

ΦΥΣΙΚΗ.— **Variability of ozone and solar ultraviolet radiation in Greece**, by *P. S. Theocaris*, and *C. Zerefos*, *A. Bais*, *C. Meleti* *.

Abstract

In this work we present the results from the analysis of regular total ozone and simultaneous solar UV-B spectral measurements, obtained at the Laboratory of Atmospheric Physics of the Aristotle University of Thessaloniki (40° N). The UV-B results presented here refer to clear-skies (cloudiness $\leq 3/8$) and to solar zenith angles of $63^\circ \pm 1^\circ$. These results support earlier findings of increased solar UV-B irradiances, under all-skies conditions, associated with observed ozone decline at the same period. The observed acceleration of the ozone decline in the early 90's shows a recovery in Greece and resulted to increased solar UV irradiance levels at Thessaloniki by about 2.8% per year at 305 nm. These figures are modified, if we use different shorter periods of recordings and they point out how sensitive are UV-changes on the period chosen and how dangerous are any generalized conclusions of their trends in the future.

Introduction

There is by now evidence of significant increases of solar UV-B radiation over the northern hemisphere (Kerr and McElroy, 1993; Bais et al., 1994; Seckmeyer et al., 1994; Zerefos et al., 1995), which are associated with the accelerated ozone decline during 1992 and 1993 (Bojkov et al., 1993). Decreasing ozone results in increases of solar radiation at wavelengths where ozone is a strong absorber (e.g. $\lambda < 310$ nm). Kerr and McElroy (1993) were among the first to report large UV-B changes at the shortest available wavelengths (e.g. at 300 nm), which were as large as 35% per year during the winter, but 7%

* Π. ΘΕΟΧΑΡΗΣ, Χ. ΖΕΡΕΦΟΣ, Α. ΜΠΑΗΣ, Χ. ΜΕΛΕΤΗ.— **Οι μεταβολές του Όζοντος και της Υπεριώδους Ήλιακής Ακτινοβολίας στην Ελλάδα.**

per year in the summer-time, using data prior to 1993. Due to the effects of clouds, the limited number of observations in winter and the larger uncertainty of the Brewer instrument at 300 nm, these findings have been questioned (Michaels et al., 1994). Seckmeyer et al. (1994), reported increases of the UV-B erythemal dose, during the summer months of 1993 relative to the values observed in 1992, which were in the range between 2 % and 11 % and analogous results have been reported by Zerefos et al. (1995).

Besides the limitation imposed by the available instrumentation, changes in clouds, haze, pollution, surface albedo and aerosols all contribute to decreasing the significance of observed long-term solar UV-B changes induced by corresponding total ozone changes. The results presented here are based on solar UV-B spectral measurements made at Thessaloniki (40° N), Greece, during the period from November 1990 through November 1993, as well as on total ozone measurements made since March 1982. The study aims at quantifying the observed effects of the variability of total ozone on solar UV-B irradiances received at the ground, by excluding long-term effects of changes in cloudiness.

Data and Instrumentation

Both spectral UV-B irradiances and the total ozone column are measured continuously, by using a single monochromator Brewer spectrophotometer, at the Laboratory of Atmospheric Physics (LAP) of the Aristotle University of Thessaloniki. The Brewer spectrophotometer is capable in measuring the global solar irradiance in the spectral region from 290 to 325 nm, at increments of 0.5 nm. Its absolute calibration is maintained by the use of 1000 W lamps traceable to the standards of the National Institute of Standards and Technology (NIST), and its long-term stability is monitored and assured by using a set of 50 W standard lamps. The absolute calibration of the instrument is performed in the dark room of LAP at intervals of about two months, or more often, if a drift is detected from the measurements of the 50 Watt lamps. These regular lamp tests are done in the field at shorter intervals (every two weeks), supplementing the overall calibration procedure of the Brewer spectrophotometer. From a series of such checks it was found that the repeatability of the UV-B spectral measurements with the Brewer instrument and its stability in time are within $\pm 4\%$.

The regular schedule of the UV-B spectral measurements includes measurements performed at selected solar zenith angles from sunrise to sunset. Since the instrument is operating automatically in unattended mode, the spectral scans are performed under a variety of atmospheric and environmental conditions.

Results and Discussion

The years of 1992 and afterwards and particularly 1993 have been years of record-low ozone values over a large part of the northern hemisphere (Bojkov et al., 1993; Kerr et al., 1993; Gleason et al., 1993) and their cause was attributed to a number of phenomena, such as the westerly phase of the GBO, prolonged El Nino and a small transient component of Pinatubo volcanic eruption (Zerefos et al., 1992; Zerefos et al., 1994). Observed total ozone deficiencies during the winter/spring seasons of 1992/93 over the northern hemispheric middle and high latitudes, exceeded 15% and associated large enhancements of UV-B radiation, were monitored at both Reykjavik (62° N) and at Thessaloniki (40° N) (Bais et al., 1994).

In 1993, total ozone values over the middle latitudes of the northern hemisphere in winter/spring were about -17% below normal, which became -8% in early autumn of the same year. Around the 40th and the 60th northern hemisphere parallels of latitude during winter/spring of 1993 the ozone deficiencies were -11% and -14% respectively, the QBO being in its westerly phase (WMO). The corresponding departures for winter/spring 1994 were -2% and -4% and the phase of the QBO changed to easterly. In spite of the fact of the extreme ozone deficit in 1993 over the northern hemisphere middle latitudes, ozone was seldom below 240 m-atm-cm. The years 1992 and 1993 presented large accelerations of the ozone decline (Stolarski et al., 1992; WMO, 1994). It has been demonstrated in several studies that large UV-B enhancements are associated with the recent total ozone decreases.

Figure 1 shows the total ozone record over Greece from the longest available measurements with a Brewer spectrophotometer which started in March 1982. The anomalies of 1993 and 1995 are notable and of course the accelerations of the ozone decline which is easily seen in the 90's. It should be mentioned, however, that in addition to chemical processes equatorial winds in 1993 and 1995 were westerly, which is known to coincide with larger than

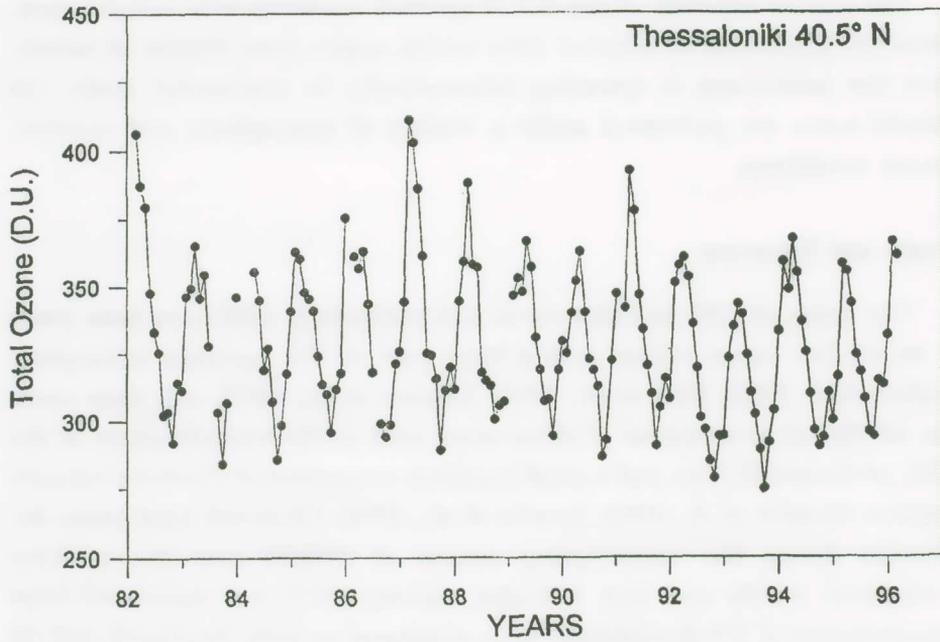


Fig. 1. Total ozone variation over Thessaloniki in a period between 1982 and 1996.

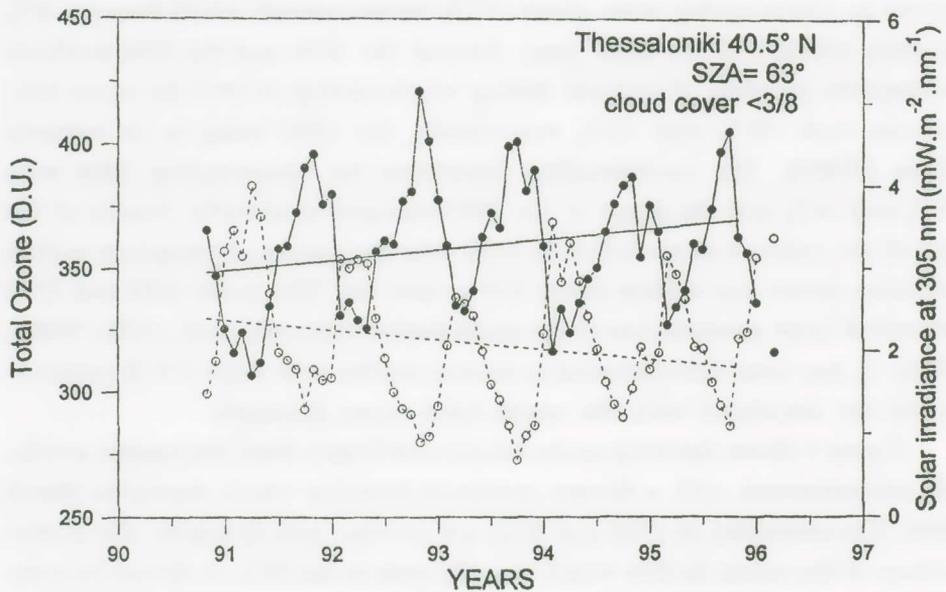


Fig. 2. Total ozone and solar irradiance at 305 nm over Thessaloniki, for the same period of years.

5 % ozone reductions at the latitude of Greece. As the equatorial winds shifted recently, slightly below normal ozone values have been recorded in 1996.

Figure 2 shows time series of solar UV-B radiation at 305 nm reaching ground level at Thessaloniki (40° N). This is a wavelength where the UV flux reaching ground level is very sensitive to the ozone column density. All data are taken at a solar zenith angle of 63°, under clear skies. The corresponding total ozone values are also shown as monthly means. Both UV-B and total ozone time series show strong seasonal variations, as expected, and are in opposite directions. The observations show that there has been a clear long term increase in the UV-B radiation, and a simultaneous decrease in ozone column densities over the time period 1991-1996. Linear best-fit lines are drawn to emphasize these changes and they show about 2.7% UV-B increase per year for a 1% decrease in total ozone per year. Assuming that the UV-B increases are caused by reduced ozone column densities, this would lead to radiative enhancement factor of about 5 at this shorter wavelength (305 nm).

Table 1 shows the calculated spectral UV-B changes for three periods (1990-93, 1990-94, 1990-95), which show that even for near to cloudless skies ($CLC \leq 2/8$) the 1993 increase in UV-B wavelength is rather a large perturbation, as contrasted to the wrongly used term «trend». This is because we can see, for example, that at Thessaloniki (Table 1) the change of solar irradiance at 305 nm moved from 12,7% per year during the first 3 year period (1991-93) to about 2.7% per year, if we add the last two years of obs (1994-96). This result shows how delicate are these changes and the need for long-term, carefully calibrated spectral measurements under clear skies before assessing tendencies in UV-B.

TABLE 1

PERIOD	11/90-11/93			11/90-11/94			11/90-11/95		
	MEAN	SLOPE	%	MEAN	SLOPE	%	MEAN	SLOPE	%
YEAR - 305	3.38	0.43	12.65	3.33	0.12	3.66	3.35	0.09	2.89
YEAR - 325	92.11	1.77	1.92	92.58	1.31	1.41	93.45	1.48	1.59
YEAR - O3	315.00	-16.79	-5.33	315.99	-6.30	-1.99	316.29	-3.04	-0.96

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Οί μεταβολές του όζοντος και της υπεριώδους ήλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα

Οί παράγοντες που συντελούν στη διατήρηση της προστατευτικής ασπίδας του όζοντος που έχει ο πλανήτης μας έναντι στις θανατηφόρες ακτίνες του ήλιου δυστυχώς είναι εύθραυστη και ήδη με τις ουσίες που ελευθέρωσε τις τελευταίες δεκαετίες ο άνθρωπος την άρραίωσε σημαντικά, κυρίως στα μεγάλα και μέσα γεωγραφικά πλάτη. Η ασπίδα αυτή έχει κατά καιρούς άρραίωσε μέχρι και 40 % στις Άρκτικές περιοχές. Εύτυχως, η άρραίωση αυτή είναι μικρότερη το θέρος και πάνω από τα μέσα πλάτη. Τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα μετά το 1980 η άρραίωση του στρώματος αυτού στην Ελλάδα έχει κυμανθεί μεταξύ 2 % και 15 %. Η μεγαλύτερη άρραίωση έχει παρατηρηθεί το 1993 και 1995 και η μικρότερη φέτος το 1996. Οί μεταβολές αυτές του όζοντος συνεπάγονται μεταβολές στην καρκινογενετική επικίνδυνη υπεριώδη ήλιακή ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος και ιδιαίτερα στα μήκη κύματος τα μικρότερα των 320 nm. Η αύξηση της επικίνδυνης αυτής υπεριώδους ακτινοβολίας στο κεντρικό μήκος κύματος των 305 nm στην Ελλάδα παρακολουθείται από το Έργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης από το 1989 το οποίο διαθέτει την πλέον μακροχρόνια χρονοσειρά αυτών των μετρήσεων υπό άνεφελος συνθήκες. Η αύξηση αυτή μέσα στην τελευταία πενταετία είναι κατά μέσο όρο 2 % κατ' έτος. Ουσιαστικά η μετρηθείσα αύξηση είναι πολύ μικρότερη από εκείνη την οποία στατιστικά έχουν υπολογίσει για τα μέσα πλάτη διάφοροι Έρευνητές και είναι πολύ δύσκολο να γίνουν προβλέψεις για το μέλλον, διότι μέχρι σήμερα οί φασματικές παρατηρήσεις υπεριώδους καλύπτουν μιὰ μικρή περίοδο μιᾶς περίπου πενταετίας.

Στην εργασία αυτή αποδεικνύεται άκριβώς ότι η αύξηση της υπό μελέτην υπεριώδους ακτινοβολίας έξαρτάται από την περίοδο την οποία μελετάμε. Π.χ. εάν κανείς υπελόγιζε την κατ' έτος μεταβολή της υπεριώδους ήλιακής ακτινοβολίας υπό άνεφελος συνθήκες στη σταθερή ζενιθία γωνία του ήλιου 63°, από το 1991 έως το 1993, θα έβρισκε μιὰ αύξηση κατ' έτος περίπου 19 %, ενώ από το 1991 έως το 1995 ή κατ' έτος αύξηση αυτή μειώνεται στο 4 % και από το 1991 έως το 1996 μειώνεται ακόμη περισσότερο σε περίπου 2.8 % κατ' έτος. Θα πρέπει εδώ να τονιστεί ότι οί μεταβολές της υπεριώδους ήλιακής ακτινοβολίας που φθάνουν στο έδαφος, έπειδή έξαρτώνται από πάρα πολλούς παράγοντες (νέφωση, ανακλαστικότητα κλπ.), είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν και να γίνονται προεκτάσεις των μεταβολών στο μέλλον. Ο

κανόνας που χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν ότι για κάθε 1% μείωση του όζοντος ή έρυθματώδους δόση της υπεριώδους αϋξάνει κατά 1.5% έχει σήμερα αμφίβολη αξία, ιδιαίτερος μετά τις λεπτομερείς μετρήσεις ακριβείας που πραγματοποιούνται σε όρισμένους εξειδικευμένους σταθμούς στον κόσμο, μεταξύ των οποίων και εκείνες στο Έργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας στο ΑΠΘ, στο οποίο έλαβαν χώραν το πρώτα διεθνή πειράματα αλληλοβαθμονόμησης βαρέων όπτικων όργάνων.

Ό άνθρωπος με πολλούς τρόπους έχει επιδράσει στο στρώμα του όζοντος: με τη χρήση των χλωροφθορανθράκων, με τη χρήση φυτοφαρμάκων, με τις στρατοσφαιρικές αεροπορικές πτήσεις και γενικότερα με την αύξηση της όξινισης της ατμόσφαιρας. Δυστυχώς, παρά την ύπογραφή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ για τη σωτηρία του στρώματος του όζοντος και παρά την πρόοδο που έχει γίνει με μεγάλα πειράματα μέσα στην στρατόσφαιρα, υπάρχουν πολλά αναπάντητα έρωτήματα που σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές φυσικές και χημικές διεργασίες που γίνονται στους τροπικούς και οι όποτες δέν έχουν μελετηθεί έπαρκώς. Τα πράγματα βέβαια θά ησαν σαφώς χειρότερα αν δέν είχαν έπιβεβαιωθεί έγκαιρος οι θεωρίες των καθηγητών Crutzen, Molina και Rowland το 1984 στη Χαλιδική και το 1885 από τη Βρετανική Άνταρктиκή αποστολή.

Ήδη, εκτός του όζοντος και πολλά από τα άλλα άερια της ατμόσφαιρας δείχνουν άνησυχητικές μεταβολές που ύποδηλώνουν σημαντικές αλλαγές στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας στα χρόνια που έρχονται. Όλες οι ένδείξεις δείχνουν πως το φαινόμενο του θερμοκηπίου ήδη έχει άρχίσει να λειτουργεί και αναμένονται χειρότερες μέρες για περιοχές όπως η Μεσόγειος. Έπίσης αναμένεται ότι στο έγγυς μέλλον ή άραίωση του όζοντος με την αύξηση της υπεριώδους άκτινοβολίας έχει ως άλλο άποτέλεσμα την ένταση του νέφους των πόλεων και γενικότερα την αλλαγή της χημικής σύστασης της ατμόσφαιρας μέσα στις προσεχείς δεκαετίες. Στο όλο αυτό πολύπλοκο σχήμα των αλληλεπιδράσεων όζοντος - άκτινοβολίας - σύστασης της ατμόσφαιρας ύπεισέρχεται και ό παράγοντας **βιόσφαιρα**, ή όποια συμμετέχει στις έκπομπές διαφόρων αερίων, σημαντικών για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μας. Δυστυχώς ό άνθρωπος διατάραξε και διαταράσσει με τις συνεχείς καύσεις των καυσίμων και αύτη την ίσοροπία και έτσι αναμένουμε μία σημαντική έξέλιξη στο φαινόμενο του θερμοκηπίου μέσα στις έπόμενες δεκαετίες.

Σε περιοχές όπως η Ελλάδα και η Μεσόγειος, τόσο το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όσο και ή άραίωση του στρώματος του όζοντος, αλλά και γενικότερα ή αλλαγή της σύστασης και ατμόσφαιρας, θά έχουν σοβαρές συνέπειες, διότι οι περιοχές αυτές είναι και γενικώς θερμές περιοχές της Εύρώπης και ήλιόλουστες. Οι

ἐπικείμενες ἀλλαγές στη Μεσόγειο ἐνδιαφέρουν ἀμέσως τὰ ἑκατομμύρια τῶν ἐπισκεπτῶν τῆς καὶ γι' αὐτὸ τὸν λόγο τὰ κράτη στὴν περιοχὴ αὐτὴ θὰ πρέπει νὰ ἐνημερώνουν τοὺς πολίτες τους γιὰ τὴν ὑπάρχουσα κατάσταση τοῦ περιβάλλοντος. Τέλος, θὰ πρέπει νὰ σημειωθεῖ ὅτι, παρ' ὅλα τὰ μέτρα ποὺ πάρθηκαν μέχρι σήμερον, τὸ στρῶμα τοῦ ὄζοντος δὲν ἀναμένεται νὰ ἐπανέλθει πλήρως παρὰ μετὰ ἀπὸ 70 ἕως 100 χρόνια.

R E F E R E N C E S

- Bais, A.F., C.S. Zerefos, C. Meleti, I.C. Ziomas, K. Tourpali, «Spectral measurements of solar UV-B radiation and its relations to total ozone, SO₂ and clouds», *J. Geophys. Res.*, **98**, 5199-5204, 1993.
- Bais, A.F., C.S. Zerefos, C. Meleti, I.C. Ziomas, K. Tourpali, V. Karaouza, D. Balis, «Variability of solar UV-B radiation at high and middle latitudes during EASOE 1991|92», *Geophys. Res. Let.* **21**, 1403-1406, 1994.
- Bojkov, R.D., C.S. Zerefos, D.S. Balis, I.C. Ziomas, A.F. Bais, «Record low total ozone during northern winters of 1992 and 1993», *Geophys. Res. Let.*, **30**, 1351-1354, 1993.
- Frederick, J.E., A.D. Alberts, «Prolonged enhancement in surface ultraviolet radiation during the Antarctic spring of 1990», *Geophys. Res. Let.* **18**, 1869-1871, 1991.
- Kerr, J.B., C.T. McElroy, «Evidence for large upward trends of ultraviolet-B radiation linked to ozone depletion», *Science*, **262**, 1032-1034, 1993.
- Madronich, S., «Implications of recent total atmospheric ozone measurements for biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface», *Geophys. Res. Let.*, **19**, 37-40, 1992.
- McKenzie, R.L., W.A. Matthews, P.V. Johnston, «The relationship between erythematous UV and ozone, derived from spectral irradiance measurements», *Geophys. Res. Let.*, **18**, 2269-2272, 1991.
- Michaels, P.J., S.F. Singer, P.C. Knappenberger, «Analyzing ultraviolet-B radiation: Is there a trend?» *Science*, **264**, 1341-1342, 1994.
- Seckmeyer, G., B. Mayer, R. Erp, G. Bernhard, «UV-B in Germany higher in 1993 than in 1992», *Geophys. Res. Let.*, **21**, 577-580, 1994.
- Stamness, K., J. Zhonghai, J. Slusser, C. Booth, T. Lucas, «Several-fold enhancement of biologically effective ultraviolet radiation levels at McMurdo station Antarctica during the 1990 ozone «Hole», *Geophys. Res. Let.*, **19**, **10**, 1013-1016, 1992.
- Zerefos, C.S., A.F. Bais, C. Meleti, «UV-B measurements under extreme ozone deficiencies», *Proc. Intern. Symp. on Environmental UV Radiation and Health Effects*, May 4-6, Munich-Neuherberg, Germany, 1993.
- Zerefos, C.S., C. Meleti, A.F. Bais, A. Lambros, «The recent UV-B variability over south-eastern Europe», *Photochem. Photobiol.*, B: Biology, **31**, 15-19, 1995.
- Zerefos, C.S., A.F. Bais, C. Meleti, I.C. Ziomas, «A note on the recent increase of solar UV-B radiation over northern middle latitudes», *GRL*, **22**, **10**, 1245-1247, 1995.