

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, A. Vargas<sup>2</sup>, A. Camp<sup>2</sup>, A. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310,

<sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona

<sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

e-mail: getak@eeae.gr

## Περίληψη

Οι ανιχνευτές σπινθηρισμού  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς διαθέτουν την καλύτερη ενεργειακή διακριτική ικανότητα από όλους τους ανιχνευτές σπινθηρισμού. Για το λόγο αυτό έχουν γίνει αντικείμενο μελέτης και χρησιμοποιούνται σε όλο και περισσότερες εφαρμογές τα τελευταία χρόνια. Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται η προσομοίωση ενός τέτοιου ανιχνευτή με διαστάσεις κρυστάλλου  $1'' \times 1''$  και η επαλήθευσή της μέσω σύγκρισης προσομοιωμένων και πειραματικών φασμάτων. Για την σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν φάσματα πηγών Am-241, Cs-137 και Co-60 έτσι ώστε να καλύπτεται ένα μεγάλο ενεργειακό εύρος (59.5 keV – 1332.5 keV), ενώ δόθηκε προσοχή στην συμφωνία μεταξύ τόσο των ασκέδαστων όσο και των σκεδασμένων φωτονίων (απόδοση ανιχνευτή και σχήμα φάσματος αντίστοιχα). Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με τον κώδικα Monte Carlo MCNP του Los Alamos National Laboratory. Η καλή συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων και των πειραματικών δεδομένων επιβεβαιώνει την ορθότητα τους. Επομένως, οι προσομοιώσεις αυτές μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της απόδοσης του ανιχνευτή σε διάφορες πειραματικές διατάξεις (γεωμετρίες) καθώς και για τον υπολογισμό της ροής φωτονίων από μετρημένο φάσμα.

*Λέξεις-Κλειδιά:* Ανιχνευτές σπινθηρισμού,  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ , προσομοίωση, Monte Carlo, απόδοση.

## Abstract

$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  scintillating detectors have the best energy resolution amongst all scintillating detectors. Therefore they have been studied extensively and they are being used in an increasing number of applications over the last years. In the present study a Monte Carlo simulation of a  $1'' \times 1''$   $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  scintillating detector is being presented. The simulation

---

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, A. Vargas<sup>2</sup>, A. Camp<sup>2</sup>, A. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310,

<sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona

<sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Προσομοίωση ανιχνευτή  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  και σύγκριση αποτελεσμάτων με πειραματικά φάσματα.

is validated through comparison of measured and simulated spectra for Am-241, Cs-137 and Co-60 sources, in order to cover a large energy range (59.5 keV – 1332.5 keV). The good agreement of simulations and measurements should apply for both unscattered and scattered photon fluxes (i.e. both detector efficiency and spectra). The simulations were performed with the MCNP code of Los Alamos National Laboratory. The agreement between simulations and measured data validates the simulation geometry. Hence the simulations can be used for determining detector efficiency for various geometries as well as for the calculation of photon flux from experimental spectra.

*Keywords: Scintillators, LaBr<sub>3</sub>(Ce), simulation, Monte Carlo, efficiency*

## 1. Εισαγωγή

Η χρήση ανιχνευτών σπινθηρισμού είναι πολύ διαδεδομένη τα τελευταία 50 χρόνια καλύπτοντας ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών στις περισσότερες από τις οποίες κυριαρχούσε η χρήση ανιχνευτών NaI(Tl) (Moszynski 2003). Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια άρχισαν να αναπτύσσονται κρύσταλλοι με βάση το λανθάνιο (La) που παρουσίαζαν εξαιρετικές ιδιότητες. Ενδεικτικά, η απόδοση φωτός είναι 61000 φωτόνια/MeV και η διακριτική τους ικανότητα ~3% στα 662 keV (Ittis et al. 2006). Μάλιστα, στην μελέτη των Menge et al. (2007), κατεγράφη τιμή διακριτικής ικανότητας 2.3% στα 662 keV, σε κάποιους μικρούς κρυστάλλους LaBr<sub>3</sub>(Ce).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά δίνουν μεγάλο προβάδισμα απέναντι στους ανιχνευτές NaI(Tl) σε εφαρμογές φασματοσκοπίας. Ένα από τα προβλήματα στην χρήση ανιχνευτών LaBr<sub>3</sub>(Ce) είναι η ύπαρξη του ραδιενεργού La-138 σε ποσοστό 0.09% στο φυσικό La. Το La-138, με χρόνο ημιζωής  $1.05 \cdot 10^{11}$  χρόνια δίνει ενεργότητα 1.5 Bq/cc στο LaBr<sub>3</sub> (Menge et al. 2007). Το γεγονός αυτό έχει γίνει αντικείμενο μελετών (Nicolini et al. 2007, Menge et al. 2007), ενώ παράλληλα έχει επισημανθεί ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σαν πηγή βαθμονόμησης για την παρακολούθηση ολισθήσεων του κέρδους ενίσχυσης (gain drifts) (Nicolini et al. 2007).

Μέχρι σήμερα έχουν υπάρξει κάποιες μελέτες που ασχολούνται με την προσομοίωση ανιχνευτών LaBr<sub>3</sub>(Ce) με κώδικες Monte Carlo (Anil Kumar et al. 2009, Casanovas et al. 2012). Οι μελέτες αυτές επικεντρώνονται στην σύγκριση με άλλους τύπους ανιχνευτών και στον προσδιορισμό της απόδοσης των ανιχνευτών LaBr<sub>3</sub>(Ce) μέσω προσομοίωσης. Στην μελέτη των Anil Kumar et al. (2009) υπάρχει και μια σύγκριση φάσματος που δίνει καλά αποτελέσματα μόνο για ενέργειες μεγαλύτερες από 200 keV. Στην παρούσα μελέτη θα επιχειρηθεί η προσομοίωση ενός ανιχνευτή LaBr<sub>3</sub>(Ce) με τον κώδικα MCNP (Briesmeister, 2000) με σκοπό τόσο τον προσδιορισμό της απόδοσης του όσο και την λεπτομερή αναπαραγωγή του φάσματος του ανιχνευτή. Έχοντας πετύχει το παραπάνω θα είναι δυνατός ο προσδιορισμός της ροής φωτονίων από μετρημένο φάσμα, μέσω του καθαρισμού του από τις σκεδάσεις στον όγκο του ανιχνευτή, με τη βοήθεια της προσομοίωσης.

---

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, Α. Vargas<sup>2</sup>, Α. Camp<sup>2</sup>, Α. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310,

<sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona

<sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Προσομοίωση ανιχνευτή LaBr<sub>3</sub>(Ce) και σύγκριση αποτελεσμάτων με πειραματικά φάσματα.

## 2. Μεθοδολογία

Για την ακριβή περιγραφή του ανιχνευτή από το μοντέλο προσομοίωσης ήταν απαραίτητη τόσο η λεπτομερής περιγραφή του στο αρχείο προσομοίωσης όσο και η διεξαγωγή αντίστοιχων μετρήσεων για την επικύρωση του μοντέλου αυτού. Στις παρακάτω παραγράφους ακολουθεί η παρουσίαση της μετρητικής διάταξης και του μοντέλου προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη.

### 2.1 Μετρητική Διάταξη

Η μετρητική διάταξη αποτελούνταν από έναν ανιχνευτή  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  με διαστάσεις κρυστάλλου  $1'' \times 1''$ . Ο τύπος του κρυστάλλου ήταν BrillLanCe380 από την Saint Gobain με φωτοπολλαπλασιαστή Photonis XR2060 και προενισχυτή AS2712. Ο ανιχνευτής φαίνεται και στις Εικόνες 1 και 2



Εικόνα 1: Άποψη του ανιχνευτή  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις



Εικόνα 2: Άποψη του ανιχνευτή  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ . Στο κέντρο φαίνεται ο κρύσταλλος  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$

---

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, A. Vargas<sup>2</sup>, A. Camp<sup>2</sup>, A. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310,

<sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona

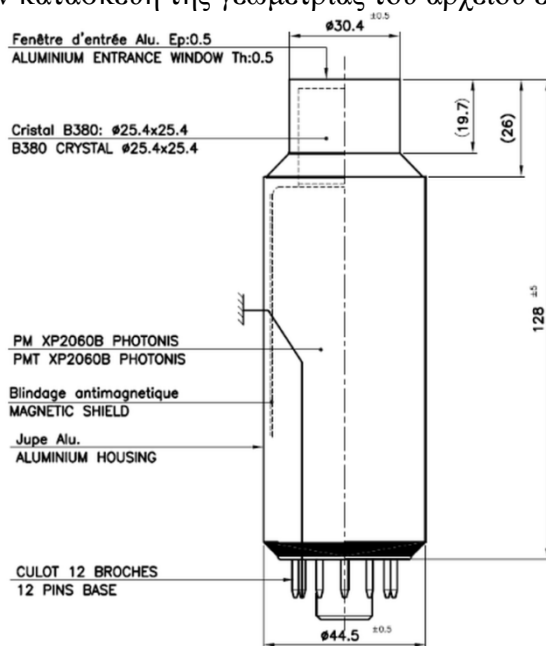
<sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Για τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, χρησιμοποιήθηκαν τρεις σημειακές πηγές: Am-241 38.8 kBq, Cs-137 26.4 kBq και Co-60 4.2 kBq. Οι πηγές τοποθετήθηκαν σε απόσταση 7.45 cm από τον κρύσταλλο του ανιχνευτή. Για κάθε πηγή ελήφθη ένα φάσμα για χρόνο 300s ενώ ελήφθη κι ένα φάσμα υποβάθρου το οποίο αφαιρέθηκε από κάθε φάσμα πηγής. Τα φάσματα που προέκυψαν, συγκρίθηκαν με τα προσομοιωμένα φάσματα. Για τον προσδιορισμό της πειραματικής απόδοσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GENIE2000 της εταιρείας Canberra.

## 2.2 Προσομοιώσεις

Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με τον κώδικα MCNP (Briesmeister, 2000), έκδοση 4C2. Ο MCNP είναι ένας κώδικας Monte Carlo γενικής χρήσης, με δυνατότητες προσομοίωσης προβλημάτων μεταφοράς νετρονίων, ηλεκτρονίων και φωτονίων, με συνεχείς ενέργειες, σε γενικευμένες γεωμετρίες, με εξάρτηση από τον χρόνο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρκετά προβλήματα αλληλεπίδρασης μόνο νετρονίων, μόνο φωτονίων, μόνο ηλεκτρονίων, συνδυασμού φωτονίων - νετρονίων όπου τα φωτόνια παράγονται από αλληλεπιδράσεις των νετρονίων, νετρονίων - φωτονίων - ηλεκτρονίων, φωτονίων - ηλεκτρονίων, ηλεκτρονίων - φωτονίων, με την ύλη. Η ενέργεια των νετρονίων μπορεί να κυμανθεί από  $10^{-11}$  MeV έως τα 20 MeV, ενώ των ηλεκτρονίων και φωτονίων από 1 keV έως 1000 MeV.

Η γεωμετρία του ανιχνευτή από το διάγραμμα του κατασκευαστή (Εικόνα 3) χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της γεωμετρίας του αρχείου εισόδου.



Εικόνα 3: Σχηματική αναπαράσταση του ανιχνευτή, όπως δόθηκε από τον κατασκευαστή

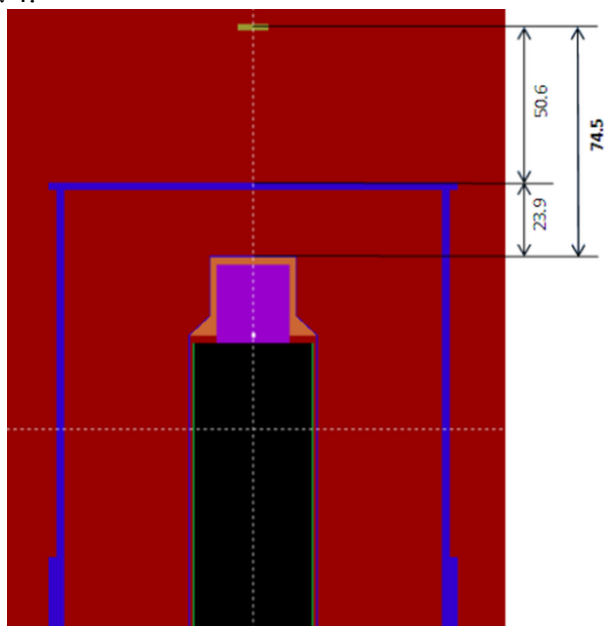
Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, Α. Vargas<sup>2</sup>, Α. Camp<sup>2</sup>, Α. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310,

<sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona

<sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Προσομοίωση ανιχνευτή LaBr<sub>3</sub>(Ce) και σύγκριση αποτελεσμάτων με πειραματικά φάσματα.

Οι σημειακές πηγές θεωρήθηκαν στην ίδια απόσταση με την πειραματική διάταξη (7.45 cm από τον κρύσταλλο), ενώ για το Cs-137 προσομοιώθηκαν τόσο οι ακτίνες  $\gamma$  (661.7 keV) όσο και οι ακτίνες X (32 keV). Για τις πηγές Am-241 και Co-60 προσομοιώθηκαν οι ακτίνες  $\gamma$  (59.5 keV και 1173.2 & 1332.5 keV αντίστοιχα). Η προσομοίωση του ανιχνευτή φαίνεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Προσομοίωση του ανιχνευτή  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  και της θέσης τοποθέτησης της πηγής. Οι αποστάσεις που φαίνονται αναγράφονται σε mm.

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο απεριθμητής ύψους παλμών του MCNP. Ο απεριθμητής ύψους παλμών (f8) παρέχει την ενεργειακή κατανομή των παλμών που δημιουργούνται στο κελί που ορίζουμε ως ανιχνευτή, ενώ μπορεί να υπολογίζει και την εναπόθεση ενέργειας σε κάποιο κελί. Ο συγκεκριμένος τύπος ανιχνευτή διαφέρει αρκετά από τους υπόλοιπους ανιχνευτές του MCNP. Οι άλλοι ανιχνευτές χρησιμοποιούν μακροσκοπικά μεγέθη, όπως η ροή, των οποίων οι τιμές καθορίζονται από ένα μεγάλο αριθμό μικροσκοπικών συμβάντων. Αντίθετα, ο απεριθμητής ύψους παλμών καταγράφει την ενέργεια που εναποτίθεται σε κάποιον όγκο από κάθε σωματίδιο της πηγής και τα δευτερεύοντα σωματίδια αυτού. Ως προς την λειτουργία του, ο απεριθμητής ύψους παλμών είναι ανάλογος με έναν πραγματικό ανιχνευτή, καθώς η διαμέριση των ενεργειών που ορίζουμε αντιστοιχεί στα κανάλια του πολυκαναλικού αναλυτή στα οποία καταμετρούνται τα σωματίδια ανάλογα με την ενέργεια που καθένα από αυτά εναποθέτει στον κρύσταλλο του ανιχνευτή.

Τα προσομοιωμένα φάσματα επεξεργάστηκαν με ένα Γκαουσιανό φίλτρο το οποίο προσομοιώνει την διακριτική ικανότητα των πλαστικών ανιχνευτών. Το φίλτρο αυτό υλοποιήθηκε με μια μακρο-εντολή γραμμένη σε VBA (visual basic for applications) για το Microsoft Excel και λειτουργεί με τρόπο όμοιο με το φίλτρο που παρέχει ο MCNP. Οι

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, A. Vargas<sup>2</sup>, A. Camp<sup>2</sup>, A. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310,

<sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona

<sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

κρούσεις μιας συγκεκριμένης ενέργειας  $E_0$ , ανακατανέμονται στο ενεργειακό φάσμα βάσει της σχέσης:

$$f(E) = C \times e^{-\left(\frac{E-E_0}{A}\right)^2} \quad (1)$$

όπου  $E$  η επεξεργασμένη με Γκαουσιανό φίλτρο ενέργεια,  $f(E)$  οι κρούσεις στην ενέργεια  $E$ ,  $C$  μια σταθερά κανονικοποίησης και  $A$  το Γκαουσιανό πλάτος που δίνεται συναρτήσει του FWHM (full width half maximum) από την σχέση:

$$A = \frac{FWHM}{2 \times \sqrt{\ln(2)}} \quad (2)$$

Ως γνωστό, το FWHM για μια συγκεκριμένη ενέργεια  $E_0$  ορίζεται ως  $FWHM = 2 \times (E_{FWHM} - E_0)$ , όπου  $E_{FWHM}$  είναι η ενέργεια για την οποία  $f(E_{FWHM}) = \frac{1}{2} \times f(E_0)$ . Συνδέεται δε με την διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή μέσω της σχέσης:

$$R = \frac{FWHM(E_0)}{E_0} \quad (3)$$

όπου  $R$  η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή στην ενέργεια  $E_0$  και  $FWHM(E_0)$  το αντίστοιχο FWHM.

Επειδή η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται συναρτήσει της ενέργειας, το επιθυμητό FWHM, μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της σχέσης

$$FWHM = a + b \times \sqrt{E + c \times E} \quad (4)$$

όπου οι σταθερές  $a$ ,  $b$  και  $c$  καθορίζονται από τον χρήστη

Μετά την επεξεργασία τους με το Γκαουσιανό φίλτρο, τα προσομοιωμένα φάσματα πολλαπλασιάστηκαν με τον αριθμό των φωτονίων που εκπέμφθηκαν από τις πηγές Am-241, Cs-137 και Co-60 για τον χρόνο συλλογής των φασμάτων (300 s) ώστε να είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα μετρημένα.

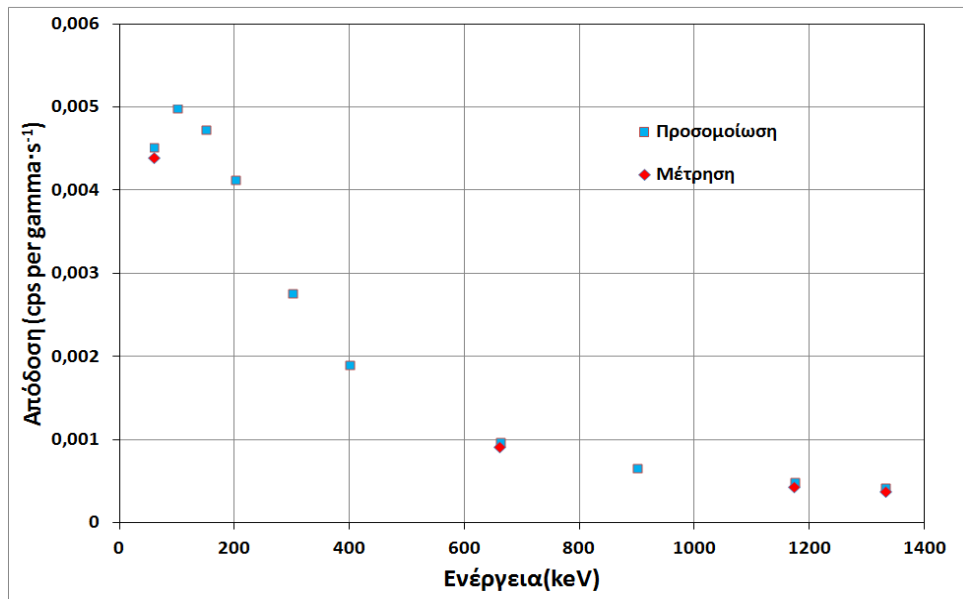
### 3. Συμπεράσματα – Πρόταση

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1) φαίνεται η σύγκριση της προσομοιωμένης με την μετρημένη απόδοση του ανιχνευτή. Η απόδοση εκφράζεται σε κρούσεις ανά δευτερόλεπτο και ανά εκπεμπόμενο φωτόνιο.

---

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, A. Vargas<sup>2</sup>, A. Camp<sup>2</sup>, A. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310, <sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona <sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

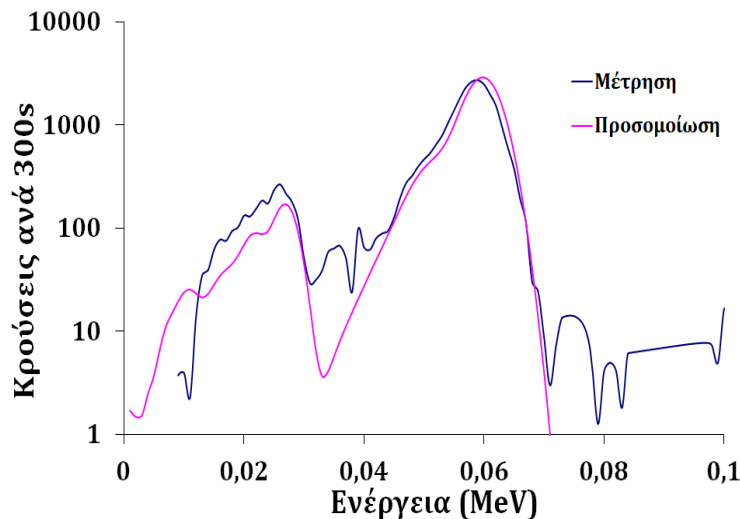
Προσομοίωση ανιχνευτή LaBr<sub>3</sub>(Ce) και σύγκριση αποτελεσμάτων με πειραματικά φάσματα.



Σχήμα 1: Σύγκριση πειραματικής και προσομοιωμένης απόδοσης

Είναι φανερό ότι οι προσομοιωμένες και οι μετρημένες τιμές είναι πολύ κοντά, ενώ η μέγιστη σχετική διαφορά προσομοιωμένης – μετρημένης τιμής προσεγγίζει το 8%. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά αυτή παρουσιάζεται σε μια από τις ενέργειες της πηγής Co-60, το μετρημένο φάσμα της οποίας έχει πολύ κακή στατιστική (Σχήμα 4) λόγω της χαμηλής ενεργότητας της πηγής.

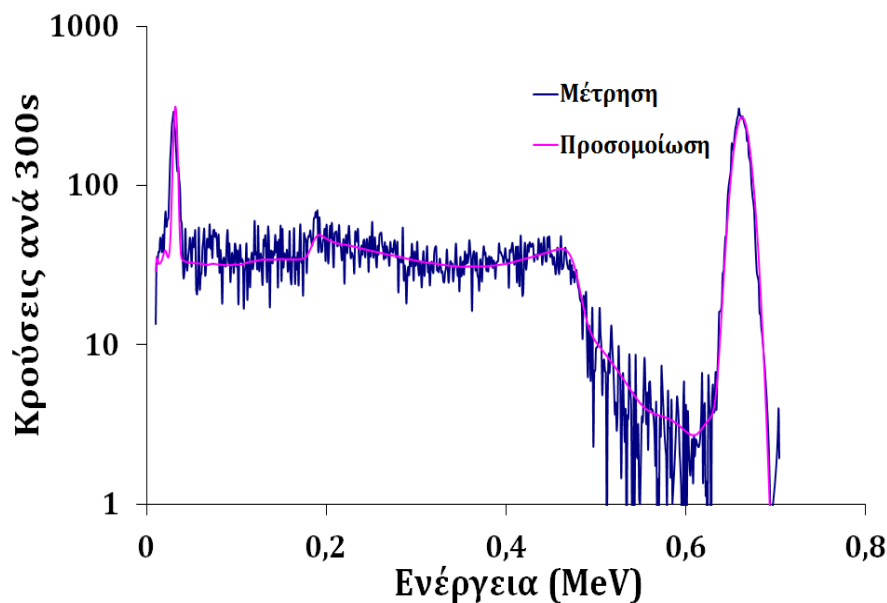
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήματα 2-4) παρουσιάζονται οι συγκρίσεις προσομοιωμένων και μετρημένων φασμάτων.



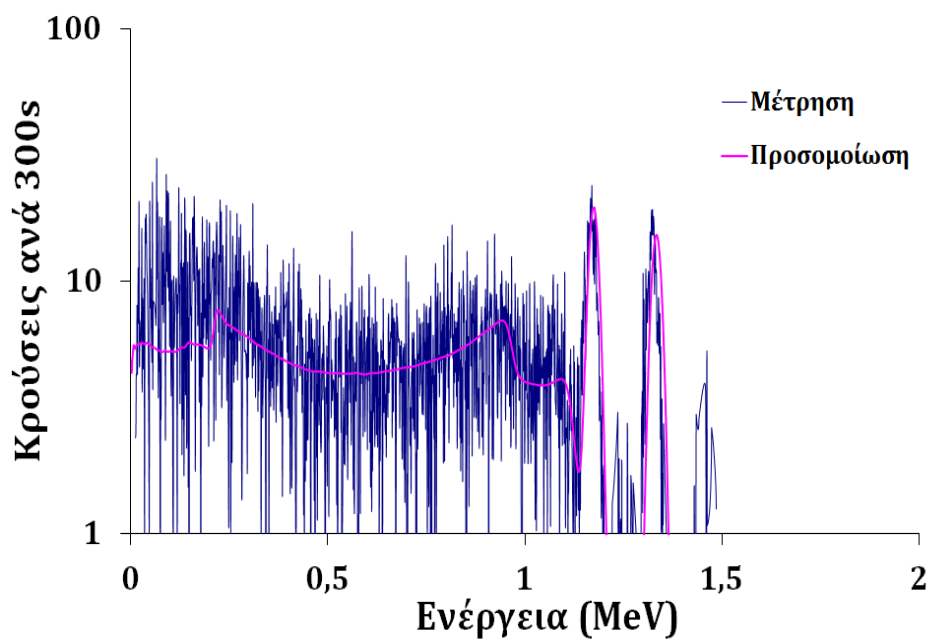
Σχήμα 2: Σύγκριση μετρημένου και προσομοιωμένου φάσματος για την πηγή Am-241

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, Α. Vargas<sup>2</sup>, Α. Camp<sup>2</sup>, Α. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310, <sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona <sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Προσομοίωση ανιχνευτή LaBr<sub>3</sub>(Ce) και σύγκριση αποτελεσμάτων με πειραματικά φάσματα.



Σχήμα 3: Σύγκριση μετρημένου και προσομοιωμένου φάσματος για την πηγή Cs-137



Σχήμα 4: Σύγκριση μετρημένου και προσομοιωμένου φάσματος για την πηγή Co-60

Από τα σχήματα είναι φανερό ότι η προσομοίωση είναι επιτυχής. Επομένως, το μοντέλο αυτό μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί σαν βάση τόσο για τον υπολογισμό απόδοσης διαφορετικών γεωμετριών όσο και για τον καθαρισμό μετρημένων φασμάτων από τις

---

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, Α. Vargas<sup>2</sup>, Α. Camp<sup>2</sup>, Α. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310, <sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona <sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Προσομοίωση ανιχνευτή LaBr<sub>3</sub>(Ce) και σύγκριση αποτελεσμάτων με πειραματικά φάσματα.



σκεδάσεις φωτονίων στον όγκο του ανιχνευτή, αποτελώντας εργαλείο για τον προσδιορισμό ροής φωτονίων από μετρημένο φάσμα.

#### 4. Βιβλιογραφία

- Anil Kumar G., Mazumdar I., Gothe D.A., “*Experimental measurements and GEANT4 simulations for a comparative study of efficiencies of LaBr<sub>3</sub>:Ce, NaI(Tl) and BaF<sub>2</sub>*”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 610, p.p. 522-529, 2009
- Briesmeister JF., “*MCNP-A general Monte Carlo N-particle transport code, version 4C*”, Los Alamos National Laboratory, 2000, Los Alamos, [LA-13709-M].
- Casanovas R., Morant J.J., Salvado M., “*Energy and resolution calibration of NaI(Tl) and LaBr<sub>3</sub>(Ce) scintillators and validation of an EGS5 Monte Carlo user code for efficiency calculations*”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 675, p.p. 78-83, 2012.
- Iltis A., Mayhugh M.R., Menge P., Rozsa C.M., Selles O., Soloyev V., “*Lanthanum halide scintillators: Properties and applications*”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 563, p.p. 359-363, 2006.
- Menge P.R., Gautier G., Iltis A., Rosza C., Soloyev V., “*Performance of large lanthanum bromide scintillators*”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 579, p.p. 6-10, 2007.
- Nicolini R., Camera F., Blasi N., Brambilla S., Bassini R., Boiano C., Bracco A., Crespi F.C.L., Wieland O., Benzoni G., Leoni S., Million B., Montanari D., Zalite A., “*Investigation of the properties of a 1'x 1' LaBr<sub>3</sub>:Ce scintillator*”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 582, p.p. 554-561, 2007.
- van Eijk C.W.E., Dorenbos P., van Loef E.V.D., Kramer K., Gudel H.U., “*Energy resolution of some new inorganic-scintillator gamma-ray detectors*”, Radiation Measurements, 33, p.p. 521-525, 2001.

---

Γ. Τακούδης<sup>1</sup>, A. Vargas<sup>2</sup>, A. Camp<sup>2</sup>, A. Κλούβας<sup>3</sup>, Σ. Ξανθός<sup>3</sup>, Κ. Ποτηριάδης<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ 60092, Τ.Κ. 15310, <sup>2</sup>Institute of Energy Technologies, Technical University of Catalonia, C. Jordi Girona, 31, 08034 Barcelona <sup>3</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη, 54124 Θεσσαλονίκη

Προσομοίωση ανιχνευτή LaBr<sub>3</sub>(Ce) και σύγκριση αποτελεσμάτων με πειραματικά φάσματα.