



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

Ετήσια έκθεση προόδου PhD

Βασίλειος Ντούπης, Ιανουάριος 2022

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 πειραματική και θεωρητική 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 θερμοδομετρία (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) και της ενέργειας τους (EAE), ολική απόδοση φωταύγειας (AE), η οπτική απολαβή του σπινθηριστή (DOG), καθώς και η απόδοση φωταύγειας του σπινθηριστή σε ακτίνες-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 2021

Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τις ιδιότητες και τις ιατρικές εφαρμογές των φθοριούχων μονοκρυσταλλικών σπινθηριστών BaF_2 , PbF_2 , CeF_3 και $CaF_2:Eu$, αλλά και σύγκριση των συγκεκριμένων φθοριούχων μονοκρυσταλλικών σπινθηριστών (BaF_2 , PbF_2 , CeF_3) με τον φθοριούχο σπινθηριστή με ενεργοποιητή Ευρώπιο ($CaF_2:Eu$). Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής έρευνας συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Ενδεικτικά, κάποιες σημαντικές πληροφορίες που προέκυψαν από την μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας, όσον αφορά τους Φθοριούχους ανιχνευτές (fluorides) που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη, είναι οι εξής:

Οι κρύσταλλοι βαριούχου φθορίου (BaF_2) θεωρήθηκαν πολύ καλοί στην δεκαετία του 80' αλλά στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν από καλύτερους. Σήμερα, οι νέες εξελίξεις στους φωτοπολλαπλασιαστές πυριτίου (SiPMs) μας δίνουν καλή ανίχνευση φωτονίων στη βαθιά υπεριώδη ακτινοβολία και καθιστούν τους κρυστάλλους BaF_2 , λόγω της γρήγορης διασταυρούμενης φωταύγειάς τους (cross - luminescence), αρκετά σημαντικούς. Ακόμα, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει προοπτική χρονισμού BaF_2 σε PET σε σχέση με την εφαρμογή των νέων φωτοπολλαπλασιαστών πυριτίου (SiPMs) που είναι ευαίσθητοι στην υπεριώδη ακτινοβολία [1-5].

Οι κρύσταλλοι φθοριούχου δημητρίου (CeF_3) έχουν σημαντικές ιδιότητες φθορισμού, υψηλή πυκνότητα, σύντομο χρόνο απόσβεσης (decay time), γρήγορη απόκριση, υψηλή αντοχή στην ακτινοβολία και παρουσιάζουν μη αναλογικότητα έως τα 5,1MeV, που τους καθιστά πολλά υποσχόμενους κρυστάλλους για γρήγορους και αποτελεσματικούς σπινθηριστές.

Οι κρύσταλλοι (CeF_3) είναι καλοί υποψήφιοι για τη φάση υψηλής φωτεινότητας του επιταχυντή LHC (Large Hadron Collider), καθώς έχει αποδειχθεί ότι επανέρχονται αυθόρμητα, σε θερμοκρασία δωματίου, από τις βλάβες που προκαλούνται από ενεργειακά αδρόνια. [6-10]

Όσον αφορά στους κρυστάλλους μολυβδούχου φθορίου (PbF_2) φαίνεται να έχουν καλή απόκριση στην ακτινοβολία Cherenkov. Οι κρύσταλλοι PbF_2 έχουν ένα επιπλέον πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών υλικών σπινθηρισμού. Λόγω του μεγάλου ατομικού αριθμού του μολύβδου αυξάνεται η πιθανότητα φωτοηλεκτρικού φαινομένου και επίσης αυξάνεται η πιθανότητα να απορροφηθεί όλη η ενέργεια των ακτίνων γάμμα σε μια ενιαία αλληλεπίδραση με την ύλη. Παρόλα αυτά ένας πιθανός σαρωτής Cherenkov TOF-PET με κρυστάλλους PbF_2 έχει χρόνο σύμπτωσης (Time Of Flight) TOF 95ps με (MCP-PMT) φωτοπολλαπλασιαστή και (190-297) ps με (SiPM) φωτοπολλαπλασιαστή όταν σαρωτές PET/CT του εμπορίου έχουν TOF 214ps, με κρυστάλλους LSO και (SiPM) φωτοπολλαπλασιαστή. [11-14]

Τέλος, οι σπινθηριστές φθοριούχου ασβεστίου ενεργοποιητή Ευρώπιο ($CaF_2:Eu$) έχουν ήδη ενσωματωθεί σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές όπως φασματοσκοπία, ανίχνευση φορτισμένων σωματιδίων, διερεύνηση διπλής διάσπασης βήτα, αναζήτηση σκοτεινής ύλης, ανιχνευτές ακτινοβολίας χαμηλής ενέργειας, χρόνος σύμπτωσης (TOF) εφαρμογές, φορητές κάμερες Compton, εφαρμογή ηλιακών κυψελών, καθώς και εσωτερική ασφάλεια. Επιπλέον, λόγω της μακράς σταθεράς διάσπασής τους, χρησιμοποιήθηκαν σε ανιχνευτές rhoswich. Το $CaF_2:Eu$ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί δυναμικά σε ακτινογραφικές εφαρμογές λόγω των υποσχόμενων τιμών απόλυτης απόδοσης στο ακτινογραφικό εύρος ενέργειας, καθώς και της αντιστοίχισης του εκπεμπόμενου φωτός με εμπορικούς οπτικούς αισθητήρες, εκτός από την ανίχνευση φορτισμένων σωματιδίων και μαλακών ακτίνων γάμμα [15-17].

Δημοσιεύσεις - Συνέδρια

Έχει εγκριθεί προς παρουσίαση.

Dionysios Linardatos, Dafni Revi, Vasileios Ntoupis, Nektarios Kalyvas, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Eleftherios Lavdas, Ioannis Kandarakis, George Fountos, Ioannis Valais and Christos Michail, 2021. Temperature dependence of ZnSe:Te scintillator. Presented at the 2nd Mediterranean Conference on Fracture and Structural Integrity, MedFract2.

Βιβλιογραφία

- [1] S. Gundacker, R. H. Pots, A. Nepomnyashchikh, E. Razdahabov, R. Shendrik, S. Omelkov, M. Kirm, F. Acerbi, M. Capasso, G. Paternoster, A. Mazzi, A. Gola, J. Chen and E. Auffray, "Vacuum ultraviolet silicon photomultipliers applied to BaF_2 cross-luminescence detection for high-rate ultrafast timing applications". Phys. Med. Biol. 66 (2021)
- [2] H. R. Pots, E. Auffray and S. Gundacker, "Exploiting Cross-Luminescences in BaF_2 for Ultrafast Timing Applications Using Deep-Ultraviolet Sensitive HPK Silicon Photomultipliers". Front. Phys. 8:592875 (2020)
- [3] M. V. Jacob, J. G. Hartnett, J. Mazierska, J. Krupka and M. E. Tobar, "Dielectric characterisation of Barium Fluoride at cryogenic temperatures using TE_{011} and quasi TE_{0mn} mode dielectric resonators". Cryogenics 46 (2006) 730-735
- [4] P.Drexler, U.Thöring, W.Bonn, H.A.P. van der Duin, R.Holzmann, G.van der Kruk, B.Krusche, H.Löhner, V.Metag, T.W.Nijboer, R.Novotny, Member, IEEE, A.Potapov, C.Salz, S.Schadmand, M.Steinacher, M.Thiel, H.Vorenholt, "The New Read-Out Electronics for the BaF_2 -Calorimeter TAPS". IEEE Transactions on Nuclear Science (2003)
- [5] R. Novotny, "Performance of the BaF_2 -Calorimeter TAPS". Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 61B 137-142 (1998)

- [6] N. L. Sizovaa, D. N. Karimova, T. B. Kosovaa, and D. S. Lisovenkob, "Mechanical Properties of CeF_3 Single Crystals". ISSN 1063-7745, Crystallography Reports, Vol. 64, No. 6, pp. 942–946 (2019)
- [7] Ling Zhu, Qin Li, Xiangdong Liu, Jiayan Li, Yanfei Zhang, Jian Meng, and Xueqiang Cao, "Morphological Control and Luminescent Properties of CeF_3 Nanocrystals". J. Phys. Chem. C, 111, 5898-5903(2007)
- [8] L. Bianchini, G. Dissertori, M. Donega, W. Lustermaan, A. Marini, F. Micheli, F. Nessi-Tedaldi (Member, IEEE), F. Pandolfi, M. Peruzzi, M. Schonenberger, "High-energy electron test results of a calorimeter prototype based on CeF_3 for HL-LHC applications". Journal of Latex Class Files, VOL. 6, NO. 1 (2007)
- [9] W. Klamral, P. Sibczynski, Member, IEEE, M. Moszynski, , Fellow, IEEE and V. Kozlov, "Study of Undoped CeF_3 Scintillators at Room and Liquid Nitrogen Temperature. IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record (NSS/MIC) (2012)
- [10] W. Klamra, P. Sibczynski, M. Moszynski, W. Czarnacki and V. Kozlov, "Extensive studies on light yield non-proportional response of undoped CeF_3 at room and liquid nitrogen temperatures". IOP Publishing Ltd and Sissa Medialab srl (2013)
- [11] M. Alokina, C. Canot, O. Bezshyyko, I. Kadenko, G. Tauzin, D. Yvon and V. Sharyy, "Simulation and optimization of the Cherenkov TOF whole-body PET scanner". Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 912, 378-381 (2019)
- [12] D. Consuegra, S. Korpar, R. Pestotnik, P. Križan, and R. Dolenc, "MCP-PMT timing at low light intensities with a DRS4 evaluation board". Nucleus No 65 (2019)
- [13] C. Canot, M. Alokina, P. Abbon, J.P. Bard, D. Breton, E. Delagnes, J. Maalmi, G. Tauzin, D. Yvona and V. Sharyy, "Fast and efficient detection of 511 keV photons using Cherenkov light in PbF_2 crystal, coupled to a MCP-PMT and SAMPIC digitization module". IOP Publishing Ltd and Sissa Medialab (2019)
- [14] D. Consuegra, S. Korpar, P. Križan, R. Pestotnik, G. Razdevšek and R. Dolenc, "Simulation study to improve the performance of a whole-body PbF_2 Cherenkov TOF-PET scanner". Phys. Med. Biol. 65 (2020)
- [15] G. Saatsakis, D. Linardatos, K. Ninos, I. Valais, N. Kalyvas, A. Bakas,, I. Kandarakis, G. Fountos, G. Panayiotakis and C. Michail, "Temperature Dependence of the Luminescence output of $CdWO_4$ Crystal. Comparison with $CaF_2:Eu$. Procedia Structural Integrity 28, 971–977 (2020)
- [16] C. Plettner, Member, IEEE, G. Pausch, Member, IEEE, F. Scherwinski, C.-M. Herbach, R. Lentering, Y. Kong, K. Römer, J. Stein, T. Szczęśniak, Member, IEEE, M. Grodzicka, Member, IEEE, J. Iwanowska, Member, IEEE and M. Moszyński, Fellow, IEEE, " $CaF_2(Eu)$: An "Old" Scintillator Revisited".
- [17] C. Michail, N. Kalyvas, A. Bakas, K. Ninos, I. Sianoudis, G. Fountos, I. Kandarakis, G. Panayiotakis and I. Valais, "Absolute Luminescence Efficiency of Europium-Doped Calcium Fluoride ($CaF_2:Eu$) Single Crystals under X-ray Excitation". Crystals 9, 234 (2019)

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Ιωάννης Βαλαής
Ioannis Valais
 Καθηγητής

Digitally signed
 by Ioannis Valais
 Date: 2022.01.19
 18:48:51 +02'00'

Νεκτάριος Καλύβας



Αναπλ. Καθηγητής

Χρήστος Μιχαήλ

Christos Michail

Digitally signed by
 Christos Michail
 Date: 2022.01.18
 18:43:10 +02'00'

Επίκουρος Καθηγητής (ΕΚ)