

# L.A.S.E.R.

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Σύμφωνο Ενισχυμένο Φώς από Εξαναγκασμένη Εκπομπή

**A) Αρχή λειτουργίας και σύντομη  
ιστορική ανασκόπηση**

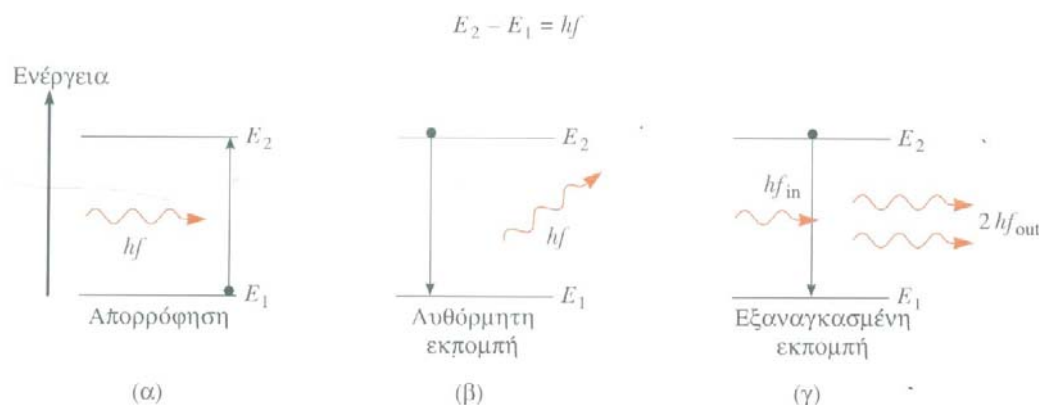
**B) Τί ξεχωρίζει το LASER από τις  
συνήθεις πηγές φωτός**

N. Μπακάλης 14 – 5 – 2013  
*Ινστιτούτο Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας,  
Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών.*

# A) Αρχή λειτουργίας και σύντομη ιστορική ανασκόπηση

## Λείζερ δεσμίων ηλεκτρονίων

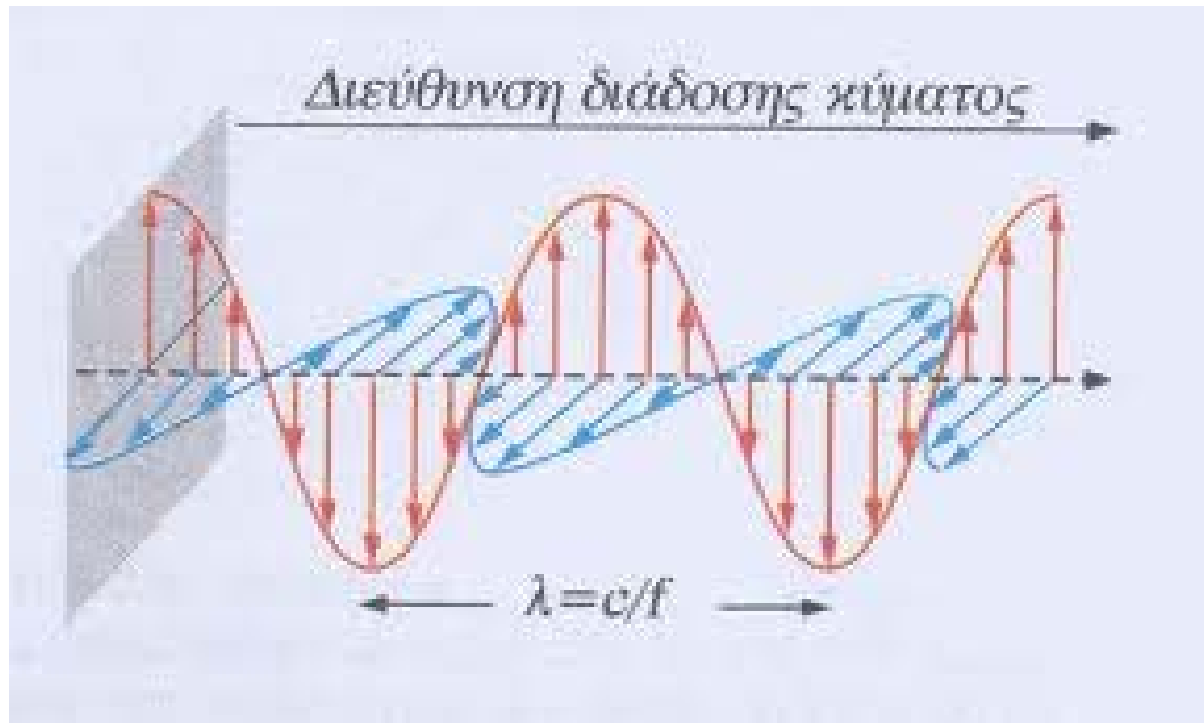
Διεγερμένα ηλεκτρόνια εξαναγκάζονται από φωτόνια να αποδιεγερθούν αποδίδοντας την ενέργειά τους σε νέα φωτόνια με ίδια φάση και πόλωση με τα προσπίπτοντα. Η διεργασία επαναλαμβάνεται μεταξύ δύο καθρεπτών, που ο ένας είναι ημιπερατός οπότε εξέρχεται η δέσμη ευθυγραμμισμένη. Έτσι παράγεται ενισχυμένο (ισχυρό) σύμφωνο μονοχρωματικό φώς.



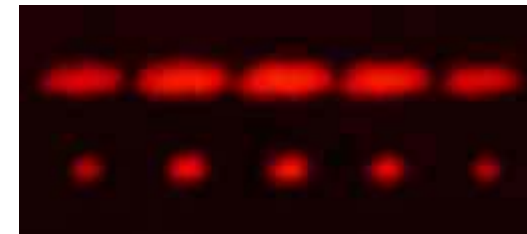
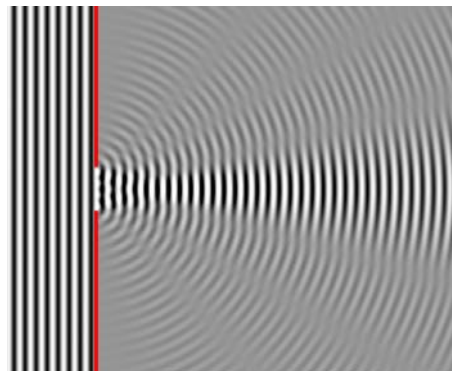
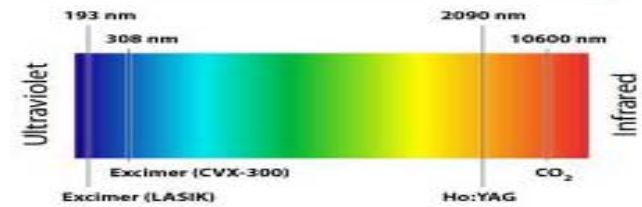
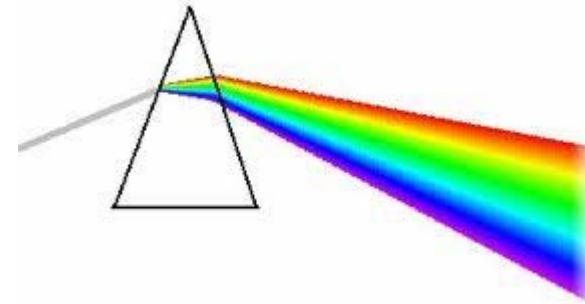
## Λέξεις - κλειδιά

Ενέργεια, φωτόνιο, ηλεκτρόνιο, διέγερση, αποδιέγερση (αυθόρμητη είτε εξαναγκασμένη), ενεργειακή στάθμη, μονοχρωματικό φώς, αναστροφή πληθυσμών, σύμφωνο φώς, ενίσχυση ακτινοβολίας

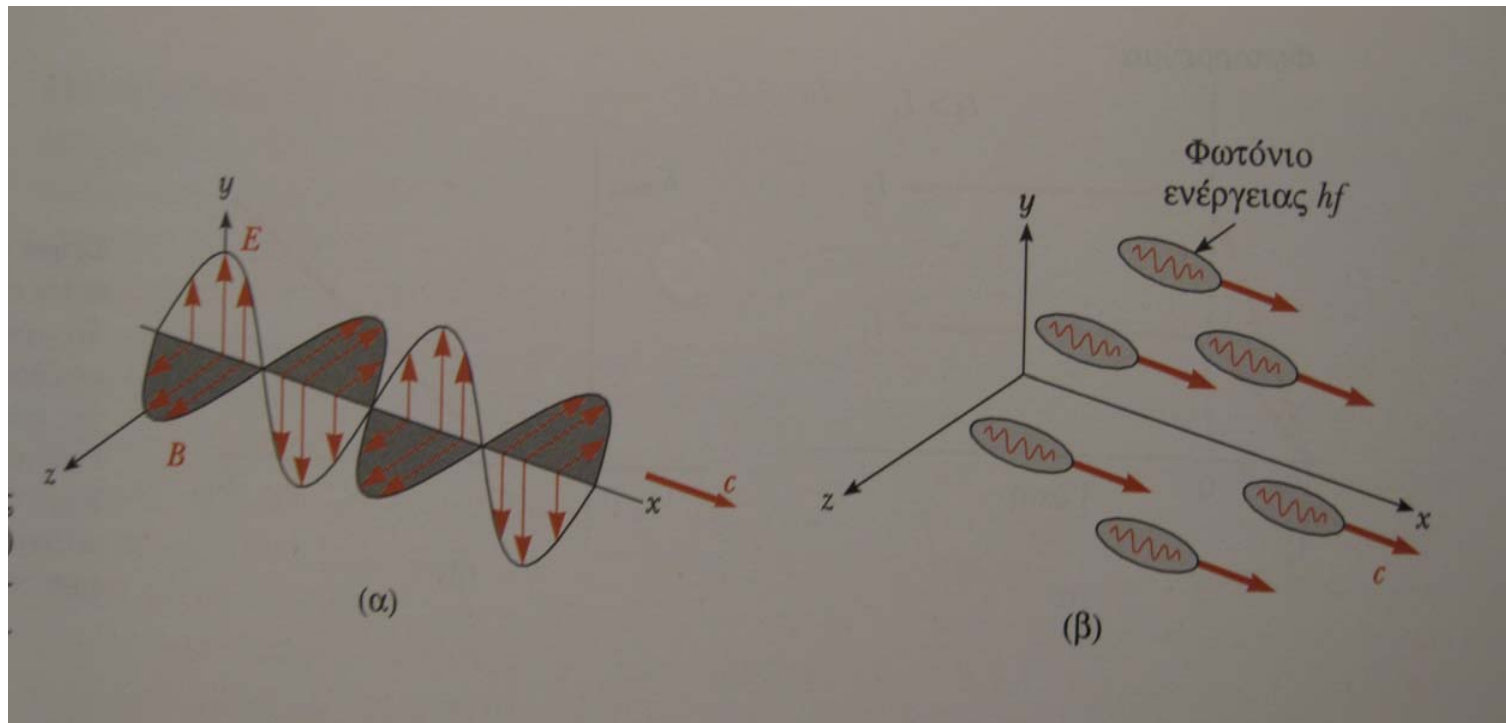
- **1638: Γαλιλαίος:** Μεγάλα και μικρά σώματα πέφτουν ταυτόχρονα (αφαίρεση τριβής) -> πρώτη ένδειξη Διατήρησης ενέργειας - Διατήρησης ορμής
- **~1821: M.Faraday:** Ηλεκτρομαγνητισμός («Κάποτε θα φορολογηθεί»!)
- **~1870: J.C.Maxwell:** Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. **Σταθερή** ταχύτητα διάδοσης στο κενό  $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$  (γινόμενο δύο **σταθερών** ιδιοτήτων του κενού)  
Αργότερα (1887: Michelson – Morley) επαληθεύτηκε και πειραματικά



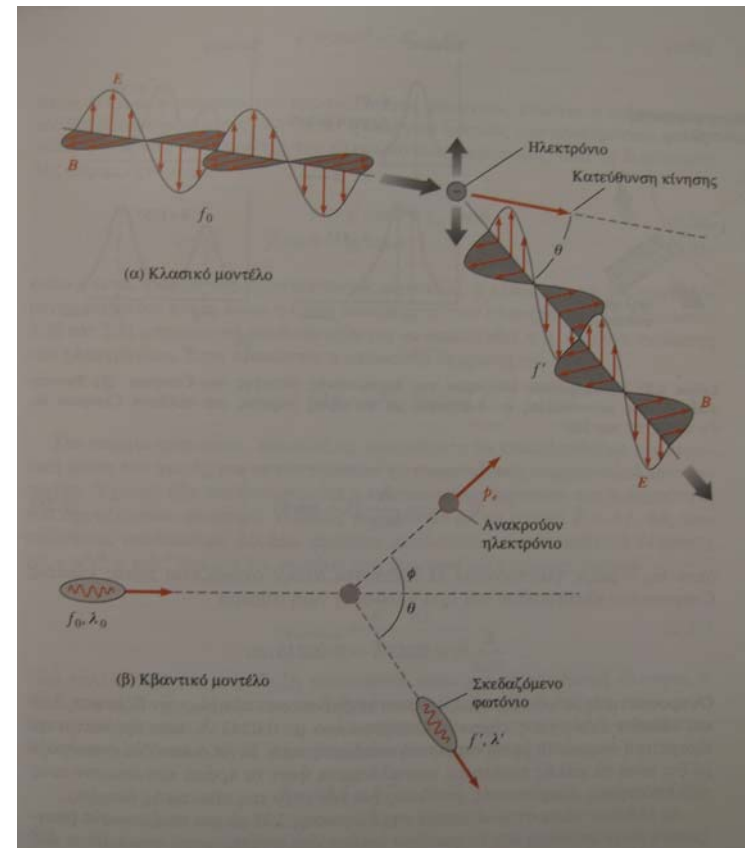
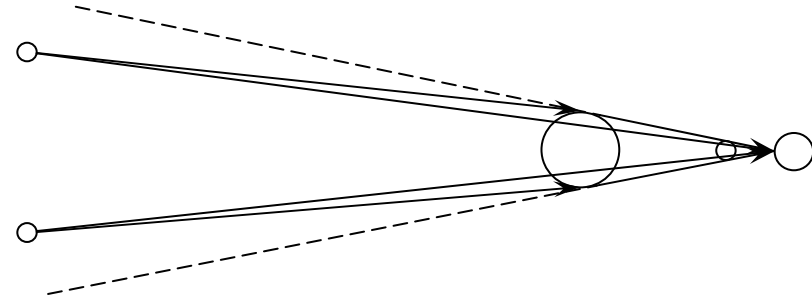
- **1887: H. Herz:** Το Φώς είναι Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία  $c=\lambda f$   
(Ίδιες ιδιότητες: Ανάκλαση, Διάθλαση, Περίθλαση, Συμβολή)



- **1897: J.J. Thomson:** Ανακάλυψη ηλεκτρονίου (σωματίου)
- **1900: M. Plank:** Η ενέργεια των πηγών της Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι κβαντισμένη με βήμα  $\Delta E = hf \Rightarrow E = n hf, n = 1, 2, 3, \dots$   
Η κλασσική θεωρία είναι **αυτο-ασυνεπής!!**
- **1905: A. Einstein:** Η Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από **σωμάτια** (**φωτόνια** = κβάντα φωτός) που είναι και ηλεκτρομαγνητικά **κύματα**.  
Μεταφέρουν ενέργεια  $E = hf = hc / \lambda$



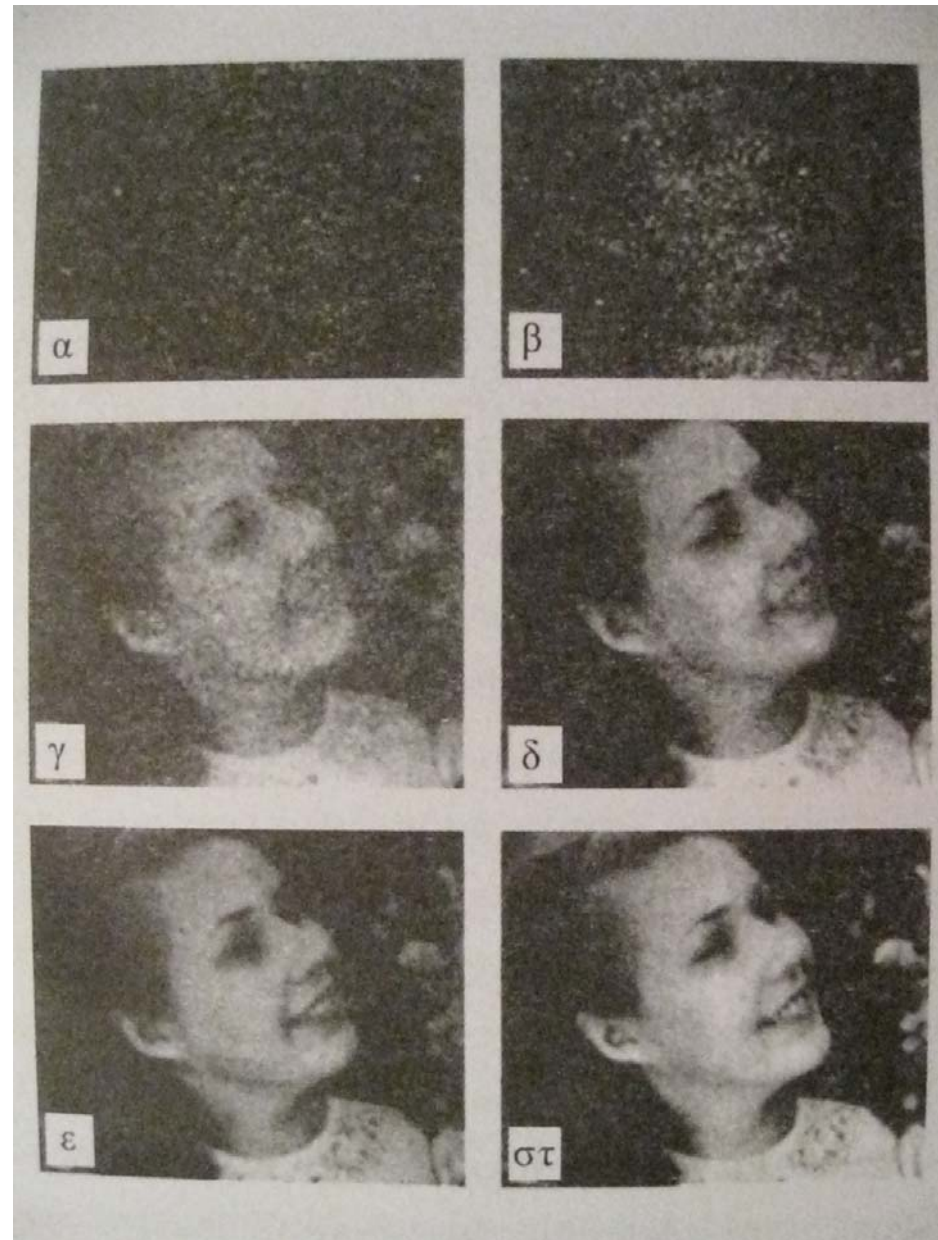
- **1913: N. Bohr:** Το άτομο (του υδρογόνου) απορροφεί και εκπέμπει φως με ενέργεια κβαντισμένη  $\Delta E = hf$
  - **1915: A. Einstein:** Τα φωτόνια (σωμάτια/κύματα) έχουν **βάρος** που αντιστοιχεί σε μάζα  $hf / c^2$   
(Εκτρέπονται από την έλξη του Ηλίου - επαληθεύτηκε σε ολική έκλειψη το 1919)
  - **1917: A. Einstein:** Τα φωτόνια **μπορούν να διεγείρουν** άτομα, αλλά και να **αποδιεγείρουν** άτομα μεταφέροντας ενέργεια
- Αργότερα (1947: Lamb - Retherford) επαληθεύτηκε και πειραματικά
- **1919: A. Einstein:** Τα φωτόνια (σωμάτια/κύματα) μεταφέρουν **ορμή**  $h / \lambda$
- Αργότερα (1923: Compton / Debye) επαληθεύτηκε και πειραματικά



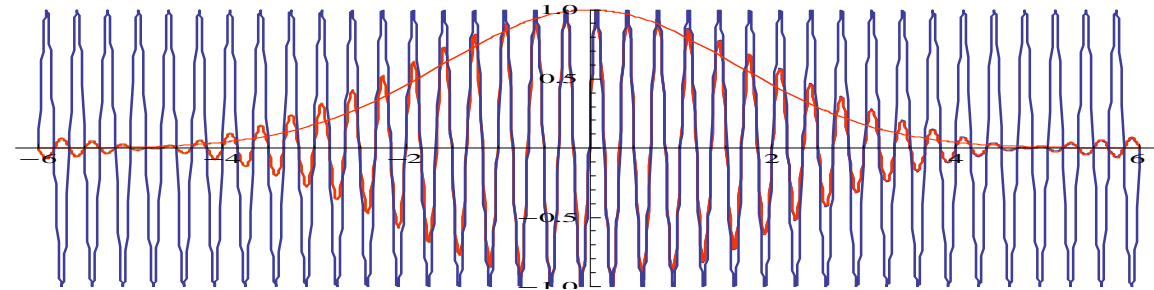
--->

Τα φωτόνια είναι  
**κυματοπακέτα** των  
οποίων οι

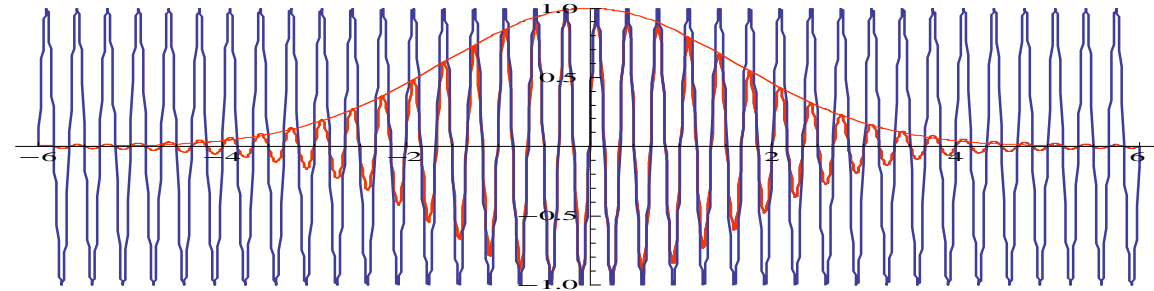
**σωματιακές**  
ιδιότητες  
καθορίζονται από το  
**μήκος κύματος!**



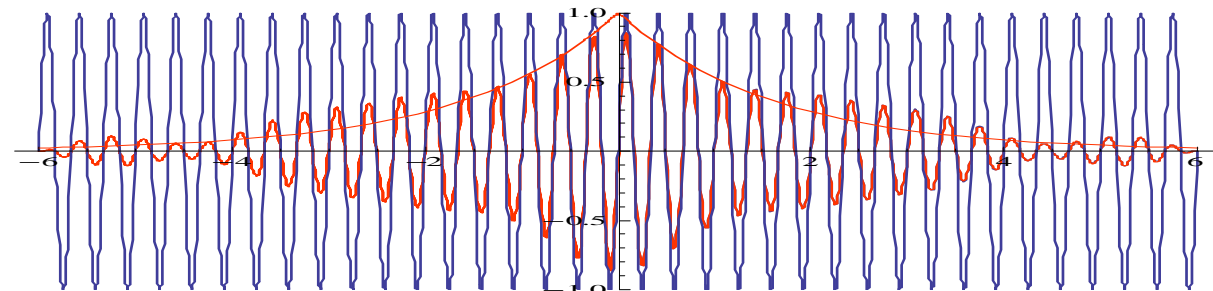
60 τυχαία  
κύματα



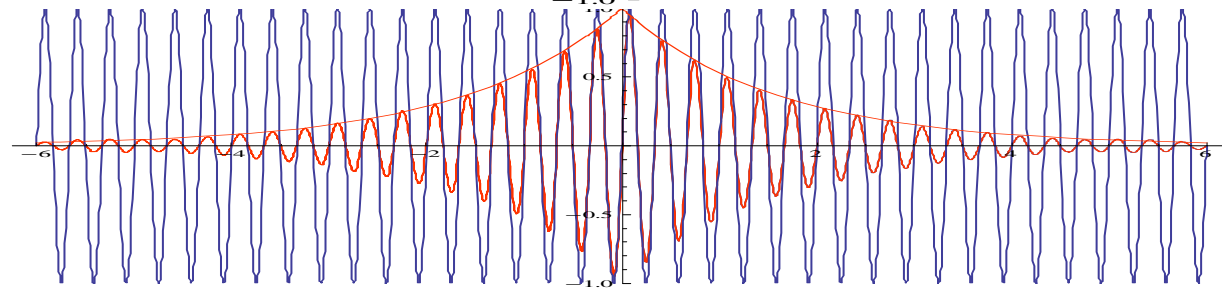
10000 τυχαία  
κύματα



60 τυχαία  
κύματα

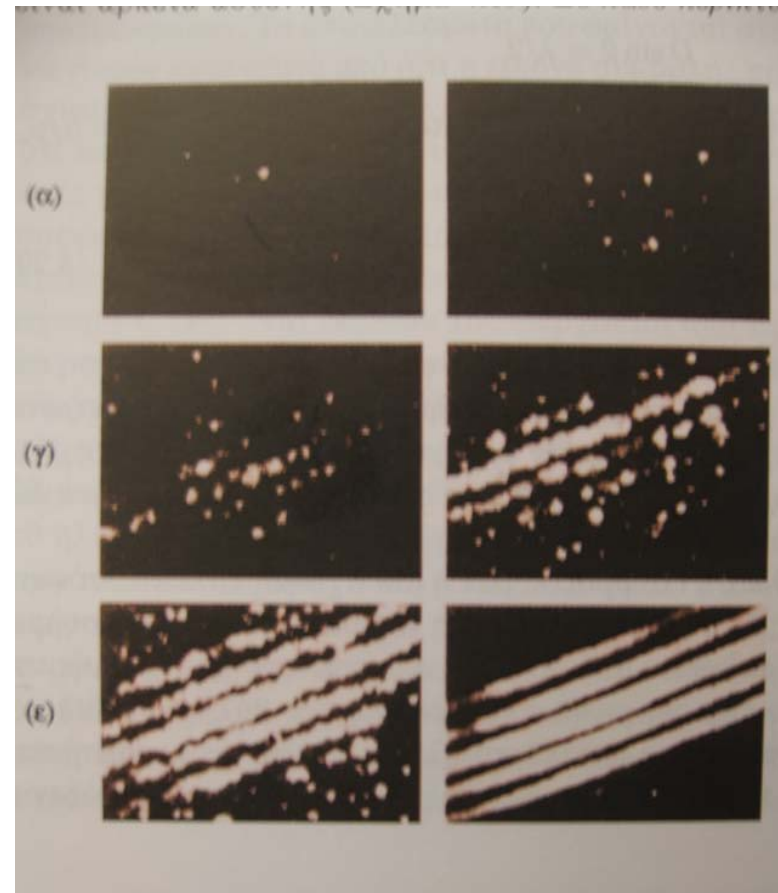
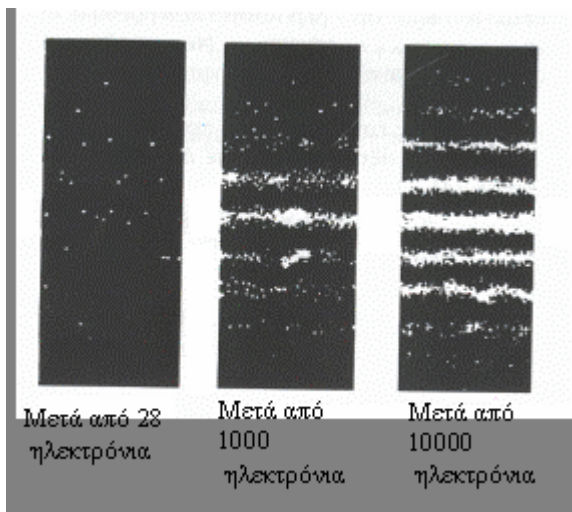
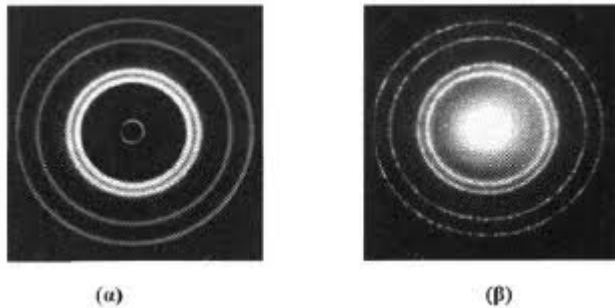


10000 τυχαία  
κύματα





- **1923: L. de Broglie:** Τα ηλεκτρόνια (και γενικώς τα σωματjα της ύλης) είναι σωμάτια/κύματα, μεταφέρουν ορμή  $h / \lambda$
- **1925: A. Einstein:** Σωματιακή δέσμη αναμένεται να περιθλάται! (μετρήσιμα)  
Αργότερα (1927: C.J. Davisson-L.H. Germer και G.P. Thomson υιός, κ.α., π.χ. 1976: P.G. Medi-G.F. Missiroli-G. Pozzi) επαληθεύτηκε και πειραματικά



--->

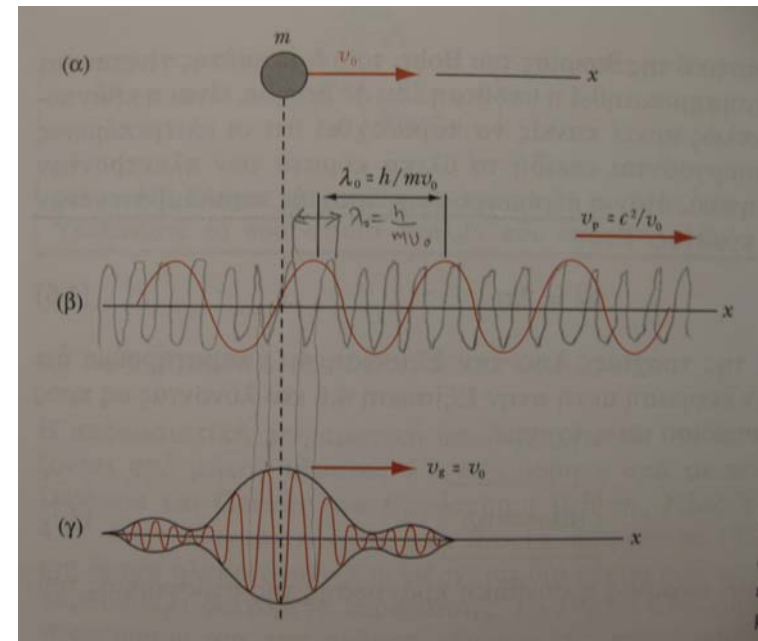
Αν τα σωματΙΑ ήταν εκτεταμένα κύματα δεν θα ήταν εντοπισμένα σωμάτια και θα είχαν ταχύτητα μεγαλύτερη της  $c$  του φωτός

$$\frac{E}{p} = \frac{mc^2}{mv} = \frac{c^2}{v} > c$$

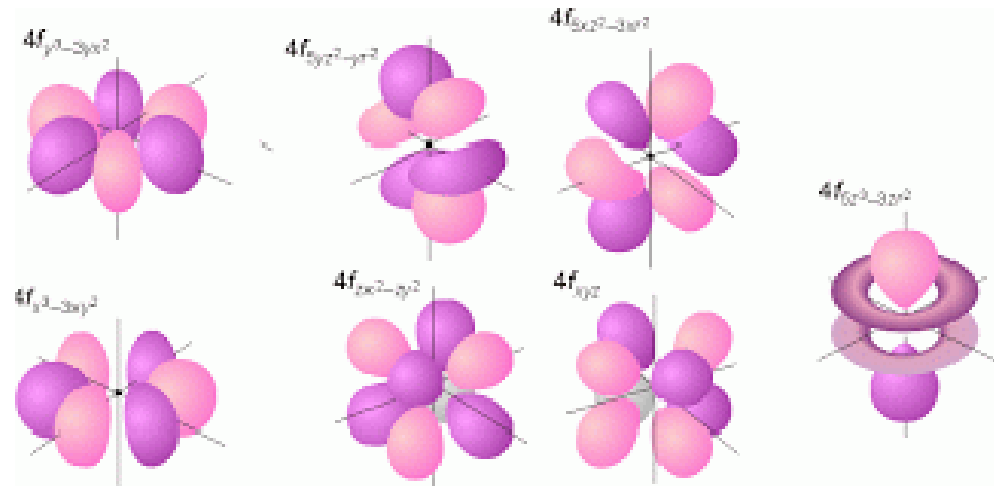
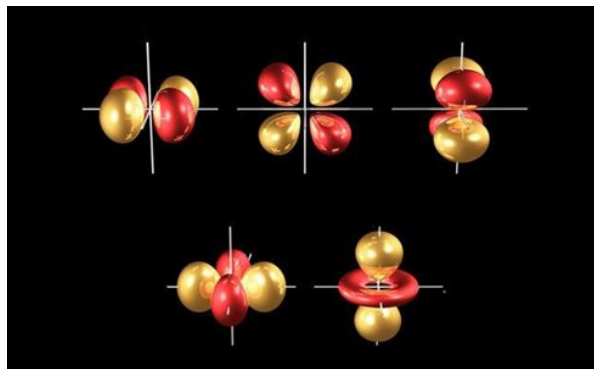
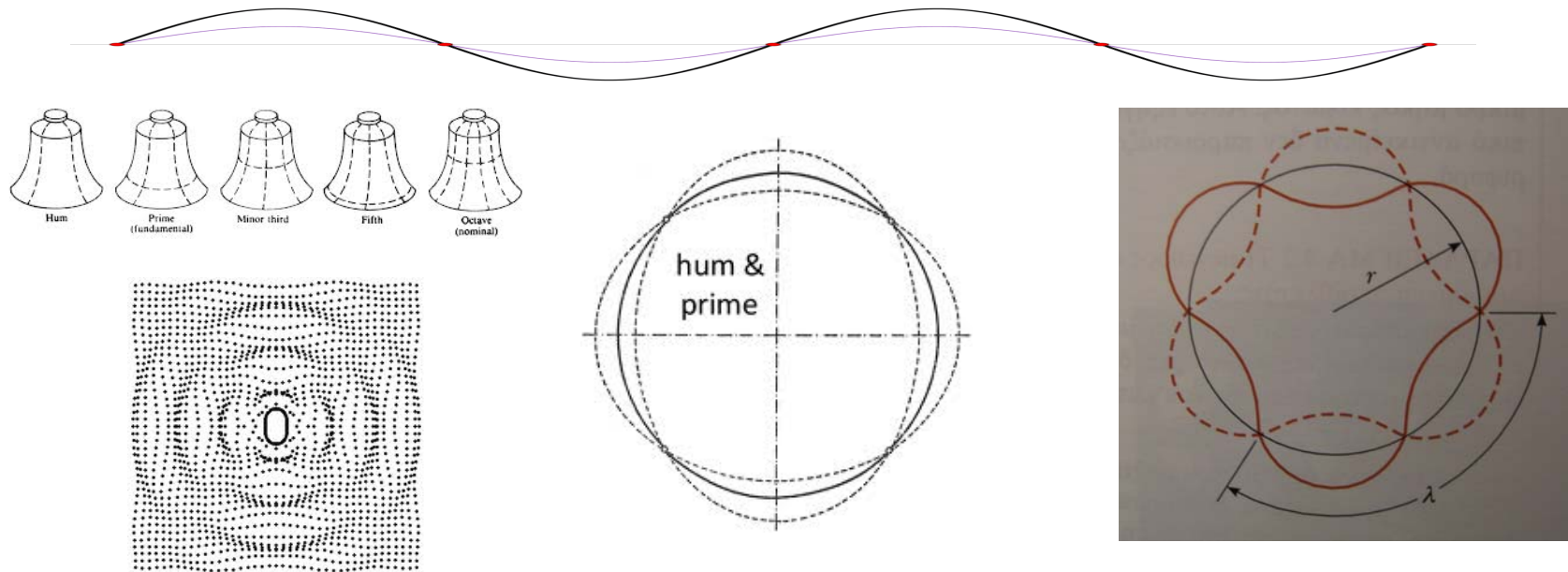
όπερ άτοπον.

Είναι κυματοπακέτα με ταχύτητα μικρότερη της  $c$  του φωτός

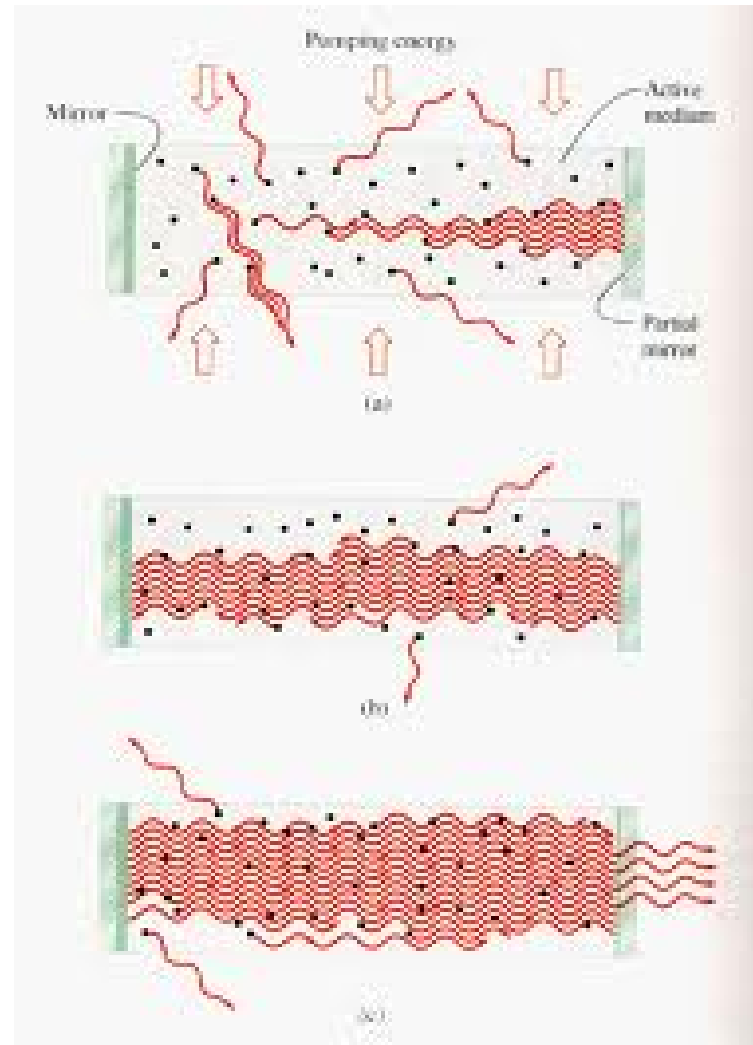
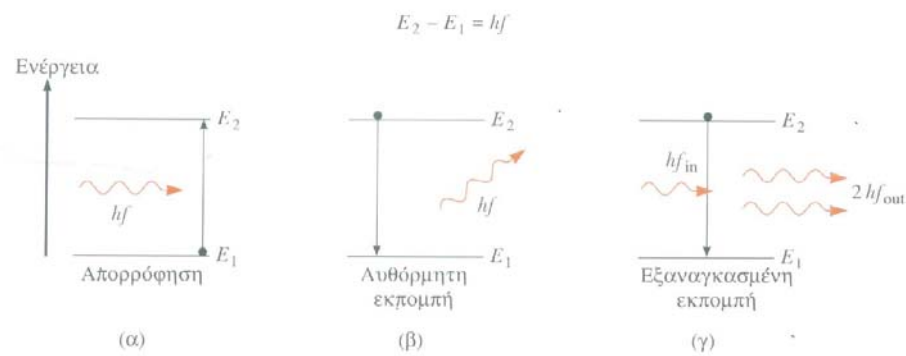
$$\frac{dE}{dp} = v < c$$



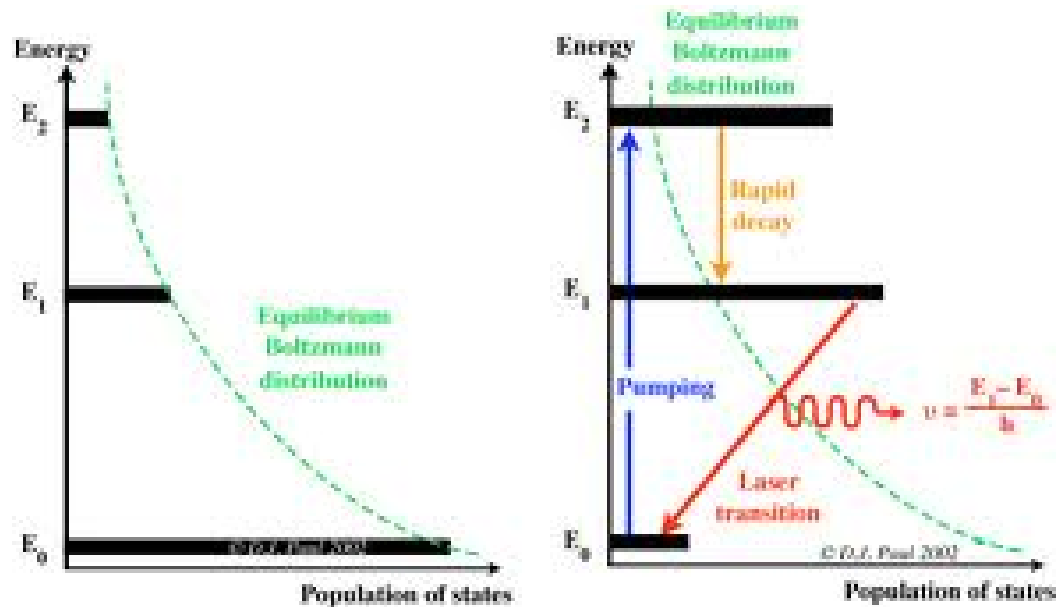
- **1926: E. Schrodinger:** ΣωματΙΑ περιορισμένα στον χώρο είναι στάσιμα κύματα άρα έχουν συγκεκριμένες (κβαντισμένες) ενέργειες



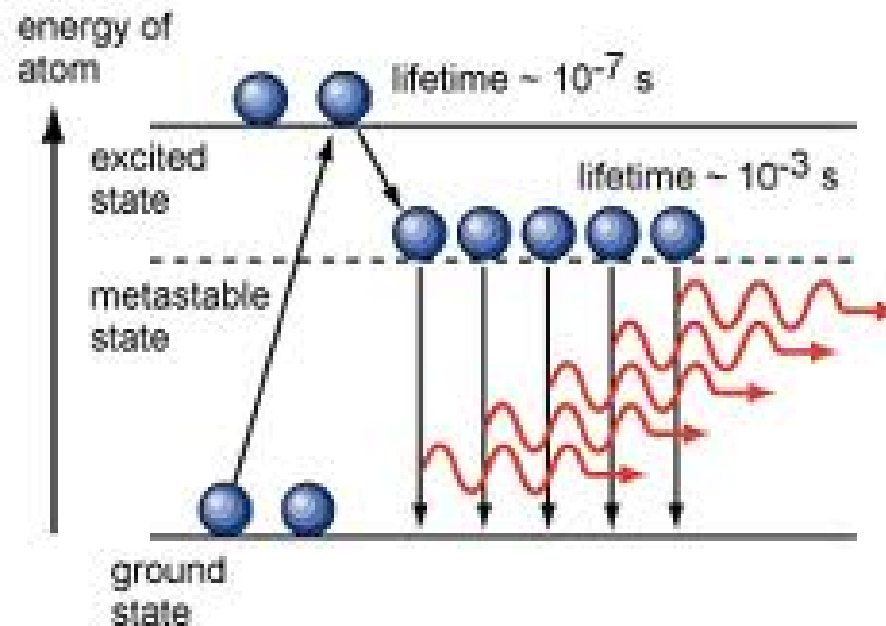
- **1939: V.A. Fabrikant:** Η εξαναγκασμένη αποδιέγερση μπορεί να ενισχύσει την ακτινοβολία



- **1950:**  
**A.Kastler:**  
Πρότεινε την  
οπτική  
άντληση.
- Αναστροφή  
πληθυσμών  
σε  
ενεργειακές  
στάθμες

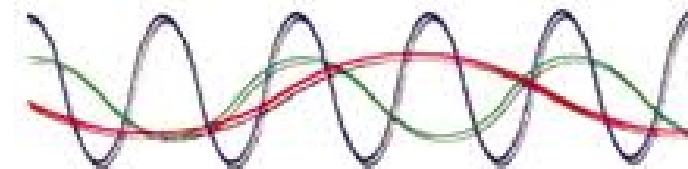
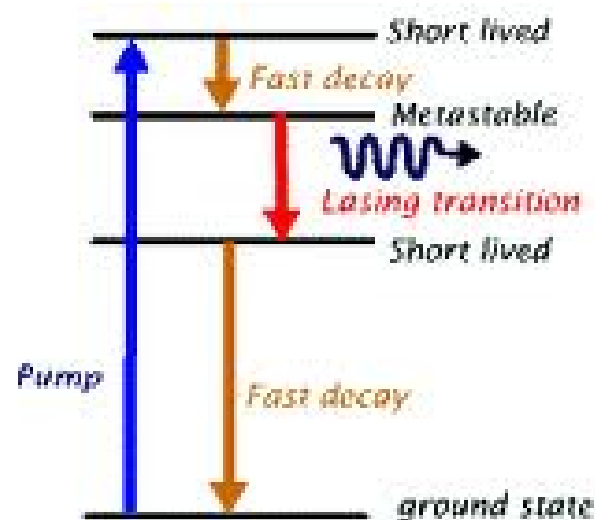


Αργότερα (1952:  
Brossel,  
Kastler,  
Winter)  
επαληθεύτηκε  
πειραματικά

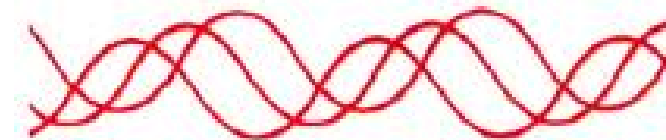


- **1953: C.H.Townes, J.P. Gordon, H.J. Zeiger:** Παρήγαγαν το MASER (ενισχυτή μικροκυμάτων)
- **1955: A. Prokhorov, N. Basov:** Πρότειναν οπτική άντληση σε υψηλότερες διεγέρσεις (Ήδη η συνήθης πρακτική)
- **1958: A.L. Schawlow, C.H. Townes:** Πρότειναν το «οπτικό MASER» για το οποίο:
- **1959: G. Gould:** Προτείνει τον όρο LASER στην δημοσίευση: The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
- **16 Μαΐου 1960: T.H. Maiman:** Λειτουργία του πρώτου LASER

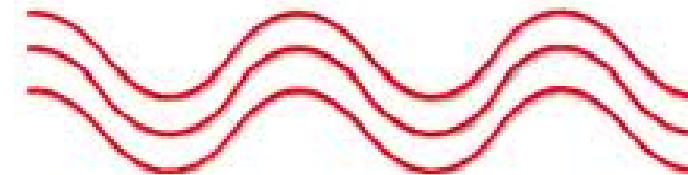
### Four-level Laser



Sunlight (many different colors)



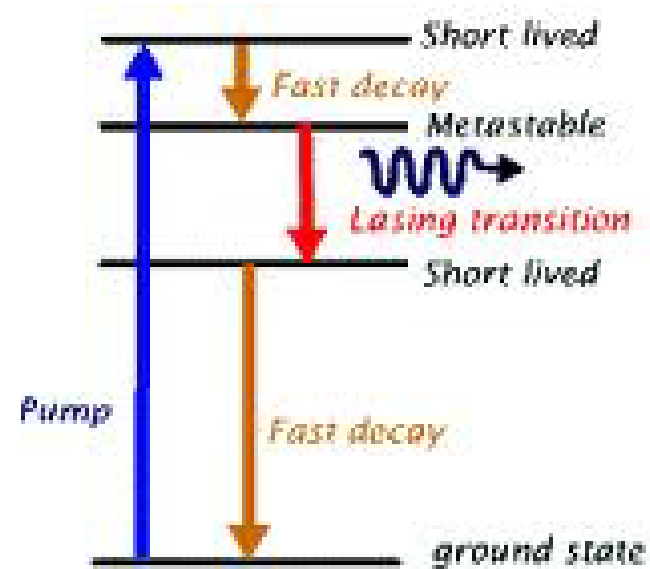
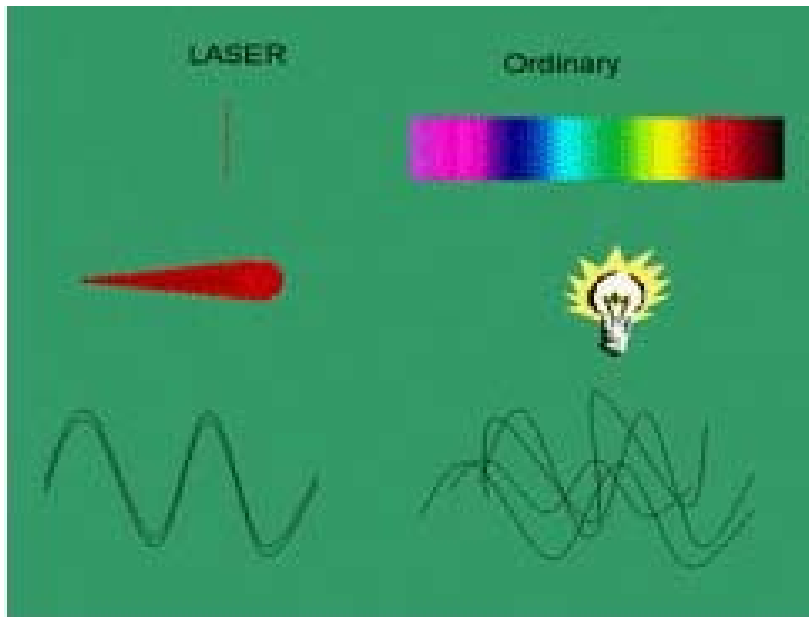
LED: one color (monochromatic) and waves not in phase (non-coherent)



LASER: One color (monochromatic) and waves in phase (coherent)

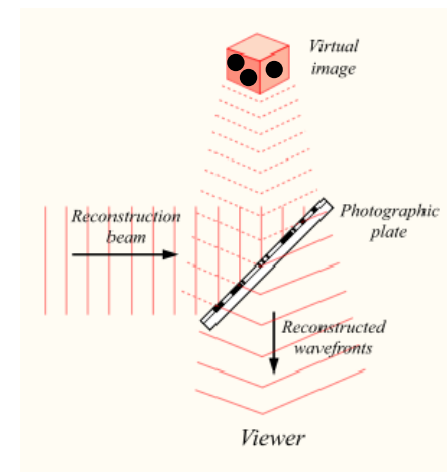
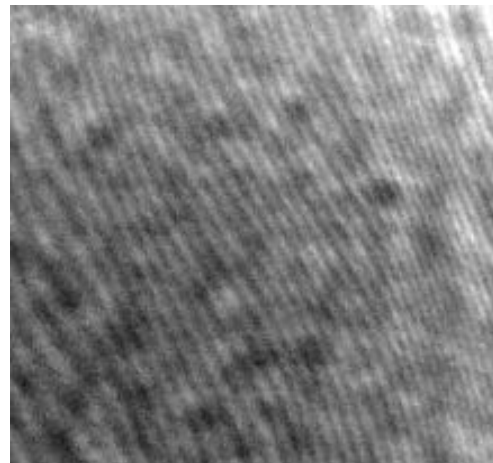
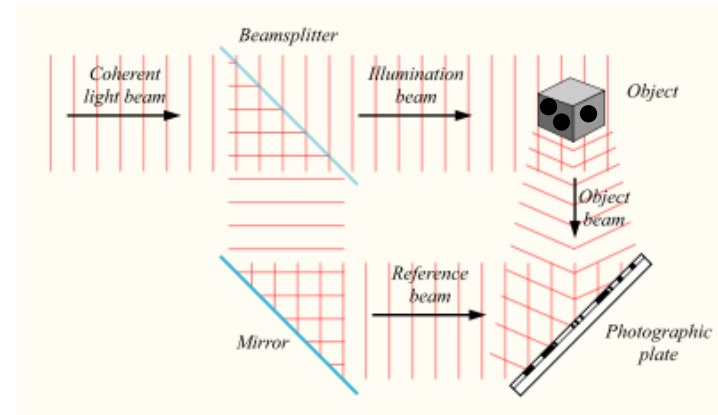
## B) Τί ξεχωρίζει το LASER από τις συνήθεις πηγές φωτός

- **Συνήθεις πηγές φωτός:** Τυχαίο φως διαφόρων χρωμάτων από διάφορες διεγερμένες καταστάσεις
- **LASER:** Σύμφωνο μονοχρωματικό φως από συγκεκριμένη διεγερμένη σε συγκεκριμένη κατώτερη κατάσταση ενισχυμένο από εξαναγκασμένες συντονισμένες αποδιεγέρσεις (συνήθως ευθυγραμμισμένο)



# Εφαρμογή του σύμφωνου φωτός: Ολογραφία

D. Gabor: 1940 επινόηση, Y. Denisyuk, E. Leith, U. Upatnieks: 1962





Σας ευχαριστώ