

# Τροποσφαιρικό και στρατοσφαιρικό όζον

# Εισαγωγικά στοιχεία

- Σε κάθε 10 εκατομμύρια μόρια αέρα, υπάρχουν περίπου 3 μόρια όζοντος (περίπου 50 μέρη ανά δισεκατομμύριο – parts per billion στην τροπόσφαιρα και 15 parts per million στη στρατόσφαιρα).
- 3 χιλιοστά ύψος κατακόρυφης στήλης στην επιφάνεια (300 Dobson units).
- Το ολικό όζον (total ozone) = f (μεταβολή ηλιακής ακτινοβολίας, μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικές κινήσεις).

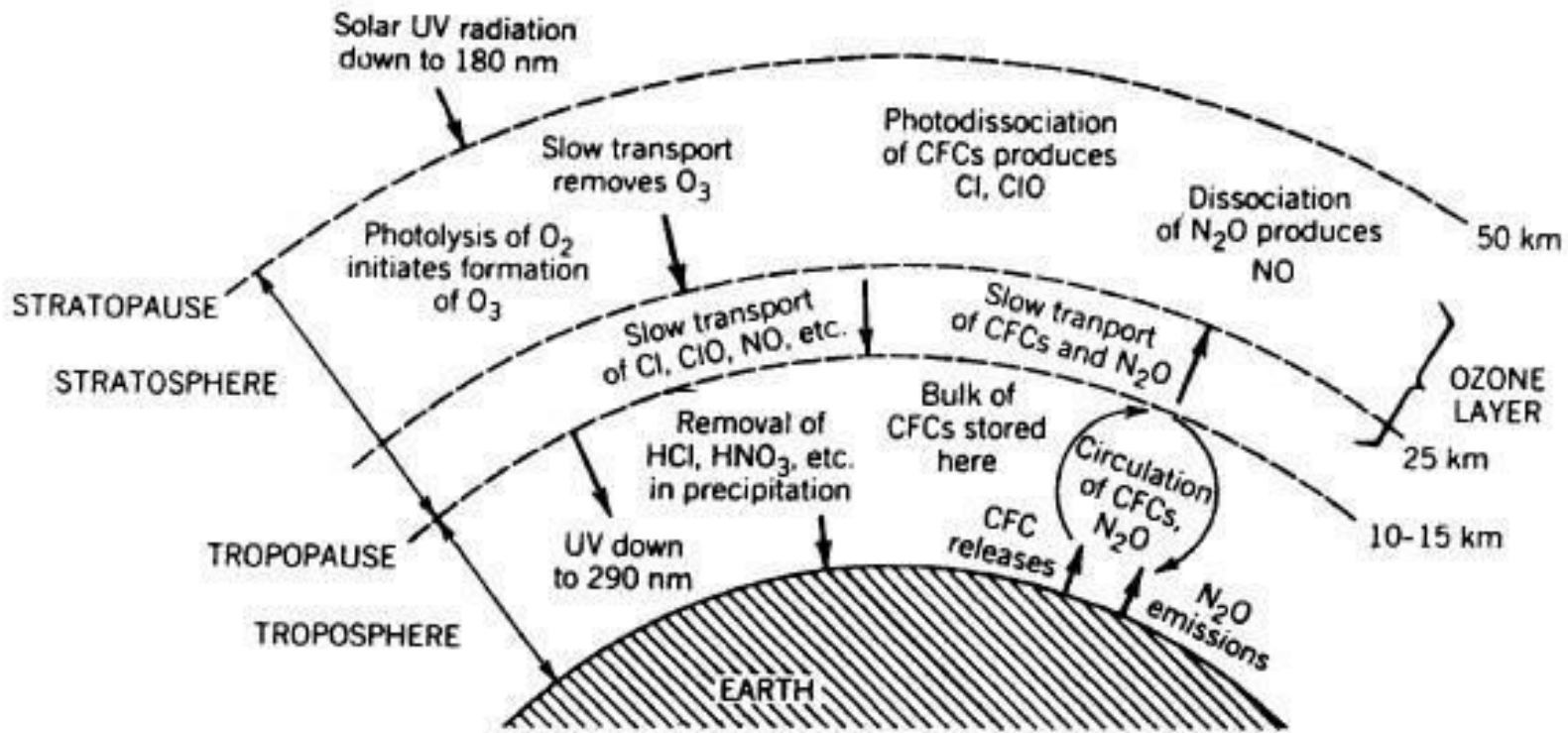


Figure 3.2: Chemistry involved in ozone formation and removal by trace catalysts [R. P. Wayne, Chemistry of the Atmospheres]

# Ένα πρόβλημα με δύο αναγνώσεις -1

- Μείωση στρατοσφαιρικού όζοντος:  
στα μέσα γεωγραφικά πλάτη του Βορείου Ημισφαιρίου, η μέση μείωση **ανά δεκαετία** είναι της τάξης του 2.8 %. Μεγαλύτερες τιμές μείωσης το χειμώνα-άνοιξη και μικρότερες τιμές το καλοκαίρι-φθινόπωρο.
- Αύξηση τροποσφαιρικού όζοντος

## Ένα πρόβλημα με δύο αναγνώσεις -2

- Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος συντελεί στη ψύξη της στρατόσφαιρας
- Αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος προκαλεί θέρμανση της τροπόσφαιρας.

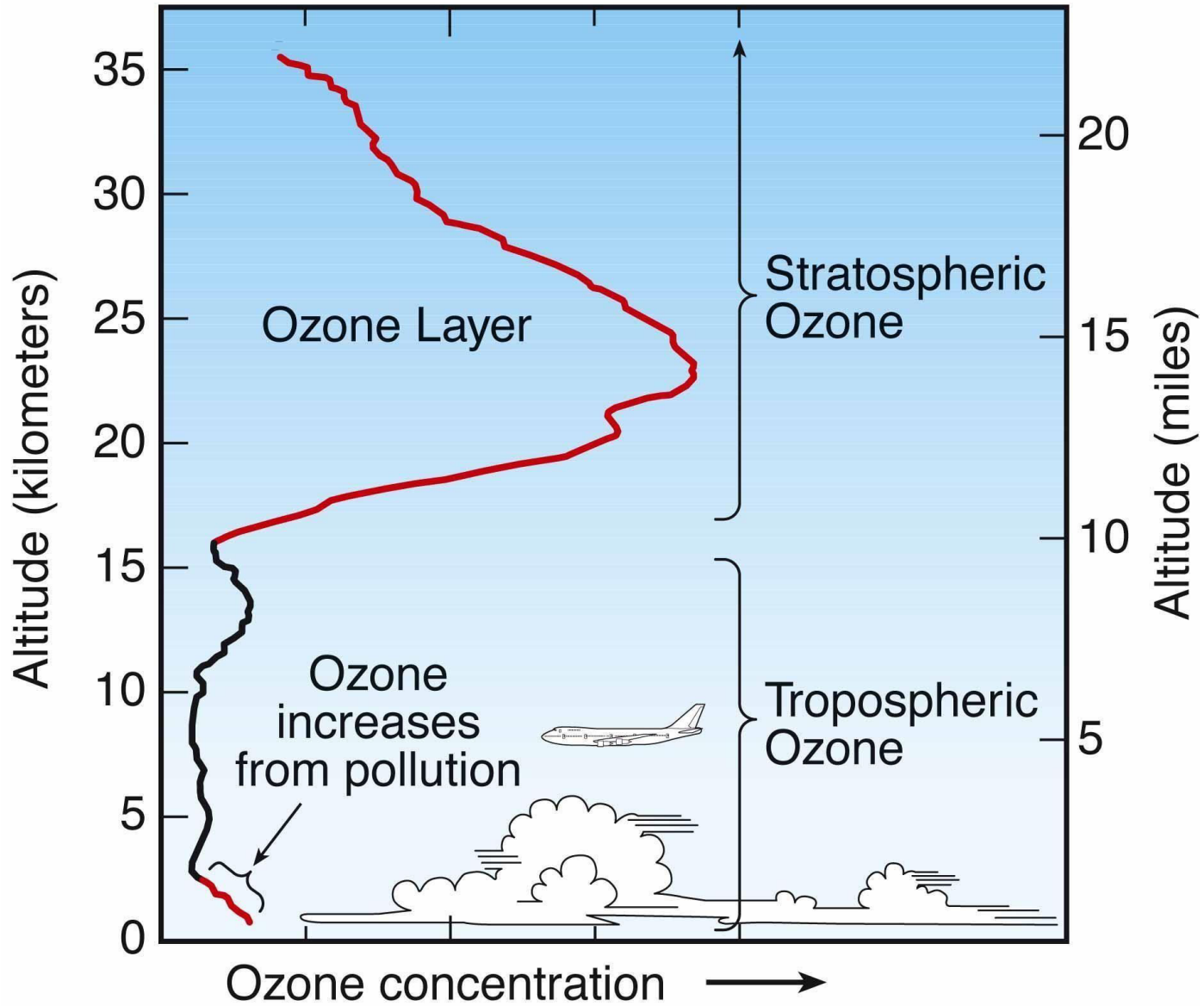
## ΠΡΟΣΟΧΗ

Η συγκέντρωση του όζοντος στη χαμηλή τροπόσφαιρα συνδέεται με την αέρια ρύπανση μίας περιοχής με την παραγωγή του όζοντος (δευτερογενής ρύπος) να οφείλεται στην ενεργοποίηση φωτοχημικού κύκλου που οδηγεί στη διάσπαση του διοξειδίου του αζώτου (πρωτογενής ρύπος). Στον κύκλο συμμετέχει επίσης το μονοξείδιο του αζώτου (πρωτογενής ρύπος).

# Συνέπειες από τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος

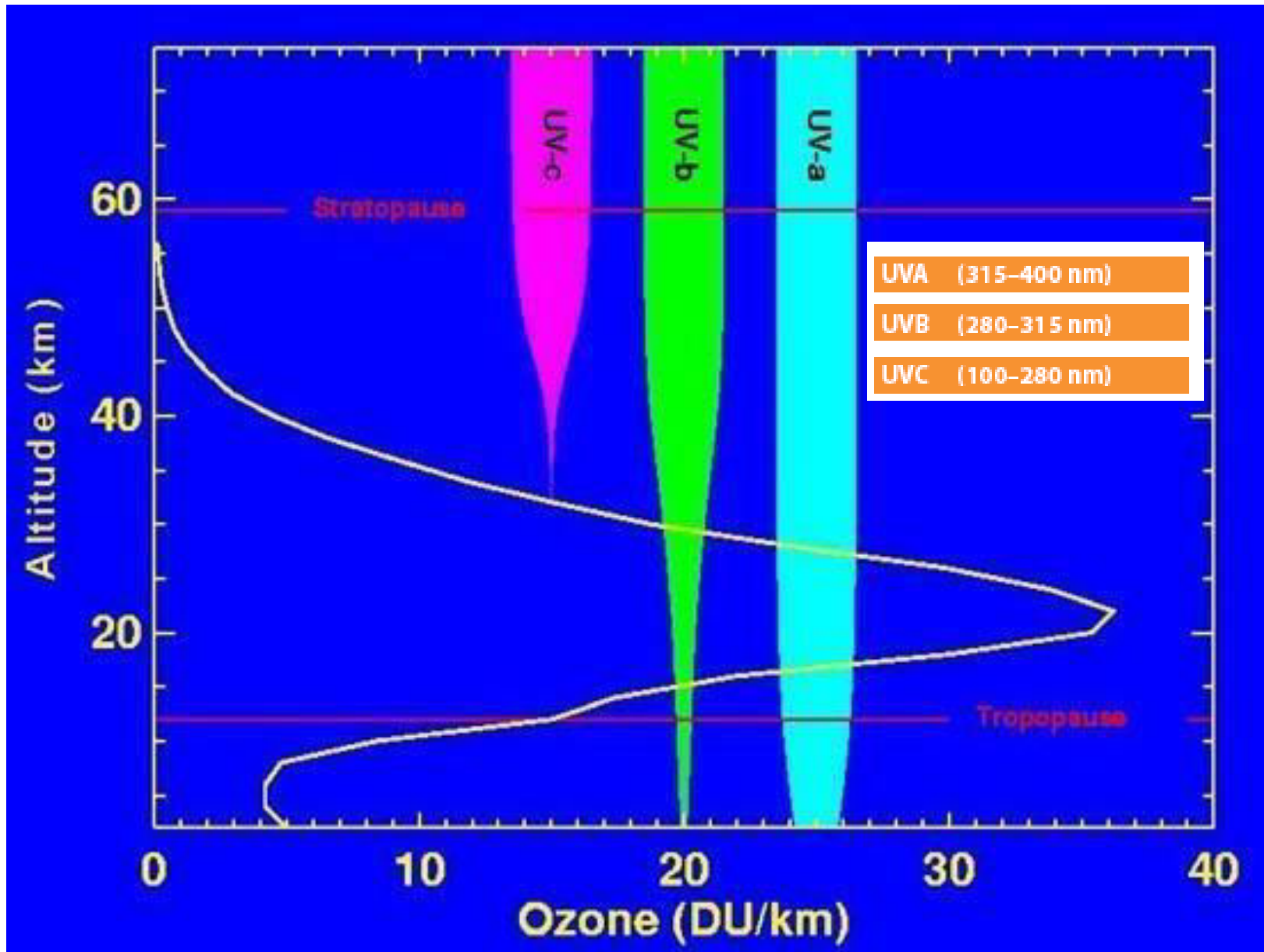
- 1/ Στο ενεργειακό ισοζύγιο και το ισοζύγιο ακτινοβολίας τροπόσφαιρας – στρατόσφαιρας
- 2/ Στην προκαλούμενη αύξηση της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης.

# Ozone in the Atmosphere

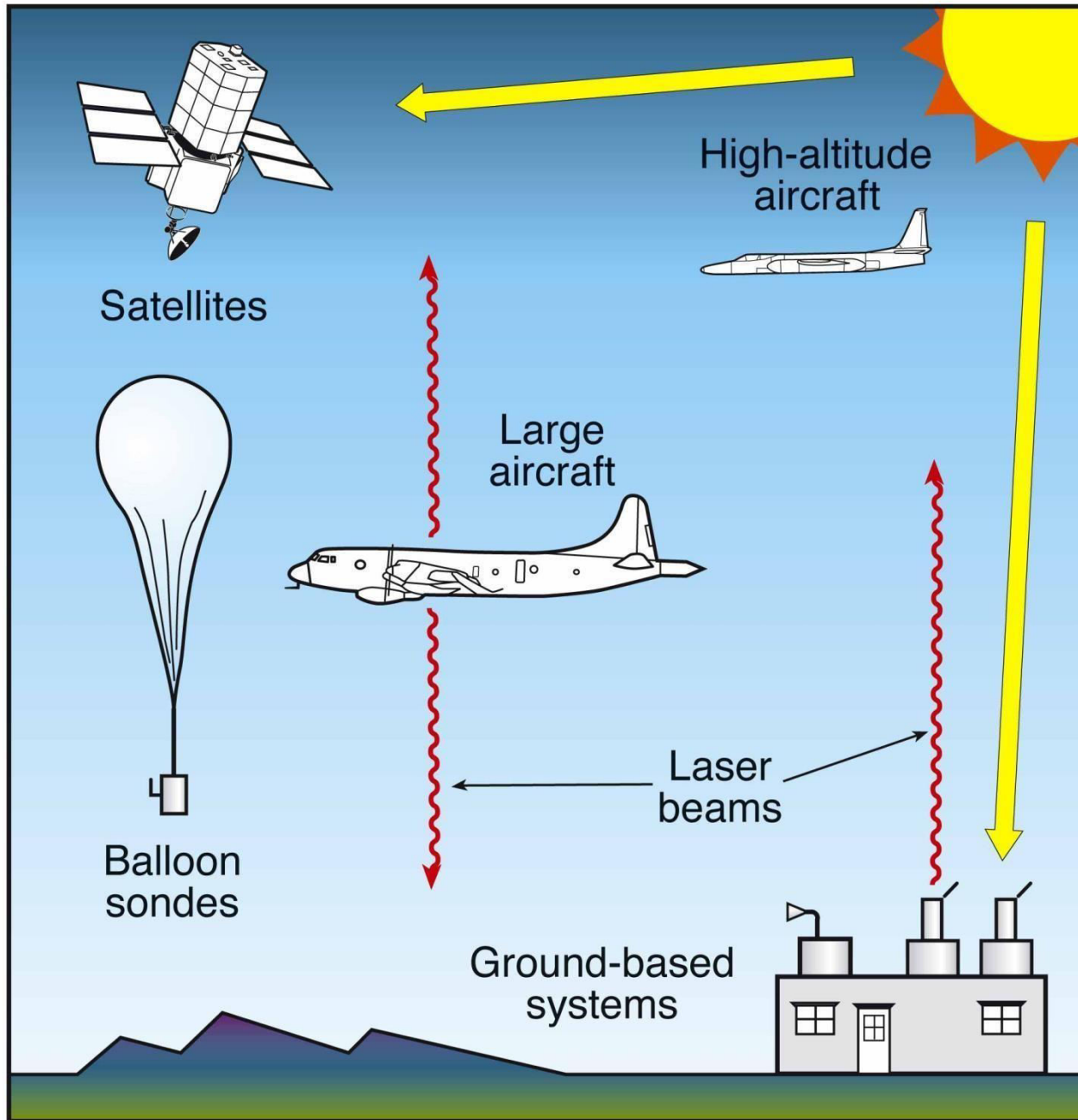




# Κατακόρυφη κατανομή όζοντος



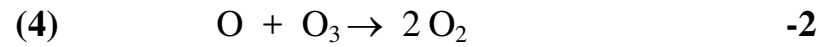
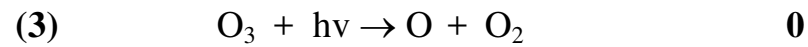
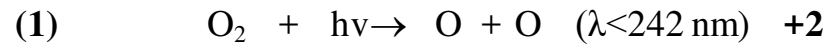
# Measuring Ozone in the Atmosphere



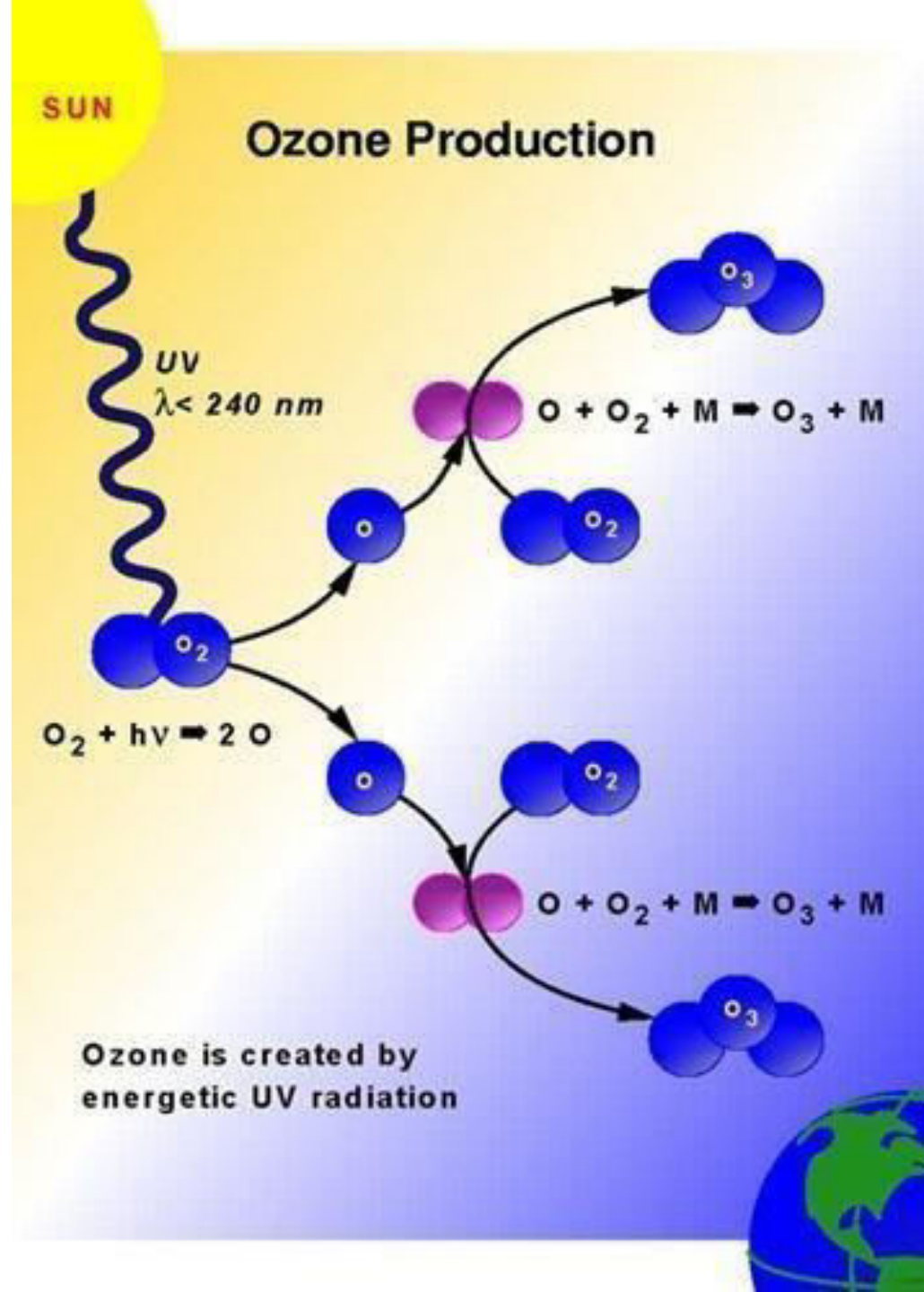
# Ο χημικός κύκλος του όζοντος

# Θεωρία Chapman

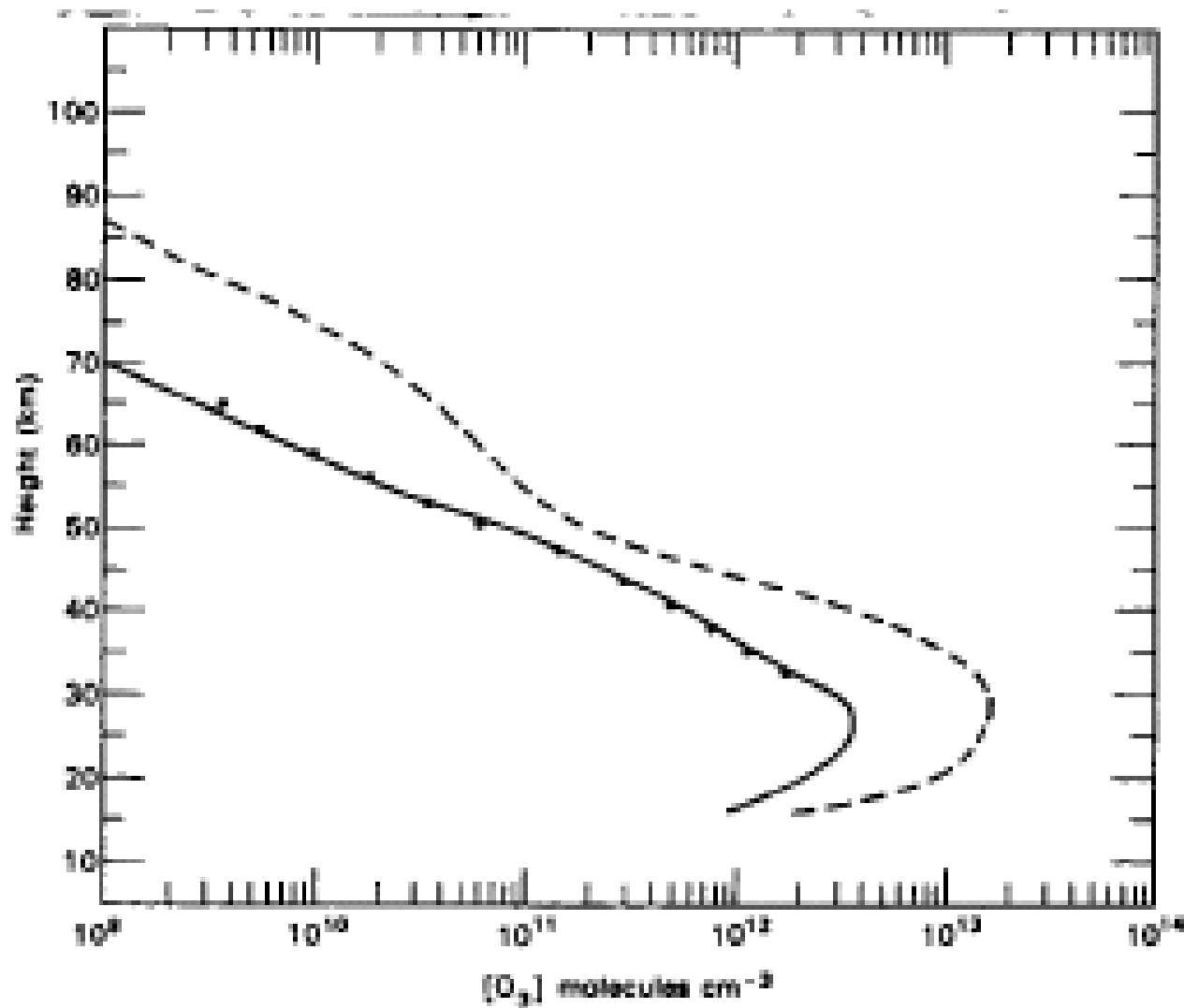
$O_x(O_3+O)$



- Αντίδραση (4) πολύ αργή να καταστρέψει όζον
- Αντίδραση (2) γίνεται βραδύτερη με το ύψος  
( $O_3$  99% of  $O_x$  <45 km)
- Αντίδραση (3) γίνεται ταχύτερη με το ύψος



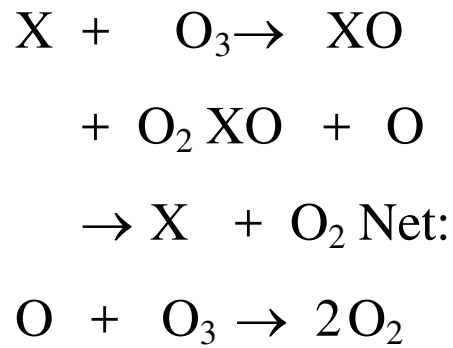
Κατανομή του όζοντος καθ' ύψος: Μετρήσεις (συνεχής γραμμή) και υπολογισμοί από την θεωρία Chapman (διακεκομμένη γραμμή) [R. P. Wayne, Chemistry of the Atmospheres]



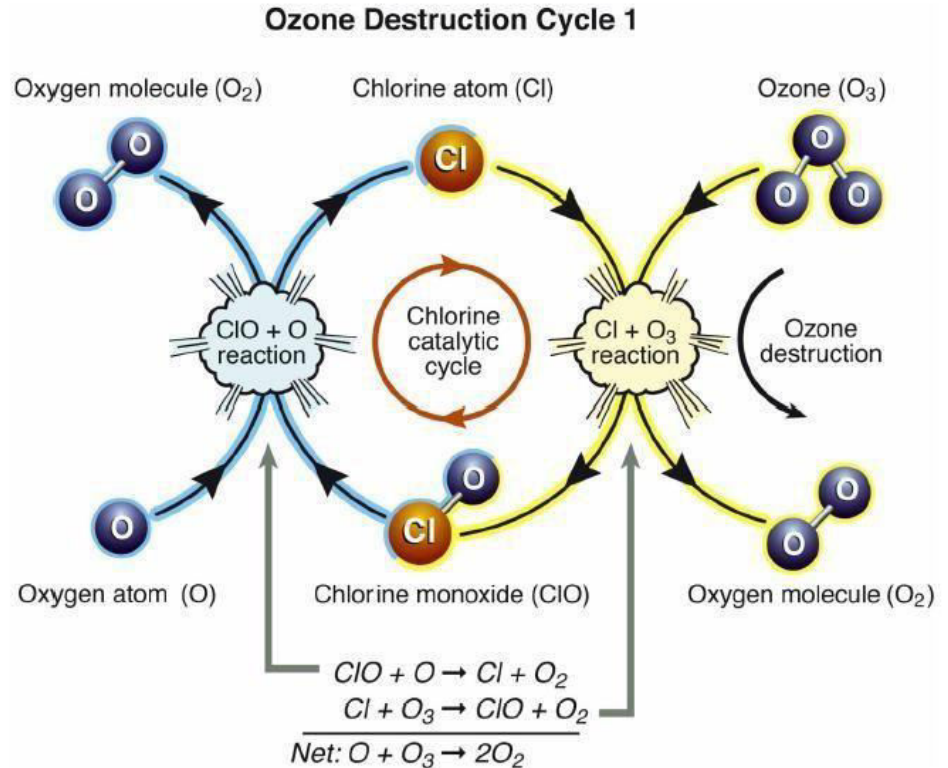
Όπως διαπιστώνεται από το προηγούμενο σχήμα, προκύπτει σημαντική απόκλιση μεταξύ της καμπύλης κατανομής όπως προκύπτει από τις μετρήσεις και της καμπύλης που αντιστοιχεί στη θεωρία Chapman. Η απόκλιση εξηγείται από καταλυτικούς κύκλους καταστροφής του όζοντος που δεν προβλέπονται από τη θεωρία Chapman.

# Καταλυτικοί κύκλοι

Η διαφορά ανάμεσα στις μετρήσεις θεωρία Charman οδήγησαν στην προσθήκη επιπλέον καταλυτικών κύκλων καταστροφής όζοντος:



(όπου  $X = H, OH, NO, Cl$ )



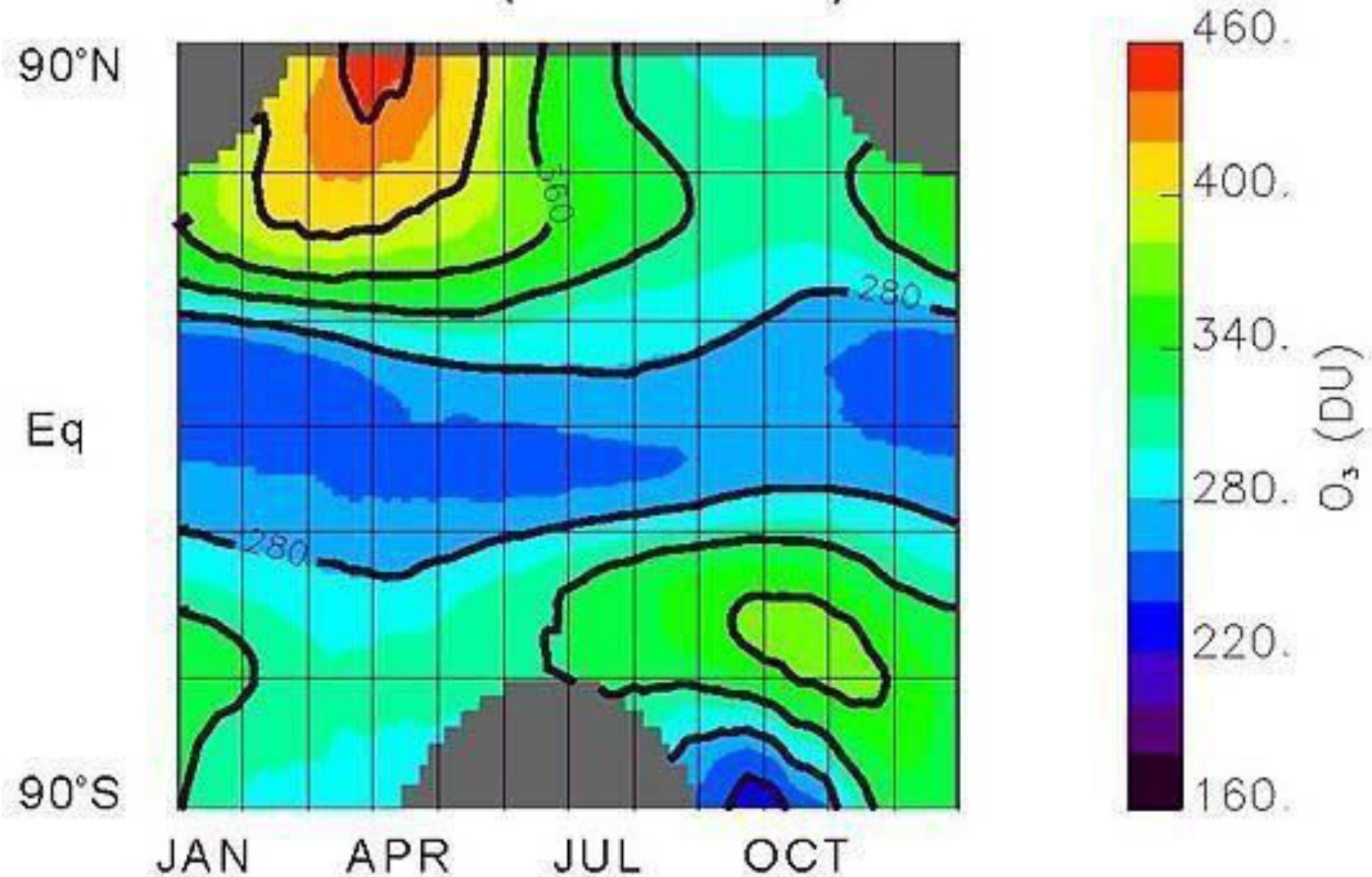
# Διακυμάνσεις του όζοντος



# Ολικό όζον = f (φ, εποχή)

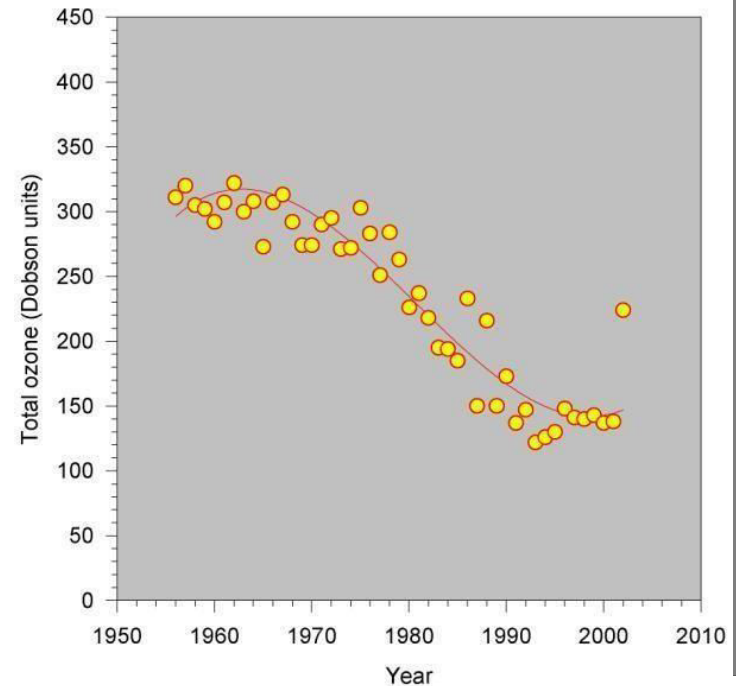
Mean Annual Cycle of Ozone

TOMS (1978-1993)



## Αποδόμηση του όζοντος (ozone depletion)

1. Μέση μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος κατά περίπου 3-4% τη δεκαετία.
2. Τη ραγδαία μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος στους πόλους («τρύπα» του όζοντος)



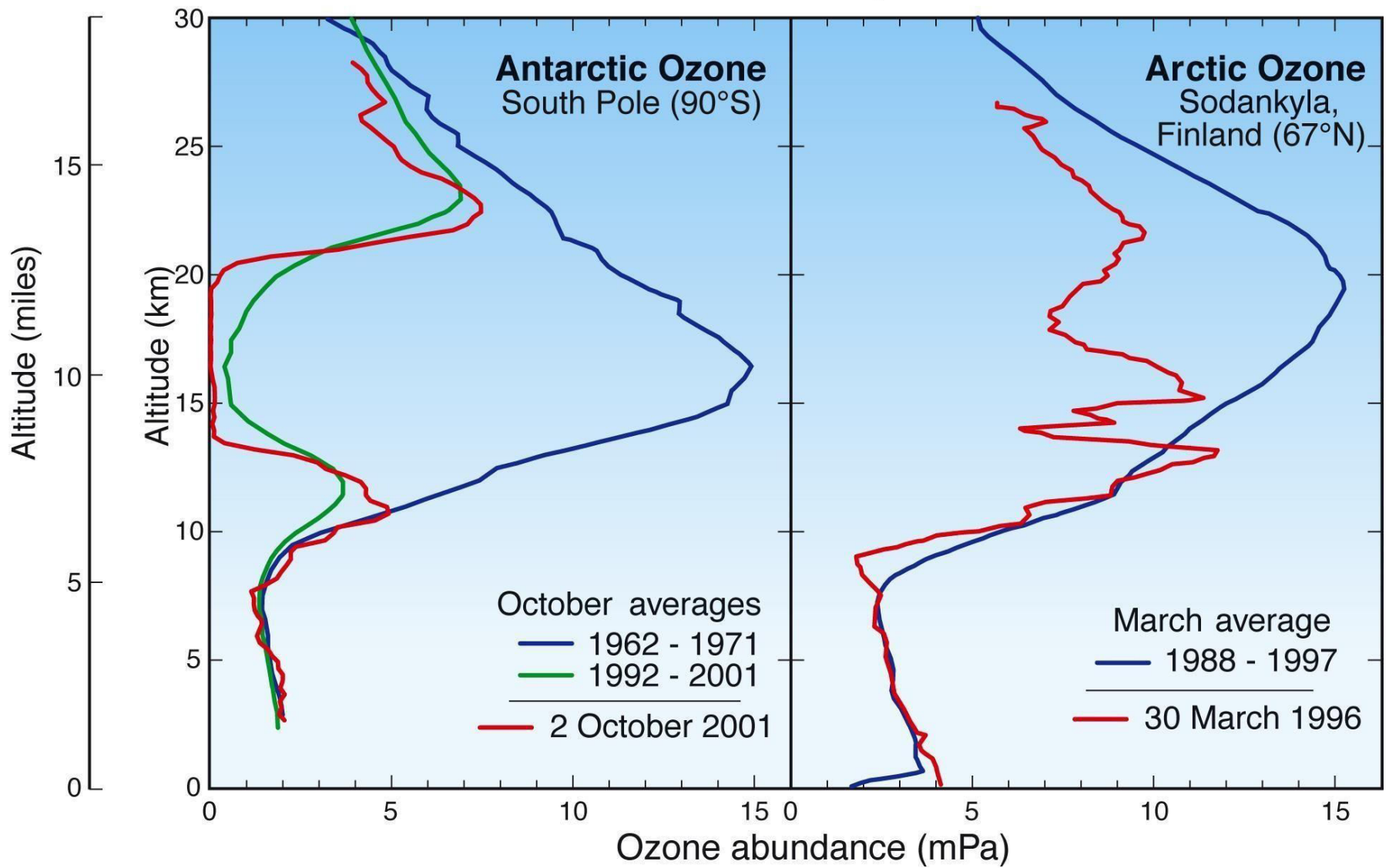
Σταθμός  
Halley  
Bay

## “Τρύπα” του όζοντος: Μία πρόκληση στην επιστημονική κοινότητα

Μετρήσεις όζοντος στο Βρετανικό σταθμό Halley Bay (**Farman**) και στον Ιαπωνικό σταθμό Syowa (**Chubachi**) της Ανταρκτικής δείχνουν στη δεκαετία του 1980 δραματική μείωση της ολικής στήλης όζοντος που δεν μπορεί να εξηγηθεί από τα αριθμητικά μοντέλα αλλά και δεν συμβαδίζει με τις δορυφορικές καταγραφές.

Νεότερη σειρά επαναληπτικών μετρήσεων αλλά και νέα βαθμονόμηση των δορυφορικών καταγραφών (μετά τον εντοπισμό αλγοριθμικού σφάλματος) επιβεβαίωσαν τη μείωση της ολικής στήλης του όζοντος, μείωση η οποία συνδέθηκε με τη φωτοδιάσπαση (κυρίως) των χλωροφθορανθράκων (CFCs) στη στρατόσφαιρα και την απελευθέρωση χλωρίου, φθορίου, βρωμίου που σε 2<sup>η</sup> φάση παρεμβαίνουν καταλυτικά στον κύκλο του όζοντος.

# Polar Ozone Depletion



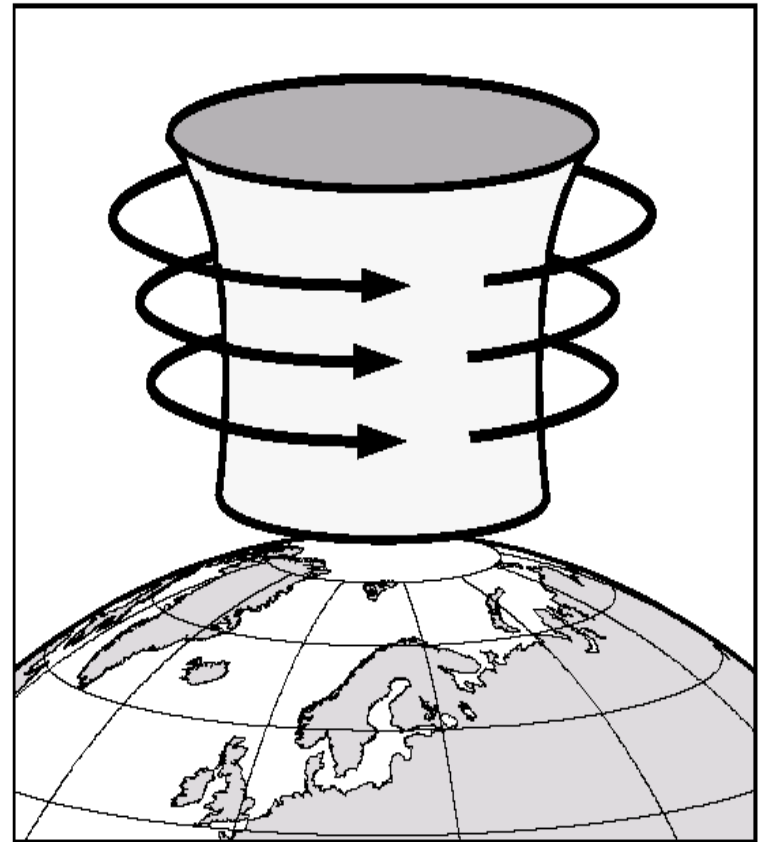
# Γιατί αποδομείται το όζον στην Ανταρκτική;

- 1/ **Πολικός στρόβιλος** αποκόπτει την κυκλοφορία από μικρότερα (και πλουσιότερα σε όζον) γεωγραφικά πλάτη.
- 2/ **Εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες**  $< 80$  βαθμών Κελσίου.
- 3/ Δημιουργία **των πολικών στρατοσφαιρικών νεφών** (polar stratospheric clouds – PSCs) στην επιφάνεια των οποίων ευνοείται η μετατροπή του χλωρίου και βρωμίου σε δραστικούς καταστροφείς του όζοντος.

# Μείωση του όζοντος στην Ανταρκτική - καθοριστικοί παράγοντες

## Ο παράγοντας Μετεωρολογία

- Σταθερός πολικός στρόβιλος
- Χαμηλές θερμοκρασίες ( $-80^{\circ}\text{C}$ )
- Στρατοσφαιρικά νέφη (PSCs)

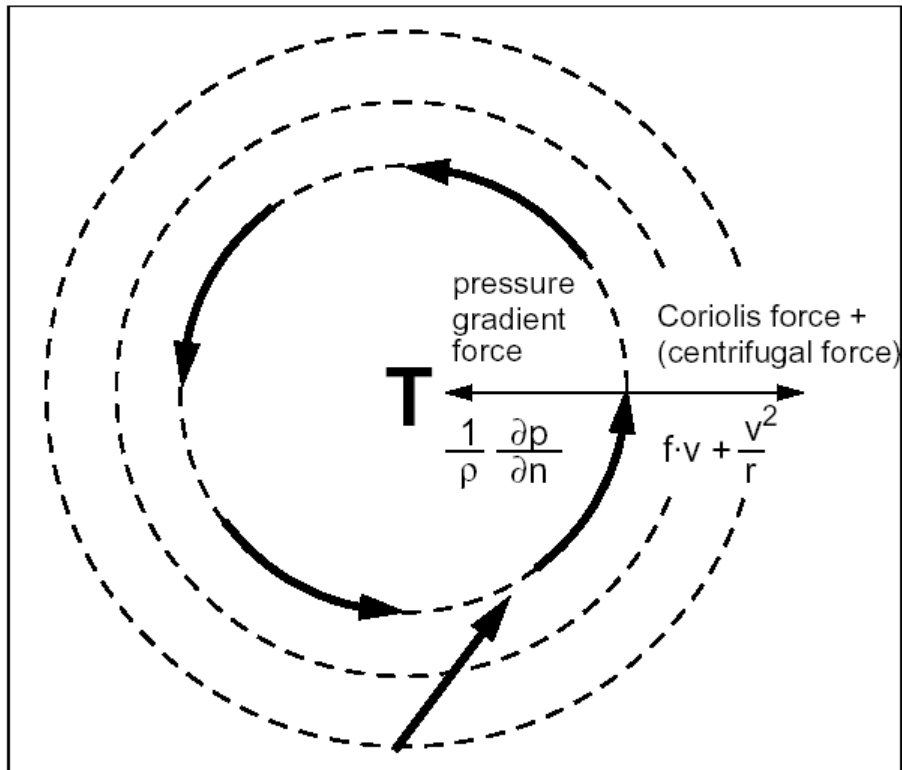


## Ο παράγοντας της χημείας

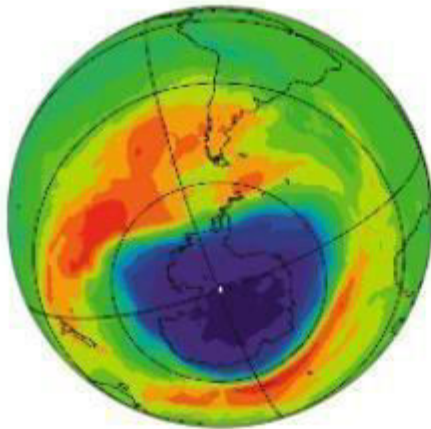
Ετερογενείς αντιδράσεις στην επιφάνεια των παγοκρυστάλλων των PSCs



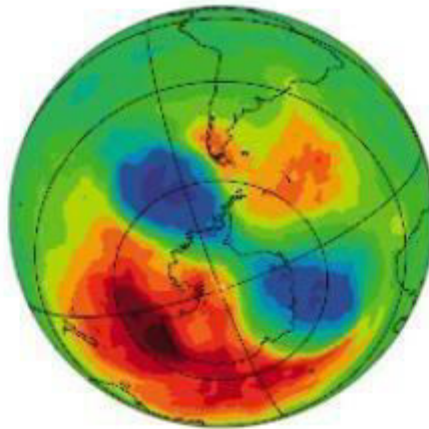
# Γεωστροφική ισορροπία: δύναμη βαροβαθμίδας, δύναμη Coriolis και φυγόκεντρος



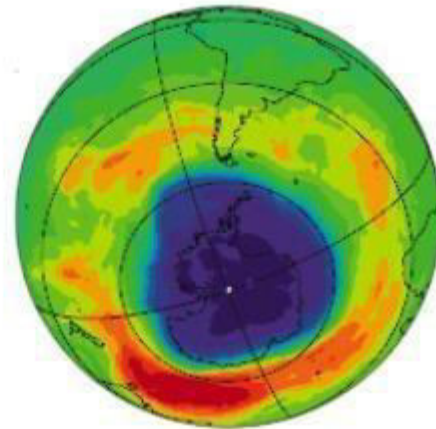
### Antarctic Ozone Hole



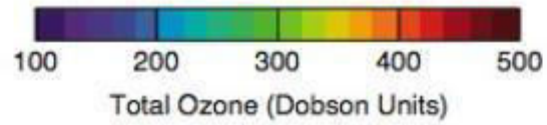
24 September 2001



24 September 2002



24 September 2003

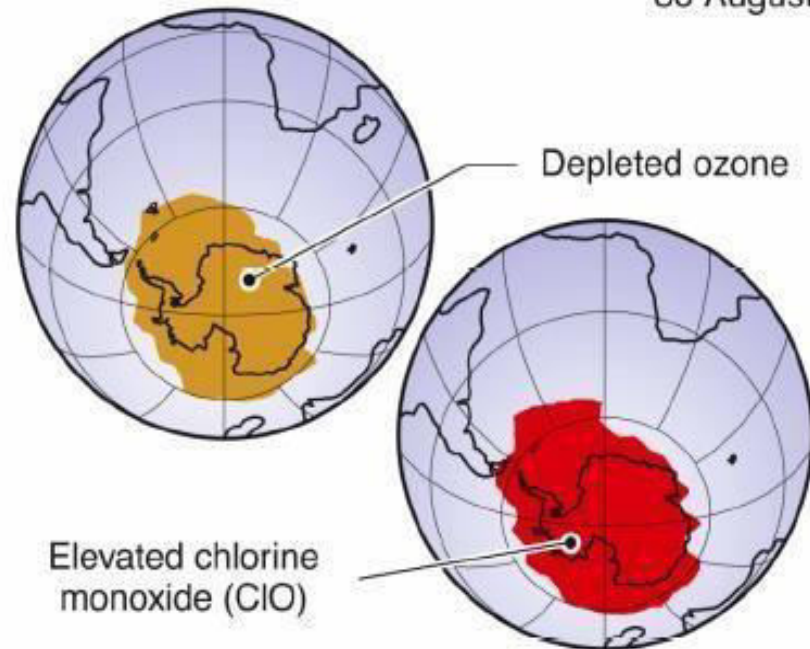




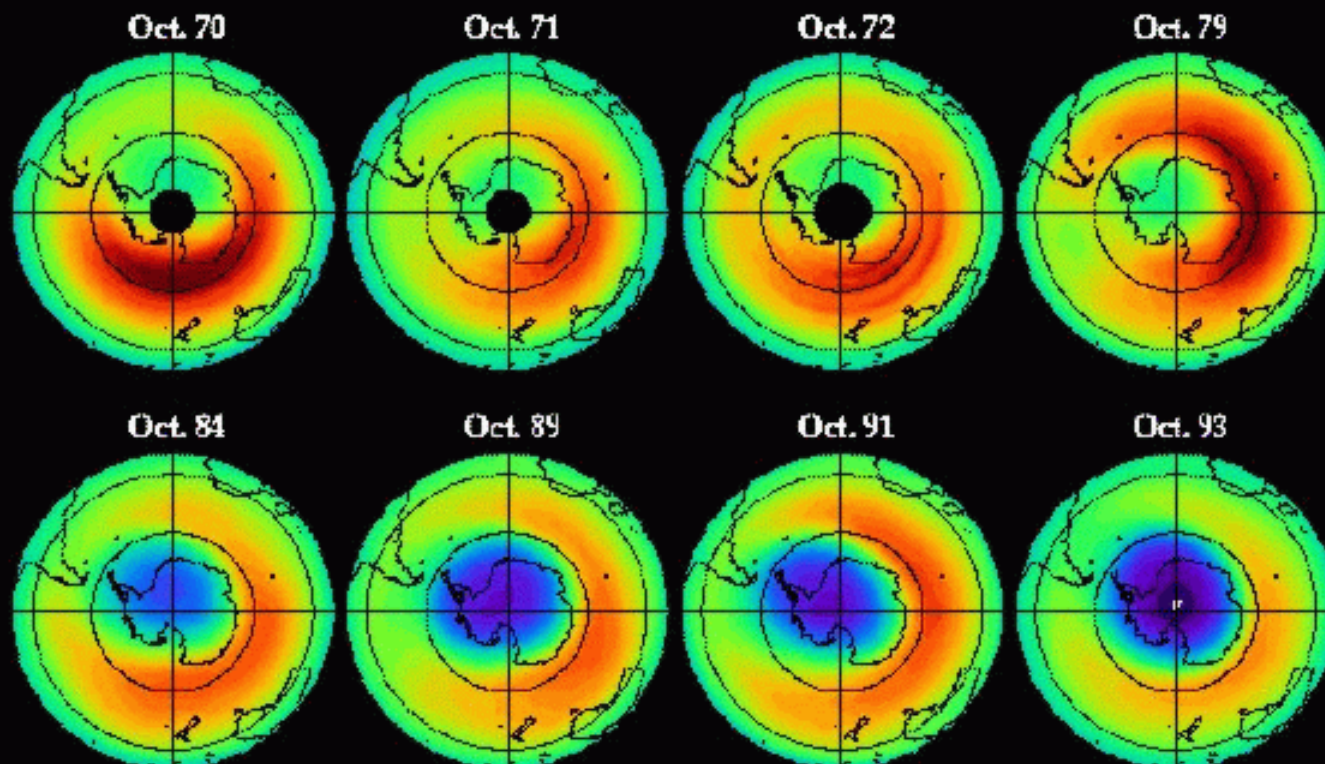
# Συσχέτιση χαμηλών τιμών στρατοσφαιρικού όζοντος και υψηλών τιμών οξειδίου του χλωρίου

## Satellite Observations in the Lower Stratosphere

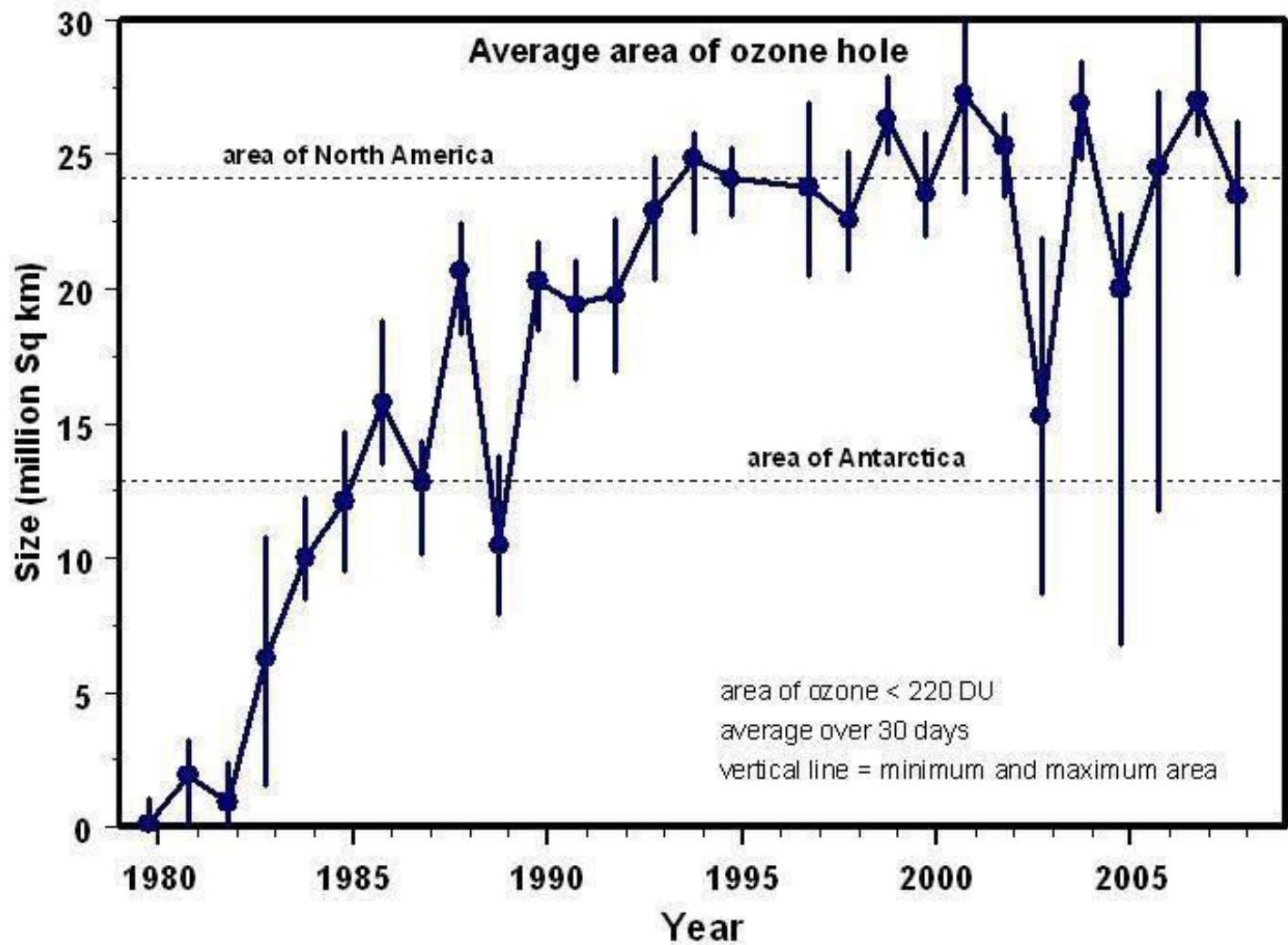
30 August 1996



# BUV & TOMS TOTAL OZONE



NASA/GSFC



# Τι συμβαίνει στην Αρκτική;

Η μείωση του όζοντος είναι σημαντικά μικρότερη για δύο λόγους:

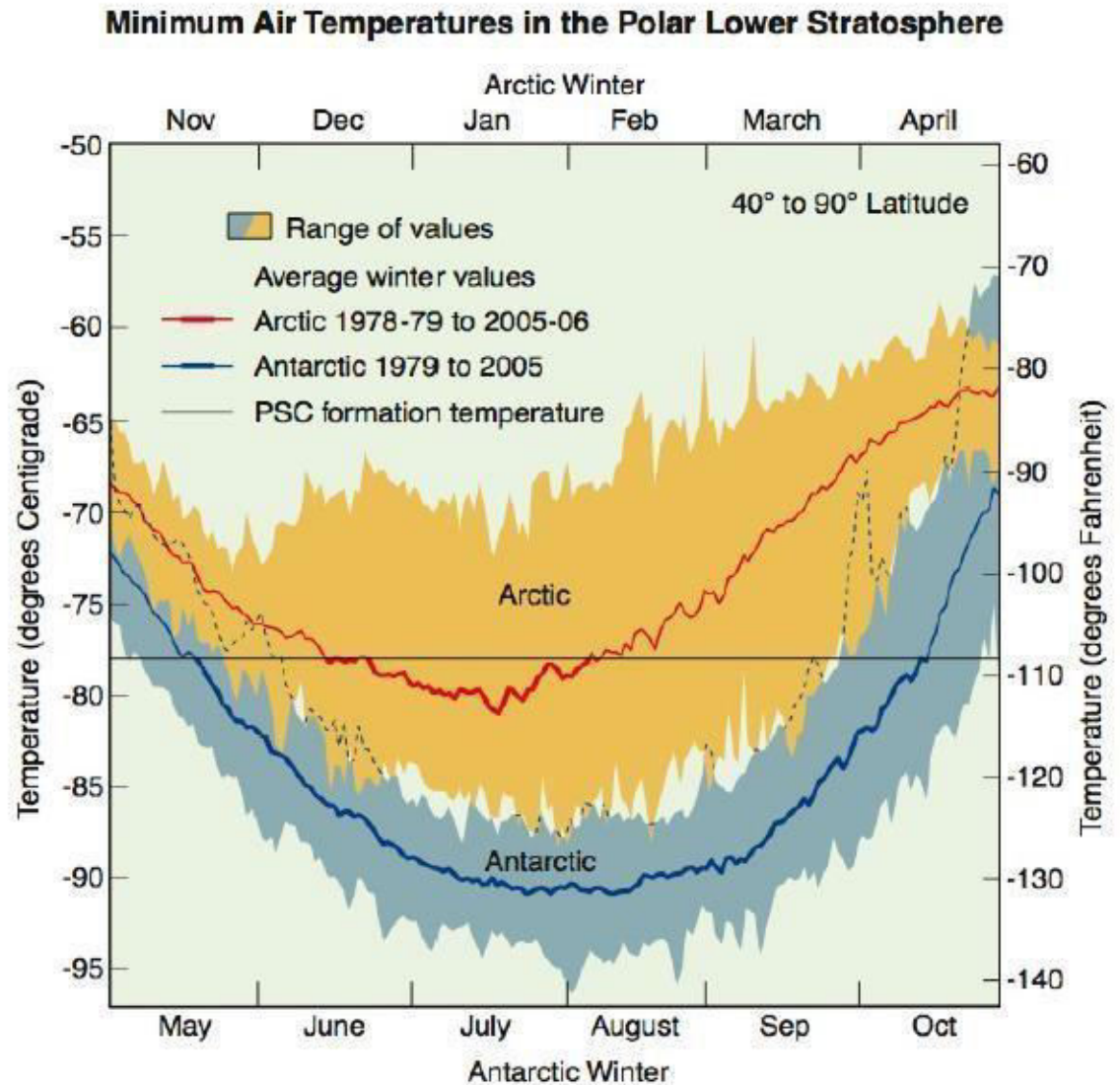
1/ Οι θερμοκρασίες στην αρκτική στρατόσφαιρα σπάνια είναι μικρότερες των 80 βαθμών Κελσίου, λόγω της συχνής επίδρασης αερίων μαζών από μικρότερα γ.π.

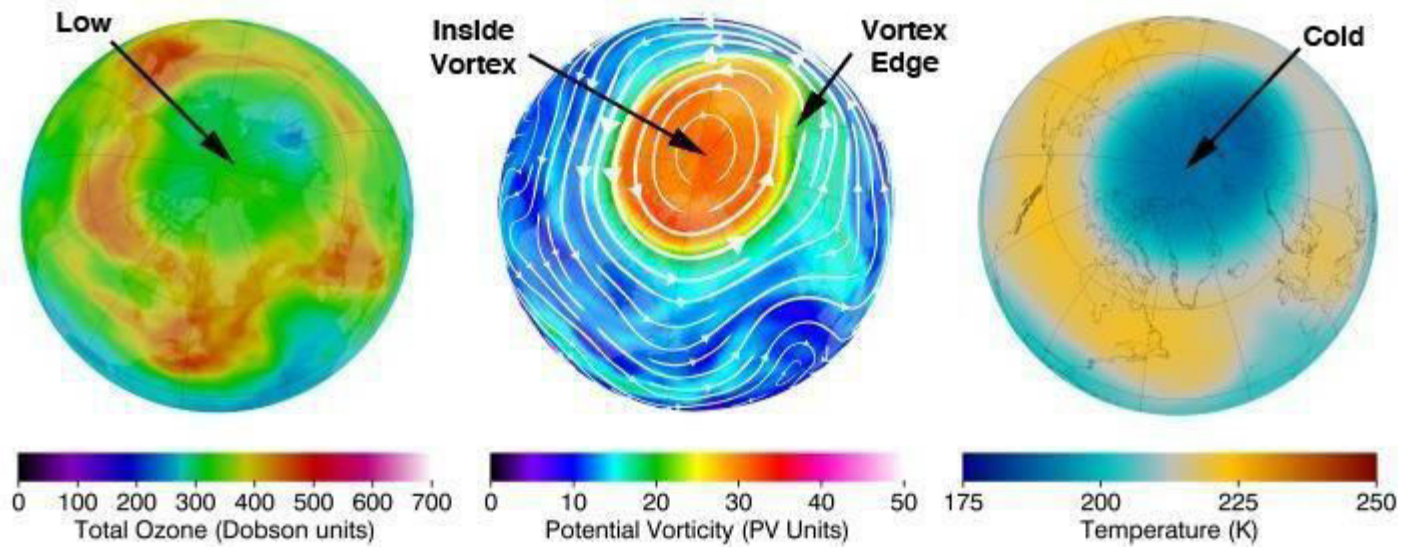
2/ Ο αρκτικός πολικός στρόβιλος διαλύεται στο τέλος του χειμώνα, πριν η επερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία συντελέσει στην καταστροφή του όζοντος.

# Μείωση του όζοντος στην Αρκτική

## Παράγοντες χημείας και μετεωρολογίας στην Αρκτική

- Υψηλότερες θερμοκρασίες από την Ανταρκτική
- Κατάρρευση του πολικού στροβίλου λόγω ισχυρότερης κυματικής δράσης (αιφνίδιες Στρατοσφαιρικές Θερμάνσεις)
- Ετερογενείς αντιδράσεις στη επιφάνεια παγοκρυστάλλων





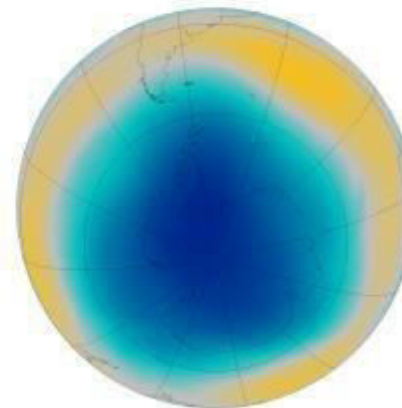
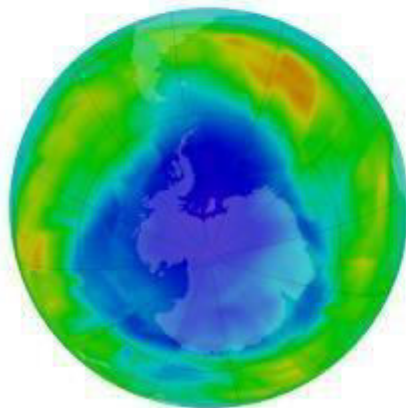
**Αρκτική: πάνω σειρά εικόνων**

**Ανταρκτική: κάτω σειρά εικόνων**

**Ozone**

**Potential Vorticity**

**Temperature**



# Μείωση όζοντος στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη

## Δυναμικές και χημικές αιτίες

- Κατάρρευση του πολικού στροβίλου της Αρκτικής και μεταφορά προς τα μεσαία γεωγραφικά πλάτη αερίων μαζών στις οποίες το όζον έχει μειωθεί λόγω χημικών διαδικασιών στη επιφάνεια των παγοκρυστάλλων των πολικών στρατοσφαιρικών νεφών.
- Μεταφορά αερίων μαζών φτωχών σε όζον από την τροπική ζώνη.
- Ετερογενείς αντιδράσεις στην επιφάνεια θεικών αιωρούμενων σωματιδίων (σημασία των ηφαιστειακών εκρήξεων)



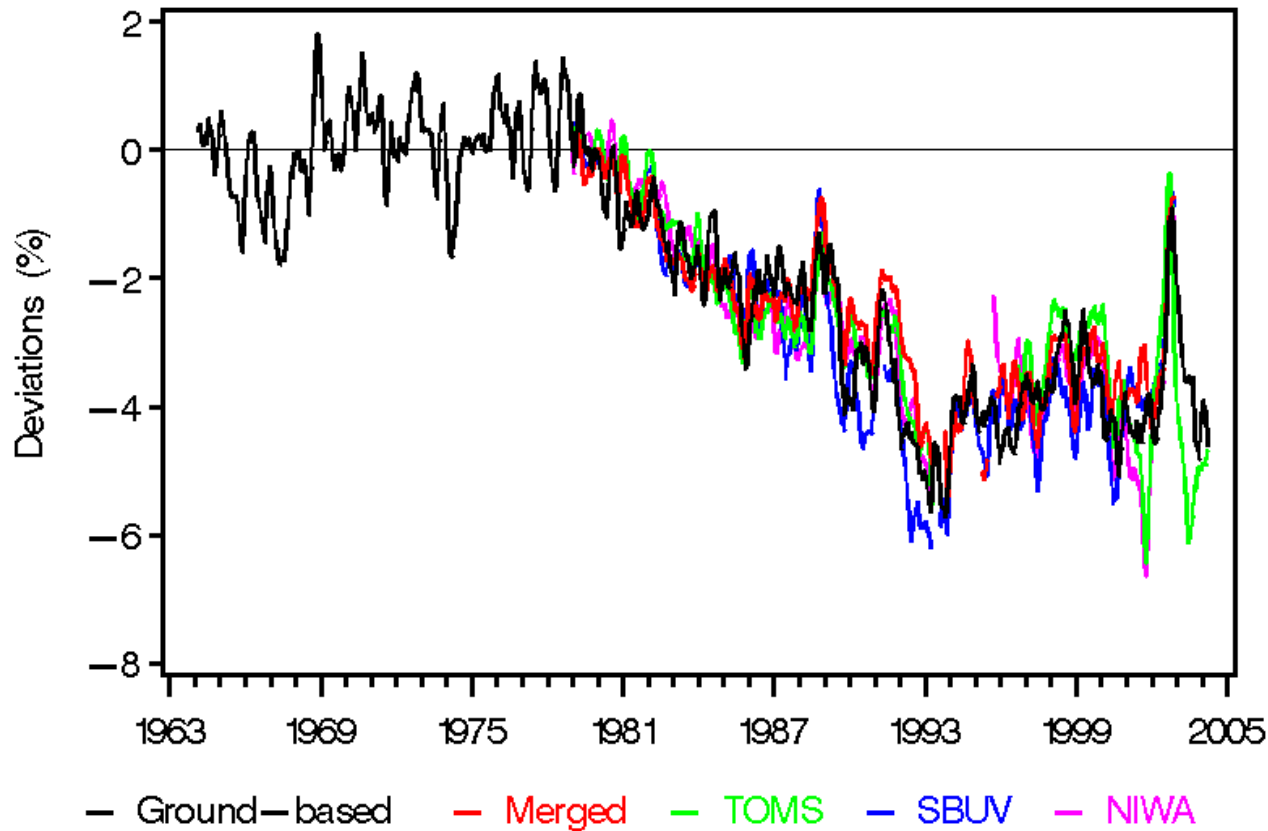
# Μακροχρόνιες τάσεις όζοντος και UV-B



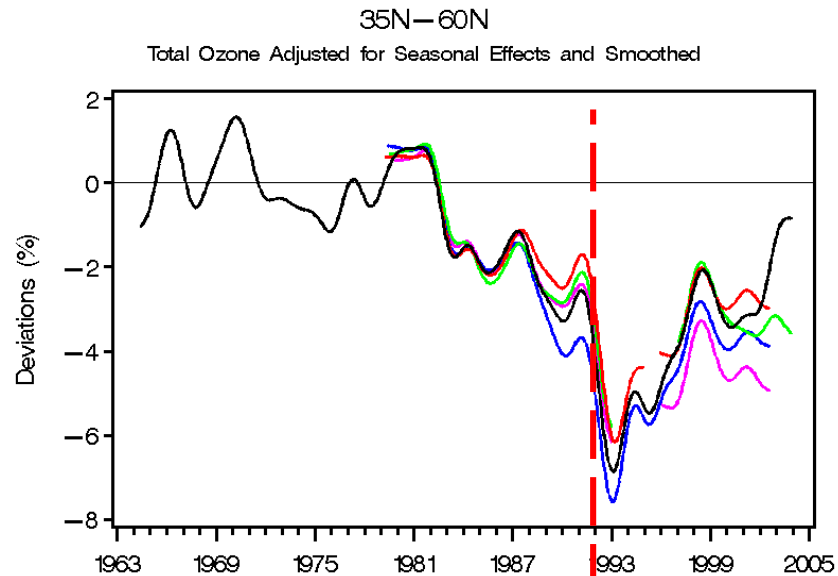
# Global total ozone variations

90S—90N

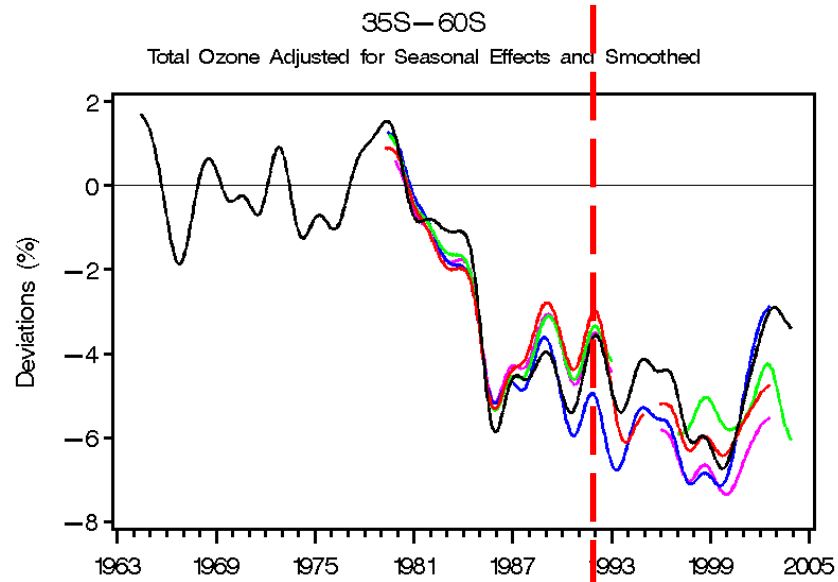
Total Ozone Adjusted for Seasonal, QBO, and Solar Effects



# Διαφορές μεταξύ ημισφαιρίων



NH  
35-60 N



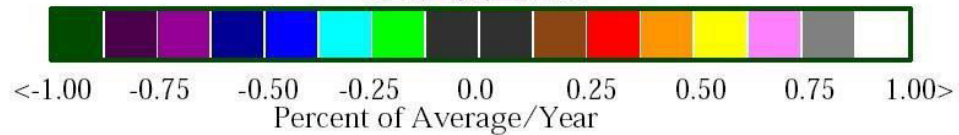
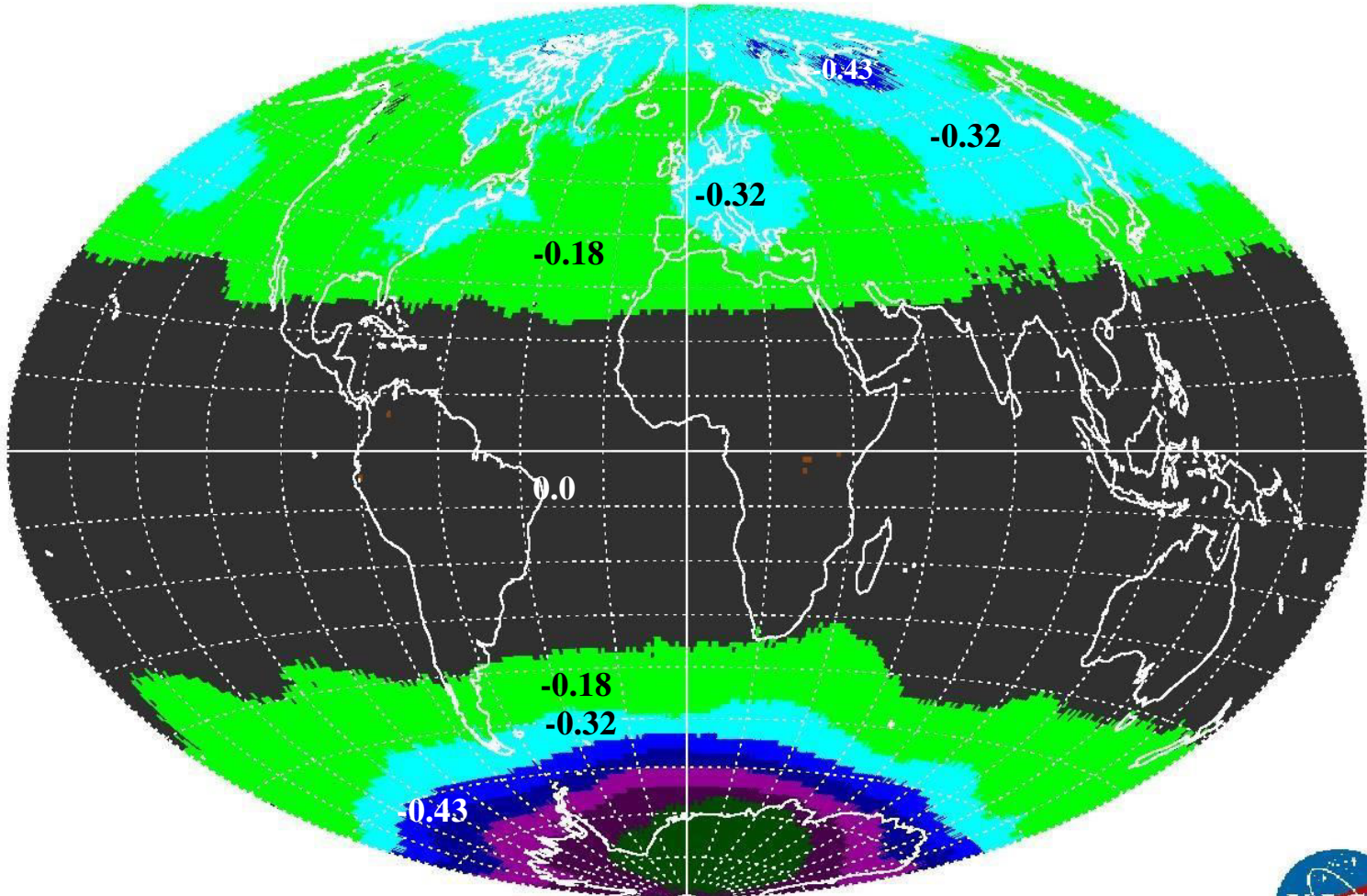
SH  
35-60 S

— Ground-based — Merged — TOMS — SBUV — NIWA

Pinatubo

# % αλλαγή όζοντος στο διάστημα 1980-2002

Version 8 Total Ozone Trend for N7 EP 1980 through 2002



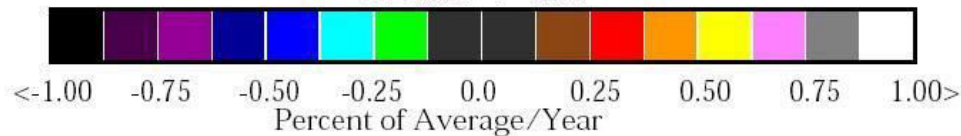
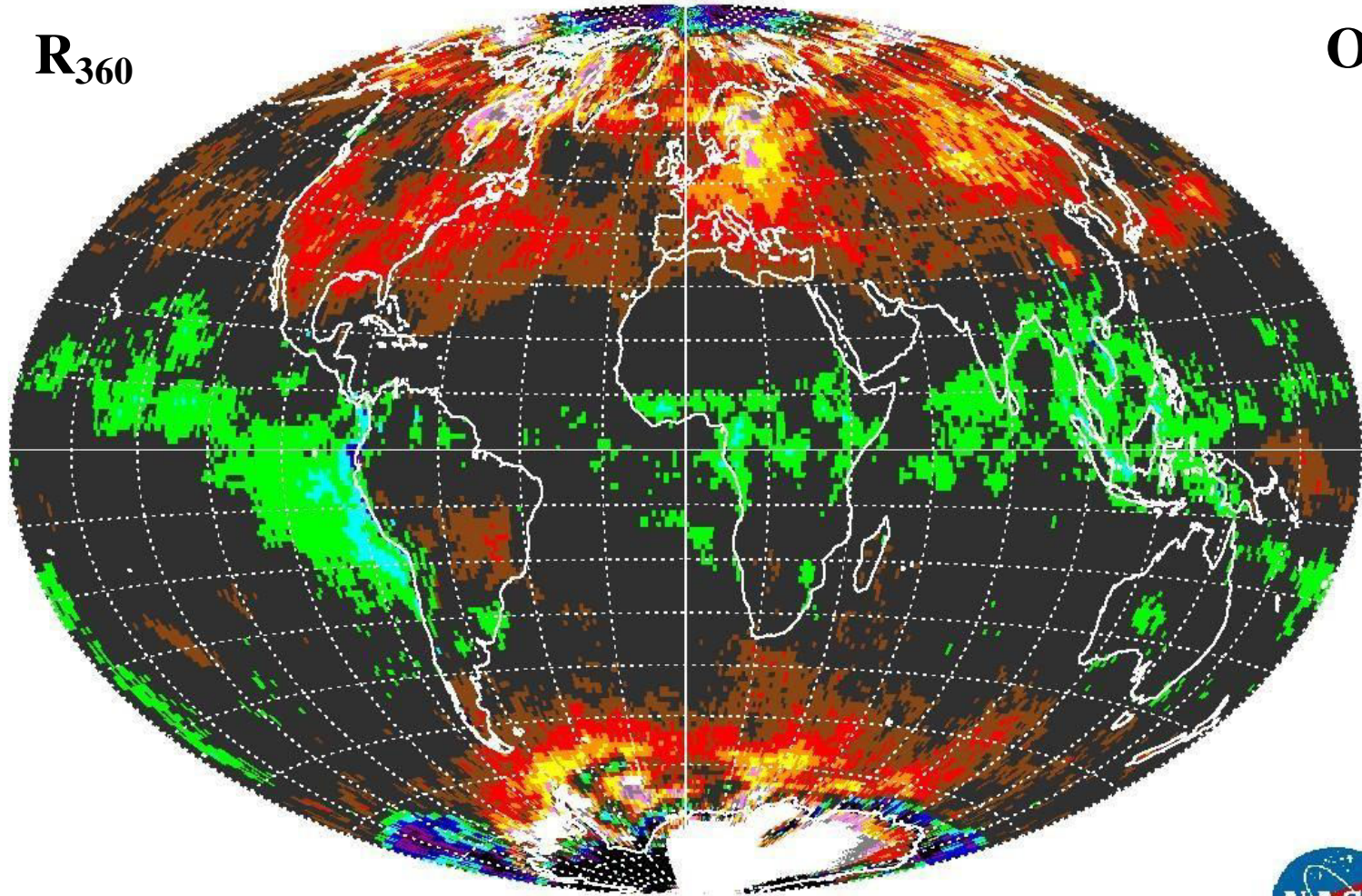
GSFC/Code 916

# Τάση έντασης ακτινοβολίας που οδηγεί σε ερύθημα στο διάστημα 1980-2002

Version 8 Local Noon Erythemal Irradiance Trend for N7 EP 1980 through 2002

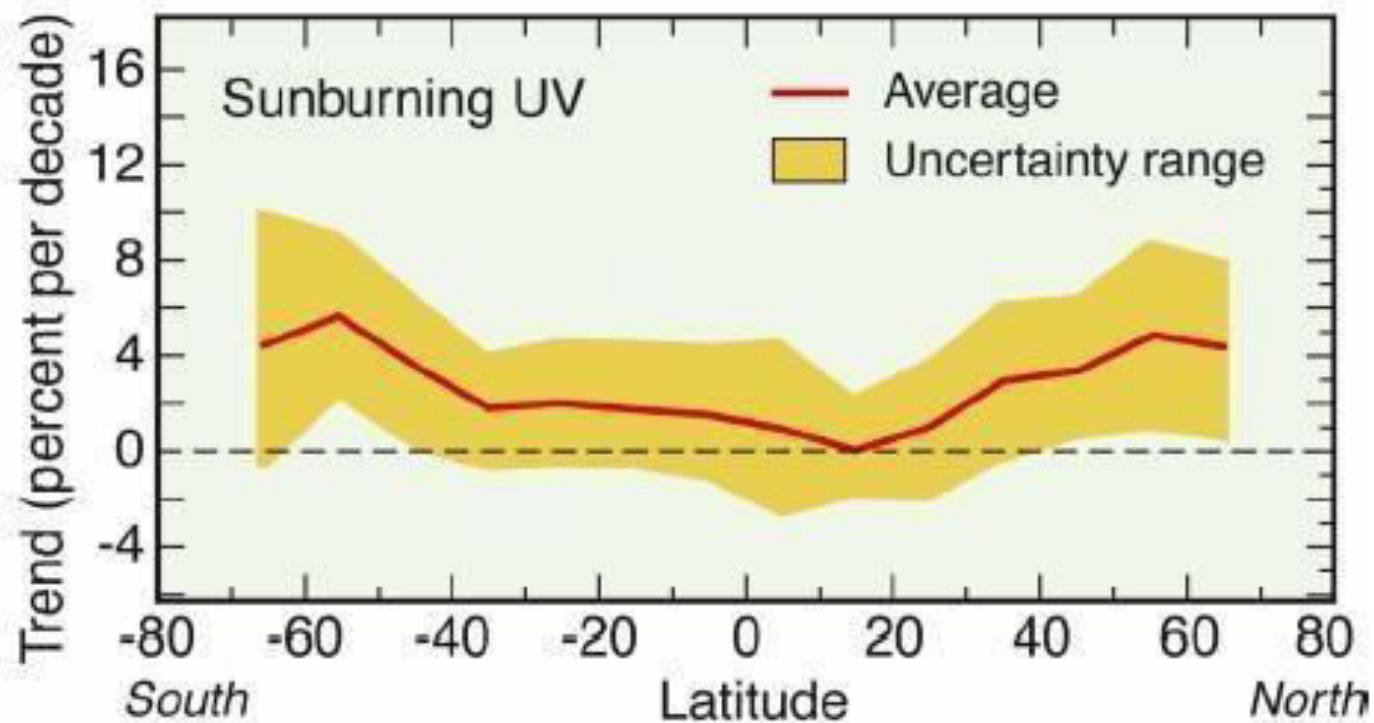
$R_{360}$

$O_3$



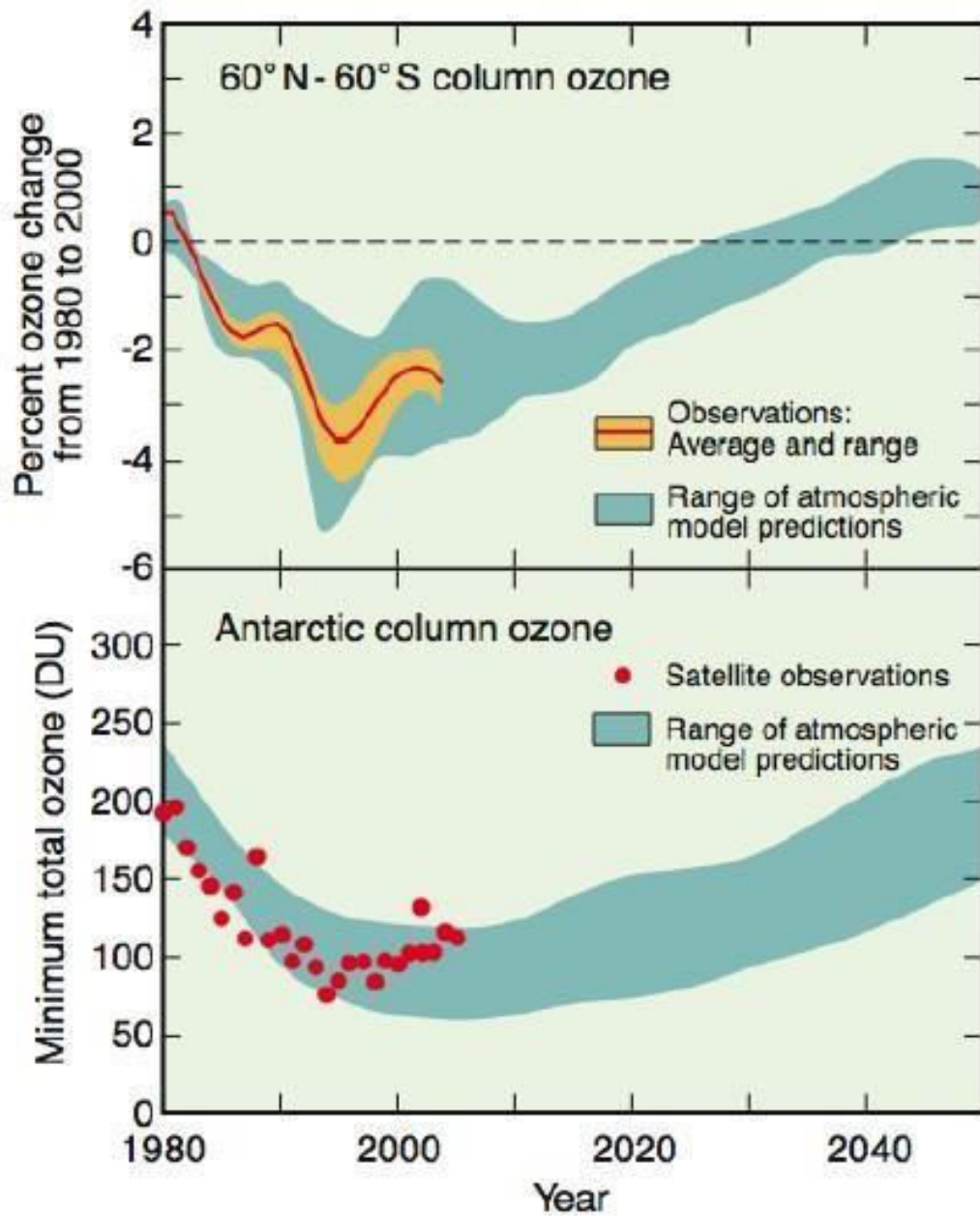
GSFC/Code 916

## Changes in Surface Ultraviolet Radiation



# Μελλοντικές εκτιμήσεις

## Recovery of Global Ozone



## Recovery Stages of Global Ozone

