

ΕΠΙΔΡΑΣΙΣ ΑΚΤΙΝΩΝ γ ΚΑΙ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ
ΕΠΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΙΝΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ
ΤΟΥ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Υ Π Ο
Ε. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΑΚΗ

ΕΠΙΔΡΑΣΙΣ ΑΚΤΙΝΩΝ γ ΚΑΙ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ
ΕΠΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΙΝΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ
ΤΟΥ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Ἀπὸ τῆς ἐνάρξεως τῆς λειτουργίας τῶν ἀτομικῶν ἀντιδραστῆρων εἶχε διαπιστωθῆ ὅτι αἱ ἀκτινοβολίαι, σωματιδιακαὶ ἢ ἠλεκτρομαγνητικαί, ἐπέφερον διαταραχὰς τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος τῶν στερεῶν ὕλικῶν. Ἐκτοτε ἤρχισεν εὐρεῖα ἔρευνα τοῦ φαινομένου τούτου εἰς καθαρὰ μέταλλα, κράματα καὶ ἡμιαγωγούς, ἐνταθεῖσα ἰδιαίτερος κατὰ τὴν τελευταίαν δεκαετίαν.

Εὐρέθη ὅτι ἡ δρᾶσις τῶν διαφόρου φύσεως ἀκτινοβολιῶν ἐπὶ τῶν στερεῶν εἶναι γενικῶς διάφορος. Τὰ νετρόνια ὡς ἀφόρτιστα σωματίδια δροῦν κυρίως προκαλοῦντα πυρηνικὰς ἀντιδράσεις ἢ δίδοντα ἐνέργειαν εἰς τοὺς πυρῆνας δι' ἐλαστικῆς κρούσεως, ἐνῶ τὰ φορτισμένα σωματίδια, πρωτόνια, δευτερόνια, ἀκτῖνες χ διεγείρουν ἢ ἰονίζουσι τὰ ἄτομα τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος ἢ μεταδίδουσι ἐνέργειαν εἰς τοὺς πυρῆνας δι' ἐλαστικῆς κρούσεως. Τὰ ἠλεκτρόνια καὶ φωτόνια προκαλοῦν κυρίως διέγερσιν καὶ ἰονισμόν.

Αἱ ἐπιδράσεις τῶν διαφόρου φύσεως ἀκτινοβολιῶν ἐξαρτῶνται ἐπίσης ἐκ τῆς φύσεως τοῦ ἀκτινοβολουμένου ὕλικου. Εἰς τὰ μέταλλα μεγάλην σημασίαν ἔχουσι αἱ ἐλαστικαὶ κρούσεις τῶν σωματιδίων τῆς ἀκτινοβολίας μετὰ τοὺς πυρῆνας, ἐνῶ ὁ ἰονισμὸς τῶν ἀτόμων δὲν φαίνεται νὰ προκαλῆ οὐσιώδεις μεταβολὰς, ὡς ἐκ τοῦ ἤδη μεγάλου ἀριθμοῦ ἐλευθέρων ἠλεκτρονίων ἐντὸς τοῦ μεταλλικοῦ πλέγματος (μεγάλῃ ἠλεκτρικῇ ἀγωγιμότητι).

Εἰς τοὺς ἡμιαγωγούς καὶ τοὺς μονωτάς τουναντίον πλὴν τῶν ἐλαστικῶν κρούσεων γίνεται αἰσθητὴ καὶ ἡ ἐπίδρασις τοῦ ἰονισμοῦ, ὡς προκύπτει ἐκ τῆς μεταβολῆς τῶν ἠλεκτρικῶν ἰδιοτήτων αὐτῶν.

Ἀποτέλεσμα τῆς ἐλαστικῆς κρούσεως σωματιδίου - πυρῆνος δύναται νὰ εἶναι ἡ μετατόπισις τοῦ ἀτόμου εἰς μεσοπλεγματοκίνηθσιν, ἐνῶ ἡ προηγουμένη θέσις αὐτοῦ μένει κενή. Ἐμφανίζεται ἐπομένως μία διαταραχὴ εἰς τὸ κρυσταλλικὸν πλέγμα λόγῳ τῆς δημιουργίας τοῦ ζεύγους μεσοπλεγματοκίτου ἀτόμου (interstitial) καὶ κενοῦ (vacancy). Τὸ εἶδος αὐτὸ τῆς διαταραχῆς καλεῖται σφάλμα FRENKEL. Πολλάκις τὰ σφάλματα αὐτὰ γίνονται αἰτία γενέσεως ἄλλου τύπου σφαλμάτων, ὡς βρόχων, ὀλισθήσεων κλπ.

Ἡ πρώτη θεωρία ἐπὶ τῶν μεταβολῶν τῶν ἰδιοτήτων τῆς στερεᾶς καταστάσεως δι' ἐπιδράσεως ἀκτινοβολίας διετυπώθη ὑπὸ τοῦ SEITZ⁽¹⁾,⁽²⁾. Ἡ

θεωρία του SEITZ εξετάζει την επίδραση ακτινοβολίας σωματιδίων φορτισμένων ή μή. Κατά τον SEITZ φορτισμένον σωματίδιον εισερχόμενον εντός της ύλης χάνει ενέργειαν είτε δι' ελαστικής κρούσεως με τους πυρήνας των ατόμων του πλέγματος είτε δια διεγέρσεως και ιονισμού.

Ἡ ἐνέργεια, ἡ ὁποία μεταδίδεται κατὰ τὴν ἐλαστικὴν κρούσιν, δίδεται ὑπὸ τῆς σχέσεως

$$\Delta E = E_1 \frac{4 M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} \eta \mu^2 \theta / 2$$

ὅπου E_1 , M_1 ἡ ἐνέργεια καὶ ἡ μᾶζα τοῦ βλήματος, M_2 ἡ μᾶζα τοῦ πυρήνος καὶ θ ἡ γωνία ἀποκλίσεως τοῦ σωματιδίου ἐκ τῆς ἀρχικῆς του τροχιάς.

Ὑποτιθεμένου ὅτι τὸ θ λαμβάνει ὅλας τὰς δυνατὰς τιμὰς μετὰ τὴν αὐτὴν πιθανότητα ὑπολογίζεται ἡ μέση τιμὴ τῆς ΔE

$$\Delta E = 2 E_1 \frac{M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} \quad (1)$$

Ἐκ τῆς σχέσεως (1) φαίνεται ἡ σημασία τῆς μάζης τοῦ βλήματος διὰ τὸ μεταδιδόμενον ποσὸν ἐνεργείας. Σωματίδια μεγαλύτερας μάζης μεταδίδουν μεγαλύτερον μέρος ἐνεργείας δι' ἐλαστικῆς κρούσεως. Οὕτω τὰ ἠλεκτρόνια ὡς ἐκ τῆς μικρᾶς των μάζης ἐλαχίστην ἐνέργειαν μεταδίδουν δι' ἐλαστικῆς κρούσεως.

Μέρος τῆς προσδιδομένης ἐνεργείας ΔE καταναλίσκεται διὰ τὴν μετατόπισιν τοῦ ατόμου τὸ δὲ ὑπόλοιπον παραμένει ὡς ἐνέργεια δονήσεως αὐτοῦ μετατρεπομένη εἰς θερμότητα.

Μετατόπισις τοῦ ατόμου εἶναι δυνατὴ μόνον, ὅταν ἡ προσδιδομένη εἰς αὐτὸ ἐνέργεια εἶναι μεγαλύτερα τῆς ἐνεργείας συνδέσεως αὐτοῦ εἰς τὴν θέσιν ἰσορροπίας. Ἡ ἐνέργεια συνδέσεως διὰ μέταλλα, ἰοντικούς κρυστάλλους καὶ μοριακοὺς κρυστάλλους ὑπελογίσθη ὑπὸ τοῦ SEITZ ὅτι εἶναι τῆς τάξεως μεγέθους τῶν 25 eV⁽³⁾. Ἡ τιμὴ αὕτη ἐπεβεβαιώθη καὶ διὰ μεταγενεστέρων μετρήσεων. Ἐὰν ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἄτομον ἐνέργεια εἶναι μικροτέρα τῆς ἐνεργείας συνδέσεως, δὲν ἐπαρκεῖ διὰ νὰ προκαλέσῃ μετατόπισιν αὐτοῦ. Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην αὐξάνεται ἀπλῶς ἡ ἐνέργεια δονήσεως. Διὰ τῆς δονήσεως δὲ μέρος τῆς ἐνεργείας μεταδίδεται εἰς γειτονικὸν ἄτομον μετὰ ἀποτέλεσμα νὰ προκαλῆται τοπικὴ θέρμανσις, καὶ νὰ ἐμφανίζωνται φαινόμενα ἀνάλογα πρὸς ἐκεῖνα τὰ ὁποῖα ἐμφανίζονται κατὰ τὴν θέρμανσιν τῶν κρυστάλλων καὶ τὴν ἀπότομον αὐτῶν ψύξιν.

Ἐὰν ἡ προσδιδομένη εἰς τὸ ἄτομον ἐνέργεια E_2 εἶναι πολὺ μεγαλύτερα τῆς ἐνεργείας μετατοπίσεως E_1 , ὅπως συμβαίνει κατὰ τὸν βομβαρδισμόν διὰ νετρονίων εἰς τοὺς ἀντιδραστήρας, τὸ μετατοπισθὲν ἄτομον εἶναι ἱκανὸν νὰ ἐκτοπίσῃ ἄλλα ἄτομα, τὰ ὁποῖα ἐν συνεχείᾳ προκαλοῦν νέας μετατοπίσεις. Ὑπελογίσθη δὲ ὅτι ὁ ἀριθμὸς τῶν ἐκτοπιζομένων ατόμων εἶναι (4)

$$\eta = 0,561 \frac{E_2}{E_1}$$

Ευρέθη ὅτι τὰ φορτισμένα βλήματα καταναλίσκουν μεγαλύτερον μέρος τῆς ἐνεργείας των διὰ διέγερσιν καὶ ἰονισμόν. Εἰς τὰς περιπτώσεις βομβαρδισμού δι' ἀκτινοβολίας ἐξ ἀντιδραστήρων ὁ λόγος τῆς ἐνεργείας τῆς καταναλισκομένης διὰ διέγερσιν καὶ ἰονισμόν πρὸς τὴν δι' ἐλαστικῶν κρούσεων μεταδιδόμενην εἶναι τῆς τάξεως 10^3 ⁽⁵⁾. Συνεπῶς ὁ συνολικὸς ἀριθμὸς σχηματιζομένων ζευγῶν FRENKEL κατὰ τὴν ἀκτινοβολήσιν ὕλικου διὰ νετρονίων εἶναι μεγαλύτερος τοῦ ἀντιστοίχου ἀριθμοῦ δι' ἀκτινοβολήσεως διὰ φορτισμένων σωματιδίων τῆς αὐτῆς περιόδου μάζης καὶ τῆς αὐτῆς ἐνεργείας. Ἡ πυκνότης ὁμοίως, δηλ. ὁ συνολικὸς ἀριθμὸς αὐτῶν ἀνὰ μονάδα μήκους τῆς τροχιᾶς τοῦ βλήματος, εἶναι μικρότερα διὰ τὰ νετρόνια, διότι ἡ τροχιά αὐτῶν εἶναι πολὺ μεγαλύτερα τῆς τροχιᾶς τῶν ἀντιστοίχων φορτισμένων σωματιδίων.

Ὁ SEITZ ὑπελόγησεν, ὅτι πλησίον τῆς τροχιᾶς τοῦ σωματιδίου εἰς βαρέα μέταλλα παρουσιάζεται διὰ βραχὺ χρονικὸν διάστημα (τάξεως 10^{-11} sec) αὐξήσις τῆς θερμοκρασίας μέχρι 10^4 βαθμῶν C. Τὰ ζεύγη FRENKEL ἐξ ἄλλου ἀναμένεται νὰ εἶναι συγκεντρωμένα εἰς μέρη τοῦ μετάλλου, τὰ ὅποια ἔχουν ὑποστῆ ἀπότομον ψῦξιν κατόπιν ἀποτόμου θερμάνσεως. Τὸ τμήμα τῆς τροχιᾶς τοῦ σωματιδίου, εἰς τὸ ὁποῖον εἶναι συγκεντρωμένα τὰ ζεύγη FRENKEL, ὀνομάζεται ὑπέρθερμος ζώνη (thermal spike, Erhitzungszone). Πρὸς τὸ τέλος τῆς τροχιᾶς, ὅπου ἡ ἀπόστασις μεταξὺ δύο κρούσεων ἐλαττοῦται, ἡ θερμοκρασία εὐρίσκεται ἀκόμη ὑψηλότερα.

Τὴν θεωρίαν τοῦ SEITZ συνεπλήρωσεν ὁ BRINKMAN, ὁ ὁποῖος ἔδωσεν ἰδιαίτερον σημασίαν εἰς τὴν κατὰ τὰ προηγούμενα ἀπότομον τοπικὴν αὐξήσιν τῆς θερμοκρασίας. Κατὰ τὸν BRINKMAN⁽⁴⁾ εἰς τὸ τέλος τῆς τροχιᾶς τοῦ βλήματος λόγῳ χαλαρώσεως τοπικῶν τάσεων μεταξὺ γειτονικῶν ζευγῶν FRENKEL, παρουσιάζεται περαιτέρω αὐξήσις τῆς θερμοκρασίας φθάνουσα μέχρι τοῦ σημείου τήξεως. Ἡ ἀνακρυστάλλωσις τῶν παροδικῶς τετηγμένων περιοχῶν γίνεται ἐπηρεαζόμενη ἀπὸ τὸ περιβάλλον, ἐπομένως τὰ ἄτομα δὲν ἐπανέρχονται εἰς τὰ ἀρχικάς των θέσεις. Τὸ τμήμα τοῦτο τῆς τροχιᾶς ὠνόμασεν ὁ BRINKMAN ζώνην τήξεως (Displacement spike, Schmelzzone).

Δευτερογενῆς μετατόπισις τῶν ἀτόμων τοῦ πλέγματος εἶναι δυνατὴ ἐπίσης ὑπὸ ὀρισμένης συνθήκας δι' ἐπιδράσεως φωτονίων. Ὄταν ἡ ἐνέργεια τῶν φωτονίων εἶναι ἀρκετὰ μεγάλη, προκαλοῦν ταῦτα διὰ τοῦ φαινομένου COMPTON ἢ τοῦ φωτοηλεκτρικοῦ γένεσιν ἠλεκτρονίων, τὰ ὅποια δυνατὸν δι' ἐλαστικῶν κρούσεων μὲ τὰ ἄτομα νὰ προκαλέσουν μετατόπισιν αὐτῶν.

Ἰδιότητες ἐπηρεαζόμεναι ἐκ τῆς μεταβολῆς τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος, ἐκ τῶν ὁποίων εἶναι δυνατὸν ἐπομένως νὰ ἐξαχθοῦν συμπεράσματα περὶ τῶν διαφόρων διαταραχῶν αὐτοῦ, εἶναι αἱ ἐλαστικά, αἱ ἠλεκτρικαὶ καὶ προκειμένου περὶ μαγνητικοῦ ὕλικου αἱ μαγνητικαὶ ἰδιότητες.

Εἰς τὴν παροῦσαν ἐργασίαν μελετᾶται ἡ ἐπίδρασις τῶν ἀκτίνων γ καὶ νετρονίων ἐπὶ καθαροῦ νικελίου.

ἤδη διὰ τὸ νικελίον ἀναφέρονται εἰς τὴν βιβλιογραφίαν τρεῖς σχετικαὶ ἐργασίαι (6), (7), (8) ἀφορῶσαι εἰς τὴν ἀκτινοβόλησιν αὐτοῦ διὰ σωματιδιακῶν ἀκτίνων.

Εἰς τὴν πρώτην (6) μελετᾶται ἡ μεταβολὴ τῆς ἡλεκτρικῆς ἀντιστάσεως λεπτῶν φύλλων Cu, Ag, An, Ni καὶ Ta βομβαρδισθέντων διὰ δευτερονίων ἐνεργείας 12 MeV. Αἱ ἀκτινοβολήσεις ἔγιναν εἰς θερμοκρασίας -140°C καὶ -150°C. Μετὰ τὴν ἀκτινοβόλησιν παρατηρήθη αὐξήσις τῆς ἀντιστάσεως ἰδιαίτερώς μεγάλη διὰ τὸ Ni καὶ Ta.

Εἰς τὴν ὑπ' ἀριθ. 7 ἐργασίαν λεπτὰ φύλλα Ni (πάχους ~ 1000 Å) βομβαρδίζονται διὰ νετρονίων, λειαινόνται καὶ ἐλέγχονται δι' ἡλεκτρονικοῦ μικροσκοπίου. Παρουσιάζονται δύο τύποι σφαλμάτων: ὀ λ ι σ θ ἦ σ ε ι ς (Versetzungen) καὶ β ρ ὀ χ ο ι (Schleifen). Εἰς τὰς φωτογραφίας μὴ ἀκτινοβοληθέντων δειγμάτων παρουσιάζονται μόνον ὀλισθήσεις.

Εἰς τὴν ὑπ' ἀριθμ. 8 ἐργασίαν ἐξετάζεται ἡ μεταβολὴ τῆς καμπύλης μαγνητίσεως λεπτῶν φύλλων νικελίου (πάχους 200-800 Å) ἀκτινοβοληθέντων διὰ νετρονίων εἰς θερμοκρασίαν 59°C καὶ 45°C. Εὐρέθησαν μεγάλα μεταβολαὶ εἰς τὰς τιμὰς τῆς μαγνητίσεως κόρου καὶ τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως. Κατὰ τοὺς ἐρευνητὰς τοῦτο ὀφείλεται εἰς τὴν διὰ τῆς ἀκτινοβολήσεως μερικὴν μετατροπὴν τοῦ κυβικοῦ ἐδροκεντρωμένου πλέγματος τοῦ νικελίου εἰς ἐξαγωνικόν. Παρουσιάσθη ἐλάττωσις τῆς μαγνητίσεως κόρου μέχρι 50%, καὶ αὐξήσις τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως. Ἡ αὐξήσις τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως ὀφείλεται εἰς ἐσωτερικὰς τάσεις, αἱ ὁποῖαι ἐμφανίζονται λόγῳ τῆς συνυπάρξεως τῶν δύο φάσεων ἐξαγωνικῆς καὶ κυβικῆς συμμετρίας.

Πλὴν τῶν μαγνητικῶν μετρήσεων, ἔγινε καὶ ἐξέτασις τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος διὰ περιθλάσεως ἡλεκτρονίων καὶ δι' ἡλεκτρονικοῦ μικροσκοπίου. Τὰ προκύψαντα δι' ἐφαρμογῆς τῶν τριῶν μεθόδων συμπεράσματα συμφωνοῦν μεταξὺ τῶν.

Τὰ συμπεράσματα ταῦτα εἶναι τὰ ἐξῆς:

α) Κατὰ τὴν ἀκτινοβόλησιν σχηματίζονται ὑπερθερμοὶ ζῶναι ὄγκου ~10⁵ ἀτόμων.

β) Εἰς τὰς θέσεις τῶν ὑπερθερμῶν ζωνῶν ἡ θερμοκρασία εἶναι πολὺ μεγαλύτερα τοῦ σημείου τήξεως, ὥστε τὸ κρυσταλλικὸν πλέγμα παύει ὑφιστάμενον, καὶ

γ) μετὰ τὸν σχηματισμὸν τῶν ὑπερθερμῶν ζωνῶν ἀκολουθεῖ ταχεῖα ψύξις. Τὰ ἄτομα δὲν ἐπανέρχονται εἰς τὰς προτέρας τῶν θέσεις, ὥστε νὰ σχηματισθῇ καὶ πάλιν τὸ κυβικὸν ἐδροκεντρωμένον πλέγμα, ἀλλὰ παρουσιάζεται νέα διάταξις τῶν ἀτόμων μὲ διαφορετικὴν συμμετρίαν (κατὰ τοὺς ἐρευνητὰς πιθανώτατα ἐξαγωνική).

Εἰς τὰς ἀναφερθεῖσας ἐργασίας ἔγινε βομβαρδισμὸς τοῦ νικελίου μόνον διὰ σωματιδιακῶν ἀκτινοβολιῶν (νετρονίων, δευτερονίων). Γενικῶς εἰς τὰς

πλείστας τῶν δημοσιευθεισῶν ἐπ' αὐτοῦ τοῦ θέματος ἐργασιῶν ἐξετάζεται ἡ ἐπίδρασις σωματιδιακῶν ἀκτίνων. Εἰς νεωτέρας ἐργασίας ἐξετάζεται καὶ ἡ ἐπίδρασις φωτονίων ἐπὶ τῆς ὕλης⁽⁹⁾, οὐδεμία ὁμῶς καθ' ὅσον μᾶς εἶναι γνωστὸν ἀναφέρεται εἰς τὸ νικέλιον.

Σκοπὸς τῆς παρούσης ἐργασίας εἶναι ὁ ἔλεγχος ἐπιδράσεως νετρονίων καὶ ἀκτίνων γ ἐπὶ διαφόρων ἰδιοτήτων ἠλεκτρικῶν καὶ μαγνητικῶν τοῦ νικελίου.

Ἐχρησιμοποιήθη νικέλιον καθαρότητος 99,96%, ὁ δὲ ἔλεγχος τῶν διαταραχῶν τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος ἐγένετο διὰ μετρήσεως τῆς ἠλεκτρικῆς ἀγωγιμότητος καὶ διὰ προσδιορισμοῦ χαρακτηριστικῶν μαγνητικῶν μεγεθῶν.

Τὸ ὑλικὸν ἐχρησιμοποιήθη ὑπὸ μορφὴν ραβδίων μήκους 20cm καὶ διαμέτρου 2mm. Τινὰ ἐκ τῶν δειγμάτων ὑπέστησαν πρὸ τῆς ἀκτινοβολήσεως θερμικὴν προεργασίαν, δηλ. ἐθερμάνθησαν ἐπὶ 1 ὥραν εἰς 600°C εἰς ρεῦμα ἀζώτου⁽¹⁰⁾. Ἡ προθερμανσις ἔχει σκοπὸν νὰ ὑποβοηθήσῃ εἰς τὴν ἐξάλειψιν σφαλμάτων τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος ὀφειλομένων εἰς ἐσωτερικὰς τάσεις λόγῳ προηγουμένων μηχανικῶν παραμορφώσεων.

Ἡ ἀκτινοβολήσις ἐγίνετο εἰς τὸν ἀντιδραστῆρα τῆς ἐν Ἀθῆναις Ἀμερικανικῆς ἐκθέσεως «Τὸ ἄτομον διὰ τὸ ἄτομον» (τὴν Ἄνοιξιν τοῦ 1962) καὶ εἰς συνήθη θερμοκρασίαν. Ἡ δόσις τῶν ἀκτίνων γ διὰ τῆς ὁποίας ἀκτινοβολήθησαν εἶναι $2,26 \cdot 10^6$ Rad. Διὰ τὴν δόσιν τῶν νετρονίων, ἡ ὁποία σημειωτέον ἦτο ἀσθενής, δὲν ὑπάρχουν ἀκριβῆ στοιχεῖα.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Κύκλος ὑστερήσεως.

Ἡ λήψις τοῦ κύκλου ὑστερήσεως ἐγένετο ἐπὶ δέσμης 6 ραβδίων. Τὴν δέσμην περιέβαλλε μικρὸν ἐπαγωγικὸν πηνίον, ὅλον δὲ τὸ σύστημα ἐτοποθετεῖτο ἐντὸς σωληνοειδοῦς μήκους 50cm, 16 σπειρῶν ἀνά cm καὶ παραλλήλως πρὸς τὸν ἄξονα αὐτοῦ. Ἡ ἔντασις τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ὑπελογίζετο ἐκαστοτε, ἐνῶ ἡ μαγνητικὴ ἐπαγωγή ἐμετρεῖτο διὰ βαλλιστικοῦ γαλβανομέτρου.

Εἰς τὰ σχήματα 1 ἕως 7 δίδονται οἱ κύκλοι ὑστερήσεως τῶν διαφόρων δειγμάτων καὶ εἰς τὸν πίνακα 1 αἱ τιμαὶ τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως, τοῦ παραμένοντος μαγνητισμοῦ, τῆς μαγνητίσεως εἰς ἔντασιν πεδίου 200 Oe.

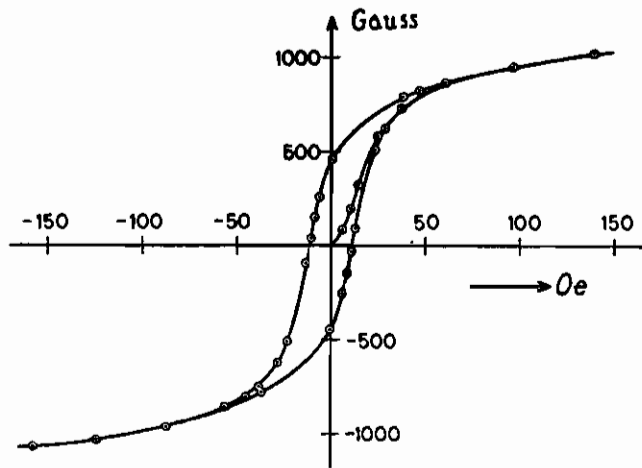
Τὰ δείγματα ἀριθμοῦνται ἀπὸ 1 ἕως 7.

Δεῖγμα 1 (— —) ἄνευ προθερμάνσεως καὶ ἄνευ ἀκτινοβολήσεως*

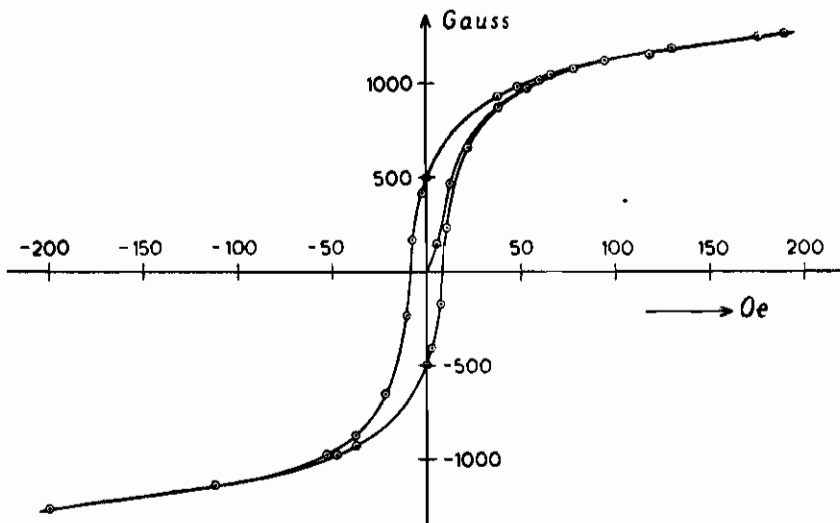
Δεῖγμα 2 (+ —) προθερμανθὲν μὴ ἀκτινοβοληθὲν

* Τὸ ἐντὸς παρενθέσεως σημεῖον + ἢ - σημαίνει, ὅτι τὸ ὑλικὸν ὑπέστη (+) ἢ δὲν ὑπέστη (-) θερμικὴν κατεργασίαν πρὸ τῆς ἀκτινοβολήσεως. Τὸ δεῦτερον σύμβολον δίδει τὸ εἶδος τῆς ἀκτινοβολήσεως, τὸ δὲ τρίτον (+) τὴν θερμικὴν κατεργασίαν μετὰ τὴν ἀκτινοβολήσιν.

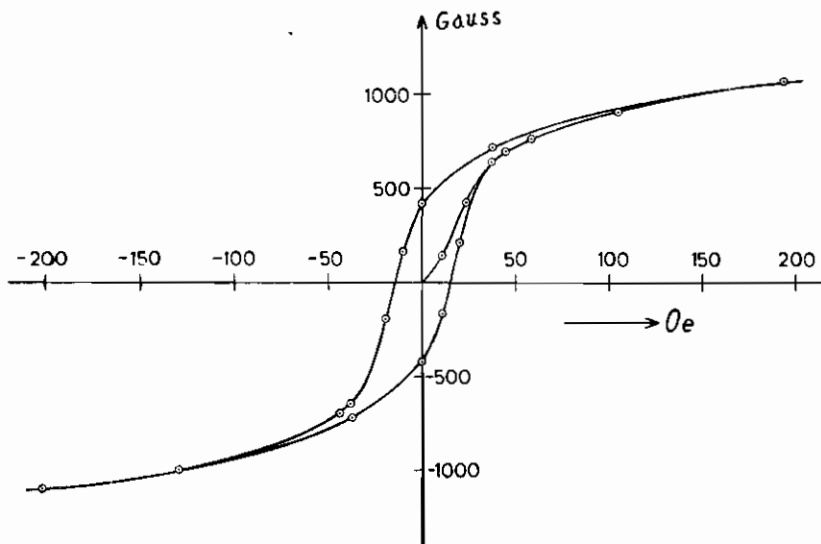
Δεῖγμα 3 ($-\gamma$) ἄνευ προθερμάνσεως καὶ ἀκτινοβοληθὲν δι' ἀκτίνων γ
 Δεῖγμα 4 ($+\gamma$) προθερμανθὲν καὶ ἀκτινοβοληθὲν δι' ἀκτίνων γ
 Δεῖγμα 5 ($-n$) ἄνευ προθερμάνσεως καὶ ἀκτινοβοληθὲν διὰ νετρονίων
 Δεῖγμα 6 ($+n$) προθερμανθὲν καὶ ἀκτινοβοληθὲν διὰ νετρονίων
 Δεῖγμα 7 ($-n+$) ἄνευ προθερμάνσεως, ἀκτινοβοληθὲν διὰ νετρονίων καὶ
 θερμανθὲν κατόπιν εἰς 600°C ἐπὶ 1 ὥραν.



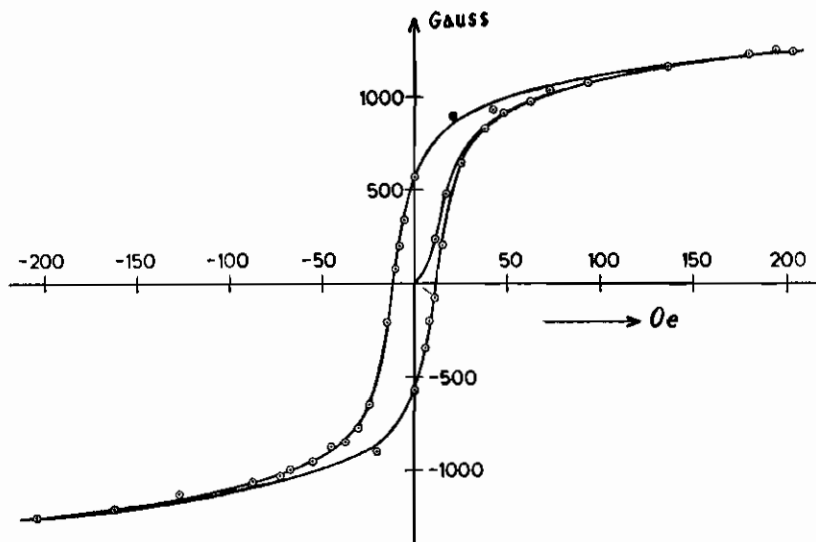
Σχῆμα 1. Κύκλος ὑστερήσεως τοῦ δείγματος 1.



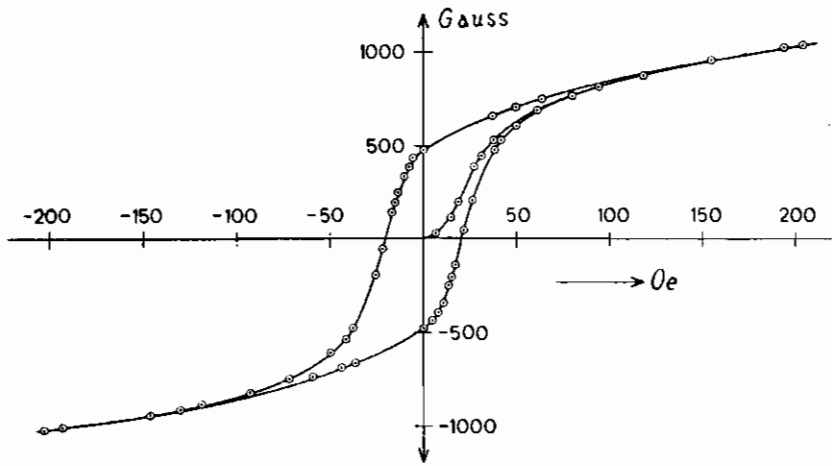
Σχῆμα 2. Κύκλος ὑστερήσεως τοῦ δείγματος 2.



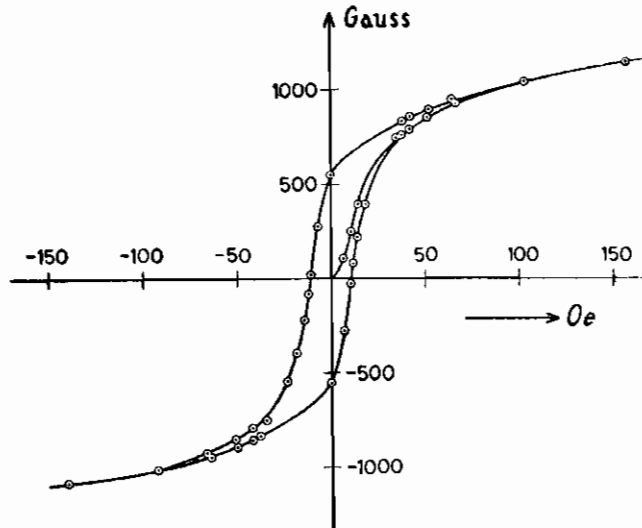
Σχήμα 3. Κύκλος υστερήσεως του δείγματος 3.



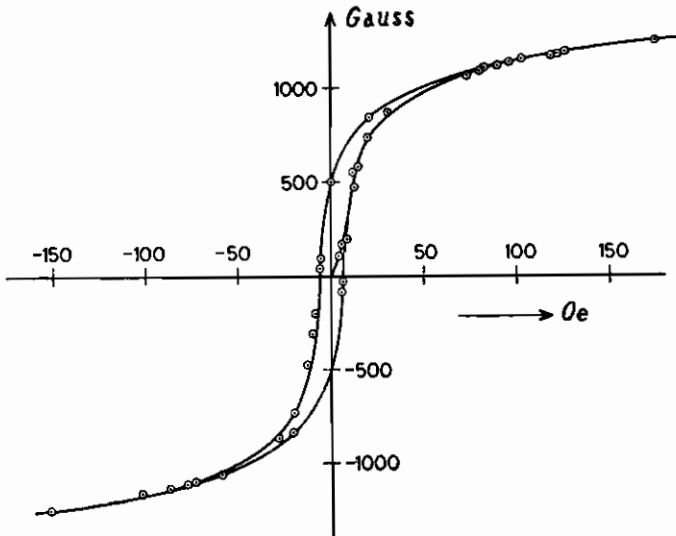
Σχήμα 4. Κύκλος υστερήσεως του δείγματος 4.



Σχήμα 5. Κύκλος υστερήσεως του δείγματος 5.



Σχήμα 6. Κύκλος υστερήσεως του δείγματος 6.



Σχήμα 7. Κύκλος ύστερήσεως του δείγματος 7.

Ἄξιοσημείωτον εἶναι, ὅτι τὴν μεγαλύτεραν μεταβολὴν εἰς τὸν κύκλον ύστερήσεως παρουσιάζει τὸ δείγμα 5 (σχ. 5). Ἡ ἐλάττωσις τῆς μαγνητίσεως εἶναι σχετικῶς μεγάλη, ὡς ἐπίσης καὶ ἡ αὐξήσις τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως. Τὸ ἀποτέλεσμα τοῦτο εἶναι σύμφωνον μὲ τὸ τῆς ὑπ' ἀριθ. 8 ἐργασίας.

Ἀπλῆ θέρμανσις τοῦ ὑλικοῦ (δείγμα 2, σχ. 2) προκαλεῖ ἀντιθέτως ἐλάττωσιν τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως καὶ αὐξήσιν τῆς μαγνητίσεως. Τὸ ἀποτέλεσμα τοῦτο ἀναμένεται, διότι διὰ τῆς θερμάνσεως ἐξαλείφονται ἢ ἐλαττοῦνται αἱ ἐσωτερικαὶ τάσεις καὶ ἐπέρχεται μεγαλύτερα τάξις εἰς τὴν διάταξιν τῶν ἀτόμων εἰς τὸ πλέγμα.

Ὅταν τὸ ἤδη προθερμανθὲν ὑλικὸν ἀκτινοβοληθῆ διὰ νετρονίων (δείγμα 6, σχ. 6) παρουσιάζει καὶ πάλιν διεύρυνσιν τοῦ κύκλου ύστερήσεως, ἢ μαγνήτισις ὅμως καὶ ἡ συνεκτικὴ δύναμις δὲν φθάνουν τὴν τιμὴν, τὴν ὁποίαν ἔχουν εἰς τὸ ἄνευ προθερμάνσεως ἀκτινοβοληθὲν δείγμα.

Ὁ κύκλος ύστερήσεως δείγματος ἀκτινοβοληθέντος ἄνευ προθερμάνσεως καὶ θερμοθάνετος κατόπιν (δείγμα 7, σχ. 7) ἔχει μόνον ἐπανέρχεται εἰς τὴν μορφήν τὴν ὁποίαν ἔχει ὁ κύκλος διὰ τὸ δείγμα πρὸ τῆς ἀκτινοβολήσεώς του ἀλλὰ παρουσιάζει ἀκόμη μικροτέραν συνεκτικὴν δύναμιν καὶ μικρὰν αὐξήσιν τοῦ παραμένοντος μαγνητισμοῦ καὶ τῆς μαγνητίσεως.

Ἡ ἀκτινοβόλησις διὰ τῶν ἀκτίνων γ προκαλεῖ ἀναλόγους μεταβολὰς ἔχει ὅμως εἰς τόσον μεγάλον βαθμὸν, ὡς συμβαίνει διὰ τῶν νετρονίων. (Δείγματα 3 καὶ 4, σχ. 3 καὶ 4). Εἰς τὸ δείγμα 4, τὸ ὁποῖον ἔχει προθερμανθῆ, ἡ ἐ-

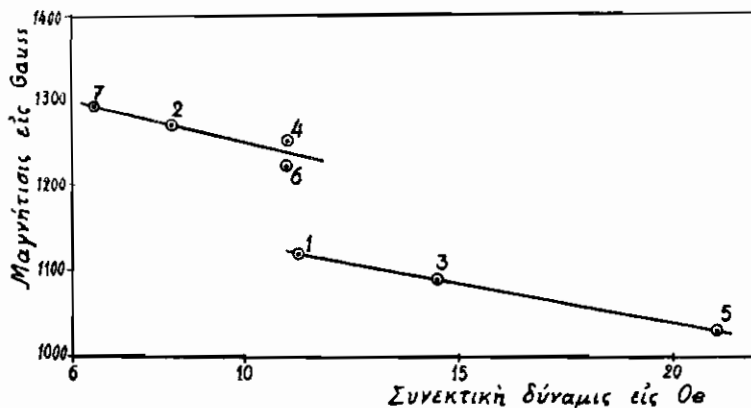
πίδρασις τῶν ἀκτίνων γ διευρύνει τὸν κύκλον ὑστερήσεως, οὕτως ὥστε ἡ συνεκτικὴ δυνάμις νὰ φθάσῃ τὴν τιμὴν, τὴν ὁποίαν ἔχει εἰς τὸ ἄνευ προθερμάνσεως ὑλικὸν (δείγμα 1, σχ. 1), ὁ παραμένων ὁμως μαγνητισμὸς καὶ ἡ μαγνήτησις ἔχουν μεγαλύτερας τιμὰς.

Ὁ Πίναξ I ἐπιτρέπει νὰ γίνῃ σύγκρισις μεταξὺ τῶν τιμῶν τῶν διαφόρων μεγεθῶν διὰ τὰ διάφορα δείγματα.

Π Ι Ν Α Ξ 1

	1(— —)	2(+ —)	3(— γ)	4(+ γ)	5(—n)	6(+n)	7(—n+)
Συνεκτικὴ δυνάμις εἰς Oe	11,3	8,2	14,5	11	21	11	6,5
Παραμ.Μαγνητισμὸς εἰς Gauss	445	495	420	570	480	550	510
Μαγνήτησις εἰς Gauss εἰς H=200 Oe	1120	1270	1090	1250	1030	1220	1290
100 $\frac{\Delta R}{R}$ εἰς H=3 KOe	1,82	2,10	2,08	1,58	1,54	2,26	1,96

Τὸ σχῆμα 8 δίδει τὴν μεταβολὴν τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως συναρτήσει τῆς μαγνήτησεως. Ἡ μαγνήτησις παρουσιάζεται ἀντιστρόφως ἀνάλογος τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως. Τὰ μὴ προθερμανθέντα δείγματα (1, 3 καὶ 5) ἔχουν χαμηλὴν σχετικῶς μαγνήτησιν, ἐνῶ τὰ προθερμανθέντα παρουσιάζουν μεγαλύτερας τιμὰς μαγνήτησεως. Ἡ μαγνήτησις ἐλαττοῦται δι' ἀκτινοβολήσεως με ἀκτῖνας γ , ἡ ἐλάττωσις δὲ εἶναι ἀκόμη μεγαλύτερα μετὰ τὴν ἀκτινοβολήσιν διὰ νετρονίων.



Σχῆμα 8. Συνεκτικὴ δυνάμις συναρτήσει τῆς μαγνήτησεως.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ

Αί διαταραχαί τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος πλὴν τῆς μαγνητίσεως καὶ τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως ἐπηρεάζουν ἐπίσης τὴν ἠλεκτρικὴν ἀντίστασιν τοῦ ὕλικου.

Σημαντικὴν συμβολὴν εἰς τὸν ἔλεγχον τῆς δομῆς τῶν μετάλλων καὶ τῶν κραμάτων παρέχουν αἱ μεταβολαὶ τῆς ἠλεκτρικῆς καὶ τῆς θερμικῆς ἀντιστάσεως. Ἰδιαιτέρως ἔντονος, ὡς ἔδειξεν ἡ ἔρευνα, παρουσιάζεται ἡ ἐπίδρασις τῆς μεταβολῆς τῆς δομῆς εἰς τὰ φαινόμενα τῆς ἐπίδρασεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἐπὶ τῆς ἠλεκτρικῆς καὶ τῆς θερμικῆς ἀγωγιμότητος⁽¹¹⁾.

Εἰς τὴν παροῦσαν ἐργασίαν ἐμελετήθη ἡ ἐπίδρασις τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἐπὶ τῆς ἠλεκτρικῆς ἀντιστάσεως δειγμάτων νικελίου. Ἐχρησιμοποιήθησαν τὰ αὐτὰ δείγματα, τὰ ὁποῖα ἐχρησιμοποιήθησαν καὶ διὰ τὴν λήψιν τῶν κύκλων ὑστερήσεως, τὸ μῆκος τούτων ὅμως ἐβραχύνθη εἰς 7cm, ὅση ἦτο ἡ μεγίστη δυνατὴ ἀπόστασις μεταξύ τῶν πόλων τοῦ χρησιμοποιηθέντος ἠλεκτρομαγνήτου.

Ἐμελετήθη ἡ ἐπίδρασις μαγνητικοῦ πεδίου παραλλήλου πρὸς τὸν ἄξονα τοῦ ραβδίου, δηλ. πρὸς τὴν διεύθυνσιν τοῦ ἠλεκτρικοῦ πεδίου διότι ἡ περίπτωσις αὕτη δίδει μεγαλύτερας μεταβολὰς ἢ ἡ περίπτωσις μαγνητικοῦ πεδίου διευθύνσεως καθέτου πρὸς τὴν διεύθυνσιν ροῆς τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος, ὡς ἔδειξαν προηγούμεναι μετρήσεις (Διατριβὴ ἐπὶ διδακτορίᾳ, Θεσσαλονίκη 1960).

Ἡ μεγίστη τιμὴ τῆς ἐντάσεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ ἠλεκτρομαγνήτου δι' ἀπόστασιν πόλων $\sim 7\text{cm}$ ἀνέρχεται εἰς $\sim 4\text{ KOe}$.

Αἱ μετρήσεις τῆς ἠλεκτρικῆς ἀντιστάσεως ἔγιναν διὰ τῆς μεθόδου τῆς ἀντισταθμίσεως μὲ σφάλμα ἀνερχόμενον εἰς $2^{\circ}/_{\infty}$.

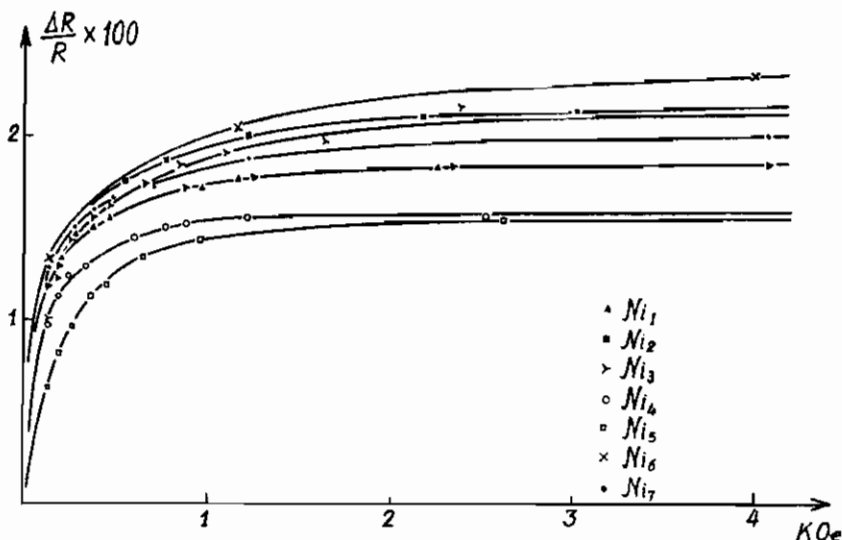
Αἱ καμπύλαι τοῦ σχήματος 9 δίδουν τὴν μεταβολὴν τῆς σχετικῆς τιμῆς τῆς ἀντιστάσεως $\frac{\Delta R}{R}$ (ἔπου R ἡ τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως ἐκτὸς τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου) συναρτήσκει τῆς ἐντάσεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου διὰ τὰ διάφορα δείγματα νικελίου.

Ἡ προθερμανσις τοῦ ὕλικου ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα αὐξήσιν τοῦ $\frac{\Delta R}{R}$ (στῆλαι 1 καὶ 2 τοῦ πίνακος 1). Τοῦτο δικαιολογεῖται εὐκόλως λόγῳ τῆς πληρεστέρως διατάξεως τῶν ἀτόμων εἰς τὸ κρυσταλλικὸν πλέγμα (κυβικὸν ἔδροκεντρωμένον), ὅποτε ὁ μαγνητικὸς χαρακτήρ γίνεται ἐντονώτερος καὶ ἡ ἐπίδρασις τοῦ πεδίου ἰσχυροτέρα.

Ἡ ἀκτινοβόλησις διὰ τῶν ἀκτίνων γ ἐπιφέρει αὐξήσιν τοῦ $\frac{\Delta R}{R}$ εἰς τὸ μῆ προθερμανθὲν δείγμα (στῆλαι 1 καὶ 3), ἐνῶ ἐπιφέρει ἐλάττωσιν καὶ δὴ μεγαλύτεραν εἰς τὸ προθερμανθὲν (στῆλαι 1, 2 καὶ 4).

Ἀντιθέτως ἡ ἀκτινοβόλησις διὰ νετρονίων προκαλεῖ ἐλάττωσιν τοῦ

$\frac{\Delta R}{R}$ εἰς τὸ μὴ προθερμανθὲν ὑλικὸν (στῆλαι 1 καὶ 5), ἐνῶ ἡ τιμὴ αὐτοῦ διὰ τὸ προθερμανθὲν (στῆλαι 1, 2 καὶ 6) παραμένει σταθερὰ ἐντὸς τῶν ὁρίων τοῦ σφάλματος. Ἡ ἄλλως ἡ ἐπίδρασις τῶν δύο ἀκτινοβολιῶν εἶναι διάφορος διὰ τὸ προθερμανθὲν καὶ μὴ προθερμανθὲν ὑλικόν.



Σχῆμα 9. Σχέσις μεταξύ τῆς ἐπὶ τοῖς % μεταβολῆς τῆς ἠλεκτρικῆς ἀντιστάσεως καὶ τῆς ἐντάσεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου.

Εἰς τὸ δείγμα 7 τὸ ὁποῖον ἐθερμάνθη μετὰ τὴν ἀκτινοβόλησιν διὰ νετρονίων παρουσιάζεται αὐξήσις τοῦ $\frac{\Delta R}{R}$ μετὰ τὴν ἐλάττωσιν ἣτις εἶχε παρουσιασθῆ ἕνεκα τῆς ἀκτινοβολήσεως. Δηλ. ἡ θέρμανσις τείνει νὰ ἐπαναφέρῃ τὸ δείγμα εἰς τὴν ἀρχικὴν του κατάστασιν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ἐκ τῶν κύκλων ὑστερήσεως φαίνεται ὅτι ἡ ἐπίδρασις τῶν ἀκτίνων γ καὶ τῶν νετρονίων ἐκδηλοῦται ὁμοίως. Τόσον εἰς τὸ μὴ προθερμανθὲν ὅσον καὶ εἰς τὸ προθερμανθὲν δείγμα παρουσιάζεται μετὰ τὴν ἀκτινοβόλησιν αὐξήσις τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως καὶ ἐλάττωσις τῆς μαγνητίσεως κόρου μετὰ τὴν διαφορὰν ὅτι ἡ ἐπίδρασις τῶν νετρονίων ἐπιφέρει μεγαλύτερας μεταβολὰς ἢ ἡ τῶν ἀκτίνων γ . Τὰ ὡς πρὸς τὴν ἐπίδρασιν τῶν νετρονίων συμπεράσματα ἐπὶ τῆς καμπύλης ὑστερήσεως συμφωνοῦν μετὰ τὰ τῶν TEODORESCU καὶ GLO-DEANU⁽⁸⁾.

Ὡς πρὸς τὴν ἐπίδρασιν τῶν ἀκτίνων γ δὲν ὑπάρχουν προηγούμεναι ἐργασίαι πρὸς σύγκρισιν. Δὲν ὑπάρχουν ἐπίσης μετρήσεις τῆς μεταβολῆς τῆς ἀντιστάσεως ἐντὸς τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου.

Ἐὰν συμφώνως πρὸς τὰς ἀπόψεις τῶν TEODORESCU καὶ GLODEANU ὑποθεθῆ ὅτι κατὰ τὴν ἐπίδρασιν ἀκτινοβολίας νετρονίων δημιουργοῦνται κόκκοι μὲ ἐξαγωνικῆς συμμετρίας κρυσταλλικὸν πλέγμα ἐντὸς τοῦ ἐδροκεντρωμένου κυβικοῦ πλέγματος, ὅποτε ἐξηγεῖται ἡ ἐλάττωσις τῆς μαγνητίσεως καὶ ἡ αὔξησις τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως, δύναται νὰ δικαιολογηθῆ καὶ ἡ ἐλάττωσις $\frac{\Delta R}{R}$ εἰς τὸ δεῖγμα 5 (-π) ἔνεκα τῆς ἐλαττώσεως τοῦ ποσοστοῦ τοῦ σιδηρομαγνητικοῦ ὕλικου. Διὰ θερμάνσεως μετὰ τὴν ἀκτινοβόλησιν (δειγμα 7) τὸ ὕλικόν τείνει νὰ ἐπανεέλθῃ εἰς τὴν προτέραν του κατάστασιν, ὡς δεικνύει ἡ ἐλάττωσις τῆς συνεκτικῆς δυνάμεως, ἡ αὔξησις τῆς μαγνητίσεως καὶ ἡ αὔξησις τοῦ $\frac{\Delta R}{R}$.

Εἰς τὸ δεῖγμα 6 τὸ ὁποῖον ἔχει προθερμανθῆ ἡ αὔξησις τῆς ἀντιστάσεως εἶναι μικρά, εὐρισκομένη ἐντὸς τῶν ὁρίων τοῦ σφάλματος μετρήσεως. Θὰ ἀνεμένετο ἐλάττωσις λόγῳ ἐλαττώσεως τῆς μαγνητίσεως.

Δι' ἀναλόγων συλλογισμῶν δὲν εἶναι δυνατόν νὰ ἐξηγηθοῦν τὰ ἀποτελέσματα τῆς ἀκτινοβολήσεως δι' ἀκτίνων γ . Πρὸς τοῦτο ἀπαιτοῦνται πολλὰ συμπληρωματικὰ πειραματικὰ δεδομένα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. F. SEITZ: On the disordering of Solids by action of fast massive particles. Disc. Faraday Soc. **5** 271 (1949).
2. F. SEITZ: The effects of irradiation on Metals Rev. Mod. Phys. **34** 656 (1962)
3. F. SEITZ-J.S. KOEHLER: Solid state Physics Vol. 2 311 (1956).
4. J.S. KOEHLER-F. SEITZ: Damage on the noble metals Disc. Faraday Soc. **31** 46 (1961).
5. K. LINTNER-E. SCHMID: Bedeutung von Korpuskularbestrahlung für die Eigenschaften von Festkörpern. Erg. Ex. Naturw. XXVIII 302 (1955).
6. J.W. MARX-H.G. COOPER-J.W. HENDERSON: Radiation damage and Recovery in Cu, Ag, Au, Ni and Ta. Phys. Rev. **88** 106 (1952).
7. H.G.F. WILSDORF: Nature of radiation damage in Nickel Phys. Rev. Letters **3** 172 (1959).
8. TEODORESCU-GLOBEANU: Effects of fast-neutron irradiation on Ni thin Films Phys. Rev. Letters **4** 231 (1960).
9. DEKHTYAR-SHALAYEV: Effects of γ -radiation on certain magn. Properties of iron and its alloys (Περίληψις εις ἀγγλικήν). Ukrain fic. Sh. Kiev **5** 677 (1960).
10. H. BITTEL: Einfluss von Kaltbearbeitung und Wärmebehandlung von Nickel. Physik. Zeitsch. **37** 901 (1936).
11. K.P. BJELOW: Ferromagnetische Metalle (σελ. 198) V.E.B. Berlin 1953.
12. G. VINEYARD: A general Discussion on Radiation effects in inorganic Solids. Disc. Faraday Soc. **31** 7 (1961).
13. DAUTREPPE-MOSER-PAULERE: Magnetic Methods for studying radiation damage in ferromagnetic Substances Disc. Faraday Soc. **31** 53 (1961).
14. SCHINDLER-SALKOVITZ-ANSELL: Effects of n-irradiation of the magnetic Properties and degree of order of magnetic metal alloys. J. appl. Physics (Suppl.) **30** 2825 (1959).