

ΕΠΙΔΡΑΣΗ 17 ...ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: Κλιματική αλλαγή¹

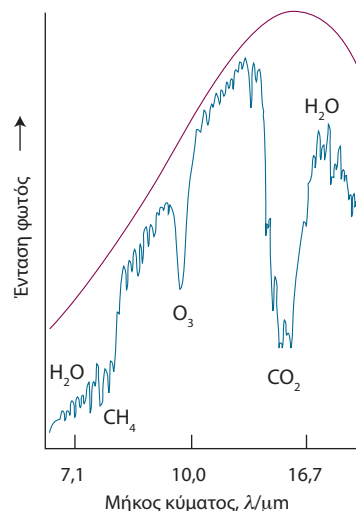
Η ηλιακή ενέργεια προσπίπτει στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας της Γης με ρυθμό 343 W m^{-2} . Το 30 τοις εκατό περίπου της ενέργειας αυτής ανακλάται πίσω στο διάστημα από την ατμόσφαιρα ή από την ίδια τη Γη. Το σύστημα Γη-ατμόσφαιρα απορροφά την υπόλοιπη ενέργεια και την επανεκπέμπει στο διάστημα ως ακτινοβολία μέλανος σώματος, με το μεγαλύτερο ποσοστό να μεταφέρεται μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας μεταξύ $200\text{--}2500 \text{ cm}^{-1}$ ($4\text{--}50 \text{ }\mu\text{m}$). Η μέση θερμοκρασία της Γης διατηρείται σταθερή μέσω μιας ενεργειακής ισορροπίας μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τη Γη και της ακτινοβολίας μέλανος σώματος που εκπέμπεται από τη Γη.

Η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας είναι γνωστή ως *φαινόμενο θερμοκηπίου*, διότι θερμαίνει τη Γη σαν όλος ο πλανήτης να ήταν κλεισμένος σε ένα τεράστιο θερμοκήπιο. Το φυσικό αυτό φαινόμενο θερμοκηπίου αυξάνει τη μέση θερμοκρασία της επιφάνειας αρκετά πάνω από το σημείο πήξης του νερού και δημιουργεί το κατάλληλο περιβάλλον για την ύπαρξη ζωής. Τα κύρια συστατικά της ατμόσφαιρας της Γης, το O_2 και το N_2 , δεν συνεισφέρουν στο φαινόμενο θερμοκηπίου διότι τα ομοπυρηνικά διατομικά μόρια δεν μπορούν να απορροφήσουν υπέρυθρη ακτινοβολία. Ωστόσο, τα δευτερεύοντα ατμοσφαιρικά αέρια, οι υδρατμοί και το CO_2 , απορροφούν υπέρυθρη ακτινοβολία και έτσι είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Σχ. 1). Οι υδρατμοί απορροφούν ισχυρά στις περιοχές $1300\text{--}1900 \text{ cm}^{-1}$ ($5,3\text{--}7,7 \text{ }\mu\text{m}$) και $3550\text{--}3900 \text{ cm}^{-1}$ ($2,6\text{--}2,8 \text{ }\mu\text{m}$), ενώ το CO_2 εμφανίζει ισχυρή απορρόφηση στις περιοχές $500\text{--}725 \text{ cm}^{-1}$ ($14\text{--}20 \text{ }\mu\text{m}$) και $2250\text{--}2400 \text{ cm}^{-1}$ ($4,2\text{--}4,4 \text{ }\mu\text{m}$).

Η αύξηση των επιπέδων των αερίων του θερμοκηπίου, στα οποία επίσης περιλαμβάνονται το μεθάνιο, το διοξείδιο του αζώτου, το όζον, και ορισμένοι χλωροφθοράνθρακες, ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας, ενισχύει το φυσικό φαινόμενο θερμοκηπίου, οδηγώντας έτσι σε σημαντική θέρμανση του πλανήτη. Το πρόβλημα αυτό αναφέρεται ως *παγκόσμια θέρμανση*, και γενικότερα ως *κλιματική αλλαγή*, και θα το εξετάσουμε στη συνέχεια πιο λεπτομερώς.

Η συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα έχει παραμείνει σταθερή με το πέρασμα του χρόνου, αλλά οι συγκεντρώσεις ορισμένων άλλων αερίων θερμοκηπίου αυξάνονται. Από το έτος 1000 περίπου έως το 1750, η συγκέντρωση του CO_2 παρέμεινε σχετικά σταθερή, αλλά, από τότε, έχει αυξηθεί κατά 40 τοις εκατό. Η συγκέντρωση του μεθανίου, CH_4 , έχει

¹ Η ενότητα αυτή βασίζεται σε μια παρόμοια που είχε αρχικά προετοιμαστεί από την Loretta Jones και περιλαμβανόταν στο *Chemical principles*, Peter Atkins και Loretta Jones, W.H. Freeman and Co., New York (2010). Τα δεδομένα για τη συγκέντρωση των αερίων της ατμόσφαιρας και για την τάση της παγκόσμιας θερμοκρασίας έχουν ληφθεί από την 5η έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή, 2014.

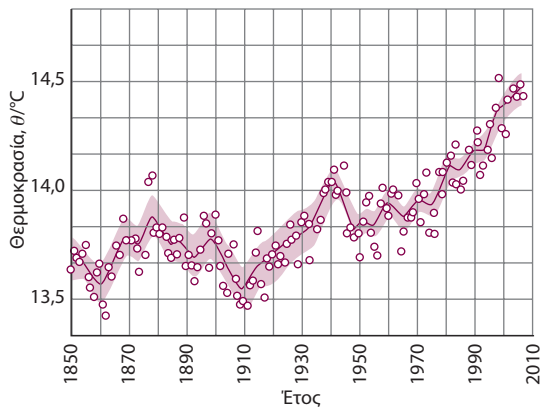


Σχήμα 1 Η ένταση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που θα χανόταν από τη Γη απουσία των αερίων του θερμοκηπίου παρουσιάζεται με τη μωβ γραμμή. Η γαλάζια γραμμή είναι η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται στην πραγματικότητα. Φαίνεται επίσης το μέγιστο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που απορροφάται από κάθε αέριο του θερμοκηπίου.

αυξηθεί κατά 150 τοις εκατό στο ίδιο διάστημα και βρίσκεται τώρα στο μέγιστο επίπεδο των τελευταίων 160.000 ετών (160 ka· το a είναι το σύμβολο του ενός έτους στο SI). Μελέτες από θύλακες αέρα σε δείγματα από παγόβουνα, που ελήφθησαν από την Ανταρκτική, δείχνουν ότι οι αυξήσεις των συγκεντρώσεων και των δύο ατμοσφαιρικών αερίων, CO_2 και CH_4 , κατά τα τελευταία 160 ka έχουν μεγάλη συσχέτιση με την αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της Γης.

Υπεύθυνες για την αύξηση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών CO_2 και CH_4 είναι κατά κύριο λόγο οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Το μεγαλύτερο μέρος του ατμοσφαιρικού CO_2 προέρχεται από την καύση υδρογονάνθρακων, η οποία ξεκίνησε σε μεγάλη κλίμακα με τη Βιομηχανική Επανάσταση στα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα. Το επιπλέον μεθάνιο προέρχεται κυρίως από τη βιομηχανία πετρελαίου και από την αγραοκαλλιέργεια.

Η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης έχει αυξηθεί κατά 0,8 K περίπου από τα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα (Σχ. 2). Το 2014 η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) εκτίμησε ότι η συνεχόμενη εξάρτησή μας από τους καύσιμους υδρογονάνθρακες, σε συνδυασμό με την τρέχουσα τάση στην αύξηση του πληθυσμού, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας της Γης κατά 1-3 K έως το 2100, σε σχέση με τη θερμοκρασία της επιφάνειας το 2000. Περαιτέρω, ο ρυθμός μεταβολής της θερ-



Σχήμα 2 Η μέση μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης από το 1850 έως το 2002.

μοκρασίας είναι πιθανόν να είναι μεγαλύτερος από ποτέ στα τελευταία 10 ka. Για να εκτιμήσουμε τη σημασία μιας αύξησης της θερμοκρασίας κατά 3 K, είναι χρήσιμο να σκεφτούμε ότι η μέση θερμοκρασία της Γης κατά την τελευταία περίοδο των παγετώνων ήταν μόλις 6 K μικρότερη από σήμερα.

Ακριβώς όπως η ψύξη του πλανήτη (όπως π.χ. κατά την περίοδο των παγετώνων) μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά αποτελέσματα για τα οικοσυστήματα, το ίδιο μπορεί να συμβεί από μια δραματική θέρμανση του πλανήτη. Ένα παράδειγμα σημαντικής κλιματικής αλλαγής που θα προκαλούσε η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 K είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 m περίπου, που είναι αρκετό για να μεταβάλει τις καιρικές συνθήκες αλλά και να βυθίσει παράκτια οικοσυστήματα.

Προβολές μέσω υπολογιστών για τα επόμενα 200 έτη προβλέπουν περαιτέρω αύξηση των επιπέδων του ατμοσφαιρικού CO₂ και υποδεικνύουν ότι, για να διατηρηθεί το CO₂ στην τρέχουσα συγκέντρωση, θα πρέπει αν μειώσουμε αμέσως την καύση υδρογονανθράκων κατά περίπου 50 τοις εκατό. Είναι ξεκάθαρο ότι για να αντιστρέψουμε την τάση προς παγκόσμια θέρμανση, χρειάζεται να κατευθυνθούμε προς πηγές ενέργειας εναλλακτικές των ορυκτών καυσίμων, όπως η πυρηνική, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Καθεμιά από αυτές τις επιλογές, όμως, είναι με κάποιον τρόπο αμφισβητήσιμη, αυξάνοντας έτσι τη δυσκολία εύρεσης μιας λύσης στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής αλλά και των πολιτικών, κοινωνικών, και περιβαλλοντικών επιπτώσεών της.