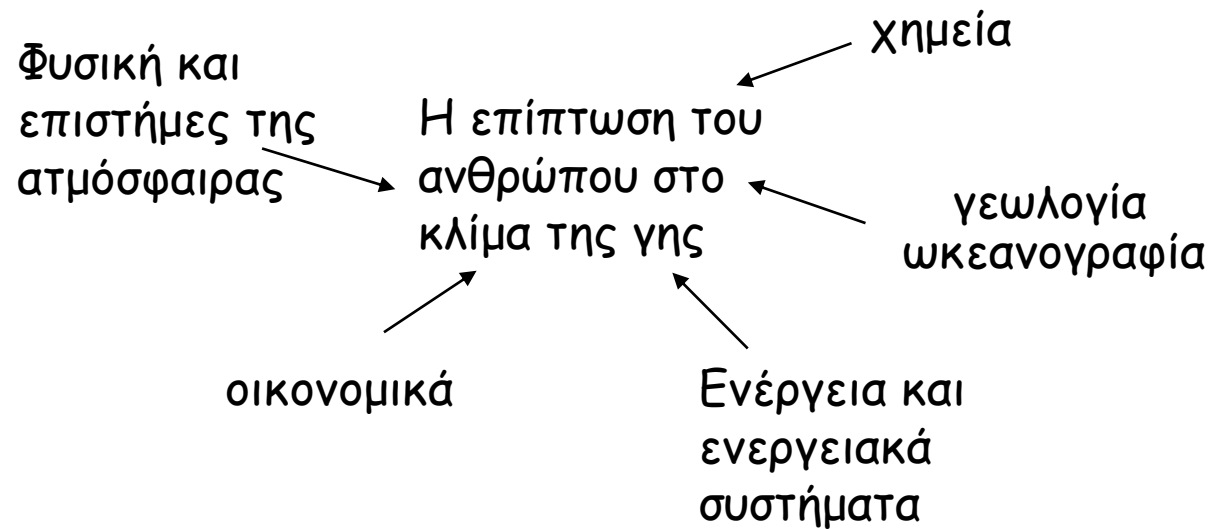


2α. Η επιστήμη της κλιματικής αλλαγής I: Βασικά υποδείγματα κλιματικής αλλαγής



Μια εισαγωγή για κοινωνικούς επιστήμονες



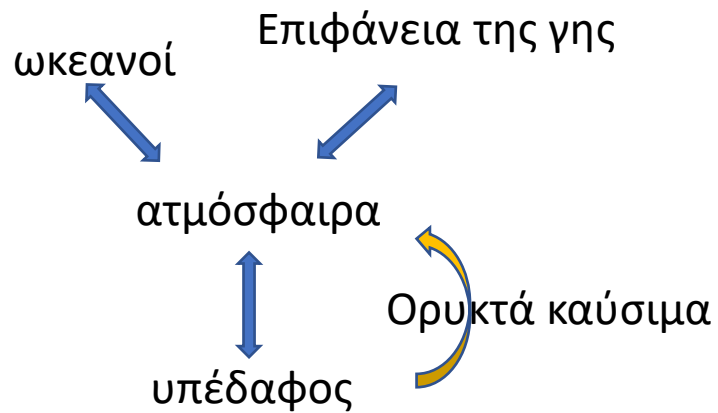
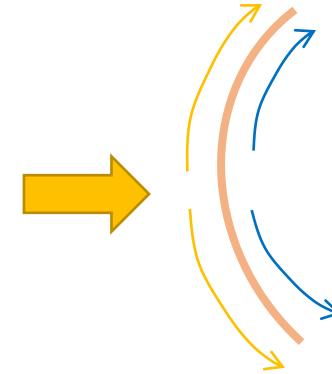
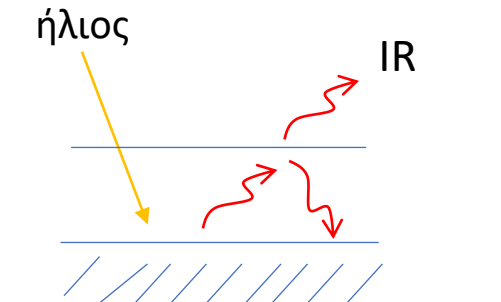
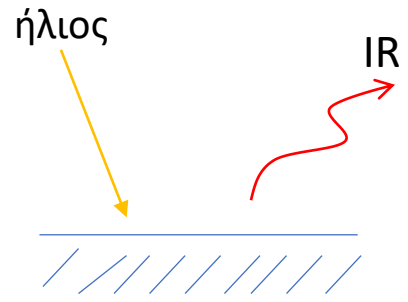
Η διερεύνηση της κλιματικής αλλαγής, των παραγόντων που την επηρεάζουν, των επιπτώσεων τους και των πιθανών λύσεων που προτείνονται είναι ένα παράδειγμα πραγματικής διεπιστημονικής προσέγγισης.

Πρέπει να είμαστε σε θέση να καταλαβαίνουμε τα βασικά για να μπορούμε να επικοινωνούμε.

Προσοχή:

Οι παρανοήσεις κρύβονται στις λεπτομέρειες και αυτό έχει μεγάλη σημασία στα οικονομικά.

Τι θα μάθουμε;



ο παγκόσμιος κύκλος του άνθρακα

Θερμότητα (φυσική)

- Η **θερμότητα** είναι μορφή ενέργειας που αφορά μακροσκοπικά αντικείμενα. Είναι η κινητική ενέργεια (μεταφοράς και περιστροφής) και η ενέργεια ταλάντωσης των μορίων, ατόμων ή ιόντων ενός σώματος η οποία αποθηκεύεται και μεταφέρεται με φορείς στη μικροκοσμική κλίμακα.
- Η κλίμακα Κέλβιν μετράει την λεγόμενη απόλυτη θερμοκρασία. Η διαφορά της με την κλίμακα Κελσίου είναι 273,15 βαθμοί, δηλαδή το 0 της Κέλβιν είναι το απόλυτο κρύο -273,15 βαθμοί Κελσίου.

Τρόποι μετάδοσης της θερμότητας

Με αγωγή (conduction)

Αγωγή είναι η μεταφορά ενέργειας από ένα μόριο σε άλλο με άμεση επαφή. Αυτή η μεταφορά συμβαίνει όταν τα μόρια χτυπούν το ένα το άλλο, παρόμοια με ένα παιχνίδι μπιλιάρδου όπου μια κινούμενη μπάλα χτυπά μια άλλη, προκαλώντας την κίνηση της δεύτερης. Η αγωγή λαμβάνει χώρα σε στερεά, υγρά και αέρια, αλλά λειτουργεί καλύτερα σε υλικά που έχουν απλά μόρια που βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο.

Με συναγωγή - μεταφορά με τη βοήθεια ρευμάτων (convection)

Συναγωγή είναι η κίνηση της θερμότητας από ένα ρευστό όπως το νερό ή ο αέρας. Το ρευστό (υγρό ή αέριο) μετακινείται από τη μια θέση στην άλλη, μεταφέροντας μαζί του θερμότητα. Αυτή η κίνηση μιας μάζας θερμαινόμενου νερού ή αέρα ονομάζεται ρεύμα.

Με ακτινοβολία (radiation)

Η ακτινοβολία είναι η μεταφορά θερμότητας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Όταν στέκεστε στον ήλιο, θερμαίνετε από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, κυρίως την υπέρυθη ακτινοβολία (και σε μικρότερο βαθμό, το ορατό φως), που ταξιδεύει από τον ήλιο στη Γη. Εκτός από τον ήλιο, οι λαμπτήρες, τα σίδερα και οι τοστιέρες μεταφέρουν επίσης θερμότητα μέσω ακτινοβολίας. Σημειώστε ότι, σε αντίθεση με την αγωγιμότητα ή τη μεταφορά, η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία δεν χρειάζεται κανένα υλικό για να βοηθήσει στη μεταφορά.

ΠΑΝΤΑ από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα.



Το μέλαν σώμα (blackbody) (μαύρο σώμα)

η διαφάνεια αυτή έχει κλαπεί ασύστολα από την διαφάνεια του συναδέλφου κ. Χριστόφορου Κροντηρά του τμήματος φυσικής από τις διαλέξεις του στο eclass

- Μέλαν σώμα ονομάζεται ένα ιδανικό σώμα το οποίο απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που πέφτει πάνω του ανεξάρτητα από τη συχνότητά της.
- Το μέλαν σώμα δεν ανακλά ούτε διαχέει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που πέφτει πάνω του.
- Το μέλαν σώμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
- Το μέλαν σώμα αποτελεί ένα θεωρητικό κατασκεύασμα (εξιδανίκευση) διότι δεν υπάρχει στη φύση σώμα που να απορροφά το 100% της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω του.
- Αυτά είναι οι γνωστές σας υποθέσεις των οικονομικών υποδειγμάτων (ας υποθέσουμε ότι ο καταναλωτής είναι ορθολογικός και πλήρως πληροφορημένος – ας υποθέσουμε ότι υπάρχει ένα σώμα που δεν ανακλά, δεν διαχέει και απορροφά το 100% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.....

Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος

- Ο νόμος Στέφαν-Μπόλττμαν, γνωστός και ως νόμος του Μπόλττμαν, δηλώνει ότι η ολική ενέργεια που ακτινοβολείται από την μονάδα επιφάνειας ενός μελανού σώματος, είναι ευθέως ανάλογη της τέταρτης δύναμης της απόλυτης θερμοκρασίας του σώματος:

$J = \sigma T^4$ όπου σ είναι ένας αριθμός (η σταθερά Boltzmann) και T είναι η απόλυτη θερμοκρασία του σώματος

- Για το σύνολο του σώματος και όχι ανά μονάδα της επιφάνειάς του, το πολλαπλασιάζουμε με την επιφάνεια

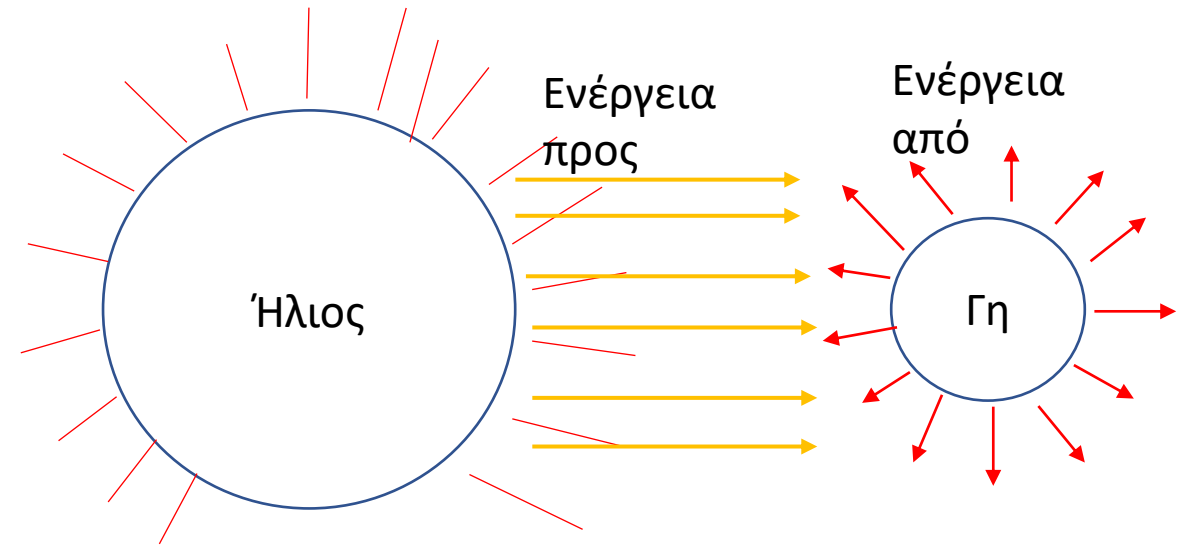
$J = \sigma T^4 A$ όπου A είναι η επιφάνεια του σώματος

- Για ένα σώμα που δεν είναι τέλει μέλαν σώμα διορθώνουμε με ένα συντελεστή που δείχνει την απόκλιση από το ιδανικό μέλαν σώμα

$J = \epsilon \sigma T^4 A$ όπου ϵ είναι ένας αριθμός από το 0 μέχρι το 1 που μας δείχνει την απόκλιση του σώματος από το μέλαν σώμα όπου $1 =$ τέλει μέλαν σώμα.

Το πρώτο μας κλιματικό μοντέλο: Ο γυμνός πλανήτης

- Ενέργεια προς (ενέργεια του ήλιου που φτάνει στη γη) =
- Ενέργεια από (ενέργεια που ακτινοβολεί η γη στο σύμπαν)



$$L(1 - \alpha)A = \epsilon\sigma T^4 A$$
$$L(1 - \alpha)\pi R^2 = \epsilon\sigma T^4 4\pi R^2$$
$$\frac{L(1 - \alpha)}{4} = \epsilon\sigma T^4$$

Όπου α λέγεται albedo, μια έκφραση της ικανότητας των επιφανειών να αντανακλούν το φως του ήλιου.

Πλανήτης	L	a	T μοντέλου	T πραγματική
Αφροδίτη	2600	0,7	240	700
Γη	1350	0,3	255	295
Άρης	600	0,15	216	240

Το μοντέλο του γυμνού πλανήτη προβλέπει πιο κρύες θερμοκρασίες από την πραγματικότητα. Γιατί;

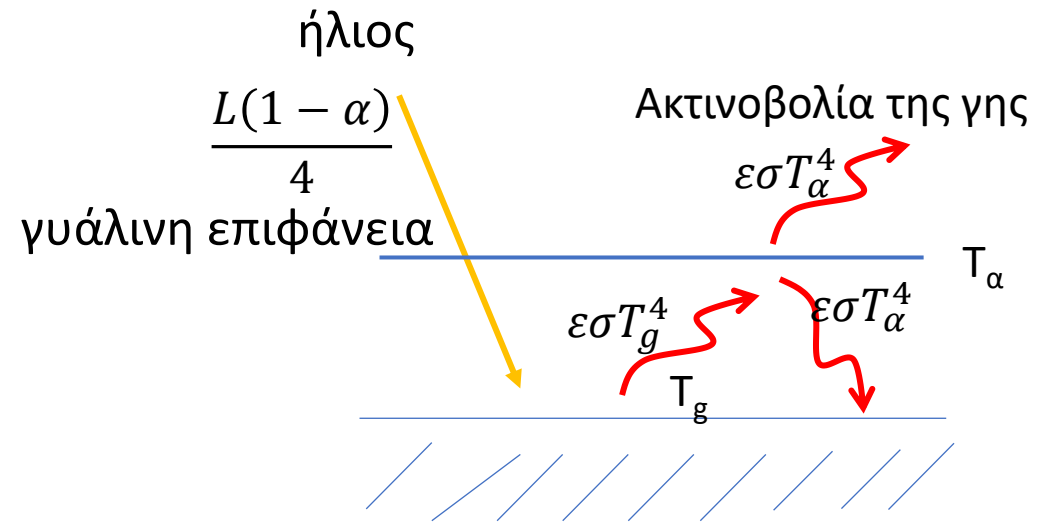
Ένα βήμα παραπέρα: Το μοντέλο του θερμοκηπίου

Ενέργεια προς = ενέργεια του ήλιου που φτάνει στη γη + ενέργεια που ακτινοβολεί η γυάλινη επιφάνεια προς τη γη = $\frac{L(1-\alpha)}{4} + \varepsilon\sigma T_a^4$

Ενέργεια από = ενέργεια που ακτινοβολεί η γη στη γυάλινη επιφάνεια) $\varepsilon\sigma T_g^4$

Ενέργεια από = ενέργεια που ακτινοβολεί η γυάλινη επιφάνεια) $2\varepsilon\sigma T_a^4$
 $T_g = \sqrt[4]{2} T_a = 1.189 T_a$

Το μοντέλο του θερμοκηπίου έχει καλύτερες εκτιμήσεις για τη θερμοκρασία της γης και του Άρη.



Πλανήτης	L	a	T γυμνού μοντέλου	T μοντέλου θερμοκηπίου	T πραγματική
Αφροδίτη	2600	0,7	240	285	700
Γη	1350	0,3	255	303	295
Άρης	600	0,15	216	259	240

Το μοντέλο του θερμοκηπίου με n στοιβάδες

- Η ενέργεια που μπαίνει στη γη από τον ήλιο ισούται με την ενέργεια που εκπέμπεται από τη γη στο σύμπαν από κάποια στοιβάδα.
- Από την τελευταία στοιβάδα (διαφυγή στο σύμπαν)

$$\varepsilon\sigma T_1^4 = \frac{L(1-\alpha)}{4} \text{ και θερμοκρασία στοιβάδας:}$$

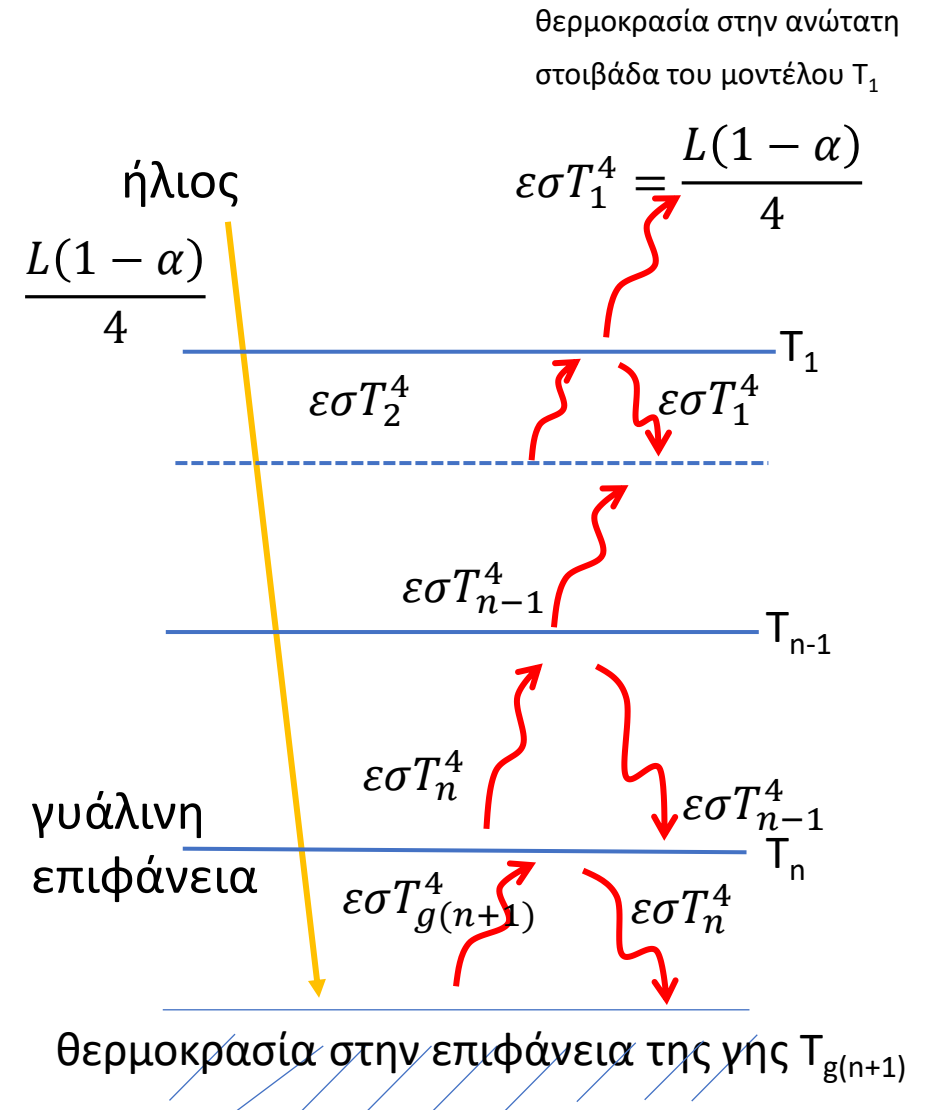
$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{L(1-\alpha)}{4\varepsilon\sigma}}$$

- Από την γη

$$\varepsilon\sigma T_{g(n+1)}^4 = \frac{L(1-\alpha)}{4} (n+1) \text{ και θερμοκρασία γης:}$$

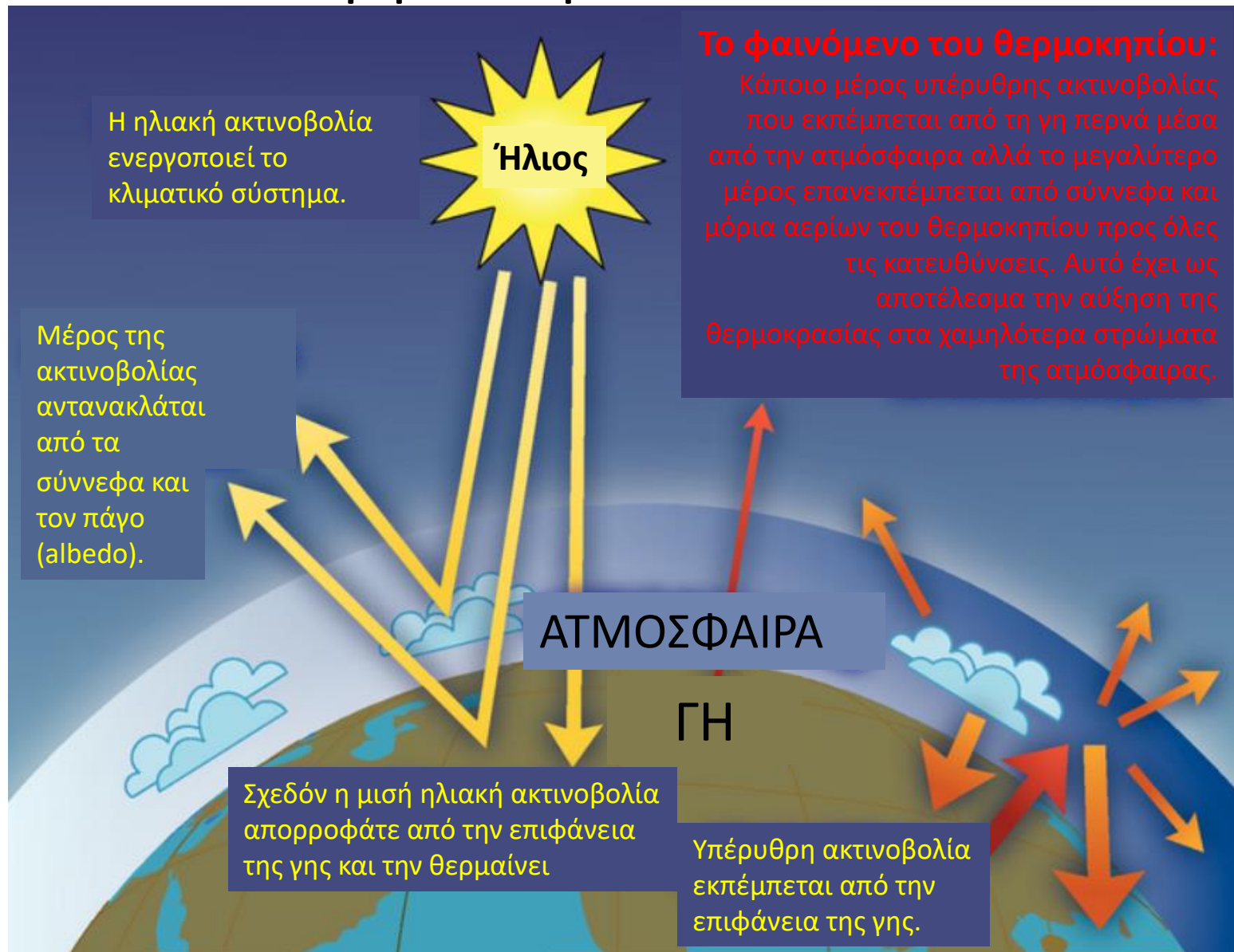
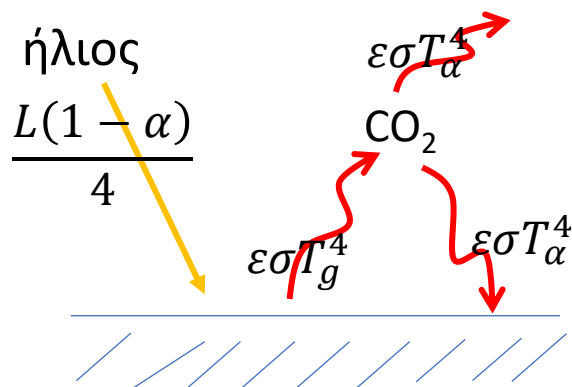
$$T_{g(n+1)} = \sqrt[4]{\frac{(n+1)L(1-\alpha)}{4\varepsilon\sigma}}$$

Εάν τα L , α ή ε αλλάξουν για οποιοδήποτε λόγο, η θερμοκρασία θα επανακαθορισθεί για να έλθει το ενεργειακό σύστημα της γης σε ισορροπία



Το μοντέλο με αέρια του θερμοκηπίου

Στο μοντέλο θερμοκηπίου, αντικαταστήστε τις γυάλινες επιφάνειες με αέρια που έχουν την ιδιότητα να απορροφούν και να εκπέμπουν, όχι όλη την εκπεμπόμενη από τη γη ακτινοβολία, αλλά ένα συγκεκριμένο φάσμα της.



Το σχήμα είναι από το Intergovernmental Panel on Climate Change των Ηνωμένων Εθνών στην ιστοσελίδα του:

https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3-figure-1.html

Το albedo θα το βρείτε μεταφρασμένο ως φωταύγεια, λευκαύγεια και ανακλαστικότητα.

Τι είναι ένα αέριο θερμοκηπίου;

- Τα μόρια κάποιων αέριων ενώσεων έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν υπέρυθρη ενέργεια που εκπέμπεται από τη γη διότι η μοριακή ταλάντωση τους και η ενέργεια περιφοράς τους αντιστοιχεί με ενέργειες στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτό αυξάνει τη θερμοκρασία τους.
- Τα μόρια αυτά συγκρούονται με μόρια που είναι δίπλα τους και αυξάνεται συνολικά η θερμοκρασία.

Τα αέρια των οποίων τα μόρια έχουν τέτοιες ιδιότητες υπάρχουν είτε:

- φυσικά (παράγονται από φυσικές διαδικασίες) όπως το νερό (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το οξείδιο του αζώτου (N_2O) και το όζον (O_3).
- Τεχνητά (παράγονται από τον άνθρωπο) όπως οι φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (HFC), οι υπερφθοριωμένοι υδρογονάνθρακες (PFC) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6).
- Άλλα αέρια που έχουν έμμεση επίδραση στην ατμοσφαιρική θέρμανση και δεν είναι αέρια θερμοκηπίου ενεργούν
 - Παράγοντας ή καταστρέφοντας τα αέρια του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του τροπόσφαιρου όζοντος
 - Επηρεάζοντας τις ατμοσφαιρικές ζωές των άλλων αερίων ή
 - Επηρεάζοντας τις ατμοσφαιρικές διεργασίες όπως ο σχηματισμός σύννεφων που μεταβάλλουν την ισορροπία της ακτινοβολίας της Γης αυξάνοντας το albedo της Γης.
- Τα αέρια που μπορούν να προκαλέσουν αυτές τις έμμεσες επιδράσεις περιλαμβάνουν το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια αζώτου (NO_x) και πτητικών οργανικών ενώσεων πλην μεθανίου (Non-methane Volatile Organic Compounds - NMVOC).

Το δυναμικό θέρμανσης των αερίων του θερμοκηπίου (GWP - Global Warming Potential)

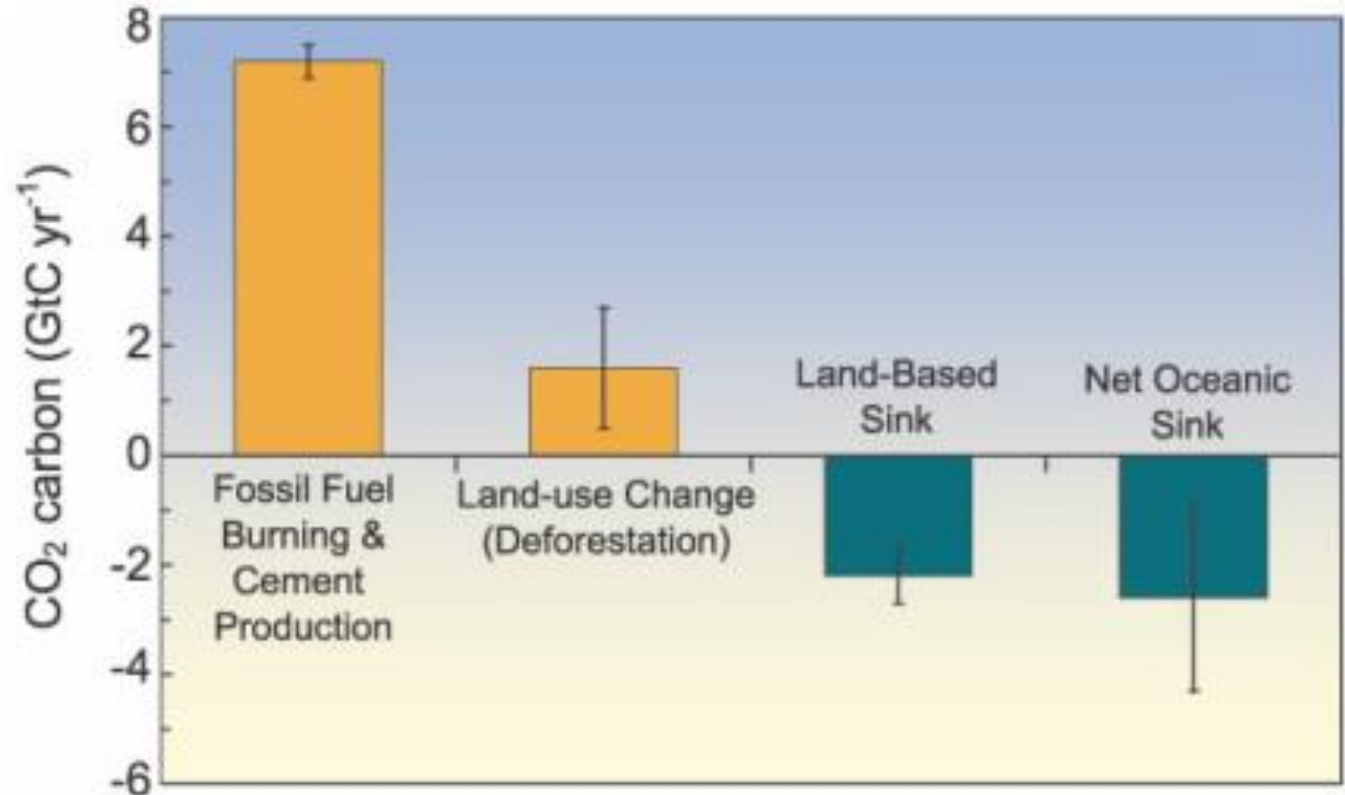
- Το GWP είναι ένα μέτρο για το πόση ενέργεια θα προσθέσει ένα αέριο θερμοκηπίου στην ατμοσφαιρική θέρμανση σε μια δεδομένη χρονική στιγμή σε σύγκριση με το CO₂.
- ο GWP ενός μορίου εξαρτάται από τρεις παράγοντες:
 - τα μήκη κύματος όπου απορροφά το μόριο. (Η απορρόφηση πρέπει να βρίσκεται στο θερμικό εύρος IR όπου η γη εκπέμπει και θα είναι πιο αποτελεσματική εάν απορροφά σε εύρος που δεν απορροφούν οι υδρατμοί και το CO₂)
 - Όσο περισσότερη ενέργεια απορροφά το μόριο, τόσο πιο αποτελεσματικό θα είναι στη θέρμανση
 - Η ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του μορίου. Όσο περισσότερο χρόνο παραμένει το φυσικό αέριο, τόσο περισσότερο θέρμανση μπορεί να παράγει.
- Οι τιμές GWP υπολογίζονται ως αναλογία με την επίδραση 1 κιλού CO₂. Στο CO₂ έχει εκχωρηθεί μια τιμή μονάδας, οπότε η αναλογία είναι το GWP.

Gas	Lifetime, yr	GWP time horizon		
		20 yr	100 yr	500 yr
Carbon Dioxide, CO ₂	see text	1	1	1
Methane, CH ₄	12	72	25	7.6
Nitrous Oxide, N ₂ O	114	289	298	153
CFC-12, CCl ₂ F ₂	100	11,000	10,900	5,200
HFC-23, CHF ₃	270	12,000	14,800	12,200
HFC-134a, CH ₂ FCF ₃	14	3,830	1,430	435
Sulfur Hexafluoride, SF ₆	3,200	16,300	22,800	32,600

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

- Η καύση ορυκτών καυσίμων και η παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου είναι υπεύθυνες για περισσότερο από το 75% των εκπομπών CO₂ που προκαλούνται από τον άνθρωπο. Η αποδάσωση, η αλλαγή των γεωργικών πρακτικών και άλλων αλλαγών χρήσης γης είναι υπεύθυνες για τα υπόλοιπα.
- Η καύση των ορυκτών καυσίμων παράγει CO₂ με διαφορετική υπογραφή άνθρακα-ισότοπου από το CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα πριν από τη βιομηχανική επανάσταση. Το CO₂ από την καύση έχει χαμηλότερη αναλογία ¹³C/¹²C. Ο λόγος ¹³C/¹²C του ατμοσφαιρικού CO₂ μειώθηκε σταθερά καθώς η συγκέντρωση του CO₂ έχει αυξηθεί κατά τον τελευταίο μισό αιώνα. Αυτή η αλλαγή είναι ισχυρή απόδειξη ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα, η καύση των ορυκτών καυσίμων, είναι η κύρια αιτία της αύξησης του ατμοσφαιρικού CO₂. Η καύση απαιτεί και χρησιμοποιεί το οξυγόνο από την ατμόσφαιρα και οι ακριβείς μετρήσεις της αναλογίας O₂/N₂ στην ατμόσφαιρα δείχνουν ότι το κλάσμα του οξυγόνου μειώνεται (μετράται σε PPM σε σχέση με ένα πρότυπο δείγμα).
- Η αποθήκευση άνθρακα στη γη βασίζεται είναι σε μεγάλο βαθμό στην ενσωμάτωση του CO₂ στα προϊόντα της φωτοσύνθεσης από τα πράσινα φυτά. Η ωκεάνια αποθήκευση περιλαμβάνει φωτοσύνθεση από φυτοπλαγκτόν καθώς και διάλυση, αντιδράσεις οξέος-βάσης και αντιδράσεις σχηματισμού ανθρακικού άλατος πολλών θαλάσσιων οργανισμών.

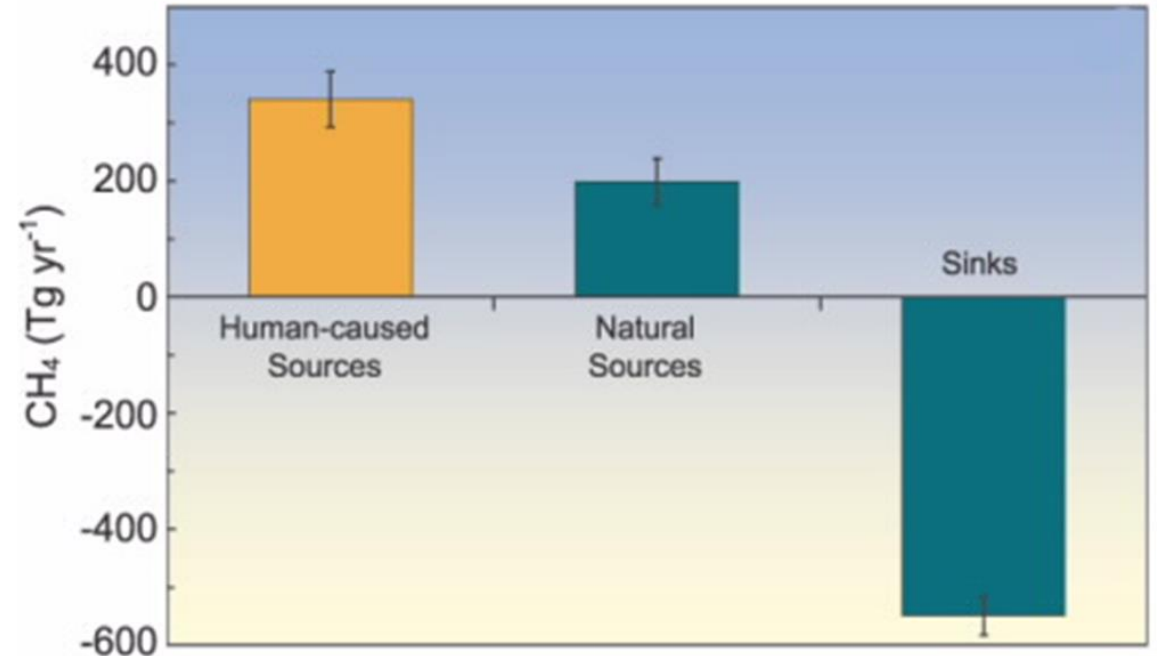
Carbon Dioxide



Credit: IPCC

Το μεθάνιο (CH₄)

- Οι εκπομπές CH₄ από ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν ξεπεράσει τις φυσικές εκπομπές από τη δεκαετία του 1980. Οι συγκεντρώσεις CH₄ αυξήθηκαν κατά μέσο όρο έξι φορές γρηγορότερα από το 1960 έως το 1999 από ό, τι σε οποιαδήποτε προηγούμενη περίοδο 40 ετών κατά τη διάρκεια των 2.000 ετών πριν από το 1800.
- Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που παράγουν CH₄ περιλαμβάνουν την παραγωγή ενέργειας από φυσικό αέριο, άνθρακα και πετρέλαιο, αποσύνθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής, τα μηρυκαστικά ζώα και η καλλιέργεια ρυζιού.
- Οι υγρότοποι είναι η κύρια φυσική πηγή CH₄ (αέριο Marsh που παράγεται από την αναερόβια αποσύνθεση της βλάστησης). Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα προκαλείται από την τήξη του permafrost στην Αρκτική με συνοδευτική αποσύνθεση της βλάστησης που είχε καταψυχθεί. Το CH₄ μαζεύεται σε φυσαλίδες που εγλωβίζονται κάτω από τον πάγο όταν αυτές οι λίμνες παγώνουν το χειμώνα. Εάν κανείς ανοίξει μια τρύπα στον πάγο και την ανάψει παράγει ένα εντυπωσιακό αποτέλεσμα.

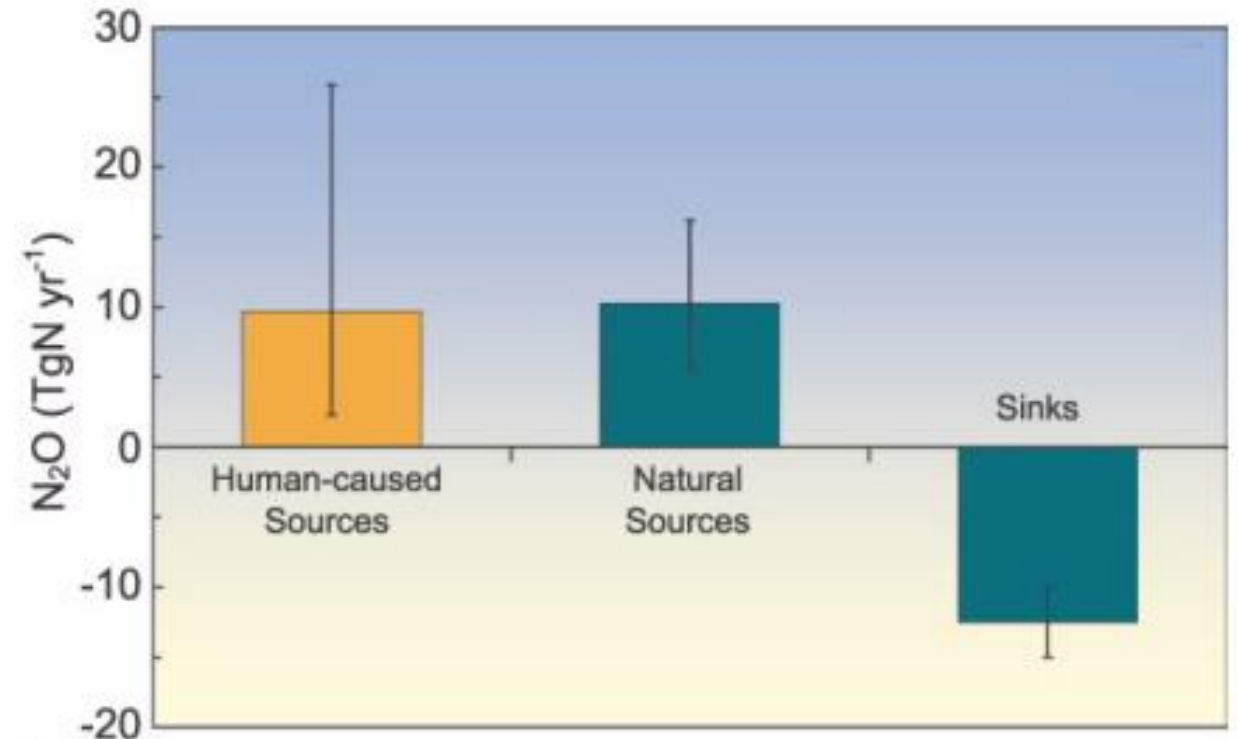


Credit: IPCC

- Οι ατμοσφαιρικές συνεισφορές N_2O από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι περίπου οι ίδιες με τις συνεισφορές από τα φυσικά συστήματα. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις N_2O αυξήθηκαν περίπου δύο φορές ταχύτερα από το 1960 έως το 1999 από ό, τι σε οποιαδήποτε άλλη προηγούμενη περίοδο.
- Οι φυσικές πηγές N_2O περιλαμβάνουν την οξείδωση της αμμωνίας στην ατμόσφαιρα και από το άζωτο στα εδάφη, ιδιαίτερα τα τροπικά εδάφη. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες προσθέτουν αφού τα αζωτούχα λιπάσματα χρησιμοποιούνται εκτενώς στη γεωργία για να τροφοδοτήσουν έναν αυξανόμενο πλανητικό πληθυσμό. Μικρότερες πηγές ανθρώπινης δραστηριότητας περιλαμβάνουν καύση ορυκτών καυσίμων, καύση βιομάζας και αποσύνθεση της κοπριάς ζώων.
- Η κύρια διαφυγή ατμοσφαιρικού N_2O είναι η καταστροφή στη στρατόσφαιρα όπου η πλειοψηφία υφίσταται φωτόλυση στο $N_2 + O$. Το υπόλοιπο N_2O αντιδρά με O για να παράγει NO , το οποίο μπορεί να εισέλθει σε έναν κύκλο χημικής αντίδρασης στην στρατόσφαιρα που υπάρχει όζον και να το καταστρέψει. Έτσι, το N_2O , όπως πολλά αέρια που περιέχουν αλογόνο, είναι σημαντικό τόσο ως αέριο θερμοκηπίου όσο και ως ουσία που καταστρέφει το όζον.

Οξείδιο του αζώτου (N_2O)

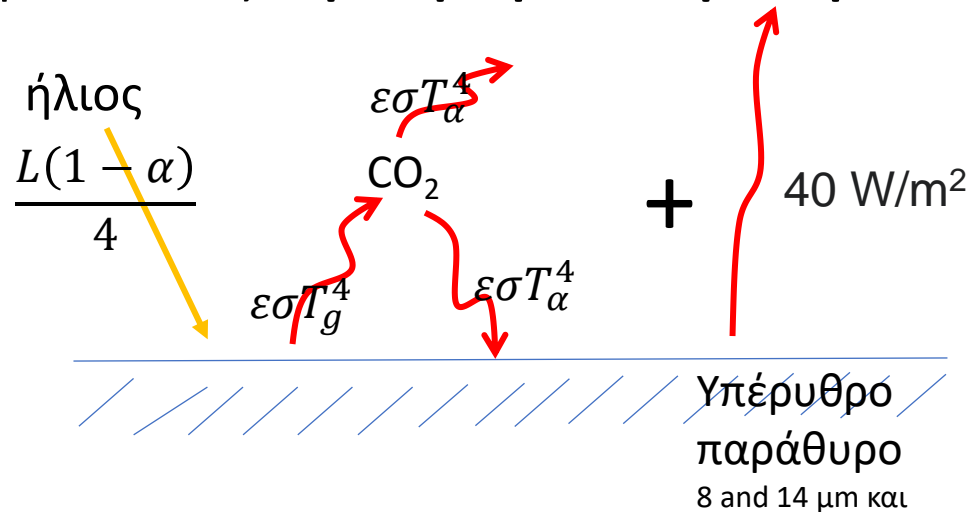
Nitrous Oxide



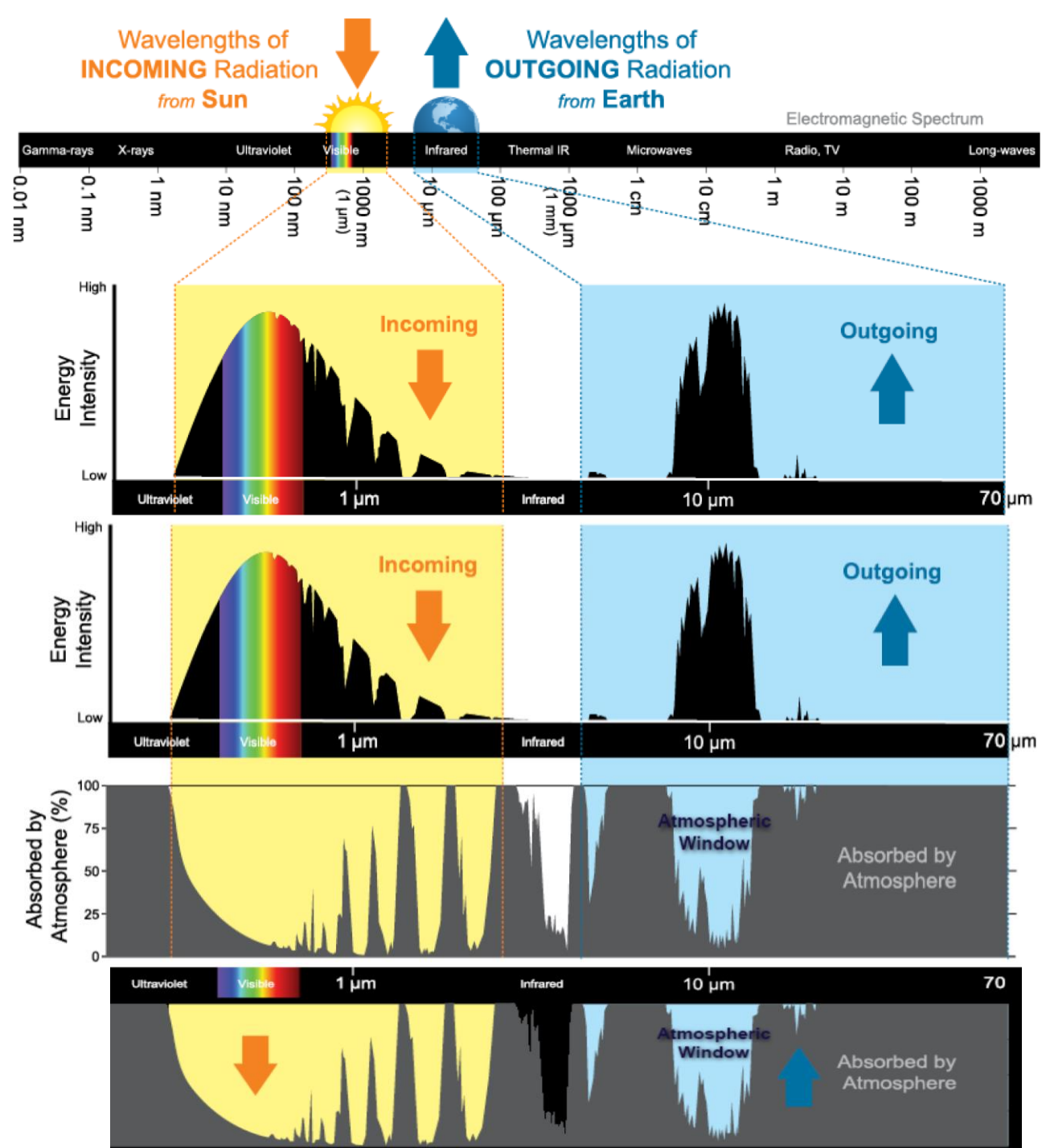
Credit: IPCC

Το ατμοσφαιρικό παράθυρο

- Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του ήλιου προέρχεται από το ορατό φως και το σχεδόν υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρο-μαγνητικού φάσματος.
- Όλη η εκπεμπόμενη ενέργεια από τη γη είναι υπέρυθρη.
- Τα μέρη με περιορισμένη ή σχεδόν καθόλου απορρόφηση από την ατμόσφαιρα είναι γνωστά ως **ατμοσφαιρικό παράθυρο**.

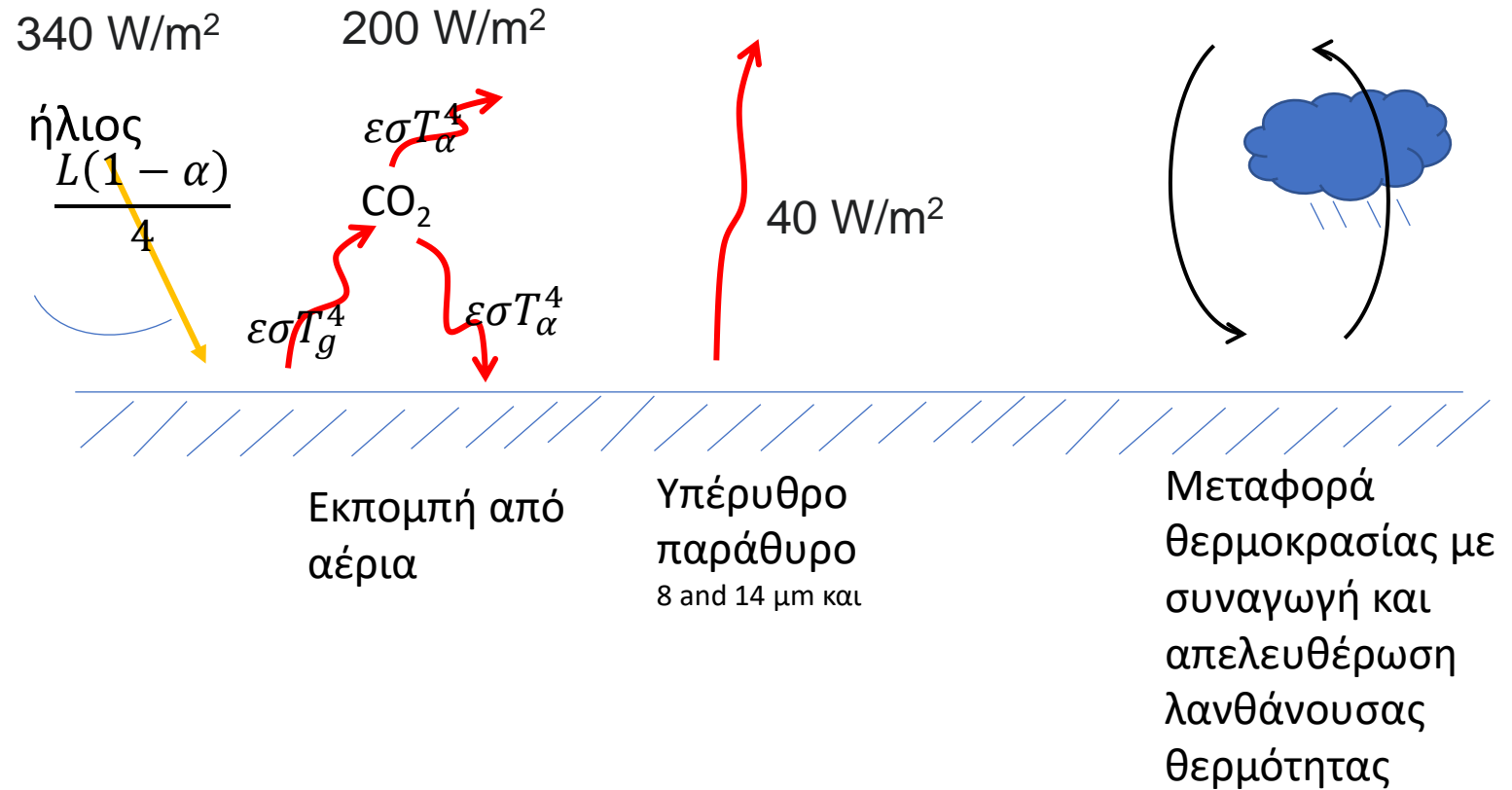


Από την ιστοσελίδα της National Oceanic and Atmospheric Administration:
<https://www.noaa.gov/jetstream/satellites/absorb>



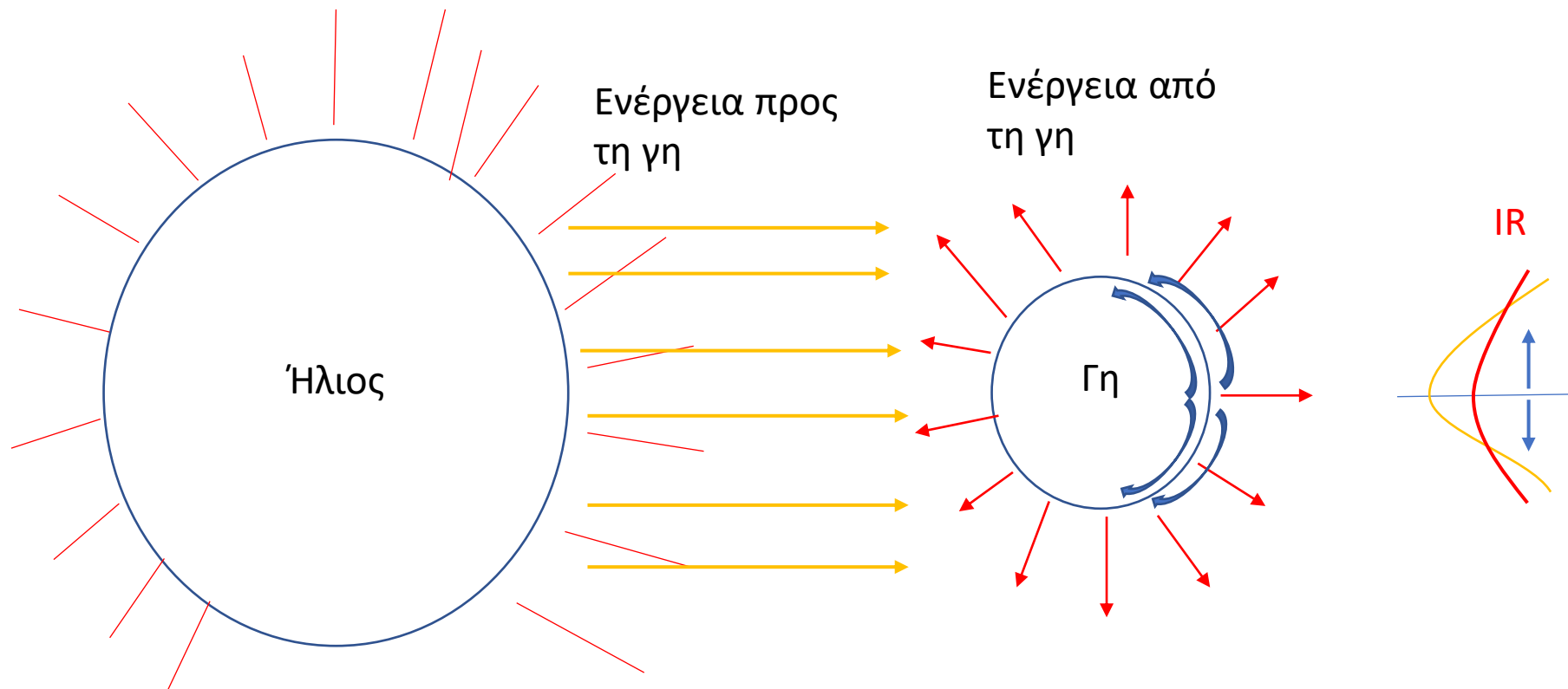
Ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο: συναγωγή

- Συναγωγή είναι η κίνηση μέσα σε ένα υγρό ή αέριο που προκαλείται από διαφορές στη θερμοκρασία.
- Η μεταφορά λειτουργεί από περιοχές ψηλότερης θερμοκρασίας σε περιοχές χαμηλότερης. Περιοχές αέρα μετακινούνται καθώς οι θερμότερες, λιγότερο πυκνές περιοχές ανεβαίνουν και οι ψυχρότερες, πιο πυκνές περιοχές βυθίζονται.
- Η συναγωγή είναι μια ζωτικής σημασίας διαδικασία που βοηθά στην ανακατανομή της ενέργειας μακριά από θερμότερες περιοχές σε ψυχρότερες περιοχές της Γης, βοηθώντας την κυκλοφορία της θερμοκρασίας και μειώνοντας τις έντονες διαφορές θερμοκρασίας.



Η συναγωγή υγρασίας (moist conduction) είναι επίσης ένας μηχανισμός που καθορίζει τη θερμική δομή της ατμόσφαιράς μας. Ανεβαίνει, ψύχεται και συμπυκνώνεται, και εκεί βρέχει. Αλλά αφήνει σε εκείνο το ύψος λανθάνουσα θερμότητα (latent heat) και συνεπώς αυξάνει τη θερμοκρασία του αλλά και μεταφέρει θερμότητα γύρω.

Από το τοπικό μοντέλο στο παγκόσμιο



Η πραγματική γεωμετρία είναι ότι το ηλιακό φως έρχεται από μία κατεύθυνση, πιο έντονα στον ισημερινό. Το υπέρυθρο φως φεύγει παντού γύρω από τη γη και ο ρυθμός με τον οποίο φεύγει εξαρτάται από τη θερμοκρασία του εδάφους σύμφωνα με το $\epsilon\sigma T^4$. Σε οποιαδήποτε δεδομένη τοποθεσία στη Γη, οι εισερχόμενοι και εξερχόμενοι ενεργειακοί προϋπολογισμοί δεν ισορροπούν. Ισορροπούν μόνο για τη Γη στο σύνολό της σε αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Η γραφική παράσταση της έντασης του ηλιακού φωτός σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και είναι πολύ ισχυρή στον ισημερινό (πορτοκαλί γραμμή). Η γραφική παράσταση της υπέρυθρης ενέργειας που φεύγει από τη γη ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους, είναι επίσης ισχυρότερη κοντά στον ισημερινό επειδή είναι πιο θερμή περιοχή από ότι στους πόλους, αλλά υπάρχει ένα έλλειμμα. Δεν είναι αρκετά ζεστό στον ισημερινό για να διώξει την ενέργεια τόσο γρήγορα όσο την φέρνει ο ήλιος. Και δεν είναι αρκετά κρύο στον ισημερινό στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη ώστε το υπέρυθρο να είναι τόσο χαμηλό όσο το ηλιακό φως που εισέρχεται. Και η διαφορά είναι αυτό που ονομάζουμε μεταφορά θερμότητας. Είναι η θερμότητα που μεταφέρεται από την ατμόσφαιρα και από τους ωκεανούς από τα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.