

Οι τρύπες του όζοντος

Μονάδες Dobson (DU) για το Όζον

Μια μονάδα Dobson (DU) ισοδυναμεί με στρώμα καθαρού όζοντος πάχους 0,01 mm με την πυκνότητα που θα είχε αν βρισκόταν στην επιφάνεια της Γης σε πίεση 1 atm και σε θερμοκρασία 0oC.

Κατά μέσο όρο, η συνολική ποσότητα του όζοντος πάνω από την εύκρατη ζώνη υπολογίζεται στα 350 DU (= στρώμα καθαρού όζοντος πάχους 3,5 mm αν όλο το όζον μεταφερόταν στην επιφάνεια της Γης και υπό κανονικές συνθήκες).

Οι στρατοσφαιρικοί άνεμοι μεταφέρουν το όζον από τις τροπικές περιοχές, όπου παράγεται η μεγαλύτερη ποσότητα, προς τις περιοχές των πόλων.

Τροπικές περιοχές: 250 DU – Περιοχές των πόλων: 450 DU

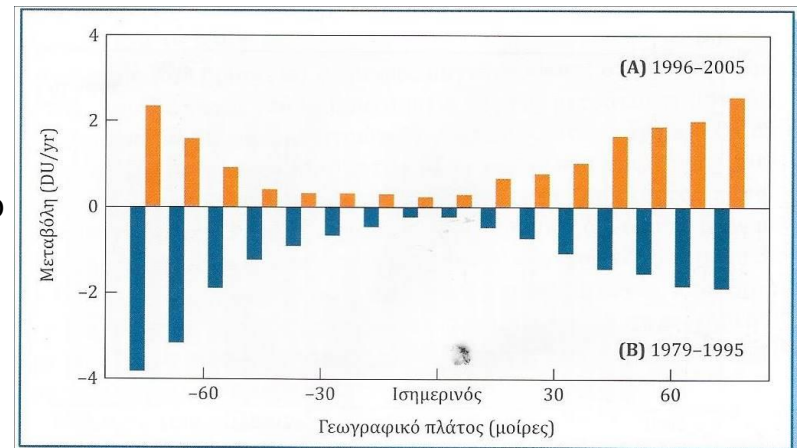
Ιστορικό ετήσιας τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική

Μετρήσεις επιπέδων όζοντος στην Ανταρκτική από το 1957 (Βρετανική Υπηρεσία Ανταρκτικής, Dr. Joe C. Farman) έδειξαν σταδιακή μείωση κάθε Οκτώβριο (Ανταρκτική άνοιξη) με απότομες μειώσεις κάθε χρόνο από το 1979 και μετά.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, η απώλεια όζοντος την περίοδο της άνοιξης σε ορισμένα ύψη στην περιοχή της Ανταρκτικής ήταν ολοκληρωτική και οδήγησε σε πάνω από 50% απώλεια της συνολικής ποσότητας του όζοντος. (1979: 225 DU, 1994: 92 DU, 2010: 127 DU)

Το εμβαδόν της περιοχής με τη μειωμένη συγκέντρωση όζοντος («τρύπα στο στρώμα του όζοντος») έφτασε να είναι τόσο μεγάλο όσο περίπου το μέγεθος της Νότιας Αμερικής.

Οι επιστήμονες είχαν προβλέψει την πιθανότητα το χλώριο που προερχόταν από αέρια που ελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα σε μεγάλες ποσότητες σε διάφορες χρήσεις (πχ κλιματιστικά) θα μπορούσε να καταστρέψει το όζον, αλλά σε μικρή έκταση και ύστερα από πολλές δεκαετίες.



Οι τρύπες του όζοντος

Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η ενεργοποίηση του αδρανούς χλωρίου

Στη στρατόσφαιρα το χλώριο μπορεί να υπάρχει είτε σε μορφές οι οποίες είναι καταλυτικά μη δραστικές ή σε μορφές οι οποίες είναι δραστικές για την καταστροφή του όζοντος.

Μη δραστικές μορφές (απενεργοποιημένο χλώριο): HCl – υδροχλώριο, ClONO_2 – νιτρικό χλώριο

Δραστικές μορφές χλωρίου (ενεργοποιημένο χλώριο): Cl – ατομικό χλώριο, ClO – μονοξείδιο του χλωρίου, Cl_2 – μοριακό χλώριο, HClO (υποχλωριώδες οξύ)

Η τρύπα του όζοντος είναι το αποτέλεσμα **ειδικών μετεωρολογικών συνθηκών** που επικρατούν στην κατώτερη στρατόσφαιρα (ιδιαίτερα από το Νότιο Πόλο) τον πολικό χειμώνα, οι οποίες επιτρέπουν την **μετατροπή των μη δραστικών μορφών χλωρίου σε δραστικές**.

Κατά τη διάρκεια του σκοτεινού Ανταρκτικού χειμώνα (Ιούνιος – Αύγουστος) η **θερμοκρασία στην κατώτερη στρατόσφαιρα στο Νότιο Πόλο είναι πολύ χαμηλή (-80°C)** πράγμα που οδηγεί σε **συμπύκνωση** και σχηματισμό **σωματιδίων** τα οποία περιέχουν **νερό, θειικό οξύ (H_2SO_4) και νιτρικό οξύ (HNO_3)**.

Η χαμηλή θερμοκρασία οδηγεί σε μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης ($PV = nRT$), γεγονός που σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης, προκαλεί **δίνη** δηλ. στροβιλισμό των αερίων μαζών με ταχύτητες άνω των 300Km/h . **Ο αέρας εντός της δίνης λειτουργεί ως μονωμένο σύστημα** και παραμένει πολύ ψυχρός για πολύ καιρό (αρκετούς μήνες).

Τα σωματίδια που παράγονται από τη συμπύκνωση των αερίων (H_2O , H_2SO_4 , HNO_3) μέσα στη δίνη, σχηματίζουν **πολικά στρατοσφαιρικά νέφη (Polar Stratospheric Clouds, PSC)** τα οποία βασικά αποτελούνται από κρυσταλλικά παγωμένα σωματίδια.

Το λεπτό στρώμα νερού που βρίσκεται στην επιφάνεια των κρυστάλλων PSC αποτελεί **το κατάλληλο υπόστρωμα** για την πραγματοποίηση των παρακάτω χημικών αντιδράσεων που οδηγούν στην ενεργοποίηση του χλωρίου σε μορφές που είναι ικανές να οδηγήσουν σε καταστροφή του όζοντος. Οι αντιδράσεις αυτές μπορούν να συμβούν και στην αέρια φάση, αλλά σε αυτή την περίπτωση είναι υπερβολικά αργές και δεν έχουν καμμία πρακτική συνεισφορά. **Τα ψυχρά σωματίδια των PSC λειτουργούν ως καταλύτης για την επίσπευσή τους.**

Οι τρύπες του όζοντος

Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η ενεργοποίηση του αδρανούς χλωρίου

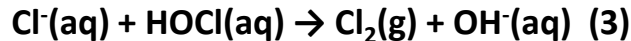
Αντίδραση νιτρικού χλωρίου με τα μόρια νερού του υδατικού στρώματος προς παραγωγή HOCl



Διαλυτοποίηση αερίου υδροχλωρίου επάνω στο υδατικό στρώμα προς σχηματισμό ιόντων



Αντίδραση οξειδοαναγωγής μεταξύ των δύο νέων μορφών διαλυτού χλωρίου προς σχηματισμό μοριακού χλωρίου το οποίο διαφεύγει στον αέρα



Κατά τη διάρκεια των σκοτεινών χειμερινών μηνών, το **μοριακό χλώριο** συσσωρεύεται μέσα στη δίνη στην κατώτερη στρατόσφαιρα και **γίνεται το κυρίαρχο αέριο**.

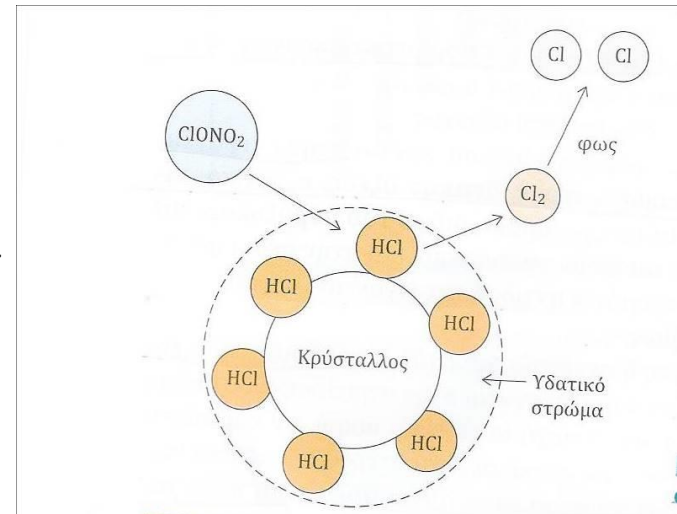
Η εμφάνιση της ηλιακής ακτινοβολίας την άνοιξη (Σεπτέμβριος στην Ανταρκτική), οδηγεί στη διάσπαση του μοριακού χλωρίου σε δύο άτομα χλωρίου, Cl.



Επίσης, μόρια αερίου HOCl απελευθερώνονται από την επιφάνεια των κρυστάλλων και υπόκεινται σε φωτόλυση



Στη συνέχεια, ξεκινά η καταλυτική εκτεταμένη καταστροφή του όζοντος από τα άτομα Cl που προκύπτουν από τις παραπάνω δύο αντιδράσεις ((4), (5)).



Το χλώριο επιστρέφει σε μη δραστικές μορφές όταν τα PSCs και η δίνη εξαφανιστούν καθώς προχωράει η Ανταρκτική άνοιξη και μέχρι τον πρώτο μήνα του καλοκαιριού (από μέσα Οκτωβρίου έως και τον Δεκέμβριο). Τότε η καταλυτική καταστροφή του όζοντος σταματά και η συγκέντρωση του όζοντος ανεβαίνει και πάλι.

Οι τρύπες του όζοντος

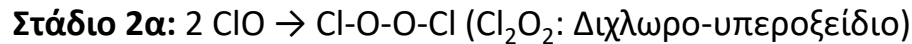
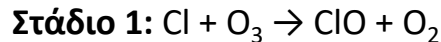
Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Αντιδράσεις που δημιουργούν την τρύπα του όζοντος

Στην κατώτερη στρατόσφαιρα (περιοχή όπου σχηματίζονται τα PSCs και ενεργοποιείται το χλώριο) η συγκέντρωση των ελεύθερων ατόμων O είναι μικρή (η ακτινοβολία UV-C που είναι απαραίτητη για τη διάσπαση του O₂ είναι σε έλλειψη και τα λίγα διαθέσιμα άτομα O, αμέσως συγκρούονται με τα μόρια O₂ που είναι σε αφθονία προς σχηματισμό O₃).

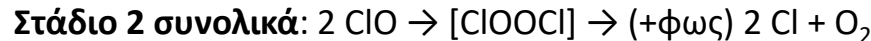
Κατά συνέπεια, ο **Μηχανισμός I** (Συνολική αντίδραση: O₃ + O → 2 O₂) καταστροφής του όζοντος **δεν είναι σημαντικός**.

Η μεγαλύτερη καταστροφή του όζοντος στη τρύπα του όζοντος, προκαλείται μέσω του Μηχανισμού II (Συνολική αντίδραση: 2 O₃ → 3 O₂).



Η ταχύτητα της παραπάνω αντίδρασης μεγαλώνει γιατί η συγκέντρωση του ClO αυξάνεται απότομα λόγω της ενεργοποίησης του χλωρίου.

Η σημαντική αύξηση της έντασης του ηλιακού φωτός κατά την Ανταρκτική άνοιξη, οδηγεί σε απορρόφηση UV ακτινοβολίας από το ClOOCi και διάσπασή του στην ελεύθερη ρίζα ClOO και ένα άτομο Cl. Η ρίζα ClOO είναι ασταθής και σε λίγο χρόνο (μία μέρα περίπου) διασπάται απελευθερώνοντας και το άλλο άτομο Cl.



Το ClO επιστρέφει στη μορφή Cl που προκαλεί την καταστροφή του όζοντος (το Στάδιο 1 ξαναξεκινά).

Ο παραπάνω κύκλος συντηρείται όσο οι θερμοκρασίες παραμένουν χαμηλές (- 80oC) και **όσο ο αέρας είναι εγκλωβισμένος μέσα στη δίνη παραμένοντας έτσι ψυχρός**. Υπό θερμότερες συνθήκες, το ClOOCi είναι ασταθές μόριο και με το που δημιουργείται επαναδιασπάται σε δύο μόρια ClO πριν υποστεί φωτόλυση (Στάδιο 2β).

Περίπου ¾ της καταστροφής του όζοντος στην Ανταρκτική οφείλονται στον παραπάνω μηχανισμό.

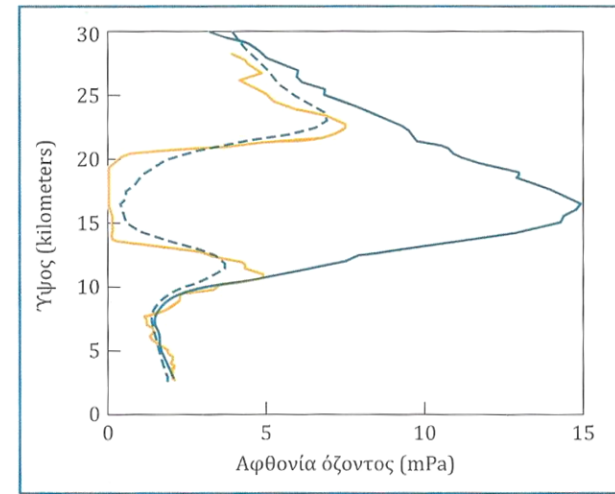
Κάθε άτομο Cl καταστρέφει περίπου 50 μόρια όζοντος την ημέρα κατά τη διάρκεια της άνοιξης.

Οι τρύπες του όζοντος

Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Αντιδράσεις που δημιουργούν την τρύπα του όζοντος

Τυπική κάθετη κατανομή του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική στα μέσα της άνοιξης (Οκτώβριος) την περίοδο 1962-1971 (μπλε γραμμή), την περίοδο 1991-2001 (διακεκομμένη γραμμή) και το 2001 (πορτοκαλί γραμμή) οπότε και παρατηρήθηκε σχεδόν καθολική εξαφάνιση του όζοντος μεταξύ περίπου 15-20 Km.



Καταστροφική στρατοσφαιρική όζοντος στην Αρκτική

Επεισόδια με μερική μείωση του όζοντος την περίοδο της άνοιξης στην Αρκτική εμφανίστηκαν πολλές φορές από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Το φαινόμενο ήταν λιγότερο σοβαρό σε σχέση με την Ανταρκτική.

Γιατί;

Η στρατοσφαιρική θερμοκρασία πάνω από την Αρκτική δεν μειώνεται τόσο πολύ ούτε για μεγάλη χρονική περίοδο και επιπλέον η κυκλοφορία του αέρα στις γύρω περιοχές δεν είναι περιορισμένη.

Σε μεσαία γεωγραφικά πλάτη στο βόρειο ημισφαίριο υπάρχουν ψηλές οροσειρές (Ιμαλία, Βραχώδη όρη, Άλπεις) τα οποία επηρεάζουν τη ροή του τροποσφαιρικού αέρα δημιουργώντας κύματα αέρα τα οποία μπορούν να αναμιχθούν με τον πολικό αέρα της Αρκτικής θερμαίνοντας την ατμόσφαιρά της. Κατά συνέπεια επειδή ο αέρας στην Αρκτική δεν είναι τόσο κρύος, τα πολικά στρατοσφαιρικά νέφη σχηματίζονται λιγότερο συχνά και για μικρότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με την Ανταρκτική.

Η άνοδος της θερμοκρασίας του στρατοσφαιρικού Αρκτικού αέρα πάνω από -80°C στην αρχή της άνοιξης (Μάρτιος) βοηθάει στην πραγματοποίηση των χημικών αντιδράσεων που οδηγούν στην απενεργοποίηση του χλωρίου (δημιουργία ClONO_2), οπότε δεν υπάρχει τόσο πολύ δραστικό χλώριο διαθέσιμο για να καταστρέψει το όζον όταν η ηλιακή ακτινοβολία γίνει πολύ έντονη.

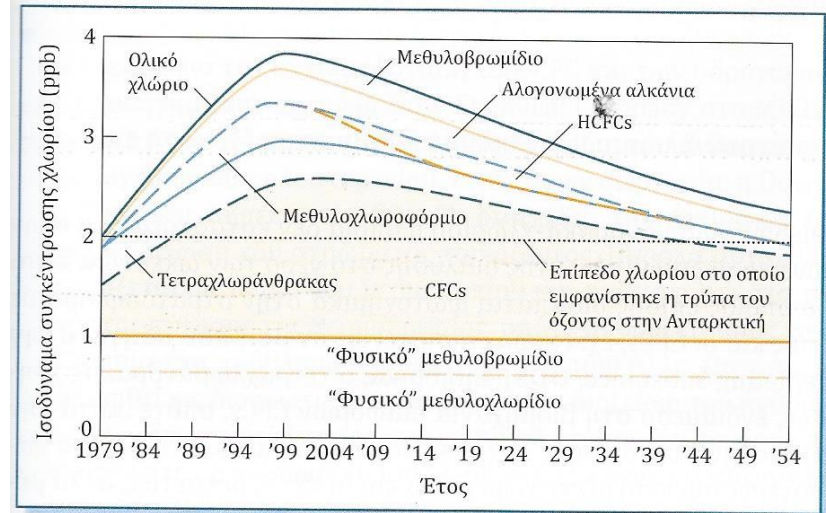
Οι τρύπες του όζοντος

ΟΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η αύξηση των επιπέδων του χλωρίου και του βρωμίου στη στρατόσφαιρα στο β' μισό του 20^{ου} αι. οφείλεται κυρίως στην απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα **ανθρωπογενούς** προέλευσης οργανικών ενώσεων που περιέχουν χλώριο και βρώμιο και για τις οποίες **δεν υπάρχει στην τροπόσφαιρα κάποια φυσική διεργασία απομάκρυνσης** (sink) όπως π.χ. διάλυση στη βροχή ή οξείδωση.

Η διακύμανση της συνολικής συγκέντρωσης των ατόμων Cl και Br στη στρατόσφαιρα, σε ότι αφορά τη δυναμικότητα καταστροφής του όζοντος, και η προβολή μέχρι το 2050 δείχνεται στο διπλανό σχήμα.

Μέγιστη ισοδύναμη συγκέντρωση χλωρίου περ. 3,8 ppb δηλ. περ. 4 φορές πάνω από τα «φυσικά» επίπεδα που οφείλονται στις εκπομπές CH_3Cl και CH_3Br από τη θάλασσα.



Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

Οργανικές ενώσεις που περιέχουν **μόνο χλώριο, φθόριο και άνθρακα**. Ενώσεις **πολύ σταθερές χημικά, όχι τοξικές, όχι εύφλεκτες, με χρήσιμες ιδιότητες συμπίκνωσης που βρήκαν πάρα πολλές εφαρμογές** (ως ψυκτικά υγρά και προωθητικά αέρια κυρίως). Τεράστιες ποσότητες διαφόρων CFCs παράχθηκαν παγκοσμίως από τα μέσα έως το τέλος του εικοστού αιώνα. Οι περισσότερες ενώσεις ελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα κατά την απόρριψη ή χρήση των συσκευών που τις περιείχαν.

Οι CFCs δεν έχουν τροποσφαιρική διεργασία καταστροφής οπότε όλα τα μόρια ανεβαίνουν προς τα πάνω και **φτάνουν κάποια στιγμή (χρόνια μετά την απελευθέρωσή τους) στη στρατόσφαιρα**.

Όταν φθάσουν στο μεσαίο και ανώτερο τμήμα της στρατόσφαιρας όπου υπάρχει σημαντική UV-C ακτινοβολία από το ηλιακό φως, **αποικοδομούνται φωτοχημικά (διάσπαση δεσμού C-Cl) απελευθερώνοντας άτομα Cl**.

Ο δεσμός C-Cl απαιτεί φωτόνιο μήκους κύματος $\lambda < 220 \text{ nm}$ για να διασπαστεί (Μέση στρατόσφαιρα και πάνω)

Οι τρύπες του όζοντος

ΟΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

Η κάθετη μετακίνηση των CFCs μέσα στην ατμόσφαιρα είναι αργή και για αυτό οι ατμοσφαιρικοί χρόνοι ημιζωής τους είναι μεγάλοι (πχ. CFCl_3 : ~50 έτη, CF_2Cl_2 : > 100 έτη)

Λόγω αυτών των μεγάλων χρόνων ημιζωής, η συγκέντρωση του χλωρίου μειώνεται πολύ αργά με το χρόνο.

Οι επιπτώσεις του χλωρίου στο στρώμα του όζοντος και ο ρόλος των CFCs προβλέφθηκαν από τους ερευνητές Rowland και Molina (ΗΠΑ) και στηρίχθηκαν στην αρχική δουλειά του Paul Crutzen (Γερμανία). Οι Rowland, Molina και Crutzen τιμήθηκαν με το βραβείο Nobel Χημείας το 1995.

Η χρήση των CFCs στα περισσότερα προϊόντα απαγορεύθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 στη Βόρεια Αμερική και σε κάποιες Σκανδιναβικές χώρες.

Διεθνής συμφωνία για το κατάργηση παραγωγής των CFCs: Πρωτόκολλο **Montreal (1987)**. Η νόμιμη παραγωγή των CFC στις ανεπτυγμένες χώρες ολοκληρώθηκε το 1995. Στις αναπτυσσόμενες χώρες δόθηκε περιθώριο έως το 2010. Έχει παρατηρηθεί ανάσχεση της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική. Δεν προβλέπεται να αποκατασταθεί πλήρως μέχρι ~2070.

Χωρίς τη συμφωνία του Montreal, η χρήση των CFC θα είχε αυξηθεί πολύ στις αναπτυσσόμενες χώρες και μέχρι το 2030 τα επίπεδα χλωρίου στη στρατόσφαιρα θα έφταναν τα 9 ppb. Οι απώλειες του όζοντος θα γίνονταν πολύ εμφανείς και στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη και θα οδηγούσαν σε δραματική αύξηση περιστατικών καρκίνων του δέρματος.

Άλλες ενώσεις που περιέχουν χλώριο και συνεισφέρουν στη μείωση του όζοντος

Τετραχλωράνθρακας (CCl_4)

Δεν καταστρέφεται στην τροπόσφαιρα. Απομακρύνεται μερικώς μέσω διάλυσης στο νερό των ωκεανών. Διασπάται φωτοχημικά στη στρατόσφαιρα. Χρησιμοποιήθηκε εκτενώς ως **διαλύτης** στο στεγνό καθάρισμα. Εξαιτίας του μεγάλου χρόνου ημιζωής του (26 έτη) αναμένεται να έχει σημαντική συνεισφορά στο στρατοσφαιρικό χλώριο για πολλά έτη.

Μεθυλοχλωροφόρμιο (1,1,1-τριχλωροαιθάνιο), CH_3CCl_3

Μεγάλες ποσότητες παράχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για τον καθαρισμό των μετάλλων. Το μισό περίπου απομακρύνθηκε με διάφορες αντιδράσεις στην τροπόσφαιρα αλλά το άλλο μισό περίπου έφτασε στη στρατόσφαιρα. Εξαιτίας του πιο μικρού χρόνου ημιζωής του (5 έτη) και λόγω της κατάργησης της παραγωγής του, η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα μειώθηκε γρήγορα από τη δεκαετία του 1990. Από το 2010 η συνεισφορά του στο στρατοσφαιρικό χλώριο θεωρείται αμελητέα.

Οι τρύπες του όζοντος

ΟΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Υποκαταστάτες των CFC

Χρήση ενώσεων που περιέχουν **άτομο (ή άτομα) υδρογόνου σε δεσμό με τον άνθρακα**.

Ο δεσμός C-H μπορεί να διασπαστεί στην τροπόσφαιρα μέσω αντίδρασης με ρίζες υδροξυλίου (OH) και να αρχίσει μια σειρά αντιδράσεων που θα οδηγήσει στην αποικοδόμηση αυτών των ενώσεων εντός της τροπόσφαιρας (δηλ. προτού φθάσουν στη στρατόσφαιρα).

Υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs)

Περιέχουν χλώριο, φθόριο, άνθρακα και υδρογόνο (σε δεσμό με τον άνθρακα). Το πιο γνωστό αέριο που χρησιμοποιήθηκε ως ψυκτικό είναι το CHF_2Cl .

Το μακροπρόθεσμο δυναμικό μείωσης του όζοντος (Ozone Depletion Potential – ODP) είναι χαμηλό, μόνο 5% σε σύγκριση με τους CFC (κατά μέσο όρο).

Βραχυπρόθεσμο το ODP του CHF_2Cl είναι μεγαλύτερο επειδή όσο φτάνει στη στρατόσφαιρα, φωτοδιασπάται και απελευθερώνει Cl ταχύτερα σε σχέση με έναν CFC.

Η εξάρτηση αποκλειστικά από τους HCFCs ως υποκατάστατα των CFCs θα οδηγούσε σε μια νέα συσσώρευση του στρατοσφαιρικού χλωρίου αφού ο όγκος κατανάλωσής τους θα αυξανόταν πολύ γρήγορα λόγω της μεγάλης αύξησης του πληθυσμού και της ευημερίας του.

Υδροφθοράνθρακες (HFCs)

Περιέχουν υδρογόνο, φθόριο και άνθρακα (καθόλου χλώριο). Είναι πολύ σταθερές ενώσεις από χημικής άποψης και όταν φτάνουν στη στρατόσφαιρα δεν καταστρέφουν το όζον αφού δεν απελευθερώνουν Cl.

Το προϊόν R-410A (μείγμα 50-50 των CHF_2 , CHF_2CF_3) χρησιμοποιείται στις νέες κλιματιστικές μονάδες.

Προβλήματα των HFCs: α) Συνεισφορά στο **φαινόμενο του θερμοκηπίου** που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας της Γης και β) Σχηματισμός **τριφλουοροξικού οξέος (TFA – CF_3COOH)** κατά την αποικοδόμησή τους (και για τους HCFCs). Το TFA απομακρύνεται από τον αέρα με τη βροχή και αποτελεί περιβαλλοντικό κίνδυνο για τους υγροτόπους επειδή συσσωρεύεται στα υδροχαρή φυτά αναστέλλοντας την ανάπτυξή τους.

Χρήση υδρογονανθράκων (πχ κυκλοπεντάνιο, ισοβουτάνιο) ως ψυκτικών

Έχουν μικρότερο χρόνο ημιζωής στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τους HFCs και κατά συνέπεια δεν συσσωρεύονται. Επίσης δεν περιέχουν χλώριο.

Πρόβλημα: Ευφλεκτότητα

Οι τρύπες του όζοντος

ΟΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Πρόβλημα

Δίνονται οι παρακάτω ενώσεις: CFCl_3 (Α), CHFCl_2 (Β), CF_3Cl (Γ) και CHF_3 (Δ). Να τις κατατάξετε ως προς το ODP (Ozone Depletion Potential) θεωρώντας ότι ο ίδιος αριθμός moles από κάθε ένωση ελευθερώνεται στον αέρα στην επιφάνεια της Γης. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας

Απάντηση: $A > \Gamma > B > \Delta$

Δικαιολόγηση?