



# ΟΔΗΓΟΣ ΥΓΙΕΙΝΗΣ & ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ

**Συντάχθηκε από τη Συντονιστική Επιτροπή Υγιεινής και Ασφάλειας**

- Κροντηράς Χρ., Αντιπρύτανης Προγραμματισμού και Ανάπτυξης, Πρόεδρος
- Παπαδοπούλου Χρ., Αναπλ. Καθηγήτρια, Τμήμα Χημείας
- Παντελιού Σ., Αναπλ. Καθηγήτρια, Τμήμα Μηχ. και Αεροναυπηγών Μηχανικών
- Βανταράκης Απ., Επικ. Καθηγητής, Τμήμα Ιατρικής, Συντονιστής
- Κλεπετσάνης Π., Επικ. Καθηγητής, Τμήμα Φαρμακευτικής
- Τσάνης Ηλεκτρ. Μηχαν., Τεχνικός Ασφαλείας Παν/μιου Πατρών
- Κωνσταντοπούλου Γ., Ψυχολόγος, Γραμματέας Αντιπρύτανη

ΠΑΤΡΑ 2012

# **ΕΝΟΤΗΤΑ Χ**

**ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ**

## **10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ**

Οι ακτινοβολίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες στις **ιοντίζουσες ακτινοβολίες** και στις **μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες**. **Ιοντίζουσες ακτινοβολίες** είναι οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της, να διασπάσει χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες σε ζώντες οργανισμούς. Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες εκπέμπονται από τις φυσικές και τεχνικές πηγές ακτινοβολίας. Τα ραδιενεργά υλικά εκπέμπουν ακτινοβολία που μπορεί να είναι σωματιδιακή (ακτινοβολία α και β) και ηλεκτρομαγνητική όπως η ακτινοβολία-γ και η ακτινοβολία-X. Τα ραδιενεργά υλικά ταξινομούνται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με την σχετική ραδιοτοξικότητά τους (relative radiotoxicity per unit activity). Η εμβέλεια των ακτινοβολιών αυξάνει με το ενεργειακό περιεχόμενο τους με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται σημαντικά τα μέτρα προστασίας ανάλογα με την εκπεμπόμενη ακτινοβολία και την ενέργεια της. **Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες** είναι αυτές που μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, μη-αρκετή για να προκαλέσει ιοντισμό, ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στα κύτταρα, που μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία τους.

Μεγάλος αριθμός ραδιενεργών στοιχείων και χημικών ενώσεων που περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία (όπως ραδιενεργό Ιώδιο συνδεδεμένο με πρωτεΐνες) χρησιμοποιούνται για πειραματικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε εργαστήρια των Σχολών Θετικών Επιστημών και Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Πατρών πραγματοποιούνται πειράματα με ραδιενεργά υλικά στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων κυρίως, ενώ στα πλαίσια της εκπαίδευσης προπτυχιακών φοιτητών η χρήση ραδιενεργών υλικών είναι σχετικά περιορισμένη. Οι συμμετέχοντες στα πειράματα αυτά (Μέλη ΔΕΠ, μεταπτυχιακοί και προπτυχιακοί φοιτητές) εκτίθενται σε μια σειρά κινδύνων από την χρήση ραδιενεργών υλικών διαφορετικής επικινδυνότητας. Η έκθεση στην ιοντίζουσα ακτινοβολία καθώς και η μόλυνση από ραδιενεργά υλικά, δεν γίνεται άμεσα αντιληπτή. Οι ακτινοβολίες σχετίζονται με σωματικές μεταλλάξεις και με κυτταρικές νεοπλασίες. Η έκθεση στην ακτινοβολία είναι ανάλογη του χρόνου, αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από την ραδιενεργό πηγή, ενώ τα αποτελέσματα της έκθεσης στην ακτινοβολία είναι αθροιστικά.

Σημαντικές εφαρμογές στην έρευνα έχουν οι ακτινοβολίες **LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)**, τα μήκη κύματος των οποίων βρίσκονται στην περιοχή του ορατού και του υπερύθρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η υψηλή ένταση της ακτίνας φωτός μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στον ανθρώπινο οφθαλμό («κάψιμο» του αμφιβληστροειδούς) ακόμη και για ακτίνες Laser χαμηλής ισχύος,

ενώ μεγαλύτερης ισχύος δέσμες Laser μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στο δέρμα. Ειδικότερα, ακτίνες Laser στην περιοχή του υπερύθρου είναι περισσότερο επικίνδυνες διότι μπορούν να προκαλέσουν βλάβες χωρίς να γίνουν άμεσα αντιληπτές καθώς η δέσμη δεν είναι ορατή.

Έτσι καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για την εφαρμογή:

- α) κανονισμών λειτουργίας των εργαστηρίων όπου χρησιμοποιούνται ραδιενεργά υλικά ανάλογα με την επικινδυνότητά τους,
- β) πρωτοκόλλων ασφάλειας για τον χειρισμό των ραδιενεργών υλικών από τους εργαζόμενους,
- γ) σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση ατυχημάτων κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων και
- δ) προσεκτικής αποθήκευσης και απόρριψης ραδιενεργών υλικών.

## **10.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ**

### **Νομοθετικό Πλαίσιο**

Οι βασικές οδηγίες καθώς και οι κανονισμοί για την ασφαλή λειτουργία των εργαστηριακών χώρων όπου χρησιμοποιούνται ραδιενεργά υλικά, η ασφαλής διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων καθώς και οι οδηγίες για τον ασφαλή τρόπο συσκευασίας και μεταφοράς ραδιενεργών υλικών με διαφορετική επικινδυνότητα, εκδίδονται κυρίως από την Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (International Atomic Energy Authority). Πολλές από τις οδηγίες αυτές έχουν υιοθετηθεί και νομοθετηθεί από διάφορες χώρες. Στην Ελλάδα, το Κέντρο Ερευνών 'Δημόκριτος' και συγκεκριμένα το Εργαστήριο Ραδιοπροστασίας όπου εδρεύει η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) είναι υπεύθυνο για την χορήγηση αδειών λειτουργίας εργαστηριακών χώρων με ραδιενεργά υλικά, για μετρήσεις και προβλήματα υγιεινής και ασφάλειας εργαζομένων με ραδιενεργά υλικά καθώς και για οτιδήποτε σχετίζεται με την αποθήκευση, μεταφορά και ασφαλή διάθεση ραδιενεργών υλικών. Επίσης μεριμνά για την εφαρμογή των κανονισμών και εισηγείται πρόσθετα μέτρα, όταν κριθεί απαραίτητο, προκειμένου να επιτυγχάνεται ο αντικειμενικός σκοπός των κανονισμών και να περιορίζεται η έκθεση των εργαζομένων στις ακτινοβολίες.

Η βασική νομοθεσία για την Ελλάδα είναι η απόφαση Α2 στ/1539/1985 (ΦΕΚ 280/Β, 13/5/1985) που αφορά τους βασικούς κανόνες προστασίας της υγείας του πληθυσμού και των εργαζομένων από τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

Η απόφαση αυτή είναι σε συμμόρφωση προς τις οδηγίες 80/836/Euratom/15.7.1980 και 84/467/Euratom/3.9.1984. Ο πρόσφατος κανονισμός για την Ακτινοπροστασία

εκδόθηκε με Υπουργική Απόφαση 1014(ΦΟΡ)94, ΦΕΚ 216Β, 6/3/2001 και είναι διαθέσιμος στην ιστοσελίδα της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας ([www.eeae.gr](http://www.eeae.gr)). Στην ίδια ιστοσελίδα υπάρχει πλήρες αρχείο της νομοθεσίας (Ελληνικής και Κοινοτικής) που αφορά θέματα σχετικά με ραδιενεργά υλικά και την προστασία από την ραδιενέργεια.

### **Προϋποθέσεις**

Η χρήση ραδιενεργών υλικών επιτρέπεται ΜΟΝΟ σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους των ερευνητικών εργαστηρίων του Πανεπιστημίου Πατρών. Οι χώροι αυτοί πρέπει να ικανοποιούν τις προϋποθέσεις που θέτει η ΕΕΑΕ και να διαθέτουν την αντίστοιχη άδεια λειτουργίας που χορηγείται από την ΕΕΑΕ μετά από αίτηση του διευθυντή του εργαστηρίου και τον έλεγχο του εργαστηριακού χώρου από την ΕΕΑΕ. Η ΕΕΑΕ έχει την δυνατότητα να πραγματοποιεί ελέγχους στους χώρους αυτούς για όλο το χρονικό διάστημα που έχει χορηγηθεί η άδεια λειτουργίας τους. Δεν επιτρέπεται η χρήση των χώρων αυτών για άλλες δραστηριότητες κατά το χρονικό διάστημα που έχει χορηγηθεί η άδεια λειτουργίας τους από την ΕΕΑΕ για την χρήση ραδιενεργών ισοτόπων. Επίσης ΔΕΝ επιτρέπεται η χρήση ραδιενεργών ισοτόπων α) στους χώρους αυτούς εφόσον έχει λήξει η σχετική άδεια λειτουργίας τους και β) σε οποιοδήποτε άλλο χώρο ή εγκατάσταση του Πανεπιστημίου Πατρών που χρησιμοποιείται για άλλες ερευνητικές δραστηριότητες. Επιτρέπεται η πρόσβαση και η δυνατότητα διεξαγωγής πειραμάτων στους χώρους αυτούς ΜΟΝΟ σε άτομα που διαθέτουν αποδεδειγμένη εμπειρία/εκπαίδευση στην χρήση ραδιενεργών υλικών.

Για την υποβολή αίτησης λειτουργίας χώρου για πειράματα με ραδιενεργές ενώσεις καθώς και για την έγκριση που έχει ληφθεί από την ΕΕΑΕ, πρέπει να ενημερώνεται η αρμόδια επιτροπή Υγιεινής και Ασφάλειας καθώς και ο Υπεύθυνος Τεχνικός Ασφάλειας του Πανεπιστημίου Πατρών. Επίσης πρέπει να υπάρχει άδεια λειτουργίας για συσκευές ακτίνων-X (ιοντίζουσα ακτινοβολία) που χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς σκοπούς όπως συσκευές περίθλασης ακτίνων-X (X-ray Diffraction, XRD) και συσκευές φθορισμού ακτίνων-X (X-ray Fluorescence, XRF).

### **A. Χορήγηση Άδειας Λειτουργίας.**

Για την λειτουργία εργαστηρίου, όπου θα χρησιμοποιηθούν σε πειράματα ραδιενεργά υλικά, καθώς και επιστημονικά όργανα που περιέχουν κλειστές πηγές παραγωγής ακτίνων-X, πρέπει να εκδοθεί άδεια από την ΕΕΑΕ. Η αίτηση για τη χορήγηση άδειας λειτουργίας υποβάλλεται στην ΕΕΑΕ από το διευθυντή του εργαστηρίου και πρέπει να συνοδεύεται από ορισμένα δικαιολογητικά. Τα σημαντικότερα δικαιολογητικά είναι:

1. **Βιογραφικό σημείωμα** του προσώπου που θα αναλάβει την υπευθυνότητα του εργαστηρίου με αποδεικτικά της εμπειρίας του για χρήση ανοικτών ραδιενεργών πηγών.
2. **Αναλυτική κατάσταση των ατόμων** που θα απασχοληθούν στο εργαστήριο και την ειδικότητάς τους.
3. **Κάτοψη των χώρων** του εργαστηρίου, καθώς και της διαδρομής της αποχέτευσης στην οποία θα καταλήγουν τα υγρά ραδιενεργά κατάλοιπα.
4. **Αναλυτική κατάσταση των συσκευών** του εργαστηρίου.
5. **Περιληπτική περιγραφή** των πειραμάτων και της εκτιμούμενης ποσότητας των χρησιμοποιούμενων ραδιοϊσοτόπων ανά πείραμα και ετησίως.
6. **Οι οδηγίες ακτινοπροστασίας** που δίνονται στο προσωπικό του εργαστηρίου.
7. **Έκθεση ακτινοπροστασίας και διαχείρισης** των ραδιενεργών καταλοίπων (υγρών και στερεών).

Πριν την κατάθεση αίτησης λειτουργίας εργαστηρίου με ραδιενεργά ισότοπα ή την ανανέωση αδειάς λειτουργίας στην ΕΕΑΕ, πρέπει ο ενδιαφερόμενος να επικοινωνεί με την ΕΕΑΕ, προκειμένου να ενημερωθεί για τυχόν αλλαγές στα παραπάνω αιτούμενα δικαιολογητικά, καθώς και στις προδιαγραφές του χώρου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η ΕΕΑΕ μετά την αξιολόγηση των απαραίτητων δικαιολογητικών προβαίνει σε επιτόπιο έλεγχο του εργαστηρίου και αφού διαπιστωθεί ότι πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις ασφαλούς λειτουργίας και ακτινοπροστασίας εκδίδει την άδεια λειτουργίας. Η άδεια λειτουργίας **ισχύει για δύο χρόνια** και ανανεώνεται μετά από αίτηση των ενδιαφερομένων. Στην αίτηση θα πρέπει να αναφέρονται τυχόν αλλαγές στις εγκαταστάσεις, τα όργανα και το προσωπικό του εργαστηρίου. Η ΕΕΑΕ μετά την αξιολόγηση των ανωτέρω, προβαίνει εκ νέου σε επιτόπιο έλεγχο και, εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις, στην ανανέωση της άδειας λειτουργίας του εργαστηρίου. Οι απαιτήσεις σε εξοπλισμό για τα εργαστήρια όπου χρησιμοποιούνται πηγές ακτίνων-Χ καθορίζονται κατά περίπτωση από την ΕΕΑΕ κατά τη διαδικασία έκδοσης της άδειας.

## **B. Προδιαγραφές χώρου ερευνητικού εργαστηρίου για χρήση ραδιενεργών υλικών**

1. Ο χώρος μετρήσεων πρέπει να έχει επιφάνεια τουλάχιστον 10 m<sup>2</sup>, στον οποίο θα γίνονται αποκλειστικά εργασίες με ραδιενεργά υλικά.
2. Η τράπεζα εργασίας πρέπει να είναι επιστρωμένη με μη απορροφητικό υλικό.
3. Ο απαγωγός-εστία πρέπει να είναι πλήρους απαγωγής αέρα, εφόσον στο εργαστήριο γίνονται εργασίες με πτητικές ραδιενεργές ενώσεις (π.χ. ιωδιώσεις).

4. Ο ανοξειδωτος νιπτήρας πρέπει να έχει παροχή νερού, η οποία πρέπει να ρυθμίζεται μέσω κατάλληλου μηχανισμού με τα πόδια ή τους αγκώνες.
5. Οι κάδοι συλλογής καταλοίπων πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από Plexiglass και να ανοίγουν με το πόδι με την βοήθεια κατάλληλου μηχανισμού.
6. Πρέπει να υπάρχει εστία εργασίας από προστατευτικό Plexiglass πάχους 1 cm για την πλήρη προστασία από τα σωματίδια β. Εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ραδιενεργό ιώδιο πρέπει να τοποθετηθεί προστατευτικό κάλυμμα μολύβδου (τούβλα μολύβδου).
7. Το δάπεδο πρέπει να είναι καλυμμένο με λείο, μη απορροφητικό υλικό (όχι πλακάκι).
8. Οι επιφάνειες των πάγκων εργασίας και των τοίχων πίσω από τους πάγκους και τους νιπτήρες του εργαστηρίου πρέπει να είναι καλυμμένες με λείο, μη απορροφητικό υλικό (δεν πρέπει να καλύπτεται με πλακάκια).
9. Απαιτείται η ύπαρξη ειδικά ασφαλιζόμενου χώρου για την αποθήκευση ραδιενεργών ισωτόπων και ειδικού χώρου για την αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων καθώς και υλικών που έχουν μολυνθεί με ραδιενεργές ενώσεις.

### **Γ. Απαιτήσεις εξοπλισμού ερευνητικού εργαστηρίου**

1. Κατάλληλο σύστημα μέτρησης ραδιενεργών δειγμάτων (π.χ. αν γίνεται εργασία με ισότοπα που εκπέμπουν ακτινοβολία β απαιτείται β-counter).
2. Φυγόκεντρος αποκλειστικής χρήσης, αν τα πειράματα απαιτούν τη χρήση τέτοιας συσκευής.
3. Ψυγείο αποκλειστικής χρήσης.
4. Γάντια, λαβίδες και πιπέτες αποκλειστικής χρήσης.
5. Κατάλληλο όργανο μέτρησης ακτινοβολίας του χώρου (survey meter) ή επιφανειακής ραδιορύπανσης (contamination monitor).

Σημειώνεται ότι όλα τα όργανα και συσκευές που χρησιμοποιούνται ως εξοπλισμός στο ερευνητικό εργαστήριο πρέπει να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τα πειράματα με τα ραδιενεργά ισότοπα. ΔΕΝ επιτρέπεται η χρήση τους σε πειράματα εκτός του ερευνητικού χώρου που έχει χορηγηθεί άδεια για την χρήση ραδιενεργών υλικών. Επίσης πρέπει να ακολουθούνται πιστά τα πρωτόκολλα διαχείρισης εξοπλισμού μετά την ολοκλήρωση των πειραμάτων με ραδιενεργές ενώσεις. Ο εξοπλισμός δεν πρέπει να χρησιμοποιείται άμεσα για άλλες ερευνητικές δραστηριότητες πριν ελεγχθεί για πιθανή ραδιενεργό μόλυνση.

### **Δ. Οδηγίες ακτινοπροστασίας**

1. Οι πάγκοι εργασίας, όπου γίνονται εργασίες με ραδιοϊσότοπα, πρέπει να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για αυτό το σκοπό και οφείλουν να έχουν σε εμφανές

σημείο το σήμα των ιοντιζουσών ακτινοβολιών.

2. Οι χώροι όπου φυλάσσονται ραδιοϊσότοπα (ράφια, ψυγεία) θα πρέπει να έχουν σε εμφανές σημείο το σήμα των ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Να μην τοποθετείται το σήμα των ιοντιζουσών ακτινοβολιών σε χώρους όπου δεν είναι απαραίτητο.

3. Ο νιπτήρας που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την απόρριψη υγρών ραδιενεργών καταλοίπων πρέπει να έχει σε εμφανές σημείο το σήμα των ιοντιζουσών ακτινοβολιών.

4. Απαγορεύονται τα τρόφιμα, τα ποτά και το κάπνισμα στους χώρους, όπου γίνονται εργασίες με ραδιοϊσότοπα.

5. Πριν την πραγματοποίηση κάποιας εργασίας με ραδιοϊσότοπο, πρέπει να μελετώνται οι ιδιότητές του και να λύνονται πιθανές απορίες σχετικά με τη χρήση του. Πριν την έναρξη της εργασίας με ραδιοϊσότοπα να στρώνονται στον πάγκο εργασίας μερικά φύλλα απορροφητικού χαρτιού. Μετά το πέρας της εργασίας, τα χαρτιά να απορρίπτονται στον ειδικό κάδο του εργαστηρίου.

6. Κατά την πραγματοποίηση εργασίας με ραδιοϊσότοπα είναι απαραίτητη η χρήση εργαστηριακής ποδιάς, δυο ζευγαριών γαντιών latex και προστατευτικών γυαλιών σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κίνδυνος εκτίναξης σταγονιδίων. Επίσης απαγορεύονται τα ανοιχτά παπούτσια και τα κοντά παντελόνια κατά την εργασία με ραδιοϊσότοπα.

7. Αν είναι εφικτό, να χρησιμοποιούνται εστίες εργασίας κλειστού τύπου, ώστε να περιορίζεται η εξάπλωση της ραδιορύπανσης σε περίπτωση ατυχήματος.

8. Συνίσταται η χρησιμοποίηση της ελάχιστης απαιτούμενης ποσότητας ραδιενεργού ένωσης για το κάθε πείραμα.

9. Πριν την εφαρμογή νέων τεχνικών με ραδιενεργές ενώσεις, συνίσταται η πραγματοποίηση μερικών δοκιμών με αντίστοιχες μη-ραδιενεργές ενώσεις, προκειμένου να αποκτηθεί εμπειρία στον χειρισμό τους και να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα στις τεχνικές αυτές. Η ύπαρξη προβλημάτων πρέπει να έχει επιλυθεί πλήρως πριν την πραγματοποίηση πειραμάτων με ραδιενεργές ενώσεις.

10. Πρέπει να κρατούνται οι σωστές αποστάσεις από τις ραδιενεργές πηγές – σημειώνεται ότι ο διπλασιασμός της απόστασης από την ραδιενεργό πηγή οδηγεί στον υποτετραπλασιασμό της δόσης κατά την έκθεση.

11. Απαγορεύεται η πλήρωση πιπετών/σιφωνίων με αναρρόφηση διαλυμάτων ραδιενεργών ουσιών με το στόμα. Πρέπει να χρησιμοποιούνται **πάντα** αυτόματες πιπέτες.

12. Απαγορεύεται η απόρριψη των στερεών ραδιενεργών καταλοίπων (φιαλιδίων, γαντιών, χαρτιών, πιπετών κλπ.) στους κάδους των κοινών απορριμμάτων του εργαστηρίου. Να χρησιμοποιούνται πάντα οι ειδικοί κάδοι απορριμμάτων που προορίζονται για ραδιενεργά κατάλοιπα.



13. Να μην γίνεται απόρριψη των υγρών ραδιενεργών καταλοίπων στους κοινούς νιπτήρες. Τα υγρά ραδιενεργά κατάλοιπα πρέπει να συλλέγονται και να φυλάσσονται σε επισημασμένες φιάλες οι οποίες πρέπει να αποθηκεύονται στον ειδικό χώρο φύλαξης των καταλοίπων του εργαστηρίου. Η απόρριψη τους στον ειδικό νιπτήρα του εργαστηρίου επιτρέπεται κάτω από ορισμένες συνθήκες και πρέπει να συνοδεύεται με ταυτόχρονη ροή άφθονου νερού.

14. Μετά το πέρας της εργασίας με ραδιοϊσότοπα πρέπει να πλένονται σχολαστικά τα χέρια με σαπούνι και άφθονο νερό.

15. Είναι πολύ σημαντικό να γίνεται έλεγχος των χώρων που χρησιμοποιήθηκαν για τυχόν ύπαρξη ραδιορύπανσης. Σε περίπτωση που γίνει αντιληπτή ραδιορύπανση, πρέπει να μην εξαπλωθεί με κανένα τρόπο και να σημειωθεί η περιοχή με μαρκαδόρο. Στη συνέχεια με τη χρήση γαντιών πρέπει να σκουπιστεί η περιοχή με στεγνό απορροφητικό χαρτί διαγράφοντας κύκλους με φορά από έξω προς τα μέσα. Δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί νερό, γιατί η ρύπανση θα εξαπλωθεί. Στη συνέχεια πρέπει να ελεγχθεί η περιοχή με τον ανιχνευτή ή με smear test (Προσάρτημα Α1). Σε περίπτωση που ανιχνευθεί ξανά ραδιορύπανση πρέπει να επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία.

16. Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών με ραδιενεργές ενώσεις ο ερευνητής πρέπει να ελέγξει με τον μετρητή Geiger τα χέρια και τα ρούχα του, να πλυθεί και να μετρηθεί ξανά. Σε περίπτωση μόλυνσης πρέπει να ενημερωθεί ο Διευθυντής του εργαστηρίου και ακολούθως ο Τεχνικός Ασφάλειας του Πανεπιστημίου.

17. Να κρατούνται πάντα αρχεία παραλαβής και απόρριψης ραδιοϊσοτόπων σύμφωνα με το πρωτόκολλο που προτείνεται από την ΕΕΑΕ.

18. Να ελέγχεται συχνά ο χώρος εργασίας για πιθανή μόλυνση από ραδιενεργές ενώσεις.

Σε περίπτωση ατυχήματος πρέπει:

1. Αρχικά να ληφθεί μέριμνα για το προσωπικό που μολύνθηκε.
2. Να ενημερωθούν ο Διευθυντής του εργαστηρίου και οι συνάδελφοι.
3. Ο Διευθυντής του εργαστηρίου πρέπει να ενημερώσει άμεσα τον Τεχνικό Ασφάλειας του Πανεπιστημίου.
4. Πρέπει να περιοριστούν οι μη αναγκαίες κινήσεις στην περιοχή του ατυχήματος,
5. Να ακολουθηθεί το πρωτόκολλο καθαρισμού.
6. Σε περίπτωση που κάποιο ραδιοϊσότοπο πέσει στο δέρμα, φορώντας γάντια, να γίνει απαλή εντριβή της περιοχής με σαπούνι και άφθονο νερό αποφεύγοντας τη δημιουργία εκδορών.

## **Ε. Διαχείριση ραδιενεργών καταλοίπων**

Πρέπει να τηρούνται πάντα αρχεία παραλαβής και απόρριψης ραδιενεργών ουσιών. Για την απόρριψη των ραδιενεργών καταλοίπων πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες οδηγίες:

1. Είναι απαραίτητη η χρήση ξεχωριστού κάδου απορριμμάτων για κάθε είδος ραδιοϊσοτόπου που προμηθεύεται το εργαστήριο. Στους κάδους πρέπει να τοποθετούνται διπλοί σάκοι (περιέκτες) απορριμμάτων ώστε να μην σχίζονται και να αποφεύγεται η διασπορά ραδιενεργού υλικού. Για κάθε σάκο να τηρείται ξεχωριστό αρχείο στερεών καταλοίπων.
2. Όταν ένας σάκος γεμίσει με στερεά ραδιενεργά κατάλοιπα πρέπει να σφραγίζεται, να σημειώνεται στο αρχείο και σε ετικέτα επάνω στο σάκο η προβλεπόμενη ημερομηνία απόρριψης του στα κοινά απορρίμματα καθώς και το όνομα του χρήστη. Στη συνέχεια να τοποθετείται στον ειδικό χώρο αποθήκευσης μέχρι την ημερομηνία απόρριψης του.
3. Να χρησιμοποιείται ξεχωριστό αρχείο καταλοίπων για την απόρριψη υγρών στον ειδικό νιπτήρα του εργαστηρίου.
4. Να ελαχιστοποιείται η συσσώρευση αποβλήτων και να τα απομακρύνεται πάντα μέσω της ενδεδειγμένης διαδικασίας.

Στο σχετικό πρωτόκολλο απόρριψης των ραδιενεργών καταλοίπων πρέπει να αναγράφεται ο αριθμός του σάκου, η ημερομηνία απόρριψης, το ισότοπο και η αντίστοιχη ενεργότητά του ( $\mu\text{Ci}$ ) και ο χρήστης.

### **ΣΤ. Απόρριψη υγρών ραδιενεργών καταλοίπων**

Επιτρέπεται η απόρριψη υγρών ραδιενεργών καταλοίπων σε δημόσιο σύστημα διάθεσης λυμάτων εφόσον:

1. Η απόρριψη γίνεται από νιπτήρα, ή άλλη κατάλληλη υποδοχή, που προορίζεται αποκλειστικά για το σκοπό αυτό, με ταυτόχρονη ροή σημαντικής ποσότητας νερού και εφόσον τα κατάλοιπα διασπείρονται ή διαλύονται αμέσως στο νερό.
2. Η μέγιστη συγκέντρωση των ραδιενεργών ουσιών σ' οποιοδήποτε σημείο του αποχετευτικού δικτύου του εργαστηρίου δεν υπερβαίνει το  $1 \text{ GBq}\cdot\text{m}^{-3}$ .
3. Η ποσότητα της ραδιενέργειας του ισотопу που απορρίπτεται σε μία ημέρα δεν υπερβαίνει τα  $270 \mu\text{Ci}$ . Στην περίπτωση που απορρίπτεται μίγμα ισотоπων η επιτρεπόμενη ποσότητα για απόρριψη την ημέρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια απόρριψης που έχει θέσει η ΕΕΑΕ.
4. Η απόρριψη των υγρών καταλοίπων γίνεται μετά την παρέλευση ορισμένου χρόνου για το ισότοπο (4 μήνες για το  $^{125}\text{I}$ , 3 μήνες για το  $^{35}\text{S}$ , 2 μήνες για το  $^{33}\text{P}$  και ένας (1) μήνας για το  $^{32}\text{P}$ ). Ενώσεις που περιέχουν  $^3\text{H}$  και  $^{14}\text{C}$  μπορούν να απορριφθούν στο κοινό δίκτυο αποχέτευσης μετά την ολοκλήρωση των πειραμάτων, εφόσον η απορριπτόμενη δόση δεν

υπερβαίνει τις προβλεπόμενες από τον νόμο μέγιστες ποσότητες.

### **Z. Απόρριψη καταλοίπων υγρού σπινθηριστή**

Τα κατάλοιπα αυτά πρέπει να διαχωρίζονται από τα άλλα είδη καταλοίπων και να τυγχάνουν ειδικής μεταχείρισης, λόγω των οργανικών διαλυτών που περιέχουν. Τα κατάλοιπα αυτά μπορεί να διατεθούν χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο κίνδυνος από τη ραδιενέργεια εφόσον η ποσότητα του περιεχομένου  $^3\text{H}$  δεν πρέπει να υπερβαίνει τα  $3.10^9$  Bq ενώ για τον  $^{14}\text{C}$  δεν πρέπει να υπερβαίνει τα  $3.10^8$  Bq σύμφωνα με την ΕΕΑΕ.

Πρέπει να τηρούνται οι προϋποθέσεις κάθε άλλου κανονισμού που αφορά στη διάθεση άλλων περιεχομένων επικινδύνων υλικών.

Σε περιπτώσεις που δεν εμπίπτουν στα παραπάνω αναφερόμενα, ο προτεινόμενος από τον ενδιαφερόμενο τρόπος απόρριψης καταλοίπων υγρού σπινθηριστή πρέπει να εγκριθεί από την ΕΕΑΕ. Η ΕΕΑΕ μπορεί να ενημερώσει κάθε ενδιαφερόμενο για τις ποσότητες ραδιοϊσοτόπων ώστε να γίνει υπολογισμός των ημερησίων ορίων απόρριψης υπό την μορφή υγρών ραδιενεργών καταλοίπων σε δημόσιο σύστημα διάθεσης λυμάτων.

### **H. Απόρριψη στερεών καταλοίπων**

Επιτρέπεται η απόρριψη στερεών ραδιενεργών καταλοίπων στα κοινά απορρίμματα εφόσον:

- 1.** Η ραδιενεργός συγκέντρωση δεν υπερβαίνει τις τιμές των επιπέδων αποδέσμευσης που έχει θέσει η ΕΕΑΕ.
- 2.** Δεν περιέχουν αντικείμενα ή δεν περιέχονται σε αντικείμενα που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν.
- 3.** Για ραδιενεργά κατάλοιπα που παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες και η διαχείρισή τους δεν εμπίπτει στις προηγούμενες παραγράφους, ο τρόπος διαχείρισης εγκρίνεται κατά περίπτωση από την ΕΕΑΕ.
- 4.** Στερεά ραδιενεργά κατάλοιπα τα οποία υπόκεινται σε σήψη, πρέπει να διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα στερεά κατάλοιπα. Εάν είναι αναγκαία η φύλαξή τους προκειμένου να μειωθεί η εκπεμπόμενη ραδιενέργεια, πρέπει να αποθηκεύονται υπό συνθήκες που αποτρέπουν τη σήψη τους.
- 5.** Το μέγιστο επιτρεπτό ημερήσιο όριο απόρριψης στερεών καταλοίπων στα κοινά απορρίμματα είναι μία (1) σακούλα.

### **Θ. Διάθεση αερίων**

Δεν επιτρέπεται η απελευθέρωση στο περιβάλλον ραδιενεργών αερίων ή αερίων

λυμάτων που περιέχουν ραδιενεργές ουσίες εκτός αν:

A) Τα αέρια ή τα αέρια λύματα διασπείρονται αμέσως στην ατμόσφαιρα και η μέση ημερήσια απόρριψη του ραδιενεργού ισοτόπου δεν υπερβαίνει τις τιμές που καθορίζει η ΕΕΑΕ. Σε περίπτωση ύπαρξης περισσοτέρων ραδιοϊσοτόπων, η συγκέντρωση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που έχει θέσει η ΕΕΑΕ.

B) Σε ειδικές περιπτώσεις, είναι δυνατή η υπέρβαση των συγκεντρώσεων που έχει θέσει η ΕΕΑΕ, μόνο μετά χορήγηση ειδικής αδειας από την ΕΕΑΕ, και κατόπιν μελέτης των ειδικών τοπικών συνθηκών.

### **I. Φύλαξη ραδιενεργών καταλοίπων**

Ραδιενεργά κατάλοιπα τα οποία δεν είναι δυνατόν να απορριφθούν αμέσως σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος και περιέχουν ραδιοϊσότοπα με χρόνο υποδιπλασιασμού μικρότερο των 60 περίπου ημερών, φυλάσσονται ώστε να μειωθεί η ραδιενέργεια τους μέχρις ότου η απόρριψη τους γίνει επιτρεπτή, σύμφωνα με τον Παρόντα Κανονισμό. Οι χώροι φύλαξης πρέπει να εγκρίνονται από την ΕΕΑΕ.

Σε κάθε δοχείο ή σάκο πρέπει να αναγράφεται το είδος και η κατ' εκτίμηση ραδιενέργεια των ισοτόπων, ο χρόνος έναρξης της φύλαξης και άλλες πληροφορίες που χαρακτηρίζουν τα κατάλοιπα.

### **K. Ειδικές περιπτώσεις διάθεσης και διαχείρισης**

Ειδικές περιπτώσεις διάθεσης και διαχείρισης ραδιενεργών καταλοίπων που δεν προβλέπονται στο παρόν, εφαρμόζονται μόνο μετά από έγκριση της ΕΕΑΕ. Στη σχετική έγκριση καθορίζονται: ο τρόπος διάθεσης και διαχείρισης, το είδος των καταλοίπων, τυχόν όρια ραδιενέργειας ή συγκέντρωσης ραδιενεργών ουσιών και ότι άλλο κρίνει αναγκαίο η ΕΕΑΕ.

### **Λ. Καταγραφή στοιχείων**

Ο κάτοχος αδειας εργαστηρίου υποχρεούται να τηρεί αρχείο στο οποίο να καταχωρούνται το είδος και οι ποσότητες των ραδιονουκλιδίων που περιέχονται στα κατάλοιπα τα οποία απορρίπτονται με οποιονδήποτε τρόπο καθημερινά, το μήνα και το έτος, είτε φυλάσσονται στο εργαστήριο ή μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις διαχείρισης ραδιενεργών καταλοίπων που διαθέτουν τη σχετική άδεια. Στο ίδιο αρχείο θα καταγράφεται το είδος και κατ' εκτίμηση η ποσότητα των ραδιονουκλιδίων, η οποία απορρίπτεται με τα εκκρίματα των ασθενών.

## **10.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ**

Οι μη-ιοντίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που δεν μπορούν να προκαλέσουν βιολογικές επιδράσεις λόγω ιοντισμού. Μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια που δεν είναι αρκετή να προκαλέσει ιοντισμό, ενώ είναι αρκετή για να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στα κύτταρα. Οι βλάβες αυτές μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία τους με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται ως θεραπευτικά μέσα.

Στις μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβάνονται:

A) τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, όπως είναι αυτά που δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον, όπως το μαγνητικό πεδίο της γης. Η έκθεση σε αυτά τα πεδία είναι διαρκής, ενώ η ένταση τους είναι περίπου σταθερή,

B) τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας που δημιουργούνται στο περιβάλλον από διατάξεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από συστήματα τα οποία λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρικοί κινητήρες, θερμαντικά σώματα, κ.ά.)

Γ) τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών όπως οι κεραίες της ραδιοφωνίας και της τηλεόρασης, οι σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας καθώς και τα συστήματα εντοπισμού θέσης-ταχύτητας (radar) και

Δ) η υπέρυθη, η ορατή και η υπεριώδης ακτινοβολία.

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη-ιοντίζουσών ακτινοβολιών διαφέρουν ουσιαστικά από αυτές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και εξαρτώνται από την ένταση και τη συχνότητά τους καθώς και από τον χρόνο έκθεσης. Έτσι, ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλής συχνότητας επιδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνουν τα κύτταρα και τους ιστούς.

### **Νομοθετικό Πλαίσιο**

Η Ελληνική Νομοθεσία, εναρμονιζόμενη στις βασικές οδηγίες διεθνών οργανισμών όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, η Διεθνής Επιτροπή για την προστασία από τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες και η Ευρωπαϊκή Ένωση, υιοθέτησε βασικούς περιορισμούς και επίπεδα αναφοράς και εξέδωσε όρια για την ασφαλή έκθεση του κοινού στο περιβάλλον διατάξεων εκπομπής χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων σε όλο το φάσμα των σύγχρονων εφαρμογών και υπηρεσιών (ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο εύρος συχνοτήτων 0-300 GHz).

Αρμόδια ελληνική υπηρεσία για τον έλεγχο και την εφαρμογή των κανονισμών της ελληνικής νομοθεσίας, είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), η οποία μέσω ελέγχων και επί τόπου μετρήσεων, καταγράφει τα επίπεδα της έκθεσης του γενικού

πληθυσμού και διασφαλίζει την τήρηση των θεσμοθετημένων ορίων σε όλους τους ελεύθερα προσπελάσιμους από το κοινό χώρους στο περιβάλλον σταθμών κεραιών και διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, προδιαγράφοντας ειδικά μέτρα προφύλαξης του κοινού (όπου είναι αυτά απαραίτητα). Στην ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ, υπάρχουν σειρά Προεδρικών Διαταγμάτων, Κανονισμών και βασικών οδηγιών της Ελληνικής και της Κοινοτικής Νομοθεσίας, εγκύκλιοι και αποφάσεις του Διοικητικού Συμβουλίου της ΕΕΑΕ, που αφορούν το πλαίσιο λειτουργίας διατάξεων που εκπέμπουν μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία, τα αποδεκτά όρια για τον πληθυσμό και τους εργαζόμενους σε χώρους όπου εκπέμπεται μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία, καθώς και τα μέτρα προστασίας του πληθυσμού και των εργαζομένων.

### **Ακτινοπροστασία από μη ιονίζουσες ακτινοβολίες**

Οι βλάβες που μπορούν να προκληθούν από την μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία περιορίζονται μόνο κατά την διάρκεια ή αμέσως μετά το πέρας της έκθεσης σε αυτές. Επίσης οι βλάβες προκαλούνται μόνο όταν η ένταση της ακτινοβολίας και ο χρόνος έκθεσης σε αυτές ξεπεράσουν ορισμένα όρια, όπως η υπερβολική έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Σημαντική επίδραση στην πρόκληση βλαβών από τις μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες έχουν οι ιδιαιτερότητες του εκτιθέμενου ατόμου. Στον γενικό πληθυσμό υπάρχουν και ειδικές ομάδες ατόμων όπως μικρά παιδιά, ασθενείς, ηλικιωμένοι, έγκυες, στους οποίους συχνά τα όρια πρόκλησης βλαβών είναι χαμηλότερα από το μέσο όρο του γενικού συνόλου. Η τήρηση όμως των βασικών περιορισμών για τις ομάδες αυτές εξασφαλίζει και την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία. Οι βασικοί περιορισμοί προκύπτουν από τα ελάχιστα όρια για την πρόκληση αποδεδειγμένων βλαβερών επιδράσεων στην υγεία αφού υιοθετηθούν μεγάλοι συντελεστές ασφαλείας π.χ. για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο φάσμα 0- 300 GHz, της τάξης του 50.

Οι περισσότεροι βασικοί περιορισμοί δεν αφορούν μετρήσιμα μεγέθη στο περιβάλλον όπου λειτουργούν οι διατάξεις εκπομπής μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας, αλλά επαγόμενα μεγέθη στο εσωτερικό του σώματος των ανθρώπων που είναι δύσκολο να μετρηθούν και μπορεί να ποικίλουν σημαντικά ανάμεσα σε άτομα της ίδιας πληθυσμιακής ομάδας. Για τον λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενέστερες συνθήκες έκθεσης του ατόμου σε μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες, προκύπτουν «επίπεδα αναφοράς» που είναι εύκολα μετρήσιμες παράμετροι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η τήρησή τους εξασφαλίζει και την τήρηση του βασικού περιορισμού και κατά συνέπεια την απουσία των βλαβερών επιδράσεων στην υγεία.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την γνώση που αποκτάται σε σχέση με τις βλάβες

που προκαλούνται από την έκθεση σε μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες τα όρια έκθεσης σε αυτές για την αποφυγή πρόκλησης βλαβών τελούν υπό συνεχή αναθεώρηση.

Βασικές πηγές μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας σε εργαστηριακούς χώρους είναι:

- A) τα κύρια συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τυχόν διατάξεις υποβιβασμού της ηλεκτρικής τάσης (μετασχηματιστές),
- B) ηλεκτρικοί κινητήρες σε διάφορες συσκευές όπως αντλίες υψηλού κενού, φυγόκεντροι κ.ά.,
- Γ) συσκευές με ισχυρά μαγνητικά πεδία όπως οι συσκευές Μαγνητικού Πυρηνικού Συντονισμού (NMR) και
- Δ) τα συστήματα αποστείρωσης χώρων και απαγωγών με υπεριώδη ακτινοβολία. Περισσότερα για την προφύλαξη από την υπεριώδη ακτινοβολία περιγράφονται παρακάτω.

**Γενικός κανόνας:** η τήρηση των ορίων έντασης των μη-ιοντιζουσών ακτινοβολιών καθώς και του μέγιστου χρόνου έκθεσης σε αυτές, περιορίζει σημαντικά τον κίνδυνο πρόκλησης βλαβών στον ανθρώπινο οργανισμό.

#### **10.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ LASER**

Σημαντικός αριθμός ερευνητικών συσκευών και πειραματικών διατάξεων είναι εξοπλισμένες με πηγές ακτινοβολίας Laser. Οι πηγές ακτινοβολίας Laser βρίσκονται συνήθως στις εμπορικές ερευνητικές συσκευές πλήρως προστατευμένες στο εσωτερικό των συσκευών και με την βοήθεια κατάλληλων συστημάτων ασφάλειας η δέσμη Laser δεν μπορεί να προκαλέσει καμία βλάβη κατά την χρήση τους. Στις ανοικτές πειραματικές διατάξεις και σε ορισμένες ερευνητικές συσκευές η δέσμη Laser μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά την λειτουργία των συσκευών και διατάξεων αυτών αφού η δέσμη «ταξιδεύει» στον ανοικτό χώρο. Παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο πρόκλησης βλάβης, ιδιαίτερα στους οφθαλμούς, είναι τυχόν ανακλάσεις και διάχυση της δέσμης στον περιβάλλοντα χώρο, καθώς και η χρήση υπέρυθρων πηγών ακτινοβολίας Laser οι οποίες είναι αόρατες από τον άνθρωπο.

#### **Επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας Laser σε βιολογικούς ιστούς**

Η ακτινοβολία Laser είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και δεν προκαλεί ιοντισμό στην ύλη. Αντιθέτως οι ακτίνες-X και οι ακτίνες-γ προκαλούν ιοντισμό στην ύλη, λόγω του πολύ μικρότερου μήκους κύματος και της μεγαλύτερης ενέργειας που μεταφέρουν. Η ακτινοβολία Laser επιδρά στους βιολογικούς ιστούς με τρεις διαφορετικούς μηχανισμούς, όπως:

- Ανάκλαση,
- Διάβαση και
- Απορρόφηση.

Οι ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser και το είδος του ιστού καθορίζουν τον μηχανισμό επίδρασης καθώς και το ποσοστό κάθε μηχανισμού στην περίπτωση που επιδρούν περισσότεροι μηχανισμοί ταυτόχρονα. Ο σημαντικότερος μηχανισμός που προκαλεί βλάβες στους ιστούς είναι η απορρόφηση. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας Laser μπορεί να προκαλέσει:

A) **Θερμική επίδραση:** η ακτινοβολία Laser προκαλεί ταλάντωση-δόνηση στα μόρια του βιολογικού ιστού με αποτέλεσμα την παραγωγή θερμότητας. Μπορεί να προκληθεί ακόμη και έγκαυμα όταν ξεπεραστούν τα όρια έκθεσης και ισχύος της ακτινοβολίας.

B) **Θερμο-ακουστική επίδραση:** προκαλείται όταν η ακτινοβολία Laser είναι διαμορφωμένη σε σύντομους (μικρότερων από 1 ms), αλλά ισχυρούς παλμούς. Προκαλείται τοπική απότομη και πολύ υψηλή αύξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την ταχύτατη εξάτμιση του νερού που περιέχεται στους βιολογικούς ιστούς και την επακόλουθη έκρηξη των κυττάρων.

Γ) **φωτοχημική επίδραση:** λαμβάνει χώρα όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας Laser δίνει την απαραίτητη ενέργεια για την έναρξη χημικής αντίδρασης μεταξύ ορισμένων οργανικών μορίων.

Ο οφθαλμός αποτελεί εκείνο το όργανο του ανθρωπίνου σώματος που κινδυνεύει περισσότερο από την έκθεση του στην ακτινοβολία Laser ακόμη και για δέσμες χαμηλής ισχύος. Αυτό οφείλεται στην κατασκευή του ανθρώπινου οφθαλμού και συγκεκριμένα α) στο ότι είναι διαφανής στο ορατό φως και στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και β) στον μηχανισμό εστίασης του προσπίπτοντος φωτός στα κύτταρα του αμφιβληστροειδή χιτώνα. Η ισχύς εστίασης καθορίζεται από τη σχέση μεταξύ της διαμέτρου της ίριδας και της διαμέτρου της σχηματιζόμενης φωτεινής κηλίδας στον αμφιβληστροειδή. Αυτό προκαλεί σημαντική μείωση της τελικής διαμέτρου (τουλάχιστον κατά τρεις τάξεις μεγέθους), ενώ η πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορεί να αυξηθεί κατά παράγοντα  $10^6$  εξαιτίας της μείωσης του τελικού εμβαδού που προσπίπτει η ακτινοβολία Laser. Έτσι η ισχύς του Laser αυξάνει σε εκατοντάδες χιλιάδες W ανά  $\text{mm}^2$ , προκαλώντας αναπόφευκτο έγκαυμα. Συνήθως η βλάβη δεν γίνεται αισθητή και είναι πολύ μικρής έκτασης, είναι όμως αθροιστική και συνίσταται οι εργαζόμενοι να επισκέπτονται τακτικά οφθαλμίατρο, προκειμένου να διαπιστώνονται έγκαιρα τυχόν εγκαύματα. Ο κίνδυνος πρόκλησης εγκαύματος είναι μεγαλύτερος κατά την χρήση υπέρυθρων Laser στα οποία η δέσμη και



τυχόν ανακλάσεις της στον χώρο εργασίας είναι αόρατες.

Τα επίπεδα μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης (MEE) καθορίζουν την μέγιστη ποσότητα της ακτινοβολίας Laser στην οποία μπορεί να εκτεθεί ο άνθρωπος με ασφάλεια. Η MEE εκφράζεται σε  $J.cm^{-2}$  ή  $W.cm^{-2}$  και εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας Laser, την διάρκεια έκθεσης στην ακτινοβολία Laser, την συχνότητα των παλμών (συνεχούς ή διαμορφωμένου κύματος) και την φύση της έκθεσης (σε συγκεντρωμένη ή διάχυτη δέσμη).

Οι συσκευές Laser κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας τους και τον κίνδυνο που υπάρχει κατά την χρήση τους, σύμφωνα με το Εθνικό Ίδρυμα Προτύπων της Αμερικής (ANSI). Τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας είναι:

A) το μήκος κύματος,

B) η ισχύς εξόδου και

Γ) η διάρκεια των παλμών.

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από την πηγή Laser που μπορεί να προκαλέσει βλάβη καθορίζεται από δύο παραμέτρους: α) το άνοιγμα-παράθυρο εξόδου της δέσμης και β) από την απόσταση από την συσκευή στην οποία γίνεται η μέτρηση.

### **Κατηγορία - I**

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις πηγές ακτινοβολίας Laser, οι οποίες δεν μπορούν να προκαλέσουν βλάβη ακόμη και στον οφθαλμό υπό φυσιολογικές συνθήκες. Η μέγιστη ισχύς των πηγών ακτινοβολίας Laser He-Ne δεν ξεπερνά τα  $0.4 \mu W$ , η οποία είναι χαμηλότερη από το όριο της μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης. Δεν προκαλούν βλάβες στον οφθαλμό ακόμη και όταν κοιτάξει κάποιος την δέσμη για αρκετό χρονικό διάστημα, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και καλούνται 'Laser ασφαλή για τον οφθαλμό'.

### **Κατηγορία - II**

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλες οι πηγές ακτινοβολίας Laser στην περιοχή του ορατού φωτός με χαμηλή ισχύ, ικανή όμως να διεγείρει το αντανακλαστικό κλείσιμο της ίριδας του ματιού προκειμένου να προστατευθεί. Η μέγιστη ισχύς ενός συνεχούς κύματος ορατού Laser στην κατηγορία II είναι  $1 mW$ . Αυτές οι πηγές ακτινοβολίας Laser είναι κατάλληλες για πειράματα σε φοιτητές και μαθητές. Εάν το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας Laser είναι στο υπέρυθρο και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία Laser ξεπερνά τα όρια της κατηγορίας -I, τότε οι πηγές αυτές κατατάσσονται στην κατηγορία-III.

### **Κατηγορία - III**

Η κατηγορία-III χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, την IIIα και IIIβ. Στην κατηγορία IIIα ανήκουν όλες οι πηγές ακτινοβολίας Laser στην ορατή περιοχή του φωτός με επίπεδο ισχύος που δεν βλάπτει ανθρώπους με φυσιολογική λειτουργία οφθαλμού, λόγω της αντανακλαστικής αντίδρασης της ίριδας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι πηγές ακτινοβολίας Laser με μέση ισχύ εξόδου από 1 έως 5 φορές ισχυρότερη της κατηγορίας-I, ανάλογα με την διάρκεια της έκθεσης. Σε περίπτωση χρήσης οπτικών βοηθητικών συστημάτων για την παρατήρηση της δέσμης μπορεί να προκληθεί βλάβη στον οφθαλμό του παρατηρητή. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς για πηγές ακτινοβολίας Laser αερίου He-Ne και Laser ημιαγωγών είναι 5 mW.

Στην κατηγορία-IIIβ ανήκουν όλες οι πηγές ακτινοβολίας Laser οι οποίες δεν ταξινομούνται στις κατηγορίες -I ή -II, εκπέμπουν είτε στο ορατό είτε στο υπέρυθρο και μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στον οφθαλμό του παρατηρητή ακόμη και χωρίς την χρήση οπτικών βοηθητικών συστημάτων. Η μέγιστη ισχύς για πηγές ακτινοβολίας Laser στην κατηγορία -IIIβ είναι 0.5 W.

#### **Κατηγορία-IV**

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι πηγές ακτινοβολίας Laser που δεν ανήκουν σε καμία από τις προηγούμενες τρεις κατηγορίες και θεωρούνται μεγάλης ισχύος. Οποιαδήποτε πηγή ακτινοβολίας Laser με ισχύ μεγαλύτερη από 0.5 W ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία τους μπορεί να προκαλέσει:

- βλάβη στο οφθαλμό ακόμη και από σκεδασμένη δέσμη,
- βλάβη στο δέρμα και
- πυρκαγιά.

#### **Νομοθετικό Πλαίσιο**

Ορισμένες βασικές αρχές για την λειτουργία συσκευών με πηγές ακτινοβολίας Laser έχουν τεθεί στην Ελληνική Νομοθεσία με το Προεδρικό Διάταγμα 377/1993 'Προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας στις οδηγίες 89/392/EOK και 91/368/EOK του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με τις μηχανές'. Συγκεκριμένα, στο παράρτημα I, παράγραφος 1.5.12 περιγράφονται οι βασικές αρχές προστασίας από τους κινδύνους που οφείλονται στους εξοπλισμούς Laser.

#### **Μέτρα προστασίας από την ακτινοβολία Laser**

Ο υπεύθυνος πρέπει να επεξηγεί και να ενημερώνει για τους κινδύνους όσους εργάζονται σε χώρους με πηγές ακτινοβολίας Laser. Για κάθε επόμενη κατηγορία (από την I στην IV) απαιτούνται πρόσθετα μέτρα ελέγχου και προστασίας του χρήστη και των

παρόντων.

Οι κανόνες ασφάλειας για την χρήση συσκευών ακτινοβολίας Laser πρέπει να βρίσκονται σε ευκρινές σημείο και να φέρουν τις κατάλληλες σημάνσεις και προειδοποιήσεις. Είναι απαραίτητη η ανάρτηση σχετικών προειδοποιητικών σημάτων στις εισόδους του χώρου όπου υπάρχουν οι συσκευές με ακτινοβολία Laser, καθώς και η σήμανση των συσκευών για την κατηγορία στην οποία ανήκει η πηγή ακτινοβολίας Laser που διαθέτουν. Επίσης, πρέπει να υπάρχει κατάλληλο οπτικό σύστημα στην είσοδο του χώρου, προκειμένου να προειδοποιεί τυχόν εισερχόμενους για την λειτουργία της πηγής ακτινοβολίας Laser.

Οι εργαζόμενοι σε χώρους με πηγές ακτινοβολίας Laser πρέπει:

- 1) να φορούν υποχρεωτικά τα κατάλληλα προστατευτικά γυαλιά κατά την διάρκεια της εργασίας τους, ακόμη και όταν δημιουργούνται δυσκολίες,
- 2) να αποφεύγουν να κοιτάζουν απευθείας την δέσμη ακτινοβολίας Laser,
- 3) να λαμβάνουν μέτρα για την προστασία των χεριών τους και άλλων μερών του σώματος από τη ακτινοβολία,
- 4) να μην επιτρέπουν σε κανέναν την είσοδο στους χώρους αυτούς κατά την διάρκεια λειτουργίας της πηγής ακτινοβολίας Laser,
- 5) να ανάβουν την πηγή ακτινοβολίας Laser μόνον εφόσον έχει απομακρυνθεί από την πορεία της κάθε ανακλώσα επιφάνεια που θα μπορούσε να την οδηγήσει προς ανεπιθύμητες κατευθύνσεις,
- 6) να αποφεύγουν να φορούν οτιδήποτε μπορεί να ανακλά την δέσμη Laser, όπως ρολόγια, κοσμήματα,
- 7) να επισκέπτονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα οφθαλμίατρο προκειμένου να διαγνωσθούν έγκαιρα τυχόν βλάβες του αμφιβληστροειδούς,
- 8) να αποφεύγουν να τρώνε και να πίνουν, όπως άλλωστε σε όλους του εργαστηριακούς χώρους.

Επίσης εκτός από τους κινδύνους της πηγής ακτινοβολίας Laser υπάρχουν ορισμένοι επιπλέον κίνδυνοι από τα ηλεκτρικά συστήματα των συσκευών Laser, όπως:

- 1) οι συσκευές Laser λειτουργούν σε υψηλές τάσεις και τυχόν διαρροές μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία, ο δε κίνδυνος αυξάνει όταν χρησιμοποιείται νερό για την ψύξη της συσκευής Laser,
- 2) κίνδυνος από κρυογονικά υγρά ψύξης των συσκευών Laser (υγρό άζωτο, υγρό ήλιο) τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ασφυξία και
- 3) κίνδυνος εκδήλωσης φωτιάς (από πυκνωτές, εύφλεκτα αέρια ή διαλύτες, στατικός ηλεκτρισμός).

4) πρέπει να αποφεύγεται κάθε επέμβαση για την επισκευή της συσκευής Laser από μη εξουσιοδοτημένα άτομα, ακόμη και όταν είναι συνδεδεμένη στην ηλεκτρική παροχή, αλλά εκτός λειτουργίας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκληθεί μόλυνση της ατμόσφαιρας του εργαστηριακού χώρου που λειτουργεί η πηγή ακτινοβολίας Laser. Οι σημαντικότερες αιτίες για την πρόκληση της μόλυνσης είναι α) προϊόντα του συστήματος αερίων του Laser (ενεργό αέριο, σύστημα ψύξης, κ.ά.) και β) καπνοί που δημιουργούνται από την απανθράκωση ή την αποδόμηση ιστών, κάτι που απαντάται συχνότερα σε χειρουργικές εφαρμογές. Έτσι είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλου κλιματιστικού συστήματος, το οποίο, εκτός από την διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου σε καθορισμένα επίπεδα που να εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία της συσκευής με πηγή ακτινοβολίας Laser, να καθαρίζει επαρκώς την ατμόσφαιρα.

Ανάλογες προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται σε εργαστηριακούς χώρους όπου χρησιμοποιούνται άλλα είδη επιβλαβούς ακτινοβολίας, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία στην περιοχή μήκους κύματος από 100 έως 400 nm (UVA (400-315nm), UVB (315-280nm) και UVC (280-100nm)).

Η παρατεταμένη έκθεση στην UVB ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και μερικές φορές καρκίνο του δέρματος. Εντούτοις, η πλέον θανατηφόρα μορφή είναι το κακοήθες μελάνωμα το οποίο προκαλείται από την άμεση καταστροφή του DNA (ελεύθερες ρίζες και οξειδωτικό). Στους ανθρώπους, σε παρατεταμένη έκθεση τους σε UV ακτινοβολία μπορεί να προκληθούν οξεία και χρόνια προβλήματα υγείας στο δέρμα, στους οφθαλμούς και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Επιπλέον, η UVC-ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιδράσεις οι οποίες ανάλογα με την περίπτωση να είναι μεταλλαξιογόνες ή καρκινογόνες. Η UVC-ακτινοβολία έχει την μεγαλύτερη ενέργεια και είναι ο πιο επικίνδυνος τύπος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία UVC κατακρατείται σε σημαντικό ποσοστό από την ατμόσφαιρα και γι' αυτό δεν είχε δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτήν τις τελευταίες δεκαετίες. Εντούτοις, η χρήση της σε συσκευές αποστείρωσης μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα εάν η λυχνία UV παραμένει αναμμένη, ενώ η συσκευή είναι ανοικτή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (<http://www.eeae.gr/gr/>)
- Εθνικό Ίδρυμα ερευνών, Ινστιτούτο βιολογικών ερευνών & Βιοτεχνολογίας. Βασικές αρχές ασφάλειας εργαστηρίων, Νοέμβριος 2004

- (<http://www.eie.gr/texnikos-asfaleias/docs/odigos.pdf>)