



Εισαγωγή στα **lasers**

Γ. Μήτσου

Θέματα προς ανάπτυξη

Η ανακάλυψη του Laser – Σταθμοί στην τεχνολογία

Εφαρμογές

Μοναδικές ιδιότητες των Lasers

Χωρικές ιδιότητες της δέσμης
Κατανομή της έντασης

Συμφωνία – Φαινόμενα Συμβολής & Περίθλασης

Χώρος
χρόνου και
συχνοτήτων

Συμβολόμετρο Michelson – Αρχή λειτουργίας OCT

Οπτική Fourier - Οπτικοί μετασχηματισμοί

Σταθμοί στην Τεχνολογία του Laser

1916

Ο Einstein περιγράφει την εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας

1958

Οι Shallow και Townes διατυπώνουν τις αρχές λειτουργίας του laser

1960

Ο Maiman κατασκεύασε το πρώτο πρακτικό laser (Laser ρουμπινίου)

1961

Κατασκευή 1ου laser αερίου He-Ne (A. Javan, W. Bennet, D. Harriott)

1962

Η κατασκευή του 1ου διοδικού laser από R. Hall

Σταθμοί στην Τεχνολογία του Laser

1963

Επίδειξη του πρώτου CO₂ laser από τον Patel

1970

Η πρώτη επίδειξη υπεριώδους laser μοριακού υδρογόνου από R. Hodgson

1985

Κατασκευή του 1ου laser απαλών ακτίνων X από D. Mathews

1986

κατασκευή του 1ου Ti:Sapphire laser από τον Moulton

Σταθμοί στην Τεχνολογία του Laser

1994

Ο Capasso ανέπτυξε το 1ο quantum cascade laser

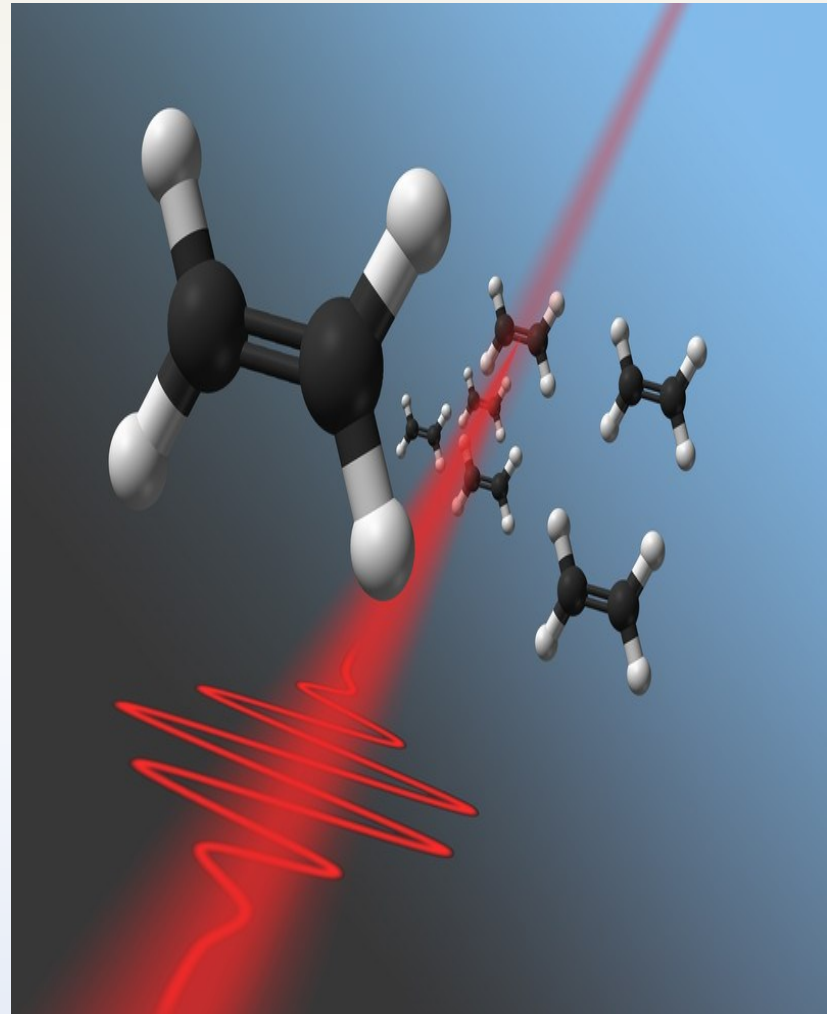
1996

το 1ο διοδικό laser που εκπέμπει στο μπλε από GaN (Nakamura)

Εφαρμογές

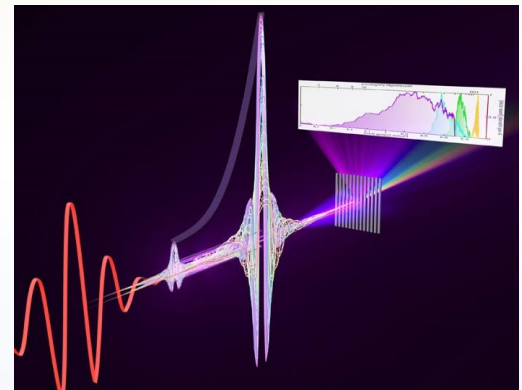
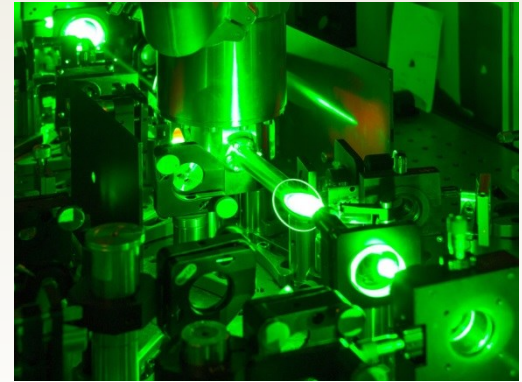
Η κάθε εφαρμογή απαιτεί συγκεκριμένα χαρακτηριστικά από ένα laser, όπως:

- Μήκος κύματος ακτινοβολίας
- Ισχύς δέσμης
- Παλμική ή συνεχής λειτουργία
- Διάρκεια και μορφή παλμών



Εφαρμογές

- Εφαρμογές στη Φυσική και Χημεία
- Εφαρμογές στη Βιολογία και Ιατρική ως διαγνωστικό εργαλείο είτε ως χειρουργικό εργαλείο είτε τέλος για τη δημιουργία μη αντιστρεπτής μεταβολής των βιομορίων
- Κατεργασία Υλικών



Εφαρμογές

- Οπτικές Επικοινωνίες
- Θερμοπυρηνική Σύντηξη
- Ολογραφία
- Μετρήσεις Αποστάσεων με Laser
- Έλεγχος της Μόλυνσης του Περιβάλλοντος με laser



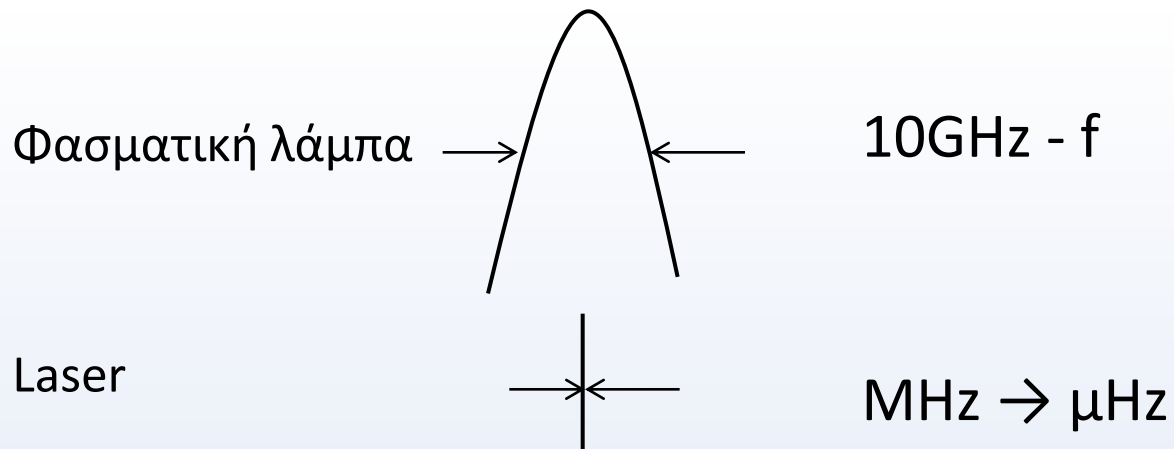
Ιδιότητες των Lasers

1

- a. Υψηλή μονοχρωματικότητα
- b. Στενό φασματικό εύρος
- c. Υψηλός βαθμός χρονικής συμφωνίας

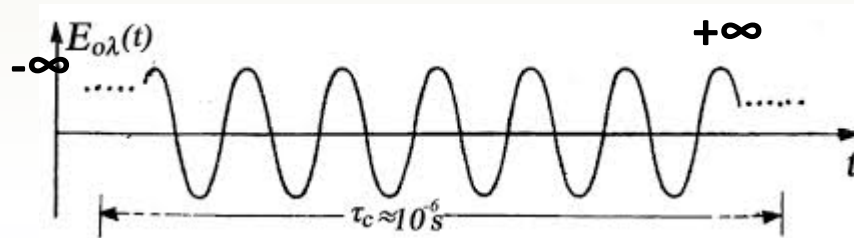
Ιδιότητες των Lasers

περίπτωση a & b



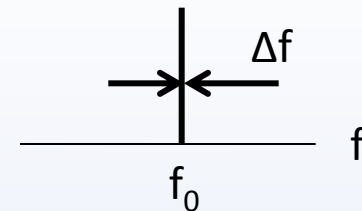
Ιδιότητες των Lasers

περίπτωση c – Χρονική Συμφωνία (temporal coherence)



Ιδανική χρονική συμφωνία

- Σταθερή συχνότητα
- Σταθερό πλάτος ταλάντωσης



$$\Delta f \rightarrow 0 \text{ ή } \Delta \lambda \rightarrow 0$$

Ιδιότητες των Lasers

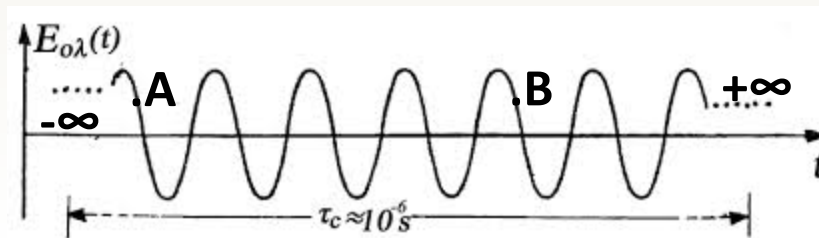
περίπτωση c – Χρονική Συμφωνία (temporal coherence)

Ιδανική χρονική συμφωνία σημαίνει:

- Χρόνος τ_c πολύ μεγάλος
- $\Delta f \approx 1/\tau_c$ πολύ μικρό
- Για κάθε δεδομένο σημείο η διαφορά φάσης στο μέτωπο κύματος παραμένει σταθερή σε κάθε t

Ιδιότητες των Lasers

περίπτωση c – Χρονική Συμφωνία (temporal coherence)



Άπειρη συμφωνία: Αν ξέρω το πλάτος και τη φάση στο σημείο A (για παράδειγμα), μπορώ να ξέρω ακριβώς το πλάτος και τη φάση του κύματος στο σημείο B.

Ο χρόνος συμφωνίας μπορεί να προσδιοριστεί για την περιοχή που το κύμα δεν διακόπτεται

Ιδιότητες των Lasers



- a. Υψηλός βαθμός ευθυγράμμισης της δέσμης
- b. Περιορισμός της ευθυγράμμισης από φαινόμενα περίθλασης
- c. Εστίαση της δέσμης σε πολύ μικρό spot
- d. Υψηλός βαθμός **χωρικής συμφωνίας**

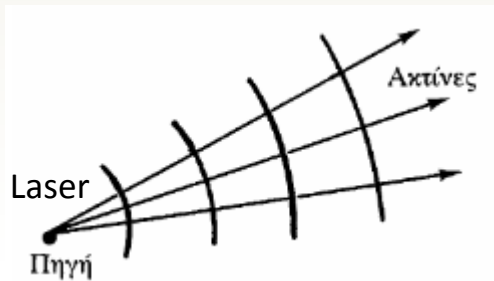
Ιδιότητες των Lasers

Περίπτωση d. Χωρική συμφωνία (spatial coherence)

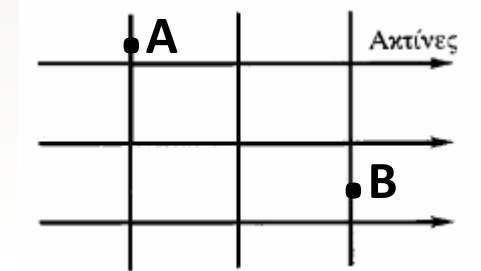
- Το κύμα συμπεριφέρεται πολύ καλά κατά τη διάδοσή του στο χώρο
- Μηδενική διαφορά φάσης μεταξύ δυο σημείων του μετώπου κύματος του Η.Μ. κύματος για κάθε χρονική στιγμή

Ιδιότητες των Lasers

Έστω ιδανική σημειακή πηγή



Ευθυγραμμίζω



Αν ξέρω το πλάτος και τη φάση στο A μπορώ να τα προβλέψω σε μια άλλη θέση στο χώρο (π.χ. Στο B)

Διότι:

Το μήκος κύματος είναι σταθερό και η χωρική συμπεριφορά του κύματος είναι σταθερή.

Ιδιότητες των Lasers



✓ Υψηλή ισχύς

Laser συνεχούς εκπομπής (CW): 10^{-3} watt – 10^6 watt

Παλμικά Laser: 10^9 watt (gigawatts)– 10^{18} watt (exawatts)

Ιδιότητες των Lasers

4

✓ Ευρεία κλίμακα συντονισμού

Μπορούμε να έχουμε εκπομπή Laser σε οποιαδήποτε συχνότητα με διάφορες τεχνικές

Ιδιότητες των Lasers

5

✓ Λαμπρότητα

Τα laser είναι πηγές ακτινοβολίας μεγάλης λαμπρότητας

Ορίζουμε τη λαμπρότητα μιας δεδομένης πηγής Η.Μ. κυμάτων σαν την ισχύ που εκπέμπει ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα στερεάς γωνίας

Ιδιότητες των Lasers

5

Η λαμπρότητα της δέσμης του εκπαιδευτικού laser He-Ne, που έχει ισχύ συνήθως 1 mW, είναι τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του ήλιου.

Χωρικά χαρακτηριστικά

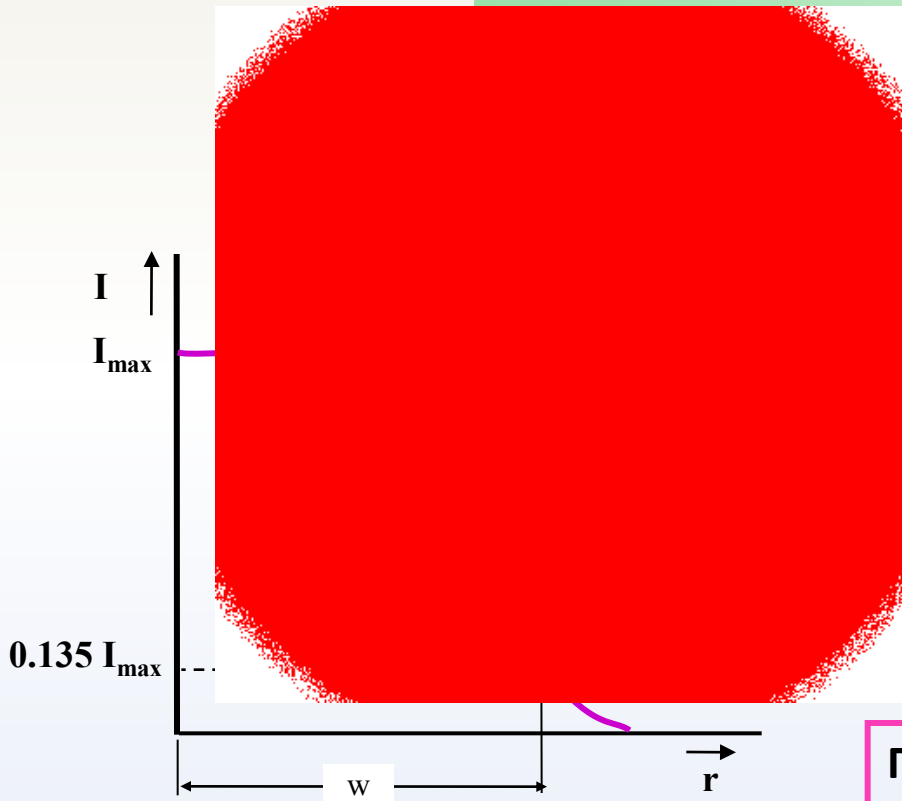
Προφίλ – ακτίνα της δέσμης



Το προφίλ (δηλαδή η κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας) που παρουσιάζει μια εγκάρσια τομή της δέσμης

Χωρικά χαρακτηριστικά

Προφίλ – ακτίνα της δέσμης



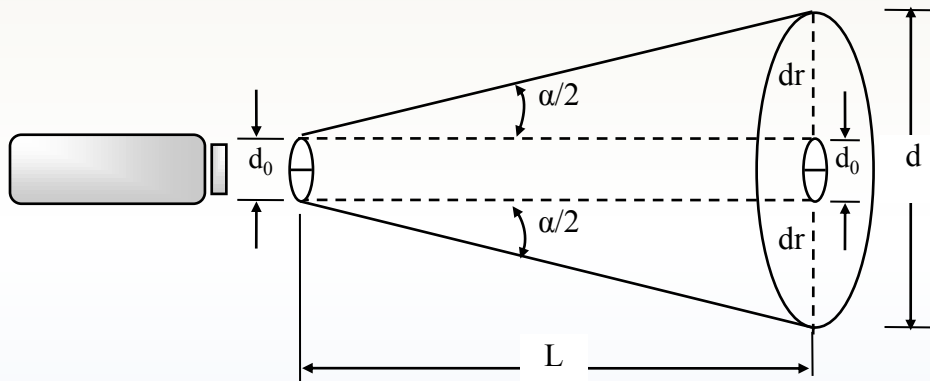
Η ένταση μειώνεται βαθμιαία όσο αυξάνει η ακτίνα.

συμβατικά ορίζουμε ως ακτίνα w της δέσμης την απόσταση από το κέντρο της δέσμης (I_{max}) μέχρι το σημείο που η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται στο $1/e^2$ της I_{max} ή $.135I_{max}$.

Περίπου το 94 % της ενέργειας της δέσμης είναι συγκεντρωμένο εντός της περιοχής που ορίζει η ακτίνα w .

Χωρικά χαρακτηριστικά

Κατευθυντικότητα & Απόκλιση της δέσμης



$$\tan(\alpha/2) = \frac{dr}{L} \Rightarrow (\alpha/2) = \tan^{-1} \frac{dr}{L}$$

Για μικρές γωνίες:

$$\alpha/2 = \frac{dr}{L}$$

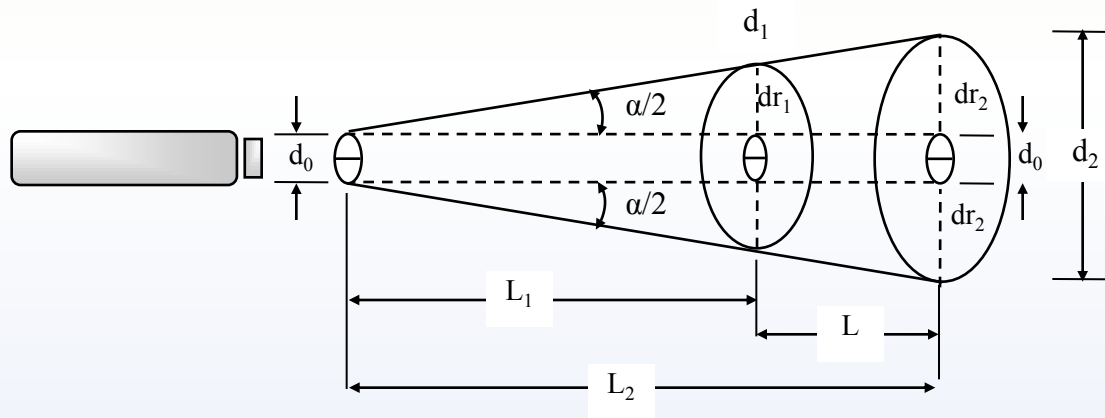
όπου $dr = d - d_0 \Rightarrow dr = (d - d_0)/2$ και επομένως:

$$\alpha = \frac{d - d_0}{L}$$

Ολική γωνία απόκλισης

Χωρικά χαρακτηριστικά

Κατευθυντικότητα &
Απόκλιση της δέσμης

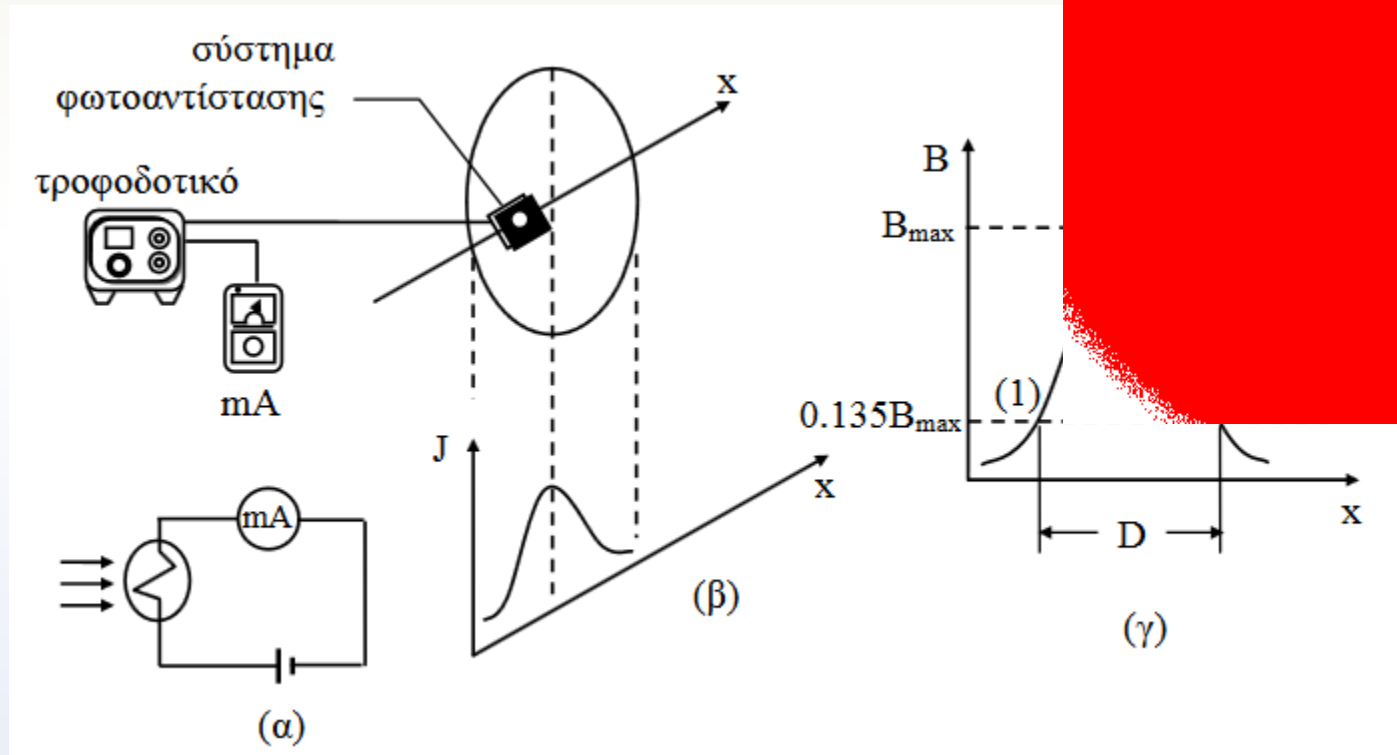


$$\alpha = \frac{d_2 - d_1}{L}$$

Ολική γωνία
απόκλισης

Χωρικά χαρακτηριστικά

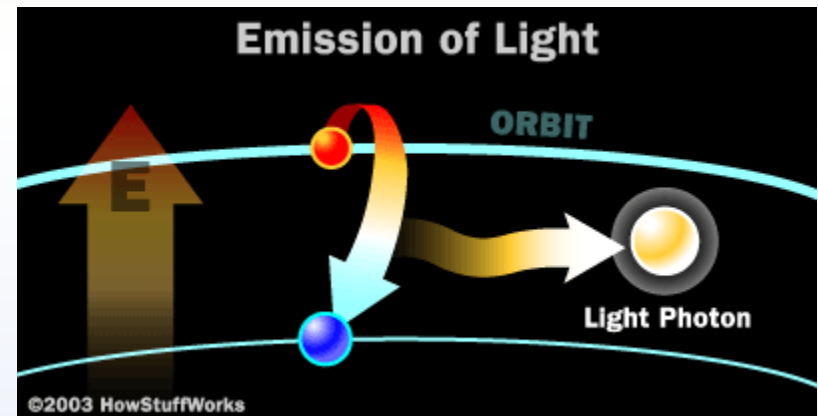
Μέτρηση διαμέτρου D της δέσμης



Λειτουργία ενός απλού Laser

Μηχανισμοί εκπομπής φωτός

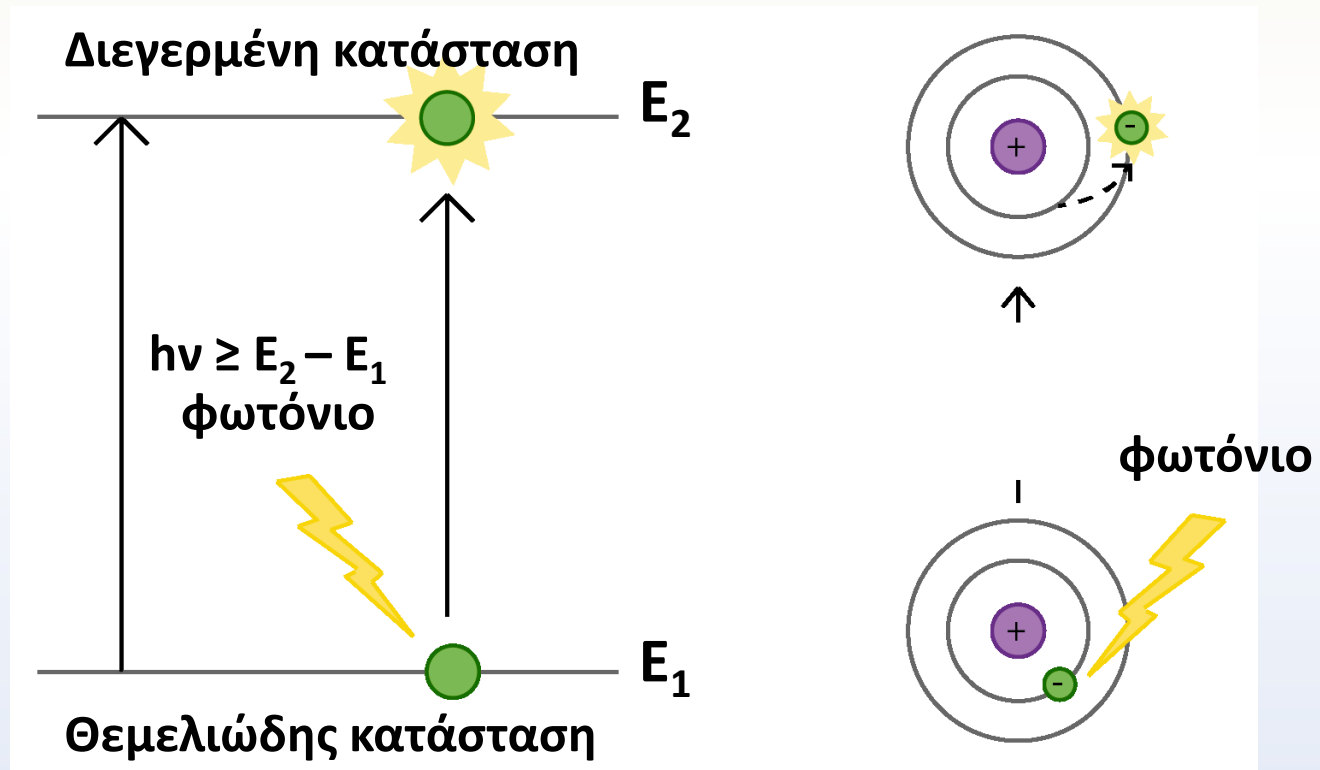
- a. Απορρόφηση
- b. Αυθόρμητη εκπομπή
- c. Επαγόμενη ή εξαναγκασμένη εκπομπή



Λειτουργία ενός απλού Laser

Μηχανισμοί εκπομπής φωτός

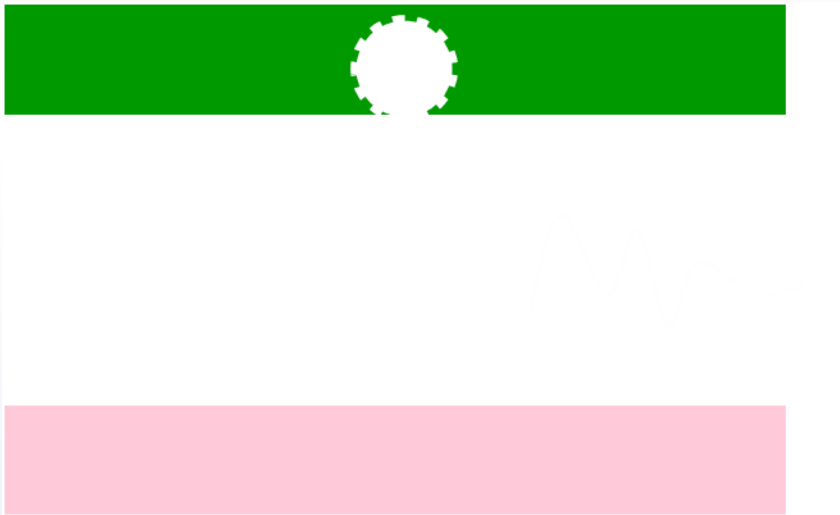
Απορρόφηση



Λειτουργία ενός απλού Laser

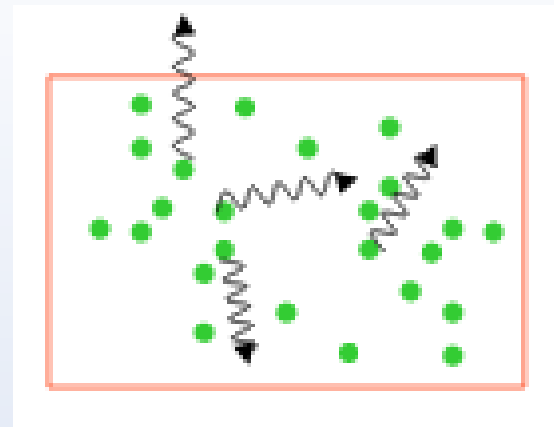
Μηχανισμοί εκπομπής φωτός

Αυθόρμητη εκπομπή



Αποδιέγερση των ατόμων

Κάθε άτομο ενός αερίου αποδιεγείρεται σε τυχαία χρονική στιγμή και η εκπομπή του φωτός γίνεται σε τυχαία διεύθυνση



Λειτουργία ενός απλού Laser

Μηχανισμοί εκπομπής φωτός

Επαγόμενη ή εξαναγκασμένη εκπομπή



$h\nu$

$h\nu$

$h\nu$



Επαγόμενη ή εξαναγκασμένη αποδιέγερση των ατόμων

Εκπομπή φωτός

- Προς την ίδια κατεύθυνση
- Ίδιας συχνότητας
- Ίδιας φάσης (σύμφωνο φως) με το φως το οποίο προκάλεσε την Εκπομπή

→ **Ενίσχυση φωτός**

Λειτουργία ενός απλού Laser

Laser

3 Ενεργειακές στάθμες

