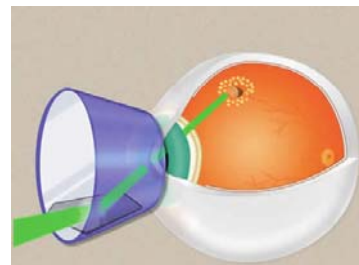


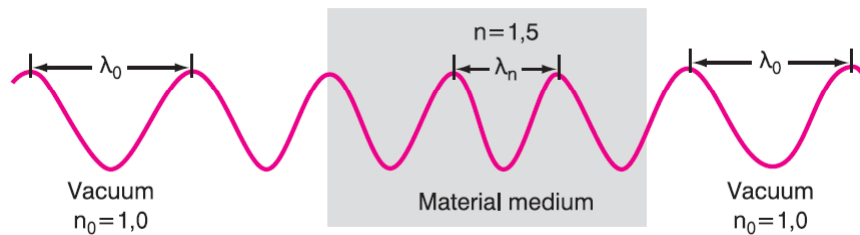
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ - LASER

Σοφία Κόττου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ιατρικής Φυσικής
Ιατρική Σχολή ΕΚΠΑ
Δεκέμβριος 2020



Μεταβολή του λ με μεταβολή του n

$$n = \frac{c}{u} = \frac{\text{ταχύτητα ΗΜΑ στο κενό}}{\text{ταχύτητα ΗΜΑ στο υλικό}}$$



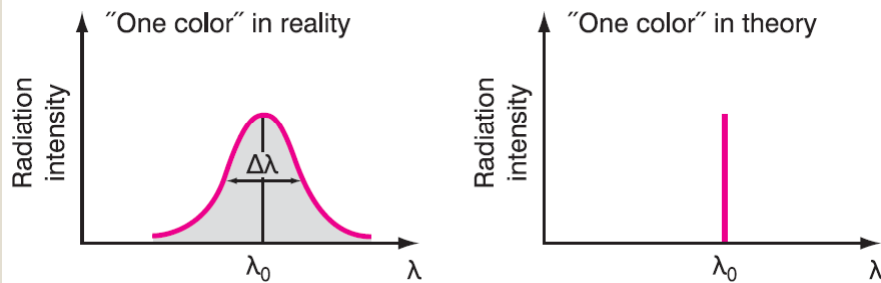
Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser

- 1 Μονοχρωματικότητα
- 2 Συμφασικότητα
- 3 Κατευθυντικότητα



Συμφασικά λέγονται τα κύματα που διατηρούν σταθερή τη σχετική φάση τους

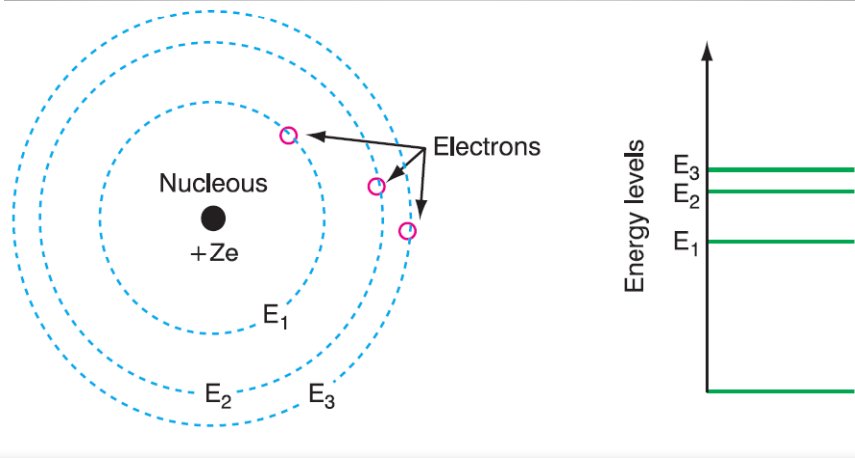
Η πραγματική διασπορά της τιμής του λ (αριστερά) σε σχέση με τη θεωρητική (δεξιά)



Συμφασικότητα

- Εφόσον η ΗΜΑ είναι κυματικό φαινόμενο, κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να περιγραφθεί ως το άθροισμα-συνισταμένη ημιτονοειδών κυμάτων σε συνάρτηση με το χρόνο t , της μορφής:
- $y = A \cos (\omega t + \varphi)$
- A το πλάτος ταλάντωσης
- $\omega = 2\pi\nu$ η γωνιακή συχνότητα
- φ η αρχική φάση του κύματος
- $\omega t + \varphi$ η στιγμιαία φάση του κύματος

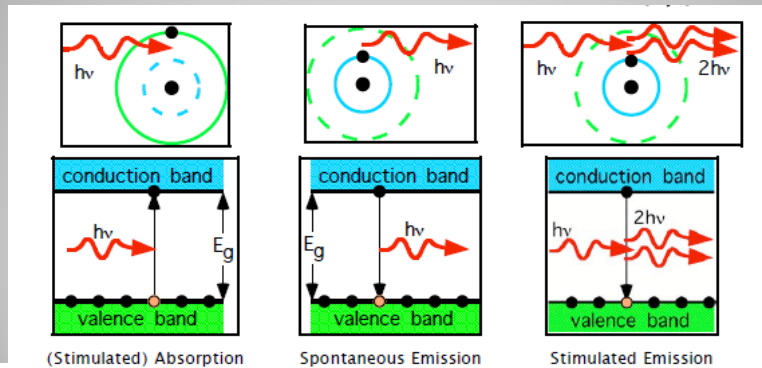
Επιτρεπόμενες τροχιές των ηλεκτρονίων και ενεργειακά επίπεδα



- Όταν ΗΜΑ απορροφάται ή εκπέμπεται από ένα υλικό,
- τα ηλεκτρόνια των ατόμων του υλικού μεταπηδούν
- σε ψηλότερη ή χαμηλότερη ενεργειακή στιβάδα αντίστοιχα,
- σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_2 - E_1 = h\nu = \hbar\omega$$

Απορρόφηση – Αυθόρμητη εκπομπή – Εξαναγκασμένη εκπομπή



Αυθόρμητη εκπομπή

- Κάθε διεγερμένο άτομο ενός υλικού εκπέμπει το φωτόνιό του σε τυχαία χρονική στιγμή και εντελώς ανεξάρτητα από το πότε θα εκπέμψει το διπλανό ή το παρα-διπλανό άτομο.
- Αυτή η τυχαία και ανεξάρτητη εκπομπή φωτονίων από μια διεγερμένη ομάδα ατόμων, καλείται αυθόρμητη εκπομπή

Η πιθανότητα της εξαναγκασμένης εκπομπής

εξαρτάται

- από την **ενέργεια** του προσπίπτοντος φωτονίου και
- τη σχέση της με την **ενεργειακή διαφορά** του αρχικού με το τελικό επίπεδο της μεταπήδησης-μετάβασης

Κατά την εξαναγκασμένη εκπομπή

το εκπεμπόμενο φωτόνιο είναι ίδιο με το προσπίπτον φωτόνιο και έχουν

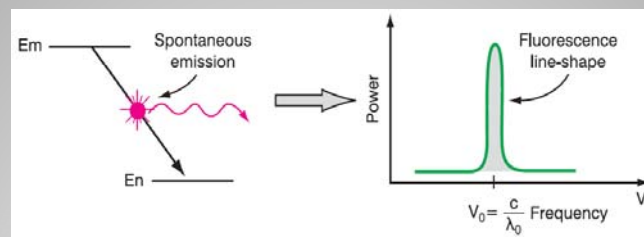
- (α) ίδιο μήκος κύματος (άρα και συχνότητα) ⇒ **μονοχρωματικότητα**
- (β) ίδια φάση ⇒ **συμφασικότητα**
- (γ) ίδια κατεύθυνση στο χώρο ⇒ **κατευθυντικότητα**

Αυτές είναι και οι ιδιότητες του φωτός Laser.

Τι είναι το LASER;

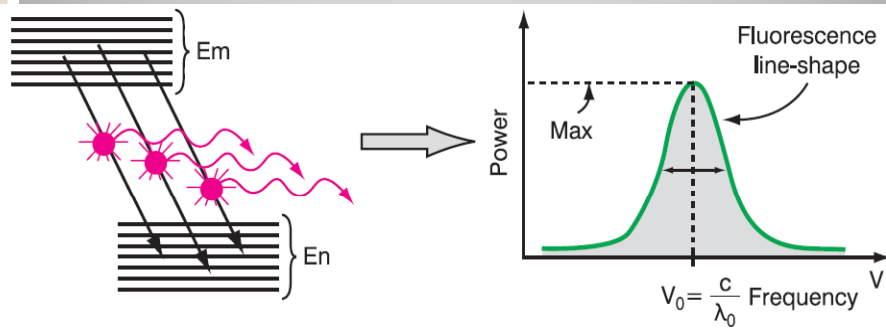
- **L**ight (φως)
- **A**mplification (ενίσχυση)
- **S**timulated (εξαναγκασμένη)
- **E**mission (εκπομπή)
- **R**adiation (ακτινοβολία)

Δημιουργία και φάσμα της ΗΜ εκπομπής



- Τα άτομα παραμένουν στην διεγερμένη κατάσταση για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, της τάξης των 10^{-8} s
- Επιστρέφουν στη χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση με αυθόρμητη (spontaneous) εκπομπή (ενέργειας)

Δημιουργία και φάσμα της διευρυμένης ΗΜ εκπομπής



Οπτική άντληση

- Η τεχνητή **αύξηση του αριθμού των διεγερμένων** ατόμων καλείται **άντληση** (pumping)
- και αν γίνει με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καλείται οπτική άντληση

Πολλοί «οι δρόμοι» της αποδιέγερσης

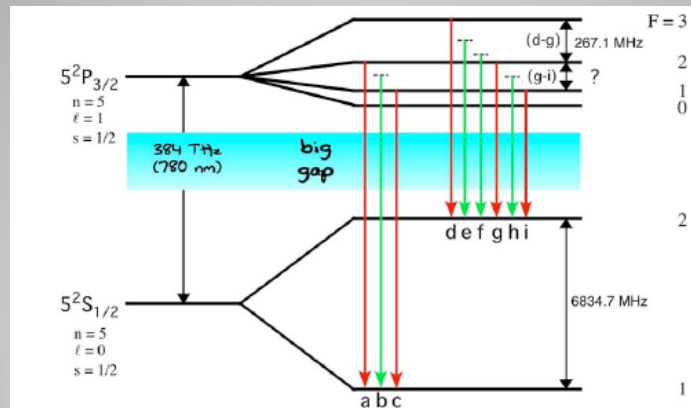
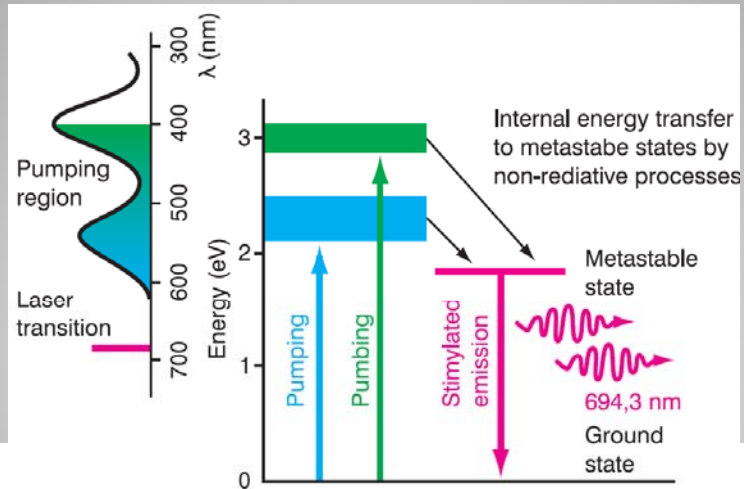


Fig. 12-1: Energy Level diagram for ^{87}Rb showing the hyperfine structure of $n = 5$ levels

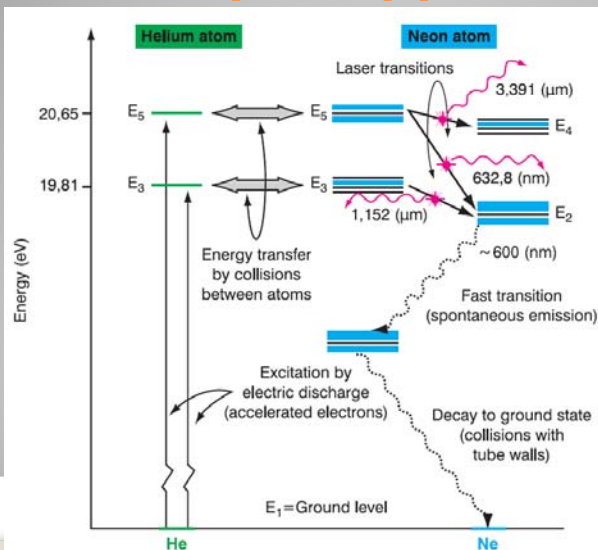
Μετασταθερή ενεργειακή κατάσταση - επίπεδο

- Όταν η πιθανότητα μετάβασης (εγκατάλειψης) από ένα ενεργειακό επίπεδο είναι **χαμηλή**
- και η μέση ζωή του της τάξης του 10^{-3} s
- το ενεργειακό επίπεδο καλείται **μετασταθερό** και μπορεί να συγκεντρώσει μεγάλο πληθυσμό ατόμων.
- Η ύπαρξη μετασταθερού ενεργειακού επιπέδου είναι απαραίτητη ιδιότητα του υλικού που θα εκπέμψει την HMA Laser.

Επιτρεπόμενα ενεργειακά επίπεδα και η μετασταθερή κατάσταση

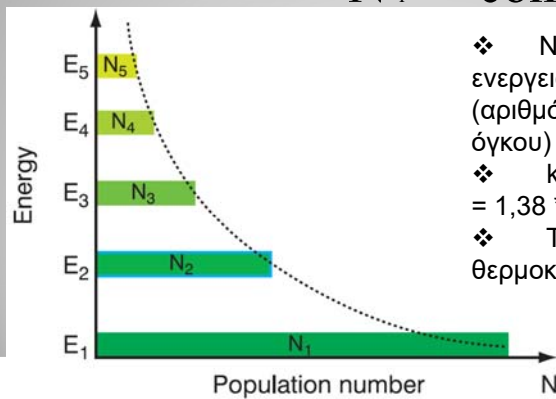


Το στοιχείο Νέον έχει δύο μετασταθερά ενεργειακά επίπεδα



Η κατανομή του πληθυσμού σε Θερμοδυναμική (θερμική) ισορροπία

$$N_i = \text{const} * e^{-E_i/kT}$$



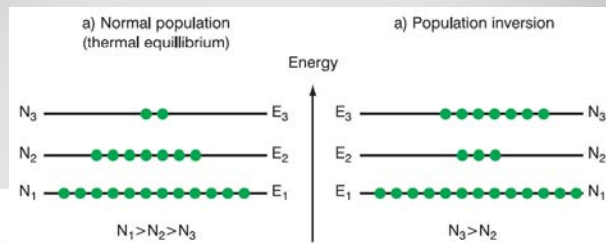
- ❖ N_i ο πληθυσμός του ενεργειακού επιπέδου E_i (αριθμός ατόμων ανά μονάδα όγκου)
- ❖ k η σταθερά Boltzmann = $1,38 * 10^{23}$ Joule/°K
- ❖ T η απόλυτη θερμοκρασία (°K)

Αντιστροφή πληθυσμού

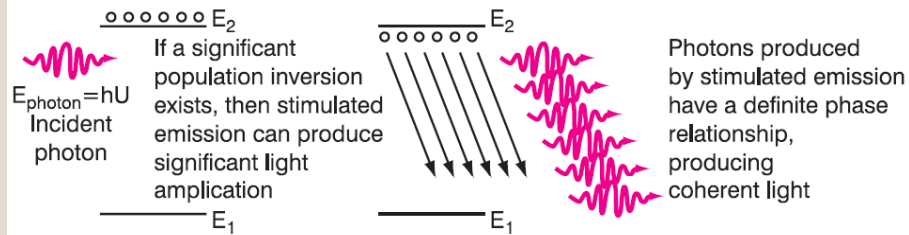
Όταν σε ένα υλικό (πολλά άτομα) προσφερθεί αρκετή ενέργεια είναι δυνατόν να παρατηρηθεί «αντιστροφή πληθυσμών» :

- ❖ τουλάχιστον ένα ενεργειακό επίπεδο να αποκτήσει (προσωρινό) πληθυσμό
- ❖ μεγαλύτερο από ένα από τα «κατώτερα» από αυτό επίπεδα

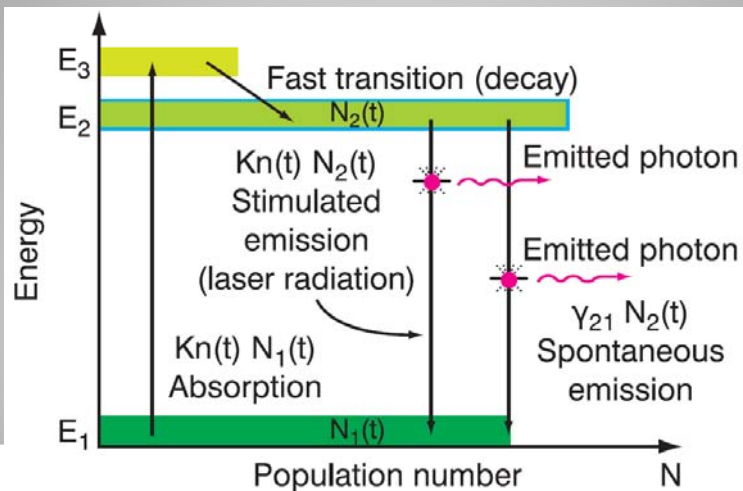
Η αντιστροφή πληθυσμού είναι δυνατή όταν το 'πάνω' ενεργειακό επίπεδο είναι μετασταθερό



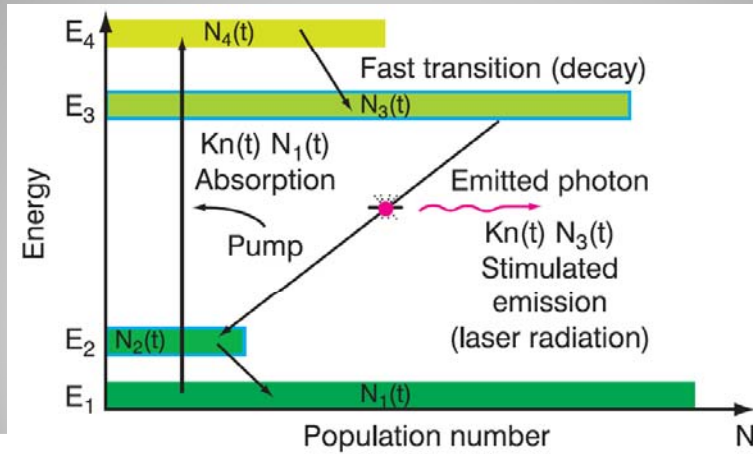
Εξαναγκασμένη και ταυτόχρονη εκπομπή



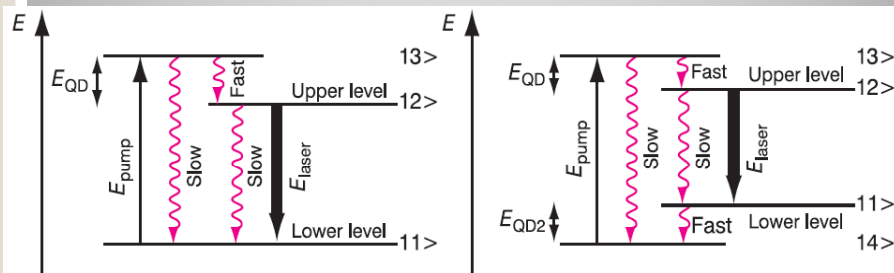
Αυθόρμητη και εξαναγκασμένη εκπομπή



Laser τεσσάρων επιπέδων

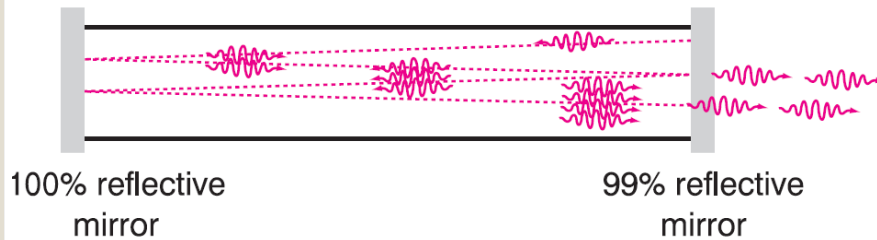


Laser τριών και Laser τεσσάρων επιπέδων



Ενίσχυση της δέσμης των φωτονίων με πολλαπλές διελεύσεις

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

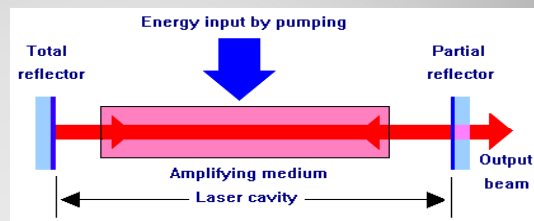


Τα Laser διαιρούνται σε ομάδες σύμφωνα με:

- **(α)** την κατάσταση του ενεργού υλικού (στερεό, υγρό, αέριο, πλάσμα)
- **(β)** την ζώνη μήκους κύματος (ορατό, υπέρυθρο, υπεριώδες...)
- **(γ)** τη μέθοδο διέγερσης του ενεργού υλικού (οπτική, ηλεκτρική,...)
- **(δ)** τα χαρακτηριστικά της εξερχόμενης ΗΜΑ Laser
- **(ε)** τον αριθμό των ενεργειακών επιπέδων που παίρνουν μέρος στη διαδικασία

Η συσκευή Laser αποτελείται από:

- ❖ (α) μηχανισμός διέγερσης
- ❖ (β) ενεργό υλικό (οπτικός ενισχυτής - οπτικό αντηχείο)
- ❖ (γ) οπτική ανάδραση
- ❖ (δ) σύζευξη εξόδου



Η διάταξη του συστήματος παραγωγής LASER

- Είναι μία ή δυο ή τρεις ομάδες ατόμων ή μορίων ή ιόντων, τουλάχιστον μια από τις οποίες μπορεί να διεγερθεί και να οδηγηθεί σε κατάσταση αντιστροφής πληθυσμών.
- Η ομάδα αυτή μπορεί επομένως να αποδώσει ΗΜΑ με εξαναγκασμένη εκπομπή.
- Έχουν δημιουργηθεί εκατοντάδες ενεργά υλικά σε στερεή, υγρή, αέρια μορφή όπως και σε μορφή πλάσματος, καθένα από τα οποία εκπέμπει το δικό του χαρακτηριστικό μήκος κύματος, ανάλογα με τις ενεργειακές διαφορές των επιτρεπόμενων επιπέδων του.

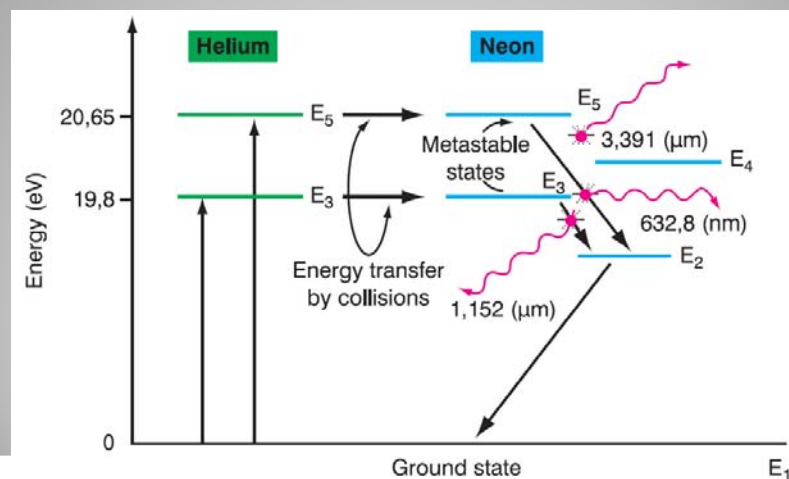
Το ενεργό υλικό

Είναι η πηγή ενέργειας που διεγείρει τα άτομα (ή μόρια, ή ιόντα), του ενεργού υλικού δημιουργώντας την αντιστροφή των πληθυσμών.

- **(α)** οπτική άντληση (διέγερση με φωτόνια)
- **(β)** ηλεκτρική διέγερση (αέριου ενεργού υλικού) με ηλεκτρική εκκένωση κατάλληλου αερίου, που βρίσκεται σε σωλήνα ηλεκτρικά ουδέτερο
- **(γ)** συγκρούσεις με άτομα (Laser He-Ne)
- **(δ)** χημική διέγερση
- **(ε)** ηλεκτρικό ρεύμα σε διόδους

Ο μηχανισμός διέγερσης

To Laser He-Ne



- Επιστρέφει πίσω, στο εσωτερικό του ενεργού υλικού, μέρος της HMA Laser που έχει δημιουργηθεί.
- Συνήθως επιτυγχάνεται με τη βοήθεια καθρεφτών, στα δύο άκρα του ενεργού υλικού, τοποθετημένων με τρόπο που να εξαναγκάζει την HMA να διασχίζει επανειλημμένα το υλικό, μπρος-πίσω, ανακλώμενη στις δυο παράλληλες και αντιμέτωπες επιφάνειές τους.
- Ο μηχανισμός ανάδρασης έχει **στόχο την ενίσχυση** της ακτινοβολίας μέσω των πολλαπλών διελεύσεων του κάθε φωτονίου στο ενεργό υλικό.
- Όμως ο ίδιος μηχανισμός εξασφαλίζει και την **«κατευθυντικότητα»** της εξερχόμενης HMA (στη δέσμη παραμένουν μόνον τα φωτόνια που διατηρούν πορεία με διεύθυνση κάθετη στις επιφάνειες των καθρεφτών)

Ο μηχανισμός ανάδρασης

- Στα **«συνεχή»** Laser εξέρχεται μικρό ποσοστό της ακτινοβολίας.
- Στα Laser **κατά παλμούς** εξέρχεται μεγάλο ποσοστό, αλλά μόνον σε επιτρεπόμενες χρονικές στιγμές.
- Μετά την έξοδο της από τη συσκευή παραγωγής, η μεταφορά της δέσμης του ιατρικού Laser μέχρι το πεδίο δράσης γίνεται συνήθως μέσω ενός αρθρωτού βραχίονα, κατασκευασμένου συνήθως από ανθρακονήματα, μεγάλης ανθεκτικότητας και μικρού βάρους. Υπάρχουν μηχανισμοί προσαρμογής του βραχίονα σε μικροσκοπία, κολποσκοπία, βρογχοσκοπία, λαπαροσκοπία και σε άλλα είδη άκαμπτων ενδοσκοπίων ή εύκαμπτων οπτικών ινών

Ο συγχρονισμός στην έξοδο (σύζευξη εξόδου)



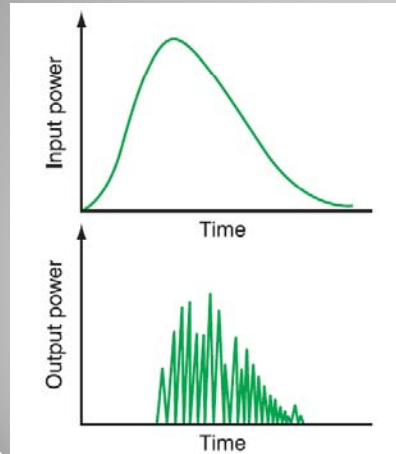
- ατομικά (π.χ. He-Ne και He-Cd)
- ατμών μετάλλου (Cu, Au)
- μοριακά (CO₂, N₂, χημικά, μακρινού υπέρυθρου, excimer)
- ιοντικά (Ar⁺, Kr⁺)

A. Τα αέρια Laser χωρίζονται σε τέσσερις υπο-ομάδες:

- **B.** Τα υγρά Laser είναι κυρίως χρωστικών dye
- **Γ.** Τα στερεά Laser χωρίζονται σε:
 - μονωτών (ρουβινίου, νεοδυμίου, αλεξανδρίτη, σαπφείρου)
 - ημιαγωγών (διόδων)
- **Δ.** Ειδικά Laser
 - ακτίνων X
 - ελεύθερου ηλεκτρονίου

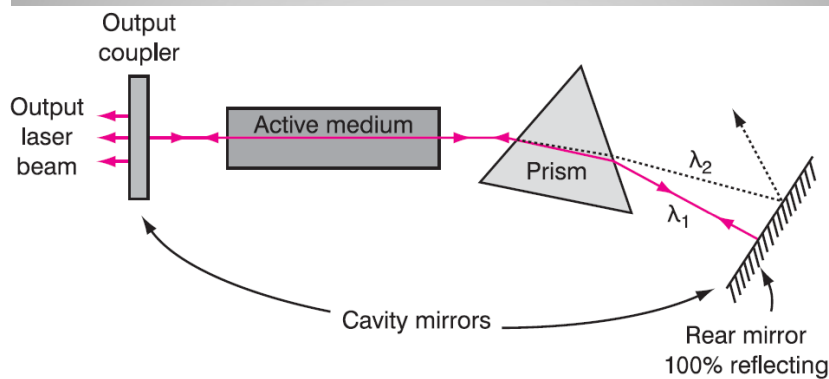
Υγρά - Στερεά - Ειδικά Laser

Παλμικό Laser

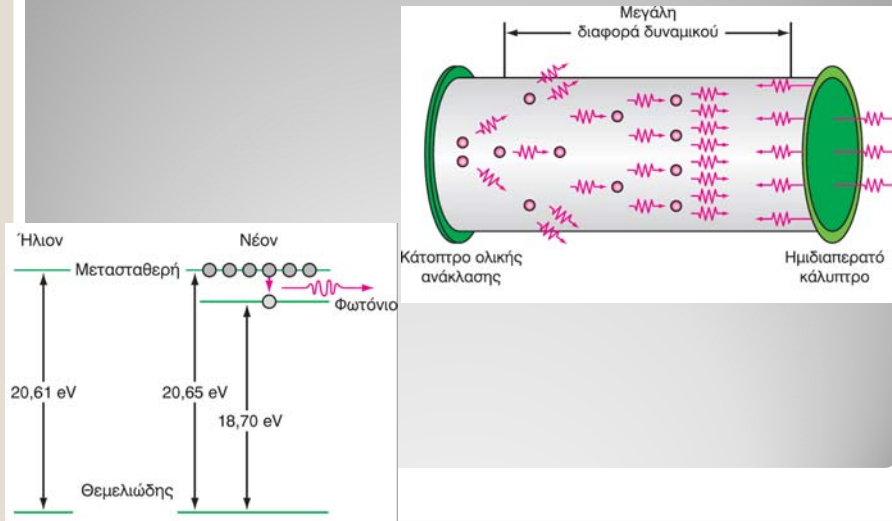


- ❖ Κάθε παλμός στην έξοδο αποτελείται από εκατοντάδες μικρότερους παλμούς-σπίθες.
- ❖ Ένας τυπικός παλμός έχει χρονική διάρκεια μερικά nanoseconds

Η ειδική επικάλυψη στους καθρέφτες προμοδοτεί την ενεργή επιστροφή μόνον των επιθυμητών λ



Διατηρούνται τα φωτόνια της παράλληλης με τον άξονα πορείας



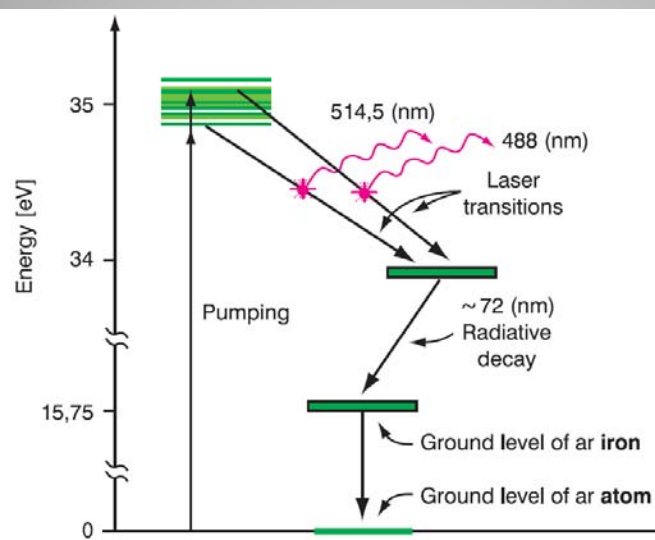
- Το excimer laser βασίζεται στο συνδυασμό δυο αερίων: ένα ευγενές αέριο και ένα αλογόνο
- Τα αέρια αυτά είναι μεμονωμένα και σε σταθερή κατάσταση όσο η ενέργειά τους βρίσκεται στο χαμηλό ενεργειακό επίπεδο
- Στην 'ενεργή' κοιλότητα του Laser που περιέχει τα αέρια, με την 'επιβολή' ηλεκτρικής εκκένωσης υψηλού δυναμικού, τα αέρια συνεργάζονται και 'φτάνουν' σε ψηλότερη ενεργειακή κατάσταση ως ομάδα - μόριο, πολύ μικρής διάρκειας ζωής
- Ο όρος "excimer" προήλθε από τη σύμπτυξη των λέξεων: "excited dimer (διεγερμένο διμερές)"

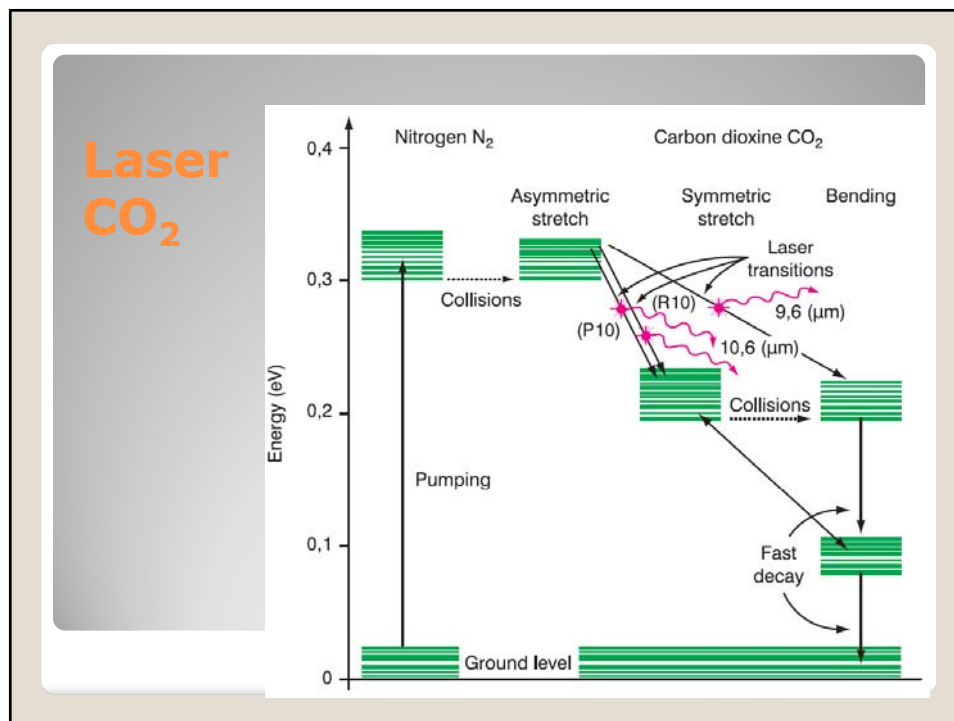
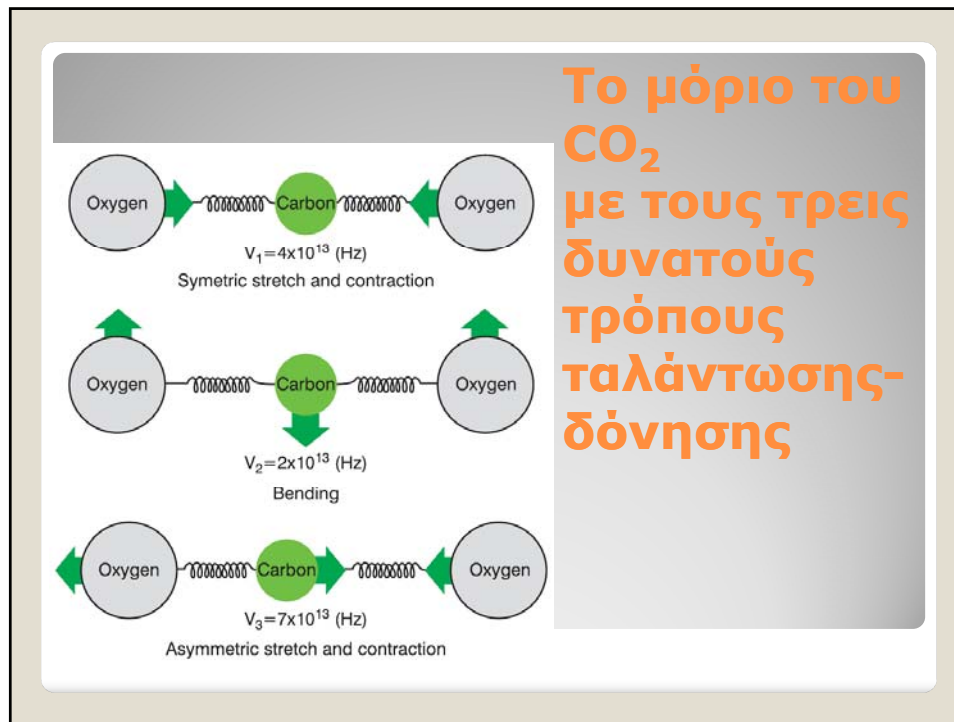
Laser Excimer

- Κατά την αποδιέγερση του διεγερμένου διμερούς, απελευθερώνεται φωτόνιο ενέργειας που αντιστοιχεί στην ενέργεια του δεσμού του μορίου 'ευγενές αέριο - αλογόνο'
- Η ακτινοβολία ενισχύεται στο εσωτερικό της κοιλότητας και δημιουργεί στην έξοδο διακριτούς παλμούς Laser μεγάλης ενέργειας
- Το μήκος κύματος του excimer Laser εξαρτάται από τα χρησιμοποιούμενα αέρια
- Παράδειγμα Αργόν με Φθόριο. Το argon-fluorine excimer Laser εκπέμπει στα 193 nm που ανήκει στη ζώνη UV-C
- Το krypton-fluoride excimer Laser εκπέμπει στα 248 nm
- Το excimer Laser έχει συμπυκνωμένη ενέργεια και χρησιμοποιείται ως κοπτικό εργαλείο για σχεδόν όλα τα υλικά

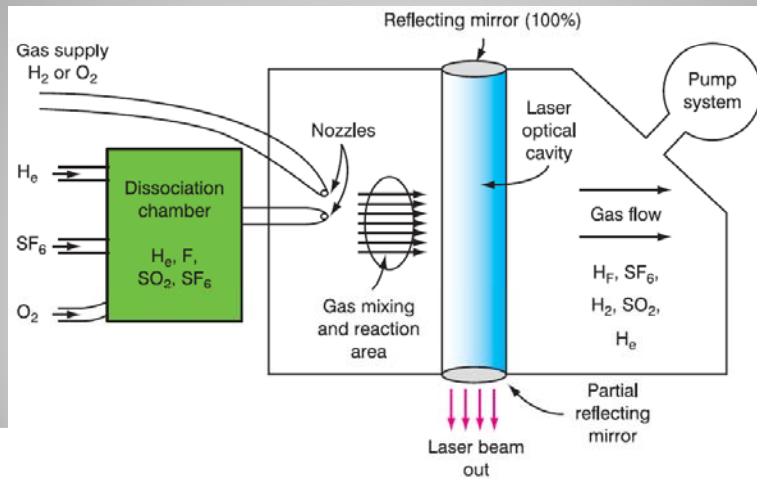
Laser Excimer

Laser Ar⁺

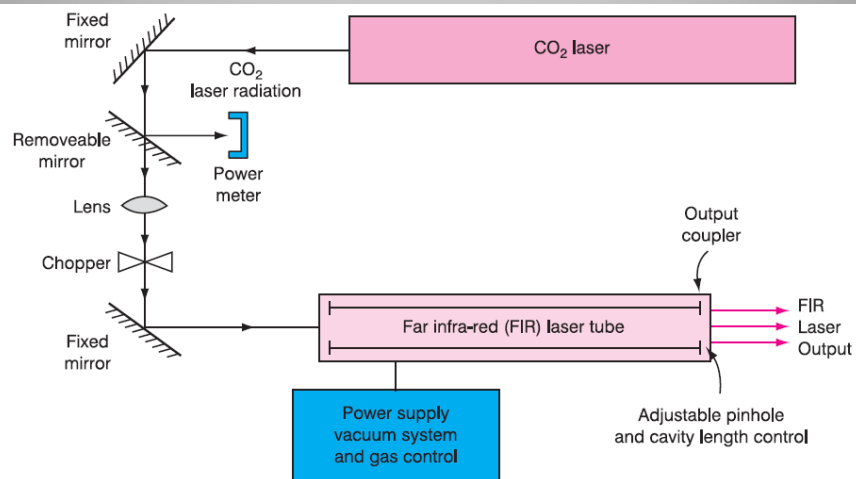


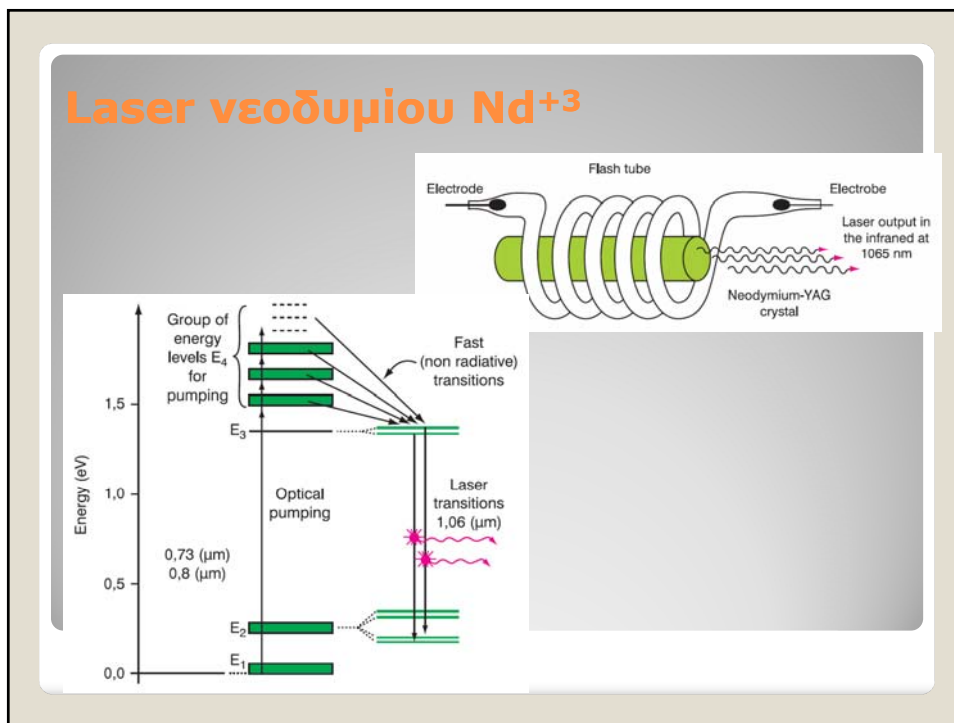
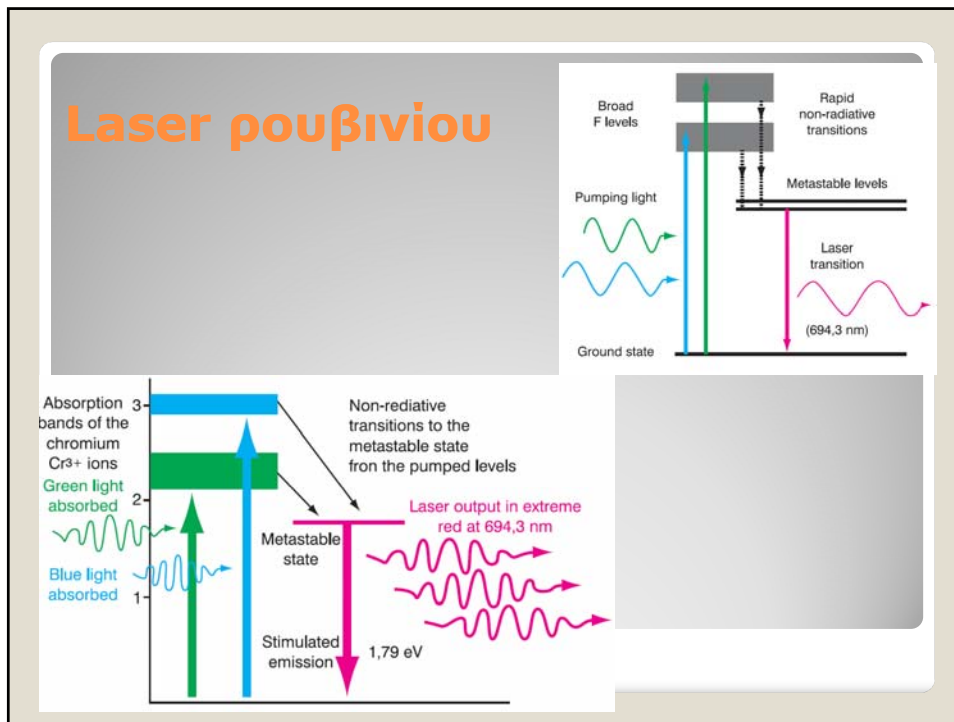


Το χημικό Laser βασίζεται στην ταχεία εκτόνωση θερμού αερίου υπό πίεση, καθώς περνά σε σχεδόν κενό θάλαμο μέσω ειδικής βελόνας

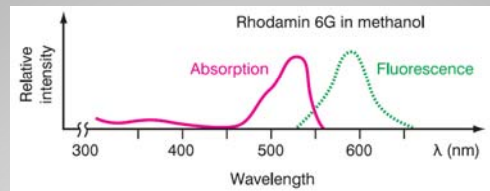


Laser FIR





Laser υγρού (dye-χρωστικών) Απορρόφηση και φθορισμός



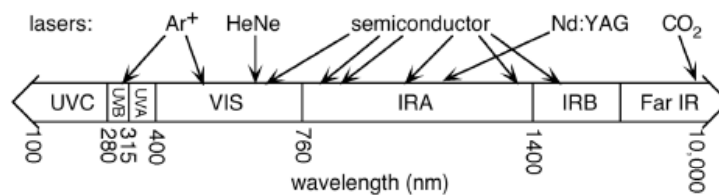
Απαραίτητες προϋποθέσεις λειτουργίας του Laser υγρής κατάστασης είναι

- να απορροφά έντονα τα μήκη κύματος που προκαλούν τη διέγερσή του και
- να μην απορροφά τα μήκη κύματος που το ίδιο εκπέμπει

Πλεονεκτήματα του dye Laser είναι

- η έμφυτη ομοιογένεια,
- η εύκολη επιλογή του επιθυμητού μήκους κύματος (με επιλογή του υγρού),
- η εύκολη απομάκρυνση της παραγόμενης θερμότητας (με ροή),
- η λεπτή ζώνη εξερχομένων συχνοτήτων
- και η πολύ μικρή διάρκεια των παραγόμενων παλμών Laser.

Συνηθισμένα Laser και μήκος κύματος



Η αλληλεπίδραση της HMA Laser με τους ιστούς εξαρτάται από:

- το μήκος κύματος του Laser (δηλαδή την ενέργεια κάθε φωτονίου)
- την ένταση της HMA (και ειδικότερα: Watt*time/διατομή δέσμης)
- το σχήμα της ακτινοβολήσης
 - συνεχής ή
 - με παλμούς

Για Laser ισχύος μέχρι μερικά Watts, η αλληλεπίδραση είναι τριών βασικών ειδών:

- **A.** Στην περιοχή απόμακρων UV, τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με τις πρωτεΐνες RNA και DNA και συνήθως θανατώνουν τα κύτταρα
- **B.** Στην περιοχή εγγύς UV και ορατού μικρού μήκους κύματος γίνονται φωτοχημικές αντιδράσεις (όπως η φωτοσύνθεση)

Για Laser ισχύος μέχρι μερικά Watts, η αλληλεπίδραση με υλικά είναι τριών βασικών ειδών:

Γ. Στην περιοχή ορατού μεγάλου μήκους κύματος και εγγύς υπέρυθρες έχουμε θερμικές επιδράσεις με απορρόφηση της ΗΜΑ, ήτοι:

- μέχρι 60°C: Αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού, πιθανή συνένωση αγγείων
- 60 – 65°C: Συσσωμάτωση κυττάρων, δημιουργία θρόμβων
- 65 – 90°C: Αλλοίωση των πρωτεϊνών
- 90 – 100°C: Ελαχιστοποίηση των υγρών (στέγνωμα)
- 100 + °C: Εξάτμιση και απανθράκωση

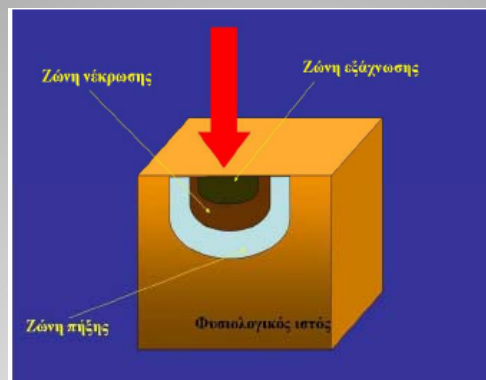
Θερμική επίδραση ΗΜΑ Laser πολύ μεγάλης πυκνότητας ισχύος

Το Laser δρα

- είτε ως νυστέρι
- είτε ως εργαλείο αφαίρεσης - απόξεσης πολύ λεπτού στρώματος ιστού.
- Σε αμφότερες τις περιπτώσεις **η αιμορραγία είναι μηδαμινή** επειδή (όσον αφορά αιμοφόρα αγγεία) η τοπικά αυξημένη θερμοκρασία του Laser κλείνει τα κομμένα άκρα μειώνοντας άμεσα και δραστικά την αιμορραγία (**αιμοστατικό φαινόμενο**), συντομεύοντας σημαντικά τη διάρκεια της επέμβασης.

Laser ορατού και υπέρυθρου

- Τα Laser ορατού διεισδύουν σε βάθος περίπου 1 mm στους ιστούς.
- Το Laser Nd:YAG –υπέρυθρου– φτάνει σε βάθος 4 mm (απορροφάται ελάχιστα από το νερό).
- Το βάθος διείσδυσης του Laser CO₂ -επίσης υπέρυθρου- είναι μόνο 30 μm (απορροφάται πολύ από το νερό)
- Η εξάρτηση της απορρόφησης από το είδος των μορίων και του βιολογικού ιστού καθιστά δυνατή τη **χειρουργική επέμβαση μεγάλης ακρίβειας**



Οι ζώνες εξάχνωσης, νέκρωσης και πήξης σε μοντέλο φυσιολογικού ιστού

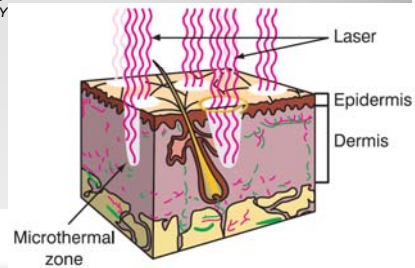
Αλληλεπίδραση Laser - δέρματος



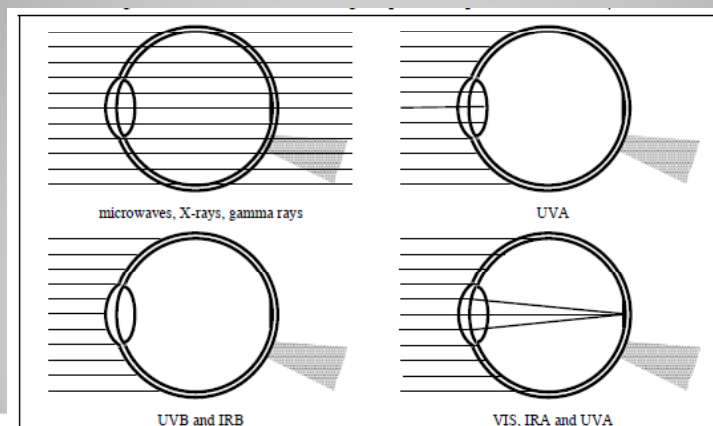
Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΤΟΥ CO₂ LASER
ΕΠΙΔΡΑ ΣΤΟ
ΔΕΡΜΑ ΜΕ
ΓΡΗΓΟΡΕΣ
ΑΛΛΑ ΙΣΧΥΡΕΣ
ΡΙΠΕΣ

ΤΟ LASER ΕΞΑΤΜΙΖΕΙ
ΤΟ ΠΑΛΑΙΟ ΔΕΡΜΑ

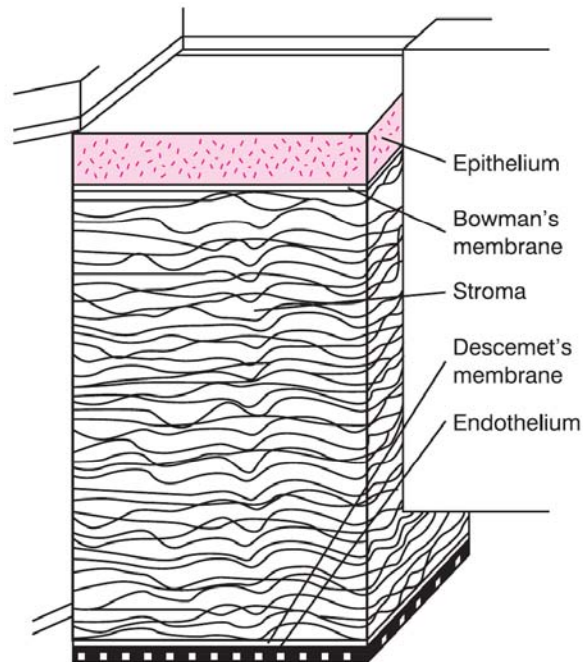
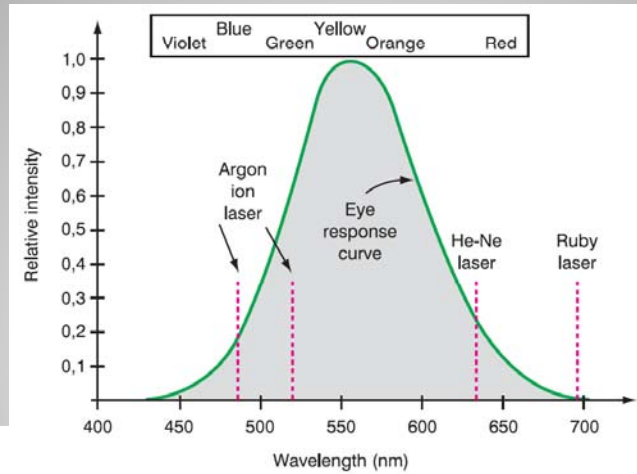
ΟΙ ΠΑΛΙΕΣ ΡΥΤΙΔΕΣ
ΑΜΒΛΥΝΟΝΤΑΙ ΚΑΙ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ
ΣΥΣΦΙΞΗ ΤΟΥ
ΚΟΛΛΑΓΟΝΟΥ



Διαπερατότητα των ιστών του οφθαλμού σε ΗΜΑ διαφορετικού λ



Η ευαισθησία του οφθαλμού σε συνάρτηση με το λ της ΗΜΑ

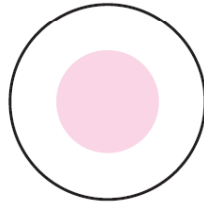


**Δομή του
κερατο-
ειδή**

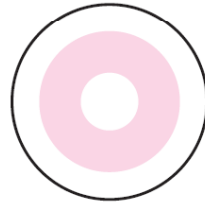
Επιδιορθώσεις του κερατοειδή



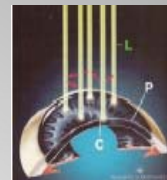
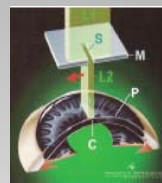
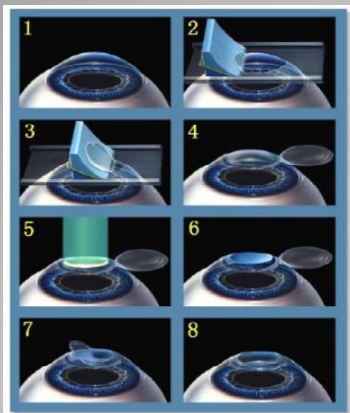
Radial keratotomy
for myopia (only)



Keratomileusis
for myopia



Keratomileusis
for hyperopia

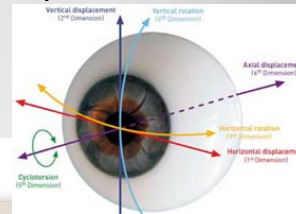


Συστήματα περιορισμού
της δέσμης Laser

Κερατοσμίλευση με Laser

- Τα συστήματα excimer laser τελευταίας γενιάς διαθέτουν τεχνολογία οφθαλμικού ιχνηλάτη, γνωστό και ως eye-tracker.
- Στο eye-tracking system παρακολουθούνται με μεγάλη ακρίβεια οι μικροκινήσεις του οφθαλμού (παρακολούθηση του στόχου μέσω ειδικής video camera => καθοδηγεί την δέσμη του laser με υψηλού βαθμού συγχρονισμό).
- Ο στόχος είναι το κέντρο της κόρης του οφθαλμού. Αν ο στόχος βρεθεί εκτός πεδίου η δέσμη του laser σταματά αυτόματα.

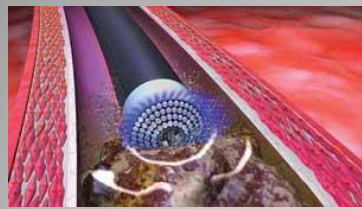
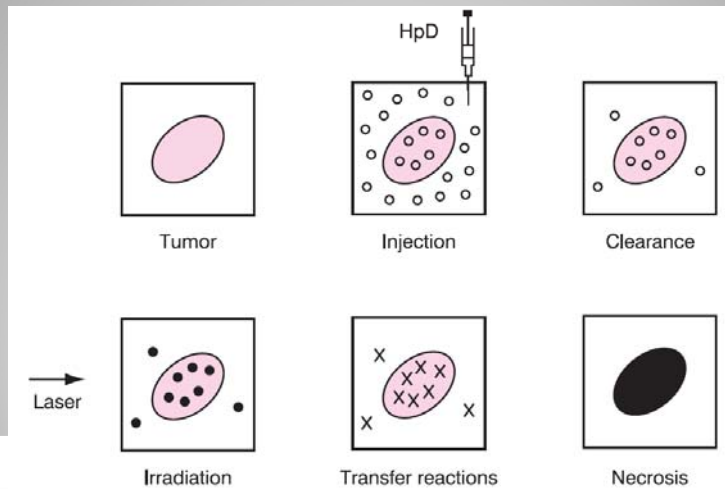
Excimer Laser και οφθαλμός



- Τα Laser εισήγαγαν τη **φωτοδυναμική θεραπεία** που συνίσταται στη χρήση ειδικών ουσιών (π.χ. ηπατοπορφυρίνη), οι οποίες ενίονται στο σώμα του πάσχοντος και έχουν την ιδιότητα να συγκεντρώνονται περισσότερο στα καρκινικά κύτταρα παρά στα υγιή
- Οι ουσίες αυτές είναι ταυτόχρονα ευαίσθητες στο φως (η κάθε μία σε συγκεκριμένη περιοχή μήκους κύματος)
- Όταν εκτεθεί η ουσία σε αυτό το φως **από κατάλληλο dye Laser**:
 - απελευθερώνει χημικές ομάδες (π.χ. μονήρες οξυγόνο) που θανατώνουν τα γύρω κύτταρα
 - ή εκπέμπει φθορίζον φως που μαρτυρεί τη θέση των καρκινικών κυττάρων

Laser στη Διαγνωστική και Θεραπευτική Ιατρική

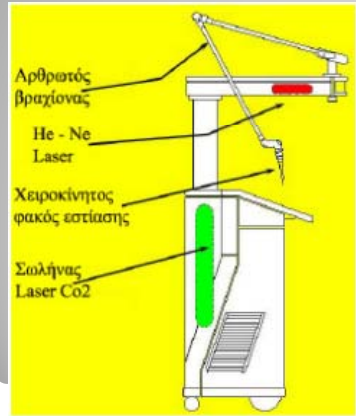
Αρχή λειτουργίας της φωτοδυναμικής θεραπείας



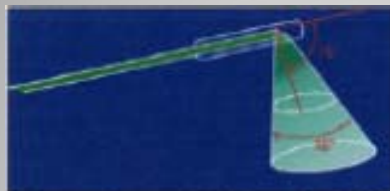
Απομάκρυνση αθηρωματικής πλάκας σε φραγμένη αρτηρία με ακτίνα Laser

- Excimer Laser παράγουν δέσμη που μεταφέρεται μέσω εύκαμπτων οπτικών ινών.
- Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην Οφθαλμολογία για την θεραπεία της μυωπίας και του αστιγματισμού σε επιλεγμένα περιστατικά.
- Έχει χρησιμοποιηθεί πειραματικά στην Αγγειοπλαστική και Καρδιοχειρουργική για την εξάχνωση και απομάκρυνση αθηρωματικής πλάκας σε φραγμένες αρτηρίες

Ιατρικό Laser CO₂



Ειδικά σχεδιασμένη οπτική ίνα μίας χρήσης με διάμετρο 0,6 mm



Συνδέεται με συσκευές που διαθέτουν

- φακούς εστίασης π.χ. 50 - 260 mm για **τομή**
- και **απεξάχνωση** της τάξης των 60 - 100 μm
- Επίσης συνήθως διαθέτουν ειδικό φακό για δημιουργία **οπών**

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης Laser στη χειρουργική είναι αρκετά:

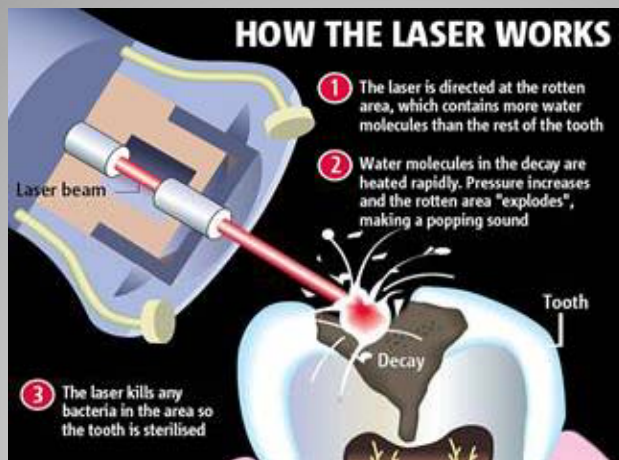
- το «πεδίο δράσης» διατηρείται σχετικά στεγνό επειδή η ενέργεια του Laser αμέσως μετά το κόψιμο ενός μικρού αγγείου, σφραγίζει τις δύο ανοιχτές διατομές και περιορίζει τη διαρροή του αίματος
- ο μετεγχειρητικός πόνος είναι πολύ λιγότερος, επειδή «σφραγίζονται» και τα άκρα των νεύρων
- αποφεύγεται η σχολαστική αποστείρωση, επειδή δεν απαιτείται χρήση και επαφή μηχανικών εργαλείων
- καθαρό οπτικό πεδίο, επειδή δεν παρεμβαίνουν- παρεμβάλλονται μηχανικά μέρη

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης Laser στη χειρουργική είναι αρκετά:

- επιλέγοντας το μήκος κύματος μπορεί να επιτευχθεί η επιθυμητή αντίδραση και μόνον αυτή
- είναι δυνατή η εκτέλεση μικροχειρουργικής με τη βοήθεια μικροσκοπίου και μάλιστα με τη δέσμη Laser να περνά μέσα από το ίδιο μικροσκόπιο
- το Laser μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νυστέρι μεγάλης ακρίβειας
- η συσκευή Laser μπορεί να συνδεθεί και να καθοδηγείται μέσω υπολογιστή για επεμβάσεις σε πολύ περιορισμένο χώρο



Εφαρμογές σε μαλακούς ιστούς



Εφαρμογές σε σκληρούς ιστούς όπως τα δόντια

Η ΜΕΕ εκφράζεται σε J/cm^2 ή W/cm^2 και εξαρτάται από:

- το μήκος κύματος της ΗΜΑ
- τη διάρκεια έκθεσης
- τη συχνότητα των εκπεμπόμενων παλμών
- τη φύση της έκθεσης (σε συγκεντρωμένη δέσμη ή σε διάχυτη)

Επίπεδα Μέγιστης Επιτρεπόμενης Έκθεσης (ΜΕΕ)

- Περιέχει όλα τα Laser, τα οποία κάτω από φυσιολογικές συνθήκες εργασίας, **δεν μπορούν να εκπέμψουν ακτινοβολία ικανή να προκαλέσει βλάβη.**
- Στην πράξη αυτά τα Laser καλούνται «Laser ασφαλή για τον οφθαλμό» και δε βλάπτουν κάποιον, ακόμη και αν κοιτάξει απευθείας τη δέσμη για 8 ώρες και ανεξάρτητα από το μήκος κύματος.
- Για παράδειγμα, η μέγιστη ισχύς Laser He – Ne που ανήκει στην κατηγορία I είναι 0,4 μW .
- Τα Laser αυτής της κατηγορίας δεν μπορούν να εκπέμψουν ακτινοβολία που να ξεπερνά το όριο της ΜΕΕ

Η κατηγορία I

- Περιέχει **όλα τα «ορατά» Laser** χαμηλής ισχύος που διεγείρουν το ανακλαστικό της ίριδας να κλείνει για να προστατέψει τον οφθαλμό.
- Ο χρόνος της ανακλαστικής αντίδρασης είναι 0,25 s.
- Τα Laser της κατηγορίας II εκπέμπουν μεγαλύτερη ισχύ, αλλά το ποσό της ενέργειας που εισέρχεται στον οφθαλμό περιορίζεται από το κλείσιμο της ίριδας.
- Η μέγιστη ισχύς συνεχούς ορατού Laser της κατηγορίας II είναι **1 mW**.
- Αυτά τα Laser είναι κατάλληλα για πειράματα Φυσικής σε μαθητές.
- Αν το μήκος κύματος ανήκει στο μη ορατό και η ΗΜΑ Laser ξεπερνά τα όρια της κατηγορίας I, τότε κατατάσσεται απευθείας στην κατηγορία III.

Η κατηγορία II

- Στην κατηγορία IIIa ανήκουν **όλα τα ορατά Laser** που εκπέμπουν ακτινοβολία σε επίπεδο που δεν βλάπτει τον άνθρωπο με φυσιολογική λειτουργία οφθαλμού (ανακλαστική αντίδραση της ίριδας).
- Η κατηγορία IIIa περιέχει όλα τα Laser μέσης ισχύος με έξοδο μεταξύ **1 και 5 φορές ισχυρότερη της κατηγορίας I**, ανάλογα με τη διάρκεια της έκθεσης.
- Η κατηγορία IIIβ περιέχει όλα τα Laser **που δεν ανήκουν στις κατηγορίες I ή II** και έχουν μήκος κύματος (ορατό ή μη) ικανό να προκαλέσει βλάβη στον οφθαλμό του παρατηρητή, ακόμη και χωρίς τη χρήση οπτικών βοηθητικών εξαρτημάτων.

Οι κατηγορίες IIIa και IIIβ

- Περιέχει όλα τα Laser που δεν ανήκουν στις προηγούμενες κατηγορίες.
- Θεωρούνται Laser μεγάλης ισχύος.
- Η ακτινοβολία τους μπορεί να προκαλέσει:
 - **βλάβη στον οφθαλμό** ακόμη και από σκεδασμένη δέσμη
 - **βλάβη στο δέρμα**
 - **πυρκαγιά**
- Οποιοδήποτε Laser με ισχύ εξόδου μεγαλύτερη του 0,5 Watt ανήκει στην κατηγορία IV.

Η κατηγορία IV