

LASER 5

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΙΟΔΟΥ LASER GaAlAs
ΣΤΗΝ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ**

A. ΘΕΩΡΙΑ

1. Εισαγωγή

Τα Laser ημιαγωγών (ή διοδικά Laser) έχουν γενικά μικρή ισχύ (μέχρι μερικές δεκάδες mW) και ως εκ τούτου συγκαταλέγονται κυρίως στην κατηγορία των μαλακών Laser. Στις χαμηλές αυτές ισχύεις η ακτινοβολία τους:

1. Δεν προκαλεί ούτε θερμότητα, ούτε κάποιες μακροχημικές ή ανατομικές μεταβολές στους ιστούς.
2. Είναι δυνατό να βοηθήσει τις δραστηριότητες των κυττάρων και την ενδοκυτταρική επικοινωνία.
3. Επιδρά θετικά στο ανοσοποιητικό σύστημα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση της ενδογενούς θεραπευτικής ικανότητας του οργανισμού.

Σε αντίθεση με τα Laser Nd:YAG, CO₂ και Αργού, τα Laser διόδων έχουν μικρές φυσικές διαστάσεις και το κυριότερο απ' όλα παρέχουν τη δυνατότητα εκπομπής διαφορετικών μηκών κύματος, από ορατά μέχρι και υπέρυθρα, ανάλογα με το είδος της διόδου που χρησιμοποιείται.

Τα διοδικά Laser με μήκη κύματος 830 nm και 950 nm χρησιμοποιούνται ήδη σήμερα στη φυσικοθεραπεία και στη ρευματολογία για την αντιμετώπιση κυρίως του πόνου. Επίσης, σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνουν οι κατασκευαστές ιατρικών διοδικών Laser, η ακτινοβολία Laser με μήκος κύματος 660 nm μπορεί να θεραπεύσει παθήσεις του δέρματος όπως την ακμή, τις ανωμαλίες στην επούλωση των πληγών, τη δερματική και την υποδερματική νέκρωση, τα εγκαύματα, τον έρπη και τα έλκη του δέρματος.

Παρ' όλα αυτά, ο κάθε ενδιαφερόμενος πρέπει να είναι, προς το παρόν τουλάχιστον, προσεκτικός στη επιλογή ενός τέτοιου Laser ως θεραπευτικού μέσου. Το επιχείρημα “αφού αυτά δεν προκαλούν προβλήματα γιατί να μην τα χρησιμοποιώ;”, είναι επιστημονικά, αλλά και δεοντολογικά ανεπίτρεπτο.

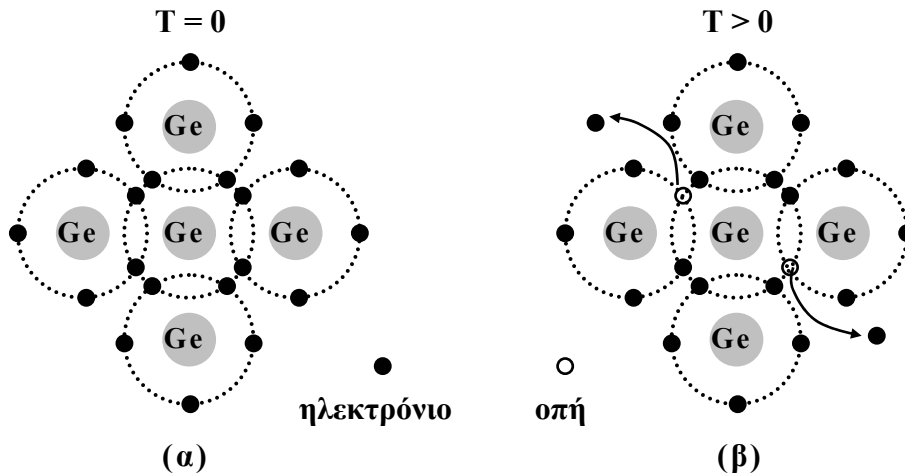
2. Αρχή λειτουργίας

Όπως προαναφέραμε, η δίοδος Laser είναι μια ημιαγωγός διάταξη που κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορεί να εκπέμψει σύμφωνο φως. Εδώ θα επιχειρήσουμε μια ποιοτική παρουσίαση και ανάλυση των παραμέτρων που συμβάλλουν σ' αυτή τη διαδικασία. Άλλωστε ο αναγνώστης μπορεί να αναζητήσει περισσότερες πληροφορίες στο **Κεφάλαιο 4 (παραγρ. 4.8)** του παρόντος βιβλίου.

2.1 Ενδογενείς ημιαγωγοί

Στο **Σχήμα 1α** παρουσιάζεται το κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου (Ge). Επειδή το στοιχείο αυτό ανήκει στην ομάδα IV του περιοδικού συστήματος των στοιχείων, έχει σθένος 4 και κρυσταλλώνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε άτομο να περιβάλλεται από τέσσερα γειτονικά άτομα. Επειδή κάθε άτομο έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους, για να δημιουργηθεί μια σταθερή κατάσταση από άποψη χημικών δεσμών, δημιουργούνται γύρω του τέσσερις ομοιοπολικοί δεσμοί στους οποίους συμμετέχουν τέσσερα γειτονικά άτομα συνεισφέροντας το καθένα ένα ηλεκτρόνιο σθένους στον κάθε ένα από τους ομοιοπολικούς δεσμούς.

Στη θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός όλα τα ηλεκτρόνια σθένους είναι δέσμια και επομένως το γερμάνιο είναι μονωτής λόγω της απουσίας ελεύθερων ηλεκτρονίων. Σε



Σχήμα 1. Δημιουργία ελεύθερου ηλεκτρονίου και οπής σε ενδογενή ημιαγωγό.

υψηλότερη όμως θερμοκρασία (συνήθως αρκεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος) η θερμική κίνηση των ατόμων είναι αρκετή, ώστε να αποσπάσει μερικά ηλεκτρόνια σθένους από τη θέση τους έτσι ώστε αυτά να κινούνται άτακτα μέσα στο στερεό, σαν ελεύθερα ηλεκτρόνια, ενώ η κενή θέση που απομένει ονομάζεται οπή (**Σχήμα 1β**). Η οπή συμπεριφέρεται ως θετικό φορτίο, δεδομένου ότι έλκει και συγκρατεί όποιο ηλεκτρόνιο βρεθεί σ' αυτή τη θέση.

2.2 Ημιαγωγοί προσμίξεων

Ημιαγωγοί τύπου n

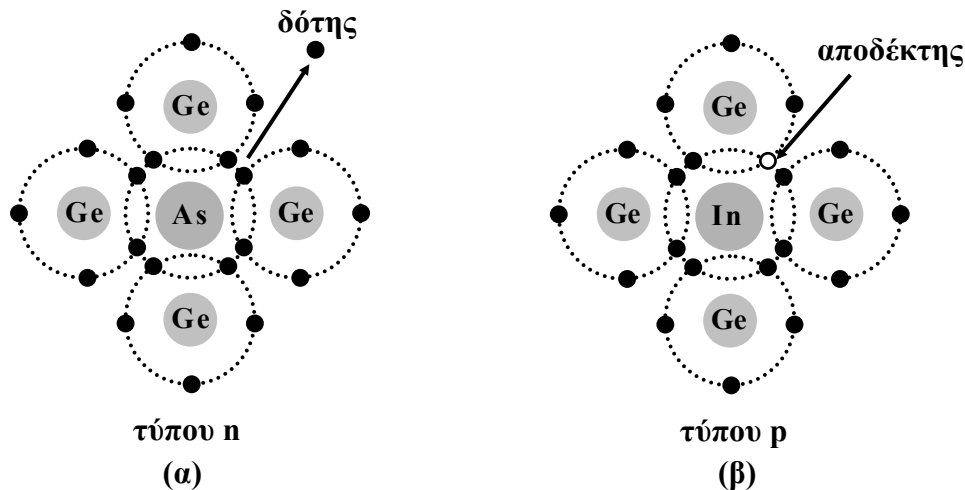
Ας θεωρήσουμε το κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου, στο οποίο ένα άτομο γερμανίου έχει αντικατασταθεί από ένα άτομο αρσενικού (As) (**Σχήμα 2α**). Επειδή το άτομο του αρσενικού ανήκει στην ομάδα V του περιοδικού συστήματος των στοιχείων, έχει 5 ηλεκτρόνια σθένους. Από αυτά τα 4 χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία 4 ομοιοπολικών δεσμών με τα 4 γειτονικά άτομα του γερμανίου, ενώ το 5^ο ηλεκτρόνιο παραμένει αδέσμευτο και μπορεί να απομακρυνθεί σχετικά εύκολα λόγω της θερμικής κίνησης, ακόμη και σε χαμηλή θερμοκρασία.

Το άτομο του αρσενικού λέγεται **δότης**. Αυξάνοντας τον αριθμό των δοτών σ' ένα ημιαγωγό γερμανίου, αυξάνουμε τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μικρού ρεύματος, όταν ο ημιαγωγός βρεθεί σε ηλεκτρικό πεδίο. Οι ημιαγωγοί του τύπου αυτού καλούνται **ημιαγωγοί τύπου n**.

Ημιαγωγοί τύπου p

Αν στο κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου ένα άτομο γερμανίου αντικατασταθεί από ένα άτομο ινδίου (In), στοιχείο που ανήκει στην ομάδα III του περιοδικού συστήματος και επομένως έχει 3 ηλεκτρόνια σθένους, τότε το άτομο του ινδίου θα δημιουρ-

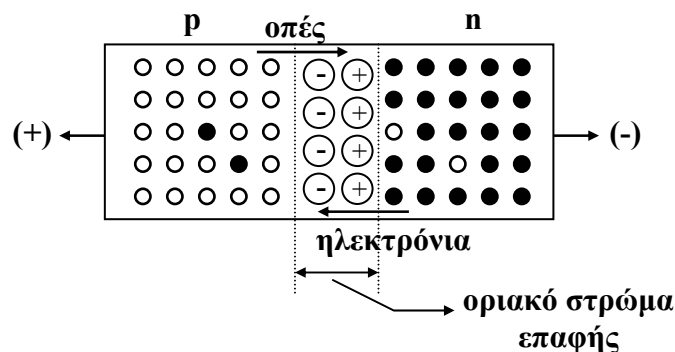
γήσει με τα γειτονικά άτομα του γερμανίου 3 ομοιοπολικούς δεσμούς, ενώ ο τέταρτος δεν θα είναι πλήρης, γιατί θα λείπει ένα ηλεκτρόνιο (**Σχήμα 2β**). Η θέση όμως του ηλεκτρονίου που λείπει στο κρυσταλλικό πλέγμα είναι κενή και αποτελεί μια θετική οπή. Η οπή μετακινείται ελεύθερα στον κρύσταλλο λόγω του ότι ένα ηλεκτρόνιο γειτονικού δεσμού, μπορεί να καλύψει τη θέση της δημιουργώντας, κατ' αυτό τον τρόπο μια καινούργια ελεύθερη θέση. Αυτό ισοδυναμεί με κίνηση της οπής προς την αντίθετη κατεύθυνση απ' αυτή της κίνησης του ηλεκτρονίου. Το άτομο του ινδίου καλείται **αποδέκτης**. Σ' ένα ημιαγωγό με προσμίξεις αποδεκτών έχουμε πλεονασμό οπών και ο ημιαγωγός καλείται ημιαγωγός **τύπου p**.



Σχήμα 2. Ένας ημιαγωγός με προσμίξεις δοτών καλείται *n*-τύπου (**α**) ενώ ένας ημιαγωγός με προσμίξεις αποδεκτών καλείται *p*-τύπου (**β**).

2.3 Επαφή p-n – LED

Όταν ένας ημιαγωγός τύπου p έλθει σ' επαφή με έναν ημιαγωγό τύπου n, τότε κατά



Σχήμα 3. Λειτουργία της επαφής p-n. Υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου τα ηλεκτρόνια που πλεονάζουν στην πλευρά n κινούνται προς το θετικό πόλο (προς τα αριστερά) και οι οπές που πλεονάζουν στην πλευρά p κινούνται προς τα δεξιά.

μήκος μιας στενής περιοχής της επαφής των δυο ημιαγωγών που καλείται οριακό

στρώμα επαφής και είναι της τάξης 1 – 2 μm , παρατηρείται διάχυση ηλεκτρονίων και οπών (Σχήμα 3). Τα ηλεκτρόνια προέρχονται από τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια της πλευράς n, ενώ οι οπές προέρχονται από την πλευρά p. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, η παροχή των ηλεκτρονίων είναι συνεχής και η διάχυση αυτή συντηρείται. Όμως κατά μήκος του οριακού στρώματος της επαφής τα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται με τις οπές. Με κάθε επανασύνδεση ηλεκτρονίου – οπής, ελευθερώνεται ενέργεια υπό μορφή φωτονίων. Στην περίπτωση αυτή η επαφή p-n λειτουργεί ως **φωτο-εκπέμπουσα δίοδος** (ή LED από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων Light emitting Diode). Μια πιο λεπτομερής ανάλυση του τρόπου λειτουργίας και των χαρακτηριστικών της LED παρουσιάζεται στο θεωρητικό μέρος της αντίστοιχης εργαστηριακής άσκησης του παρόντος βιβλίου.

2.4 Laser ημιαγωγών – Διοδικό Laser GaAlAs

Στα Laser ημιαγωγών χρησιμοποιείται ως ενεργό υλικό το οριακό στρώμα της επαφής p-n δυο ημιαγωγών. Για να χρησιμοποιηθεί μια τέτοια επαφή για δράση Laser, πρέπει να συνυπάρχουν και οι άλλες απαιτήσεις, δηλαδή η οπτική ανάδραση, η άντληση και η αναστροφή πληθυσμών. Το οπτικό αντηχείο δημιουργείται στην κρυσταλλοδίοδο με την κατάλληλη λείανση των τερματικών επιφανειών της επαφής p-n, ώστε αυτές ν' αντιστοιχούν σε οπτικά επίπεδες επιφάνειες που σε συνδυασμό με τους υψηλούς δείκτες διάθλασης των υλικών των ημιαγωγών να δημιουργούνται ικανοποιητικές ανακλάσεις.

Η άντληση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή τάσης ορθής πόλωσης στην ημιαγωγό διάταξη και έτσι έχουμε διαρκή επαναφορά ηλεκτρονίων αγωγιμότητας στην πλευρά n με ταυτόχρονη αναστροφή πληθυσμών κατά μήκος του οριακού στρώματος της επαφής.

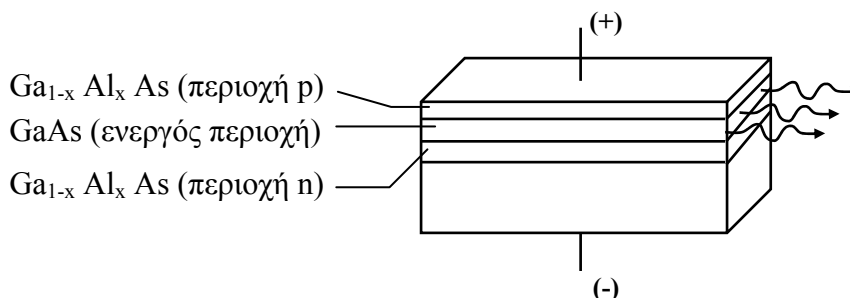
Σε αντίθεση με τα Laser στερεών και αερίων, όπου η αναστροφή πληθυσμών πραγματοποιείται μεταξύ διάκριτων ενεργειακών σταθμών μεμονωμένων ατόμων, στα Laser δίοδου ημιαγωγών πραγματοποιείται μεταξύ των ενεργειακών ζωνών αγωγιμότητας και σθένους (βλέπε σχετική θεωρία της εργαστηριακής άσκησης περί δίοδου Laser στο παρόν βιβλίο) και επομένως το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας θα εξαρτάται από το εύρος E_g του ενεργειακού χάσματος. Συγκεκριμένα, αν η δίοδος πολωθεί ορθά, τότε μέσα από αυτή θα περάσει ηλεκτρικό ρεύμα, με αποτέλεσμα κάποια ηλεκτρόνια να αποκτούν αρκετή ενέργεια και να μεταπηδούν στη ζώνη αγωγιμότητας δημιουργώντας έτσι μια διηγερμένη κατάσταση μέσα στη δίοδο. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες, ένα ηλεκτρόνιο επανασυνδέεται αυθόρμητα με μια οπή, ελευθερώνοντας την επί πλέον ενέργειά του υπό μορφή φωτονίου:

$$E_g = h\nu \quad (1)$$

Τα παραγόμενα φωτόνια συντονίζονται μεταξύ τους και διαδίδονται μέσα στην ενεργό περιοχή της δίοδου με την ίδια φάση. Και εδώ, τα φωτόνια παγιδεύονται μεταξύ δυο κατόπτρων, όπως εξηγήσαμε και παραπάνω, από τα οποία το ένα είναι αδιαφανές και το άλλο εν μέρει ημιδιαφανές. Τα φωτόνια που ξεφεύγουν από το ημιδιαφανές κάτοπτρο δημιουργούν τελικά τη δέσμη Laser.

Ένας αντιπροσωπευτικός τύπος Laser δίοδου είναι η δίοδος GaAlAs διπλής ετεροεπαφής. Στη δίοδο αυτή η ενεργός περιοχή είναι ένα ενδιάμεσο λεπτό στρώμα GaAs

με πάχος $0.1 - 0.3 \mu\text{m}$ που βρίσκεται σε επαφή μεταξύ δυο διαφορετικών ημιαγωγών στρωμάτων (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Τυπική δομή μιας GaAlAs διόδου Laser διπλής ετεροεπαφής.

Οι δυο αυτές επαφές είναι του τύπου $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As} - \text{GaAs} / \text{GaAs} - \text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ όπου x είναι ένας θετικός αριθμός μικρότερος της μονάδας. Η επιλογή αυτής της διπλής ετεροεπαφής κρίνεται αναγκαία για τους παρακάτω λόγους:

α. Μειώνεται κατά πολύ η ελάχιστη πυκνότητα ρεύματος που πρέπει να διαρρέει τη δίοδο για εκπομπή Laser. Για παράδειγμα, όταν $x = 0.3$ η πυκνότητα ρεύματος είναι Περίπου 10^3 A-cm^{-2} , ενώ στην απλή δίοδο GaAs είναι περίπου 10^5 A-cm^{-2} .

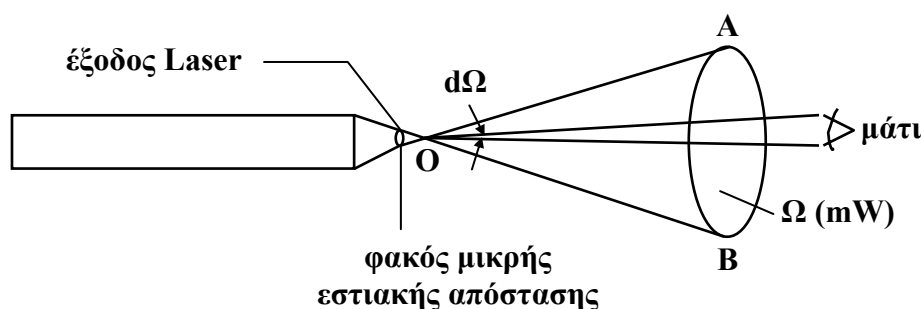
β. Το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από την αριθμητική τιμή της παραμέτρου x , δηλαδή από το λόγο των συγκεντρώσεων Ga προς Al στις περιοχές των δυο ετεροεπαφών. Για παράδειγμα, όταν $x = 0.3$ το ενεργειακό χάσμα της ενεργού περιοχής της δίοδου έχει εύρος $E_g = 1.8 \text{ eV}$ που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος $\lambda = 690 \text{ nm}$.

Οι λειτουργικές αυτές ιδιότητες της δίοδου GaAlAs και γενικά όλων των διόδων Laser, σε συνδυασμό με το μικρό τους μέγεθος και το χαμηλό κόστος τις καθιστούν ιδανικές για χρήση σε βιοϊατρικές διατάξεις Laser. Πράγματι, οι δίοδοι Laser μπορούν να δομηθούν στην άκρη μικρής διάταξης την οποία ο χρήστης μπορεί να τοποθετεί σε οποιοδήποτε εξωτερικό σημείο του σώματός του, “φωτίζοντάς” το, ακόμη και εξ επαφής. Τα τελευταία χρόνια έχουμε ραγδαία ανάπτυξη των διοδικών Laser. Το φαινόμενο που οδηγεί αυτές τις εξελίξεις και προοπτικές είναι παρόμοιο με την τεχνολογική επανάσταση, στην οποία τα τρανζίστορ αντικατέστησαν τις λυχνίες κενού στην ηλεκτρονική βιομηχανία. Συμπαγής κατασκευή, μικρό μέγεθος, χαμηλό κόστος, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, συμβατότητα με ολοκληρωμένα κυκλώματα, όλα αυτά συνηγορούν στη ραγδαία αποδοχή των διοδικών Laser. Σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρουμε ότι στην οφθαλμολογία, μια μονάδα διοδικού Laser, σε μέγεθος όσο ένα φορητό computer, μπορεί να εκτελέσει την ίδια χειρουργική διαδικασία όπως ένα ογκώδες σύστημα Laser ιόντων αργού.

3. Το Laser GaAlAs ως Laser αισθητικής και φυσικοθεραπείας

Το Laser GaAlAs είναι μια από τις εφαρμογές των διοδικών Laser στην αισθητική και την φυσικοθεραπεία. Πρόκειται για ένα Laser ημιαγωγού με ισχύ 15 mW , το οποίο

από άποψη ταξινόμησης είναι κατηγορίας III_β, δηλαδή ιδιαίτερα επικίνδυνο στην απ' ευθείας παρατήρηση της δέσμης, αφού μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο μάτι, ακόμη και αν επιδράσει σ' αυτό σε χρόνο μικρότερο από 0.25 s (τόσος είναι ο χρόνος αντίδρασης του ματιού στον πόνο, ώστε να κλείσει τα βλέφαρα). Για το λόγο αυτό οι χειριστές του πρέπει να παίρνουν προστατευτικά μέτρα ασφαλείας για να προστατεύσουν, τόσο τους εαυτούς τους όσο και τους ασθενείς τους. Στην περίπτωση αυτή, σύμφωνα με τους διεθνείς κανόνες προστασίας, επιβάλλεται η χρήση ειδικών προστατευτικών γυαλιών, τα οποία είναι σχεδιασμένα για κάθε Laser ξεχωριστά. Ε-



Σχήμα 5. Με το άνοιγμα της δέσμης Laser όλη η ισχύς κατανέμεται στη στερεά γωνία Ω και ένα μικρό ποσοστό αναλογεί στη στερεά γωνία $d\Omega$, που κατευθύνεται στο μάτι.

πιπροσθέτως, οι κατασκευαστές έχουν εφοδιάσει το Laser με έναν πρόσθετο παράγοντα προστασίας: στην άκρη της διάταξης (probe) έχουν τοποθετήσει φακό πολύ μικρής εστιακής απόστασης ($f = 5 \text{ mm}$) σε τρόπο ώστε η δέσμη μετά την έξοδό της από το Laser ν' ανοίγει (**Σχήμα 5**).

Επειδή είναι διεθνώς παραδεκτό ότι η Μέγιστη Επιτρεπόμενη Ακτινοβολή από το Laser είναι της τάξης του 1 mW για χρόνο 0.25 s, είναι φανερό από το **Σχήμα 5** ότι ανοίγοντας τη δέσμη, ακόμη και αν ανθρώπινο μάτι βρεθεί σε απόσταση μερικών δεκάδων εκατοστών από την έξοδο του Laser, είναι δυνατόν κατά κάποιο τρόπο να αποφευχθεί η βλάβη του, δεδομένου ότι η στερεά γωνία $d\Omega$ με την οποία η φωτεινή ενέργεια του Laser διαδίδεται στο μάτι, ανάλογα με την απόσταση, μπορεί να περιέχει ακτινοβολία ισχύς μικρότερη του 1 mW, δεδομένου ότι η ισχύς των 15 mW του Laser κατανέμεται στη στερεά γωνία Ω . **Παρ' όλα αυτά όμως τονίζεται η ανάγκη λήψης αυστηρών μέτρων και χρήσης γυαλιών, όταν χρησιμοποιούνται τέτοια Laser.**

Η διάταξη του Laser που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο, όπως θα δούμε αναλυτικά παρακάτω, αποτελείται από δυο κύρια τμήματα:

- α. Το τμήμα διάγνωσης της αγωγιμότητας του δέρματος
- β. Το θεραπευτικό τμήμα εκπομπής ακτινοβολίας Laser

α. Το τμήμα διάγνωσης της αγωγιμότητας του δέρματος

Οι συσκευές Laser που χρησιμοποιούνται στην αισθητική και τη φυσικοθεραπεία είναι εφοδιασμένες με ξεχωριστή μονάδα ελέγχου αγωγιμότητας του δέρματος. Με τη μονάδα αυτή παράγεται και διαβιβάζεται στο σώμα του ασθενούς, μέσω ενός ηλε-

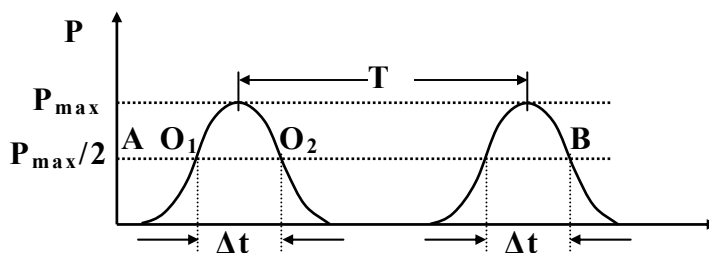
κτροδίου που κρατά στο χέρι του, ένα ασθενές ρεύμα έντασης περίπου 100 μA . Τα παραγόμενα ηλεκτρικά φορτία κατανέμονται στην επιφάνεια του δέρματος. Η κατανομή όμως αυτή είναι ανομοιόμορφη. Τούτο διαπιστώνεται με κατάλληλο ανιχνευτή που είναι ενσωματωμένος στην άκρη του αισθητήρα (probe), μαζί με το διοδικό Laser. Καθώς μετακινούμε το probe στα διάφορα σημεία του δέρματος, βλέπουμε ότι η αγωγιμότητα του δέρματος που μετράται με κατάλληλο όργανα, μεταβάλλεται. Παρατηρούμε λοιπόν ότι υπάρχει πληθώρα σημείων στο δέρμα με μεγάλη αγωγιμότητα σε σχέση με τα γειτονικά τους. Στα σημεία αυτά (σημεία βελονισμού) υπάρχουν απολήξεις νεύρων μέσω των οποίων γίνεται μετάδοση της ενέργειας στο ανθρώπινο σώμα ή σχετίζονται με κάποιες λειτουργίες σ' αυτό (αναζωογόνηση ιστών, ανακούφιση από πόνους κ.λπ).

Ο προσδιορισμός των σημείων μεγάλης αγωγιμότητας δέρματος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στην αισθητική και τη φυσικοθεραπεία γιατί επιτρέπει να συνδυάζεται η ακτινοβολία Laser με κατάλληλα σημεία, ώστε να διοχετεύεται η ενέργεια βαθύτερα στον οργανισμό και να επιδρά γενικότερα σε συγκεκριμένες λειτουργίες (ρύθμιση καύσης στην καταπολέμηση της κυτταρίτιδας, αναζωογόνηση ιστών, ανακούφιση από τοπικούς πόνους κ.λπ).

β. Το θεραπευτικό τμήμα εκπομπής ακτινοβολίας Laser

Το τμήμα αυτό της διάταξης του διοδικού Laser GaAlAs έχει όλα τα κυκλώματα που χρειάζονται για την τροφοδοσία και τη λειτουργία του Laser καθώς και ρυθμιστές που ρυθμίζουν τη μέγιστη ισχύ της δέσμης, τη συχνότητα και διάρκεια των παλμών της ακτινοβολίας και το χρόνο θεραπείας. Επίσης φέρει και τα σχετικά όργανα ελέγχου.

Η έξοδος είναι παλμική. Στο **Σχήμα 6** αποδίδεται η μορφή της ισχύος εξόδου του Laser συναρτήσει του χρόνου (τη μορφή των παλμών μπορούμε να την παρατηρήσουμε



Σχήμα 6

απ' ευθείας σε οθόνη παλμογράφου μέσω κατάλληλης φωτοανιχνευτικής διάταξης, όπως θα δούμε στην πειραματική διαδικασία).

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα παλμό είναι:

1. Η περίοδος T που είναι η χρονική απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών παλμών. Επειδή ο χρόνος έναρξης και λήξης κάθε παλμού είναι ασαφής, μετρούμε το χρόνο της περιόδου από το μέγιστο σημείο του ενός παλμού μέχρι το μέγιστο σημείο του επόμενου (**Σχήμα 6**).
2. Η συχνότητα των παλμών που είναι ο αριθμός των παλμών ανά δευτερόλεπτο και υπολογίζεται από τη σχέση $\nu = 1/T$.
3. Η χρονική διάρκεια (πλάτος) Δt του παλμού που υπολογίζεται στο μισό της μέγιστης τιμής ισχύος $P_{\max}/2$. Πρακτικά η διάρκεια του παλμού βρίσκεται ως εξής: στην καμπύλη $P = P(t)$ του Σχήματος 6, φέρουμε την ευθεία AB παράλληλα με τον άξονα των χρόνων t στη θέση $P_{\max}/2$. Η ευθεία AB κόβει κάθε παλμό στα ση-

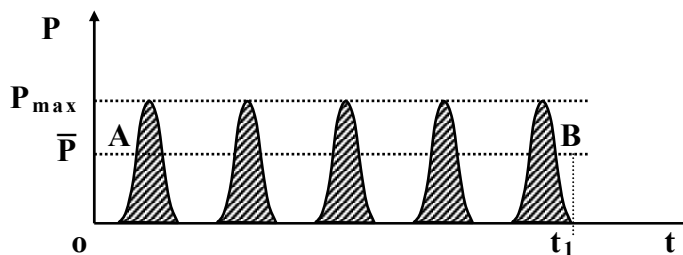
μεία O_1 και O_2 . Η απόσταση (O_1O_2) λαμβάνεται σαν διάρκεια Δt του παλμού και μετριέται στον άξονα των χρόνων t . Στη συσκευή Laser που χρησιμοποιούμε στην παρούσα άσκηση, μας δίνεται το $\Delta t/T$ (%) και όχι απ' ευθείας το Δt . Από τη γνωστή τιμή του λόγου $\Delta t/T$ υπολογίζουμε τη διάρκεια του παλμού Δt , όταν γνωρίζουμε την περίοδο T .

4. Η μέγιστη τιμή της ισχύος P_{\max} που αντιστοιχεί στο μέγιστο του παλμού (**Σχήμα 6**). Την τιμή P_{\max} μας την δίνει ψηφιακό όργανο ενσωματωμένο στη συσκευή, όταν πατήσουμε το πλήκτρο PEAK.
5. Η μέση τιμή \bar{P} της ισχύος του συστήματος των παλμών. Την τιμή \bar{P} μας την δίνει το ίδιο ψηφιακό όργανο που δίνει τη μέγιστη τιμή P_{\max} , με το πάτημα του πλήκτρου με την ένδειξη AVERAGE. Η γνώση της μέσης τιμής \bar{P} της ισχύος του συστήματος των παλμών, παίζει μεγάλο ρόλο στον προσδιορισμό της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για κάθε συνεδρία και επομένως και του χρόνου επίδρασης της ακτινοβολίας Laser. Παρατηρούμε ότι για μια δεδομένη κατανομή ισχύος παλμών του Laser, όπως π.χ αυτής του **Σχήματος 7** που επιδρά σε ιστό σε χρόνο t_1 , το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός του ποσού της ενέργειας E που διοχετεύεται στον ιστό σε χρόνο t_1 , δεδομένου ότι πολλά πρωτόκολλα θεραπειών καθορίζουν ως παράγοντα θεραπείας, ορισμένη τιμή ενέργειας ανά συνεδρία.

Επειδή $P = \frac{dE}{dt}$ έχουμε $dE = P dt$ και

$$E = \int_0^{t_1} P(t) dt \quad (2)$$

Παρατηρούμε από τη Σχέση (2) ότι το ζητούμενο ποσό της ενέργειας E που διοχετεύεται στον ιστό σε χρόνο t_1 ισούται με το άθροισμα των εμβαδών των τμημάτων του επιπέδου που περικλείονται από την καμπύλη μεταβολής $P = P(t)$ και του άξονα των χρόνων t (στο **Σχήμα 7** είναι το άθροισμα των εμβαδών των γραμμοσκιασμένων τμη-



Σχήμα 7. Από τον ορισμό της μέσης ισχύος P , προκύπτει ότι το εμβαδόν ($OABt_1$) ισούται με το άθροισμα των γραμμοσκιασμένων εμβαδών.

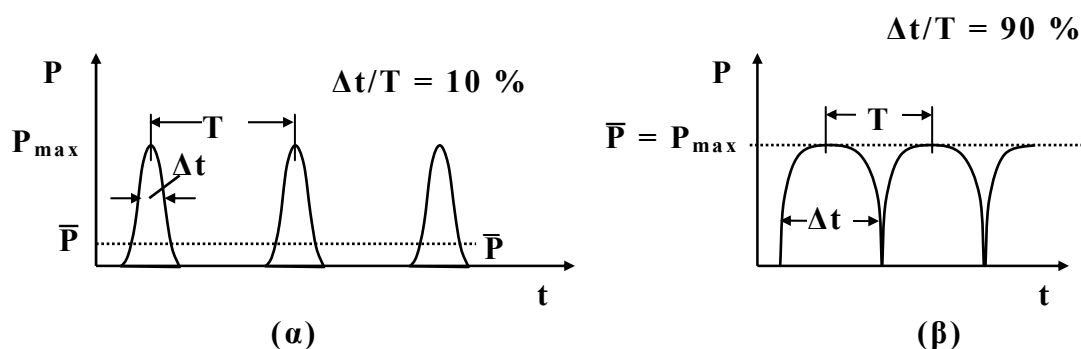
μάτων).

Επειδή ο υπολογισμός της ενέργειας κατ' αυτό τον τρόπο είναι αδύνατος, χρησιμοποιείται η έννοια της μέσης τιμής \bar{P} . Από τα μαθηματικά μπορούμε να δούμε ότι η μέση τιμή μιας περιοδικά επαναλαμβανόμενης διανομής (π.χ ισχύος) είναι η ισοδύναμη συνεχής διανομή \bar{P} η οποία στον ίδιο χρόνο αποδίδει το ίδιο ποσό ενέργειας με

την περιοδικά επαναλαμβανόμενη διανομή. Αυτό σημαίνει ότι η μέση τιμή ισχύος \bar{P} βρίσκεται σε τέτοια θέση AB, ώστε το εμβαδόν (OABt₁) να είναι ίσο με το γραμμω-σκιασμένο εμβαδόν του Σχήματος 7.

Όπως λέχθηκε παραπάνω, η συσκευή του Laser δίνει αμέσως την τιμή \bar{P} οποιασδήποτε παροχής παλμών, αρκεί να πατήσουμε το πλήκτρο με την ένδειξη AVERAGE. Η γνώση της μέσης τιμής ισχύος παλμών είναι απαραίτητη στην εφαρμογή πρωτοκόλλου θεραπείας για την εύρεση του χρόνου θεραπείας, όταν δίνεται η ενέργεια E: π.χ για ενέργεια E = 4J ανά συνεδρία, σε διανομή παλμών με $\bar{P} = 10$ mW ο χρόνος που απαιτείται ανά συνεδρία θα βρεθεί από τη σχέση $\bar{P} = E/t$, δηλαδή $t = E/\bar{P}$ και με αντικατάσταση βρίσκουμε $t = 4J/(10mJ/s) = 4000mJs/10mJ = 400s$.

Η μέση τιμή ισχύος παλμών για δεδομένη τιμή κορυφής P_{max} , εξαρτάται από τη διάρ-



Σχήμα 7

κεια των παλμών. Στο Σχήμα 8 φαίνονται δυο κατανομές παλμών: η (α) που έχει $\Delta T/T = 10\%$ και η (β) που έχει $\Delta T/T = 90\%$. Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση (α) η \bar{P} είναι πολύ μικρή διότι τα επί μέρους εμβαδά είναι μικρά, ενώ στη (β) περίπτωση $\bar{P} = P_{max}$.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα θεραπείας του Laser GaAlAs, όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή.

Πίνακας 1. Πρωτόκολλα θεραπείας του Laser GaAlAs

ΣΥΣΤΗΜΑ LASER	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΑΛΜΩΝ LASER	ΧΡΟΝΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ ΑΝΑ ΣΗΜΕΙΟ
---------------	------------------------	---------------------------------

ΑΝΤΙΦΛΕΓΜΟΝΩΔΗΣ ΔΡΑΣΗ ΙΑΤΡΙΚΟΥ LASER I

1. Σε ρευματισμούς
2. Σε τραυματισμούς
3. Σε αυτιά, μύτη και λαιμό

Σύστημα αποτελούμενο από διοδικά Lasers με διαφορετικά μήκη κύματος (Cluster) και διοδικό Laser με $\lambda = 830$ nm και μέση ισχύ $P = 15$

$\nu = 15$ Hz έως και συνεχή εκπομπή

2 – 4 min

mWatts

ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΙΑΤΡΙΚΟΥ LASER I

Σε δερματοπάθειες
Σε φλεβίτιδα

Διοδικό Laser με $\lambda = 660$ nm και μέση ισχύ $P = 10$ mWatts και διοδικό Laser με $\lambda = 830$ nm και μέση ισχύ $P = 15$ mWatts και σύστημα αποτελούμενο από διοδικά Lasers με διαφορετικά μήκη κύματος (Cluster).

Συνεχής εκπομπή

10 – 15 min

ΑΝΑΛΓΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΙΑΤΡΙΚΟΥ LASER I

Σύστημα αποτελούμενο από διοδικά Lasers με διαφορετικά μήκη κύματος (Cluster) και διοδικό Laser με $\lambda = 660$ nm και μέση ισχύ $P = 10$ mW

$\nu = 15$ Hz

3 min

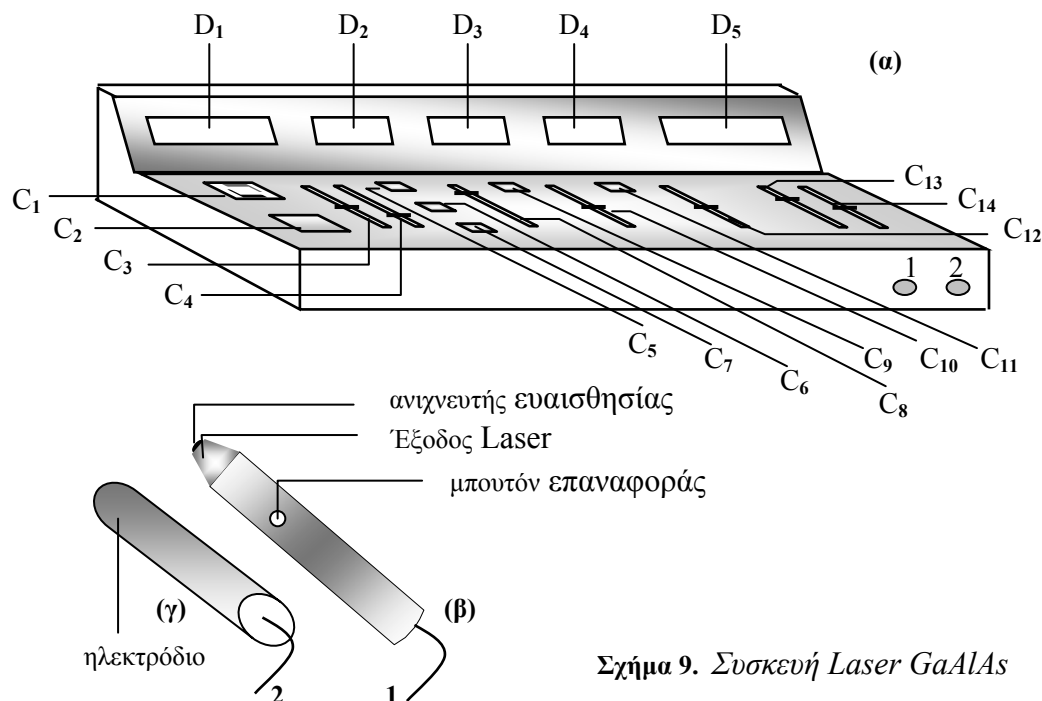
B. ΠΕΙΡΑΜΑ

1. Σκοπός

Ο σκοπός της άσκησης είναι η γνωριμία των σπουδαστών με τις βασικές αρχές και την τεχνολογία των διοδικών Laser, η γνώση της λειτουργίας και των ιδιοτήτων της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από το Laser GaAlAs, καθώς επίσης και οι δυνατότητες λειτουργίας του σε εφαρμογές αισθητικής και φυσικοθεραπείας.

2. Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση, αποτελείται από μια



Σχήμα 9. Συσκευή Laser GaAlAs

συσκευή διοδικού Laser GaAlAs (Σχήμα 9α). Το Laser GaAlAs βρίσκεται στο άκρο ενός αισθητήρα (probe) (Σχήμα 9α), που συνδέεται με τη συσκευή στη θέση 1.

Τμήματα της διάταξης

- C₁ κλειδί ασφαλείας
- C₂ διακόπτης λειτουργίας
- C₃ ρυθμιστής ηλεκτρικής τάσης
- C₄ ρυθμιστής ευαισθησίας
- C₅ θετικός πόλος ρεύματος (έλεγχος σημείων προσώπου)
- C₆ αρνητικός πόλος ρεύματος (έλεγχος σημείων σώματος)

**Τμήμα διάγνωσης
αγωγιμότητας
δέρματος**

-
- C₇ μηδενισμός χρονομέτρου
 - C₈ ψηφιακός ρυθμιστής χρονικής διάρκειας ακτινοβολίας
 - C₉ διακόπτης ένδειξης μέγιστης ισχύος της δέσμης Laser

**Τμήμα εκπομπής
ακτινοβολίας Laser**

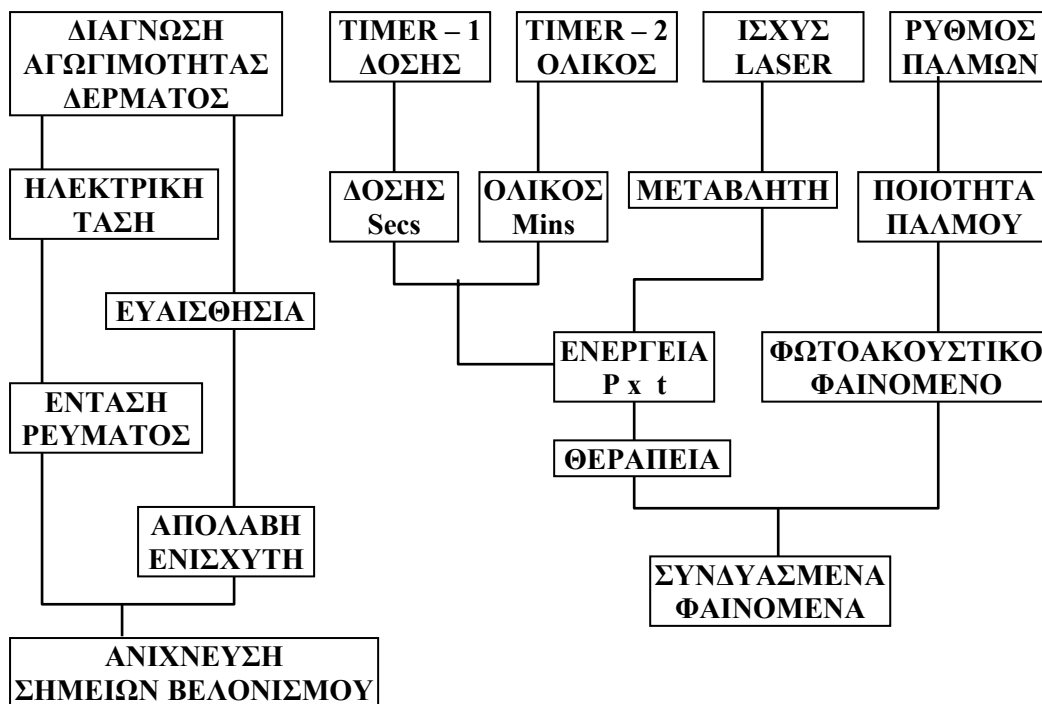
- C₁₀ ρυθμιστής ισχύος εξόδου
- C₁₁ διακόπτης ένδειξης μέσης ισχύος της δέσμης Laser
- C₁₂ ρυθμιστής (ακουστικός) του διερευνητή
- C₁₃ συχνότητα παλμών Laser (παλμοί/sec)
- C₁₄ ρυθμιστής της χρονικής διάρκειας παλμού

Ψηφιακοί ενδείκτες

- D₁ αυτόματη ένδειξη της αγωγιμότητας του δέρματος
- D₂ αυτόματη ένδειξη του χρόνου θεραπείας
- D₃ μετρητής της φωτεινής έντασης J της δέσμης Laser σε mW/cm²
- D₄ μετρητής ολικού χρόνου θεραπείας με Laser
- D₅ μετρητής συχνότητας παλμών (παλμοί/sec)

Υποδοχές ηλεκτροδίων

- 1 υποδοχή ηλεκτροδίου που λειτουργεί και εκπέμπει Laser μόνο όταν γίνεται η επαφή του ηλεκτροδίου με το δέρμα και έχει αυτόματα μηχανισμό διακοπής αλλά και διακόπτη επαναφοράς της δέσμης
- 2 υποδοχή του ηλεκτροδίου που κρατά ο ασθενής



Σχήμα 10

Το τμήμα διάγνωσης της αγωγιμότητας του δέρματος αποτελείται από μια μονάδα παραγωγής ενός χαμηλού ηλεκτρικού δυναμικού, που κατανέμεται στην επιφάνεια του δέρματος του ασθενούς όταν αυτός κρατά κατάλληλο ηλεκτρόδιο. Το ηλεκτρόδιο αυτό συνδέεται στην υποδοχή 2 της διάταξης. (Σχήμα 9γ). Με τη μονάδα αυτή συν-

δέεται ένας ευαίσθητος ανιχνευτής, που βρίσκεται στο άκρο του probe του Laser (Σχήμα 9β) και που έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει τα σημεία εκείνα του δέρματος που παρουσιάζουν μεγάλη αγωγιμότητα. Τα σημεία αυτά είναι γνωστά σαν σημεία βελονισμού. Η ανίχνευση των σημείων αυτών γίνεται τοποθετώντας το probe κάθετα στην επιφάνεια του δέρματος και ρυθμίζοντας κατάλληλα τους ρυθμιστές C₃ και C₄, της τάσης και της ευαισθησίας αντίστοιχα (Σχήμα 9α). Πριν από κάθε χρήση πρέπει το δέρμα να καθαρίζεται καλά.

Όταν ο ανιχνευτής εντοπίσει κάποιο σημείο του δέρματος με υψηλή αγωγιμότητα, δέχεται εντονότερο σήμα το οποίο αφού ενισχυθεί, θέτει σε ενέργεια ένα βομβητή του οποίου ο ήχος ειδοποιεί ότι βρέθηκε σημείο βελονισμού.

Στο Σχήμα 10 φαίνεται το γενικό διάγραμμα λειτουργιών της συσκευής, όπως δίνεται από τους κατασκευαστές της.

2.1 Οδηγίες χρήσης της διάταξης του Laser GaAlAs

1. Τοποθετείστε το κλειδί στην υποδοχή C₁ και ξεκλειδώστε το σύστημα.
2. Πιέστε το διακόπτη λειτουργίας C₂ για την έναρξη της λειτουργίας της συσκευής. Παρατηρείστε να είναι αναμμένοι όλοι οι ψηφιακοί ενδείκτες.
3. Πιέστε το διακόπτη C₇ για να μηδενίσετε την ένδειξη του χρόνου θεραπείας που φαίνεται στο ψηφιακό ενδείκτη D₄.
4. Ρυθμίστε με το ρυθμιστή C₃ την τάση στο ηλεκτρόδιο που κρατά ο ασθενής για τον έλεγχο της αγωγιμότητας του δέρματος. Συνδυάστε τη τιμή της τάσης που διαλέξατε με κάποια τιμή ευαισθησίας που μπορείτε να έχετε με τη βοήθεια του ρυθμιστή C₄. Μπορείτε να διαλέξετε πολλούς συνδυασμούς "τάσης - ευαισθησίας", όπως θα δείτε στο πειραματικό μέρος της άσκησης. Ένας πρακτικός κανόνας είναι να αρχίσετε με μεγάλη τάση και με μικρή ευαισθησία. Όπως θα δούμε και στο πειραματικό μέρος, για να βρούμε σημείο βελονισμού με μικρότερη τάση πρέπει να αυξήσουμε την ευαισθησία με τον ρυθμιστή C₄.
5. Πιέστε το διακόπτη C₅ στη περίπτωση που θέλετε να ανιχνεύσετε σημεία βελονισμού στο πρόσωπο ή το διακόπτη C₆ αν θέλετε να ανιχνεύσετε αντίστοιχα σημεία στο σώμα.
6. Δώστε στον ασθενή να κρατάει το κυλινδρικό ηλεκτρόδιο και τοποθετείστε με το ρυθμιστή C₈ τον επιθυμητό χρόνο θεραπείας, αφού για κάθε περίπτωση συμβουλευθείτε τα πρωτόκολλα θεραπείας. Ο χρόνος θεραπείας που επιλέξατε θα φανεί στον ψηφιακό ενδείκτη D₂. Το ηλεκτρόδιο που κρατά ο ασθενής είναι τελείως ακίνδυνο, αφού το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται έχει ένταση 100 μ A (0.0001A).
7. Τοποθετείστε την άκρη του probe στο δέρμα του ασθενή και μετακινήστε το μέχρι να βρείτε σημείο βελονισμού. Για την περίπτωση αυτή μπορείτε να συμβουλευτείτε χάρτη με τα σημεία βελονισμού της περιοχής που θα κάνετε θεραπεία. Η όλη διάταξη του Laser GaAlAs είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε, όταν η άκρη του probe έρθει σε επαφή με σημείο βελονισμού, να τίθεται σε ενέργεια ακουστικό σήμα από βομβητή και ταυτόχρονα να μπορεί να μπει σε λειτουργία το Laser.
8. Πριν βάλετε σε λειτουργία το Laser, πρέπει να διαλέξετε τη συχνότητα παλμών (παλμοί Laser/sec), καθώς επίσης και το λόγο $\Delta t/T$ των παλμών (ρυθμιστής C₁₄).

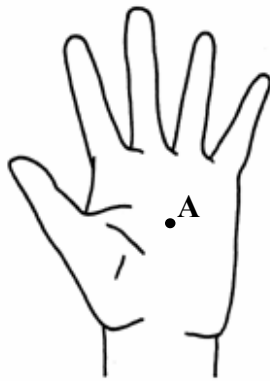
9. Όταν τα απαραίτητα στοιχεία των παλμών laser εκλεγούν όπως εξηγήθηκε παραπάνω, (και βέβαια πάντα συμβουλευόμενοι τα πρωτόκολλα εφαρμογών σε κάθε περίπτωση), μπορεί να τεθεί σε λειτουργία το laser και να αρχίσει η θεραπεία. Το ξεκίνημα της λειτουργίας του laser μπορεί να γίνει από το μπουτόν επαναφοράς που βρίσκεται στο probe του laser (**Σχήμα 9β**).
10. Όταν ο κανονισμένος χρόνος θεραπείας τελειώσει, το laser θα κλείσει μόνο του. Αν θέλουμε να συνεχίσουμε, πρέπει να ακολουθήσουμε τη διαδικασία, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Στον **πίνακα 1** παρατίθενται τα πρωτόκολλα θεραπείας με το laser GaAlAs, όπως αυτά δίνονται από το κατασκευαστή.

3. Εργασίες

ΠΡΟΣΟΧΗ

- Εφοδιαστείτε με τα ειδικά απορροφητικά γυαλιά
 - Πριν από κάθε χρήση, πρέπει να έχετε αποφασίσει αν θα κάνετε διάγνωση ή θεραπεία. Αυτό γίνεται για να μην ακτινοβολεί το laser χωρίς λόγο
1. Αναγνωρίστε τη διάταξη του laser GaAlAs και βρείτε όλα τα στοιχεία λειτουργίας και τα τμήματά της, όπως αυτά περιγράφηκαν στην παράγραφο 2.
 2. Ένας σπουδαστής να κρατήσει το ηλεκτρόδιο για τον έλεγχο της αγωγιμότητας στο χέρι του.
 3. Θέστε σε λειτουργία τη διάταξη.
 4. Ένας άλλος σπουδαστής να τοποθετήσει το probe του laser στο σημείο A του χεριού του σπουδαστή της εργασίας 2 (**Σχήμα 11**). Σημείωση: το σημείο A είναι γνωστό σημείο ευαισθησίας στο ανθρώπινο χέρι.



Σχήμα 11

ΠΡΟΣΟΧΗ: Οι εργασίες 5, 6, 7 και 8 να πραγματοποιηθούν χωρίς να ενεργοποιηθεί το laser

5. Θέστε το ρυθμιστή της τάσης C_3 στη θέση $V = 0$ και ανεβάστε σιγά – σιγά το ρυθμιστή ευαισθησίας C_4 μέχρις ότου ακουστεί ο ήχος του βομβητή. Σημειώστε την τιμή της ευαισθησίας ε και την αντίστοιχη τιμή σ της αγωγιμότητας του δέρματος, από τον ψηφιακό μετρητή D_1 .
6. Επαναλαμβάνετε την εργασία 5 άλλες 6 – 7 φορές για διάφορες τιμές της τάσης V . Οι μετρήσεις V , ε , σ (όλες σε αυθαίρετες μονάδες) καταχωρούνται στον **Πίνακα 1**. Σημείωση: η συσκευή είναι ρυθμισμένη έτσι, ώστε να ηχεί ο βομβητής όταν $\sigma = 55$.

7. Αποδώστε γραφικά τις σχέσεις $\varepsilon = f(V)$ και $\sigma = f(V)$. Γράψτε τις παρατηρήσεις σας.
8. Επιλέξτε ένα ζεύγος τιμών V και ε από τη γραφική παράσταση $\varepsilon = f(V)$ και ρυθμίστε, με τη βοήθεια των ρυθμιστών C_3 , C_4 , τη συσκευή γι' αυτές τις τιμές. Με τη διαδικασία που αναφέρθηκε στις οδηγίες χρήσης του laser GaAlAs βρείτε μερικά σημεία βελονισμού, στη μια όψη του χεριού και αποδώστε τα σε σχετικό χάρτη κατά το πρότυπο του **Σχήματος 11** (βρείτε τουλάχιστον 20 σημεία βελονισμού).
9. Στερεώστε το probe του laser και ακριβώς απέναντι απ' αυτό τοποθετείστε φωτοαντίσταση συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό κύκλωμα. Συνδέστε τα άκρα της φωτοαντίστασης με την Y είσοδο ενός παλμογράφου.
10. Για συχνότητες 5 και 20 παλμούς/sec (ρυθμιστής C_{13} και ενδείκτης D_5), μεταβάλλετε την ποσότητα $\Delta t/T$ από 10% μέχρι 90% (ρυθμιστής C_{14}) και από τον ψηφιακό ρυθμιστή D_3 λάβετε την ένδειξη P_{\max} (πατώντας το πλήκτρο C_9), καθώς και την ένδειξη \bar{P} (πατώντας το πλήκτρο C_{11}). Σας συνιστούμε να διατηρήσετε την τιμή P_{\max} σταθερή. Παράλληλα με τις μετρήσεις, να παρακολουθείτε και τη μορφή των παλμών στον παλμογράφο. Να καταχωρήσετε τις μετρήσεις σας στον **Πίνακα 2**.
11. Να αποδώσετε γραφικά τη σχέση $P = f(t)$ και για τις δυο ακραίες συχνότητες των παλμών και να γράψετε τα συμπεράσματά σας.
12. Για συγκεκριμένους παλμούς, όπως εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου, να βρεθεί η συχνότητα και το εύρος Δt .

Πίνακας 1

V	ε	σ

Πίνακας 2

Συχνότητα (παλμοί/sec)	Περίοδος T (sec)	$\Delta t/T$	Δt (sec)	P_{\max} (mW/cm ²)	\bar{P} (mW/cm ²)