



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

Ετήσια έκθεση προόδου PhD

Τσερέμογλου Σταύρος, Ιανουάριος 2022

Τίτλος: **Μελέτη και βελτιστοποίηση παραμέτρων απόδοσης φωταύγειας κρυσταλλικών σπινθηριστών, για χρήση σε ανιχνευτικές διατάξεις ιοντίζουσών ακτινοβολιών υβριδικών συστημάτων ιατρικής απεικόνισης** (αρ. απόφασης 1/22-1-2021)

Επιβλέπων Καθηγητής: Νεκτάριος Καλύβας

Συμβουλευτική Επιτροπή: Νεκτάριος Καλύβας, Ιωάννης Βαλαής, Χρήστος Μιχαήλ

Αρχικοί ερευνητικοί στόχοι

- Η πειραματική και θεωρητική μελέτη της απόδοσης φωταύγειας αλογονούχων μονοκρυσταλλικών σπινθηριστών $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ και $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ κάτω από την επίδραση ιοντίζουσών ακτινοβολιών. Ο προσδιορισμός της δυνατότητας χρήσης των σπινθηριστών σε απλά συστήματα ακτίνων-Χ και υβριδικά SPECT/CT και PET/CT. Επιπλέον θα προσδιοριστούν οι συνθήκες, που μεγιστοποιούν την απόδοση και οδηγούν σε μείωση της δόσης ακτινοβολίας στον εξεταζόμενο.
- Αξιολόγηση της αποδοτικότητας των κρυστάλλων μέσω προσδιορισμού παραμέτρων όπως: κβαντική ανιχνευτική απόδοση (QDE), απόδοση ενεργειακής απορρόφησης (EAE), απόλυτη απόδοση φωταύγειας (AE) καθώς και η ανιχνευτική κβαντική απόδοση του σπινθηριστή (DQE). Έλεγχος της συμβατότητας του εξερχομένου φάσματος από τους κρυστάλλους με διάφορους οπτικούς ανιχνευτές, μέσω του παράγοντα φασματικής σύζευξης (SMF), καθώς και της συνολικής απόδοσης φωταύγειας του συστήματος σπινθηριστής-οπτικός ανιχνευτής (Effective Efficiency).
- Επιπλέον ένα θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει τη απορρόφηση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και τη διάδοση των παραγόμενων οπτικών φωτονίων θα προσαρμοσθεί στους υπό μελέτη κρυστάλλους και θα χρησιμοποιηθεί. Με αυτό το τρόπο θα μελετηθεί το ποσοστό διερχόμενου φωτός μέσα στο υλικό. Η χρήση του μοντέλου μπορεί να προτείνει βέλτιστες παραμέτρους απόδοσης του σπινθηριστή, όπως βέλτιστο πάχος για διαφορετικές ενέργειες ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Αναφορά προόδου για το έτος 2021

Μελετήθηκε η διεθνής βιβλιογραφία όσον αφορά στις ιδιότητες και στις εφαρμογές του $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$, σε σχέση και με τους στόχους της διατριβής.

Από τη μελέτη αυτή διαπιστώθηκε ότι η διερεύνηση των χαρακτηριστικών του κρυστάλλου αυτού ξεκίνησε το 2000, και από την αρχή θεωρήθηκε σαν ένας πολλά υποσχόμενος σπινθηριστής επειδή εμφάνιζε συνδυασμό πολύ καλών χαρακτηριστικών. Υπό την επίδραση γ ακτινοβολίας ^{137}Cs 662 KeV με χρόνο διαμόρφωσης 10 μs η απόδοση φωτός μετρήθηκε από 40000 photons /MeV έως 49000 photons /MeV, ανάλογα με το μέγεθος του κρυστάλλου και την περιεκτικότητα σε Ce [1,2,3,4]. Η απόδοση αυτή παρέμενε σταθερή σε μια ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών [4,5]. Επιπλέον παρουσίαζε πολύ καλή γραμμική απόκριση, δηλαδή η απόδοση φωτός ήταν ανεξάρτητη της ενέργειας [6]. Η μη αναλογικότητα της

φωτεινής απόδοσης ήταν πολύ μικρή, περίπου 7% για ένα φάσμα ενεργειών από 60 έως 1275 KeV [6]. Η πολύ καλή απόδοση φωτός και η γραμμική απόκριση έχει θεωρηθεί ότι βρίσκονται πίσω από την εξαιρετική διακριτική ικανότητα που εμφανίζει ο συγκεκριμένος σπινθηριστής [6,7]. Για την κορυφή των 662 KeV, η διακριτική ικανότητα υπολογίστηκε από 3,1% έως 4% (FWHM over peak position) σε θερμοκρασία δωματίου και ανάλογα με το μέγεθος του κρυστάλλου την περιεκτικότητα σε Ce και τις συνθήκες μέτρησης [2,6,8,9]. Επίσης χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό χρόνο απόκρισης, 20 - 25 ns, για 41 - 76% της ολικής φωτεινής απόδοσης και για κρυστάλλους με 10 -20% περιεκτικότητα σε Ce [4,6]. Το φάσμα εκπομπής του εκτείνεται από 300 nm - 400 nm με μέγιστο στα 350 nm [2,10]. Η πυκνότητα του είναι 3,86 g/cm³, έχει υψηλό ενεργό ατομικό αριθμό Z_{eff} (59,5) και ανιχνευτική απόδοση γ ακτινοβολίας $\rho Z^4_{\text{eff}} = 23,2 \times 10^6$ [1,7,9,10]. Η μελέτη των χαρακτηριστικών του κρυστάλλου σε όλα τα σχετικά άρθρα στη βιβλιογραφία αναφέρεται σε εφαρμογές του στην ανίχνευση και φασματομετρία των ακτίνων γ και στην απεικόνιση SPECT.

Πραγματοποιήθηκε πειραματική μέτρηση της απόλυτης απόδοσης φωταύγειας (AE) του κρυστάλλου LaCl₃:Ce, διαστάσεων 10mm x 10mm x 10mm και σε ενεργειακό εύρος φασμάτων ακτίνων-X, που δημιουργούνται από υψηλές τάσεις 50kVp έως 150 kVp, στο εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής, με χρήση της ιατρικής λυχνίας ακτίνων-X CPI, series CMP 200DR 50KW.

Επίσης, για τον κρύσταλλο LaCl₃:Ce έγινε στις ανωτέρω ενέργειες θεωρητικός υπολογισμός της κβαντικής ανιχνευτικής απόδοσης (QDE), της απόδοσης ενεργειακής απορρόφησης (EAE), καθώς και της ανιχνευτικής κβαντικής απόδοσης του σπινθηριστή (DQE), με τη χρήση κατάλληλου φορμαλισμού και του λογισμικού XMudat. Επιπλέον, ελέγχθηκε η συμβατότητα του εξερχομένου φάσματος από τον συγκεκριμένο κρύσταλλο με διάφορους οπτικούς ανιχνευτές, μέσω του παράγοντα φασματικής σύζευξης (SMF), καθώς και η συνολική απόδοση φωταύγειας του συστήματος σπινθηριστής-οπτικός ανιχνευτής (EE).

Με βάση τα προηγούμενα, για τον κρύσταλλο LaCl₃:Ce, προετοιμάζεται άρθρο για να υποβληθεί προς δημοσίευση σε επιστημονικό περιοδικό. Στα πλαίσια συγγραφής του συγκεκριμένου άρθρου, έγινε θεωρητικός υπολογισμός της κβαντικής ανιχνευτικής απόδοσης (QDE), της απόδοσης ενεργειακής απορρόφησης (EAE) και της ανιχνευτικής κβαντικής απόδοσης του σπινθηριστή (DQE) και για τους κρυστάλλους Bi₄Ge₃O₁₂ (BGO), Lu₂SiO₅:Ce (LSO) και CdWO₄.

Τέλος, μελετήθηκε η καταλληλότητα των κρυστάλλων LaCl₃:Ce και LaBr₃:Ce σε εφαρμογές Πυρηνικής Ιατρικής, μέσω του προσδιορισμού της κβαντικής ανιχνευτικής απόδοσης (QDE) και του παράγοντα φασματικής σύζευξης (SMF). Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για διάφορα πάχη κρυστάλλων (0.5-2 cm) και σε ενέργειες που αντιστοιχούν σε ραδιοϊσότοπα όπως Tl-201, Tc-99m, In-111, Ga-67, I-131 και I-123, με τα αποτελέσματα να καταδεικνύουν τους προαναφερθέντες κρυστάλλους ως κατάλληλους για χρήση σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης ανακοινώθηκαν με τη μορφή e-poster στο 15^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Πυρηνικής Ιατρικής, το οποίο διεξήχθη το Μάιο του 2021.

Δημοσιεύσεις - Συνέδρια

Stavros Tseremoglou, Christos Michail, Ioannis Valais, Athanasios Bakas, Konstantinos Ninos, George Fountos and Nektarios Kalyvas 2021. STUDY OF LANTHANUM BASED SCINTILLATORS FOR NUCLEAR MEDICINE IMAGING INSTRUMENTATION. Presented at the *15th Panhellenic Congress of Nuclear Medicine*.

Βιβλιογραφία

- [1] Marcin Balcerzyk, Marek Moszyn'ski, Maciej Kapusta, Comparison of LaCl₃:Ce and NaI(Tl) scintillators in g-ray spectrometry, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 537 (2005) 50–56.
- [2] Alain Iltisa,, M.R. Mayhughb , P. Mengeb , C.M. Rozsab , O. Sellesc , V. Solovyevb, Lanthanum halide scintillators: Properties and applications, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 563 (2006) 359–363.

- [3] O. Guillot-NoeKl, J.T.M. de Haas, P. Dorenbos, C.W.E. van Eijk, K. KraKmer, H.U. Giidel, Optical and scintillation properties of cerium-doped LaCl_3 , LuBr_3 and LuCl_3 , *Journal of Luminescence* 85 (1999) 21-35.
- [4] E.V.D. van Loef, P. Dorenbos, Carel W.E. van Eijk, K. Gamerb, H.U. Giidel, Scintillation properties of $\text{LaCl}_3:\text{Ce}^{3+}$ crystals: fast, efficient and high-energy-resolution scintillators, 2000 IEEE Nuclear Science Symposium. Conference Record (Cat. No.00CH37149).
- [5] M. Moszyn' skia, A. Nassalskia, A. Syntfeld-Kaz' ucha, T. Szcz'es' niaka, W. Czarnackia, D. Wolskia, G. Pauschb, J. Steinb, Temperature dependences of $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$, $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ and $\text{NaI}(\text{Tl})$ scintillators, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 568 (2006) 739–751.
- [6] K.S. Shaha, J. Glodoa, M. Klugermana, L. Cirignanoa, W.W. Mosesb, $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ scintillator for g-ray detection, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 505 (2003) 76–81.
- [7] Carel W.E. van Eijk, Inorganic scintillators in medical imaging, *Physics in Medicine and Biology*, 47 (2002) R85–R106.
- [8] Carel W.E. van Eijk, Inorganic-scintillator development, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 460 (2001) 1–14.
- [9] K. Alzimami, E. Abuelhia, Z. Podolyak, A. Ioannou, N.M. Spyrou, Characterization of $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ and $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ scintillators for gamma-ray spectroscopy, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 278, (2008) 755–759.
- [10] K. Alzimami, N.M. Spyrou and S.A. Sassi, Investigation of $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ and $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ scintillators for SPECT imaging, 2008 5th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro. DOI:10.1109/ISBI.2008.4541228, Corpus ID:5867448.

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Νεκτάριος Καλύβας

Ιωάννης Βαλαής

Χρήστος Μιχαήλ

Αναπληρωτής Καθηγητής (ΕΚ)

Καθηγητής

Επίκουρος Καθηγητής