

15^η Ενότητα:

Η Ηλιακή Ακτινοβολία (Υπέρυθρη, Ηλιακό Φως και Υπεριώδης). Η Υπεριώδης (UV-A, UV-B και UV-C). Μείωση της UV-B από το Όζον της Στρατόσφαιρας. Η Τρύπα του Όζοντος

Υπάρχουν, σε σχέση με την προστασία του Περιβάλλοντος δύο μεγάλα προβλήματα για την ανθρωπότητα, γνωστά στο ευρύ κοινό ως το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» και η «Τρύπα του Όζοντος». Με το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» ασχοληθήκαμε εντατικά στις Ενότητες 6^η και 7^η σελ. 47 έως σελ. 66. Από σήμερα λοιπόν θα ασχοληθούμε με το 2^ο πρόβλημα που απασχολεί την ανθρωπότητα, δηλαδή με την «Τρύπα του Όζοντος».

Το πρόβλημα του «Φαινομένου του Θερμοκηπίου», το οποίο συνδέεται άμεσα με την «Κλιματική Αλλαγή» της Γης μας είναι δύσκολο να λυθεί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι ο κυριότερος υπαίτιος του «Φαινομένου του Θερμοκηπίου» είναι το αέριο διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα όμως είναι το κύριο προϊόν της καύσης όλων των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο). Ορυκτά καύσιμα καίνε όμως όλοι οι άνθρωποι. Ποιος μπορεί λοιπόν να υποχρεώσει ΟΛΟΥΣ τους ανθρώπους να καίνε λιγότερα ορυκτά καύσιμα;

Η «Τρύπα του Όζοντος» αντίθετα οφείλεται (όπως θα περιγράψουμε αναλυτικά στη συνέχεια) μόνο σε λίγα υλικά, τα οποία τα παρήγαγαν μόνο λίγες βιομηχανικές χώρες, έτσι ώστε ήταν πολύ πιο εύκολος ο περιορισμός των υλικών αυτών.

Ας ξεκινήσουμε όμως από την αρχή. Προκειμένου να γίνουν ευκολότερα κατανοητά τα όσα θα περιγράψουμε, είναι σκόπιμο να ασχοληθούμε λίγο για άλλη μία φορά με την πηγή ενέργειας της γης μας, δηλαδή με τον Ήλιο μας. Χρησιμοποιούμε τη έκφραση για άλλη μία φορά, διότι με τον Ήλιο μας ασχοληθήκαμε και όταν περιγράψαμε το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου».

Για να μη χρειαστεί λοιπόν να ανατρέχετε σε προηγούμενες Ενότητες, θα περιγράψουμε και εδώ ό,τι είναι απαραίτητο για την κατανόηση της «Τρύπας του Όζοντος».

Η Γη μας

Αν μετρήσουμε τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια της Γης, π.χ. σε ένα ύψος 2 μέτρων επάνω από την επιφάνεια του εδάφους, την ίδια στιγμή αλλά σε πάρα πολλά διαφορετικά σημεία της Γης και σχηματίσουμε τον μέσον όρον, τότε θα προκύψει μία θερμοκρασία περίπου συν 15°C. Η θερμοκρασία αυτή είναι πολύ κατάλληλη τόσο για τη δημιουργία, όσο και για τη διατήρηση της ζωής επάνω στη Γη.

Τώρα υποθέτουμε για λίγο, ότι ο Ήλιος δεν υπάρχει πια (αυτό βέβαια είναι αδύνατο, διότι δεν θα υπήρχαν πλέον ούτε οι πλανήτες που στρέφονται γύρω από τον Ήλιο και επομένως και η Γη μας) και ότι όλα τα άλλα παραμένουν ίδια. Διερωτώμεθα λοιπόν τι θα συνέβαινε μετά; Τότε με την έλλειψη του Ήλιου, η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης από συν 15°C που είναι τώρα, θα γινόταν συνεχώς μικρότερη, κάποτε θα έφτανε στους 0°C, οπότε το νερό θα άρχιζε να παγώνει. Η θερμοκρασία συνεχώς θα γινόταν μικρότερη, η Γη θα μεταβαλλόταν σε μια σφαίρα από πάγο, η ζωή θα έπαυε να υπάρχει και η θερμοκρασία θα έφτανε κάποτε στο απόλυτο μηδέν, δηλαδή στους πλην 273°C. Δηλαδή, όλα αυτά τα σκοτεινά σενάρια δεν συμβαίνουν μόνο για ένα λόγο, επειδή υπάρχει ο Ήλιος.

Ο Ήλιος μας

Στον Ήλιο συμβαίνουν ασύλληπτα γεγονότα. Όταν ο άνθρωπος έφτιαξε τη βόμβα υδρογόνου, μιμήθηκε ό,τι συμβαίνει ακριβώς στον Ήλιο. Συγκεκριμένα στον Ήλιο κατά τη διάρκεια ενός δευτερολέπτου (δηλαδή σε όσο χρόνο περνάει λέγοντας τικ-τακ) μετατρέπονται 4.700.000 τόνοι του στοιχείου υδρογόνο στο στοιχείο ήλιο. Η μετατροπή αυτή του υδρογόνου σε ήλιο συντελείται όχι με χημικές αντιδράσεις αλλά με **πυρηνικές** αντιδράσεις. Σε άλλες Ενότητες αργότερα θα σας εξηγήσω με πολύ απλά και κατανοητά λόγια δίχως να προϋποθέτω τις οποιεσδήποτε πρότερες γνώσεις Σας τα εξής: Πώς κερδίζουμε ενέργεια σε ένα **πυρηνικό** εργοστάσιο και σε μία **ατομική** (σωστότερο είναι **πυρηνική**) βόμβα.; Επίσης τι συμβαίνει ακριβώς επάνω στον Ήλιο μας και τι σε μία βόμβα **υδρογόνου**, η οποία βασίζεται στην ίδια ακριβώς αρχή όπως τα όσα συμβαίνουν επάνω στον Ήλιο; Και τέλος πώς θα λυθεί το ενεργειακό πρόβλημα της ανθρωπότητας στο μέλλον με τη βοήθεια ενός **πυρηνικού αντιδραστήρα**, ο οποίος θα λειτουργεί με την ίδια αρχή, όπως ακριβώς ο Ήλιος μας; Αυτά όμως προσεχώς. Έχετε λοιπόν λίγη υπομονή! Προς το παρόν επιστρέφουμε στον Ήλιο μας. Όπως προαναφέραμε στον Ήλιο κατά τη διάρκεια ενός δευτερολέπτου μετατρέπονται με πυρηνικές αντιδράσεις 4.700.000 τόνοι του στοιχείου υδρογόνο στο στοιχείο ήλιο. Αυτό δε που συμβαίνει πάνω στον Ήλιο, αντιστοιχεί ενεργειακά στην έκρηξη περισσοτέρων δισεκατομμυρίων από βόμβες **υδρογόνου** (μόνο μέσα σε ένα δευτερόλεπτο). Αντιλαμβάνεστε βέβαια, ότι με αυτόν τον τρόπο ελευθερώνονται στην κυριολεξία **αστρονομικά** ποσά ενέργειας. Παρ' ότι δε αυτό είναι ένας ασύλληπτος αριθμός, τον αναφέρουμε πάλι για να τον έχετε ακούσει άλλη μια φορά: Δηλαδή η ισχύς της ενέργειας, που ελευθερώνεται σε κάθε δευτερόλεπτο επάνω στον Ήλιο είναι ένας αριθμός σε κιλοβάτ, που έχει μπροστά το 4 ακολουθούμενο από 23 μηδενικά, δηλαδή 400 εξάκις εκατομμύρια κιλοβάτ σε ένα δευτερόλεπτο, πραγματικά ασύλληπτος αριθμός!

Η ηλιακή Ακτινοβολία

Η ενέργεια αυτή εκπέμπεται από τον Ήλιο υπό τη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας προς όλες τις διευθύνσεις στο διάστημα. Κάποιος όμως, που θα **μπορούσε** να βρεθεί στον Ήλιο, κοιτώντας προς όλες τις διευθύνσεις, δε θα έβλεπε εκτός από το αχανές Άπειρο, τίποτε άλλο παρά τους λίγους Πλανήτες, που στρέφονται γύρω από τον Ήλιο, αλλά και αυτούς μόνο σε μικρά σώματα ή απλώς κουκίδες. Έτσι γίνεται αντιληπτό, ότι **όλο** αυτό το τεράστιο ποσό της ενέργειας, που με τη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας εγκαταλείπει τον Ήλιο, χάνεται σχεδόν ανεκμετάλλετο στο διάστημα, αφού μόνο ένα απειροελάχιστο μέρος της συναντά τους πλανήτες θερμαίνοντάς τους. Συγκεκριμένα, η Γη δέχεται λιγότερο από το ένα δισεκατομμυριοστό της ενέργειας που εκπέμπει ο Ήλιος. Παρ' όλα αυτά, αυτή η ενέργεια, που δέχεται η Γη από τον Ήλιο είναι αρκετή για να την ζεστάνει. Όπως δε αναφέραμε προηγουμένως, η Γη ζεσταίνεται έτσι, ώστε η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης να είναι συν 15°C.

Βέβαια οι Αναγνώστριές μας και οι Αναγνώστες μας που διάβασαν την 6^η και 7^η Ενότητά μας για το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου», ξέρουν μερικές λεπτομέρειες, που δεν είναι τόσο γνωστές στο ευρύ κοινό. Δηλαδή ναι μεν ο Ήλιος είναι η πηγή ενέργειας για τη Γη μας. Πλην όμως το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη μας αρκεί για να γίνει η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια της γης μόνο πλην 18°C. Το γεγονός όμως ότι η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια της γης δεν είναι πλην 18°C, αλλά συν 15°C, δηλαδή κατά 33°C μεγαλύτερη, οφείλεται στο λεγόμενο «Φυσικό Φαινόμενο του Θερμοκηπίου». Δηλαδή στο ότι στην ατμόσφαιρα της γης υπήρχαν ανέκαθεν τα λεγόμενα αέρια του Θερμοκηπίου, που ζεσταίνουν τη γη κατά 33 °C. Τα αέρια αυτά

είναι ο Υδρατμός, το διοξείδιο του Άνθρακα, το Μεθάνιο, το υποξείδιο του Αζώτου και τέλος το Όζον που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της Γης.

Η ηλιακή αυτή ενέργεια έχει, πριν φτάσει στη γήινη ατμόσφαιρα, μία ισχύ ίση με 1368 βατ ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας που είναι κάθετη στη διεύθυνση από τη Γη στον Ήλιο. Ο αριθμός 1368 βατ ανά τετραγωνικό μέτρο ονομάζεται «Ηλιακή Σταθερά». Στην πραγματικότητα όμως ο αριθμός 1368 δεν είναι μία σταθερά για δύο λόγους. Πρώτον διότι η ηλιακή ακτινοβολία η ίδια κυμαίνεται με τον χρόνο και δεύτερον, διότι λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο η απόσταση Γης Ήλιου μεταβάλλεται. Η τιμή 1368 είναι επομένως ένας μέσος όρος.

Το Μήκος Κύματος της Ηλιακής Ακτινοβολίας

Ένα μέγεθος, που χαρακτηρίζει μία ακτινοβολία και επομένως και την ακτινοβολία, που φτάνει από την Ήλιο στη Γη, είναι το μήκος κύματος (μία πιο γνωστή ακτινοβολία στον άνθρωπο είναι η ακτινοβολία, που εκπέμπει ένας ραδιοφωνικός σταθμός, που ως γνωστό χαρακτηρίζεται επίσης από το μήκος κύματός του).

Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος μίας ακτινοβολίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια αυτής της ακτινοβολίας και επομένως τόσο μεγαλύτερες είναι οι επιπτώσεις της ακτινοβολίας αυτής στον άνθρωπο.

Ονομασία	Μήκος Κύματος σε νανόμετρα (nm)
Υπεριώδης (UV)	Μικρότερο των 400
Ορατή (Ηλιακό φως)	400 έως 800
Υπέρυθρη (IR)	Μεγαλύτερο των 800

Πίνακας 7: Ταξινόμηση της Ηλιακής Ακτινοβολίας

Ταξινόμηση της Ηλιακής Ακτινοβολίας

Ανάλογα με το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας την χωρίζουμε καταρχάς σε τρία μέρη (βλέπε Πίνακα 7, σελ. 142):

- Την **υπεριώδη** ακτινοβολία **UV** (προφέρεται Γιουου Βη από τα αρχικά των λέξεων του Αγγλικού Αλφαβήτου **U**ltra **V**iolet), με μήκος κύματος μικρότερο των 400 νανομέτρων. 1 νανόμετρο (nm) είναι 1 εκατομμυριοστό του χιλιοστού του μέτρου.

- Την **ορατή** ακτινοβολία (ηλιακό φως) με μήκος κύματος από 400 έως 800 νανόμετρα και
- Την **υπέρυθρη** ακτινοβολία IR (προφέρεται Άι Άαρ από τα αρχικά των λέξεων του Αγγλικού Αλφαβήτου **I**nfra **R**ed), με μήκος κύματος μεγαλύτερο των 800 νανομέτρων.

Όπως προαναφέραμε, όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη ενέργεια έχει η ακτινοβολία και τόσο πιο επικίνδυνη είναι.

Και πραγματικά η υπέρυθρη ακτινοβολία (IR) με μεγάλο μήκος κύματος είναι απλή θερμότητα δίχως αρνητικές επιπτώσεις στον πλανήτη Γη. Αν καθίσετε το χειμώνα έξω σε μία καρέκλα και υπάρχει Ήλιος θα αισθάνεστε μία ζεστασιά. Ε! αυτό ακριβώς είναι η υπέρυθη ακτινοβολία δηλαδή θερμότητα.

Η ορατή ηλιακή ακτινοβολία (ηλιακό φως) με μέσο μήκος κύματος είναι αυτό το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο με τα μάτια του. Η ορατή ηλιακή ακτινοβολία είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο απολαμβάνουμε τη φύση γύρω μας με τόσο ωραία χρώματα. Σε ένα αργότερο στάδιο του Ήλιου μας, όταν δηλαδή ο ίδιος ο Ήλιος δε θα έχει αρκετή ενέργεια, δε θα μπορούν οι άνθρωποι (αν βέβαια υπάρχουν μέχρι τότε) να βλέπουν τη φύση με αυτά τα ωραία χρώματα που την απολαμβάνουμε σήμερα. Τότε δηλαδή θα επικρατεί μία κατάσταση, όπως μέσα σε ένα χώρο που πριν από χρόνια γίνονταν οι εμφανίσεις φωτογραφιών, δηλαδή όλα θα φαίνονται θαμπά κοκκινωπά. Μην ανησυχείτε όμως, αυτό θα συμβεί μετά από μερικά **δισεκατομμύρια** χρόνια! Ίσως όμως έχει ενδιαφέρον, κάτι άλλο, ότι δηλαδή διάφορα ζώα βλέπουν όχι μόνο όπως οι άνθρωποι το ηλιακό φως αλλά και μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας όπως π.χ. το κουνούπι, ή και μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας όπως π.χ. η μέλισσα.

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) όμως με μικρό μήκος κύματος και επομένως με μεγάλη ενέργεια είναι προβληματική για τον πλανήτη Γη.

Ταξινόμηση της Υπεριώδους Ηλιακής Ακτινοβολίας

Γι' αυτό την υπεριώδη ακτινοβολία (UV) τη χωρίζουμε επί πλέον ανάλογα με το μήκος κύματος, δηλαδή ανάλογα με την ενέργειά της και επομένως ανάλογα με τη βιολογική της επίδραση σε τρία μέρη, δηλαδή με τα 3 πρώτα γράμματα του Αγγλικού αλφαβήτου (βλέπε Πίνακα 8, σελ. 144):

Την υπεριώδη ακτινοβολία UV-A (Γιουου Βη Έι), την υπεριώδη ακτινοβολία UV-B (Γιουου Βη Μπι) και την υπεριώδη ακτινοβολία UV-C (Γιουου Βη Σι). Για τα τρία αυτά μέρη της υπεριώδους ακτινοβολίας βλέπουμε στον Πίνακα 8, σελ. 144 το αντίστοιχο μήκος κύματος σε νανόμετρα, την ισχύ σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο **έξω** από τη γήινη ατμόσφαιρα και **κοντά** στην επιφάνεια της Γης. Η τελευταία στήλη στον Πίνακα 8 δίνει μία πολύ σημαντική πληροφορία. Προκύπτει από τις δύο προηγούμενες στήλες και δηλώνει τον βαθμό απορρόφησης των τριών μερών της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) από τη γήινη ατμόσφαιρα σε ποσοστά. Από τον σημαντικό αυτόν Πίνακα 8 αναγνωρίζουμε, ότι το UV-C μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπει ο Ήλιος (δηλαδή αυτό με τη μεγαλύτερη ενέργεια) απορροφάται κατά 100% από την ατμόσφαιρα και επομένως δε δημιουργεί κανένα πρόβλημα επάνω στη Γη. Το UV-A μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, δηλαδή αυτό με τη μικρότερη ενέργεια, φιλτράρεται από την ατμόσφαιρα μόνο κατά 28%, έτσι ώστε στο έδαφος φτάνει το 72%. Τέλος το UV-B μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας φιλτράρεται από την ατμόσφαιρα κατά 77%, έτσι ώστε στο έδαφος φτάνει μόνο το 23%.

Πάντως, αν το UV-B μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας έφτανε όλο, δηλαδή αφιλτράριστο πάνω στην επιφάνεια της Γης, τότε αυτό θα είχε

καταστροφικές συνέπειες για τη ζωή πάνω στον πλανήτη Γη. Τι είναι όμως αυτό, που φιλτράρει το UV-B μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας πριν φτάσει αυτό στη Γη δημιουργώντας έτσι συνθήκες διατήρησης της ζωής; Μία γρήγορη απάντηση σε αυτό το σημαντικό ερώτημα είναι η εξής: Στην ατμόσφαιρα της Γης υπάρχει ένα αέριο το **όζον**, το οποίο είναι η κύρια αιτία για το φιλτράρισμα του UV-B μέρους της υπεριώδους ακτινοβολίας πριν φτάσει αυτό στη Γη δημιουργώντας έτσι συνθήκες διατήρησης της ζωής.

Έτσι, θα μπορούσα να συνεχίσω, δίχως να ασχοληθώ ιδιαίτερα με το ερώτημα πώς συμβαίνει αυτό; Νομίζω όμως, ότι με τα όσα έχετε μάθει μέχρι τώρα, Είστε εις θέση να αντιληφτείτε και τον μηχανισμό, δηλαδή πώς το όζον απορροφά ένα μεγάλο μέρος του UV-B μέρους της υπεριώδους ακτινοβολίας πριν φτάσει αυτό στη Γη δημιουργώντας έτσι συνθήκες διατήρησης της ζωής Για να γίνει όμως αυτό αντιληπτό, είναι σκόπιμο πρώτα να ασχοληθούμε για λίγο **πάλι** με τη γήινη ατμόσφαιρα.

Όνομασία	Μήκος Κύματος σε νανόμετρα (nm)	Ισχύς έξω από την γήινη Ατμόσφαιρα σε βατ ανά m ²	Ισχύς πάνω στην επιφάνεια της γης σε βατ ανά m ²	Βαθμός απορρόφησης από την ατμόσφαιρα επί τοις 100
Υπεριώδης C (UV-C)	Μικρότερο των 280	8	0	100
Υπεριώδης B (UV-B)	Από 280 έως 320	22	5	77
Υπεριώδης A (UV-A)	Από 320 έως 400	88	63	28

Πίνακας 8: Ταξινόμηση της Υπεριώδους Ακτινοβολίας (UV)

Η Γήινη Ατμόσφαιρα

Ο αέρας, που περιβάλλει τη Γη λέγεται ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα εκτείνεται σε περισσότερες εκατοντάδες χιλιόμετρα επάνω από την επιφάνεια της Γης δίχως όμως να υπάρχει μία αυστηρή άνω οριακή επιφάνεια. Πλην όμως τρία τέταρτα της μάζας την ατμόσφαιρας βρίσκονται στα πρώτα 11 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης. Η μάζα της ατμόσφαιρας είναι περίπου το ένα χιλιοστό της μάζας του νερού των ωκεανών και περίπου το ένα εκατομμυριοστό της μάζας όλης της Γης.

Η ατμόσφαιρα μπορεί να χωριστεί σε περισσότερα στρώματα κατά περισσότερους τρόπους ανάλογα με το ποια ιδιότητα της ατμόσφαιρας μας ενδιαφέρει. Ο πιο συνήθης τρόπος και για τις ανάγκες της «Τρύπας του Όζοντος» πιο κατάλληλος είναι ο χωρισμός της ατμόσφαιρας σε στρώματα ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα με το ύψος. Με αυτόν τον τρόπο η ατμόσφαιρα αποτελείται από τα εξής 5 στρώματα αρχής γενομένης από την επιφάνεια της Γης προς τα επάνω:

- Τροπόσφαιρα,
- Στρατόσφαιρα,
- Μεσόσφαιρα,
- Θερμόσφαιρα και
- Εξώσφαιρα.

Για τους σκοπούς μας, δηλαδή για την «Τρύπα του Όζοντος», σημαντικότερα είναι τα δύο πρώτα στρώματα δηλαδή η Τροπόσφαιρα και η Στρατόσφαιρα, με τα οποία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά.

Η Τροπόσφαιρα

Η Τροπόσφαιρα είναι το κάτω στρώμα της ατμόσφαιρας και αρχίζει από την επιφάνεια της Γης. Το επάνω μέρος της Τροπόσφαιρας, που ονομάζεται **Τροπόπαυση** και εξαρτάται από την εποχή και τις μετεωρολογικές συνθήκες, είναι κυρίως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους. Δηλαδή στον Ισημερινό το πάνω μέρος της Τροπόσφαιρας είναι σε ένα ύψος περίπου 17 χιλιομέτρων και στους Πόλους σε ένα ύψος περίπου 8 χιλιομέτρων.

Όπως περιγράψαμε εκτενώς στην 10^η Ενότητα σελ. 98, η θερμοκρασία στην Τροπόσφαιρα μικραίνει με το ύψος. Η αιτία είναι, ότι η τροπόσφαιρα δεν θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά έμμεσα από το έδαφος, το οποίο θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, όσο πιο κοντά στο έδαφος βρίσκεται ένα πακέτο αέρα, τόσο περισσότερη θερμότητα δέχεται από το έδαφος και έτσι τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του. Αντίθετα, όσο πιο μακριά από το έδαφος, δηλαδή όσο πιο υψηλά στην Τροπόσφαιρα βρίσκεται ένα πακέτο αέρα, τόσο λιγότερη θερμότητα δέχεται από το έδαφος και έτσι τόσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία του. Στη Σελίδα 98 είχαμε αναφέρει για την επιβεβαίωση αυτού το εξής παράδειγμα: «Όλοι έχουμε ακούσει, όταν ταξιδεύουμε με αεροπλάνο, τον πιλότο να ανακοινώνει π.χ. πετάμε σε ένα ύψος 10 χιλιομέτρων και η θερμοκρασία έξω είναι πλην 45 βαθμοί Κελσίου». Ο αέρας όμως όσο πιο ζεστός είναι τόσο ελαφρύτερος είναι, Οπότε στην Τροπόσφαιρα ο ζεστός αέρας που βρίσκεται κάτω είναι ελαφρύτερος από τον κρύο αέρα που βρίσκεται επάνω και επομένως ο ζεστός αέρας που βρίσκεται κάτω και είναι πιο ελαφρύς ανεβαίνει εύκολα προς τα επάνω. Έτσι στην Τροπόσφαιρα υπάρχει μία συνεχής κίνηση του αέρα της Τροπόσφαιρας από κάτω προς τα επάνω

Με αυτόν τον τρόπο ρύποι που καταλήγουν στην Τροπόσφαιρα αραιώνουν εύκολα, αφού εκτός της μεταφοράς τους στη διεύθυνση του ανέμου, μεταφέρονται εύκολα και στην κατακόρυφη διεύθυνση. Σε περίπου τρεις εβδομάδες ρύποι μπορούν να φτάσουν από το έδαφος έως την Τροπόπαυση. Ρύποι, που κατέληξαν στην Τροπόσφαιρα, απομακρύνονται από αυτή με τη βοήθεια του χημικού μετασχηματισμού και της ξηρής ή /και υγρής απόθεσης πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, των φυτών και των επιφανειακών υδάτων (ωκεανοί, θάλασσες, λίμνες, ποτάμια κ.λπ.), βλέπε προς τούτο και 9^η Ενότητα, σελ. 85.

Στην Τροπόσφαιρα βρίσκεται περίπου το 10% του όζοντος, που υπάρχει συνολικά στην ατμόσφαιρα. Ένα μικρό μέρος του όζοντος της Τροπόσφαιρας μεταφέρεται σε αυτήν από την Στρατόσφαιρα (βλέπε επόμενο Κεφάλαιο). Το κύριο μέρος του όζοντος της Τροπόσφαιρας δημιουργείται όμως φωτοχημικά με τους μηχανισμούς του «θερινού smog», δηλαδή από τους ρύπους διοξείδιο του αζώτου και υδρογονάνθρακες υπό την επίδραση ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας (βλέπε 11^η Ενότητα, σελ.112).

Η Στρατόσφαιρα

Η Στρατόσφαιρα είναι το δεύτερο στρώμα της ατμόσφαιρας προς τα επάνω. Δηλαδή αρχίζει από το επάνω μέρος της Τροπόσφαιρας (Τροπόπαυση) και φτάνει μέχρι ένα ύψος περίπου 50 χιλιομέτρων. Αντίστοιχα το πάνω μέρος της Στρατόσφαιρας λέγεται **Στρατόπαυση**.

Η θερμοκρασία στην Στρατόσφαιρα, αντίθετα με την Τροπόσφαιρα, μεγαλώνει με το ύψος. Η αιτία είναι, όπως θα εξηγήσουμε αμέσως, το **όζον** που υπάρχει στην Στρατόσφαιρα. Στην 8^η Ενότητα, σελ.68 αναφερόμενοι στο όζον εξηγήσαμε: Αν ενωθούν 2 άτομα οξυγόνου δημιουργούν ένα μόριο οξυγόνου, ενώ αν ενωθούν 3 άτομα οξυγόνου δημιουργούν ένα μόριο όζοντος. Το όζον δηλαδή είναι μία (όπως λένε οι Χημικοί) αλλότροπος μορφή του οξυγόνου

Το όζον της Στρατόσφαιρας δημιουργείται διαφορετικά απ' ότι το όζον της Τροπόσφαιρας και μάλιστα ως εξής: Καταρχάς αυτό το μέρος της ηλιακής ακτινοβολία με μήκος κύματος από 200 ως 242 νανόμετρα (δηλαδή βάσει του Πίνακα 8, σελ. 144 ένα μέρος της UV-C ακτινοβολίας), διασπά ένα μόριο οξυγόνου της Στρατόσφαιρας (που αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου), στα δύο άτομα αυτά. Στη συνέχεια ένα ελεύθερο άτομο οξυγόνου και ένα μόριο οξυγόνου (που αποτελείται από 2 άτομα οξυγόνου) ενώνονται και δημιουργείται ένα μόριο όζοντος (που αποτελείται από 3 άτομα οξυγόνου). Το όζον αυτό, που δημιουργείται, όπως περιγράψαμε, αποτελεί περίπου το 90% του όζοντος, που υπάρχει σε όλη την ατμόσφαιρα (το υπόλοιπο 10% βρίσκεται, όπως ήδη αναφέραμε στην Τροπόσφαιρα).

Το όζον της Στρατόσφαιρας έχει μέγιστη συγκέντρωση σε ένα ύψος (ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος) από 20 έως 30 χιλιόμετρα. Ο φωτοχημικός σχηματισμός του όζοντος της Στρατόσφαιρας, όπως τον περιγράψαμε, συμβαίνει στη Στρατόσφαιρα, κυρίως επάνω από τον Ισημερινό μέχρι λίγες μοίρες βόρειο και νότιο γεωγραφικό πλάτος. Στην περιοχή αυτή η ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Διαφορετική είναι η κατάσταση στη Στρατόσφαιρα σε μεγαλύτερα βόρεια ή νότια γεωγραφικά πλάτη. Εκεί σχηματίζεται μεν το όζον και φωτοχημικά, όπως περιγράψαμε. Το κύριο μέρος όμως του όζοντος της Στρατόσφαιρας εκεί προέρχεται από το όζον της Στρατόσφαιρας που δημιουργήθηκε φωτοχημικά περί τον Ισημερινό και μεταφέρθηκε εκεί με τη βοήθεια των συστημάτων του ανέμου.

Το όζον λοιπόν της Στρατόσφαιρας, που δημιουργείται όπως προ ολίγου περιγράψαμε, απορροφά με τη σειρά του ηλιακή ακτινοβολία και μάλιστα στο επάνω και μεσαίο μέρος της Στρατόσφαιρας απορροφά υπεριώδη (UV) ακτινοβολία σε όλη δε τη Στρατόσφαιρα ηλιακό φως. Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας όμως σημαίνει δημιουργία θερμότητας. Έτσι το όζον της Στρατόσφαιρας είναι ο κύριος δωρητής θερμότητας σ' αυτή και η αιτία για την αύξηση της θερμοκρασίας στη Στρατόσφαιρα με το ύψος.

Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το όζον της Στρατόσφαιρας είναι όμως κάτι ιδιαίτερα σημαντικό και αυτό για δύο λόγους:

1. Ο σημαντικότερος λόγος είναι το ότι το όζον της Στρατόσφαιρας απορροφά ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (βλέπε Πίνακα 8,σελ. 144) κάνοντας έτσι δυνατή τόσο τη δημιουργία όσο και τη διατήρηση της ζωής επάνω στη Γη μας.
2. Το όζον της Στρατόσφαιρας είναι η κύρια αιτία για το ότι η θερμοκρασία στην Στρατόσφαιρα σε αντίθεση με την Τροπόσφαιρα δεν μικραίνει αλλά μεγαλώνει με το ύψος, όπως αποδείξαμε προηγουμένως.

Στην 10^η Ενότητα, σελ. 99 όμως εξηγήσαμε, ότι αν σε ένα στρώμα αέρα η θερμοκρασία μεγαλώνει με το ύψος (όπως δηλαδή στη Στρατόσφαιρα), τότε το στρώμα αυτό του αέρα (στην προκειμένη περίπτωση η Στρατόσφαιρα) δρα όπως ένα τοίχος μη επιτρέποντας σε ρύπους που είναι κάτω από αυτό το στρώμα να το διαπεράσουν. Αυτό σημαίνει, ότι ρύποι, που καταλήγουν στη Στρατόσφαιρα πολύ δύσκολα μεταφέρονται στην κατακόρυφη διεύθυνση. Από την άλλη πλευρά όμως στη Στρατόσφαιρα επικρατούν άνεμοι, όπως και στην Τροπόσφαιρα. Έτσι, τελικά ρύποι, που καταλήγουν στη Στρατόσφαιρα, μπορούν (αν δεν υφίστανται χημικό μετασχηματισμό), να μεταφερθούν οριζόντια πολύ μακριά από τον τόπο δημιουργίας τους, κατακόρυφα όμως πολύ δύσκολα.

Συγκρίνοντας λοιπόν την εξάπλωση των ρύπων στην Τροπόσφαιρα και στη Στρατόσφαιρα ισχύει: Ενώ, όπως ήδη αναφέραμε, ρύποι στην Τροπόσφαιρα προκειμένου να μεταβούν από το κάτω μέχρι το επάνω μέρος της (έδαφος μέχρι Τροπόπαυση) χρειάζονται περίπου τρεις εβδομάδες, προκειμένου να μεταβούν από το κάτω μέχρι το επάνω μέρος της Στρατόσφαιρας (Τροπόπαυση μέχρι Στρατόπαυση) χρειάζονται χρόνια μέχρι και δεκαετίες!

Με τα όσα περιγράψαμε μέχρι τώρα, θα γίνουν πολύ πιο εύκολα κατανοητά ορισμένα απ' όσα θα εκθέσουμε στη συνέχεια. Η σημαντικότερη όμως διαπίστωση είναι η εξής:

Αν το μέρος αυτό της ηλιακής ακτινοβολίας που ονομάζεται UV-B (υπεριώδης ακτινοβολία B με μήκος κύματος 280 έως 320 νανόμετρα) έφτανε στο έδαφος, όπως φτάνει στο πάνω μέρος της γήινης ατμόσφαιρας, τότε αυτό θα είχε καταστροφικές συνέπειες για τη ζωή πάνω στη γη μας (βλέπε Κεφάλαιο της παρούσης Ενότητας: «Επιπτώσεις στη Γη από την Αύξηση της UV-B Ακτινοβολίας», σελ. 150). Το γεγονός ότι αυτό δεν συμβαίνει αλλά (βλέπε Πίνακα 8, σελ. 138) το UV-B μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει στη γη φιλτραρισμένο κατά περίπου 77% οφείλεται κυρίως στο όζον που υπάρχει στη στρατόσφαιρα. Λέμε κυρίως διότι το όζον δεν είναι ο μοναδικός λόγος του φιλτραρίσματος της UV-B ακτινοβολίας. Άλλοι παράγοντες φιλτραρίσματος είναι το όζον της Τροπόσφαιρας, τα σύννεφα, τα αιωρούμενα σωματίδια και σε περίπτωση που βρισκόμαστε σε περιοχή με μεγάλη ρύπανση της Τροπόσφαιρας, το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του αζώτου. Τέλος, η ανακλαστικότητα ή «αλβέδο» της επιφάνειας της Γης, δηλαδή το πώς η επιφάνεια της Γης απορροφά ή αντανακλά την UV-B ακτινοβολία παίζει έναν όχι αμελητέο ρόλο.

Η προηγούμενη παράγραφος αφορούσε στους τρόπους με τους οποίους φιλτράρεται η ηλιακή UV-B ακτινοβολία πριν φτάσει στο έδαφος πάνω από ένα ορισμένο σημείο της γης. Πόση UV-B ακτινοβολία φτάνει στα διάφορα σημεία της γης, εξαρτάται επιπλέον από το γεωγραφικό πλάτος (δηλαδή τη σχέση του σημείου με τον Ισημερινό και τους Πόλους), από την εποχή και από την ώρα.

Το «Καλό» και το «Κακό» Όζον

Στις προηγούμενες ενότητες αναφερθήκαμε συχνά στο όζον της Τροπόσφαιρας και στο όζον της Στρατόσφαιρας. Παρά τη διαφορετική δημιουργία του όζοντος στην Τροπόσφαιρα και Στρατόσφαιρα το όζον δεν παύει να είναι το ίδιο χημικό στοιχείο και στα δύο αυτά μέρη της ατμόσφαιρας.

Στην 8^η Ενότητα, σελ. 68 αναφερθήκαμε εκτενώς στο όζον της Τροπόσφαιρας και στις πολλές αρνητικές ιδιότητες για τον άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά, τα υλικά κ.λπ. Επίσης αναφέραμε ότι λόγω των πολλών αρνητικών ιδιοτήτων του όζοντος στην Τροπόσφαιρα το όζον αυτό της Τροπόσφαιρας αποκαλείται και «κακό» όζον. Το όζον της Τροπόσφαιρας έχει όμως και δυο θετικές ιδιότητες. Η πρώτη είναι ότι δημιουργεί μία χημική ένωση, τη ρίζα του υδροξυλίου (OH). Το OH ισχύει ως η σπουδαιότερη χημική ένωση που βοηθά στην αποικοδόμηση ενός μεγάλου αριθμού ανθρωπογενών και φυσικών ρύπων, βοηθώντας έτσι τον θετικό χημικό μετασχηματισμό στην Τροπόσφαιρα. Η δεύτερη καλή ιδιότητα του όζοντος της Τροπόσφαιρας είναι ότι η αύξηση του εξουδετερώνει κατά τι τη μείωση του όζοντος της Στρατόσφαιρας (βλέπε επόμενη 16^η Ενότητα). Παρά τις δύο θετικές ιδιότητες του όζοντος της Τροπόσφαιρας είναι τόσο πιο σημαντικές οι αρνητικές ιδιότητες του, ώστε είναι δικαιολογημένη η ονομασία και «κακό» όζον. Κατά συνέπεια πρέπει να αποφεύγεται η αύξηση της συγκέντρωσης του στην Τροπόσφαιρα.

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο «Η Στρατόσφαιρα», σελ. 146 αναφερθήκαμε στην πολύ σημαντική ιδιότητα του όζοντος της Στρατόσφαιρας να απορροφά ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής UV-B ακτινοβολίας, δημιουργώντας έτσι κατάλληλες συνθήκες για τη ζωή πάνω στη γη. Επειδή οι αρνητικές ιδιότητες του όζοντος της Τροπόσφαιρας έχουν σχέση με τον άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά, τα υλικά κ.λπ. και επομένως δεν παίζουν κανένα ρόλο στη Στρατόσφαιρα, δικαιολογημένα το όζον της Στρατόσφαιρας αποκαλείται και «καλό» όζον.

Το πρόβλημα όμως για την ανθρωπότητα είναι ότι το «κακό» όζον της Τροπόσφαιρας συνεχώς αυξάνεται, ενώ το «καλό» όζον της Στρατόσφαιρας συνεχώς μειώνεται, όπως θα εξηγήσουμε στην επόμενη Ενότητα.

Πριν όμως συνεχίσουμε, θα ήταν σκόπιμο να αναλογισθούμε : Επιβιώνουμε πάνω στην επιφάνεια της Γης, επειδή η ατμόσφαιρα είναι τέτοια, ώστε κατά μέσον όρο σε έναν όγκο αέρα, που περιέχει δέκα εκατομμύρια μόρια, αρκεί μόνο τα τρία από αυτά τα μόρια να είναι μόρια όζοντος. Και τούτο, διότι το όζον αυτό φιλτράρει άμεσα κατά ένα μεγάλο μέρος την UV-B ακτινοβολία, που έρχεται από την Ήλιο, πριν φτάσει αυτή στην επιφάνεια της Γης.

Η «Τρύπα του Όζοντος» επάνω από την Ανταρκτική

Στο προηγούμενο Κεφάλαιο αναφέραμε τη μεγάλη σημασία του όζοντος της Στρατόσφαιρας για το φιλτράρισμα της UV-B ακτινοβολίας του Ήλιου.

Υπάρχουν όργανα με τα οποία μπορεί να μετρηθεί τόσο η συγκέντρωση του όζοντος σε ένα οποιοδήποτε ύψος στην ατμόσφαιρα, όσο και το συνολικό όζον, που υπάρχει σε όλη την ατμόσφαιρα πάνω από ένα οποιοδήποτε σημείο της γης. Στη δεύτερη περίπτωση μιλάμε για τη μέτρηση της «**στοιβάδας του όζοντος**».

Στη δεκαετία του 1970 επιστήμονες έκρουσαν τον κώδωνα του κινδύνου, επειδή το όζον της Στρατόσφαιρας κινδυνεύει να λιγοστέψει.

Το 1971 ο Ολλανδο-Σουηδός Χημικός της Ατμόσφαιρας Paul Crutzen, ο οποίος εργάστηκε αρκετά χρόνια σε Μαξ-Πλανκ Ινστιτούτο της Γερμανίας απέδειξε ότι οξείδια του αζώτου είναι σε θέση να καταστρέψουν το όζον της Στρατόσφαιρας. Οξείδια του αζώτου θα μπορούσαν να βρεθούν στην Στρατόσφαιρα εκτός των άλλων από τα καυσαέρια υπερηχητικών αεροπλάνων που πετούσαν στη Στρατόσφαιρα.

Ακόμη μεγαλύτερη σημασία όμως απέκτησε η έρευνα του Μεξικανού M.J. Molina και του Αμερικανού Χημικού F.S.Rowland. Ο πρώτος έκανε τη διδακτορική του διατριβή με καθηγητή το δεύτερο στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο Irvine. Οι δύο αυτοί επιστήμονες το 1974 σήμαναν συναγερμό στην παγκόσμια κοινή γνώμη, αφού με την έρευνα τους προέβλεψαν ότι οι άνθρωποι έχουν εισαγάγει ουσίες στην ατμόσφαιρα, που είναι σε θέση να καταστρέψουν μέρος του όζοντος της

Στρατόσφαιρας. Και κατονόμασαν την αιτία του κακού: το χλώριο που ελευθερώνεται από μία σειρά ουσιών, που ονομάζονται χλωροφθοράνθρακες (στα αγγλικά CFCs και στα γερμανικά FCKW).

Όταν έκανα τις αντίστοιχες διαλέξεις στη Γερμανία συνήθιζα να αναφέρω τα ονόματα των τριών αυτών Επιστημόνων. Μάλιστα ορισμένες φορές είχα διερωτηθεί γιατί το κάνω άραγε αυτό; Ένα βράδυ το 1995 ζώντας στη Γερμανία άκουσα στις βραδινές Ειδήσεις στην Τηλεόραση, ότι για τις μελέτες τους αυτές οι 3 αυτοί Επιστήμονες, δηλαδή οι Crutzen, Molina και Rowland τιμήθηκαν με το βραβείο Νόμπελ της Χημείας. Ένα χαμόγελο ικανοποίησης διαπέρασε το πρόσωπό μου. Ήταν μία από τις πολλές ωραίες στιγμές που είχα στη ζωή μου.

Πράγματι όμως η επιβεβαίωση των όσων προείπαν οι Molina και Rowland δεν άργησε να έρθει. Για πρώτη φορά το Σεπτέμβριο του 1984 ο Ιάπωνας S. Chubachi ανακάλυψε ένα απροσδόκητο φαινόμενο, το οποίο και δημοσίευσε: Η στοιβάδα του όζοντος (βλέπε 2^η παράγραφο του παρόντος Κεφαλαίου) επάνω από την ιαπωνική βάση Syowa στην Ανταρκτική κοντά στο Νότιο Πόλο είχε ασυνήθεις χαμηλές τιμές. Οι τιμές της στοιβάδας του όζοντος ήταν τόσο χαμηλές που στην αρχή δεν έγιναν πιστευτές!

Ένα χρόνο αργότερο το 1985 επιστήμονες της British Antarctic Survey ενημέρωναν την κοινή γνώμη για τη δραστική μείωση της στοιβάδας του όζοντος επάνω από την Ανταρκτική (βάση Halley Bay, νότιο γεωγραφικό πλάτος 76°). Η δραστική αυτή μείωση της στοιβάδας του όζοντος επάνω από την Ανταρκτική αρχίζει με την επάνοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μετά την πολική νύχτα, δηλαδή με τον ερχομό της Άνοιξης. Στην Ανταρκτική, αφού είναι στο νότιο ημισφαίριο, άνοιξη είναι τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο. Η δραστική λοιπόν μείωση της στοιβάδας του όζοντος επάνω από την Ανταρκτική ξεκινάει αρχές Σεπτεμβρίου γίνεται συνεχώς μεγαλύτερη μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου και στη συνέχεια αρχίζει αν υποχωρεί. Στις αρχές Δεκεμβρίου το όζον έχει πάλι τις ίδιες τιμές που είχε πριν αρχίσει η μείωση. Για να γίνει αντιληπτή η μείωση αυτή του όζοντος αναφέρουμε ένα παράδειγμα. Η στοιβάδα του όζοντος επάνω από την αμερικανική βάση Mc Murdo στην Ανταρκτική ήταν στις 16 Οκτωβρίου του 1986 μόνο το 58% της στοιβάδας του όζοντος, που υπήρχε στο ίδιο μέρος στις 28 Αυγούστου του 1986, δηλαδή πριν περίπου 1,5 μήνες. Η δραστική αυτή μείωση της στοιβάδας του όζοντος επάνω από την Ανταρκτική, η οποία, όταν ανακαλύφθηκε το 1985, αφορούσε σε μία επιφάνεια όσο περίπου οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής οδήγησε στον όρο «Τρύπα του Όζοντος», παρότι βέβαια «Αραίωση του Όζοντος» θα ήταν πιο σωστός.

Και ίσως διερωτηθεί κανείς, αφού το Δεκέμβριο «κλείνει» η «Τρύπα του Όζοντος» πάνω από την Ανταρκτική που έτσι και αλλιώς επικρατούν ειδικές μετεωρολογικές συνθήκες, όπως π.χ. ο «πολικός στρόβιλος» γιατί τόσοσ θόρυβος με την «Τρύπα του Όζοντος»; Υπάρχουν δύο σημαντικοί λόγοι που εξηγούν γιατί έγινε τόσοσ θόρυβος με την «Τρύπα του Όζοντος»:

1. Αν μετρήσουμε την ποσότητα του όζοντος που υπάρχει σε όλο το ύψος της ατμόσφαιρας κατακόρυφα πάνω από ένα σημείο της Ανταρκτικής, όταν υπάρχει η «Τρύπα του Όζοντος», και σχηματίσουμε το μέσο όρο για ένα μήνα (για να αποφύγουμε τη σύγκριση τυχαίων τιμών), τότε η τιμή αυτή γίνεται από χρόνο σε χρόνο συνεχώς μικρότερη (αν εξαιρέσουμε μερικά σκαμπανεβάσματα) Π.χ. η τιμή αυτή του όζοντος για το μήνα Οκτώβριο ήταν πάνω από τη βάση Halley Bay, (που προαναφέραμε) το 1985 (που δημοσιεύθηκε η ανακάλυψη της «Τρύπας του Όζοντος») μόνο περίπου το 60% της αντίστοιχης τιμής του έτους 1960. Αυτό βέβαια σήμανε συναγερμό στην επιστημονική κοινότητα και σχεδόν υστερία στην κοινή γνώμη.

2. Ανεξάρτητα με το τι συνέβαινε στην - για μερικούς ίσως μακρινή - Ανταρκτική, όταν ανακαλύφθηκε η «Τρύπα του Όζοντος», στο βόρειο ημισφαίριο μεταξύ ενός γεωγραφικού πλάτους 30° και 64° το όζον είχε το 1986 σε σχέση με το 1969 μία τιμή κατά 1,7 έως 3% λιγότερο. Νεώτερες μετρήσεις έδειξαν ότι το όζον της Στρατόσφαιρας πάνω από τις κατοικημένες περιοχές στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη το 1998 ήταν κατά περίπου 3 μέχρι 6% λιγότερο απ' ό,τι το 1979. Παρότι η πραγματικότητα είναι πολύ πιο πολύπλοκη για το σκοπό μας ισχύει απλοποιημένα: 1% λιγότερο Όζον στην Στρατόσφαιρα συνεπάγεται 2% περισσότερη UV-B ακτινοβολία επάνω στη Γη. Το τι επιπτώσεις έχει όμως μία αύξηση της UV-B ακτινοβολίας επάνω στη Γη μας θα το περιγράψουμε στη συνέχεια

Επιπτώσεις στη Γη από την Αύξηση της UV-B Ακτινοβολίας

Αύξηση της υπερϊώδους ακτινοβολίας, και ειδικά του UV-B μέρους της, επιδρά αρνητικά στον άνθρωπο, στα φυτά και στους θαλάσσιους μικροοργανισμούς.

Επιπτώσεις στον Ανθρώπινο Οργανισμό

Η UV-B ακτινοβολία σε μικρές δόσεις έχει θετικές συνέπειες στον ανθρώπινο οργανισμό. Π.χ. η βιταμίνη D, που είναι απαραίτητη για τη ζωή μας, δεν υπάρχει αυτούσια στην τροφή μας. Στην τροφή μας υπάρχουν μόνο πρόδρομες ουσίες, που μεταβάλλονται σε βιταμίνη D, μόνο υπό την επίδραση μίας μικρής δόσης UV-B ακτινοβολίας.

Η αύξηση όμως της UV-B ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης επιδρά αρνητικά στο δέρμα, στα μάτια και στο ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου.

Δέρμα

Αυξημένη UV-B ακτινοβολία για μεγάλο διάστημα μπορεί να οδηγήσει σε **φωτογήρανση (photoaging)**, δηλαδή σε ρυτίδωμα και πρόωρη γήρανση του δέρματος.

Εκτός τούτου αυξημένη UV-B ακτινοβολία στο δέρμα του ανθρώπου μπορεί να έχει επιπτώσεις, που ξεκινούν από το γνωστό έγκαυμα και φτάνουν μέχρι βαριές μορφές καρκίνου του δέρματος.

Ο κίνδυνος δημιουργίας ενός καρκινώματος του δέρματος εξαρτάται από το χρώμα του δέρματος, τη συνολική δόση της UV-B ακτινοβολίας που δέχτηκε ο άνθρωπος καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του και τον αριθμό των εγκαυμάτων που υπέστη στην παιδική ηλικία μέχρι 15 ετών σε συνέπεια ισχυρής UV-B ακτινοβολίας.

Υπάρχουν περισσότερα είδη καρκίνου του δέρματος εκ των οποίων άλλοι είναι πιο συχνοί, αλλά λιγότερο επικίνδυνοι, όπως π.χ. το **βασικοκυτταρικό καρκίνωμα** και το **ακανθοκυτταρικό καρκίνωμα** και άλλοι σπανιότεροι, αλλά πιο επικίνδυνοι, όπως π.χ. το «**κακόηθες μελάνωμα**», οι οποίοι οδηγούν συχνά στο θάνατο.

Αυξημένη UV-B ακτινοβολία δεν έχει τις ίδιες επιπτώσεις στις διάφορες μορφές καρκίνου του δέρματος. Παρόλα αυτά ισχύει απλοποιημένα: 1% λιγότερο όζον στη Στρατόσφαιρα έχει ως συνέπεια 2% αύξηση της UV-B ακτινοβολίας στο έδαφος και αυτή 4% αύξηση των καρκίνων του δέρματος.

Μάτια

Ένα μακροπρόθεσμο πρόβλημα, που μπορεί να προέλθει από την επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στον άνθρωπο, είναι οι διάφορες μορφές του καταρράκτη. Είναι μία ασθένεια, που παρουσιάζεται συνήθως σε μεγάλες ηλικίες και είναι μία μόνιμη θόλωση του κρυσταλλοειδούς φακού. Το αποτέλεσμα είναι η πολύ σημαντική απώλεια της όρασης. Η Υπηρεσία για την προστασία του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (US-EPA) υπολογίζει, ότι μία μείωση του όζοντος της Στρατόσφαιρας κατά 1% θα οδηγήσει, όπως ήδη αναφέραμε, σε μείωση

της UV-B ακτινοβολίας κατά 2% και αυτή σε αύξηση της ασθένειας των ματιών καταρράκτη κατά 0,3 έως 0,6%.

Ανοσοποιητικό Σύστημα

Ισχυρή UV-B ακτινοβολία έχει επιπτώσεις στο ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου και κυρίως αυτό του δέρματος. Σε πειράματα, που έγιναν σε ζώα, αποδείχτηκε ότι ο σχηματισμός αυτών των κυττάρων, που είναι υπεύθυνα για την ανοσοποιητική δράση, εμποδίζεται σε αυξημένη UV-B ακτινοβολία.

Επιπτώσεις στα Φυτά

Αυξημένη UV-B ακτινοβολία έχει αρνητικές επιπτώσεις σε πολλά είδη φυτών. Σε μία έρευνα, που εξετάστηκαν 200 φυτά, περισσότερα από 100 έδειξαν ευαισθησία. Μερικά παραδείγματα φυτών, που έδειξαν ευαισθησία στην UV-B ακτινοβολία είναι η σόγια, τα αγγούρια, τα μπιζέλια, τα φασόλια, τα ηλιοτρόπια και διάφορα είδη δημητριακών. Τα εμφανή συμπτώματα των φυτών, που έδειξαν ευαισθησία, συνίστανται σε μείωση της επιφάνειας των φύλλων, σε μείωση του μήκους των βλαστών και σε μείωση της συγκομιδής. Η εξωτερική αυτή εικόνα είναι συνέπεια της αλλαγής της φυσιολογίας των φυτών (π.χ. της φωτοσύνθεσης, της απενεργοποίησης διαφόρων ενζύμων κ.λπ.) αλλά και της βλάβης που υφίστανται από την UV-B ακτινοβολία τα κυανοφύκη, που παίζουν σημαντικό ρόλο στην τροφοδότηση των φυτών με άζωτο.

Μία μείωση της συγκομιδής λόγω αυξημένης UV-B ακτινοβολίας θα μπορούσε να έχει σοβαρές συνέπειες στην πρόβλημα της παγκόσμιας σίτισης.

Επιπτώσεις στα Θαλάσσια Οικοσυστήματα

Αυξημένη UV-B ακτινοβολία μειώνει την παραγωγή του φυτοπλαγκτόν, αφού του μειώνει:

- την ισχύ της φωτοσύνθεσης,
- το μεταβολισμό του αζώτου και
- τον φωτοτροπισμό, δηλαδή τη δυνατότητα να στρέφεται προς τον Ήλιο.

Μειωμένη παραγωγή όμως του φυτοπλαγκτόν, που βρίσκεται στη βάση της τροφικής αλυσίδας, θα μπορούσε να έχει, ανάλογα με την αύξηση της UV-B ακτινοβολίας, καταστροφικές συνέπειες για τα επόμενα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας. Έτσι, αύξηση της UV-B ακτινοβολίας σημαίνει μείωση του φυτοπλαγκτόν (βασικός παραγωγός), το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ζωοπλαγκτόν (καταναλωτής πρώτης τάξης) και αυτό μείωση των ψαριών και οστρακοειδών (καταναλωτές δεύτερης τάξης), που δημιουργεί πρόβλημα και στον άνθρωπο στο τέλος της τροφικής αλυσίδας.

Επιπλέον το θαλάσσιο φυτοπλαγκτόν δεσμεύει περίπου το 65% του διοξειδίου του άνθρακα που δεσμεύεται παγκοσμίως από φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Αύξηση λοιπόν της UV-B ακτινοβολίας σημαίνει μείωση της παραγωγής του θαλασσίου φυτοπλαγκτόν και έτσι μείωση του διοξειδίου του άνθρακα που δεσμεύεται από αυτό, δηλαδή αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας με αρνητικές επιπτώσεις στο «Ανθρωπογενές Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» (βλέπε 6^η Ενότητα, σελ. 51).

Όλα όσα αναφέραμε στην παρούσα 15^η Ενότητα ήταν κατά κάποιο τρόπο η «Εισαγωγή» για να γίνουν αντιληπτά τα όσα θα ακολουθήσουν στην επόμενη 16^η Ενότητα.

Η 16^η Ενότητα είναι ήδη έτοιμη (αυτός είναι και ο κύριος λόγος της καθυστέρησης της 15^{ης} Ενότητας). Δεν την δημοσίευσα όμως σκόπιμα, διότι δεν ήθελα να Σας επιβαρύνω συγχρόνως με πολλές νέες ιδέες. Θα ακολουθήσει στις αμέσως επόμενες ημέρες!