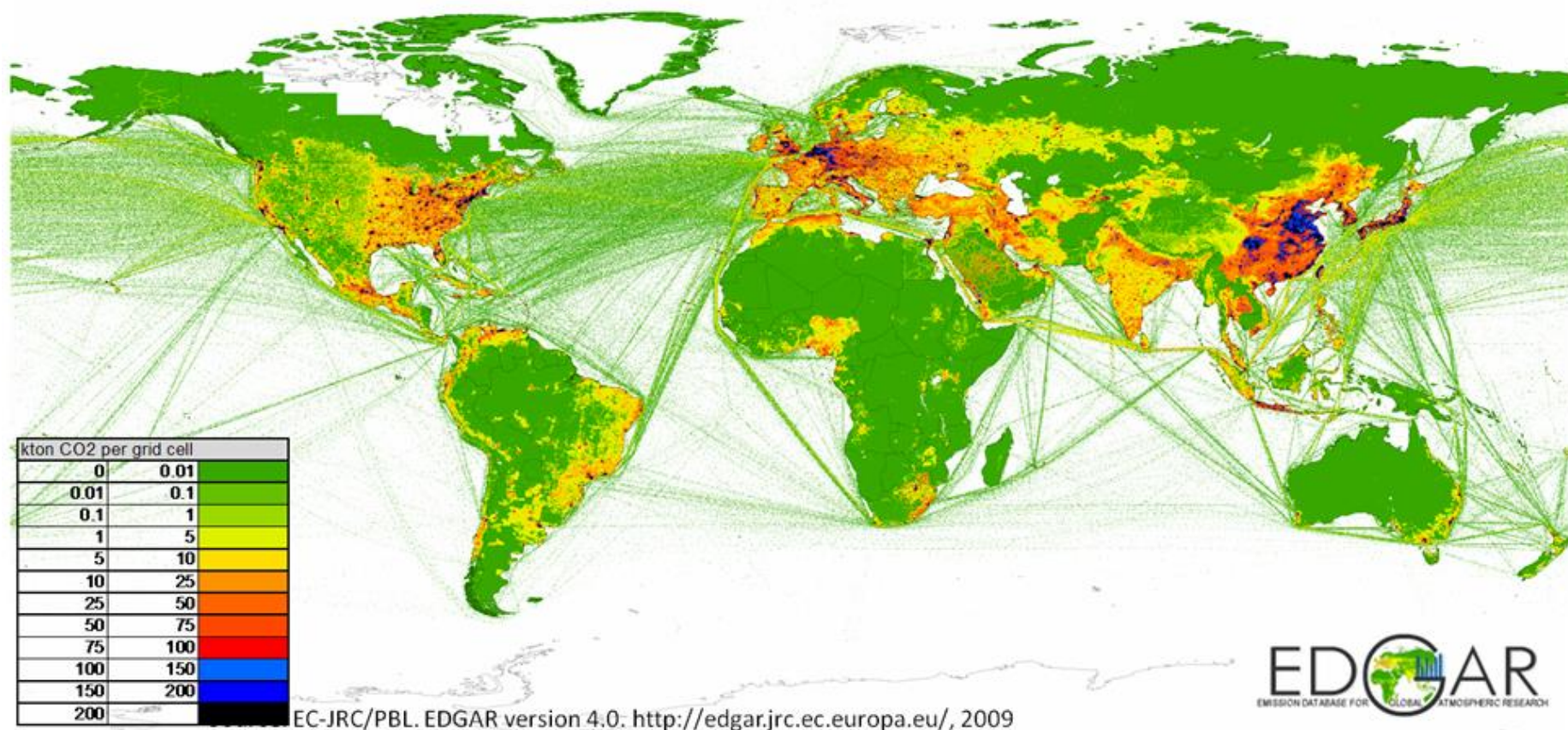
ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- Σταθεροποίηση των εκπομπών CO₂ στα παρόντα επίπεδα θα οδηγήσει σε συνεχιζόμενη αύξηση των συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα
- Μία 10% μείωση των εκπομπών αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση του ρυθμού αύξησης της συγκέντρωσης κατά 10%
- Η μείωση κατά 50% των εκπομπών μπορεί να οδηγήσει σε σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων αλλά μόνο για μία δεκαετία καθώς οι απορροφητές του CO₂ (ξηρά και ωκεανοί) θα μειώσουν ανάλογα τη συνεισφορά τους μέσω χημικών και βιολογικών διεργασιών (αυτορύθμιση του συστήματος)
- Μείωση κατά 100% των εκπομπών θα οδηγήσει σε μικρή μείωση του CO₂ κατά περίπου 40 ppm κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα



Πηγή: IPCC, 2007

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΗΓΩΝ CO₂



ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

- Ως ανακλαστικότητα (albedo) ορίζεται το κλάσμα της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στη μονάδα της επιφάνειας
- Μεταβολές στην ανακλαστικότητα των εδαφών προέρχονται κυρίως από αλλαγές στη χρήση και κάλυψη γης
- Εδάφη με υψηλότερη ανακλαστικότητα προσφέρουν μεγαλύτερα ποσά ακτινοβολίας προς τα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα

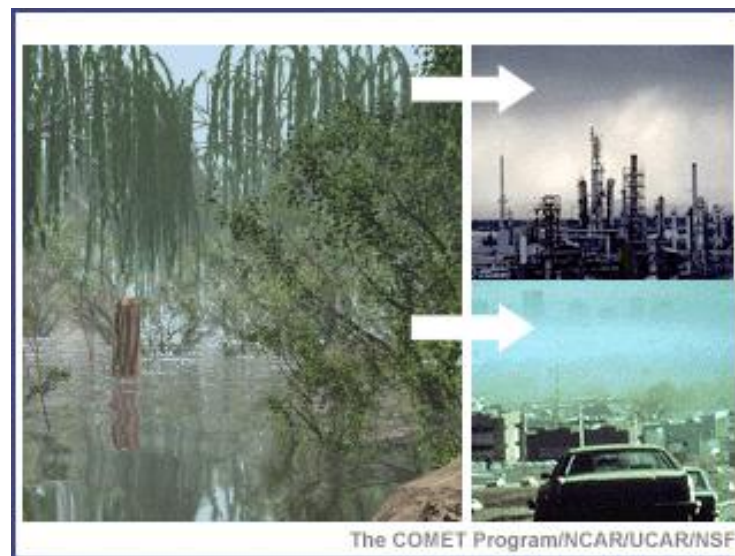


The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.



ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

- Οι δασικές πυρκαγιές δεν συμβάλλουν μόνο στην έκλυση CO₂ κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς αλλά μεταβάλλουν μόνιμα τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους
- Εάν δημιουργηθεί πάλι ένα δάσος παρόμοιου μεγέθους, σχεδόν το ίδιο ποσό άνθρακα που προστέθηκε στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς θα αφαιρεθεί



The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Μεταβλητότητα φυσιογραφικών χαρακτηριστικών:

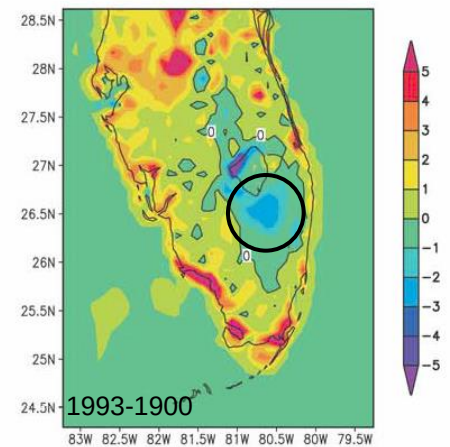
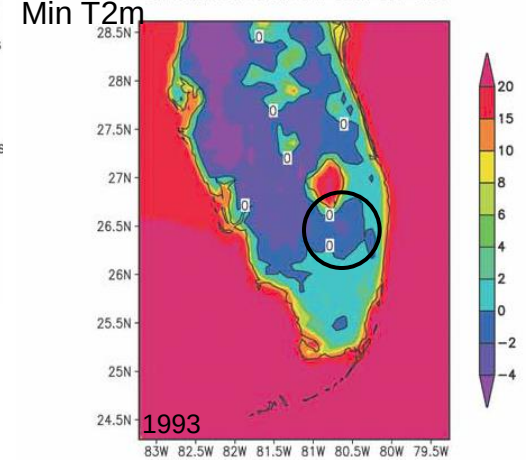
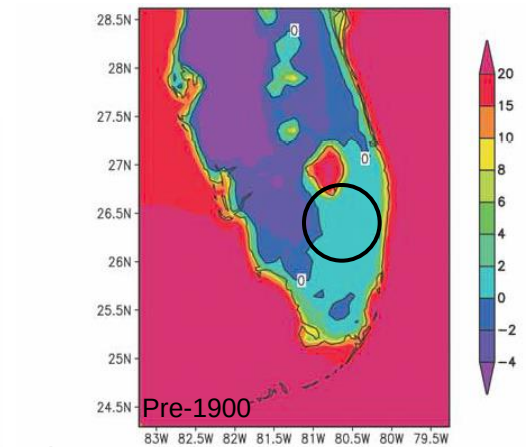
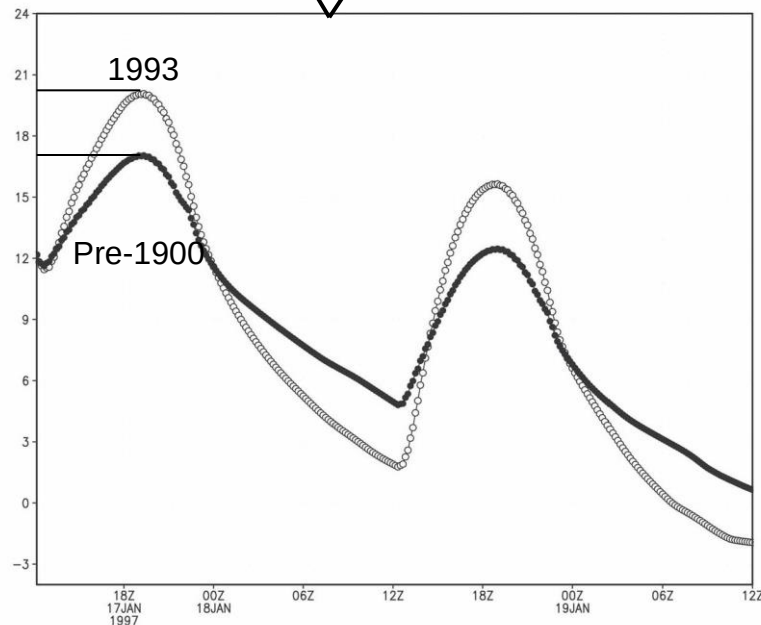
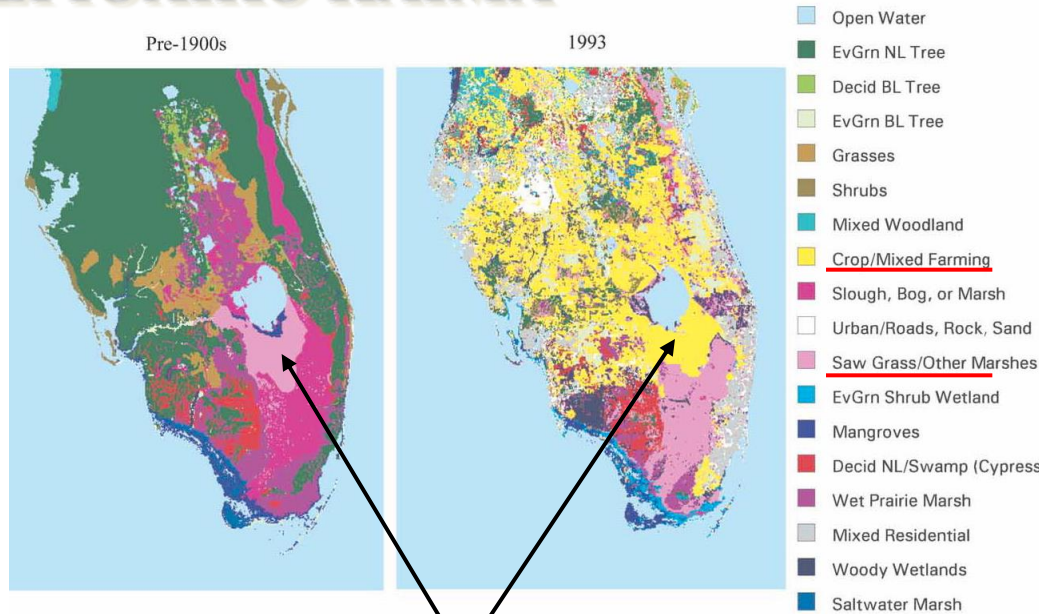
- Τοπογραφία
- Διανομή ξηράς-θάλασσας
- Σύσταση εδάφους
- Κάλυψη εδάφους

Αυτές οι ανομοιογένειες μπορούν να δημιουργήσουν αντίστοιχες στο ισοζύγιο ενέργειας και συνεπώς να δημιουργούν μέσης κλίμακας ατμοσφαιρικές κυκλοφορίες που επιδρούν στη νέφωση, στη βροχόπτωση και γενικά να επηρεάσουν τον περιοχικό καιρό και κλίμα

Γενικά:

- <5km ανομοιογένειες δημιουργούν αλλαγές στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας
- >10km οδηγούν αλλαγές σε μέσης κλίμακας κυκλοφορίες

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑ

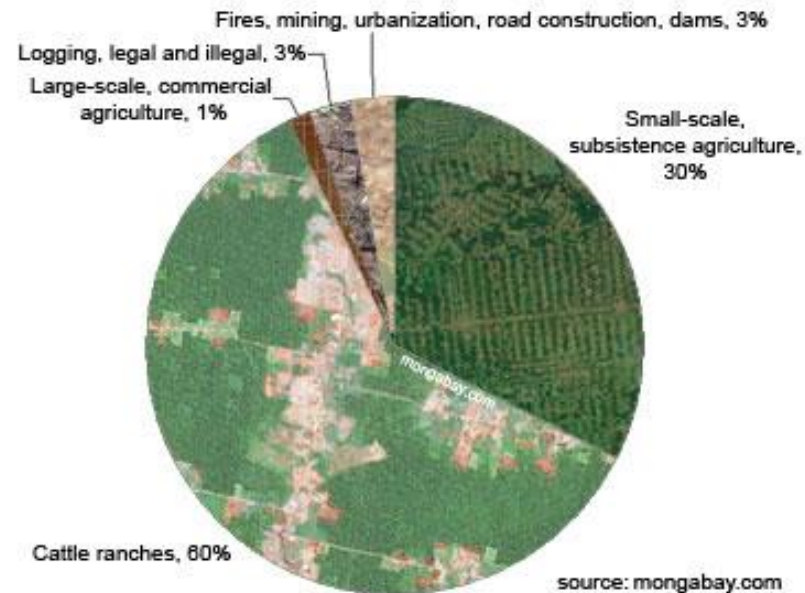


Marshall, C.H. Jr., R.A. Pielke Sr., and L.T. Steyaert, 2003: Crop freezes and land-use change. *Nature*, 426, 29-30

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Η ΑΜΑΖΟΝΙΑ

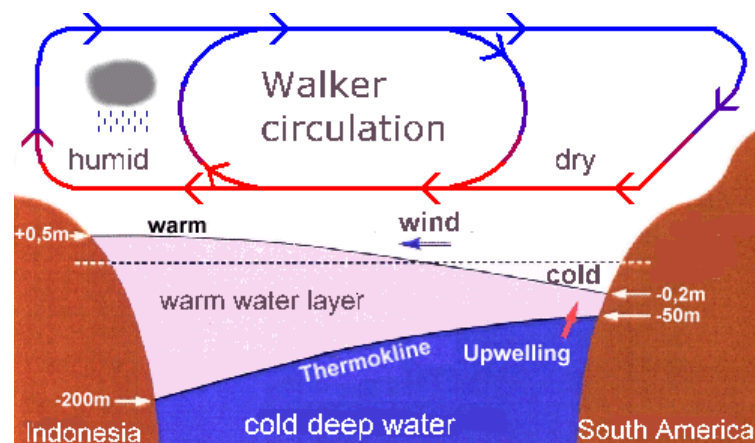
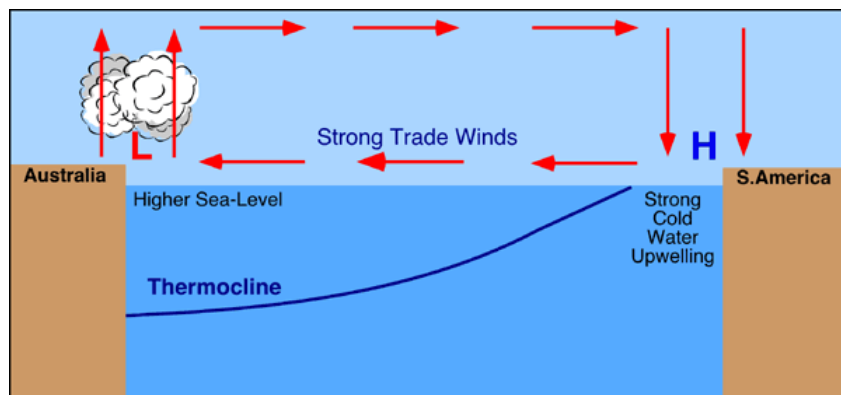
- Πρώτες εκτιμήσεις:
- Αποψίλωση των δασών → Ελάττωση των βροχοπτώσεων
→ Τροποποίηση κλίματος
- Λεπτομερέστερες εκτιμήσεις:
 - Αποψίλωση των δασών σε μέση κλίμακα (όπως ακριβώς συμβαίνει τώρα) αυξάνει την ανακύκλωση του νερού και δεν ελαττώνει τη βροχόπτωση
 - Άλλες όμως αλληλεπιδράσεις μπορούν να προέλθουν από αλλαγές στην ανακλαστικότητα, την εξάτμιση (υγρασία και σύσταση εδάφους), την τραχύτητα

Causes of Deforestation in the Amazon, 2000-2005



Η ΩΚΕΑΝΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΙΚΟ ΕΙΡΗΝΙΚΟ

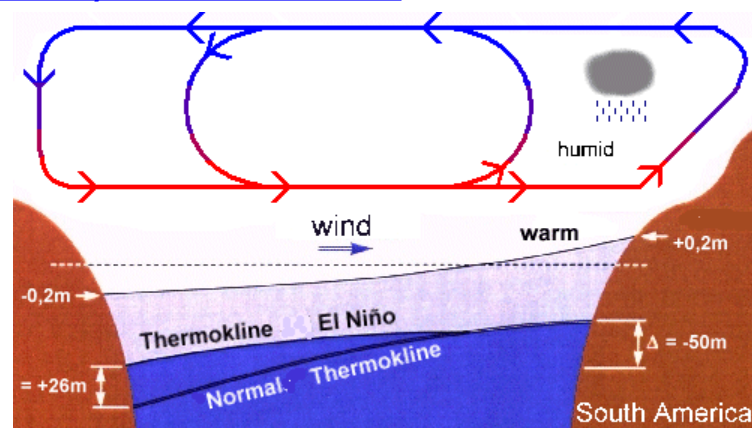
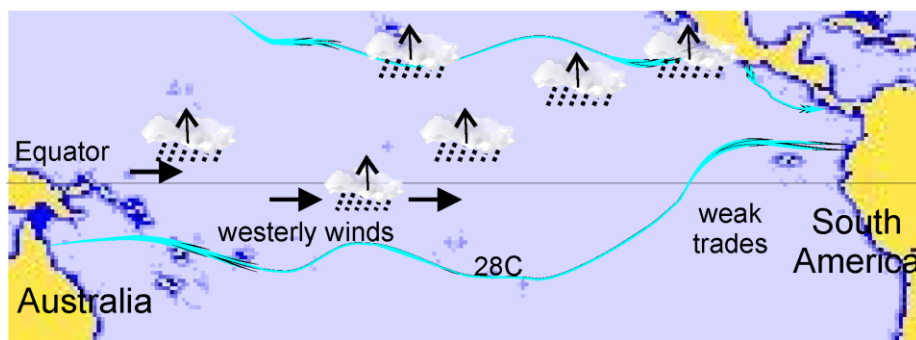
- Στη συγκεκριμένη περιοχή η ωκεάνια κυκλοφορία επηρεάζεται κυρίως από ανατολικών διευθύνσεων ζωνικούς (αληγείς) ανέμους
- Ανάλογη διεύθυνση παρουσιάζουν τα ωκεάνια ρεύματα με ταχύτητα διάδοσης από $10\text{-}30\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$
- Η δράση των αληγών ανέμων στις ισημερινές περιοχές του Ειρηνικού συνεπάγεται μετάβαση σχετικά θερμότερων υδάτινων μαζών ($28\text{-}29^{\circ}\text{C}$) προς τα δυτικά σε συνδυασμό με την άνοδο ψυχρότερων υδάτων ($22\text{-}24^{\circ}\text{C}$) στα ανατολικά, αναπτύσσοντας ισχυρή θερμική βαθμίδα ανάμεσα στις δύο περιοχές
- Η συγκεκριμένη διαδικασία εντάσσεται στο πλαίσιο της φυσιολογικής εξέλιξης του συστήματος και συνδυάζεται με άνοδο του επιπέδου της στάθμης θάλασσας στα δυτικά κατά 50cm



Η ΩΚΕΑΝΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΙΚΟ ΕΙΡΗΝΙΚΟ

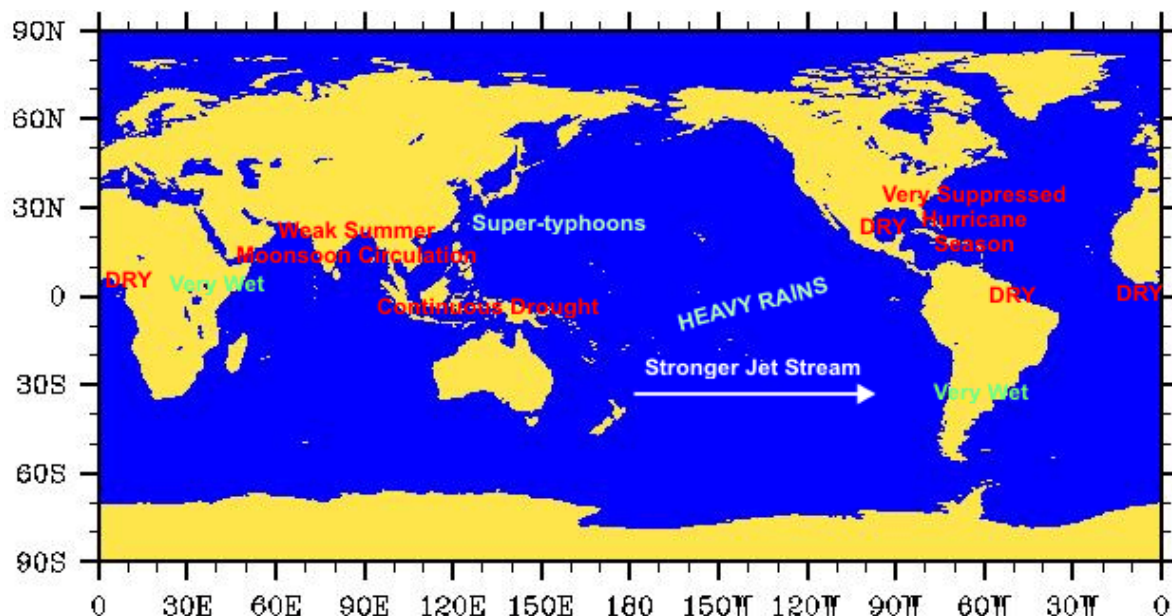
- Στην περιοχή του Τροπικού Ειρηνικού ωκεανού και κατά τους πρώτους μήνες κάθε έτους, ένα θερμό νότιο ρεύμα τροποποιεί συνήθως τα κανονικά δροσερά ύδατα
- Κατά την αρχικά στάδια ανάπτυξης της διαταραχής παρατηρείται εξασθένηση των αληγών ανέμων επιφέροντας διατάραξη της ισορροπίας του συστήματος
- Σημαντικές ποσότητες σχετικά θερμότερου νερού μετακινούνται προς τις ανατολικές ισημερινές περιοχές του Ειρηνικού Ωκεανού
- Στις ανατολικές περιοχές του Ειρηνικού εντοπίζεται άνοδος της μέσης στάθμης θάλασσας έως 20cm, εμποδίζοντας τη φυσιολογική διαδικασία ανόδου ψυχρότερων υδάτων στην περιοχή (upwelling)

<https://oceanservice.noaa.gov/facts/ninonina.html>



ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

- Περιοχές της Νότιας Αμερικής, όπως η Χιλή και η Αργεντινή εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλά ποσά βροχόπτωσης
- Ανάλογα, ισχυρές βροχοπτώσεις παρατηρούνται σε περιοχές της Ανατολικής Αφρικής, όπως η Κένυα και η Σομαλία
- Στις ανατολικές ακτές της Κεντρικής και Νοτίου Αμερικής εντοπίζεται εκτεταμένη περίοδο ανομβρίας, όπως επίσης και στις βόρειες περιοχές της Αυστραλίας και της Ινδονησίας
- Εξασθένηση της μουσωνικής κυκλοφορίας στη ΝΑ Ασία τη συγκεκριμένη περίοδο

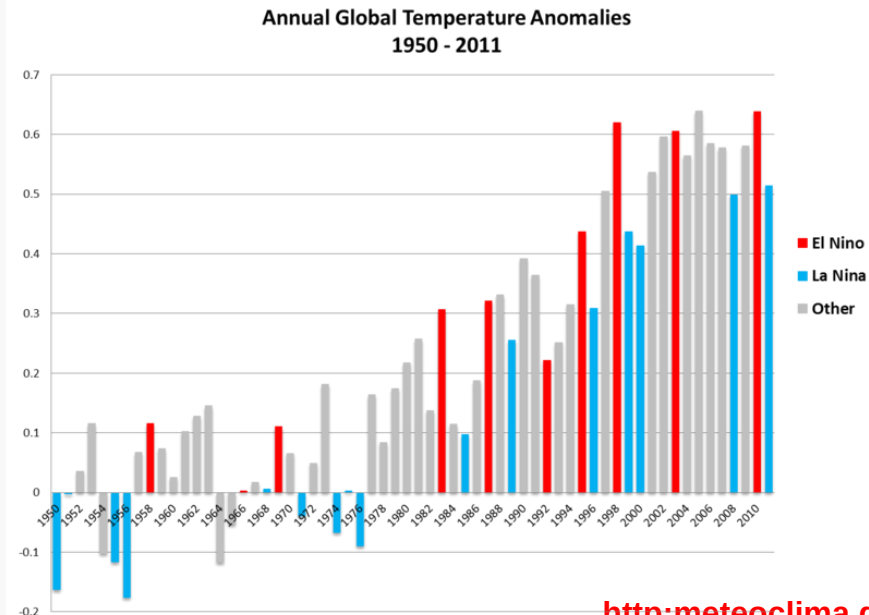
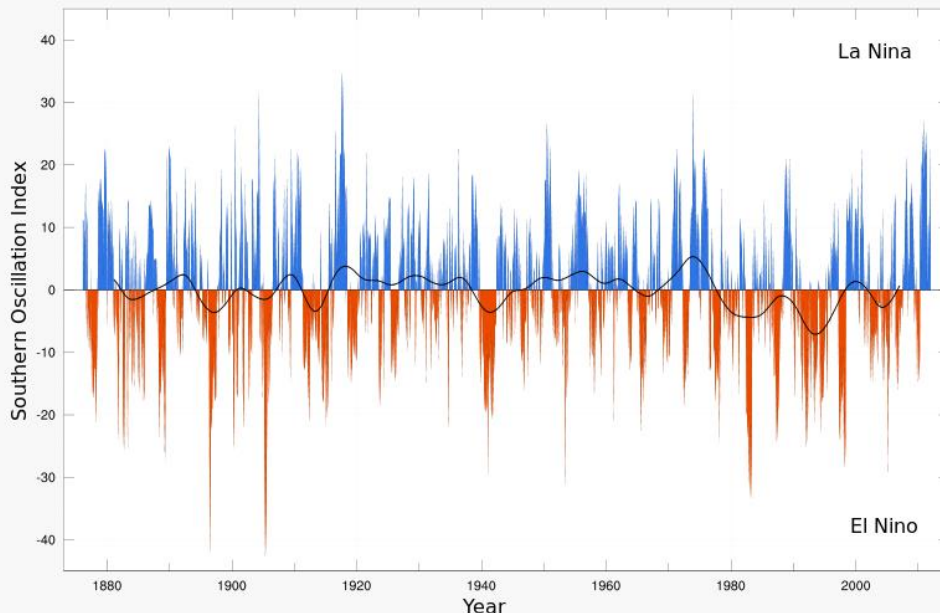


Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ

- Η συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου ποικίλει από 2-7 έτη
- Για τη μελέτη του φαινομένου υπάρχει ο δείκτης νότιας ταλάντωσης (*Southern Oscillation Index-SOI*)

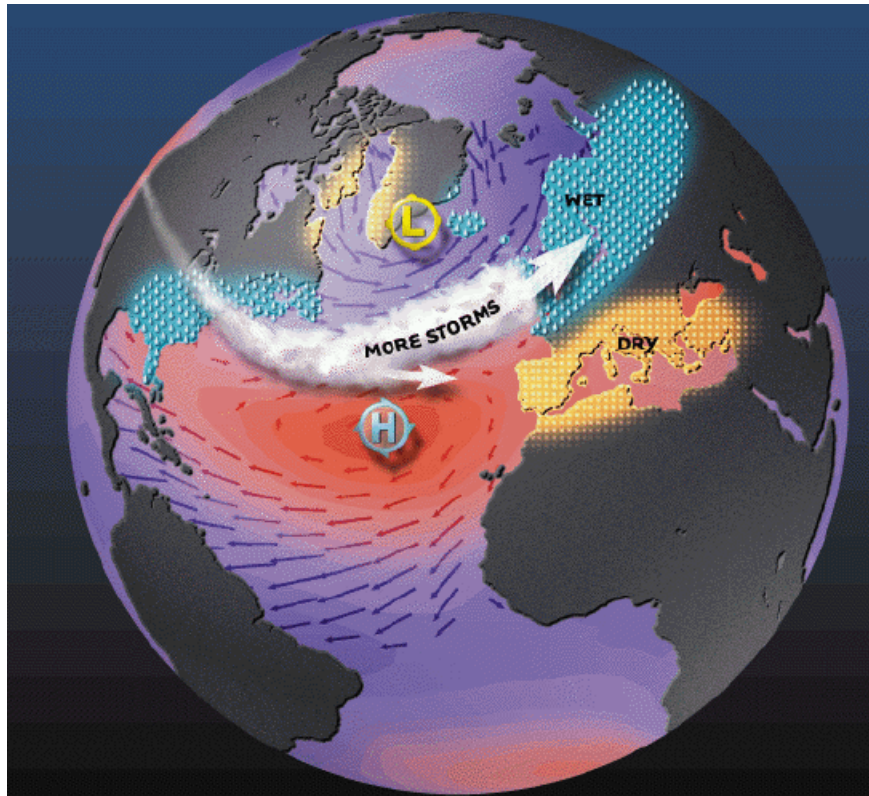
$$SOI = 10 \frac{P_{diff} - P_{diffav}}{SD_{P_{Diff}}}, SOI \in (-35, +35)$$

- P_{diff} = (μέση πίεση στην στάθμη της θάλασσας στην Tahiti για συγκεκριμένο μήνα) - (μέση πίεση στην στάθμη της θάλασσας στο Darwin MSLP για συγκεκριμένο μήνα)
- P_{diffav} = μέση τιμή της P_{diff} για συγκεκριμένο μήνα
- $SD_{P_{diff}}$ = τυπική απόκλιση της P_{diff} για συγκεκριμένο μήνα



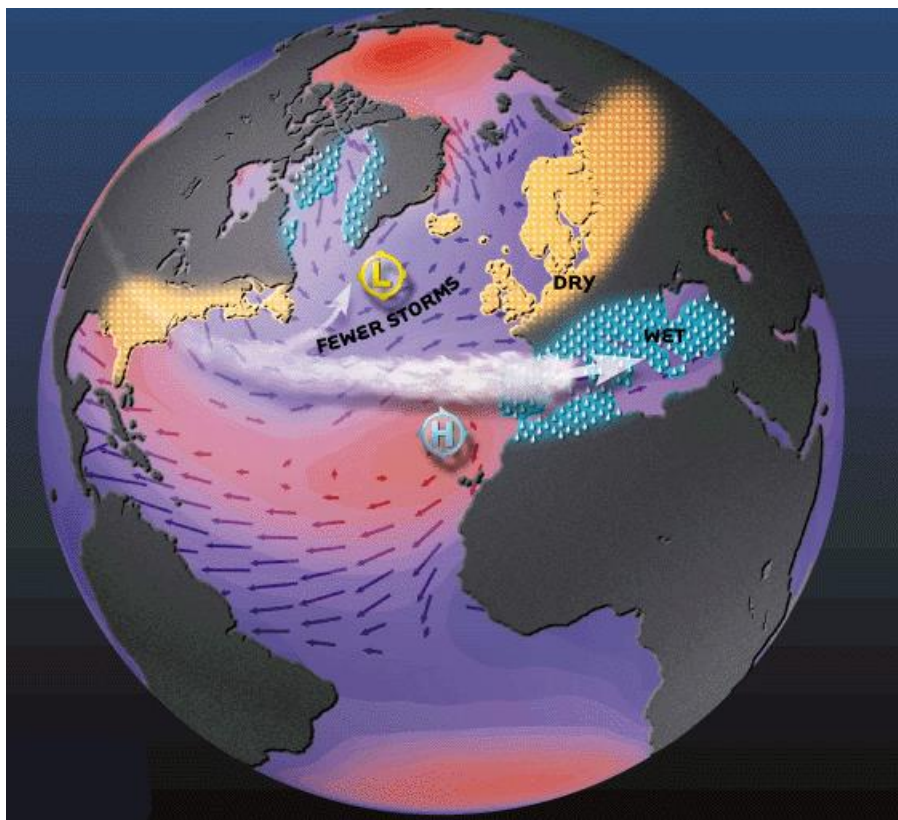
ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ (ΝΑΟ)

- Το NAO είναι η μεταβολή των σχετικών πιέσεων στη μέση στάθμη θάλασσας μεταξύ **Ισλανδίας** και **Αζορών**. Ο όρος εισήχθηκε από τον Gilbert Walker το 1924
- Η ένταση του NAO καθορίζεται από τον αντίστοιχο δείκτη



Θετικός δείκτης NAO υποδηλώνει ισχυρό υποτροπικό κέντρο υψηλών πιέσεων στον Ατλαντικό και βαθύτερο του κανονικού περιοχή χαμηλών πιέσεων στην Ισλανδία. Η αύξηση της διαφοράς πίεσης επιφέρει μεταφορά της τροχιάς των υφέσεων του Ατλαντικού σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη

ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ (ΝΑΟ)



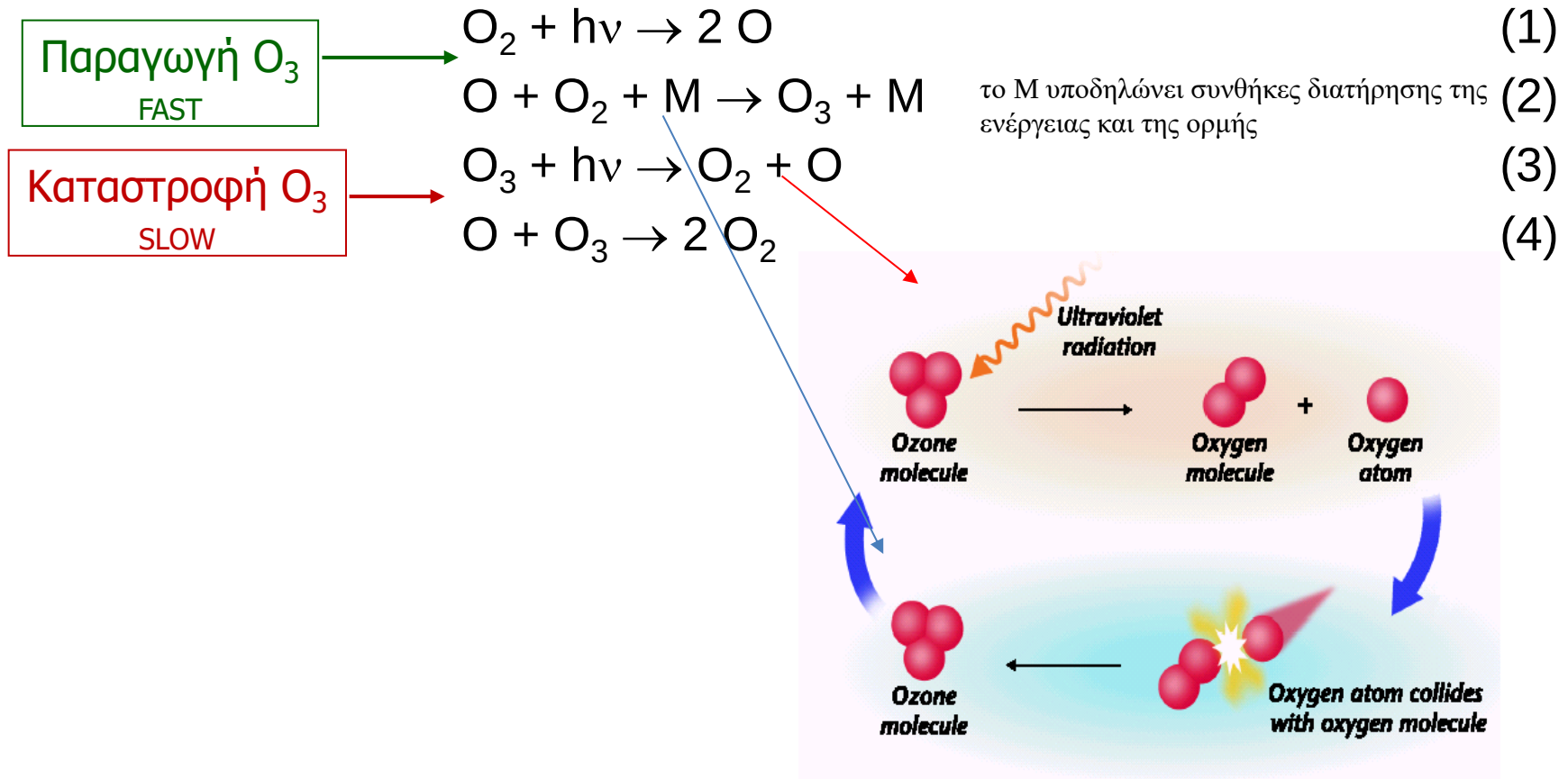
Αρνητικός δείκτης ΝΑΟ υποδηλώνει ασθενές υποτροπικό κέντρο υψηλών πιέσεων στον Ατλαντικό και αβαθή περιοχή χαμηλών πιέσεων στην Ισλανδία. Η μείωση της βαθμίδας πίεσης επιφέρει ασθενή κυκλωνική κυκλοφορία στον Ατλαντικό και μεταφορά της τροχιάς των υφέσεων του Ατλαντικού προς τη Μεσόγειο

ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- Η υπεριώδης ακτινοβολία κυμαίνεται σε μήκη κύματος μεταξύ 280 και 400nm
- Το O_3 απορροφά περισσότερο σε μήκη κύματος 280-320nm δηλαδή στην περιοχή της UV-B η οποία είναι και η πιο επικίνδυνη
- Το 99% της UV ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης είναι UV-A με μήκη κύματος 280-320nm
- Σε ύψος περίπου 23-26km εντοπίζεται η μέγιστη συγκέντρωση στρατοσφαιρικού όζοντος (O_3) το οποίο αποτελεί τη φυσική ασπίδα της ατμόσφαιρας στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία (UV)
- Η δραστική μείωση της συγκέντρωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος έχει οδηγήσει στην αύξηση της UV-B ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια

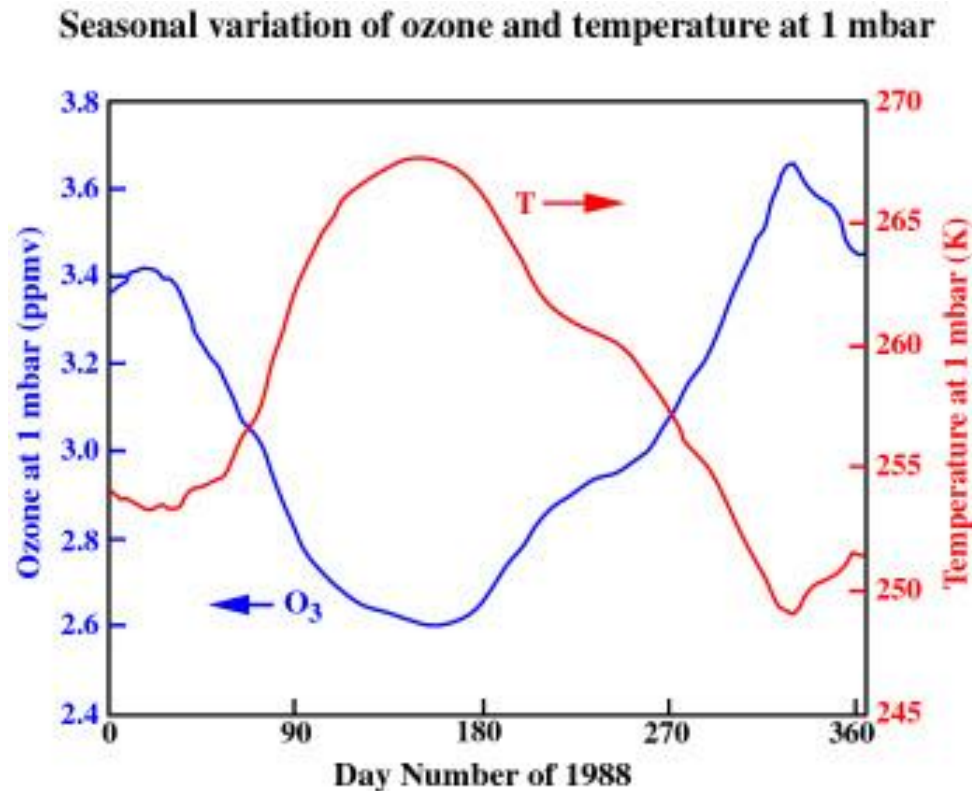
Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ CHAPMAN

- Στη στρατόσφαιρα ένα μόριο O_3 απορροφά UV ακτινοβολία ($0,29\mu m < \lambda < 0,33\mu m$) και διασπάται σε μοριακό (O_2) και ατομικό οξυγόνο (O)



ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑ ΟΖΟΝΤΟΣ

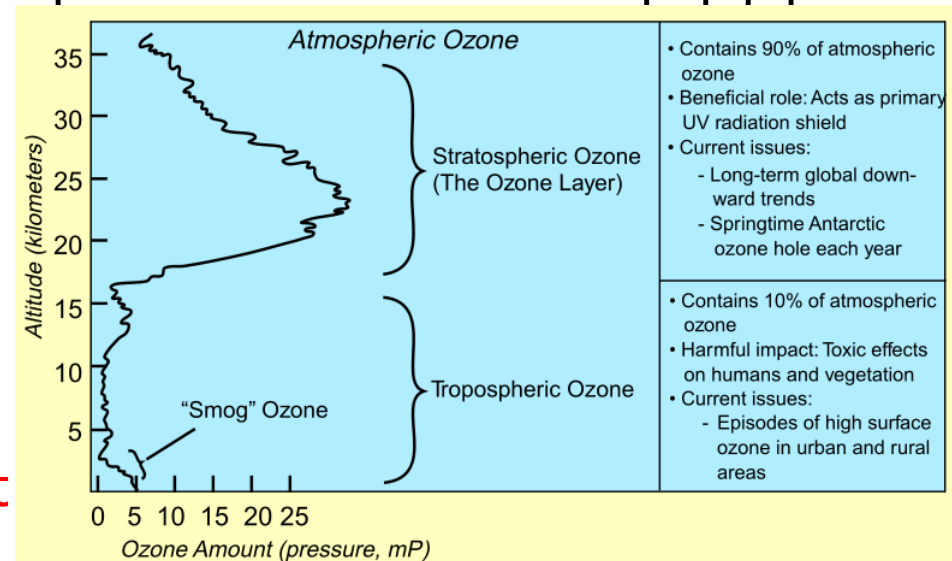
- Η συγκέντρωση όζοντος στη στρατόσφαιρα παρουσιάζει έντονη εποχικότητα
- Το μέγιστο της συγκέντρωσης εντοπίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες (στο Β. Ημισφαίριο) και συνδυάζεται με το ελάχιστο της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας



Η ΤΡΥΠΑ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

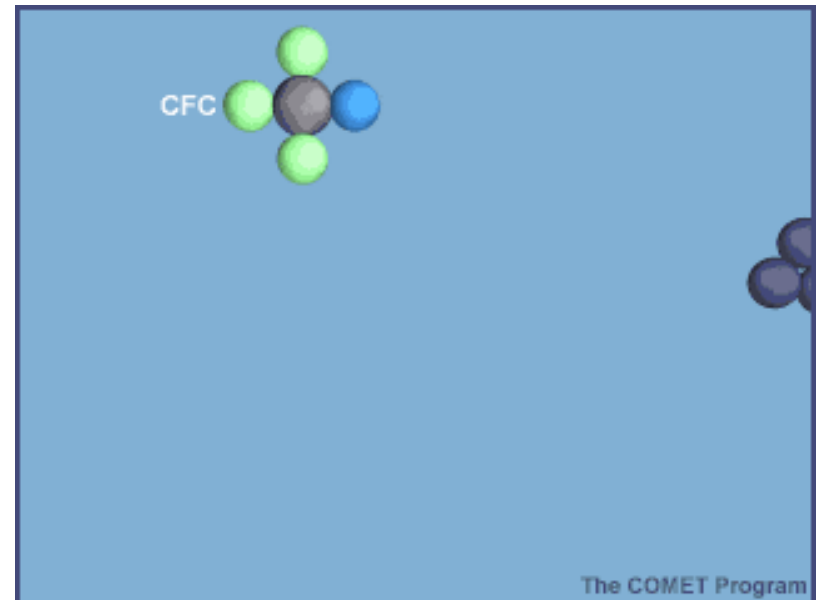
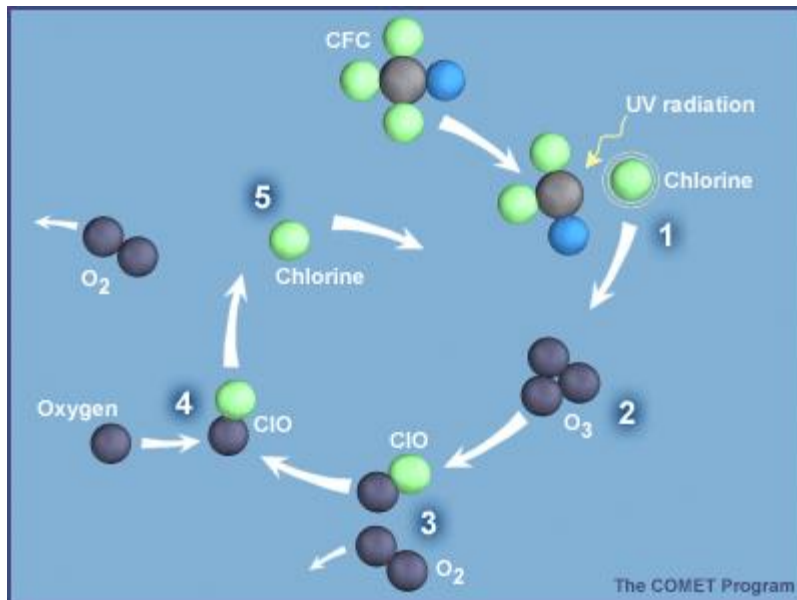
- Ο όρος “τρύπα του όζοντος” αναφέρεται στη μείωση της στοιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα
- Παρατηρήθηκε αρχικά το 1976 αλλά έτυχε της επιστημονικής προσοχής το 1985 όταν μελετήθηκαν οι σημαντικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης του O_3 στην Ανταρκτική
- Κύριος υπεύθυνος για τη συγκεκριμένη συμπεριφορά ήταν οι αυξημένες συγκεντρώσεις χλωρίου στη στρατόσφαιρα
- Λόγω της χημικής τους ευστάθειας, της χαμηλής τους τοξικότητας και των χρήσιμων για ψύξη και ψεκασμό φυσικών τους χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν ευρέως μέχρι τη δεκαετία του '60 υπό μορφή των CFCs

- Το 1960 είχαν συγκέντρωση της τάξης των 100ppt, το 1975 της τάξης 200ppt, και το 1987 περισσότερο από 400ppt
- Το 1990 οι συγκεντρώσεις CFC-11 και CFC-12 υπερέβαιναν τα 750ppt



ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ CFCs

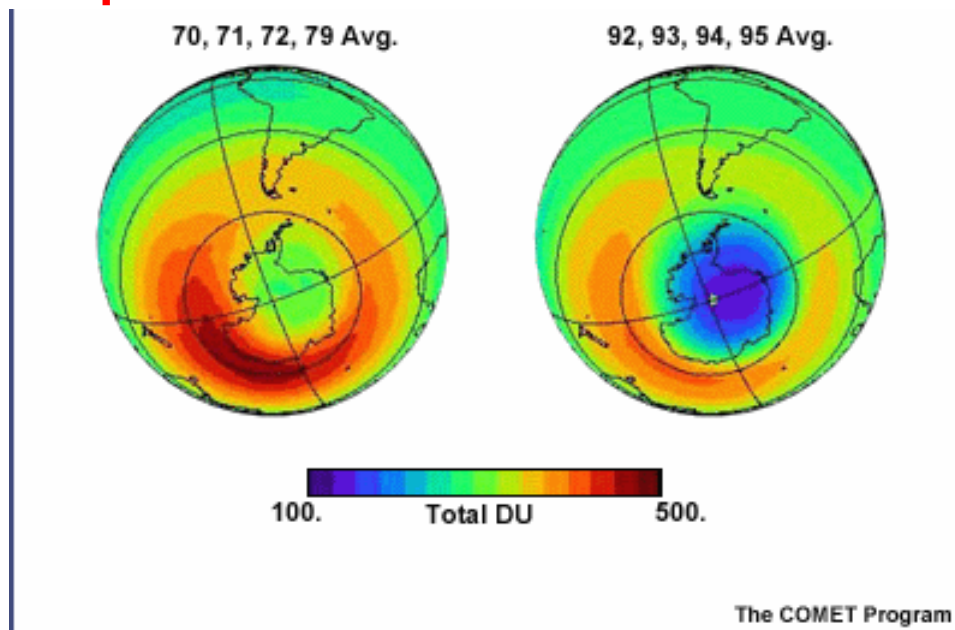
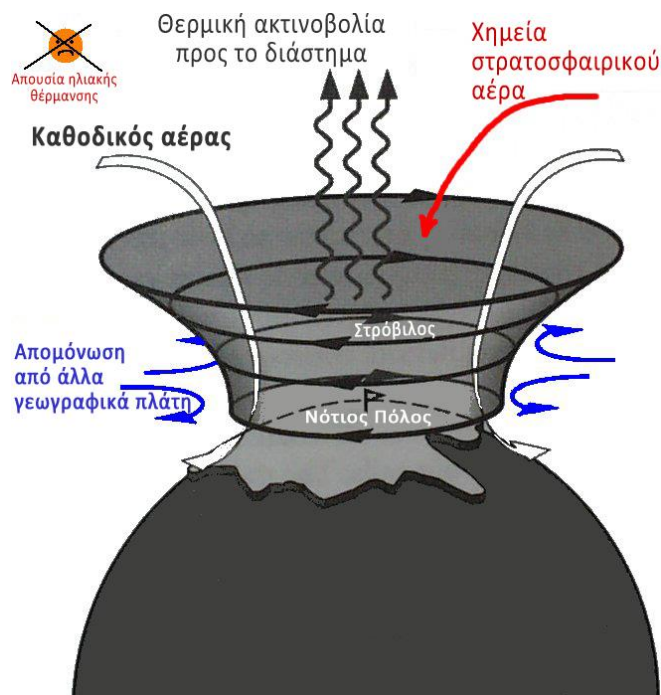
- Η UV ακτινοβολία διασπά ένα άτομο Cl από το μόριο του CFC
- Το άτομο χλωρίου διασπά το μόριο O_3 καταστρέφοντας το O_3
- Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή μορίου O_2 και μορίου ClO
- Το ClO ενώνεται με ελεύθερο άτομο O και δημιουργεί άτομο Cl και μόριο O_2
- Το άτομο Cl είναι ελεύθερο να καταστρέψει και άλλα μόρια O_3 χιλιάδες φορές



The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΤΟΙΒΑΔΑΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

- Τα άτομα Cl δημιουργούνται κατά το ψυχρό και σκοτεινό χειμώνα του Νοτίου Ημισφαιρίου (Ανταρκτική) όταν χημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια με παγοκρυστάλλους των νεφών απελευθερώνουν άτομα Cl τα οποία αρχικά βρίσκονται σε λανθάνουσα κατάσταση
- Με την επιστροφή του φωτός και της UV ακτινοβολίας τα δραστικά άτομα Cl αρχίζουν να καταστρέφουν το O_3
- Ο ρυθμός απομάκρυνσης των ατόμων Cl επιβραδύνεται παρουσία **πολικών στρατοσφαιρικών νεφών**



The source of this material is the Cooperative Program for Operational Meteorology, Education, and Training (COMET®) Website at <http://meted.ucar.edu/> of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) pursuant to a Cooperative Agreement with National Oceanic and Atmospheric Administration. ©1997-2004 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.

Η ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (IPCC)

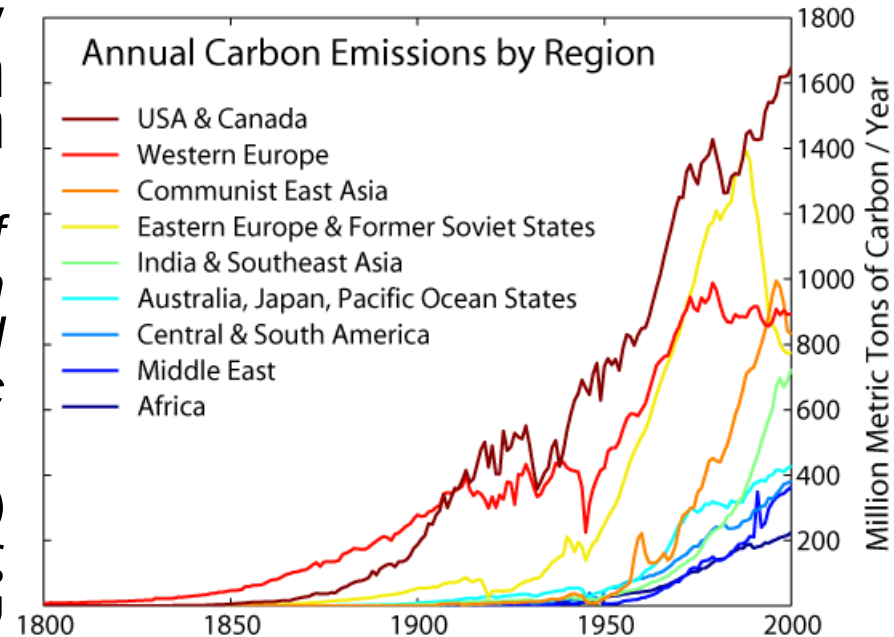
- Οι εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή έχουν δημοσιευτεί από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), η οποία ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (*World Meteorological Organization-WMO*) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (*United Nations Environment Programme-UNEP*)
- Σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της ήδη υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής, καθώς και η αξιολόγηση των συνεπειών των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων

ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

- Η έκταση που έλαβε το συγκεκριμένο πρόβλημα οδήγησε στη δημιουργία του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1987
- Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο υπογράφηκε από 70 χώρες
- Έθετε στόχους μείωσης της παραγωγής CFCs κατά 20% έως το 1993 (σε σχέση με τα επίπεδα του 1986) και κατά 50% έως το 1998
- Το 1993 η παγκόσμια παραγωγή CFCs είχε ήδη μειωθεί κατά 40%
- Η απειλή για τη στοιβάδα του όζοντος θα εξακολουθήσει να είναι υπαρκτή και για τον αιώνα που διανύουμε

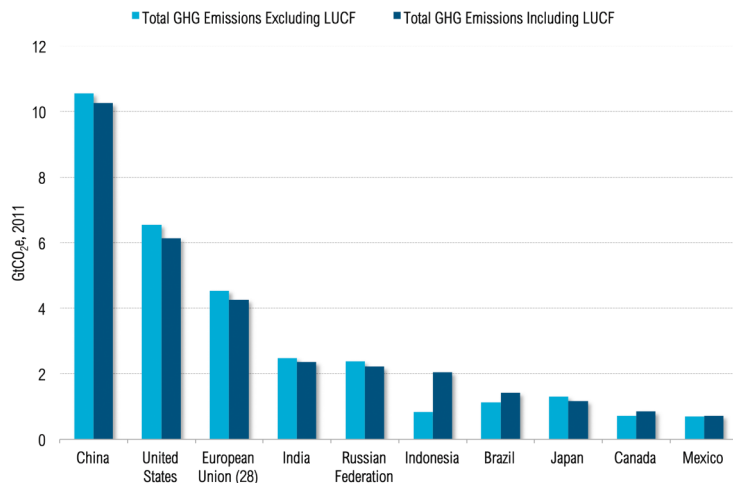
ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ

- Έλαβε χώρα στις 11 Δεκεμβρίου 1997 υπό την αιγίδα της Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή με τη συμμετοχή 172 κρατών που συνυπόγραψαν τη συνθήκη
- Η διακήρυξη: *“stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system”*
- 36 χώρες (η Ε.Ε. ως ενιαία οντότητα) υποχρεώνονται να μειώσουν τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 5,2% σε σχέση με το 1990
- Η συνολική μείωση ήταν της τάξης του 29% για το 2010 σε σχέση με τις εκπομπές που αναμένονταν για το ίδιο έτος χωρίς το πρωτόκολλο σε ισχύ

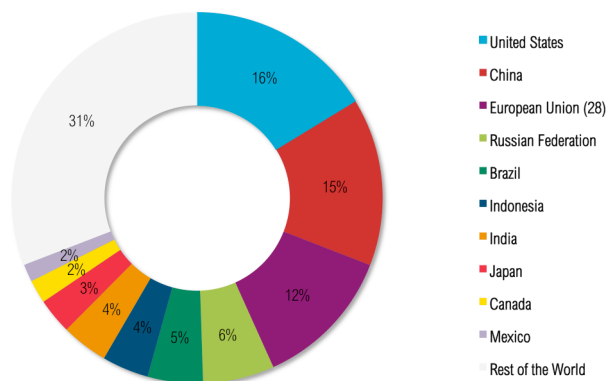


ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

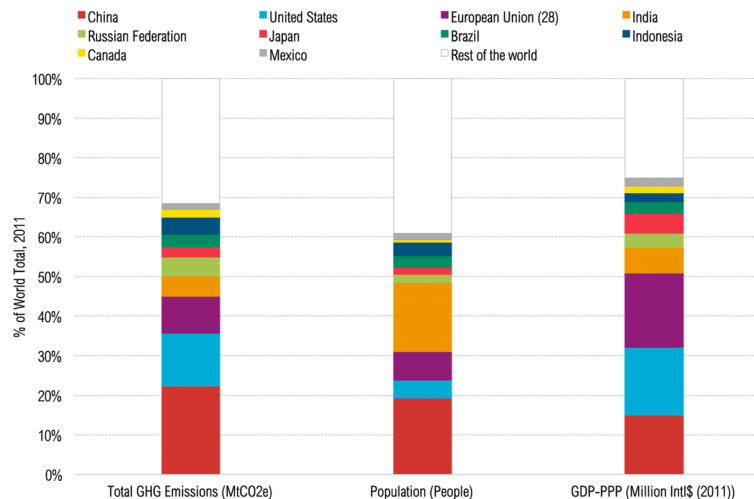
Top 10 Emitters



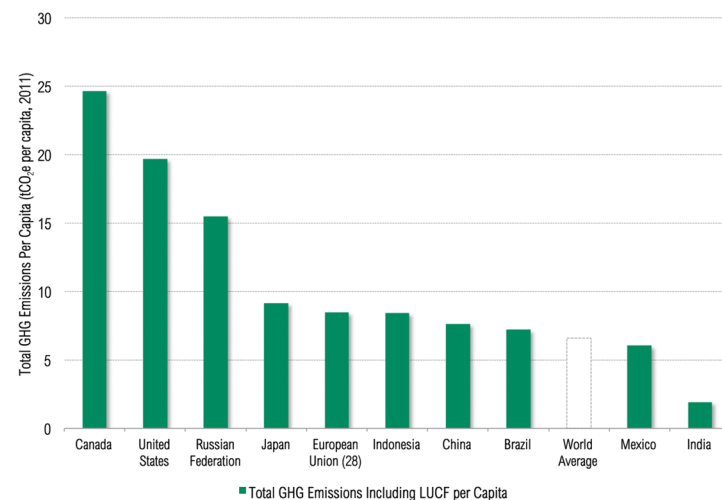
Cumulative GHG Emissions 1990–2011 (% of World Total)



Annual Emissions of Top 10 Emitters in 2011



Per Capita Emissions for Top 10 Emitters



Η ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ (IPCC)

Το 2007 η IPCC δημοσίευσε την Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης (*Fourth Assessment Report-AR4*) για την κλιματική αλλαγή. Δημιουργήθηκαν τρεις ομάδες, όσοι και οι τόμοι της Έκθεσης.

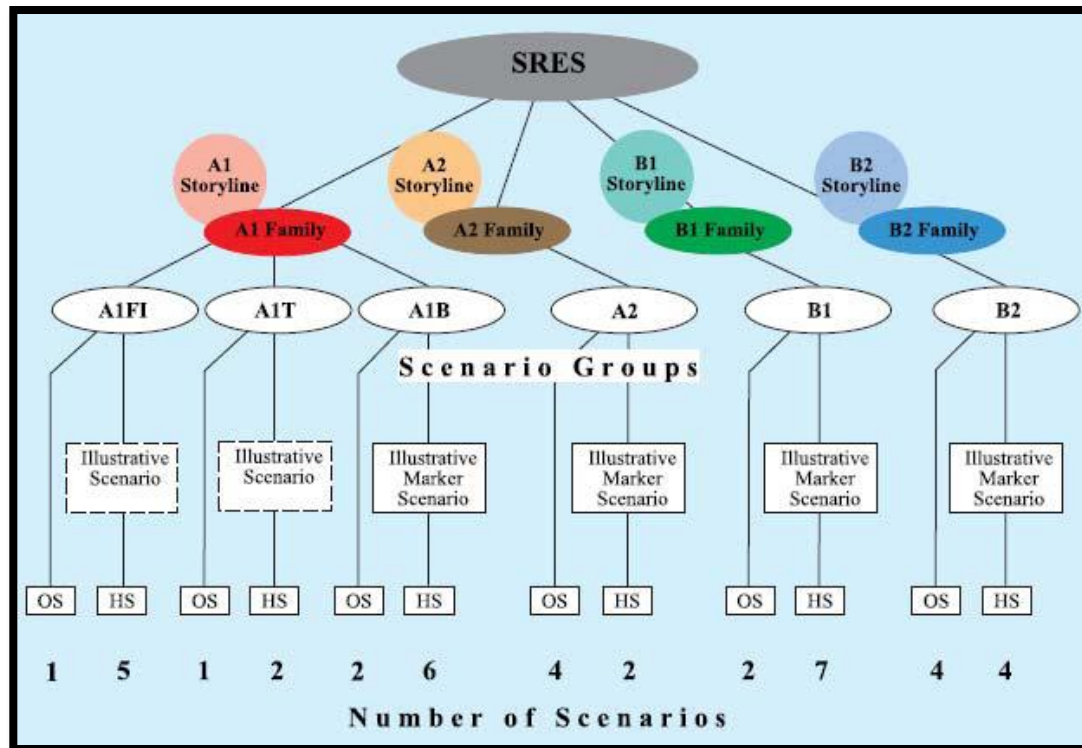
- *Πρώτη Ομάδα Εργασίας - Working Group I (WGI)*: «*The Physical Science Basis*». Περιέχει τα επιστημονικά δεδομένα της κλιματικής αλλαγής και σύνδεσή της με ανθρώπινες δραστηριότητες, καθώς και μελλοντικές εκτιμήσεις
- *Δεύτερη Ομάδα Εργασίας - Working Group II (WGII)*: «*Impacts, Adaptation and Vulnerability*». Περιγράφει τις επιπτώσεις εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, εκτιμά την τρωτότητα του φυσικού περιβάλλοντος και των ανθρώπινων κοινωνιών και αξιολογεί πιθανά μέτρα πρόληψης και προσαρμογής
- *Τρίτη Ομάδα Εργασίας - Working Group III (WGIII)*: «*Mitigation of Climate Change*». Εξετάζεται η δυνατότητα μετριασμού και αποφυγής με εκτίμηση του σχετικού οικονομικού κόστους

ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

- Το 1992 δημοσιεύτηκαν 6 σενάρια εκπομπών τα οποία παρουσίασαν εναλλακτικές εκπομπές των αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, για τα έτη από το 1990 μέχρι το 2100 (*IPCC Scenarios-IS92*)
- Αυτά τα αέρια ήταν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), τα οξειδία του αζώτου (NO_x), και το διοξείδιο του θείου (SO_2)
- Η εμφάνιση των μοντέλων ολοκληρωμένης αξιολόγησης (*Integrated Assessment-IA*) έδωσε τη δυνατότητα να δημιουργηθούν σενάρια εκπομπών που εξετάζουν από κοινού τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της **ενέργειας**, της **οικονομίας**, και των **αλλαγών στις χρήσεις γης**
- Το 1996 αναπτύχθηκε ένα νέο σύνολο σεναρίων, τα οποία τελικά δημοσιεύτηκαν το 2000 (*Special Report on Emissions Scenarios-SRES*)

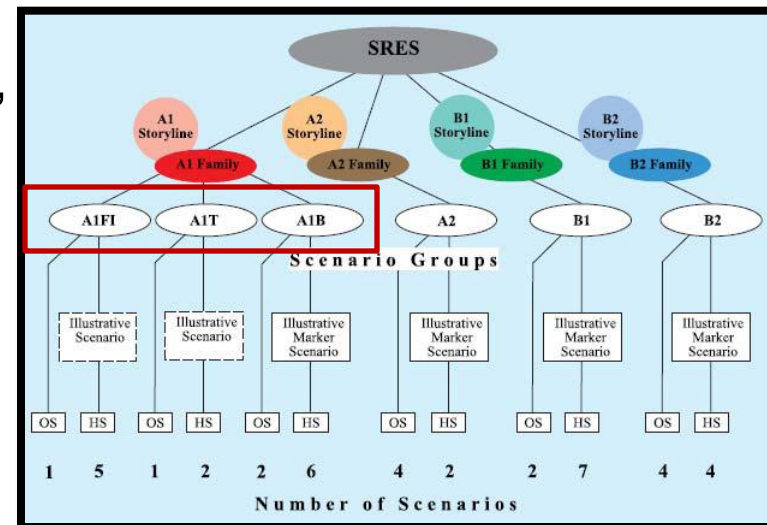
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ SRES

- Τέσσερις πλοκές οι οποίες παράγουν τέσσερα σύνολα σεναρίων αποκαλούμενων 'οικογένειες': *A1*, *A2*, *B1*, και *B2*.
- Συνολικά 40 σενάρια *SRES* έχουν αναπτυχθεί από 6 ομάδες μοντέλων.
- Το σύνολο σεναρίων αποτελείται από 6 ομάδες που προέρχονται από τις τέσσερις οικογένειες: μια ομάδα για κάθε οικογένεια *A2*, *B1*, *B2*, και 3 ομάδες μέσα στην οικογένεια *A1*



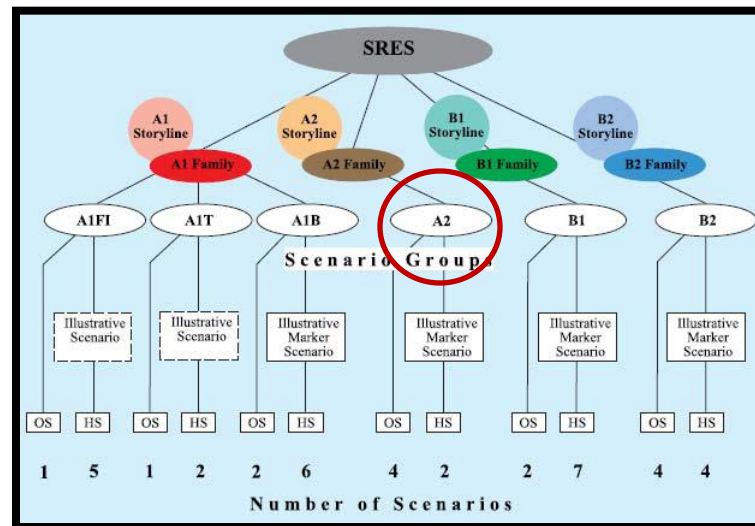
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ SRES

- **A1**: περιγράφει έναν μελλοντικό κόσμο πολύ γρήγορης οικονομικής ανάπτυξης, με παγκόσμιο πληθυσμό που κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και παρουσιάζει μείωση έκτοτε, και με ταχεία εισαγωγή νέων και αποδοτικότερων τεχνολογιών. Σύγκλιση μεταξύ των περιοχών, δυνατότητα κατασκευής υποδομών και οι αυξανόμενες πολιτιστικές και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, με μια ουσιαστική μείωση των τοπικών διαφορών στο κατά κεφαλήν εισόδημα
- **A1FI**: εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων,
- **A1T**: πηγές ενέργειας άλλες των ορυκτών,
- **A1B**: ισορροπία μεταξύ όλων των πηγών



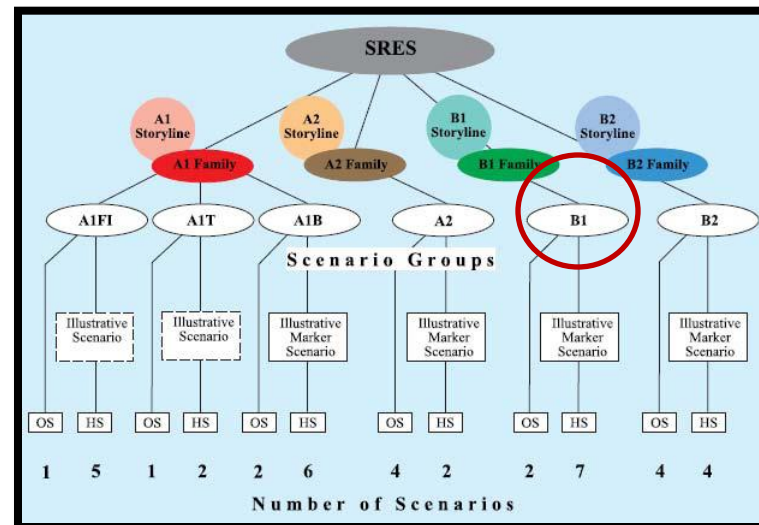
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ SRES

- **A2**: περιλαμβάνει έναν πολύ ετερογενή κόσμο. Το ελλοχεύον θέμα είναι η αυτάρκεια και η συντήρηση των τοπικών ταυτοτήτων. Οι δομές σχετικές με τη γονιμότητα στις διάφορες περιοχές συγκλίνουν πολύ αργά, κάτι που οδηγεί στο συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό. Η οικονομική ανάπτυξη είναι πρώτιστα τοπικά προσανατολισμένη και η κατά κεφαλήν οικονομική ανάπτυξη και τεχνολογική αλλαγή είναι τεμαχισμένες και πιο αργές σε σχέση με άλλες πλοκές



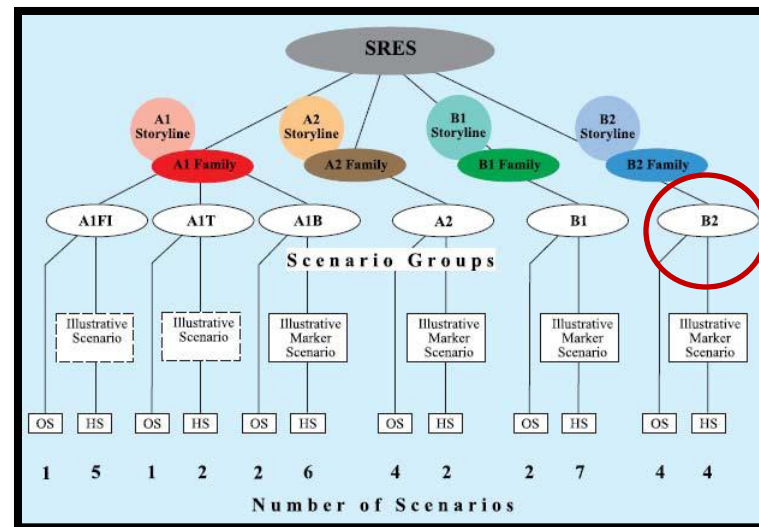
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ SRES

- **B1**: περιγράφει έναν συγκλίνοντα κόσμο με τον παγκόσμιο πληθυσμό να κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και να παρουσιάζει μείωση έκτοτε, όπως στη πλοκή A1, αλλά με γρήγορες αλλαγές στις οικονομικές δομές προς μια οικονομία υπηρεσιών και πληροφοριών, με μειώσεις στην πυκνότητα των υλικών, και την εισαγωγή των καθαρών και αποδοτικών ως προς τους πόρους τεχνολογιών. Η έμφαση δίνεται σε παγκόσμιες λύσεις για οικονομική, κοινωνική, και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, συμπεριλαμβανομένου και ενός βελτιωμένου δικαίου, αλλά χωρίς πρόσθετες πρωτοβουλίες για το κλίμα



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ SRES

- **B2**: περιγράφει έναν κόσμο στον οποίο η έμφαση δίνεται στις τοπικές λύσεις για την οικονομική, κοινωνική, και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Είναι ένας κόσμος με συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό με ένα ρυθμό χαμηλότερο από την A2, ενδιάμεσα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης, και λιγότερο γρήγορη και πιο ποικίλη τεχνολογική αλλαγή από τις B1 και A1 πλοκές. Το σενάριο προσανατολίζεται επίσης προς την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική αμεροληψία και εστιάζει στο τοπικό και περιφερειακό επίπεδο



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ SRES

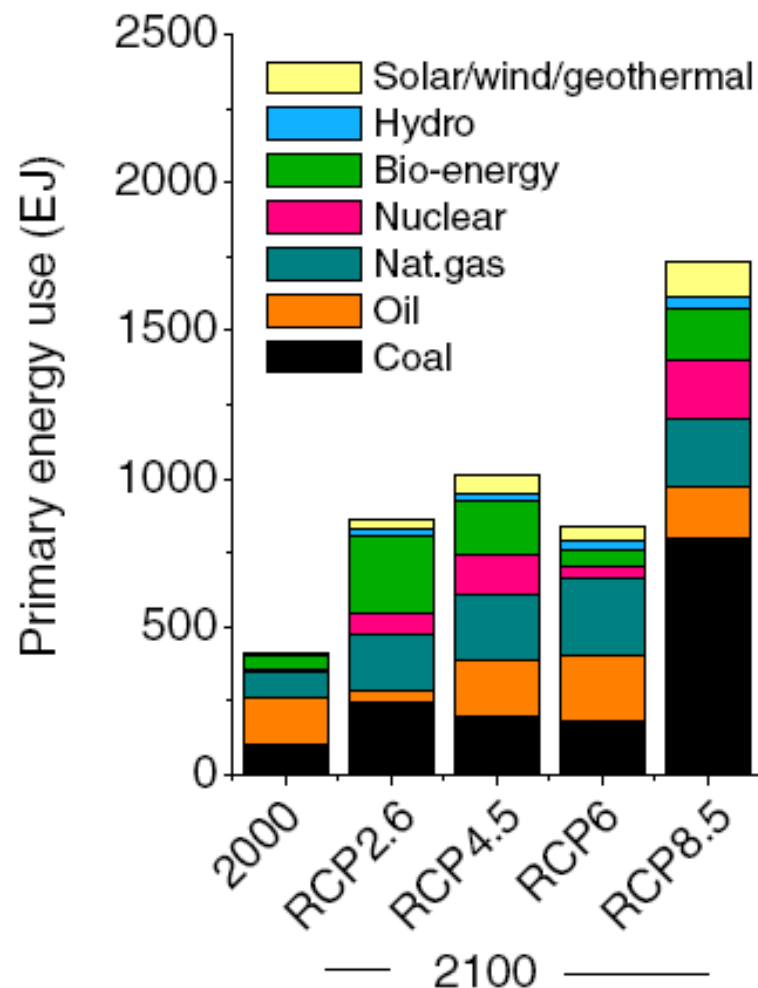
	CO ₂ (GtC)	CH ₄ (MtCH ₄)	N ₂ O (MtN)	HFC, PFC, SF ₆ (MtC equiv.)	CO (Mt CO)	NMVOCs (Mt)	NO _x (MtN)	SO _x (MtS)
A1B	13.5 (13.5-17.9)	289 (289-640)	7.0 (5.8-17.2)	824 combined	1663 (1080-2532)	193 (133-552)	40.2 (40.2-77.0)	27.6 (27.6-71.2)
A1C	(25.9- 36.7)	(392- 693)	(6.1- 16.2)	same as in A1	(2298- 3766)	(167- 373)	(63.3 -151.4)	(26.9- 83.3)
A1G	(28.2- 30.8)	(289- 735)	(5.9- 16.6)	same as in A1	(3260- 3666)	(192- 484)	(39.9 -132.7)	(27.4- 40.5)
A1T	(4.3- 9.1)	(274- 291)	(4.8- 5.4)	same as in A1	(1520- 2077)	(114 -128)	(28.1- 39.9)	(20.2- 27.4)
A2	29.1 (19.6-34.5)	889 (549-1069)	16.5 (8.1-19.3)	1096 combined	2325 (776-2646)	342 (169-342)	109.2 (70.9-110.0)	60.3 (60.3-92.9)
B1	4.2 (2.7-10.4)	236 (236-579)	5.7 (5.3-20.2)	386 combined	363 (363-1871)	87 (58- 349)	18.7 (16.0-35.0)	24.9 (11.4-24.9)
B2	13.3 (10.8-21.8)	597 (465-613)	6.9 (6.9-18.1)	839 combined	2002 (661-2002)	170 (130-304)	61.2 (34.5-76.5)	47.9 (33.3-47.9)

REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAY (RCP)

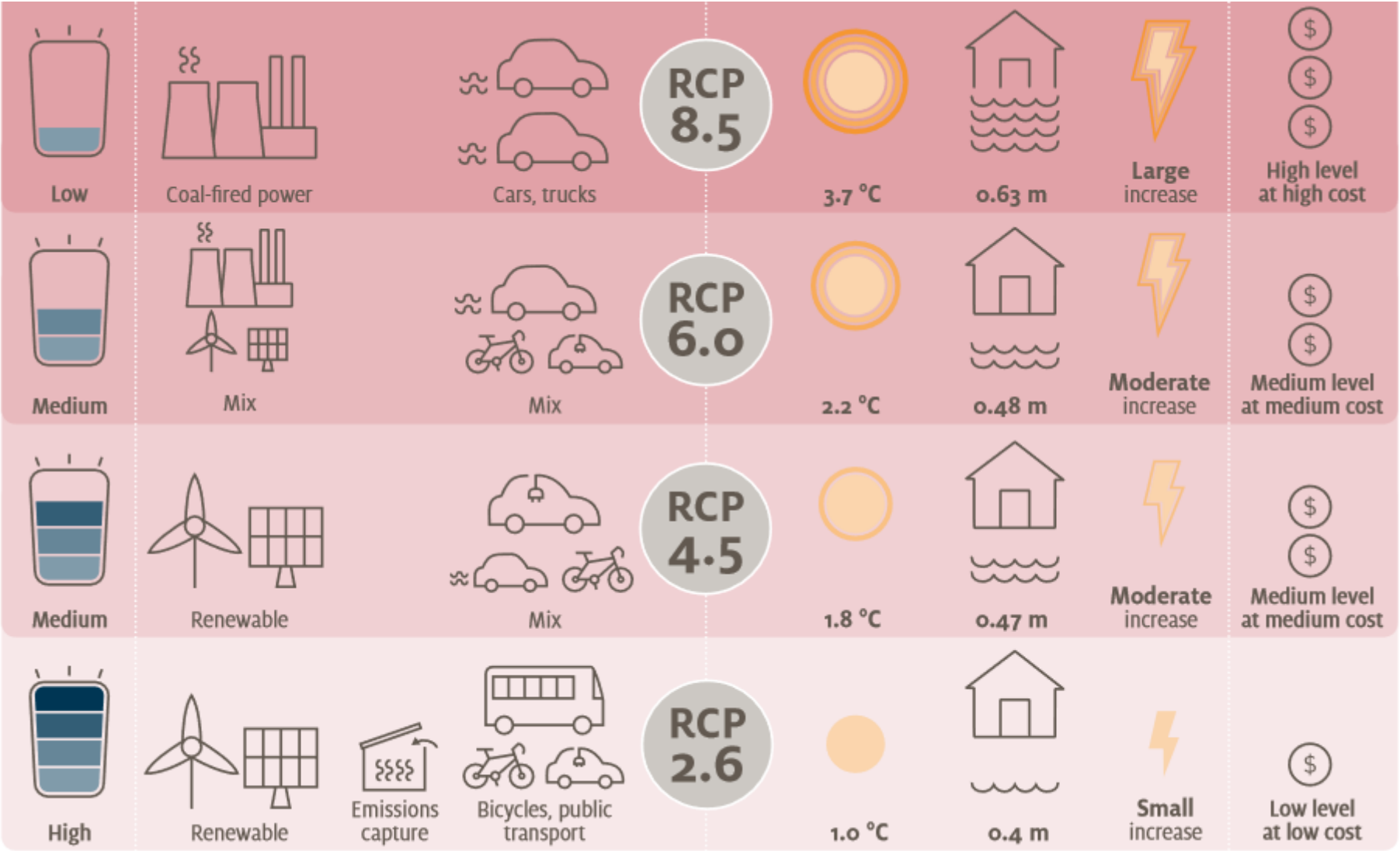
- Τα αντιπροσωπευτικά σενάρια συγκεντρώσεων δημοσιεύτηκαν στην *5^η Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC (AR5)*
- Τα σενάρια αυτά ορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να οδηγούν σε συγκεκριμένο κλιματικό εξαναγκασμό (radiative forcing), με διαφορετικούς συνδυασμούς θερμοκηπικών αερίων και αεροζόλ και κοινωνικό οικονομικά κριτήρια
- Τα σενάρια αυτά ονομάζονται **RCP8.5**, **RCP6**, **RCP4.5** και **RCP2.6**, με τα νούμερα να αντιστοιχούν στον κλιματικό εξαναγκασμό εκφρασμένο σε $W \cdot m^{-2}$ π.χ. RCP8.5 αντιστοιχεί σε ένα σενάριο με κλιματικό εξαναγκασμό $8,5 W \cdot m^{-2}$
- Το σενάριο RCP8.5 είναι το πιο απαισιόδοξο και υποθέτει έναν πλανήτη με αυξημένες ενεργειακές ανάγκες λόγω αύξησης του πληθυσμού και χαμηλής τεχνολογικής ανάπτυξης
- Το σενάριο RCP2.6 είναι το πιο αισιόδοξο και υποθέτει μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη χρήση νέων τεχνολογιών

REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAY (RCP)

- Το πιο αισιόδοξο (low end) σενάριο έχει κλιματικό εξαναγκασμό $1,9\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ και αντιστοιχεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη $<2^{\circ}\text{C}$ στο τέλος του αιώνα σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή
- Το πιο απαισιόδοξο σενάριο (high end) έχει κλιματικό εξαναγκασμό $8,5\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ το οποίο αντιστοιχεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη $\sim 5^{\circ}\text{C}$



REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAY (RCP)

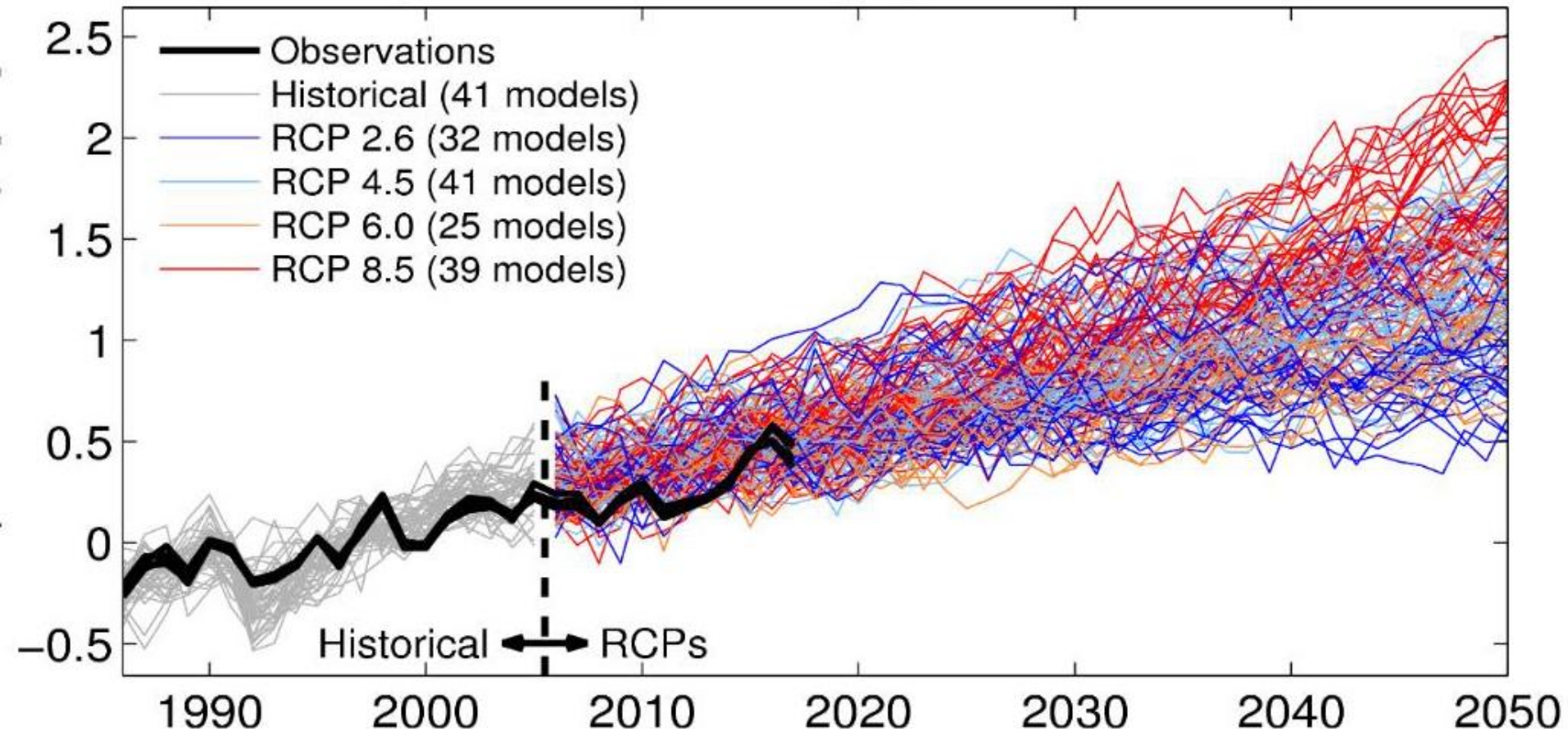


ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ

- Η κλιματική προβολή (climate projection) αποτελεί μια μελλοντική εκτίμηση του κλίματος που βασίζεται σε συγκεκριμένες προϋποθέσεις σχετικά με την κοινωνικο-οικονομική και τεχνολογική εξέλιξη του πλανήτη
- Το αποτέλεσμα των κλιματικών προβολών εκφράζουν πιθανά μελλοντικά κλίματα, βασισμένα σε διάφορα πιθανά μελλοντικά σενάρια
- Σε αντίθεση με τη μετεωρολογική πρόγνωση, η κλιματική προβολή οδηγείται από σημαντικές αλλαγές σε βασικά στοιχεία του κλιματικού συστήματος, όπως π.χ. η ατμοσφαιρική σύσταση (θερμοκηπικά αέρια), τα οποία διαμορφώνουν την εξέλιξη του κλίματος
- Στις κλιματικές εκθέσεις του IPCC δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην εκτίμηση του πιθανού εύρους της αλλαγής σε σημαντικές κλιματικές παραμέτρους (π.χ. θερμοκρασία, βροχόπτωση)

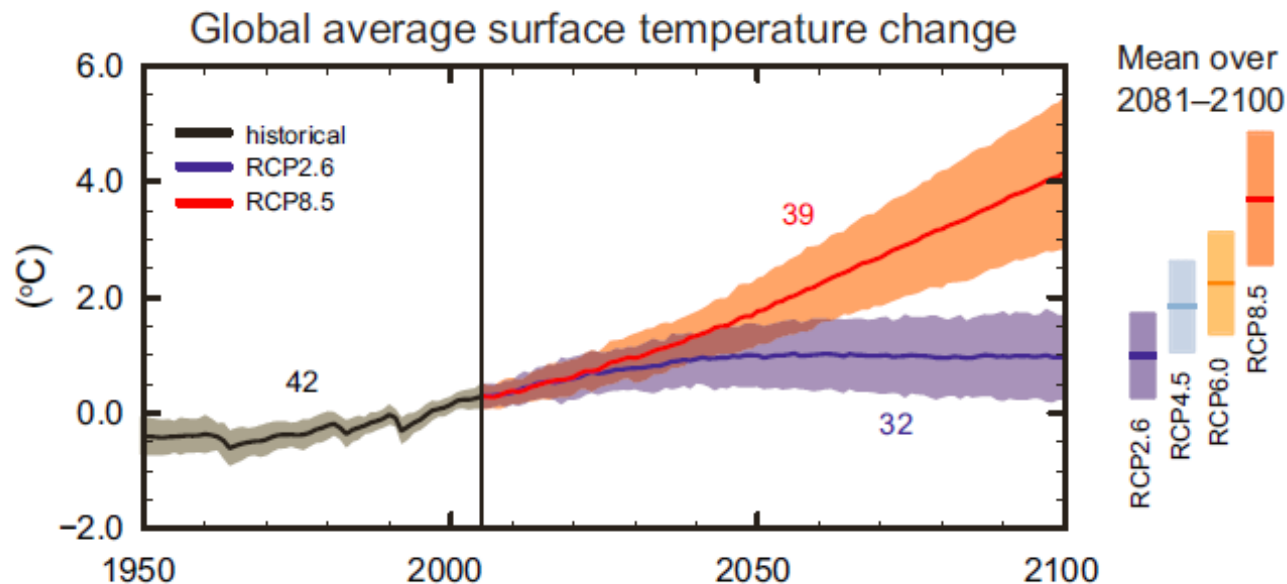
ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ

Global mean temperature near-term projections relative to 1986–2005



ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΟΛΕΣ

- Αλλαγή στη θερμοκρασία της επιφάνειας όπως προκύπτει απο πλήθος προσομοιώσεων CMIP5 multi model ensemble σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1986-2005
- Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στο ιστορικό και υπάρχον κλίμα
- Η αβεβαιότητα για το κάθε σενάριο δίνεται με την κατακόρυφη στήλη
- Οι αριθμοί αντιστοιχούν στον αριθμό μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για να προκύψει ο μέσος όρος του πλήθους των προσομοιώσεων (ensemble mean)



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahrens, C.D., 1985: Meteorology Today, West Publishing.
- McIntosh, D.H., Thom, A.S., 1973: Essentials of Meteorology, Wykeham Publications (Taylor&Francis group).
- Atkinson, B.W., 1981: Meso-scale Atmospheric Circulations, Academic Press.
- Critchfield H. J., 1983: General Climatology, Prentice Hall, INC.
- Graedel, T. E. and P. J. Crutzen, 1993: Atmospheric Change. An earth system perspective, W.H. Freeman and Company.
- Haltiner, G. and R. T. Williams, 1980: Numerical prediction and dynamic meteorology. *John Wiley & Sons Inc.*, New York.
- Hartmann, D.L., 1994: Global Physical Climatology, Academic Press, New York.
- Holton, J., 1979: An Introduction to Dynamic Meteorology, Academic Press, New York.
- Jacobson, M.Z., 1999: Fundamentals of Atmospheric Modeling, Cambridge University Press.
- IPCC Special Report, 2000: Land Use, Land Use Changes and Forestry.
- IPCC Special Report, 2000: Methodological and Technological Issues in Technology Transfer.
- IPCC Special Report, 2000: Emissions Scenarios.
- IPCC Special Report, 2001: Climate Change: The Scientific Basis.
- IPCC Special Report, 2001: Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.
- IPCC Special Report, 2001: Climate Change: Mitigation.

ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Alpert, P., B. U. Neeman, and Y. Shay-El, 1990: Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus*, 42A, 65–77.
- Cleveland, W.S., Frenny, A.E. and Graedel, T.E. 1983. The seasonal component of atmospheric CO₂: Information from new approaches to the decomposition of seasonal time-series. *Journal of Geophysical Research* 88: 10,934-10,940.
- Ducoudre, R. Prinn, J. Reynolds, and J.D. Salas, 2004: Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the Earth's climate system. *Climatic Change*, 65, 11-38.
- Enting, I.G. 1987. The interannual variation of carbon dioxide concentration at Mauna Loa. *Journal of Geophysical Research* 92: 5497-5504.
- Fett, R. W. et al, 1981; Navy Tactical Applications Guide, Vol. 3, North Atlantic and Mediterranean Weather Analysis and Forecast Applications, Naval Research Laboratory, Monterey, CA, 93940, pp 200.
- Galanis, G., P. Louka, P. Katsafados, G. Kallos, and I. Pytharoulis, 2005: “Applications of Kalman filters based on non-linear functions to numerical weather predictions”. *Annales Geophysicae (in press)*.
- Garrett, C., R. Outerbridge, and K. Thompson, 1993: Interannual variability in Mediterranean heat and buoyancy fluxes. *J. Climate*, 6, 900–910.
- Kabat, P., Claussen, M., Dirmeyer, P.A., J.H.C. Gash, L. Bravo de Guenni, M. Meybeck, R.A. Pielke Sr., C.J. Vorosmarty, R.W.A. Hutjes, and S. Lutkemeier, Editors, 2004: Vegetation, water, humans and the climate: A new perspective on an interactive system. Springer, Berlin, Global Change - The IGBP Series, 566 pp.

ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Kallos, G., A. Papadopoulos, P. Katsafados, and S. Nickovic, 2005: "Trans-Atlantic Saharan dust transport: Model simulation and results". *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 111, D09204, doi: 10.1029/2005JD006207.
- Kallos G., M. Astitha, and P. Katsafados, 2006: "Long-Range Transport of Anthropogenically and Naturally Produced PM in the Mediterranean and North Atlantic: Present Status of Knowledge". *Journal of Applied Meteorology and Climatology* (accepted).
- Katsafados, P., A. Papadopoulos, and G. Kallos, 2005: "Regional Atmospheric Response to Tropical Pacific SST Perturbations". *Geophysical Research Letters*, 32, L04806, doi: 10.1029/2004GL021828.
- Lefevre, R. J., and J. W. Nielsen-Gammon, 1995: An objective climatology of mobile troughs in the northern hemisphere. *Tellus*, 47A, 638–655.
- Mahrt, L. and H.-L. Pan, 1984: A two-layer model of soil hydrology. *Bound. Layer Meteorol.*, 29, 1-20.
- Pielke Sr., R.A., 2001: Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Rev. Geophys.*, 39, 151-177.
- Pielke, R.A. Sr., J.O. Adegoke, T.N. Chase, C.H. Marshall, T. Matsui, and D. Niyogi, 2005: A new paradigm for assessing the role of agriculture in the climate system and in climate change. *Agric. Forest Meteorol.*, Special Issue, accepted.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

Links:

- <http://www.meted.ucar.edu>
- <http://meteoclima.gr>
- <http://www.poseidon.ncmr.gr>
- <http://www.emy.gr>
- <http://www.ipcc.ch>