



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΧΕΙΡΟΠΟΙΗΤΟΥΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥΣ
ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΕΣ ΑΠΟ ΜΙΓΜΑ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΥΓΡΩΝ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΩΝ**

**INVESTIGATION OF RADIOACTIVITY DETECTION
PROPERTIES FOR DIY PLASTIC SCINTILLATORS MADE
FROM MIXING POLYEPoxyDES AND COMMERCIAL
LIQUID SCINTILLATION COCKTAILS**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ

ΜΥΛΩΝΑ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

(Α.Μ.: 02117098)

Σπουδαστή της Σχολής

Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Επίβλεψη: Επίκ. Καθηγητής Ν.Π. Πετρόπουλος

ΑΘΗΝΑ 2023

Αποποίηση τυχόν ευθυνών

Αυτό το κείμενο συντάχθηκε ως προϊόν φοιτητικής Διπλωματικής Εργασίας και δεν είναι το αποτέλεσμα επαγγελματικής μελέτης διπλωματούχου μηχανικού. Στο κείμενο αυτό περιέχονται επιστημονικές πληροφορίες και αποτελέσματα σε σχέση με το αντικείμενο που περιγράφεται στον τίτλο. Για το περιεχόμενο αυτό έχει δοθεί κατά το δυνατό η αναγκαία προσοχή ώστε να διασφαλισθεί η ποιότητά του κατά τη στιγμή της δημοσίευσης. Διευκρινίζεται ότι η δημοσίευση του κειμένου αυτού γίνεται χωρίς να υπάρχει άμεση ή έμμεση σύνδεση του συγγραφέως ή του επιβλέποντός του με σχετικά εμπορικά ή οικονομικά συμφέροντα. Ούτε ο συγγραφέας, ούτε ο επιβλέπων του, ούτε το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο διατυπώνουν κάποια γραπτή εγγύηση, ρητή ή έμμεση, συμπεριλαμβανομένων των εγγυήσεων που αφορούν στην ασφάλεια και την προστασία ατόμων και εξοπλισμού και στην καταλληλότητα για χρήση των περιεχόμενων επιστημονικών πληροφοριών και αποτελεσμάτων για τους σκοπούς ανίχνευσης ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Ούτε ο συγγραφέας, ούτε ο επιβλέπων του, ούτε το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο αποδέχονται κάποια νομική ή άλλη ευθύνη για την ποιότητα, την ακρίβεια, την πληρότητα, τη χρησιμότητα, τυχόν λάθη, τυχόν παραλείψεις στο περιεχόμενο του κειμένου ή για τις συνέπειες οποιασδήποτε απόφασης που θα ληφθεί με βάση το περιεχόμενο αυτό. Επίσης δεν αποδέχονται ειδικότερα και νομική ευθύνη για την απώλεια προσδοκώμενων κερδών ή για τη δημιουργία συνακόλουθων ζημιών από τη χρήση του περιεχόμενου αυτού. Παρόλα αυτά, καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια ώστε η παραγωγή των περιεχόμενων αποτελεσμάτων να προκύψει ως αποτέλεσμα καλών πρακτικών επιστημονικής ανάλυσης. Ο συγγραφέας και ο επιβλέπων του είναι διαθέσιμοι για την παροχή συμβουλών σε ό,τι αφορά επιβεβαίωση των περιεχόμενων αποτελεσμάτων καθώς και για οδηγίες σχετικά με την ενδεδειγμένη χρήση τους.

Πνευματικά δικαιώματα και σχετικές ευθύνες

Οι αναγνώστες μπορούν να χρησιμοποιούν το μέρος του περιεχομένου που τους ενδιαφέρει για δική τους προσωπική και αποκλειστική χρήση αλλά όχι για δημοσίευση ή παρουσίασή τους ως δικό τους ή χωρίς κατάλληλη αναφορά στην πηγή. Τυχόν παράλειψη της αναφοράς στην πηγή συνιστά το αδίκημα της λογοκλοπής. Οι αναγνώστες έχουν τη ρητή υποχρέωση να μην παραβιάζουν ή να μην ενθαρρύνουν / επιτρέπουν την παραβίαση των νομίμων πνευματικών δικαιωμάτων των σχετικών με το κείμενο αυτό χρησιμοποιώντας τα περιεχόμενα αποτελέσματα με ανάρμοστο τρόπο. Ούτε ο συγγραφέας, ούτε ο επιβλέπων του θα αποδεχθούν ποτέ όποια ευθύνη τυχόν προκύψει ως συνέπεια παραβιάσεων πνευματικών δικαιωμάτων. Τα φυσικά ή τα νομικά πρόσωπα, τα υπεύθυνα για τις παραβιάσεις αυτές θα είναι, ως εκ τούτου, τα μόνα υπόλογα για τυχόν ζημιές ή άλλες συνέπειες. Το κείμενο αυτό προστατεύεται σε ό,τι αφορά τα πνευματικά δικαιώματα από άδεια [Creative Commons License](#) by Attribution / No Derivatives, βάσει της οποίας οι χρήστες επιτρέπεται κυρίως να αντιγράψουν, διανέμουν και να χρησιμοποιούν το περιεχόμενο του (αλλά να μην δημιουργούν παράγωγα από αυτό), υπό την προϋπόθεση ότι κάνουν την πρέπουσα αναφορά στην πηγή. Όσοι από εσάς γνωρίζετε την συμβολική γλώσσα της αντίστοιχης άδειας Creative Commons, η σχετική εικόνα σήμανσης έχει ως εξής:



Η συνιστώμενη αναφορά στην πηγή είναι:

Mylonas, D.G., Investigation of radioactivity detection properties for DIY plastic scintillators made from mixing polyepoxydes and commercial liquid scintillation cocktails, Diploma Dissertation (in Greek), Nuclear Engineering Laboratory, National Technical University of Athens, Athens, 2023, available on-line (αναφέρατε διαδικτυακό σύνδεσμο και ημερομηνία ανάγνωσης). Σε περίπτωση που εντοπίσατε αυτό το κείμενο μέσω άλλης δημοσίευσης των συγγραφέων, παρακαλείσθε να αναφέρετε ως πηγή και αυτή τη δημοσίευση.

Υπεύθυνη δήλωση σχετικά με τη λογοκλοπή

Τόσο ο συγγραφέας όσο και ο επιβλέπων του έχουν λάβει υπόψη τους το κανονιστικό και ηθικό πλαίσιο που ισχύει διεθνώς σχετικά με τη λογοκλοπή και δηλώνουν ότι, με βάση τα όσα γνωρίζουν, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν αυτόνομης εργασίας του συγγραφέως και ότι για τυχόν κείμενα άλλων αυτούσια ή σε παράφραση ή άλλες εξωτερικές πληροφορίες και δεδομένα που χρησιμοποιούνται υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.

Disclaimer

This document has been edited as a result of a Diploma Dissertation project accomplished by a student and it is not the result of a professional study by a certified engineer. This document is designed to provide scientific information and results with regard to the matter covered by its title; all reasonable care has been taken to ensure quality of the results at the time of publication. This document is published on the understanding that neither the author nor his supervisor are directly or indirectly connected to any relevant commercial or financial interests. Neither the author nor his supervisor or the National Technical University of Athens (NTUA) make any warranty, expressed or implied, including the warranties of personnel and installations safety and security and fitness for use of the herein included data for the purpose of detection of ionizing radiation, or accept any legal liability or responsibility for the quality, accuracy, completeness, usefulness, any errors, any omissions within the content of this document, or for the consequences of any decisions taken on the basis of the information provided. This includes, but is not limited to, loss of anticipatory profits or consequential damages from the use of this information. Nonetheless, considerable effort has been put so that best scientific analysis practices were followed during the production of the presented results. The author and his supervisor are available for consultation regarding the verification and implementation of the presented data.

Copyright note and relevant liabilities

Readers may copy the part of the content, in which they are interested, for their own use and not for publication, display and/or plagiarism. Readers are expressly required not to infringe or authorize any infringement of any legal rights related to these data by inappropriately using the information provided. Neither the author nor his supervisor will accept any liability in respect of such infringement, and the individuals or entities responsible will be personally liable for any damages or other liability arising. This document is protected by the [Creative Commons License](#) by Attribution / No Derivatives, which primarily means that licensees may copy, distribute, display and repeat the work (**but not make derivatives based on it**) only if they give the author the credits. For those of you familiar with the Creative Commons Symbolic Signs, then the respective marking is as it follows:



Recommended citation is as it follows:

Mylonas, D.G., Investigation of radioactivity detection properties for DIY plastic scintillators made from mixing polyepoxydes and commercial liquid scintillation cocktails, Diploma Dissertation (in Greek), Nuclear Engineering Laboratory, National Technical University of Athens, Athens, 2023, available on-line (please mention URL and access date).
In case that you have reached this document through another publication of the authors, please, cite this publication as well.

Plagiarism statement

Both the author and his supervisor are aware of the legal and ethics framework internationally applicable regarding plagiarism. Therefore, they both declare that the content of the present Diploma Dissertation is a product of the author's autonomous work. References to sources are duly and appropriately provided for texts of others either quoted directly or paraphrased as well as for external information and data employed.

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Επιβλέπων

Ν.Π. Πετρόπουλος Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Μέλη

Μ.Ι. Αναγνωστάκης Καθηγητής ΕΜΠ

Π.Κ. Ρούνη Λέκτορας ΕΜΠ

Οκτώβριος 2023

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xi
ABSTRACT.....	xv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1-1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	
2.1 Εισαγωγή.....	2-1
2.2 Ερασιτεχνικές προτάσεις από το διαδίκτυο.....	2-1
2.3 Ερευνητική εργασία του Markley (1968).....	2-5
2.4 Ερευνητική εργασία του Moser (1993).....	2-10
2.5 Εργασία ανασκόπησης του Bertrand (2014).....	2-12
2.6 Ερευνητική εργασία του Nam (2017).....	2-13
2.7 Ερευνητική εργασία του Hajagos (2019).....	2-17
2.8 Ερευνητική εργασία του Kang (2021).....	2-18
2.9 Άλλες ενδεικτικές ερευνητικές εργασίες για πλαστικούς σπινθηριστές.....	2-22
2.10 Σχόλια και συμπεράσματα.....	2-23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΩΤΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ	
3.1 Εισαγωγή.....	3-1
3.2 Πολυεποξικά υλικά και προϋποθέσεις.....	3-1
3.3 Προετοιμασία μιγμάτων και χύτευση.....	3-2
3.4 Σχόλια και συμπεράσματα.....	3-11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	
4.1 Εισαγωγή.....	4-1
4.2 Πλαστικός σπινθηριστής με εποξικό S-86.....	4-1
4.3 Πλαστικός σπινθηριστής με υγρό γυαλί DUROSTICK.....	4-4
4.4 Οπτική πυκνότητα πολυεποξικών.....	4-5
4.5 Ανιχνευτική διάταξη πολυεποξικών με φωτοπολλαπλασιαστή.....	4-8
4.6 Ρυθμίσεις για μετρήσεις.....	4-14
4.7 Διατάξεις πηγών που μετρήθηκαν.....	4-18
4.8 Αποτελέσματα μετρήσεων.....	4-19

4.9 Έλεγχος "afterglow"	4-20
4.10 Έλεγχος φασματοσκοπικής ικανότητας.....	4-22
4.11 Αποτελέσματα φασματοσκοπικής ικανότητας.....	4-26
4.12 Σχόλια και συμπεράσματα	4-29
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΛΑΣΤΙΚΟΙ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΕΣ ΩΣ ΔΙΣΚΟΙ ΜΙΚΡΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	
5.1 Εισαγωγή	5-1
5.2 Πλαστικός σπινθηριστής μικρού πάχους με εποξικό S-86	5-1
5.3 Πλαστικός σπινθηριστής με υγρό γυαλί DUROSTICK	5-3
5.4 Πλαστικός σπινθηριστής με ρητίνη ANYCUBIC	5-4
5.5 Οπτική πυκνότητα πολυεποξικών δίσκων.....	5-5
5.6 Ανιχνευτική διάταξη με φωτοπολλαπλασιαστή	5-6
5.7 Ρυθμίσεις για μετρήσεις	5-7
5.8 Αποτελέσματα μετρήσεων.....	5-8
5.9 Έλεγχος "afterglow".....	5-9
5.10 Έλεγχος φασματοσκοπικής ικανότητας και αποτελέσματα.....	5-9
5.11 Σχόλια και συμπεράσματα	5-12
 ΕΠΙΛΟΓΟΣ	 E-1
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 B-1
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	 Π-1

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Μία από τις μεθόδους ανίχνευσης ιοντιζουσών ακτινοβολιών είναι αυτή που βασίζεται σε ανιχνευτές που ονομάζονται πλαστικοί σπινθηριστές. Οι ανιχνευτές αυτοί κατασκευάζονται από τεχνητά οργανικά υλικά (πλαστικά) και περιέχουν φθοριστές σε ικανή αναλογία. Συνήθως δεν έχουν χρώμα και είναι διαφανείς ή διαφώτιστοι. Διαφώτιστο είναι το μέσο, το οποίο αφήνει το φως να περάσει αλλά δεν αφήνει την εικόνα, είναι δηλαδή όπως το παράθυρο του λουτρού. Η αρχή ανίχνευσης ιοντιζουσας ακτινοβολίας με πλαστικούς σπινθηριστές έχει ως εξής: β σωματίδιο ή φωτόνιο (γ) ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, α σωματίδιο, αλληλεπιδρά με τον φθοριστή του πλαστικού σπινθηριστή και παράγει παλμούς φωτός σε μήκος κύματος υπεριώδους, οι οποίοι μπορούν να καταμετρώνται με τη βοήθεια φωτοπολλαπλασιαστή ή φωτοπολλαπλασιαστών.

Η σχετική ιδέα είναι αρκετά παλιά, από περίπου τα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η αντίστοιχη έρευνα έχει οδηγήσει σε εμπορικά διαθέσιμους πλαστικούς σπινθηριστές, οι οποίοι έχουν πολύ καλό βαθμό απόδοσης ανίχνευσης αλλά σημαντικό κόστος ανά μονάδα μάζας. Παρόλα αυτά, οι πλαστικοί σπινθηριστές δεν διαθέτουν γενικά φασματοσκοπικές δυνατότητες. Το βασικό πλεονέκτημα των πλαστικών σπινθηριστών είναι ότι λόγω της οργανικής τους φύσης μπορούν με την κατάλληλη διαδικασία να πάρουν επιθυμητό σχήμα. Μία συνήθης εφαρμογή των σπινθηριστών αυτών είναι το λεγόμενο Veto Shield, με τη βοήθεια του οποίου μειώνεται το υπόστρωμα που οφείλεται στην κοσμική ακτινοβολία σε ανιχνευτικές διατάξεις γ φασματοσκοπίας, όπως οι ανιχνευτές γερμανίου και οι ανιχνευτές ιωδιούχου νατρίου. Πιο αναλυτικά: το υπόστρωμα στις διατάξεις αυτές οφείλεται

(1) στα φωτόνια από το περιβάλλον, δηλαδή αυτά από το K-40, τα ισότοπα της σειράς του ουρανίου και τα ισότοπα της σειράς του θορίου. Το υπόστρωμα αυτό περιορίζεται με τη χρήση θωρακίσεων από χάλυβα ή μόλυβδο μέσα στις οποίες τοποθετούνται οι ανιχνευτές γ φασματοσκοπίας.

(2) στα φωτόνια που παράγονται από το ίδιο το ανιχνευτικό σύστημα και τη θωράκισή του ή από το μετρούμενο δείγμα και δεν ανιχνεύονται πλήρως διότι δεν αποδίδουν όλη τους την ενέργεια στο γερμάνιο ή το ιωδιούχο νάτριο. Αυτό συμβαίνει λόγω σκεδάσεων τύπου Compton. Το υπόστρωμα αυτό μπορεί να καταπολεμηθεί με ειδικές διατάξεις που τοποθετούνται μεταξύ της θωράκισης και π.χ. του γερμανίου. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται Compton Suppression Systems (CSS). Το Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας ΕΜΠ (ΕΠΤ-ΕΜΠ) χρησιμοποιεί CSS για έναν από τους ανιχνευτές γερμανίου που διαθέτει. Η τεχνολογία

αυτή έχει ήδη παρουσιαστεί στο πλαίσιο άλλων Διπλωματικών Εργασιών (ΔΕ) ή Διδακτορικών Διατριβών (ΔΔ), και

(3) στην κοσμική ακτινοβολία, η οποία αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια υψηλών ενεργειών (όπως π.χ. τα μύονια) που παράγονται εκτός του πλανήτη. Αυτή η μορφή υποστρώματος δεν μπορεί να μειωθεί ούτε με την βοήθεια της θωράκισης, ούτε με την βοήθεια του CSS. Τα μύονια είναι πολύ υψηλής ενέργειας και προσβάλλουν τον -γ φασματοσκοπικό ανιχνευτή κάθετα ως προερχόμενα από το διάστημα. Με το σύστημα Veto Shield τοποθετείται πάνω από την θωράκιση του ανιχνευτή ένα φύλλο πλαστικού σπινθηριστή ικανού πάχους και ικανού εμβαδού. Τα μύονια που προέρχονται από το διάστημα ανιχνεύονται τόσο από τον πλαστικό σπινθηριστή όσο και από το -γ φασματοσκοπικό ανιχνευτή. Επομένως κάθε γεγονός που καταγράφεται ταυτόχρονα στο Veto Shield και στον ανιχνευτή θεωρείται μύονιο ή κοσμική ακτινοβολία γενικότερα και αφαιρείται από το υπόστρωμα με αποτέλεσμα την καταπολέμηση αυτού του είδους του υποστρώματος.

Η τεχνολογία Veto Shield δεν θα ήταν εύκολη και οικονομική αν δεν υπήρχαν πλαστικοί σπινθηριστές. Φυσικά έχουν αναπτυχθεί και άλλες εφαρμογές για πλαστικούς σπινθηριστές, όπως π.χ. φιαλίδια, στα οποία τοποθετούνται πηγές -β ακτινοβολίας, συνήθως Sr-90, των οποίων η ραδιενέργεια εκτιμάται από το φως που παράγουν οι αλληλεπιδράσεις των -β σωματιδίων με το φιαλίδιο. Τέτοια φιαλίδια διατίθενται και στο ΕΠΤ-ΕΜΠ

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νέα οργανικά υλικά που ανήκουν στην γενική κατηγορία των πολυεποξικών. Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι τα υλικά αυτά γενικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πλαστικοί σπινθηριστές. Παραδείγματα τέτοιων νέων υλικών είναι το υγρό γυαλί, οι εποξικές κόλλες και οι σύγχρονες εποξικές καλύψεις δαπέδων και οικοδομικών υλικών. Τα υλικά αυτά αξίζει να δοκιμασθούν ως πλαστικοί σπινθηριστές.

Σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία κατασκευάζονται και δοκιμάζονται πλαστικοί σπινθηριστές από αυτά τα νέα υλικά και καταγράφονται τα σχετικά συμπεράσματα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή κ. Ν.Π. Πετρόπουλο για τη βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας και ειδικά για τη συμβολή του στη διαμόρφωση του τελικού κειμένου. Ευχαριστίες επίσης οφείλονται και στην εταιρεία SARAD GmbH Γερμανίας για την παροχή λογισμικού ώστε να ενεργοποιηθούν και πάλι πολυκαναλικοί αναλυτές της εταιρείας που υπήρχαν διαθέσιμοι στο Εργαστήριο.

Επιπλέον ευχαριστίες οφείλονται και στην εταιρεία Peak-System Technik GmbH Γερμανίας η οποία προμήθευσε ειδικά καλώδια σύνδεσης των πολυκαναλικών αναλυτών με Η/Υ. Η σχετική αγορά έγινε με την άμεση μεσολάβηση της εταιρείας ΑΦΟΙ ΣΕΛΙΔΗ ΑΝΤΙΣΕΛ Α.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΧΕΙΡΟΠΟΙΗΤΟΥΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥΣ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΕΣ ΑΠΟ ΜΙΓΜΑ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΥΓΡΩΝ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία του Δ. Μυλωνά

Έχει ήδη πραγματοποιηθεί σημαντική επιστημονική εργασία για την παραγωγή πλαστικών σπινθηριστών που βασίζονται στα πολυεποξικά, τα οποία είναι εμπορικά γνωστά ως εποξικές ρητίνες ή αραλδίτες (από την εταιρεία που πρώτη τα χρησιμοποίησε ως κόλλες). Ένα πολυεποξικό υλικό προκύπτει από την ανάμειξη ενός κατάλληλου πολυμερούς και ενός σκληρυντή. Τα μόρια αυτά, από τη στιγμή που θα αναμειχθούν, παράγουν μία κρυσταλλική δομή υψηλής αντοχής, η οποία ονομάζεται στα αγγλικά "cross-linked". Αυτή η κρυσταλλική δομή καταστρέφεται δύσκολα. Τα πολυεποξικά υλικά χρησιμοποιούνται στην πράξη κυρίως ως συγκολλητικά υλικά. Ο πολυμερισμός τους με τη βοήθεια του σκληρυντή συνήθως εξελίσσεται σε θερμοκρασία δωματίου και διαρκεί εύλογα μικρό χρόνο. Σε ό,τι αφορά στην ανίχνευση ιοντιζουσών ακτινοβολιών, τα πολυεποξικά υλικά χρησιμοποιούνται συνήθως ως οπτικές κόλλες μεταξύ φωτοπολλαπλασιαστών και κρυσταλλικών σπινθηριστών. Παρόλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως ανιχνευτές ιοντιζουσών ακτινοβολιών διότι έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως: (α) φωτοδιαπερατότητα, (β) δεν συρρικνώνονται κατά τον πολυμερισμό, όπως π.χ. συμβαίνει κατά τον πολυμερισμό του στυρενίου, (γ) δεν παράγουν θερμότητα κατά τη διαδικασία της σκλήρυνσης, (δ) είναι εύκολα στη διαχείριση και δεν απαιτούν ειδικές γνώσεις χημείας και (ε) παρουσιάζουν εγγενείς ιδιότητες φθορισμού. Τα υγρά μείγματα από πολυεποξικά, τα οποία δεν έχουν ακόμα σκληρυνθεί, μπορούν να χυτευθούν σε περίπλοκες γεωμετρίες με επαναλήψιμο τρόπο. Το τελικό αποτέλεσμα είναι πλαστικοί σπινθηριστές που παρουσιάζουν σταθερότητα στις διαστάσεις, δεν επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες, δεν επηρεάζονται από αλληλεπιδράσεις με συνήθεις διαλύτες ή άλλα χημικά και γενικά δεν ρηγματώνονται λόγω καταπονήσεων ούτε διαβρώνονται επιφανειακά. Από την άλλη πλευρά, το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι μεταδίδουν το φως με μικρό βαθμό απόδοσης και παρουσιάζουν μικρή διαλυτότητα σε ό,τι αφορά στους τυπικούς οργανικούς σπινθηριστές, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της ικανότητάς τους να σπινθηρίζουν.

Μιλώντας γενικά, σήμερα, όλοι οι τύποι των εμπορικά διαθέσιμων πλαστικών σπινθηριστών, συμπεριλαμβανομένων αυτών που κατασκευάζονται από πολυεποξικά κοστίζουν σημαντικά ανά μονάδα μάζας. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ήδη από παλαιότερα οι σταθεροί και ασφαλέστεροι υγροί σπινθηριστές και οι πρόσφατες εξελίξεις σχετικά με πολυεποξικά, όπως το υγρό γυαλί, οι οποίες οδηγούν στον πειρασμό για την διερεύνηση των μειγμάτων τους ως χειροποίητους πλαστικούς σπινθηριστές σε εργαστηριακό περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό το ΕΠΤ-ΕΜΠ, ξεκίνησε, στο πλαίσιο της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας, μια ομάδα σχετικών δοκιμαστικών πειραμάτων χαμηλού επιπέδου, στα οποία δεν ενδιαφέρουν οι χημικές αλληλεπιδράσεις των συστατικών που χρησιμοποιήθηκαν. Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα είναι υποσχόμενα ως εξής:

(i) το πλέον κατάλληλο πολυεποξικό από αυτά που δοκιμάστηκαν φαίνεται να είναι το υγρό γυαλί, το οποίο επιπλέον φαίνεται να είναι και το πλέον διαφανέστερο στο φως, (ii) η ενσωμάτωση υγρών σπινθηριστών σε μεγάλα ποσοστά (~ 30%) στο υγρό γυαλί δεν φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία σκλήρυνσης, (iii) δεν παρατηρείται ενοχλητική θερμοκρασία, ενοχλητικές συστολές και ενοχλητικές φυσαλίδες κατά την ανάμειξη και τη σκλήρυνση του μείγματος, (iv) η σκλήρυνση διαρκεί έως 48 h, (v) τα καταλληλότερα καλούπια χύτευσης βρέθηκαν ότι είναι αυτά από σιλικόνη μαγειρικής καθώς ανταποκρίνονται καλύτερα σε τυχόν αλλαγές σχήματος που παρατηρούνται κατά τη σκλήρυνση και δεν αλληλεπιδρούν με το πολυεποξικό. Σε ό,τι αφορά στις ιδιότητες ανίχνευσης ιοντιζουσών ακτινοβολιών από τις παραγόμενες γεωμετρίες, τα προκαταρκτικά πειράματά μας, με χρήση φωτοπολλαπλασιαστή, δείχνουν ότι οι πλαστικοί σπινθηριστές που δοκιμάστηκαν είναι, γενικά μιλώντας, ευαίσθητοι τόσο σε γ όσο και σε β ακτινοβολία. Επιβεβαιώθηκε και το αναμενόμενο ότι δηλαδή δεν έχουν γενικά φασματοσκοπικές δυνατότητες, χωρίς να αποκλείονται κάποιες εξαιρέσεις. Η αναλογία του υγρού σπινθηριστή που δοκιμάστηκε ως συστατικό των πολυεποξικών επιδιώχθηκε να είναι σημαντικά αυξημένη ώστε ο φθοριστής να βρίσκεται στην περιοχή του 1%. Ως αποτέλεσμα, η ενέργεια που αποτίθεται στους πλαστικούς σπινθηριστές αυτής της εργασίας από την ιοντίζουσα ακτινοβολία δεν απορροφάται μόνο από το κρυσταλλικό πλέγμα του πολυεποξικού αλλά και από τον περιεχόμενο υγρό σπινθηριστή. Επομένως, η διαδικασία σπινθηρισμού βασίζεται και στον υγρό σπινθηριστή και μάλιστα σε παρόμοιο βαθμό με τον τρόπο που αυτό γίνεται στις μετρήσεις υγρού σπινθηρισμού. Βρέθηκε ότι, ποιοτικά, για τους πλαστικούς σπινθηριστές που δοκιμάστηκαν με πάχος 1", το παραγόμενο φως από αλληλεπίδραση με ιοντίζουσα ακτινοβολία ανήκει μερικώς στα μήκη κύματος UVA αλλά κυρίως στα μήκη κύματος

φθορισμού. Αυτό διαπιστώθηκε με έκθεση των πλαστικών σπινθηριστών σε φως UV. Οι σπινθηριστές "απάντησαν" με φθορισμό στο ιώδες ορατό φάσμα. Οι δοκιμές των πλαστικών σπινθηριστών με ένα φωτοπολλαπλασιαστή κατάλληλο για ιωδιούχο νάτριο έδειξαν ότι το παραγόμενο φως "συνομιλεί" με την αντίστοιχη φωτοκάθοδο. Ο βαθμός απόδοσης που βρέθηκε για μια σημειακή πηγή Sr-90 και έναν πλαστικό σπινθηριστή πάχους 1" είναι κοντά στο 10%, ενώ ο βαθμός απόδοσης για μια σημειακή πηγή Cs-137 είναι κοντά στο 1%.

Η εργασία εστίασε και στη διερεύνηση των παρακάτω: (1) μεγιστοποίηση της αναλογίας του υγρού σπινθηριστή, (2) ελαχιστοποίηση του όγκου του πλαστικού σπινθηριστή στη μορφή δίσκων διαμέτρου ~4 cm και συνολικού όγκου έως 3 cm³, όπως συστήνεται για την καταπολέμηση της εξασθένησης του παραγόμενου φωτός, (3) διερεύνηση πιθανών φασματοσκοπικών δυνατοτήτων για τις δισκοειδείς γεωμετρίες πλαστικών σπινθηριστών και (4) προτάσεις σχετικά με την πρόσθεση ανόργανων σπινθηριστών στο μείγμα σε πολύ μικρές αναλογίες, έτσι ώστε να μην καταστραφεί η διαφάνεια του πλαστικού σπινθηριστή.

Ειδικά σε ό,τι αφορά στους ανόργανους σπινθηριστές, τα σχετικά πειράματα μπορεί να αποδειχθούν πολύ παραγωγικά, διότι αυτοί μπορούν να ενισχύσουν την ανίχνευση με δύο κυρίως τρόπους: με την αύξηση της πυκνότητας του μείγματος, η οποία ενισχύει τις πιθανότητες αλληλεπίδρασης των ιοντιζουσών ακτινοβολιών με τον ανιχνευτή και με την παροχή πυρήνων - στόχων με κατάλληλη μεγάλη μικροσκοπική διατομή αλληλεπιδράσεων που παράγουν φως. Σε αυτήν την εργασία η σχετική σύντομη συζήτηση εστιάζει στον ανόργανο σπινθηριστή ZnS(Ag), ο οποίος είναι γνωστό ότι αλληλεπιδρά με -α και -β σωματίδια. Αν λοιπόν υπάρχει μέσα στον πλαστικό σπινθηριστή κατάλληλη ποσότητα ZnS(Ag) ομογενώς διανεμημένη, αναμένεται ότι αυτό θα ενισχύσει τον βαθμό απόδοσης ανίχνευσης -α και -β σωματιδίων. Ειδικά για τα -α σωματίδια πλαστικοί σπινθηριστές χωρίς ZnS(Ag) δεν μπορούν να τα ανιχνεύσουν. Αναμένεται ότι πλαστικοί σπινθηριστές με ZnS(Ag) θα μπορούν να τα ανιχνεύσουν αν τα -α σωματίδια αλληλεπιδράσουν με την επιφάνειά τους, διότι ασφαλώς δεν μπορούν να διασχίσουν τον όγκο του πλαστικού για να αλληλεπιδράσουν σε βάθος.

Συμπερασματικά, η παρούσα διερεύνηση έγινε για να προστεθεί επιπλέον γνώση σχετικά με τους πλαστικούς σπινθηριστές με δοκιμές προσφάτως ανεπτυγμένων πολυεποξικών σε μίξη με μεγάλες αναλογίες υγρού σπινθηριστή. Το ελάχιστο προσδοκώμενο αποτέλεσμα ήταν να επιτευχθεί μέτρηση ολικής -β και ολικής -γ ακτινοβολίας σε όσο το δυνατόν πιο βέλτιστες συνθήκες. Βεβαίως μίξεις πολυεποξικών με υγρούς σπινθηριστές έχουν γενικά δοκιμαστεί

αλλά όχι σε μεγάλη έκταση, διότι προτιμάται η μίξη να γίνεται απευθείας με τους φθοριστές των υγρών σπινθηριστών.

Τυχόν επόμενη διερεύνηση στο μέλλον μπορεί να εξετάσει ως μέθοδο παραγωγής τέτοιων πλαστικών σπινθηριστών την εξώθηση (extrusion) αντί για τη χύτευση. Αυτού του είδους η τεχνική προσέγγιση δοκιμάζεται ήδη και σε άλλα εργαστήρια. Επιπλέον δοκιμάζονται και φιλμ από πλαστικούς σπινθηριστές. Οι μέχρι στιγμές δοκιμές δεν έχουν, όπως φαίνεται, συμπεριλάβει πολυεποξικά που δοκιμάστηκαν σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία. Τέλος, η ρητινοειδής χαρακτήρας αυτού του είδους των πλαστικών σπινθηριστών θα μπορούσε να οδηγήσει και σε μία τρίτη μέθοδο παραγωγής, την 3D εκτύπωση στην επιθυμητή γεωμετρία με πολύ οικονομικά κόστη.

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF RADIOACTIVITY DETECTION PROPERTIES
FOR DIY PLASTIC SCINTILLATORS MADE FROM MIXING
POLYEPOXYDES AND COMMERCIAL LIQUID SCINTILLATION
COCKTAILS**

Diploma Dissertation of D. Mylonas

Considerable work has been committed for the production of plastic scintillators based on polyepoxydes (commercially known as epoxy resins or araldites). Polyepoxydes are obtained by mixing two components: a prepolymer (or binder), and a curing agent (or hardener). These two molecules, once mixed, give a highly cross-linked network, hard to break and destroy. All such epoxy resins share the same practical use: they are good glues and readily polymerize at room temperature within short time. This is why their main application in radiation detection is not as a scintillator matrix but as an optical glue between scintillation crystals and photomultipliers. However, there has been considerable success building on the known main advantages of such polymer systems, namely: (a) light transparency and / or translucency, (b) limited shrinkage on epoxy polymerization especially in comparison to that of styrene, (c) considerably smaller exothermic hardening, (d) easy handling, no advanced chemical knowledge needed and (e) some inherent fluorescence capabilities. The resulting liquid mixtures have been found to be easily cast into complex and reproducible shapes, before hardening begins. Such plastic scintillators have dimensional stability, resistance to high temperature and to chemical or usual solvents attack and essentially no tendency to stress crack or surface craze. On the other hand there seems to exist a major limitation: a low UV transmission, and poor solubility of classic scintillating agents.

Currently, and generally speaking, all types of commercially available plastic scintillators, including those from epoxies, cost considerably per unit mass. However, the since long existence of stable and safer liquid scintillation cocktails and the recent developments of epoxies like liquid glass, tempt towards investigating of their mixtures as plastic scintillators in DIY laboratory environments. In the course of this Diploma Dissertation, the Nuclear Engineering Laboratory of NTUA, a relevant set of low level experiments, where the inside chemistry of all components is considered as black box. The so far results are promising as it follows:

(i) transparent (clear) liquid glass epoxies seem to be most suitable as compared to other araldites, (ii) integration of liquid scintillators in considerable percentages (~ 30%) in liquid glass does not seem to interfere with the curing process, (iii) temperature, shrinkage and bubbles during mixing and curing are minimum, (iv) curing is accomplished within 48 h, and (v) curing molds of rubber (kitchenware) silicon seem to be more suitable in as much they respond better to any shrinkage during hardening and they do not interact with the epoxy. From the detection side of the story, our early experiments, using a photomultiplier, show that the produced plastic scintillators are, generally speaking, both $-\gamma$ and $-\beta$ sensitive but, as usually expected, they are not capable of spectroscopy. However, there were some spectroscopic findings during tests. The scintillator cocktail mass tested is severely increased, in order to achieve a fluor content at least 1%. The energy deposited by ionizing radiation is not only absorbed by the polymer matrix. The scintillation process relies also on the cocktail itself, pretty close to what happens in liquid scintillation. For a 1" thick plastic scintillator detector interacting with ionizing radiation the produced light is partly at the UVA but mainly at the fluorescent spectrum as readily established using illumination by UV source. Testing these plastic scintillators with a photomultiplier suitable for sodium iodite crystals demonstrated that produced light resonates with the wavelength suitable with its photocathode. The efficiency achieved for a Sr-90 point source for a plastic scintillator of 1" thickness is close to 10%, while the efficiency for Cs-137 point source with the same detector is estimated around 1%.

In summary, this work further focused on the investigation of the following: (1) maximize the liquid scintillation cocktail load, (2) minimize the detector volume to disks of ~ 4 cm in diameter and total volume of 3 cm³, as per the most common geometry to counter fight light quenching, (3) investigate possible spectroscopic capabilities of the disk geometries configurations and (4) consider adding inorganic fluors in minimum quantities so as not to destroy transparency or translucency.

Adding inorganic fluors is particularly attractive as it complements the detection in two main ways: increasing of density to increase ionizing radiation interactions with the detection system and providing target nuclei known to have a large cross section towards a specific radiation type. In this work the inorganic fluor to be briefly discussed is ZnS(Ag), known to be capable of interacting with $-\alpha$ and $-\beta$ particles. ZnS(Ag) being homogeneously distributed within a polyepoxide is expected to enhance $-\beta$ detection. Regarding $-\alpha$ detection, it is well known that plastic scintillators without any ZnS(Ag) would not detect $-\alpha$ particles. However,

$-\alpha$ detection might be improved with ZnS(Ag), if $-\alpha$ particles interact with the detector surface; $-\alpha$ particles present very low penetration range in hardened epoxy and would not interact with the detector volume.

Overall, the present investigation aimed to add to the existing knowledge with testing recently developed polyepoxydes mixed with high loads of liquid scintillation cocktail as the fluorophore; the modest anticipated outcome was to efficiently measure total $-\beta$ and total $-\gamma$ activity, when all is done for an optimized scintillator-to-polyepoxyde mass ratio and for an optimized generally accepted geometry. Scintillation cocktails fluorophores have been previously tested for plastic scintillators called sol gels but not for polyepoxydes. The general tendency is that the epoxy could be mixed only with a fluor like the ones contained in liquid scintillators.

Future work could investigate extrusion instead of molding of the suggested plastic scintillators mixtures. Such approaches for similar mixtures are already being investigated elsewhere. Film plastic scintillators testing is another interesting future field, in which development is already in progress but has not engaged polyepoxydes yet. Finally, it seems to our team, that the resin-like characteristics of the investigated plastic scintillators may lead to the production of appropriate resins capable of 3D printing any detector geometry at affordable costs.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διπλωματική Εργασία ξεκινάει στο Κεφάλαιο 2 με μια βασική βιβλιογραφική ανασκόπηση για την τεχνολογία των πλαστικών σπινθηριστών, οι οποίοι βασίζονται σε στερεοποιημένες εποξικές ρητίνες μαζί με πρόσθετα που προάγουν τον φθορισμό όταν αυτοί οι σπινθηριστές προσβάλλονται από ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Η τεχνολογία αυτή έχει ήδη διερευνηθεί αλλά υπάρχουν όμως περιθώρια βελτίωσής της. Σε ό,τι αφορά στις εποξικές ρητίνες υπάρχει τα τελευταία χρόνια σημαντική πρόοδος με την παραγωγή διαφανών ή διαφώτιστων εποξικών ρητινών όπως το υγρό γυαλί. Οι μέθοδοι στερεοποίησης των εποξικών ρητινών προϋποθέτουν συνήθως την ύπαρξη δύο συστατικών, την ανάμειξή τους στην ορθή αναλογία και τον πολυμερισμό του μείγματος. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε έχει στόχο να αναδείξει την ιστορία των πλαστικών σπινθηριστών με εποξικές ρητίνες, τα προβλήματα τους και τις τρέχουσες τάσεις σε αυτήν την τεχνολογία. Βρέθηκε από την βιβλιογραφική ανάλυση ότι μπορούν να παραχθούν πλαστικοί σπινθηριστές για την ανίχνευση ιοντιζουσών ακτινοβολιών με απλά μέσα, μικρό κόστος και ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης. Στα πειράματα αυτής της ΔΕ δόθηκε βάρος σε πλαστικούς σπινθηριστές με νεότερες συνθέσεις διαφανών πολυεποξικών όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη πατωμάτων, το υγρό γυαλί και οι ρητίνες 3D εκτύπωσης. Η μείξη των πολυεποξικών έγινε με υγρούς σπινθηριστές κυρίως γιατί αυτοί ήταν διαθέσιμοι στο Εργαστήριο. Η βέλτιστη σύνθεση των μειγμάτων έγινε θέμα διερεύνησης μαζί και με τις βέλτιστες διαστάσεις τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης ανίχνευσης ακτινοβολίας.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται δοκιμαστικές χυτεύσεις τριών πολυμερών χωρίς σπινθηριστή ή φθοριστή στο μίγμα.. Η διαδικασία των δοκιμών κρίθηκε αναγκαία για να αποκτηθεί εμπειρία στο πως γίνεται καλή χύτευση και εμπειρία σχετικά με την καταλληλότητα των καλουπιών. Αποκτήθηκε άνεση στην ανάμειξη των αναγκαίων υλικών και διαπιστώθηκαν και ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις με κάποια καλούπια. Για το μειονέκτημα αυτό προτάθηκαν λύσεις. Διαπιστώθηκε επιπλέον ότι δύο από τα τρία πολυμερή που δοκιμάσθηκαν θα μπορούσαν σε επόμενο βήμα να εξελιχθούν σε πλαστικούς σπινθηριστές με την προσθήκη κατάλληλου υγρού σπινθηριστή ή

κατάλληλου φθοριστή. Τέλος προτάθηκε ότι το καταλληλότερο υλικό για τη χύτευση μικρών όγκων τέτοιων πολυμερών είναι τα καλούπια από σιλικόνη μαγειρικής.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται ο τρόπος, με τον οποίο κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν δύο πλαστικοί σπινθηριστές μικρού όγκου με βάση δύο διαφορετικά πολυεποξικά. Προκειμένου τα πολυεποξικά να αποκτήσουν τις επιθυμητές ιδιότητες του φθορισμού αναμείχθηκαν με υγρό σπινθηριστή σε σημαντική αναλογία. Στη συνέχεια, για να επιβεβαιωθεί ότι υπάρχουν ιδιότητες φθορισμού όταν τα πολυεποξικά προσβάλλονται από ιοντίζουσα ακτινοβολία συγκροτήθηκε μία πειραματική διάταξη κατάλληλη για το σκοπό αυτό. Τα αποτελέσματα υπήρξαν ενθαρρυντικά προς αυτή την κατεύθυνση. Επαληθεύτηκε αυτό που και η βιβλιογραφία προβλέπει για τις ανιχνευτικές ικανότητες τέτοιων πολυεποξικών. Η απόδοση των ανιχνευτών όμως παρόλο που βρέθηκε υπολογίσιμη ήταν σχετικά χαμηλή. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με ποσότητες υγρού σπινθηριστή, οι οποίες οδήγησαν σε κατά μάζα ποσοστό του φθοριστή μικρότερο από 1%.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται ο τρόπος, με τον οποίο κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν τρεις πλαστικοί σπινθηριστές δίσκοι μικρού πάχους με βάση τρία διαφορετικά πολυεποξικά. Προκειμένου και σε αυτή την περίπτωση τα πολυεποξικά να αποκτήσουν τις επιθυμητές ιδιότητες του φθορισμού αναμείχθηκαν με υγρό σπινθηριστή σε σημαντική αναλογία. Στη συνέχεια, για να επιβεβαιωθεί ότι υπάρχουν ιδιότητες φθορισμού όταν τα πολυεποξικά προσβάλλονται από ιοντίζουσα ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη του Κεφαλαίου 4. Τα αποτελέσματα υπήρξαν ενθαρρυντικά. Προέκυψε ότι ο βαθμός απόδοσης των πολυεποξικών ανιχνευτών μικρού πάχους, παρόλη τη μείωση της μάζας τους σε σχέση με τους αντίστοιχους ανιχνευτές που δοκιμάστηκαν στο Κεφάλαιο 4, είναι παρόμοιος. Υπάρχει λοιπόν, βέλτιστο πάχος τέτοιων ανιχνευτών πέρα από το οποίο ο βαθμός απόδοσης δεν αυξάνεται. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με ποσότητες υγρού σπινθηριστή, οι οποίες οδήγησαν σε κατά μάζα ποσοστό του φθοριστή μικρότερο από 1%.

Στον επίλογο δίνονται προτάσεις για τη συνέχιση της έρευνας που παρουσιάστηκε με συστηματικότερο τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μια βασική βιβλιογραφική ανασκόπηση για την τεχνολογία των πλαστικών σπινθηριστών, οι οποίοι βασίζονται σε στερεοποιημένες εποξικές ρητίνες μαζί με πρόσθετα που προάγουν τον φθορισμό όταν αυτοί οι σπινθηριστές προσβάλλονται από ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Η τεχνολογία αυτή έχει διερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό τόσο για εργαστηριακούς όσο και για εμπορικούς σκοπούς. Υπάρχουν όμως περιθώρια σημαντικής βελτίωσής της και επιπλέον έρευνας. Όπως έχει αναφερθεί η τεχνολογία αυτή διερευνάται για πρώτη φορά στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ και πιθανόν για πρώτη φορά εργαστηριακά στην Ελλάδα. Σε ό,τι αφορά στις εποξικές ρητίνες υπάρχει τα τελευταία χρόνια σημαντική πρόοδος στη σύνθεσή τους και στον χημικό τρόπο δημιουργίας της κρυσταλλικής τους δομής. Η πρόοδος αυτή ήταν σταδιακή από τη δημιουργία των πρώτων εποξικών ρητινών (που είναι η κόλλα δύο συστατικών Araldit) και τελευταία έχει επιταχυνθεί με την παραγωγή διαφανών ή διαφώτιστων εποξικών ρητινών (που μπορούν και να χρωματίζονται) όπως το υγρό γυαλί, αυτών που χρησιμοποιούνται για την προστασία οικοδομικών υλικών ή αυτών που χρησιμοποιούνται για 3D εκτυπώσεις. Οι μέθοδοι στερεοποίησης των εποξικών ρητινών προϋποθέτουν συνήθως την ύπαρξη δύο συστατικών, την ανάμειξή τους στην ορθή αναλογία και τον πολυμερισμό του μείγματος, στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ή σε μεγαλύτερη θερμοκρασία ή κάτω από συνθήκες ειδικού φωτισμού συνήθως σε μήκος κύματος UV. Η χρήση τέτοιων εποξικών ρητινών και ιδιαίτερα αυτών που πολυμερίζονται με φως έχει επεκταθεί σημαντικά στην ιατρική (κυρίως στην οδοντιατρική για σφραγίσματα δοντιών) και στην παραϊατρική (θεραπεία ή καλλωπισμός νυχιών, ονυχοπλαστική κλπ). Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που ακολουθεί έχει στόχο να αναδείξει την ιστορία των πλαστικών σπινθηριστών με εποξικές ρητίνες, τα προβλήματα που έχουν αυτοί οι πλαστικοί σπινθηριστές και τις τρέχουσες εξελίξεις σε αυτήν την τεχνολογία.

2.2 Ερασιτεχνικές προτάσεις από το διαδίκτυο

Όπως έχει σημειωθεί, οι πλαστικοί σπινθηριστές είναι φθηνοί, ανθεκτικοί, και κατάλληλοι για τη ανίχνευση και τη μέτρηση ιοντίζουσών ακτινοβολιών. Η αλληλεπίδραση ακτινοβολιών με τους πλαστικούς σπινθηριστές παράγει φως στο ιώδες - υπεριώδες φάσμα ανιχνεύσιμο από φωτοπολλαπλασιαστές. Επειδή οι πλαστικοί σπινθηριστές ξεκινούν ως υγρό παρασκεύασμα

μπορούν να χυτευθούν ή όταν στερεοποιηθούν να κατεργασθούν μηχανουργικά σε ποικίλα σχήματα. Οι πλαστικοί σπινθηριστές λέγονται σπινθηριστές διότι περιέχουν στο μείγμα τους υλικά σπινθηρισμού. Ένα από τα υλικά σπινθηρισμού είναι και τα ονομαζόμενα κοκτέιλ υγρού σπινθηρισμού ή αλλιώς υγροί σπινθηριστές. Ένα υγρό κοκτέιλ σπινθηρισμού αποτελείται από ένα κύριο συστατικό, τον διαλύτη, έναν κύριο φθοριστή και, αν χρειάζεται, έναν δευτερεύων φθοριστή, που συχνά καλείται μετατοπιστής μήκους κύματος. Ο διαλύτης στο κοκτέιλ απορροφά ακτινοβολία, μεταφέρει την ενέργεια της στον κύριο φθοριστή, ο οποίος αποδιεγειρόμενος εκπέμπει φως σε ιώδες - υπεριώδες μήκος κύματος. Υπάρχει περίπτωση το μήκος κύματος φωτός που παράγεται να μην μπορεί να ανιχνευθεί από έναν φωτοπολλαπλασιαστή. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο δευτερεύων φθοριστής για να απορροφήσει το υπεριώδες, και να το μετατρέψει σε υπεριώδες κατάλληλου μήκους κύματος για ανίχνευση. Στα σύγχρονα κοκτέιλ υπάρχει μόνο πρωτεύων φθοριστής, ο οποίος παράγει υπεριώδες κατάλληλου μήκους κύματος . Οι διαλύτες συνήθως είναι κάποια αρωματική ένωση. Αυτό δίνει την ιδέα ότι το κοκτέιλ σπινθηρισμού μπορεί να αναμειγνύεται με εποξικές ρητίνες, οι οποίες είναι επίσης αρωματικές ενώσεις. Επομένως οι εποξικές ρητίνες σε συνδυασμό με κατάλληλους σκληρυντές και μαζί με κοκτέιλ σπινθηρισμού μπορούν κατ' αρχήν να συγκροτήσουν στερεούς σπινθηριστές, οι οποίοι ονομάζονται πλαστικοί επειδή είναι προϊόν ανάμειξης οργανικών ενώσεων. Οι πλαστικοί σπινθηριστές είναι οικονομικοί και εύκολα κατασκευάσιμοι.

Φυσικά η διαδικασία παρασκευής πλαστικών σπινθηριστών υπακούει σε κανόνες και πραγματοποιείται με διαδικασίες ποιότητας οδηγώντας σε πιστοποιημένα προϊόντα σημαντικού κόστους ανά μονάδα μάζας. Επειδή όμως η βασική αρχή κατασκευής πλαστικών σπινθηριστών είναι απλή είναι φανερό ότι τέτοιοι σπινθηριστές μπορούν να συγκροτηθούν και σε ερασιτεχνική βάση. Για το σκοπό αυτό εποξική ρητίνη, κατάλληλος σκληρυντής και σπινθηριστές ή κοκτέιλ αναμειγνύονται και στην συνέχεια το μείγμα χυτεύεται σε καλούπι προκειμένου να αποκτήσει τις επιθυμητές διαστάσεις.

Στο διαδίκτυο αναφέρονται σχετικές ερασιτεχνικές προσπάθειες, βλέπε για παράδειγμα <https://gigabecquerel.wordpress.com/2020/12/25/diy-plastic-scintillators-first-success/>. Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 2.1 φαίνεται το προετοιμασμένο μείγμα ρητίνης-σκληρυντή-κοκτέιλ. Στην Εικόνα 2.2 το μείγμα έχει χυτευθεί σε τέσσερα καλούπια και φωτίζεται με υπεριώδες φως από την πάνω αριστερά γωνία. Με τον φωτισμό παρατηρείται ότι οι πλαστικοί σπινθηριστές που βρίσκονται κοντά στο υπεριώδες φως αντιδρούν παράγοντας ιώδες φως. Στην Εικόνα 2.3 διακρίνονται πλαστικοί σπινθηριστές στην τελική κυλινδρική τους μορφή.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο πειραματιστής χρησιμοποίησε απλά και φθηνά υλικά ως εξής:

Για 50 g πλαστικού σπινθηριστή χρειάστηκαν 33.3 g εποξικής ρητίνης, 16.7 g σκληρυντή και κοκτέιλ σπινθηρισμού. Το κοκτέιλ σπινθηρισμού κατασκευάστηκε από 7 g διαλύτη (Ξυλένιο), 0.5 g p-τερφαινύλιο ως πρωτεύοντα φθοριστή και 50 mg Κουμαρίνη 102 ως δευτερεύοντα φθοριστή. Γενικώς, σε αυτήν την ερασιτεχνική προσέγγιση οι φθοριστές είναι περίπου το 1% το μίγματος ενώ το κοκτέιλ σπινθηρισμού ως σύνολο είναι το ~15% του μίγματος.

Για την ερασιτεχνική προσέγγιση φαίνεται ότι υπάρχουν διάφορα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν:

(α) Ο πλαστικός σπινθηριστής πρέπει να προκύψει διαφανής. Κάθε άλλος χρωματισμός απορροφά το παραγόμενο φως με αποτέλεσμα να πέφτει σημαντικά ο βαθμός απόδοσης. Για την επίτευξη διαφανούς αποτελέσματος χρειάζονται δοκιμές.

(β) Η κατασκευή κοκτέιλ σπινθηρισμού (δηλ. υγρού σπινθηριστή) από τα συστατικά του δεν είναι σήμερα συνήθης διαδικασία διότι υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο πολλά και οικονομικά κοκτέιλ. Επιπλέον η κατασκευή κοκτέιλ εμπλέκει την επαφή με όχι και τόσο φιλικά χημικά, όπως το ξυλένιο και μάλιστα σε διαδικασίες όπως ανάμειξη στους 60°C. Τέλος ο βαθμός απόδοσης αυτών των χειροποίητων κοκτέιλ είναι χαμηλός.

(γ) Το μείγμα ρητίνης-σκληρυντή-χειροποίητου κοκτέιλ σκληραίνει συντομότερα αν διατηρείται σε υψηλή θερμοκρασία ~80°C. Η θερμοκρασία αυτή βοηθάει ώστε το μείγμα να μην διαχωριστεί στα συστατικά του κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης. Όμως δεν είναι βέβαιο ότι η υψηλή θερμοκρασία εξασφαλίζει τη διατήρηση των ιδιοτήτων του κοκτέιλ.

(δ) Λόγω της παρουσίας της εποξικής ρητίνης ως κύριο συστατικό του πλαστικού σπινθηριστή, τέτοιοι χειροποίητοι πλαστικοί σπινθηριστές δεν αναμένεται να έχουν καλό βαθμό απόδοσης και φασματοσκοπικές δυνατότητες σε ό,τι αφορά σε ανιχνευόμενα φωτόνια και ανιχνεύόμενα -β σωματίδια διαφορετικών ενεργειών. Αντίθετα πολλοί από τους εμπορικά διαθέσιμους πλαστικούς σπινθηριστές έχουν τέτοιες δυνατότητες, διότι περιέχουν καλύτερα κοκτέιλ και το οργανικό υλικό που χρησιμοποιείται για την στερεοποίηση της κρυσταλλικής δομής είναι περισσότερο κατάλληλο. Βέβαια έχει διαπιστωθεί ότι ακόμα και οι ερασιτεχνικές συνθέσεις πλαστικών σπινθηριστών είναι κατάλληλες με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης για την ανίχνευση -α και -β ακτινοβολίας χωρίς φασματοσκοπικές δυνατότητες.

(ε) Ένα άλλο πρόβλημα με τους χειροποίητους πλαστικούς σπινθηριστές είναι οι φυσαλίδες που σχηματίζονται κατά την ανάμειξη των συστατικών τους. Οι φυσαλίδες, όπως είναι φυσικό, εμποδίζουν την διάδοση του φωτός στον πλαστικό σπινθηριστή. Για την απομάκρυνση των φυσαλίδων υπάρχουν αρκετές μέθοδοι με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η κλασική μέθοδος γενικά για τις εποξικές ρητίνες με σκληρυντή είναι η αφαίρεση φυσαλίδων με χρήση κενού. Η μέθοδος αυτή μαζί με άλλες θα αξιολογηθεί αν είναι χρήσιμη στο πλαίσιο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας.

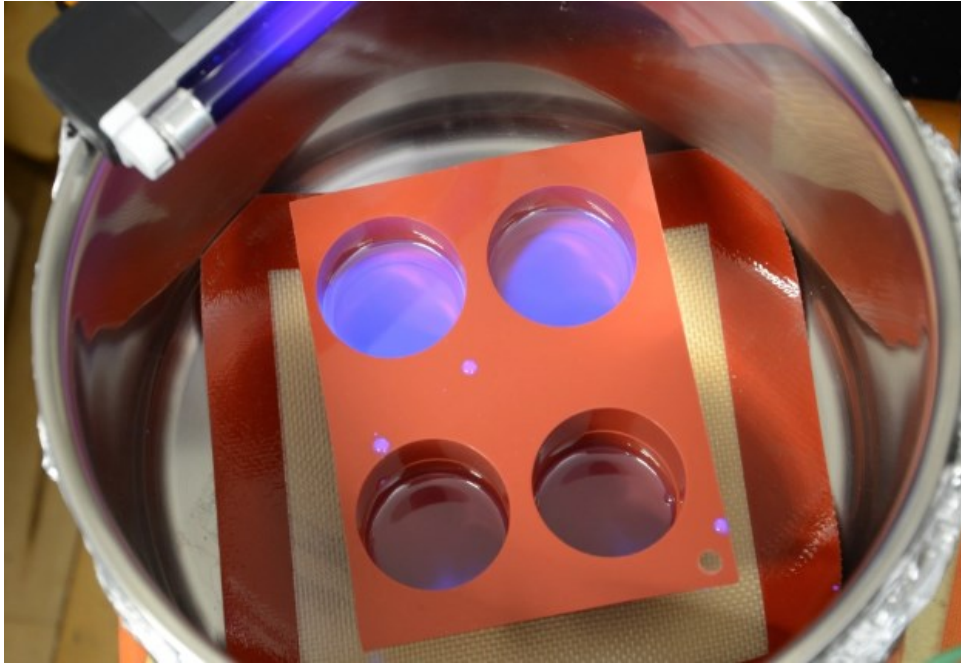
(στ) Σε ό,τι αφορά χειροποίητες , ερασιτεχνικές συνθέσεις πλαστικών σπινθηριστών δεν είναι βέβαιο ότι υπάρχει μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Η σύνθεση μπορεί λόγω πολυμερισμού ή άλλων αντιδράσεων να πάψει να είναι διαφανής ή να παρουσιάσει ρωγμές ή άλλες ατέλειες.

(ζ) Υπάρχει ως σκέψη ότι αντί για κοκτέιλ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκόνη ανόργανου σπινθηριστή όπως ο θειούχος ψευδάργυρος $ZnS(Ag)$ διαλυμένη μέσα στο μείγμα εποξικής ρητίνης και σκληρυντή.

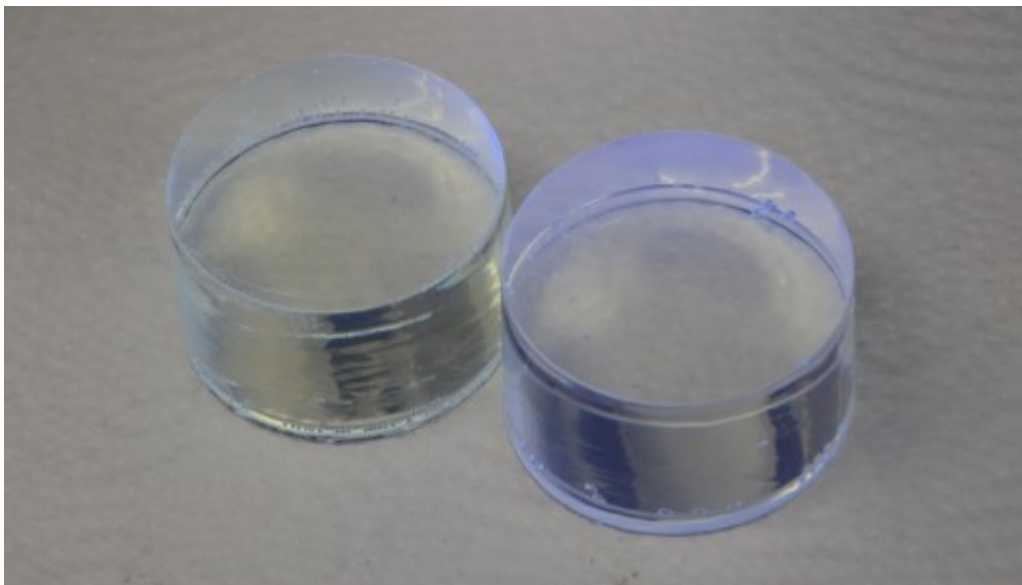
(η) Στο ερασιτεχνικό επίπεδο υπάρχουν και σκέψεις ότι αντί για εποξικές ρητίνες χρήσιμες για την δημιουργία στερεής κρυσταλλικής δομής μπορεί να χρησιμοποιηθούν ζωικές ή φυτικές ζελατίνες (άγαρ).



Εικ. 2.1 Προετοιμασία μείγματος ρητίνης-σκληρυντή-χειροποίητου κοκτέιλ για την κατασκευή κλασσικού σπινθηριστή



Εικ. 2.2 Χύτευση μείγματος ρητίνης-σκληρυντή-χειροποίητου κοκτέιλ σε καλούπια ώστε ο πλαστικός σπινθηριστής να πάρει το τελικό του σχήμα



Εικ. 2.3 Τελική κυλινδρική μορφή πλαστικών σπινθηριστών

2.3 Ερευνητική εργασία του Markley (1968)

Κάποιες πρώτες προσπάθειες για την επαγγελματική παραγωγή ενός πλαστικού σπινθηριστή, βασισμένου σε εποξικές ρητίνες παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία. Κατά την δημιουργία ενός τέτοιου μείγματος παρατηρείται μικρή συστολή στη φάση του πολυμερισμού. Επιπλέον η θερμοκρασία εξώθερμης αντίδρασης πολυμερισμού (στερεοποίησης) είναι αρκετά χαμηλή. Οι ιδιότητες αυτές επιτρέπουν να παραχθούν εύκολα πλαστικοί σπινθηριστές με χύτευση.

Μέχρι πριν το 1968 η βάση των πλαστικών σπινθηριστών ήταν το πολυστυρένιο, καθώς και κάποια παράγωγά του, όπως το μέθυλο-στυρένιο, και το 2,4 διμέθυλο-στυλένιο, μιας και ήταν από τα πρώτα διαθέσιμα πλαστικά στην αγορά, ήταν ικανοποιητικά διαφανές, οι ιδιότητες του ήταν γνωστές, και μπορούσε να παραχθεί χωρίς την εμφάνιση παραπροϊόντων. Διάφοροι σπινθηριστές (κοκτέιλ) ή φθοριστές μπορούσαν απλά να προστεθούν και να διαλυθούν στο μονομερές με ευκολία, και στη συνέχεια το μείγμα να χυτευθεί σε κάποιο καλούπι και να πολυμεριστεί σε στερεό σώμα. Άλλα πλαστικά που δοκιμάστηκαν εμφάνιζαν αντιδράσεις συμπίκνωσης, ή ήταν οικονομικά ασύμφορα.

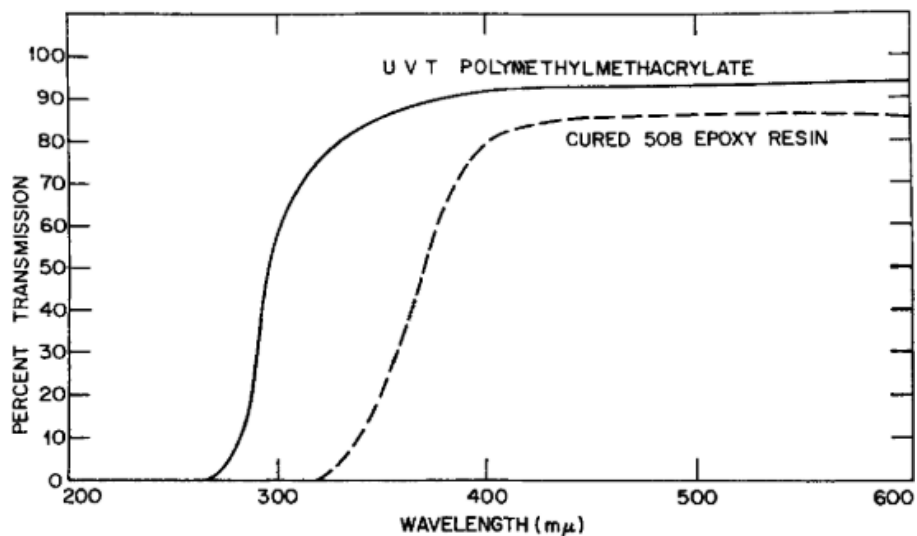
Κατά τον Markley (1968), η χρήση των εποξικών ρητινών παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Ο κίνδυνος για την εμφάνιση ρωγμών λόγω συστολών ελαχιστοποιείται, καθώς τα εποξικά συστήματα παρουσιάζουν συστολή της τάξεως του 1%, σε αντίθεση με το στυρένιο που εμφανίζει περί το 15%. Η μικρή συστολή καθιστά την χύτευση πιο εύκολη, και τον σχεδιασμό των καλουπιών πιο απλό. Επίσης, ο πολυμερισμός των εποξικών μπορεί να γίνει σε θερμοκρασία δωματίου, εξουδετερώνοντας την ανάγκη κλιβάνου. Επιπροσθέτως, τα εποξικά παρουσιάζουν σταθερότητα σε θερμοκρασία δωματίου. Έτσι, μπορούν να αναμειχθούν εποξικές ρητίνες με κοκτέιλ σπινθηρισμού, και να αποθηκευτούν, ενώ η ανάμειξη με σκληρυντή, και η τελική χύτευση μπορούν να γίνουν σε τρίτο χρόνο. Ένα ακόμη πλεονέκτημα που εμφανίζουν τα εποξικά είναι ότι είναι ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου μαλακώνουν, αλλά δεν λιώνουν. Μπορούν να κατεργαστούν δίχως να στρεβλωθούν, ενώ αντέχουν αρκετά υψηλές τιμές μηχανικών φορτίων. Ταυτόχρονα είναι λιγότερο πιθανό να εμφανίσουν ρηγμάτωση από τάσεις. Επομένως οι πλαστικοί σπινθηριστές οι βασισμένοι σε εποξικά συστήματα, δεν καταστρέφονται λόγω επιφανειακών ατελειών.

Ο Markley (1968) χρησιμοποίησε για τις δοκιμές του την εποξική ρητίνη Epi-Rez 50810. Στα πλαίσια της έρευνας δοκιμάστηκαν διάφοροι σκληρυντές, με επικρατέστερους την κυκλοαλιφατική διαμίνη C-394 από την Epoxylite Corporation και τους Epi-Cure 877 και Epi-Cure 8771. Τα μείγματα αυτά δημιούργησαν αποδοτικούς σπινθηριστές. Εκτός από την εποξική ρητίνη και τον σκληρυντή, χρησιμοποιήθηκαν ένας διαλύτης, ένας φθοριστής, μια αραιωτική ουσία, και ένας πλαστικοποιητής. Δευτερεύον φθοριστής δεν χρειάστηκε, καθώς τα πειράματα έδειξαν πως η εποξική ρητίνη μπορεί να λειτουργήσει και ως καλός διαλύτης για την παραλαβή και την απόδοση ενέργειας από ιοντίζουσα ακτινοβολία. Επίσης, τα πειράματα έδειξαν πως το σχετικό ύψος παλμών (RPH, relative pulse height) δεν επηρεάζεται από την ουσία που θα χρησιμοποιηθεί για την αραιώση, ή την πλαστικοποίηση της εποξικής

ρητίνης, εφόσον αυτή είναι αρωματική. Κατά τη σύνθεση του μείγματος δεν χρησιμοποιήθηκε κοκτέιλ.

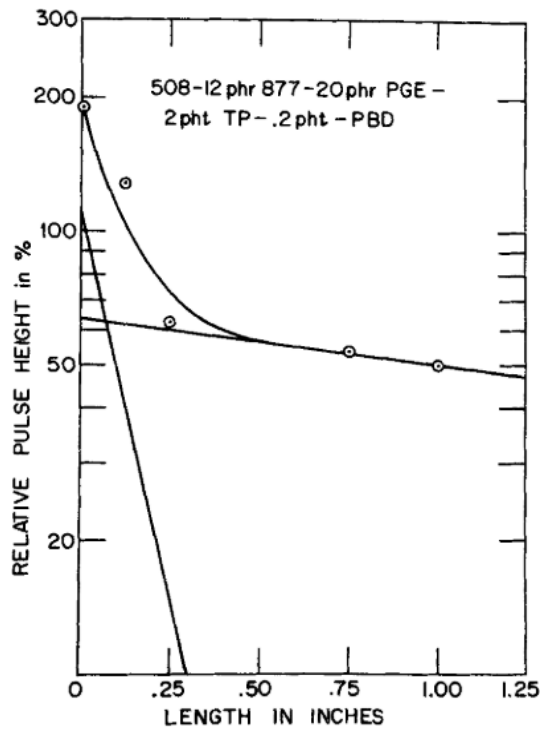
Κατά την πειραματική διαδικασία, πρώτα έγιναν οι κατάλληλες διαμορφώσεις των δοκιμίων ώστε να πάρουν κυλινδρική μορφή, διαμέτρου ~25 mm, και ύψους ~25 mm, και τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα διαμορφωμένο φωτοστεγανό δοχείο μπροστά από φωτοπολλαπλασιαστή, ενώ στην συνέχεια τοποθετήθηκε μία πηγή ιοντίζουσας ακτινοβολίας στον άξονα του πλαστικού σπινθηριστή. Από αυτή τη διάταξη λήφθηκαν σχετικά ύψη παλμών για διάφορα είδη ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Ως αναφορά χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις με έναν "beta" πλαστικό σπινθηριστή, ενώ τα αποτελέσματα αναφέρονται ως ποσοστά.

Οι οπτικές ιδιότητες του δοκιμίου με ρητίνη 508 και σκληρυντή 877 ερευνήθηκαν με δύο μεθόδους. Η παρακάτω Εικόνα 2.4 δείχνει την ποσοστιαία διαπερατότητα ως προς το μήκος κύματος, για ένα δοκίμιο πάχους ~6 mm, σε σχέση με ένα κομμάτι πλεξιγκλάς ίδιου πάχους, που διαπερνάται από την ίδια υπεριώδη ακτινοβολία.



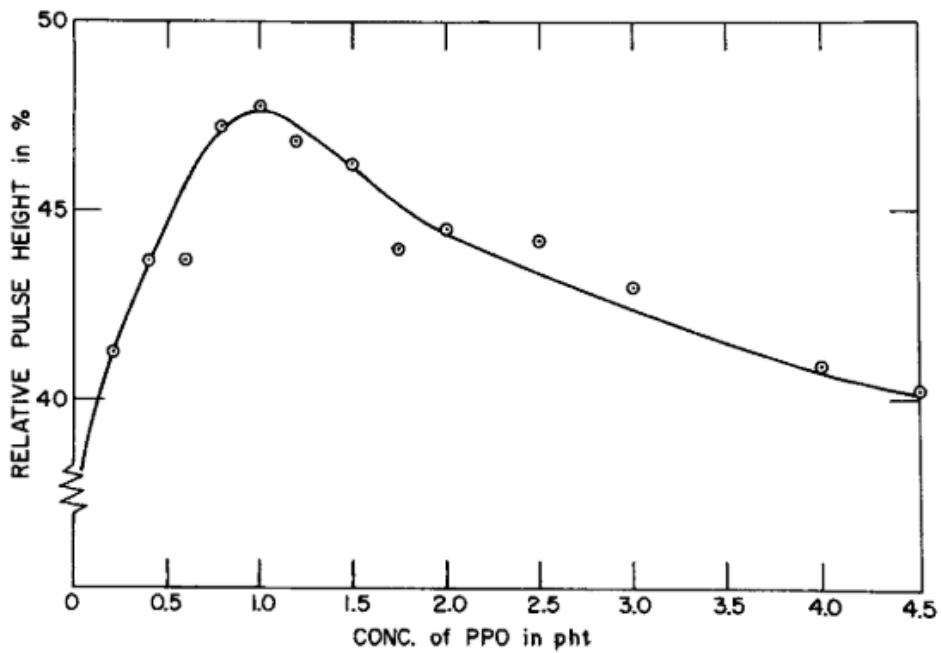
Εικ. 2.4 Διαπερατότητα υπεριώδους ακτινοβολίας σε πλεξιγκλάς (polymethylmethacrylate) και σε πλαστικό σπινθηριστή (Markley, 1968)

Στο διάγραμμα της Εικόνας 2.5 φαίνεται η μεταβολή του RPH ως προς το ύψος ενός δοκιμίου πλαστικού σπινθηριστή. Η καμπύλη που προκύπτει φαίνεται να είναι το άθροισμα δύο εκθετικών καμπυλών εξασθένησης ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

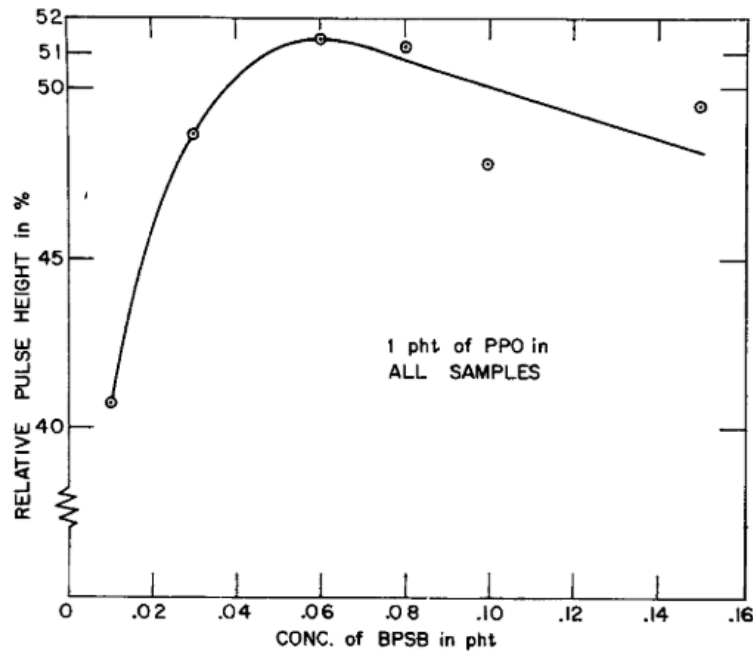


Εικ. 2.5 Εξασθένηση ακτινοβολίας ανάλογα με το ύψος του κυλίνδρου πλαστικού σπινθηριστή (Markley, 1968)

Επίσης ερευνήθηκε πειραματικά η κατάλληλη συγκέντρωση φοριστή τύπου PPO και φοριστή BPSB στη ρητίνη, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στις παρακάτω Εικόνες 2.6 και 2.7.



Εικ. 2.6 Εξάρτηση του σχετικού ύψους παλμών από τη συγκέντρωση φοριστή PPO σε πλαστικό σπινθηριστή (Markley, 1968)



Εικ. 2.7 Εξάρτηση του σχετικού ύψους παλμών από τη συγκέντρωση φοθοριστή BPSB σε πλαστικό σπινθηριστή (Markley, 1968)

Ερευνήθηκε επίσης το ενδεχόμενο ο σκληρυντής να προάγει τη σβέση του φωτός (quenching) μέσα στον πλαστικό σπινθηριστή και βρέθηκε πως δεν έχει τέτοια δράση. Βρέθηκε επιπλέον ότι τα δοκίμια πλαστικών σπινθηριστών από εποξική ρητίνη παρουσιάζουν χρωματισμό με την πάροδο του χρόνου (αποκτούν κίτρινο χρώμα) γεγονός που επηρεάζει την αποτελεσματικότητά τους. Ο χρωματισμός αυτός πιθανώς να οφείλεται σε οξείδωση ή φωτοχημικές αντιδράσεις.

Τα συμπεράσματα από την εργασία του Markley (1968) φαίνεται ότι είναι τα εξής:

(α) Η κατασκευή πλαστικών σπινθηριστών ως μείγματα εποξικής ρητίνης, σκληρυντή και φοθοριστή είναι δυνατή.

(β) Οι πλαστικοί σπινθηριστές που κατασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μην είναι εντελώς διαφανείς

(γ) Όσο μεγαλώνει το πάχος των πλαστικών σπινθηριστών δεν βελτιώνεται η απόδοσή τους διότι δρουν ως εξασθενητές φωτός και ως εξασθενητές της προσπίπτουσας ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Από την άλλη ένας πλαστικός σπινθηριστής πολύ μικρού πάχους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα πολύ μικρό βαθμό απόδοσης. Ο κατάλληλος βαθμός απόδοσης είναι επομένως αποτέλεσμα διαδικασίας βελτιστοποίησης.

(δ) Όσο μεγαλώνει το πάχος των πλαστικών σπινθηριστών τόσο μειώνεται η απόκρισή τους σε σχέση με την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Επομένως αν αυτοί οι πλαστικοί

σπινθηριστές έχουν φασματοσκοπικές δυνατότητες αυτές χάνονται όσο αυξάνεται το πάχος τους. Το κατάλληλο πάχος των πλαστικών σπινθηριστών για πιθανή φασματοσκοπική λειτουργία είναι επομένως αποτέλεσμα διαδικασίας βελτιστοποίησης.

(ε) Άλλο θέμα βελτιστοποίησης είναι η μάζα του φθοριστή σε σχέση με τη μάζα της εποξικής ρητίνης και του σκληρυντή. Η μάζα του φθοριστή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να εξασφαλίζει την ανίχνευση και κατάλληλα μικρή ώστε να μην εμποδίζει την σκλήρυνση της ρητίνης και να μην δημιουργεί χημικές αντιδράσεις που επηρεάζουν την διαφάνεια ή την ακεραιότητα του τελικού συστήματος

2.4 Ερευνητική εργασία του Moser (1993)

Σύμφωνα και με την ερευνητική ανασκόπηση του Moser (1993) πλαστικοί σπινθηριστές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και μέτρηση ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Ο πιο κοινός τύπος πλαστικών σπινθηριστών αποτελείται από μια αρωματική πλαστική βάση. Οι αρωματικές δομές, στην περίπτωση που το μείγμα δεν έχει άλλες ενώσεις σπινθηριστών, είναι απαραίτητες για τις λειτουργίες της αλληλεπίδρασης της προσπίπτουσας ιοντίζουσας ακτινοβολίας και της εκπομπής φωτός στο μήκος κύματος ενδιαφέροντος. Τα πιο κοινά εμπορικά υλικά για πλαστικούς σπινθηριστές είναι το πολυστυρένιο (PS) και το πολυβινυλοτολουένιο (PVT). Το μη-αρωματικό πλαστικό πολυμεθυλομεθακρυλικό (PMMA), ή αλλιώς ακρυλικό (που είναι γνωστό με το όνομα plexiglass ή perspex), χρησιμοποιείται κάποιες φορές ως βάση για σπινθηριστή, προσθέτοντας κάποιο αρωματικό διαλύτη, όπως η ναφθαλίνη (10-25% κατά βάρος). Ωστόσο, τέτοιοι σπινθηριστές είναι γενικά λιγότερο αποδοτικοί από αυτούς που βασίζονται σε αρωματικά πολυμερή.

Ο φθορισμός σε αυτά τα αρωματικά πολυμερή επιτυγχάνεται όταν αυτά παραλαμβάνουν ενέργεια από την ιοντίζουσα ακτινοβολία. Όμως επειδή η εκπομπή φωτονίων φθορισμού από τα αρωματικά πολυμερή είναι πολλή μικρή, τα αρωματικά πολυμερή δεν είναι απολύτως κατάλληλα για σπινθηριστές. Επίσης δεν είναι αρκετά διαυγή για την διάδοση των φωτονίων φθορισμού μέσα στην ύλη τους, και το φάσμα της εκπομπής του (300-350 nm) είναι πολύ μικρό για να αξιοποιηθεί από τους κοινούς φωτοπολλαπλασιαστές. Η προσθήκη περίπου 1% κατά βάρος κατάλληλων αρωματικών ουσιών με καλύτερες ιδιότητες φθορισμού, που ονομάζονται πρωτεύοντες φθοριστές, παράγουν έναν αποτελεσματικό στερεό σπινθηριστή. Σε αυτές τις συγκεντρώσεις η ενέργεια της ιοντίζουσας ακτινοβολίας μεταφέρεται από την αρωματική βάση στον πρωτεύοντα φθοριστή, ο οποίος εκπέμπει φωτόνια υψηλότερης ενέργειας UV_A (350-400 nm), τα οποία παρότι μπορούν να αξιοποιούνται σε μεγαλύτερο

βαθμό από φωτοπολλαπλασιαστές, έχουν βέβαια περιορισμένη εμβέλεια ($<0.1\text{m}$). Για την αύξηση της εμβέλειας, μέχρι και τα 2 m, μπορεί να προστίθεται επιπλέον φθοριστής, ο επονομαζόμενος και μετατοπιστής φάσματος, ή δευτερεύων φθοριστής σε ποσότητα 0.01% κατά βάρος. Ο μετατοπιστής φάσματος εκπέμπει σε φάσμα μεγαλύτερου μήκους κύματος από το UV_A (400-500 nm).

Από τον συνδυασμό της αρωματικής βάσης και των αρωματικών φθοριστών, το ζητούμενο είναι να επιτευχθεί υψηλή απόδοση φωτονίων στο κατάλληλο μήκος κύματος. Η σύγκριση σπινθηριστών που παράχθηκαν με PVT, PS και PMMA με ναφθαλίνη, χρησιμοποιώντας ίσες ποσότητες φθοριστών, παρήγαγαν σήματα σχετικής ισχύος 1.0, 0.88 και 0.38 αντίστοιχα. Η διαφάνεια είναι ακόμη μία απαιτούμενη ιδιότητα που ζητείται από το υλικό της βάσης, καθώς τα φωτόνια σπινθηρισμού μπορεί να χρειαστεί να μετακινηθούν μεγάλη απόσταση μέχρι την συσκευή ανίχνευσης. Οι φθοριστές απαιτείται να έχουν κυρίως κατάλληλο, φάσμα εκπομπής φωτός, στην ευρύτερη περιοχή του υπεριώδους, χαμηλή αυτό-απορρόφηση φωτός για την καλύτερη μεταφορά της πληροφορίας και όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο απόσβεσης (decay time) της παραμένουσας φωταύγειας, στην περιοχή από 2-3 έως το πολύ 10 ns (να μην παρουσιάζουν δηλαδή "afterglow", όπως θα διερευνηθεί και στο Κεφάλαιο 4).

Για την εξασφάλιση επαναληψιμότητας των πλαστικών σπινθηριστών που κατασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο, απαιτείται κατάλληλο εργαστήριο. Για την παρασκευή μικρών δειγμάτων και τη δοκιμή νέων υλικών και μειγμάτων, χρησιμοποιούνται συνήθως αμπούλες κενού. Οι φθοριστές αναμειγνύονται με την επιθυμητά διαφανή ή διαφώτιστη αρωματική βάση και στη συνέχεια μεταφέρονται στην αμπούλα, όπου και αφαιρείται ο αέρας. Η διαφάνεια της βάσης μειώνει το φαινόμενο της οπτικής σβέσης του παραγόμενου φωτός (quenching), καθώς και την αλλαγή του χρώματος του πλαστικού σπινθηριστή, λόγω ατελειών (impurities). Η αμπούλα σφραγίζεται και περνάει από θερμικό κύκλο. Ο πολυμερισμός και η ανόπτηση της βάσης λαμβάνει χώρα μέσα στην αμπούλα με τη βοήθεια της θερμοκρασίας. Τέλος, το στερεό αποτέλεσμα αφαιρείται και κατεργάζεται κατάλληλα.

Μια άλλη μέθοδος παρασκευής, ξεκινάει πάλι με την ανάμειξη των φθοριστών σε μεγάλης καθαρότητας διαφανή αρωματική βάση. Στην συνέχεια το μείγμα θερμαίνεται ελεγχόμενα για να πολυμεριστεί μερικώς. Το μερικώς πολυμερισμένο μείγμα μεταφέρεται σε γυάλινες φόρμες, και η τελική στερεοποίηση λαμβάνει χώρα σε κλίβανο. Ο πολυμερισμός με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνει ομοιόμορφη κατανομή μοριακού βάρους του πολυμερούς, η οποία είναι απαραίτητη για την εμφάνιση καλών μηχανικών ιδιοτήτων και ομοιόμορφης απόδοσης σπινθηρισμού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη μαζική παραγωγή μεγάλων φύλλων

(έως και 5m μήκος ή πλάτος) μεγάλου πάχους (> 40cm), καθώς και την παραγωγή ράβδων μεγάλων διαμέτρων (έως και 1m). Μια άλλη μέθοδος μαζικής παραγωγής φύλλων πλαστικών σπινθηριστών, μέτριου πάχους, είναι η μηχανική ανάμειξη των φθοριστών με πολυμερή pellets, και η κατάλληλη επεξεργασία τους (συνήθως χύτευση ή εξώθηση).

Σήμερα πλέον και με βάση τα παραπάνω μπορούν να σχεδιαστούν πλαστικοί σπινθηριστές με επαυξημένες συγκεκριμένες ιδιότητες, ώστε να ανταποκρίνονται σε πιο σύνθετες εφαρμογές, όπως π.χ. η ανίχνευση ακτίνων-x (με την προσθήκη μόλυβδου) ή θερμικών νετρονίων (με την προσθήκη βορίου ή άλλων κατάλληλων μετάλλων). Συνήθως όμως η αύξηση κάποιας ιδιότητας επιβάλλει κάποιους συμβιβασμούς στον σχεδιασμό, όπως αυξημένο κόστος, μειωμένη διαφάνεια ή ασθενέστερους παλμούς φωτός. Επιπλέον αν αυτοί οι πλαστικοί σπινθηριστές προορίζονται για χρήση σε πεδία ιοντιζουσών ακτινοβολιών μεγάλης ροής η έμφαση είναι στην αύξηση της μηχανικής αντοχής τους στη ραδιενέργεια σε μεγάλο βάθος χρόνου χωρίς να χάνονται οι υπόλοιπες καλές ιδιότητες.

2.5 Εργασία ανασκόπησης του Bertrand (2014)

Στην ανασκόπηση του Bertrand (2014) εξετάζονται πάρα πολλές δυνατότητες που προκύπτουν για την κατασκευή πλαστικών σπινθηριστών με διαφορετικές πρώτες ύλες. Από την ανασκόπηση αυτή εδώ δίνεται μια περίληψη σε ό,τι αφορά στις εποξικές ρητίνες. Το επιστημονικό όνομα των εποξικών ρητινών είναι πολυεποξικά (polyepoxydes). Τα πολυεποξικά εκτός από εποξικές ρητίνες είναι γνωστά και ως αραλδίτες από την πρώτη εμπορική εταιρεία (Araldit) που τους διέθεσε στην αγορά ως συγκολλητικές ουσίες. Τα πολυεποξικά βρίσκουν ευρεία χρήση, λόγω του εύκολου πολυμερισμού τους. Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή διάφανων, εύχρηστων πολυεποξικών χυτών, που για σκοπούς κατασκευής πλαστικών σπινθηριστών φθορίζουν μόνα τους ή αναμειγνύονται με κατάλληλους φθοριστές.

Όπως αναφέρθηκε ήδη στις προηγούμενες έρευνες, για την παραγωγή των πολυμερισμένων πολυεποξικών χρειάζονται δύο συστατικά, ένα συνδετικό προπολυμερές, και ένας σκληρυντής, τα οποία αφού αναμειχθούν δίνουν ένα δομικό δίκτυο υψηλής διασύνδεσης (cross linked network). Η παραγωγή είναι εύκολη και δεν χρειάζεται γνώσεις χημείας. Ως φθοριστές έχουν χρησιμοποιηθεί με τα πολυεποξικά κυρίως ανόργανες ενώσεις κατάλληλες για την ανίχνευση φωτονίων ή νετρονίων. Στις ενώσεις αυτές μπορούν να προστίθενται και ανόργανες που φθορίζουν. Μια τέτοια ανόργανη ένωση είναι το $\text{BaF}_2:\text{Ce}$ κατάλληλη για φωτόνια. Για την ένωση αυτή, κρύσταλλοι, μεγέθους 50 nm, προστέθηκαν επιτυχώς και

ομοιογενώς στο πολυμερές χυτό μετά την ωρίμανση. Παρατηρήθηκε το γνωστό πρόβλημα των εποξικών ρητινών ότι υπάρχει απώλεια του μεταδιδόμενου φωτός. Ο κοντινός δείκτης διάθλασης του πολυμερούς και του $\text{BaF}_2:\text{Ce}$ δεν ήταν αρκετό για να αντισταθμίσει την απώλεια του φωτός αυτού. Μια άλλη ανόργανη ένωση κατάλληλη για θερμικά νετρόνια είναι το ${}^6\text{LiF}$. Η ένωση αυτή έχει δοκιμαστεί σε συνδυασμό με οργανική ένωση ναφθαλικό πολυαιθυλένιο (PEN), το οποίο έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να φθορίζει χωρίς να προστεθεί άλλος φθοριστής και μάλιστα με σχετικά καλή απόδοση (10500 φωτόνια MeV^{-1}). Το πρόβλημα που παρατηρείται με αυτή την ανάμειξη είναι ότι οι πλαστικοί σπινθηριστές που προκύπτουν παρουσιάζουν χαμηλή διαφάνεια, ακόμη και για πολύ μικρά πάχη (π.χ. $150 \mu\text{m}$), λόγω έλλειψης διαλυτότητας του ${}^6\text{LiF}$ στο πολυμερές. Επομένως, η ανίχνευση θερμικών νετρονίων γίνεται πολύ δύσκολη δεδομένου ότι ο ανιχνευτής σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να είναι μεγάλου όγκου για να εξασφαλισθεί χώρος αλληλεπίδρασης με τα θερμικά νετρόνια. Μια άλλη οργανική ένωση που χρησιμοποιείται ως φθοριστής στα πολυμερή είναι το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET). Η απόδοση σπινθηρισμού PET είναι μέτρια (2200 φωτόνια MeV^{-1}).

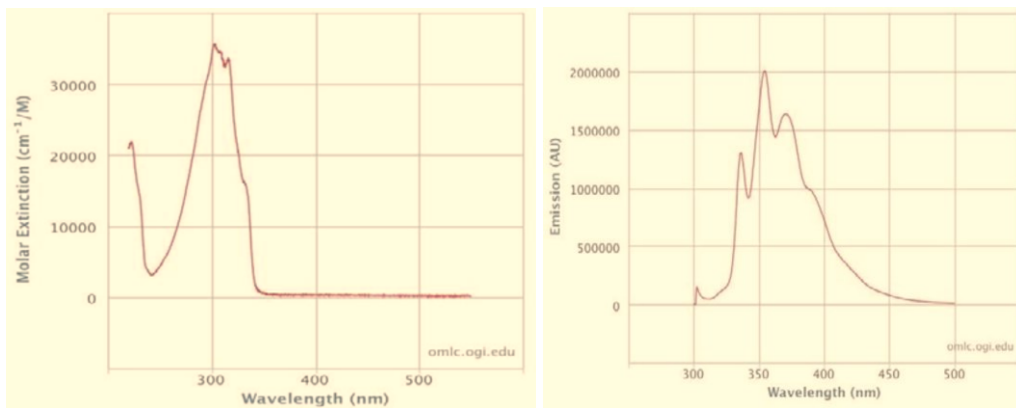
Το γενικό συμπέρασμα του Bertrand (2014) είναι ότι υπάρχουν δυνατότητες κατασκευής πλαστικών σπινθηριστών από πολυεποξικές ρητίνες αλλά η χρήση τους δεν είναι διαδεδομένη και η απόδοσή τους δεν είναι επιβεβαιωμένη. Μπορεί κάποιος να πει ότι τέτοιοι πλαστικοί σπινθηριστές ίσως παρουσιάζουν απόδοση 50% αυτής ενός εμπορικά διαθέσιμου σπινθηριστή τύπου Pilot B της εταιρείας Pilot, και χρόνο απόσβεσης 10 ns . Το πρόβλημα εντοπίζεται όχι μόνο στον βαθμό απόδοσης και στην εξασθένιση του παραγόμενου υπεριώδους φωτός αλλά και στην ταυτόχρονη παραγωγή πολλών φωτονίων στα όρια του ορατού φάσματος πράγμα που δημιουργεί θόρυβο στην ανίχνευση.

2.6 Ερευνητική εργασία του Nam (2017)

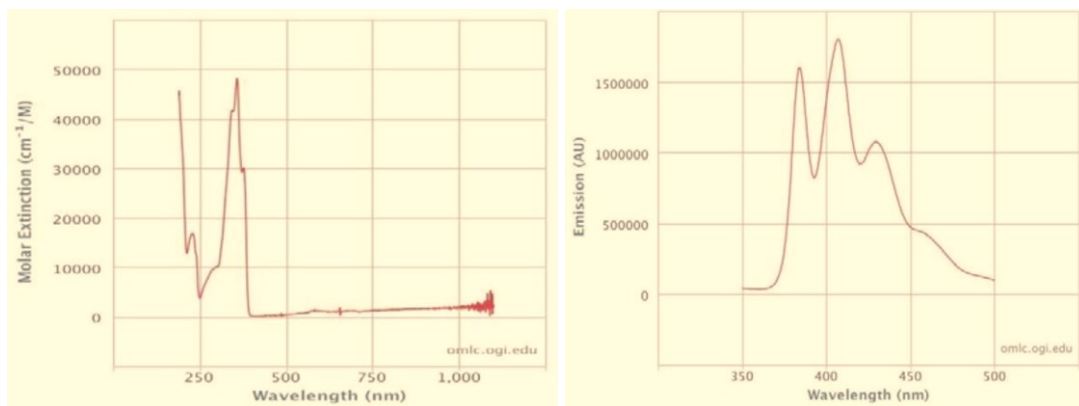
Στα πλαίσια της εργασίας του Nam (2017), αναπτύχθηκε μια λεπτή πλάκα πλαστικού σπινθηριστή για την ανίχνευση $-\beta$ ακτινοβολίας. Ο πλαστικός σπινθηριστής κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας αρωματικές ενώσεις και οργανικούς φθοριστές όπως 2,5-διφαινυλοξαζόλη (PPO) και 1,4-δι 5-φαινυλ-2-οξαζόλη βενζόλιο (POPOP). Για μείγμα εποξικής ρητίνης και οργανικών σπινθηριστών η βέλτιστη περιεκτικότητα οργανικών φθοριστών προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας την επιτυγχανόμενη απορρόφηση, τη διαπερατότητα, τα φάσματα εκπομπής και τη διαφάνειά των τελικών μειγμάτων. Ο πλαστικός σπινθηριστής σχεδιάστηκε για τη μέτρηση μιας πηγής Sr-90 . Το RPH και η απόδοση του πλαστικού σπινθηριστή βρέθηκαν παρόμοια με έναν πλαστικό σπινθηριστή του εμπορίου. Με βάση τα παραπάνω

προκαταρκτικά αποτελέσματα, προετοιμάστηκε ένας πλαστικός σπινθηριστής μεγάλης επιφάνειας κατάλληλος για ταχεία διερεύνηση μιας τοποθεσίας μολυσμένης με Sr-90. Η αξιολόγηση του παρασκευασμένου πλαστικού σπινθηριστή, έγινε στο εργαστήριο. Τέτοιος πλαστικός σπινθηριστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γρήγορη μέτρηση της μόλυνσης από Sr-90 σε εργοστάσια παραγωγής πυρηνικής ενέργειας.

Τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψαν από πολυμερή υλικά που δοκιμάστηκαν για την παρασκευή του πλαστικού σπινθηριστή όπως: ο μεθακρυλικός πολυμεθυλεστέρας PMMA, το πολυβινυλοτολουένιο PVT και το πολυστυρένιο PS. Βρέθηκε ότι τα PMMA, PVT και PS δημιουργούν μια άσχημη οσμή στη διαδικασία θερμικού πολυμερισμού και απαιτούν σχετικά μεγάλο χρόνο στερεοποίησης. Αντίθετα, η εποξική ρητίνη δεν παρουσιάζει αυτό το μειονέκτημα. Ως εποξική ρητίνη χρησιμοποιήθηκε το εμπορικό πολυμερές WE-300A της Won chemical Co. Korea, επειδή βρέθηκε να μην έχει οσμή κατά τον θερμικό πολυμερισμό, και να έχει αρκετά σύντομο χρόνο στερεοποίησης.



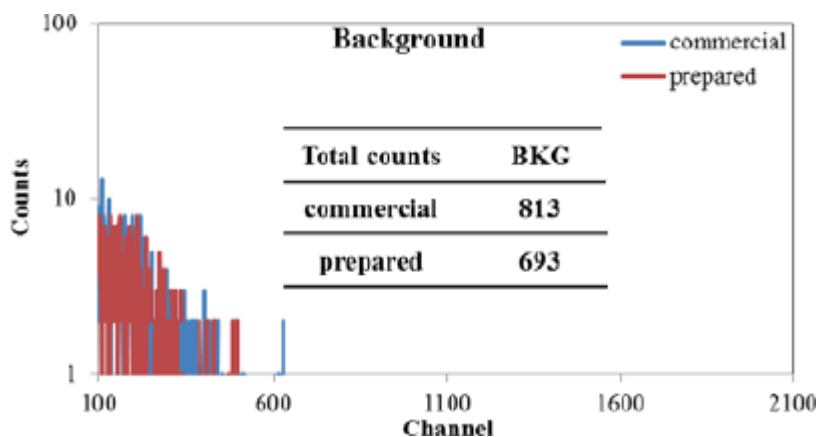
Εικ. 2.8 Φάσμα απορρόφησης (αριστερά) και φάσμα εκπομπής (δεξιά) σπινθηριστή PPO (Nam, 2017)



Εικ. 2.9 Φάσμα απορρόφησης (αριστερά) και φάσμα εκπομπής (δεξιά) σπινθηριστή POPOP (Nam, 2017)

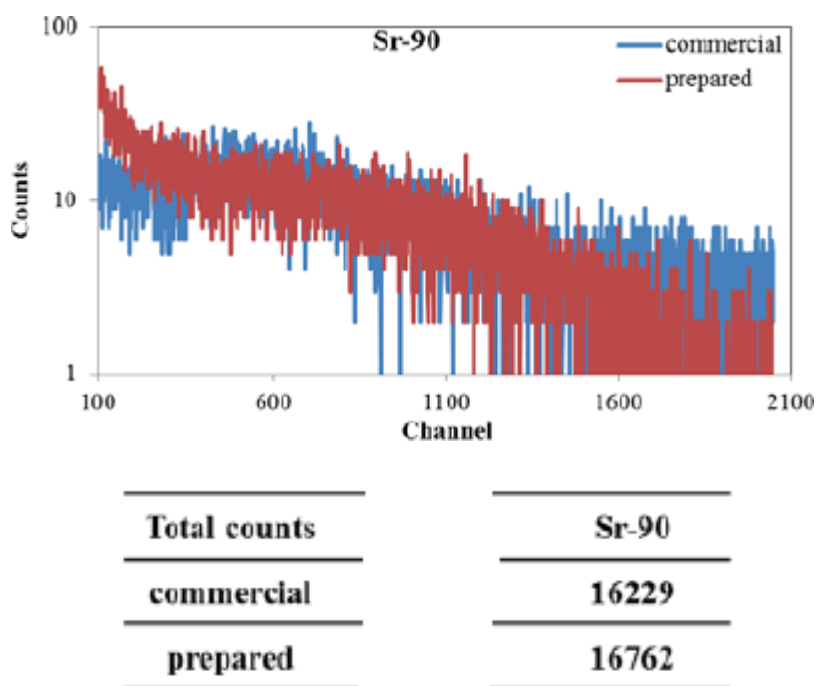
Τα φάσματα απορρόφησης και εκπομπής PPO και POPOP φαίνονται στις παραπάνω Εικόνες 2.8 και 2.9. Ο πρωτεύων φθοριστής (PPO) εκπέμπει φωτόνια στην υπεριώδη περιοχή (μήκος κύματος 200 έως 400 nm). Το μήκος κύματος της περιοχής υπεριώδους μπορεί εύκολα να εξασθενήσει μέσα στο πολυμερές και άρα δεν είναι κατάλληλο για την ανίχνευση σπινθηρισμού με την χρήση ενός φωτοπολλαπλασιαστή (PMT). Ο δευτερεύων φθοριστής (POPOP) μπορεί να μειώσει την εξασθένηση που λαμβάνει χώρα στο πολυμερές εκπέμποντας ιώδες φως (μήκος κύματος 450 έως 490 nm) μέσω της απορρόφησης των φωτονίων που εκπέμπονται από το PPO. Άρα λειτουργεί ως ένας μετατοπιστής φάσματος με τον τρόπο που αναφέρεται στον Moser (1993). Για τον πρόχειρο έλεγχο της ποιότητας του πλαστικού σπινθηριστή που παρασκευάστηκε ως μείγμα εποξικής ρητίνης + PPO + POPOP πραγματοποιήθηκε οπτική παρατήρηση. Βρέθηκε κίτρινη απόχρωση που αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας PPO. Η μέγιστη διαφάνεια του πλαστικού σπινθηριστή παρατηρήθηκε όταν υπήρχε η ελάχιστη δυνατή ποσότητα PPO και POPOP. Σε δεύτερη φάση μελετήθηκαν οι οπτικές ιδιότητες του μείγματος με τη βοήθεια οπτικής φασματοσκοπίας υπεριώδους και ορατού φωτός (μήκος κύματος 380 έως 800 nm). Διαπιστώθηκε ότι γενικά η διαπερατότητα των μειγμάτων με εποξική ρητίνη είναι εξαιρετική. Παρόμοια διαπίστωση έγινε και στο πειραματικό μέρος αυτής της ΔΕ και παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4, στην ενότητα που αφορά στην οπτική πυκνότητα των ανιχνευτών. Ωστόσο, εάν η ποσότητα του POPOP αυξηθεί, τα φάσματα απορρόφησης και εκπομπής παρουσιάζουν αυξητική τάση. Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση του POPOP, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα φωτός που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις με την ιοντίζουσα ακτινοβολία. Επίσης, παρουσιάζεται αύξηση σπινθηρισμού και με την αύξηση της ποσότητας PPO, με την διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση η διαφάνεια του μείγματος μειώνεται λόγω του κίτρινου χρώματος. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, ο βέλτιστος πλαστικός σπινθηριστής με εποξική ρητίνη μπορεί να έχει κιτρινωπή απόχρωση αλλά ταυτόχρονα να είναι καλός στα χαρακτηριστικά σπινθηρισμού του. Το βέλτιστο ποσοστό βάρους σε PPO:POPOP βρέθηκε 0.2%:0.01%.

Μετά τις οπτικές δοκιμές ελέγχθηκε ο βαθμός απόδοσης ανίχνευσης αυτού του πλαστικού σπινθηριστή με τη βοήθεια ενός φωτοπολλαπλασιαστή. Η πηγή β ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν Sr-90 με ραδιενέργεια 37 kBq. Το Sr-90 ευρισκόμενο σε ισορροπία με το θυγατρικό του Y-90 εκπέμπει σωματίδια β υψηλής ενέργειας 2.3 MeV. Στην Εικόνα 2.10 διακρίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων υποστρώματος Sr-90 σε σύγκριση και με ένα εμπορικό πλαστικό σπινθηριστή με τη βοήθεια πολυκαναλικού αναλυτή.



Εικ. 2.10 Φάσμα υποστρώματος για Sr-90 για εμπορικό (μπλε) και για εργαστηριακό (κόκκινο) πλαστικό σπινθηριστή (Nam, 2017)

Στην Εικόνα 2.11 διακρίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων πηγής Sr-90 σε σύγκριση και με ένα εμπορικό πλαστικό σπινθηριστή με τη βοήθεια πολυκαναλικού αναλυτή.



Εικ. 2.11 Φάσμα πηγής για Sr-90 για εμπορικό (μπλε) και για εργαστηριακό (κόκκινο) πλαστικό σπινθηριστή (Nam, 2017)

Δυστυχώς, η Εικόνα 2.11 ούτε το υπόλοιπο κείμενο της εργασίας Nam (2017) δεν διαφωτίζει σχετικά με το ποιες είναι οι μονάδες μέτρησης της ραδιενέργειας του Sr-90, ώστε να εκτιμηθεί σωστά ο βαθμός απόδοσης.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα ο Nam (2017) παρασκεύασε πλαστικό σπινθηριστή μεγάλης επιφάνειας 240 mm (μήκος) × 170 mm (πλάτος) × 3 mm (πάχος) χρησιμοποιώντας αντίστοιχο μεταλλικό καλούπι. Η αξιολόγηση του πλαστικού σπινθηριστή μεγάλης επιφάνειας ήταν δύσκολη λόγω της διαφοράς μεγέθους με τον φωτοπολλαπλασιαστή που χρησιμοποιήθηκε.

2.7 Ερευνητική εργασία του Hajagos (2019)

Σύμφωνα με τον Hajagos (2014) οι πλαστικοί σπινθηριστές παρέχουν μια οικονομική προσέγγιση για την κατασκευή ανιχνευτών μεγάλου όγκου με αποτέλεσμα την ευρεία ανάπτυξή τους, ωστόσο η απόδοσή τους για ακτινοβολία γ υψηλών ενεργειών περιορίζεται από την υψηλή διαπερατότητα αυτών των ενεργειών μέσα από τον ανιχνευτή, ένα μειονέκτημα που οφείλεται στον χαμηλό ατομικό αριθμό του πλαστικού. Μεταξύ 2000 και 2020 σημειώθηκαν πρόοδοι για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού με την βοήθεια της νανοτεχνολογίας. Έχουν δηλαδή ερευνηθεί διάφορα νανοσωματίδια υψηλού Z όπως από BaF_2 , από HfO_2 , από σπάνιες γαίες και οξείδια, καθώς και από ημιαγωγούς τύπου Quantum Dots (QDs). Τα υλικά αυτά έχουν παράλληλα την ιδιότητα ότι φθορίζουν. Αυτές οι έρευνες οδήγησαν στη σύνθεση πλαστικών σπινθηριστών με ανάμειξη με νανοσωματίδια αντί με ανάμειξη με οργανομεταλλικές ενώσεις μεγαλύτερου διαμερισμού. Στην πράξη όμως υπάρχει το πρόβλημα της μαζικής παραγωγής διαφανών πλαστικών σπινθηριστών, με υψηλή περιεκτικότητα νανοσωματιδίων. Η απευθείας ανάμειξη νανοσωματιδίων και πλαστικών πολυμερών είναι συνήθως μη αποτελεσματική, καθώς κατά την ανάμειξη έχει παρατηρηθεί πως τα νανοσωματίδια δημιουργούν συσσωματώματα που δεν προάγουν την διαφάνεια. Οι δύο κύριες στρατηγικές για την βελτίωση της διαφάνειας τέτοιων πλαστικών σπινθηριστών νανοτεχνολογίας είναι η μείωση των συσσωματωμάτων, και η βέλτιστη ταύτιση των δεικτών διάθλασης των συστατικών. Καθώς οι δείκτες διάθλασης είναι φυσική ιδιότητα των υλικών, και άρα δεν επιδέχεται αλλαγές, έμφαση πρέπει να δίνεται στη μείωση των συσσωματωμάτων. Ωστόσο, ο αναγκαίος μεγάλος όγκος και η υψηλή περιεκτικότητα των πλαστικών σπινθηριστών νανοτεχνολογίας σε νανοσωματίδια, αυξάνουν τη δυσκολία των συνθέσεων αυτών.

Ιστορικά η νανοτεχνολογία προσεγγίστηκε ως εξής: οι πρώτες έρευνες είχαν ως αφετηρία την ιδέα της μίξης παραδοσιακών στερεών υλικών σπινθηρισμού με πολυμερή, σε μέγεθος σκόνης διαμέτρου κάποιων nm, ως υλικά υψηλού Z , προκειμένου να αλληλεπιδρούν με τα φωτόνια της ανιχνευόμενης ακτινοβολίας αλλά και ως υλικά φθορισμού, όπου τα πολυμερή χρησιμεύουν κυρίως ως συνδετικό υλικό για τη δομική ακεραιότητα και την κατασκευή

ανιχνευτών πλαστικών σπινθηριστών μεγάλου όγκου. Το 2003 κάποιοι πρώτοι τέτοιοι πλαστικοί σπινθηριστές κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας στερεά υλικά σπινθηρισμού τυπικής διαμέτρου 10 nm σε εποξική ρητίνη BC-600. Το μεγάλο μέγεθος όμως των νανοσωματιδίων προκαλούσε αδιαφάνεια στο πολυμερές, η οποία ως αποτέλεσμα μείωνε δραματικά την απόδοση του πλαστικού σπινθηριστή. Για την μείωση της αδιαφάνειας, δοκιμάστηκαν διαφορετικοί φθοριστές και ξεχώρισαν οι BaF_2 και LaF_3 λόγω (α) των παρόμοιων δεικτών διάθλασης με την εποξική ρητίνη, (β) της εκπομπής τους στο υπεριώδες φάσμα, και (γ) την ευκολία στην παραγωγή τους. Έχει αναφερθεί επίσης η κατασκευή πλαστικών σπινθηριστών νανοτεχνολογίας με $LaF_3:Ce$ διασκορπισμένο σε ελαϊκό οξύ που εκπέμπει υπεριώδες στα 350 nm.

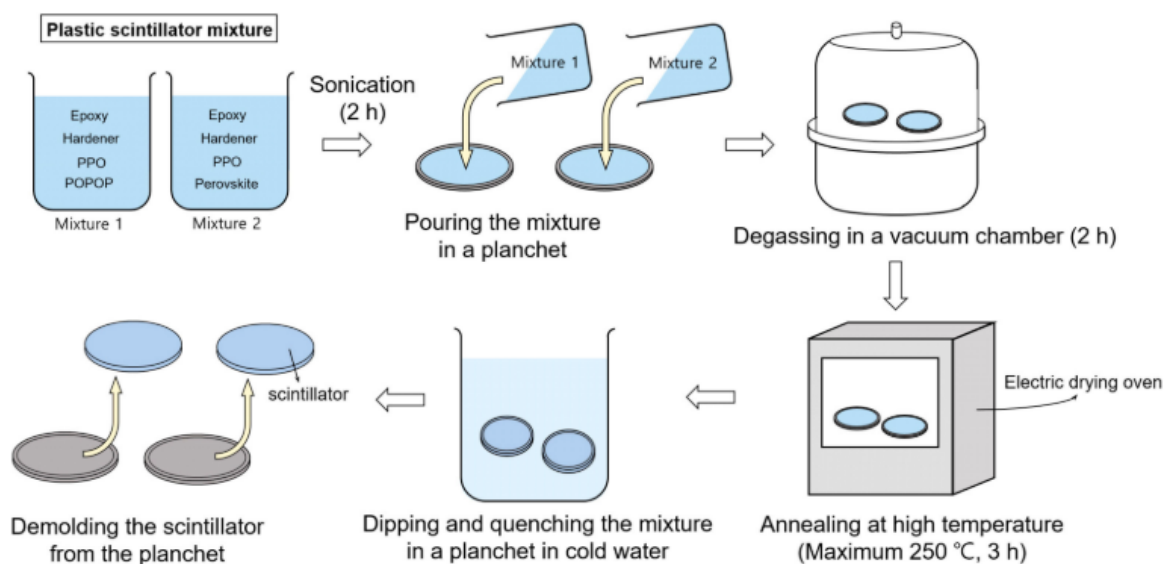
Γενικά τα αποτελέσματα για τους πλαστικούς σπινθηριστές νανοτεχνολογίας δεν είναι ακόμα ενθαρρυντικά. Τα συσσωματώματα που προκύπτουν κατά την σύνθεση καθιστούν τον ανιχνευτή αδιαφανή σε πάχη μεγαλύτερα των μερικών mm, κάνοντας έτσι τη συγκεκριμένη τεχνολογία κατάλληλη μόνο για ανιχνευτές μικρού πάχους. Επίσης, η εκπομπή φωτονίων όταν χρησιμοποιούνται μόνο στερεοί φθοριστές έστω και σε νανομεγέθη είναι αναμενόμενα αρκετά χαμηλή, στα 1600 φωτόνια MeV^{-1} . Πειραματικές δοκιμές, με νανοσωματίδια από φθοριστή $BaF_2:Ce$, με περιεκτικότητα 10% κ.β. σε εποξική ρητίνη ίδιου δείκτη διάθλασης, είχαν ως αποτέλεσμα την παραγωγή πλαστικού σπινθηριστή με χειρότερη απόδοση. Η όλη κατάσταση οφείλεται στο ότι η ενέργεια των προς ανίχνευση φωτονίων καταναλώνεται σε σκεδάσεις μέσα στο πολυμερές ιδιαίτερα όταν η περιεκτικότητα σε νανοσωματίδια είναι περιορισμένη. Από την άλλη αν η περιεκτικότητα σε νανοσωματίδια είναι αυξημένη χάνονται οι οπτικές ιδιότητες διαφάνειας του πλαστικού ανιχνευτή νανοτεχνολογίας. Το τεχνολογικό κενό βρίσκεται στο ότι πρέπει να εξασφαλιστεί η μεταφορά ενέργειας των φωτονίων που αλληλεπιδρούν με τον πλαστικό σπινθηριστή νανοτεχνολογίας όσο το δυνατόν περισσότερο προς τα φθορίζοντα υλικά.

2.8 Ερευνητική εργασία του Kang (2021)

Σύμφωνα με τον Kang (2021), οι διάφοροι ανιχνευτές σπινθηρισμού, μεταξύ των οποίων και οι πλαστικοί σπινθηριστές είναι μια δημοφιλής μέθοδος μέτρησης ραδιενέργειας σε πεδία όπως η έρευνα, η βιομηχανία, και η μέτρηση κοσμικής ακτινοβολίας στην αστροφυσική. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των πλαστικών σπινθηριστών είναι η αντίσταση στην διάβρωση, ο μεγάλος χρόνος αποσύνθεσης και η εύκολη και φθηνή παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα. Στους πλαστικούς σπινθηριστές μπορούν να χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα και περοβσκίτες με μεγάλο μοριακό βάρος για την ενίσχυση της θερμικής και χημικής

σταθερότητάς τους και τη λειτουργία τους ως QD (Quantum Dots). Επιπλέον το φάσμα απορρόφησης ακτινοβολίας στους περοβσκίτες ως QD είναι ποικίλο και μπορούν να επιλεγθούν οι κατάλληλοι για να διαμορφωθεί κατάλληλα το μήκος κύματος φωτονίων διέγερσης, καθώς και το μήκος κύματος του φάσματος εκπομπής.

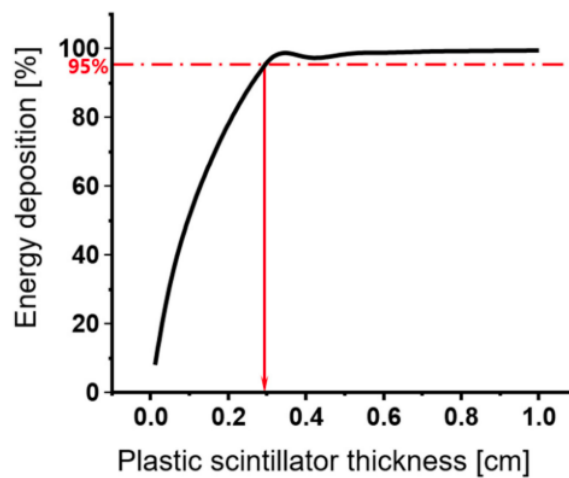
Στην εργασία του Kang (2021) κατασκευάστηκαν πλαστικοί σπινθηριστές ως μείγμα εποξικής ρητίνης WE-300A αντίστοιχου σκληρυντή WE-300B (βλ. <https://www.r-g.de/en/art/107102>), καθώς και ουσιών όπως 2,5 διφαινυλοξαζόλη (PPO), 1,4-δι(5-φαινυλοξαζό-2-λη) βενζένιο (POPOP) και περοβσκίτης (CAT No. 900748 από τον κατάλογο της Sigma Aldrich). Αυτοί οι πλαστικοί σπινθηριστές κατασκευάστηκαν με την μέθοδο θερμικού πολυμερισμού. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκαν δύο είδη πλαστικών σπινθηριστών: ένα με ανάμειξη 10 g εποξικής ρητίνης, 10 g σκληρυντή, PPO (0.2% wt) και POPOP (0.01 wt%) και ένα με ανάμειξη 10 g εποξικής ρητίνης, 10 g σκληρυντή, PPO (0.2% wt), και περοβσκίτη (0.5 wt%). Η ανάμειξη έγινε με υπερήχους για 2 ώρες, και στη συνέχεια το μείγμα τοποθετήθηκε σε ανοξείδωτα δισκία για την εξαγωγή φυσαλίδων αέρα, σε δοχείο κενού αέρος, για επίσης 2 ώρες. Στην συνέχεια έγινε ανόπτηση στους 250 °C για 3 ώρες. Τέλος, έλαβε χώρα μια διαδικασία ψύξης σε κρύο νερό, για εύκολη αποκόλληση των πλαστικών σπινθηριστών από τα δισκία. Η διαδικασία φαίνεται στην ακόλουθη Εικόνα 2.12.



Εικ. 2.12 Διαδικασία παραγωγής πλαστικών σπινθηριστών (Kang, 2021)

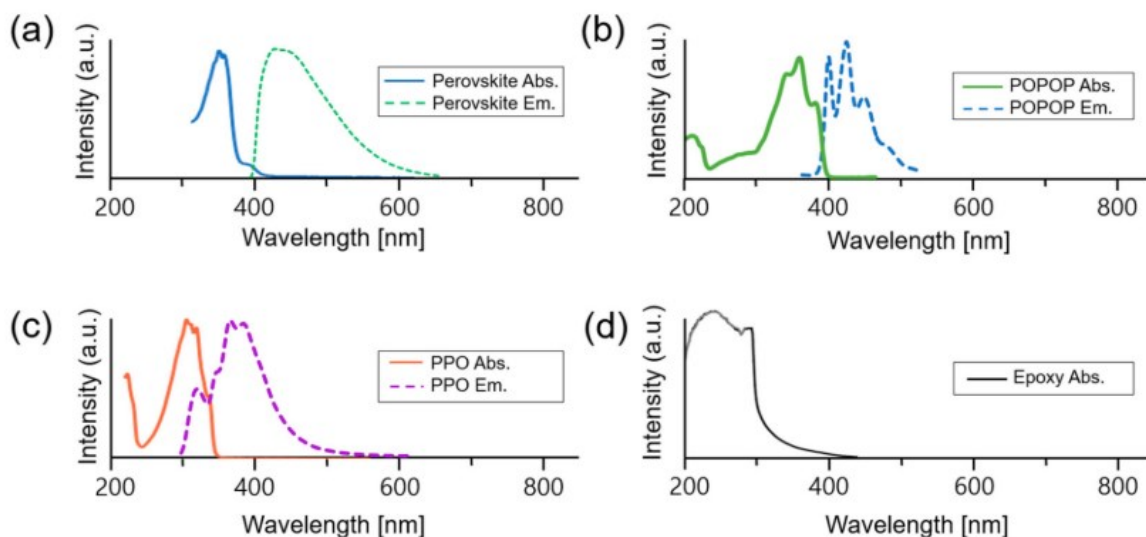
Μετά την παραγωγή των πλαστικών σπινθηριστών πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για την εκτίμηση του βαθμού απόδοσής τους όσο αφορά στην ανίχνευση β ακτινοβολίας με χρήση του κώδικα MCNP. Η πηγή που προσομοιώθηκε για τη β ακτινοβολία ήταν το ^{90}Sr . Στο παρακάτω διάγραμμα της Εικόνας 2.13 φαίνεται η εναπόθεση ενέργειας συναρτήσει του

πάχους του σπινθηριστή. Διαπιστώνεται ότι σύμφωνα και με άλλες βιβλιογραφικές πηγές το βέλτιστο πάχος αυτού του τύπου των πλαστικών σπινθηριστών είναι περίπου 3 mm.



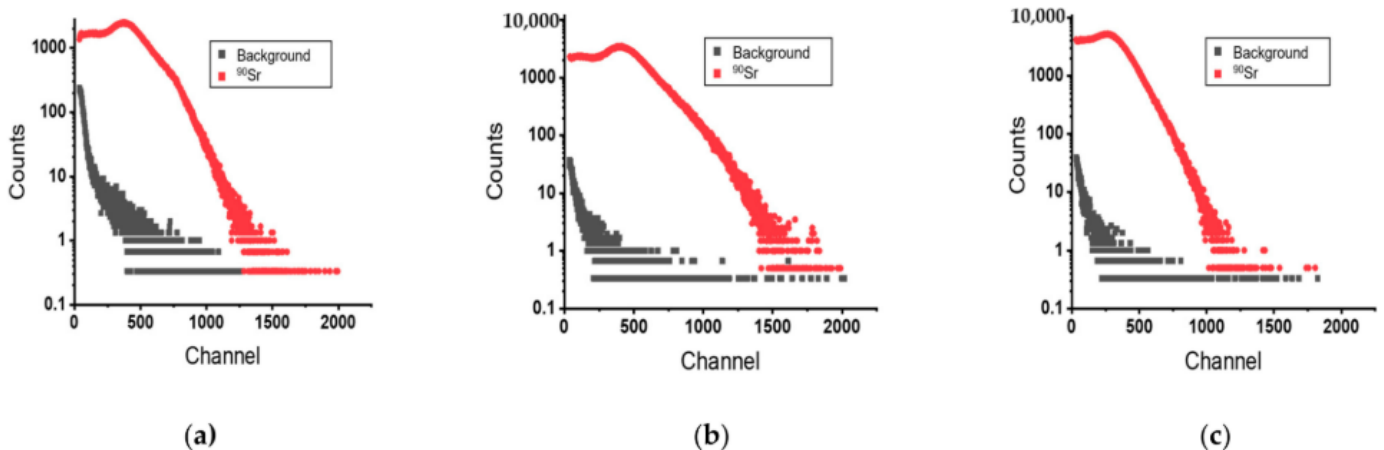
Εικ. 2.13 Αποτελέσματα προσομοίωσης απόθεσης ενέργειας β σωματιδίων σε πλαστικό σπινθηριστή (Kang, 2021)

Στα παρακάτω διαγράμματα της Εικόνας 2.14 συγκρίνονται τα φάσματα απορρόφησης και τα φάσματα εκπομπής του μείγματος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των πλαστικών σπινθηριστών: άνω αριστερά για τον περοβσκίτη που χρησιμοποιήθηκε, άνω δεξιά για POPOP, κάτω αριστερά για PPO και κάτω δεξιά για εποξική ρητίνη (μόνο φάσμα απορρόφησης).



Εικ. 2.14 Φάσματα απορρόφησης και εκπομπής για τα συστατικά των μειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για πλαστικούς σπινθηριστές (Kang, 2021)

Επίσης στα πλαίσια της έρευνας του Kang (2021), διερευνήθηκε πειραματικά η απόδοση τριών πλαστικών σπινθηριστών, ενός εμπορικά διαθέσιμου BC-400 (εταιρείας κατασκευής Saint-Gobain), ενός πλαστικού σπινθηριστή PPO/POPOP όπως κατασκευάστηκε και ενός πλαστικού σπινθηριστή PPO/περοβσκήτη όπως κατασκευάστηκε. Για την εκτίμηση της απόδοσης χρησιμοποιήθηκε πηγή ^{90}Sr . Κάθε μέτρηση διήρκησε 30 λεπτά και επαναλήφθηκε 3 φορές. Από το πείραμα προκύπτει πως ο πλαστικός σπινθηριστής με περοβσκήτη εμφανίζει καλύτερες επιδόσεις, καθώς λόγω μεγαλύτερου μοριακού βάρους αλληλεπιδρά καλύτερα με τα $-\beta$ σωματίδια. Επίσης ο πλαστικός σπινθηριστής με περοβσκήτη φαίνεται ότι παρουσιάζει μικρότερη εξασθένηση παραγόμενου φωτός. Τα αποτελέσματα διακρίνονται στην Εικόνα 2.15. Η απόδοση του πλαστικού σπινθηριστή με περοβσκήτη μέσα από βελτιστοποιήσεις έφτασε το 88.3% του εμπορικού BC-400.



Εικ. 2.15 Πειραματικές δοκιμές απόδοσης για πλαστικούς σπινθηριστές:
 (α) Εποξικό + PPO/POPOP, (β) Εποξικό + PPO/περοβσκήτης, (γ) BC-400
 (Kang, 2021)

2.9 Άλλες ενδεικτικές ερευνητικές εργασίες για πλαστικούς σπινθηριστές

Στην έρευνα του Markley (1993) παρουσιάζονται οι εξελίξεις και βελτιώσεις που έγιναν στους πλαστικούς σπινθηριστές το διάστημα που μεσολάβησε από την προηγούμενη εργασία του Markley (1968). Διαπιστώνεται ότι έχουν παραχθεί επιτυχώς πλαστικοί σπινθηριστές, με χύτευση εξώθησης (extrusion), ανθεκτικοί σε πεδία έντονης ακτινοβολίας, που δεν εξασθενίζουν το παραγόμενο φως περισσότερο από 4% ανάλογα βέβαια και με τις βελτιστοποιημένες διαστάσεις τους. Προτείνεται ότι η έρευνα για πλαστικούς σπινθηριστές πρέπει να επεκταθεί για διαφορετικά μονομερή, καθώς και η προσθήκη βινυλοτολουενίου, για αυξημένη απόδοση φωτός.

Η έρευνα της Mondragon (2011) παρουσιάζει τις διαφορές σπινθηριστών εποξικής ρητίνης, στους οποίους έχει προστεθεί μοντμοριλλονίτης MMT, κάποιος οργανικά τροποποιημένος μοντμοριλλονίτης OMMT, ή νανοσωλήνες halloysite HNT. Παρατηρήθηκε τελικά πως οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν τον φθορισμό των πλαστικών σπινθηριστών, κυρίως μετατοπίζοντας το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτός σε μεγαλύτερες ενέργειες στην περιοχή των 328-375nm.

Ο Shevelev (2022) εξετάζει κάποιους από τους πλαστικούς σπινθηριστές που έχουν προκύψει πρόσφατα, με έμφαση σε αυτούς που παρουσιάζουν καλύτερα χαρακτηριστικά από τους μέχρι σήμερα (2020) γνωστούς. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται σε πλαστικούς σπινθηριστές με νανοϋλικά, οι οποίοι αποτελούνται από μίξη μίας πλαστικής μήτρας με ανόργανο νανοκρυσταλλικό πληρωτικό υλικό, καθώς και με οργανικούς ή ανόργανους φθοριστές.

2.10 Σχόλια και συμπεράσματα

Προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση ότι με βάση τόσο τις ερασιτεχνικές προσπάθειες που υπάρχουν στο διαδίκτυο όσο και τις εργαστηριακές, οι οποίες αναφέρονται στη βιβλιογραφία μπορούν να παραχθούν πλαστικοί σπινθηριστές για την ανίχνευση ιοντιζουσών ακτινοβολιών με απλά μέσα, μικρό κόστος και ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης. Στα πειράματα αυτής της ΔΕ, όπως αυτά περιγράφονται από το Κεφάλαιο 3 και μετά, δόθηκε βάρος σε πλαστικούς σπινθηριστές με όσο το δυνατόν νεότερες συνθέσεις διαφανών πολυεποξικών, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη και προστασία οικοδομικών υλικών και πατωμάτων, το υγρό γυαλί και οι ρητίνες 3D εκτύπωσης. Επειδή όπως φαίνεται στη θέση των φθοριστών του μείγματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κοκτέιλ υγρού σπινθηρισμού που φυσικά περιέχει φθοριστή ή φθοριστές, η μίξη έγινε με υγρούς σπινθηριστές κυρίως γιατί αυτοί ήταν διαθέσιμοι στο Εργαστήριο. Για το σκοπό αυτό εποξική ρητίνη, κατάλληλος σκληρυντής και κοκτέιλ αναμείχθηκαν και στην συνέχεια τα μείγματα χυτεύθηκαν σε καλούπια προκειμένου να αποκτήσουν τις επιθυμητές διαστάσεις. Η βέλτιστη σύνθεση των μειγμάτων είναι ασφαλώς θέμα διερεύνησης μαζί και με τις βέλτιστες διαστάσεις τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης ανίχνευσης ακτινοβολίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΩΤΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται χυτεύσεις ορισμένων πολυμερών που καταρχάς κρίθηκε ότι αξίζει να δοκιμασθούν ως υποψήφιοι πλαστικοί σπινθηριστές στα πλαίσια της έρευνας για αυτή τη Διπλωματική Εργασία. Τα αναγκαία μείγματα πολυμερών και σκληρυντών ή καταλυτών προετοιμάσθηκαν χωρίς την προσθήκη κάποιου υγρού σπινθηριστή ή κάποιου φθοριστή. Η όλη διαδικασία αυτών των δοκιμών χύτευσης χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί διότι έπρεπε να αποκτηθεί κατάλληλη εμπειρία στο πως γίνεται η χύτευση και κάτω από ποιες προϋποθέσεις το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό. Επίσης έπρεπε να αποκτηθεί εμπειρία σχετικά με την καταλληλότητα των καλουπιών χύτευσης, δηλαδή να αποκλειστεί η πιθανότητα τα χυτευόμενα πολυμερή να αλληλεπιδρούν με τα καλούπια. Η όλη διαδικασία έδειξε ότι οι σχετικοί στόχοι επιτεύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό. Κυρίως αποκτήθηκε άνεση στην ανάμειξη των αναγκαίων υλικών και διαπιστώθηκαν αλληλεπιδράσεις με τα καλούπια χύτευσης. Για το τελευταίο αυτό μειονέκτημα προτάθηκαν και κατάλληλες λύσεις.

3.2 Πολυεποξικά υλικά και προϋποθέσεις

Στο πλαίσιο των δοκιμών χύτευσης πολυεποξικών, πριν δηλαδή τις δοκιμές ανάμειξής τους με υγρό σπινθηριστή, αποφασίστηκε να δοκιμασθούν τα ακόλουθα υλικά που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο και έχουν χαμηλό κόστος: (α) διαφανής εποξική ρητίνη δύο συστατικών για την προστασία οικοδομικών υλικών, (β) διαφανής εποξική ρητίνη δύο συστατικών όπως το υγρό γυαλί και (γ) θιξοτροπικός πολυεστέρας. Ως προϋποθέσεις για την χύτευση σε ένα περιβάλλον που δεν θα προκαλέσει αλλοιώσεις στο τελικό υλικό επιλέχθηκαν οι:

- (1) να μην υπάρξει θερμική επεξεργασία του μίγματος κατά την φάση της σκλήρυνσης,
- (2) να μην υπάρξει επεξεργασία με UV φως κατά την φάση της σκλήρυνσης και
- (3) να αγνοηθούν τυχόν μικρές συγκεντρώσεις φυσαλίδων.

Η επιλογή (3) είναι αναγκαία διότι η απομάκρυνση των φυσαλίδων μπορεί να γίνει με θέρμανση, με κενό ή με δόνηση. Η θέρμανση παραβιάζει την επιλογή (1), το κενό είναι δυνατόν να αλλοιώσει τη γεωμετρία του παραγόμενου σκληρυμένου υλικού και τέλος η δόνηση συνήθως πρέπει να διαρκέσει πάρα πολύ και εμποδίζεται από τη διαδικασία σκλήρυνσης. Η επιδιωκόμενη γεωμετρία του προϊόντος από τη δοκιμή χύτευσης

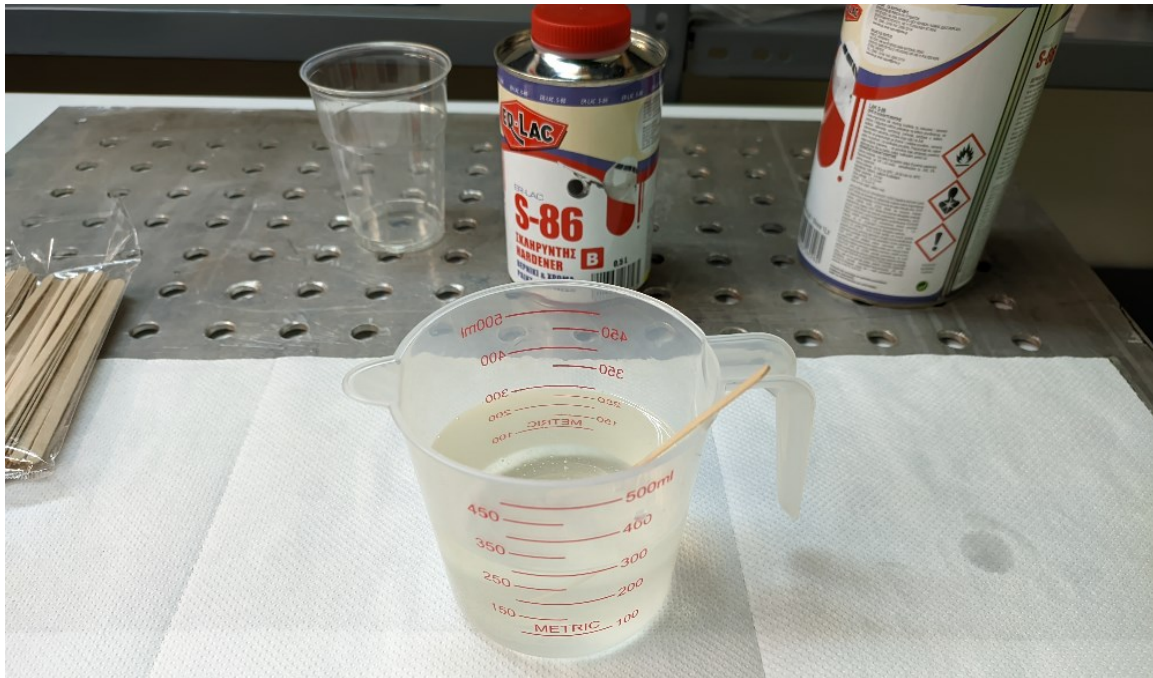
αποφασίσθηκε να είναι κυλινδρική διότι στο ΕΠΤ-ΕΜΠ διατίθενται σήμερα πλήθος πλαστικών δοχείων κατάλληλων για καλούπια. Επιλέχθηκε ως δοχείο χύτευσης πολυακρυλικό κυλινδρικό δοχείο ονομαστικού όγκου $\sim 300 \text{ cm}^3$, ονομαστικής διαμέτρου 7.5 cm. Για την ανάμειξη του εποξικού με τον σκληρυντή χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την φάση δοσιμετρικά δοχεία μίας χρήσης καθώς και ξύλινοι ράβδοι ανάμειξης όπως διακρίνεται στην Εικόνα 3.1.



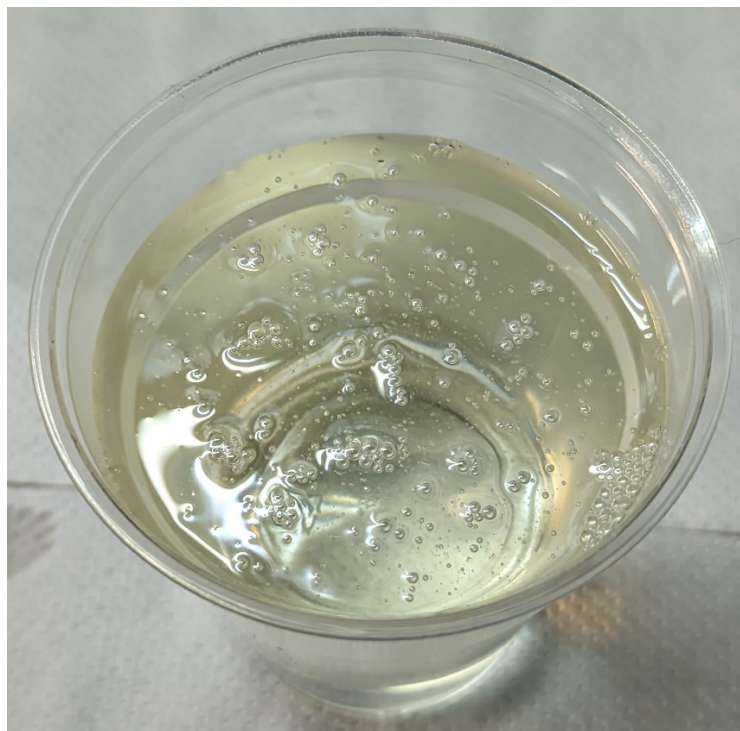
Εικ. 3.1 Διάφορα εργαλεία αναγκαία για την ανάμειξη

3.3 Προετοιμασία μιγμάτων και χύτευση

Ως πρώτο υλικό για δοκιμή χρησιμοποιήθηκε η εποξική ρητίνη της ERLAC τύπου S-86. Αυτή η ρητίνη παράγεται σε τρεις τύπους: "διαφανής γυαλιστερή", "διαφανής ματ" και "διαφανής σατινέ". Με τη ρητίνη αυτή και τον αντίστοιχο σκληρυντή της το ΕΠΤ-ΕΜΠ έχει σημαντική προηγούμενη εμπειρία διότι την χρησιμοποιεί ως στεγανωτικό στις γεωμετρίες -γ φασματοσκοπικής ανάλυσης, προκειμένου να εμποδίζει το ραδόνιο που παράγεται στο δείγμα να εκρέει από τη γεωμετρία. Για τη δοκιμή επιλέχθηκε ο τύπος "διαφανής γυαλιστερή". Το κόστος αγοράς μιας πλήρους συσκευασίας ρητίνης και σκληρυντή είναι περίπου 30 ΕΥΡΩ. Η αναλογία εποξικής ρητίνης και σκληρυντή είναι περίπου 2:1. Η διαδικασία ανάμειξης διακρίνεται στην Εικόνα 3.2. Το μείγμα τοποθετήθηκε σε πλαστικό ποτήρι χωρητικότητας περίπου 250 mL, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3.

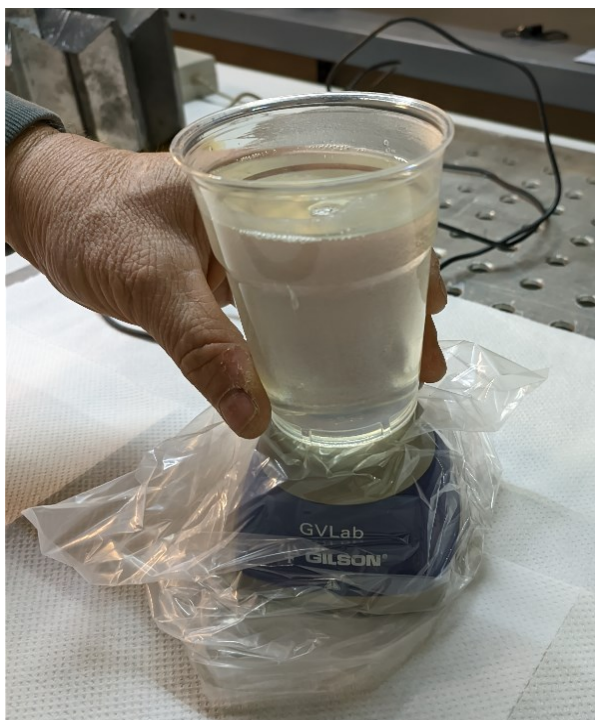


Εικ. 3.2 Διαδικασία ανάμειξης πολυεποξεικού S-86



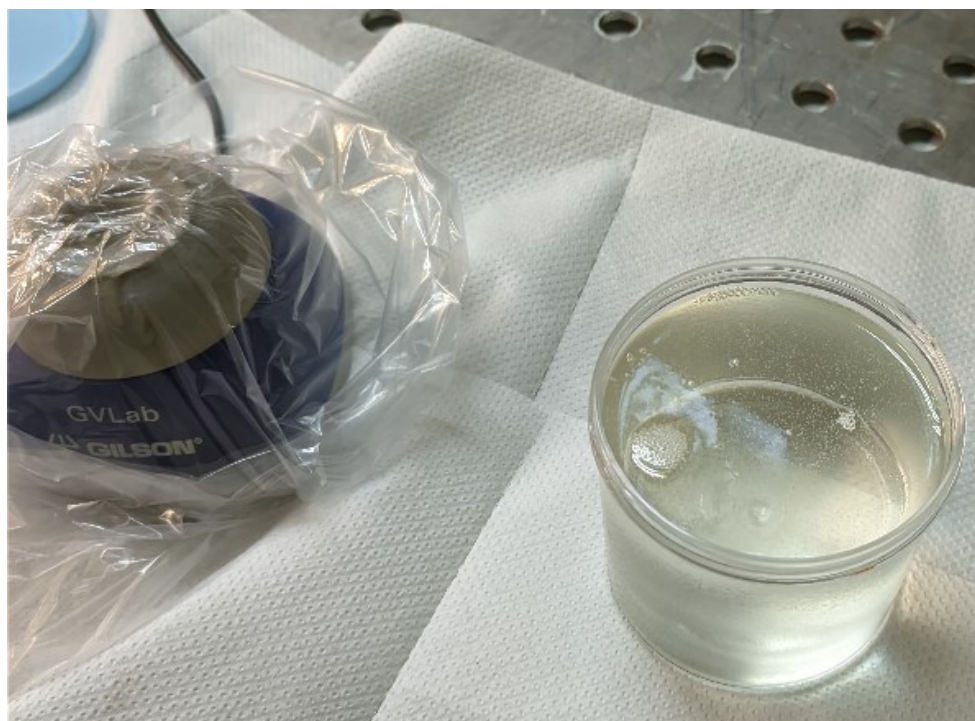
Εικ. 3.3 Αποτέλεσμα ανάμειξης πολυεποξεικού S-86

Διακρίνεται σημαντικό πλήθος φυσαλίδων εξαιτίας της ανάμειξης. Για την απομάκρυνση των φυσαλίδων, χωρίς αυτό να είναι και απολύτως αναγκαίο, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος δονητής που διακρίνεται στην Εικόνα 3.4.



Εικ. 3.4 Δόνηση για την απομάκρυνση των φυσαλίδων

Μετά από διαδικασία δόνησης 5 λεπτών απομακρύνθηκε σημαντικό μέρος των φυσαλίδων και το μείγμα μεταφέρθηκε στο πολυακρυλικό δοχείο όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5.



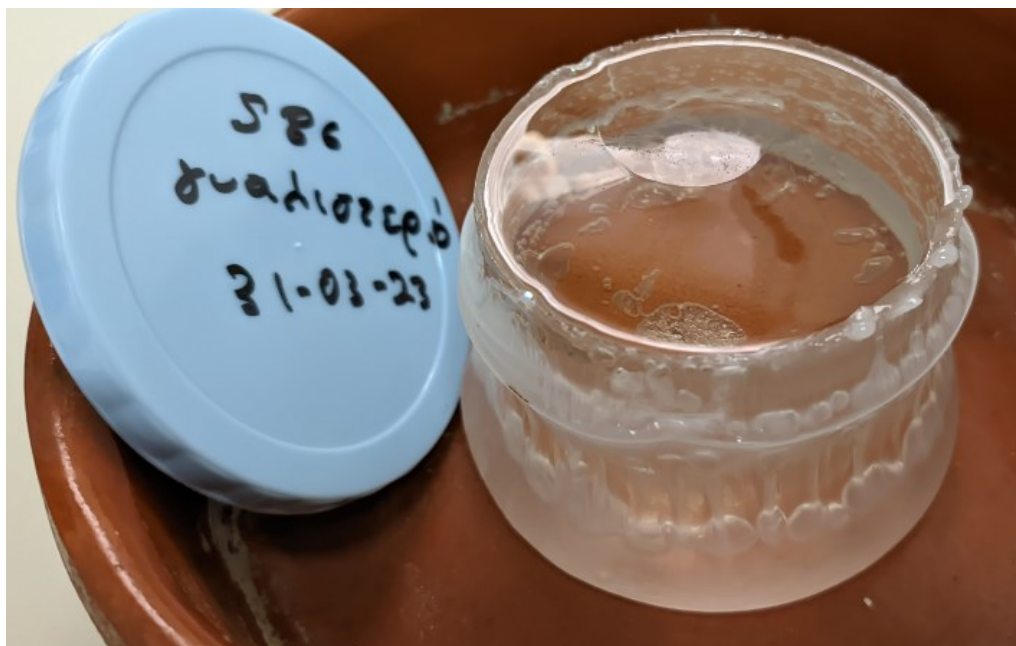
Εικ. 3.5 Ελάττωση πλήθους φυσαλίδων μετά από δόνηση

Φυσικά με περισσότερο χρόνο δόνησης απομακρύνονται περισσότερες φυσαλίδες αλλά αυτό ανταγωνίζεται με τη διαδικασία σκλήρυνσης. Η τελική εικόνα του μείγματος στο δοχείο φαίνεται στην Εικόνα 3.6. Διακρίνονται οι παραμένουσες φυσαλίδες.



Εικ. 3.6 Παραμένουσες φυσαλίδες μετά από δόνηση στο πολυεποξικό S-86

Η σκλήρυνση του μείγματος διήρκησε περίπου 48 h. Κατά τη σκλήρυνση διαπιστώθηκε ότι το πολυακρυλικό δοχείο αλληλεπιδρά με αυτού του είδους την εποξική ρητίνη και μαλακώνει χάνοντας την γεωμετρία του. Αυτό φαίνεται καθαρά στην Εικόνα 3.7.



Εικ. 3.7 Αλληλεπίδραση του πολυεποξικού S-86 με το πολυακρυλικό δοχείο

Η διαπίστωση αυτή είναι χρήσιμη για το Εργαστήριο διότι δείχνει ότι αυτό το πολυεποξικό μπορεί να αλλοιώσει τα δοχεία που χρησιμοποιούνται ως γεωμετρίες - γ φασματοσκοπίας. Προκύπτει ότι το Εργαστήριο θα πρέπει να εξετάσει την αλλαγή πολυεποξικού στεγανωτικού. Κατά τα άλλα διαπιστώθηκε ότι η χύτευση και σκλήρυνση του πολυεποξικού S-86 είναι δυνατή σε αρκετά μεγάλους όγκους. Δεν παρατηρήθηκε αύξηση θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης. Το τελικό προϊόν φαίνεται ικανοποιητικά διαφανές στο φως αν και υπάρχει μια ελαφρά υποκίτρινη απόχρωση. Ως τελευταία δοκιμή για το χυτό, εκτέθηκε σε λαμπτήρα UV σαν αυτόν που χρησιμοποιείται στην ονυχοπλαστική ισχύος 48W και διακρίνεται στην Εικόνα 3.8.



Εικ. 3.8 Λαμπτήρας UV 48W τύπου ονυχοπλαστικής για έλεγχο παραγωγής φωτός

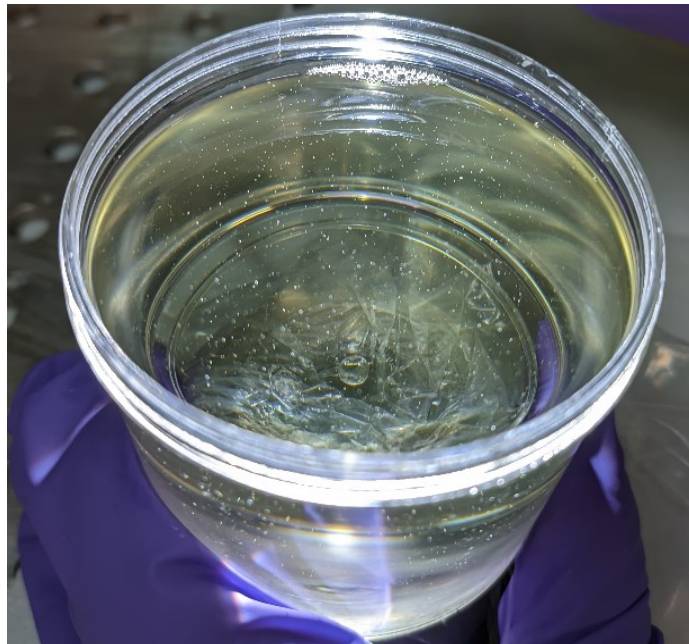
Διαπιστώθηκε ότι από την έκθεση το χυτό δεν ακτινοβολεί προς τα πίσω με κάποιο ιώδες φως, πράγμα που καταρχήν σημαίνει ότι για να αποκτήσει ιδιότητες σπινθηριστή θα πρέπει να αναμειχθεί κατάλληλα με φθοριστή.

Ως δεύτερο υλικό για δοκιμή χρησιμοποιήθηκε υγρό γυαλί της ISOMAT τύπου EPOMAX, η συσκευασία του οποίου διακρίνεται στην Εικόνα 3.9. Αυτή η ρητίνη παράγεται μόνο ως διαφανής. Αν χρειάζεται να χρωματιστεί διατίθενται κατάλληλα πρόσθετα χρώματα. Το κόστος αγοράς μιας πλήρους συσκευασίας τέτοιας ρητίνης και σκληρυντή είναι επίσης περίπου 30 ΕΥΡΩ. Η αναλογία εποξικής ρητίνης και σκληρυντή είναι και εδώ περίπου 2:1. Η διαδικασία ανάμειξης είναι ανάλογη με αυτή της Εικόνας 3.2.



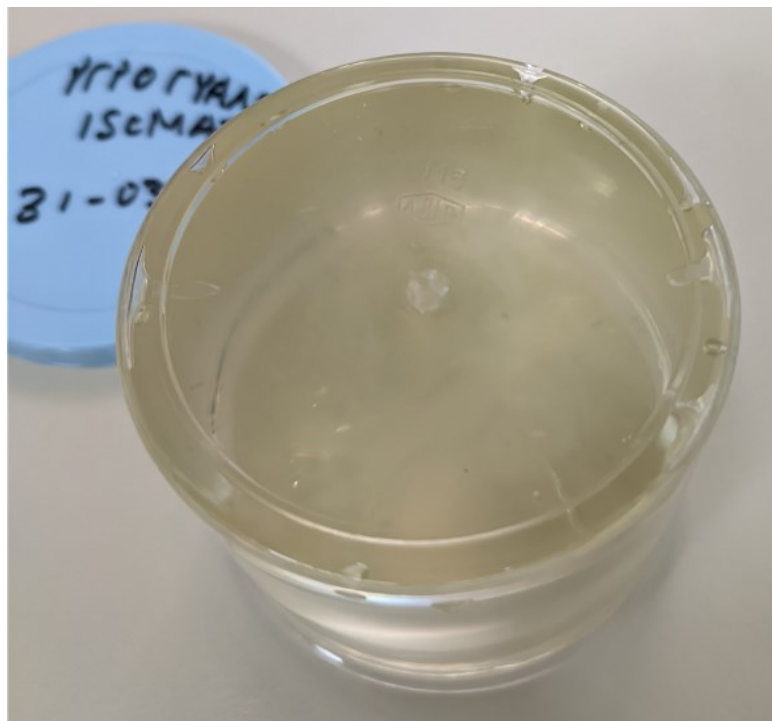
Εικ. 3.9 Το πολυεποξικό υγρό γυαλί EPOMAX της ISOMAT

Για την απομάκρυνση των φυσαλίδων, χωρίς αυτό να είναι και απολύτως αναγκαίο, χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος δονητής όπως στην Εικόνα 3.4. Μετά από διαδικασία δόνησης 5 λεπτών, απομακρύνθηκε σημαντικό μέρος των φυσαλίδων. Μετά τη δόνηση το μείγμα μεταφέρθηκε στο πολυακρυλικό δοχείο. Η τελική εικόνα του μείγματος στο πολυακρυλικό δοχείο φαίνεται στην Εικόνα 3.10. Διακρίνονται οι παραμένουσες φυσαλίδες.



Εικ. 3.10 Παραμένουσες φυσαλίδες μετά από δόνηση στο πολυεποξικό EPOMAX

Η σκλήρυνση του μείγματος διήρκησε περίπου 48 h. Κατά τη σκλήρυνση διαπιστώθηκε ότι το πολυακρυλικό δοχείο δεν αλληλεπιδρά με αυτού του είδους την εποξική ρητίνη. Η διαπίστωση αυτή είναι χρήσιμη για το Εργαστήριο διότι δείχνει ότι αυτό το πολυεποξικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει το προηγούμενο S-86 ως μονωτικό έναντι της εκροής ραδονίου από τα δοχεία που χρησιμοποιούνται ως γεωμετρίες -γ φασματοσκοπίας. Κατά τα άλλα διαπιστώθηκε ότι η χύτευση και σκλήρυνση του πολυεποξικού EPOMAX είναι δυνατή σε αρκετά μεγάλους όγκους. Δεν παρατηρήθηκε αύξηση θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης. Το τελικό προϊόν φαίνεται ικανοποιητικά διαφανές στο φως αν και υπάρχει μια ελαφρά υποκίτρινη απόχρωση όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.11.



Εικ. 3.11 Υποκίτρινος χρωματισμός στο τελικό αποτέλεσμα του πολυεποξικού EPOMAX

Ως τελευταία δοκιμή και για αυτό το χυτό, εκτέθηκε στον λαμπτήρα UV. Διαπιστώθηκε ότι από την έκθεση το χυτό δεν ακτινοβολεί προς τα πίσω με κάποιο ιώδες φως, πράγμα που και εδώ καταρχήν σημαίνει ότι για να αποκτήσει ιδιότητες σπινθηριστή θα πρέπει και αυτό να αναμειχθεί κατάλληλα με φθοριστή.

Σημειώνεται πάντως ότι όλες οι συσκευασίες του υγρού γυαλιού έχουν ημερομηνία λήξης. Η ημερομηνία λήξης του EPOMAX που χρησιμοποιήθηκε ήταν το 2020. Το EPOMAX χρησιμοποιήθηκε το 2023. Διαπιστώθηκε ότι υπήρξε σημαντική απώλεια πολυεποξικής

ρητίνης, πιθανότατα λόγω εξάτμισης. Επομένως προτείνεται να τηρούνται οι ημερομηνίες λήξης για τις ρητίνες τύπου "υγρό γυαλί".

Ως τρίτο υλικό για δοκιμή χύτευσης χρησιμοποιήθηκε ο θιξοτροπικός πολυεστέρας. Το υλικό αυτό σκληραίνει με τη βοήθεια προσθήκης κατάλληλου καταλύτη σε πολύ μικρή αναλογία συνήθως ~1%. Η αντίδραση σκλήρυνσης είναι εξώθερμη. Το κόστος αγοράς ενός λίτρου τέτοιου πολυεστέρα και αντίστοιχου καταλύτη είναι πολύ ανταγωνιστικό περίπου στα 10 ΕΥΡΩ. Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με φύλλα υφάσματος από υαλοβάμβακα για την επισκευή άλλων πλαστικών επιφανειών που έχουν υποστεί ζημιές. Χαρακτηριστικές τέτοιες επιφάνειες είναι οι πλαστικοί προφυλακτήρες οχημάτων ή άλλα πλαστικά μέρη του αμαξώματος. Μετά την επισκευή, την κατάλληλη λείανση, το κατάλληλο στοκάρισμα και την κατάλληλη βαφή το αποτέλεσμα δεν διαφέρει από το εργοστασιακό προϊόν. Επίσης το υλικό αυτό σε συνδυασμό με φύλλα υαλοβάμβακα χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλωτών μέσων μικρού μήκους όπως σκάφη για ερασιτεχνική αλιεία ή μικρά ταχύπλοα. Η χρήση του για την παραγωγή πλαστικών σπινθηριστών δεν προτείνεται διότι το παραγόμενο τελικό υλικό μετά την προσθήκη του καταλύτη προκύπτει έντονα χρωματισμένο σε απόχρωση μπλε ή καφέ. Παρόλα αυτά αποφασίσθηκε να γίνει η σχετική δοκιμή χύτευσης. Το μείγμα προετοιμάσθηκε αντίστοιχα όπως και τα προηγούμενα μίγματα και τοποθετήθηκε στο πολυακρυλικό δοχείο. Κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης το μείγμα θερμάνθηκε από την εξώθερμη αντίδραση της σκλήρυνσης.



Εικ. 3.12 Τελικό αποτέλεσμα για χυτό από θιξοτροπικό πολυεστέρα

Το αποτέλεσμα ήταν ότι το δοχείο παραμορφώθηκε τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από τη χημική δράση του θιξοτροπικού πολυεστέρα, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 3.12. Επιπλέον το ίδιο το τελικό υλικό παρουσίασε ρωγμές, πιθανότατα γιατί ο όγκος του ήταν πολύ μεγάλος σε σχέση με τη θερμοκρασία που αναπτύχθηκε κατά τη σκλήρυνση, με αποτέλεσμα οι συστολές που ακολούθησαν να καταστρέψουν την κρυσταλλική δομή. Τέλος η σκλήρυνση του τελικού υλικού διήρκησε λιγότερο από τα προηγούμενα δύο υλικά και υπολογίζεται σε μερικές ώρες. Προέκυψε το αναμενόμενο, ότι δηλαδή ο θιξοτροπικός πολυεστέρας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλαστικός σπινθηριστής λόγω μη διαφάνειας. Πιθανόν να πρέπει να διερευνηθεί αν υπάρχει παραλλαγή αυτού του προϊόντος, η οποία να δίνει διαφανές αποτέλεσμα.

Από τις δοκιμές χύτευσης προέκυψε το γενικότερο συμπέρασμα ότι το καλούπι χύτευσης πρέπει να μην αλληλεπιδρά με το υλικό που χυτεύεται. Τέτοια καλούπια μπορεί να είναι τα καλούπια σιλικόνης που χρησιμοποιούνται στην ζαχαροπλαστική ή τη μαγειρική, τα οποία δεν αλληλεπιδρούν με τα χημικά συστατικά των τροφών και αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες έως και 200 °C. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης τέτοιων καλουπιών είναι η παραγωγή cupcakes στο φούρνο. Τα καλούπια αυτά έχουν το επιπλέον πλεονέκτημα ότι έχουν περιθώριο να προσαρμόζονται σε τυχόν αλλαγές γεωμετρίας που συμβαίνουν στα πολυεποξικά κατά τη σκλήρυνση τους. Αυτό συμβαίνει διότι τα καλούπια σιλικόνης είναι εύπλαστα σε όλες τις θερμοκρασίες. Άλλο σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ότι μετά την σκλήρυνση του πολυεποξικού, το πολυεποξικό μπορεί να αφαιρεθεί από το καλούπι διότι η σιλικόνη δεν έχει συνάφεια με πολυεποξικά. Τα καλούπια σιλικόνης είναι εμπορικά διαθέσιμα στα super-market αλλά και σε υπεραγορές συσκευών μαγειρικής. Το κόστος είναι ελάχιστο, λίγα (3-5) ΕΥΡΩ ανά δεκάδα. Το μειονέκτημα των καλουπιών αυτών είναι ότι διατίθενται σε λίγα τυποποιημένα μεγέθη.

Αντί για καλούπια σιλικόνης θα μπορούσαν θεωρητικά να χρησιμοποιηθούν και γυάλινα καλούπια, π.χ. από διαφανή κυλινδρικά ποτήρια καταλλήλων διαστάσεων. Παρόλα αυτά, αυτή η επιλογή έχει τη δυσκολία ότι το γυαλί παρουσιάζει συνάφεια με τα πολυεποξικά, με αποτέλεσμα να μην μπορεί το πολυεποξικό χυτό να αφαιρεθεί εύκολα από το καλούπι και να πρέπει το συγκρότημα καλουπιού και πολυεποξικού να χρησιμοποιηθεί ως σύνολο. Διαφορετικά θα μπορούσε κάποιος να σπάει το γυάλινο καλούπι όπως και όταν χρειάζεται για να αφαιρεθεί το χυτό πολυεποξικό.

Επίσης εναλλακτικά με τα καλούπια σιλικόνης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σιλικόνη χύτευσης. Αυτή η επιλογή προτείνεται μόνο όταν η γεωμετρία των καλουπιών σιλικόνης δεν

διευκολύνει για το σχήμα που χρειάζεται να έχει το πολυεποξικό χυτό. Η σιλικόνη χύτευσης είναι και αυτή δύο συστατικών -πρώτη ύλη και καταλύτης- και μπορεί να δημιουργήσει καλούπι με οποιοδήποτε σχήμα επιθυμεί ο χρήστης. Η σιλικόνη αυτή δεν είναι διαφανής και δεν μπορεί να εξεταστεί από μόνη της ως πλαστικός σπινθηριστής. Ένα λίτρο τέτοιας σιλικόνης κοστίζει περίπου 30 ΕΥΡΩ.

3.4 Σχόλια και συμπεράσματα

Από τα παραπάνω έγινε φανερό ότι οι στόχοι που τέθηκαν για αυτό το μέρος της Διπλωματικής Εργασίας επετεύχθησαν. Πιο συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι δύο από τα τρία πολυμερή που δοκιμάστηκαν θα μπορούσαν σε επόμενο βήμα που θα εξετασθεί στο επόμενο Κεφάλαιο 4 να εξελιχθούν σε πλαστικούς σπινθηριστές με την προσθήκη κατάλληλου υγρού σπινθηριστή ή κατάλληλου φθοριστή. Το τρίτο πολυμερές που δοκιμάστηκε απορρίφθηκε κυρίως λόγω χρωματισμού. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών χύτευσης διαπιστώθηκε ότι ένα από τα υποσχόμενα πολυμερή σχετικά με τη διαδικασία πλαστικού σπινθηρισμού, το οποίο χρησιμοποιείται στο ΕΠΤ-ΕΜΠ για άλλο ερευνητικό σκοπό, πιθανώς να είναι ακατάλληλο για το σκοπό αυτό. Ακολουθώντας αυτό το συμπέρασμα προτάθηκε η αντικατάστασή του. Τέλος προτάθηκε ότι το καταλληλότερο υλικό για τη χύτευση μικρών όγκων τέτοιων πολυμερών είναι, μεταξύ άλλων λύσεων που συζητήθηκαν, τα καλούπια σιλικόνης που χρησιμοποιούνται στη μαγειρική. Με βάση αυτά τα συμπεράσματα θα ακολουθήσει στο Κεφάλαιο 4 η περιγραφή της διαδικασίας παραγωγής πλαστικών σπινθηριστών μικρού όγκου στην περιοχή των 50-70 cm³.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

4.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται ο τρόπος, με τον οποίο κατασκευάσθηκαν και δοκιμάσθηκαν στο ΕΠΤ-ΕΜΠ, στα πλαίσια της ΔΕ δύο πλαστικοί σπινθηριστές μικρού όγκου με βάση δύο διαφορετικά πολυεποξικά. Το πρώτο πολυεποξικό είναι το S-86 της εταιρείας κατασκευής ERLAC το οποίο διατίθεται στην ελληνική αγορά. Το δεύτερο πολυεποξικό είναι υγρό γυαλί της εταιρείας κατασκευής DUROSTICK. Για το δεύτερο πολυεποξικό θεωρήθηκε εύλογα ότι οι ιδιότητές του διαφέρουν από το πολυεποξικό EPOMAX της ISOMAT που δοκιμάστηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο 3. Προκειμένου τα πολυεποξικά να αποκτήσουν τις επιθυμητές ιδιότητες του φθορισμού αναμείχθηκαν με υγρό σπινθηριστή σε σημαντική αναλογία. Μετά τη σκλήρυνση οι δύο όγκοι που προέκυψαν εκτέθηκαν σε UV φως και ανταποκρίθηκαν εκπέμποντας ιώδες πράγμα που έδειξε ότι έχουν ιδιότητες φθορισμού και πιθανότατα ιδιότητες φθορισμού όταν προσβάλλονται από ιοντίζουσα ακτινοβολία. Για να επιβεβαιωθεί και αυτό συγκροτήθηκε μία πειραματική διάταξη κατάλληλη για το σκοπό αυτό. Τα αποτελέσματα υπήρξαν ενθαρρυντικά προς αυτή την κατεύθυνση. Στις επόμενες ενότητες ακολουθούν περισσότερες λεπτομέρειες.

4.2 Πλαστικός σπινθηριστής με εποξικό S-86

Για τη χύτευση του αναγκαίου μείγματος χρησιμοποιήθηκε καλούπι σιλικόνης κυλινδρικού σχήματος, ονομαστικού ύψους 35 mm και ονομαστικής διαμέτρου 55 mm, όπως διακρίνεται στο κέντρο της Εικόνας 4.1. Για την ανάμειξη των συστατικών στη σωστή αναλογία και επειδή επιδιώχθηκε το τελικό αποτέλεσμα να είναι μικρού όγκου ($50 - 70 \text{ cm}^3$) δεν χρησιμοποιήθηκαν δοσιμετρικά δοχεία αλλά ζύγιση σε εργαστηριακό ζυγό εταιρείας κατασκευής METLER τύπου P-1200, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2. Οι αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: πολυμερής ρητίνη 30 mL + σκληρυντής 20 mL + υγρός σπινθηριστής 20 mL. Σημειώνεται ότι ο σκληρυντής που χρησιμοποιήθηκε παραβιάζει την αναλογία πολυμερούς:σκληρυντή 2:1, διότι από τις δοκιμές στο Κεφάλαιο 3 βρέθηκε ότι με αυτή την αναλογία 2:1 το πολυεποξικό αποτέλεσμα δεν προκύπτει ικανοποιητικά στερεό.




Εικ. 4.1 Αριστερά: καλούπια σιλικόνης διαθέσιμα στο εμπόριο, Κέντρο: καλούπια σιλικόνης που χρησιμοποιήθηκαν, Δεξιά: Καλούπια σιλικόνης διαθέσιμα στο εμπόριο.



Εικ. 4.2 Εργαστηριακός ζυγός METTLER P-1200 ακρίβειας 0.01 g

Ο υγρός σπινθηριστής που χρησιμοποιήθηκε ήταν εταιρείας κατασκευής PERKIN - ELMER τύπου InstaFluor. Αυτός ο υγρός σπινθηριστής βασίζεται στον φθοριστή που ονομάζεται pseudocumene. Η κατασκευάστρια εταιρεία δεν αποκαλύπτει φυσικά πόσος φθοριστής υπάρχει μέσα σε αυτόν τον σπινθηριστή. Από απόσπασμα του εμπορικού φυλλαδίου του σπινθηριστή, βλ. Εικόνα 4.3, παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό του φθοριστή είναι μέχρι 2.5% κ.β. Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός όγκος του πολυεποξικού που κατασκευάστηκε με αυτόν τον τρόπο πιθανό να έχει μέχρι και 0.7% κ.β. φθοριστή.

		Page 3/9
Safety data sheet <i>according to 1907/2006/EC, Article 31</i>		
Printing date 29.07.2022		Revision: 29.07.2022
Version number 10 (replaces version 9)		
Trade name: Insta-Fluor Plus		
(Contd. of page 2)		
Non-dangerous components		
CAS: 92-71-7 EINECS: 202-181-3	2,5-Diphenyloxazole (PPO)	0-2.5%
CAS: 13280-61-0 EINECS: 236-285-5	1,4-Bis-(2-methylstyryl)-benzene (bis-MSB)	0-2.5%

Εικ. 4.3 Σύνθεση υγρού σπινθηριστή InstaFluor: Άνω γραμμή, φθοριστής PPO έως 2.5%,
Κάτω γραμμή, φθοριστής pseudocumene έως 2.5%

Αυτή η τιμή δεν είναι υψηλή. Από την άλλη, δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που έχει δοκιμασθεί στις ερασιτεχνικές δοκιμές για παρόμοιους πλαστικούς σπινθηριστές που έχουν παρουσιασθεί στο διαδίκτυο και για τις οποίες έχει γίνει αναφορά στο Κεφάλαιο 2. Επίσης δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή το οποίο υπάρχει σε δείγματα που μετρώνται με τη μέθοδο του υγρού σπινθηρισμού.

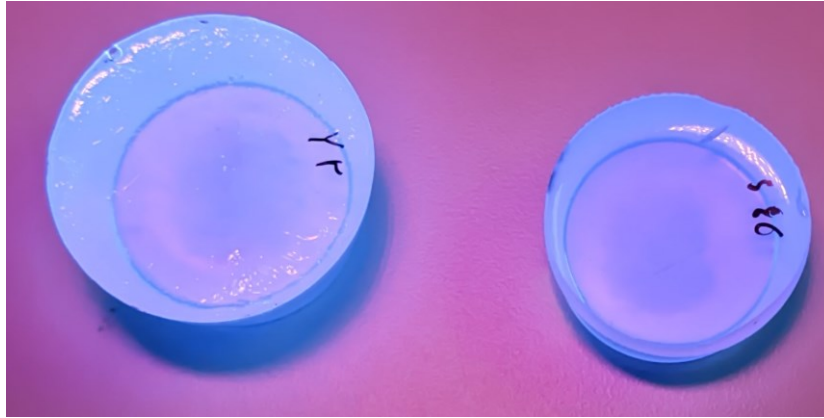
Το πολυεποξικό που κατασκευάστηκε με αυτές τις αναλογίες προέκυψε ικανοποιητικά διαφανές/διαφώτιστο, παρόλη τη χρήση του συστατικού υγρού σπινθηριστή. Το πολυεποξικό αφέθηκε να σκληρυνθεί για το τυπικό διάστημα των 48 h. Στη συνέχεια εκτέθηκε σε UV φως με τον λαμπτήρα που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3. Από την έκθεση φάνηκε ότι ο πλαστικός σπινθηριστής εκπέμπει ιώδες φως, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 4.4. Αυτό είναι πρόκριμα ότι το πολυεποξικό αποτέλεσμα πιθανόν και να λειτουργεί ως πλαστικός σπινθηριστής. Ο έλεγχος αυτής της ιδιότητας θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα. Υπάρχει πιθανότητα το πολυεποξικό που παράγεται να παρουσιάζει μετά τη στερεοποίηση "ιδρώτα" από κολλώδες οργανικό ρευστό. Αυτό είναι ένα σύνηθες φαινόμενο, ιδιαίτερα όταν οι αναλογίες των συστατικών δεν είναι οι προτεινόμενες. Στην περίπτωση αυτή, το πολυεποξικό μπορεί να

ξεπλένεται από το ρευστό με έναν όσο το δυνατό λιγότερο επιθετικό διαλύτη, π.χ. οινόπνευμα (αιθανόλη) ή ισοπροπυλική αλκοόλη. Η χρήση περισσότερο επιθετικών διαλυτικών όπως η βενζίνη ή ακόμα χειρότερα το ασετόν μπορεί να καταστρέψει επιφανειακά τη διαφάνεια του πολυεποξικού (να τη θολώσει δηλαδή), το οποίο δεν είναι επιθυμητό.

4.3 Πλαστικός σπινθηριστής με υγρό γυαλί DUROSTICK

Για τη χύτευση του αναγκαίου μείγματος χρησιμοποιήθηκε και εδώ ίδιο καλούπι σιλικόνης. Για την ανάμειξη των συστατικών στη σωστή αναλογία και επειδή επιδιώχθηκε το τελικό αποτέλεσμα να είναι μικρού όγκου (50 - 70 cm³) δεν χρησιμοποιήθηκαν ούτε εδώ δοσιμετρικά δοχεία αλλά ζύγιση στον εργαστηριακό ζυγό. Οι αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: πολυμερής ρητίνη 46 mL + σκληρυντής 24 mL + υγρός σπινθηριστής 20 mL. Σημειώνεται ότι ο σκληρυντής που χρησιμοποιήθηκε δεν παραβιάζει την αναλογία πολυμερούς:σκληρυντή 2:1, διότι από τις δοκιμές στο Κεφάλαιο 3 βρέθηκε ότι με αυτή την αναλογία 2:1 το πολυεποξικό αποτέλεσμα προκύπτει ικανοποιητικά στερεό. Ο υγρός σπινθηριστής που χρησιμοποιήθηκε ήταν ομοίως με προηγούμενα ο τύπου InstaFluor. Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός όγκος του πολυεποξικού που κατασκευάστηκε με αυτόν τον τρόπο πιθανό να έχει μέχρι και 0.5% κ.β. φθοριστή. Αυτή η τιμή δεν είναι υψηλή. Από την άλλη, δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που έχει δοκιμασθεί στις ερασιτεχνικές δοκιμές για παρόμοιους πλαστικούς σπινθηριστές που έχουν παρουσιασθεί στο διαδίκτυο και για τις οποίες έχει γίνει αναφορά στο Κεφάλαιο 2. Επίσης δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή το οποίο υπάρχει σε δείγματα που μετρώνται με τη μέθοδο του υγρού σπινθηρισμού.

Το πολυεποξικό που κατασκευάστηκε με αυτές τις αναλογίες προέκυψε και τώρα ικανοποιητικά διαφανές/διαφώτιστο, παρόλη τη χρήση του συστατικού υγρού σπινθηριστή. Το πολυεποξικό αφέθηκε να σκληρυνθεί για το τυπικό διάστημα των 48 h. Στη συνέχεια εκτέθηκε σε UV φως με τον λαμπτήρα που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3. Από την έκθεση φάνηκε ότι ο πλαστικός σπινθηριστής εκπέμπει ιώδες φως, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 4.4. Αυτό είναι πρόκριμα ότι το πολυεποξικό αποτέλεσμα πιθανόν και να λειτουργεί ως πλαστικός σπινθηριστής. Ο έλεγχος αυτής της ιδιότητας θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα. Υπάρχει και εδώ η πιθανότητα το πολυεποξικό που παράγεται να παρουσιάζει μετά τη στερεοποίηση "ιδρώτα" από κολλώδες οργανικό ρευστό. Ο τρόπος απαλλαγής από αυτό το ρευστό αναλύθηκε ήδη.



Εικ. 4.4 Πλαστικοί σπινθηριστές όγκου 60 - 70 mL από πολυεποξικά.

Κάτω από UV φθορίζουν απαντώντας με ιώδες φως

4.4 Οπτική πυκνότητα πολυεποξικών

Ένα μέτρο της διαφάνειας που έχουν τα πολυεποξικά αποτελέσματα που παράχθηκαν όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, είναι η διαπίστωση της οπτικής τους πυκνότητας. Αυτό γίνεται με χρήση μιας μικρής συσκευής, η οποία ονομάζεται μετρητής οπτικής πυκνότητας (densitometer) και μίας πηγής κατάλληλα δυνατού φωτός. Η μέθοδος συνήθως χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αμαύρωσης σε φιλμ βιομηχανικής ραδιογραφίας. Πιο αναλυτικά:

Η οπτική πυκνότητα με το σύμβολο D ορίζεται ως

$$D = \log \frac{I_0}{I} \quad (4.1)$$

όπου

I_0 η ένταση του φωτός όπως προκύπτει από την πηγή φωτός χωρίς εμπόδια, και

I η ένταση του φωτός όπως προκύπτει από την πηγή φωτός μετά το μετρούμενο υλικό.

Προφανώς είναι $I < I_0$. Επιπλέον, αν ο μετρητής οπτικής πυκνότητας τοποθετούμενος απευθείας πάνω στην πηγή φωτός είναι φανερό ότι πρέπει να δείξει οπτική πυκνότητα $D = 0$ διότι:

$$D = \log \frac{I_0}{I_0} = 0 \quad (4.2)$$

Αυτός είναι και ο τρόπος ρύθμισης (δηλ. σχετικής βαθμονόμησης) του μετρητή οπτικής πυκνότητας. Ο μεταλλάκτης με βάση τον οποίο λειτουργεί ο μετρητής οπτικής πυκνότητας

είναι μια φωτοδίοδος, η οποία επιτρέπει δίοδο ρεύματος ανάλογα με το φως που την προσβάλλει.

Για τα πολυεποξικά που κατασκευάστηκαν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις οπτικής πυκνότητας. Στην Εικόνα 4.5 διακρίνεται η πηγή του φωτός τεχνολογίας LED. Στην Εικόνα 4.6 διακρίνεται ο μετρητής οπτικής πυκνότητας. Στην Εικόνα 4.7 γίνεται η διαδικασία μηδενισμού της οπτικής πυκνότητας. Στην Εικόνα 4.8 μετρείται σε ανύποπτο χρόνο (δηλ. κάποια στιγμή κατά την υλοποίηση αυτής της ΔΕ), η οπτική πυκνότητα ενός από τα πολυεποξικά. Μετά από αυτή τη διαδικασία προέκυψε ότι η οπτική πυκνότητα του πολυεποξικού με βάση το S-86 βρέθηκε ίση με $D \approx 0$. Προέκυψε επίσης ότι η οπτική πυκνότητα του πολυεποξικού υγρού γυαλιού βρέθηκε ίση με $D \approx 0$. Το πρόχειρο συμπέρασμα που προκύπτει σύμφωνα με την απλή αυτή και προσεγγιστική τεχνική είναι ότι για το μήκος κύματος της πηγής φωτός που χρησιμοποιήθηκε δεν υπάρχει στα δύο αυτά πολυεποξικά ανιχνεύσιμη οπτική σβέση, πράγμα που είναι ενθαρρυντικό αποτέλεσμα.

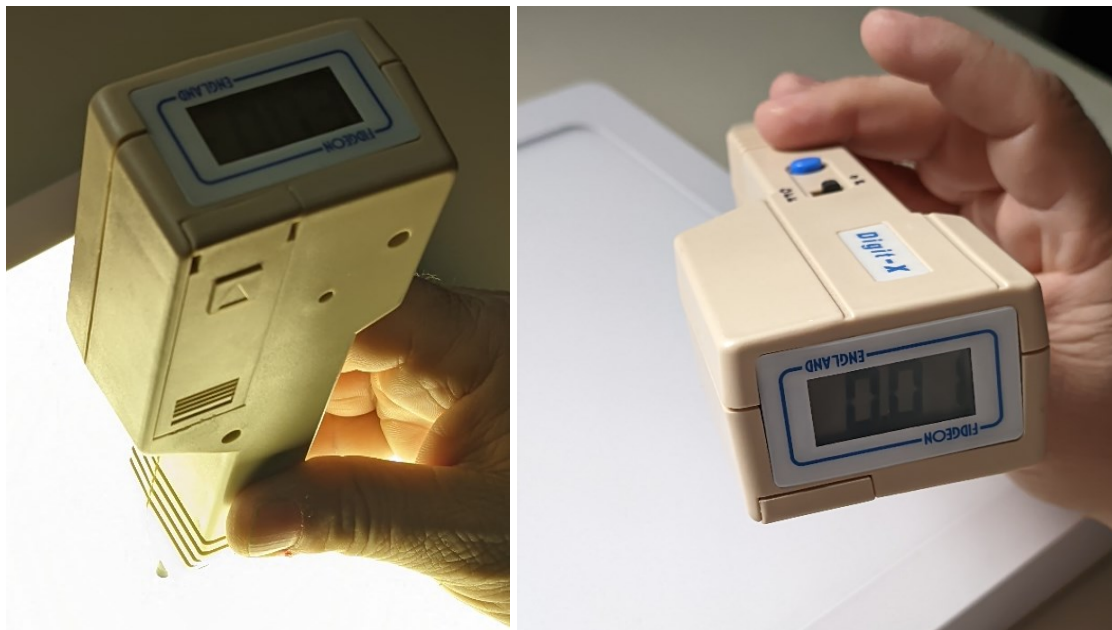


Εικ. 4.5 Πηγή φωτός LED για μέτρηση οπτικής πυκνότητας



Εικ. 4.6 Μετρητής οπτικής πυκνότητας (τύπος Digit-X της εταιρείας FIDGEON)

Οι μετρήσεις οπτικής πυκνότητας των πολυεποξικών που προορίζονται να χρησιμοποιούνται ως πλαστικοί σπινθηριστές πρέπει να επαναλαμβάνονται σε τακτικά χρονικά διαστήματα, διότι συνήθως αυτά τα πολυεποξικά κατά τη γήρανσή τους αλλάζουν σταδιακά χρώμα, το οποίο εμποδίζει, όπως είναι φυσικό την ομαλή διάδοση του φωτός και αλλοιώνει τη συμπεριφορά τους σε σχέση με την ημερομηνία παραγωγής τους.



Εικ. 4.7 Διαδικασία μηδενισμού οπτικής πυκνότητας του μετρητή οπτικής πυκνότητας. Αφού ο μετρητής εκτεθεί στην πηγή φωτός χωρίς εμπόδιο, η ένδειξή του, αν δεν είναι ήδη μηδέν, μηδενίζεται πιέζοντας το μπλε μπουτόν

4.5 Ανιχνευτική διάταξη πολυεποξικών με φωτοπολλαπλασιαστή

Τα εξαρτήματα που πρέπει να συνδεθούν διακρίνονται στην Εικόνα 4.9. Το συνολικό μήκος της διάταξης πολλαπλασιαστή και πολυεποξικού ανιχνευτή προκύπτει ~25 cm. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται και η σύνδεσή τους είναι όπως περιγράφεται στη Διπλωματική Εργασία της Αργγίου (2022). Για να λειτουργεί ορθά η διάταξη αυτή πρέπει να μην προσβάλλεται από εξωτερικό ορατό φως ή άλλο φως που δεν οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις ιοντίζουσας ακτινοβολίας με τον πολυεποξικό ανιχνευτή σε καμία περίπτωση, επομένως πρέπει να γίνει φωτοστεγανή. Για το σκοπό αυτό συγκροτήθηκε φωτοστεγανή κυλινδρική θήκη, στην οποία τοποθετήθηκε η διάταξη με κατάλληλο τρόπο που εξηγείται στη συνέχεια. Το κύριο τμήμα της θήκης αποτελεί ένας σωλήνας PVC (αποχέτευσης) ονομαστικής εξωτερικής διαμέτρου 63 mm και μήκους ~20.5 cm, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.10. Το μήκος αυτό βρέθηκε κατάλληλο μετά από δοκιμές σε συνδυασμό και με τα υπόλοιπα απαραίτητα μέρη, όπως περιγράφονται παρακάτω. Από το αριστερό άνοιγμα του σωλήνα εισέρχεται στην φωτοστεγανή θήκη ο πολυεποξικός ανιχνευτής όπως στην Εικόνα 4.11. Η διάμετρος του πολυεποξικού ανιχνευτή υπολείπεται λίγο από την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα PVC.

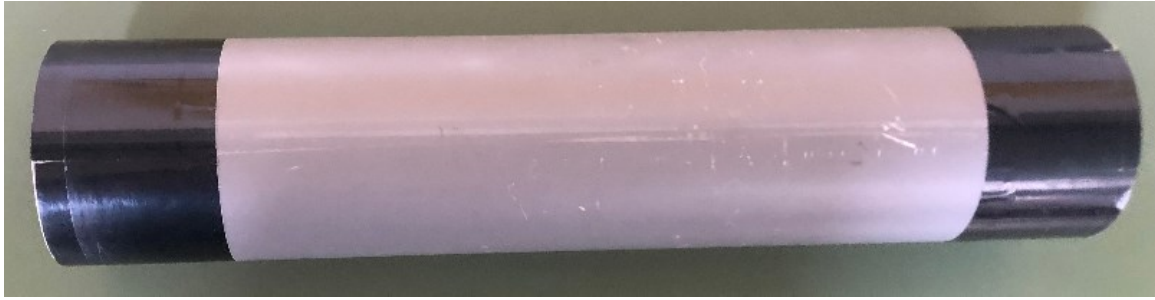
Για να εξασφαλισθεί ότι το φως που παράγει ο ανιχνευτής και οδεύει προς τα τοιχώματα του σωλήνα, δεν θα χαθεί, ο σωλήνας στο σημείο αυτό καλύφθηκε εσωτερικά με ανακλαστική ταινία αλουμινίου όπως στην Εικόνα 4.12. Στην τελική του θέση το δεξί χείλος του σωλήνα PVC έρχεται σε επαφή με το μαύρο παρέμβυσμα από λάστιχο που διακρίνεται στην Εικόνα 4.9. Το παρέμβυσμα έχει διαστάσεις $\text{Ø}55 \times \text{Ø}45 \times 2$ mm και χρησιμεύει για την διασφάλιση φωτοστεγανότητας με τη λευκή μούφα PVC $\text{Ø}63$ που επίσης διακρίνεται στην Εικόνα 4.9. Για το σκοπό αυτό χρειάστηκε να δοθεί στο δεξί χείλος του σωλήνα PVC της Εικόνας 4.10 μια κωνικότητα όπως στην Εικόνα 4.13.



Εικ. 4.8 Μέτρηση οπτικής πυκνότητας πολυεποξικού



Εικ. 4.9 Από αριστερά: πολυεποξικός ανιχνευτής, φωτοπολλαπλασιαστής και διαιρέτης τάσης μαζί με προενισχυτή



Εικόνα 4.10: Σωλήνας PVC για τη φωτοστεγανοποίηση της διάταξης



Εικ. 4.11 Τοποθέτηση πολυεποξικού ανιχνευτή στο αριστερό άνοιγμα του σωλήνα PVC

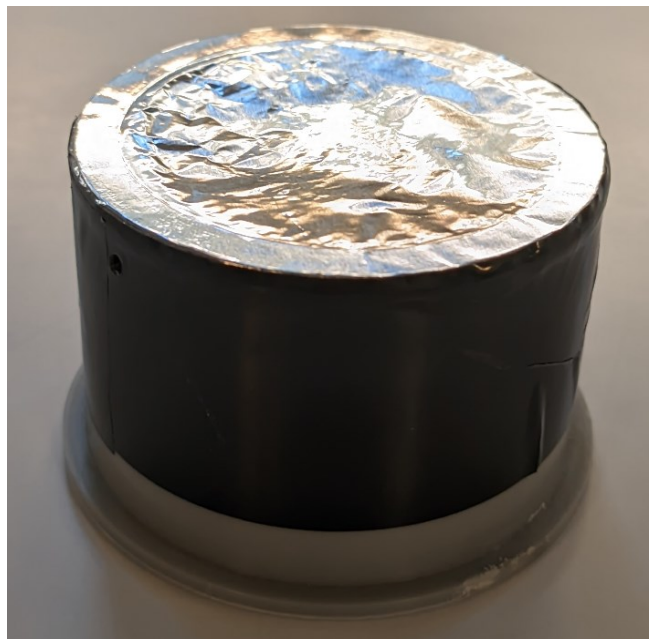


Εικ. 4.12 Ανακλαστική ταινία αλουμινίου γύρω από τον πολυεποξικό ανιχνευτή



Εικ. 4.13 Κωνικότητα στο δεξί άνοιγμα του σωλήνα PVC

Ο ρόλος της μαύρης ταινίας συσκευασίας που έχει τοποθετηθεί γύρω από τα άκρα του σωλήνα PVC είναι να βοηθήσει στη διασφάλιση της φωτοστεγανότητας κατά την τελική συγκρότηση του ανιχνευτικού συστήματος. Όταν ο πολυεποξικός ανιχνευτής βρεθεί στην τελική του θέση σταθεροποιείται εκεί με μία μούφα PVC Ø63 mm (βλ. και Εικόνα 4.14).



Εικ. 4.14 Μούφα για την κάλυψη του αριστερού ανοίγματος του σωλήνα PVC

Η μούφα πρέπει να αφαιρείται εύκολα από τον σωλήνα αλλά και να είναι αρκετά σταθερή στη θέση της. Για το σκοπό αυτό η μούφα συνδέεται με το σωλήνα με σφιχτή προσαρμογή. Η σφιχτή προσαρμογή εξασφαλίζεται με μία - δύο στρώσεις της μαύρης ταινίας συσκευασίας.

Εννοείται ότι αυτή η διευθέτηση υιοθετήθηκε μετά από αρκετές δοκιμές. Η μούφα στην μία πλευρά της καλύπτεται από φύλλο αλουμινίου πάχους ~ 0.05 mm σαν αυτό που είναι διαθέσιμο εμπορικά για σκοπούς μαγειρικής. Το φύλλο αλουμινίου αυτό επιλέχθηκε σε αυτό το μικρό πάχος έτσι ώστε να μην εμποδίζει τα β σωματίδια και τα φωτόνια να αλληλεπιδρούν με τον πολυεποξικό ανιχνευτή, ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος πίσω από αυτό. Το φύλλο αλουμινίου έχει κολληθεί πάνω στη μούφα με τη βοήθεια κυανοακρυλικής στιγμιαίας κόλλας. Για να εξασφαλιστεί καλή πρόσφυση της κόλλας η τομή της μούφας είχε λειανθεί και επιπεδωθεί κατάλληλα. Γύρω από τη μούφα έχει τοποθετηθεί μαύρη ταινία συσκευασίας, σκοπός της οποίας είναι να καλύπτει και την περιφέρεια της κόλλας ώστε να μην περνάει φως μέσα στη μούφα. Στην Εικόνα 4.15 διακρίνεται μια μικρή οπή που έχει γίνει στην περιφέρεια της μούφας. Η οπή αυτή χρησιμεύει ώστε κατά την τοποθέτηση της μούφας στο σωλήνα PVC να βρίσκει διέξοδο ο εγκλωβισμένος αέρας για να μην καταστρέφεται το κάλυμμα αλουμινίου. Φυσικά, όταν η διάταξη είναι συγκροτημένη για μέτρηση η οπή αυτή πρέπει να καλύπτεται με μαύρη ταινία ώστε να μην εισέρχεται φως.



Εικ. 4.15 Οπή στη μούφα για την προστασία του φύλλου αλουμινίου από υπερπίεσεις - υποπίεσεις αέρα

Στην Εικόνα 4.16 φαίνεται η τελική φωτοστεγανή θέση της μούφας στο αριστερό άνοιγμα του σωλήνα PVC. Από το δεξιό άνοιγμα του σωλήνα εισέρχεται στην φωτοστεγανή θήκη το σύστημα φωτοπολλαπλασιαστής - διαιρέτης τάσης - προενισχυτής.



Εικ. 4.16 Τελική φωτοστεγανή θέση της μούφας

Η διάμετρος του φωτοπολλαπλασιαστή μέχρι ένα μήκος ~ 10 cm, υπολείπεται αρκετά από την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα PVC, ενώ η διάμετρος του υπόλοιπου μήκους του φωτοπολλαπλασιαστή, του διαιρέτη τάσης και του προενισχυτή εφάπτεται σχεδόν με την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα PVC. Για να καλυφθεί το κενό αυτό και για να σταθεροποιηθεί ο φωτοπολλαπλασιαστής μέσα στο σωλήνα, ώστε να μην σπάσει από τυχόν ατύχημα, διαμορφώθηκε ένας μικρός κύλινδρος από φύλλο συσκευασίας τύπου foam, πάχους $\sim 2.0 - 2.5$ mm διαστάσεων $M=10 \times \Pi=17$ cm, και τοποθετήθηκε όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.17.

Στην τελική του θέση του συστήματος το χείλος του σωλήνα PVC στεγανώνεται από το φως με το μαύρο παρέμβυσμα από λάστιχο που διακρίνεται γύρω από το σώμα του προενισχυτή και στο οποίο έχει ήδη γίνει αναφορά. Όταν το σύστημα φωτοπολλαπλασιαστή - διαιρέτη τάσης - προενισχυτή βρεθεί στην τελική του θέση, δηλαδή όταν η βάση του φωτοπολλαπλασιαστή έρθει σε επαφή με την πίσω βάση του πολυεποξικού ανιχνευτή, τότε το σύστημα σταθεροποιείται με μία λευκή μούφα PVC $\varnothing 63$ mm (βλ. και Εικόνα 4.18). Η μούφα πιέζει το παρέμβυσμα στη θέση του.



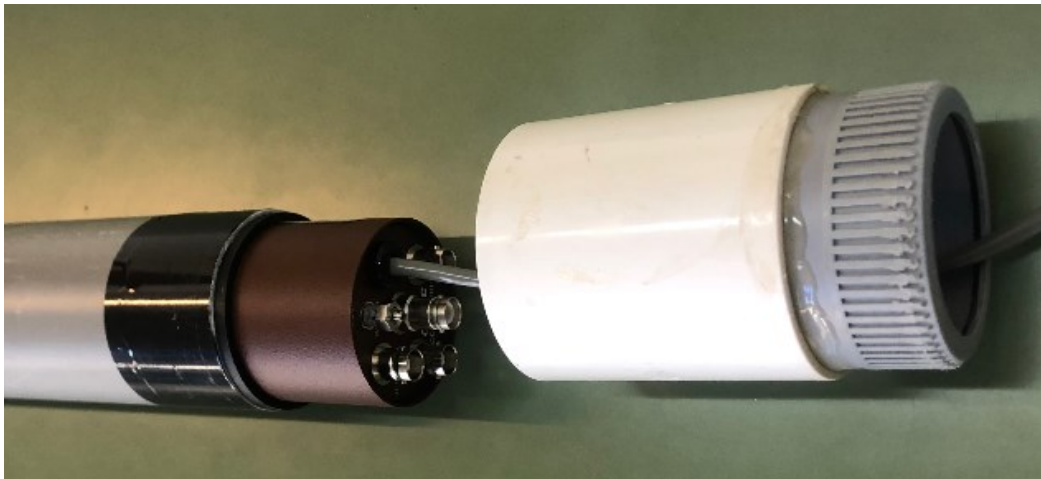
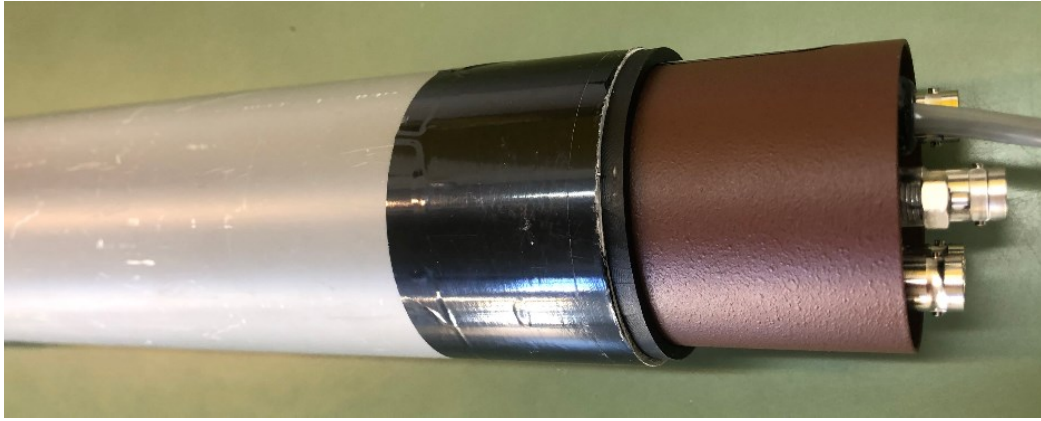
Εικόνα 4.17 Τοποθέτηση του συστήματος φωτοπολλαπλασιαστή - διαιρέτη τάσης - προενισχυτή στον σωλήνα PVC

Η μούφα πρέπει να αφαιρείται εύκολα αλλά και να είναι αρκετά σταθερή στη θέση της. Για το σκοπό αυτό η μούφα τοποθετείται στη θήκη με σφιχτή προσαρμογή. Η σφιχτή προσαρμογή εξασφαλίστηκε, όπως και στην περίπτωση του αριστερού ανοίγματος με μία - δύο στρώσεις μαύρης ταινίας συσκευασίας.

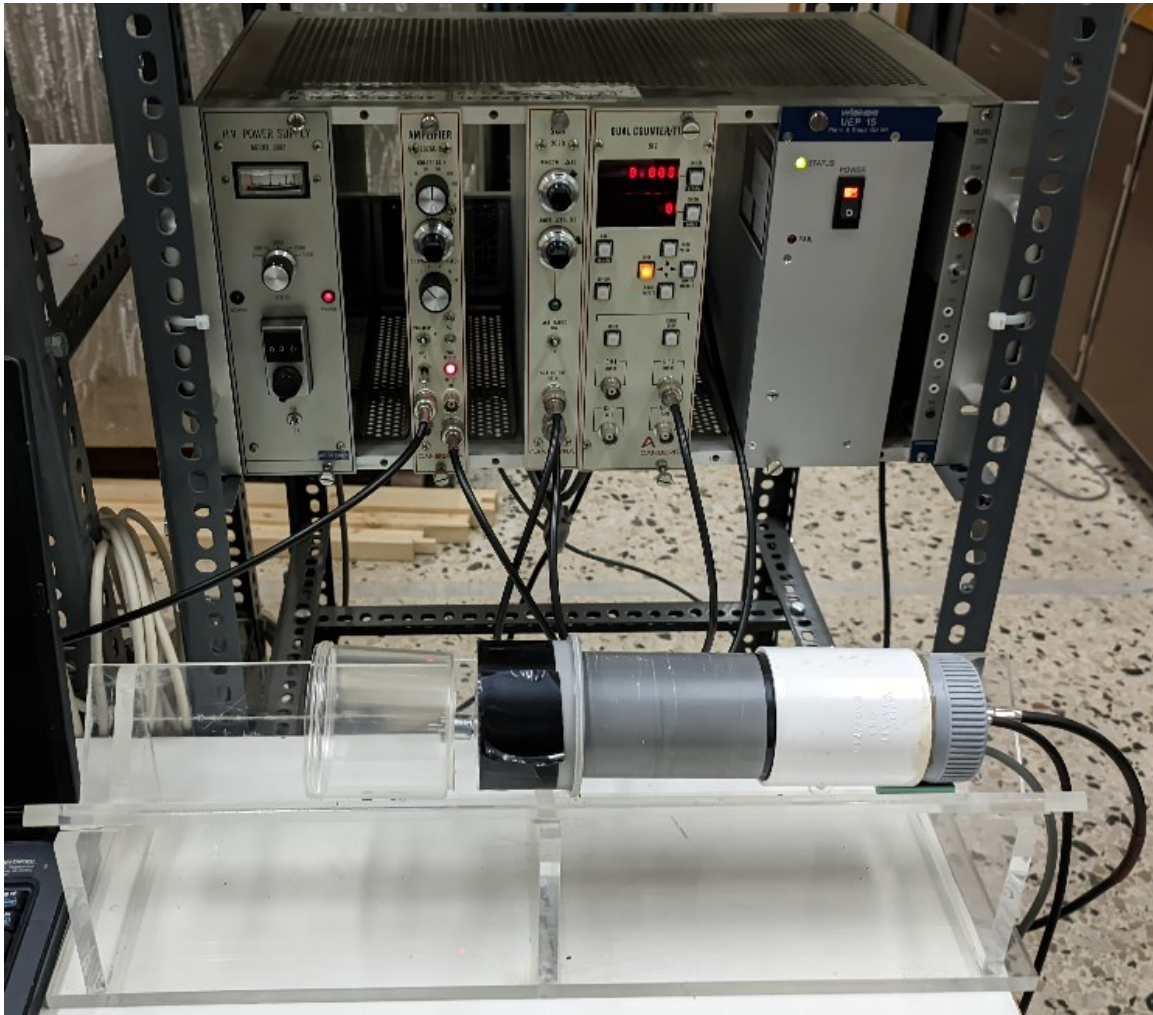
4.6 Ρυθμίσεις για μετρήσεις

Στην Εικόνα 4.19 διακρίνονται τα πυρηνικά ηλεκτρονικά όπως χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές μετρήσεις. Το πώς συνδέονται τα υπόψη πυρηνικά ηλεκτρονικά με τον προενισχυτή του ανιχνευτικού συστήματος και ο ρόλος που παίζει κάθε τέτοια μονάδα έχει ήδη περιγραφεί στη ΔΕ Αργυρου (2022).

Στην Εικόνα 4.20 φαίνεται το πώς συνδέεται ο προενισχυτής με την τάση των 24 V που χρειάζεται για την λειτουργία του με κατάλληλο καλώδιο που ξεκινά από το πίσω μέρος του ενισχυτή. Σημειώνεται εδώ ότι για σωστές και αποδοτικές μετρήσεις παλμών από το ανιχνευτικό σύστημα πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις στο τροφοδοτικό του φωτοπολλαπλασιαστή, στον ενισχυτή και στον διαχωριστή. Μετά από πρόχειρες δοκιμές ακριβώς για να βρεθούν οι ρυθμίσεις αυτές βρέθηκε ότι:



Εικ. 4.18 Το σύστημα φωτοπολλαπλασιαστή - διαιρέτη τάσης - προενισχυτή στην ασφαλή (φωτοστεγανή) του τελική θέση στο δεξί άνοιγμα του σωλήνα PVC.
Τρίτη εικόνα κάτω: όλη η διάταξη στη φωτοστεγανή της θήκη.



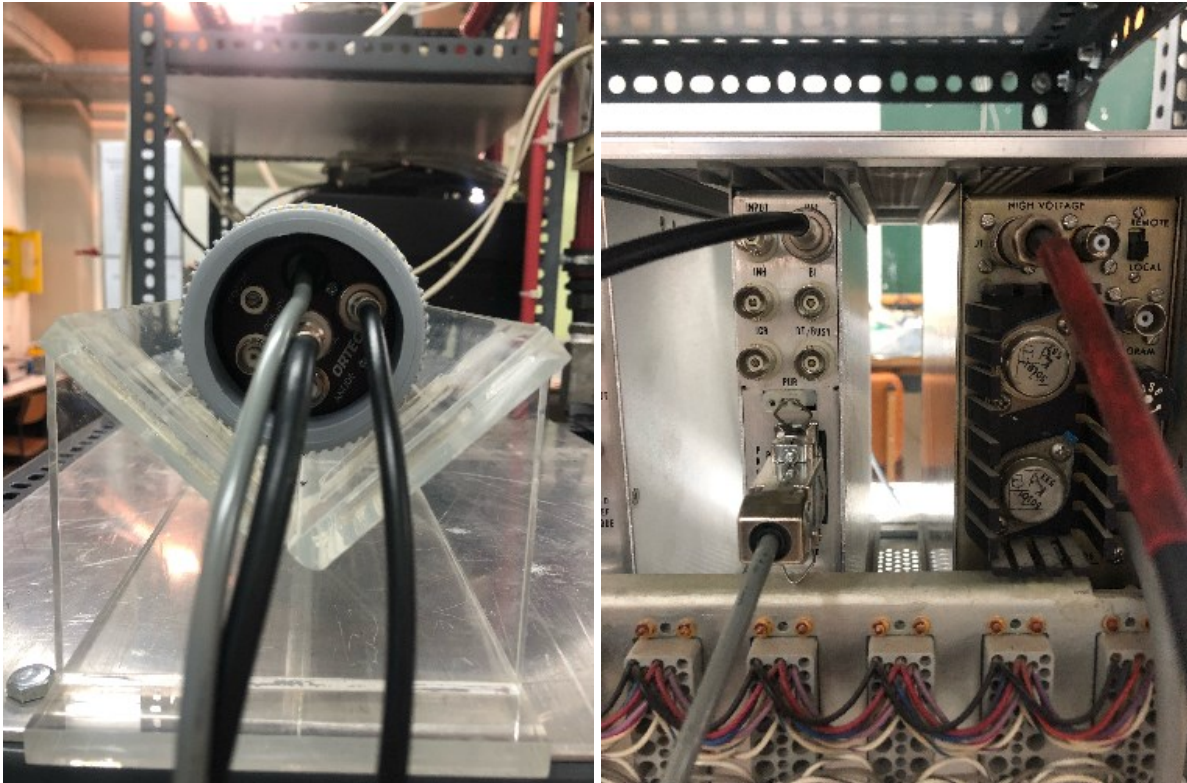
Εικ. 4.19 Συγκροτημένη διάταξη μετρήσεων. Πάνω, στο ντέξιον: NIM BIN με (από αριστερά) τροφοτικό υψηλής τάσης, ενισχυτής, διαχωριστής, καταμετρητής, τροφοδοτικό NIM. Κάτω στο τραπέζι: η συγκροτημένη ανιχνευτική διάταξη όπως στην Εικόνα 4.18

Το τροφοδοτικό ρυθμίσθηκε για μετρήσεις στην υψηλή τάση των 900 V

Η υψηλή τάση στην περιοχή των 900 V επιλέχθηκε διότι σε αυτήν ανιχνεύονται σήματα από αλληλεπιδράσεις ιοντίζουσας ακτινοβολίας με πολυεποξικό ανιχνευτή. Βρέθηκε ότι με τη ρύθμιση αυτή, σε συνδυασμό με τις άλλες που θα αναφερθούν παρακάτω, δεν παρατηρείται Pile-Up.

Τυχόν σήμα που ανιχνεύεται σε τάσεις στην περιοχή από 450 έως 650 V σημαίνει ότι η ανιχνευτική διάταξη προσβάλλεται από φως του περιβάλλοντος και πρέπει άμεσα να ελεγχθεί η φωτοστεγανότητά της, δηλαδή η ακεραιότητα και η καλή τοποθέτηση των ελαστικών παρεμβυσμάτων που περιγράφηκαν προηγουμένως. Ο έλεγχος φωτοστεγανότητας πρέπει να γίνεται χωρίς υψηλή τάση στην ανιχνευτική διάταξη, ή για περισσότερη ασφάλεια, με όλα τα πυρηνικά ηλεκτρονικά χωρίς τροφοδοσία

ρεύματος. Αν και μετά τον έλεγχο ανιχνεύεται σήμα σε τάσεις στην ίδια περιοχή σημαίνει ότι το πρόβλημα δεν έχει λυθεί και ότι ο έλεγχος πρέπει να επαναληφθεί.



Εικ. 4.20 Αριστερά: τροφοδοσία προενισχυτή με γκρι καλώδιο 24 V. Δεξιά: σύνδεση γκρι καλωδίου με τον ενισχυτή.

Ο ενισχυτής ρυθμίστηκε ως εξής:

Χονδρική Ενίσχυση (coarse gain): $\times 100$

Λεπτή ενίσχυση (fine gain): $\times 10$

Διαμόρφωση χρονικού πλάτους παλμού (shaping time): $\times 2\mu\text{s}$

Βρέθηκε ότι με τις ρυθμίσεις αυτές, σε συνδυασμό με την υψηλή τάση που επιλέχθηκε, δεν παρατηρείται Pile-Up. Για την εξήγηση του φαινομένου Pile-Up μπορεί κανείς να δει στο Κεφάλαιο 6 της ΔΕ της Argyrou (2022).

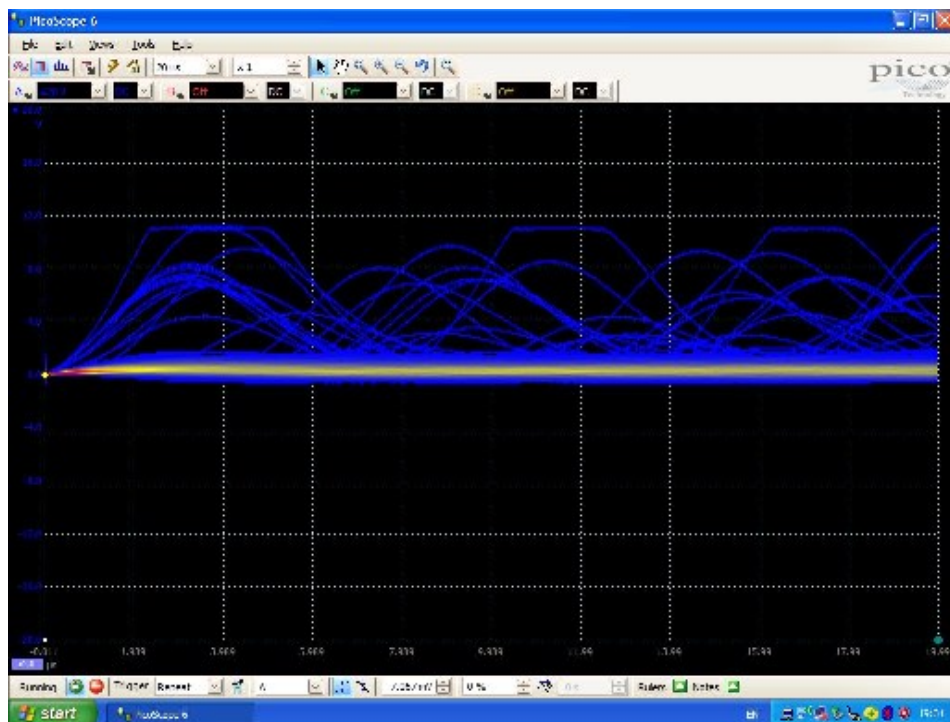
Ο διαχωριστής ρυθμίστηκε ως εξής:

Παράθυρο (window): 10 V

Κατώφλι (Lower level): 3.3 V

Η ρύθμιση του κατωφλίου έγινε σε αυτήν την τιμή, ώστε να αποκλεισθούν από τις μετρήσεις σήματα που οφείλονται στον ηλεκτρονικό θόρυβο της διάταξης. Τα

πειράματα ρύθμισης πραγματοποιήθηκαν χωρίς να υπάρχει καμία πηγή ιοντίζουσας ακτινοβολίας που να προσβάλλει τη διάταξη. Η ρύθμιση κατωφλίου βρέθηκε ότι εξαρτάται πολύ από την χονδρική ενίσχυση. Η χονδρική ενίσχυση $\times 100$ δίνει τη δυνατότητα εύκολης ανίχνευσης του ενισχυμένου θορύβου. Επομένως δίνεται και η δυνατότητα εύκολης ρύθμισης του Lower level στην κατάλληλη τιμή για τον αποκλεισμό του θορύβου. Το ότι υπάρχει θόρυβος στις μετρήσεις διακρίνεται και με τη βοήθεια του παλμογράφου, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 4.21, στην οποία ο θόρυβος είναι η κόκκινη - πορτοκαλί λωρίδα.

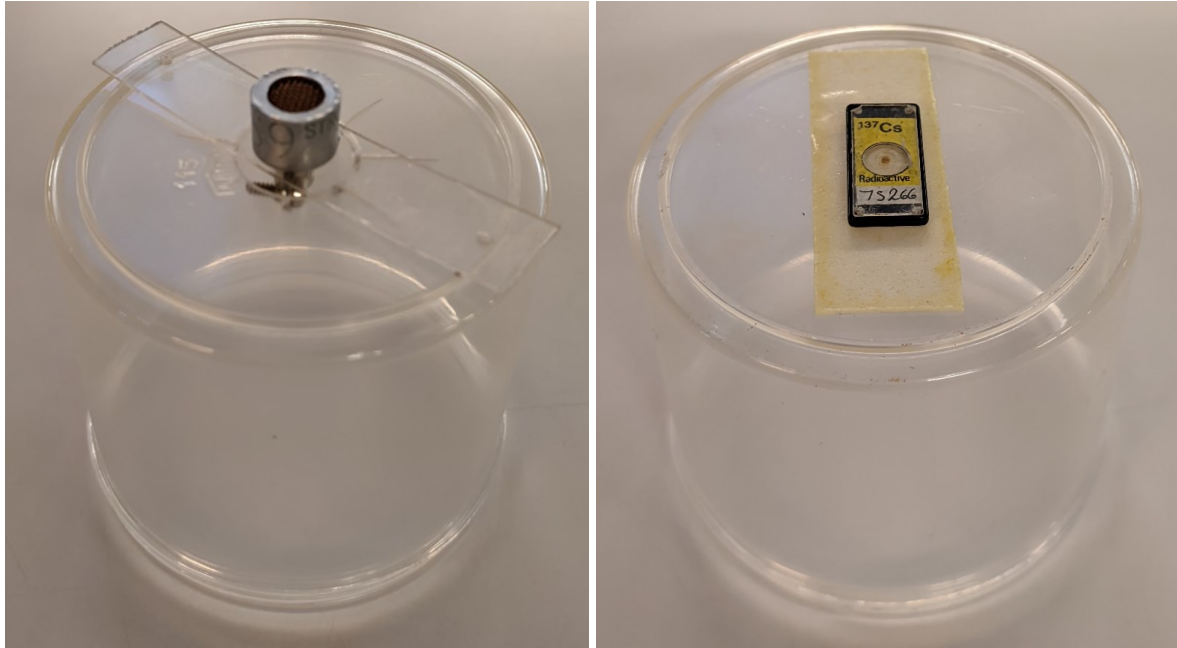


Εικ. 4.21 Παλμοί παραγόμενοι στον πολυεποξικό ανιχνευτή από ιοντίζουσα ακτινοβολία και ηλεκτρονικός θόρυβος διάταξης (κόκκινη - πορτοκαλί λωρίδα)

4.7 Διατάξεις πηγών που μετρήθηκαν

Για να εξασφαλισθούν συγκρίσιμες μετρήσεις ως προς το βαθμό απόδοσης των διαφορετικών πολυεποξικών, επιλέχθηκε, όπως είναι φυσικό σταθερή γεωμετρία πηγής ανιχνευτή, η οποία διακρίνεται στην Εικόνα 4.19. Πιο συγκεκριμένα οι διάφορες πηγές τοποθετήθηκαν στο γεωμετρικό κέντρο της βάσης ενός πλαστικού κυλινδρικού δοχείου ώστε να προσβάλλουν το αλουμινένιο φύλλο που βρίσκεται μπροστά από τον πολυεποξικό ανιχνευτή. Οι πηγές τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να βρίσκονται σχεδόν σε επαφή με το αλουμινένιο φύλλο. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο κυρίως πηγές: (α) μια πηγή Sr-90 που εκπέμπει β σωματίδια με ονομαστική ραδιενέργεια $5 \mu\text{C}$ και κατά προσέγγιση ημερομηνία

αναφοράς 1965. Δηλαδή η σημερινή (2023) ραδιενέργεια της πηγής είναι περίπου 1.25 μC . (β) μία πηγή Cs-137 που εκπέμπει φωτόνια με ονομαστική ραδιενέργεια 10 μC και κατά προσέγγιση ημερομηνία αναφοράς 1980. Δηλαδή η σημερινή ραδιενέργεια της πηγής είναι περίπου 3.7 μC . Στην Εικόνα 4.22 (αριστερά) διακρίνεται η γεωμετρία της πηγής του Sr-90. Στην Εικόνα 4.22 (δεξιά) διακρίνεται η γεωμετρία της πηγής Cs-137.



Εικ. 4.22 Αριστερά: Γεωμετρία πηγής Sr-90, Δεξιά: Γεωμετρία πηγής Cs-137

4.8 Αποτελέσματα μετρήσεων

Οι μετρήσεις για την εύρεση του βαθμού απόδοσης πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του καταμετρητή, ρυθμισμένου να λαμβάνει μετρήσεις διάρκειας 100 s. Ο τρόπος που ρυθμίζεται ο καταμετρητής αναφέρεται στο Κεφάλαιο 6 της ΔΕ Αργυρού (2022). Με βάση τις μετρήσεις αυτές εκτιμήθηκε ο βαθμός απόδοσης των πολυεποξικών ανιχνευτών από ρητίνη S-86 και από υγρό γυαλί DUROSTICK. Για τις μετρήσεις αυτής της διάρκειας και για τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν το υπόστρωμα θεωρείται αμελητέο και δεν υπολογίστηκε. Οι βαθμοί απόδοσης εκτιμήθηκαν ως εξής:

(α) Λήφθηκε μία ομάδα δεκαπέντε μετρήσεων των 100 s

(β) Υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων

(γ) Οι μετρήσεις διαιρέθηκαν με 100 s προκειμένου να υπολογισθούν γεγονότα ανά δευτερόλεπτο.

(δ) Για το βαθμό απόδοσης -β ακτινοβολίας υπολογίσθηκαν τα διαθέσιμα Bq (διασπάσεις ανά δευτερόλεπτο) του Sr-90. Βρέθηκαν ίσα με $R = 46250$.

(ε) Για το βαθμό απόδοσης -γ ακτινοβολίας υπολογίσθηκαν τα διαθέσιμα Bq (διασπάσεις ανά δευτερόλεπτο) του Cs-137. Βρέθηκαν ίσα με $R = 136900$.

(στ) Τόσο η ποσότητα "46250" όσο και η ποσότητα "136900" διαιρέθηκαν με το 2 διότι η ραδιενέργεια αυτή εκπέμπεται σε γεωμετρία 4π ενώ ο ανιχνευτής προσβάλλεται από γεωμετρία 2π.

(ζ) Ο βαθμός απόδοσης εκτιμήθηκε με βάση τη σχέση:

$$Eff(\%) = \frac{\text{αποτέλεσμα βήματος } (\gamma)}{\text{αποτέλεσμα βήματος } (\sigma\tau)} \times 100 \quad (4.3)$$

Τα αποτελέσματα διακρίνονται στον Πίνακα 4.1 (στα αγγλικά) όπως παρουσιάστηκε στο άρθρο Mylonas (2023). Στον Πίνακα φαίνονται και οι αναλογίες των συστατικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίν. 4.1 Αποτελέσματα βαθμού απόδοσης (Eff) για πολυεποξικούς ανιχνευτές όγκου

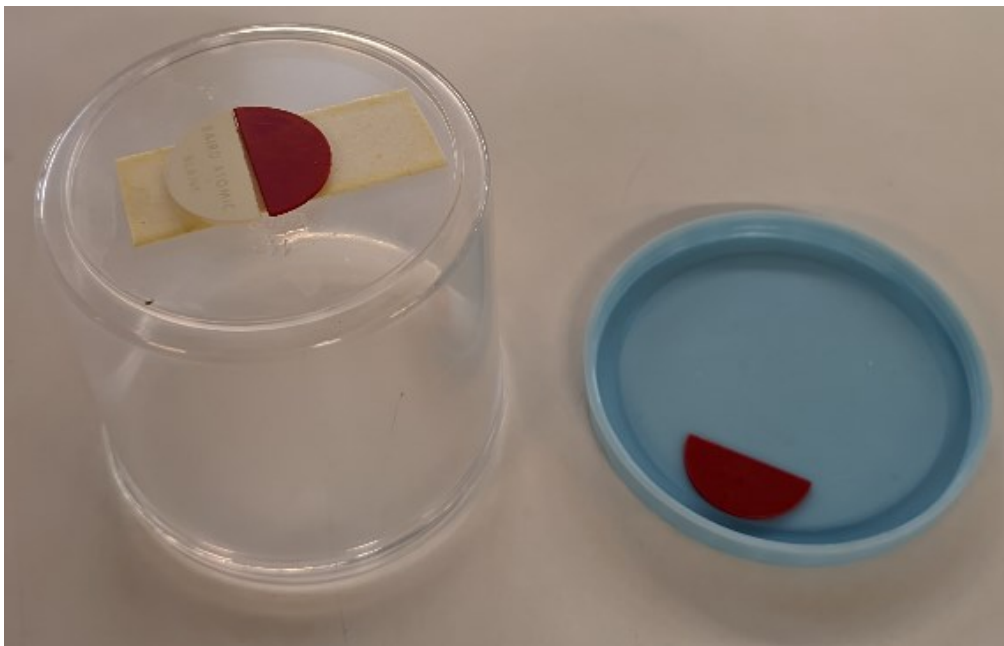
Poly epoxyde	Hardener	Cocktail (InstaFluor)	Fluor: mainly pseudocumene est. ~< 2.5 %wt.	Eff. -β (Sr-90)	Eff. -γ (Cs-137)
30 mL "Flooring epoxy S-86"	20 mL	20 mL	Est. Max. 0.7 %wt.	~10%	0.3%
46 mL "Liquid Glass"	24 mL	20 mL	Est. Max. 0.5 %wt.	~10%	~1%

4.9 Έλεγχος "afterglow"

Ένα σύνηθες πρόβλημα που παρουσιάζεται όταν σε μετρήσεις ιοντιζουσών ακτινοβολιών εμπλέκονται υγροί σπινθηριστές, είναι το "afterglow", όρος που στα ελληνικά μπορεί να αποδοθεί ως μετάλαμψη. Το φαινόμενο αυτό είναι φως που παράγεται λόγω φθορισμού από την ιοντίζουσα ακτινοβολία το οποίο εμφανίζεται σε μεταγενέστερο χρόνο από τη προσβολή του ανιχνευτή (καθυστερημένα). Το φαινόμενο αυτό είναι φυσικά τόσο εντονότερο όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός της προσβάλλουσας ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Προκειμένου να ελεγχθεί αν υπάρχει afterglow για ακτινοβολία φωτονίων χρησιμοποιήθηκε πηγή φωτονίων τύπου RA-DE διαθέσιμη στο Εργαστήριο. Οι πηγές αυτού του τύπου

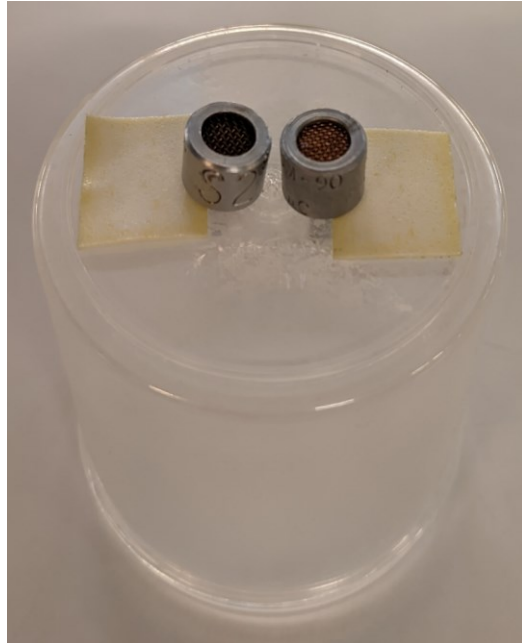
χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση του χρόνου διακρίσεως ανιχνευτών τύπου G-M. Η ραδιενέργεια της πηγής RA-DE είναι άγνωστη γιατί λείπουν τα σχετικά πιστοποιητικά. Μια τέτοια πηγή αποτελείται από έναν (εδώ κόκκινο) δίσκο, στον οποίον υπάρχει ομοιόμορφα καταναμημένα ισότοπο που παράγει φωτόνια. Ο δίσκος αυτός είναι διαιρεμένος κατά μία διάμετρο σε δύο τμήματα ακριβώς ίσου εμβαδού και ακριβώς ίσης ραδιενέργειας. Για τον έλεγχο του afterglow από φωτόνια κατασκευάζεται μια γεωμετρία με πηγή RA-DE όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.23. Στη γεωμετρία αυτή έχει τοποθετηθεί ο μισός δίσκος της RA-DE (κόκκινου χρώματος) και δίπλα του έχει τοποθετηθεί μισός δίσκος (λευκού χρώματος), ο οποίος δεν έχει κανένα ραδιενεργό ισότοπο. Με αυτή τη συγκρότηση λαμβάνονται μετρήσεις από τους πολυεποξικούς ανιχνευτές. Στη συνέχεια αφαιρείται από τη γεωμετρία ο λευκός μισός δίσκος και τοποθετείται ο δεύτερος μισός κόκκινος δίσκος. Με αυτόν τον τρόπο η ραδιενέργεια της συγκρότησης διπλασιάζεται. Το επιθυμητό είναι και οι τιμές των μετρήσεων να διπλασιασθούν. Αν είναι μεγαλύτερες από διπλάσιες τότε υπάρχει afterglow για φωτόνια. Η σχετική δοκιμή πραγματοποιήθηκε και έδειξε ότι δεν προκύπτει διπλασιασμός άρα δεν προκύπτει afterglow για φωτόνια.



Εικ. 4.23 Πηγή RA-DE για τον έλεγχο του afterglow με αιτία τα φωτόνια

Προκειμένου να ελεγχθεί αν υπάρχει afterglow για β ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκαν δύο όμοιες πηγές Sr-90 ραδιενέργειας 0.125 μCi η κάθε μία με έτος αναφοράς το 1963. Για τον έλεγχο του afterglow από β κατασκευάζεται μια γεωμετρία με τις δύο αυτές πηγές όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.24. Η γεωμετρία αυτή χρησιμοποιείται ως εξής: Στη γεωμετρία τοποθετείται μόνο η μία από τις δύο πηγές. Με αυτή τη συγκρότηση λαμβάνονται μετρήσεις

από τους πολυεποξικούς ανιχνευτές. Στη συνέχεια προστίθεται η γεωμετρία η δεύτερη πηγή. Με αυτόν τον τρόπο η ραδιενέργεια της συγκρότησης διπλασιάζεται. Το επιθυμητό είναι και οι τιμές των μετρήσεων να διπλασιασθούν. Αν είναι μεγαλύτερες από διπλάσιες τότε υπάρχει afterglow για β ακτινοβολία. Η σχετική δοκιμή πραγματοποιήθηκε και έδειξε ότι δεν προκύπτει διπλασιασμός άρα δεν προκύπτει afterglow για β ακτινοβολία.



Εικ. 4.24 Δύο όμοιες πηγές Sr-90 για τον έλεγχο του afterglow με αιτία τη β ακτινοβολία

4.10 Έλεγχος φασματοσκοπικής ικανότητας

Δεν αναμένεται οι πλαστικοί σπινθηριστές να παρουσιάζουν φασματοσκοπικές ικανότητες. Τόσο σε ό,τι αφορά στη β ακτινοβολία όσο και στη γ ακτινοβολία οι ανιχνευτές αυτοί θεωρούνται ότι μετρούν ολική β και ολική γ χωρίς να μπορούν να διαχωρίσουν ενεργειακά τα β σωματίδια που τους προσβάλλουν ή τα φωτόνια που τους προσβάλλουν. Όμως, σε αυτή την ΔΕ αποφασίστηκε να ελεγχθεί αν υπάρχει φασματοσκοπική ικανότητα στους πολυεποξικούς ανιχνευτές που δοκιμάστηκαν, διότι υπάρχει φασματοσκοπική ικανότητα χαμηλής διακριτικής ικανότητας στους υγρούς σπινθηριστές που προστέθηκαν στο μίγμα. Εννοείται βεβαίως ότι για τους ανιχνευτές αυτούς μπορεί κάποιος να διαχωρίσει τα β σωματίδια από τα φωτόνια με απλό και γνωστό τρόπο, δηλαδή αν η πηγή που προσβάλλει εκπέμπει β σωματίδια και γ φωτόνια ταυτόχρονα γίνονται δύο μετρήσεις:

(α) μία μέτρηση χωρίς κάποιο εμπόδιο μεταξύ πηγής και ανιχνευτή. Σημειώνεται το αποτέλεσμα.

(β) μία μέτρηση με εμπόδιο μεταξύ πηγής και ανιχνευτή. Το εμπόδιο μπορεί να είναι ένα πλαστικό φύλλο μικρού πάχους ή ένα σφουγγαράκι μικρού πάχους. Σημειώνεται το αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα αυτό αφορά μόνο σε φωτόνια. Τα β σωματίδια δεν φτάνουν στον ανιχνευτή λόγω του εμποδίου. Τα φωτόνια αφαιρούνται από το αποτέλεσμα (α) και δίνουν τα β σωματίδια.

Για τη φασματοσκοπική δοκιμή έπρεπε να βρεθεί στο Εργαστήριο διαθέσιμος πολυκαναλικός αναλυτής. Παρόλο που το εργαστήριο διαθέτει πολλούς τέτοιους, περίπου δέκα, κανένας δεν ήταν άμεσα διαθέσιμος για σκοπούς τέτοιων δοκιμών. Εντοπίστηκαν στο εργαστήριο τρεις ακόμα διαθέσιμοι πολυκαναλικοί αναλυτές σε αργία, διαθέσιμοι για χρήση. Πρόκειται για τους

(i) Έναν πολυκαναλικό αναλυτή, έτους αγοράς 1998, εταιρείας κατασκευής SARAD τύπου Alpha Analyzer όπως διακρίνεται στην Εικόνα 4.25



Εικ. 4.25 Πολυκαναλικός αναλυτής Alpha Analyzer εταιρείας κατασκευής SARAD.

Διακρίνεται το (ασημί) interface παράλληλης θύρας πρωτοκόλλου CAN-BUS.

(ii) Δύο πολυκαναλικούς αναλυτές, έτους αγοράς 1998, εταιρείας κατασκευής SARAD τύπου 50XX, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 4.26.

Αυτοί οι πολυκαναλικοί αναλυτές ήταν στην αποθήκη του Εργαστηρίου για δύο κυρίως λόγους: (1) το διαθέσιμο λογισμικό επικοινωνίας τους με Η/Υ ήταν πολύ παλιό, τεχνολογίας

MS-DOS, (2) αυτό το λογισμικό δεν λειτουργούσε ικανοποιητικά. Ένας επιπλέον λόγος ήταν διότι οι πολυκαναλικοί αναλυτές δεν φόρτιζαν σωστά τον εσωτερικό συσσωρευτή μολύβδου.



Εικ. 4.26 Πολυκαναλικός αναλυτής 50XX εταιρείας κατασκευής SARAD. Διακρίνεται το interface USB θύρας πρωτοκόλλου CAN-BUS.

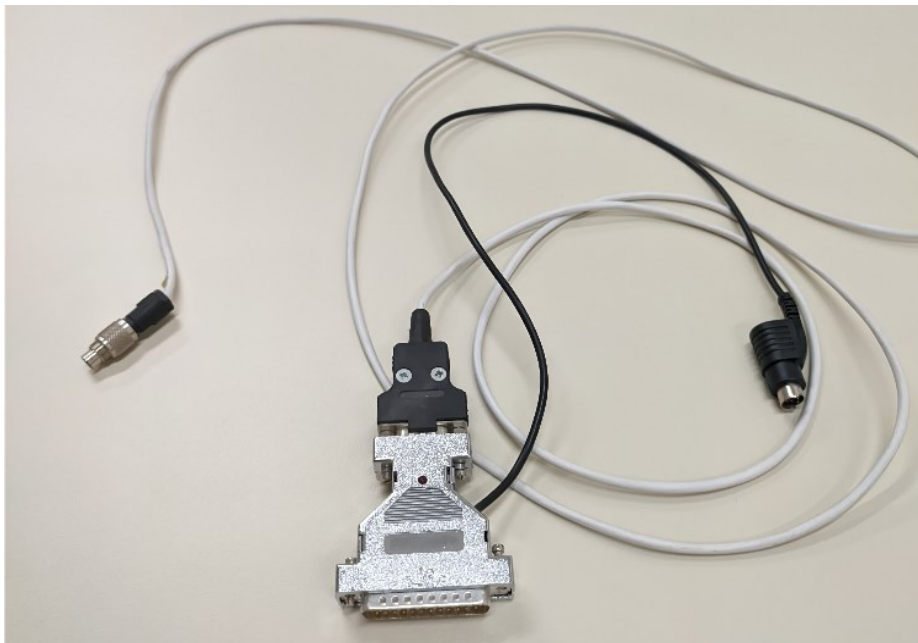
Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν αυτοί οι αναλυτές για τους σκοπούς της ΔΕ, πρώτα αφαιρέθηκαν οι συσσωρευτές για να μην δημιουργούν προβλήματα και την αίσθηση ότι οι αναλυτές μπορούν να δουλέψουν και χωρίς παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Στη συνέχεια ζητήθηκε από την εταιρεία κατασκευής των αναλυτών, την SARAD GmbH της Γερμανίας, να μας παραχωρήσει νεότερο παραθυρικό λογισμικό λειτουργίας, το οποίο να τρέχει σε Λ/Σ MS-WINDOWS-XX (όπου XX>=XP, 32 ή 64 bit). Πράγματι η εταιρεία ανταποκρίθηκε θετικά και άμεσα και παραχώρησε το λογισμικό χωρίς κόστος δεδομένου μάλιστα ότι αυτά τα προϊόντα δεν παράγονται πλέον.

Ακολούθησε δοκιμή του λογισμικού, η οποία δεν οδήγησε σε επικοινωνία διότι οι αναλυτές αυτοί είχαν σχεδιασθεί να επικοινωνούν με Η/Υ μέσω του πρωτοκόλλου CAN-BUS και παράλληλης θύρας. Σημειώνεται ότι το πρωτόκολλο CAN-BUS είναι γνωστό από τη χρήση του στην αυτοκινητοβιομηχανία. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται από τα συνεργεία προκειμένου να αναγνωσθούν δεδομένα λειτουργίας και βλαβών ενός κινητήρα από τον εγκέφαλο του αυτοκινήτου προς τον Η/Υ των μηχανικών. Το interface παράλληλης θύρας του

CAN-BUS των πολυκαναλικών αναλυτών είναι αυτό που διακρίνεται με ασημί χρώμα στην Εικόνα 4.27 καθώς και στο άνω μέρος του πολυκαναλικού αναλυτή Alpha Analyzer στην Εικόνα 4.25. Η αποτυχία της επικοινωνίας οφείλεται στο ότι το λογισμικό ήταν σχεδιασμένο για επικοινωνία CAN BUS - H/Y μέσω USB και όχι μέσω παράλληλης θύρας.

Για να διορθωθεί το πρόβλημα παραγγέλθηκε μέσω της αντιπροσωπείας ΑΦΟΙ ΣΕΛΙΔΗ ΑΝΤΙΣΣΕΛ ΑΕ νέο interface CAN-BUS τύπου USB από την εταιρεία PEAK-System Technik GmbH Γερμανίας που κατασκεύασε και το interface CAN-BUS παράλληλης θύρας. Το interface αυτό διακρίνεται στο άνω μέρος της Εικόνας 4.26. Με την έγκαιρη αποστολή και απόκτηση αυτού του interface επιτεύχθηκε ικανοποιητική επικοινωνία. Η επικοινωνία αυτή δεν είναι πλήρης διότι δεν επιτρέπει την αύξηση ή την μείωση του πλήθους των διαύλων των πολυκαναλικών αναλυτών, το πλήθος των διαύλων παραμένει σταθερό στους 256. Επίσης δεν υπάρχει δυνατότητα να διαγραφεί ένα φάσμα από τον πολυκαναλικό αναλυτή με εντολή του λογισμικού. Για να διαγραφεί ένα φάσμα πρέπει ο πολυκαναλικός αναλυτής να σταματήσει να τροφοδοτείται από τάση, πράγμα που εξασφαλίζεται με ένα διακόπτη, δεδομένου ότι δεν υπάρχει πλέον συσσωρευτής που θα εμπόδιζε αυτή τη διαδικασία παρέχοντας ρεύμα συνεχώς. Για τα θέματα αυτά το Εργαστήριο επικοινωνήθηκε με την εταιρεία SARAD και έλαβε την υπόσχεση ότι σε δεύτερο κατάλληλο χρόνο θα φροντίσει να παρέχει νεότερο λογισμικό που να λύνει αυτά τα προβλήματα.



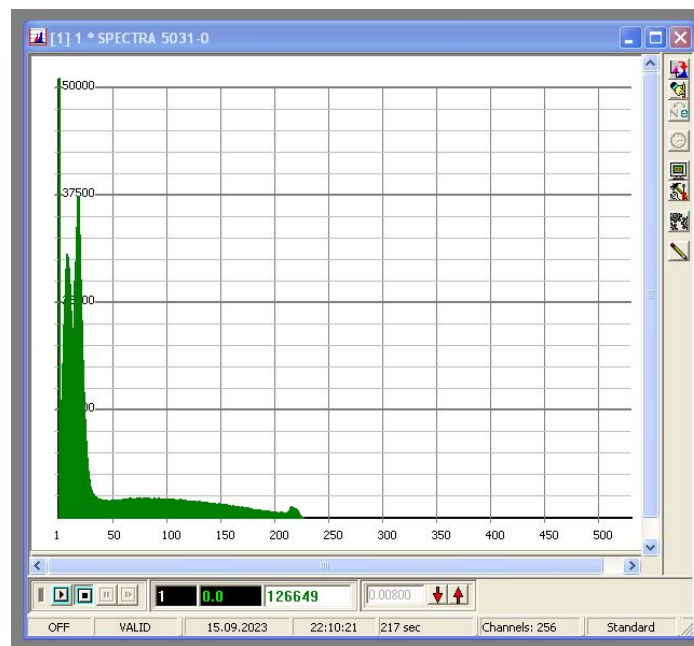
Εικ. 4.27 Το (ασημί) interface παράλληλης θύρας πρωτοκόλλου CAN-BUS

Για τον έλεγχο της φασματοσκοπικής απόδοσης των πολυεποξικών ανιχνευτών χρησιμοποιήθηκε ένας από τους πολυκαναλικούς αναλυτές τύπου 50XX. Η χρήση του

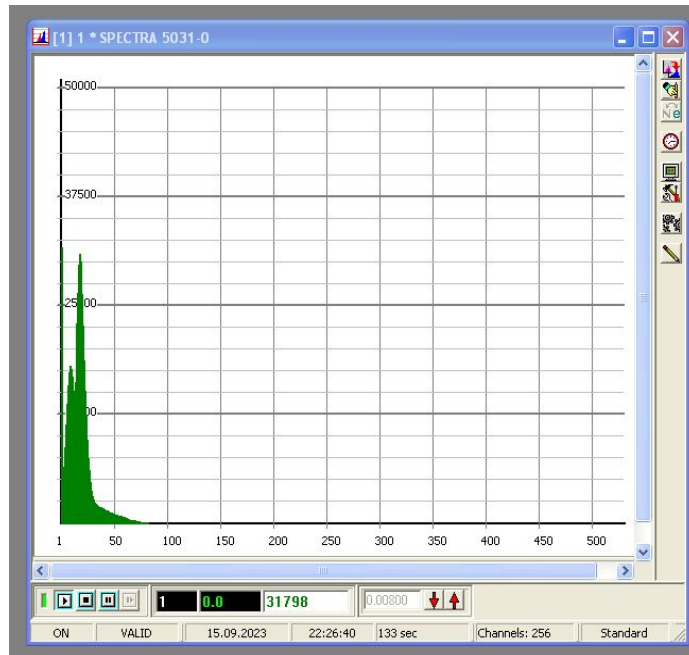
πολυκαναλικού αναλυτή με το λογισμικό που παραχωρήθηκε από την εταιρεία SARAD είναι σχετικά εύκολη για όσους έχουν κατάλληλη εμπειρία από χρήση πολυκαναλικών αναλυτών. Όμως επειδή αυτό δεν είναι δεδομένο στο τέλος της ΔΕ δίνεται ένα Παράρτημα, στο οποίο υπάρχουν οι βασικές οδηγίες. Για τη σύνδεση του πολυκαναλικού αναλυτή με τη διάταξη μετρήσεων χρησιμοποιείται καλώδιο BNC, το οποίο οδηγεί το σήμα του ενισχυτή από την έξοδο AMP-OUT στην είσοδο του πολυκαναλικού αναλυτή, η οποία είναι ένα κουτί με είσοδο BNC που διακρίνεται στην Εικόνα 4.25 αλλά και στην Εικόνα 4.26 σε πίσω όψη πάνω στον πολυκαναλικό αναλυτή. Στο κουτί αυτό γίνεται και αναλογικός υποβιβασμός της τάσης του σήματος του ενισχυτή από 0-10V σε 0-2V, γιατί ο πολυκαναλικός αναλυτής έχει μικρότερο εύρος τάσεων εισόδου.

4.11 Αποτελέσματα φασματοσκοπικής ικανότητας

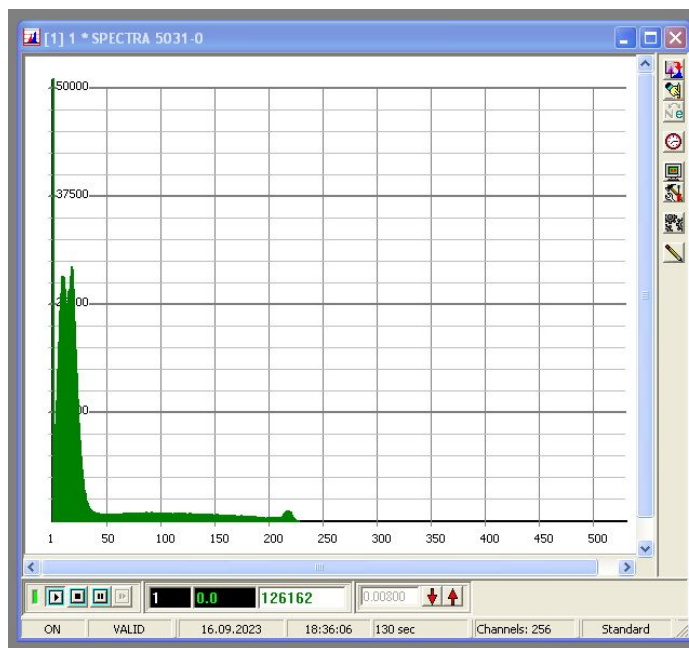
Τα αποτελέσματα της χρήσης του πολυκαναλικού αναλυτή διακρίνονται στις επόμενες Εικόνες 4.28 έως 4.31 για β και γ ακτινοβολία.



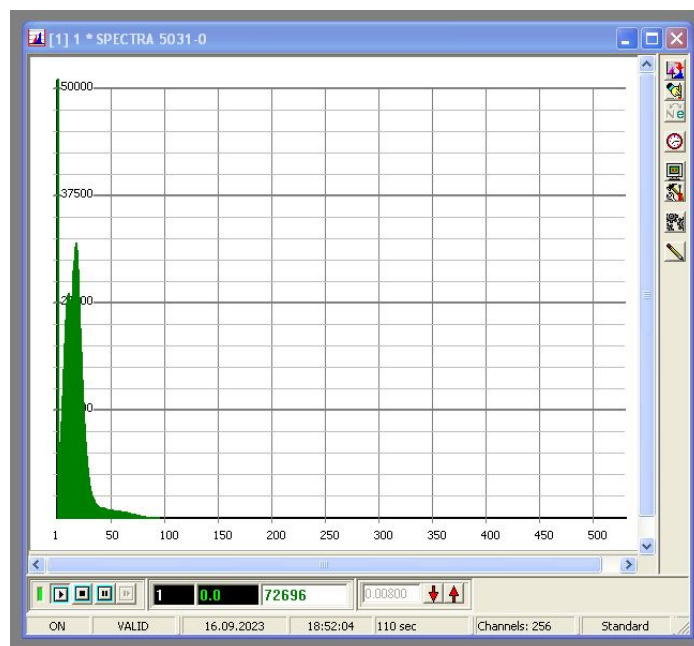
Εικ. 4.28 Φάσμα β ακτινοβολίας (Sr-90), ανιχνευτής πολυεποξικό S-86



Εικ. 4.29 Φάσμα - γ ακτινοβολίας (Cs-137), ανιχνευτής πολυεποξικό S-86



Εικ. 4.30 Φάσμα - β ακτινοβολίας (Sr-90), ανιχνευτής πολυεποξικό υγρό γυαλί DUROSTICK



Εικ. 4.31 Φάσμα γ ακτινοβολίας (Cs-137), ανιχνευτής πολυεποξικό υγρό γυαλί DUROSTICK

Τα αποτελέσματα για τη φασματοσκοπική ικανότητα επιβεβαίωσαν προηγούμενη γνώση ότι οι πλαστικοί σπινθηριστές δεν είναι ικανοί για φασματοσκοπική ανάλυση. Επομένως είναι κατάλληλοι, όπως ήδη αναφέρθηκε για μετρήσεις ολικής β και ολικής γ ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σαφές, σε ότι αφορά σε γ ακτινοβολία (Εικόνες 4.29 και 4.31). Παρόλα αυτά, σε ό,τι αφορά σε β ακτινοβολία (Εικόνες 4.28 και 4.30), υπάρχουν κάποιες ενδείξεις, στο δεξί άκρο του φάσματος, στις μεγάλες δηλαδή ενέργειες, ότι εκεί υπάρχει αποτύπωση β κορυφής λόγω του Sr-90. Η παρατήρηση αυτή πρέπει να διερευνηθεί κατάλληλα σε επόμενη φάση, όπου, για παράδειγμα ο υγρός σπινθηριστής InstaFluor θα αντικατασταθεί με άλλον άλλου τύπου ή όπου ο υγρός σπινθηριστής θα αντικατασταθεί μόνο με φθοριστή.

4.12 Σχόλια και συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια αυτής της πρώτης πειραματικής διερεύνησης, όπως εξετάστηκε στο Κεφάλαιο 4, προέκυψε ότι επαληθεύτηκε με τον αναμενόμενο τρόπο, αυτό που η βιβλιογραφία προβλέπει για τις ανιχνευτικές ικανότητες τέτοιων πολυεποξικών (βλ. Κεφάλαιο 2). Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με ποσότητες υγρού σπινθηριστή, οι οποίες οδήγησαν σε κατά μάζα ποσοστό του φθοριστή μικρότερο από 1%. Επιπλέον, η απόδοση των ανιχνευτών βρέθηκε υπολογίσιμη αλλά χαμηλή, δεδομένου ότι το φως που παράγεται στην εξωτερική επιφάνεια του ανιχνευτή πιθανόν απορροφάται μέχρι να φθάσει στην φωτοκάθοδο

του φωτοπολλαπλασιαστή. Στο επόμενο Κεφάλαιο 5 θα εξετασθούν ανιχνευτές από ίδια ή παρόμοια υλικά παρόμοιας διαμέτρου αλλά πολύ μικρότερου πάχους στην περιοχή των 3-4 mm. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία εκτιμάται ότι η απόδοση θα είναι παρόμοια. Το επιπλέον πάχος δεν φαίνεται να προσθέτει απόδοση. Θα επιδιωχθεί οι ανιχνευτές που θα εξετασθούν να αναμειχθούν με περισσότερο υγρό σπινθηριστή έτσι ώστε να αυξηθεί, αν είναι δυνατό, το ποσοστό του φθοριστή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΛΑΣΤΙΚΟΙ ΣΠΙΝΘΗΡΙΣΤΕΣ ΩΣ ΔΙΣΚΟΙ ΜΙΚΡΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΠΟΛΥΕΠΟΞΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

5.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται ο τρόπος, με τον οποίο κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν στο ΕΠΤ-ΕΜΠ, στα πλαίσια της ΔΕ τρεις πλαστικοί σπινθηριστές δίσκοι μικρού πάχους με βάση τρία διαφορετικά πολυεποξικά. Το πρώτο πολυεποξικό είναι το S-86 της εταιρείας κατασκευής ERLAC, το οποίο διατίθεται στην ελληνική αγορά. Το δεύτερο πολυεποξικό είναι υγρό γυαλί της εταιρείας κατασκευής DUROSTICK. Το τρίτο πολυεποξικό είναι ρητίνη τρισδιάστατης εκτύπωσης της εταιρείας κατασκευής ANYCUBIC. Η ρητίνη αυτή σκληραίνει με έκθεσή της σε φως UV. Προκειμένου τα πολυεποξικά να αποκτήσουν τις επιθυμητές ιδιότητες του φθορισμού αναμείχθηκαν με υγρό σπινθηριστή σε σημαντική αναλογία. Μετά τη σκλήρυνση οι τρεις δίσκοι που προέκυψαν εκτέθηκαν σε UV φως και ανταποκρίθηκαν εκπέμποντας ιώδες πράγμα που έδειξε ότι έχουν ιδιότητες φθορισμού και πιθανότατα ιδιότητες φθορισμού όταν προσβάλλονται από ιοντίζουσα ακτινοβολία. Για να επιβεβαιωθεί και αυτό χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη του Κεφαλαίου 4. Τα αποτελέσματα υπήρξαν ενθαρρυντικά προς αυτή την κατεύθυνση. Στις επόμενες ενότητες ακολουθούν περισσότερες λεπτομέρειες.

5.2 Πλαστικός σπινθηριστής μικρού πάχους με εποξικό S-86

Για τη χύτευση του αναγκαίου μείγματος χρησιμοποιήθηκε το καλούπι σιλικόνης κυλινδρικού σχήματος που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4. Για την ανάμιξη των συστατικών στη σωστή αναλογία και επειδή επιδιώχθηκε το τελικό αποτέλεσμα να είναι μικρού πάχους δεν χρησιμοποιήθηκαν δοσιμετρικά δοχεία αλλά ζύγιση στον εργαστηριακό ζυγό που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4. Οι αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: πολυμερής ρητίνη 3.3 mL + σκληρυντής 1.6 mL + υγρός σπινθηριστής 2.3 mL. Σημειώνεται ότι ο σκληρυντής που χρησιμοποιήθηκε δεν παραβιάζει την αναλογία πολυμερούς:σκληρυντή 2:1, διότι από βρέθηκε ότι με αυτή την αναλογία 2:1 το πολυεποξικό αποτέλεσμα για μικρό πάχος προκύπτει ικανοποιητικά στερεό. Οι τελικές διαστάσεις του δίσκου ήταν διάμετρος ~ 35 mm και πάχος περίπου 3 - 4 mm.

Ο υγρός σπινθηριστής που χρησιμοποιήθηκε ήταν εταιρείας κατασκευής PERKIN - ELMER τύπου Ultima Gold AB. Αυτός ο υγρός σπινθηριστής βασίζεται στον φθοριστή που

ονομάζεται PPO. Η κατασκευάστρια εταιρεία δεν αποκαλύπτει φυσικά πόσος φθοριστής υπάρχει μέσα σε αυτόν τον σπινθηριστή. Από απόσπασμα του εμπορικού φυλλαδίου του σπινθηριστή, βλ. Εικόνα 5.1, παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό του φθοριστή είναι μέχρι 2.5% κ.β. Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός όγκος του πολυεποξικού που κατασκευάστηκε με αυτόν τον τρόπο πιθανό να έχει μέχρι και 0.8% κ.β. φθοριστή.

Trade name: Ultima Gold AB

(Contd. of page 2)		
CAS: 9016-45-9 NLP: 500-024-6	Alkylphenol Polyglycoether ----- ⚠ Aquatic Chronic 2, H411 ⚠ Skin Irrit. 2, H315; Eye Irrit. 2, H319	2.5-10%
CAS: 9016-45-9 Polymer	Alkylphenol polyglycoether ----- ⚠ Eye Dam. 1, H318 ⚠ Acute Tox. 4, H302 Aquatic Chronic 3, H412	2.5-10%
CAS: 68412-53-3 EINECS: 231-633-2	Nonylphenyl (branched) polyoxyethylene ether phosphate ----- ⚠ Eye Dam. 1, H318 ⚠ Aquatic Chronic 2, H411 ⚠ Skin Irrit. 2, H315	0-2.5%
- Non-dangerous components		
CAS: 92-71-7 EINECS: 202-181-3	2,5-Diphenyloxazole (PPO)	0-2.5%
CAS: 13280-61-0 EINECS: 236-285-5	1,4-Bis-(2-methylstyryl)-benzene (bis-MSB)	0-2.5%
- Additional information: For the wording of the listed hazard phrases refer to section 16.		

Εικ. 5.1 Σύνθεση υγρού σπινθηριστή Ultima Gold AB: Άνω γραμμή (non-dangerous components), φθοριστής PPO έως 2.5%, Κάτω γραμμή, φθοριστής pseudocumene έως 2.5% Αυτή η τιμή δεν είναι υψηλή. Από την άλλη, δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που έχει δοκιμασθεί στις ερασιτεχνικές δοκιμές για παρόμοιους πλαστικούς σπινθηριστές που έχουν παρουσιασθεί στο διαδίκτυο και για τις οποίες έχει γίνει αναφορά στο Κεφάλαιο 2. Επίσης δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που δοκιμάστηκε στο Κεφάλαιο 4 ούτε από το ποσοστό φθοριστή, το οποίο υπάρχει σε δείγματα που μετρώνται με τη μέθοδο του υγρού σπινθηρισμού.

Το πολυεποξικό που κατασκευάστηκε με αυτές τις αναλογίες προέκυψε ικανοποιητικά διαφανές/διαφώτιστο, παρόλη τη χρήση του συστατικού υγρού σπινθηριστή. Το πολυεποξικό αφέθηκε να σκληρυνθεί για το τυπικό διάστημα των 48 h. Στη συνέχεια εκτέθηκε σε UV φως με τον λαμπτήρα που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3. Από την έκθεση φάνηκε ότι ο πλαστικός σπινθηριστής εκπέμπει ιώδες φως, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 5.2. Αυτό είναι πρόκριμα

ότι το πολυεποξικό αποτέλεσμα πιθανόν και να λειτουργεί ως πλαστικός σπινθηριστής. Ο έλεγχος αυτής της ιδιότητας θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα. Υπάρχει πιθανότητα το πολυεποξικό που παράγεται να παρουσιάζει μετά τη στερεοποίηση "ιδρώτα" από κολλώδες οργανικό ρευστό. Αυτό, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, είναι ένα σύνηθες φαινόμενο, ιδιαίτερα όταν οι αναλογίες των συστατικών δεν είναι οι προτεινόμενες. Στην περίπτωση αυτή, το πολυεποξικό μπορεί να ξεπλένεται από το ρευστό με έναν όσο το δυνατό λιγότερο επιθετικό διαλύτη, π.χ. οινόπνευμα (αιθανόλη) ή ισοπροπυλική αλκοόλη.

5.3 Πλαστικός σπινθηριστής με υγρό γυαλί DUROSTICK

Για τη χύτευση του αναγκαίου μείγματος χρησιμοποιήθηκε και εδώ ίδιο καλούπι σιλικόνης. Για την ανάμειξη των συστατικών στη σωστή αναλογία και επειδή επιδιώχθηκε το τελικό αποτέλεσμα να είναι μικρού πάχους δεν χρησιμοποιήθηκαν ούτε εδώ δοσιμετρικά δοχεία αλλά ζύγιση στον εργαστηριακό ζυγό. Οι αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: πολυμερής ρητίνη 3.3 mL + σκληρυντής 1.6 mL + υγρός σπινθηριστής 2.3 mL. Σημειώνεται ότι ο σκληρυντής που χρησιμοποιήθηκε δεν παραβιάζει την αναλογία πολυμερούς:σκληρυντή 2:1, διότι από τις δοκιμές στο Κεφάλαιο 3 βρέθηκε ότι με αυτή την αναλογία 2:1 το πολυεποξικό αποτέλεσμα προκύπτει ικανοποιητικά στερεό. Οι τελικές διαστάσεις του δίσκου ήταν διάμετρος ~ 35 mm και πάχος περίπου 3 - 4 mm.

Ο υγρός σπινθηριστής που χρησιμοποιήθηκε ήταν ομοίως με προηγούμενα ο τύπου Ultima Gold AB. Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός όγκος του πολυεποξικού που κατασκευάστηκε με αυτόν τον τρόπο πιθανό να έχει μέχρι και 0.8% κ.β. φθοριστή. Αυτή η τιμή δεν είναι υψηλή. Από την άλλη, δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που έχει δοκιμασθεί στις ερασιτεχνικές δοκιμές για παρόμοιους πλαστικούς σπινθηριστές που έχουν παρουσιασθεί στο διαδίκτυο και για τις οποίες έχει γίνει αναφορά στο Κεφάλαιο 2. Επίσης δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που δοκιμάστηκε στο Κεφάλαιο 4 ούτε από το ποσοστό φθοριστή, το οποίο υπάρχει σε δείγματα που μετρώνται με τη μέθοδο του υγρού σπινθηρισμού.

Το πολυεποξικό που κατασκευάστηκε με αυτές τις αναλογίες προέκυψε και τώρα ικανοποιητικά διαφανές/διαφώτιστο, παρόλη τη χρήση του συστατικού υγρού σπινθηριστή. Το πολυεποξικό αφέθηκε να σκληρυνθεί για το τυπικό διάστημα των 48 h. Στη συνέχεια εκτέθηκε σε UV φως με τον λαμπτήρα που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3. Από την έκθεση φάνηκε ότι ο πλαστικός σπινθηριστής εκπέμπει ιώδες φως, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 5.2. Αυτό είναι πρόκριμα ότι το πολυεποξικό αποτέλεσμα πιθανόν και να λειτουργεί ως

πλαστικός σπινθηριστής. Ο έλεγχος αυτής της ιδιότητας θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα. Υπάρχει και εδώ η πιθανότητα το πολυεποξικό που παράγεται να παρουσιάζει μετά τη στερεοποίηση "ιδρώτα" από κολλώδες οργανικό ρευστό. Ο τρόπος απαλλαγής από αυτό το ρευστό αναλύθηκε ήδη.

5.4 Πλαστικός σπινθηριστής με ρητίνη ANYCUBIC

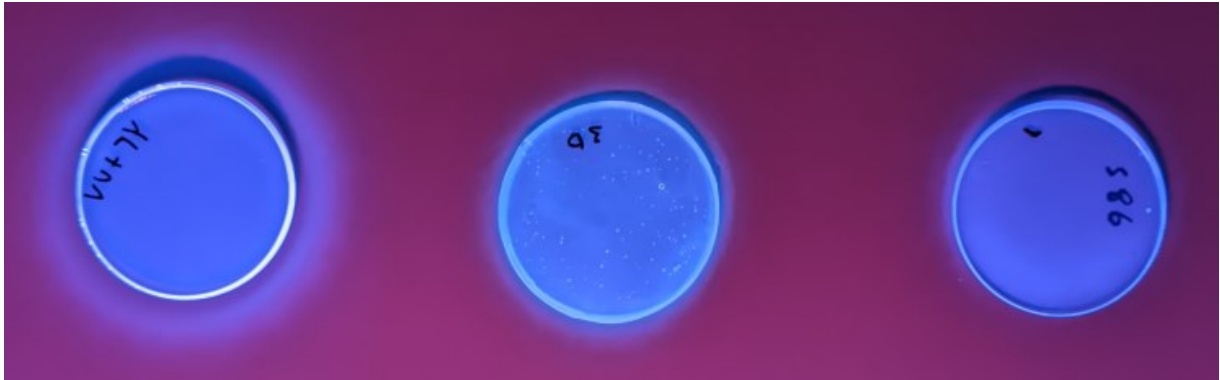
Χρησιμοποιήθηκε διαφανής (clear) ρητίνη της εταιρείας κατασκευής ANYCUBIC τύπου High Clear Resin κατάλληλη για τρισδιάστατη εκτύπωση τεχνολογίας SLA ή DLP. Η ρητίνη αυτή διακρίνεται στην Εικόνα 5.3. Η σκλήρυνση της ρητίνης γίνεται με έκθεσή της σε φως UV μήκους κύματος 365 - 405 nm.

Για τη χύτευση του αναγκαίου μείγματος χρησιμοποιήθηκε και εδώ ίδιο καλούπι σιλικόνης. Για την ανάμειξη των συστατικών στη σωστή αναλογία και επειδή επιδιώχθηκε το τελικό αποτέλεσμα να είναι μικρού πάχους δεν χρησιμοποιήθηκαν ούτε εδώ δοσιμετρικά δοχεία αλλά ζύγιση στον εργαστηριακό ζυγό. Οι αναλογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: πολυμερής ρητίνη 4.7 mL + υγρός σπινθηριστής 2.3 mL. Οι τελικές διαστάσεις του δίσκου ήταν διάμετρος ~ 35 mm και πάχος περίπου 3 - 4 mm.

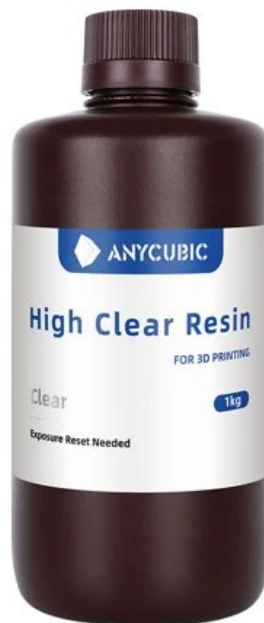
Ο υγρός σπινθηριστής που χρησιμοποιήθηκε ήταν ομοίως με προηγούμενα ο τύπου Ultima Gold AB. Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός όγκος του πολυεποξικού που κατασκευάστηκε με αυτόν τον τρόπο πιθανό να έχει μέχρι και 0.8% κ.β. φθοριστή. Αυτή η τιμή δεν είναι υψηλή. Από την άλλη, δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που έχει δοκιμασθεί στις ερασιτεχνικές δοκιμές για παρόμοιους πλαστικούς σπινθηριστές που έχουν παρουσιασθεί στο διαδίκτυο και για τις οποίες έχει γίνει αναφορά στο Κεφάλαιο 2. Επίσης δεν απέχει σημαντικά από το ποσοστό φθοριστή που δοκιμάστηκε στο Κεφάλαιο 4 ούτε από το ποσοστό φθοριστή, το οποίο υπάρχει σε δείγματα που μετρώνται με τη μέθοδο του υγρού σπινθηρισμού.

Το πολυεποξικό που κατασκευάστηκε με αυτές τις αναλογίες προέκυψε και τώρα ικανοποιητικά διαφανές/διαφώτιστο, παρόλη τη χρήση του συστατικού υγρού σπινθηριστή. Παρατηρήθηκε όμως μια κιτρινωπή απόχρωση. Το πολυεποξικό σκληρύνθηκε με φωτισμό UV με τον λαμπτήρα που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3. Η ονομαστική ηλεκτρική ισχύς που καταναλώθηκε για την σκλήρυνση υπολογίστηκε σε 1 kJg^{-1} . Από την ισχύ χρησιμοποιήθηκε για σκλήρυνση μόνο ένα μικρό μέρος διότι δεν αφαιρέθηκαν απώλειες στη μετατροπή ηλεκτρισμού σε φως ή άλλες.

Από την έκθεση φάνηκε ότι και αυτός ο πλαστικός σπινθηριστής εκπέμπει ιώδες φως, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 5.2. Αυτό είναι και πάλι πρόκριμα ότι το πολυεποξικό αποτέλεσμα πιθανόν και να λειτουργεί ως πλαστικός σπινθηριστής. Ο έλεγχος αυτής της ιδιότητας θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα. Υπάρχει και εδώ η πιθανότητα το πολυεποξικό που παράγεται να παρουσιάζει μετά τη στερεοποίηση "ιδρώτα" από κολλώδες οργανικό ρευστό. Ο τρόπος απαλλαγής από αυτό το ρευστό αναλύθηκε ήδη.



Εικ. 5.2 Πλαστικοί σπινθηριστές μικρού πάχους από πολυεποξικά.
Κάτω από UV φθορίζουν απαντώντας με ιώδες φως



Εικ. 5.3 Διαφανής ρητίνη τρισδιάστατης εκτύπωσης της ANYCUBIC

5.5 Οπτική πυκνότητα πολυεποξικών δίσκων

Για τα πολυεποξικά που κατασκευάστηκαν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις οπτικής πυκνότητας όπως έγινε και στο Κεφάλαιο 4. Προέκυψε οπτική πυκνότητα ίση με $D \approx 0$. Το πρόχειρο συμπέρασμα που προκύπτει σύμφωνα με την απλή αυτή και προσεγγιστική τεχνική

είναι ότι για το μήκος κύματος της πηγής φωτός που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή οπτικής πυκνότητας δεν υπάρχει στους τρεις αυτούς δίσκους μικρού πάχους ανιχνευόμενη οπτική σβέση, πράγμα που είναι ενθαρρυντικό αποτέλεσμα.

5.6 Ανιχνευτική διάταξη με φωτοπολλαπλασιαστή

Το συνολικό μήκος της διάταξης πολλαπλασιαστή και πολυεποξικού ανιχνευτή μορφής δίσκου μικρού πάχους προκύπτει ~22 cm. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται και η σύνδεσή τους είναι όπως περιγράφεται στη Διπλωματική Εργασία της Αργυρου (2022). Για να λειτουργεί ορθά η διάταξη αυτή πρέπει να μην προσβάλλεται από εξωτερικό ορατό φως ή άλλο φως που δεν οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις ιοντίζουσας ακτινοβολίας με τον πολυεποξικό ανιχνευτή σε καμία περίπτωση, επομένως πρέπει να γίνει φωτοστεγανή. Για το σκοπό αυτό συγκροτήθηκε φωτοστεγανή κυλινδρική θήκη, στην οποία τοποθετήθηκε η διάταξη με κατάλληλο τρόπο που εξηγείται στη συνέχεια. Το κύριο τμήμα της θήκης αποτελεί ένας σωλήνας PVC (αποχέτευσης) ονομαστικής εξωτερικής διαμέτρου 63 mm και μήκους ~17.5 cm, παρόμοια όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.10. Το μήκος αυτό βρέθηκε κατάλληλο μετά από δοκιμές σε συνδυασμό και με τα υπόλοιπα απαραίτητα μέρη, όπως περιγράφονται παρακάτω. Από το αριστερό άνοιγμα του σωλήνα εισέρχεται στην φωτοστεγανή θήκη ο πολυεποξικός δίσκος όπως στην Εικόνα 5.4. Η διάμετρος του πολυεποξικού ανιχνευτή υπολείπεται λίγο από την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα PVC.

Για να εξασφαλισθεί ότι το φως που παράγει ο ανιχνευτής και οδεύει προς τα τοιχώματα του σωλήνα, δεν θα χαθεί, ο σωλήνας στο σημείο αυτό καλύφθηκε εσωτερικά με ανακλαστική ταινία αλουμινίου παρόμοια όπως στην Εικόνα 4.12. Στην τελική του θέση το δεξί χείλος του σωλήνα PVC έρχεται σε επαφή με το μαύρο παρέμβυσμα από λάστιχο που διακρίνεται παρόμοια όπως στην Εικόνα 4.9. Το παρέμβυσμα έχει διαστάσεις $\text{Ø}55 \times \text{Ø}45 \times 2$ mm και χρησιμεύει για την διασφάλιση φωτοστεγανότητας με τη λευκή μούφα PVC $\text{Ø}63$ που επίσης διακρίνεται παρόμοια όπως στην Εικόνα 4.9. Για το σκοπό αυτό χρειάστηκε να δοθεί στο δεξί χείλος του σωλήνα PVC της Εικόνας 4.10 μια κωνικότητα παρόμοια όπως στην Εικόνα 4.13.



Εικ. 5.4 Τοποθέτηση πολυεποξικού ανιχνευτή μορφής δίσκου μικρού πάχους στο αριστερό άνοιγμα του σωλήνα PVC

Ο ρόλος της μαύρης ταινίας συσκευασίας που έχει τοποθετηθεί γύρω από τα άκρα του σωλήνα PVC είναι, όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 4, να βοηθήσει στη διασφάλιση της φωτοστεγανότητας κατά την τελική συγκρότηση του ανιχνευτικού συστήματος. Όταν ο πολυεποξικός ανιχνευτής βρεθεί στην τελική του θέση σταθεροποιείται εκεί με μία μούφα PVC Ø63 mm (όπως στην Εικόνα 4.14 και στην αντίστοιχη ενότητα του Κεφαλαίου 4)

Όταν το σύστημα φωτοπολλαπλασιαστή - διαιρέτη τάσης - προενισχυτή βρεθεί στην τελική του θέση, δηλαδή όταν η βάση του φωτοπολλαπλασιαστή έρθει σε επαφή με την πίσω βάση του πολυεποξικού ανιχνευτή τύπου δίσκου μικρού πάχους, τότε το σύστημα σταθεροποιείται με μία λευκή μούφα PVC Ø63 mm (βλ. όπως στην Εικόνα 4.18).

5.7 Ρυθμίσεις για μετρήσεις

Στην Εικόνα 4.19 διακρίνονται τα πυρηνικά ηλεκτρονικά όπως χρησιμοποιήθηκαν για τις πειραματικές μετρήσεις. Το πώς συνδέονται τα υπόψη πυρηνικά ηλεκτρονικά με τον προενισχυτή του ανιχνευτικού συστήματος και ο ρόλος που παίζει κάθε τέτοια μονάδα έχει ήδη περιγραφεί στη ΔΕ Αργυρού (2022). Οι σχετικές ρυθμίσεις για μετρήσεις δίνονται στο Κεφάλαιο 4. Για να εξασφαλισθούν συγκρίσιμες μετρήσεις ως προς το βαθμό απόδοσης των διαφορετικών πολυεποξικών δίσκων, επιλέχθηκε, όπως είναι φυσικό σταθερή γεωμετρία πηγής ανιχνευτή, η οποία διακρίνεται στην Εικόνα 4.19. Πιο συγκεκριμένα οι διάφορες πηγές

τοποθετήθηκαν στο γεωμετρικό κέντρο της βάσης ενός πλαστικού κυλινδρικού δοχείου ώστε να προσβάλουν το αλουμινένιο φύλλο που βρίσκεται μπροστά από τον πολυεποξικό ανιχνευτή. Οι πηγές τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να βρίσκονται σχεδόν σε επαφή με το αλουμινένιο φύλλο. Περισσότερες λεπτομέρειες για τις πηγές αυτές έχουν ήδη δοθεί στο Κεφάλαιο 4.

5.8 Αποτελέσματα μετρήσεων

Οι μετρήσεις για την εύρεση του βαθμού απόδοσης πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του καταμετρητή, ρυθμισμένου να λαμβάνει μετρήσεις διάρκειας 100 s. Ο τρόπος που ρυθμίζεται ο καταμετρητής αναφέρεται στο Κεφάλαιο 6 της ΔΕ Αργυρού (2022). Με βάση τις μετρήσεις αυτές εκτιμήθηκε ο βαθμός απόδοσης των τριών πολυεποξικών ανιχνευτών τύπου δίσκου μικρού πάχους. Για τις μετρήσεις αυτής της διάρκειας και για τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν το υπόστρωμα θεωρείται αμελητέο και δεν υπολογίσθηκε. Οι βαθμοί απόδοσης εκτιμήθηκαν όπως ακριβώς στο Κεφάλαιο 4.

Τα αποτελέσματα διακρίνονται στον Πίνακα 5.1 (στα αγγλικά) όπως παρουσιάσθηκε στο άρθρο Mylonas (2023). Στον Πίνακα φαίνονται και οι αναλογίες των συστατικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίν. 5.1 Αποτελέσματα βαθμού απόδοσης (Eff) για πολυεποξικούς ανιχνευτές τύπου δίσκου μικρού πάχους

Poly epoxyde	Hardener	Cocktail (Ultima Gold AB)	Fluor: mainly PPO est. < 2.5 %wt.	Eff. -β (Sr-90)	Eff. -γ (Cs-137)
3.3 mL "Flooring epoxy"	1.6 mL	2.3 mL	Est. Max. 0.8 %wt.	~11%	~0.5%
3.3 mL "Liquid Glass"	1.6 mL	2.3 mL	Est. Max. 0.8 %wt.	~12%	~2%
4.7 mL "UV Resin"	nom. 1 kJg ⁻¹ UV	2.3 mL	Est. Max. 0.8 %wt.	~3%	--

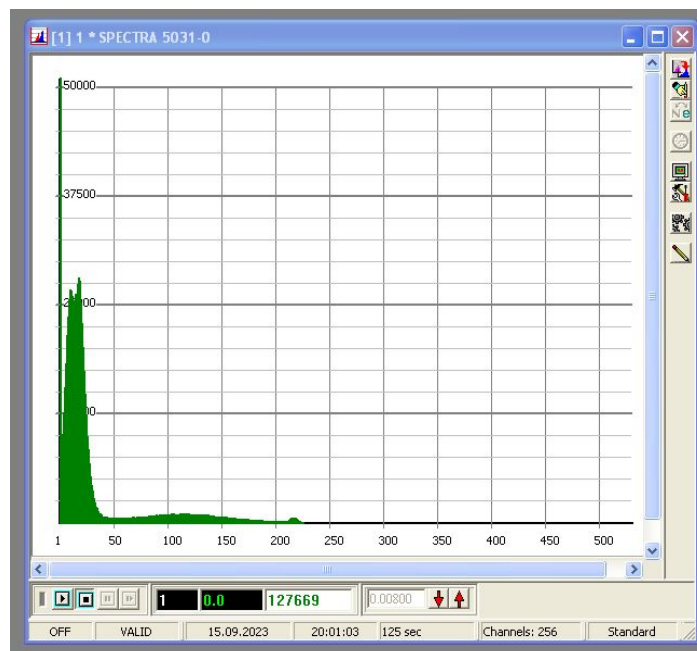
5.9 Έλεγχος "afterglow"

Πραγματοποιήθηκε έλεγχος για afterglow, όπως στο Κεφάλαιο 4, ο οποίος έδειξε ότι δεν διαπιστώνεται afterglow ούτε για β ακτινοβολία ούτε για φωτόνια.

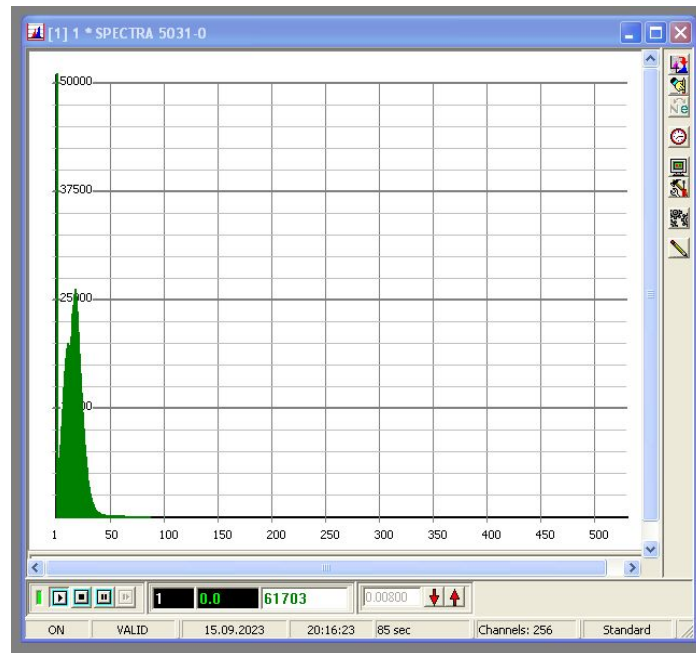
5.10 Έλεγχος φασματοσκοπικής ικανότητας και αποτελέσματα

Δεν αναμένεται ούτε οι πλαστικοί σπινθηριστές αυτού του τύπου να παρουσιάζουν φασματοσκοπικές ικανότητες. Τόσο σε ό,τι αφορά στη β ακτινοβολία όσο και στη γ ακτινοβολία οι ανιχνευτές αυτοί θεωρούνται ότι μετρούν ολική β και ολική γ χωρίς να μπορούν να διαχωρίσουν ενεργειακά τα β σωματίδια που τους προσβάλλουν ή τα φωτόνια που τους προσβάλλουν. Όμως, όπως και στο Κεφάλαιο 4, αποφασίσθηκε να ελεγχθεί αν υπάρχει φασματοσκοπική ικανότητα και σε αυτούς τους πολυεποξικούς ανιχνευτές, διότι υπάρχει φασματοσκοπική ικανότητα χαμηλής διακριτικής ικανότητας στους υγρούς σπινθηριστές που προστέθηκαν στο μίγμα. Εννοείται βεβαίως ότι για τους ανιχνευτές αυτούς μπορεί κάποιος να διαχωρίσει τα β σωματίδια από τα φωτόνια με απλό και γνωστό τρόπο.

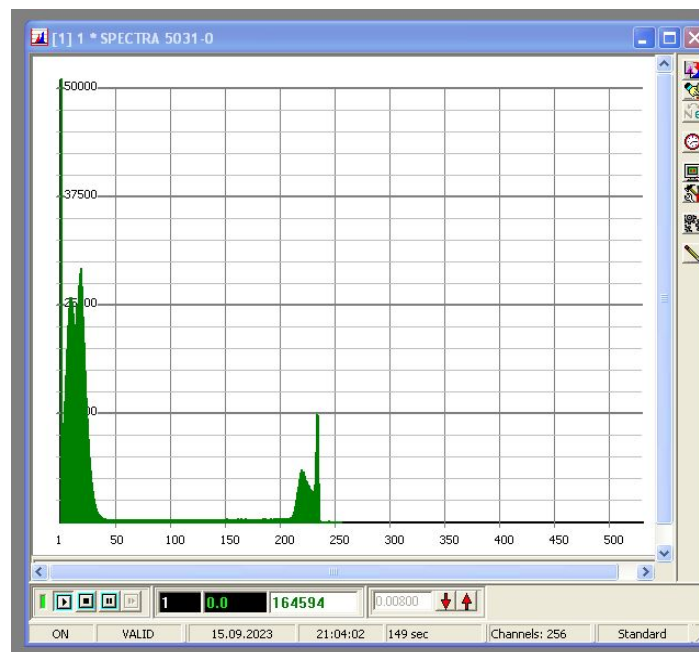
Για τη φασματοσκοπική δοκιμή χρησιμοποιήθηκε ο πολυκαναλικός αναλυτής τύπου 50XX της εταιρείας κατασκευής SARAD που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4. Τα αποτελέσματα διακρίνονται στις επόμενες Εικόνες 5.5 έως 5.9 για β και γ ακτινοβολία.



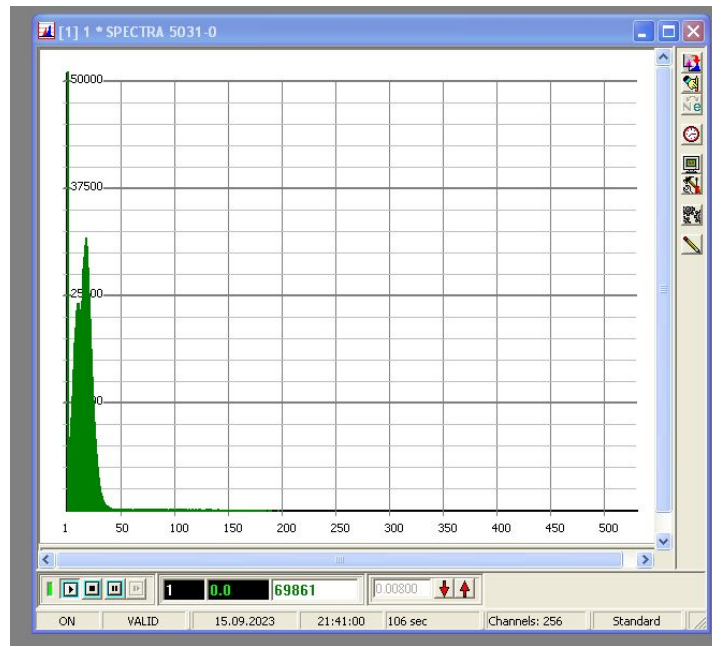
Εικ. 5.5 Φάσμα β ακτινοβολίας (Sr-90), ανιχνευτής πολυεποξικό S-86 σε μορφή δίσκου



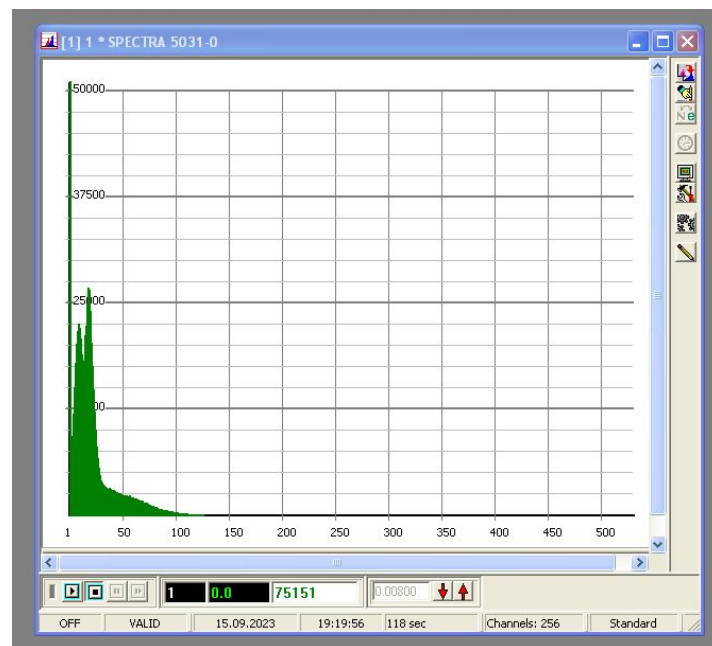
Εικ. 5.6 Φάσμα -γ ακτινοβολίας (Cs-137), ανιχνευτής πολυεποξικό S-86 σε μορφή δίσκου



Εικ. 5.7 Φάσμα -β ακτινοβολίας (Sr-90), ανιχνευτής πολυεποξικό υγρό γυαλί DUROSTICK σε μορφή δίσκου



Εικ. 5.8 Φάσμα -γ ακτινοβολίας (Cs-137), ανιχνευτής πολυεποξικό υγρό γυαλί DUROSTICK σε μορφή δίσκου



Εικ. 5.9 Φάσμα -β ακτινοβολίας (Sr-90), ανιχνευτής ρητίνη τρισδιάστατης εκτύπωσης σε μορφή δίσκου

Τα αποτελέσματα για τη φασματοσκοπική ικανότητα επιβεβαίωσαν προηγούμενη γνώση ότι οι πλαστικοί σπινθηριστές δεν είναι ικανοί για φασματοσκοπική ανάλυση. Επομένως είναι κατάλληλοι, όπως ήδη αναφέρθηκε για μετρήσεις ολικής -β και ολικής -γ ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σαφές, σε ότι αφορά σε -γ ακτινοβολία (Εικόνες 5.6 και 5.8). Παρόλα αυτά, σε ό,τι αφορά σε -β ακτινοβολία (Εικόνες 5.5, 5.7 και 5.9), υπάρχουν ενδείξεις,

στο δεξί άκρο του φάσματος, στις μεγάλες δηλαδή ενέργειες, ότι εκεί υπάρχει αποτύπωση -β κορυφής λόγω του Sr-90 και του θυγατρικού του Y-90. Η παρατήρηση αυτή πρέπει να διερευνηθεί κατάλληλα σε επόμενη φάση, όπου, για παράδειγμα ο υγρός σπινθηριστής Ultima Gold AB θα αντικατασταθεί με άλλον άλλου τύπου ή όπου ο υγρός σπινθηριστής θα αντικατασταθεί μόνο με φθοριστή.

5.11 Σχόλια και συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια αυτής της δεύτερης πειραματικής διερεύνησης, όπως εξετάστηκε στο Κεφάλαιο 5, προέκυψε ότι ο βαθμός απόδοσης των πολυεποξικών ανιχνευτών μικρού πάχους, παρόλη τη μείωση της μάζας τους σε σχέση με τους αντίστοιχους ανιχνευτές που δοκιμάστηκαν στο Κεφάλαιο 4, είναι παρόμοιος. Επομένως υπάρχει, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία, βέλτιστο πάχος τέτοιων ανιχνευτών πέρα από το οποίο ο βαθμός απόδοσης δεν αυξάνεται. Άλλο συμπέρασμα αυτής της διερεύνησης είναι ότι η ρητίνη τρισδιάστατης εκτύπωσης παρουσιάζει μικρό βαθμό απόδοσης για -β ακτινοβολία και δεν ανιχνεύει φωτόνια. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με ποσότητες υγρού σπινθηριστή, οι οποίες οδήγησαν σε κατά μάζα ποσοστό του φθοριστή μικρότερο από 1%. Τυχόν περισσότερος σπινθηριστής εμπόδιζε τη σκλήρυνση του τελικού προϊόντος. Στον επίλογο που θα ακολουθήσει θα δοθούν προτάσεις για τη συνέχιση της έρευνας που παρουσιάστηκε με συστηματικότερο τρόπο.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Συνολικά μπορεί να πει κανένας, ότι το αποτέλεσμα σε αυτήν τη Διπλωματική Εργασία ήταν να βελτιωθεί η υπάρχουσα γνώση σχετικά με πλαστικούς σπινθηριστές που συγκροτούνται από πολυεποξικά και υγρούς σπινθηριστές, με χρήση πολυεποξικών, τα οποία δημιουργήθηκαν πρόσφατα για άλλες ανάγκες. Τέτοια πολυεποξικά είναι τα διαφανή ή διαφώτιστα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη και προστασία οικοδομικών υλικών, όπως τα πατώματα, το υγρό γυαλί και οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης με τη μέθοδο DLP ή SLA. Το αποτέλεσμα των πειραματικών δοκιμών που έγιναν με τέτοια υλικά ήταν ότι μετρήθηκαν με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης η ολική $-\beta$ και η ολική $-\gamma$ ακτινοβολία με διάφορους όγκους ανιχνευτών που κατασκευάστηκαν με ανάμειξη με υγρούς σπινθηριστές. Οι πειραματικές δοκιμές εξελίχθηκαν σε δύο φάσεις, μία για την απόδειξη της αρχής λειτουργίας της μεθόδου και μία μετά από βελτιστοποίηση όγκου των ανιχνευτών. Κατά την πρώτη φάση οι ανιχνευτές που συγκροτήθηκαν ήταν κύλινδροι διαμέτρου ~ 5 cm και ύψους $\sim 3-4$ cm. Κατά τη δεύτερη φάση οι ανιχνευτές που συγκροτήθηκαν ήταν δίσκοι διαμέτρου ~ 35 mm και πάχους $\sim 3-4$ mm. Παρ' όλες τις προσπάθειες που έγιναν, τόσο στην πρώτη φάση, όσο και στη δεύτερη φάση δεν κατορθώθηκε να προστεθεί αρκετός υγρός σπινθηριστής ώστε το ποσοστό του φθοριστή να αυξηθεί πάνω από 1%, διότι περισσότερος υγρός σπινθηριστής παρεμπόδιζε τη σκλήρυνση του πολυεποξικού. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι σε αντίστοιχες ερευνητικές εργασίες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία δεν προστίθεται στο μίγμα υγρός σπινθηριστής αλλά κατευθείαν φθοριστής. Από την άποψη αυτή η Διπλωματική Εργασία προσθέτει κάτι εναλλακτικό.

Οι προτάσεις μελλοντικής έρευνας έχουν ως εξής:

- (α) δοκιμές χωρίς υγρό σπινθηριστή αλλά μόνο φθοριστή και μάλιστα καθαρό PPO ή καθαρό pseudocumene
- (β) δοκιμές για τη διαπίστωση φασματοσκοπικών δυνατοτήτων τέτοιων ανιχνευτών, κυρίως από υγρό γυαλί σε γεωμετρίες όγκου (κύλινδροι) και σε γεωμετρίες δίσκων (μικρού πάχους).
- (γ) δοκιμές με ρητίνες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αυτές φαίνεται να ανιχνεύουν μόνο $-\beta$ ακτινοβολία. Χρειάζεται αυτή η επιλεκτική ανίχνευση να διερευνηθεί με προσοχή διότι αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα αν είναι πράγματι αληθές.

(δ) χυτεύσεις υγρού γυαλιού σε γεωμετρικές φιαλίδιων υγρού σπινθηρισμού. Αναμένεται ότι αν αντί για τα τυποποιημένα φιαλίδια του υγρού σπινθηρισμού χρησιμοποιούνται φιαλίδια που παράγουν φως, ο βαθμός απόδοσης μιας συσκευής υγρού σπινθηρισμού θα αυξηθεί σημαντικά.

(ε) πρόσθεση στο μίγμα σκόνης ZnS(Ag), η οποία είναι πιθανό να αυξήσει την απόδοση των ανιχνευτών σε ό,τι αφορά στη -β ακτινοβολία. Η αναλογία ZnS(Ag) στο μείγμα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή στην περιοχή περίπου 0.1%, διότι προκαταρκτικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με αναλογία περίπου 1% κατέστρεψαν τη διαφάνεια του πολυεποξικού.

Σχετικά με το σημείο (ε) πρέπει να τονισθεί ότι προσθέτοντας ανόργανους φθοριστές μπορεί να επιτευχθούν πολύ βελτιωμένα αποτελέσματα διότι αυξάνεται η πυκνότητα του ανιχνευτή και έτσι αυξάνεται η πιθανότητα της ιοντίζουσας ακτινοβολίας να αλληλεπιδράσει με αυτόν και επίσης προστίθεται στον ανιχνευτή υλικό που παρουσιάζει υψηλές διατομές για αλληλεπιδράσεις που μπορεί να κάνει η ιοντίζουσα ακτινοβολία. Ο ανόργανος φθοριστής ZnS(Ag) είναι γνωστό ότι αλληλεπιδρά με επιτυχία με -α και -β ακτινοβολία. Αναμένεται λοιπόν ότι θα βοηθήσει στην αύξηση της απόδοσης για την ανίχνευση της -β ακτινοβολίας. Σχετικά με την -α ακτινοβολία, οι πλαστικοί ανιχνευτές χωρίς ZnS(Ag) δεν μπορούν να ανιχνεύσουν -α σωματίδια. Με ZnS(Ag) οι πλαστικοί ανιχνευτές ίσως ανιχνεύσουν -α σωματίδια κυρίως από αλληλεπιδράσεις -α σωματιδίων με την επιφάνεια των ανιχνευτών. Τα -α σωματίδια αποκλείεται να εισχωρήσουν στον όγκο των ανιχνευτών και να αλληλεπιδράσουν σε βάθος.

Στη μελλοντική έρευνα συμπεριλαμβάνονται και δύο ακόμη προτάσεις:

(i) Η παραγωγή τέτοιων πλαστικών ανιχνευτών με εξέλαση (extrusion) και όχι με χύτευση. Η τεχνολογία αυτή δοκιμάζεται και από άλλους ερευνητές.

(ii) Η παραγωγή φύλλων ή κόκκων τέτοιων πλαστικών ανιχνευτών, και τέλος

(iii) Η παραγωγή τέτοιων πλαστικών ανιχνευτών με τρισδιάστατη εκτύπωση, δεδομένου ότι τουλάχιστον οι ρητίνες τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορούν με το κατάλληλο μικρό ποσοστό φθοριστή να τυπωθούν σε τρισδιάστατο εκτυπωτή στην επιθυμητή μορφή.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι από άποψη κόστους και αν οι εμπορικοί ανόργανοι σπινθηριστές όπως π.χ. οι κρύσταλλοι NaI έχουν κόστος "100", τότε οι εμπορικά διαθέσιμοι πλαστικοί σπινθηριστές έχουν κόστος "10" και οι πλαστικοί σπινθηριστές από πολυεποξικά όπως αυτοί που εξετάστηκαν σε αυτή τη ΔΕ έχουν κόστος "1".

Τα αποτελέσματα αυτής της Διπλωματικής Εργασίας παρουσιάσθηκαν προφορικά στο Διεθνές Συνέδριο NUTECH 2023, το οποίο πραγματοποιήθηκε στην Κρακοβία της Πολωνίας μεταξύ 20 και 22 Σεπτεμβρίου 2023 από τον επιβλέποντα της ΔΕ. Τα αποτελέσματα αυτά θα συμπεριληφθούν στα πρακτικά του Συνεδρίου (Mylonas, 2023).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Argyrou S.Y., (2022), "Radon detection using Lucas cell technology - Construction of detectors - Counting test for very high radon concentrations", Diploma Dissertation (in Greek), Nuclear Engineering Laboratory, National Technical University of Athens, Athens, available on-line <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/56275>
2. Bertrand G.H.V., Hamed M., Sguerra F., (2014), "Current status on plastic scintillators modifications", *Chem. Eur. J.*, 20, p.p. 15660 – 15685, doi: 10.1002/chem.201404093.
3. Hajagos T.J., Liu C., Cherepy N.J., Pei Q., (2018), "High-Z sensitized plastic scintillators: A Review", *Advanced Materials*, 30 (27), doi: 10.1002/adma.201706956
4. Kang H., Min S., Seo B., Roh C., Hong S., Cheong J.H., (2021), "Preliminary studies of perovskite-loaded plastic scintillator prototypes for radioactive strontium detection", *Chemosensors*, 9 (3), p. 53, doi: 10.3390/chemosensors9030053.
5. Markley F.W., (1968), "Plastic scintillators from cross-linked epoxy resins", *Molecular Crystals*, 4 (1–4), pp. 303–317, doi: 10.1080/15421406808082920.
6. Markley F., Woods D., Pla-Dalmau A., Foeter G., Blackburn R., (1993), "Development of radiation hard scintillators", *Radiat. Phys. Chem.*, 41 (1/2), pp. 135-152.
7. Mondragón M., Cortes M.A., Arias E., Falcony C., Zelaya-Angel O., (2011), "Photoluminescence of epoxy/clay nanocomposites", *Polymer Engineering and Science*, 51(9), pp. 1808–1814, doi: 10.1002/pen.21970.
8. Mylonas D., Petropoulos N., (2023), "Investigation of DIY plastic scintillators made from polyepoxydes mixed with commercial liquid scintillation cocktails", *Proceedings of the International Conference on Development and Applications of Nuclear Technologies, NUTECH 2023*, AGH University of Science and Technology, Kraków 20 – 22 September 2023 (in press).
9. Moser S.W., Harder W.F., Hurlbut C.R., Kusner M.R., (1993), "Principles and practice of plastic scintillator design", *Radiat. Phys. Chem.*, 41, pp. 31–36.
10. Nam J. S., Choi Y.S., Hong S.B., Seo B.K., Moon J.K., Choi J.W., (2017), "Study on the characteristics of a scintillator for beta-ray detection using epoxy resin", *EPJ Web of Conferences*, 153 (07005), doi: 10.1051/epjconf/201715307005.
11. SARAD GmbH, (2002), "Spectra 5011, Spectra 5041, Portable Alpha - Beta - Gamma Spectrometer User's Manual", Dresden, Germany.

12. Shevelev V.S., Ishchenko A.V., Vanetsev A.S., Nagirnyi V., Omelkov S.I., "(2022), "Ultrafast hybrid nanocomposite scintillators: A review", Journal of Luminescence, 242, p. 118534, doi: 10.1016/j.jlumin.2021.118534.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

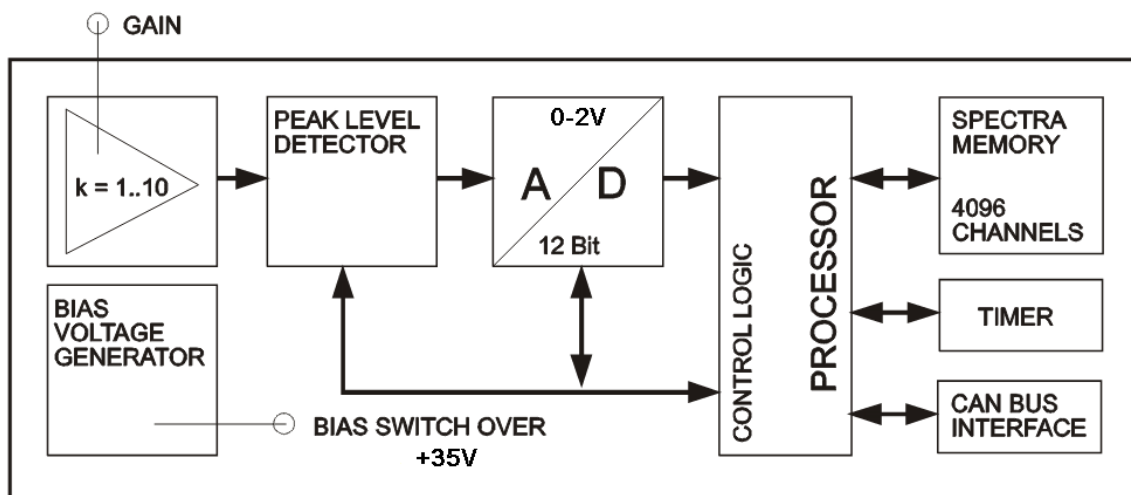
ΣΥΝΤΟΜΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΙΚΟ ΑΝΑΛΥΤΗ ΤΥΠΟΥ 50XX ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ SARAD GmbH

Π.1 Εισαγωγή

Τα αναφερόμενα στο Παράρτημα αυτό είναι συμπληρωματικά σε σχέση με αυτά που σημειώθηκαν σχετικά με τους πολυκαναλικούς αναλυτές τύπου 50XX, στο Κεφάλαιο 4 και στο Κεφάλαιο 5 και βασίζονται στο εγχειρίδιο SARAD (2002). Τυχόν λάθη ή αβλεψίες στο εγχειρίδιο έχουν εδώ διορθωθεί. Σύμφωνα με αυτά που σημειώνει ο κατασκευαστής, αυτοί οι αναλυτές είναι κατάλληλοι για α -, β και γ φασματοσκοπία. Επιπλέον θεωρούνται φορητοί διότι έχουν σχετικά μικρό όγκο, συνδέονται με φορητό Η/Υ και διαθέτουν, στην κανονική τους συγκρότηση, συσσωρευτή, ο οποίος τον τροφοδοτεί με ενέργεια για αρκετές ώρες. Ο πολυκαναλικός αναλυτής προμηθεύεται από τον κατασκευαστή με τα ακόλουθα παρελκόμενα: USB CAN-BUS dongle, διπολικό καλώδιο για τη σύνδεση του dongle με τον πολυκαναλικό αναλυτή (το καλώδιο συνδέεται με το dongle με βύσμα τύπου D 9 pin και με τον πολυκαναλικό αναλυτή με βύσμα τύπου LEMO 2 pin), κατάλληλο λογισμικό, εγχειρίδια και εγγύηση. Για την καλή λειτουργία του πολυκαναλικού αναλυτή δεν πρέπει να εκτίθεται στη βροχή ή σε υψηλή υγρασία ή σε περιβάλλον με πολλή σκόνη. Δεν πρέπει επίσης να υποβάλλεται σε μηχανικές καταπονήσεις. Η ηλεκτρική τροφοδοσία του πολυκαναλικού αναλυτή είναι 220V

Π.2 Θεωρία λειτουργίας

Στην Εικόνα Π.1 φαίνεται η πορεία του σήματος στον πολυκαναλικό αναλυτή.



Εικ. Π.1 Διάγραμμα ροής σημάτων στον πολυκαναλικό αναλυτή

Το σήμα παλμών από την έξοδο του ενισχυτή ή ακόμα και του προενισχυτή της μετρητικής διάταξης οδηγείται στον ενισχυτή που έχει ενσωματωμένο ο πολυκαναλικός αναλυτής. Ο ενισχυτής έχει ρυθμιζόμενη ενίσχυση. Για την είσοδο του σήματος ο πολυκαναλικός αναλυτής διαθέτει είσοδο τύπου LEMO με 5 pin. Προκειμένου η είσοδος να γίνεται με καλώδιο BNC, χρειάζεται να υπάρχει μετατροπέας LEMO σε BNC. Σύμφωνα με παρατηρήσεις που έχουν γίνει στο ΕΠΤ σε περίπτωση που η είσοδος γίνεται με καλώδιο BNC είναι πιθανό να παρακάμπτεται ο ενσωματωμένος ενισχυτής. Η αναγνώριση των παλμών γίνεται με σύστημα Peak Level Detector, το οποίο αναγνωρίζει θετικούς παλμούς με τη βοήθεια ενός μικροεπεξεργαστή. Οι παλμοί αυτοί στη συνέχεια ψηφιοποιούνται με τη βοήθεια ADC μέγιστης διακριτικής ικανότητας 12 bit. Το αποτέλεσμα της ψηφιακής μετατροπής, ανάλογα με την τιμή του καταχωρείται στον αντίστοιχο δίαυλο του πολυκαναλικού αναλυτή και διατηρείται στην μνήμη του. Για την ανάγνωση των ψηφιακών πληροφοριών του φάσματος από τη μνήμη του πολυκαναλικού αναλυτή σε έναν Η/Υ χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο CAN-BUS και USB θύρα του υπολογιστή με το κατάλληλο καλώδιο που δίνει ο κατασκευαστής. Το CAN-BUS είναι ένα πρωτόκολλο που εξασφαλίζει μεγάλες ταχύτητες επικοινωνίας. Επιπλέον, το σχετικό καλώδιο μεταξύ του καλωδίου CAN-BUS και του πολυκαναλικού αναλυτή μπορεί να έχει μήκος έως 100 m χωρίς να παρατηρούνται παρεμβολές στις πληροφορίες από τον πολυκαναλικό αναλυτή.

Π.3 Έλεγχος μέσω λογισμικού

Π.3.1 Διακριτική ικανότητα

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρει ο κατασκευαστής, η διακριτική ικανότητα του ADC του πολυκαναλικού αναλυτή, μπορεί να επιλέγεται μεταξύ 8 και 12 bit. Διακριτική ικανότητα 8 bit σημαίνει ότι ο πολυκαναλικός αναλυτής έχει 256 διαύλους. Διακριτική ικανότητα 12 bit σημαίνει ότι ο πολυκαναλικός αναλυτής έχει 4096 διαύλους. Θεωρητικά το ποια διακριτική ικανότητα θα επιλεγεί ρυθμίζεται μέσω του λογισμικού. Παρόλα αυτά στην έκδοση του λογισμικού που διατίθεται σήμερα (2023) στο Εργαστήριο η ρύθμιση αυτή δεν είναι δυνατή και η διακριτική ικανότητα είναι μόλις 256 δίαυλοι.

Π3.2 Delay Time

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρει ο κατασκευαστής, κάθε δίαυλος του πολυκαναλικού αναλυτή "χωράει" 2^{32} παλμούς. Επιπλέον, για την ορθή καταχώρηση ενός "νόμιμου" παλμού στον πολυκαναλικό αναλυτή, θα πρέπει να ρυθμιστεί μέσω του λογισμικού το Delay Time (Rise

Time To Peak) του παλμού όπως τον επεξεργάζεται ο Peak Level Detector. Ο παλμός όπως εισέρχεται στον πολυκαναλικό αναλυτή έχει το Delay Time που του έχει αποδοθεί από τον ενισχυτή, τον προενισχυτή ή κάποιο κύκλωμα διαμόρφωσης παλμού (Pulse Shaping Time System). Για να αναγνωρισθούν σωστά οι "νόμιμοι" παλμοί θα πρέπει το Delay Time υποδοχής του παλμού στον πολυκαναλικό αναλυτή να ρυθμισθεί σε τιμή μεγαλύτερη αλλά όσο το δυνατόν πιο κοντά στο Delay Time του παλμού στην είσοδο. Υπάρχουν 4 επιλογές: 7.5 μ s, 15 μ s, 30 μ s και 60 μ s. Σημειώνεται εδώ ο γενικός κανόνας ότι το Rise Time ενός παλμού που έχει σχήμα καμπύλης Gauss είναι ~ 2.2 φορές μεγαλύτερο από τη σταθερά χρόνου ενός κυκλώματος ενίσχυσης πυρηνικών ηλεκτρονικών.

Π3.3 Χρόνος δειγματοληψίας

Υπάρχουν δύο ρυθμίσεις για το χρονόμετρο δειγματοληψίας (Sample Timer):

- Η κανονική ρύθμιση, σύμφωνα με την οποία η λήψη του φάσματος συνεχίζεται μέχρι να εξαντληθεί ο μέγιστος χρόνος του χρονομέτρου που είναι 768000 s (9 μέρες). Όταν ο χρόνος εξαντληθεί δεν σταματάει η συλλογή του φάσματος, απλώς ο χρόνος μηδενίζει και ξαναμετράει από την αρχή. Φυσικά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διακόψει τη συλλογή του φάσματος όποτε αυτός νομίζει.
- Η αυτόματη ρύθμιση σύμφωνα με την οποία, η λήψη του φάσματος θα σταματήσει αυτόματα σε μια χρονική στιγμή μεταξύ 0 και 768000 s που θα ορίσει ο χρήστης.

Ανεξάρτητα των ρυθμίσεων αυτών κανένα από τα συλλεγόμενα φάσματα δεν χάνεται αν δεν ο πολυκαναλικός αναλυτής δεν είναι συνδεδεμένος με τον H/Y. Φυσικά για να μη χαθεί ένα φάσμα ή οι ρυθμίσεις του αναλυτή πρέπει αυτός να τροφοδοτείται με ισχύ είτε από το δίκτυο είτε από συσσωρευτή.

Π3.4 Έλεγχος δειγματοληψίας

Μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή ο χρήστης έχει τις εξής δυνατότητες:

1. Να ξεκινήσει ή να σταματήσει τη συλλογή φάσματος
2. Να διαγράψει το φάσμα από τη μνήμη του πολυκαναλικού αναλυτή
3. Να ρυθμίσει τον πολυκαναλικό αναλυτή σύμφωνα με τα προηγούμενα
4. Να μεταφέρει ένα φάσμα στον H/Y και να το σώσει σε binary ή ASCII μορφή

Π.4 Πρόσοψη πολυκαναλικού αναλυτή

Η εμπρός όψη του πολυκαναλικού αναλυτή 50XX διακρίνεται στην Εικόνα Π.2.



Εικ. Π.2 Πρόσοψη πολυκαναλικού αναλυτή

Διακόπτης ON-OFF (κάτω δεξιά): Για την έναρξη ή τη διακοπή λειτουργίας του πολυκαναλικού αναλυτή.

Ένδειξη STATUS: Πρόκειται για το πάνω αριστερά LED, το οποίο, όταν ο προηγούμενος διακόπτης είναι στο ON, αναβοσβήνει αργά σε κόκκινο χρώμα όταν στον πολυκαναλικό αναλυτή δεν υπάρχει συσσωρευτής ή ο συσσωρευτής είναι αφόρτιστος. Το LED αναβοσβήνει γρήγορα σε κόκκινο χρώμα όταν στον αναλυτή υπάρχει φορτισμένος συσσωρευτής, Το LED αναβοσβήνει σε πράσινο χρώμα όταν γίνεται συλλογή φάσματος.

Είσοδος παλμού (INPUT): Πρόκειται για θηλυκό βύσμα τύπου LEMO, στο οποίο οδηγούνται οι παλμοί από τον ενισχυτή.

Ρύθμιση GAIN: Πρόκειται για ποτενσιόμετρο 10 στροφών με βερνιέρο, για τη ρύθμιση της εσωτερικής ενίσχυσης στον πολυκαναλικό αναλυτή από 0 έως 10 φορές.

Διακόπτης x1 x2: Πρόκειται για διακόπτη ο οποίος είναι πολλαπλασιαστής του GAIN. Στη θέση x1 δεν υπάρχει πολλαπλασιασμός και το GAIN είναι από 0 έως 10. Στη θέση x2 το GAIN είναι από 0 έως 20.

Διακόπτης OFF-ON: Ο διακόπτης αυτός δεν αφορά στο ON ή OFF του αναλυτή, αφορά στο ON ή OFF ενός τροφοδοτικού, το οποίο είναι ενσωματωμένο στον αναλυτή και χρησιμοποιείται, αν χρειάζεται, για την τροφοδοσία μικρών ανιχνευτών κατάλληλων για -α φασματοσκοπία, όπως είναι π.χ. οι ανιχνευτές τύπου PIPS. Η τάση τροφοδοσίας που παράγεται είναι θετική με μέγιστη τιμή +35 V και μπορεί να ρυθμίζεται τόσο στη

χαμηλότερη τιμή της όσο και στην υψηλότερη με μικρά ποτενσιόμετρα (τριμεράκια), οι βίδες ρύθμισης των οποίων φαίνονται στην πρόσοψη. Αν χρειαστεί να ληφθεί η αντίστοιχη αρνητική τάση τότε ο χρήστης συνδέει αντίστροφα τα σχετικά καλώδια τροφοδοσίας.

Ένδειξη BIAS: Πρόκειται για το κάτω αριστερά LED, το οποίο, όταν ο προηγούμενος διακόπτης είναι στο ON, ανάβει σε κόκκινο χρώμα.

Στην πίσω όψη, όπως στην Εικόνα Π.3

Έξοδος CAN-BUS: Πρόκειται για θηλυκό βύσμα τύπου LEMO (επάνω αριστερά στην εικόνα), στο οποίο συνδέεται το καλώδιο CAN-BUS για να επικοινωνήσει ο αναλυτής με τον Η/Υ.



Εικ. Π.3 Πίσω όψη πολυκαναλικού αναλυτή τύπου 50XX

Π.5 Νεκρός χρόνος πολυκαναλικού αναλυτή

Όπως είναι γνωστό μεσολαβεί μικρός χρόνος για να ψηφιοποιηθεί ένας παλμός τάσης, να καταχωρηθεί στο σωστό κανάλι και να προσμετρηθεί στο άθροισμα των παλμών του καναλιού αυτού. Κατά τη διάρκεια αυτού του μικρού χρόνου ο πολυκαναλικός αναλυτής δεν μπορεί να επεξεργαστεί άλλους παλμούς. Για αυτό το λόγο ο χρόνος αυτός ονομάζεται "νεκρός" χρόνος. Για να ληφθεί υπόψη ο νεκρός χρόνος υπάρχουν διαδικασίες διόρθωσης νεκρού χρόνου σύμφωνα με τη σχέση:

$$N' = \frac{N \times \text{real time}}{(\text{real time} - N \times \text{dead time})} \quad (\text{Π.1})$$

όπου

N είναι ο συνολικός αριθμός των παλμών στο φάσμα (μικρότερος από τον πραγματικό λόγω νεκρού χρόνου)

real time είναι ο χρόνος συλλογής του φάσματος

N' είναι ο αληθινός συνολικός αριθμός των παλμών που εισέρχονται κατά τη διάρκεια του *real time*

dead time είναι ο νεκρός χρόνος

Ο πολυκαναλικός αναλυτής τύπου 50XX δεν έχει τη δυνατότητα να μετρά τους παλμούς N' , όπως μπορούν να κάνουν άλλοι πολυκαναλικοί αναλυτές του εμπορίου. Επομένως δεν μπορεί να μετρά τον νεκρό χρόνο. Ο κατασκευαστής έχει εκτιμήσει ότι ο νεκρός χρόνος αυτού του πολυκαναλικού αναλυτή είναι ανά μετρούμενο παλμό ίσος με $72.5 \mu\text{s} + \text{Delay Time}$.

Π.6 Δίκτυο πολυκαναλικών αναλυτών

Μπορεί να δημιουργηθεί ένα δίκτυο πολυκαναλικών αναλυτών, του οποίου η διαχείριση να πραγματοποιείται με το ίδιο λογισμικό ταυτόχρονα. Για το σκοπό αυτό οι επιπλέον πολυκαναλικοί αναλυτές συνδέονται με τον Η/Υ με επιπλέον θύρες USB ή με τη βοήθεια ενός USB hub. Με αυτό τον τρόπο το λογισμικό μπορεί να διαχειρισθεί μέχρι 15 πολυκαναλικούς αναλυτές. Για να λειτουργήσει το δίκτυο των αναλυτών ο κάθε ένας από αυτούς πρέπει να έχει διαφορετική εσωτερική διεύθυνση που μπορεί να ρυθμισθεί από 1 έως 15. Το δίκτυο αποτυγχάνει αν δύο αναλυτές έχουν την ίδια διεύθυνση. Η διεύθυνση 0 ανήκει εξ' ορισμού στον Η/Υ που κάνει την διαχείριση. Οι διευθύνσεις στους αναλυτές δίνονται από τη SARAD. Παρόλα αυτά, αν ο χρήστης επιθυμεί να αλλάξει διεύθυνση σε έναν αναλυτή αυτό γίνεται σύμφωνα με τα επόμενα.

Στο εσωτερικό του πολυκαναλικού αναλυτή υπάρχει ένας μικροδιακόπτης (Dip Switch) με 4 θέσεις ON-OFF. Ο μικροδιακόπτης αυτός βρίσκεται τοποθετημένος πάνω στην κύρια πλακέτα του αναλυτή και χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της διεύθυνσής του, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

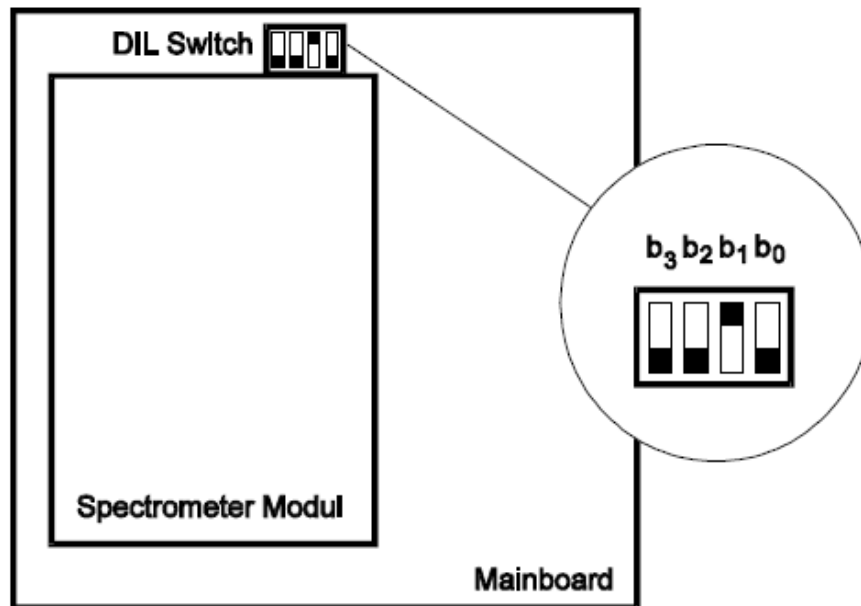
$$\text{Διεύθυνση} = b_0 + 2b_1 + 4b_2 + 8b_3 \quad (\text{Π.2})$$

όπου

b_n είναι η θέση του διακόπτη n με n από 0 έως 3. Αν ο διακόπτης είναι στη θέση ON τότε η τιμή του διακόπτη είναι 0. Αν ο διακόπτης είναι στη θέση OFF τότε η τιμή του διακόπτη είναι 1.

Επομένως για την αλλαγή της διεύθυνσης του αναλυτή ο χρήστης πρέπει να ανοίξει το όργανο και να ρυθμίσει τους 4 διακόπτες στη θέση που επιθυμεί ώστε το άθροισμά τους

σύμφωνα με τη σχέση (Π.2) να προκύψει από 1 έως 15. Ο διακόπτης διακρίνεται στην Εικόνα Π.4 όπου φαίνεται ρυθμισμένος στην τιμή 13.



Εικ. Π.4 Dip Switch για ρύθμιση λογικής διεύθυνσης πολυκαναλικού αναλυτή

Ο χρήστης με τη βοήθεια του λογισμικού μπορεί να αποδώσει στους διαφορετικούς πολυκαναλικούς αναλυτές ενός δικτύου και ένα διαφορετικό όνομα ανάλογα με την εργασία που αυτοί πραγματοποιούν, ώστε να είναι ευκολότερο για αυτόν να θυμάται ποιος αναλυτής είναι ποιος, αντί να θυμάται ποια διεύθυνση κάνει τι.

Π.7 Άλλες τεχνικές πληροφορίες

Η είσοδος παλμών γίνεται στην υποδοχή LEMO της Εικόνας Π.5. Η υποδοχή αυτή βρίσκεται στην πρόσοψη του αναλυτή.



Εικ. Π.5 Υποδοχή LEMO για τον παλμό

όπου

1: σήμα από τον ενισχυτή ή τον προενισχυτή

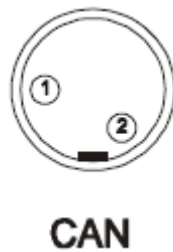
2: έξοδος +5VDC (max. 30mA)

3: έξοδος -5VDC (max. 30mA)

4: έξοδος έως +35VDC για την πόλωση ανιχνευτών με μικρή τάση

5: γείωση

Η επικοινωνία CAN-BUS γίνεται από την υποδοχή LEMO της Εικόνας Π.6. Η υποδοχή αυτή βρίσκεται στην πίσω όψη του αναλυτή.



Εικ. Π.6 Υποδοχή LEMO για το CAN-BUS

όπου

1: σήμα CAN_L (low)

2: σήμα CAN_H (high)

Για τη φόρτιση του συσσωρευτή, αν υπάρχει, χρησιμοποιείται κύκλωμα τροφοδοσίας 9VDC.

Τάση νόμιμων παλμών: 0 - 2 V

Αποκοπή θορύβου: ~20mV

Ελάχιστος χρόνος ανόδου παλμού (shaping time): 5μs

Μέγιστος χρόνος ανόδου παλμού (shaping time): 50μs

Μέγιστη συχνότητα παλμών: 12 kHz

Ακρίβεια: ± 1.5 LSB