

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 9ΗΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1995

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΜΑΝΟΥΣΟΥ ΜΑΝΟΥΣΑΚΑ

ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑ.— Χρονολόγησις δύο ελληνικῶν πυραμιδοειδῶν κτισμάτων ἐκ λαξευμένων μεγαλίθων διὰ τῆς μεθόδου τῆς θερμοφωταυγείας, ὑπὸ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Περ. Σ. Θεοχάρη, ἐν συνεργασίᾳ μετὰ τοῦ κ. Ἰωάννου Λυριτζῆ, Ἐρευνητοῦ τοῦ ΚΕΑΣΜ Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, καὶ τοῦ καθηγητοῦ κ. R. B. Galloway, τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Ἐδιμβούργου\*.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εἰς τὸν Ἑλλαδικὸν χῶρον ἀναφέρονται δύο πυραμιδοειδῆ κτίσματα, τὸ ἐν εἰς τὸ Λυγουριὸν καὶ τὸ ἕτερον εἰς τὸ Ἑλληνικὸν τῆς Ἀργολίδος. Εἰς τὴν ἐργασίαν αὐτὴν ἀνελήφθη ἡ μελέτη αὐτῶν τῶν δύο λίαν ἐνδιαφερόντων ἀρχαίων μνημείων (Εἰκόνες 1,4). Ἡ πλήρης μελέτη τῶν μεγαλιθικῶν αὐτῶν κτισμάτων ἀφορᾷ εἰς τὰ ἑξῆς:

α) Τὴν ἀνάπτυξιν νέας φυσικῆς μεθοδολογίας χρονολογήσεως τῶν λαξευμένων μεγαλίθων τῶν χρησιμοποιηθέντων διὰ τὴν κατασκευὴν των. Ἡ μέθοδος αὐτὴ βασίζεται εἰς τὴν ἀρχὴν μετρήσεως τῆς θερμοφωταυγείας [1,2].

β) Τὸν ἐντοπισμὸν ἄλλων ὑπεδαφίων ἀρχαιοτήτων ἐντὸς καὶ περὶ τῶν κτισμάτων αὐτῶν με λεπτομερεῖς μετρήσεις γεωφυσικῆς διασκοπήσεως, διὰ χρησιμοποίησεως φορητοῦ πρωτονιακοῦ μαγνητομέτρου καὶ ἠλεκτρομαγνητικῆς συσκευῆς.

γ) Τὴν σύγκρισιν τῶν δύο αὐτῶν κτισμάτων με ἄλλα μεγαλιθικά κτίσματα (κυκλώπεια) ἐντὸς καὶ ἐκτὸς Ἑλλάδος, καί, τέλος

δ) Τὴν μελέτην τοῦ προσανατολισμοῦ τοῦ πυραμιδοειδοῦς κτίσματος τοῦ Ἑλληνικοῦ ἐν σχέσει με τὸν ἡλιακὸν καὶ τοὺς ἀστρικοὺς κύκλους.

\* P. S. THEOCARIS, I. LIRITZIS, R. B. GALLOWAY, **Dating of two Hellenic Pyramids by a new principle of Thermoluminescence.**



Εικόνα 1. Σημερινή άποψη της πυραμίδος του Έλληνικού.



Εικόνα 2. Σημερινή άποψη της καταστραμμένης πυραμίδος Λυγουριού.



Εικόνα 3. Μεγαλιθική τετράγωνος κατασκευή εις Φίχτι Μυκηρῶν.



Εικόνα 4. Στρογγυλὸς λαξευμένος βαθουλωτὸς ὄγκολιθος με ἐξέχουσαν ἀναθύρωσιν εις τὸ κέντρον.

Ἐνταῦθα θὰ ἀσχοληθῶμεν μόνον μὲ τὸ θέμα (α) διὰ δὲ τὰ λοιπὰ θὰ ἀκολουθήσουν ἄλλαι ἐργασίαι.

Ἡ μοναδικὴ ὀλοκληρωμένη ἐρευνα ἀφορῶσα τὰς κατασκευὰς αὐτὰς εἶναι ἡ ὑπὸ τῆς Ἀμερικανικῆς Σχολῆς Κλασσικῶν Σπουδῶν τῶν Ἀθηνῶν ἀναληφθεῖσα ἐρευνα τὸ ἔτος 1937 ἀπὸ τὴν ἀνασκαφικὴν ὁμάδα ἀμερικανῶν ἀρχαιολόγων ὑπὸ τὴν ἐποπτεῖαν τοῦ καθηγητοῦ Lord [3]. Ἐξἄλλου πρῶτος ἀνασκαφὴ εἰς τὴν πυραμίδα τοῦ Ἑλληνικοῦ ἐγένετο ὑπὸ τοῦ Wiegand, ἐνῶ εἷς τὴν πυραμίδα τοῦ Λυγουριοῦ ἐρευναί ἐγένοντο ὑπὸ τοῦ Scranton, κατὰ τὰ ἔτη 1936 καὶ 1937 [3]. Ὁ ἐρευνητὴς οὗτος περιγράφει καὶ τὰ ἀνευρεθέντα κεραμεϊκὰ ὕστρακα. Μία πρώτη ἐκτίμησις τῆς ἡλικίας τῶν κτισμάτων ἀπὸ τὸν Lord ἐπὶ τῇ βάσει τῶν ἀνευρεθέντων θραυσμάτων ἀγγείων τὰ κατατάσσει εἰς τὸ τέλος τοῦ 4ου αἰ. π.Χ.

Διὰ τὴν ἀσφαλεστέραν χρονολόγησιν τῆς κατασκευῆς τῶν κτισμάτων αὐτῶν ἐπενοήθη ὑφ' ἡμῶν νέα πειραματικὴ μέθοδος χρονολογήσεως, ἡ ὁποία βασίζεται εἰς τὸ φυσικὸν φαινόμενον τῆς θερμοφωταυγείας. Κατὰ τὴν μέθοδον ταύτην ἀνεπτύχθη νέος φυσικὸς μηχανισμὸς, ὁ ὁποῖος σχετίζεται ἀμέσως μὲ τὴν περίοδον κατασκευῆς τῶν μεγαλιθικῶν αὐτῶν κτισμάτων.

#### ΜΕΘΟΔΟΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΕΩΣ ΔΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΦΩΤΑΥΓΕΙΑΣ (ΘΦ)

Ἡ μέθοδος χρονολογήσεως ὀρυκτῶν ὑλικῶν μὲ ΘΦ εἶναι ἤδη γνωστὴ ἀπὸ τὸ τέλος τῆς δεκαετίας τοῦ 1960 ὅταν πρωτοεφημέροσθη ὑπὸ τῶν Kennedy καὶ Knopff [4] διὰ τὴν μέτρησιν τῆς ἡλικίας ἀρχαίων ἐλληνικῶν ἀγγείων. Ἐν συνεχείᾳ, πολλοὶ ἐρευνηταὶ ἐφήρμοσαν τὴν μέθοδον ταύτην εἰς ἀρχαιολογικὰ ὑλικά, ὅπως π.χ. κεραμεϊκὰ, ἐψημένους πηλούς, καμένας πέτρας, μεταλλουργικὰς σκωρίας, πορσελάνας, καμένους πυρολίθους [1,2,5], ἀλλὰ καὶ εἰς γεωλογικὰ ὑλικά, ὅπως λάβας, σταλαγμίτας, μετεωρίτας, σπηλιοαποθέσεις, ἰζήματα αἰολικῆς προελεύσεως καὶ ὠκεάνια ἰζήματα [1,2,6-13].

Τὸ φαινόμενον τῆς ΘΦ συσχετίζεται μὲ τὰ κρυσταλλικὰ ὑλικά ὅπως ὁ χαλαζίας, ὁ ἄστριος, τὸ ζιρκόνιον, ὁ ἀσβεστίτης κ.ἄ. καὶ βασίζεται εἰς τὴν ἀλληλεπίδρασιν τῶν ἠλεκτρονίων καὶ τῶν ὀπῶν εἰς τοὺς κρυστάλλους μὲ δύο εἶδη πλεγματικῶν ἀτελειῶν ἧτοι τὰς παγίδας ἠλεκτρονίων καὶ τὰ φωταυγῆ ἢ χρωματικὰ κέντρα.

Διὰ τῆς ἀκτινοβολήσεως τῶν κρυστάλλων αὐτῶν μὲ ἰονίζουσας ἀκτινοβολίας (α,β,γ, καὶ κοσμικὴν) αἱ παγίδες ἠλεκτρονίων πληροῦνται μὲ ἠλεκτρόνια ἀπὸ τὸ φαινόμενον ἰονισμοῦ καὶ μεταστάσεων εἰς τὸ πλέγμα. Μὲ τὴν θέρμανσιν τὰ ἠλεκτρόνια ἀποδεσμεύονται ἀπὸ τὰς παγίδας ὀρισμένου ἐνεργειακοῦ βάθους (ἀναλόγου πρὸς τὴν θερμοκρασίαν) ὥστε αἱ παγίδες νὰ ἐπαναπληροῦνται ἀπὸ τὴν ἀκτινοβολίαν εἰς τὸ

έργαστήριοι κατά τον χρόνον τῆς ἐρεῦνης [1,14]. Τὸ πλῆθος τῶν παγιδευμένων ἠλεκτρονίων ἀποτελεῖ μέτρον τῆς ἡλικίας τοῦ ὑλικοῦ ἀπὸ τὴν τελευταίαν θέρμανσίν του μέχρι τοῦ χρόνου ἐλέγχου του.

Ἀντιθέτως, εἰς τὰ ὠκεάνια ἰζήματα τὸ «ὠρολόγιον ΘΦ» τίθεται εἰς λειτουργίαν, οὐχὶ ἀπὸ τὴν θέρμανσιν τῶν ἰζημάτων, ἀλλὰ ἀπὸ τὴν δρᾶσιν τοῦ ἡλιακοῦ φωτός. Τὰ ἠλεκτρόνια εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἀποδεσμεύονται ἀπὸ τὰς εὐαισθήτους παγίδας, ἐνῶ παραμένει ὑπολειμματικόν τι ποσὸν ΘΦ. Ἡ δυνατότης χρονολογήσεως διὰ τῆς μεθόδου ΘΦ ἰζημάτων ἀνεγνωρίσθη πρῶτον ἀπὸ τὸν MOROZON [15] καὶ ἀργότερον ὑπὸ τοῦ Shelkopyas [16] εἰς τὴν Σοβιετικὴν Ἑνωσιν. Εἰς τὴν Δύσιν οἱ Bothner καὶ Johnson [17] ἀνέφερον μελέτας μὲ ΘΦ εἰς ἰζήματα βαθείας θαλάσσης, ἀλλὰ οὐσιαστικὴ πρόοδος ἐπετεύχθη μόνον μετὰ τὸ 1972 ὅποτε οἱ Wintle καὶ Huntley [10], ἐφαρμόσαντες τὴν μέθοδον τῶν Huntley καὶ Johnson [18], ἔλαβον σειρὰν μετρήσεων ΘΦ διὰ τῶν ὁποίων ἐχρονολόγησαν ἰζήματα ἀπὸ ὠκεανούς. Ἐκτοτε σημαντικὸς ἀριθμὸς ἐπιστημόνων προώθησαν τὴν μέθοδον ταύτην ὀπτικῆς ἀποδεσμεύσεως ἠλεκτρονίων διὰ τὴν χρονολόγησιν ἰζημάτων ἀπὸ ὠκεανούς, ποταμούς καὶ ἰζημάτων αἰολικῆς προελεύσεως (loess) [19-22].

Καὶ κατὰ τοὺς δύο τρόπους ἀποδεσμεύσεως τῶν ἠλεκτρονίων, εἴτε διὰ θερμάνσεως, εἴτε ὀπτικῶς, ἡ ἐξίσωσις τῆς ἡλικίας τοῦ ἐξεταζομένου σώματος δίδεται ἀπὸ τὸν λόγον τῆς συσσωρευμένης δόσεως ἐκ τῆς ἀκτινοβολίας πρὸς τὴν ἐτησίαν δόσιν ἐκ τῆς ἀκτινοβολίας, ἥτοι:

$$T = \frac{D}{(da + d\beta + d\gamma + de)} \quad (1)$$

ὅπου  $T$  ἡ πρὸς μέτρησιν ἡλικία τοῦ ὑπὸ ἐξέτασιν ἀντικειμένου καὶ  $da$ ,  $d\beta$ ,  $d\gamma$  καὶ  $de$  αἱ ἐτήσιαι δόσεις ἐκ τῶν ἀντιστοιχῶν ἀκτινοβολιῶν ἄλφα, βῆτα, γάμμα, τῶν προσερχομένων ἀπὸ τὴν φυσικὴν ραδιενέργειαν τοῦ περιβάλλοντος ( $d\gamma$ ), καθὼς καὶ τοῦ ἰδίου τοῦ ὑλικοῦ ( $da + d\beta$ ), ἐνῶ ἡ  $de$  ἐκφράζει τὴν κοσμικὴν ἀκτινοβολίαν.

Ἐξἄλλου ἡ συσσωρευμένη ἢ ἰσοδύναμος δόσις,  $D$ , προσδιορίζεται διὰ τῆς μεθόδου τῶν προσθετικῶν δόσεων [1,9]. Τὰ ραδιενεργὰ στοιχεῖα εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν εἶναι  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  καθὼς καὶ τὰ παράγωγά τους.

Κατὰ τὰς ἐφαρμογὰς εἶναι ἀπαραίτητον νὰ διακρίνωμεν μεταξὺ λεπτῶν κόκκων καὶ μεγάλων κόκκων τοῦ μετρούμενου ὄρυκτοῦ. Εἰς τὴν πρώτην περίπτωσιν, μὲ διάστασιν κόκκων 2-11  $\mu\text{m}$ , συμμετέχει ἡ  $\alpha$ -ἀκτινοβολία, ἐνῶ εἰς τὴν δευτέραν, μὲ κόκκους διαμέτρου μεγαλυτέρας τῶν 30  $\mu\text{m}$ , ἡ συνεισφορὰ τῶν  $\alpha$ -σωματιδίων δὲν λαμβάνεται ὑπόψιν, λόγῳ τῆς μικρᾶς ἐμβελείας τῆς. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται δι' ἐγχύσεως ἐπι

τοῦ ἐξωτερικοῦ στρώματος τῶν μεγάλων κόκκων ὀξέων εἰς βάθος περίπου 20  $\mu\text{m}$ . Εἶναι ἀπαραίτητον διὰ τὴν χρονολόγησιν ὑλικοῦ τινὸς μὲ ΘΦ τὸ σύνολον τῆς ΘΦ του, ἥτοι ἡ παραμένουσα ΘΦ κατὰ τὴν κατασκευὴν του εἰς τὴν ἀρχαιότητα νὰ εἶναι μηδενικὴ ἢ πολὺ μικρά. Διὰ τὴν ἐπίτευξιν τοῦ ἀνωτέρω σκοποῦ εἶναι δυνατὸν ἢ νὰ θερμάνωμεν τὰ ὑλικά μέχρι θερμοκρασίας 500°C, ὅταν πρόκειται διὰ κεραμικά ἢ καμένους πυρολίθους, ἢ καμένους λίθους κ.ἄ., ἢ νὰ ἐκθέσωμεν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς ἀντικείμενα καὶ ἰζήματα μὴ δυνάμενα νὰ θερμανθοῦν. Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην ἔχει γίνεαι παραδεκτὸν ὅτι εἰς τὴν περίοδον προεναποθέσεως τὸ ἴζημα ἐκτίθεται εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς, πρᾶγμα ποῦ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴ δραστικὴν μείωσιν τῆς ΘΦ, οὐχὶ ὅμως καὶ τὸν μηδενισμόν της. Ὡστε, ἐν ἀντιθέσει πρὸς τὰ θερμαινόμενα ὑλικά, τὰ ἰζήματα ἔχουν διακεκριμένον μὴ μηδενικὸν ἐπίπεδον παραμενούσης ΘΦ, τὸ ὁποῖον ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν ἡλικίαν μηδὲν τοῦ ἀντικειμένου, ἥτοι τοῦ χρόνου κατασκευῆς του. Τὸ ἐπίπεδον τοῦτο τῆς παραμενούσης ΘΦ εἶναι ἀπαραίτητον νὰ προσδιορισθῇ ὥστε νὰ καθορισθῇ ἡ πραγματικὴ του ἡλικία.

#### Η ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΣ ΕΙΣ ΛΑΞΕΥΜΕΝΟΥΣ ΜΕΓΑΛΙΘΟΥΣ ΜΕ ΘΦ

Διὰ τὸν καθορισμὸν τῆς ἡλικίας κατασκευῆς ἐκ μεγαλίθων ἐβασίσθημεν εἰς τὴν ἀρχὴν χρονολογήσεως ἰζημάτων διὰ τῆς ΘΦ καὶ ἐφηρμόσαμεν ἀνάλογον σκεπτικὸν εἰς τὴν λάξευσιν τῶν ἀσβεστολιθικῶν μεγαλίθων [23]. Μὲ τὴν νέαν φυσικὴν ἀρχὴν, κατὰ τὴν λάξευσιν τῶν μεγαλίθων ἀπὸ τοὺς λιθοξόους τῆς ἐποχῆς ἐκείνης δεχόμεθα ὅτι ἐμεσολάβησεν χρονικὸν τι διάστημα κατὰ τὸ ὁποῖον ὁ λαξευμένος ὀγκόλιθος παρέμεινεν ἐκτεθειμένος εἰς τὸ φῶς τῆς ἡμέρας ἕως ὅτου τοποθετηθῇ εἰς τὸ κατάλληλον μέρος τοῦ τείχους ἢ τοῦ κτίσματος.

Κατὰ τὸ χρονικὸν αὐτὸ διάστημα, τὸ ὁποῖον κατ' ἐλάχιστον δὲν δύναται νὰ εἶναι μικρότερον τῶν 10—12 ὥρῶν ἡλιοφάνειας, ἡ λαξευμένη ἐπιφάνεια τοῦ ὀγκολίθου ἐκτίθεται εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς μὲ συνέπειαν αἱ ἠλεκτρονικαὶ φωτοευαίσθητοι παγίδες τοῦ ἀσβεστολίθου νὰ προσβάλλωνται ἀπὸ τὴν ἡλιακὴν ἀκτινοβολίαν μέχρι βάρους  $\sim 0.5 \text{ mm}$ , εἰς τρόπον ὥστε νὰ ἀποδεδεσμύωνται ἠλεκτρόνια ἐνυπάρχοντα εἰς τὸν λίθον (ἀποχρωματισμός). Ὁ βαθμὸς ἀποδεδεμύσεως τῶν ἠλεκτρονίων ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ χρόνου ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Ἡ ἐξάρτησις αὐτὴ ἀποτελεῖ τὸ εὐαίσθητον σημεῖον διὰ τὴν νέαν χρονολόγησιν, ὡς θὰ δεῖξωμεν κατωτέρω.

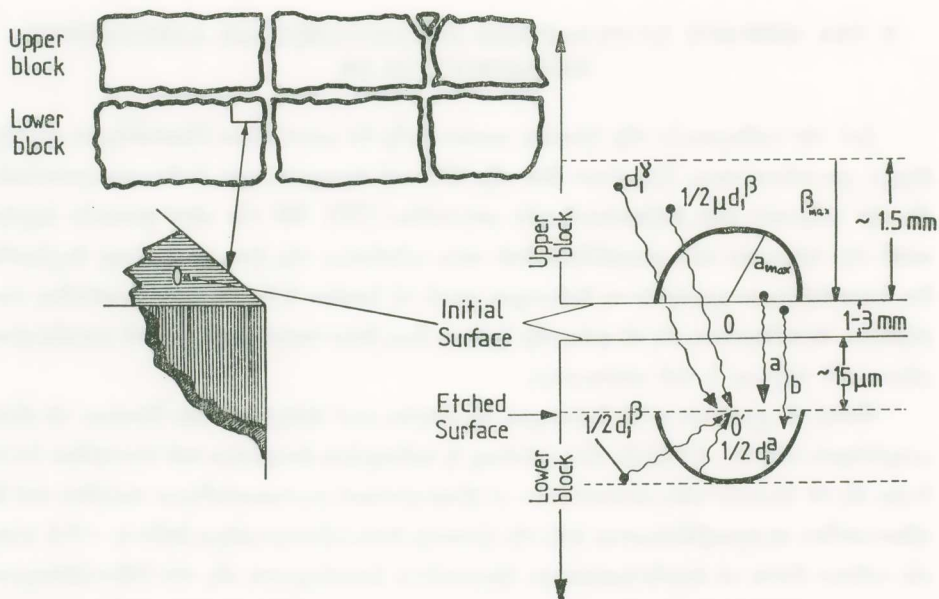
Ἀπὸ τὴν στιγμὴν κατὰ τὴν ὁποῖαν ὁ ὀγκόλιθος τοποθετεῖται εἰς τὸ κτίσμα, παύουν νὰ ἐκτίθενται εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς ὀρισμένοι ἐπιφάνειά του, αἱ ὁποῖαι εὐρίσκονται ἐν στενῇ ἐπαφῇ μὲ τοὺς γειτονικοὺς ὀγκολίθους, ὁπότε αἱ φωτοευαίσθητοι παγί-

δες εις τὸ ἀνώτερον στρώμα τῆς ἐπιφανείας του μέχρι βάρους  $\sim 0.5$  mm πληροῦνται με ἠλεκτρόνια ἀπὸ τὰς ἀκτινοβολίας τοῦ περιβάλλοντος ἤτοι:

- α) ἀπὸ τὴν  $\gamma$ -ἀκτινοβολίαν ἐκ τοῦ ἰδίου πετρώματος,
- β) ἀπὸ τὴν  $\beta$ -ἀκτινοβολίαν ἐκ τοῦ πετρώματος καὶ τῆς λάσπης εἰς τὴν ἐπαφὴν τῶν δύο μεγάλιθων,
- γ) ἀπὸ τὴν  $\alpha$ -ἀκτινοβολίαν ἐκ τοῦ πετρώματος,
- δ) ἀπὸ τὴν κοσμικὴν ἀκτινοβολίαν.

#### ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Διὰ τὴν παρασκευὴν δοκιμιῶν πρὸς ὑπολογισμὸν τῆς ἡλικίας τῶν ὀγκολίθων ἀφαιρεῖται διὰ λειάνσεως λεπτὴ ἐπιφανειακὴ στρώσις ἐκ τῶν ἐπιλεγέντων ὀγκολίθων πρὸς δοκιμὴν, εὐρισκομένη ἐν ἐπαφῇ με τὸν γειτονικὸν ὀγκολίθον εἰς τὴν κατασκευὴν, περιλαμβάνουσα καὶ τμῆμα ἐπιφανείας τὸ ὅποῖον ἀπαραιτήτως δὲν φωτίζεται ἀπὸ τὸ ἡλιακὸν φῶς λόγῳ τῆς ἐπαφῆς τῶν ὀγκολίθων (Σχῆμα 1). Ἐν συνεχείᾳ μετα-



Σχῆμα 1. Σχηματικὴ παράστασις δειγματοληψίας ἀπὸ τὴν κοπὴν μικροῦ τμήματος ἀσβεστολιθικοῦ πετρώματος ἀπὸ τοὺς ἐν ἐπαφῇ μεγάλιθους.

φέρομεν τὸ ληφθὲν δεῖγμα περιτυλιγμένον εἰς ἀδιαφανὲς περίβλημα εἰς τὸ ἐργαστήριον πρὸς μέτρησιν, ἔνθα ἡ δοκιμὴ λαμβάνει χώραν ὑπὸ συνθήκας συσκοτίσεως. Διὰ τὴν προπαρασκευὴν τοῦ δοκιμίου καθαρίζεται ἐπιμελῶς ἡ ἀρχικὴ ἐπιφάνεια λα-

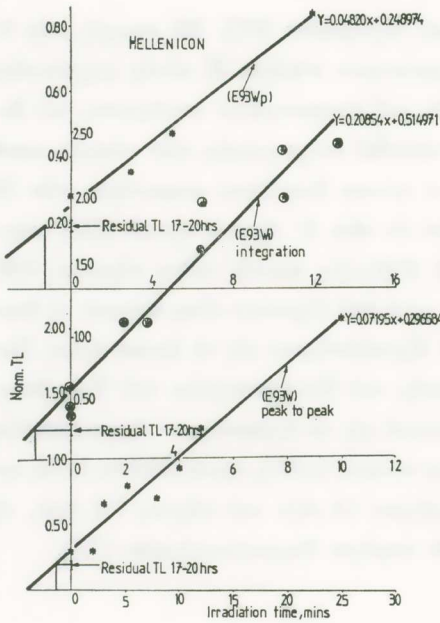
ξεύσεως δι' ύδατος και εν συνεχείᾳ δι' ἀραιοῦ διαλύματος HCl. Με συνεχῆ ροὴν ὕδατος ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας ἀποφλοιοῦμεν ἐπιφανειακὸν στρώμα ἐξ αὐτῆς μηχανικῶς, ὥστε νὰ δημιουργηθῆ λεπτὴ κόνις CaCO<sub>3</sub> ἐκ τοῦ ἐπιφανειακοῦ στρώματος τοῦ δοκιμίου πάχους μικροτέρου τοῦ 0.5 mm. Ἀκολουθεῖ διαχωρισμὸς τῶν κόκκων κατὰ κατηγορίας και συγκεντροῦνται ἰδιαιτέρως οἱ κόκκοι διαμέτρου μικροτέρας τῶν 30 μm. Τὸ δείγμα αὐτὸ τῆς κόνεως ἀποπλύνεται ἐκ νέου δι' ἀραιοῦ ὀξικοῦ ὀξέος περιεκτικότητος 0,5% ἐπὶ 1 min, ἵνα ἐπιτευχθῆ ἐξάλειψις παντὸς νόθου σήματος ΘΦ, προερχομένου ἐκ τῆς τριβῆς. Τὸ νέον δείγμα μετὰ ἀπὸ ξήρανσιν εἶναι ἔτοιμον νὰ ὑποβληθῆ εἰς μετρήσεις ΘΦ. Οἱ μετρήσεις ΘΦ ἐξετελέσθησαν εἰς τὸ ἐργαστήριον Πυρηνικῆς Χρονολογήσεως τοῦ Τμήματος Φυσικῆς τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Ἐδιμβούργου, καθὼς ἐπίσης και μερικαὶ προκαταρκτικαὶ εἰς τὸ ἐργαστήριον ἀρχαιομετρίας τοῦ «ΕΚΕΦΕ-Δημόκριτος». Ἐκαστον δείγμα κόνεως CaCO<sub>3</sub> προσκολλᾶται ἐντὸς λεπτῶν δισκίων ἀπὸ ἀνοξειδωτον χάλυβα διαμέτρου 12 mm και πάχους 0.5 mm, τῇ βοηθείᾳ σιλικόνης, ἡ ὁποία θερμαινόμενη δὲν παράγει θερμοφωταύγειαν [23].

#### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΦΩΤΑΥΓΕΙΑΣ

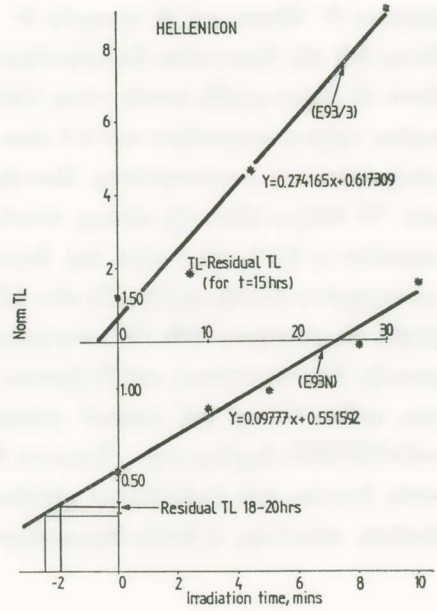
Διὰ τὴν μέτρησιν τῆς ΘΦ τῶν δοκιμίων ἠκολουθήθη ἡ μέθοδος διὰ τῶν προσθετικῶν δόσεων. Διὰ τῆς μεθόδου αὐτῆς μετρήσεως τῆς ΘΦ κατασκευάζεται ἡ καμπύλη μεταβολῆς τῆς ΘΦ εἰς βαθμονομημένην κλίμακα ἀκτινοβολήσεως τοῦ δείγματος κόνεως με σταθερὰν δόσιν προερχομένην ἀπὸ πηγὴν β-ἀκτινοβολίας Στροντίου-90 πρὸς Ὑττριον-90 (<sup>90</sup>St/<sup>90</sup>Yt): 40mCi (4.72 Gy/min). Διὰ τὰς μετρήσεις ἐχρησιμοποιήθη συσκευή ΘΦ κατασκευῆς τοῦ ἐργαστηρίου τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Ἐδιμβούργου [24], οἱ δὲ χρησιμοποιούμενοι ἡθμοὶ ἦσαν κυανοῖ 7-59, καθὼς και ἔτεροι οἱ ὁποῖοι ἀποκλείουν τὴν ὑπερέρυθρον ἀκτινοβολίαν H-3 και UG11, ὡς ἐπίσης και φωτοπολλαπλασιαστῆς τύπου EMI 9635Qa. Τὰ Σχήματα 2-4 δεικνύουν τὰς καμπύλας μεταβολῆς τῆς ἀνηγμένης ΘΦ συναρτήσεως τοῦ χρόνου ἀκτινοβολήσεως εἰς πρῶτα λεπτά, διὰ τὰς πυραμίδας τοῦ Ἑλληνικοῦ και τοῦ Λυγουριοῦ (Σχῆμα 5), καθὼς και διὰ δείγματα ἀπὸ τὰς ἀρχαιότητος τῶν Μυκηνῶν (Σχῆμα 6). Αἱ καμπύλαι αὐταὶ προσομοιάζουν πρὸς εὐθείας. Τὰ Σχήματα 7-11 παρουσιάζουν τὰς ἀντιστοίχους χαρακτηριστικὰς καμπύλας ΘΦ. Ἡ βαθμονόμησις εἰς τὰς καμπύλας αὐτὰς ἐγένετο, εἴτε δι' ὀλοκληρώσεως, εἴτε διὰ μετρήσεως τοῦ ὕψους τῶν παλμῶν.

Αἱ ἀνηγμένοι τιμαὶ τῆς ΘΦ εὐρίσκονται διὰ διαιρέσεως, εἴτε τῆς μετρομένης φυσικῆς ΘΦ, εἴτε τῆς φυσικῆς ΘΦ εἰς τὴν ὁποίαν προσετέθη σταθερὰ δόσις β-ἀκτινοβολίας, διὰ τῆς ἀντιστοίχου ΘΦ τῆς προερχομένης ἐξ ἀκτινοβολήσεως με συγκεκριμένην δόσιν β-ἀκτινοβολίας. Ἐν τούτοις, ἡ βαθμονόμησις ἐβασίσθη κυρίως εἰς

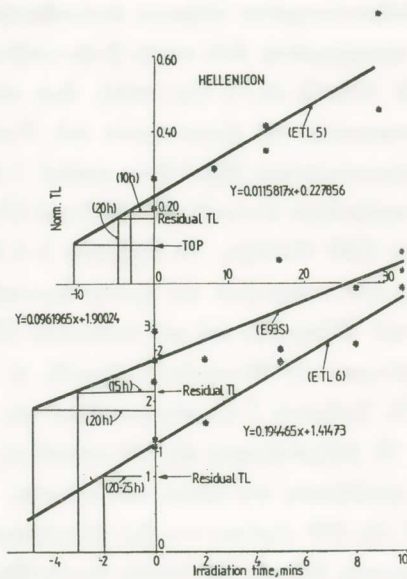




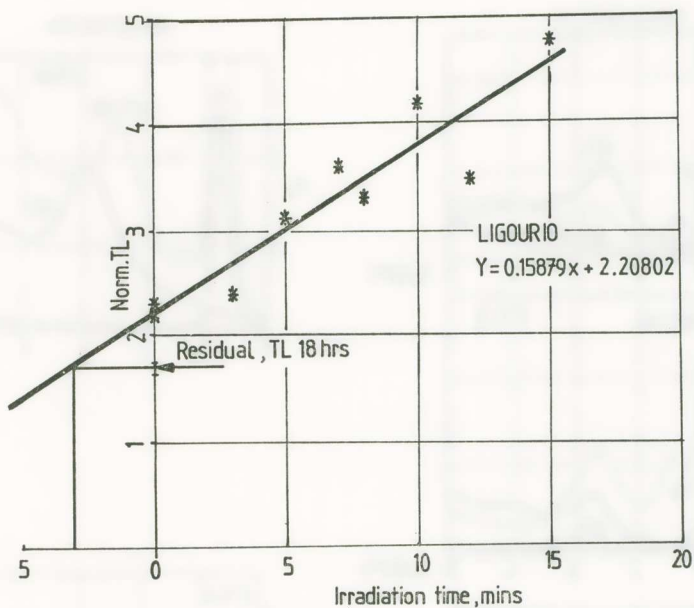
Σχῆμα 2. Εὐθεῖαι ἀναπτύξεως τῆς ΘΦ μετὴν πρόσθεσιν δόσεων εἰς τὴν Πυραμίδα Ἑλληνικοῦ. (Δυτικὸς τοῖχος).



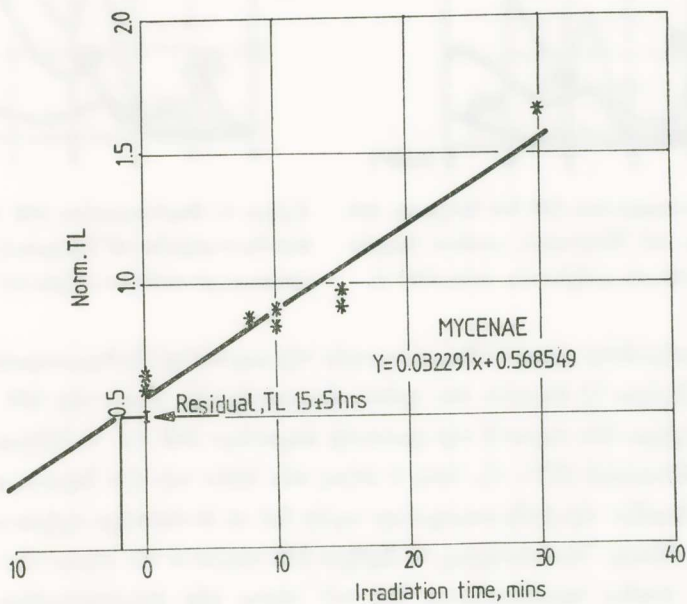
Σχῆμα 3. Εὐθεῖαι ἀναπτύξεως τῆς ΘΦ μετὴν πρόσθεσιν δόσεων εἰς τὴν Πυραμίδα Ἑλληνικοῦ. (Βόρειος τοῖχος).



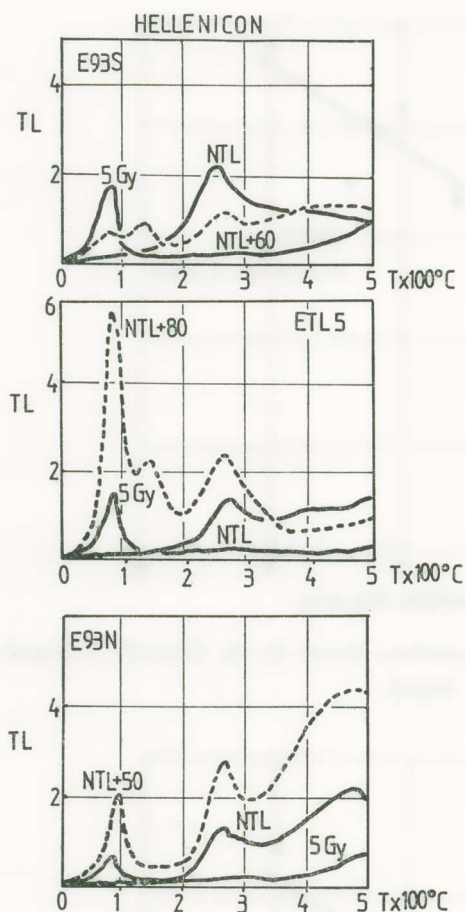
Σχῆμα 4. Εὐθεῖαι ἀναπτύξεως τῆς ΘΦ μετὴν πρόσθεσιν δόσεων εἰς τὴν Πυραμίδα Ἑλληνικοῦ. (Νότιος τοῖχος καὶ διάδρομος τῆς πυραμίδος).



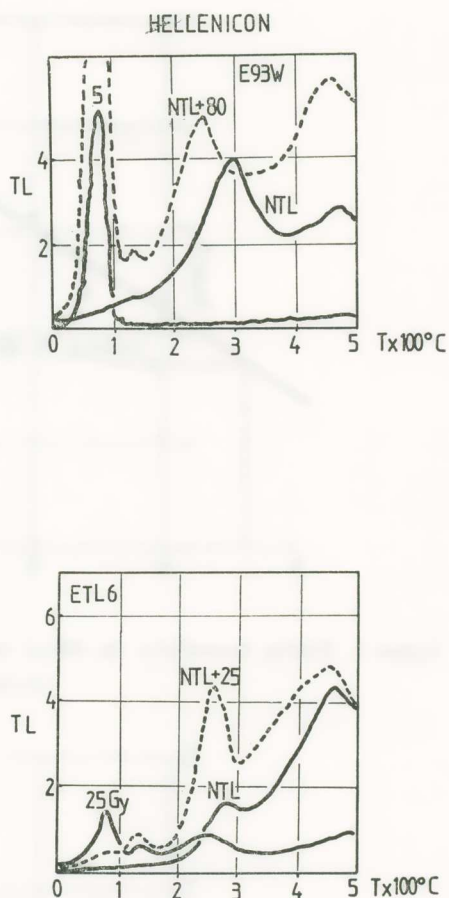
Σχήμα 5. Εύθειαι ανάπτυξεως τῆς ΘΦ με τὴν πρόσθεσιν δόσεων εἰς τὴν Πυραμίδα Λυγουριῦ. (Δυτικὸς τοῖχος).



Σχήμα 6. Εύθειαι ανάπτυξεως τῆς ΘΦ με τὴν πρόσθεσιν δόσεων εἰς τὸ τεῖχος τῶν Μυκηνῶν. (Δυτικὸν τεῖχος).

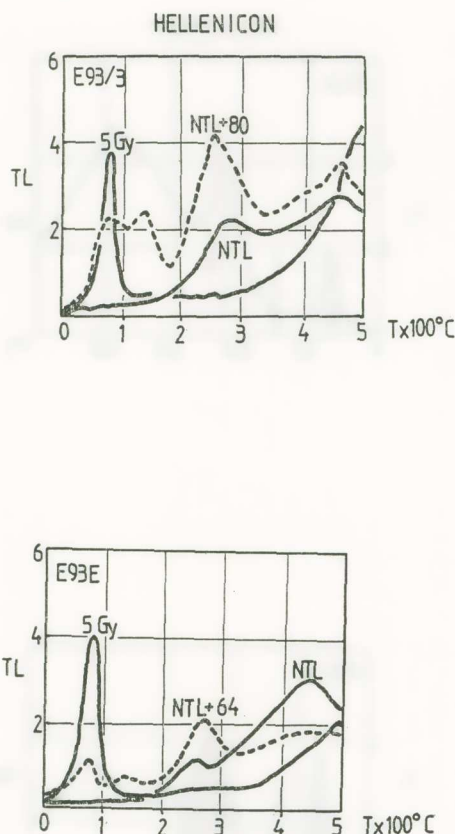


Σχήμα 7. Φωτοκαμπύλαι ΘΦ δια δείγματα από την πυραμίδα του Έλληνικού, κατόπιν θερμάνσεως με σταθερόν ρυθμόν εις τούς 500° C.

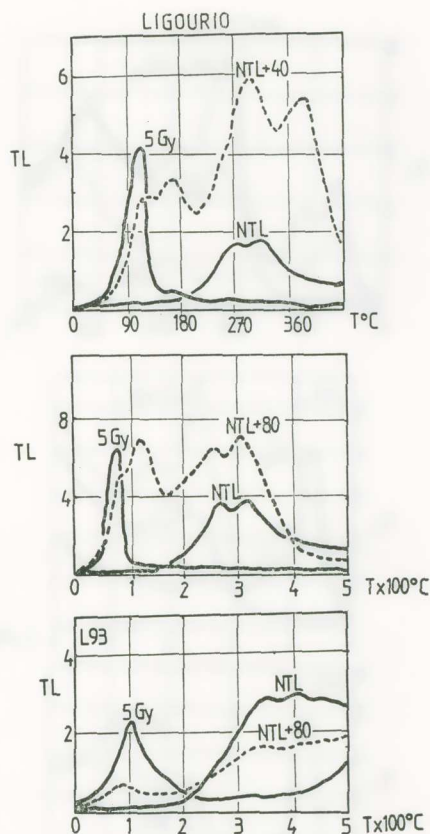


Σχήμα 8. Φωτοκαμπύλαι ΘΦ δια δείγματα από την πυραμίδα του Έλληνικού, κατόπιν θερμάνσεως με σταθερόν ρυθμόν εις τούς 500° C.

τήν παρουσιαζομένην χαμηλήν θερμοκορυφήν τῆς καμπύλης εις θερμοκρασίας περίπου 100°C. Τὸ Σχήμα 12 δεικνύει τὸν τρόπον ἀναγωγῆς τῶν τιμῶν τῆς ΘΦ. Συγκεκριμένως, τὸ Σχήμα 12a παριστᾷ τὴν φωτεινὴν καμπύλην ΘΦ διὰ τὸ δείγμα τῆς πυραμίδος τοῦ Έλληνικοῦ (ETL 6), ὅπου ὁ λόγος τῶν ὑψῶν τῶν δύο θερμοκρασιῶν (AB/A'B') προσδιορίζει τὴν βαθμονομημένην τιμὴν διὰ τὰ ἀντίστοιχα σχήματα τῶν καμπύλων ἀναπτύξεως. Ἀντιστοίχως, τὸ Σχήμα 12b παριστᾷ τὸν λόγον τῶν δύο θερμοκορυφῶν, ὁ ὁποῖος προσδιορίζεται διὰ τοῦ λόγου τῶν ὀλοκληρωμένων περιοχῶν (γραμμοσκιασμένα ἐπιφάνειαι τοῦ φάσματος) ἐντὸς συγκεκριμένων θερμοκρασιακῶν ὁρίων.



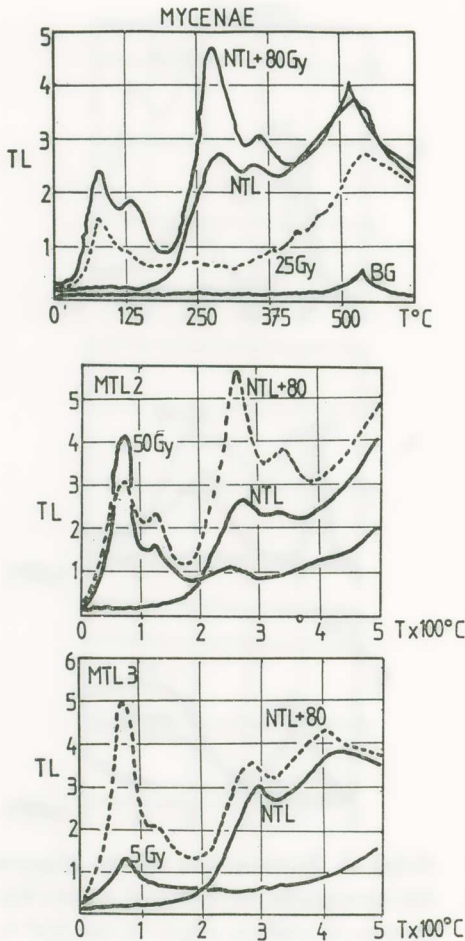
Σχήμα 9. Φωτοκαμπύλαι ΘΦ δια δείγματα από την πυραμίδα του Έλληνικού, κατόπιν θερμάνσεως με σταθερόν ρυθμόν εις τούς 500° C.



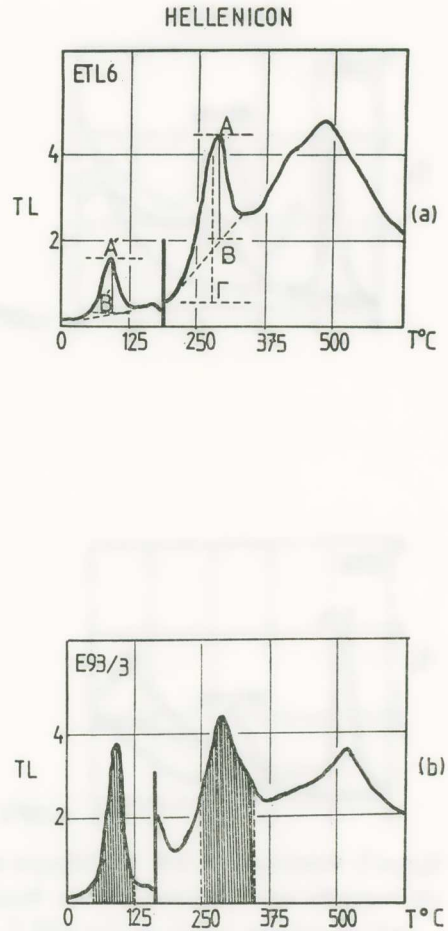
Σχήμα 10. Φωτοκαμπύλαι ΘΦ δια δείγματα από την πυραμίδα του Λιγουριού, κατόπιν θερμάνσεως με σταθερόν ρυθμόν εις τούς 500° C.

Λόγω του ότι η εξάρτησις τῆς παραμενούσης ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἐκθεσιν εις τὸ ἡλιακὸν φῶς ἀπὸ τὸν χρόνον ἐκθέσεως ἀποτελεῖ τὸ εὐαίσθητον σημεῖον διὰ τὴν ὑπολογιζομένην ἡλικίαν, ἐκτελέσαμεν περαιτέρω καὶ πειράματα προσομοιώσεως. Διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς παραμενούσης ΘΦ τὰ δείγματα κόνεως εις δισκία ἐκτίθενται εις τὸ ἡλιακὸν φῶς σὲ διάφορα χρονικὰ διαστήματα ἀπὸ 0-100 ὥρας. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον αἱ μετρήσεις ἐν τῷ ἐργαστηρίῳ προσομοιάζουν πρὸς διαφόρους χρόνους ἐκθέσεως εις τὸ ἡλιακὸν φῶς τῶν λαξευμένων ὀγκολίθων κατὰ τὴν ἀρχαιότητα, πρὸ τῆς κατασκευῆς τοῦ ἐξεταζομένου κτηρίου.

Τὰ Σχήματα 13-14, εις τὰ ὅποια ἐχαράχθησαν αἱ μεταβολαὶ τῆς παραμενούσης ΘΦ εις Grays (Gy) συναρτήσῃ τοῦ χρόνου ἐκθέσεως τῶν δειγμάτων εις τὸ ἡλιακὸν φῶς, δεικνύουν τὴν πτώσιν τῆς ΘΦ (ὡς τὸν λόγον τῶν ἀντιστοίχων θερμοκορυφῶν)



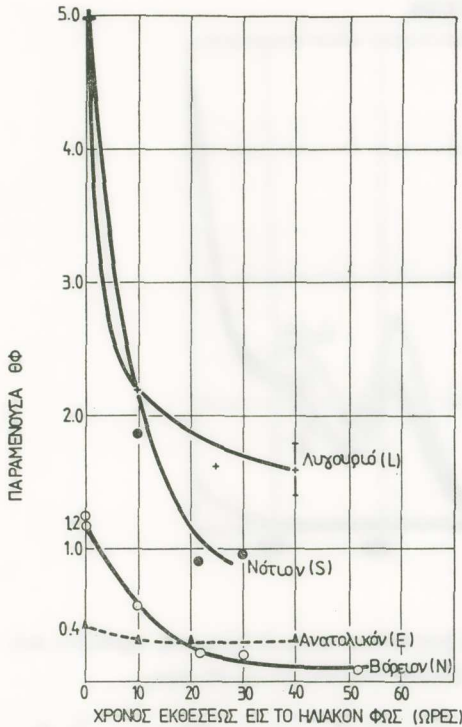
Σχῆμα 11. Φωτοκαμπύλι ΘΦ διὰ δείγματα ἀπὸ τὰς Μυκῆνας, κατόπιν θερμάνσεως μὲ σταθερὸν ρυθμὸν εἰς τοὺς 500° C.



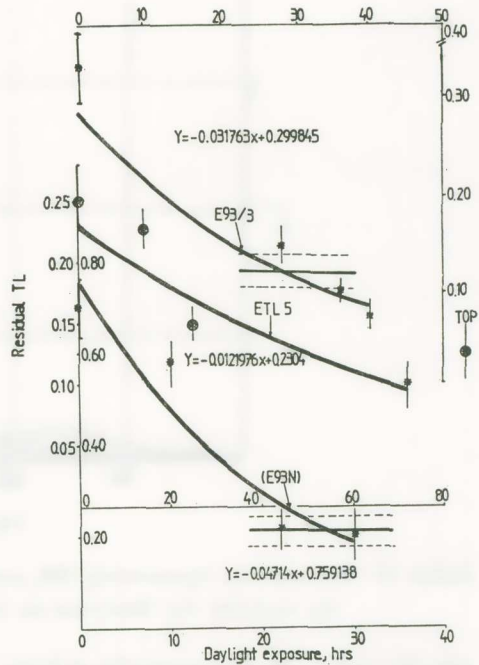
Σχῆμα 12. Τρόποι βαθμονόμησης τῆς ΘΦ ἐπὶ τῶν φωτοκαμπύλων.

συναρτήσει τοῦ χρόνου ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Παρατηροῦμεν ὅτι, μετὰ πάροδον 30-40 ὥρῶν, ἡ παραμένουσα ΘΦ διατηρεῖται σχεδὸν σταθερά, τείνουσα πρὸς ἀσύμπτωτον τιμὴν, πρᾶγμα τὸ ὁποῖον σημαίνει ὅτι ὑπάρχουν εἰς τὸ ὑλικὸν μὴ εὐαίσθητοι παγίδες ἡλιακοῦ φωτὸς κατακρατοῦσαι ἠλεκτρόνια εἰς τὸ κρυσταλλικὸν πλέγμα τοῦ δοκιμίου.

Σημειοῦται ὅτι δι' ὑλικά Χαλαζίου ἢ Ἀστρίου ὁ ἀποχρωματισμὸς τῶν φωτοευαίσθητων παγίδων ἠλεκτρονίων ἐπιτελεῖται ταχύτατα ἐντὸς ὀλίγων μόνον ὥρῶν καὶ τὸ ἐλάχιστον τῆς παραμενούσης ΘΦ παρουσιάζεται ἐντὸς τοῦ χρονικοῦ διαστή-



Σχῆμα 13. Χαρακτηριστικαὶ καμπύλαι πτώσεως τῆς γεωλογικῆς ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἐκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς κόνεως ἀσβεστολίθων διὰ διάφορα δείγματα ληφθέντα ἀπὸ τὸ Λυγουριό (Λ), καθὼς καὶ ἀπὸ τὸν νότιον (Ν), ἀνατολικὸν (Α) καὶ Βόρειον Β) τοῦτον τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ.



Σχῆμα 14. Χαρακτηριστικαὶ καμπύλαι πτώσεως τῆς γεωλογικῆς ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἐκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς κόνεως ἀσβεστολίθων διὰ ἕτερα δείγματα ληφθέντα ἐκ τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ.

μάτος 10-15 ὥρῶν [25]. Παρατηροῦμεν ἐπίσης ὅτι αἱ σημεριναὶ ἐπιφάνειαι ληφθεῖσαι ἐκ τῶν κορυφῶν τῶν πυραμίδων καὶ ἐπομένως ἐκτεθειμέναι εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς διὰ πολλοὺς αἰῶνας δίδουν παραμένουσαν ΘΦ ἴσην πρὸς τὴν λαμβανομένην ἐν τῷ ἐργαστηρίῳ, μετὰ ἀπὸ ἐκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς διὰ χρονικὸν διάστημα 40 ὥρῶν καὶ ἄνω (Σχ. 14). Παρατηρεῖται ἐπίσης ὅτι ἡ μείωσις τῆς ΘΦ ἀκολουθεῖ καμπύλας ἐκφραζομένης ἀπὸ ἐκθετικὴν συνάρτησιν τῆς αὐτῆς περίπου μορφῆς διὰ τὰ πλεῖστα ἐκ τῶν δειγμάτων. Τὸ Σχῆμα 15 δεικνύει χαρακτηριστικὰς καμπύλας ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἐκθεσιν τῆς κόνεως τῶν δοκιμίων εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς.

Παραλλήλως πρὸς τὰς δοκιμὰς μετρήσεως τῆς μεταβολῆς τῆς ΦΘ εἰς τὰς ὑπὸ ἐξέτασιν πυραμίδας ἐφημερίσαμεν πρὸς σύγκρισιν τὴν αὐτὴν μέθοδον ἐπὶ γνωστῆς ἡλικίας τείχους κατασκευασμένου ἀπὸ μεγαλιθικοὺς ὀγκολίθους ἐκ τῶν ἀρχαιοτήτων



Σχήμα 15. Φωτοκαμπύλη παραμενούσης ΘΦ, μετά από έκθεση φυσικού δείγματος ληφθέντος από την πυραμίδα του Έλληνικου εις τὸ ἡλιακὸν φῶς διὰ 10 καὶ 25 ὥρας.

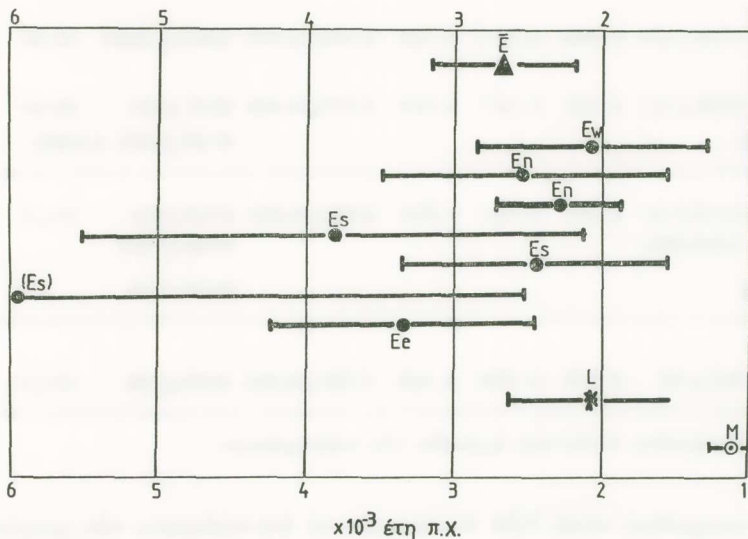
τῶν Μυκηναίων. Ἡ δειγματοληψία ἐγένετο καθ' ὑπόδειξιν τοῦ συναδέλφου κ. Σ. Ἰακωβίδη, εἰς κατασκευὴν τῶν Μυκηναίων, ἡ ὁποία ἦτο ἐπακριβῶς χρονολογημένη καὶ γνωστή, ἀντιστοιχοῦσα εἰς τὸ ἔτος 1280 π.Χ. Ἡ ἡλικία τῆς ἐξεταζομένης ταύτης κατασκευῆς τῇ βοήθειᾳ τῆς ΘΦ εὑρέθη δι' ἐφαρμογῆς τῆς ἐξισώσεως (1), ὅπου ἡ ἐτησία δόσις (παρονομαστῆς τῆς ἐξ. 1) ὑπελογίσθη ἐκ τῆς ἀκολούθου ἐξισώσεως:

$$d = \left( d_g^{\gamma} + \frac{2}{3} d_l^{\gamma} + d_c^{\gamma} \right) + \frac{1}{2} \left( d_l^{\beta} + d_k^{\beta} \right) + d_i^{\alpha} \quad (2)$$

Ὁ ὅρος εἰς τὴν πρώτην παρένθεσιν ἀναφέρεται εἰς τὴν γ-ἄκτινοβολίαν ἢ εἰς τὸν ρυθμὸν δόσεως ἐκ τῆς γ-ἄκτινοβολίας τοῦ ἐδάφους (g), τοῦ ἀσβεστολίθου (l) καὶ τῆς κοσμικῆς (c) ἀντιστοιχῶς. Εἶναι ἐξάλλου γνωστὸν ὅτι ἡ γ-ἄκτινοβολία ἐλαττοῦται διερχομένη διὰ μέσου στρώματος ἀσβεστίου πάχους 5 cm κατὰ ποσοστὸν 70% [26]. Ὁ συντελεστῆς 2/3 εἰς τὴν ἐξίσωσιν ἀναφέρεται εἰς γεωμετρίας ἀκτινοβολήσεως τοῦ ἐπιφανειακοῦ δείγματος ἀπὸ γ-ἄκτινοβολίαν εἰς τὸ ἀσβεστολιθικὸν περιβάλλον τοῦ τείχους, γεωμετρίας μεγαλυτέρας τοῦ 2π [27]. Ὁ δεύτερος ὅρος τοῦ δεξιᾶ σκέλους τῆς ἐξισώσεως ἀναφέρεται εἰς τὸν ρυθμὸν τῆς δόσεως τῶν β-σωματιδίων, γεωμετρίας ἀκτινοβολήσεως γωνίας 2π διὰ τὰ σωματίδια τὰ προερχόμενα ἀπὸ τὸν ὑποκείμενον

μεγάλιθον ( $d_1^B$ ) και από το κονίαμα ( $d_K^a$ ), ενώ ο τρίτος ύροσε κφράζει τον ρυθμό τής δόσεως τών α-σωματιδίων τής προερχομένης εκ τών υποκειμένων μεγαλίθων, άφοϋ ή α-δόσις, προερχομένη από το κονίαμα, αφαιρείται από το άνω επιφανειακόν στρώμα όλίγων δεκάδων μικρών, κατά την προετοιμασίαν καθαρισμοϋ τής επιφανείας.

‘Η όλική συσσωρευμένη ΘΦ προσδιωρίσθη με την «προσθετική» διαδικασία» δια προσθέσεως δόσεων β άκτινοβολίας εις τά δείγματα (άρκετά δισκία κόνεως). Εις τας άνωτέρω καμπύλας τών Σχημάτων 2-6 ή προέκτασις τής εϋθείας τής εκφραζούσης την ανάπτυξιν τής ΘΦ συναρτήσει τών δόσεων εκθέσεως εις τó ήλιακόν φώς προσδιωρίσθη στατιστικώς με την μέθοδον τών ελαχίστων τετραγώνων (linear regression). ‘Η προέκτασις αυτής τής εϋθείας τέμνει τον άξονα τών τετμημένων τον διερχόμενον δια τοϋ σημείου τοϋ παριστάντος την παραμένουσαν ΘΦ εις τι σημείον τοϋ όποίου ή προβολή εις τον άξονα τών τετμημένων προσδιορίζει την όλικήν συσσωρευμένην ΘΦ από τας γραμμικάς εξισώσεις, συνοδευομένη και από τó αναλογούν σφάλ-



Σχήμα 16. Σχηματική παράστασις τών χρονολογήσεων με ΘΦ, με τά συνοδευόμενα σφάλματά τους και τας τιμάς E δια την πυραμίδα τοϋ Έλληνικοϋ, L δια την πυραμίδα τοϋ Λυγουριοϋ. Το M αντιστοιχεί εις τας Μυκήνας και ó κύκλος εις την άρχαιολογικήν ήλικίαν τών Μυκητών.

μα εις μονάδας ισοδυναμού δόσεως άκτινοβολίας βήτα (ήτοι rads ή grays). ‘Η ήλικία τοϋ δοκιμίου ή προερχομένη δι’ έφαρμογής τών εξισώσεων (1) και (2) τή βοήθεια τής ΘΦ, δια ύποτιθεμένην άρχικήν έκθεσιν τοϋ μεγαλίθου πρò τής κατασκευής τοϋ κτίσματος εις τó ήλιακόν φώς εις  $15 \pm 5$  h προκύπτει ίση πρòς  $1.100 + 180$  π.Χ. (βλέπε Παράρτημα δια τόν λεπτομερέστερον ύπολογισμόν τής ήλικίας).



## Π Ι Ν Α Ξ

ΔΕΙΓΜΑ	Όλική Δόσις (Rads)	γ-περιβ. (mrad/έτος)	(α+β +γ) άσβεστ.	(β+γ) κονιαμ. δόσις	Έτησ. δόσις	Ήλικία± Σφάλμα έτη π.Χ.	ΘΦ Παραμ. ώρες	Παρατη- ρήσεις*
<b>Έλληνικό</b>								
E93W	606±48	0.116	0.016	0.016	0.148±0.02	2095±770	17-20	1
E93N Βόρειο	1062±400	0.207	0.017	0.016	0.236±0.017	2500±990	18-20	2
E93/3 Βόρειο	950±135	0.190	0.014	0.016	0.220±0.015	2310±450	20	3
ETL6 Νότιο	1026±90	0.207	0.010	0.016	0.233±0.025	2400±900	20-25	4
ETL5 Νότιο	1350±126	0.207	0.015	0.016	0.238±0.016	3760±1.800	10-20	5
E93S Νότιο	1710±450	0.180	0.017	0.016	0.213±0.020	(6000±3600)	15-20	6
E93E Άνατολ. Μέση τιμή	1138±117	0.180	0.017	0.016	0.213±0.020	3337±900 2720(±580, ±1050)	20-25	7 8
<b>Λυγουριό</b>	1275(275) 1530(325)	0.285	0.043	0.016	0.344±0.021	1750±630 2440±1050	17±3	9
Μέση τιμή						2100±610		
<b>Μυκήνες</b>								
MTL2	864±63	0.190	0.028	0.060	0.280±0.024	1100±180	15±5	10

\* Ίδè τήν συνημμένην αναλυτικήν έρμηνείαν τών παρατηρήσεων.

Ό συνημμένος πίναξ δίδει συνοπτικῶς τὰ ἀποτελέσματα τών μετρήσεων τών δειγμάτων, τόσον τών δύο πυραμίδων, ὅσον καὶ τοῦ τείχους τών Μυκηνῶν, τὰ ὅποια ἐμετρήθησαν διὰ τῆς μεθόδου τῆς ΘΦ καὶ τὸ Σχῆμα 16 παρουσιάζει τὴν κατανομὴν τών ἡλικιῶν τών δειγμάτων εἰς τὴν π.Χ. περίοδον.

## Παρατηρήσεις τοῦ Πίνακος

(1) Ἡ ὀλική δόσις ὀρίζεται ὡς ἡ μέση τιμή (SEM) = 673 ± 158 rads τριῶν δόσεων αἱ ὅποια προέκυψαν α) ἀπὸ τὸ ὕψος τών κορυφῶν (E93 Wp) τῆς σχετικῆς καμπύλης ΘΦ, β) τὴν ὀλοκλήρωσιν τών κορυφῶν (E93 Wi), γ) ὡς καὶ τὸ ὀλικὸν ὕψος

κορυφών (E93Wpp) τῶν ἀντιστοιχῶν γραμμικῶν ἐξισώσεων τοῦ Σχήματος 12 εἰς τὴν περιοχὴν τῶν 275°C.

Αἱ τιμαὶ οὐρανίου (U), θορίου (Th) καὶ καλίου (K-40) εἰς τοὺς ἀσβεστολίθους ἦσαν:  $K_2O = 0$ ,  $U = 0.2-0.6$  ppm,  $Th = 0.2-0.3$  ppm. Τὸ κονίαμα τοῦ Λυγουριοῦ εἶχε τὸ ἐξῆς ἰσοτοπικὸν περιεχόμενον : 1.5%  $K_2O$ , 8.3 ppm Th, 1.8 ppm U, ἐνῶ τὸ τοῦ Ἑλληνικοῦ εἶχε: 0.21%  $K_2O$ , 0.71 ppm Th, 0.24 ppm U καὶ διὰ τὸ E93W τὰ ἀντίστοιχα μεγέθη ἦσαν: 0.10%  $K_2O$ , 0.5 ppm Th, 0.16 ppm U. Δι' ὅλα τὰ ἄλλα δείγματα τοῦ Ἑλληνικοῦ ἐλήφθησαν αἱ μέσαι τιμαὶ τῶν δύο αὐτῶν τιμῶν. Τὸ χῶμα τοῦ Λυγουριοῦ ἔδωκε: 1.3%  $K_2O$ , 7.8 ppm Th, 1.6 ppm U. Αἱ τιμαὶ αὐταὶ προσδιωρίσθησαν διὰ τῆς μεθόδου τῆς γ-φασματοσκοπίας ὑψηλῆς διακριτικότητος [28]. Αἱ τιμαὶ δόσεως δίδονται εἰς μονάδας Rads =  $10^{-2}$  Grays ἢ mrad =  $10^{-3}$  rads. Ἡ τιμὴ τῆς παραμενούσης ΘΦ διὰ τοῦτο τὸ δείγμα προσδιωρίσθη μὲ μίαν μοναδικὴν μέτρησιν διὰ χρόνον ἐκθέσεως ἕως  $t = 20$  ὥρῶν.

(2) Ἡ γραμμικὴ ἐξίσωσις τοῦ δείγματος αὐτοῦ δίδεται ὑπὸ τῆς σχέσεως:  $Y = 0.098(\pm 0.0094)x + 0.55(\pm 0.059)$ ,  $r = 0.98$ ,  $R_{sq} = 97.3\%$  καὶ ἀναφέρεται εἰς τὴν θερμοκορυφὴν τῶν 275°C, ὅπου  $Y = \Theta\Phi$ ,  $x =$  χρόνος ἀκτινοβολήσεως σέ min, καθὼς καὶ  $1 \text{ min} = 536 \text{ rads}$ .

3) Ἡ ὀλικὴ δόσις ὑπελογίσθη δι' ὀλοκληρώσεως τῆς θερμοκορυφῆς 275°C, ὡς ἐπίσης καὶ δι' ἀφαιρέσεως τῆς ὑπολειπομένης φωτοκαμπύλης ΘΦ (μετὰ ἀπὸ 20 ὥρας) ἀπὸ τὰς φωτοκαμπύλας ποὺ παρήχθησαν μὲ τὴν προσθετικὴν διαδικασίαν (Σχῆμα 8). Ἡ μείωσις τῆς ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἔκθεσιν τοῦ δείγματος εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς ἐγένετο δις καὶ κατ' ἐπανάληψιν διὰ τὰ δείγματα τοῦ βορείου τοίχου. Καὶ οἱ δύο καμπύλαι μειώσεως ἀκολουθοῦν ὁμοίαν σχεδὸν ἐκθετικὴν πτῶσιν (Σχῆμα 14). Διὰ 40 ὥρας ἐκθέσεως ἡ πτῶσις τῆς ΘΦ εἶναι περίπου 75% τῆς ἀρχικῆς. Δι' ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς  $t = 30-40$  ὥρας, ἡ ἡλικία εὐρίσκεται ἐξαιρετικῶς ὑψηλὴ καὶ κρίνεται ὡς ἀσυμβίβαστος μὲ τὰ σχετικὰ ἀρχαιολογικὰ κριτήρια καὶ ἄρα ἀπορρίπτεται.

4) Τὸ δείγμα ETL6 συγκαταλέγεται μεταξὺ τῶν πρώτων δοκιμῶν. Ἡ ἡλικία ποὺ λαμβάνεται διὰ χρόνον μεγαλύτερον τῶν 25 ὥρῶν εἶναι πολὺ ὑψηλὴ καὶ κρίνεται ὡς ἀπαράδεκτος, ἐκτὸς ἐὰν ὁ χρόνος λαξέσεως καὶ παραμονῆς εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς μέχρι τοποθετήσεως τοῦ μεγαλίθου εἰς τὸν τοῖχον τῆς κατασκευῆς ἦτο μικρότερος. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν διὰ  $t = 20-25$  ὥρας ἡ ὀλικὴ δόσις εἶναι 1140 rads (Σχῆμα 4). Ἡ παραμένουσα ΘΦ ἐλήφθη ἀπὸ τὸ σχετικὸν διάγραμμα μειώσεως ΘΦ μὲ ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Τὸ ὅτι θὰ πρέπει νὰ ἰσχύη  $t > 10-15$  ὥραι ἐνισχύεται καὶ ἀπὸ τὸ γεγονός ὅτι ἡ φυσικὴ ΘΦ ἰσοῦται μὲ τὴν παραμένουσαν ΘΦ διὰ τὸν αὐτὸν χρόνον ἐκθέσεως, πρᾶγμα τὸ ὁποῖον εἶναι ἀδύνατον. Τέλος δέον ὅπως ληφθῆ ὑπ' ὄψιν ὅτι τὸ δείγμα αὐτὸ προέρχεται ἀπὸ ὀγκόλιθον τῆς βάσεως,

ἀριστερά τοῦ διαδρόμου εἰσόδου, περὶ τὸ 1 μέτρον ὑπὲρ τὸ ἔδαφος, ἐνῶ ἡ σημερινὴ ἐπιφάνεια τοῦ ἴδιου πετρώματος δίδει παραμένουσαν  $\Theta\Phi = 0.10$ , εἰς τὴν ὁποίαν ἀντιστοιχεῖ πολὺ ὑψηλὴ ὀλικὴ δόσις (Σχῆμα 17).

5) Τὸ δεῖγμα ETL5 προέρχεται ἀπὸ τοὺς κατωτέρους ὀγκολίθους βάσεως (0.5 μέτρα ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ἐδάφους) καὶ δίδει διὰ  $t = 26$  ὥρας ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς παραμένουσαν  $\Theta\Phi = 0.15$  καὶ ὀλικὴν δόσιν 3750 rads. Διὰ  $t = 10-20$  ὥρας, ἡ ὀλικὴ δόσις εἶναι περὶ τὰ 1870 rads μὲ παραμένουσαν  $\Theta\Phi = 0.19$ . Δέον ὅπως σημειωθῆ ὅτι ἡ παραμένουσα αὐτῆ  $\Theta\Phi$  τῆς σημερινῆς ἐπιφανείας πού εἶναι ἐκτεθειμένη εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς δι' αἰῶνας, ἰσοδυναμεῖ μὲ 70-80 ὥρας ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Εἶναι ἄξιον παρατηρήσεως ὅτι ἡ κλίσις τῆς εὐθείας ἀναπτύξεως εἶναι πολὺ χαμηλὴ καὶ ἡ παραμένουσα  $\Theta\Phi$  ἡ ὁποία ἰσοῦται περίπου μὲ 0.2 διὰ  $t = 5-10$  ὥρας ἐκθέσεως, πλησιάζει τὴν φυσικὴν  $\Theta\Phi (= 0.24)$ . Καὶ αἱ δύο τιμαὶ εὐρίσκονται πλησίον ἀλλήλων ἐντὸς τοῦ στατιστικοῦ σφάλματος. Τοιαῦτα δείγματα δὲν προσφέρονται διὰ τὴν ἀκριβῆ χρονολόγησιν (χαμηλὴ κλίσις, ὑψηλὴ διασπορά, χαμηλὸς ρυθμὸς πτώσεως  $\Theta\Phi$  μὲ ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς). Τέλος, ἡ τιμὴ τῆς παραμένουσης  $\Theta\Phi$  διὰ  $t = 10-20$  ὥρας πού ἔχει ἐπιλεχθῆ λόγῳ τῆς θέσεως τοῦ ὀγκολίθου εἰς τὸ κτίσμα, δίδει τὸ παρὸν ἀποτέλεσμα.

6) Ἡ ὀλικὴ δόσις τῶν 1670 rads προσδιωρίσθη ἀπὸ τὴν ὀλοκληρώσιν τῶν θερμοκορυφῶν 275°C ὡς πρὸς τὴν θερμοκορυφὴν τῆς δευτέρας βαθμονομημένης δόσεως 100°C, μὲ ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς διὰ  $t = 15-20$  ὥρας καὶ παραμένουσαν  $\Theta\Phi = 1.5 \pm 0.1$  (Σχῆμα 4). Ἐπίσης προσδιωρίσθη ἡ ὀλικὴ δόσις μὲ τὰ ὕψη τῶν κορυφῶν 275°C/100°C. Διὰ  $t = 30$  ὥρας ἡ παραμένουσα  $\Theta\Phi = 0.0 \pm 1.05$  καὶ ἡ ὀλικὴ δόσις εἶναι πολὺ ὑψηλὴ καὶ προσδίδουν ἀπαραδέκτως ὑψηλὴν ἡλικίαν. Προσδιωρίσθη ἐπίσης ἡ γραμμικὴ ἀνάπτυξις τῶν θερμοκορυφῶν 350°C καὶ 380°C δι' ὀλοκληρώσεως. Ἡ διασπορὰ τῶν σημείων τῆς καμπύλης ἀναπτύξεως εἶναι ὑψηλὴ καὶ προσδίδει ὑψηλὸν σφάλμα εἰς τὴν ἡλικίαν. Ἡ καμπύλη μειώσεως τῆς  $\Theta\Phi$  δι' ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς δεικνύει, ὅπως καὶ αἱ ἄλλαι καμπύλαι, ἀπὸ τὸν βόρειον τοῖχον, ὅτι μετὰ ἀπὸ ἔκθεσιν τουλάχιστον 30-40 ὥρῶν ἐπέρχεται σταθερότης εἰς τὴν κένωσιν τῶν φωτοευαίσθητων παγίδων ἠλεκτρονίων ἀπὸ τὴν ἡλιακὴν ἀκτινοβολίαν, ἐνῶ διὰ διάστημα 40 ὥρῶν ἡ μείωσις αὐτῆ εἶναι περίπου 70% τῆς γεωλογικῆς ἀρχικῆς  $\Theta\Phi$  (Σχῆμα 13).

7) Ἡ ὀλικὴ δόσις τοῦ ἀνατολικοῦ τοίχου ὑπελογίσθη δι' ὀλοκληρώσεως τῶν θερμοκορυφῶν 275°C, 325°C, 365°C μὲ βαθμονόμησιν ὡς πρὸς τὴν κορυφὴν 100°C καὶ ἐπίσης μὲ βαθμονόμησιν τῆς ἀντιστοίχου θερμοκορυφῆς τῆς ὀδηγοῦ (monitor) δόσεως (δευτέρα φωτοκαμπύλη τῆς δόσεως βαθμονομήσεως). Ἡ παραμένουσα  $\Theta\Phi$

διά  $t = 30$  ώρας έκθέσεως εις τὸ ἡλιακὸν φῶς δίδει ἀντιστοίχως: με ὀλοκλήρωσιν τῆς κορυφῆς τῶν  $275^{\circ}\text{C}$  ὡς πρὸς τὴν κορυφὴν τῶν  $100^{\circ}\text{C}$  καὶ παραμένουσαν  $\Theta\Phi = 0.84$  λαμβάνεται ὀλικὴ δόσις ἴση πρὸς 2130 rads, ἐνῶ διὰ τὴν  $365^{\circ}\text{C}$  θερμοκορυφὴν, με παραμένουσαν  $\Theta\Phi = 1.76$ , λαμβάνεται ὀλικὴ δόσις ἴση πρὸς 1264 rads. Λόγω τῆς μεγάλης διασπορᾶς τῶν διαφορῶν ἐξισώσεων ὁ ὀρισμὸς τῆς ἡλικίας ἐβασίσθη εἰς τὴν δόσιν τὴν προερχομένην ἀπὸ τὴν θερμοκορυφὴν τῶν  $365^{\circ}\text{C}$ . Ἡ καμπύλη πτώσεως τῆς  $\Theta\Phi$  δι' ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς εἶναι πολὺ ἀργὴ διὰ τὸ δεῖγμα αὐτό, με ἀποτέλεσμα νὰ δυσχεραίνεται ὁ διαχωρισμὸς τῆς φυσικῆς ἀπὸ τὴν παραμένουσαν  $\Theta\Phi$  ἐντὸς 20-25 ὥρῶν. Ἡ καμπύλη μειώσεως παρέχει 40% μείωσιν τῆς γεωλογικῆς  $\Theta\Phi$  ἐντὸς 15-20 ὥρῶν ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Ἡ γεωλογικὴ  $\Theta\Phi$  προέρχεται δι' ὅλα τὰ δείγματα ἀπὸ τὰ βαθύτερα στρώματα τῶν ἐπιφανειῶν, ἀπὸ τὰς ὁποίας ἐγένετο ἡ ἀπόληψις τοῦ ὑλικοῦ ὑπὸ μορφὴν κόνεως. Εἰς τὸν Πίνακα ἀναφέρεται ἡ ὀλικὴ δόσις ἀπὸ τὴν φωτοκορυφὴν τῶν  $365^{\circ}\text{C}$ . Διὰ τὴν  $365^{\circ}\text{C}/100^{\circ}\text{C}$  βαθμονόμησιν δι' ὀλοκλήρωσεως, ἡ παραμένουσα εὐρίσκεται ὡς  $\Theta\Phi = 1.76$  διὰ  $t = 20-25$  ὥρας. Ἡ τιμὴ αὐτὴ προσδιορίσθη ἀπὸ τὴν ἀντίστοιχον καμπύλην μειώσεων. Ἡ φωτοκαμπύλη τῆς παραμένουσας  $\Theta\Phi$  διὰ 38 ὥρας ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς εἰς τὸ Ἐδιμβουῖργον με μόνιμον συνεχῶδη καιρὸν εὐρέθη ἴση πρὸς 1.72 καὶ δίδει παρομοίαν ὀλικὴν δόσιν ἴσην πρὸς 1350 rads. Παρομοίως ὑπελογίσθη καὶ ἡ παραμένουσα  $\Theta\Phi$  διὰ τὴν κορυφὴν  $275^{\circ}\text{C}/100^{\circ}\text{C}$ . Ἐὰν ὡς ὀλικὴ ἰσοδύναμος δόσις ληφθῇ ἡ μέση τιμὴ  $(2130 + 1264)/2 = 1697 \pm 137$  rads, τότε ἡ ἡλικία εὐρίσκεται  $5960 \pm 2000$  ἔτη π.Χ. (τιμὴ ἀπαράδεκτος).

8) Ἡ δυσχέρεια προσδιορισμοῦ τοῦ ἀκριβοῦς χρόνου ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς τῆς ἀρχικῶς λαξευμένης ἐπιφανείας δημιουργεῖ ἀμφιβολίας εἰς τὸν προσδιορισμὸν τῆς ἰσοδύναμου δόσεως (D). Τὰ δείγματα ETL5 προήρχοντο ἀπὸ τὴν κατωτέταν στρῶσιν τῶν ὀγκολίθων, ἀριστερὰ τοῦ τοίχου τῆς εἰσόδου τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ, καὶ κατὰ συνέπειαν ἀναμφιβόλως ἀπλητήθη μικρότερος χρόνος διὰ τὴν τοποθέτησιν τῶν μεγάλιθων ἀπὸ τοῦ πέρατος τῆς λαξεύσεώς των. Ἐπίσης ἡ καμπύλη ἀναπτύξεως τῆς  $\Theta\Phi$  παρουσιάζει χαμηλὴν κλίσιν, ἐνῶ ἡ καμπύλη πτώσεως τῆς  $\Theta\Phi$  δι' ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς παρουσιάζει μεγάλην διασπορὰν σημείων. Ὅλα τὰ ἀνωτέρω ὀδηγοῦν εἰς ὑψηλὸν σφάλμα τῆς ἡλικίας. Ἀντιθέτως, ἡ ἡλικία τοῦ δειγματος E93S τοῦ νοτίου τοίχου, τὸ ὁποῖον ἔδωκε διὰ διαφορῶν μεθόδων, ὑψηλὴν ἰσοδύναμον δόσιν (D) καὶ μεγάλην διασπορὰν σημείων εἰς τὰς εὐθείας ἀναπτύξεως τῆς  $\Theta\Phi$ , ὅπως περιγράφεται εἰς τὴν παρατήρησιν (6), καὶ τὸ ὁποῖον ἀπέχει κατὰ πολὺ ὄλων τῶν ἄλλων χρονολογήσεων, δὲν συμπεριλαμβάνεται εἰς τὴν ἐκτίμησιν τῆς μέσης τιμῆς τῶν ἡλικιῶν τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ. Κατόπιν ὄλων τῶν ἀνωτέρω τὸ

συνολικόν σφάλμα τῆς μέσης τιμῆς (SEM) τῶν ἡλικιῶν τῶν μεγάλιθων διὰ τὸ Ἑλληνικὸν ὑπελογίσθη ἐκ τῆς σχέσεως:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N}}, = (\text{SEM})$$

ὅπου N εἶναι ὁ ἀριθμὸς χρονολογήσεων,  $\bar{x}$  ἡ μέση τιμὴ καὶ x ἀντιστοιχεῖ εἰς ἐκάστην χρονολόγησιν. Ἐξάλλου τὸ μέσον σφάλμα τῶν σφαλμάτων,  $\sigma_2$ , (standard error) δίδεται ὑπὸ τῆς σχέσεως:

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum\sigma_i^2}{N}}$$

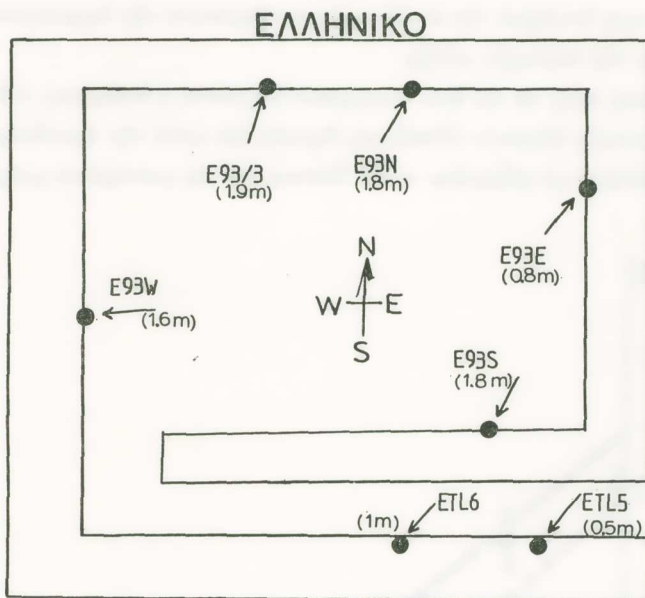
9) Διὰ τὰς μετρήσεις εἰς τὴν πυραμίδα τοῦ Λυγουριοῦ ἐχρησιμοποιήθησαν δύο θερμοκορυφαί, ἥτοι ἡ τῶν 275°C καὶ ἡ τῶν 325°C, καὶ προσδιωρίσθη ἡ ὀλικὴ δόσις δι' ὀλοκληρώσεως καὶ διὰ τοῦ ὕψους τῶν κορυφῶν.

10) Ἡ ἐτησία δόσις ( $\beta + \gamma$ ) τοῦ κονιάματος τοῦ τείχους τῶν Μυκητῶν εὐρέθη σαφῶς ὑψηλοτέρα αὐτῆς τοῦ κονιάματος τοῦ Ἑλληνικοῦ λόγφ παρουσίας πηλοῦ. Ἡ γ-ἄκτινοβολία περιβάλλοντος ὑπελογίσθη βάσει τῆς μετρηθείσης in situ, ὅπως περιγράφεται εἰς τὸ Παράρτημα.

#### ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΙΣ ΠΥΡΑΜΙΔΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ

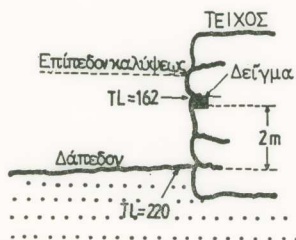
Δι' ἐφαρμογῆς τῆς περιγραφείσης διαδικασίας εὐρέσεως τῆς ἡλικίας τῶν μεγάλιθων ἐπεμετρήθησαν τόσον ἡ ἰσοδύναμος δόσις, ὅσον καὶ ἡ ἐτησία δόσις εἰς δείγματα ληφθέντα ἀπὸ ἐπτὰ διαφορετικὰ σημεῖα τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ, ἐμφαινόμενα εἰς τὸ Σχῆμα 17. Τὰ Σχήματα 2-4 παρουσιάζουν τὴν καμπύλην μεταβολῆς τῆς ΘΦ διὰ προσθέσεως δόσεων καθὼς καὶ τῆς παραμενούσης ΘΦ διὰ χρόνους 15-25 ὥρῶν ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Ὁ χρόνος ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς δὲν δύναται νὰ εἶναι μικρότερος τοῦ χρόνου ποὺ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸ σημερινὸν ὄριον τῆς φυσικῆς ΘΦ εἰς τὸν ἄξονα τῶν τετμημένων τῶν καμπύλων μεταβολῆς τῆς ΘΦ συναρτήσῃ τῆς δόσεως. Πράγματι, τὸ φυσικὸν ὄριον, τὸ ὁποῖον ἔχει συσσωρευθῆ ἀπὸ τὴν κατασκευὴν τῆς πυραμίδος ἕως σήμερον, δηλ. ἡ φυσικὴ ΘΦ, ἀντιστοιχεῖ σχεδὸν εἰς ὅλα τὰ δείγματα πρὸς παραμένουσαν ΘΦ οὐχὶ μικροτέραν τῶν 10 ὥρῶν ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Τὸ ὄριον τοῦτο ἀποτελεῖ λογικὴν συνέπειαν καὶ ἐνισχύει τὴν ἄποψιν ὅτι οἱ λαξευθέντες μεγάλιθοι ἐτοποιηθήθησαν μετὰ τὴν παρέλευσιν τουλάχιστον 10 ὥρῶν.

Εἰς τὰς καμπύλας ΘΦ τῶν Σχημάτων 7-9 ἀνεγνωρίσθησαν ἐπίσης χαρακτηριστι-



Σχήμα 17. Θέσεις δειγματοληψίας εις την Πυραμίδα του Έλληνικού.

**ΜΥΚΗΝΑΙ**

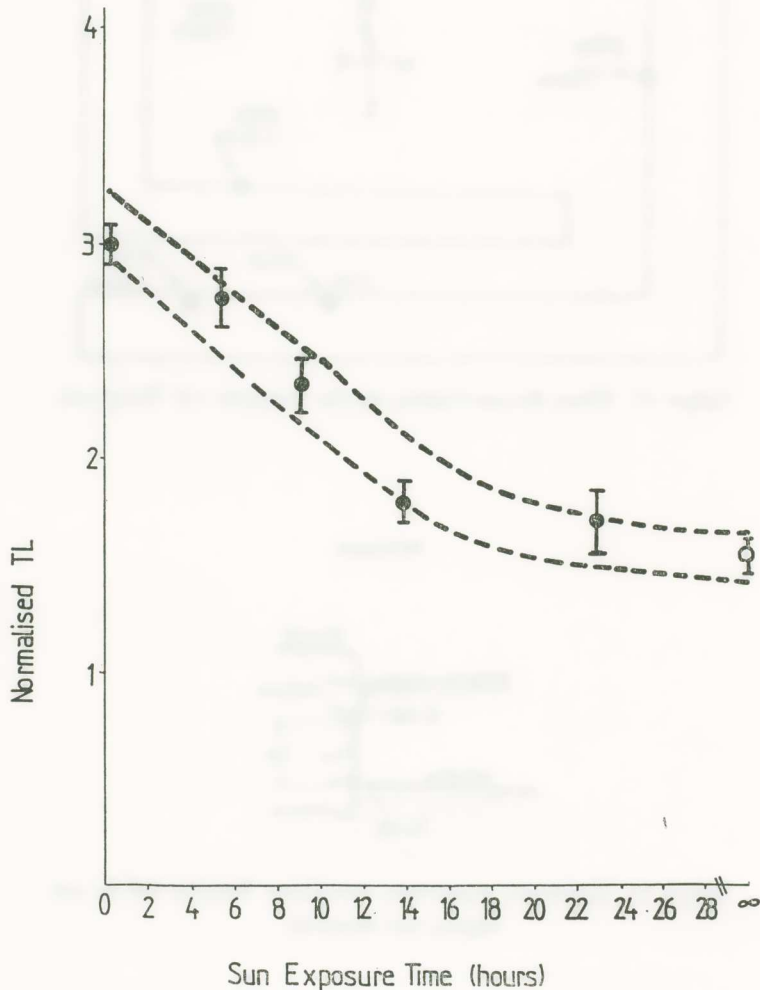


Σχήμα 18. Σχηματική παράσταση απολήψεως δοκιμίου ΘΦ εκ του τείχους των Μυκηναίων.

στικά κορυφαί του άσβεστολιθικού πετρώματος (limestone) εις τὰς θερμοκρασίας 100, 150, 275, 325, 365 καὶ 400 °C. Διερευνήθη ἐπίσης ἡ θερμοκρασιακὴ περιοχὴ σταθερότητος τῶν φωτοευαισθητῶν καμπύλων. Ὁ λόγος τῆς φυσικῆς ΘΦ εἰς τὴν ὁποίαν προστίθεται καὶ ἡ δόσις β-ἀκτινοβολίας πρὸς τὴν φυσικὴν ΘΦ προσδιορίζει τὸ ὄριον σταθερᾶς σχεδὸν μεταβολῆς τῆς ΘΦ, ὀριζόμενον μεταξύ 200 καὶ 400 °C. Ἡ

σταθερά αυτή τιμή υποδηλοῖ τὴν ἀντίστοιχον σταθερότητα τῆς θερμοκρασίας, ἢ ὅποια μετρεῖται ἐντὸς τῆς περιοχῆς αὐτῆς.

Παραλλήλως πρὸς τὰ ὡς ἄνω πειράματα ἐξητάσθη ἡ ἐπίδρασις τοῦ φαινομένου τῆς «προκαταρκτικῆς δόσεως» (Predose), δηλαδή ἐὰν κατὰ τὴν προσθετικὴν διαδικασίαν ἡ ἀκτινοβόλησις μὲ ἡυξημένα ποσὰ δόσεως δρᾷ ὡς φαινόμενον μνήμης, ἐπηρεά-



Σχῆμα 19. Ἐκθετικὴ μείωσις ΦΘ δείγματος Μυκηνῶν, κατόπιν ἐκθέσεώς του εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς διὰ χρονικὰ διαστήματα ἀπὸ 0 ἕως 30 ὥρας.

ζουσα τὴν εὐαισθησίαν τῶν κρυστάλλων μὲ ἀποτέλεσμα ὅπως ἕκαστον σημεῖον τῆς καμπύλης ἀναπτύξεως νὰ εἶναι συνάρτησις τῆς προηγουμένης δόσεως. Ἐκ τῆς τοιαύ-

της εξέτασως εξηκριβώθη ὅτι οὐδὲν δείγμα παρουσίασε τὸ φαινόμενον τῆς προκαταρκτικῆς δόσεως. Ὁ συνημμένος πίναξ παρουσιάζει τὰς μετρήσεις τῶν διαφόρων παραμέτρων τῶν ἐξισώσεων 1 καὶ 2 ὡς αὐταὶ περιγράφονται εἰς τὸ Παράρτημα.

Τὸ Σχῆμα 14 παρουσιάζει τὰς καμπύλας μειώσεως τῆς ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἔκθεσιν τῶν δοκιμίων κατὰ τὰ διάφορα χρονικὰ διαστήματα ἕως καὶ 100 h εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Τὸ Σχῆμα 16 παριστᾷ τὴν κατανομὴν τῶν ἡλικιῶν μὲ τὰ ἀντίστοιχα σφάλματά των διὰ τὴν πυραμίδα τοῦ Ἑλληνικοῦ. Ἐκ τῶν μετρήσεων αὐτῶν προκύπτει ὅτι ἡ μέση ἡλικία διὰ τὴν πυραμίδα τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀνέρχεται εἰς 2.720 ( $\pm 580$ ,  $\pm 1050$ ) ἔτη π.Χ.

#### ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΙΣ ΠΥΡΑΜΙΔΟΣ ΛΥΓΟΥΡΙΟΥ

Ἡ αὐτὴ πειραματικὴ διαδικασία ἠκολουθήθη καὶ διὰ τὰ δείγματα τῆς πυραμίδος τοῦ Λυγουριοῦ. Ἐχρησιμοποιήθησαν εἰς τὴν πυραμίδα αὐτὴν δύο δείγματα, τὸ ἐν προερχόμενον ἀπὸ τὴν ΒΑ ἐξωτερικὴν ἀκμὴν τῆς πυραμίδος καὶ εἰς ὕψος ἐνὸς μέτρου ἀπὸ τὸ ἔδαφος, ἐνῶ τὸ ἕτερον ἀπὸ τὴν ΝΑ ἀκμὴν καὶ εἰς ὕψος 1.60 m ἀπὸ τὸ ἔδαφος. Τὸ πρῶτον δὲν ἔδωκε ἱκανοποιητικὰ ἀποτελέσματα εἰς ὅ,τι ἀφορᾷ τὰ χαρακτηριστικὰ τῶν μετρήσεων τῆς ΘΦ. Ἀντιστοίχως, τὸ δεύτερον δεῖγμα ἔδωκε θετικὰ ἀποτελέσματα. Ἡ ἰσοδύναμος δόσις προσδιορίσθη διὰ δύο θερμοκορυφῶν καὶ ἡ λαμβανομένη ἡλικία προέρχεται ἀπὸ τὴν μέσην τιμὴν τῶν δύο αὐτῶν ἐκτιμήσεων τῆς ὀλικῆς δόσεως.

Τὸ Σχῆμα 5 παρουσιάζει τὴν καμπύλην μεταβολῆς τῆς ΘΦ διὰ τῆς μεθόδου τῶν προσθετικῶν δόσεων, καθὼς καὶ τῆς παραμενούσης ΘΦ διὰ χρόνους 15—25 ὥρων ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Εἰς τὰς καμπύλας ΘΦ τῶν Σχημάτων 10 (α,β,γ) ἀνεγνωρίσθησαν ἐπίσης χαρακτηριστικαὶ κορυφαὶ τοῦ ἀσβεστολίθου εἰς τὰς θερμοκρασίας τῶν 100°C, 150°C, 275°C, 350°C καὶ ~400°C.

Τὰ ἀποτελέσματα διὰ τὴν πυραμίδα αὐτὴν ἔδωκαν μέσην τιμὴν ἡλικίας 2.100  $\pm$  610 ἔτη π.Χ. (ιδὲ Σχῆμα 16 καὶ Πίνακα).

#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Αἱ πυραμίδες τοῦ Ἑλληνικοῦ καὶ Λυγουριοῦ προσδιορίζονται χρονικῶς εἰς τὴν τρίτην χιλιετίαν π.Χ., ἐνῶ τὸ κατώτατον ὄριον ἀνάγεται εἰς τὸ μέσον τῆς 2ας χιλιετίας π.Χ. Ἐξάλλου τὰ ἐνυπάρχοντα σφάλματα εἰς τὰς μετρήσεις ΘΦ ἀνέρχονται εἰς ποσοστὰ  $\pm 30\%$ . Ἡ ἀβεβαιότης αὐτὴ ὀφείλεται εἰς τοὺς ἐξῆς κυρίως λόγους:

1. Εἰς τὴν ὑψηλὴν διασπορὰν τῶν σημείων τῆς καμπύλης μεταβολῆς τῆς ΘΦ διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς ὀλικῆς δόσεως. Ἡ διασπορὰ αὐτὴ προέρχεται κυρίως ἐκ



τῆς ἀνομοιογενείας τῶν δειγμάτων, τὰ ὁποῖα ἀπετελοῦντο ἀπὸ ἀσβεστολιθικά πετρώματα, περιέχοντα ὅμως καὶ φλέβας μαρμάρου.

2. Εἰς τὸ εὖρος τοῦ χρόνου ἐκθέσεως τῶν λαξευμένων ἐπιφανειῶν τῶν ὀγκολίθων εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς μέχρι τῆς τοποθετήσεώς των ἐπὶ τῆς κατασκευῆς. Ὁ χρόνος οὗτος ἐκτιμᾶται τῆς τάξεως τουλάχιστον μιᾶς ἡμέρας, ἤτοι εἰς 15—25 ὥρας ἡλιοφανείας. Εἶναι ὅμως δυνατὸν ὁ μέσος αὐτὸς χρόνος ἐκθέσεως τῶν λίθων νὰ ᾔητο διάφορος.
3. Εἰς τὴν ὑπάρχουσαν ἀβεβαιότητα ἐκ τῆς θέσεως εἰς τὴν ὁποίαν ἐγένετο ἡ δειγματοληψία.

Πράγματι, εἶναι δυνατὸν δείγματα νὰ ἐλαξεύθησαν ἀπὸ τὴν ἔδραν τῶν ὀγκολίθων τὴν τοποθετηθεῖσαν ἐν ἐπαφῇ μὲ τὸ ἔδαφος κατὰ τὴν προετοιμασίαν, ὥστε νὰ ἔχουν ἐκτεθῆ εἰς τὸ φῶς ἐπὶ ὀλιγώτερον χρόνον ἀπὸ τὰς λοιπὰς ἐπιφανείας ποὺ προσβάλλονται ἀπὸ τὴν ἡλιακὴν ἀκτινοβολίαν. Ἐπίσης οἱ μεγάλοι ὀγκολίθοι εἰς τὰς βάσεις τῶν κατασκευῶν πιθανὸν νὰ ἐτοποθετήθησαν ἐντὸς μικροτέρου χρονικοῦ διαστήματος ἀπ' ὅ,τι οἱ μεγάλοι καθ' ὕψος. Ἐξάλλου ἡ διάβρωσις καὶ ἡ φθορὰ λόγῳ τριβῆς ἐκ σεισμικῶν δονήσεων δύναται νὰ ἐπιδράσῃ ἐπὶ τοῦ χρόνου ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς μεταβάλλουσα τὸ μέγεθος τῆς φυσικῆς ΘΦ. Ἄπασαι αἱ ἀνωτέρω αἰτίαι ἐλήφθησαν ὑπ' ὄψιν κατὰ τὴν δειγματοληψίαν καὶ ἐγένετο προσπάθεια ἐλαχιστοποιήσεως αὐτῶν τῶν ἀβεβαιότητων. Διὰ τὸν λόγον αὐτὸν ἐμετρήθη σειρά ὅλη καταλλήλων δειγμάτων ὡς πρὸς τὰ ἀνωτέρω κριτήρια εἰς τρόπον ὥστε νὰ ἀποκλεισθῇ πᾶσα ἐπιδρασίς των εἰς τὴν ἀκριβῆ χρονολόγησιν. Αἱ δοθεῖσαι τιμαὶ χρονολογήσεως τῶν πυραμίδων ἀποτελοῦν τὸ στατιστικὸν μέσον, τὸ ὁποῖον κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον αὐξάνει τὴν ἀξιοπιστίαν καὶ τὴν ἀκρίβειαν τῆς τελικῆς χρονολογήσεως τῆς κατασκευῆς.

Διὰ τὸν προσδιορισμὸν τοῦ καταλλήλου χρόνου ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς τῶν δειγμάτων ὠδηγήθημεν ἐκ τοῦ δείγματος τῶν Μυκηνηῶν εἰς χρόνον, ὁ ὁποῖος ἐκυμαίνετο μεταξὺ 15 καὶ 20 ὥρῶν. Θεωροῦμεν ὅτι ὁ χρόνος αὐτὸς εἶναι ὁ μικρότερος δυνατὸς χρόνος παραμονῆς ἐκάστου μεγάλιθου ἐκτὸς τῆς κατασκευῆς καὶ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸν χρόνον ἐπιδράσεως τοῦ ἡλιακοῦ φωτὸς ἐπ' αὐτοῦ. Μικρότερος χρόνος τοῦ ληφθέντος θεωρεῖται μᾶλλον ἀπίθανος, ἐνῶ ἀντιθέτως μεγαλυτέρα διάρκεια ἐκθέσεως καὶ παραμονῆς τῶν μεγάλιθων εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς συνεπάγεται καὶ μεγαλυτέραν ἡλικίαν τῆς κατασκευῆς, διότι ἡ μεγαλυτέρα διάρκεια ἐκθέσεως αὐξάνει τὴν τελικὴν δόσιν ὅπως αὐτὴ προσδιορίζεται ἀπὸ τὰ Σχήματα 2-6 καὶ ἐπομένως καὶ τὴν ἡλικίαν τῆς κατασκευῆς.

Ἐξάλλου, συστηματικὸν τι σφάλμα εἶναι δυνατὸν νὰ εἰσαχθῇ κατὰ τὴν ἀπόληψιν τοῦ δείγματος τῆς κόνεως ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὀγκολίθου. Πράγματι, ὁ καθαρισμὸς μὲ ὕδωρ ἢ ἀραιὸν ὀξύ, καθὼς καὶ ἡ τριβὴ διὰ τὴν παραλαβὴν τῆς κόνεως πιθανὸν νὰ

ἀπεμάκρυνε ἐκ τοῦ λίθου στρώμα βάθους μεγαλύτερου ἀπὸ τὸ 0.5 mm, ὅποτε ἡ προκύπτουσα ὑψηλὴ ΘΦ ἐπηρεάζει κατὰ πολὺ, αὐξάνουσα τὴν ἡλικίαν τοῦ κτηρίου.

Ἐξάλλου διεπιστώθη ὅτι εἰς τὸ δεῖγμα τοῦ Ἑλληνικοῦ ETL6, ληφθὲν ἀπὸ τὴν εἴσοδον τῆς πυραμίδος, ἡ γεωλογικὴ ΘΦ ἀπὸ βαθὺ στρώμα τῆς ἐπιφανείας τοῦ δοκίμιου ἦτο τριπλασία τῆς φυσικῆς ΘΦ. Ἡ αὐτὴ παρατήρησις ἰσχύει καὶ διὰ τὰ λοιπὰ δείγματα. Ἡ διαφορὰ αὐτὴ ἀποδεικνύει ἐμμέσως τὸ γεγονός ὅτι αἱ λήψεις τῶν δειγμάτων κόνεως διὰ τριβῆς ἐγένοντο πάντοτε ἐντὸς τοῦ στρώματος πάχους 0.5 mm. Παρόμοιαι τιμαὶ ἢ καὶ μεγαλύτεραι διεπιστώθησαν εἰς ὅλα τὰ δείγματα. Ἐξάλλου ἡ βεβαιότης ἀπολήψεως στρώματος πάχους ὀλίγων ἑκατοντάδων μικρῶν διεπιστώθη τῇ βοηθείᾳ πειραμάτων προσομοιώσεως τῆς προετοιμασίας τοῦ δείγματος εἰς δείγματα λεπτῶν τομῶν καὶ μετρήσεως τοῦ πάχους στρώματος μὲ μικρομετρικὸν μικροσκόπιον (τῇ συστάσει τοῦ δρος I. Μπασιάκου, προσωπικὴ ἐπικοινωνία).

Ἄλλαι διορθώσεις αἱ ὁποῖαι δύνανται νὰ καθορισθοῦν ἀφοροῦν εἰς τὴν ἐξασθένησιν τῶν β-σωματιδίων καὶ τῆς γ-ἄκτινοβολίας, τὴν κάλυψιν τοῦ τείχους ἀπὸ χῶμα, τὴν ἐπίδρασιν τοῦ συντελεστοῦ εὐαισθησίας τῶν α-σωματιδίων ὡς πρὸς τὰ β-σωματίδια καὶ τέλος εἰς τὰς πυρηνικὰς μετρήσεις ποῦ ἀφοροῦν τὴν δραστηριότητα τῶν ραδιονουκλιδίων (U, Th, K) διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς ἐτησίως δόσεως mrad/ἔτος ἢ mGy/ἔτος. Αἱ κύρια συνιστώσα ἀκτινοβολιῶν ποῦ ἐμετρήθησαν ἦσαν αἱ ἀκτινοβολίαι γ τοῦ περιβάλλοντος καὶ ἡ β τοῦ κονιάματος.

Ἡ κρατοῦσα ἄποψις, ὅτι αἱ δύο πυραμίδες εἶναι κατασκευάσματα τῆς κλασσικῆς ἐλληνιστικῆς ἐποχῆς, ὡς τοῦτο ἰσχυρίσθη τὸ 1938 ὁ Lord, δὲν φαίνεται κατ' οὐδένα τρόπον νὰ ἐπιβεβαιουῖται. Πράγματι, διὰ νὰ ληφθῇ ἡλικία περὶ τὰ 2.300 ἔτη (ἦτοι διὰ τὸν 4ον αἰῶνα π.Χ.) θὰ ἔπρεπε ἡ παραμένουσα ΘΦ νὰ ἦτο περίπου ἴση ἢ τὸ πολὺ ὀλίγον μικροτέρα ἀπὸ τὴν φυσικὴν ΘΦ τῆς τάξεως τοῦ 2%. Ἐπίσης εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν δὲν θὰ παρουσιάζετο μείωσις τῆς ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς μὲ γοργοὺς ρυθμοὺς, ἀλλὰ μὲ πολὺ ἀργοὺς ρυθμοὺς, εἰς τρόπον ὥστε ἡ παραμένουσα ΘΦ ἐντὸς 30 ὥρῶν, νὰ ἦτο δυσδιάκριτος ἀπὸ τὴν φυσικὴν ΘΦ. Κάτι τέτοιο ὅμως δὲν συμβαίνει, μὲ ἀποτέλεσμα ὅτι ἡ μόνη περίπτωσις νὰ ληφθῇ μὲ τὴν ταχεῖαν πτώσιν τῆς ΘΦ μετὰ ἀπὸ ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς μικρὴ ἡλικία, εἶναι ὁ χρόνος ἐκθέσεως νὰ εἶναι πολὺ μικρὸς δηλαδὴ ἐντὸς τὸ πολὺ 5 h. Τοιοῦτον τι δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ ἰσχύη δι' ὅλους τοὺς μεγαλίθους τῆς κατασκευῆς, οἱ ὁποῖοι ἐξετάσθησαν.

Ἡ τελευταία πηγὴ σφαλμάτων ἢ ὁποία ἐξετάζεται εἶναι αὐτὴ τῆς ποιότητος τοῦ ὕλικου ἐπαφῆς τοῦ κονιάματος. Οἱ παρόντες ὑπολογισμοὶ ἐβασίσθησαν εἰς τὰ ὑπάρχοντα εἰς τὴν κατασκευὴν κονιάματα ποῦ λέγεται ὅτι εἶναι νεωτέρας ἐποχῆς, ἦτοι τῶν ἐλληνιστικῶν χρόνων. Ἐὰν εἰς τὴν προηγουμένην ἐποχὴν ἀρχικῆς κατασκευῆς τῶν πυραμίδων τὸ κονίαμα ἦτο περισσότερον πηλῶδες, τότε ἡ ραδιενέργεια τῶν β-σω-

ματιδίων και τὸ ποσοστὸν τῆς γ-ἀκτινοβολίας θὰ ἦσαν ηὔξημένα, ὅπως συμβαίνει εἰς τὴν περίπτωσιν τῶν Μυκηνῶν κατὰ 30-40 mrad/ἔτος κατὰ μέσην τιμὴν. Ἡ τοιαύτη αὔξησις θὰ ηὔξανε τὴν ἑτησίαν δόσιν μὲ ἀποτέλεσμα νὰ λαμβάνεται μικροτέρα ἡλικία περὶ τὰ 700 ἔτη. Ἐὰν ὅμως ληφθῆ ὑπόψιν ἡ διάβρωσις αὐτοῦ τοῦ στρώματος τοῦ κονιάματος μὲ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου, πρᾶγμα ποῦ σημαίνει μείωσιν τῶν ἀκτινοβολιῶν αὐτῶν, ἢ καὶ τυχὸν καὶ ἐπιδιορθώσεις τοῦ κονιάματος ἀπὸ μεταγενεστέρους κατοίκους, συνάγεται τὸ συμπέρασμα ὅτι εἶναι δυνατὸν νὰ ὑφίσταται ἀλληλοκαταρροαὶ τῶν φαινομένων αὐτῶν, μὲ συνέπειαν ἡ ἐπιβαλλομένη δόσιν νὰ εἶναι μικροτέρα ἀπὸ 700 ἔτη, πλησιάζουσα πρὸς τὴν μηδενικὴν τιμὴν.

Σημειοῦται ἐπίσης ὅτι, ἐκτὸς τῶν δύο πυραμιδοειδῶν κατασκευῶν τοῦ Ἑλληνικοῦ καὶ τοῦ Λυγουριοῦ, ἐξητάσθη καὶ ἡ κιβωτιόσχημος μεγαλιθικὴ κατασκευὴ κειμένη πλησίον τοῦ χωριοῦ Φίχτι τῶν Μυκηνῶν. Εἰς τὴν κατασκευὴν αὐτὴν ἡ ἔρευνα περιωρίσθη μόνον εἰς διασκοπήσεις. Ἐξηκριβώθη ὅτι τὸ εἶδος τοῦ ὕλικου τῶν μεγαλίθων ἦτο ἀνομοιογενὲς μείγμα ψαμμίτου καὶ παρακτίων ἰζημάτων, μὲ ἀποτέλεσμα ἡ ἀπόληψις δείγματος κόνεως σταθεροῦ πάχους νὰ εἶναι δυσχερὴς (Εἰκὼν 3). Δέον ὅπως ἀναφερθῆ ἐπίσης ἐναυθὰ ὅτι κινητὸς μεγάλιθος σχήματος ρηχοῦ κανίστρου διαμέτρου περίπου 1.90 m, εὑρισκόμενος ἐκτὸς τοῦ κτίσματος καὶ εἰς ἀπόστασιν δεκαπέντε περίπου μέτρων ἀπὸ τῆς πλησιεστέρως κορυφῆς τῆς κιβωτιόσχημου κατασκευῆς καὶ ἐπὶ τῆς ΒΔ διαγωνίου, παρατηρηθεὶς κατὰ τὰς πρώτας ἐπισκέψεις τῆς ὁμάδος τῶν ἐρευνητῶν, ἐξηφανίσθη ἐν συνεχείᾳ, προφανῶς κλαπεῖς (Εἰκὼν 4). Ἐπειδὴ τὸ λίθινον αὐτὸ κανίστρον ἀπετελεῖτο ἀπὸ ὕλικὸν παρόμοιον μὲ τοὺς λίθους τῆς κατασκευῆς, συνάγεται ὅτι τοῦτο ἀπετέλει μέρος τοῦ ἐξοπλισμοῦ τοῦ κτηρίου.

#### Σ Υ Μ Π Ε Ρ Α Σ Μ Α Τ Α

Εἰς τὴν ἐν λόγῳ μελέτην ἀνεπτύχθη νέα μέθοδος χρονολογήσεως λαξευμένων μεγαλίθων βασιθεῖσα εἰς τὴν μέτρησιν τῆς ἡλικίας τοποθετήσεως των τῆ βοηθείᾳ τοῦ φαινομένου τῆς ΘΦ [23]. Ἡ βασικὴ ἀρχὴ τῆς μεθόδου τῆς θερμοφωταυγείας ἔχει ἤδη ἐφαρμοσθῆ μετὰ μεγάλης ἐπιτυχίας διὰ τὴν μέτρησιν τῆς ἡλικίας ἰζημάτων, κεραμεικῶν κ.ἄ. Εἰς τὴν ἐργασίαν ταύτην ἀπεδείχθη ὅτι ἡ μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῆς ἡλικίας μεγαλίθων εἰς τὰς κατασκευὰς διὰ μετρήσεως τῆς μεταβολῆς τῆς ΘΦ τοῦ ληφθέντος λεπτοῦ στρώματος ἐκ τῆς ἐπιφανείας τῶν λίθων τῆς μὴ προσβαλλομένης ὑπὸ τοῦ ἡλιακοῦ φωτός ἀποτελεῖ ἀσφαλῆ μέθοδον μετρήσεως τῆς ζωῆς τῆς κατασκευῆς, ἐφ' ὅσον αὐτὴ δὲν ἔχει διαταραχθῆ ἐνδιαμέσως.

Τὰ ἀποτελέσματα χρονολογήσεως τῶν δύο πυραμιδοειδῶν κτηρίων τῆς Ἀργολίδος, ἤτοι τοῦ Ἑλληνικοῦ εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ Ἄργους καὶ τοῦ Λυγουριοῦ, ἀποτε-

λοῦν τὴν πρώτην ἀσφαλῆ μέτρησιν τῆς ἡλικίας τῶν κτηρίων. Πρὸς τὸν σκοπὸν αὐτὸν διεξήχθησαν πειράματα προσομοιώσεως καὶ ἐξετελέσθη ἐπαρκῆς ἀριθμὸς μετρήσεων ἐπὶ δειγμάτων ληφθέντων ἀπὸ ἑπτὰ διάφορα σημεῖα τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ καὶ δύο δείγματα τῆς πυραμίδος τοῦ Λυγουριῦ. Ἡ ἀξιοπιστία τῆς μεθόδου ἐπεβεβαιώθη περαιτέρω δι' ἐφαρμογῆς τῆς εἰς δείγματα ἀποληφθέντα ἐκ τοῦ τείχους τῶν Μυκηναίων, τῶν ὁποίων ἡ χρονολόγησις θεωρεῖται βεβαία. Ἡ σύμπτωσης τῆς χρονολογήσεως διὰ τῆς μεθόδου τῆς ΘΦ τοῦ τείχους τῶν Μυκηναίων μὲ τὴν κρατοῦσαν γνωστὴν ἀποψιν τῆς ἡλικίας του ἀποτελεῖ ὄχι μόνον ἐπιβεβαίωσιν τῆς ἀκριβείας τῆς μεθόδου ἀλλὰ συγχρόνως καὶ ἐπικύρωσιν τῆς ἤδη γνωστῆς ἡλικίας τῆς κατασκευῆς.

Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον ἡ κρατοῦσα μέχρι σήμερον ἀποψις διὰ τὴν ἡλικίαν τῶν δύο πυραμίδων ὑπὸ τοῦ ἀρχαιολόγου Lord κατὰ τὸ ἔτος 1938, πρέπει νὰ ἀναθεωρηθῇ ὑπὸ τὸ φῶς τῶν νέων μετρήσεων. Πράγματι, ἡ δοθεῖσα ὑπὸ τοῦ Lord ἡλικία τῶν κεραμεικῶν ὑπολειμμάτων τὸ 400-300 περίπου π.Χ. ἀφορᾷ μόνον αὐτὰ ταῦτα τὰ κεραμεικὰ καὶ οὐχὶ τὴν ἡλικίαν τοῦ κτίσματος.

Ἡ ἡλικία τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ, ἡ ὁποία εἶναι καὶ ἡ παλαιότερα, ἀντιστοιχεῖ ἀσφαλῶς εἰς τὴν πρωτοελλαδικὴν περίοδον I/II, ἐνῶ ἡ ἡλικία τῆς πυραμίδος τοῦ Λυγουριῦ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸ τέλος τῆς πρωτοελλαδικῆς III, γεγονός πὸ κατατάσσει τὰ συγκροτημένα αὐτὰ κτήρια τῆς χώρας μας μεταξὺ τῶν παλαιότερων κατασκευῶν σημαντικοῦ ἐπιστημονικοῦ ἐνδιαφέροντος, ἀναγομένων εἰς τὴν προπελασγικὴν ἐποχὴν τῶν Δαναῶν.

Πράγματι, ἡ μέση ἡλικία κατασκευῆς τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ ἀνέρχεται εἰς 2.720 (±580, ±1050) π.Χ., ἐνῶ ἡ μέση ἡλικία τῆς πυραμίδος τοῦ Λυγουριῦ σὲ 2.100±610 π.Χ. Τέλος, ἡ χρονολόγησις τοῦ Μυκηναϊκοῦ τείχους ὑπελογίσθη διὰ τῆς μεθόδου τῆς ΘΦ εἰς 1100±180 ἔτη π.Χ., μὲ ἀντίστοιχον παλαιότεραν ἀρχαιολογικὴν ἐκτίμησιν ἴσῃ πρὸς 1280 ἔτη π.Χ.

Ἔχομεν τὴν γνώμην ὅτι αἱ ἐκτελεσθεῖσαι μετρήσεις ἐπὶ τῶν δοκιμίων τῶν ὑπὸ μελέτην κατασκευῶν καθὼς καὶ τὰ διάφορα πειράματα πὸ ἐξετελέσθησαν ἀναθεωροῦν τὴν ὑπάρχουσαν ἀρχαιολογικὴν ἐκτίμησιν, ἡ ὁποία θεωρεῖ τὰ κτίσματα πολὺ νεώτερα καὶ ἐλπίζομεν ὅτι ἡ ἀκρίβεια τῶν μετρήσεων δύναται νὰ αὐξηθῇ μὲ συμπληρωματικὰς μετρήσεις διὰ χρησιμοποίησεως τοῦ φαινομένου τῆς ὀπτικῶς διεγειρομένης φωταυγείας διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς ὀλικῆς δόσεως, εἰς τρόπον ὥστε νὰ προκύψουν καμπύλαι ἀναπτύξεως τῆς ΘΦ συναρτήσῃ τῆς δόσεως μὲ πολὺ μικροτέραν διασπορὰν σημεῖων ἢ ὁποία, ὡς εἶναι φυσικόν, θὰ αὐξήσῃ τὴν ἀκρίβειαν. Ἐν τούτοις προκαταρκτικαὶ μετρήσεις διὰ τῆς μεθόδου αὐτῆς δὲν ἀπέφεραν τὸ ἐπιθυμητὸν ἀποτέλεσμα μέχρι σήμερον. Πάντως πιστεύομεν ὅτι οἰαδήποτε βελτίωσις καὶ ἂν ἐπιτευχθῇ κατὰ τὴν λῆψιν τῶν μετρήσεων καὶ χάραξιν τῶν βασικῶν καμπύλων, αἱ μετρηθεῖ-

σαι μέχρι σήμερα ηλικία δὲν πρόκειται νὰ μεταβληθοῦν πέραν ἀπὸ τὰ δοθέντα ἤδη στατιστικὰ σφάλματα καὶ ἐπομένως ἀμφότεραι αἱ πυραμίδες θὰ ἀνάγωνται εἰς τὰς ἱστορικὰς περιόδους εἰς τὰς ὁποίας ἡμεῖς ἤδη τὰς κατετάξαμε.

Ἐξάλλου, ἡ εὐρεθεῖσα ἡλικία τῶν πυραμίδων εὐρίσκεται ἐν συμφωνίᾳ καὶ μὲ ἄλλα μετρηθέντα στοιχεῖα, ὅπως εἶναι ἡ χρονολόγησις κεραμεικῶν προερχομένων ἀπὸ τὴν βᾶσιν τῶν θεμελίων τῆς Βορείου πλευρᾶς τῆς πυραμίδος τοῦ Ἑλληνικοῦ διὰ τῆς μεθόδου τῆς ΘΦ, ἡ ὁποία εὐρέθη νὰ ἀνέρχεται εἰς περίπου 3.000 π.Χ., ὅπως τοῦτο θὰ ἀναφερθῆ εἰς ἐπομένην ἀνακοίνωσίν μας.

Ἐξάλλου ἡ ἀναφορὰ τοῦ Παυσανίου διὰ τὴν πυραμίδα τοῦ Ἑλληνικοῦ, ὅπως θὰ ἀναφερθῶμεν εἰς τὴν ἐπομένην ἀνακοίνωσίν μας, ἐν συσχετισμῷ μὲ τὰς σχετικὰς ἐκτεταμένους γλωσσολογικὰς μελέτας τοῦ συναδέλφου κ. Μ. Σακελλαρίου [30], συναρτᾷ τὴν πυραμίδα αὐτὴν μὲ τὴν ἐποχὴν τῶν Δαναῶν. Τέλος, διὰ συγκρίσεως τῆς λιθοδομῆς τῶν πυραμίδων μὲ σχετικὰς κατασκευὰς τῆς περιόδου αὐτῆς καταδεικνύει τὴν στενὴν συγγένειάν των. Πάντα τὰ ἀνωτέρω ὑποβοηθητικὰ περαιτέρω ἐπιβεβαιώσεως τῆς ἀκριβείας τῶν μετρήσεων τῆς ἡλικίας τῶν πυραμίδων θέλουσιν ἀναπτυχθῆ εἰς προσεχῆ ἀνακοίνωσίν μας.

## Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΙΣ ΜΥΚΗΝΑ·Ι·ΚΟΥ ΤΕΙΧΟΥΣ

Ἡ ὀλικὴ ἰσοδύναμος δόσις ὑπελογίσθη ἴση πρὸς  $9.6 \pm 0.7$  Gy δι' ἐκθέσεως τοῦ δοκιμίου εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς εἰς χρόνον (t) ἴσον πρὸς 15-20 ὥρας. Ἡ διασπορὰ τῶν σημείων τῆς καμπύλης ἀναπτύξεως ἦτο ἀρκετὰ καλὴ. Ἡ καμπύλη αὐτὴ δύναται ἰκανοποιητικῶς νὰ παρασταθῆ δι' εὐθείας, τῆς ὁποίας ἡ ἐξίσωσις προσδιορισθεῖσα μὲ τὴν μέθοδον τῶν ἐλαχίστων τετραγώνων δίδεται ὑπὸ τῆς σχέσεως:

$$Y = 0.0323 x + 0.568 \quad (\text{Π.1})$$

Αἱ ἐτήσια δόσεις (α,β,γ) ἀκτινοβολιῶν τοῦ ὑποκειμένου ἀσβεστολίθου προσδιορίσθησαν βᾶσει τῆς ἐξισώσεως (1) εἰς,  $d_a = 23$  mrads/ἔτος,  $d_b = 3$  mrads/ἔτος καὶ  $d_\gamma = 2$  mrads/ἔτος, ἅπασαι διὰ γεωμετρικῶν μετρήσεων ἴσων πρὸς 2π. Σημειοῦται ὅτι ἡ β-δόσις προέρχεται ἀπὸ τὸν ὑποκείμενον μεγάλιθον καὶ ἀπὸ τὸ ὑπερκείμενον κονίαμα.

Ὁ προσδιορισμὸς τῶν ραδιονουκλιδίων U, Th, ἐγένετο διὰ τῆς μεθόδου τῆς φασματοσκοπίας -γ ὑψηλῆς διακριτικότητος [28] καὶ ἡ μετατροπὴ των εἰς ρυθμοὺς δόσεων εὐρέθη βᾶσει πινάκων [29]. Ὑπελογίσθησαν ἐπίσης καὶ αἱ ἀντίστοιχοι ἐτήσια δόσεις ἀπὸ τὸ κονίαμα μεταξὺ τῶν ἐν ἐπαφῇ ὀγκολίθων εἰς:  $d_a = 606$  mrads/ἔτος,

$d_{\beta} = 53$  mrad/έτος,  $d_{\gamma} = 6$  mrad/έτος. Η  $\gamma$ -ακτινοβολία περιβάλλοντος μετά τής κοσμικής έμετρήθησαν με φορητόν σπινθηριστήν ακτινοβολιών- $\gamma$  καταλλήλως βαθμονομημένον δια  $E > 300$  KeV. Είς ύψος 2 μέτρων από τὸ σημερινὸν ἔδαφος έμετρήθη ἡ ακτινοβολία  $d_{\gamma} = 162$  mrad/έτος, ἐνῶ εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ἐδάφους έμετρήθη ἡ  $d_{\gamma} = 220$  mrad/έτος, ὅποτε ἡ τελικὴ  $d_{\gamma} = (162+220)/2 = 190 \pm 10$  mrad/έτος (Σχῆμα 18).

Ἡ εἰς ΘΦ εὐαισθησία τοῦ ἀσβεστολίθου εἰς τὴν ακτινοβολίαν- $\alpha$  ἐν σχέσει με τὴν  $\beta$  (ἢ  $\gamma$ ), ἔχει ληφθῆ ἴση πρὸς 0.35, ἀπὸ τὴν μέσην τιμὴν πολλῶν μεμονωμένων τιμῶν [31], ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὸν προσδιορισμὸν μιᾶς τιμῆς ἀπὸ τὸ δείγμα E93S ἴσης πρὸς  $a = 0.5 \pm 0.2$ , ἀφοῦ κατεσκευάσθησαν αἱ καμπύλαι ἀναπτύξεως δια  $\beta$ - καὶ  $\alpha$ -δόσεις καὶ προσδιωρίσθησαν αἱ ἰσοδύναμοι δόσεις ( $D_{\beta}$ ) σὲ rads, καὶ ( $D_{\alpha}$ ) εἰς λεπτὰ ακτινοβολήσεως με πηγὴν Am-241, καὶ χρησιμοποιώντας τὸν τύπον:

$$a\text{-τιμὴ} = D_{\beta}/2.0514D_{\alpha} \quad (\text{Π.2})$$

Ἡ θέσις τοῦ δείγματος εἶναι τοιαύτη ὥστε δὲν ἐπηρεάζεται ἡ ακτινοβολία λόγω παρουσίας ὕδατος, οὕτως ὥστε ἡ ἐλάττωσις τῶν  $\alpha, \beta, \gamma$  ακτινοβολιῶν νὰ θεωρεῖται ἀμελητέα. Ἡ ἐξίσωσις (2) δίδει τὴν ὀλικὴν ἐτήσιαν δόσιν  $d_{\alpha} + d_{\beta} + d_{\gamma} = 280$  mrad/έτος.

Ἡ ἡλικία δι' ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς τῆς λαξευμένης ἐπιφανείας τοῦ ὄγκου λίθου ἐλήφθη ἴση πρὸς  $t = 15-20$  ὥρας, ὅποτε ἡ ἡλικία τοῦ δείγματος εὐρέθη ἴση πρὸς  $1100 \pm 180$  ἔτη π.Χ. Ἡ ἀβεβαιότης, ἡ ὁποία συνοδεύει τὴν ἡλικίαν, ἀναφέρεται κυρίως, εἰς τὴν ακτινοβολίαν- $\gamma$  ἀπὸ τὸ χῶμα, τὸ ὁποῖον εἶχε καλύψει τὸν τοῖχον, καθὼς καὶ εἰς τὸν συντελεστὴν τῆς  $a$ -τιμῆς καὶ εἰς τὴν διασπορὰν τῶν σημείων τῆς γραμμῆς ἀναπτύξεως, παράγοντας, οἱ ὁποῖοι ἐπηρεάζουν τὴν ἰσοδύναμον δόσιν ( $D$ ).

Πάντως τὰ ὑπεισερχόμενα σφάλματα δὲν ἐπιδροῦν εἰς τὴν ἐλάττωσιν τῆς ἡλικίας τοῦ δείγματος, ἀλλὰ τουναντίον τὴν αὐξάνουν, ἐνῶ ἀντιστοίχως ἐπηρεάζουν τὴν ἀβεβαιότητα τοῦ χρόνου ἐκθέσεως τῆς λαξευμένης ἐπιφανείας εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Ἐφ' ὅσον μακρότερος χρόνος ἐκθέσεως συνεπάγεται μεγαλύτεραν ἡλικίαν, ἡ ληφθεῖσα ἡλικία εἶναι σύμφωνος με τὴν ἀρχαιολογικὴν ἐκτίμησιν ἐντὸς τοῦ στατιστικοῦ σφάλματος. Ἡ ἐκτίμησις αὕτη συμβάλλει εἰς τὸν καθορισμὸν τοῦ χρόνου ἐκθέσεως τῶν μεγαλίθων εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Ὁ χρόνος οὗτος, ὁ ὁποῖος ἐχρησιμοποιήθη εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς τῶν δύο πυραμιδοειδῶν κτισμάτων, ἤτοι 20-25 ὥραι, θεωρεῖται ὡς ὁ πλέον πιθανότερος χρόνος, ὁ ὁποῖος ἐμεσολάβησε μεταξὺ τῆς λαξεύσεως καὶ τῆς τοποθετήσεως τοῦ μεγαλίθου εἰς τὸ κτίσμα, ἀποτελεῖ ἐπὶ πλέον καὶ ἡ ἀρχὴ ὀροπέδιου σταθεροῦς ἢ βραδέως μειουμένης με τὴν ἔκθεσιν εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς, ὑπολειμματικῆς ΘΦ.

Τὸ Σχῆμα 19 δεικνύει τὴν μείωσιν τῆς ΘΦ τοῦ δείγματος διὰ περίοδον ἀπὸ μηδενὸς χρόνου μέχρι 90 ὥρῶν ἐκθέσεως εἰς τὸ ἡλιακὸν φῶς. Παρατηροῦμεν ὅτι διὰ χρόνον 20 ὥρῶν + 42' ἀκτινοβολίας ἀπὸ ἡλιακὸν προσομοιωτὴν ἔδωκε τιμὴν μετὰ ἀὐτῆς τῶν 20 ὥρῶν καὶ τῶν 90 ὥρῶν.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΑΙ

Ἡ συνολικὴ ἔρευνα ἢ ἀφορῶσα τὴν μελέτην τῆς ἡλικίας τῶν πυραμιδοειδῶν κτισμάτων τῆς Ἀργολίδος κατέστη δυνατὴ διὰ τῆς γενναίας χρηματικῆς ἐνισχύσεως τοῦ Ἰδρύματος ΛΙΑΙΑΝ ΒΟΥΔΟΥΡΗ κατὰ τὸ ἀρχικὸν τῆς στάδιον. Ἡ συνέχισις τῆς ἐρεύνης ἐπετεύχθη διὰ τῆς οἰκονομικῆς ἐνισχύσεως τῆς Ἐπιτροπῆς Ἐρευνῶν τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν διὰ μέσου τῶν ἐρευνητικῶν προγραμμάτων 200/246 καὶ 200/283. Ἀπαντες οἱ συμμετέχοντες εἰς τὴν ἔρευναν ταύτην ἐκφράζομεν τὰς θερμὰς εὐχαριστίας μας πρὸς τὰ δύο αὐτὰ ἰδρύματα. Εὐχαριστοῦμεν ἐπίσης ἐκφράζονται πρὸς τὸν Δρα D.F.O. Russell καὶ τὸ Ἰδρυμα RUSSELL τῆς Σκωτίας διὰ τὴν συμβολὴν των εἰς τὰς μετρήσεις ΘΦ τὰς ἐκτελεσθείσας εἰς τὸ Πανεπιστήμιον τοῦ Ἐδιμβούργου. Τέλος εὐχαριστοῦμεν τὸ Ὑπουργεῖον Πολιτισμοῦ, τὸ Κεντρικὸν Ἀρχαιολογικὸν Συμβούλιον καὶ τὴν Ἐφορείαν Ἀρχαιοτήτων Ναυπλίου διὰ τὴν παροχὴν ἀρχαιολογικῆς καὶ ἀρχαιομετρικῆς ἀδείας μελέτης τῶν πυραμίδων καὶ τὴν πρόθυμον συνεργασίαν των.

#### S U M M A R Y

##### **Dating of two Hellenic Pyramids by a new principle of Thermoluminescence**

In Greece, so far, two pyramidal structures are known from reports of the ancient historian traveller Pausanias (2nd c A.D., see Papahatzis, 1976, [32]) and from some partial archaeological research.

The two small sized (~ 15m side) squared pyramids at Hellenikon (best preserved up-to a height of 4.60 m) and Lygourio (highly demolished), were first excavated by Wiegand (1901) and subsequently by the American School of Classical Studies at Athens by Lord and his team (Lord, 1938). They described the ceramic sherds found in their floor and placed the construction age from the middle to the end of 4th century B.C. However, more ceramic fabric was reported to have been unearthed; the older sherd from deeper layers was of prehistoric times and the younger from upper layers was of the roman and protochristian ages.

Since then, no other dating or excavation work has been made. In 1992 the National Academy of Athens undertook the task to organize a multidisciplinary archaeometric research project, attempting to a reappraisal of construction age and functioning. The results of the dating part of this work is first presented here.

A new principle of thermoluminescence (TL) dating, based upon the sunlight bleaching of electron traps in carved calcites, has been employed to determine the construction age of these two reduced size pyramidal buildings, of «Hellenikon» and «Lygourio» in Argolid, Peloponnese, Greece. Nine dates have been produced, one of which referred to a well-known age Mycenaean wall. The average age for Hellenikon was estimated to be 2720 ( $\pm 580 \pm 1050$ ) years B.C. and for Lygourio was 2100  $\pm 610$  years B.C., while the Mycenaean wall gave an age of 1100  $\pm 180$  years B.C.

The earlier archaeological dating for the two pyramids, based on some in situ findings and partly on their masonry, was attributed to classical/Hellenistic times, and the Mycenaean wall to 1280 B.C. In the light of the new dating approach the age of the Pyramids is reassessed and placed in prehistoric times, while the age of the Mycenaean wall reconfirms the validity and the accuracy of the new method of TL within some scattering of the individual results.

#### B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

1. A i t k e n, M. J., «Thermoluminescence dating», *Academic Press*, London, (1985).
2. Λ υ ρ ι τ ζ ή ς, I., «*Αρχαιομετρία-Μέθοδοι χρονολογήσεως εις την 'Αρχαιολογία*», 'Εκδ. Καρδαμίτσα, Β' Έκδοση, 'Αθήνα, (1994).
3. L o r d, L., «The Pyramids of Argolis», *Esperia*, Vol. II, No. 4, pp. 481-538, (1938).
4. K e n n e d y, G. C. and K n o p f f, L., «Dating by Thermoluminescence», *Archaeology*, 13, pp. 147, (1960).
5. F l e m i n g, S., «*TL dating in Archaeology*», *Oxford University Press*, (1979).
6. M c D o u g a l l, D. J., «Thermoluminescence of geological materials», *Academic Press*, London, (1968).
7. S i n g h v i, A. K. and M e j d a h l, V., «Thermoluminescence dating of sediments», *Nuclear Tracks*, Vol. 10, pp. 137-161, (1985).
8. G r o s k u, Y. H., O v e r h o f e r, M. and R e g u l l a, D., «Scientific dating methods», *Kluwer Academic Publ.*, Dordrecht, (1991).
9. M e j d a h l, V., «Thermoluminescence dating of sediments», *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 17, pp. 219-227 (1986).



10. W i n t l e, A. G., and H u n t l e y, D. J., «Thermoluminescence dating of a deep-sea sediments core», *Nature*, Vol. 279, No. 5715, pp. 710-712, (1979).
11. W i n t l e, A. G., and H u n t l e y, D. J., «Thermoluminescence dating of ocean sediments», *Canadian J. Earth Sci.*, Vol. 17, No. 3, pp. 348-360, (1980).
12. Proceedings of Specialist Seminars on «Thermoluminescence and ESR dating», in the *Journal of the European Study Group on Archaeology*, Council of Europe, Strasbourg, PACT (1978, 1979, 1982, 1983).
13. *Nuclear Transradiation Measurements*, Special issue on TL and ESR dating, Vol. 14, Nos. 1/2, (Townsend et al. Editors), Pergamon Press, Oxford, (1988).
14. M c K e e v e r, S. W. S., «Thermoluminescence of Solids», *Cambridge Solid State Science Series*, CUP, Cambridge (1985).
15. M o r o z o v, G. V., «The relative dating of quaternary Ukrainian sediments by the Thermoluminescence method», In 8th Intern. Quaternary Assoc. Congress Paris, *USGS Library Catalog.*, No. 208, M8208 pp. 167, Washington D.C., (1968).
16. S h e l k o p l y a s, V. N., «Dating of the quaternary deposits by means of Thermoluminescence», In *Chronology of the Glacial Age*, *Geographical Society*, (Zubakov V. A. and Kohegura V. V., Edtors), pp. 155-160, Russia, (1971).
17. B o t h n e r, M. H. and J o h n s o n, N. M., «Natural Thermoluminescent dosimetry in Plane Pleistocene Pelagic sediments» *Jnl. Geophys. Res.*, Vol. 74, pp. 5331-5338, (1969).
18. H u n t l e y, D. J. and J o h n s o n, H. P., «Thermoluminescence as a Potential means of dating siliceous ocean sediments», *Canadian Jnl. Earth Sci.*, Vol. 13, pp. 593-596, (1976).
19. W i n t l e, A. G. and H u n t l e y, D. J., «Thermoluminescence dating of sediments», *Quaternary Sci.*, Rev. 1, pp. 31-51, (1982).
20. B e r g e r, G. W., «Thermoluminescence dating studies of tephra, loess and lacustrine sediments», *Quaternary Sci. Rev.*, 7, Nos. 3/4, pp. 295-304 (1988).
21. W i n t l e, A. G., «Luminescence dating of aeolian sands», In Pye K. (ed.) *The Dynamics and Environmental Context of Aeolian Sedimentary Systems*, *Geological Society*, Special Publication, Vol. 72, pp. 49-58 (1993a).
22. W i n t l e, A. G., «Dating sediments using luminescence signals», *Environmental Science and Technology*, Vol. 27, pp. 803-805, (1993b).
23. L i r i t z i s, I., «A new dating method by Thermoluminescence of carved megalithic stone» building, *C. R. Acad. Science*, Paris, t. 319, serie II, pp. 603-610 (1994).
24. G a l l o w a y, R. B., «A versatile 40-sample system for TL and OSL investigations», *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, Vol. 18, pp. 265-271, (1991).
25. G o d f r e y - S m i t h, D. I., H u n t l e y, D. J. and C h e n, W. H., «Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts», *Quaternary Sci.*, Rev. 7, pp. 373-380, (1988).
26. L i r i t z i s, I., «Dating of Calcites: Some aspects of radiation survey in caves and dose—rates», *Ann. Geolog. Pays Helleniques*, Vol. 34, No. 1, pp. 123-136 (1989).

27. Liritzis, I. and Galloway, R. B., «A new technique for calibrating a Na I (Tl) scintillometer used to measure gamma dose-rates in archaeological sites», *Nucl. Instr. Meth.*, Vol. 174, pp. 593-597, (1980).
28. Galloway, R. B. and Liritzis, I., «Provenance of Aegean volcanic tephra by high resolution gamma-ray spectrometry», *Nucl. Geophys.*, Vol. 6, No. 3, pp. 405-414, (1992).
29. Liritzis, I. and Kokkoris, M., «Revised dose-rate data for Thermoluminescence/ESR dating», *Nucl. Geophys.*, Vol. 6, No. 3, pp. 423-443, (1992).
30. Sakellariou, M. B., «Peuples Préhelléniques d'origine Indo-européenne», Ekdotiki Athinon S. A., Publ., Athens, (1977).
31. Wintle, A. G., «A Thermoluminescence dating study of some quaternary calcite: Potential and problems», *Canadian Jnl. Earth Sci.* vol. 15, pp. 1977-1986, (1978).
32. Papahatzis, N., «Pausaniou Hellados Periegesis» Korinthiaka, 25, 7, (1976).