

‘Η δηλητηρίασις τών δερμικών πυρηνικών άντιδραστήρων από τὸ Rh¹⁰⁵ καὶ τὸ Xe¹³⁵

Ε. Γ. Μαυρογιαννάκη*

Περίληψις

Εἰς τὴν παροῦσαν ἐργασίαν μελετᾶται ἡ δηλητηρίασις τών θερμικῶν πυρηνικῶν ἀντιδραστήρων ἀπὸ τὸ Rh¹⁰⁵ καὶ τὸ Xe¹³⁵.

Κατ’ ἀρχὴν εὐρίσκεται ὁ λόγος τῶν δηλητηρίασεων τοῦ Rh¹⁰⁵ ὡς πρὸς τὸ Xe¹³⁵, διὰ τὰ πυρηνικὰ σχάσιμα U²³⁵ καὶ Pu²³⁹. Ἐν συνεχείᾳ παραβάλλονται οἱ λόγοι δηλητηρίασεως τοῦ Pu²³⁹ — U²³⁵ καὶ ἀποδεικνύεται ὅτι ἡ σχέσις αὕτη εἶναι σταθερὴ καὶ ὅταν ἀκόμη τὰ δύο σχάσιμα ἰσότοπα ἕποτελοῦν ἐν μίγμῃ.

Ἐκτὸς τῶν καθαρῶν σχασίμων, U²³⁵ καὶ Pu²³⁹, μελετᾶται καὶ τὸ ἐπλουτισμένον οὐράνιον καὶ προσδιορίζεται ἡ συγκέντρωσις τοῦ Rh¹⁰⁵ καὶ τοῦ Xe¹³⁵, καθὼς καὶ ἡ μακροσκοπικὴ ἐνεργὸς διατομὴ ἀπορροφήσεως νετρονίων αὐτῶν.

Τέλος συνάγονται διάφορα συμπεράσματα καὶ ἐπισημαίνεται ἡ σημασία τοῦ Rh¹⁰⁵.

I. Εἰσαγωγή

Μεταξὺ τῶν προϊόντων σχάσεως τῶν πυρηνικῶν καυσίμων περιλαμβάνονται, ὡς γνωστόν, καὶ ἰσότοπα σημαντικῆς μικροσκοπικῆς ἐνεργοῦ διατομῆς ἀπορροφήσεως νετρονίων σ₀, τὰ ὁποῖα καλοῦνται συνήθως δηλητηρία.

Τὰ βραχύβια δηλητηρία, ὡς εἶναι π.χ. τὸ Xe¹³⁵, ἔχουν ἰδιαιτέραν σημασίαν εἰς τὴν λειτουργίαν καὶ τὴν ἐκμετάλλευσιν τῶν πυρηνικῶν ἀντιδραστήρων ἰσχύος, λόγω τῶν αὐστηρῶν περιορισμῶν καὶ τῶν σοβαρῶν προβλημάτων τὰ ὁποῖα θέτουν.

Εἰς τὴν παροῦσαν ἐργασίαν ἐξετάζεται ἡ ἐκ τοῦ Rh¹⁰⁵ καὶ τοῦ Xe¹³⁵, δηλητηρίασις, εἰς τὰ καθαρὰ πυρηνικὰ σχάσιμα U²³⁵ καὶ Pu²³⁹, καὶ τὸ φυσικόν οὐράνιον. Ἴσχυρότερον δηλητηρίον εἶναι ἀναμφιβόλως τὸ Xe¹³⁵, τελευταίως ὁμως (1) παρουσιάζεται καὶ τὸ Rh¹⁰⁵ μετὰ λίαν ἐνδιαφεροῦσας πυρηνικὰς ιδιότητας (2)(3)(4) καίτοι ὀλίγον γνωστὰς εἰσέτι (5)(6)(7)(8).

Τὸ Rh¹⁰⁵ καὶ τὸ Xe¹³⁵ εἶναι προϊόντα σχάσεως τοῦ U²³⁵ καὶ τοῦ Pu²³⁹, μετὰ προγονικὰ ἰσότοπα τὸ Ru¹⁰⁵ καὶ τὸ I¹³⁵ ἀντιστοιχῶς. Ὡς προκύπτει ἐκ τοῦ πίνακος I ἡ συνολικὴ παραγωγή τοῦ Rh¹⁰⁵ εἶναι ἀρκούντως ὑψηλὴ διὰ τὸ Pu²³⁹, ἐνῶ διὰ τὸ U²³⁵ εἶναι κατὰ πολὺ μικροτέρα.

Ἡ ἐπίδρασις τοῦ Rh¹⁰⁵ πρέπει νὰ εἶναι συνεπῶς ἰσχυρότερα εἰς τοὺς ἀντιδραστήρας πλουτωνίου καὶ φυσικοῦ οὐρανίου, παρὰ εἰς τοὺς ἀντιδραστήρας ἐμπλουτισμένου οὐρανίου.

Ἐνεκα τοῦ ἐνδιαφέροντος τὸ ὁποῖον παρουσιάζουν σήμερον οἱ θερμικοὶ ἀντιδραστήρες φυσικοῦ οὐρανίου, ἡ μελέτη τοῦ Rh¹⁰⁵ εἶναι καὶ ἐπικαίρος καὶ σημαντικὴ.

II. Κινητικαὶ ἐξισώσεις τῶν δηλητηρίων

Αἱ διαφορικαὶ ἐξισώσεις αἱ ὁποῖαι περιγράφουν τὴν παραγωγὴν καὶ ραδιενεργὸν μείωσιν (Radioactive Decay) ἐνὸς

Πίναξ I

Ἴσότ.	T ^{1/2} h	λ sec ⁻¹	σ ₀ cm ²	Παραγ. σχάσεως γ ο/ο	
				U ²³⁵	Pu ²³⁹
I ¹³⁵	4,7	2,87 · 10 ⁻⁵	0	6,1	5,8
Xe ¹³⁵	9,2	2,09 · 10 ⁻⁵	2,7 · 10 ⁻¹⁸	0,2	0,22
Ru ¹⁰⁵	4,5	4,28 · 10 ⁻⁵	0	0,9	3,9
Rh ¹⁰⁵	36,5	5,27 · 10 ⁻⁶	0,27 · 10 ⁻¹⁹	0	0

βραχυβίου δηλητηρίου καὶ τοῦ προγονικοῦ τοῦ ἰσοτόπου, εἶναι αἱ ἀκόλουθοι :

$$\dot{N}_x = \gamma_x \Sigma_f \Phi + \lambda_z N_z - (\lambda_x + \sigma_x \Phi) N_x$$

$$(1) \quad \dot{N}_z = \gamma_z \Sigma_f \Phi - \lambda_z N_z$$

ἐνθα : N_x, N_z ὁ ἀριθμὸς τῶν ἀτόμων ἀνὰ μονάδα ὄγκου (συγκέντρωσις) τοῦ δηλητηρίου καὶ τοῦ προγονικοῦ τοῦ ἰσοτόπου

γ_x, γ_z παραγωγή σχάσεως

λ_x, λ_z ραδιενεργὸς σταθερὰ

Σ_f μακροσκοπικὴ ἐνεργὸς διατομὴ σχάσεως.

Αἱ ἐξισώσεις (1), εἰς κατάστασιν ραδιενεργοῦ ἰσορροπίας τοῦ δηλητηρίου καὶ τοῦ προγονικοῦ τοῦ ἰσοτόπου, δίδουν :

$$(2) \quad \begin{aligned} N_{x0} &= \frac{(\gamma_x + \gamma_z) \Sigma_f \Phi}{\lambda_x + \sigma_x \Phi} = \frac{\gamma_z \Sigma_f \Phi}{\alpha_x} \\ N_{z0} &= \frac{\gamma_z \Sigma_f \Phi}{\lambda_z} \end{aligned}$$

διὰ μικρὰς μεταβολὰς τῆς ροῆς τῶν νετρονίων καὶ τῆς μακροσκοπικῆς ἐνεργοῦ διατομῆς σχάσεως Σ_f

Εἰς τὰς σχέσεις (2) : α_x εἶναι ὁ συντελεστὴς καύσεως τοῦ δηλητηρίου καὶ N_{x0}, N_{z0} ἡ συγκέντρωσις ἰσορροπίας τοῦ δηλητηρίου καὶ τοῦ προγονικοῦ τοῦ ἰσοτόπου.

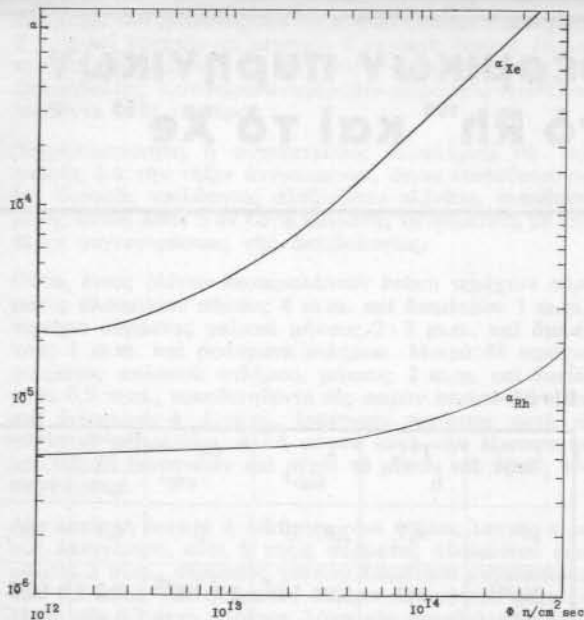
Ἐκ τῶν σχέσεων (2) εὐρίσκομεν ὅτι ὁ λόγος τῶν δηλητηρίασεων τοῦ Rh¹⁰⁵ ὡς πρὸς τὸ Xe¹³⁵ εἰς κατάστασιν ραδιενεργοῦ ἰσορροπίας εἶναι :

$$(3) \quad R = \sigma_{Rh} \cdot N_{Rh0} / \sigma_{Xe} \cdot N_{Xe0} = \left(\gamma_{Rh} / \gamma_{Xe} \right) \cdot \left(\alpha_{Xe} / \alpha_{Rh} \right)$$

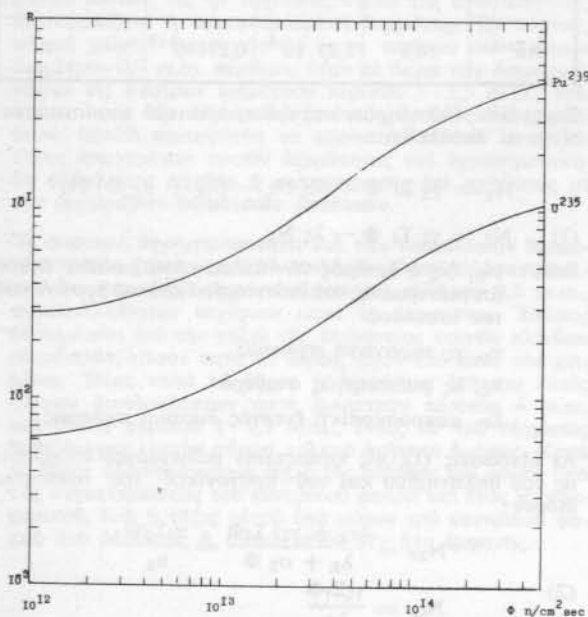
Οἱ συντελεσταὶ καύσεως α_{Rh}, α_{Xe} δίδονται εἰς τὸ διάγραμμα I, ἐνῶ ὁ λόγος τῶν δηλητηρίασεων R διὰ τὸ Pu²³⁹ καὶ τὸ U²³⁵ δίδεται εἰς τὸ διάγραμμα 2.

* Γεννήθηκε στὸ Ἡράκλειο Κρήτης τὸ 1927. Ἡλεκτρολόγος Μηχανικός (Dr. Ing.) (1959) τοῦ Πολυτεχνείου τοῦ Τουρίνου (Ἰταλίας) εἰδικεύθηκε στὴν Πυρηνικὴ Τεχνολογία. Προϊστάμενος τῆς ὑπηρεσίας τεχνικῆς ὀργανώσεως τοῦ Ο.Τ.Ε. 1960. Προσελήφθη στὸ Κ.Π.Ε. «Δημόκριτος», 1962. Μετεκπαιδεύθη, μετὰ ὑποτροφία τῆς Γαλλικῆς καὶ Ἑλληνικῆς Κυβερνήσεως, στὰ Κέντρα Ἀτομικῶν Ἐρευνῶν Saclay, Fontenay aux Roses καὶ Grenoble σὲ θέματα πυρηνικῆς πειραματικῆς τεχνολογίας, 1963. Ἀπὸ τὸ 1964 ἔχει ἀναλάβει τὸν τομέα τῆς πυρηνικῆς πειραματικῆς τεχνολογίας τοῦ τμήματος Ἀντιδραστήρος τοῦ Κ.Π.Ε.Δ. Ἐχει συγγράψει ἐργασίες ἐπὶ : Τῆς προστασίας τῶν ἐγκαταστάσεων παραγωγῆς καὶ μετασχηματισμοῦ

τῆς ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας, Διαφόρων πειραματικῶν προβλημάτων, τῆς αἰθέσεως τῆς ἰσχύος τῶν πειραματικῶν ἀντιδραστήρων τύπου ἀνοικτῆς δεξαμενῆς, τῶν ὑπερπίεσεων εἰς τοὺς πειραματικούς ἀντιδραστήρες εἰς περίπτωσιν πυρηνικοῦ ἀτυχήματος, τῆς ἐφαρμογῆς τῶν ραδιοϊσοτόπων ὡς πηγῶν θερμικῆς ἐνεργείας καὶ τῆς δυνατότητος ἐγκαταστάσεως ἀντιδραστήρων ἰσχύος ἐν Ἑλλάδι (ὡς μέλος Ὁμάδος Ἐπιστημόνων). Ἐχει μελετήσῃ διάφορες πειραματικὰς συσκευές, π.χ. : Συσκευὴ ἀκτινοβολήσεως περιστρεφόμενων δειγμάτων, Συσκευὴ ἀκτινοβολήσεως εἰς χαμηλὴν θερμοκρασίαν, Ἀυτόματος κατευθυντὴρ νετρονίων κ.ά.



Σχ. 1 : Συντελεστής καύσεως k συναρτήσει της ροής των νετρονίων.



Σχ. 2 : Λόγος δηλητηριάσεως συναρτήσει της ροής των νετρονίων

Η σχέση (3) γράφεται ακόμη ως εξής :

$$(3a) \quad R = K \cdot \beta (\Phi)$$

ένθα :

$$K = \gamma \frac{Rh}{t} \cdot \sigma_{Rh} / \gamma \frac{Xe}{t} \cdot \sigma_{Xe} = \frac{0,632 \cdot 10^{-2} (\text{Pu}^{239})}{0,148 \cdot 10^{-2} (\text{U}^{235})}$$

$$\beta (\Phi) = \alpha_{Xe} / \alpha_{Rh}$$

Η συνάρτησις $\beta(\Phi)$ δίδεται εις τὸ διάγραμμα 3, αὐτὴ μεταβάλλεται μεταξύ τοῦ 4, διὰ μικρᾶς ροᾶς νετρονίων ($\alpha_{Xe} / \alpha_{Rh} = \lambda_{Xe} / \lambda_{Rh}$) καὶ τοῦ 100, διὰ πολὺ ὑψηλᾶς ροᾶς νετρονίων ($\alpha_{Xe} / \alpha_{Rh} = \sigma_{Xe} / \sigma_{Rh}$). Ὁ λόγος τῶν δηλητηριάσεων R διὰ τὸ U^{235} καὶ τὸ Pu^{239} λαμβάνει τὰς ἐξῆς τιμὰς :

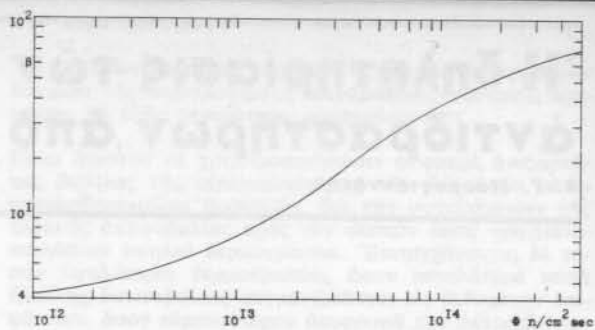
$$(3b) \quad \begin{aligned} R^{\text{U}} &= 0,57 - 14,2\% \\ R^{\text{Pu}} &= 2,59 - 64,7\% \end{aligned}$$

Ἐκ τῶν ὡς ἄνω παρατηρήσεων προκύπτει ὅτι ἡ δηλητηριάσις, ἡ ὀφειλομένη εις τὸ Rh^{105} , εἶναι σπουδαιότερα διὰ πολὺ ὑψηλᾶς ροᾶς νετρονίων. Διὰ τὸ Pu^{239} εἶναι σημαντικὴ καὶ εις μικροτέρας ροᾶς νετρονίων.

Ἐκ τῆς (3) καὶ (3b) εὐρίσκεται ἀκόμη ὅτι :

$$(4) \quad R^{\text{Pu}} / R^{\text{U}} = (\gamma_{\text{Rh}} / \gamma_{\text{Xe}})_{\text{Pu}} \cdot (\gamma_{\text{Xe}} / \gamma_{\text{Rh}})_{\text{U}} = 4,55$$

Ὁ λόγος τῶν δηλητηριάσεων τοῦ Pu^{239} ὡς πρὸς τὸ U^{235} εἶναι ἐπομένως σταθερὸς καὶ ἐξαρτᾶται ἀποκλειστικῶς καὶ



Σχ. 3 : Συντελεστής k συναρτήσει της ροής των νετρονίων.

μόνον ἀπὸ τὴν συνολικὴν παραγωγὴν σχάσεως γ τῶν δηλητηριῶν, εἰς τὰ δύο σχάσιμα ἰσοτόπια. Ὁ λόγος τῶν δηλητηριάσεων R εἰς τὸ Pu^{239} εἶναι κατὰ 4,55 φορές μεγαλύτερος ἀπὸ τὸν ἀντίστοιχον διὰ τὸ U^{235} .

III. Νόμος καύσεως τοῦ U^{235} καὶ παραγωγῆς Pu^{239}

Εἰς ἓν μίγμα σχασίμου - γονίμου ὕλικου, ὡς εἶναι τὸ $\text{U}^{235} - \text{U}^{238}$, ἡ καύσις τοῦ U^{235} καὶ U^{238} καὶ ἡ παραγωγὴ Pu^{239} , περιγράφονται ἀπὸ τὰς ἀκολουθοῦσας διαφορικὰς ἐξισώσεις :

$$\begin{aligned} \dot{N}^{25} &= -\sigma_{\alpha}^{25} N^{25} \Phi \\ (5) \quad \dot{N}^{28} &= -\sigma_{\alpha}^{28} N^{28} \Phi \\ \dot{N}^{89} &= \sigma_{\alpha}^{28} N^{28} \Phi - \sigma_{\alpha}^{89} N^{89} \Phi \end{aligned}$$

ένθα : N^{25} , N^{28} , N^{89} συγκέντρωσις τοῦ U^{235} , U^{238} καὶ Pu^{239} ἀντίστοιχως. σ_{α}^{25} , σ_{α}^{28} , σ_{α}^{89} μικροσκοπικὰ ἔνεργοι διατομαὶ ἀπορροφῆσεως νετρονίων ($\sigma_{\alpha} = \sigma_f + \sigma_c$).

Ἡ ὀλοκλήρωσις τῶν διαφορικῶν ἐξισώσεων (5) εἰς ἓν χρονικὸν διάστημα, ὅπου ἡ ροὴ τῶν νετρονίων Φ παραμένει σταθερὰ, δίδει :

$$\begin{aligned} (6) \quad N^{25} &= N_0^{25} e^{-\alpha^{25} \cdot t} \\ N^{28} &= N_0^{28} e^{-\alpha^{28} \cdot t} \\ N^{89} &= \frac{N_0^{28} \alpha^{28}}{\alpha^{89} - \alpha^{28}} (e^{-\alpha^{28} \cdot t} - e^{-\alpha^{89} \cdot t}) \end{aligned}$$

ένθα : $\alpha = \sigma_{\alpha} \Phi$ εἶναι ὁ συντελεστὴς καύσεως τοῦ ἀντιστοιχοῦ σχασίμου ἢ γονίμου ἰσοτόπου καὶ N_0 ἡ ἀρχικὴ συγκέντρωσις τοῦ σχασίμου ἢ γονίμου ἰσοτόπου.

Εἰς πρώτην προσέγγισιν δυνάμεθα νὰ θέσωμεν :

$$(7) \quad \begin{aligned} \alpha^{89} - \alpha^{28} &\approx \alpha^{89} \\ e^{-\alpha^{28} \cdot t} &\approx 1 \end{aligned}$$

ὅποτε αἱ σχέσεις (6) λαμβάνουν τελικῶς τὴν μορφήν :

$$\begin{aligned} (8) \quad N^{28} &= N_0^{28} e^{-\alpha^{28} \cdot t} \\ N^{25} &= N_0^{25} e^{-\alpha^{25} \cdot t} \\ N^{89} &\approx \frac{N_0^{28} \sigma_{\alpha}^{28}}{\sigma_{\alpha}^{89}} (1 - e^{-\alpha^{89} \cdot t}) \end{aligned}$$

IV. Παραγωγή βραχυβίων δηλητηριῶν

Ἡ συγκέντρωσις βραχυβίων δηλητηριῶν εἰς τὸ μίγμα $\text{U}^{235} - \text{Pu}^{239}$ εὐρίσκεται εὐκόλως δι' ὀλοκλήρωσεως τῶν (1), ἐν συνδυασμῷ μὲ τὰς σχέσεις (8) ἢ (6). Δι' ἐκτελέσεως τῶν σχετικῶν πράξεων καὶ εἰς κατάστασιν ραδιενεργοῦ ἰσορροπίας τῶν προγονικῶν ἰσοτόπων τῶν δηλητηριῶν, εὐρίσκομεν :

$$\begin{aligned} (9) \quad N_{X^{89}} &= \frac{\sigma_f^{28} \sigma_{\alpha}^{28} N_0^{28} \Phi}{\sigma_{\alpha}^{89}} \left[\frac{\gamma_X + \gamma_Z}{\alpha_X} - \left\{ \frac{\gamma_X}{\alpha_X - \alpha^{89}} + \frac{\lambda_Z \gamma_Z}{(\lambda_Z - \alpha^{89})(\alpha_X - \alpha^{89})} \right\} e^{-\alpha^{89} t} + \frac{\gamma_X}{(\alpha_X - \alpha^{89})} + \frac{\lambda_Z \gamma_Z}{(\lambda_Z - \alpha^{89})(\alpha_X - \alpha^{89})} - \frac{\gamma_X + \gamma_Z}{\alpha_X} \right] e^{-\alpha_X t} \\ N_{X^{25}} &= \frac{\sigma_f^{25} \sigma_{\alpha}^{28} N_0^{28} \Phi}{(\alpha_X - \alpha^{25})} \left[\left\{ \gamma_X + \frac{\lambda_Z \gamma_Z}{(\lambda_Z - \alpha^{25})} \right\} e^{-\alpha^{25} \cdot t} - \left\{ \gamma_X + \frac{\lambda_Z \gamma_Z}{(\lambda_Z - \alpha^{25})} \right\} e^{-\alpha_X \cdot t} \right] \end{aligned}$$

ένθα : $N_{X^{89}}$, $N_{X^{25}}$ εἶναι αἱ συγκεντρώσεις τῶν δηλητηριῶν τὰ ὅποια προέρχονται ἀπὸ τὴν σχάσιν τοῦ U^{235} καὶ τοῦ Pu^{239} , S_0 ὁ ἀρχικὸς ἐμπλουτισμὸς τοῦ πυρηνικοῦ καυσίμου.

Έκ των σχέσεων (9) προκύπτει ότι, η παραγωγή δηλητηριών από το Pu^{239} είναι αξιόλογα συνάρτηση του χρόνου, ενώ αντίθετως από το U^{235} είναι φθίνουσα. Θέτοντες κατά προσέγγισιν :

$\lambda_z - a^{39} \approx \lambda_z, \lambda_z - a^{25} \approx \lambda_z$ (διὰ $\Phi \leq 10^{15} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$)
καί $a_x - a^{39} \approx a_x, a_x - a^{25} \approx a_x$ (δι' οίανδήποτε τιμήν της ροής Φ), εύρισκομεν, εις κατάστασιν ραδιενεργού ισορροπίας, δι' αντικαταστάσεως των σταθερών εις τας σχέσεις (9) (πίνακες I και II) :

Πίναξ II

Μικρ. εν διατομαί cm ²	U^{235}	U^{238}	Pu^{239}
σ_f	$5,79 \cdot 10^{-22}$	—	$7,47 \cdot 10^{-22}$
σ_a	$6,18 \cdot 10^{-22}$	$2,8 \cdot 10^{-21}$	$1,017 \cdot 10^{-21}$

$$(10) \quad \begin{aligned} N_{Xe}^{39} &\approx 33,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\Phi}{a_{Xe}} (1 - e^{-a^{39} t}) \\ N_{Rh}^{39} &\approx 21 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\Phi}{a_{Rh}} (1 - e^{-a^{39} t}) \\ N_{Xe}^{25} &\approx 1,22 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\Phi}{a_{Xe}} e^{-a^{25} t} \\ N_{Rh}^{25} &\approx 17,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\Phi}{a_{Rh}} e^{-a^{25} t} \end{aligned}$$

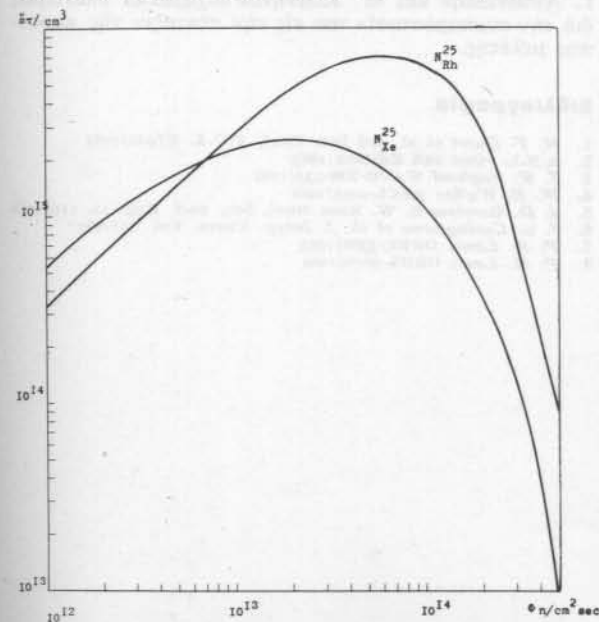
Η συγκέντρωση των δηλητηριών είναι επομένως επλεγμένη συνάρτησις της ροής των νετρονίων. Όσον αφορά εις την παραγωγή δηλητηριών από το U^{235} , ή συγκέντρωσις παρουσιάζει εν μέγιστον, ανά πάσαν στιγμήν, διά την εξής τιμήν της ροής των νετρονίων :

$$(11) \quad \Phi_{\max}^{25} = \left[(\lambda_x / 2 \sigma_x)^2 + \lambda_x t^{-1} / \sigma_a^{25} \sigma_x \right]^{1/2} - \lambda_x / 2 \sigma_x$$

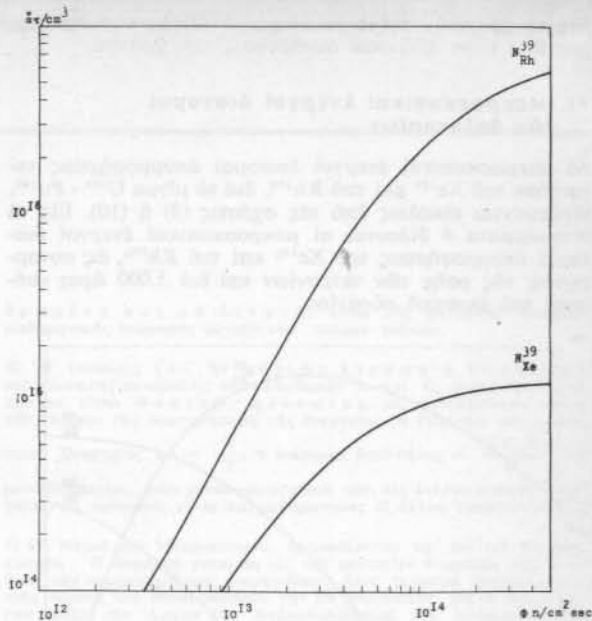
Η ροή Φ_{\max}^{25} είναι φθίνουσα συνάρτησις του χρόνου και ανεξάρτητος του εμπλουτισμού S_0 .

Διά την επίτευξιν της μεγίστης συγκεντρώσεως δηλητηριών απαιτείται επομένως λίαν ύψηλη ροή νετρονίων διά μικρούς χρόνους καύσεως. Τούτο όμως είναι ανέφικτον εις την πραγματικότητα. Καθίσταται όμως έφικτόν δσον προχωρεί ή καύσις του U^{235} , καθ' όσον ή άπαιτουμένη ροή νετρονίων είναι μικροτέρα.

Τα διαγράμματα 4 και 5 δίδουν τον νόμον της παραγωγής Rh^{105} και Xe^{135} εις το φυσικόν ούράνιον, συναρτήσι της ροής των νετρονίων και διά χρόνον καύσεως 5.000 ώρων. Έκ των διαγραμμάτων τούτων προκύπτει ότι ή μεγίστη συγκέντρωσις δηλητηριών επιτυγχάνεται διά ροάς νετρονίων της τάξεως των $3 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$.



Σχ. 4 : Συγκέντρωσις Xe^{135} και Rh^{105} παραγομένων εκ του U^{235} συναρτήσι της ροής Φ .



Σχ. 5 : Συγκεντρώσεις Xe^{135} και Rh^{105} παραγομένων εκ του Pu^{239} συναρτήσι της ροής Φ .

Η ελάττωσις της συγκεντρώσεως των εκ του U^{235} παραγομένων δηλητηριών εις ύψηλās ροάς νετρονίων, όφείλεται εις την ταχυτέραν καύσιν του U^{235} και την παραγωγήν Pu^{239} εκ του U^{238} .

V. Όλική συγκέντρωσις δηλητηριών

Η όλική συγκέντρωσις δηλητηριού τινός x εύρίσκεται διά προσθέσεως των εκ του U^{235} και Pu^{239} παραγομένων ποσοτήτων. Εις την εξεταζομένην περίπτωσιν εύρισκομεν την γενικήν σχέσιν :

$$(12) \quad N_x(t) = \frac{\Phi}{a_x} \left[C (1 - e^{-a^{39} t}) + D e^{-a^{25} t} \right]$$

Ενθα C και D γνωστοί συντελεσταί. Διά παραγωγίσεως της (12) εύρίσκομεν :

$$\dot{N}_x \approx \frac{\sigma^{39} \cdot C}{\sigma^{25} \cdot D} \geq e^{(\sigma^{39} - \sigma^{25}) \Phi t}$$

Εις την σχέσιν αυτήν :

$$\sigma^{39} / \sigma^{25} > 1, Z = \frac{\sigma^{39} C}{\sigma^{25} D}$$

καί

$$e^{(\sigma^{39} - \sigma^{25}) \Phi t} \geq 1$$

Κατόπιν των άνωτέρω συνάγεται :

- α) διά $Z > e^{(\sigma^{39} - \sigma^{25}) \Phi t}$
ή όλική συγκέντρωσις είναι αξιόλογα συνάρτησις του χρόνου.
- β) διά $Z \approx e^{(\sigma^{39} - \sigma^{25}) \Phi t_1}$
ή όλική συγκέντρωσις λαμβάνει μίαν μεγίστην τιμήν κατά την χρονικήν στιγμήν t_1
- γ) διά $Z < e^{(\sigma^{39} - \sigma^{25}) \Phi t}$
ή όλική συγκέντρωσις είναι φθίνουσα συνάρτησις του χρόνου.

Δι' αντικαταστάσεως των τιμών των σταθερών C και D εις την (13) εύρίσκομεν :

1ον ότι ή όλική συγκέντρωσις του Rh^{105} είναι αξιόλογα συνάρτησις του χρόνου ($\sigma^{39} C / \sigma^{25} D = 2,02$) και λαμβάνει μίαν μεγίστην τιμήν διά $t_1 = 21 \cdot 10^{20} / \Phi$

2ον ότι ή όλική συγκέντρωσις του Xe^{135} είναι φθίνουσα συνάρτησις του χρόνου ($\sigma^{39} C / \sigma^{25} D = 0,468$).

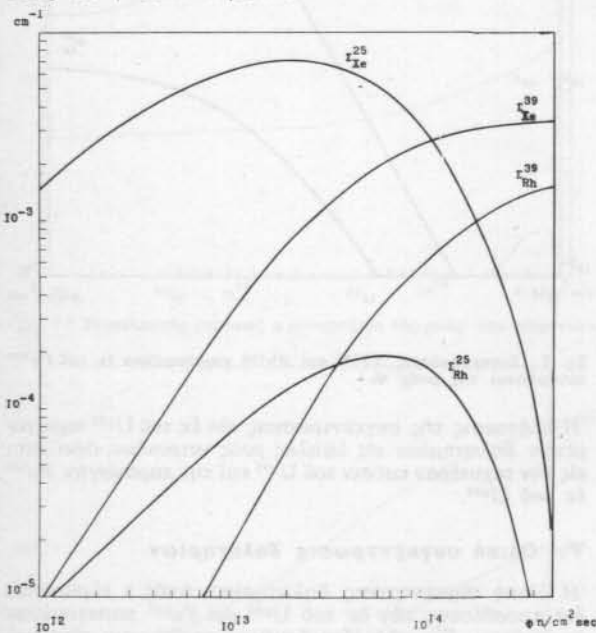
Αί ώς άνω παρατηρήσεις ισχύουν και διά τας όλικάς μακροσκοπικάς ενεργούς διατομάς του Rh^{105} και Xe^{135} .

Έκ των προηγούμενων παρατηρήσεων προκύπτει επίσης ότι ή σχετική σημασία του Rh^{105} ως προς το Xe^{135} είναι αξιόλογα συνάρτησις του χρόνου εις το διάστημα 0 έως t_1 .

Είς τὸ χρονικὸν τοῦτο διάστημα ὁ λόγος τῶν δηλητηριάσεων εἶναι ἀξίουσα συνάρτησις τοῦ χρόνου.

VI. Μακροσκοπικαὶ ἐνεργοὶ διατομαὶ τῶν δηλητηρίων

Αἱ μακροσκοπικαὶ ἐνεργοὶ διατομαὶ ἀπορροφῆσεως νετρονίων τοῦ Xe^{135} καὶ τοῦ Rh^{105} , διὰ τὸ μίγμα $\text{U}^{235} - \text{Pu}^{239}$, εὐρίσκονται εὐκόλως ἀπὸ τὰς σχέσεις (9) ἢ (10). Εἰς τὰ διαγράμματα 6 δίδονται αἱ μακροσκοπικαὶ ἐνεργοὶ διατομαὶ ἀπορροφῆσεως τοῦ Xe^{135} καὶ τοῦ Rh^{105} , ὡς συναρτήσεις τῆς ροῆς τῶν νετρονίων καὶ διὰ 5.000 ὥρες καὶ σῶσεως τοῦ φυσικοῦ οὐρανίου.



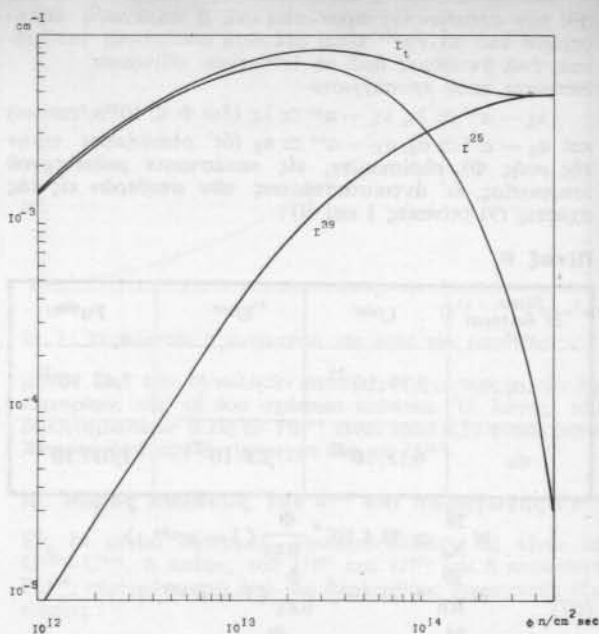
Σχ. 6: Μακροσκοπικαὶ ἐνεργοὶ διατομαὶ τοῦ Xe^{135} καὶ τοῦ Rh^{105} συναρτήσει τῆς ροῆς Φ .

Εἰς τὸ φυσικὸν οὐράνιον εὐρίσκεται ὅτι ἡ ἀπορρόφησης νετρονίων ἀπὸ τὸ Rh^{105} εἶναι σημαντικὴ διὰ ροὰς νετρονίων μεγαλυτέρας τῶν $2 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$. Διὰ ροὰς νετρονίων μεγαλυτέρας τῶν $2 \cdot 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ αἱ μακροσκοπικαὶ διατομαὶ Σ_{Rh}^{39} καὶ Σ_{Xe}^{39} εἶναι τῆς αὐτῆς τάξεως μεγέθους. Τὰ διαγράμματα 7 δίδουν τὴν μεταβολὴν τῶν μακροσκοπικῶν ἐνεργῶν διατομῶν ἀπορροφῆσεως νετρονίων Σ^{25} , Σ^{39} , καθὼς ἐπίσης καὶ τὴν συνολικὴν μακροσκοπικὴν ἐνεργὸν διατομὴν ἀπορροφῆσεως νετρονίων Σ_t τοῦ φυσικοῦ οὐρανίου.

Ἡ μακροσκοπικὴ ἐνεργὸς διατομὴ Σ_t ἀκολουθεῖ τὰς μεταβολὰς τῆς Σ^{25} διὰ ροὰς νετρονίων μικροτέρας τῶν $5 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ ἐνῶ δι' ὑψηλότερας ροὰς νετρονίων ἀκολουθεῖ τὰς μεταβολὰς τῆς Σ^{39} .

Εἰς τὴν περιοχὴν τῶν $3 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ ἡ Σ_t παρουσιάζει ἕν μέγιστον τὸ ὅποιον ρυθμίζεται κυρίως ἀπὸ τὰ δηλητηρία τοῦ U^{235} .

Ἡ ροὴ τῶν νετρονίων, ἡ ὁποία καθιστᾷ μεγίστην τὴν συγκέντρωσιν $\text{N}^{25}_{\text{Xe}}$ καὶ $\text{N}^{25}_{\text{Rh}}$, καὶ τὰς μακροσκοπικὰς ἐνεργοὺς διατομὰς ἀπορροφῆσεως νετρονίων Σ^{25}_{Xe} καὶ Σ^{25}_{Rh} , δίδεται ἀπὸ τὴν σχέσιν (II).



Σχ. 7: Συνολικαὶ μακροσκοπικαὶ ἐνεργοὶ διατομαὶ συναρτήσει τῆς ροῆς Φ .

Εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ μίγματος $\text{U}^{235} - \text{Pu}^{239}$, ὁ λόγος τῶν δηλητηριάσεων τοῦ Pu^{239} ὡς πρὸς τὸ U^{235} εἶναι σταθερὸς καὶ δίδεται ἀπὸ τὴν (3), αἱ δὲ σχέσεις (3β) καὶ (4) ἰσχύουν ἀκόμη ὡς ἔχουν.

VII. Συμπεράσματα

Ἐκ τῆς μελέτης ἡ ὁποία ἐγίνε προκύπτει ὅτι, τὸ Rh^{105} εἶναι δυνατόν νὰ ἔχη σημαντικὴν ἐπίδρασιν ἐπὶ τῆς λειτουργίας ἐνὸς ἀντιδραστήρου φυσικοῦ οὐρανίου, λόγῳ τῆς παραγωγῆς πλουτωνίου.

Ἡ ἐκ τοῦ Rh^{105} , τοῦ προερχομένου ἐκ τοῦ Pu^{239} , δηλητηρίασις, εἶναι μεγαλυτέρα δι' ὑψηλὰς ροὰς νετρονίων καὶ τῆς αὐτῆς τάξεως μεγέθους τῆς τοῦ Xe^{135} .

Εἰς τὸ ἐμπλουτισμένον οὐράνιον ἡ ἐκ τοῦ Rh^{105} δηλητηρίασις τοῦ προερχομένου ἐκ τοῦ U^{235} , εἶναι μεγαλυτέρα διὰ ροὰς νετρονίων αἱ ὁποῖαι ἱκανοποιοῦν τὴν σχέσιν (II).

Τέλος προκύπτει ὅτι ἡ μακροσκοπικὴ ἐνεργὸς διατομὴ ἀπορροφῆσεως νετρονίων Σ_{Rh} εἶναι ἀπὸ 0 ἕως t_1 , ἀξίουσα συνάρτησις τοῦ χρόνου, ἐνῶ ἡ Σ_{Xe} φθίνει μονοτόμως.

Εὐχαριστίαι: Τοὺς συναδέλφους κ.κ. Α. Γιαννοῦσσην, Ι. Ἀντωνιάδην καὶ Μ. Κομνηνὸν εὐχαριστῶ ἰδιαίτερος διὰ τὴν συμπαράστασιν τῶν εἰς τὴν σύνταξιν τῆς παρούσης μελέτης.

Βιβλιογραφία

1. M. F. Duret et al 3rd Int. Conf. P.U.A. E/p26/1964
2. A.N.L. -5800 2nd Edition, 1963
3. T. R. England WAPD-TM-333/1962
4. W. H. Walker AECL-1054/1962
5. J. D. Garrison-B. W. Roos Nucl. Sci. and Eng. 12, 115/1962
6. J. G. Cuninghame et al. J. Inorg. Chem. Vol. 24/1962
7. P. M. Lantz ORNL-3388/1963
8. P. M. Lantz ORNL-3679/1964