



Ετήσια έκθεση προόδου PhD

Βασίλειος Ντούπης, 2 Νοεμβρίου 2024

Τίτλος: **Μελέτη απόδοσης φωταύγειας φθοριούχων κρυσταλλικών σπινθηριστών για χρήση σε ανιχνευτικές διατάξεις ιατρικών απεικονιστικών συστημάτων (αρ. απόφασης 2/15-02-2021)**

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Βαλαής

Συμβουλευτική Επιτροπή: Ιωάννης Βαλαής, Νεκτάριος Καλύβας, Χρήστος Μιχαήλ

Αρχικοί ερευνητικοί στόχοι

- Η μελέτη της απόδοσης φωταύγειας Φθοριούχων μονοκρυσταλλικών σπινθηριστών BaF_2 , PbF_2 , CeF_3 και $CaF_2:Eu$ κάτω από την επίδραση ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Ο προσδιορισμός της δυνατότητας χρήσης των σπινθηριστών σε απλά συστήματα ακτίνων-Χ και υβριδικά SPECT/CT και PET/CT, σε θερμιδομετρία (calorimetry) ακόμα και σε πειράματα φυσικής υψηλών ενεργειών κλπ. Ο προσδιορισμός των συνθηκών που μεγιστοποιούν την απόδοση και οδηγούν σε μείωση της δόσης ακτινοβολίας στον εξεταζόμενο.
- Αξιολόγηση της αποδοτικότητας των κρυστάλλων μέσω προσδιορισμού παραμέτρων όπως: απόδοση απορρόφησης φωτονίων (QDE), απόδοση στην απορρόφηση ενέργειας (EAE), ολική απόλυτη απόδοση φωταύγειας (AE), η οπτική απολαβή του σπινθηριστή (DOG), καθώς και το λόγο της εξερχόμενης οπτικής ροής ενέργειας προς την αντίστοιχη εισερχόμενη ροή ενέργειας των ακτίνων-Χ (XLE). 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).

Περιγραφή προόδου για το έτος 2024

Μελετήθηκε η απόδοση φωταύγειας ενός μονοκρυσταλλικού σπινθηριστή $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ Φθοριούχου Δημητρίου (CeF_3). Το CeF_3 έχει προσελκύσει την προσοχή για τις ποικίλες εφαρμογές του, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής σε Faraday rotator [1]. Αν και πολλές μελέτες έχουν αναδείξει τη μη αναλογική απόκρισή του στο εύρος των ενεργειών ακτίνων γάμμα, έως 5,1 MeV, οι μονοκρύσταλλοι CeF_3 επιβεβαίωσαν την καταλληλότητά τους για θερμιδομετρία υψηλού ρυθμού [2-4]. Επιπλέον, οι μαγνητο-οπτικές ιδιότητες του CeF_3 το καθιστούν πολύτιμο για εφαρμογές που λειτουργούν στο φάσμα UV [5]. Πειράματα με πρωτότυπα θερμιδόμετρα που βασίζονται σε CeF_3 (συμπεριλαμβανομένης της φάσης Υψηλής Φωτεινότητας του Μεγάλου Επιταχυντή Αδρονίων) έδειξαν ότι παρουσιάζει μια αρκετά καλή απόδοση στην ενεργειακή διακριτική ικανότητα σε ενέργειες έως 14 TeV. Παρόλα αυτά, η απόκριση σπινθηρισμού του CeF_3 συνεχίζει να προκαλεί ερωτήματα, προτρέποντας για περαιτέρω έρευνα. Προηγούμενες μελέτες έχουν διερευνήσει τη δυναμική της φωταύγειας, ωστόσο η απόκριση σπινθηρισμού είναι ακόμα υπό διερεύνηση [6-8]. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή 60–150 kVp και 63 mAs, χρησιμοποιώντας Ακτινολογικό μηχάνημα με γεννήτρια υψηλής τάσης CPI Inc. CMP 200 DR και λυχνία ακτίνων-Χ IAE SpA μοντέλο RTM90HS. Επιπλέον προστέθηκε ένα εξωτερικό φίλτρο 20 mm Al, για την προσομοίωση της εξασθένησης από ένα τυπικό ανθρώπινο θώρακα. Σε αυτήν την έρευνα

μετρήθηκε η απόλυτη απόδοση φωταύγειας (ΑΕ) (φωτεινή ροή εξόδου ανά ροή ακτίνων-Χ) και η απόδοση ενεργειακής απορρόφησης (ΕΑΕ) (αναλογία ενέργειας ακτίνων-Χ προς ενέργεια που προσπίπτει). Η ΑΕ αυξάνεται συνεχώς στο εξεταζόμενο εύρος ενέργειας (60-150 kVp) με μέγιστη τιμή (0,846 μονάδες απόδοσης) στα 150 kVp. Το φθόριο στον κρύσταλλο CeF_3 φάνηκε να μειώνει δραστικά την απόδοση της φωταύγειας, σε σύγκριση με τον κρύσταλλο CeBr_3 και άλλους εμπορικά χρησιμοποιούμενους κρυστάλλους σε ιατρικές εφαρμογές όπως το BGO. Επιπλέον, το μέγιστο εκπομπών μετατοπίστηκε ακόμη χαμηλότερα από το CeBr_3 , καθιστώντας το CeF_3 κατάλληλο για φασματική σύζευξη με πολυαλκαλικές φωτοκαθόδους και ευαίσθητους επίπεδους φωτοπολλαπλασιαστές που εφαρμόζονται σε ανιχνευτές πυρηνικής ιατρικής, αλλά εντελώς ακατάλληλο για φασματική αντιστοίχιση με CCD και CMOS, που χρησιμοποιούνται σε αισθητήρες για ιατρικές απεικονιστικές εφαρμογές. Τα ληφθέντα αποτελέσματα απόδοσης φωταύγειας υποδηλώνουν ότι το CeF_3 δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης στο εύρος 50–140 kVp. Ωστόσο, η εξέταση της απόδοσης της φωταύγειας σε υψηλότερες ενέργειες θα μπορούσε να αποκαλύψει μια πιθανή δυνατότητα εφαρμογής για ανιχνευτές πυρηνικής ιατρικής. Αξίζει πιθανώς να μελετηθεί ο κρύσταλλος CeF_3 σε υψηλότερες ενέργειες, λαμβάνοντας υπόψη ότι το ΑΕ δεν έφτασε σε κορεσμό μέχρι τη μέγιστη ενέργεια που εξετάστηκε.

Δημοσιεύσεις - Συνέδρια

1. **Ntoupis V**, Michail C, Kalyvas N, Bakas A, Kandarakis I, Fountos G, Valais I. Luminescence Efficiency and Spectral Compatibility of Cerium Fluoride (CeF_3) Inorganic Scintillator with Various Optical Sensors in the Diagnostic Radiology X-ray Energy Range. *Inorganics*. **2024**; 12(8):230. <https://doi.org/10.3390/inorganics12080230>
2. **Vasileios Ntoupis**, Christos Michail, Nektarios Kalyvas, George Fountos, Athanasios Bakas, Ioannis Kandarakis and Ioannis Valais. Effective Luminescence Efficiency and spectral matching of a Cerium Fluoride Crystal Scintillator with various optical sensors. Submission ID: sciforum- 093657, Section 3: Inorganic Crystalline Material, The 4th International Online Conference on Crystals Part of the International Electronic Conference on Crystals series, 18–20 Sep 2024. <https://doi.org/10.3390/IOCC2024-18280>
3. **V. Ntoupis**, C. Michail, N. Kalyvas, A. Bakas, I. Kandarakis, G. Fountos, I. Valais. Luminescence Efficiency of Cerium Fluoride (CeF_3) Single Crystal under X-ray Excitation. Hard-copy poster στο “2nd Panhellenic Congress of Medical Physics” (2024)
4. Dionysios Linardatos, **Vasileios Ntoupis**, Stavros Tseremoglou, Ioannis Valais, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Eleftherios Lavdas, Ioannis Kandarakis, George Fountos, Christos Michail, Influence of temperature (26 to 155°C range) on the luminescence efficiency of cerium bromide scintillator, *ScienceTalks*, Volume 9, **2024**, <https://doi.org/10.1016/j.sctalk.2024.100297>.

Βιβλιογραφία

- [1] Yang, W.; Kong, X.; Fu, B.; Yang, Y.; Chen, R.; Zuo, C.; Liu, H.; Yu, Y.; Zeng, F.; Li, C. Optical Properties of CeF_3 Crystal at High Temperature or Pressure by First Principles and Its Application in Isolators. *Opt. Mater.* **2024**, 154, 115758.
- [2] Bianchini, L.; Dissertori, G.; Donegà, M.; Lustermaun, W.; Marini, A.; Micheli, F.; Nessi-Tedaldi, F.; Pandolfi, F.; Peruzzi, M.; Schonenberger, M.; et al. High-Energy Electron Test Results of a Calorimeter Prototype Based on CeF_3 for HL-LHC Applications. In Proceedings of the 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), San Diego, CA, USA, 31 October–7 November **2015**; pp. 1–2.

- [3] Sizova, N.L.; Karimov, D.N.; Kosova, T.B.; Lisovenko, D.S. Mechanical Properties of CeF₃ Single Crystals. *Crystallogr. Rep.* **2019**, *64*, 942–946.
- [4] Zhu, L.; Li, Q.; Liu, X.; Li, J.; Zhang, Y.; Meng, J.; Cao, X. Morphological Control and Luminescent Properties of CeF₃ Nanocrystals. *J. Phys. Chem. C* **2007**, *111*, 5898–5903.
- [5] Kamenskikh, I.; Tishchenko, E.; Kirm, M.; Omelkov, S.; Belsky, A.; Vasil'ev, A. Decay Kinetics of CeF₃ under VUV and X-ray Synchrotron Radiation. *Symmetry* **2020**, *12*, 914.
- [6] Bianchini, L.; Dissertori, G.; Donegà, M.; Luster mann, W.; Marini, A.; Micheli, F.; Nessi-Tedaldi, F.; Pandolfi, F.; Peruzzi, M.; Schonenberger, M.; et al. High-Energy Electron Test Results of a Calorimeter Prototype Based on CeF₃ for HL-LHC Applications. In Proceedings of the 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), San Diego, CA, USA, 31 October–7 November **2015**; pp. 1–2.
- [7] Karimov, D.N.; Lisovenko, D.S.; Ivanova, A.G.; Grebenev, V.V.; Popov, P.A.; Sizova, N.L. Bridgman Growth and Physical Properties Anisotropy of CeF₃ Single Crystals. *Crystals* **2021**, *11*, 793.
- [8] Klamra, W.; Sibczynski, P.; Moszynski, M.; Czarnacki, W.; Kozlov, V. Extensive Studies on Light Yield Non-Proportional Response of Undoped CeF₃ at Room and Liquid Nitrogen Temperatures. *J. Instrum.* **2013**, *8*, P06003.

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Ιωάννης Βαλαής

Νεκτάριος Καλύβας

Χρήστος Μιχαήλ

Καθηγητής

Καθηγητής

Αναπληρωτής Καθηγητής