



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

**Μελέτη της Επίδρασης του Πάχους Κοκκώδων
Σπινθηριστών στην Απόδοση Φωταύγειας για
Εφαρμογές Πυρηνικής Ιατρικής στην
Καρδιολογία**

Ευάγγελος Νταφλούκας

Αριθμός Μητρώου: 18388111

Επιβλέπων Καθηγητής

Νεκτάριος Καλύβας, Καθηγητής

Αιγάλεω, Οκτώβριος 2024

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΚΟΚΚΩΔΩΝ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ
ΦΩΤΑΥΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΙΑ

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Μέλος

Μέλος

Νεκτάριος Καλύβας
Καθηγητής ΠΑΔΑ

Παντελεήμων Ασβεστάς
Καθηγητής ΠΑΔΑ

Αικατερίνη Σκουρολιάκου
Καθηγήτρια ΠΑΔΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο Ευάγγελος Νταφλούκας του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου 18388111 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

16 Οκτωβρίου 2024

-Ο-

Δηλών



Ευάγγελος Νταφλούκας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι η λεπτομερής μελέτη της επίδρασης του πάχους κοκκώδων σπινθηριστών στην απόδοση φωταύγειας για εφαρμογές πυρηνικής ιατρικής, με έμφαση στην καρδιολογία. Η έρευνα επικεντρώνεται στην αξιολόγηση των χαρακτηριστικών και της απόδοσης διαφόρων σπινθηριστών και πώς το πάχος τους επηρεάζει την αποδοτικότητα στην ανίχνευση ακτινοβολίας και στη δημιουργία διαγνωστικών εικόνων υψηλής ποιότητας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει την θεωρητική ανάλυση των σπινθηριστών, την ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου και πειραματικές μετρήσεις. Χρησιμοποιήθηκαν οι σπινθηριστές YAP:Ce (Υττριούχο Αλουμίνιο με ενεργοποιητή Δημήτριο) και Gd₂O₂S:Tb (Οξυσουλφίδιο του Γαδολινίου με ενεργοποιητή Τέρβιο) σε συνδυασμό με τα ακτινοβόλα ισότοπα Tc-99m και Tl-201.

Στο θεωρητικό σκέλος, παρουσιάστηκε ένα μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό της απόλυτης απόδοσης φωταύγειας (Absolute Luminescence Efficiency - ALE), της κβαντικής ανίχνευσης απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE), καθώς και της αποδοτικότητας απορρόφησης ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) των σπινθηριστών.

Στο σκέλος της εφαρμογής, το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να υπολογισθούν των ανωτέρω παραμέτρων για διάφορα πάχη. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το πάχος των σπινθηριστών έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση φωταύγειας.

Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του πάχους πέρα από ορισμένα όρια οδηγεί σε μείωση της απόδοσης, λόγω της αυξημένης απορρόφησης και σκέδασης της ακτινοβολίας μέσα στο υλικό. Η απόλυτη απόδοση (ALE) των σπινθηριστών YAP και Gd₂O₂S σε συνδυασμό με τα ακτινοβόλα ισότοπα Tc-99m και Tl-201 έδειξε σημαντικές διαφορές ανάλογα με το πάχος του σπινθηριστή.

Οι μετρήσεις της κβαντικής ανιχνευτικής αποδοτικότητας (QDE) και της απόδοσης στην απορρόφηση ενέργειας (EAE) ενίσχυσαν τα ευρήματα, επιβεβαιώνοντας ότι οι παράμετροι αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των σπινθηριστών.

Συμπερασματικά, η σωστή επιλογή και η βελτιστοποίηση του πάχους των σπινθηριστών είναι απαραίτητη για την επίτευξη των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων στην απεικόνιση και τη διάγνωση μέσω της πυρηνικής ιατρικής. Οι προτεινόμενες βελτιώσεις και οι παρατηρήσεις από την έρευνα μπορούν να εφαρμοστούν στην ανάπτυξη νέων και πιο αποδοτικών διαγνωστικών εργαλείων στον τομέα της καρδιολογίας, εξασφαλίζοντας καλύτερη ποιότητα εικόνας και μειωμένη έκθεση των ασθενών στην ακτινοβολία. Αυτές οι βελτιώσεις συμβάλλουν στην αύξηση της ακρίβειας των διαγνωστικών αποτελεσμάτων, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των θεραπειών και την ευημερία των ασθενών.

Λέξεις Κλειδιά: Πυρηνική Ιατρική, Σπινθηριστές, Απόδοση Φωταύγειας, Τομογραφία Εκπομπών Ποζιτρονίων, Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης, Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας, Απόλυτη Απόδοση, Σπινθηριστές YAP: Ce, Σπινθηριστές Gd₂O₂S:Tb

ABSTRACT

The present paper offers a critical discussion on the issues of thickness and how it affects luminescence efficiencies in scintillators useful for nuclear medicine, particularly in cardiology. The focus of this study is on the features and performance of the varied types of scintillators and further on their thickness vis-à-vis efficiency in radiation detection and capability to provide good diagnostic images. The method applied is theoretical analysis of scintillators, development of mathematical models, and experimental measurements. The radiopharmaceuticals used in this case were the YAP: Ce (Cerium activated Yttrium Aluminum Perovskite) and Gd₂O₂S (Terbium activated Gadolinium Oxysulfide) scintillators with the Tc-99m and Tl-201 radioisotopes.

In the theoretical part, a mathematical model was elaborated to compute the Absolute Luminescence Efficiency, Quantum Detection Efficiency, and Energy Absorption Efficiency of scintillators.

The model was applied to the aforementioned scintillators for different thicknesses to investigate their behavior in detecting radiation and generating optical signal. As indicated from the research, scintillator thickness bears a huge impact on luminescent efficiency.

It was clearly revealed that enhancing the thickness over a certain limit decreases the efficiency, as at higher thicknesses, increased absorption and scattering of radiation inside the material occurs. The absolute efficiency (AE) of YAP and Gd₂O₂S scintillators used together with Tc-99m, and Tl-201 radioisotopes was found to vary greatly based on the thickness of the scintillator. Quantum Detection Efficiency (QDE) and Energy Absorption Efficiency (EAE) measurements further illustrated this since it could be clearly indicated that these parameters need to be defined under design principles.

In conclusion, the selection of the proper scintillator thickness is most important to achieve optimal results for imaging and diagnosis in nuclear medicine. The findings from this work can be implemented while developing new, more effective diagnostic tools in cardiology so that it may help patients with improved imaging quality but less radiation exposure. All this translates into better diagnostic accuracy with the possibility of enhancing treatment results and increasing patient well-being. **Keywords:** Nuclear Medicine; Scintillators; Luminescence Efficiency; Positron Emission Tomography; Quantum Detection Efficiency; Energy Absorption Efficiency; Absolute Efficiency; YAP: Ce Sc.

Keywords: Nuclear Medicine, Scintillators, Luminescence Performance, Positron Emission Tomography, Quantum Detection Efficiency, Energy Absorption Efficiency, Absolute Efficiency, Scintillator YAP: Ce, Scintillator Gd₂O₂S: Tb

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους εκείνους που συνέβαλαν καθοριστικά σε αυτήν την πορεία.

Πρώτα και κύρια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Νεκτάριο Καλύβα, Καθηγητή του ΠΑΔΑ, για την αμέριστη υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας και της συγγραφής αυτής της εργασίας. Η εμπιστοσύνη και η ενθάρρυνσή του υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωση αυτού του έργου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους καθηγητές του τμήματος για τις γνώσεις και την έμπνευση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στους συναδέλφους και φίλους μου, που με την υποστήριξη και την ενθάρρυνσή τους, συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Η συνεργασία και η φιλία τους υπήρξαν ανεκτίμητες.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αδιάλειπτη υποστήριξη, την κατανόηση και την αγάπη τους. Χωρίς αυτούς, δεν θα μπορούσα να επιτύχω αυτό τον στόχο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
1. Απεικόνιση Καρδιάς.....	14
1.1 Εισαγωγή στην Πυρηνική Ιατρική	14
1.2 Τεχνικές Απεικόνισης Καρδιάς στην Πυρηνική Ιατρική	14
2. Οργανολογία Πυρηνικής Ιατρικής.....	17
2.1 Οργανολογία γ-Κάμερας	17
2.2 Δομή γ-Κάμερας	18
2.3 Τομογραφική Απεικόνιση Εκπομπής μονού φωτονίου (Single Photon Emission Computed Tomography - SPECT) - Ανακατασκευή Εικόνας.....	19
3. Ραδιοφάρμακα Tl201 - Tc99m Sestamibi	20
3.1 Εισαγωγή στα Ραδιοφάρμακα (Radiopharmaceuticals).....	20
3.2 ΡαδιοφάρμακοThallium (Tl-201).....	20
3.3 Ραδιοφάρμακο Tc99m, με Επισημασμένο Ισονιτρίλιο SESTAMIBI	21
3.4 Ομοιότητες - Διαφορές μεταξύ Tc99m sestamibi και Tl201	23
4. Σπινθηριστές (Scintillators).....	25
4.1 Εισαγωγή στους Σπινθηριστές (Scintillators).....	25
4.2 Δημοφιλείς Σπινθηριστές.....	25
4.3 Υγροί Σπινθηριστές	27
4.4 Σύνδεση Σπινθηριστών με Φωτοπολλαπλασιαστή.....	28
5. Απόλυτη Απόδοση Φωταύγειας (Absolute Luminescence Efficiency - ALE).....	29
5.1 Εισαγωγικά Στοιχεία.....	29
5.2 Θεωρητικό Μοντέλο Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας	29
5.3 Μαθηματική Διατύπωση Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας	30
5.4 Μαθηματική Διατύπωση Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας: Μονοδιάστατη Μεταφορά Ακτινοβολίας	31
5.5 Μαθηματική Διατύπωση Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας: Ενσωμάτωση Φάσματος Ενέργειας Ακτίνων Χ.....	32
5.6 Ιδιότητες Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας	33
6. Σπινθηριστής YAP (Yttrium Aluminium Perovskite): Ce	34

6.1	Εισαγωγικά Στοιχεία YAP:Ce	34
6.2	Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Σπινθηριστή YAP (Ce)	34
6.3	Πεδίο Εφαρμογών Σπινθηριστή YAP (Ce).....	35
6.4	Οπτικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή YAP (Ce).....	35
6.5	Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή YAP (Ce)	36
6.6	Μέγεθος – Είδη Σπινθηριστή YAP (Ce).....	37
6.7	Φάσμα Εκπομπής Σπινθηριστή YAP (Ce).....	37
7.	Σπινθηριστής Gd ₂ O ₂ S:Tb Gadolinium Oxysulfide Gadox	38
7.1	Εισαγωγικά Στοιχεία Gd ₂ O ₂ S:Tb.....	38
7.2	Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb	38
7.3	Πεδίο Εφαρμογών Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb.....	39
7.4	Οπτικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb.....	40
7.5	Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb	41
7.6	Μέγεθος – Είδη Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb.....	41
8.	Απόλυτη Απόδοση (Absolute Luminescence Efficiency) Σπινθηριστή YAP:Ce με τα Ραδιενεργά Ισότοπα Tc99m και Tl201	43
8.1	Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή YAP: Ce με το ραδιενεργό ισότοπο Tc99m	43
8.2	Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή YAP:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tl201	47
9.	Απόλυτη Απόδοση (Absolute Luminescence Efficiency) Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με το Ραδιενεργά Ισότοπα Tc99m και Tl201	53
9.1	Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με το ραδιενεργό ισότοπο Tc99m	53
9.2	Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με το ραδιενεργό ισότοπο Tl201	58
10.	Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) και Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) των Σπινθηριστών YAP:Ce και Gd ₂ O ₂ S:Tb, με τα Ραδιενεργά Ισότοπα Tc99m και Tl201	64
10.1	Κβαντική Ανιχνευτική Απόδοτικότητα Σπινθηριστή YAP:Ce με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tc99m.....	64
10.2	Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) Σπινθηριστή YAP:Ce με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tl201	67

10.3 Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ραδιενεργό Ισότοπο $Tc99m$	72
10.4 Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ραδιενεργό Ισότοπο $Tl201$	77
10.5 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) Σπινθηριστή $YAP:Ce$ με το Ακτινοβόλο Ισότοπο $Tc99m$	81
10.6 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) Σπινθηριστή $YAP:Ce$ με το Ακτινοβόλο Ισότοπο $Tl201$	86
10.7 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ακτινοβόλο Ισότοπο $Tc99m$	90
10.8 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ακτινοβόλο Ισότοπο $Tl201$	94
11. Συζήτηση-Σύγκριση μεταξύ Σπινθηριστών $YAP:Ce$ και $Gd_2O_2S:Tb$	98
11.1 Συγκριτική Ανάλυση της Απόλυτης Απόδοσης (ALE) του Σπινθηριστή YAP με τα Ακτινοβόλα Ισότοπα $Tc99m$ και $Tl201$	98
11.2 Συγκριτική Ανάλυση της Απόλυτης Απόδοσης (ALE) Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με τα Ακτινοβόλα Ισότοπα $Tc99m$ και $Tl201$	99
11.3 Συγκριτική Ανάλυση της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (QDE) των Σπινθηριστών $YAP:Ce$ και του $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ισότοπο $Tc99m$	100
11.4 Συγκριτική Ανάλυση της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) των Σπινθηριστών $YAP:Ce$ και του $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ισότοπο $Tc99m$	101
11.5 Συγκριτική Ανάλυση της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (QDE) των Σπινθηριστών $YAP:Ce$ και του $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ισότοπο $Tl201$	102
11.6 Συγκριτική Ανάλυση της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) των Σπινθηριστών $YAP:Ce$ και του $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ισότοπο $Tl201$	102
11.7 Γενικά Συμπεράσματα	103
12. Αναφορές – Πηγές	105

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σκιαγράφιση Καρδιάς	15
Εικόνα 2: Αγγειογραφία Πυρηνικής Ιατρικής	15
Εικόνα 3: Φωτοπολλαπλασιαστής	28
Εικόνα 4: Φάσμα Εκπομπής Σπινθηριστή ΥΑΡ (Ce)	37
Εικόνα 5: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tc99m..	45
Εικόνα 6: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με τη χρήση του ισότοπου Tl201	50
Εικόνα 7: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με το ισότοπο Tc99m	55
Εικόνα 8: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με τη χρήση του ισότοπου Tl201	61
Εικόνα 9: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tc99m.....	66
Εικόνα 10: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tl201.....	71
Εικόνα 11: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με το ισότοπο Tc99m	75
Εικόνα 12: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με το ισότοπο Tl201	79
Εικόνα 13: Γράφημα ΕΑΕ του Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tc99m.....	84
Εικόνα 14: Γράφημα ΕΑΕ του Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tl201	88
Εικόνα 15: Γράφημα ΕΑΕ του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S: Tb με το ισότοπο Tc99m.....	92
Εικόνα 16: Γράφημα ΕΑΕ του Σπινθηριστή Gd ₂ O ₂ S:Tb με το ισότοπο Tl201.....	96

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ιδιότητες του Σπινθηριστή ΥΑΡ (Ce).	35
Πίνακας 2: Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή ΥΑΡ (Ce).	36
Πίνακας 3: Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή ΥΑΡ (Ce).	37
Πίνακας 4: Οπτικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$	40
Πίνακας 5: Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$	41

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο στόχο τη μελέτη της επίδρασης του πάχους κοκκώδων σπινθηριστών στην απόδοση φωταύγειας για εφαρμογές πυρηνικής ιατρικής στην καρδιολογία. Η εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση και αξιολόγηση της απόδοσης φωταύγειας σε συνάρτηση με το πάχος των σπινθηριστών, προσφέροντας νέες προοπτικές στη βελτιστοποίηση των συστημάτων απεικόνισης.

Για την επίτευξη του στόχου, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι και υλικά, όπως:

- α. **Υπολογιστικά Μοντέλα:** Αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά μοντέλα σε MATLAB για τον υπολογισμό της απόλυτης απόδοσης φωταύγειας (ALE) σε διαφορετικά πάχη σπινθηριστών.
- β. **Σπινθηριστές:** Οι σπινθηριστές που μελετήθηκαν περιλαμβάνουν τα υλικά YAP:Ce και Gd₂O₂S:Tb, για να ελεγχθεί πιθανή εφαρμογή στην πυρηνική ιατρική.
- γ. **Εφαρμογή:** Εφαρμόστηκαν οι αναλυτικές εξισώσεις που περιγράφουν τις παραμέτρους απόδοσης για τα ραδιοϊσότοπα Tc99m και Tl201.

Συνοπτικά, τα Κεφάλαια της παρούσας εργασίας είναι τα εξής:

- Στο **Κεφάλαιο «1»**, ‘‘Απεικόνιση Καρδιάς’’ παρουσιάζεται η πυρηνική ιατρική και οι τεχνικές απεικόνισης καρδιάς, δίνοντας έμφαση στη χρήση της γ-κάμερας και της τομογραφίας μονοφωτονικής εκπομπής (SPECT).
- Στο **Κεφάλαιο «2»** ‘‘Όργανολογία Πυρηνικής Ιατρικής’’, περιγράφονται οι συσκευές και τα όργανα που χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική, με έμφαση στη λειτουργία και τη δομή της γ-κάμερας και των σπινθηριστών.
- Στο **Κεφάλαιο «3»** ‘‘Ραδιοφάρμακα’’, αναλύονται τα ραδιοφάρμακα Tl201 και Tc99m Sestamibi, οι μέθοδοι παρασκευής τους, και οι εφαρμογές τους στην ιατρική διάγνωση και θεραπεία.
- Στο **Κεφάλαιο «4»** ‘‘Σπινθηριστές’’ εισάγονται οι σπινθηριστές, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, οι ιδιότητες και οι εφαρμογές τους στην ιατρική απεικόνιση.
- Στο **Κεφάλαιο «5»** ‘‘Απόλυτη Απόδοση Φωταύγειας’’, παρουσιάζεται η θεωρητική βάση για τον υπολογισμό της απόλυτης απόδοσης φωταύγειας (ALE) και τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται.
- Στο **Κεφάλαιο «6»**, ‘‘Σπινθηριστής YAP:Ce’’, αναλύονται οι ιδιότητες του σπινθηριστή YAP, οι μέθοδοι υπολογισμού της απόδοσης του και οι παράγοντες που την επηρεάζουν.
- Στο **Κεφάλαιο «7»** ‘‘ Σπινθηριστής Gd₂O₂S:Tb’’, εξετάζονται τα χαρακτηριστικά και οι εφαρμογές του σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb, καθώς και οι οπτικές και μηχανικές του ιδιότητες.
- Στο **Κεφάλαιο «8»**, ‘‘Απόλυτη Απόδοση Σπινθηριστή YAP:Ce’’, αναλύεται η απόδοση του σπινθηριστή YAP: Ce σε συνδυασμό με τα ραδιοϊσότοπα Tc99m και Tl201.

- Στο **Κεφάλαιο** «9», ‘‘Απόλυτη Απόδοση Σπινθηριστή Gd2O2S:Tb’’, εξετάζεται η απόδοση του σπινθηριστή Gd2O2S: Tb σε συνδυασμό με τα ραδιοϊσότοπα Tc99m και Tl201.
- Στο **Κεφάλαιο** «10» ‘‘Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (QDE) και Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE)’’, πραγματοποιείται ανάλυση της κβαντικής ανίχνευσης απόδοσης και της αποδοτικότητας απορρόφησης ενέργειας των σπινθηριστών YAP: Ce και Gd2O2S: Tb με τα ραδιοϊσότοπα Tc99m και Tl201.
- Στο **Κεφάλαιο** «11» ‘‘Συζήτηση-Σύγκριση μεταξύ Σπινθηριστών YAP:Ce και Gd2O2S:Tb’’, παρουσιάζεται μια συγκριτική ανάλυση της απόδοσης των δύο σπινθηριστών σε συνδυασμό με τα ραδιοϊσότοπα Tc99m και Tl201, συνοδευόμενη από γενικά συμπεράσματα

Τέλος, παρατίθενται βιβλιογραφικές παραπομπές για τον αναγνώστη, προκειμένου να έχει τη δυνατότητα να διερευνήσει περαιτέρω το θέμα και να εμβαθύνει στις πληροφορίες που παρουσιάστηκαν. Οι παραπομπές αυτές περιλαμβάνουν πηγές από αξιόπιστη βιβλιογραφία, άρθρα και μελέτες που προσφέρουν επιπλέον γνώσεις και προοπτικές σχετικά με το αντικείμενο της έρευνας.

1. Απεικόνιση Καρδιάς

1.1 Εισαγωγή στην Πυρηνική Ιατρική

Η Πυρηνική Ιατρική (Nuclear medicine) είναι μία ειδικότητα της Ιατρικής που επικεντρώνεται στην εξέταση των φυσιολογικών και παθολογικών διαδικασιών στο σώμα, χρησιμοποιώντας ραδιοφάρμακα, δηλαδή επισημασμένα βιομόρια, με μικρές ποσότητες ιχθών ραδιοϊσοτόπων.

Μέσω συγκεκριμένων ραδιοφαρμάκων και πρωτοκόλλων, γίνεται εξέταση παθοφυσιολογικών ή βιοχημικών παραμέτρων που είναι χαρακτηριστικά για μια νόσο ή ένα στάδιο της νόσου. Η χρήση ειδικών ανιχνευτικών μεθόδων γ-ακτινοβολίας και της γ-camera επιτρέπει τη λήψη δισδιάστατων και τρισδιάστατων εικόνων που απεικονίζουν λειτουργικές παραμέτρους σε διαφορετικές διαστάσεις. Αυτές οι εικόνες καλύπτουν μια ευρεία γκάμα ασθενειών, όπως καρδιακές παθήσεις, καρκίνος, άνοιες, επιληψία και διαταραχές του ουροποιητικού συστήματος.

Τέλος, η πυρηνική ιατρική έχει εξαιρετική σημασία στη θεραπεία πολλών παθήσεων. Η θεραπευτική χρήση του ραδιενεργού ιωδίου στον καρκίνο του θυρεοειδούς είναι ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα, καθώς η ραδιοθεραπεία μπορεί να βοηθήσει στην καταστολή του καρκίνου ή στη μείωση του μεγέθους του όγκου. Επίσης, βιοχημικές ενώσεις σημασμένες με ραδιοϊσότοπο, παρόμοιες με τα ραδιοφάρμακα, χρησιμοποιούνται για την ανακούφιση από τον πόνο ή την αντιμετώπιση των συμπτωμάτων σε πολλές περιπτώσεις, όπως στην περίπτωση των μεταστάσεων του καρκίνου του προστάτη και σε αρθροπάθειες. Η δυνατότητα να στοχεύσουμε τον πόνο ή την παθολογία με ραδιοφάρμακα μπορεί να προσφέρει σημαντική ανακούφιση και βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών. Η πυρηνική ιατρική συνεχίζει να αναπτύσσεται και να εξελίσσεται, προσφέροντας νέες θεραπευτικές επιλογές και ελπίδα σε ασθενείς με διάφορες παθήσεις [1.1], [1.2], [1.3], [1.4].

1.2 Τεχνικές Απεικόνισης Καρδιάς στην Πυρηνική Ιατρική

Η απεικόνιση της καρδιάς στην πυρηνική ιατρική, συνήθως, γίνεται μέσω δύο κύριων τεχνικών, που επιτρέπουν στους ιατρούς να διερευνήσουν τη λειτουργία και τη δομή της καρδιάς, καθώς και τυχόν προβλήματα που μπορεί να υπάρχουν:

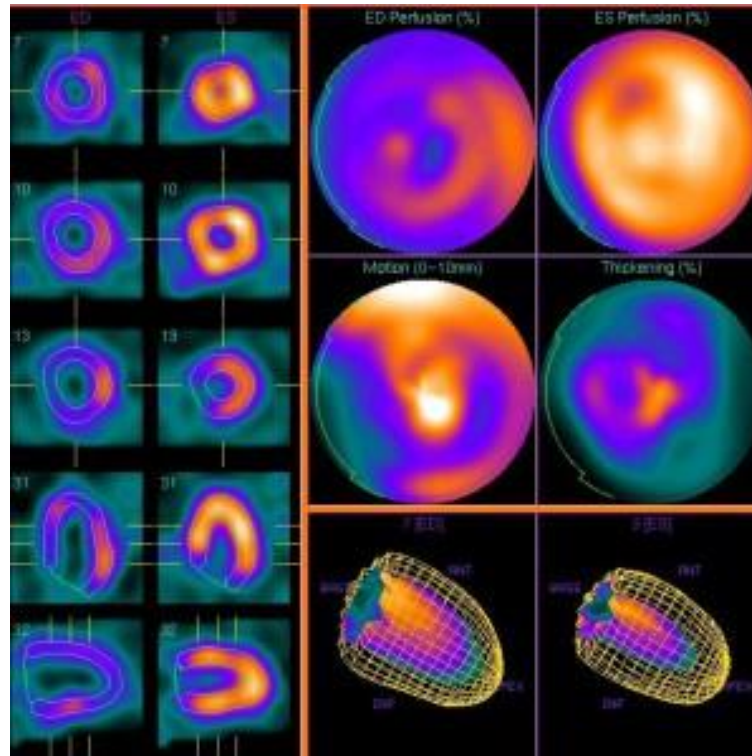
α. Σπινθηρογράφημα Καρδιάς (Cardiac Scintigraphy)

Το σπινθηρογράφημα καρδιάς είναι μία από τις βασικές μεθόδους απεικόνισης της καρδιάς στον τομέα της πυρηνικής ιατρικής. Είναι μια διαδικασία ιατρικής εικονικής απεικόνισης που χρησιμοποιεί ένα ραδιενεργό ανιχνευτικό στοιχείο για να αξιολογήσει την λειτουργία της καρδιάς. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ένα ραδιενεργό στοιχείο πχ. το Technetium-99m ή το Thallium 201 εισέρχεται στον οργανισμό, μέσω ενδοφλέβιας έγχυσης. Αυτό το ραδιενεργό στοιχείο ακολουθεί την ροή του αίματος και συλλέγεται στην καρδιά. Στη συνέχεια, η γάμμα κάμερα χρησιμοποιώντας την τεχνική τομογραφικής απεικόνισης εκπομπής μονού φωτονίου (SPECT) καταγράφει την ραδιενέργεια που εκπέμπεται από το ραδιενεργό στοιχείο, παρέχοντας μια εικόνα της καρδιάς και της ροής του αίματος σε αυτήν την περιοχή.

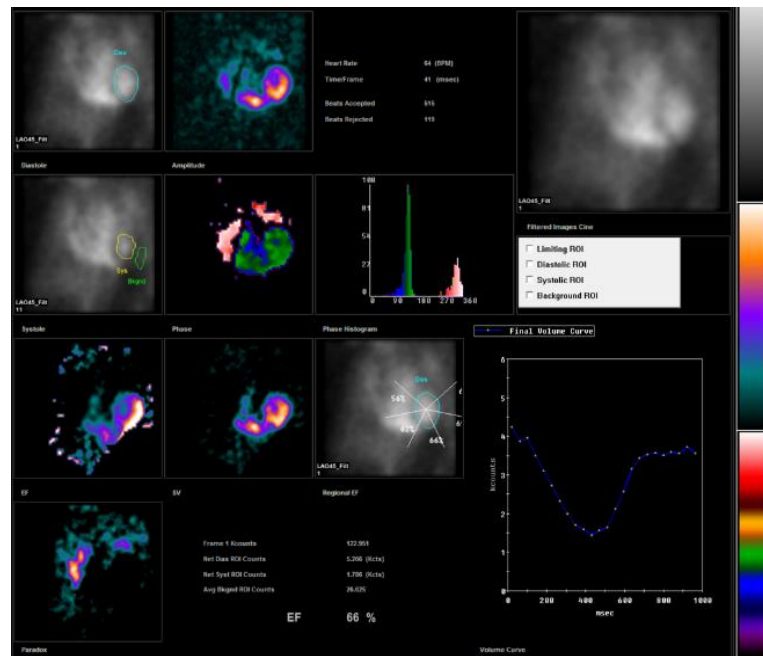
Όπως φαίνεται στις Εικόνες 1 και 2, παρουσιάζονται πληροφορίες για την λειτουργία της καρδιάς, την αιμάτωση, την ενδοκαρδιακή κυκλοφορία και να βοηθήσουν στη διάγνωση και αξιολόγηση παθήσεων όπως στεφανιαίας νόσου, καρδιακών ανωμαλιών και άλλων

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΚΟΚΚΩΔΩΝ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ
ΦΩΤΑΥΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΡΔΙΟΛΟΓΙΑ

καρδιακών παθήσεων. Επίσης μπορεί να κάνει και έλεγχο της λειτουργίας των αγγείων. Είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση της καρδιακής λειτουργίας με μικρότερο επιβλαβές ακτινοβολίας σε σύγκριση με άλλες μεθόδους απεικόνισης [1.5], [1.6], [1.7], [1.8].



Εικόνα 1: Σκιαγράφιση Καρδιάς ¹



Εικόνα 2: Αγγειογραφία Πυρηνικής Ιατρικής ²

¹ <https://www.nuklearmedizin-freiburg.de/wp-content/uploads/2015/03/cardio-f%C3%BCr-Flyer-298x300.jpg>
² https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/Normal_MUGA_scan_1.png/1024px-Normal_MUGA_scan_1.png

β. Τομογραφία Εκπομπών Ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography - PET)

Η Τομογραφία Εκπομπών Ποζιτρονίων (PET) είναι μία από τις μεθόδους πυρηνικής ιατρικής, που εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της δίδυμης γένεσης [9]. Ένα από τα πιο συνηθισμένα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται είναι η ραδιοανιχνευόμενη γλυκόζη (FDG), η οποία είναι μια ραδιενεργή μορφή της γλυκόζης, του κυριότερου καυσίμου των κυττάρων. Καθώς η καρδιακή μυϊκή δραστηριότητα απαιτεί ενέργεια, οι κυτταρικοί μηχανισμοί απορρόφησης γλυκόζης είναι αυξημένοι σε περιοχές με αυξημένη καρδιακή δραστηριότητα. Οι αισθητήρες της συσκευής PET καταγράφουν την εκπομπή ταυτόχρονη εκπομπή φωτονίων ενέργειας 511 keV, που προέρχονται από η δίδυμη γένεση και ιδιαίτερα τη μεταβολή της στο μυοκαρδίου. [1.10], [1.11].

γ. Σπινθηρογραφικός Έλεγχος (Multiple Gated Acquisition Scan - MUGA)

Είναι ένας τύπος εξέτασης που χρησιμοποιείται για να εξετάσει την καρδιακή λειτουργία. Στην MUGA ενδέχεται να δοθεί στον ασθενή ένα ραδιοφάρμακο που συνδυάζεται με το αίμα και επιτρέπει στους γιατρούς να παρακολουθήσουν την κίνηση του αίματος μέσα στην καρδιά. Στην τεχνική αυτή η πρόσληψη γίνεται σε συνδυασμό με ένα ηλεκτροκαρδιογράφημα, ώστε να επιτυγχάνεται η λήψη στην ίδια στιγμή του καρδιακού κύκλου και να μειωθεί η ψευδένδειξη λόγω κίνησης [1.12], [1.13].

2. Οργανολογία Πυρηνικής Ιατρικής

2.1 Οργανολογία γ-Κάμερας

Η γ - κάμερα χρησιμοποιείται στην ιατρική ραδιολογία για να απεικονίσει τις εσωτερικές δομές του ανθρώπινου σώματος, μέσω της ακτινοβολίας ‘γ’. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την παραγωγή εικόνων που δείχνουν την κατανομή των ραδιοφαρμάκων στον οργανισμό, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την λειτουργία των οργάνων και των ιστών. Η εικονική απεικόνιση που παρέχει συμβάλλει στη διάγνωση ποικίλων παθήσεων και την ανίχνευση προβλημάτων υγείας, κάνοντας την ένα ισχυρό εργαλείο για την ιατρική διάγνωση.

Η κλασική γ-κάμερα παρουσιάζει περιορισμούς και χαμηλές επιδόσεις, λόγω της χρήσης μεγάλου αριθμού συμβατικών φωτοπολλαπλασιαστών και ομογενών κρυστάλλων. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη νέων γ-καμερών, οι οποίες χωρίζονται κυρίως σε τέσσερις κατηγορίες[2.1], [2.2],[2.3], [2.4]:

α. **Σπινθηριστές**, οι οποίοι χρησιμοποιούν φθορίζοντα υλικά όπως το LSO, LYSO, NaI, GSO, BGO που ανιχνεύουν την ακτινοβολία παράγοντας οπτικά φωτόνια, ή Ημιαγώγιμοι Ανιχνευτές όπως το γερμάνιο (Ge), το κάδμιο-τελλούριο (CdTe) ή το CdZnTe για να ανιχνεύσουν γ-ακτινοβολία, με την οποία αντιδρούν, δημιουργώντας ηλεκτρικά φορτία. Η ποσότητα του φωτός ή το φορτίο αντίστοιχα μετριέται και δίνει πληροφορίες για την ποσότητα και την ενέργεια της ακτινοβολίας που ανιχνεύτηκε.

β. **Ανιχνευτές Στερεάς Κατάστασης**, συνδεδεμένοι με φωτοπολλαπλασιαστές πυριτίου (Silicon Photomultiplier Tubes- SiPMTs) είναι αισθητήρες φωτός που ανιχνεύουν μικρές ποσότητες φωτός, κατασκευασμένοι από φωτοδίοδο σε κρύσταλλο πυριτίου. Συνδέονται, συνήθως, με σπινθηριστές πυριτίου για να ενισχύσουν τα φωτόνια, δημιουργώντας ακριβή και αξιόπιστα μετρήσιμα σήματα.

γ. **Χωρικά ευαίσθητοι Φωτοπολλαπλασιαστές** (Photomultiplier Tubes - PMT) είναι αισθητήρες που ανιχνεύουν τη θέση ενός φωτονίου που πέφτει πάνω τους. Χρησιμοποιούν σπινθηριστές και διαφορετικούς σταθμούς επαναδιανομής ηλεκτρονίων (dynodes) που οργανώνονται για να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη θέση που έφτασε το φωτόνιο.

δ. **Ψηφιακοί Ανιχνευτές Στερεάς Κατάστασης** (Digital Silicon Photomultipliers Tubes- SiPMTs) είναι συσκευές που λειτουργούν με έναν πολλαπλασιαστή φωτοηλεκτρονίων, κάθε μέρος του οποίου αντιδρά σε ένα φωτόνιο, παράγοντας ένα ψηφιακό σήμα. Αυτό το σήμα επεξεργάζεται ψηφιακά για να εντοπίσει τη θέση του φωτός, παρέχοντας έτσι ψηφιακή πληροφορία για την τοποθεσία της ανίχνευσης.

Η γ-κάμερα, εφευρεθείσα το 1958 από τον H.O. Anger, αναφέρεται σε μια διάταξη για την απεικόνιση της διανομής ραδιοφαρμάκων στον ανθρώπινο οργανισμό (in-vivo imaging). Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται στην πυρηνική ιατρική για να διερευνήσει τη διάχυση γ-ακτινοβολιών από τα ραδιοφάρμακα εντός του σώματος του ασθενούς. Η εφεύρεσή του αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο στην εξέλιξη της πυρηνικής ιατρικής [2.5].

Ως Ραδιοφάρμακα (Radioactive Drugs) ονομάζονται τα είναι φάρμακα που περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία. Χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική για διάφορους σκοπούς, όπως διάγνωση και θεραπεία των ασθενειών, κτλ. Στις διαγνωστικές εξετάσεις, οι ασθενείς λαμβάνουν ραδιοφάρμακα που εκπέμπουν ακτινοβολία, με την οποία οι γιατροί δύνανται να εξετάσουν την εσωτερική δομή του σώματος με μεγάλη ακρίβεια, χωρίς επεμβατικές διαδικασίες. Τα ραδιοφάρμακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θεραπεία καρκίνου ή άλλων παθήσεων, πχ. καταστρέφουν τα καρκινικά κύτταρα μέσω της ακτινοθεραπείας.

Ωστόσο, η χρήση ραδιοφαρμάκων απαιτεί προσεκτική διαχείριση, λόγω της ραδιενεργού φύσης τους και των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία και πρέπει να γίνεται υπό την επίβλεψη εξειδικευμένων ειδικών [2.6].

2.2 Δομή γ-Κάμερας

Η δομή της γ – κάμερας αποτελείται από τα εξής στοιχεία [2.7]:

α. Κατευθυντήρας (Collimator)

Ο κατευθυντήρας είναι σημαντικός για την απεικόνιση, καθώς βοηθά στο να προσδιορίζεται η διεύθυνση προέλευσης των φωτονίων και να βελτιώνεται η ευκρίνεια της εικόνας. Διάφοροι τύποι κατευθυντήρων, όπως οι παράλληλες οπές, μονής οπής, αποκλίνοντες ή συγκλίνοντες, παρέχουν διαφορετικές δυνατότητες, ανάλογα με τη χρήση τους και τις ανάγκες της εφαρμογής, εξαιτίας της διαφορετικής γεωμετρίας των οπών και του τρόπου καθοδήγησης των φωτονίων προς τον ανιχνευτή. Ο κατευθυντήρας εξασφαλίζει ότι τα ανιχνευόμενα φωτόνια προέρχονται από την επιθυμητή περιοχή ή πηγή ενδιαφέροντος.

β. Σπινθηριστής (Scintillation)

Ο σπινθηριστής λειτουργεί με τη χρήση ραδιοφαρμάκων, τα οποία εισέρχονται στον οργανισμό και εκπέμπουν ακτινοβολία για να απεικονίσουν ή να θεραπεύσουν περιοχές με προβλήματα όπως όγκοι ή μεταβολικές διαταραχές(βλέπετε περαιτέρω λεπτομέρειες σε επόμενο Κεφάλαιο),

γ. Φωτοπολλαπλασιαστής (Photomultiplier Tubes - PMT)

Ο PMT αποτελείται από μια σειρά συνεχόμενων δομικών στοιχείων, όπως φωτοκάθοδοι (photocathode), δυναμικούς επιταχυντές, δορυφόρους και ανόδους, τα οποία επιτρέπουν τη μετατροπή της εισερχόμενης φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να ενισχυθούν. Η λειτουργία του PMT αρχίζει με την εισαγωγή φωτός στην φωτοκάθοδο, η οποία εκπέμπει ηλεκτρόνια υπό την επίδραση του φωτός. Αυτά τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από τις δυνόδους (dynode) και δημιουργούν περισσότερα ηλεκτρόνια. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται σε μια σειρά συνεχόμενων σταδίων, με τα ηλεκτρόνια να πολλαπλασιάζονται σε κάθε στάδιο. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα πολύ μεγάλο σήμα που αντιστοιχεί στην αρχική ποσότητα φωτός που εισήχθη στον PMT.

δ. **Αναλυτής Ύψους Παλμών** (PH Analyzer ή Pulse Height Analyzer - PHA)

Είναι μια συσκευή που ανιχνεύει και αναλύει τα ύψη των ηλεκτρικών παλμών που προκύπτουν από τη μετατροπή των φωτονίων σε ηλεκτρικά σήματα. Δέχεται τα ηλεκτρικά σήματα και να απορρίπτει εκείνα που δεν βρίσκονται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Το παράθυρο αυτό ορίζεται από δύο τιμές ύψους και ρυθμίζεται, έτσι ώστε να απορρίπτει τους παλμούς με ύψος εκτός αυτού του εύρους. Βοηθά στη διατήρηση της ποιότητας της διαγνωστικής πληροφορίας, αφαιρώντας τους μη κανονικούς παλμούς που μπορεί να οφείλονται σε παρασιτικά φωτόνια ή σε φωτόνια που δεν μετρήθηκαν σωστά.

ε. **Οπτικός Οδηγός Φωτός** (Light Guide ή Light Pipe)

Χρησιμοποιείται σε διάφορες συσκευές, με σκοπό το φως να κατευθυνθεί από ένα σημείο σε ένα άλλο μέσω ενός διαφανούς υλικού. Αποτελείται από στρώμα υλικού με κατάλληλο δείκτη διάθλασης και επικαλύπτεται με ανακλαστικό υλικό για να κατευθύνει το φως προς τον προορισμό του με ελάχιστες απώλειες.

στ. **Ηλεκτρομηχανικό Ικρίωμα** (Gantry)

Στηρίζει την ανιχνευτική κεφαλή της γ-camera και επιτρέπει την κίνησή της σε όλες τις δυνατές κατευθύνσεις. Αυτή η ευελιξία είναι ουσιώδης για διάφορες λήψεις, όπως οριζόντιες πλάγιες ή κατακόρυφες προβολές. Η δομή του ικριώματος μπορεί να είναι είτε κυκλική είτε κατακόρυφη. Η γ-camera συνδέεται με αυτόν μέσω βραχιόνων.

2.3 Τομογραφική Απεικόνιση Εκπομπής μονού φωτονίου (Single Photon Emission Computed Tomography - SPECT) - Ανακατασκευή Εικόνας

Η γ-camera και το SPECT είναι στενά συνδεδεμένα στον τομέα της πυρηνικής ιατρικής. Η γ-camera είναι το όργανο που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει τις εκπομπές γ-ακτινοβολίας από ραδιοφάρμακα που εισέρχονται στο σώμα του ασθενή.

Το SPECT είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί τη γ-camera για να παράγει τρισδιάστατες εικόνες του εσωτερικού του ανθρώπινου σώματος με βάση την εκπομπή γ-ακτινοβολίας από το ραδιοφάρμακο. Η διαφορά μεταξύ της γ-camera και του SPECT είναι κυρίως στον τρόπο επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων.

Η διαδικασία ανακατασκευής εικόνας στο SPECT είναι σημαντική για τη δημιουργία των τρισδιάστατων εικόνων. Κατά τη διάρκεια της ανακατασκευής, τα δεδομένα που συλλέγονται από τη γ-camera υπόκεινται σε διάφορες μαθηματικές και υπολογιστικές διαδικασίες για να δημιουργηθεί η τελική τρισδιάστατη εικόνα του εσωτερικού του ανθρώπινου σώματος.

Ενώ το SPECT χρησιμοποιεί τη γ-camera, η βασική διαφοροποίηση βρίσκεται στο λογισμικό ανακατασκευής που χρησιμοποιείται. Το λογισμικό εκείνο είναι σχεδιασμένο ειδικά για την ανάλυση των δεδομένων που προέρχονται από τη γ-camera και τη δημιουργία της τελικής εικόνας SPECT.

Σε γενικές γραμμές, το SPECT ως δυνατότητα δεν χρειάζεται άλλο εξοπλισμό εκτός από τη γ-camera, αλλά εξαρτάται σημαντικά από το λογισμικό ανακατασκευής που επεξεργάζεται τα δεδομένα για τη δημιουργία της τελικής εικόνας [2.8], [2.9].

3. Ραδιοφάρμακα Tl201 - Tc99m Sestamibi

3.1 Εισαγωγή στα Ραδιοφάρμακα (Radiopharmaceuticals)

Τα ραδιοφάρμακα είναι χημικές ουσίες ενωμένες με ραδιοϊσότοπα κατάλληλα για ιατρική χρήση. Χρησιμοποιούνται στην ιατρική για διάγνωση, θεραπεία ή ακόμα και για έρευνα. Το ραδιενεργό υλικό αποτελείται από άτομα που εκπέμπουν ακτινοβολία σε μορφή ακτίνων ή σωματιδίων και χρησιμοποιείται με σκοπό την αλληλεπίδραση με τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος πχ. παροχή εικόνων στις διαγνωστικές διαδικασίες, σπινθηρογράφημα και PET scan. Επίσης, χρησιμοποιούνται ως θεραπευτικά μέσα στον τομέα της ογκολογίας για τη θεραπεία του καρκίνου, μέσω της εκπομπής ακτινοβολίας προς τους καρκινικούς όγκους.

Ωστόσο, η χρήση των ραδιοφαρμάκων απαιτεί προσεκτική διαχείριση λόγω της ραδιενεργής τους φύσης και των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία. Οι ιατροί και οι ειδικοί στον τομέα της ραδιολογίας είναι υπεύθυνοι για την κατάλληλη χρήση και διαχείριση αυτών των φαρμάκων.

Τα ραδιοφάρμακα Tl201 (Θαλλίου-201) και Tc99mSestamibi (τεχνητίο-99m) είναι δύο δημοφιλή ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στην πυρηνική ιατρική για εξέταση της καρδιάς [3.1].

3.2 ΡαδιοφάρμακοThallium (Tl-201)

Το Θαλλίο-201 (^{201}Tl) αποτελεί ένα συνθετικό ραδιοϊσότοπο του χημικού στοιχείου Θαλλίου. Το ισότοπο αυτό έχει χρόνο ημιζωής 73 ωρών και διεγείρεται μέσω της διαδικασίας της αιχμής ηλεκτρονίων, εκπέμποντας ακτίνες X (περίπου 70 έως 80 keV, καθώς και φωτόνια στα 135 και 167 keV σε συνολική αναλογία περίπου 10%. Η παραγωγή του Θαλλίου-201 μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ενεργοποίησης του σταθερού Θαλλίου, μέσω νετρονίων σε πυρηνικό αντιδραστήρα, ή μέσω της πυρηνικής αντίδρασης $^{203}\text{Tl} (p, 3n) ^{201}\text{Pb}$ σε κυκλοτρόνια, καθώς το ^{201}Pb υφίσταται φυσική αποσύνθεση προς ^{201}Tl αμέσως μετά. Κατά τη χρήση του ως ραδιοφαρμάκου, προσφέρει εξαιρετικά χαρακτηριστικά εικόνας, χωρίς να προκαλεί υπερβολική ακτινοβολία στον ασθενή. Αποτελεί το πιο δημοφιλές ισότοπο που χρησιμοποιείται σε πυρηνικές καρδιακές δοκιμές κόπωσης (stress test) με θάλλιο [3.2], [3.3], [3.4], [3.5].

α. Τρόπος Λειτουργίας

Το ^{201}Tl είναι μια ουσία που απορροφάται από τον μυοκάρδιο με βάση τη ροή του αίματος. Η διαδικασία ξεκινά με την ενέσιμη χορήγηση του ραδιοφαρμάκου στον ασθενή και ο ασθενής υποβάλλεται σε εξέταση με γάμμα κάμερα μέσω τεχνικής SPECT. Μέσω αυτών των εικόνων, οι γιατροί μπορούν να αναλύσουν την κατανομή του ραδιοφαρμάκου στο μυοκάρδιο.

β. Χρήση στην Ιατρική

Βοηθάει στον εντοπισμό περιοχών της καρδιάς που δεν λαμβάνουν επαρκή ποσότητα αίματος, υποδεικνύοντας πιθανές περιοχές που μπορεί να έχουν υποστεί ισχαιμία, περιοχές όπου υπάρχει απόφραξη των αγγείων της καρδιάς ή άλλες παθήσεις του μυοκαρδίου.

γ. **Πλεονεκτήματα – Περιορισμοί**

Το ²⁰¹Tl έχει διάφορα πλεονεκτήματα και περιορισμούς:

1. **Πλεονεκτήματα**

- **Καλή Απεικόνιση**
Παρέχει καλή απεικόνιση για διαγνωστικούς σκοπούς στην καρδιά και άλλα μέρη του σώματος.
- **Χαμηλή Ακτινοβολία**
Προσφέρει αποτελεσματική εικόνα, χωρίς να εκθέτει τον ασθενή σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας.
- **Δημοφιλία**
Είναι ένας από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους ισοτόπους για πυρηνικές καρδιακές εξετάσεις.

2. **Περιορισμοί**

- **Χρόνος Ημιζωής**
Ο χρόνος ημιζωής είναι σχετικά μεγάλος για ιατρική χρήση.
- **Δυνατότητες Παραγωγής**
Η παραγωγή του μπορεί να είναι δαπανηρή και απαιτητική σε εξοπλισμό, ειδικά μέσω πυρηνικών αντιδράσεων.
- **Περιορισμένες Εφαρμογές**
Αν και χρησιμοποιείται συχνά σε καρδιακές εξετάσεις, μπορεί να έχει περιορισμένες εφαρμογές σε άλλες μεθόδους διάγνωσης.

3.3 Ραδιοφάρμακο Tc99m, με Επισημασμένο Ισονιτρίλιο SESTAMIBI

Το τεχνήτιο-99m (Tc99m) είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα ραδιοφάρμακα στην πυρηνική ιατρική. Το επισημασμένο ισονιτρίλιο sestamibi (methoxy-isobutyl-isonitrile) με ^{99m}Tc, αποτελεί νεότερη ομάδα ραδιοφαρμάκων, που έχει αναπτυχθεί για την ακριβή απεικόνιση της αιμάτωσης του μυοκαρδίου, καθώς και για την εκτίμηση της λειτουργίας του μυοκαρδίου και την αξιολόγηση της καρδιακής απόδοσης μέσω της απεικόνισης SPECT [3.6], [3.7], [3.8]:

α. **Τρόπος Λειτουργίας**

Πρόκειται για ένα ραδιοφάρμακο που εισέρχεται στα κύτταρα του μυοκαρδίου μέσω διαφόρων μηχανισμών. Αυτό το στοιχείο εκπέμπει ακτινοβολία ενέργειας 140 keV και έχει φυσικό χρόνο ημιζωής 6 ώρες, επιτρέποντας τη χορήγηση μεγάλων δόσεων.

Μετά τη χορήγηση, παρουσιάζει γρήγορη απομάκρυνση από την κυκλοφορία του αίματος. Η υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρείται στη χοληδόχο κύστη και το ήπαρ, ενώ η μέγιστη συγκέντρωση στο μυοκάρδιο είναι 2.8% στην κατάσταση ανάπαυσης και 3.2% στην κατάσταση κόπωσης μεταξύ 40 και 60 λεπτών.

Η κατανομή του δεν εμφανίζει δυναμικό χαρακτήρα και αυτό απαιτεί τη χορήγηση διαφορετικών δόσεων σε δύο φάσεις της μελέτης. Παραμένει σταθερά συνδεδεμένο στα κύτταρα του μυοκαρδίου, όπου μόνο το 10-20% αποβάλλεται εντός 4 ωρών.

β. Χρήση στην Ιατρική

Το Tc-99m SESTAMIBI είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό διαφόρων παθήσεων και δυσλειτουργιών σε καρδιακό και εγκεφαλικό επίπεδο μέσω των εξετάσεων εικονικής διάγνωσης. Στην καρδιολογία, χρησιμοποιείται συχνά για την εκτίμηση της καρδιακής λειτουργίας και την εντοπισμό περιοχών της καρδιάς που μπορεί να έχουν περιορισμένη παροχή αίματος, όπως στην περίπτωση της στεφανιαίας νόσου.

Το Tc-99m είναι ένα μετασταθές ραδιοϊσότοπο του τεχνητίου, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική λόγω των εξής χαρακτηριστικών:

α. Σύντομος Χρόνος Ημίσειας Ζωής

Ο χρόνος ημίσειας ζωής του Tc-99m είναι περίπου 6 ώρες, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικά κατάλληλο για διαγνωστικές εφαρμογές. Αυτός ο σύντομος χρόνος ημίσειας ζωής μειώνει τη μακροχρόνια έκθεση του ασθενούς σε ακτινοβολία, ενώ ταυτόχρονα παρέχει αρκετό χρόνο για τη διεξαγωγή λεπτομερών ιατρικών εξετάσεων και απεικονίσεων.

β. Εκπομπή Ακτινοβολίας Γάμμα

Το Tc-99m εκπέμπει ακτινοβολία γάμμα με ενέργεια περίπου 140 keV, η οποία είναι ιδανική για ανίχνευση και απεικόνιση μέσω σπινθηρογραφίας. Αυτή η ενέργεια είναι αρκετά υψηλή για να διεισδύσει στους ιστούς του σώματος και να παράγει καθαρές και ακριβείς εικόνες, αλλά όχι τόσο υψηλή ώστε να προκαλέσει σημαντική ζημιά στους ιστούς.

γ. Ευρεία Διαθεσιμότητα

Το Tc-99m παράγεται εύκολα από τις γεννήτριες Tc-99m/Mo-99, οι οποίες χρησιμοποιούν το μητρικό ισότοπο μολυβδαίνιο-99. Η ευκολία παραγωγής και η σταθερότητα αυτών των γεννητριών εξασφαλίζει ότι το Tc-99m είναι ευρέως διαθέσιμο στα ιατρικά κέντρα, καθιστώντας το ένα αξιόπιστο και προσβάσιμο εργαλείο για την ιατρική διάγνωση.

δ. Εφαρμογές στην Ιατρική Απεικόνιση

Το Tc-99m χρησιμοποιείται σε μια πληθώρα διαγνωστικών εφαρμογών, όπως η σπινθηρογραφία οστών, η σπινθηρογραφία καρδιάς, η σπινθηρογραφία νεφρών και η σπινθηρογραφία θυρεοειδούς. Η ικανότητά του να ενσωματώνεται σε διάφορα φαρμακευτικά σκευάσματα επιτρέπει την απεικόνιση διαφόρων οργάνων και συστημάτων του σώματος με υψηλή ακρίβεια.

ε. Ασφάλεια και Αποτελεσματικότητα

Η χρήση του Tc-99m είναι ασφαλής για τους ασθενείς, καθώς ο σύντομος χρόνος ημίσειας ζωής και η κατάλληλη ενέργεια ακτινοβολίας ελαχιστοποιούν τους κινδύνους. Η αποτελεσματικότητά του στην παραγωγή υψηλής ποιότητας ιατρικών εικόνων συμβάλλει στη διάγνωση και παρακολούθηση πολλών παθήσεων, επιτρέποντας στους γιατρούς να λαμβάνουν κρίσιμες αποφάσεις θεραπείας με βάση αξιόπιστα δεδομένα.

Η ευρεία χρήση και η αποτελεσματικότητά του Tc-99m στην ιατρική απεικόνιση το καθιστούν ένα ανεκτίμητο εργαλείο στην σύγχρονη διαγνωστική ιατρική.

γ. Πλεονεκτήματα – Περιορισμοί

Το ραδιοφάρμακο Tc99m με επισημασμένο ισονιτρίλιο SESTAMIBI έχει διάφορα πλεονεκτήματα και περιορισμούς:

1. Πλεονεκτήματα

- Ευαισθησία

Διαθέτει υψηλή ευαισθησία του στον εντοπισμό αλλοιώσεων σε καρδιακό και εγκεφαλικό επίπεδο, όπως περιοχές με περιορισμένη παροχή αίματος ή δυσλειτουργίες νευρώνων.

- Χρονικό Πλαίσιο

Η γρήγορη κατανομή του στις ενδιαφέρουσες περιοχές ισχαιμιών επιτρέπει σχετικά γρήγορες εικονικές διαγνώσεις.

2. Περιορισμοί

- Ακτινοβολία

Όπως και με άλλες διαδικασίες απεικόνισης με χρήση ραδιοφαρμάκων, η έκθεση σε ακτινοβολία είναι ένας περιορισμός. Ωστόσο, οι δόσεις είναι συνήθως χαμηλές και σχετικά ασφαλείς.

- Περιορισμένη Ανάλυση

Σε ορισμένες περιπτώσεις, κυρίως όταν πρέπει να εντοπιστούν μικρές ή λεπτές περιοχές δυσλειτουργίας, μπορεί να υπάρχουν περιορισμοί στην ανάλυση και ακρίβεια της εικόνας.

3.4 Ομοιότητες - Διαφορές μεταξύ Tc99m sestamibi και Tl201

Τα ραδιενεργά ισότοπα Tc99m sestamibi και το Tl201 χρησιμοποιούνται στην τεχνική SPECT [3.9], [3.10].

Ως ομοιότητες θα μπορούσαν να αναφερθούν τα εξής:

α. Χρήση

Εκατέρωθεν τα δύο ραδιοφάρμακα χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της καρδιακής λειτουργίας, πχ. εκτίμηση της καρδιακής περιφερειακής αιμάτωσης και εντοπισμός περιοχών με περιορισμένη αιμοφορίας.

β. Μηχανισμός Δράσης

Εκατέρωθεν τα δύο ραδιοφάρμακα ανακαλύπτονται από τον οργανισμό μέσω της κυκλοφορίας του αίματος και συγκεντρώνονται σε περιοχές με αυξημένη αιμάτωση.

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένες διαφορές:

α. Χρόνος Ημιζωής

Ο Tc99m sestamibi έχει μικρότερο χρόνο ημιζωής σε σχέση με το Tl201. Αυτό σημαίνει ότι ο Tc99m sestamibi παραμένει στο σώμα για μικρότερο χρονικό διάστημα από το Tl201. Το Tc99m sestamibi απομακρύνεται γρήγορα από το αίμα, ενώ το Tl201 παραμένει περισσότερο στο αίμα και συνδέεται στα κύτταρα του μυοκαρδίου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

β. Συγκέντρωση στα Κύτταρα

Ο Tc99m sestamibi συγκεντρώνεται περισσότερο στα μιτοχόνδρια των κυττάρων, ενώ το Tl201 συγκεντρώνεται και σε άλλα μέρη του κυττάρου.

γ. Χρήση σε διαφορετικές περιπτώσεις

Λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων τους, χρησιμοποιούνται μερικές φορές για διαφορετικές καταστάσεις, πχ. ο Tc99m sestamibi μπορεί να είναι πιο κατάλληλος για τον εντοπισμό προβλημάτων με τη μυοκάρδιο, ενώ το Tl201 μπορεί να δείχνει πιο έντονα σε περιοχές με ισχαιμία.

Αυτές οι διαφορές και ομοιότητες επιτρέπουν στους ιατρούς να επιλέξουν το κατάλληλο ραδιενεργό ισότοπο ανάλογα με τις ανάγκες του ατόμου και το είδος του καρδιακού προβλήματος που εξετάζεται.

4. Σπινθηριστές (Scintillators)

4.1 Εισαγωγή στους Σπινθηριστές (Scintillators)

Οι σπινθηριστές που χρησιμοποιούνται στην ιατρική απεικόνιση είναι υλικά που μπορούν να μετατρέψουν την ιοντίζουσα ακτινοβολία, σε φως, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται φθορισμός. Το οπτικό μήκος κύματος μπορεί στη συνέχεια να ανιχνευθεί και χρησιμοποιηθεί για απεικόνιση σε διαγνωστικές ιατρικές τεχνικές εφαρμογές [4.1].

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως σπινθηριστές μπορεί να περιλαμβάνουν κρύσταλλα ή άλλες ουσίες με δυνατότητα να μετατρέπουν την ακτινοβολία που λαμβάνουν σε ορατό φως. Μεταξύ των δημοφιλών υλικών που χρησιμοποιούνται για ακτινοθεραπεία και απεικόνιση στην πυρηνική ιατρική συγκαταλέγονται:

α. Ανόργανες Ενώσεις σε στερεά Κρυσταλλική Κατάσταση

Οι σπινθηριστές περιέχουν προσμίξεις ορισμένων στοιχείων, γνωστές και ως ενεργοποιητές. Οι ενεργοποιητές δημιουργούν ατέλειες στο κρυσταλλικό πλέγμα και ενεργειακές καταστάσεις στην απαγορευμένη ζώνη, ανάμεσα στη ζώνη αγωγιμότητας και σθένους του κρυστάλλου. Κατά την απορρόφηση της ακτινοβολίας, ορισμένα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους ενεργοποιούνται και αιχμαλωτίζονται από τις ενεργειακές καταστάσεις του ενεργοποιητή, ενώ μετέπειτα επιστρέφουν στη ζώνη σθένους, εκπέμποντας τη διαφορά ενέργειας ως φωτεινή ακτινοβολία και παράγοντας φωτόνια [4.2].

β. Οργανικές Ενώσεις σε μορφή Υγρού διαλύματος

Οι οργανικοί σπινθηριστές είναι μεγάλοι μοριακοί κρύσταλλοι, με πλούσια σύνθεση σε άνθρακα και υδρογόνο πχ. ανθρακένιο, trans-στιλβένιο, κτλ. Η μοριακή τους δομή, επιτρέπει την εκπομπή οπτικής ενέργειας μέσω μοριακής διέγερσης. Η αξία τους στην πυρηνική ιατρική έγκειται στη δυνατότητά τους να μετατρέπουν την ακτινοβολία σε φως, παρέχοντας τη δυνατότητα ανίχνευσης και ανάλυσης του φωτός μέσω διαφόρων αισθητήρων ή καμερών, με σκοπό την αξιολόγηση, διάγνωση και παρακολούθηση νόσων, καθώς και στη θεραπεία τους μέσω της ακτινοθεραπείας [4.3].

4.2 Δημοφιλείς Σπινθηριστές

Μερικά από τα δημοφιλή υλικά που χρησιμοποιούνται ως σπινθηριστές στην πυρηνική ιατρική είναι:

α. Ιωδιούχο Νάτριο (NaI)

Οι κρύσταλλοι NaI(Tl) έχουν ευρεία χρήση στη μέτρηση ακτίνων-γ. Εξασφαλίζουν την ακριβή μέτρηση της ενέργειας της ακτινοβολίας και είναι διαθέσιμοι σε ποικίλα μεγέθη, προσφέροντας συγχρόνως χαμηλό κόστος. Παρ' όλα αυτά, η μικρή ενεργειακή διακριτική ικανότητα (περίπου 6% για την ακτινοβολία 661.6 keV του ^{137}Cs), η υγροσκοπικότητά τους, ο μεγάλος χρόνος απόσβεσης του σπινθηρισμού (περίπου 230 ns) σε σχέση με άλλους σπινθηριστές, δυσχεραίνει τη μέτρηση μεγάλης ενεργότητας. Πρόκειται για έναν τύπο κρυστάλλου με ιδιαίτερες φυσικές ιδιότητες [4.4], [4.5]:

1. **Φαινόμενο φθορισμού (Fluorescence)**

Παράγει φως όταν δέχεται ακτινοβολία. Αυτή η ιδιότητα είναι κρίσιμη γιατί το φως αυτό μπορεί να ανιχνευτεί και να μετρηθεί, προσφέροντας πληροφορίες σχετικά με το είδος και την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται ο κρύσταλλος.

2. **Κρύσταλλοι NaI, με προσμίξεις Θαλλίου (Tl) (Sodium Iodide with Thallium Dopant)**

Η πρόσμιξη του NaI με το Tl (Θάλλιο) βελτιώνει την απόδοση του κρυστάλλου, αυξάνοντας την ευαισθησία του στο φως που παράγεται από την ακτινοβολία. Αυτό το φως είναι το αποτέλεσμα της εσωτερικής αλληλεπίδρασης του Ιωδίου (NaI) με το Θαλλίου (Tl) και της ακτινοβολίας που δέχεται.

Αυτές οι φυσικές ιδιότητες του NaI(Tl) το καθιστούν έναν αποτελεσματικό κρύσταλλο για ανίχνευση ακτινοβολίας σε ιατρικές εφαρμογές πχ. στις γάμμα-κάμερες (ανίχνευση της γάμμα ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ραδιενεργό φάρμακο που δίνεται σε ασθενείς για διαγνωστικούς λόγους).

β. **Ιωδιούχο Καίσιο (CsI)**

Είναι ένας τύπος κρυστάλλου με ιδιαίτερες φυσικές ιδιότητες[4.6], [4.7]:

1. **Φαινόμενο Φθορισμού**

Όταν εκτίθεται σε ακτινοβολία, την απορροφά και εκπέμπει φως υψηλότερης μήκους κύματος, το οποίο μπορεί να μετρηθεί και χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση.

2. **Κρύσταλλοι CsI με Προσμίξεις**

Μπορεί να περιέχουν προσμίξεις άλλων υλικών πχ. Νάτριο (CsI(Na)) και Θάλλιο (CsI(Tl)), με σκοπό να βελτιωθούν οι ιδιότητές τους, πχ. ευαισθησία σε συγκεκριμένους τύπους ακτινοβολίας ή απόκρισή στο φως. Ως εκ τούτου γίνονται ιδιαίτερα χρήσιμοι για την ανίχνευση και την καταγραφή ακτινοβολίας σε διάφορες εφαρμογές, πχ. στη δημιουργία εικόνων υψηλής ποιότητας στην τομογραφία υπολογιστών (CT), κ.ά.

γ. **Σπινθηριστής YAP:Ce**

Ο σπινθηριστής $YAlO_3:Ce$ ή αλλιώς γνωστό ως YAP:Ce έχει ορισμένες ενδιαφέρουσες φυσικές ιδιότητες [4.8], [4.9]:

1. **Φαινόμενο Φθορισμού**

Εκπέμπει φως όταν εκτίθεται σε ακτινοβολία. Αυτός ο φθορισμός μπορεί να είναι χρήσιμος για διάφορες εφαρμογές, όπως στα φωτονικά και στα ιατρικά συστήματα απεικόνισης.

2. **Φυσικές Ιδιότητες**

Περιλαμβάνουν την αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και καλή απόδοση σε περιβάλλοντα υψηλής ακτινοβολίας.

3. **Σπινθηριστές YAP με Προσμίξεις Ce**

Η πρόσμιξη με το Ce (Δημήτριο) βελτιώνει τις ιδιότητες φθορισμού του YAP, και ως εκ τούτου ο κρύσταλλος γίνεται πιο αποτελεσματικός σε εφαρμογές όπως απεικόνιση και ανίχνευση σε ιατρικές συσκευές, κ.ά.

4. Εφαρμογές του YAP

Χρησιμοποιείται στην ιατρική απεικόνιση, όπως σε συσκευές PET, σε φωτονικά συστήματα υψηλής ενέργειας, κτλ.

Περαιτέρω τεχνικές λεπτομέρειες για το YAP θα παρουσιαστούν σε επόμενο Κεφάλαιο.

δ. Οξυσουλφίδιο του γαδολινίου (Gd_2O_2S)

Ο σπινθηριστής Gd_2O_2S έχει ορισμένες ενδιαφέρουσες φυσικές ιδιότητες [4.10], [4.11]:

1. Φαινόμενο Φθορισμού

Έχει την ικανότητα να απορροφά ενέργεια και εκπέμπει φως με διαφορετικές ενεργειακές συχνότητες, παρουσιάζοντας έντονο φωσφορισμό.

2. Φυσικές Ιδιότητες

Ο φθορισμός είναι το αποτέλεσμα της αναστρέψιμης μετάβασης των ηλεκτρονίων μεταξύ ενεργειακών επιπέδων. Αυτή η μετάβαση προκαλεί την εκπομπή φωτός όταν τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν στα πιο χαμηλά ενεργειακά επίπεδα μετά την απορρόφηση ενέργειας.

3. Κρύσταλλοι Gd_2O_2S με Προσμίξεις Ce

Είναι δυνατή η προσθήκη προσμίξεων πχ. Terbium (Tb), για να βελτιωθούν οι ιδιότητες του φωσφόρου, αυξάνοντας την εκπομπή φωτός ή βελτιώνοντας τη φωτεινότητά σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

4. Εφαρμογές του Gd_2O_2S

Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές φωτισμού, σε φωτεινές ενδείξεις ασφαλείας, σε πολυμεσικές οθόνες, σε περιβάλλοντα με περιορισμένο φωτισμό, στην ραδιολογία και ενδοσκοπία και σε άλλες τεχνολογίες φωτισμού.

Περαιτέρω τεχνικές λεπτομέρειες για το Gd_2O_2S θα παρουσιαστούν σε επόμενο Κεφάλαιο.

4.3 Υγροί Σπινθηριστές

Οι υγροί σπινθηριστές αποτελούνται από οργανικούς σπινθηριστές, όπως το 2,5-διφαινυλοξαζόλιο (PPO), το p-τερφαινύλιο ή το τετραφαινυλο-βουταδιένιο, τα οποία διαλύονται σε τολουόλιο ή p-ξυλόλιο. Το δείγμα που πρόκειται να μετρηθεί πρέπει να διαλύεται σε αυτόν τον οργανικό διαλύτη. Επειδή τα υδατικά διαλύματα δεν συνδυάζονται εύκολα με τους οργανικούς διαλύτες, προστίθεται στο μείγμα ένα "κοκτέιλ σπινθηρισμού" (scintillation cocktail) και ένα άλλο οργανικό συστατικό όπως το διοξάνιο, το οποίο βοηθά στη διάλυση.

Σε αυτό το διάλυμα προστίθενται συχνά μετατοπιστές μήκους κύματος (wave length shifters), οι οποίοι αλλάζουν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον σπινθηριστή. Αυτό γίνεται για να ευθυγραμμιστεί με την περιοχή που απαιτείται από την καταγραφική συσκευή. Ο μετατοπιστής ουσιαστικά απορροφά τη φωτεινή ακτινοβολία υψηλής ενέργειας και την εκπέμπει ξανά σε χαμηλότερη ενέργεια. Ένα συνηθισμένο παράδειγμα μετατοπιστή μήκους κύματος είναι το POPOP (1,4-δισ-[2-(5-φαινυλοοξαζολυλ)]βενζόλιο).

Οι υγροί σπινθηριστές χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση ακτινοβολίας β χαμηλής ενέργειας, όπως αυτή του 3H ή του ^{14}C , τα οποία αποτελούν τους πιο συχνούς ραδιενεργούς ιχνηθέτες οργανικών και βιολογικών μορίων. Χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιοχημεία, την ιατρική και τη βιολογία [4.12].

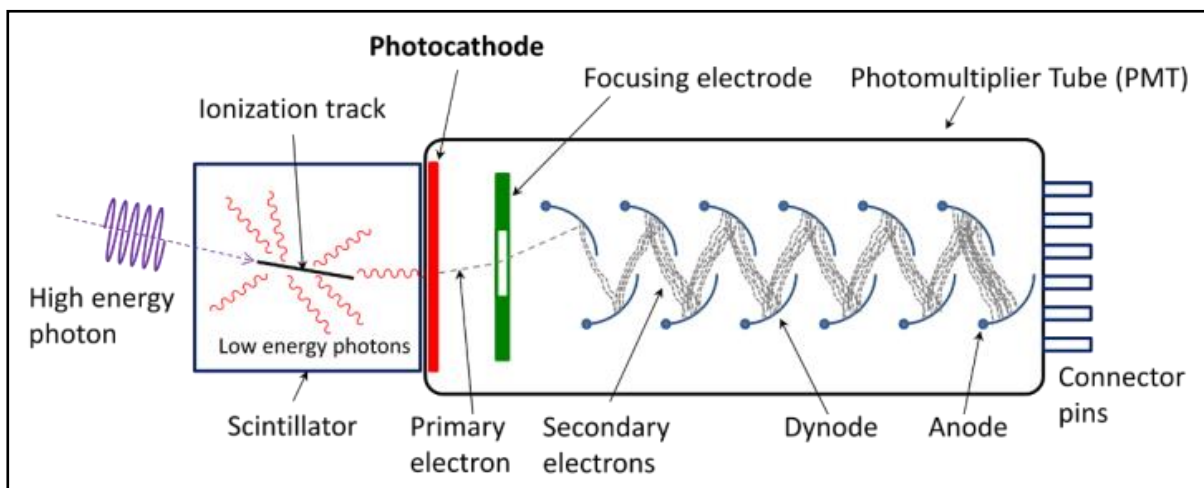
4.4 Σύνδεση Σπινθηριστών με Φωτοπολλαπλασιαστή

Η σύνδεση σπινθηριστών με φωτοπολλαπλασιαστή (Photomultiplier Tube, PMT) είναι μια σημαντική διαδικασία στην ανίχνευση και μέτρηση ακτινοβολίας. Οι σπινθηριστές είναι υλικά που εκπέμπουν φως όταν αλληλεπιδρούν με ιοντίζουσα ακτινοβολία. Το φως που παράγεται από τον σπινθηριστή είναι συνήθως πολύ αδύναμο και πρέπει να ενισχυθεί για να μπορεί να μετρηθεί. Εδώ είναι που ο φωτοπολλαπλασιαστής παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς μετατρέπει το φως σε ηλεκτρικό σήμα και ενισχύει αυτό το σήμα.

Η διαδικασία λειτουργίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 3 ξεκινά με την αλληλεπίδραση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας (όπως γ-ακτίνες ή ακτίνες X) με το σπινθηριστή, προκαλώντας την εκπομπή φωτονίων. Αυτά τα φωτόνια προσπίπτουν στη φωτοκάθοδο του PMT, το οποίο εκπέμπει ηλεκτρόνια μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από τη φωτοκάθοδο κατευθύνονται προς μια σειρά από πλάκες (δυναμικές), όπου προκαλούν την εκπομπή περισσότερων ηλεκτρονίων σε κάθε στάδιο. Αυτή η διαδικασία οδηγεί σε μια σημαντική αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων, με το αρχικό σήμα να ενισχύεται κατά πολλούς τάξεις μεγέθους.

Το τελικό ενισχυμένο ηλεκτρικό σήμα συλλέγεται στο τελικό ηλεκτρόδιο και μπορεί να μετρηθεί και να αναλυθεί. Το σήμα που προκύπτει είναι ανάλογο με την ενέργεια της αρχικής ακτινοβολίας, επιτρέποντας έτσι τη διενέργεια φασματοσκοπικών μετρήσεων.

Η σύνδεση σπινθηριστών με φωτοπολλαπλασιαστές χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές όπως η ιατρική απεικόνιση (π.χ. PET scans), η φασματοσκοπία, η ανίχνευση κοσμικής ακτινοβολίας και τα πειράματα φυσικής υψηλών ενεργειών. Η κατανόηση αυτής της τεχνολογίας είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη και βελτίωση συστημάτων ανίχνευσης ακτινοβολίας, έχοντας σημαντικές επιπτώσεις σε πολλές επιστημονικές και τεχνολογικές περιοχές.



Εικόνα 3: Φωτοπολλαπλασιαστής³

³ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/PhotoMultiplierTubeAndScintillator.svg/1920px-PhotoMultiplierTubeAndScintillator.svg.png>

5. Απόλυτη Απόδοση Φωταύγειας (Absolute Luminescence Efficiency - ALE)

5.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Τα διαγνωστικά ιατρικά απεικονιστικά συστήματα εργάζονται αποτυπώνοντας και αρχειοθετώντας δεδομένα που παρέχουν ζωτικής σημασίας στοιχεία για τη δομή και τις παθήσεις του ανθρώπινου οργανισμού. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν ιοντίζουσα ακτινοβολία, η οποία περνά μέσα από τον ασθενή και εξασθενεί πριν εντοπιστεί από εξειδικευμένες συσκευές όπως οι οθόνες φωσφόρου (phosphor screens) ή αλλιώς σπινθηριστές (scintillators). Αυτές οι συσκευές καταλήγουν να μετατρέπουν την ιοντίζουσα ακτινοβολία σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ορατού φωτός. Το εκπεμπόμενο φως εν συνεχεία πέφτει σε έναν ανιχνευτή ορατού φωτός όπως ένας φωτοπολλαπλασιαστής ή φωτογραφικό φιλμ, που αντιδρά στα συγκεκριμένα μήκη κύματος του φωτός. Τα σήματα αυτά συνθέτουν την τελική ιατρική εικόνα.

Οι φθορίζουσες οθόνες ή αλλιώς σπινθηριστές διαθέτουν καθοριστικές παραμέτρους που επιδρούν στη δύναμη και τη διανομή του εκπεμπόμενου φωτός, επηρεάζοντας τόσο την ποιότητα της ιατρικής εικόνας όσο και την ακτινοβολία που δέχεται ο ασθενής. Αυτές περιλαμβάνουν την κβαντική ανιχνευτική αποδοτικότητα (Quantum Detection Efficiency - QDE), που είναι το ποσοστό της ανιχνεύσιμης ακτινοβολίας, την απόδοση φωτός (Luminescence Efficiency - LE), που συνδέεται με τη φωτεινότητα της εικόνας, τη συνάρτηση μεταφοράς διαμόρφωσης (Modulation Transfer Function - MTF), που αφορά την ευκρίνεια της εικόνας ανάλογα με τη χωρική συχνότητα, και την ανιχνευτική κβαντική αποδοτικότητα (Detective Quantum Efficiency - DQE), που αντικατοπτρίζει την ικανότητα του συστήματος να διατηρεί την ποιότητα σήματος σε σχέση με τον θόρυβο (Signal to Noise Ratio-SNR) [5.1].

5.2 Θεωρητικό Μοντέλο Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας

Η Απόλυτη Απόδοση Φωταύγειας (ALE) μίας οθόνης φωσφόρου (phosphor screen) είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στην αξιολόγηση της απόδοσης αυτών στην ιατρική απεικόνιση. Ορίζεται ως η αναλογία της ροής ενεργειακού φωτός που εκπέμπεται από έναν διεγερμένο φωσφόρο προς τον ποσοστό εκθέσεως σε ακτινοβολία. Ο τύπος για την ALE είναι ο εξής:

$$ALE = \frac{\psi_L}{\dot{X}} \quad (1)$$

όπου:

1. ψ_L : είναι η ροή ενεργειακού φωτός που εκπέμπεται από τον φωσφόρο.
2. \dot{X} : είναι ο ρυθμός εκθέσεως ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Αυτή η απόδοση χαρακτηρίζει πόσο αποτελεσματικά μια οθόνη βασισμένη σε φθορίζων υλικό για ανιχνευτές εικόνας ακτίνων X μπορεί να παράγει μια φωτεινή εικόνα ελαχιστοποιώντας την έκθεση ενός ασθενούς στην ακτινοβολία.

5.3 Μαθηματική Διατύπωση Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας

Στην εργασία [5.1], αναπτύσσεται ένα θεωρητικό μοντέλο για τον υπολογισμό της ALE, λαμβάνοντας υπόψη τις εγγενείς φυσικές ιδιότητες μίας φωσφορίζουσα οθόνη. Αυτό το μοντέλο συνενώνει πολλαπλούς παράγοντες όπως τον συντελεστή απορρόφησης της ενέργειας των ακτίνων-X, την αποτελεσματικότητα μεταφοράς φωτός, καθώς και οπτικές παραμέτρους που αναφέρονται στην απορρόφηση και διάχυση του φωτός μέσα στο υλικό φωσφόρου.

Αυτοί οι υπολογισμοί είναι σημαντικοί στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης, καθώς βοηθούν στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της σύνθεσης των φωσφορούχων οθονών για καλύτερη ποιότητα εικόνας και μειωμένη έκθεση στην ακτινοβολία. Ο ακριβής υπολογισμός της ALE επιτρέπει μια καλύτερη κατανόηση της απόδοσης της οθόνης, υπό διάφορες συνθήκες απεικόνισης, που είναι ουσιαστική για ακριβείς διαγνώσεις.

Η απόλυτη απόδοση φωταύγειας (ALE) μιας οθόνης φωσφόρου, λαμβάνοντας υπόψη το πάχος της T και την ακτινοβολία από φωτόνια ακτίνων X με ενέργεια E , καθώς και τις ενδογενείς φυσικές ιδιότητες της οθόνης, δίνεται από τον μαθηματικό τύπο [5.2]:

$$ALE = A_Q(E, T) n_c G_L(\sigma, \beta, \rho, E, T) \quad (2)$$

όπου:

1. $A_Q(E, T)$: Η κβαντική ανιχνευτική απόδοση (Quantum Detection Efficiency-QDE) αποτελεί μία μέτρηση του ποσοστού της ενέργειας των εισερχόμενων φωτονίων ακτίνων X που αποθηκεύεται στο υλικό του φωσφόρου:

$$A_Q(E, T) = 1 - e^{-\mu(E)T} \quad (3)$$

2. $\mu(E)$: Ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας ακτίνων X αποτελεί έναν κρίσιμο δείκτη της πιθανότητας, ανά μονάδα επιφανειακής πυκνότητας, με την οποία οι ακτίνες X θα μεταβιβάσουν την ενέργειά τους στο υλικό. Αυτός ο συντελεστής είναι ουσιώδης για να προσδιοριστεί η ποσότητα της ενέργειας των ακτίνων X που απορροφάται από το φωσφορικό υλικό. T είναι το πάχος του σπινθηριστή [5.3].
3. n_c : Η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως αναφέρεται στο ποσοστό της απορροφηθείσας ενέργειας ακτίνων X που μετασχηματίζεται σε ενέργεια φωτονίων φωτός εντός του υλικού φωσφόρου.
4. $G_L(\sigma, \beta, \rho, E, T)$: είναι η αποδοτικότητα μετάδοσης φωτός, που αντιπροσωπεύει το κλάσμα του παραγόμενου φωτός που φτάνει στην έξοδο της οθόνης φωσφόρου.
5. Οι παράμετροι σ , β και ρ αφορούν οπτικά χαρακτηριστικά όπως η απορρόφηση, η διάχυση και η αντανάκλαση φωτός στο υλικό του φωσφόρου:
 - ✓ Οι παράμετροι σ και β αποτελούν οπτικούς δείκτες που συνδέονται με την απορρόφηση (α), τη διάχυση και την ανάκλαση του φωτός στο υλικό της φωσφορίζουσας οθόνης. Το R_∞ , από την άλλη πλευρά, αποτελεί την ανακλαστικότητα μιας πολύ παχιάς οθόνης φωσφόρου, όπου δεν υφίσταται διέλευση φωτός μέσα από αυτήν:

$$\sigma = [\alpha(\alpha + 2s)]^{\frac{1}{2}} \text{ και } \beta = \left[\frac{\alpha}{(\alpha + 2s)} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ ή } \beta = (1 - R_\infty)/(1 + R_\infty) \quad (4)$$

$\rho = (\mathbf{1-r})/(\mathbf{1+r})$, όπου r : η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης, είναι η παράμετρος που σχετίζεται με τις ιδιότητες της οθόνης φωσφόρου.

Ο προαναφερθέντες τύποι λαμβάνουν υπόψη το βάθος στο οποίο τα φωτόνια ακτίνων X αλληλεπιδρούν με την οθόνη φωσφόρου και πόσο αποτελεσματικά αυτή η αλληλεπίδραση οδηγεί σε φωτεινή εκπομπή, που είναι κρίσιμα για την απόδοση της οθόνης σε ιατρικές απεικονίσεις. Από την αξιολόγηση της ALE, είναι δυνατόν να κατανοηθούν οι διακυμάνσεις στο πάχος της οθόνης, στην ενέργεια των ακτίνων X και στις εγγενείς ιδιότητες του υλικού επηρεάζουν την αποδοτικότητα μιας οθόνης φωσφόρου κατά την μετατροπή της ενέργειας ακτίνων X σε ορατό φως. Αυτή η θεωρητική προσέγγιση είναι ουσιώδης για τη βελτιστοποίηση κατασκευής οθονών φωσφόρου για διάφορες εφαρμογές απεικόνισης, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα της εικόνας και η ασφάλεια του ασθενούς σε βέλτιστα επίπεδα [5.2], [5.3], [5.4].

5.4 Μαθηματική Διατύπωση Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας: Μονοδιάστατη Μεταφορά Ακτινοβολίας

Η απόλυτη απόδοση φωταύγειας υπολογίζεται θεωρητικά (Ludwig 1971) λαμβάνοντας υπόψη ότι η απορρόφηση των ακτίνων X, η παραγωγή φωτός, και η μετάδοση του φωτός μέσα στο υλικό φωσφορίζουσας οθόνης περιγράφονται από τις διαφορικές εξισώσεις [5.2]:

$$\frac{dI_f}{dt} = -(a + s)I_f + sI_b + \frac{1}{2}n_c\mu(E)N_x(E)e^{(-\mu(E)t)} \quad (5)$$

$$\frac{dI_b}{dt} = (a + s)I_b + sI_f - \frac{1}{2}n_c\mu(E)N_x(E)e^{(-\mu(E)t)} \quad (6)$$

όπου:

1. I_f και I_b είναι οι εντάσεις του φωτός που κατευθύνονται προς τα εμπρός και προς τα πίσω σε σχέση με τις κατευθύνσεις των ακτίνων X, αντιστοιχώντας στις λειτουργίες μέτρησης μετάδοσης και ανάκλασης αντίστοιχα.
2. $N_x(E)$ είναι η επικείμενη ροή των ακτίνων X,
3. a και s είναι οι συντελεστές απορρόφησης και διάχυσης του φωτός,
4. $\mu(E)$ είναι ο συντελεστής μαζικής εξασθένισης των ακτίνων X
5. t είναι το βάθος διείσδυσης των ακτίνων X.

Η επίλυση των διαφορικών εξισώσεων για τη μονοδιάστατη μεταφορά της ακτινοβολίας ακτίνων X και του φωτός μέσα σε μια οθόνη φωσφόρου μπορεί να παράγει την ALE. Αυτή η απόδοση συμβολίζεται και υπολογίζεται μέσω μιας συγκεκριμένης μαθηματικής εξίσωσης [5.3]:

$$\begin{aligned} & ALE(E, T)t_r \quad (7) \\ &= \frac{n_c\gamma(E)t_r\mu(E)(1 + \rho)e^{-\mu(E)T}}{2(\mu(E)^2 - \sigma^2)} \\ &\times \frac{[(\mu(E) - \sigma)(1 - \beta)e^{-\sigma T} + 2(\sigma + \mu(E)\beta)e^{\mu(E)T} - (\mu(E) + \sigma)(1 + \beta)e^{\sigma T}]}{(1 + \beta)(\rho + \beta)e^{\sigma T} - (1 - \beta)(\rho - \beta)e^{-\sigma T}} \end{aligned}$$

για τη λειτουργία μετάδοσης και ο ανωτέρω τύπος γίνεται:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{ALE}(\mathbf{E}, \mathbf{T})t_r & (8) \\
 & = \frac{n_c \gamma(\mathbf{E}) t_r \mu(\mathbf{E}) e^{-\mu(\mathbf{E})T}}{(\mu(\mathbf{E})^2 - \sigma^2)} \\
 & \times \frac{[(\mu(\mathbf{E}) - \sigma)(\rho + \beta)e^{\sigma T} + 2(\sigma\rho - \mu(\mathbf{E})\beta)e^{-\mu(\mathbf{E})T} - (\mu(\mathbf{E}) + \sigma)(\rho - \beta)e^{-\sigma T}]}{(1 + \beta)(\rho + \beta)e^{\sigma T} - (1 - \beta)(\rho - \beta)e^{-\sigma T}}
 \end{aligned}$$

Κάθε σύμβολο της ALE αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη πτυχή της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ακτίνων X και του υλικού της φωσφορούχου οθόνης, όπου [5.4]:

1. **n_c**: Η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως αναφέρεται στο ποσοστό της ενέργειας που εναποτίθεται από τις ακτίνες X και μετασχηματίζεται σε ενέργεια φωτονίων φωτός.
2. **γ(E)**: Ο συντελεστής μετατροπής που μετατρέπει την ενεργειακή εισροή, μετρούμενη σε W/m², σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s, είναι καθοριστικός για τη σύνδεση της φυσικής μέτρησης της έντασης των ακτίνων X με μια μορφή που είναι περισσότερο σχετική για την ιατρική απεικόνιση και την ακτινοβολιακή δοσολογία.
3. **t_r**: αντιπροσωπεύει τη διαφάνεια της υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου. Η διαφάνεια αναφέρεται στην ικανότητα του υποστρώματος να επιτρέπει το φως που παράγεται μέσα στον φωσφόρο να το διαπεράσει. Μεγαλύτερη διαφάνεια σημαίνει ότι περισσότερο από το φως που παράγεται από τον φωσφόρο φτάνει στον ανιχνευτή, το οποίο είναι επωφελές για την αποδοτικότητα απεικόνισης.

5.5 Μαθηματική Διατύπωση Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας: Ενσωμάτωση Φάσματος Ενέργειας Ακτίνων X

Δεδομένου ότι οι ακτίνες X που χρησιμοποιούνται στη ραδιογραφία είναι πολυχρωματικές, η απόλυτη αποδοτικότητα υπολογίζεται μέσω του μέσου όρου πάνω σε ολόκληρο το φάσμα ενέργειας των ακτίνων X. Για να ενσωματωθεί το φάσμα ενέργειας των ακτίνων X, f(E) απαιτείται η άθροιση πάνω από αυτό το φάσμα μέχρι την ανώτατη ενέργεια (kVp) του φάσματος των ακτίνων X:

$$\mathbf{ALE}_{kVp} = \left(\int_0^{E_0} \mathbf{ALE}(E) N_x(E) dE \right) \left(\int_0^{E_0} N_x(E) dE \right)^{-1} \quad (9)$$

όπου:

1. **E₀** είναι η μέγιστη ενεργειακή ένταση του φάσματος των ακτίνων X (αριθμητικά ίση με την τάση του σωλήνα σε kVp). Το kVp δείχνει την υψηλή τάση που εφαρμόζεται στη σωλήνα των ακτίνων X, ισοδυναμεί με τη μέγιστη ενέργεια του φάσματος των ακτίνων X.
2. **N_x(E)** είναι η φασματική κατανομή των ακτίνων X. Η μορφή της συνάρτησης **N_x(E)** εξαρτάται από το υλικό στόχου του σωλήνα ακτίνων X, την υψηλή τάση του σωλήνα, και τον τύπο του υλικού φίλτρου.
3. **ALE** είναι η απόλυτη αποδοτικότητα της οθόνης για μονοχρωματική ακτινοβολία X (Storm 1972) [βλέπετε ενότητα 5.3]

Αυτή η εξίσωση υποδηλώνει την ένταξη της ALE πάνω από το φάσμα των ακτίνων X, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες εξαρτώμενους από την ενέργεια, όπως ο συντελεστής απορρόφησης και η απόδοση μετατροπής των ακτίνων X σε φως. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει μια πιο ακριβή υπολογιστική της ALE, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές αποδοτικότητες σε διαφορετικές ενέργειες ακτίνων X μέσα στο φάσμα.

5.6 Ιδιότητες Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας

Όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα η ALE είναι ένα μέτρο που αξιολογεί την αποδοτικότητα με την οποία μια φωτεινή πηγή μετατρέπει την ενέργεια σε ορατό φως. Αντιπροσωπεύει το ποσοστό της ενέργειας (που μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές, όπως ηλεκτρική, χημική, ή μηχανική) που πραγματικά μετατρέπεται σε φως. Συχνά, εκφράζεται ως ένα ποσοστό ή ένας δείκτης απόδοσης.

Η ALE είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των φωτεινών πηγών, όπως οι λυχνίες LED, οι φθορίζουσες λυχνίες, και άλλες τεχνολογίες φωτισμού. Μία υψηλή τιμή ALE σημαίνει ότι μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε φως, κάτι που είναι επιθυμητό για την ενεργειακή απόδοση και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αντίθετα, μια χαμηλή τιμή ALE δείχνει ότι πολλή από την ενέργεια που καταναλώνεται χάνεται, συχνά με τη μορφή θερμότητας, αντί να μετατραπεί σε φως.

Οι ιδιότητες της ALE είναι οι εξής[5.9], [5.10], [5.11], [5.12]:

1. **Αποδοτικότητα Μετατροπής Ενέργειας:** Η ALE αξιολογεί πόσο αποδοτικά μια πηγή φωτός μετατρέπει την ενέργεια σε φως, με μικρότερη απώλεια ενέργειας σε μη χρήσιμες μορφές, όπως θερμότητα.
2. **Ενεργειακή Απόδοση:** Πηγές με υψηλή ALE είναι πιο ενεργειακά αποδοτικές, καθώς μετατρέπουν μεγαλύτερο μέρος της εισαγόμενης ενέργειας σε φως.
3. **Εκπομπή Θερμότητας:** Μια χαμηλότερη ALE συχνά σημαίνει αυξημένη εκπομπή θερμότητας, καθώς η ενέργεια δεν μετατρέπεται αποτελεσματικά σε φως.
4. **Αντοχή και Σταθερότητα:** Πηγές φωτός με υψηλή ALE τείνουν να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και σταθερότητα, καθώς υποφέρουν λιγότερο από τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης.
5. **Οικονομική Αποδοτικότητα:** Η αυξημένη ALE μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους ενέργειας για τον τελικό χρήστη, καθώς οι πιο αποδοτικές πηγές φωτός απαιτούν λιγότερη ενέργεια για την ίδια φωτεινότητα.
6. **Περιβαλλοντική Επίδραση:** Υψηλότερες τιμές ALE συνεπάγονται μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση, καθώς υπάρχει λιγότερη σπατάλη ενέργειας και μειωμένη ανάγκη για την παραγωγή ενέργειας.

6. Κρυσταλλικός Σπινθηριστής YAP (Yttrium Aluminium Perovskite): Ce

6.1 Εισαγωγικά Στοιχεία YAP:Ce

Ο σπινθηριστής (Scintillator) YAP(Ce) (Yttrium Aluminum Perovskite -Cerium) είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται στην ανίχνευση ακτινοβολίας. Αυτό το υλικό έχει την ιδιότητα να μετατρέπει την ενέργεια που λαμβάνει από την ακτινοβολία σε φωτεινότητα, η οποία μετρείται και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της ακτινοβολίας.

Το YAP(Ce) είναι, επίσης, γνωστό ως ένας γρήγορος και μηχανικά ανθεκτικός σπινθηριστής με σχετικά υψηλή φωτεινότητα. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αντιδρά γρήγορα στην ακτινοβολία, ενώ παράλληλα είναι ανθεκτικός στη μηχανική φθορά. Η υψηλή φωτεινότητα του επιτρέπει την ευκρίνεια στη μέτρηση της ακτινοβολίας, κάτι που είναι σημαντικό σε πολλές εφαρμογές στον τομέα της ιατρικής, της επιστήμης των υλικών και της πυρηνικής τεχνολογίας [6.1], [6.2], [6.3].

6.2 Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Σπινθηριστή YAP (Ce)

Το YAP(Ce) έχει πολλά θετικά χαρακτηριστικά ως σπινθηριστής, που το καθιστούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο υλικό για εφαρμογές σε ανίχνευση ακτινοβολία, καθώς και στην ιατρική απεικόνιση, όπου απαιτείται ανίχνευση ακτινοβολίας με ακρίβεια και αξιοπιστία:

α. Γρήγορος Χρόνος Αποσβέσεως

Ο χρόνος αποσβέσεως είναι περίπου 28 νανοδευτερόλεπτα (ns), που είναι αρκετά γρήγορος. Αυτό το χαρακτηριστικό του επιτρέπει να ανταποκρίνεται γρήγορα στην ακτινοβολία και να παράγει φως.

γ. Καλή Ικανότητα Απορρόφησης Ακτινοβολίας

Έχει υψηλή πυκνότητα περίπου 5.37 γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό (g/cm^3), που του παρέχει καλή ικανότητα να σταματά τη διείσδυση της ακτινοβολίας.

δ. Καλή Απόδοση σε υψηλές Θερμοκρασίες

Διατηρεί την απόδοσή του σε υψηλές θερμοκρασίες, με μικρή μεταβολή στον συντελεστή διαστολής ($-0.01\%/^{\circ}\text{C}$). Αυτό το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές όπου η θερμοκρασία μπορεί να ποικίλλει.

ε. Μηχανική Ανθεκτικότητα και μη υδροσκοπικά Χαρακτηριστικά

Είναι ανθεκτικό στη μηχανική φθορά και δεν απορροφά υγρασία από το περιβάλλον, διατηρώντας τις ιδιότητές του στο χρόνο.

στ. Απουσία Επιπέδων Κατακλίσεων

Δεν έχει φυσικά σημεία όπου το υλικό θα διαχωριζόταν εύκολα ή θα έσπαγε σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, όπως συμβαίνει με ορισμένα άλλα κρυστάλλινα υλικά. Αυτό σημαίνει ότι το YAP:Ce μπορεί να διαμορφωθεί σε διάφορα σχήματα και γεωμετρίες με σχετική ευκολία, καθώς δεν υπάρχουν προκαθορισμένες κατευθύνσεις στις οποίες θα ραγίσει.

6.3 Πεδίο Εφαρμογών Σπινθηριστή YAP (Ce)

Ο κρυσταλλικός σπινθηριστής YAP (Ce), ως υλικό ανίχνευσης ακτινοβολίας, έχει ευρύ φάσμα εφαρμογών λόγω της ικανότητάς του να μετατρέπει την ακτινοβολία σε φως με υψηλή απόδοση και ανθεκτικότητα. Ορισμένες από τις κύριες του εφαρμογές περιλαμβάνουν:

α. Ιατρική Απεικόνιση

Χρησιμοποιείται σε μεθόδους όπως η τομογραφία μεταξύ άλλων, για την ανίχνευση ακτινοβολίας σε ιατρικές εφαρμογές, σε ακτινολογικές συσκευές για εικονοληψία και διάγνωση, κτλ.

β. Γεωλογική Καταγραφή

Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές γεωλογικής καταγραφής και εξερεύνησης για την ανίχνευση και την μέτρηση ακτινοβολίας.

γ. Υψηλή Ενέργεια, Πυρηνική και Διαστημική Φυσική

Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές υψηλής ενέργειας, πυρηνικής φυσικής και διαστήματος για την ανίχνευση και την ανάλυση ακτινοβολίας σε πειράματα και συστήματα παρακολούθησης.

δ. Εφαρμογές Ασφάλειας

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές ασφαλείας και προστασίας για την ανίχνευση ακτινοβολίας.

6.4 Οπτικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή YAP (Ce)

Πίνακας 1: Ιδιότητες του Σπινθηριστή YAP (Ce).

Ιδιότητες	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή
Μέγιστο μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της εκπομπής της ακτινοβολίας από το σπινθηριστή.	nm	370
Χρόνος αποσβέσεως του φωτός μετά την ανίχνευση της ακτινοβολίας	ns	28

Ιδιότητες	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή
Ποσοστό της ενέργειας που μετατρέπεται σε φως από την ακτινοβολία που δέχεται ο σπινθηριστής	photons/keV	25
Ποσοστό των φωτοηλεκτρονίων που παράγονται από την ενέργεια της ακτινοβολίας	% of NaI (Tl)	60 - 70
Φωτεινότητα που διατηρείται μετά τη διακοπή της ακτινοβολίας.	%	<0.005 @ 6ms
Το μήκος που απαιτείται για να απορροφηθεί ή να αλληλεπιδράσει η ακτινοβολία με το υλικό	cm	2.7 @ 511keV
Δείκτης διάθλασης του κρυστάλλου.	nm	1.95 @370nm

6.5 Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή YAP (Ce)

Πίνακας 2: Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή YAP (Ce).

Ιδιότητες	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή
Χημική σύνθεση.	-	YAlO ₃ :Ce
Πυκνότητα του υλικού.	g/cm ³	5.37
Αριθμός των ατόμων στη μορφή που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τη συμπεριφορά του υλικού σε ακτινοβολία.	-	36
Θερμοκρασία στην οποία το υλικό μετατρέπεται από στερεό σε υγρό.	°K	1875
Συντελεστής θερμικής διαστολής, που δείχνει πόσο διαστέλλεται το υλικό όταν θερμαίνεται.	C ⁻¹	4 -11x 10 ⁻⁶
Αντοχή του υλικού στη γρατζουνιά ή την πίεση.	Mho	8.5
Ικανότητα του υλικού να διαλυθεί σε διάφορα διαλύματα ή ουσίες.	g/100gH ₂ O	N/A

6.6 Μέγεθος – Είδη Σπινθηριστή ΥΑΡ (Ce)

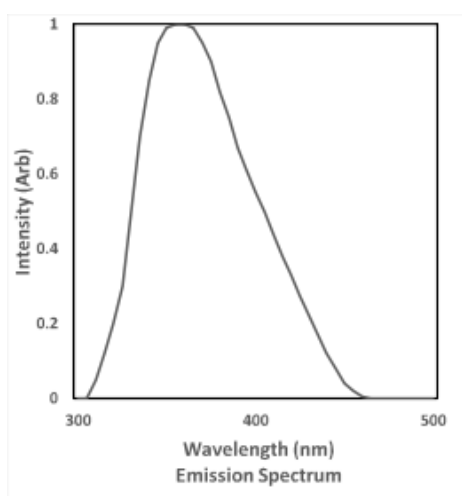
Οι σπινθηριστές ΥΑΡ (Ce) είναι διαθέσιμοι σε διάφορα μεγέθη και είδη, συνήθως ανάλογα με τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής. Η διαθεσιμότητα των μεγεθών μπορεί να εξαρτάται από τον κατασκευαστή ή τον προμηθευτή.

Πίνακας 3: Μηχανικές Ιδιότητες του Κρυσταλλικού Σπινθηριστή ΥΑΡ (Ce).

Διάμετρος:	80mm max.
Μήκος:	200 mm max.
Ελάχιστο πάχος, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με τη μορφή και τη διάμετρο του κρυστάλλου:	
<ul style="list-style-type: none"> • Ελεύθερης στήριξης: 0,2mm (διάμετρος <100mm), 0,1mm (διάμετρος <50mm) • Κρίκος - Στερέωση στο άκρο: 0,05mm (διάμετρος <50mm), 0,02mm (διάμετρος <10mm) • Στηριζόμενο σε υπόστρωμα: 0,01mm (διάμετρος <40mm), 0,005mm (διάμετρος <30mm) 	

6.7 Φάσμα Εκπομπής Σπινθηριστή ΥΑΡ(Ce)

Το φάσμα εκπομπής (emission spectrum) για το ΥΑΡ(Ce) αφορά το φάσμα του φωτός που εκπέμπεται από το κρύσταλλο, όταν ενεργείται από ακτινοβολία ή άλλη πηγή ενέργειας. Η εκπομπή αυτή του φωτός προκαλείται από τη μετάβαση ηλεκτρονίων μέσα στη δομή των ατόμων του υλικού. Είναι συνήθως συγκεντρωμένο στο ορατό φάσμα της φωτεινής ακτινοβολίας. Η προσθήκη του Δημητρίου Cerium (Ce) ως ενεργοποιητή μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολή του φάσματος εκπομπής, ενώ συνήθως προκαλείται ένας ευρύς φωτεινός κορεσμός στο ορατό φάσμα με κύρια κορυφές στην περιοχή του πράσινου έως και του κίτρινου χρώματος. Το ακριβές φάσμα εκπομπής μπορεί να ποικίλει ελαφρώς ανάλογα με τις συνθήκες ενεργοποίησης, τη σύνθεση του υλικού και άλλους παράγοντες, αλλά συνήθως οι ΥΑΡ (Ce) παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα εκπομπής στην ορατή περιοχή του φωτός.



Εικόνα 4: Φάσμα Εκπομπής Σπινθηριστή ΥΑΡ (Ce)⁴

⁴ https://www.advatech-uk.co.uk/rc_images/yap_ce_spectrum.png

7. Σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ Gadolinium Oxysulfide Gadox

7.1 Εισαγωγικά Στοιχεία $Gd_2O_2S:Tb$

Ο σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ (Οξυ σουλφίδιο του Γαδολινίου με Τέρβιο), γνωστός και ως Gadolinium Oxysulfide, ανήκει στην κατηγορία των φωσφόρων και αποτελεί ένα υλικό που χρησιμοποιείται συχνά σε ανιχνευτές ακτίνων X και γάμμα, λόγω του υψηλού ατομικού αριθμού του γαδολινίου και στην ικανότητά του να εκπέμπει φως με μεγάλη αποδοτικότητα όταν εκτίθεται σε τέτοιες ιονίζουσες ακτινοβολίες. Αναλύοντας περαιτέρω τη λειτουργία και τις βελτιώσεις που προσφέρει η προσθήκη του Terbium, διαπιστώνουμε τα εξής:

- α. Ο σπινθηριστής μετατρέπει την ακτινοβολία (π.χ. ακτίνες X ή γάμμα) σε οπτικά σήματα (φως). Η διέγερση των ηλεκτρονίων του υλικού υπό την επίδραση ακτινοβολίας οδηγεί στη μετακίνησή τους σε υψηλότερα ενεργειακά επίπεδα. Κατά την επάνοδό τους στην αρχική κατάσταση, εκπέμπεται φως, το οποίο καταγράφεται από ειδικούς αισθητήρες.
- β. Η προσθήκη του Terbium στον σπινθηριστή βελτιώνει την φωτεκπομπή, επιτρέποντας την αλλαγή του χρώματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Αυτό καθιστά το φως πιο διακριτικό και ευκολότερο στην ανίχνευση, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα του σπινθηριστή και την ακρίβεια των μετρήσεων [7.1].

7.2 Χαρακτηριστικά Γνωρίσματα Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$

Ο σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ έχει πολλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα και από τελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο υλικό για εφαρμογές στην ανίχνευση ακτινοβολίας, καθώς και στην ιατρική απεικόνιση, όπου απαιτείται ανίχνευση ακτινοβολίας με ακρίβεια και αξιοπιστία [7.2], [7.3]:

- α. **Ανιχνευτική Απόδοση**
Διαθέτει υψηλή αποδοτικότητα στη μετατροπή της ακτινοβολίας σε φως.
- β. **Υψηλή Φωτοαποδοτικότητα**
Συνεισφέρει στην παραγωγή έντονου φωτός από την ακτινοβολία, βελτιώνοντας την ανιχνευσιμότητα.
- γ. **Υψηλή Λαμπρότητα**
Έχει μια ιδιαίτερα υψηλή απόδοση και αποτελεί έναν από τα πιο πολυζήτητο σπινθηριστή.
- δ. **Σταθερότητα Χρωματικής Εκπομπής**
Έχει σταθερή και ομοιόμορφη χρωματική εκπομπή, επιτρέποντας την ακριβή ανάλυση των δεδομένων από τις συσκευές ανίχνευσης.

ε. **Καλή Θερμική Σταθερότητα**

Διατηρεί τις ιδιότητές του σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, επιτρέποντας τη χρήση του σε διάφορα περιβάλλοντα και εφαρμογές.

στ. **Μακροχρόνια Σταθερότητα και Διάρκεια Ζωής**

Διακρίνεται για τη μακροχρόνια σταθερότητά του, με ελάχιστη μείωση της αποδοτικότητάς του με την πάροδο του χρόνου, πλέον της αντοχής του σε μηχανικές καταπονήσεις.

7.3 Πεδίο Εφαρμογών Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$

Η ιδιότητα του $Gd_2O_2S:Tb$ να μετατρέπει την ακτινοβολία σε οπτικά σήματα με υψηλή απόδοση και ανθεκτικότητα το καθιστά ιδανικό για αυτές τις εφαρμογές. Επίσης, η προσθήκη του Terbium βελτιώνει τις ιδιότητες του υλικού, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και την ακρίβεια στην ανίχνευση ακτινοβολίας. Ο σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ και χρησιμοποιείται σε μια σειρά από εφαρμογές [7.4], [7.5]:

α. **Ιατρική Απεικόνιση**

Χρησιμοποιείται σε αξονικούς τομογράφους και άλλες μορφές ακτινογραφίας για την ανίχνευση ακτίνων X και γάμμα, παρέχοντας ακριβείς εικόνες χάρη στην ικανότητά του να μετατρέπει αυτές τις ακτίνες σε οπτικά σήματα.

β. **Ασφάλεια**

Εφαρμόζεται σε συσκευές ανίχνευσης ακτινοβολίας σε αεροδρόμια ή σε σημεία εισόδου σε ευαίσθητες περιοχές, βοηθώντας στην ασφαλή και ακριβή ανίχνευση επικίνδυνων ακτινοβολιών.

γ. **Ανίχνευση Ακτινοβολίας**

Χρησιμοποιείται σε εργαστήρια και βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την ανίχνευση και μέτρηση της ακτινοβολίας, ενισχύοντας την ασφάλεια και την προστασία των εργαζομένων.

δ. **Ερευνητικοί και Βιομηχανικοί Τομείς**

Αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο σε ερευνητικά πειράματα και βιομηχανικές εφαρμογές, ιδίως σε ό,τι αφορά την ανίχνευση υψηλής ενέργειας ακτινοβολίας.

ε. **Άλλες Εφαρμογές**

Χρησιμοποιείται επίσης σε μελέτες υλικών και φωτονικές εφαρμογές, όπου η μετατροπή της ακτινοβολίας σε οπτικά σήματα είναι κρίσιμης σημασίας.

Η πολυμορφία των εφαρμογών του $Gd_2O_2S:Tb$ αποδεικνύει τη σημασία του ως υλικού στη σύγχρονη τεχνολογία και την επιστήμη.

7.4 Οπτικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$

Ο σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ είναι μια ουσία με ενδιαφέρουσες οπτικές ιδιότητες, οι οποίες το καθιστούν ιδανικό για διάφορες εφαρμογές, όπως η ανίχνευση ακτινοβολίας [7.6]:

Πίνακας 4: Οπτικές Ιδιότητες του Κρυσταλλικού Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$.

Ιδιότητες	Μονάδα Μέτρησης	Τυπική Τιμή
Φωταύγεια (Luminescence)	Μπορεί να μετρηθεί σε CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) ή σε candela ανά τετραγωνικό μέτρο (cd/m^2).	Μπορεί να φτάσει σε μερικές χιλιάδες cd/m^2 , ανάλογα με τη συγκέντρωση του Tb και τις συνθήκες διέγερσης.
Ακτινοβολία (Radiation Efficiency)	Αποδοτικότητα μετατροπής της ακτινοβολίας σε ορατό φως μπορεί να μετρηθεί σε lumens ανά watt (lm/W).	Η ακτινοβολική απόδοση του Gd_2O_2S μπορεί να κυμαίνεται γύρω στα 10-20 lm/W .
Φασματική Απόκριση (Spectral Response)	Μήκος κύματος (nanometers, nm).	Η κύρια εκπομπή συμβαίνει στα 545 nm (πράσινο φως).
Χρόνος Απόκρισης (Response Time)	Χρόνος (nanoseconds, ns)	Είναι περίπου 1-2 ms
Διάχυση Φωτός (Light Scattering)	Μπορεί να μετρηθεί σε μοίρες (degrees) ή μέσω ενός συντελεστή διάχυσης.	Υψηλή διάχυση φωτός με συντελεστή διάχυσης γύρω στο 0.7-0.9.
Αντίθεση και Ανάλυση (Contrast and Resolution)	Μετράται ως λόγος (contrast ratio), και η ανάλυση σε γραμμές ανά χιλιοστό (lines per millimeter, lp/mm).	Υψηλή αντίθεση με λόγο >1000:1 και ανάλυση έως 20-30 lp/mm.
Σταθερότητα και Αντοχή (Stability and Durability)	Συχνά αξιολογείται ποιοτικά, αλλά μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με βάση τη μείωση φωταύγειας μετά από συγκεκριμένες ώρες έκθεσης.	Διατήρηση φωταύγειας >90% μετά από 1000 ώρες λειτουργίας σε συνθήκες κανονικής χρήσης.

7.5 Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$

Οι μηχανικές ιδιότητες του $Gd_2O_2S:Tb$ περιλαμβάνουν [7.7]:

Πίνακας 5: Μηχανικές Ιδιότητες του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$.

Ιδιότητες	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή
Μοριακό Βάρος	g/mol	537.49
Πυκνότητα	g/cm ³	7.32 Είναι αρκετά βαρύ υλικό. Η πυκνότητα μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα του υλικού να ανιχνεύει
Μέγιστο μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της εκπομπής της ακτινοβολίας από το σπινθηριστή.	nm	545
Σκληρότητα	κλίμακα Mohs	Αφορά την αντίστασή του σε επιφανειακή παραμόρφωση και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με συγκεκριμένη παρασκευή και επεξεργασία του υλικού
Ελαστικότητα	-	Οι ελαστικές σταθερές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις και εξαρτώνται από την κατεργασία του υλικού

7.6 Μέγεθος – Είδη Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$

Οι σπινθηριστές $Gd_2O_2S:Tb$ έχουν διάφορες μορφές και τύπους, οι οποίοι προσαρμόζονται για ειδικές εφαρμογές και απαιτήσεις. Οι διάφοροι τύποι διαφέρουν κυρίως σε όρους μεγέθους, σχήματος και οπτικών ιδιοτήτων:

1. Πλακίδια ή Πλάκες

Αυτά είναι λεπτά, επίπεδα κομμάτια του υλικού και χρησιμοποιούνται συχνά σε ακτινογραφικές εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη επιφάνεια ανίχνευσης.

2. Κυλινδρικοί Σπινθηριστές

Αυτοί οι σπινθηριστές έχουν κυλινδρικό σχήμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου η ομοιόμορφη ανίχνευση γύρω από έναν άξονα είναι σημαντική.

3. Κόκκοι ή Σκόνη

Μικροσκοπικοί κόκκοι ή σκόνη του υλικού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνθετικούς σπινθηριστές ή ως πρόσμικτο σε άλλα υλικά για ειδικές εφαρμογές.

4. Φωτοβολταϊκά Πάνελ

Αυτά τα πάνελ συνδυάζουν τους σπινθηριστές με φωτοδέκτες για τη μετατροπή της ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό σήμα.

5. Προσαρμοσμένες Γεωμετρίες

Ειδικά σχεδιασμένοι σπινθηριστές με συγκεκριμένες γεωμετρίες, όπως σφαίρες ή άλλα συμπλέγματα, για ειδικές εφαρμογές.

6. Φωτονικές Δομές

Ενσωματωμένες φωτονικές δομές για τη βελτίωση των οπτικών ιδιοτήτων των σπινθηριστών.

Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και εφαρμογές, και η επιλογή εξαρτάται από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής, όπως η ανάλυση, η απόδοση, το κόστος και οι φυσικές ιδιότητες που είναι απαραίτητες.

Η διαθεσιμότητα διαφόρων μεγεθών και ειδών των σπινθηριστών $Gd_2O_2S:Tb$ εξαρτάται συνήθως από τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής. Για παράδειγμα:

1. Διάμετρος

Οι σπινθηριστές μπορούν να κοπούν ή να διαμορφωθούν σε διάφορες διαμέτρους, ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής που πρέπει να ανιχνεύσουν. Σε ιατρικές εφαρμογές, μπορεί να χρειαστούν μεγαλύτερες διαμέτρους για την κάλυψη μεγαλύτερων περιοχών του σώματος.

2. Μήκος

Το μήκος των σπινθηριστών μπορεί να ποικίλει. Μεγαλύτερα μήκη μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα στην ανίχνευση ακτινοβολίας, αλλά επίσης μπορεί να κάνουν το σύστημα πιο βαρύ και λιγότερο ευέλικτο.

3. Πάχος

Το πάχος του σπινθηριστή επηρεάζει την απόδοση στην ανίχνευση της ακτινοβολίας. Παχύτεροι σπινθηριστές μπορούν να απορροφήσουν περισσότερη ακτινοβολία, αλλά μπορεί να μειώσουν την ευκρίνεια της εικόνας.

Η διαθεσιμότητα αυτών των διαφορετικών μεγεθών και τύπων συχνά εξαρτάται από τον κατασκευαστή ή τον προμηθευτή.

8. Απόλυτη Απόδοση (Absolute Luminescence Efficiency) Σπινθηριστή YAP:Ce με τα Ραδιενεργά Ισότοπα Tc99m και Tl201

8.1 Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή YAP: Ce με το ραδιενεργό ισότοπο Tc99m

Ο υπολογισμός της Απόλυτης Απόδοσης (ALE) για τον σπινθηριστή YAP:Ce με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tc99m είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων απεικόνισης. Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγράψουμε τον κώδικα MATLAB που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό αυτής της απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές παραμέτρους του συστήματος:

α. Ορισμός Παραμέτρων

Στη συνέχεια, ορίζονται οι βασικές παράμετροι του συστήματος [8.1]:

- i. $n_c = 0.031$; η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
- ii. $t_r = 0.3$; η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
- iii. $r = 0.9$; η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
- iv. $b = 0.03$, ο οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
- v. $s = 104$; ο οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g).
- vi. $g = 3560$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής σε ρυθμό έκθεσης.
- vii. $\mu = 0.2866 \text{ cm}^2/\text{g}$; ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X για YAP:Ce.

Αυτές οι παράμετροι είναι κρίσιμες για τον υπολογισμό της απόδοσης, καθώς επηρεάζουν τη μετατροπή της ακτινοβολίας σε φως και την αλληλεπίδραση του φωτός με το υλικό.

β. Ορισμός Μεταβολής του Πάχους

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{\max} = 6.76$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2)
- iii. Βήμα = 0.05; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}; \text{Βήμα}; T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους

Ο πίνακας T περιέχει τις τιμές του πάχους της οθόνης φωσφόρου από το ελάχιστο στο μέγιστο, με συγκεκριμένο βήμα.

γ. Εφαρμογή της εξίσωσης Απόλυτης Απόδοσης

$$ALE = \frac{n_c \gamma t_r \mu(E)(1 + \rho)e^{-\mu(E)T}}{2(\mu(E)^2 - \sigma^2)} + \frac{[(\mu(E) - \sigma)(1 - \beta)e^{-\sigma T} + 2(\sigma + \mu(E)\beta)\varepsilon^{\mu(E)T} - (\mu + \sigma)(1 + \beta)e^{\sigma T}]}{(1 + \beta)(\rho + \beta)e^{\sigma T} - (1 - \beta)(\rho - \beta)e^{-\sigma T}} \quad (10)$$

όπου:

1. $\mu(E)$ [m] είναι ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X για YAP: Ce. $T_{c99m}=141\text{keV}$, $\mu(E)=0.2866 \text{ cm}^2/\text{g}$, $d = 2.28 \text{ g/cm}^3$
2. σ (s) είναι ο οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός (σε cm^2/g). Για YAP: Ce T_{c99m} , $\sigma=104 \text{ cm}^2/\text{g}$.

δ. Κατασκευή Κώδικα σε Matlab

Με τον παρακάτω κώδικα MATLAB, υπολογίζεται και παρουσιάζεται η Απόλυτη Απόδοση ενός σπινθηριστή YAP:Ce με το ραδιενεργό ισότοπο Tc99m. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων και τη βελτίωση των συστημάτων απεικόνισης στην ιατρική και την πυρηνική φυσική.

```
% Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης (AE) (Absolute Luminescence Efficiency), Σπινθηριστή
YAP:Ce με τον ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB
clc
clear
close all

nc=0.031; % Η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
tr=0.3; % Η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
r=0.9; % Η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
b=0.03; % Οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
s=104; % Οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g)
g=3560; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2, σε ρυθμό έκθεσης,
μετρούμενο σε mR/s.
m=0.2866; % Tc 99m= 141 keV, μ(E)=0.2866 cm^2/g για YAP: Ce. Συντελεστής απορρόφησης
ενέργειας των ακτίνων X.

Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm^2)
Tmax=6.76; % Μεταβολή T (gr/cm^2), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.
% Tmax=200;
BHMA=0.001; % 0.05 gr/cm^2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin
έως Tmax, με βήμα
T=(Tmin:BHMA:Tmax);

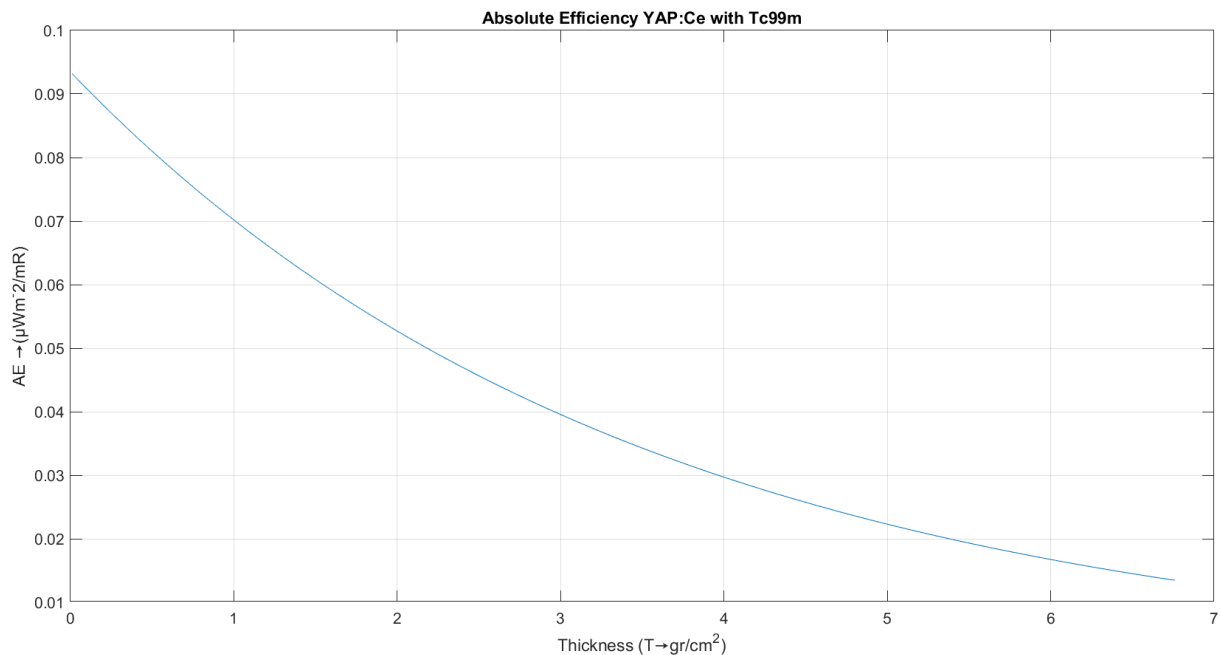
% Υπολογίζεται την απόδοση AE με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.
A1=nc*g*tr*m*(1+r)*exp(-m*T);
A2=2*(m^2-s^2);
A3=(m-s)*(1-b)*exp(-s*T)+ 2*(s+m*b)*exp(m*T)-(m+s)*(1+b)*exp(s*T);
A4=(1+b)*(r+b)*exp(s*T)-(1-b)*(r-b)*exp(-s*T);
AE=(A1/A2)*(A3/A4);

% Σχεδιάζεται το γράφημα της απόδοσης AE σε σχέση με το πάχος T.
figure(1)
```

```
plot(T,AE)
title('Absolute Efficiency YAP:Ce with Tc99m')
xlabel('Thickness (T→gr/cm2)')
ylabel('AE →μWm-2/mR')
grid
```

ε. Σχεδίαση Γραφήματος

Το τελευταίο βήμα είναι η σχεδίαση του γραφήματος της Απόλυτης Απόδοσης σε σχέση με το πάχος της οθόνης. Το γράφημα αυτό, όπως φαίνεται στην εικόνα 5, δείχνει την απόδοση του YAP: Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m σε διάφορα πάχη οθόνης, επιτρέποντας την οπτική αξιολόγηση της βέλτιστης απόδοσης.



Εικόνα 5: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή YAP: Ce με το ισότοπο Tc99m

στ. Σχολιασμός Γραφήματος

Το γράφημα παρουσιάζει την Απόλυτη Απόδοση (Absolute Efficiency) ενός σπινθηριστή YAP:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m. Η καμπύλη δείχνει μια μονότονη μείωση της απόλυτης απόδοσης, καθώς αυξάνεται το πάχος του σπινθηριστή. Αυτό συμβαίνει επειδή με την αύξηση του πάχους, η πιθανότητα απορρόφησης φωτονίων αυξάνεται, πλην όμως η πιθανότητα τα φωτόνια να φθάσουν στον αισθητήρα μειώνεται. Αυτό οδηγεί σε μειωμένη απόδοση του σπινθηριστή καθώς το πάχος του υλικού αυξάνεται, παρά την αυξημένη πιθανότητα απορρόφησης των φωτονίων στον σπινθηριστή [8.2].

Ο σπινθηριστής YAP: Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m χρησιμοποιείται για την ανίχνευση γ-ακτίνων, ιδιαίτερα στην πυρηνική ιατρική για απεικόνιση διαδικασιών όπως οι σπινθηρογραφίες, όπου το Tc-99m είναι ένα πολύ συνηθισμένο ραδιοφάρμακο. Η αποδοτικότητα του σπινθηριστή έχει άμεση σχέση με την ακρίβεια και την ευαισθησία της εξέτασης, καθώς αυτή επηρεάζει την ικανότητα του σπινθηριστή να ανιχνεύσει και να εγγράψει τις ακτίνες-γ που εκπέμπονται από το ραδιοϊσότοπο [8.4].

ζ. Συμπεράσματα για τον Σπινθηριστή ΥΑΡ: Ce με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tc99m

Από το γράφημα της απόλυτης απόδοσης σε σχέση με το πάχος της οθόνης για τον σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m συμπεραίνονται ότι:

(1) Μείωση της Απόδοσης με την Αύξηση του Πάχους

Καθώς αυξάνεται το πάχος του σπινθηριστή, η απόλυτη απόδοση μειώνεται. Αυτό δείχνει ότι η απορρόφηση των γ-ακτίνων αυξάνεται, αλλά η ικανότητα του σπινθηριστή να μεταδώσει τα σήματα στον αισθητήρα μειώνεται.

(2) Εκθετική Μείωση

Η μορφή της καμπύλης φαίνεται να είναι εκθετική, πράγμα που υποδηλώνει ότι η μείωση της απόδοσης επιταχύνεται, καθώς το πάχος πλησιάζει την μέγιστη τιμή.

(3) Βέλτιστο Πάχος για Μέγιστη Απόδοση

Η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται στο ελάχιστο πάχος ($T_{\min} = 0.01 \text{ gr/cm}^2$), και συνεχώς μειώνεται από εκείνο το σημείο. Αυτό υποδεικνύει ότι για εφαρμογές που απαιτούν τη μέγιστη απόδοση από τον σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m, προτιμάται το ελάχιστο δυνατό πάχος της οθόνης.

(4) Απώλεια Αποτελεσματικότητας σε Μεγαλύτερα Πάχη

Η σημαντική πτώση της αποδοτικότητας σε μεγαλύτερα πάχη υποδηλώνει ότι μεγάλα πάχη του σπινθηριστή μπορεί να μην είναι πρακτικά για χρήση σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια, όπως στην πυρηνική ιατρική.

(5) Συμβιβασμός Πάχους και Απόδοσης

Επιχειρήσεις ή ερευνητές που χρησιμοποιούν τον ΥΑΡ: Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m θα πρέπει να εξετάσουν τον συμβιβασμό μεταξύ πάχους και απόδοσης, ειδικά σε εφαρμογές όπου το πάχος της οθόνης μπορεί να επηρεάσει άλλες λειτουργικές παραμέτρους.

(6) Σχεδιαστικές Αποφάσεις

Για τη σχεδίαση συσκευών που χρησιμοποιούν τον ΥΑΡ:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m, αυτό το γράφημα μπορεί να είναι κρίσιμο για την απόφαση πόσο παχύ θα είναι το υλικό της οθόνης για να επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση.

Όταν το πάχος της οθόνης του ΥΑΡ: Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m, $T > 6,76 \text{ gr/cm}^2$, τότε η απόλυτη απόδοση μηδενίζεται. Αυτό συνήθως υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποιο φυσικό φράγμα ή περιορισμοί που εμποδίζουν την περαιτέρω αποδοτική λειτουργία του συστήματος σε αυτές τις συνθήκες. Οι πιθανοί λόγοι εξαιτίας των οποίων συμβαίνει αυτή η κατάσταση είναι [8.3]:

(1) Απορρόφηση των Φωτονίων

Καθώς το πάχος της οθόνης αυξάνεται, περισσότερα φωτόνια απορροφούνται ή διασκορπίζονται μέσα στο υλικό πριν φτάσουν στο σπινθηριστή. Αυτό μειώνει την αποτελεσματικότητα της συλλογής τους, καθώς τα φωτόνια χάνουν την ενέργειά τους ή αλλάζουν πορεία.

(2) **Σκέδαση Φωτός**

Σε μεγαλύτερα πάχη, το φως που εκπέμπεται από την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με το υλικό μπορεί να υπόκειται σε σκέδαση πριν φτάσει στον αισθητήρα. Αυτή η σκέδαση μπορεί να μειώσει τη συγκέντρωση του φωτός και να μειώσει την αποδοτικότητα της ενέργειας που εντοπίζεται.

(3) **Αυτοαπορρόφηση**

Όταν το υλικό γίνεται πιο παχύ, η πιθανότητα της αυτοαπορρόφησης του φωτός που έχει ήδη εκπεμφθεί από το υλικό αυξάνεται. Αυτό σημαίνει ότι μέρος του φωτός που θα έπρεπε να ανιχνευθεί από τον αισθητήρα απορροφάται εκ νέου από το ίδιο το υλικό.

(4) **Θερμικά Φαινόμενα**

Η αυξημένη πυκνότητα υλικού μπορεί επίσης να συμβάλει στην αύξηση της θερμότητας εντός της οθόνης, επηρεάζοντας την αποδοτικότητα και τη σταθερότητα των ηλεκτρονικών συστημάτων.

8.2 Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή YAP:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tl201

Στο Κεφάλαιο αυτό θα εξεταστεί η απόλυτη απόδοση του σπινθηριστή YAP:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tl201. Η απόλυτη απόδοση (ALE) αναφέρεται στην αποδοτικότητα μετατροπής της ακτινοβολίας σε φως, η οποία είναι κρίσιμη για τη βελτιστοποίηση των σπινθηριστών για εφαρμογές όπως η ακτινογραφία και η ακτινοσκόπηση. Θα περιγραφεί ο κώδικας MATLAB που κατασκευάστηκε για τον υπολογισμό αυτής της απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές παραμέτρους του συστήματος:

α. Ορισμός Παραμέτρων

Στη συνέχεια, ορίζονται οι βασικές παράμετροι του συστήματος [8.4], [8.5]:

- i. $n_c = 0.031$; η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
- ii. $t_r = 0.3$; η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
- iii. $\rho(r) = 0.9$; η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
- iv. $\beta(b) = 0.03$, ο οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
- v. $\sigma(s) = 104$; ο οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g).
- vi. $g_1 = 3451.05$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
- vii. $g_2 = 3762$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
- viii. $g_3 = 3412.6$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
- ix. $\mu(E)_i$ (m_i): για τον Tl201= 71 keV, $\mu(E)_1 = 1.29 \text{ cm}^2/\text{g}$ για YAP: Ce. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.

- x. $\mu(E)_i$ (m_i): για τον Tl201= 80 keV, $\mu(E)_2=0.95 \text{ cm}^2/\text{g}$ για ΥΑΡ: Ce. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
- xi. $\mu(E)_i$ (m_i): για τον Tl201= 167 keV, $\mu(E)_3=0.22 \text{ cm}^2/\text{g}$ για ΥΑΡ: Ce. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
- xii. $f_1=0.47$; είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.
- xiii. $f_2=0.2$, είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.
- xiv. $f_3=0.1$, είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση

Αυτές οι παράμετροι είναι κρίσιμες για τον υπολογισμό της απόδοσης, καθώς επηρεάζουν τη μετατροπή της ακτινοβολίας σε φως και την αλληλεπίδραση του φωτός με το υλικό.

β. Ορισμός Μεταβολής του Πάχους

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{\max} = 6.76$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.
- iii. Βήμα = 0.05; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}; \text{Βήμα}; T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους

Ο πίνακας T περιέχει τις τιμές του πάχους της οθόνης φωσφόρου από το ελάχιστο στο μέγιστο, με συγκεκριμένο βήμα.

γ. Εξίσωση Απόλυτης Απόδοσης

Ο μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό της απόλυτης απόδοσης (ALE) του σπινθηριστή ΥΑΡ όταν εκτίθεται σε ακτινοβολία από το ακτινοβόλο ισότοπο Tl201, δίνεται από την εξίσωση:

$$ALE = \frac{f_1 AE(m_1) + f_2 AE(m_2) + f_3 AE(m_3)}{f_1 + f_2 + f_3} \quad (11)$$

όπου κάθε $(ALE)_i$ υπολογίζεται με βάση τις εξής εξισώσεις:

$$ALE = \frac{n_c \gamma_i t_r \mu(E_i) (1 + \rho) e^{-\mu(E_i)T}}{2 (\mu(E_i)^2 - \sigma^2)} + \frac{[(\mu(E_i) - \sigma)(1 - \beta)e^{-\sigma T} + 2(\sigma + \mu(E_i)\beta)\varepsilon^{\mu(E_i)T} - (\mu(E_i) + \sigma)(1 + \beta)e^{\sigma T}]}{(1 + \beta)(\rho + \beta)e^{\sigma T} - (1 - \beta)(\rho - \beta)e^{-\sigma T}} \quad (12)$$

δ. Κατασκευή Κώδικα σε Matlab

Στην παρακάτω ενότητα, θα δημιουργήσουμε έναν κώδικα MATLAB για τον υπολογισμό της απόλυτης απόδοσης (AE) ενός σπινθηριστή ΥΑΡ. Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνει την αρχικοποίηση των απαραίτητων παραμέτρων, τον υπολογισμό της AE και την απεικόνιση της απόδοσης σε σχέση με το πάχος του σπινθηριστή. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων και τη βελτίωση των συστημάτων απεικόνισης στην ιατρική και την πυρηνική φυσική.

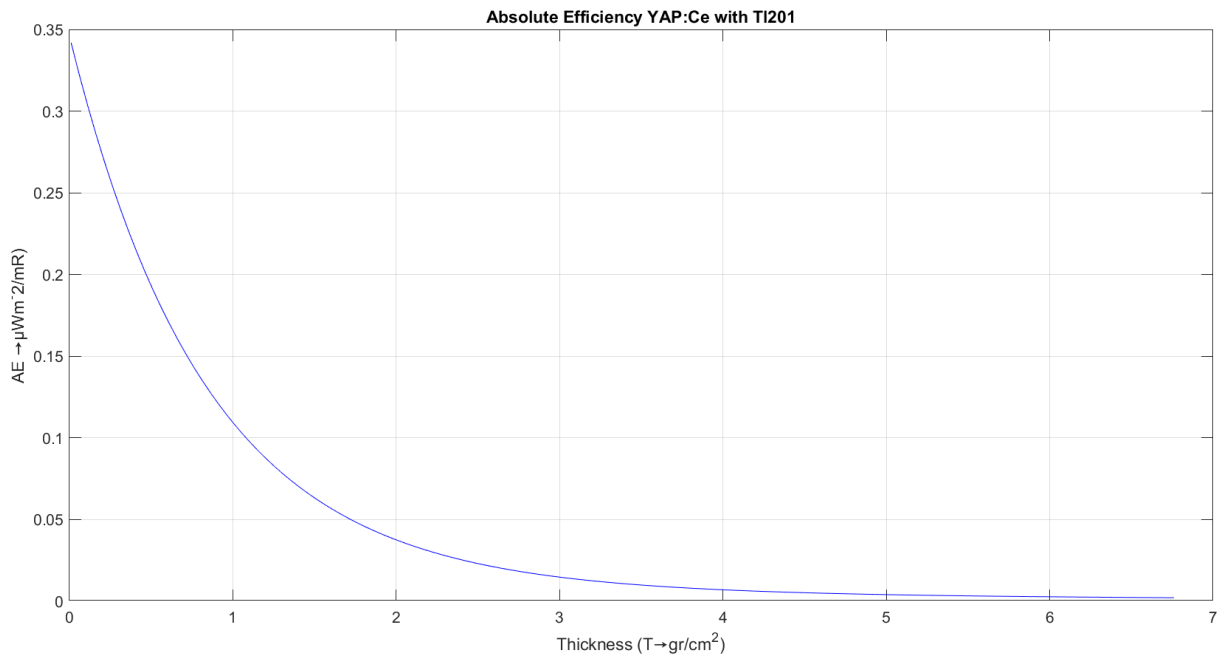
```
% Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης (AE) (Absolute Luminescence Efficiency), Σπινθηριστή
YAP:Ce με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201).
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB
clc
clear
close all
nc=0.031; % Η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
tr=0.3; % Η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
r=0.9; % Η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
b=0.03; % Οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
s=104; % Οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g)
g1=3451.05; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2, σε ρυθμό
έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s.
g2=3762; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2, σε ρυθμό έκθεσης,
μετρούμενο σε mR/s.
g3=3412.6; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2, σε ρυθμό
έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s.
m1=1.29; % Tl201= 71 keV, μ(E)=1.29 cm^2/g για YAP: Ce. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας
των ακτίνων X.
m2=0.95; % Tl201= 80 keV, μ(E)=0.95 cm^2/g για YAP: Ce. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας
των ακτίνων X.
m3=0.22; % Tl201= 167 keV, μ(E)=0.22 cm^2/g για YAP: Ce. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας
των ακτίνων X.
f1=0.47;
f2=0.2;
f3=0.1;

Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm^2)
Tmax=6.76; % Μεταβολή T (gr/cm^2), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.
BHMA=0.05; % 0.05 gr/cm^2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin
έως Tmax, με βήμα
T=(Tmin:BHMA:Tmax);

% Υπολογίζεται την απόδοση AE με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.
AE1=((nc*g1*tr*m1*(1+r)*exp(-m1*T))/(2*(m1^2-s^2))*(((m1-s)*(1-b)*exp(-s*T)+
2*(s+m1*b)*exp(m1*T)-(m1+s)*(1+b)*exp(s*T))/((1+b)*(r+b)*exp(s*T)-(1-b)*(r-b)*exp(-s*T)));
AE2=((nc*g2*tr*m2*(1+r)*exp(-m2*T))/(2*(m2^2-s^2))*(((m2-s)*(1-b)*exp(-s*T)+
2*(s+m2*b)*exp(m2*T)-(m2+s)*(1+b)*exp(s*T))/((1+b)*(r+b)*exp(s*T)-(1-b)*(r-b)*exp(-s*T)));
AE3=((nc*g3*tr*m3*(1+r)*exp(-m3*T))/(2*(m3^2-s^2))*(((m3-s)*(1-b)*exp(-s*T)+
2*(s+m3*b)*exp(m3*T)-(m3+s)*(1+b)*exp(s*T))/((1+b)*(r+b)*exp(s*T)-(1-b)*(r-b)*exp(-s*T)));
AE=(f1*AE1+f2*AE2+f3*AE3)/(f1+f2+f3);
% Σχεδιάζεται το γράφημα της απόδοσης AE σε σχέση με το πάχος T.
figure(1)
plot(T,AE,'b')
title('Absolute Efficiency YAP:Ce with Tl201')
xlabel('Thickness (T→gr/cm^2)')
ylabel('AE →μWm^-2/mR')
grid
```

ε. Σχεδίαση Γραφήματος

Το τελευταίο βήμα είναι η σχεδίαση του γραφήματος της Απόλυτης Απόδοσης σε σχέση με το πάχος της οθόνης. Το γράφημα αυτό, όπως φαίνεται στην εικόνα 6, δείχνει την απόδοση του σπινθηριστή YAP:Ce με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201 σε διάφορα πάχη οθόνης. Το γράφημα θα βοηθήσει για την κατανόηση πώς η απόδοση του σπινθηριστή αλλάζει με διαφορετικά πάχη, και έτσι να εντοπίσουμε το βέλτιστο πάχος για μέγιστη απόδοση.



Εικόνα 6: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή YAP: Ce με τη χρήση του ισότοπου Tl201

στ. Σχολιασμός Γραφήματος

Το γράφημα παρουσιάζει την Απόλυτη Απόδοση (Absolute Efficiency) ενός σπινθηριστή YAP: Ce με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201. Διαπιστώνονται τα εξής:

1. Μείωση της Απόλυτης Απόδοσης με το πάχος

Το διάγραμμα δείχνει ότι η απόλυτη απόδοση μειώνεται εκθετικά καθώς αυξάνεται το πάχος του σπινθηριστή. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του σπινθηριστή, τόσο λιγότερη ακτινοβολία ανιχνεύεται.

2. Εκθετική φύση της μείωσης

Η καμπύλη έχει εκθετική μορφή, που είναι χαρακτηριστική της απορρόφησης ακτινοβολίας σε υλικό. Αυτό υποδεικνύει ότι ένα μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται ή διασκορπίζεται προτού φτάσει στην πίσω πλευρά του σπινθηριστή.

3. Σχεδόν μηδενική απόδοση σε μεγάλα πάχη

Για πάχη μεγαλύτερα των 5 mm, η απόλυτη απόδοση πλησιάζει το μηδέν. Αυτό δείχνει ότι η χρήση πολύ παχών σπινθηριστών δεν είναι αποτελεσματική για την ανίχνευση ακτινοβολίας Tl201, καθώς σχεδόν όλη η ακτινοβολία απορροφάται εντός του υλικού.

Η αποδοτικότητα του σπινθηριστή YAP με το ισότοπο Tl201 είναι καλύτερη σε μικρά πάχη. Καθώς το πάχος αυξάνεται, η απόδοση μειώνεται δραστικά λόγω της αυξημένης

απορρόφησης και διασποράς της ακτινοβολίας εντός του σπινθηριστή. Για βέλτιστη ανίχνευση ακτινοβολίας, θα πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο πάχος σπινθηριστή που ισορροπεί την αποδοτικότητα με την αναγκαία ανίχνευση [8.7].

Εκτός από τα προφανή συμπεράσματα που προαναφέρθηκαν, μπορούν να εξαχθούν και άλλες χρήσιμες πληροφορίες από το διάγραμμα της Απόλυτης Απόδοσης του σπινθηριστή YAP:Ce με το ισότοπο Tl201:

1. Βελτιστοποίηση Πάχους για Συγκεκριμένες Εφαρμογές

Η καμπύλη υποδεικνύει ότι υπάρχει ένα βέλτιστο πάχος που πρέπει να επιλέγεται ανάλογα με την εφαρμογή. Για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ευαισθησία, θα πρέπει να χρησιμοποιείται λεπτός σπινθηριστής.

2. Προγραμματισμός Συσκευών Ανίχνευσης

Οι μηχανικοί που σχεδιάζουν συστήματα ανίχνευσης μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή την πληροφορία για να προγραμματίσουν και να βελτιστοποιήσουν τις συσκευές ανίχνευσης ακτινοβολίας Tl201, διασφαλίζοντας την καλύτερη δυνατή απόδοση [8.9].

3. Κόστος και Υλικά

Χρησιμοποιώντας λεπτότερα υλικά, μπορεί να μειωθεί το κόστος παραγωγής των ανιχνευτών, χωρίς να θυσιάζεται η απόδοσή τους. Αυτό είναι σημαντικό για την εμπορική βιωσιμότητα των συσκευών.

4. Αναγκαία Διόρθωση Δεδομένων

Σε πειραματικές μετρήσεις, η μείωση της αποδοτικότητας με το πάχος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τη διόρθωση των δεδομένων που συλλέγονται, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα [8.5].

5. Μελέτες Απορρόφησης Ακτινοβολίας

Η εκθετική μείωση της απόδοσης παρέχει πληροφορίες για τη φύση της απορρόφησης της ακτινοβολίας μέσα στον σπινθηριστή. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω μελέτες της αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με τα υλικά.

6. Αντίσταση σε Διάφορες Ενεργειακές Κλίμακες

Η απόδοση του σπινθηριστή σε σχέση με το πάχος μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με την ενέργεια της ακτινοβολίας. Μπορεί να απαιτηθεί ανάλυση και για άλλα ισότοπα ή ενεργειακές κλίμακες για τη γενική κατανόηση της απόδοσης του σπινθηριστή [8.6].

7. Κατανομή Σπινθηριστών

Για πειράματα ή συστήματα ανίχνευσης όπου χρησιμοποιούνται πολλοί σπινθηριστές, η απόδοση κάθε σπινθηριστή πρέπει να υπολογίζεται με ακρίβεια για να εξασφαλιστεί η σωστή κατανομή και τοποθέτηση των σπινθηριστών.

Αυτά τα συμπεράσματα μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση και βελτιστοποίηση της χρήσης των σπινθηριστών YAP σε ποικίλες εφαρμογές και μελέτες ακτινοβολίας.

Όταν το πάχος της οθόνης του σπινθηριστή του σπινθηριστή YAP:Ce με το ισότοπο Tl201, $T > 6,76 \text{ gr/cm}^2$, τότε η απόλυτη απόδοση μηδενίζεται. Αυτό συνήθως υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποιο φυσικό φράγμα ή περιορισμοί που εμποδίζουν την περαιτέρω αποδοτική λειτουργία

του συστήματος σε αυτές τις συνθήκες. Οι πιθανοί λόγοι εξαιτίας των οποίων συμβαίνει αυτή η κατάσταση είναι [8.10], [8.11], [8.12]:

1. Αυξημένη Απορρόφηση Ακτινοβολίας

Σε πολύ μεγάλα πάχη, η απορρόφηση της ακτινοβολίας από το υλικό του σπινθηριστή μπορεί να είναι τόσο υψηλή που ελάχιστη έως καθόλου ακτινοβολία φτάνει στην πίσω πλευρά του σπινθηριστή για ανίχνευση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένες εκτιμήσεις ή μαθηματικά απροσδιόριστες τιμές στην απόδοση.

2. Αυξημένη Επαναδιέγερση

Με την αύξηση του πάχους, η επαναδιέγερση των φωτονίων μέσα στο σπινθηριστή μπορεί να προκαλεί διάχυση και απορρόφηση της ακτινοβολίας, μειώνοντας σημαντικά την αποτελεσματική ανίχνευση.

3. Κορεσμός του Σπινθηριστή

Ο σπινθηριστής μπορεί να φτάσει σε ένα σημείο κορεσμού, όπου δεν μπορεί να απορροφήσει επιπλέον ακτινοβολία αποτελεσματικά. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικές εκτιμήσεις της απόδοσης.

4. Μη Γραμμική Απορρόφηση

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας μπορεί να μην είναι γραμμική σε μεγάλα πάχη, και οι απλοποιημένες εξισώσεις ή τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την απόδοση μπορεί να μην είναι επαρκή για να περιγράψουν τη συμπεριφορά σε αυτά τα πάχη.

5. Θερμικές Επιπτώσεις

Η αυξημένη πυκνότητα του υλικού σε συνδυασμό με την απορρόφηση της ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει θερμικές επιπτώσεις, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του σπινθηριστή.

6. Περιορισμοί Συστήματος Ανίχνευσης

Ο εξοπλισμός ανίχνευσης μπορεί να έχει περιορισμούς στην ικανότητα ανίχνευσης της ακτινοβολίας σε πολύ μεγάλα πάχη, με αποτέλεσμα η μέτρηση να γίνεται μη ρεαλιστική ή ανακριβής.

Η κατάσταση όπου η απόλυτη απόδοση μηδενίζεται για πάχη μεγαλύτερα από 6,76 gr/cm² πιθανότατα υποδηλώνει φυσικούς ή τεχνικούς περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων ανίχνευσης ακτινοβολίας με σπινθηριστές.

9. Απόλυτη Απόδοση (Absolute Luminescence Efficiency) Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ραδιενεργό Ισότοπο $Tc99m$ και $Tl201$

9.1 Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ραδιενεργό ισότοπο $Tc99m$

Ο υπολογισμός της Απόλυτης Απόδοσης (ΑΕ) για τον σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου $Tc99m$ είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων απεικόνισης. Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγράψουμε τον κώδικα MATLAB που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό αυτής της απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές παραμέτρους του συστήματος:

α. Ορισμός Παραμέτρων

Στη συνέχεια, ορίζονται οι βασικές παράμετροι του συστήματος [9.1], [9.2]:

- i. $n_c = 0.20$; η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
- ii. $t_r = 0.3$; η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
- iii. $r = 0.8$; η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
- iv. $b = 0.03$, ο οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
- v. $s = 30$; ο οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g).
- vi. $g = 3560$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής σε ρυθμό έκθεσης.
- vii. $m = 1.097$; ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X για $Gd_2O_2S:Tb$.

Αυτές οι παράμετροι είναι κρίσιμες για τον υπολογισμό της απόδοσης, καθώς επηρεάζουν τη μετατροπή της ακτινοβολίας σε φως και την αλληλεπίδραση του φωτός με το υλικό.

β. Ορισμός Μεταβολής του Πάχους

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{max} = 23.559$ το μέγιστο πάχος (gr/cm^2)
- iii. Βήμα = 0.05; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{min}:Bήμα:T_{max})$, ο πίνακας τιμών πάχους

Ο πίνακας T περιέχει τις τιμές του πάχους της οθόνης φωσφόρου από το ελάχιστο στο μέγιστο, με συγκεκριμένο βήμα.

γ. Εξίσωση Απόλυτης Απόδοσης

$$ALE = \frac{n_c \gamma_i t_r \mu(E_i)(1 + \rho)e^{-\mu(E_i)T}}{2(\mu(E_i)^2 - \sigma^2)} + \frac{[(\mu(E_i) - \sigma)(1 - \beta)e^{-\sigma T} + 2(\sigma + \mu(E_i)\beta)e^{\mu(E_i)T} - (\mu(E_i) + \sigma)(1 + \beta)e^{\sigma T}]}{(1 + \beta)(\rho + \beta)e^{\sigma T} - (1 - \beta)(\rho - \beta)e^{-\sigma T}} \quad (13)$$

όπου:

1. $\mu(E)$ [m] είναι ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X για $Gd_2O_2S:Tb$. $Tc99m=141keV$, $\mu(E)=1.097 \text{ cm}^2/g$, $d = 7.44 \text{ g/cm}^3$
2. σ (s) είναι ο οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός (σε cm^2/g). Για $Gd_2O_2S:Tb$ $Tc99m$, $\sigma=30 \text{ cm}^2/g$.
3. T είναι το πάχος της οθόνης φωσφόρου (σε gr/cm^2).

δ. Κατασκευή Κώδικα σε Matlab

Με τον παρακάτω κώδικα MATLAB, υπολογίζεται και παρουσιάζεται η Απόλυτη Απόδοση ενός σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ακτινοβόλο ισότοπο $Tc99m$. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντική για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων και τη βελτίωση των συστημάτων απεικόνισης στην ιατρική και την πυρηνική φυσική.

```
% Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης (AE) (Absolute Luminescence Efficiency), Σπινθηριστή
Gd2O2S:Tb με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB
clc
clear
close all

nc=0.2; % Η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
tr=0.3; % Η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
r=0.8; % Η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
b=0.03; % Οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
s=30; % Οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g)
g=3560; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2, σε ρυθμό έκθεσης,
μετρούμενο σε mR/s.
m=1.097; % Tc 99m= 141 keV, μ(E)=1.097 cm^2/g για Gd2O2S:Tb. Συντελεστής απορρόφησης
ενέργειας των ακτίνων X.
Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm^2)
Tmax=23.51; % Μεταβολή T (gr/cm^2), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.

% Tmax=200;
BHMA=0.05; % 0.05 gr/cm^2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin
έως Tmax, με βήμα
T=(Tmin:BHMA:Tmax);

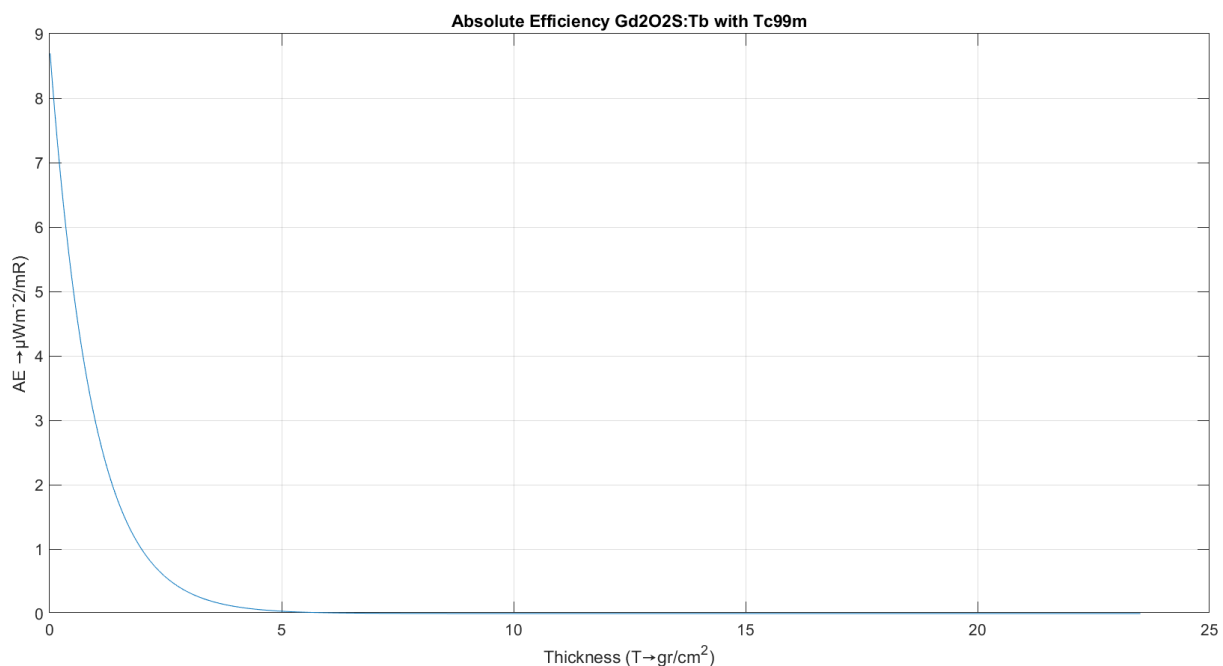
% Υπολογίζεται την απόδοση AE με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.
A1=nc*g*tr*m*(1+r)*exp(-m*T);
A2=2*(m^2-s^2);
A3=(m-s)*(1-b)*exp(-s*T)+2*(s+m*b)*exp(m*T)-(m+s)*(1+b)*exp(s*T);
A4=(1+b)*(r+b)*exp(s*T)-(1-b)*(r-b)*exp(-s*T);
AE=(A1/A2)*(A3/A4);
```

% Σχεδιάζεται το γράφημα της απόδοσης ΑΕ σε σχέση με το πάχος T.

```
figure(1)  
plot(T,AE)  
title('Absolute Efficiency Gd2O2S:Tb with Tc99m')  
xlabel('Thickness (T→gr/cm^2)')  
ylabel('AE →μWm^-2/mR')  
grid
```

ε. Σχεδίαση Γραφήματος

Το τελευταίο βήμα είναι η σχεδίαση του γραφήματος της Απόλυτης Απόδοσης σε σχέση με το πάχος της οθόνης. Το γράφημα αυτό, όπως φαίνεται στην εικόνα 7, δείχνει την απόδοση του σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb σε διάφορα πάχη οθόνης, επιτρέποντας την οπτική αξιολόγηση της βέλτιστης απόδοσης.



Εικόνα 7: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tc99m

στ. Σχολιασμός Γραφήματος

Παρατηρώντας το γράφημα παρουσιάζεται η απόλυτη απόδοση (ΑΕ) του σπινθηριστή Gd₂O₂S όταν χρησιμοποιείται με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc-99m, σε σχέση με το πάχος του σπινθηριστή.

Από το γράφημα φαίνεται ότι η απόλυτη απόδοση μειώνεται δραματικά καθώς αυξάνεται το πάχος του σπινθηριστή, ιδίως στις 5 πρώτες μονάδες. Μετά τις 5 μονάδες, η μείωση της απόδοσης φαίνεται να σταθεροποιείται και προσεγγίζει μια σχεδόν οριζόντια τάση.

Η σημαντική πτώση της απόδοσης στις πρώτες μονάδες του πάχους μπορεί να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα της αυξημένης απορρόφησης της ακτινοβολίας από τον σπινθηριστή, που μειώνει την πιθανότητα των σπινθέρων να φτάσουν στην επιφάνεια ανίχνευσης.

Αυτό το γράφημα είναι χρήσιμο για τον σχεδιασμό των συσκευών ανίχνευσης, καθώς βοηθά στην κατανόηση πως το πάχος του σπινθηριστή επηρεάζει την απόδοσή τους σε συγκεκριμένες εφαρμογές, επιτρέποντας την επιλογή του ιδανικού πάχους για μέγιστη αποδοτικότητα.

ζ. Συμπεράσματα για τον Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ραδιενεργό ισότοπο $Tc-99m$

Από το γράφημα της απόλυτης απόδοσης του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ όταν χρησιμοποιείται με το ακτινοβόλο ισότοπο $Tc-99m$, προκύπτουν τα εξής σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση του πάχους της οθόνης [9.3], [9.4]:

(1) Ταχεία Μείωση της Απόδοσης

Η απόδοση του σπινθηριστή μειώνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται το πάχος, ιδίως κατά τις 5 πρώτες μονάδες της οθόνης. Αυτό υποδεικνύει ότι η απορρόφηση των φωτονίων εντός του υλικού είναι αρκετά έντονη, περιορίζοντας την αποτελεσματική μετάδοση της ακτινοβολίας προς την επιφάνεια ανίχνευσης.

(2) Σταθεροποίηση της Απόδοσης

Μετά τις 5 πρώτες μονάδες, η απόδοση φαίνεται να πλησιάζει μια σταθερή τιμή, υποδεικνύοντας ότι το μεγαλύτερο μέρος της απώλειας ενέργειας έχει ήδη συμβεί και η πρόσθετη αύξηση του πάχους δεν οδηγεί σε σημαντική μεταβολή της απόδοσης.

(3) Επιλογή Βέλτιστου Πάχους

Η γνώση της επίδρασης του πάχους στην απόδοση είναι κρίσιμη για την επιλογή του ιδανικού πάχους του σπινθηριστή. Ένα πολύ λεπτό σπινθηριστή μπορεί να μην είναι αποτελεσματικός για ορισμένες εφαρμογές, ενώ ένα πιο παχύ υλικό μπορεί να μην προσφέρει ουσιαστικά πλεονεκτήματα από ένα σημείο και πέρα.

(4) Σχεδιασμός Συσκευών

Η επιλογή του βέλτιστου πάχους του σπινθηριστή είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό αποδοτικών συσκευών ανίχνευσης ακτινοβολίας. Η βελτιστοποίηση του πάχους μπορεί να μεγιστοποιήσει την απόδοση της συσκευής και να εξασφαλίσει την υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία της ανίχνευσης.

Η κατανόηση των προαναφερθέντων στοιχείων επιτρέπει την καλύτερη εφαρμογή του συγκεκριμένου σπινθηριστή σε διάφορες ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της ακτινογραφίας ή άλλων ανιχνευτικών τεχνικών.

Όταν το πάχος της οθόνης του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$, $T > 23.51 \text{ gr/cm}^2$, τότε η απόλυτη απόδοση μηδενίζεται. Αυτό συνήθως υποδηλώνει ότι υπάρχουν αρκετοί πιθανοί φυσικοί περιορισμοί ή φαινόμενα που εμποδίζουν την περαιτέρω αποδοτική λειτουργία του συστήματος σε αυτές τις συνθήκες. Οι πιθανοί λόγοι εξαιτίας των οποίων συμβαίνει αυτή η κατάσταση είναι [9.5]:

1. Κορεσμός της Ανίχνευσης

Καθώς το πάχος της οθόνης αυξάνεται, μπορεί να φτάσουμε σε ένα σημείο όπου οι σπινθήρες που παράγονται είναι τόσο πολλοί που η συσκευή ανίχνευσης δεν μπορεί να τους διακρίνει ξεχωριστά. Αυτό οδηγεί σε κορεσμό του συστήματος ανίχνευσης.

2. Αυξημένη Απορρόφηση Φωτονίων

Σε μεγαλύτερα πάχη, η απορρόφηση των φωτονίων από το ίδιο το υλικό του σπινθηριστή γίνεται τόσο αποτελεσματική που ένας σημαντικός αριθμός φωτονίων δεν φτάνει ποτέ στην επιφάνεια ανίχνευσης.

3. **Εξασθένηση της Ακτινοβολίας**

Με την αύξηση του πάχους, η εξασθένηση της ακτινοβολίας στο εσωτερικό της οθόνης μπορεί να γίνει τόσο σημαντική που να μειώνει δραματικά την αποτελεσματικότητα της ανίχνευσης.

4. **Θερμικοί Περιορισμοί**

Σε περιπτώσεις όπου τα επίπεδα ακτινοβολίας είναι υψηλά, η θερμοκρασία μέσα στο υλικό μπορεί να αυξηθεί σε βαθμό που να επηρεάζει τη σταθερότητα του υλικού ή την αποδοτικότητα του σπινθηρισμού.

5. **Ανταγωνιστικές Διεργασίες Απορρόφησης**

Με την αύξηση του πάχους, άλλες φυσικές διεργασίες όπως η σκέδαση Compton μπορεί να γίνουν πιο σημαντικές, απορροφώντας ή αλλοιώνοντας την ακτινοβολία που θα μετρούσε ο σπινθηριστής.

Καθένα από αυτά τα φαινόμενα μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του σπινθηριστή και να περιορίσει την αποδοτική λειτουργία του συστήματος σε υψηλότερα παχύνσεις, πράγμα που είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό και τη χρήση τέτοιων συστημάτων.

9.2 Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ραδιενεργό ισότοπο $Tl201$

Στο Κεφάλαιο αυτό θα εξεταστεί η απόλυτη απόδοση του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ακτινοβόλο ισότοπο $Tl201$. Η απόλυτη απόδοση (Absolute Efficiency, AE) ενός σπινθηριστή όπως το $Gd_2O_2S:Tb$ με το ακτινοβόλο ισότοπο $Tl201$ μπορεί να υπολογιστεί μέσω ενός MATLAB κώδικα, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις βασικές παραμέτρους του συστήματος. Θα περιγραφεί ο κώδικας MATLAB που κατασκευάστηκε για τον υπολογισμό αυτής της απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές παραμέτρους του συστήματος:

α. Ορισμός Παραμέτρων

Στη συνέχεια, ορίζονται οι βασικές παράμετροι του συστήματος:

- i. $n_c = 0.2$, η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
- ii. $t_r = 0.3$, η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
- iii. $\rho(r) = 0.8$, η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
- iv. $\beta(b) = 0.03$, ο οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
- v. $\sigma(s) = 30$; ο οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g).
- vi. $g_1=3451.05$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
- vii. $g_2=3762$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
- viii. $g_3=3412.6$; ο συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
- ix. $\mu(E)_i$ (m_i): $m_1=6.36$, για τον $Tl201= 71$ keV, $\mu(E)_1=6.36$ cm^2/g για $Gd_2O_2S:Tb$. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
- x. $\mu(E)_i$ (m_i): $m_2=4.69$, για τον $Tl201= 80$ keV, $\mu(E)_2=4.69$ cm^2/g για $Gd_2O_2S:Tb$. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
- xi. $\mu(E)_i$ (m_i): $m_3=0.74$; για τον $Tl201= 167$ keV, $\mu(E)_3=0.74$ cm^2/g $Gd_2O_2S:Tb$. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
- xii. $f_1=0.47$; είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.
- xiii. $f_2=0.2$, είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.
- xiv. $f_3=0.1$, είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.

Αυτές οι παράμετροι είναι κρίσιμες για τον υπολογισμό της απόδοσης, καθώς επηρεάζουν τη μετατροπή της ακτινοβολίας σε φως και την αλληλεπίδραση του φωτός με το υλικό.

β. Ορισμός Μεταβολής του Πάχους

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{\max} = 23.51$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.
- iii. Βήμα = 0.05; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}; \text{Βήμα}; T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους

Ο πίνακας T περιέχει τις τιμές του πάχους της οθόνης φωσφόρου από το ελάχιστο στο μέγιστο, με συγκεκριμένο βήμα.

γ. Εξίσωση Απόλυτης Απόδοσης

Ο μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό της απόλυτης απόδοσης (AE) του σπινθηριστή $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ όταν εκτίθεται σε ακτινοβολία από το ακτινοβόλο ισότοπο Tl_201 , δίνεται από την εξίσωση:

$$ALE = \frac{f_1 AE (m_1) + f_2 AE (m_2) + f_3 AE (m_3)}{f_1 + f_2 + f_3} \quad (14)$$

όπου κάθε $(ALE)_i$ υπολογίζεται με βάση τις εξής εξισώσεις:

$$ALE = \frac{n_c \gamma_i t_r \mu(E_i) (1 + \rho) e^{-\mu(E_i)T}}{2 (\mu(E_i)^2 - \sigma^2)} + \frac{[(\mu(E_i) - \sigma)(1 - \beta)e^{-\sigma T} + 2(\sigma + \mu(E_i)\beta)\varepsilon^{\mu(E_i)T} - (\mu(E_i) + \sigma)(1 + \beta)e^{\sigma T}]}{(1 + \beta)(\rho + \beta)e^{\sigma T} - (1 - \beta)(\rho - \beta)e^{-\sigma T}} \quad (15)$$

δ. Κατασκευή Κώδικα σε Matlab

Η παρακάτω ενότητα περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν κώδικα MATLAB για τον υπολογισμό της ALE ενός σπινθηριστή $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$, λαμβάνοντας υπόψη το πάχος του σπινθηριστή. Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνει την αρχικοποίηση των απαραίτητων παραμέτρων, τον υπολογισμό της AE και την απεικόνιση της απόδοσης σε σχέση με το πάχος του σπινθηριστή.

```
% Υπολογισμός Απόλυτης απόδοσης (AE) (Absolute Luminescence Efficiency), Σπινθηριστή
Gd2O2S:Tb με τον ακτινοβόλο ισότοπο Tl201)
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB

clc
clear
close all

nc=0.2; % Η εγγενής αποδοτικότητα μετατροπής των ακτίνων X σε φως.
tr=0.3; % Η διαφάνεια του υποστρώματος της οθόνης φωσφόρου.
r=0.8; % Η ανακλαστικότητα της βάσης της οθόνης.
```

$b=0.03$; % Οπτικός συντελεστής β για διάχυση και ανάκλαση του φωτός.
 $s=30$; % Οπτικός συντελεστής για απορρόφηση του φωτός σ (cm^2/g)
 $g1=3451.05$; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
 $g2=3762$; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
 $g3=3412$; % Συντελεστής μετατροπής ενεργειακής εισροής, μετρούμενη σε W/m^2 , σε ρυθμό έκθεσης, μετρούμενο σε mR/s .
 $m1=6.36$; % $\text{Tl}201= 71 \text{ keV}$, $\mu(E)=6.36 \text{ cm}^2/\text{g}$ για $\text{Gd}2\text{O}2\text{S:Tb}$. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
 $m2=4.69$; % $\text{Tl}201= 80 \text{ keV}$, $\mu(E)=4.69 \text{ cm}^2/\text{g}$ για $\text{Gd}2\text{O}2\text{S:Tb}$. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
 $m3=0.74$; % $\text{Tl}201= 167 \text{ keV}$, $\mu(E)=0.74 \text{ cm}^2/\text{g}$ για $\text{Gd}2\text{O}2\text{S:Tb}$. Συντελεστής απορρόφησης ενέργειας των ακτίνων X.
 $f1=0.47$;
 $f2=0.2$;
 $f3=0.1$;

$T_{\min}=0.01$; % Μεταβολή T (gr/cm^2)

$T_{\max}=23.51$; % Μεταβολή T (gr/cm^2), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.

$\text{BHMA}=0.05$; % $0.05 \text{ gr}/\text{cm}^2$. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από T_{\min} έως T_{\max} , με βήμα

$T=(T_{\min}:\text{BHMA}:T_{\max})$;

% Υπολογίζεται την απόδοση AE με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.

$\text{AE}1=((nc * g1 * tr * m1 * (1+r) * \exp(-m1 * T)) / (2 * (m1^2 - s^2))) * (((m1 - s) * (1 - b) * \exp(-s * T) + 2 * (s + m1 * b) * \exp(m1 * T) - (m1 + s) * (1 + b) * \exp(s * T)) / ((1 + b) * (r + b) * \exp(s * T) - (1 - b) * (r - b) * \exp(-s * T)))$;
 $\text{AE}2=((nc * g2 * tr * m2 * (1+r) * \exp(-m2 * T)) / (2 * (m2^2 - s^2))) * (((m2 - s) * (1 - b) * \exp(-s * T) + 2 * (s + m2 * b) * \exp(m2 * T) - (m2 + s) * (1 + b) * \exp(s * T)) / ((1 + b) * (r + b) * \exp(s * T) - (1 - b) * (r - b) * \exp(-s * T)))$;
 $\text{AE}3=((nc * g3 * tr * m3 * (1+r) * \exp(-m3 * T)) / (2 * (m3^2 - s^2))) * (((m3 - s) * (1 - b) * \exp(-s * T) + 2 * (s + m3 * b) * \exp(m3 * T) - (m3 + s) * (1 + b) * \exp(s * T)) / ((1 + b) * (r + b) * \exp(s * T) - (1 - b) * (r - b) * \exp(-s * T)))$;
 $\text{AE}=(f1 * \text{AE}1 + f2 * \text{AE}2 + f3 * \text{AE}3) / (f1 + f2 + f3)$;

% Σχεδιάζεται το γράφημα της απόδοσης AE σε σχέση με το πάχος T .

figure(1)

plot(T,AE,'b')

title('Absolute Efficiency Gd2O2S:Tb with Tl201')

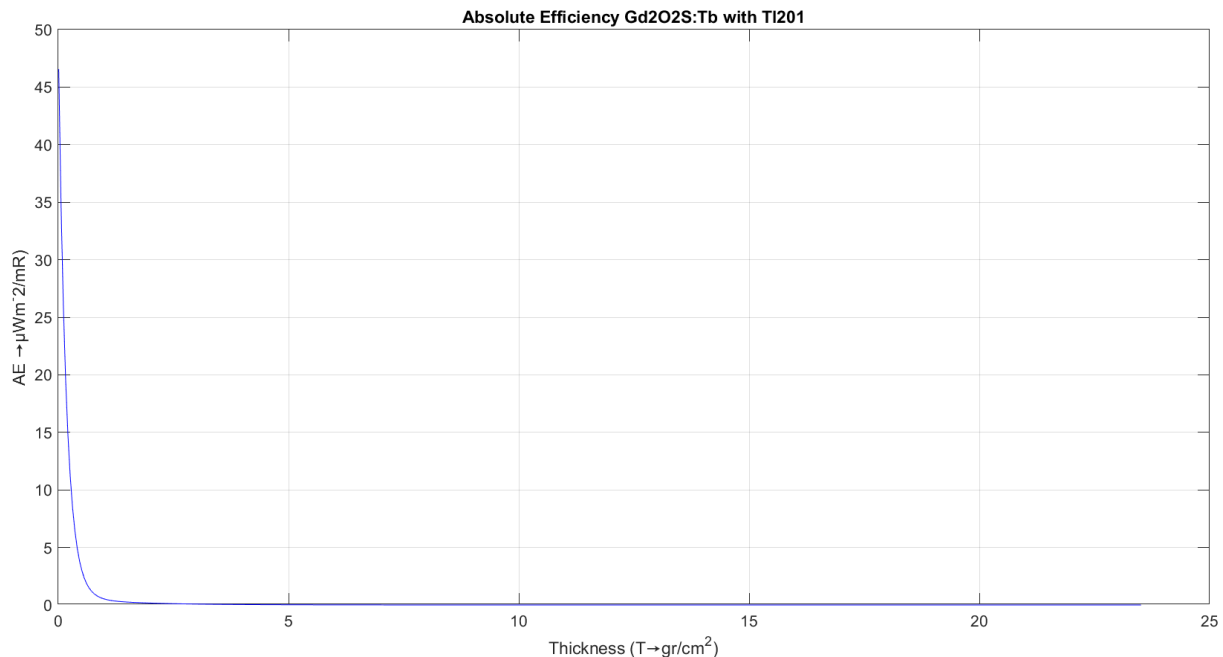
xlabel('Thickness (T → gr/cm²)')

ylabel('AE → μWm⁻²/mR')

grid

ε. Σχεδίαση Γραφήματος

Το τελευταίο βήμα είναι η σχεδίαση του γραφήματος της ALE σε σχέση με το πάχος της οθόνης. Το γράφημα αυτό, όπως φαίνεται στην εικόνα 8, δείχνει την απόδοση του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου $Tl201$ σε διάφορα πάχη οθόνης. Το γράφημα θα βοηθήσει για την κατανόηση πώς η απόδοση του σπινθηριστή αλλάζει με διαφορετικά πάχη, και έτσι να εντοπίσουμε το βέλτιστο πάχος για μέγιστη απόδοση.



Εικόνα 8: Γράφημα Απόλυτης Απόδοσης του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με τη χρήση του ισότοπου $Tl201$

στ. Σχολιασμός Γραφήματος

Το γράφημα παρουσιάζει την Απόλυτη Απόδοση (Absolute Efficiency) ενός σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου $Tl201$, ως συνάρτηση του πάχους. Βάσει του γραφήματος, μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

1. Τάση Απόδοσης

Η ALE μειώνεται απότομα καθώς το πάχος αυξάνεται από 0 έως περίπου 5 μονάδες. Μετά από αυτήν την αρχική μείωση, η ALE συνεχίζει να μειώνεται, αλλά με πολύ πιο αργό ρυθμό, προσεγγίζοντας το μηδέν καθώς το πάχος φτάνει τις 25 μονάδες.

2. Τιμές Απόδοσης

Η μέγιστη ALE είναι κοντά στις 50 μονάδες σε πάχος 0, και πέφτει κάτω από τις 5 μονάδες όταν το πάχος φτάνει τις 5 μονάδες.

3. Συμπεριφορά σε Μεγαλύτερα Πάχη

Πέρα από τις 5 μονάδες πάχους, η ALE παραμένει πολύ χαμηλή και σχεδόν σταθερή, κοντά στο μηδέν.

Αυτές οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι η απόδοση του σπινθηριστή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στο πάχος, με τη μέγιστη απόδοση να επιτυγχάνεται σε ελάχιστο πάχος και να μειώνεται γρήγορα καθώς το πάχος αυξάνεται [9.5].

Εκτός από τα προφανή συμπεράσματα που προαναφέρθηκαν, μπορούν να εξαχθούν και άλλες χρήσιμες πληροφορίες από το διάγραμμα της ALE του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ισότοπο $Tl201$:

1. Βέλτιστο Πάχος

Το διάγραμμα δείχνει ότι το βέλτιστο πάχος για μέγιστη απόδοση είναι πολύ μικρό. Οποιοδήποτε πάχος πέρα από τις 2-3 μονάδες οδηγεί σε σημαντική μείωση της απόδοσης, υποδεικνύοντας ότι για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή απόδοση, το πάχος του σπινθηριστή πρέπει να διατηρείται στο ελάχιστο [9.7].

2. Σχεδιαστικές Παραδοχές

Η έντονη μείωση της απόδοσης με την αύξηση του πάχους υποδηλώνει ότι υπάρχει μεγάλη απορρόφηση ή σκέδαση της ακτινοβολίας εντός του υλικού. Αυτό μπορεί να καθοδηγήσει σχεδιαστικές παραδοχές για τη βελτίωση της διαφάνειας ή τη μείωση της πυκνότητας του σπινθηριστή [9.9].

3. Επίδραση της Απόδοσης Φωταύγειας

Η δραματική μείωση της ΑΕ μπορεί να αποδοθεί στη μείωση της φωτονικής αποδοτικότητας με την αύξηση του πάχους, καθώς οι φωτόνια που παράγονται βαθύτερα στο υλικό έχουν μικρότερη πιθανότητα να διαφύγουν. Αυτό υποδεικνύει ότι για υψηλή απόδοση, είναι σημαντική η βελτιστοποίηση της φωτονικής απόδοσης [9.6], [9.9].

4. Εφαρμογές σε Ιατρική Απεικόνιση

Σε εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης, κατά τη χρήση του $Tl201$ για τομογραφίες εκπομπής ποζιτρονίων (PET), είναι κρίσιμο να επιλέγεται ο κατάλληλος σπινθηριστής με το κατάλληλο πάχος για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή απεικονιστική απόδοση και ανάλυση [9.8].

Συνοψίζοντας, το διάγραμμα προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για τον βέλτιστο σχεδιασμό και τη χρήση του σπινθηριστή Gd_2O_2S με το ισότοπο $Tl201$, που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση των αποδόσεων και της αποτελεσματικότητας σε διάφορες εφαρμογές.

Όταν το πάχος της οθόνης του σπινθηριστή Gd_2O_2S με το ισότοπο $Tl201$, $T > 23,51$ gr/cm², τότε η απόλυτη απόδοση μηδενίζεται. Αυτό συνήθως υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποιο φυσικό φράγμα ή περιορισμοί που εμποδίζουν την περαιτέρω αποδοτική λειτουργία του συστήματος σε αυτές τις συνθήκες. Οι πιθανοί λόγοι εξαιτίας των οποίων συμβαίνει αυτή η κατάσταση είναι [9.6], [9.7], [9.8], [9.9]:

1. Αυτο-απορρόφηση

Σε μεγάλα πάχη, το υλικό του σπινθηριστή μπορεί να απορροφήσει τα φωτόνια που παράγονται εντός του πριν αυτά φτάσουν στην επιφάνεια και ανιχνευθούν. Αυτό μειώνει δραστικά την αποδοτικότητα της μετατροπής της ακτινοβολίας σε ανιχνεύσιμα φωτόνια.

2. Σκέδαση Φωτονίων

Η σκέδαση των φωτονίων μέσα στο υλικό μπορεί να αυξάνει με το πάχος, οδηγώντας σε απώλεια της κατευθυντικότητας των φωτονίων και μείωση της απόδοσης ανίχνευσης.

3. Ενεργειακή Απορρόφηση

Η αυξημένη μάζα του υλικού σπινθηριστή μπορεί να απορροφά περισσότερο από την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, γεγονός που δεν επιτρέπει στα φωτόνια να φτάσουν στις ανιχνευτικές συσκευές.

4. Θερμική Αποδόμηση

Σε μεγάλα πάχη, η απορρόφηση ακτινοβολίας μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του σπινθηριστή, επηρεάζοντας τις οπτικές του ιδιότητες και μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της φωτονικής εκπομπής.

5. Δομικοί Περιορισμοί

Τα υλικά του σπινθηριστή μπορεί να έχουν φυσικούς ή δομικούς περιορισμούς στην πάχυνση πέρα από συγκεκριμένα όρια, οδηγώντας σε μηχανική αστάθεια ή αποδόμηση.

6. Κορεσμός Φωτοανιχνευτών

Οι φωτοανιχνευτές που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των φωτονίων μπορεί να κορεστούν όταν το σήμα είναι πολύ ισχυρό, το οποίο μπορεί να συμβεί σε μεγάλα πάχη του σπινθηριστή όπου παράγεται περισσότερη φωτονική εκπομπή κοντά στην επιφάνεια.

7. Ακτινοβόληση πίσω από την Επιφάνεια

Όταν το πάχος υπερβαίνει τα όρια, η ακτινοβολία μπορεί να διαπερνά και να ακτινοβολεί πίσω από την επιφάνεια του σπινθηριστή, μη επιτρέποντας την αποδοτική χρήση της ενέργειας για την παραγωγή φωτονίων στην επιθυμητή κατεύθυνση.

Αυτοί οι παράγοντες συνδυάζονται και συντελούν στη μη γραμμική μείωση της απόδοσης όταν το πάχος του σπινθηριστή υπερβαίνει τα συγκεκριμένα όρια, όπως είναι το 23,51 gr/cm².

10. Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) και Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) των Σπινθηριστών YAP:Ce και Gd₂O₂S:Tb, με τα Ραδιενεργά Ισότοπα Tc99m και Tl201

10.1 Κβαντική Ανιχνευτική Απόδοτικότητα Σπινθηριστή YAP:Ce με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tc99m

Η Κβαντική Ανιχνευτική Αποδοτικότητα (Quantum Detection Efficiency - QDE) είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των σπινθηριστών όπως ο YAP:Ce στην ανίχνευση της ακτινοβολίας γάμμα από το Tc-99m. Η υψηλή απόδοση, η γρήγορη αντίδραση και η ανθεκτικότητα του σπινθηριστή YAP τον καθιστούν έναν πολύτιμο εργαλείο στην πυρηνική ιατρική, προσφέροντας ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα στη διάγνωση και την παρακολούθηση των ασθενών.

Η αποτελεσματικότητα της ανίχνευσης της ακτινοβολίας γάμμα από το Tc-99m μέσω του σπινθηριστή YAP:Ce καθορίζεται από την κβαντική ανίχνευση απόδοσης (QDE). Η QDE εξαρτάται από την ικανότητα του σπινθηριστή να μετατρέπει τα προσπίπτοντα φωτόνια γάμμα σε φως και στη συνέχεια να ανιχνεύεται αυτό το φως με υψηλή ακρίβεια.

Το QDE είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας ενός ανιχνευτή στο να ανιχνεύει φωτόνια ή άλλες κβαντικές σωματιδιακές εισόδους. Συγκεκριμένα, το QDE ορίζει το ποσοστό των εισερχόμενων φωτονίων που παράγουν ανιχνεύσιμα σήματα από τον ανιχνευτή.

Για παράδειγμα, αν ένας ανιχνευτής έχει QDE 80%, αυτό σημαίνει ότι το 80% των φωτονίων που προσπίπτουν στην επιφάνεια του ανιχνευτή παράγουν ένα σήμα που μπορεί να ανιχνευθεί και να καταγραφεί, ενώ το υπόλοιπο 20% δεν παράγει ανιχνεύσιμο σήμα.

Η κβαντική ανίχνευση απόδοσης είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική χρήση σπινθηριστών στην ανίχνευση ακτινοβολίας γάμμα. Η χρήση του σπινθηριστή YAP σε συνδυασμό με το ραδιοϊσότοπο Tc-99m παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στη διαγνωστική ιατρική, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια και ευαισθησία στην ανίχνευση ακτινοβολίας. Η μελέτη της QDE σε συστήματα με σπινθηριστές όπως ο YAP είναι σημαντική για την βελτίωση των διαγνωστικών μεθόδων στην πυρηνική ιατρική, διασφαλίζοντας ακριβέστερες και πιο αξιόπιστες απεικονίσεις.

Ο τύπος της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) είναι:

$$QDE = 1 - e^{-\mu(E)T} \quad (16)$$

όπου:

1. $\mu(E)$ είναι ο γραμμικός συντελεστής απορρόφησης στην ενέργεια E.
2. T είναι το πάχος του ανιχνευτή.

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm²)

- ii. $T_{\max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2): μέχρι όπου μηδενίζεται και μέχρι 200
- iii. $BHMA = 0.05$; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}:BHMA:T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.

Ο πίνακας T χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.

Στα επόμενα θα κατασκευαστεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (QDE) του Σπινθηριστή YAP:Ce, με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m, σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Κώδικας MATLAB για την Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) του Σπινθηριστή YAP:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB
clc
clear
close all

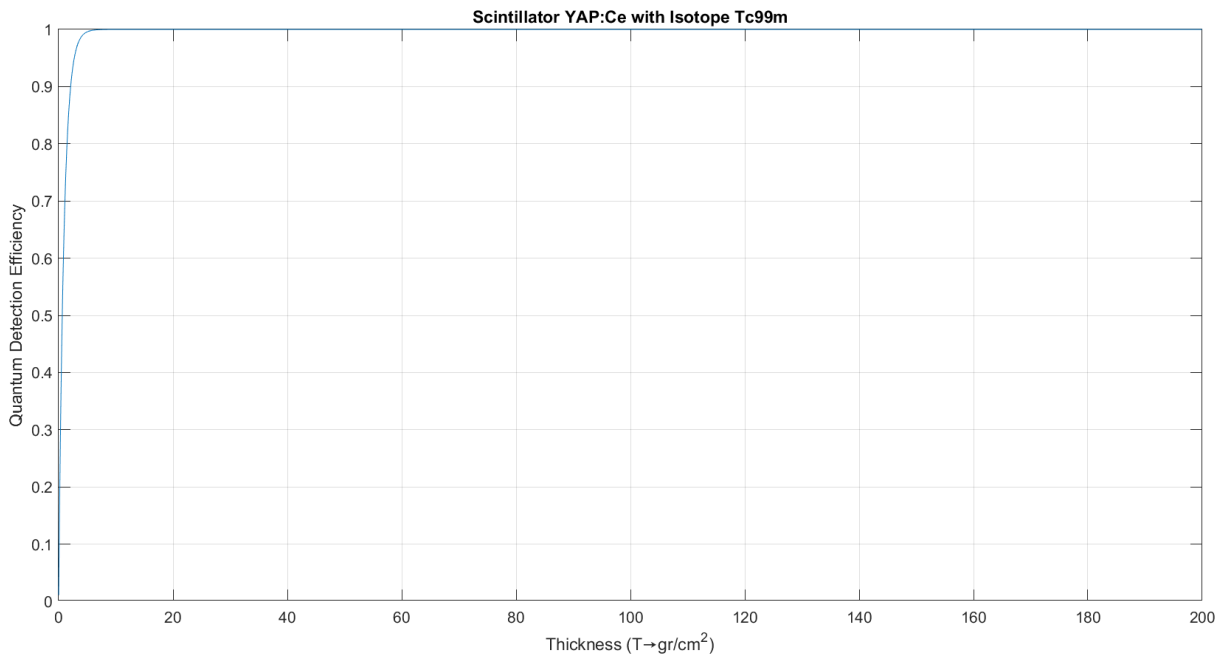
m=1.097; % Tc 99m= 141 keV,  $\mu(E)=1.097 \text{ cm}^2/\text{g}$  για Yap:Ce Συντελεστής εξασθένισης ενέργειας των ακτίνων X.

% T είναι το πάχος του ανιχνευτή.
Tmin=0.01; % Μεταβολή T ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ )
Tmax=200; % Μεταβολή T ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ ), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.
% Tmax=200;
BHMA=0.05; % 0.05  $\text{gr}/\text{cm}^2$ . Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin έως Tmax, με βήμα
T=(Tmin:BHMA:Tmax);

% Υπολογίζεται Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) του Σπινθηριστή YAP με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.
A1=1 - exp(-m*T);
QDE=A1;

% Σχεδιάζεται το γράφημα της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) του Σπινθηριστή YAP με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m) σε σχέση με το πάχος T.
figure(1)
plot(T,QDE)
title('Scintillator YAP:Ce with Isotope Tc99m')
xlabel('Thickness (T→ $\text{gr}/\text{cm}^2$ )')
ylabel('Quantum Detection Efficiency')
grid
```

Ακολουθώς, θα δημιουργηθεί ένα γράφημα που να απεικονίζει την QDE σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο "Quantum Detection Efficiency QDE: YAP with Tc99m", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness" και "QDE" αντίστοιχα.



Εικόνα 9: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή YAP:Ce με το ισότοπο Tc99m

Το γράφημα απεικονίζει την (QDE) για έναν σπινθηριστή YAP με το ισότοπο Tc-99m σε συνάρτηση με το πάχος του σπινθηριστή. Ο Άξονας X αντιπροσωπεύει το πάχος του σπινθηριστή, μετρημένο σε gr/cm^2 , με εύρος από 0 έως 200. Ο Άξονας Y αντιπροσωπεύει την Κβαντική Απόδοση Ανίχνευσης (QDE), η οποία κυμαίνεται από 0 έως 1 (ή 0% έως 100%).

Το γράφημα δείχνει ότι η QDE φτάνει γρήγορα κοντά στο 1 (ή 100%) σε πολύ μικρό πάχος και παραμένει σχεδόν σταθερή καθώς το πάχος αυξάνεται. Αυτό υποδεικνύει ότι ο σπινθηριστής είναι πολύ αποτελεσματικός στην ανίχνευση των κβαντικών γεγονότων από το Tc-99m ακόμη και σε ελάχιστα πάχη.

Η καμπύλη παρουσιάζει ότι η QDE αυξάνεται ραγδαία καθώς αυξάνεται το πάχος του σπινθηριστή από το 0 προς τα επάνω. Η QDE φτάνει σχεδόν στο μέγιστο (1 ή 100%) πολύ γρήγορα, υποδηλώνοντας ότι ακόμη και με μικρό πάχος, η ανίχνευση του Tc-99m είναι πολύ αποδοτική. Με την περαιτέρω αύξηση του πάχους, η QDE διατηρείται σταθερή στο μέγιστο.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

1. Υψηλή Απόδοση Ανίχνευσης σε Μικρό Πάχος

Η Κβαντική Απόδοση Ανίχνευσης (QDE) φτάνει κοντά στο 100% σε πολύ μικρό πάχος του σπινθηριστή. Αυτό υποδηλώνει ότι ο σπινθηριστής YAP:Ce είναι εξαιρετικά αποδοτικός στην ανίχνευση της ακτινοβολίας από το ισότοπο Tc-99m ακόμα και με ελάχιστο πάχος υλικού.

2. Σταθερότητα της Απόδοσης με Αυξημένο Πάχος

Από ένα σημείο και μετά, η QDE παραμένει σχεδόν σταθερή (κοντά στο 100%) καθώς το πάχος αυξάνεται. Αυτό δείχνει ότι περαιτέρω αύξηση του πάχους του σπινθηριστή δεν βελτιώνει σημαντικά την ανιχνευτική ικανότητα, υποδεικνύοντας ότι το υλικό έχει φτάσει σε μέγιστη απόδοση.

3. Οικονομία Υλικού

Δεδομένου ότι η μέγιστη QDE επιτυγχάνεται σε μικρά πάχη, μπορεί να συμπεράνουμε ότι η χρήση υπερβολικού υλικού για κατασκευή σπινθηριστών ΥΑΡ είναι οικονομικά και πρακτικά μη απαραίτητη, καθώς η αποδοτικότητα δεν βελτιώνεται με επιπλέον πάχος.

4. Αποτελεσματικότητα Υλικού ΥΑΡ

Η απόδοση του συγκεκριμένου υλικού ΥΑΡ φαίνεται να είναι εξαιρετικά υψηλή για την ανίχνευση της ακτινοβολίας Tc-99m. Αυτό καθιστά το υλικό κατάλληλο για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αποδοτικότητα ανίχνευσης, όπως στην ιατρική απεικόνιση και σε εφαρμογές πυρηνικής ιατρικής.

5. Σχεδιασμός Συσκευών Ανίχνευσης

Οι πληροφορίες αυτές είναι σημαντικές για τον σχεδιασμό συσκευών ανίχνευσης ακτινοβολίας. Μπορεί να σχεδιαστεί ένας σπινθηριστής με βέλτιστο πάχος που θα παρέχει μέγιστη απόδοση, μειώνοντας έτσι το κόστος και το βάρος της συσκευής.

6. Συγκριτική Αξιολόγηση με Άλλα Υλικά

Η αποδοτικότητα του ΥΑΡ μπορεί να συγκριθεί με άλλα υλικά σπινθηριστών για την ανίχνευση του Tc-99m, ώστε να επιλεγθεί το πιο αποδοτικό και οικονομικό υλικό για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Αυτά τα συμπεράσματα παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της αποδοτικότητας του σπινθηριστή ΥΑΡ για την ανίχνευση του ισοτόπου Tc-99m και είναι χρήσιμα για πρακτικές εφαρμογές και μελλοντική έρευνα.

10.2 Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tl201

Η Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (QDE) είναι ένα κρίσιμο μέτρο στην πυρηνική ιατρική και τη φυσική ακτινοβολίας, αναφερόμενο στην αποτελεσματικότητα με την οποία ένας ανιχνευτής ακτινοβολίας καταγράφει τα φωτόνια που προσπίπτουν σε αυτόν. Η QDE εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το υλικό του ανιχνευτή, η ενέργεια των φωτονίων, η γεωμετρία του ανιχνευτή και η τεχνολογία κατασκευής του. Ο σπινθηριστής ΥΑΡ είναι ένας ανιχνευτής σπινθηρισμού που χρησιμοποιείται ευρέως για την ανίχνευση ακτινοβολίας γάμμα και ακτίνων X. Το ΥΑΡ ενεργοποιείται με μικρές ποσότητες κερίου (Ce), το οποίο λειτουργεί ως κέντρο φωτεινής εκπομπής όταν διεγείρεται από ακτινοβολία.

Παράγει φως με μήκος κύματος περίπου 370 nm, το οποίο μπορεί να ανιχνευτεί εύκολα από Φωτοπολλαπλασιαστές ή φωτοδιόδους. Επιπλέον, έχει γρήγορο χρόνο αντίδρασης, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή χρονική ανάλυση.

Το θάλλιο-201 (Tl201) είναι ένα ραδιενεργό ισότοπο που χρησιμοποιείται κυρίως στην καρδιολογική απεικόνιση για την αξιολόγηση της αιματικής ροής στον καρδιακό μυ. Το Tl201 εκπέμπει ακτινοβολία γάμμα με ενέργεια περίπου 69-80 keV και έχει ημιζωή περίπου 73 ώρες. Η χρήση του σπινθηριστή YAP για την ανίχνευση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το Tl201 προσφέρει πλεονεκτήματα λόγω της υψηλής αποδοτικότητας ανίχνευσης για τις ενέργειες ακτινοβολίας που εκπέμπονται από το Tl201, βελτιώνοντας την ποιότητα των εικόνων και τη διαγνωστική ακρίβεια. Ο γρήγορος χρόνος αντίδρασης του YAP επιτρέπει την καταγραφή γρήγορων γεγονότων, ελαχιστοποιώντας το θόρυβο και βελτιώνοντας την ανάλυση των δεδομένων. Επιπλέον, το YAP είναι ανθεκτικό και χημικά σταθερό, καθιστώντας το κατάλληλο για μακροχρόνια χρήση σε ιατρικές συσκευές.

Συνοψίζοντας, η Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (QDE) είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την αποδοτικότητα των ανιχνευτών ακτινοβολίας. Ο σπινθηριστής YAP, όταν χρησιμοποιείται με το ακτινοβόλο ισότοπο Tl201, προσφέρει εξαιρετική ανίχνευση και ποιότητα εικόνας, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση και τη διάγνωση.

Η συσχέτιση του σπινθηριστή YAP με το Tl-201 είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω της ενεργειακής συμβατότητας, του χαμηλού επιπέδου θορύβου και της υψηλής ευαισθησίας του YAP στην ανίχνευση της ακτινοβολίας γάμμα που εκπέμπεται από το Tl-201. Η ενέργεια των ακτινών γάμμα του Tl-201 είναι εντός του εύρους που ο YAP μπορεί να ανιχνεύσει αποδοτικά, επιτρέποντας καθαρές μετρήσεις λόγω του γρήγορου χρόνου αποσβέσεως του YAP που μειώνει την πιθανότητα επικάλυψης σήματος και θορύβου. Επιπλέον, η πυκνότητα και η αποδοτικότητα σπινθηρισμού του YAP εξασφαλίζουν υψηλή απορρόφηση και ανίχνευση των φωτονίων γάμμα.

Η χρήση του YAP σε συνδυασμό με το Tl-201 βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα των σπινθηρογραφημάτων στην πυρηνική ιατρική. Η υψηλή QDE του YAP εξασφαλίζει καθαρότερες και πιο ακριβείς εικόνες του καρδιακού μυός, ενώ η σταθερή απόδοση του YAP σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του Tl-201 συμβάλλει στην αξιοπιστία των διαγνωστικών αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η γρήγορη και ακριβής ανίχνευση οδηγεί σε ταχύτερη και πιο αποδοτική διάγνωση και θεραπεία των καρδιολογικών παθήσεων.

Συνοψίζοντας, η συσχέτιση του QDE και του σπινθηριστή YAP με το ακτινοβόλο ισότοπο Tl-201 είναι κρίσιμη για την βελτιστοποίηση των διαγνωστικών απεικονίσεων στην πυρηνική ιατρική, παρέχοντας υψηλή ευαισθησία και ακρίβεια στην ανίχνευση των ακτινών γάμμα που εκπέμπει το Tl-201. Η συνδυαστική χρήση του YAP και του Tl-201 οδηγεί σε βελτιωμένη απεικόνιση, αυξημένη αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα στις διαγνωστικές διαδικασίες, ενισχύοντας την ικανότητα των ιατρών να εντοπίζουν και να θεραπεύουν καρδιολογικές παθήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα.

Ο τύπος της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) είναι μια μέθοδος υπολογισμού της απόδοσης ενός ανιχνευτή στην ανίχνευση φωτονίων σε διάφορες ενέργειες. Ο τύπος αυτός είναι:

$$QDE = \frac{f_1 (1 - e^{-\mu_1(E)T}) + f_2 (1 - e^{-\mu_2(E)T}) + f_3 (1 - e^{-\mu_3(E)T})}{f_1 + f_2 + f_3} \quad (17)$$

όπου:

1. f_1, f_2, f_3 είναι οι κλασματικές αφθονίες των διαφορετικών ενεργειών φωτονίων. Αυτές αντιπροσωπεύουν το ποσοστό των φωτονίων που βρίσκονται σε κάθε ενεργειακό επίπεδο.
2. $\mu_1(E), \mu_2(E), \mu_3(E)$ είναι οι γραμμικοί συντελεστές εξασθένησης στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων. Αυτοί οι συντελεστές υποδεικνύουν το ρυθμό με τον οποίο εξασθενούν τα φωτόνια καθώς διέρχονται από το υλικό του ανιχνευτή.
3. T είναι το πάχος του ανιχνευτή. Το πάχος αυτό επηρεάζει την εξασθένηση των φωτονίων, καθώς όσο πιο παχύς είναι ο ανιχνευτής, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα ανίχνευσης φωτονίων.

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{\max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2): μέχρι όπου μηδενίζεται και μέχρι 200
- iii. Βήμα = 0.05; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}; \text{Βήμα}; T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.

Ο πίνακας T χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.

Η αναλυτική επεξήγηση του τύπου, έχει ως εξής:

1. Αποδοτικότητα Ανίχνευσης για κάθε ενέργεια

Για κάθε κλάσμα f_i φωτονίων σε μια συγκεκριμένη ενέργεια, ο παράγοντας $(1 - e^{-\mu_i(E)T})$ αντιπροσωπεύει την πιθανότητα ένα φωτόνιο αυτής της ενέργειας να ανιχνευτεί από τον ανιχνευτή πάχους T . Αυτός ο παράγοντας βασίζεται στη θεωρία της εξασθένησης, όπου το $e^{-\mu_i(E)T}$ είναι η πιθανότητα να μην ανιχνευτεί το φωτόνιο (δηλαδή να περάσει μέσα από τον ανιχνευτή χωρίς αλληλεπίδραση).

2. Συνδυασμός των Αποδοτικότητων

Η συνολική αποδοτικότητα ανίχνευσης είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος των αποδοτικότητων για κάθε ενέργεια, όπου τα βάρη είναι οι κλασματικές αφθονίες f_1, f_2, f_3 .

3. Κανονικοποίηση

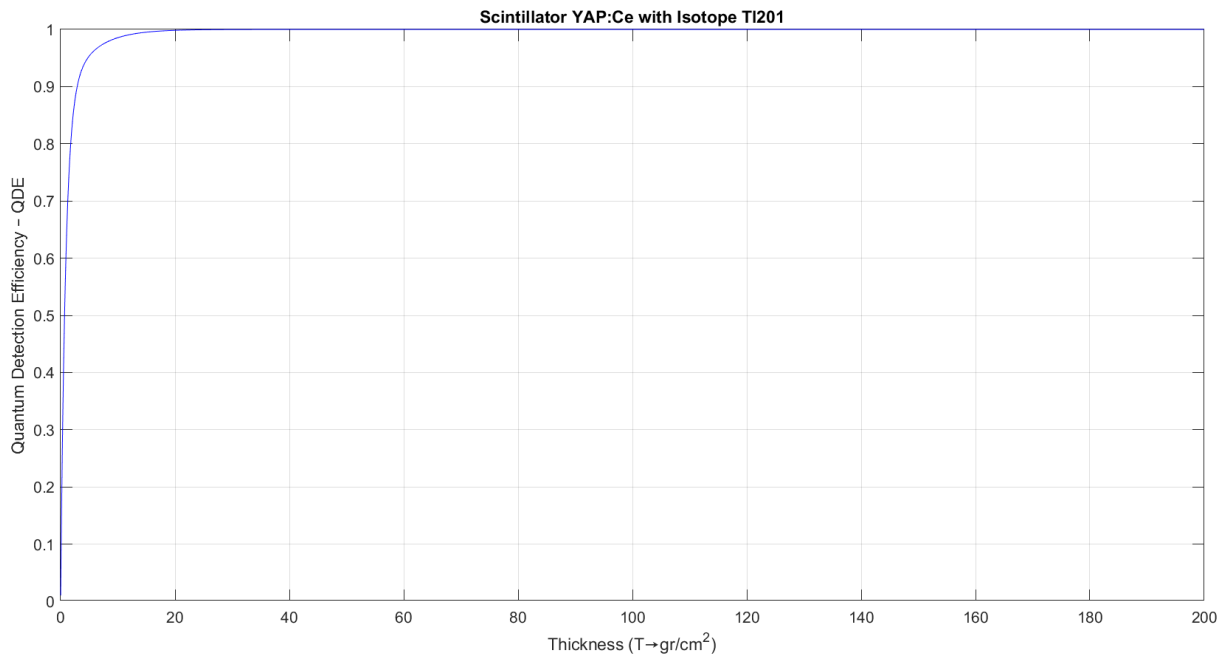
Διαιρείται το άθροισμα των σταθμισμένων αποδοτικότητων με το συνολικό άθροισμα των κλασματικών αφθονιών $f_1 + f_2 + f_3$ για να ληφθεί η μέση αποδοτικότητα.

Ο τύπος της QDE λαμβάνει υπόψη τις διαφορετικές ενεργειακές στάθμες των φωτονίων, την πιθανότητα εξασθένισης τους κατά τη διέλευση από τον ανιχνευτή, και το πάχος του ανιχνευτή για να δώσει μια συνολική μέτρηση της αποδοτικότητας του ανιχνευτή στη σύλληψη των φωτονίων.

Ακολουθεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την Ο κώδικας MATLAB υπολογίζει την Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) του σπινθηριστή YAP όταν ακτινοβολείται από το ισότοπο Tl201, σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Υπολογισμός Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE),  
Σπινθηριστή YAP:Ce με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201).  
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB  
clc  
clear  
close all  
  
m1=1.29; % Tl201= 71 keV,  $\mu(E)=1.29 \text{ cm}^2/\text{g}$  για YAP: Ce. Συντελεστής εξασθένισης ενέργειας  
των ακτίνων X.  
m2=0.95; % Tl201= 80 keV,  $\mu(E)=0.95 \text{ cm}^2/\text{g}$  για YAP: Ce. Συντελεστής εξασθένισης ενέργειας  
των ακτίνων X.  
m3=0.22; % Tl201= 167 keV,  $\mu(E)=0.22 \text{ cm}^2/\text{g}$  για YAP: Ce. Συντελεστής εξασθένισης ενέργειας  
των ακτίνων X.  
f1=0.47; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.  
f2=0.2; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.  
f3=0.1; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου i στη συνολική απόδοση.  
  
Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm2)  
Tmax=200; % Μεταβολή T (gr/cm2)  
BHMA=0.05; % 0.05 gr/cm2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin  
έως Tmax, με βήμα  
T=(Tmin:BHMA:Tmax);  
  
% Υπολογίζεται η QDE με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.  
A1=1-exp(-m1*T);  
A2=1-exp(-m2*T);  
A3=1-exp(-m3*T);  
QDE=(f1*A1+f2*A2+f3*A3)/(f1+f2+f3);  
  
% Σχεδιάζεται το γράφημα της Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency –  
QDE) σε σχέση με το πάχος T.  
figure(1)  
plot(T,QDE,'b')  
title('Scintillator YAP:Ce with Isotope Tl201')  
xlabel('Thickness (T→gr/cm2)')  
ylabel('Quantum Detection Efficiency – QDE')  
grid
```

Ακολουθεί γράφημα που απεικονίζει την QDE σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο "Scintillator YAP with Isotope Tl201", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness (T)" και "Quantum Detection Efficiency - QDE" αντίστοιχα.



Εικόνα 10: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή YAP: Ce με το ισότοπο Tl201

Το γράφημα δείχνει τη σχέση μεταξύ του πάχους του ανιχνευτή (Thickness - T) και της κβαντικής απόδοσης ανίχνευσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) για το υλικό YAP:Ce με ισότοπο Tl201. Ο άξονας X αντιπροσωπεύει το πάχος του ανιχνευτή σε μονάδες gr/cm^2 . Ο άξονας Y αντιπροσωπεύει την κβαντική απόδοση ανίχνευσης (QDE) σε κλίμακα από 0 έως 1. Το γράφημα δείχνει ότι η κβαντική απόδοση ανίχνευσης (QDE) αυξάνεται απότομα όταν το πάχος του ανιχνευτή είναι μικρό και προσεγγίζει την τιμή 1 (δηλαδή 100% απόδοση) καθώς το πάχος αυξάνεται. Μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο, η απόδοση σταθεροποιείται και παραμένει κοντά στο 1, ανεξάρτητα από την περαιτέρω αύξηση του πάχους. Συνολικά, το διάγραμμα δείχνει ότι για το συγκεκριμένο υλικό και ισότοπο, μια μικρή αύξηση στο πάχος του ανιχνευτή είναι επαρκής για να επιτευχθεί υψηλή κβαντική απόδοση ανίχνευσης.

Το γράφημα της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (QDE) για τον σπινθηριστή YAP:Ce με το ισότοπο Tl201 παρουσιάζει ορισμένα ενδιαφέροντα σημεία:

1. Απόδοση Ανιχνευτή σε Μικρά Πάχη

Ο ανιχνευτής YAP:Ce με ισότοπο Tl201 έχει υψηλή απόδοση ανίχνευσης ακόμη και για σχετικά μικρά πάχη. Αυτό υποδεικνύεται από τη γρήγορη αύξηση της κβαντικής απόδοσης ανίχνευσης (QDE) με την αύξηση του πάχους στην αρχή του γραφήματος.

2. Κορεσμός Απόδοσης

Η κβαντική απόδοση ανίχνευσης φτάνει κοντά στο μέγιστο επίπεδό της (1) σε σχετικά μικρά πάχη, και μετά από αυτό το σημείο, η περαιτέρω αύξηση του πάχους δεν

προσφέρει σημαντική βελτίωση στην απόδοση. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ένα σημείο κορεσμού πέρα από το οποίο η απόδοση δεν αυξάνεται σημαντικά.

3. **Αποτελεσματικότητα Υλικού**

Το υλικό YAP:Ce είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό για την ανίχνευση ακτινοβολίας από το ισότοπο Tl201, καθώς επιτυγχάνει υψηλή QDE σε μικρό πάχος. Αυτό το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές όπου το μέγεθος και το βάρος του ανιχνευτή είναι κρίσιμα.

4. **Εφαρμογές σε Μικρούς Ανιχνευτές**

Η ιδιότητα του να επιτυγχάνει υψηλή απόδοση σε μικρό πάχος το καθιστά κατάλληλο για φορητές ή ενσωματωμένες συσκευές ανίχνευσης όπου ο χώρος είναι περιορισμένος.

5. **Βελτιστοποίηση Κόστους**

Δεδομένου ότι η απόδοση ανιχνευτή σταθεροποιείται μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος, οι κατασκευαστές μπορούν να βελτιστοποιήσουν το κόστος κατασκευής χρησιμοποιώντας το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης.

6. **Επιστημονική και Βιομηχανική Χρήση**

Το γράφημα μπορεί να καθοδηγήσει τους επιστήμονες και τους μηχανικούς στον καθορισμό των βέλτιστων παραμέτρων σχεδιασμού για ανιχνευτές ακτινοβολίας που χρησιμοποιούν το υλικό YAP:Ce και το ισότοπο Tl201.

7. **Επιρροή του Πάχους στην Απόδοση**

Η απόδοση του ανιχνευτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με το πάχος του, υποδεικνύοντας ότι ο σωστός σχεδιασμός και η επιλογή πάχους είναι κρίσιμα για την αποτελεσματικότητά του ανιχνευτή.

Αυτά τα συμπεράσματα μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση και χρήση του υλικού YAP με το ισότοπο Tl201 σε διάφορες εφαρμογές ανίχνευσης.

10.3 Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) Σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb με το Ραδιενεργό Ισότοπο Tc99m

Η Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (QDE) είναι ένας σημαντικός δείκτης στην απεικονιστική τεχνολογία, ειδικά στην ιατρική απεικόνιση, που αξιολογεί την αποτελεσματικότητα ενός υλικού ή συσκευής στη μετατροπή των εισερχόμενων φωτονίων σε ανιχνεύσιμα σήματα. Ο σπινθηριστής Gd₂O₂S:Tb είναι ένα υλικό σπινθηρισμού, το οποίο χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές απεικόνισης λόγω της υψηλής απόδοσης και της φωτεινότητάς του.

Η χρήση του σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb σε συνδυασμό με το ισότοπο Tc99m προσφέρει υψηλή ευαισθησία και ανάλυση στις ιατρικές απεικονιστικές εφαρμογές. Η υψηλή κβαντική

απόδοση ανίχνευσης (QDE) του σπινθηριστή σημαίνει ότι μπορεί να μετατρέπει με μεγάλη αποτελεσματικότητα τα φωτόνια που προέρχονται από την διάσπαση του Tc99m σε ανιχνεύσιμα φωτεινά σήματα. Αυτό οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα εικόνας και δυνατότητα ανίχνευσης μικρών ανωμαλιών στον οργανισμό.

Η σχέση μεταξύ του QDE και του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ραδιοϊσότοπο Tc-99m σχετίζεται άμεσα με την απεικόνιση και τον χαρακτηρισμό σε πυρηνικές ιατρικές εφαρμογές. Αρχικά, η QDE είναι ένα μέτρο της αποδοτικότητας ανίχνευσης των φωτονίων ή σωματιδίων από έναν ανιχνευτή. Αντιπροσωπεύει το ποσοστό των φωτονίων που παράγουν σήμα στον ανιχνευτή σε σχέση με τον συνολικό αριθμό φωτονίων που προσπίπτουν στον ανιχνευτή. Στα πλαίσια της πυρηνικής ιατρικής, η υψηλή QDE είναι επιθυμητή για τη βελτίωση της ποιότητας της εικόνας και τη μείωση της δόσης ακτινοβολίας στον ασθενή.

Η Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει την αποτελεσματικότητα ενός ανιχνευτή στο να ανιχνεύσει φωτόνια ή σωματίδια. Ο μαθηματικός τύπος που περιγράφει την QDE είναι:

$$QDE = 1 - e^{-\mu(E)T} \quad (18)$$

όπου:

1. Η QDE αντιπροσωπεύει το ποσοστό των φωτονίων που ανιχνεύονται από τον συνολικό αριθμό των φωτονίων που προσπίπτουν στον ανιχνευτή.
2. Ο γραμμικός συντελεστής απόσβεσης $\mu(E)$ εξαρτάται από την ενέργεια EEE των φωτονίων που εκπέμπονται από το Tc-99m. Αυτός ο συντελεστής εκφράζει την πιθανότητα αλληλεπίδρασης των φωτονίων με το υλικό του ανιχνευτή ανά μονάδα μήκους. Για το Gd_2O_2S , ο συντελεστής απόσβεσης μ είναι συγκεκριμένος για το υλικό και την ενέργεια των φωτονίων που εκπέμπονται από το Tc-99m (περίπου 140 keV).
3. Το πάχος του ανιχνευτή T είναι το φυσικό πάχος του ανιχνευτή σπινθηριστή Gd_2O_2S . Το πάχος επηρεάζει το ποσοστό των φωτονίων που μπορούν να απορροφηθούν και να ανιχνευθούν. Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:
 - i. $T_{min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
 - ii. $T_{max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2): μέχρι όπου μηδενίζεται και μέχρι 200
 - iii. $BHMA = 0.05$; το βήμα (gr/cm^2)
 - iv. $T = (T_{min}; BHMA; T_{max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.Ο πίνακας T χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.
4. Ο τύπος περιγράφει την πιθανότητα ανίχνευσης ενός φωτονίου που προσπίπτει στον ανιχνευτή. Ο παράγοντας $e^{-\mu(E)T}$ αναπαριστά την πιθανότητα ένα φωτόνιο να περάσει μέσα από το υλικό του ανιχνευτή χωρίς να αλληλεπιδράσει. Η QDE υπολογίζεται ως η πιθανότητα να αλληλεπιδράσει το φωτόνιο με τον ανιχνευτή, δηλαδή $1 - e^{-\mu(E)T}$

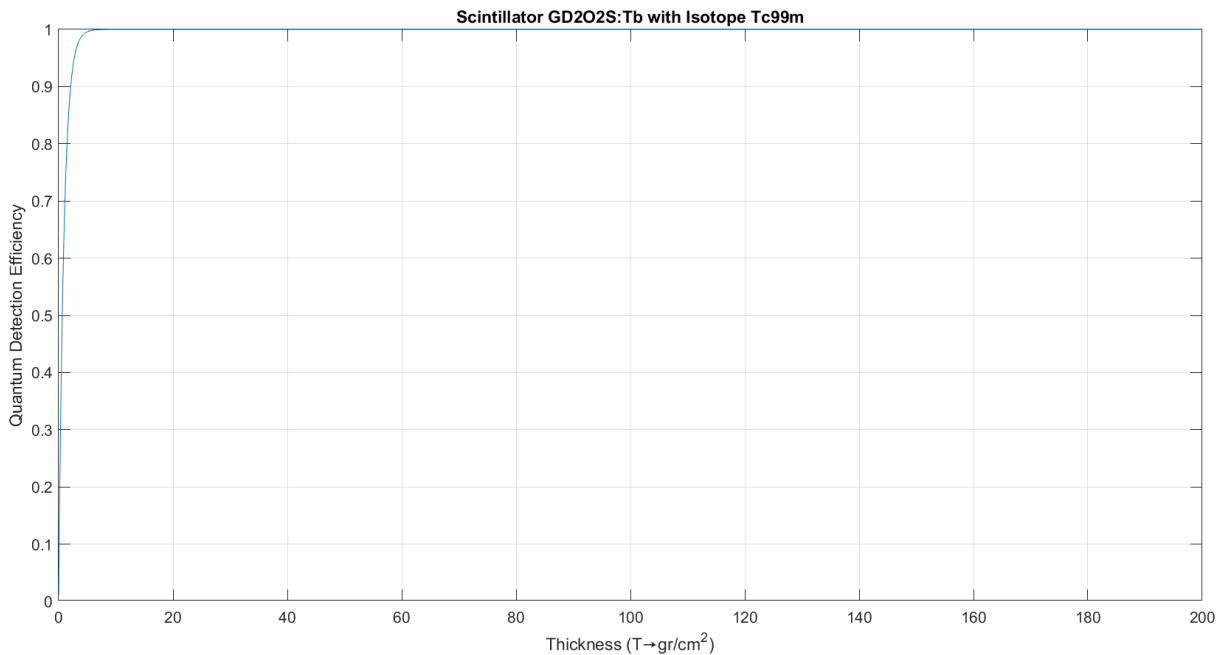
Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής απόσβεσης $\mu(E)$ και το πάχος του ανιχνευτή T , τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να αλληλεπιδράσει το φωτόνιο με τον ανιχνευτή και επομένως μεγαλύτερη η QDE. Για υψηλότερη QDE, χρειάζεται είτε μεγαλύτερος συντελεστής απόσβεσης μ (καλύτερη απορροφητική ικανότητα του υλικού) είτε μεγαλύτερο πάχος T του ανιχνευτή.

Στην περίπτωση του $Gd_2O_2S:Tb$ και του $Tc-99m$, η QDE εξαρτάται από το υλικό του σπινθηριστή και την ενέργεια των γάμμα φωτονίων του $Tc-99m$. Ο συνδυασμός υψηλού συντελεστή απόσβεσης και κατάλληλου πάχους του ανιχνευτή οδηγεί σε υψηλή αποτελεσματικότητα ανίχνευσης των φωτονίων που εκπέμπει το $Tc-99m$, προσφέροντας καθαρότερες και ακριβέστερες απεικονίσεις στις ιατρικές εφαρμογές.

Ακολουθεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (QDE) του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$, με το ακτινοβόλο ισότοπο $Tc99m$, σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Κώδικας MATLAB για την Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency -  
QDE) του Σπινθηριστή GD2O2S:Tb με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).  
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB  
clc  
clear  
close all  
  
m=1.097; % Tc 99m= 141 keV,  $\mu(E)=1.097 \text{ cm}^2/\text{g}$  για GD2O2S:Tb  
  
% T είναι το πάχος του ανιχνευτή.  
Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm^2)  
Tmax=200; % Μεταβολή T (gr/cm^2).  
% Tmax=200;  
BHMA=0.05; % 0.05 gr/cm^2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin  
έως Tmax, με βήμα  
T=(Tmin:BHMA:Tmax);  
  
% Υπολογίζεται Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) του  
Σπινθηριστή GD2O2S:Tb με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).με βάση τις παραμέτρους που  
ορίσατε.  
A1=1 - exp(-m*T);  
QDE=A1;  
  
% Σχεδιάζεται το γράφημα της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency -  
QDE) του Σπινθηριστή GD2O2S:Tb με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m) σε σχέση με το πάχος T.  
figure(1)  
plot(T,QDE)  
title('Scintillator GD2O2S:Tb with Isotope Tc99m')  
xlabel('Thickness (T→gr/cm^2)')  
ylabel('Quantum Detection Efficiency')  
grid
```

Ακολουθεί γράφημα που απεικονίζει την QDE σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο "Quantum Detection Efficiency QDE: Gd₂O₂S:Tb with Tc99m", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness" και "QDE" αντίστοιχα.



Εικόνα 11: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή GD₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tc99m

Το διάγραμμα απεικονίζει την Ποσοτική Ανίχνευση Αποτελεσματικότητας (Quantum Detection Efficiency) σε σχέση με το Πάχος (Thickness) ενός υλικού ανιχνευτή Gd₂O₂S:Tb (Gadolinium Oxysulfide doped with Terbium) όταν εκτίθεται σε ισότοπο Tc99m (Technetium-99m). Στον κατακόρυφο άξονα (y-άξονα) παρουσιάζεται η Ποσοτική Ανίχνευση Αποτελεσματικότητας (QDE), η οποία κυμαίνεται από 0 έως 1. Στον οριζόντιο άξονα (x-άξονα) παρουσιάζεται το πάχος του υλικού ανιχνευτή σε μονάδες (T), που κυμαίνεται από 0 έως 200.

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η QDE του Gd₂O₂S:Tb αυξάνεται απότομα όταν το πάχος του υλικού είναι πολύ μικρό, και προσεγγίζει το μέγιστο επίπεδο αποτελεσματικότητας (σχεδόν 1) για πάχη περίπου μέχρι 20 μονάδες. Μετά από αυτό το σημείο, η αποτελεσματικότητα παραμένει σταθερή και κοντά στο μέγιστο επίπεδο, ανεξάρτητα από την περαιτέρω αύξηση του πάχους.

Αυτό υποδεικνύει ότι το υλικό ανιχνευτή Gd₂O₂S:Tb έχει πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα στην ανίχνευση ακτινοβολίας από το ισότοπο Tc99m όταν το πάχος του υλικού είναι κατάλληλα επιλεγμένο, και μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο, η περαιτέρω αύξηση του πάχους δεν προσφέρει σημαντική βελτίωση στην ανίχνευση.

Από το διάγραμμα, μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α. Απότομη Αύξηση Αποτελεσματικότητας

Η Ποσοτική Ανίχνευση Αποτελεσματικότητας του υλικού ανιχνευτή $Gd_2O_2S:Tb$ αυξάνεται απότομα για μικρά πάχη. Αυτό δείχνει ότι το υλικό γίνεται πολύ αποδοτικό στην ανίχνευση της ακτινοβολίας $Tc99m$ ακόμη και με πολύ μικρά πάχη.

β. Μέγιστη Αποτελεσματικότητα

Η QDE πλησιάζει το μέγιστο επίπεδο (σχεδόν 1) για πάχη γύρω στις 20 μονάδες. Αυτό σημαίνει ότι το υλικό επιτυγχάνει την καλύτερη δυνατή απόδοσή του σχετικά νωρίς, χωρίς να απαιτείται μεγάλο πάχος.

γ. Σταθερότητα Αποτελεσματικότητας

Μετά από το σημείο των 20 μονάδων, η QDE παραμένει σταθερή και κοντά στο μέγιστο επίπεδο, ανεξάρτητα από την περαιτέρω αύξηση του πάχους. Αυτό δείχνει ότι η αύξηση του πάχους πέρα από αυτό το σημείο δεν προσφέρει σημαντική βελτίωση στην ανίχνευση.

δ. Βέλτιστο Πάχος

Το βέλτιστο πάχος του υλικού ανιχνευτή για την ανίχνευση του $Tc99m$ είναι περίπου στις 20 μονάδες. Η επιλογή αυτού του πάχους θα επιτρέψει τη μέγιστη ανίχνευση με την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα υλικού.

ε. Οικονομία Υλικού

Δεδομένου ότι η αποτελεσματικότητα σταθεροποιείται μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος, είναι οικονομικότερο να χρησιμοποιείται υλικό με πάχος κοντά στις 20 μονάδες αντί για πολύ μεγαλύτερα πάχη, καθώς δεν υπάρχει σημαντική βελτίωση στην ανίχνευση πέρα από αυτό το σημείο.

στ. Χαρακτηριστικά Υλικού

Το $Gd_2O_2S:Tb$ φαίνεται να είναι ένα πολύ αποδοτικό υλικό ανιχνευτή για την ανίχνευση της ακτινοβολίας $Tc99m$. Η υψηλή του αποτελεσματικότητα ακόμη και σε μικρά πάχη το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται λεπτό υλικό ανίχνευσης.

ζ. Εφαρμογές στην Ιατρική

Το $Tc99m$ χρησιμοποιείται ευρέως σε ιατρικές απεικονιστικές τεχνικές. Η υψηλή αποτελεσματικότητα του $Gd_2O_2S:Tb$ υποδεικνύει ότι το υλικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε ιατρικές συσκευές ανίχνευσης, όπως γάμμα κάμερες, για τη βελτίωση της ποιότητας των διαγνωστικών εικόνων.

Αυτά τα συμπεράσματα παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την αποτελεσματική χρήση του υλικού $Gd_2O_2S:Tb$ στην ανίχνευση της ακτινοβολίας από το $Tc99m$ και επισημαίνουν τη χρησιμότητά του σε διάφορες πρακτικές εφαρμογές.

10.4 Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency – QDE) Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ραδιενεργό Ισότοπο $Tl201$

Ο συνδυασμός του σπινθηριστή Gd_2O_2S με το ακτινοβόλο ισότοπο $Tl-201$ είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός για διάφορους λόγους. Το $Tl-201$ εκπέμπει ακτινοβολία γάμμα, την οποία ο σπινθηριστής Gd_2O_2S μπορεί να ανιχνεύσει με υψηλή απόδοση. Η QDE του σπινθηριστή είναι κρίσιμη για τη μέτρηση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το $Tl-201$. Επιπλέον, ο συνδυασμός αυτός χρησιμοποιείται ευρέως σε σπινθηρογραφήματα καρδιάς, όπου η υψηλή ανιχνευτική απόδοση του σπινθηριστή συμβάλλει στη δημιουργία καθαρών και ακριβών εικόνων, επιτρέποντας καλύτερη διάγνωση και παρακολούθηση των ασθενών.

Ο μαθηματικός τύπος για την Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (QDE) που αναφέρεται, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόδοσης ενός ανιχνευτή στην ανίχνευση φωτονίων σε διάφορες ενέργειες. Ο τύπος αυτός περιλαμβάνει παραμέτρους που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του υλικού του ανιχνευτή και την ενέργεια των φωτονίων. Ο τύπος είναι:

$$QDE = \frac{f_1 (1 - e^{-\mu_1(E)T}) + f_2 (1 - e^{-\mu_2(E)T}) + f_3 (1 - e^{-\mu_3(E)T})}{f_1 + f_2 + f_3} \quad (19)$$

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{\max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2)
- iii. $BHMA = 0.05$; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min} \cdot BHMA \cdot T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.

Ο πίνακας T χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.

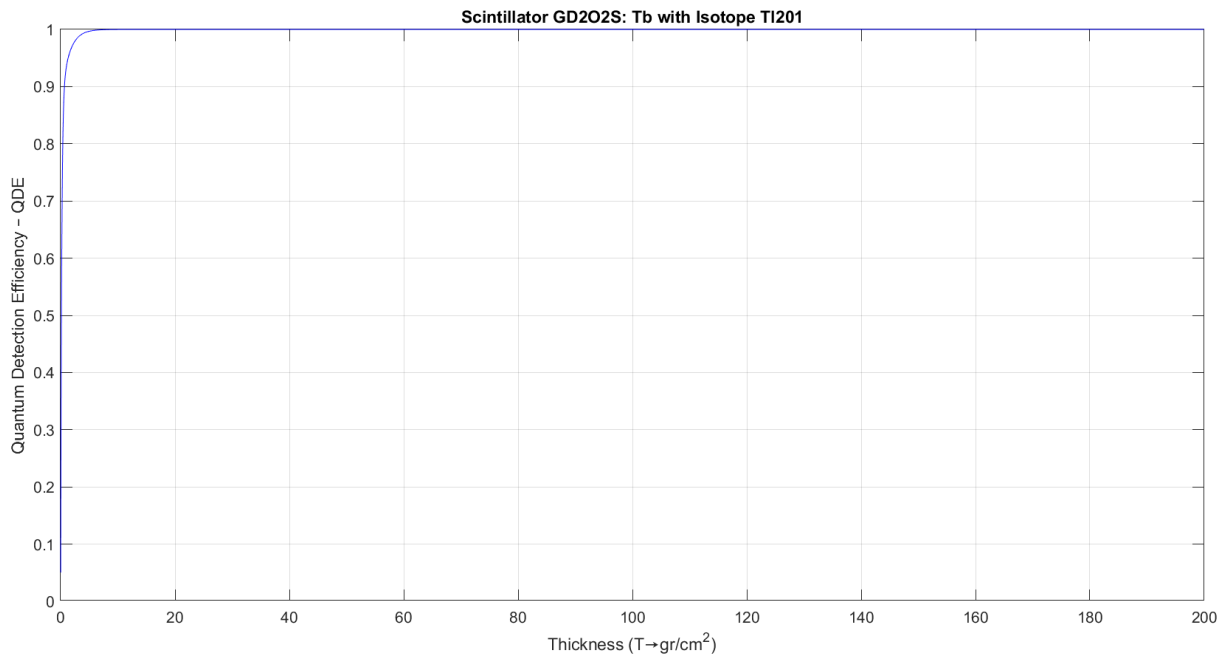
1. Κάθε όρος της μορφής $(1 - e^{-\mu_i(E)T})$ αντιπροσωπεύει την πιθανότητα ένα φωτόνιο να αλληλεπιδράσει με το υλικό του ανιχνευτή, αφού προσπίπτει πάνω του. Το $e^{-\mu_i(E)T}$ είναι η πιθανότητα το φωτόνιο να διαπεράσει το υλικό χωρίς να αλληλεπιδράσει. Επομένως, $(1 - e^{-\mu_i(E)T})$ είναι η πιθανότητα αλληλεπίδρασης.
2. Ο συνολικός QDE υπολογίζεται με το άθροισμα των επιμέρους αποδόσεων των υλικών, κάθε μία σταθμισμένη από το αντίστοιχο κλάσμα της, και διαιρείται με το άθροισμα των κλασμάτων $f_1 + f_2 + f_3$, για να δώσει μια κανονικοποιημένη απόδοση.

Συνοπτικά, ο τύπος αυτός παρέχει μια μέθοδο υπολογισμού της απόδοσης ενός ανιχνευτή φωτονίων με βάση τις φυσικές ιδιότητες των υλικών του ανιχνευτή και την ενέργεια των φωτονίων, προσφέροντας έτσι ένα εργαλείο για τη βελτιστοποίηση των ανιχνευτών ακτινοβολίας.

Ακολουθεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την QDE. Ο κώδικας MATLAB υπολογίζει την QDE του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$, όταν ακτινοβολείται από το ισότοπο $Tl201$, σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Υπολογισμός Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE),  
Σπινθηριστή GD2O2S: Tb με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201).  
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB  
clc  
clear  
close all  
  
m1=6.36; % Tl201= 71 keV,  $\mu(E)=6.36 \text{ cm}^2/\text{g}$  για  $Gd_2O_2S:Tb$ . Συντελεστής απορρόφησης  
ενέργειας των ακτίνων X.  
m2=4.69; % Tl201= 80 keV,  $\mu(E)=4.69 \text{ cm}^2/\text{g}$  για  $Gd_2O_2S:Tb$ . Συντελεστής απορρόφησης  
ενέργειας των ακτίνων X.  
m3=0.74; % Tl201= 167 keV,  $\mu(E)=0.74 \text{ cm}^2/\text{g}$  για  $Gd_2O_2S:Tb$ . Συντελεστής απορρόφησης  
ενέργειας των ακτίνων X.  
f1=0.47;  
f2=0.2;  
f3=0.1;  
  
Tmin=0.01; % Μεταβολή T ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ )  
Tmax=200; % Μεταβολή T ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ )  
BHMA=0.05; % 0.05  $\text{gr}/\text{cm}^2$ . Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin  
έως Tmax, με βήμα  
T=(Tmin:BHMA:Tmax);  
  
% Υπολογίζεται η QDE με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.  
A1=1-exp(-m1*T);  
A2=1-exp(-m2*T);  
A3=1-exp(-m3*T);  
QDE=(f1*A1+f2*A2+f3*A3)/(f1+f2+f3);  
  
% Σχεδιάζεται το γράφημα της Κβαντική Ανίχνευση Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency –  
QDE) σε σχέση με το πάχος T.  
figure(1)  
plot(T,QDE,'b')  
title('Scintillator GD2O2S: Tb with Isotope Tl201')  
xlabel('Thickness (T→ $\text{gr}/\text{cm}^2$ )')  
ylabel('Quantum Detection Efficiency – QDE')  
grid
```

Ακολουθεί γράφημα που απεικονίζει την QDE σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο "Scintillator Gd₂O₂S:Tb with Isotope Tl201", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness (T)" και "Quantum Detection Efficiency - QDE" αντίστοιχα.



Εικόνα 12: Γράφημα QDE του Σπινθηριστή GD₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tl201

Το γράφημα, στην εικόνα 12, δείχνει τη σχέση μεταξύ του πάχους του ανιχνευτή (Thickness - T) και της QDE για το υλικό GD₂O₂S: Tb με ισότοπο Tl201. Το διάγραμμα που παρέχεται απεικονίζει την Κβαντική Απόδοση Ανίχνευσης (QDE) ενός υλικού σπινθηριστή, Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tl201 σε συνάρτηση με το πάχος του. Εδώ είναι μια ανάλυση του διαγράμματος:

1. Εύρος Κβαντικής Απόδοσης Ανίχνευσης (QDE)

Η QDE στον άξονα y κυμαίνεται από 0 έως 1, αντιπροσωπεύοντας την απόδοση από 0% έως 100%.

2. Εύρος Πάχους (T)

Το πάχος στον άξονα x κυμαίνεται από 0 έως 200 μονάδες.

3. Συμπεριφορά της Καμπύλης

Η καμπύλη ανεβαίνει γρήγορα από το 0 μέχρι σχεδόν το 1 (100% απόδοση) σε πολύ μικρό πάχος, δείχνοντας ότι ακόμη και ένα μικρό πάχος του GD₂O₂S είναι εξαιρετικά αποδοτικό στην ανίχνευση του ισοτόπου Tl201. Αφού φτάσει κοντά στο 1, η καμπύλη παραμένει επίπεδη, δείχνοντας ότι η αύξηση του πάχους πέρα από ένα συγκεκριμένο σημείο δεν ενισχύει σημαντικά την απόδοση ανίχνευσης.

Το υλικό Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tl201 είναι πολύ αποδοτικό ακόμη και σε ελάχιστο πάχος. Για πρακτικούς σκοπούς, δεν υπάρχει ουσιαστικό όφελος στην αύξηση του πάχους πέρα από την αρχική αύξηση, καθώς η QDE παραμένει σταθερή.

Συνολικά, το διάγραμμα δείχνει ότι το υλικό GD₂O₂S επιτυγχάνει μέγιστη απόδοση πολύ γρήγορα με την αύξηση του πάχους, καθιστώντας το ένα εξαιρετικά αποδοτικό υλικό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή απόδοση ανίχνευσης με ελάχιστη χρήση υλικού.

Από το διάγραμμα που απεικονίζει την Κβαντική Απόδοση Ανίχνευσης (QDE) του GD₂O₂S με το ισότοπο Tl²⁰¹ σε συνάρτηση με το πάχος, μπορούν να προκύψουν τα εξής συμπεράσματα:

α. Υψηλή Απόδοση σε Μικρό Πάχος

Το υλικό φτάνει σχεδόν τη μέγιστη απόδοση (QDE κοντά στο 1) σε πολύ μικρό πάχος, κάτι που δείχνει ότι είναι εξαιρετικά αποδοτικό ακόμη και με ελάχιστη χρήση υλικού.

β. Απουσία Σημαντικής Βελτίωσης με Αυξημένο Πάχος

Αφού φτάσει την μέγιστη απόδοση, η καμπύλη παραμένει επίπεδη. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση του πάχους πέρα από ένα συγκεκριμένο σημείο δεν προσφέρει ουσιαστική βελτίωση στην απόδοση ανίχνευσης.

γ. Βέλτιστο Πάχος για Αποδοτικότητα

Υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο πάχους όπου η απόδοση ανίχνευσης είναι μέγιστη και πέρα από αυτό το πάχος, η περαιτέρω αύξηση δεν είναι αποδοτική.

δ. Οικονομία Υλικού

Δεδομένου ότι η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται σε μικρό πάχος, η χρήση του υλικού μπορεί να είναι οικονομική, καθώς δεν απαιτείται μεγάλη ποσότητα για την επίτευξη υψηλής απόδοσης.

ε. Εφαρμογές Υψηλής Απόδοσης

Το υλικό GD₂O₂S είναι κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή απόδοση ανίχνευσης με ελάχιστο πάχος, όπως σε ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές ανίχνευσης ακτινοβολίας.

στ. Σχεδιασμός Ανιχνευτών

Οι Σχεδιαστές ανιχνευτών ακτινοβολίας μπορούν να εκμεταλλευτούν αυτό το χαρακτηριστικό για να δημιουργήσουν λεπτούς και ελαφρείς ανιχνευτές που είναι ταυτόχρονα αποδοτικοί.

ζ. Σταθερότητα Απόδοσης

Η σταθερότητα της απόδοσης μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος δείχνει ότι το υλικό έχει αξιόπιστη και σταθερή απόδοση, ανεξάρτητα από την περαιτέρω αύξηση του πάχους.

η. Αποφυγή Υπερβολικού Πάχους

Η καμπύλη υποδηλώνει ότι η χρήση υπερβολικά παχύς στρώσης υλικού είναι άσκοπη και δεν προσφέρει πρόσθετα πλεονεκτήματα στην ανίχνευση.

Συνοψίζοντας, το διάγραμμα δείχνει ότι το GD₂O₂S με το ισότοπο Tl²⁰¹ είναι ένα πολύ αποδοτικό υλικό που επιτυγχάνει μέγιστη απόδοση ανίχνευσης σε πολύ μικρό πάχος,

καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αποδοτικότητα και οικονομία υλικού.

10.5 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tc99m

Η Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) του σπινθηριστή ΥΑΡ με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc-99m είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη χρήση αυτού του σπινθηριστή για ιατρικές εφαρμογές, όπως η πυρηνική ιατρική και η απεικόνιση.

Ο EAE είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας με την οποία ένας ανιχνευτής ή ένα υλικό απορροφά την εισερχόμενη ενέργεια, όπως φωτόνια ή σωματίδια, και τη μετατρέπει σε ανιχνεύσιμο σήμα ή σε άλλη μορφή ενέργειας. Συγκεκριμένα, το EAE ορίζει το ποσοστό της εισερχόμενης ενέργειας που απορροφάται από το υλικό ή τον ανιχνευτή σε σχέση με τη συνολική εισερχόμενη ενέργεια. Η EAE ενός σπινθηριστή αναφέρεται στην ικανότητά του να απορροφά την ενέργεια της εισερχόμενης ακτινοβολίας και να την μετατρέπει σε ανιχνεύσιμο φωτεινό σήμα.

Για παράδειγμα, αν ένας ανιχνευτής έχει EAE 90%, αυτό σημαίνει ότι το 90% της εισερχόμενης ενέργειας απορροφάται από τον ανιχνευτή και μπορεί να μετατραπεί σε ανιχνεύσιμο σήμα ή άλλη χρήσιμη μορφή ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο 10% χάνεται ή δεν απορροφάται αποτελεσματικά. Για τον ΥΑΡ με το Tc-99m, αυτό εξαρτάται από τη συμβατότητα ενέργειας, καθώς ο ΥΑΡ είναι καλά προσαρμοσμένος στην ενέργεια των 140 keV που εκπέμπει το Tc-99m. Επίσης, η υψηλή πυκνότητα του ΥΑΡ συμβάλλει στην αποτελεσματική απορρόφηση της ακτινοβολίας, και η υψηλή αποδοτικότητα φωταύγειας του εξασφαλίζει ότι η απορροφούμενη ενέργεια μετατρέπεται αποτελεσματικά σε φως, το οποίο στη συνέχεια ανιχνεύεται και μετριέται.

Η Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας σε πολλές τεχνολογικές και επιστημονικές εφαρμογές. Αφορά την ικανότητα ενός υλικού ή συστήματος να απορροφά και να χρησιμοποιεί αποτελεσματικά την ενέργεια που του παρέχεται. Ακολουθούν μερικές σημαντικές εφαρμογές της EAE:

α. Ιατρική Απεικόνιση

Σε συστήματα απεικόνισης η υψηλή αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας σημαίνει ότι λιγότερη ακτινοβολία είναι απαραίτητη για την παραγωγή μιας καθαρής και ευκρινής εικόνας. Ως όφελος είναι η μειώνει την έκθεση του ασθενούς σε ακτινοβολία, μειώνοντας έτσι τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε διαγνωστικές διαδικασίες που απαιτούν επαναλαμβανόμενες εξετάσεις.

β. Ηλιακά Κύτταρα

Η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας στα ηλιακά κύτταρα καθορίζει πόσο καλά τα κύτταρα μπορούν να απορροφήσουν την ηλιακή ενέργεια και να τη μετατρέψουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αύξηση της ΕΑΕ στα ηλιακά κύτταρα μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοσή τους, επιτρέποντας μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας από την ίδια έκταση ηλιακού πάνελ. Αυτό οδηγεί σε μείωση του κόστους της ηλιακής ενέργειας και σε μεγαλύτερη βιωσιμότητα της τεχνολογίας.

γ. Ανιχνευτές Σωματιδίων

Σε εφαρμογές φυσικής υψηλών ενεργειών, η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας επηρεάζει την ικανότητα των ανιχνευτών να καταγράφουν τα σωματίδια που παράγονται σε συγκρούσεις υψηλής ενέργειας. Η βελτιστοποίηση της ΕΑΕ στους ανιχνευτές σωματιδίων επιτρέπει ακριβέστερες και πιο αξιόπιστες μετρήσεις, διευκολύνοντας την έρευνα σε θεμελιώδη φυσικά φαινόμενα και προάγοντας την επιστημονική κατανόηση του σύμπαντος.

Συνολικά, η βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας απορρόφησης ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση και την αποδοτικότητα των συσκευών και των συστημάτων που χρησιμοποιούν αυτά τα υλικά ή ανιχνευτές, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις και προόδους σε διάφορους τομείς.

Ο τύπος της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (ΕΑΕ) είναι:

$$EAE = \frac{\mu_{en}}{\mu(E)} QDE = \frac{\mu_{en}}{\mu(E)} (1 - e^{-\mu(E)T}) \quad (20)$$

όπου:

1. μ_{en} είναι ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας
2. $QDE = 1 - e^{-\mu(E)T}$, ο τύπος της Κβαντικής Ανίχνευσης Απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE)
3. $\mu(E)$ είναι ο γραμμικός συντελεστής απορρόφησης στην ενέργεια E.
4. T είναι το πάχος του ανιχνευτή.

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

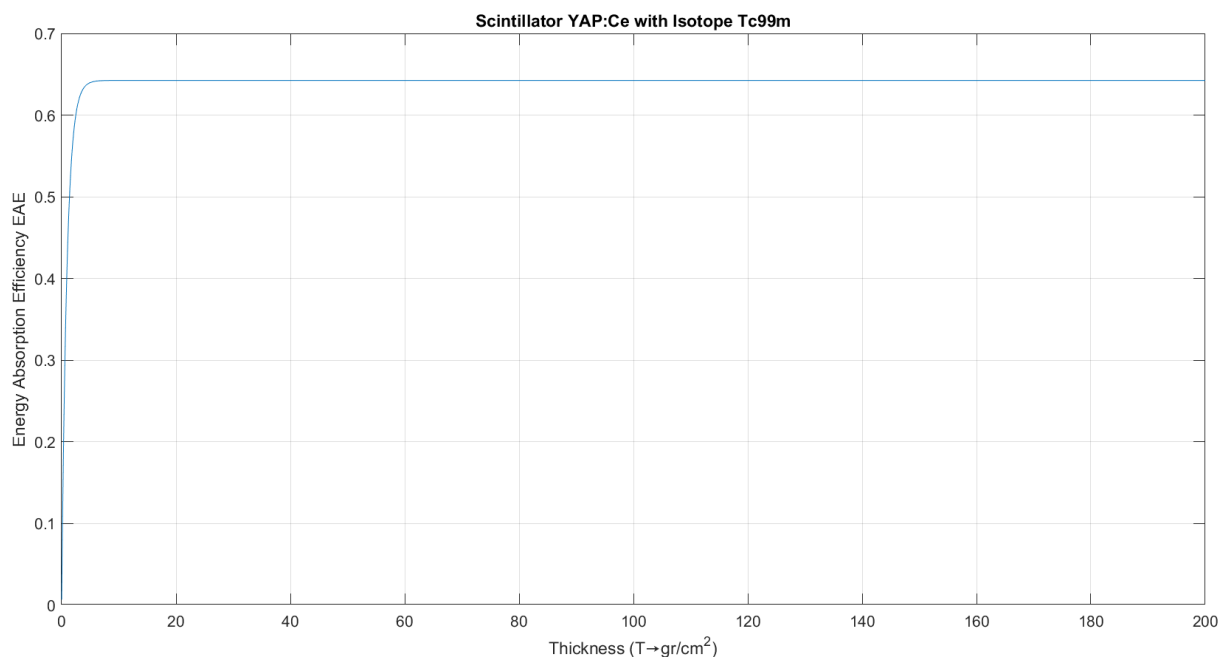
- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{\max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2): μέχρι όπου μηδενίζεται και μέχρι 200
- iii. $BHMA = 0.05$; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}; BHMA; T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.

Ο πίνακας T περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος με συγκεκριμένο βήμα και χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.

Στα επόμενα θα κατασκευαστεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) του Σπινθηριστή YAP:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m), σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Κώδικας MATLAB για Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) του Σπινθηριστή YAP:Ce με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).  
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB  
clc  
clear  
close all  
  
m=1.097; % Tc 99m= 141 keV,  $\mu(E)=1.097 \text{ cm}^2/\text{g}$  για YAP:Ce συντελεστής εξασθένισης ενέργειας των ακτίνων X.  
m1=0.7048; % μεν ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας για YAP:Ce με Tc99m  
  
% T είναι το πάχος του ανιχνευτή.  
Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm2)  
Tmax=200; % Μεταβολή T (gr/cm2), μετά από αυτήν την τιμή μηδενίζεται.  
% Tmax=200;  
BHMA=0.05; % 0.05 gr/cm2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin έως Tmax, με βήμα  
T=(Tmin:BHMA:Tmax);  
  
% Υπολογίζεται η Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) του Σπινθηριστή YAP με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).με βάση τις παραμέτρους που ορίσατε.  
A1=1-exp(-m*T);  
A2=m1/m;  
AE=A2*A1;  
% Σχεδιάζεται το γράφημα της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) του Σπινθηριστή YAP με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m) σε σχέση με το πάχος T.  
figure(1)  
plot(T,AE)  
title('Scintillator YAP:Ce with Isotope Tc99m')  
xlabel('Thickness (T→gr/cm2)')  
ylabel('Energy Absorption Efficiency EAE')  
grid
```

Ακολουθεί γράφημα, στην Εικόνα 13, που απεικονίζει την ΕΑΕ σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο " Scintillator YAP with Tc99m", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness (T)" και "Energy Absorption Efficiency - ΕΑΕ " αντίστοιχα.



Εικόνα 13: Γράφημα ΕΑΕ του Σπινθηριστή YAP:Ce με το ισότοπο Tc99m

Το διάγραμμα παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ του πάχους (T) του ανιχνευτή YAP:Ce και της ενεργειακής απόδοσης απορρόφησης (Energy Absorption Efficiency - ΕΑΕ) για το ισότοπο Tc99m. Οι κύριες παρατηρήσεις από το διάγραμμα είναι οι εξής:

α. **Ο Άξονας X** (οριζόντιος)

Παρουσιάζει το πάχος (T) του ανιχνευτή.

β. **Ο Άξονας Y** (κάθετος)

Παρουσιάζει την ενεργειακή απόδοση απορρόφησης (ΕΑΕ), με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 0.7.

γ. **Η Καμπύλη**

Η καμπύλη δείχνει ότι η ενεργειακή απόδοση απορρόφησης αυξάνεται γρήγορα με την αύξηση του πάχους του ανιχνευτή, φτάνοντας περίπου στο 0.6, και στη συνέχεια παραμένει σχεδόν σταθερή ανεξάρτητα από την περαιτέρω αύξηση του πάχους.

δ. **Περιοχή Κορεσμού**

Παρατηρείται ότι μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος, η ενεργειακή απόδοση απορρόφησης παραμένει σχεδόν σταθερή, δείχνοντας ότι η αύξηση του πάχους πέρα από αυτό το σημείο δεν επηρεάζει σημαντικά την απορρόφηση της ενέργειας.

Η ενεργειακή απόδοση απορρόφησης δείχνει πόσο αποτελεσματικός είναι ο ανιχνευτής ΥΑΡ στο να απορροφά την ενέργεια από το ισότοπο Tc99m. Το διάγραμμα δείχνει ότι υπάρχει ένα συγκεκριμένο πάχος όπου ο ανιχνευτής φτάνει την μέγιστη αποδοτικότητά του. Το γράφημα δείχνει ότι η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας αυξάνεται γρήγορα καθώς αυξάνεται το πάχος του υλικού και μετά σταθεροποιείται γύρω από την τιμή 0.65 για πάχη άνω των 20 μονάδων.

Από το γράφημα της ΕΑΕ του σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tc99m, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. **Αύξηση Αποδοτικότητας με Πάχος**

Η ενεργειακή αποδοτικότητα απορρόφησης (ΕΑΕ) του ανιχνευτή ΥΑΡ αυξάνεται γρήγορα με την αύξηση του πάχους του ανιχνευτή, υποδεικνύοντας ότι ένας πιο παχύς ανιχνευτής είναι αρχικά πιο αποτελεσματικός στην απορρόφηση της ενέργειας του ισότοπου Tc99m.

2. **Σταθεροποίηση Αποδοτικότητας**

Μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος, η ΕΑΕ σταθεροποιείται περίπου στο 0.6, υποδηλώνοντας ότι υπάρχει ένα όριο μετά το οποίο η περαιτέρω αύξηση του πάχους δεν βελτιώνει σημαντικά την αποδοτικότητα.

3. **Βέλτιστο Πάχος Ανιχνευτή**

Το σημείο όπου η καμπύλη αρχίζει να σταθεροποιείται μπορεί να θεωρηθεί ως το βέλτιστο πάχος του ανιχνευτή για την αποδοτική απορρόφηση της ενέργειας του Tc99m. Περαιτέρω αύξηση του πάχους πέρα από αυτό το σημείο δεν είναι απαραίτητη και μπορεί να θεωρηθεί σπατάλη υλικών και πόρων.

4. **Σχεδιασμός Ανιχνευτών**

Για την κατασκευή ανιχνευτών ΥΑΡ που θα χρησιμοποιηθούν με το ισότοπο Tc99m, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το πάχος που μεγιστοποιεί την ΕΑΕ, ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη αποδοτικότητα χωρίς υπερβολική χρήση υλικού.

5. **Αποτελεσματικότητα Ανιχνευτή**

Ο ανιχνευτής ΥΑΡ:Ce είναι πολύ αποτελεσματικός στην απορρόφηση της ενέργειας του Tc99m, δεδομένου ότι η ΕΑΕ φτάνει και σταθεροποιείται κοντά στο 0.6, υποδηλώνοντας υψηλό ποσοστό απορρόφησης.

6. **Εξοικονόμηση Πόρων**

Η γνώση του βέλτιστου πάχους μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση πόρων κατά την κατασκευή ανιχνευτών, καθώς η χρήση υλικού πέρα από το βέλτιστο πάχος δεν προσφέρει επιπλέον αποδοτικότητα.

7. **Εφαρμογές στην Ιατρική και στην Απεικόνιση**

Τα ευρήματα είναι σημαντικά για εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση, όπου το Tc99m χρησιμοποιείται συχνά. Ένας ανιχνευτής με το βέλτιστο πάχος θα μπορούσε να βελτιώσει την ποιότητα της απεικόνισης και να μειώσει την έκθεση σε ακτινοβολία.

8. Πρακτική Σημασία

Στην πράξη, οι ανιχνευτές με πάχος πέρα από το σημείο κορεσμού μπορεί να είναι πρακτικά αχρειαστοί, καθώς δεν προσφέρουν επιπλέον αποδοτικότητα και μπορούν να αυξήσουν το κόστος και την πολυπλοκότητα της κατασκευής.

Αυτά τα συμπεράσματα μπορούν να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση των ανιχνευτών ΥΑΡ για την καλύτερη απορρόφηση της ενέργειας του ισοτόπου Tc99m, εξασφαλίζοντας αποτελεσματικότητα και οικονομία στους σχεδιασμούς και τις εφαρμογές τους.

10.6 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (ΕΑΕ) Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tl201

Όπως έχει αναφερθεί προγενέστερα, η ΕΑΕ είναι ένα κρίσιμο μέτρο στην ανάλυση και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων ανίχνευσης ακτινοβολίας. Στην περίπτωση των σπινθηριστών όπως ο ΥΑΡ:Ce, η ΕΑΕ είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αποτίμηση της αποδοτικότητας με την οποία ο σπινθηριστής μετατρέπει την απορροφημένη ενέργεια από την ακτινοβολία σε φωτεινή έξοδο.

Η ΕΑΕ στον σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με χρήση του ισοτόπου Tl-201 εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η σύνθεση και η ποιότητα του σπινθηριστή, η καθαρότητα και η ομοιομορφία του υλικού που επηρεάζουν την αποδοτικότητα στην απορρόφηση και τη μετατροπή της ακτινοβολίας σε φωτεινή έξοδο. Η γεωμετρία του σπινθηριστή, δηλαδή το πάχος και το μέγεθος του, παίζουν σημαντικό ρόλο στη συνολική αποδοτικότητα απορρόφησης. Η ενεργειακή κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το Tl-201 επηρεάζει την αποδοτικότητα απορρόφησης, καθώς η αποδοτικότητα απορρόφησης μπορεί να διαφέρει σε διαφορετικά ενεργειακά επίπεδα.

Ο τύπος της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας, ΕΑΕ, είναι:

$$EAE = \frac{f_1 E_1 \left(\frac{\mu_{en1}}{\mu_1(E)} \right) [1 - e^{-\mu_1(E)T}] + f_2 E_2 \left(\frac{\mu_{en2}}{\mu_2(E)} \right) [1 - e^{-\mu_2(E)T}] + f_3 E_3 [1 - e^{-\mu_3(E)T}]}{f_1 E_1 + f_2 E_2 + f_3 E_3} \quad (21)$$

όπου:

1. E_1, E_2, E_3 είναι οι ενέργειες των φωτονίων.
2. $\mu_{en1}, \mu_{en2}, \mu_{en3}$ είναι οι συντελεστές απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.
3. $\mu_1(E), \mu_2(E), \mu_3(E)$ είναι οι γραμμικοί συντελεστές εξασθένησης για τις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.
4. f_1, f_2, f_3 είναι οι κλασματικοί παράγοντες των αντίστοιχων ενεργειών φωτονίων.
5. T είναι το πάχος του ανιχνευτή.

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)

- ii. $T_{\max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2): μέχρι όπου μηδενίζεται και μέχρι 200
- iii. $\text{BΗΜΑ} = 0.05$; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}; \text{BΗΜΑ}; T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.

Ο πίνακας T περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος με συγκεκριμένο βήμα και χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.

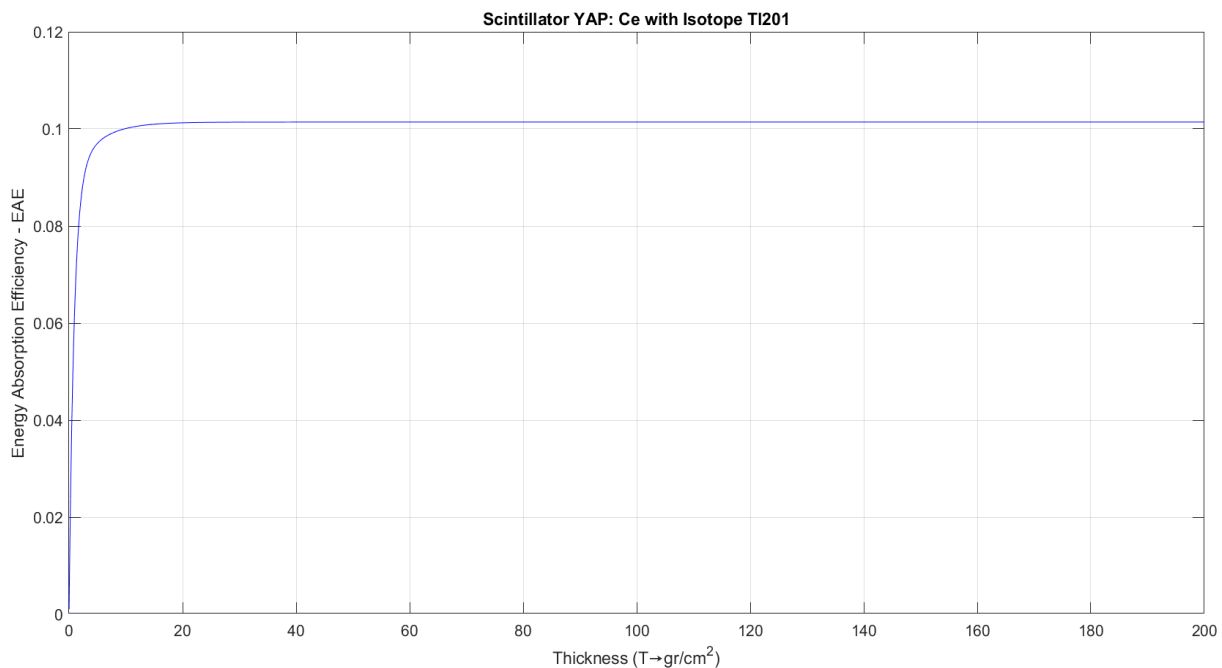
Αυτός ο τύπος λαμβάνει υπόψη τις ενέργειες των φωτονίων και τους συντελεστές απορρόφησης ενέργειας για τον υπολογισμό της συνολικής αποδοτικότητας απορρόφησης ενέργειας.

Ακολουθεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την ΕΑΕ, σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201), σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Υπολογισμός Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE),  
% Σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201).  
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB  
clc  
clear  
close all  
m1=1.29; % Tl201= 71 keV,  $\mu(E)=1.29 \text{ cm}^2/\text{g}$  για ΥΑΡ: Ce. Συντελεστής εξασθένισης ενέργειας  
των ακτίνων X.  
m2=0.95; % Tl201= 80 keV,  $\mu(E)=0.95 \text{ cm}^2/\text{g}$  για ΥΑΡ: Ce. Συντελεστής εξασθένισης ενέργειας  
των ακτίνων X.  
m3=0.22; % Tl201= 167 keV,  $\mu(E)=0.22 \text{ cm}^2/\text{g}$  για ΥΑΡ: Ce. Συντελεστής εξασθένισης ενέργειας  
των ακτίνων X.  
men1=0.29528; % συντελεστής απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.  
men2=0.688; % συντελεστής απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.  
men3=0.1044; % συντελεστής απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.  
E1=71; % Tl201= 71 keV,  $\mu(E)=1.29 \text{ cm}^2/\text{g}$  για ΥΑΡ:Ce. Ενέργειες των ακτίνων X.  
E2=80; % Tl201= 80 keV,  $\mu(E)=0.95 \text{ cm}^2/\text{g}$  για ΥΑΡ:Ce. Ενέργειες των ακτίνων X.  
E3=167; % Tl201= 167 keV,  $\mu(E)=0.22 \text{ cm}^2/\text{g}$  για ΥΑΡ: Ce. Ενέργειες των ακτίνων X.  
f1=0.47; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου  $i$  στη συνολική απόδοση.  
f2=0.2; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου  $i$  στη συνολική απόδοση.  
f3=0.1; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου  $i$  στη συνολική απόδοση.  
  
Tmin=0.01; % Μεταβολή T ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ )  
Tmax=200; % Μεταβολή T ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ )  
BΗΜΑ=0.05; % 0.05  $\text{gr}/\text{cm}^2$ . Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin  
έως Tmax, με βήμα  
T=(Tmin:BΗΜΑ:Tmax);  
  
% Υπολογίζεται την Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας με βάση τις παραμέτρους που  
ορίσατε.  
AE1=(f1*E1)*((men1/m1))*(1- exp(-m1*T));  
AE2=(f2*E2)*((men2/m2))*(1- exp(-m2*T));  
AE3=(f3*E3)*((men3/m3))*(1- exp(-m3*T));  
EAE=(f1*AE1+f2*AE2+f3*AE3)/(f1*E1+f2*E2+f3*E3);  
  
% Σχεδιάζεται το γράφημα της Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) σε σχέση με το
```

```
πάχος T.  
figure(1)  
plot(T,EAE,'b')  
title('Scintillator YAP: Ce with Isotope Tl201')  
xlabel('Thickness (T→gr/cm2)')  
ylabel('Energy Absorption Efficiency - EAE')  
grid
```

Ακολουθεί, γράφημα στην εικόνα 14, που απεικονίζει την ΕΑΕ σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο "Scintillator YAP: Ce with Isotope Tl201", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness (T)" και "Energy Absorption Efficiency - EAE" αντίστοιχα.



Εικόνα 14: Γράφημα ΕΑΕ του Σπινθηριστή YAP:Ce με το ισότοπο Tl201

Το γράφημα παρουσιάζει την ΕΑΕ για τον σπινθηριστή YAP:Ce με το ισότοπο Tl201, σε σχέση με το πάχος του υλικού. Ο οριζόντιος άξονας 'X' αντιπροσωπεύει το πάχος του υλικού του σπινθηριστή. Ο κάθετος άξονας 'Y' αντιπροσωπεύει την Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (ΕΑΕ), που είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας του σπινθηριστή στην απορρόφηση ενέργειας.

Η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας (ΕΑΕ) αυξάνεται απότομα για τα πρώτα μικρά πάχη του ανιχνευτή και μετά φτάνει σε μια σταθεροποίηση περίπου στο 0.1. Αυτό υποδηλώνει ότι η αύξηση του πάχους πέρα από ένα συγκεκριμένο σημείο δεν προσφέρει σημαντική αύξηση στην αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας.

Η μέγιστη τιμή της ΕΑΕ φτάνει περίπου το 0.1, που σημαίνει ότι το 10% της ενέργειας απορροφάται από τον ανιχνευτή. Η καμπύλη δείχνει μια χαρακτηριστική συμπεριφορά που είναι συνήθης σε τέτοιου είδους μετρήσεις, όπου η αποδοτικότητα απορρόφησης σταθεροποιείται μετά από κάποιο σημείο αύξησης του πάχους του υλικού..

Από το γράφημα της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (ΕΑΕ) του σπινθηριστή ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tl201, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Αρχική Αύξηση της ΕΑΕ

Η ΕΑΕ αυξάνεται απότομα για τα πρώτα μικρά πάχη του ανιχνευτή. Αυτό σημαίνει ότι η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας είναι πολύ ευαίσθητη στις αλλαγές πάχους στα αρχικά στάδια.

2. Σταθεροποίηση της ΕΑΕ

Μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος (περίπου 20 μονάδες), η ΕΑΕ φτάνει σε μια σταθερή τιμή περίπου στο 0.1. Αυτό δείχνει ότι η περαιτέρω αύξηση του πάχους του ανιχνευτή πέρα από αυτό το σημείο δεν προσφέρει σημαντική αύξηση στην αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας.

3. Μέγιστη Τιμή ΕΑΕ

Η μέγιστη τιμή της ΕΑΕ είναι περίπου 0.1. Αυτό σημαίνει ότι το 10% της ενέργειας απορροφάται από τον ανιχνευτή, ενώ το υπόλοιπο 90% περνάει ή χάνεται.

4. Σχεδιασμός Ανιχνευτή

Για τον σχεδιασμό ανιχνευτή με βάση το υλικό ΥΑΡ:Ce και το ισότοπο Tl201, η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται με πάχος περίπου 20 μονάδων. Πάχος μεγαλύτερο από αυτό δεν θα βελτιώσει σημαντικά την απόδοση, ενώ θα προσθέσει επιπλέον υλικό και κόστος.

5. Οικονομική Αποδοτικότητα

Η χρήση επιπλέον υλικού για την αύξηση του πάχους πέρα από το σημείο σταθεροποίησης της ΕΑΕ μπορεί να θεωρηθεί οικονομικά μη αποδοτική, αφού δεν προσφέρει σημαντικά οφέλη στην απορρόφηση ενέργειας.

6. Εφαρμογές στην Ιατρική και στη Φυσική

Οι ανιχνευτές ΥΑΡ:Ce με το ισότοπο Tl201 μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου η μέγιστη απορρόφηση ενέργειας δεν είναι κρίσιμη ή όπου η σταθεροποίηση της απορρόφησης ενέργειας σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο είναι αποδεκτή.

7. Ικανότητα Απορρόφησης

Το υλικό ΥΑΡ:Ce έχει μια πεπερασμένη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας η οποία σταθεροποιείται μετά από ένα συγκεκριμένο πάχος. Αυτό δείχνει ότι το υλικό έχει συγκεκριμένα όρια απορρόφησης τα οποία δεν μπορούν να ξεπεραστούν με την απλή αύξηση του πάχους.

8. Περιορισμοί Υλικού

Οι περιορισμοί στην απορρόφηση ενέργειας μπορεί να σχετίζονται με τις εσωτερικές ιδιότητες του υλικού, όπως η πυκνότητα, η ατομική σύνθεση και η κρυσταλλική δομή.

9. Συμπεριφορά Απορρόφησης

Η συμπεριφορά της ΕΑΕ σε σχέση με το πάχος υποδεικνύει ότι το ισότοπο Tl201 έχει συγκεκριμένη αλληλεπίδραση με το υλικό YAP:Ce, η οποία καθορίζει την αποδοτικότητα απορρόφησης.

Για εφαρμογές που απαιτούν βέλτιστη απορρόφηση ενέργειας, ο σχεδιασμός ανιχνευτών με το υλικό YAP:Ce και το ισότοπο Tl201 πρέπει να λαμβάνει υπόψη το σημείο σταθεροποίησης της ΕΑΕ για να εξασφαλίσει αποδοτική χρήση των πόρων. Οι ιδιότητες απορρόφησης του YAP:Ce με το ισότοπο Tl201 μπορούν να αξιοποιηθούν σε διάφορους τομείς, όπως η ιατρική απεικόνιση, η ανίχνευση ακτινοβολίας και άλλες τεχνολογικές εφαρμογές.

10.7 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (ΕΑΕ) σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ακτινοβόλο Ισότοπο Tc99m

Η ΕΑΕ του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με Tc99m εξαρτάται από διάφορους παράγοντες:

α. Σύνθεση και Δομή του Σπινθηριστή

Το $Gd_2O_2S:Tb$ πρέπει να έχει τη σωστή κρυσταλλική δομή και την κατάλληλη συγκέντρωση τέρβιου για να μεγιστοποιήσει την απορρόφηση και τη μετατροπή της ενέργειας. Ενέργεια της Ακτινοβολίας: Η ενέργεια των γ-ακτίνων που εκπέμπει το Tc99m πρέπει να ταιριάζει με τις ενεργειακές καταστάσεις του σπινθηριστή για βέλτιστη απορρόφηση.

β. Πάχος και Πυκνότητα του Υλικού

Το πάχος και η πυκνότητα του $Gd_2O_2S:Tb$ επηρεάζουν την ποσότητα της ακτινοβολίας που μπορεί να απορροφηθεί. Ένα πολύ λεπτό στρώμα μπορεί να μην απορροφά επαρκή ακτινοβολία, ενώ ένα πολύ παχύ μπορεί να απορροφά υπερβολικά, μειώνοντας την απόδοση της εκπομπής φωτός.

Η υψηλή ΕΑΕ σημαίνει ότι περισσότερο από την ενέργεια της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ορατό φως, βελτιώνοντας την ποιότητα της εικόνας και μειώνοντας την απαραίτητη δόση ακτινοβολίας στον ασθενή. Αυτό είναι κρίσιμο για την ασφάλεια και την ακρίβεια της διαγνωστικής διαδικασίας.

Συνοψίζοντας, η Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση του σπινθηριστή στις ιατρικές απεικονίσεις, βελτιώνοντας την ποιότητα της εικόνας και την ασφάλεια των ασθενών.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ΕΑΕ περιλαμβάνουν τη σύνθεση του σπινθηριστή, την ακτινοβολία από Tc-99m, και το πάχος του σπινθηριστή. Η ντοπαρισμένη ένωση (GD2O2S) έχει συγκεκριμένα ενεργειακά επίπεδα που ευνοούν την αποδοτική μετατροπή της ενέργειας. Η ενέργεια της ακτινοβολίας γάμμα από το Tc-99m είναι ιδανική για απορρόφηση από το GD2O2S, ενώ ένα κατάλληλο πάχος μεγιστοποιεί την απορρόφηση της ενέργειας.

Συνοψίζοντας, η σχέση μεταξύ της αποδοτικότητας απορρόφησης ενέργειας και του σπινθηριστή GD2O2S με Tc-99m είναι καθοριστική για την αποδοτική χρήση του υλικού σε ιατρικές απεικονίσεις. Η υψηλή ΕΑΕ του GD2O2S με την ακτινοβολία Tc-99m εξασφαλίζει ότι το υλικό είναι εξαιρετικά αποδοτικό στην μετατροπή της ακτινοβολίας σε χρήσιμα απεικονιστικά δεδομένα.

Ο τύπος της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (ΕΑΕ) περιγράφει την αποδοτικότητα με την οποία ένα υλικό απορροφά την ενέργεια της ακτινοβολίας που περνά από αυτό. Στην προκειμένη περίπτωση, το υλικό είναι το Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tc99m:

$$EAE = \frac{\mu_{en}}{\mu(E)} QDE = \frac{\mu_{en}}{\mu(E)} (1 - e^{-\mu(E)T}) \quad (22)$$

όπου:

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{\min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{\max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2)
- iii. $BHMA = 0.05$; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{\min}; BHMA; T_{\max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.

Ο πίνακας T περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος με συγκεκριμένο βήμα και χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.

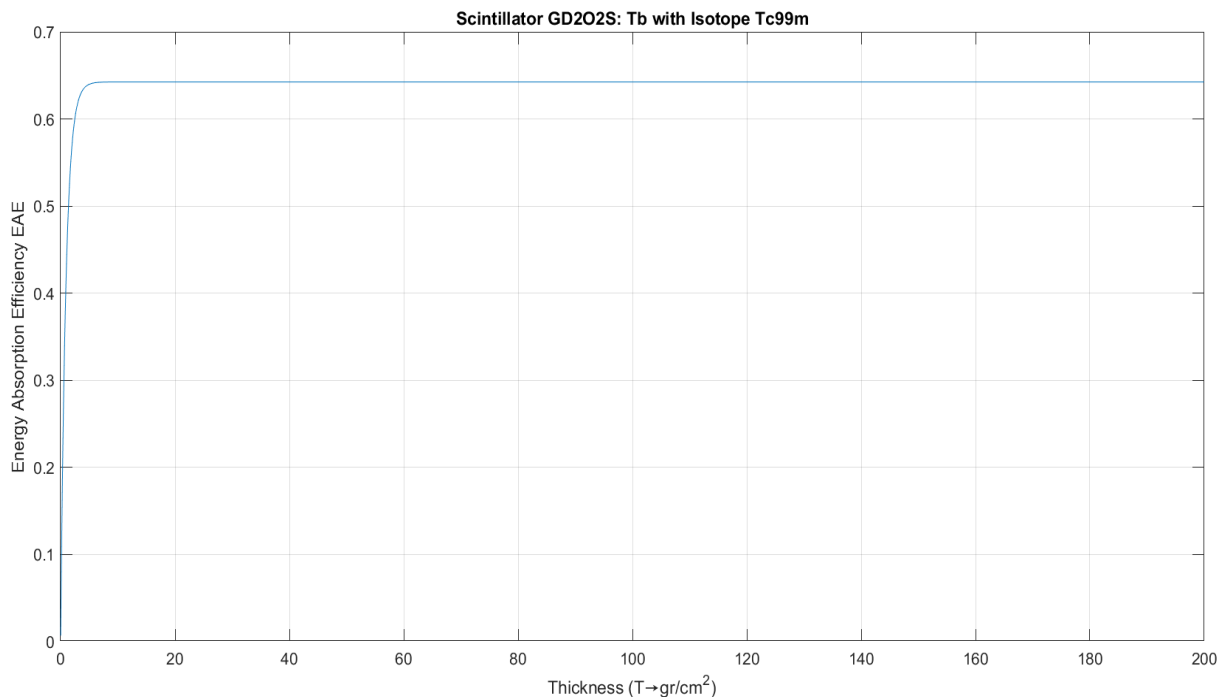
Η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας (ΕΑΕ) είναι ένα μέτρο του πόσο αποτελεσματικά το υλικό απορροφά την ενέργεια της ακτινοβολίας.

Στα επόμενα θα κατασκευαστεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την (ΕΑΕ) του σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb, με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m, σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Κώδικας MATLAB για Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) του Σπινθηριστή GD2O2S: Tb με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).  
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB  
clc  
clear  
close all  
m=1.097; % Tc 99m= 141 keV, μ(E)=1.097 cm^2/g για GD2O2S: Tb με Tc99m  
m1=0.7048; % μen ο συντελεστής απορρόφησης ενέργειας για GD2O2S: Tb με Tc99m  
  
% T είναι το πάχος του ανιχνευτή.  
Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm^2)  
Tmax=200; % Μεταβολή T (gr/cm^2)
```

```
% Tmax=200;  
BHMA=0.05; % 0.05 gr/cm^2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin  
έως Tmax, με βήμα  
T=(Tmin:BHMA:Tmax);  
  
% Υπολογίζεται η Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE)  
του Σπινθηριστή GD2O2S: Tb με Tc99m με το ακτινοβόλο ισότοπο Tc99m).με βάση τις  
παραμέτρους που ορίσατε.  
A1=1-exp(-m*T);  
A2=m1/m;  
AE=A2*A1;  
  
% Σχεδιάζεται το γράφημα της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption  
Efficiency - EAE) του Σπινθηριστή GD2O2S: Tb με Tc99m σε σχέση με το πάχος T.  
figure(1)  
plot(T,AE)  
title('Scintillator GD2O2S: Tb with Isotope Tc99m')  
xlabel('Thickness (T→gr/cm^2)')  
ylabel('Energy Absorption Efficiency EAE')  
grid
```

Ακολουθεί γράφημα στην εικόνα 15, που απεικονίζει την EAE σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο " Scintillator GD2O2S: Tb with Tc99m", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness (T)" και "Energy Absorption Efficiency - EAE " αντίστοιχα.



Εικόνα 15: Γράφημα EAE του Σπινθηριστή GD2O2S: Tb με το ισότοπο Tc99m

Ο κατακόρυφος άξονας (y) απεικονίζει την Ενεργειακή Απορρόφηση Αποτελεσματικότητα (ΕΑΕ) που κυμαίνεται από 0 έως 0.7. Ο οριζόντιος άξονας (x) απεικονίζει το πάχος (T) του Σπινθηριστή σε μονάδες που δεν αναφέρονται στο γράφημα, αλλά φτάνει μέχρι το 200. Η καμπύλη δείχνει ότι η ΕΑΕ αυξάνεται απότομα στην αρχή και πλησιάζει την τιμή 0.65 καθώς το πάχος αυξάνεται, ενώ μετά από κάποιο σημείο παραμένει σχεδόν σταθερή, υποδεικνύοντας ότι η απόδοση απορρόφησης ενέργειας σταθεροποιείται με την αύξηση του πάχους του Σπινθηριστή.

Από το γράφημα της (ΕΑΕ) του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ισότοπο $Tc99m$, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. **Αρχική Απότομη Αύξηση της ΕΑΕ**

Στα πρώτα στάδια του πάχους, η ΕΑΕ αυξάνεται απότομα. Αυτό σημαίνει ότι μικρές αυξήσεις στο πάχος του σπινθηριστή οδηγούν σε σημαντική αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας από τις ακτινοβολίες του $Tc-99m$.

2. **Σταθεροποίηση της ΕΑΕ**

Μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο, η καμπύλη της ΕΑΕ σταθεροποιείται περίπου στο 0.65. Αυτό υποδεικνύει ότι υπάρχει ένα όριο στο οποίο η αύξηση του πάχους δεν προσθέτει σημαντικά στην απορρόφηση ενέργειας, καθώς ο σπινθηριστής έχει ήδη φτάσει σε μια μέγιστη απόδοση.

3. **Βέλτιστο Πάχος**

Από το γράφημα προκύπτει ότι το βέλτιστο πάχος για μέγιστη απορρόφηση ενέργειας μπορεί να είναι περίπου μεταξύ 50 και 100 μονάδων πάχους, μετά από το οποίο η αύξηση του πάχους προσθέτει πολύ λίγο στην αποτελεσματικότητα.

4. **Αποτελεσματικότητα του Υλικού**

Το γεγονός ότι η καμπύλη φτάνει γρήγορα σε σταθερή τιμή δείχνει ότι το υλικό $Gd_2O_2S:Tb$ είναι πολύ αποδοτικό στην απορρόφηση της ενέργειας από το ισότοπο $Tc-99m$ με σχετικά μικρό πάχος.

5. **Εφαρμογές και Πρακτική Χρήση**

Τα αποτελέσματα αυτά είναι χρήσιμα για τον σχεδιασμό συστημάτων απεικόνισης και ανίχνευσης ακτινοβολίας. Οι σχεδιαστές μπορούν να επιλέξουν το βέλτιστο πάχος του σπινθηριστή για να επιτύχουν υψηλή απόδοση χωρίς περιττές αυξήσεις στο μέγεθος και το βάρος του ανιχνευτή.

Συνοψίζοντας, το γράφημα καταδεικνύει ότι ο σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός για το ισότοπο $Tc-99m$, με την απόδοση απορρόφησης να φτάνει γρήγορα σε ένα μέγιστο και να παραμένει σταθερή με την περαιτέρω αύξηση του πάχους. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη αποτελεσματικών και οικονομικά αποδοτικών ανιχνευτών ακτινοβολίας.

10.8 Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ακτινοβόλο Ισότοπο $Tl201$

. Ο υπολογισμός της EAE περιλαμβάνει την ανάλυση της απορροφητικότητας του υλικού για τις συγκεκριμένες ακτίνες γάμμα του ισότοπου $Tl201$ και την αποτελεσματικότητα της μετατροπής της απορροφούμενης ενέργειας σε φωτεινά φωτόνια. Χρησιμοποιούνται εξισώσεις που λαμβάνουν υπόψη τις διατομές απορρόφησης, τη φωτεινή απόδοση και άλλους σχετικούς παράγοντες του σπινθηριστή. Μια υψηλή EAE σημαίνει καλύτερη ποιότητα εικόνας και μεγαλύτερη ακρίβεια στη διάγνωση, βελτιστοποιώντας την χρήση της ραδιενεργού δόσης και μειώνοντας την έκθεση των ασθενών στην ακτινοβολία.

Συνολικά, η κατανόηση της EAE και η χρήση υλικών όπως ο $Gd_2O_2S:Tb$ σε συνδυασμό με ραδιοϊσότοπα όπως το $Tl-201$ συμβάλλουν σημαντικά στην πρόοδο των ιατρικών απεικονιστικών μεθόδων και στην βελτίωση της διάγνωσης ασθενειών.

Ο τύπος της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) είναι:

$$EAE = \frac{f_1 E_1 \left(\frac{\mu_{en1}}{\mu_1(E)} \right) [1 - e^{-\mu_1(E)T}] + f_2 E_2 \left(\frac{\mu_{en2}}{\mu_2(E)} \right) [1 - e^{-\mu_2(E)T}] + f_3 E_3 [1 - e^{-\mu_3(E)T}]}{f_1 E_1 + f_2 E_2 + f_3 E_3} \quad (23)$$

όπου:

6. E_1, E_2, E_3 είναι οι ενέργειες των φωτονίων.
7. $\mu_{en1}, \mu_{en2}, \mu_{en3}$ είναι οι συντελεστές απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.
8. $\mu_1(E), \mu_2(E), \mu_3(E)$ είναι οι γραμμικοί συντελεστές εξασθένησης για τις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.
9. f_1, f_2, f_3 είναι οι κλασματικοί παράγοντες των αντίστοιχων ενεργειών φωτονίων.
10. T είναι το πάχος του ανιχνευτή.

Ορίζονται οι τιμές του πάχους της οθόνης:

- i. $T_{min} = 0.01$; το ελάχιστο πάχος (gr/cm^2)
- ii. $T_{max} = 200$; το μέγιστο πάχος (gr/cm^2)
- iii. $BHMA = 0.05$; το βήμα (gr/cm^2)
- iv. $T = (T_{min}: BHMA: T_{max})$, ο πίνακας τιμών πάχους περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος, με συγκεκριμένο βήμα.

Ο πίνακας T περιλαμβάνει όλες τις τιμές από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο πάχος με συγκεκριμένο βήμα και χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση και τον υπολογισμό του πάχους της οθόνης φωσφόρου στο πεδίο των γραμμικών μετρήσεων.

Ο παραπάνω τύπος υπολογίζει την αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη τις συνεισφορές των διάφορων ενεργειακών συνιστωσών και τις απορροφητικές τους ιδιότητες στο υλικό. Κάθε συνιστώσα ενέργειας (E_1, E_2, E_3) έχει διαφορετική συνεισφορά στην απορρόφηση, η οποία εξαρτάται από τον συντελεστή μαζικής απορρόφησης ενέργειας ($\mu_{en1}, \mu_{en2}, \mu_{en3}$) και τον μαζικό συντελεστή απόσβεσης ($\mu_1(E), \mu_2(E), \mu_3(E)$).

Ο τύπος συνυπολογίζει την κλασματική απόδοση κάθε ενεργειακής συνιστώσας (f_1, f_2, f_3), καθώς και την πιθανότητα απορρόφησης που καθορίζεται από τον παράγοντα $[1 - e^{-\mu_1(E)T}]$

Ο αριθμητής του τύπου περιλαμβάνει τα γινόμενα της ενέργειας των φωτονίων με τους αντίστοιχους συντελεστές απορρόφησης και τις κλασματικές αποδόσεις τους, προσαρμοσμένα για την απορρόφηση μέσω του παράγοντα απόσβεσης $[1 - e^{-\mu_1(E)T}]$. Ο παρανομαστής εξασφαλίζει ότι το συνολικό αποτέλεσμα κανονικοποιείται ως προς τις συνολικές ενέργειες των φωτονίων.

Ο τύπος είναι χρήσιμος για την εκτίμηση της απόδοσης ενός υλικού στην απορρόφηση ενέργειας από διαφορετικές πηγές ακτινοβολίας, κάτι που είναι σημαντικό για εφαρμογές όπως η ιατρική απεικόνιση με χρήση του ισότοπου Tl-201.

Ακολουθεί κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, που θα υπολογίζει την Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) του Σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$, με το ακτινοβόλο ισότοπο Tl201, σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή.

```
% Υπολογισμός Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE),  
Σπινθηριστή GD2O2S:Tb με τη χρήση του ακτινοβόλου ισότοπου Tl201).  
% Αρχικοποιείται και καθαρίζεται το περιβάλλον του MATLAB  
clc  
clear  
close all  
m1=6.36; % Tl201= 71 keV,  $\mu(E)= 6,36 \text{ cm}^2/\text{g}$  για GD2O2S:Tb.  
m2=4.69; % Tl201= 80 keV,  $\mu(E)= 4,69 \text{ cm}^2/\text{g}$  για GD2O2S:Tb.  
m3=0.74; % Tl201= 167 keV,  $\mu(E)=0.74 \text{ cm}^2/\text{g}$  για GD2O2S:Tb.  
men1=3.036; % συντελεστής απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.  
men2=2.452; % συντελεστής απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.  
men3=0.4789; % συντελεστής απορρόφησης ενέργειας στις αντίστοιχες ενέργειες φωτονίων.  
E1=71; % Tl201= 71 keV,  $\mu(E)=6,36 \text{ cm}^2/\text{g}$  για GD2O2S:Tb. Ενέργειες των ακτίνων X.  
E2=80; % Tl201= 80 keV,  $\mu(E)=4,69 \text{ cm}^2/\text{g}$  για GD2O2S:Tb. Ενέργειες των ακτίνων X.  
E3=167; % Tl201= 167 keV,  $\mu(E)=0.74 \text{ cm}^2/\text{g}$  για GD2O2S:Tb. Ενέργειες των ακτίνων X.  
f1=0.47; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου  $i$  στη συνολική απόδοση.  
f2=0.2; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου  $i$  στη συνολική απόδοση.  
f3=0.1; % είναι το ποσοστό συμμετοχής του ενεργειακού επιπέδου  $i$  στη συνολική απόδοση.  
  
Tmin=0.01; % Μεταβολή T (gr/cm^2)  
Tmax=200; % Μεταβολή T (gr/cm^2)  
BHMA=0.05; % 0.05 gr/cm^2. Ορίζεται το εύρος των τιμών για το πάχος T της οθόνης, από Tmin  
έως Tmax, με βήμα  
T=(Tmin:BHMA:Tmax);  
  
% Υπολογίζεται την Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας με βάση τις παραμέτρους που  
ορίσατε.  
AE1=(f1*E1)*((men1/m1))*(1- exp(-m1*T));
```

$$AE2=(f2*E2)*((m2/m2))*(1- \exp(-m2*T));$$
$$AE3=(f3*E3)*((m3/m3))*(1- \exp(-m3*T));$$
$$EAE=(f1*AE1+f2*AE2+f3*AE3)/(f1*E1+f2*E2+f3*E3);$$

% Σχεδιάζεται το γράφημα της Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) σε σχέση με το πάχος T.

figure(1)

plot(T,EAE,'b')

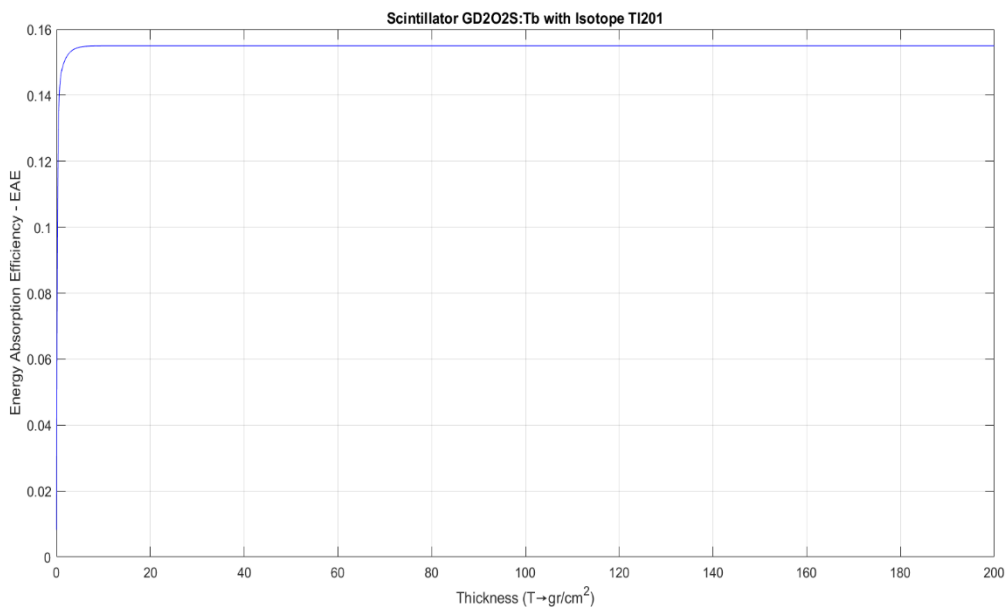
title('Scintillator GD2O2S:Tb with Isotope Tl201')

xlabel('Thickness (T→gr/cm²)')

ylabel('Energy Absorption Efficiency - EAE')

grid

Ακολουθεί γράφημα στην εικόνα 16 που απεικονίζει την EAE σε συνάρτηση με το πάχος του ανιχνευτή. Το γράφημα έχει τίτλο "Scintillator GD2O2S:Tb with Isotope Tl201", και στους άξονες x και y φέρει τις ετικέτες "Thickness (T)" και "Energy Absorption Efficiency - EAE " αντίστοιχα.



Εικόνα 16: Γράφημα EAE του Σπινθηριστή GD2O2S:Tb με το ισότοπο Tl201

Το γράφημα παρουσιάζει την Ενεργειακή Απορρόφηση Αποδοτικότητα (EAE) σε σχέση με το πάχος (Thickness - T) του σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tl201.

Η κάθετος άξονας (Y) μετρά την Ενεργειακή Απορρόφηση Αποδοτικότητα (EAE), ενώ η οριζόντια άξονας (X) μετρά το πάχος του σπινθηριστή σε μονάδες T. Η καμπύλη δείχνει ότι η EAE αυξάνεται ταχύτατα καθώς αυξάνεται το πάχος, αλλά σταθεροποιείται σε μια μέγιστη τιμή περίπου στο 0.16, υποδεικνύοντας ότι πέρα από ένα συγκεκριμένο πάχος, η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας δεν αυξάνεται σημαντικά.

Συνολικά, το γράφημα υποδηλώνει ότι υπάρχει ένα βέλτιστο πάχος για το σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tl201, πέρα από το οποίο δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση στην αποδοτικότητα απορρόφησης.

Από το γράφημα της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (ΕΑΕ) του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ισότοπο Tl_{201} , προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

α. Αρχική Ταχεία Αύξηση της ΕΑΕ

Η καμπύλη δείχνει μια ταχεία αύξηση της αποδοτικότητας απορρόφησης ενέργειας (ΕΑΕ) καθώς αυξάνεται το πάχος του σπινθηριστή από το μηδέν. Αυτό υποδηλώνει ότι η αρχική αύξηση του πάχους του σπινθηριστή οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της αποδοτικότητας απορρόφησης.

β. Σταθεροποίηση της ΕΑΕ

Μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο πάχους, η ΕΑΕ σταθεροποιείται γύρω από την τιμή 0.16. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ένα βέλτιστο πάχος πέρα από το οποίο η αύξηση του πάχους δεν προσφέρει σημαντική βελτίωση στην αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας. Η περαιτέρω αύξηση του πάχους δεν είναι αποδοτική.

γ. Βέλτιστο Πάχος

Το βέλτιστο πάχος του σπινθηριστή, δηλαδή το πάχος στο οποίο η ΕΑΕ σταθεροποιείται, είναι σημαντικό για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή του σπινθηριστή σε πρακτικές εφαρμογές. Επιλέγοντας το κατάλληλο πάχος, μπορεί να επιτευχθεί μέγιστη αποδοτικότητα χωρίς σπατάλη υλικού.

δ. Αποτελεσματικότητα του Σπινθηριστή

Ο σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ με το ισότοπο Tl_{201} φαίνεται να είναι αποτελεσματικός στην απορρόφηση ενέργειας μέχρι ένα ορισμένο πάχος, το οποίο είναι σημαντικό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αποδοτικότητα απορρόφησης ακτινοβολίας.

ε. Σχεδιασμός και Οικονομία Υλικού

Η γνώση του βέλτιστου πάχους επιτρέπει τον ορθολογικό σχεδιασμό του σπινθηριστή, εξοικονομώντας υλικό και κόστος παραγωγής, ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζει την επιθυμητή αποδοτικότητα.

Συνολικά, το γράφημα παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την απόδοση και τον βέλτιστο σχεδιασμό του σπινθηριστή $Gd_2O_2S:Tb$ με το ισότοπο Tl_{201} , υποδεικνύοντας ότι η αύξηση του πάχους πέρα από ένα συγκεκριμένο σημείο δεν είναι πρακτικά ωφέλιμη.

11. Συζήτηση-Σύγκριση μεταξύ Σπινθηριστών YAP:Ce και Gd₂O₂S:Tb

Η σύγκριση των σπινθηριστών YAP:Ce και Gd₂O₂S:Tb αποτελεί ένα κρίσιμο κομμάτι της ανάλυσης των ιδιοτήτων και των εφαρμογών τους στην πυρηνική ιατρική και την ιατρική απεικόνιση. Οι δύο αυτοί σπινθηριστές, παρά το ότι έχουν διαφορετικές χημικές και φυσικές ιδιότητες, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα και ευκαιρίες για βελτίωση των διαγνωστικών τεχνικών και των συστημάτων ανίχνευσης ακτινοβολίας.

Ο σπινθηριστής YAP:Ce είναι γνωστός για την υψηλή του αποδοτικότητα στην ανίχνευση ακτινοβολίας, τη γρήγορη αντίδρασή του και την ανθεκτικότητά του σε συνθήκες υψηλής ραδιενέργειας και θερμοκρασίας. Από την άλλη πλευρά, ο σπινθηριστής Gd₂O₂S:Tb προσφέρει υψηλή απόδοση φθορισμού και μεγάλη ευαισθησία σε ευρεία γκάμα ενεργειών ακτινοβολίας, καθιστώντας τον ιδανικό για ακριβή ανίχνευση και εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας.

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει λεπτομερώς τις διαφορές και τις ομοιότητες μεταξύ των δύο σπινθηριστών, αναλύοντας την απόλυτη απόδοσή τους (Absolute Luminescence Efficiency), την κβαντική ανίχνευση απόδοσης (Quantum Detection Efficiency - QDE) και την αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE) με τα ισότοπα Tc99m και Tl201. Μέσα από αυτήν την ανάλυση, επιδιώκεται να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί του κάθε υλικού, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για την επιλογή και τη χρήση τους σε διάφορες ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

11.1 Συγκριτική Ανάλυση της Απόλυτης Απόδοσης (ALE) του Σπινθηριστή YAP με τα Ακτινοβόλα Ισότοπα Tc99m και Tl201

Η ανάλυση της απόλυτης απόδοσης του σπινθηριστή YAP με τα ακτινοβόλα ισότοπα Tc99m και Tl201 αναδεικνύει σημαντικά κοινά σημεία και διαφορές, οι οποίες επηρεάζουν την επιλογή και τη χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές. Και στις δύο περιπτώσεις, η απόλυτη απόδοση μειώνεται εκθετικά καθώς αυξάνεται το πάχος του σπινθηριστή. Η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται σε ελάχιστα πάχη, καθώς η αυξημένη απορρόφηση σε μεγαλύτερα πάχη μειώνει τη δυνατότητα ανίχνευσης. Τα συνδυαστικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση γ-ακτίνων στην πυρηνική ιατρική, με το Tc99m να είναι πιο συχνά χρησιμοποιούμενο. Επιπλέον, η αυξημένη πυκνότητα του υλικού μπορεί να προκαλέσει θερμικές επιπτώσεις, επηρεάζοντας την απόδοση του σπινθηριστή.

Το Tc99m χρησιμοποιείται συχνά στην πυρηνική ιατρική για σπινθηρογραφήματα και έχει ενέργεια 141 keV. Το Tl201, από την άλλη, χρησιμοποιείται για ειδικές εφαρμογές απεικόνισης και έχει ενεργειακά επίπεδα 71 keV, 80 keV και 167 keV, με αντίστοιχες διαφοροποιήσεις στην απόδοση. Η ανάλυση των συντελεστών απορρόφησης δείχνει ότι για το Tc99m, ο συντελεστής απορρόφησης για το YAP είναι 0.2866 cm²/g, ενώ για το Tl201 οι συντελεστές απορρόφησης ποικίλλουν ανάλογα με το ενεργειακό επίπεδο (1.29 cm²/g για 71 keV, 0.95 cm²/g για 80 keV και 0.22 cm²/g για 167 keV).

Όσον αφορά τη σχεδόν μηδενική απόδοση, παρατηρείται ότι για το Tc99m η απόδοση μειώνεται δραστικά αλλά δεν φτάνει στο μηδέν για μεγαλύτερα πάχη. Αντίθετα, για το Tl201, για πάχη μεγαλύτερα των 5 mm, η απόδοση πλησιάζει στο μηδέν, δείχνοντας ότι η απορρόφηση και η διασπορά της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερες. Η βελτιστοποίηση για συγκεκριμένες εφαρμογές δείχνει ότι το Tc99m είναι καταλληλότερο για γενικές εφαρμογές απεικόνισης πυρηνικής ιατρικής, ενώ το Tl201 χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές και απαιτεί διαφορετική προσέγγιση στη βελτιστοποίηση του πάχους για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση.

Η επιλογή μεταξύ των σπινθηριστών YAP:Ce με Tc99m και Tl201 εξαρτάται από την εφαρμογή και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις απόδοσης. Το Tc99m είναι πιο κατάλληλο για γενικές εφαρμογές πυρηνικής ιατρικής, ενώ το Tl201 προσφέρει προσαρμοσμένη απόδοση για ειδικές εφαρμογές με διαφορετικά ενεργειακά επίπεδα. Και στις δύο περιπτώσεις, η απόδοση μειώνεται εκθετικά με το πάχος, με το Tl201 να έχει σχεδόν μηδενική απόδοση σε μεγαλύτερα πάχη.

11.2 Συγκριτική Ανάλυση της Απόλυτης Απόδοσης (ALE) Σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb με τα Ακτινοβόλα Ισότοπα Tc99m και Tl201

Η σύγκριση της απόλυτης απόδοσης του σπινθηριστή Gd₂O₂S:Tb με τα ακτινοβόλα ισότοπα Tc99m και Tl201 παρουσιάζει σημαντικές διαφορές που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση και χρήση συστημάτων ανίχνευσης. Η απόδοση του σπινθηριστή με το ισότοπο Tc99m μειώνεται δραματικά στα πρώτα 5 χιλιοστά πάχους και σταθεροποιείται σε χαμηλότερα επίπεδα μετά από αυτό το σημείο. Αντίθετα, η απόδοση με το ισότοπο Tl201 μειώνεται απότομα μέχρι τις 5 μονάδες πάχους και συνεχίζει να μειώνεται με πιο αργό ρυθμό, προσεγγίζοντας σχεδόν το μηδέν στις 25 μονάδες πάχους. Αυτή η διαφορά υποδεικνύει διαφορετική συμπεριφορά των δύο ισωτόπων όσον αφορά τη διάχυση και απορρόφηση της ακτινοβολίας.

Το βέλτιστο πάχος για το Tc99m παρατηρείται γύρω από τις πρώτες μονάδες πάχους (0-5 χιλιοστά), όπου η απόδοση παραμένει υψηλή και η μείωση είναι αισθητή αλλά σταθεροποιείται. Για το Tl201, το βέλτιστο πάχος είναι πολύ μικρό, ιδανικά στις πρώτες 2-3 μονάδες πάχους, με σημαντική μείωση της απόδοσης πέρα από αυτό το σημείο. Αυτό υποδεικνύει ότι για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή απόδοση, το πάχος του σπινθηριστή πρέπει να διατηρείται στο ελάχιστο.

Η γρήγορη μείωση της απόδοσης του Tc99m υποδηλώνει ότι η απορρόφηση των φωτονίων είναι έντονη, κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των συσκευών ανίχνευσης. Από την άλλη πλευρά, η έντονη μείωση της απόδοσης με το Tl201 υποδηλώνει σημαντική απορρόφηση ή σκέδαση της ακτινοβολίας, καθοδηγώντας σχεδιαστικές παραδοχές για τη βελτίωση της διαφάνειας ή της πυκνότητας του σπινθηριστή.

Σε εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης, η γνώση της επίδρασης του πάχους στην απόδοση είναι κρίσιμη. Το Tc99m είναι χρήσιμο για την βελτιστοποίηση της σχεδίασης συστημάτων ανίχνευσης, ενώ το Tl201 είναι κρίσιμο για εφαρμογές όπως τομογραφίες εκπομπής ποζιτρονίων (PET), όπου η επιλογή του κατάλληλου πάχους εξασφαλίζει υψηλή απόδοση και

ανάλυση. Σε μεγάλα πάχη, η απόδοση του Tc99m μειώνεται δραματικά στα πρώτα 5 χιλιοστά και σταθεροποιείται, υποδεικνύοντας ότι οι απώλειες ενέργειας έχουν συμβεί κυρίως σε αυτό το πάχος. Για το Tl201, η απόδοση μειώνεται συνεχώς με την αύξηση του πάχους, σχεδόν μηδενίζοντας στις 25 μονάδες πάχους, κάτι που σημαίνει ότι η αποτελεσματική χρήση της ακτινοβολίας μειώνεται δραματικά σε μεγάλα πάχη.

Συνοψίζοντας, ο σπινθηριστής Gd₂O₂S με Tc99m έχει βέλτιστη απόδοση στα πρώτα χιλιοστά πάχους και σταθεροποιείται γρήγορα, ενώ με Tl201 η απόδοση είναι βέλτιστη σε πολύ μικρά πάχη και μειώνεται συνεχώς με την αύξηση του πάχους. Η γνώση αυτών των χαρακτηριστικών είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση των συστημάτων ανίχνευσης και την επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

11.3 Συγκριτική Ανάλυση της Κβαντικής Ανιχνευτικής Απόδοσης (QDE) των σπινθηριστών YAP:Ce και του Gd₂O₂S:Tb με το Ισότοπο Tc99m

Η QDE των σπινθηριστών YAP και Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tc99m παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες και διαφορές. Αρχικά, και οι δύο σπινθηριστές επιτυγχάνουν υψηλή QDE σε πολύ μικρά πάχη. Ο YAP:Ce φτάνει σχεδόν στο 100% QDE με ελάχιστο υλικό, καθιστώντας τον εξαιρετικά αποδοτικό ακόμη και με μικρό πάχος. Ομοίως, ο Gd₂O₂S:Tb εμφανίζει απότομη αύξηση της QDE σε μικρά πάχη, δείχνοντας υψηλή αποδοτικότητα στην ανίχνευση της ακτινοβολίας Tc99m ακόμη και με μικρό πάχος.

Η σταθερότητα της απόδοσης με αυξημένο πάχος διαφέρει ελάχιστα μεταξύ των δύο υλικών. Η QDE του YAP:Ce παραμένει σχεδόν σταθερή (κοντά στο 100%) από ένα σημείο και μετά, ανεξάρτητα από την περαιτέρω αύξηση του πάχους. Αντίστοιχα, η QDE του Gd₂O₂S:Tb παραμένει σταθερή και κοντά στο μέγιστο επίπεδο μετά από πάχος περίπου 20 μονάδες, ανεξαρτήτως της περαιτέρω αύξησης του πάχους.

Όσον αφορά την οικονομία υλικού, και οι δύο σπινθηριστές επιτυγχάνουν μέγιστη αποδοτικότητα σε μικρά πάχη, γεγονός που μειώνει το κόστος και το βάρος των συσκευών. Η χρήση υπερβολικού υλικού για την κατασκευή των σπινθηριστών είναι οικονομικά και πρακτικά μη απαραίτητη. Τα χαρακτηριστικά του YAP:Ce τον καθιστούν εξαιρετικά αποδοτικό για την ανίχνευση της ακτινοβολίας Tc99m, κάνοντάς τον ιδανικό για εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση και την πυρηνική ιατρική. Αντίστοιχα, το Gd₂O₂S:Tb έχει υψηλή αποδοτικότητα ακόμη και σε μικρά πάχη και είναι κατάλληλο για λεπτά υλικά ανίχνευσης.

Στις εφαρμογές στην ιατρική, και οι δύο σπινθηριστές είναι κατάλληλοι για την κατασκευή συσκευών ανίχνευσης, όπως γάμμα κάμερες, βελτιώνοντας την ποιότητα των διαγνωστικών εικόνων. Η υψηλή αποτελεσματικότητα του YAP:Ce και του Gd₂O₂S:Tb καθιστά και τα δύο υλικά ιδανικά για χρήση σε ιατρικές συσκευές, παρέχοντας υψηλή ποιότητα εικόνας και βελτιωμένη διάγνωση με χαμηλότερη δόση ακτινοβολίας.

Συνοψίζοντας, και οι δύο σπινθηριστές, YAP:Ce και Gd₂O₂S:Tb, παρουσιάζουν υψηλή QDE και είναι εξαιρετικά αποδοτικοί για την ανίχνευση της ακτινοβολίας Tc99m σε μικρά πάχη, καθιστώντας τους κατάλληλους για εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση. Η κύρια διαφορά τους έγκειται στις ειδικές ιδιότητες και εφαρμογές κάθε υλικού, με τον YAP να προσφέρει

εξαιρετική αποδοτικότητα σε πολύ μικρά πάχη και το Gd_2O_2S να είναι ιδανικό για λεπτά υλικά ανίχνευσης, παρέχοντας και οι δύο υψηλή ποιότητα εικόνας και βελτιωμένη διάγνωση.

11.4 Συγκριτική Ανάλυση της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) των σπινθηριστών $YAP:Ce$ και του $Gd_2O_2S:Tb$ με το Ισότοπο $Tc99m$

Οι σπινθηριστές $YAP:Ce$ και $Gd_2O_2S:Tb$ με το ισότοπο $Tc99m$ παρουσιάζουν αξιοσημείωτες διαφορές και ομοιότητες στην αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας. Ο σπινθηριστής $Gd_2O_2S:Tb$ εμφανίζει υψηλή EAE λόγω της κατάλληλης σύνθεσης και κρυσταλλικής δομής του, όπου το τέρβιο βελτιώνει τις ιδιότητες φωταύγειας, καθιστώντας το υλικό πιο αποτελεσματικό στη μετατροπή της απορροφούμενης ακτινοβολίας σε ορατό φως. Η ενέργεια των ακτίνων γ από το $Tc99m$ είναι ιδανική για απορρόφηση από το $Gd_2O_2S:Tb$, ενώ το πάχος και η πυκνότητα του υλικού επηρεάζουν σημαντικά την αποδοτικότητα απορρόφησης, με το βέλτιστο πάχος να προσφέρει μέγιστη απόδοση χωρίς περιττή απορρόφηση. Γραφικές αναπαραστάσεις δείχνουν ότι η EAE αυξάνεται απότομα με την αύξηση του πάχους και σταθεροποιείται περίπου στο 0.65, δείχνοντας ότι υπάρχει ένα όριο στην αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά, ο σπινθηριστής $YAP:Ce$ χαρακτηρίζεται από γρήγορο χρόνο αποδιέγερσης, υψηλή ανθεκτικότητα στη ραδιενέργεια και τη θερμοκρασία, και υψηλή αποδοτικότητα φωταύγειας. Το $Tc99m$, που εκπέμπει γάμμα ακτινοβολία με ενέργεια 140 keV, είναι ιδανικό για τον $YAP:Ce$, καθώς η συμβατότητα της ενέργειας της ακτινοβολίας με το υλικό και η υψηλή πυκνότητα του $YAP:Ce$ συμβάλλουν στην υψηλή EAE. Η υψηλή αποδοτικότητα φωταύγειας του $YAP:Ce$ εξασφαλίζει ότι η απορροφούμενη ενέργεια μετατρέπεται αποτελεσματικά σε φως, βελτιώνοντας τις διαγνωστικές εικόνες και μειώνοντας την απαραίτητη δόση ακτινοβολίας στους ασθενείς. Τα χαρακτηριστικά του YAP τον καθιστούν ιδιαίτερα αποτελεσματικό για ιατρικές εφαρμογές απεικόνισης, συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση των διαγνωστικών εικόνων και στην ελαχιστοποίηση της δόσης ακτινοβολίας στους ασθενείς.

Συνολικά, οι σπινθηριστές $Gd_2O_2S:Tb$ και $YAP:Ce$ με το ισότοπο $Tc99m$ εμφανίζουν υψηλή EAE, καθιστώντας τους κατάλληλους για ιατρικές εφαρμογές απεικόνισης, με βέλτιστα αποτελέσματα στην ποιότητα της εικόνας και την ασφάλεια των ασθενών. Ωστόσο, ο $Gd_2O_2S:Tb$ φαίνεται να έχει μια πιο απότομη αύξηση της EAE με την αύξηση του πάχους και σταθεροποιείται νωρίτερα, ενώ ο $YAP:Ce$ προσφέρει γρήγορη ανάκτηση και υψηλή αποδοτικότητα φωταύγειας, γεγονός που τον καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για περιβάλλοντα υψηλής ραδιενέργειας και θερμοκρασίας.

11.5 Συγκριτική Ανάλυση της Κβαντικής Ανιχνευτικής Αποδοτικότητας (QDE) των σπινθηριστών YAP:Ce και του Gd₂O₂S:Tb με το Ισότοπο Tl201

Οι σπινθηριστές YAP:Ce και Gd₂O₂S:Tb παρουσιάζουν υψηλή QDE όταν χρησιμοποιούνται με το ισότοπο Tl201, καθιστώντας τους εξαιρετικά αποδοτικούς για ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Ο σπινθηριστής YAP:Ce φτάνει σχεδόν τη μέγιστη απόδοση σε μικρό πάχος, επιδεικνύοντας εξαιρετική αποτελεσματικότητα και οικονομία υλικού. Μετά από ένα σημείο, η αύξηση του πάχους δεν βελτιώνει σημαντικά την QDE, επιτρέποντας την κατασκευή λεπτών και ελαφριών ανιχνευτών που είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί. Επιπλέον, ο YAP:Ce είναι ανθεκτικός και χημικά σταθερός, με γρήγορο χρόνο αντίδρασης, κάτι που τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή χρονική ανάλυση και αντοχή σε μακροχρόνια χρήση.

Από την άλλη πλευρά, ο σπινθηριστής Gd₂O₂S:Tb έχει υψηλή απόδοση φθορισμού και είναι ευαίσθητος σε μια ευρεία γκάμα ενεργειών ακτινοβολίας, επιτρέποντας την ανίχνευση χαμηλών επιπέδων ακτινοβολίας με ακρίβεια. Η γρήγορη απόκριση του ανιχνευτή λόγω του μικρού χρόνου ζωής του φθορίζοντος φωτός που εκπέμπεται από το Gd₂O₂S:Tb, τον καθιστά πολύ αποδοτικό για την ανίχνευση ακτινοβολίας γάμμα από το Tl201. Η υψηλή QDE επιτυγχάνεται επίσης σε μικρό πάχος, γεγονός που υποδηλώνει οικονομία υλικού και σταθερή απόδοση ανεξάρτητα από την περαιτέρω αύξηση του πάχους. Αυτό το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αποδοτικότητα και οικονομία υλικού, με αξιόπιστη και σταθερή απόδοση.

Συνοψίζοντας, οι δύο σπινθηριστές προσφέρουν υψηλή απόδοση ανίχνευσης ακτινοβολίας με το ισότοπο Tl201, με τον YAP: Ce να υπερέχει σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη χρονική ανάλυση και μακροχρόνια αντοχή, ενώ ο Gd₂O₂S: Tb είναι ιδανικός για ανίχνευση ευρείας γκάμας ενεργειών ακτινοβολίας με υψηλή αποδοτικότητα και οικονομία υλικού.

11.6 Συγκριτική Ανάλυση της Αποδοτικότητας Απορρόφησης Ενέργειας (EAE) των σπινθηριστών YAP:Ce και του Gd₂O₂S:Tb με το Ισότοπο Tl201

Η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας του YAP:Ce με το ισότοπο Tl201 είναι ένας κρίσιμος δείκτης που καθορίζει την ικανότητα του σπινθηριστή να μετατρέπει την απορροφημένη ακτινοβολία σε ανιχνεύσιμο φως. Στον YAP:Ce, η EAE αυξάνεται γρήγορα για τα πρώτα μικρά πάχη του ανιχνευτή και στη συνέχεια σταθεροποιείται γύρω στο 0.1, υποδεικνύοντας ότι η περαιτέρω αύξηση του πάχους πέρα από αυτό το σημείο δεν προσφέρει σημαντική βελτίωση στην αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας.

Ο σπινθηριστής Gd₂O₂S:Tb είναι ιδιαίτερα αποδοτικός στην απορρόφηση ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε ορατό φως, κάτι που είναι κρίσιμο για την ποιότητα της ιατρικής απεικόνισης και την ασφάλεια των ασθενών. Η EAE του Gd₂O₂S:Tb με το ισότοπο Tl201 παρουσιάζει ταχεία αύξηση με την αύξηση του πάχους του ανιχνευτή, αλλά σταθεροποιείται σε μια μέγιστη τιμή περίπου στο 0.16. Αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει ένα βέλτιστο πάχος για

τον σπινθηριστή, πέρα από το οποίο δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση στην αποδοτικότητα απορρόφησης.

Συγκριτικά, και οι δύο σπινθηριστές παρουσιάζουν αυξανόμενη ΕΑΕ με την αύξηση του πάχους, αλλά η ΕΑΕ του $Gd_2O_2S:Tb$ είναι υψηλότερη από αυτή του $YAP:Ce$, καθιστώντας τον $Gd_2O_2S:Tb$ πιο αποδοτικό στην απορρόφηση ενέργειας. Η σταθεροποίηση της ΕΑΕ στο 0.16 για τον $Gd_2O_2S:Tb$ συγκριτικά με το 0.1 για τον $YAP:Ce$ δείχνει ότι ο $Gd_2O_2S:Tb$ προσφέρει καλύτερη ποιότητα εικόνας και μεγαλύτερη ακρίβεια στη διάγνωση, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αποδοτικότητα απορρόφησης ακτινοβολίας.

11.7 Γενικά Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τους σπινθηριστές $YAP:Ce$ και $Gd_2O_2S:Tb$ με τα ακτινοβόλα ισότοπα $Tc99m$ και $Tl201$, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα που μπορούν να καθοδηγήσουν τη χρήση και την εφαρμογή τους σε διάφορους τομείς, κυρίως στην πυρηνική ιατρική και την ιατρική απεικόνιση:

α. Απόλυτη Απόδοση (Absolute Luminescence Efficiency)

Η ανάλυση της απόλυτης απόδοσης δείχνει ότι και οι δύο σπινθηριστές παρουσιάζουν μείωση της απόδοσης με την αύξηση του πάχους. Για τον σπινθηριστή $YAP:Ce$, η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται σε ελάχιστα πάχη, ενώ για τον $Gd_2O_2S:Tb$, η απόδοση μειώνεται δραματικά στα πρώτα χιλιοστά και σταθεροποιείται στη συνέχεια. Αυτή η συμπεριφορά δείχνει ότι οι δύο σπινθηριστές έχουν βέλτιστα πάχη για συγκεκριμένες εφαρμογές, με τον $YAP:Ce$ να είναι ιδανικός για πολύ λεπτά στρώματα και τον $Gd_2O_2S:Tb$ να απαιτεί ελαφρώς μεγαλύτερα πάχη για βέλτιστη απόδοση.

β. Κβαντική Ανιχνευτική Αποδοτικότητα (Quantum Detection Efficiency – QDE)

Και οι δύο σπινθηριστές επιδεικνύουν υψηλή QDE σε μικρά πάχη, με τον $YAP:Ce$ να φτάνει σχεδόν στο 100% QDE με ελάχιστο υλικό. Ο $Gd_2O_2S:Tb$ παρουσιάζει απότομη αύξηση της QDE σε μικρά πάχη και σταθεροποιείται σε υψηλά επίπεδα. Η υψηλή QDE σε μικρά πάχη για αμφότερους τους σπινθηριστές υποδεικνύει την οικονομία υλικού και την αποδοτικότητα τους, κάτι που είναι κρίσιμο για την κατασκευή ελαφριών και αποδοτικών συσκευών ανίχνευσης.

γ. Αποδοτικότητα Απορρόφησης Ενέργειας (Energy Absorption Efficiency - EAE)

Η αποδοτικότητα απορρόφησης ενέργειας για τον $Gd_2O_2S:Tb$ με τα ισότοπα $Tc99m$ και $Tl201$ παρουσιάζει ταχεία αύξηση με την αύξηση του πάχους και σταθεροποιείται σε υψηλότερα επίπεδα από τον YAP . Ο YAP , από την άλλη, χαρακτηρίζεται από γρήγορη ανάκτηση και υψηλή ανθεκτικότητα στη ραδιενέργεια και τη θερμοκρασία, καθιστώντας τον ιδιαίτερα αποδοτικό σε περιβάλλοντα υψηλής ραδιενέργειας και θερμοκρασίας.

δ. Ειδικές Ιδιότητες και Εφαρμογές

Ο $YAP:Ce$ είναι ανθεκτικός και χημικά σταθερός, με γρήγορο χρόνο απομείωσης, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή χρονική ανάλυση και

μακροχρόνια αντοχή. Ο $Gd_2O_2S:Tb$, λόγω της υψηλής απόδοσης φθορισμού και της ευαισθησίας του σε ευρεία γκάμα ενεργειών ακτινοβολίας, είναι κατάλληλος για ανίχνευση χαμηλών επιπέδων ακτινοβολίας με ακρίβεια.

Συνολικά και οι δύο σπινθηριστές παρουσιάζουν εξαιρετική αποδοτικότητα στην ανίχνευση ακτινοβολίας και είναι κατάλληλοι για ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Ο $YAP:Ce$ υπερέχει σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη χρονική ανάλυση και αντοχή, ενώ ο $Gd_2O_2S:Tb$ είναι ιδανικός για ανίχνευση ευρείας γκάμας ενεργειών ακτινοβολίας και απορρόφηση ενέργειας. Η επιλογή μεταξύ των δύο εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε εφαρμογής.

12. Αναφορές – Πηγές

Κεφάλαιο 1ο

- [1.1] Pierson Jr, Richard N., et al. "Cardiovascular nuclear medicine: an overview." *Seminars in Nuclear Medicine*. Vol. 9. No. 4. WB Saunders, 1979.
- [1.2] Zaret, Barry L., and Frans J. Wackers. "Nuclear cardiology." *New England Journal of Medicine* 329.11 (1993): 775-783.
- [1.3] Russell III, Raymond R., and Barry L. Zaret. "Nuclear cardiology: present and future." *Current problems in cardiology* 31.9 (2006): 557-629.
- [1.4] Patton, James A., et al. "Recent technologic advances in nuclear cardiology." *Journal of nuclear cardiology* 14 (2007): 501-513.
- [1.5] Hanna, Mazen, et al. "Cardiac scintigraphy with technetium-99m-labeled bone-seeking tracers for suspected amyloidosis: JACC review topic of the week." *Journal of the American College of Cardiology* 75.22 (2020): 2851-2862.
- [1.6] Calvin, J. E., A. A. Driedger, and W. J. Sibbald. "An assessment of myocardial function in human sepsis utilizing ECG gated cardiac scintigraphy." *Chest* 80.5 (1981): 579-586.
- [1.7] Fidler, Jeff L., et al. "Small bowel imaging: computed tomography enterography, magnetic resonance enterography, angiography, and nuclear medicine." *Gastrointestinal Endoscopy Clinics* 27.1 (2017): 133-152.
- [1.8] Chen, Marcus Y., et al. "Prognostic value of combined CT angiography and myocardial perfusion imaging versus invasive coronary angiography and nuclear stress perfusion imaging in the prediction of major adverse cardiovascular events: the CORE320 multicenter study." *Radiology* 284.1 (2017): 55-65.
- [1.9] Κανδαράκης Ι. Ιατρική Φυσική-Βιοϊατρική Τεχνολογία: Πυρηνική Ιατρική. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις "Αράκυνθος", έκδοση 2008, σελίδες 437, ISBN: 978-960-91034-8-0.
- [1.10] Wagner Jr, Henry N. "A brief history of positron emission tomography (PET)." *Seminars in nuclear medicine*. Vol. 28. No. 3. WB Saunders, 1998.
- [1.11] Gallamini, Andrea, Colette Zwarthoed, and Anna Borra. "Positron emission tomography (PET) in oncology." *Cancers* 6.4 (2014): 1821-1889.
- [1.12] Odak, Mihir, and Waleed T. Kayani. "MUGA scan." (2020).
- [1.13] Huang, Hans, et al. "Accuracy of left ventricular ejection fraction by contemporary multiple gated acquisition scanning in patients with cancer: comparison with cardiovascular magnetic resonance." *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 19.1 (2017): 1-9.

Κεφάλαιο 2ο

- [2.1] Mandai S, Charbon E. Multi-channel digital SiPMs: Concept, analysis and implementation. In: 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC). 2012, pp 1840–1844.
- [2.2] Frach T, Prescher G, Degenhardt C, de Gruyter R, Schmitz A, Ballizany R. The digital silicon photomultiplier #x2014; Principle of operation and intrinsic detector performance. In: 2009 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record (NSS/MIC). 2009, pp 1959–1965.
- [2.3] Georgiou M, Borghi G, Spirou SV, Loudos G, Schaart DR. First performance tests of a digital photon counter (DPC) array coupled to a CsI(Tl) crystal matrix for potential use in SPECT. *Phys Med Biol* 2014; 59: 2415–2430.
- [2.4] Schug D, Duppenbecker PM, Gebhardt P, Weissler B, Zwaans B, Kiessling F et al. First evaluations of the neighbor logic of the digital SiPM tile. In: 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC). 2012, pp 2817–2819.
- [2.5] Anger HO. Scintillation Camera. *Rev Sci Instrum* 1958; 29: 27–33.
- [2.6] Nanovector, Nordic. "Radioactive drugs emerge from the shadows to storm the market." *Nature Biotechnology* 36.12 (2018): 1125.
- [2.7] Okada, Koichi, et al. "Development of a gamma camera to image radiation fields." *Prog. Nucl. Sci. Tech* 4.1 (2014): 14-17.
- [2.8] Gemmell, Howard G., and Roger T. Staff. "Single photon emission computed tomography (SPECT)." *Practical nuclear medicine*. London: Springer London, 2005. 21-33.
- [2.9] Holly, Thomas A., et al. "Single photon-emission computed tomography." (2010): 941-973.

Κεφάλαιο 3ο

- [3.1] Payolla, Filipe Boccato, Antonio Carlos Massabni, and Chris Orvig. "Radiopharmaceuticals for diagnosis in nuclear medicine: A short review." *EcléticaQuímica* 44.3 (2019): 11-19.
- [3.2] Audi, Georges, et al. "The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties." *Nuclear physics A* 729.1 (2003): 3-128.
- [3.3] Mushtaq, A. "Producing radioisotopes in power reactors." *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 292.2 (2012): 793-802
- [3.4] Saha, Gopal B., and Gopal B. Saha. "Production of radionuclides." *Fundamentals of nuclear pharmacy* (2018): 49-75.
- [3.5] Maddahi, J. A. M. S. H. I. D., and DANIEL S. Berman. Detection, evaluation and risk stratification of coronary artery disease by thalium-201 myocardial perfusion

scintigraphy. Pharmacologic stress testing with dipyridamole. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins, 2001.

- [3.6] Gibbons, Raymond J. "Tc-99m SPECT sestamibi for the measurement of infarct size." *Journal of cardiovascular pharmacology and therapeutics* 16.3-4 (2011): 321-331.
- [3.7] Gibbons, Raymond J., and Todd D. Miller. "Tc-99m sestamibi infarct size as a surrogate endpoint." *Journal of Nuclear Cardiology* 12 (2005): 12-19.
- [3.8] Eckelman, William C., et al. "Progress using Tc-99m radiopharmaceuticals for measuring high-capacity sites and low-density sites." *Drug discovery today* 18.19-20 (2013): 984-991.
- [3.9] DePuey, E. Gordon, et al. "Comparison of Tc-99m sestamibi and Tl-201 gated perfusion SPECT." *Journal of Nuclear Cardiology* 6.3 (1999): 278-285.
- [3.10] Reyes, Eliana, et al. "A comparison of Tl-201, Tc-99m sestamibi, and Tc-99m tetrofosmin myocardial perfusion scintigraphy in patients with mild to moderate coronary stenosis." *Journal of nuclearcardiology* 13 (2006): 488-494.

Κεφάλαιο 4ο

- [4.1] Swank, Robert K. "Characteristics of scintillators." *Annual review of nuclear science* 4.1 (1954): 111-140.
- [4.2] Gektin, Alexander, and Mikhail Korzhik. "Inorganic scintillators for detector systems." Berlin: Springer (2017): 20-77.
- [4.3] Koshimizu, Masanori. "Recent progress of organic scintillators." *Japanese Journal of Applied Physics* (2022).
- [4.4] Bizarri, G. "Scintillation mechanisms of inorganic materials: From crystal characteristics to scintillation properties." *Journal of Crystal Growth* 312.8 (2010): 1213-1215.
- [4.5] Brechtel, Jamieson, et al. "Serrated flow in NaI: Tl scintillator crystals." *Journal of Materials Science & Technology* 153 (2023): 120-127.
- [4.6] Pereira, Maria da Conceição Costa, et al. "Characteristics of the CsI: Tl scintillator crystal for x-ray imaging applications." *Materials Sciences and Applications* 9.02 (2018): 268.
- [4.7] Nagarkar, V. V., et al. "Structured CsI (Tl) scintillators for X-ray imaging applications." *IEEE transactions on nuclear science* 45.3 (1998): 492-496.
- [4.8] Moszyński, M., et al. "Properties of the YAP: Ce scintillator." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 404.1 (1998): 157-165.

- [4.9] Kapusta, M., et al. "A high-energy resolution observed from a YAP: Ce scintillator." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 421.3 (1999): 610-613.
- [4.10] Michail, C., et al. "Measurement of the luminescence properties of Gd₂O₂S: Pr, Ce, F powder scintillators under X-ray radiation." Radiation measurements 70 (2014): 59-64.
- [4.11] De Martinis, Alessia, et al. "Luminescence and Structural Characterization of Gd₂O₂S Scintillators Doped with Tb³⁺, Ce³⁺, Pr³⁺ and F for Imaging Applications." Crystals 12.6 (2022): 854.
- [4.12] Buck, Christian, and Minfang Yeh. "Metal-loaded organic scintillators for neutrino physics." Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics 43.9 (2016): 093001.
- [4.13] Wright, Anthony G. The photomultiplier handbook. Oxford University Press, 2017.

Κεφάλαιο 5ο

- [5.1] Kalivas, N., et al. "Light emission efficiency and imaging properties of YAP: Ce granular phosphor screens." Applied Physics A 89 (2007): 443-449.
- [5.2] Kandarakis, I., et al. "Evaluating x-ray detectors for radiographic applications: A comparison of ZnSCdS: Ag with and screens." Physics in Medicine & Biology 42.7 (1997): 1351.
- [5.3] Kandarakis, I., et al. "X-ray induced luminescence and spatial resolution of phosphor screens." Physics in Medicine & Biology 41.2 (1996): 297.
- [5.4] Hubbell, John H., and Stephen M. Seltzer. Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z= 1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest. No. PB-95-220539/XAB; NISTIR-5632. National Inst. of Standards and Technology-PL, Gaithersburg, MD (United States). Ionizing Radiation Div., 1995.
- [5.5] Kalivas, N., et al. "Modeling quantum and structure noise of phosphors used in medical X-ray imaging detectors." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 490.3 (2002): 614-629.
- [5.6] Kandarakis, I., et al. "Measurement of the X-ray luminescence and spectral compatibility of the CdPO₃Cl: Mn phosphor." Radiation measurements 33.2 (2001): 217-224.
- [5.7] David, S., et al. "Efficiency of Lu₂SiO₅: Ce (LSO) powder phosphor as X-ray to light converter under mammographic imaging conditions." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 571.1-2 (2007): 346-349.
- [5.8] Dezi, Anna, et al. "Structural Characterization and Absolute Luminescence Efficiency Evaluation of Gd₂O₂S High Packing Density Ceramic Screens Doped

with Tb³⁺ and Eu³⁺ for further Applications in Radiology." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 931. No. 1. IOP Publishing, 2017.

- [5.9] Swartz, C. H., et al. "Absolute photoluminescence intensity in thin film solar cells." Journal of Applied Physics 125.5 (2019).
- [5.10] Gorrotxategi, Paula, Marianne Consonni, and Adrien Gasse. "Optical efficiency characterization of LED phosphors using a double integrating sphere system." Journal of Solid-State Lighting 2 (2015): 1-14.
- [5.11] Demasa, J. N., and G. A. Crosby. "The measurement of photoluminescence quantum yields. 1 A Review2." J. Chem. Phys 48 (1968): 4726.
- [5.12] Pereira, Tatiane O., et al. "True absolute determination of photoluminescence quantum yields by coupling multiwavelength thermal lens and photoluminescence spectroscopy." Physical Chemistry Chemical Physics 22.43 (2020): 25156-25164.

Κεφάλαιο 6ο

- [6.1] Moszyński, M., et al. "Properties of the YAP: Ce scintillator." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 404.1 (1998): 157-165.
- [6.2] Baccaro, S., et al. "Scintillation properties of YAP: Ce." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 361.1-2 (1995): 209-215.
- [6.3] Moszyński, M., et al. "Properties of the YAG: Ce scintillator." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 345.3 (1994): 461-467.

Κεφάλαιο 7ο

- [7.1] Tang, Bin, et al. "High Quantum Efficiency Rare-Earth-Doped Gd₂O₂S: Tb, F Scintillators for Cold Neutron Imaging." Molecules 28.4 (2023): 181
- [7.2] Pan, Hongming, et al. "Fabrication and properties of Gd₂O₂S: Tb scintillation ceramics for the high-resolution neutron imaging." Optical Materials 105 (2020): 109909.
- [7.3] Jung, Phill Gu, et al. "Microdome-gooved Gd₂O₂S: Tb scintillator for flexible and high-resolution digital radiography." Optics express 18.14 (2010): 14850-14858.
- [7.4] Chen, Long, et al. "Nanoscale Gd₂O₂S: Tb scintillators for high-resolution fluorescent imaging of cold neutrons." ACS Applied Nano Materials 5.6 (2022): 8440-8447.
- [7.5] Tang, Bin, et al. "High Quantum Efficiency Rare-Earth-Doped Gd₂O₂S: Tb, F Scintillators for Cold Neutron Imaging." Molecules 28.4 (2023): 1815.

- [7.6] Jung, Im Deok, et al. "Flexible Gd₂O₂S: Tb scintillators pixelated with polyethylene microstructures for digital x-ray image sensors." *Journal of Micromechanics and Microengineering* 19.1 (2008): 015014.
- [7.7] Kim, Jongyul, et al. "Fabrication and characterization of pixelated Gd₂O₂S: Tb scintillator screens for digital X-ray imaging applications." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 633 (2011): S303-S305.

Κεφάλαιο 8ο

- [8.1] Kalivas, N., et al. "Light emission efficiency and imaging properties of YAP: Ce granular phosphor screens." *Applied Physics A* 89 (2007): 443-449.
- [8.2] Moszyński, M., et al. "Properties of the YAP: Ce scintillator." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 404.1 (1998): 157-165.
- [8.3] Baccaro, S., et al. "Scintillation properties of YAP: Ce." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 361.1-2 (1995): 209-215.
- [8.4] Kandarakis, I., et al. "X-ray induced luminescence and spatial resolution of phosphor screens." *Physics in Medicine & Biology* 41.2 (1996): 297.
- [8.5] Hubbell, J H, and Seltzer, S M. *Tables of x-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 meV for elements z = 1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest.* United States: N. p., 1995. Web.
- [8.6] Krivoš, M., et al. "YAP: Ce scintillator as an absolute ultracold neutron detector." *arXiv preprint arXiv:2405.02309* (2024).
- [8.7] Knoll, Glenn F. *Radiation detection and measurement.* John Wiley & Sons, 2010.
- [8.8] Cerrito, Lucio. "Radiation and detectors." *Cambridge University* (2017): 33.
- [8.9] Chen, Chin-Tu, and Chien-Min Kao. "Radiation Detection in SPECT and PET." *Radiation Detection Systems.* CRC Press, 2021. 1-42.
- [8.10] Lecoq, Paul, et al. "How User's Requirements Influence the Development of Scintillators." *Inorganic Scintillators for Detector Systems: Physical Principles and Crystal Engineering* (2017): 43-101.
- [8.11] Henzlova, M. J., and W. L. Duvall. "Tl-201 dosing for CZT SPECT: More new information." *Journal of Nuclear Cardiology* 25 (2018): 955-957.
- [8.12] Viererbl, Ladislav, et al. "YAP: Ce scintillator characteristics for neutron detection." *IEEE Transactions on Nuclear Science* 63.3 (2016): 1963-1966.

Κεφάλαιο 9ο

- [9.1] Kandarakis, I., et al. "X-ray induced luminescence and spatial resolution of phosphor screens." *Physics in Medicine & Biology* 41.2 (1996): 297.
- [9.2] Kandarakis, I., et al. "Evaluating x-ray detectors for radiographic applications: A comparison of ZnSCdS: Ag with and screens." *Physics in Medicine & Biology* 42.7 (1997): 1351.
- [9.3] De Martinis, Alessia, et al. "Luminescence and Structural Characterization of Gd₂O₂S Scintillators Doped with Tb³⁺, Ce³⁺, Pr³⁺ and F for Imaging Applications." *Crystals* 12.6 (2022): 854.
- [9.4] Pan, Hongming, et al. "Fabrication and properties of Gd₂O₂S: Tb scintillation ceramics for the high-resolution neutron imaging." *Optical Materials* 105 (2020): 109909.
- [9.5] Gorokhova, E. I., et al. "Scintillation optical ceramics based on Gd₂O₂S doped with Pr, Tb, or Eu." *Journal of Optical Technology* 79.1 (2012): 41-45.
- [9.6] Fernández, Jorge, and Agostino Tartari, editors. *IRRMA-V: 5th International Topical Meeting on Industrial Radiation and Radioisotope Measurement Applications: Abstracts Book*. 2002.
- [9.7] Lewis, E., et al. "Terbium-doped gadolinium oxysulfide (Gd₂O₂S: Tb) scintillation-based polymer optical fibre sensor for real time monitoring of radiation dose in oncology." *Optical Sensing and Detection III*. Vol. 9141. SPIE, 2014.
- [9.8] Gupta, Tapan. *Radiation, ionization, and detection in nuclear medicine*. Heidelberg: Springer, 2013.
- [9.9] De Martinis, A.; Montalto, L.; Scalise, L.; Rinaldi, D.; Mengucci, P.; Michail, C.; Fountos, G.; Martini, N.; Koukou, V.; Valais, I.; et al. Luminescence and Structural Characterization of Gd₂O₂S Scintillators Doped with Tb³⁺, Ce³⁺, Pr³⁺ and F for Imaging Applications. *Crystals* 2022, 12, 854. <https://doi.org/10.3390/cryst1206085>