

Εισαγωγή

Το laser στηρίζεται σε ιδέες του Einstein που δημοσιεύτηκαν το **1917**.

Τα πρώτα laser (δεκαετία **1960**) χαρακτηρίστηκαν ακόμα και ως **λύση σε αναζήτηση προβλήματος,**

αλλά σήμερα τα laser χρησιμοποιούνται σε:

ιατρική, επικοινωνίες, καθημερινή ζωή, στρατό, βιομηχανία, κοσμετική, κλπ

Το laser είναι μια διάταξη που

μετατρέπει ενέργεια από άλλες μορφές σε ΗΜ ακτινοβολία.

Εισερχόμενη ενέργεια: ΗΜ ακτινοβολία, ηλεκτρική ενέργεια, χημική ενέργεια κλπ.

Εξερχόμενη ενέργεια: ΗΜ ακτινοβολία

LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

to lase, lasing

Ηλεκτρονικός ταλαντωτής (electronic oscillator): παράγει ταλαντώσεις χωρίς εξωτερικό διεγέρτη.

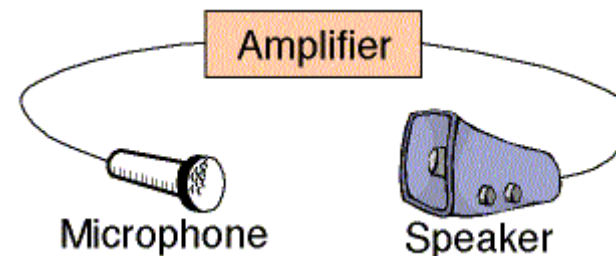
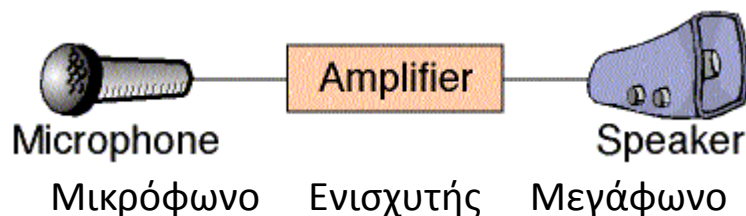
Ακουστικό ανάλογο: σύστημα μικρόφωνο - ενισχυτής - μεγάφωνο.

Όταν το μικρόφωνο τοποθετηθεί μπροστά από το μεγάφωνο «δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα» και ακούγεται το γνωστό σφύριγμα από το μεγάφωνο . . .

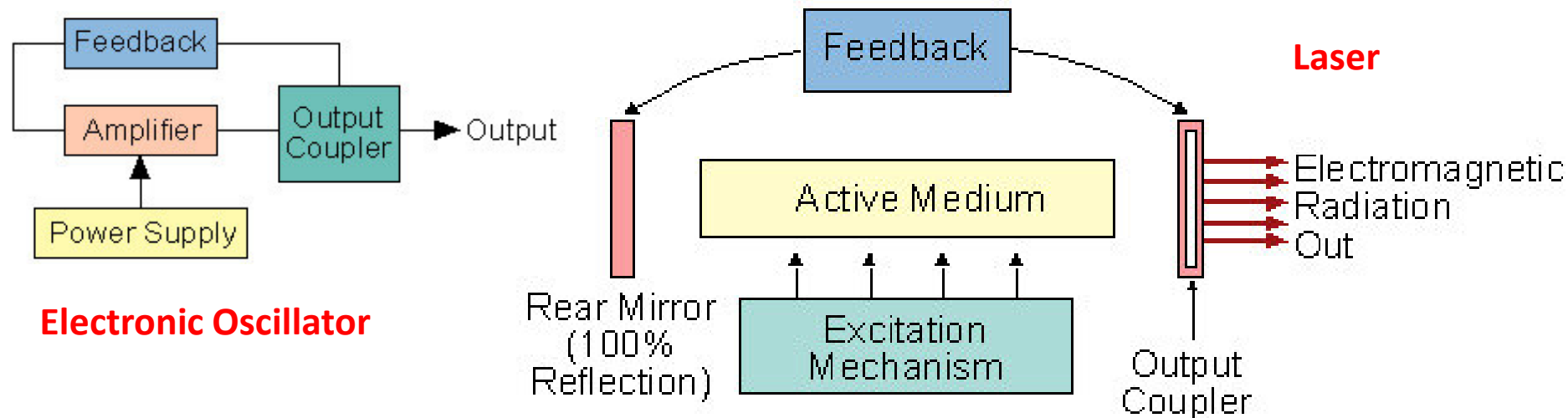
Το σφύριγμα δημιουργείται χωρίς άλλη εξωτερική ως προς το σύστημα μικρόφωνο - ενισχυτής - μεγάφωνο πηγή ήχου.

Χρειάζεται όμως κάποια παροχή ενέργειας (να είναι στην πρίζα!).

Εξήγηση: Ο εσωτερικός θόρυβος του μεγαφώνου ανιχνεύεται από το μικρόφωνο, ενισχύεται από τον ενισχυτή και το ενισχυμένο σήμα επανασυλλέγεται από από το μικρόφωνο. Η θετική ανάδραση (positive feedback) συνεχίζεται οπότε ακούγεται το γνωστό σφύριγμα.



electronic oscillator vs. laser



Active medium (ενεργό μέσο): συλλογή δομικών λίθων (ατόμων, μορίων, ...)

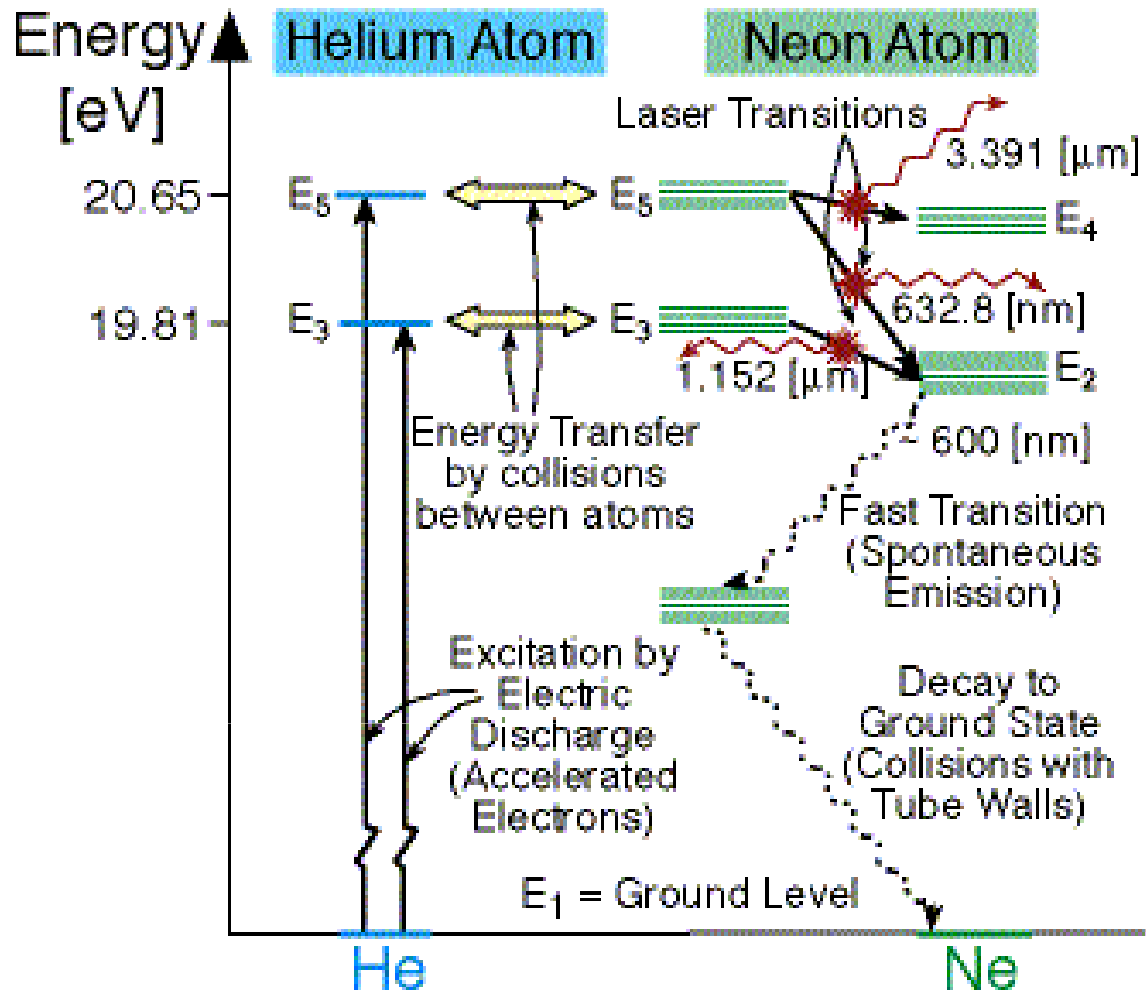
Cavity (κοιλότητα): ο χώρος όπου περιορίζεται το ενεργό μέσο, συνήθως γυάλινος σωλήνας.

Στάσιμα κύματα στη διεύθυνση των κατόπτρων (παράλληλα στον «οπτικό άξονα» π.χ. z).

Η απόσταση των κατόπτρων L καθορίζει τους επιτρεπόμενους **τρόπους (modes)** της ΗΜ ακτινοβολίας δηλαδή τα ω_m . Αυτοί είναι οι λεγόμενοι **διαμήκεις τρόποι (longitudinal modes)**.

Η κατανομή της ενέργειας κατά μήκος και πλάτος της διατομής (π.χ. κάθετα στον «οπτικό άξονα» π.χ. στο επίπεδο xy). Αυτοί είναι οι λεγόμενοι **εγκάρσιοι τρόποι (transverse modes)**.

Δημιουργούνται από το εύρος της κοιλότητας.



Αναλογία ατόμων He - Ne περίπου 10 προς 1

Μηχανισμός διεγέρσεως: ηλεκτρική εκκένωση => επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια διεγείρουν άτομα He και Ne. Μετά τα άτομα He διεγείρουν άτομα Ne.

Δύο μετασταθείς ενεργειακές στάθμες (**meta-stable energy levels**) δρουν ως άνω στάθμες: **E5 και E3.**

Helium – Neon Laser

Ενεργό μέσο
αέριο Νέον (Ne)

Laser 4 ενεργειακών σταθμών

Επιτρεπόμενες μεταβάσεις:

Κύρια ορατή μετάβαση
 $E_5 \Rightarrow E_2$
ερυθρό 632.8 nm

υπέρυθρη μετάβαση
 $E_3 \Rightarrow E_2$
1.152 μm

υπέρυθρη μετάβαση
 $E_5 \Rightarrow E_4$
3.391 μm

Ο ρόλος του αερίου He στο laser He-Ne

Το αέριο He στο laser He-Ne **αυξάνει την απόδοση**. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

A. Η άμεση διέγερση ατόμων Ne είναι αναποτελεσματική, ενώ των ατόμων He αποτελεσματική.

B. Μια διεγερμένη στάθμη του ατόμου του He (επισημαινόμενη E_5) έχει σχεδόν την ίδια ενέργεια με μια διεγερμένη στάθμη του ατόμου του Ne (επισημαινόμενη επίσης E_5). Αυτό συμβαίνει και με τις επισημαινόμενες με E_3 διεγερμένες στάθμες.

Η διέγερση των ατόμων Ne γίνεται σε τρία στάδια:

1. Η υψηλή τάση επιταχύνει ηλεκτρόνια από την κάθοδο προς την άνοδο.
2. Τα ηλεκτρόνια αυτά συγκρούονται με άτομα He και τους μεταφέρουν την κινητική τους ενέργεια, οπότε τα άτομα He διεγείρονται μεταφέροντας ηλεκτρόνια σε υψηλότερες στάθμες.
3. Τα διεγερμένα άτομα He συγκρούονται με άτομα Ne και τους μεταφέρουν την ενέργεια της διεγέρσεως.

Δηλαδή τα άτομα He δεν συμμετέχουν στο lasing, αλλά αυξάνουν την απόδοση της διεγέρσεως των ατόμων Ne στις άνω στάθμες του lasing. Έτσι η απόδοση lasing αυξάνεται κατά περίπου 200 φορές (!).

Ερυθρό φως από He-Ne Laser

Στις περισσότερες εφαρμογές του laser He-Ne χρησιμοποιείται η μετάβαση $E_5 \Rightarrow E_2$ που δίνει **ερυθρό φως με $\lambda = 632.8 \text{ nm}$** που είναι η ισχυρότερη γραμμή στην ορατή περιοχή.

Ένα πρόβλημα για την δημιουργία αυτών των φωτονίων είναι ότι η ενεργειακή στάθμη E_5 μπορεί να εκπέμψει επίσης στο υπέρυθρο με $\lambda = 3.3913 \mu\text{m}$, που αντιστοιχεί στη μετάβαση $E_5 \Rightarrow E_4$.

Κάτι τέτοιο μειώνει τον πληθυσμό της ενεργειακής στάθμης E_5 , χωρίς να εκπέμπεται ορατή ακτινοβολία.

Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η **χρήση μιας ειδικής επενδύσεως των κατόπτρων** ώστε να ανακλούν μόνο το ερυθρό φως. Έτσι το ερυθρό φως ανακλάται εντός της κοιλότητας και τα φωτόνια του **πολλαπλασιάζονται μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής μεταξύ των E_5 και E_2** , ενώ τα φωτόνια άλλων μηκών κύματος, διαπερνούν τα κάτοπτρα χωρίς να αναγκάζονται να περνούν διαρκώς μέσα από το ενεργό μέσο.

Με παρόμοιο τρόπο μπορούν να ενισχυθούν άλλα μήκη κύματος. Με αυτό τον τρόπο υπάρχουν σήμερα και **πορτοκαλί, κίτρινα** και **πράσινα** lasers He-Ne χρησιμοποιώντας μεταβάσεις που δεν παρουσιάστηκαν στη βασική εικόνα.

Όμως μεγαλύτερη απόδοση έχει το **ερυθρό 632.8 nm** laser He-Ne.

Η ενίσχυση της ακτινοβολίας οφείλεται στην **εξαναγκασμένη εκπομπή**. **Απώλειες και**
Σε ένα σύνηθες laser He-Ne η ενίσχυση του ενεργού μέσου είναι **περίπου 2%**: **ενίσχυση**
Δηλαδή σε ένα πέρασμα από το ενεργό μέσο (από το ένα κάτοπτρο στο άλλο)
η ποσότητα ακτινοβολίας αυξάνεται **από 1 σε 1.02**.

Οι απώλειες οφείλονται σε κρούσεις των διεγερμένων ατόμων He με τους τοίχους του σωλήνα που περιέχει το αέριο, απορρόφηση από άλλα μόρια κλπ.
Θα πρέπει να είναι κάτω από 2%.

Πρέπει ο χρόνος ζωής των κατωτέρων laser ενεργειακών σταθμών (δηλαδή αυτών που συμμετέχουν στο lasing) να είναι πολύ μικρός, ώστε να έχουμε αναστροφή πληθυσμού.

Στο αέριο Ne, το οποίο είναι το ενεργό μέσο,
η μετάπτωση από την κατώτερη laser ενεργειακή στάθμη δεν είναι πολύ γρήγορη, αλλά επιταχύνεται μέσω κρούσεων με τα τοιχώματα του σωλήνα.

Επειδή ο αριθμός των κρούσεων με τα τοιχώματα του σωλήνα αυξάνεται καθώς ο σωλήνας γίνεται μικρότερος, το laser gain είναι αντιστρόφως ανάλογο με την ακτίνα του σωλήνα. Άρα η ακτίνα του σωλήνα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

Lab laser output power ~100 mW. Commercial laser output power ~ 0.5-50 mW.
Επειδή το ένα κάτοπτρο αφήνει να περάσει μόνο από το 1% της ακτινοβολίας, η ισχύς εντός της κοιλότητας ξείναι 100 φορές μεγαλύτερη από την εκπεμπόμενη ισχύ.