

50 anys de làser

Fenòmens i concepcions de la llum fins 1916

c. 460-270 aC

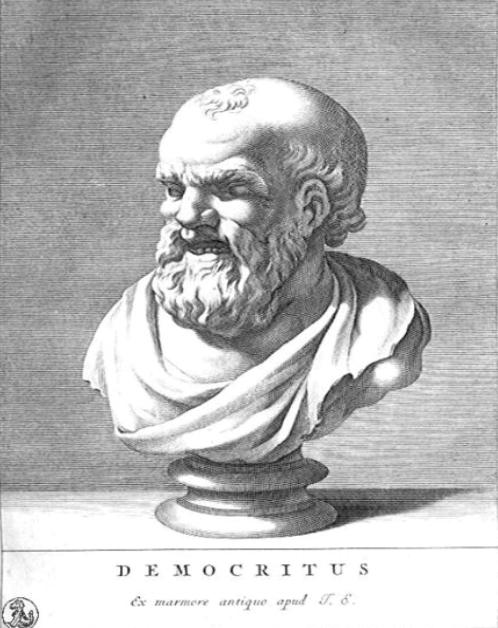
Demòcrit i Epicur: Teoria atomista de la llum, primera teoria corpuscular de la llum.

384-322 aC

Aristòtil: La seva obra *Física*, explica que la llum no és matèria sinó una activitat misteriosa que es propaga pels medis transparents.

c. 10-75

Heró d'Alexandria: *Catòptrica*, la reflexió de la llum suposant que aquesta viatja sempre pel camí més curt.



Demòcrit
(c. 460 – 370 aC)



Aristòtil
(c. 384 – 322 aC)



Heró d'Alexandria
(c. 10 - 75)

Al llarg de més d'un mil·lenni aquestes idees són totalment vigents, al ser compatibles amb les escasses dades disponibles.

1621

Willebrord Snell descobreix experimentalment la llei de la refracció. Sembla que prèviament, l'astrònom i matemàtic àrab de Bagdad, **Ibn Sahl**, la va formular vers l'any 985.

1637

René Descartes publica *Discours de la Méthode* on exposa la seva teoria de la llum, segon la que es transmet instantàniament per impulsos.

1662

Pierre de Fermat dedueix les lleis de l'Òptica a partir d'un supòsit general: el camí que segueix un raig de llum per desplaçar-se entre dos punts, és aquell per al qual el temps emprat és mínim.

1665

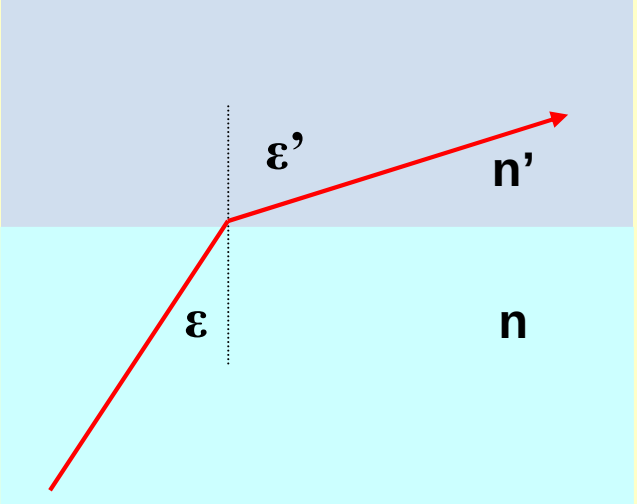
Isaac Newton amb el seu famós experiment suposa la llum formada per la composició de feixos de diferents colors i elabora la teoria corpuscular de la llum, publicada en *Opticks* el 1704.

1676

Ole Roemer s'adona que l'eclipsi de Io, satèl·lit de Júpiter, s'ha retardat 10 minuts respecte un eclipsi anterior en què la Terra estava més pròxima a Júpiter, demostrant que la velocitat és finita. No la calcula.

1690

Christiaan Huygens exposa la seva teoria ondulatòria de la llum en el seu *Traité de la lumière*. Amb les dades de Roemer, calcula la velocitat de la llum en uns 220.000 Km/s

$$\frac{\sin \varepsilon}{\sin \varepsilon'} = \text{cte.}$$


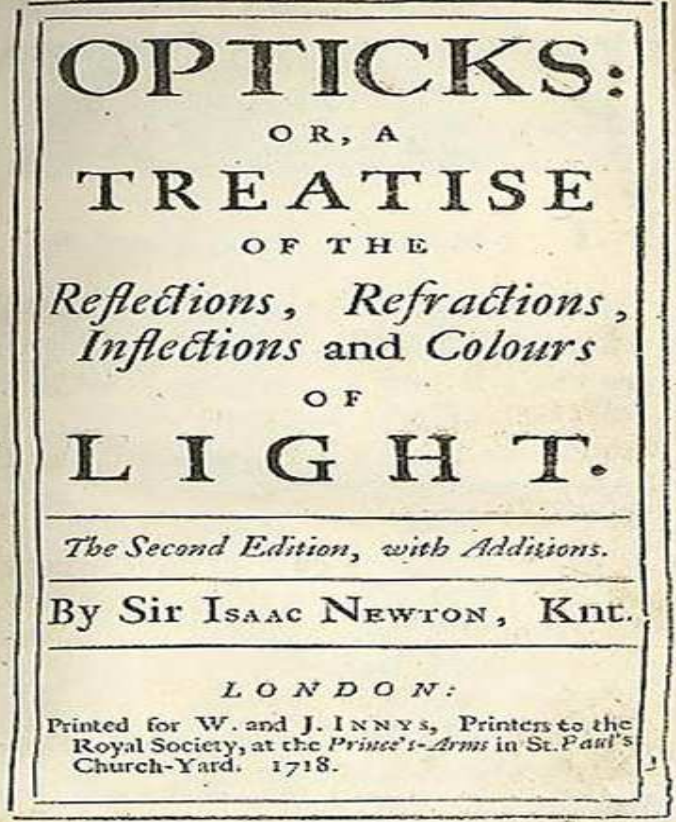




Willebrord Snell
(1580 - 1626)



Pierre de Fermat
(1601 - 1665)



Isaac Newton
(1643 - 1727)



Christiaan Huygens
(1629 - 1695)



Thomas Young
(1773 - 1829)

1729

James Bradley publica el descobriment i les mesures de l'aberració de la llum i avalua la velocitat amb un valor proper a 298.000 Km/s.

1801

Domini de l'òptica corpuscular durant tot el segle XVII. **Thomas Young** realitza l'experiment de la “doble esclatxa”, que posa de manifest la major naturalitat de les teories ondulatòries per explicar-los.

1810

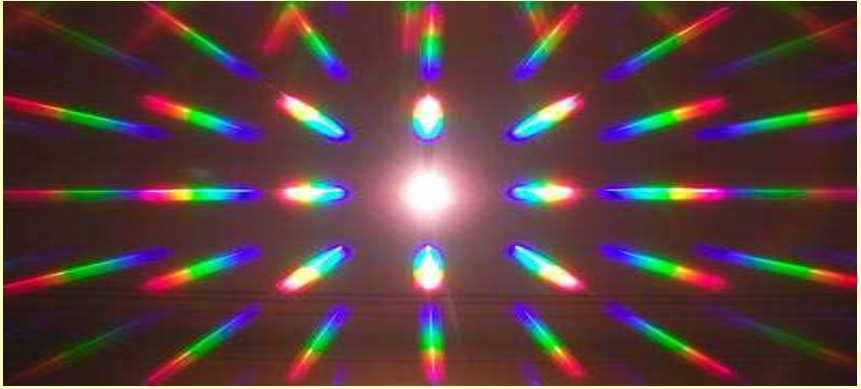
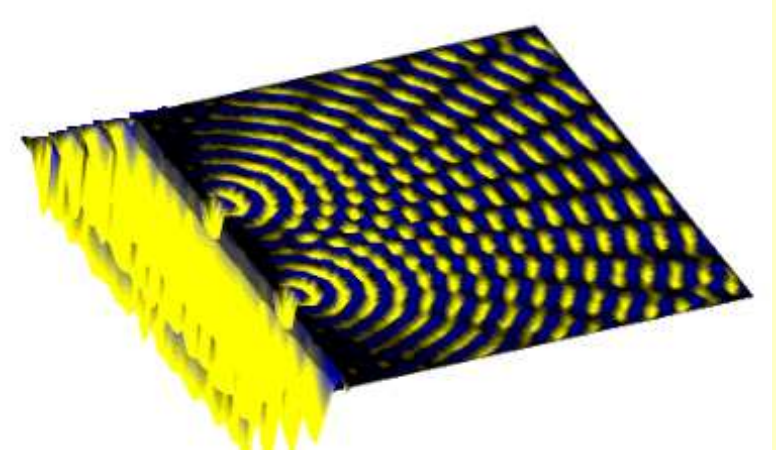
Étienne Malus descobreix la polarització de la llum, i presenta la llei de Malus que relaciona el canvi d'intensitat amb l'angle relatiu entre polaritzador i analitzador.
Johann Goethe publica *Zur Farbenlehre* sobre la teoria dels colors, rebutjant la teoria newtoniana de la llum.

1814

Joseph von Fraunhofer mesura la localització de més de 500 línies d'absorció de l'espectre de la llum solar.

1815

La publicació de les investigacions d'**Augustin Fresnel** contribueix de forma decisiva en l'acceptació general de la teoria ondulatòria de la llum. El 1819 publica *Mémoire sur la diffraction de la lumière*, que conté la formulació rigorosa de la seva pròpia teoria ondulatòria de la llum.





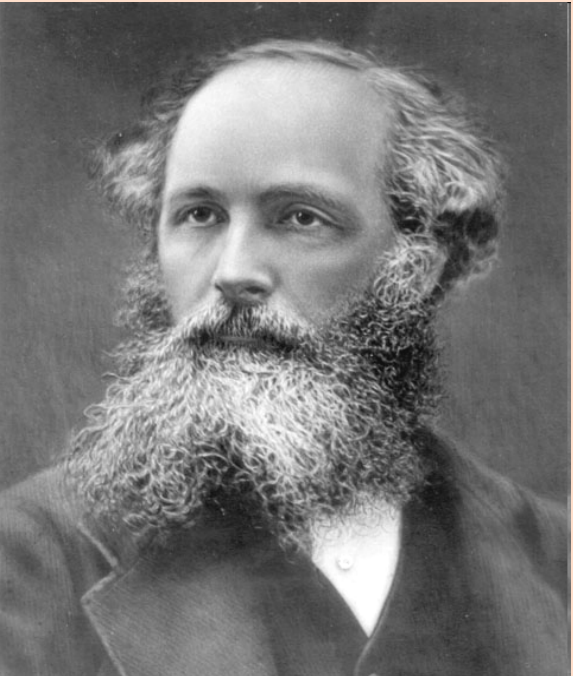
Joseph Fraunhofer
(1787 - 1826)



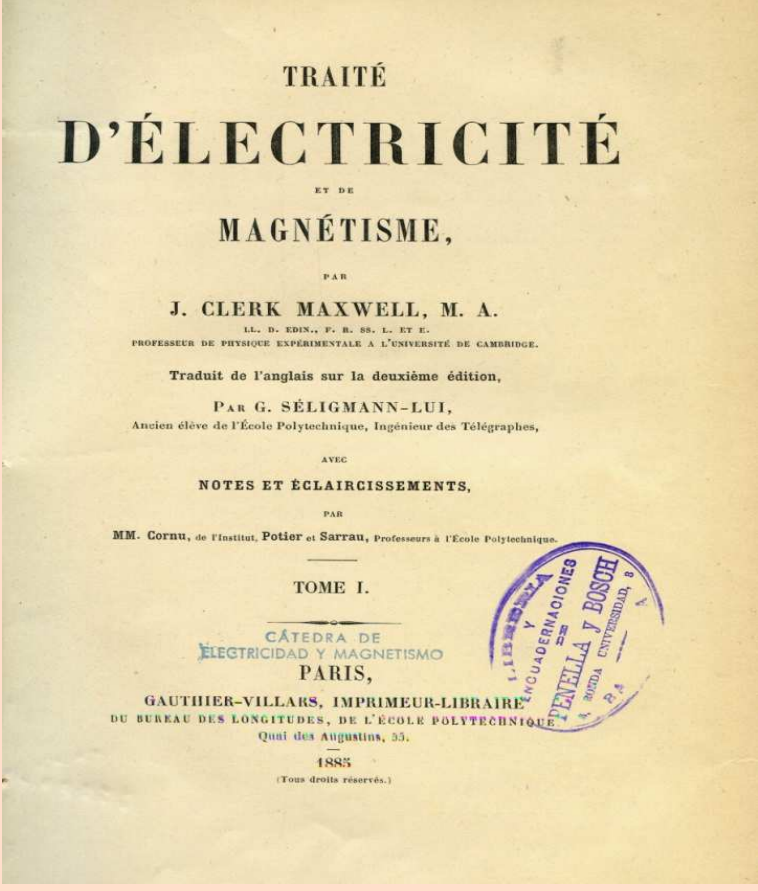
Agustin J. Fresnel
(1788 - 1827)



Michel Faraday
(1791 - 1867)



James K. Maxwell
(1831 - 1879)



Max Planck
(1861 - 1944)



1845

Michael Faraday observa i mesura el gir del pla de polarització de la llum sota els efectes d'un electroimant, cosa que li fa suggerir la possible naturalesa electromagnètica de la llum.

1849

Armand Fizeau dissenya un experiment que li permet determinar per primer cop en un laboratori la velocitat de la llum. El 1850, **Leon Foucault** millora el disseny de Fizeau. Els valors obtinguts excedeixen un 5% el valor acceptat avui dia.

1860

Robert Bunsen i **Gustav Kirchhoff** observen els espectres d'emissió de moltes substàncies.

1865

James Maxwell estableix que la llum és un fenomen electromagnètic, al comprovar que la velocitat de propagació deduïda a partir de les seves equacions coincideix sensiblement amb la velocitat de la llum mesurada al laboratori. Suposa l'èter com a suport.

1881

Albert Michelson fa l'experiment que repeteix el 1885 amb **Edward Morley**, per mesurar la velocitat de la Terra respecte a l'èter.

1900

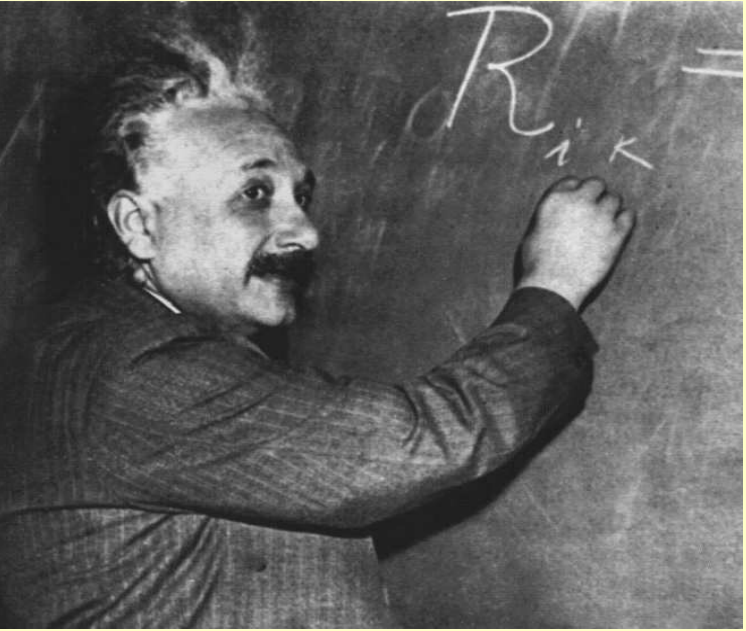
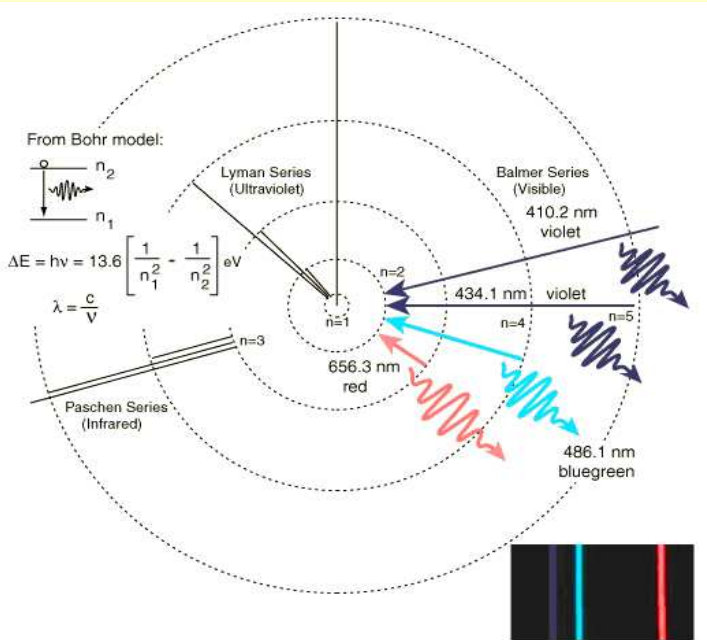
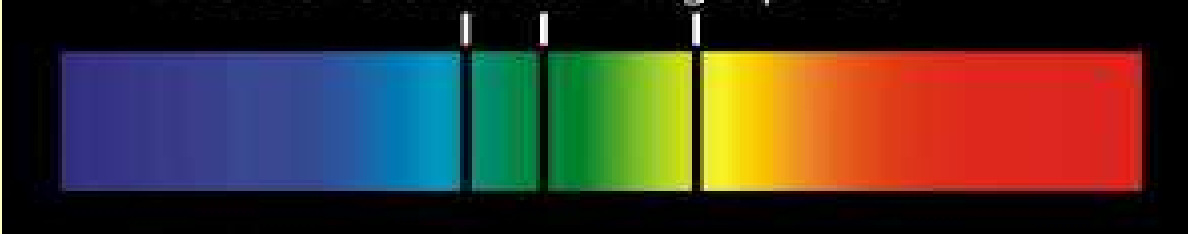
Max Planck introdueix els *quanta*, es a dir, la quantització de l'energia.

1913

Niels Bohr presenta el seu model atòmic, que justifica la emissió i absorció de fotons com diferències d'energia entre els nivells electrònics.

1916

Albert Einstein proposa el concepte de quantum de llum, i introdueix el concepte d'emissió estimulada, *base conceptual per els màsers i làsers*.





Niels Bohr
(1885 - 1962)

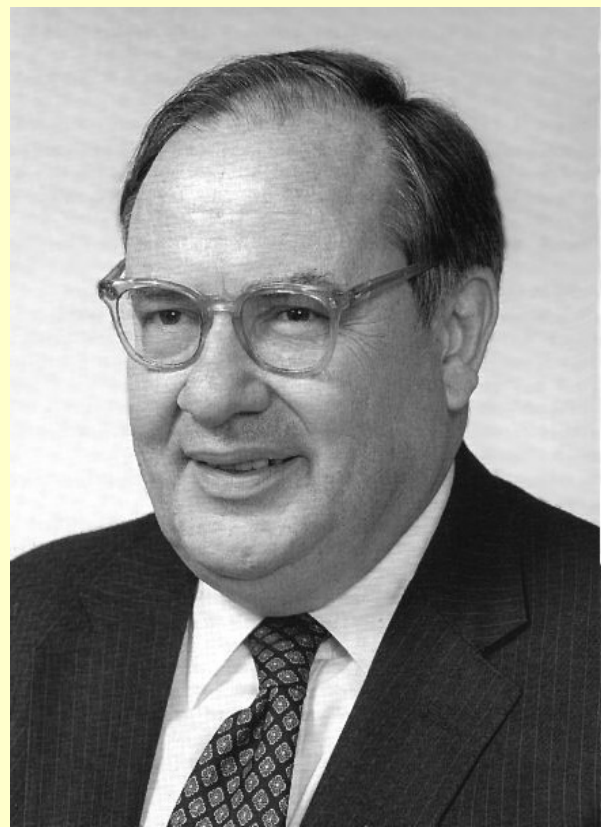
Albert Einstein
(1879 - 1956)



L'Aparició d'una Sensacional Eina Revolucionària

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Els Pioners



A.L. Schawlow



C.H. Townes



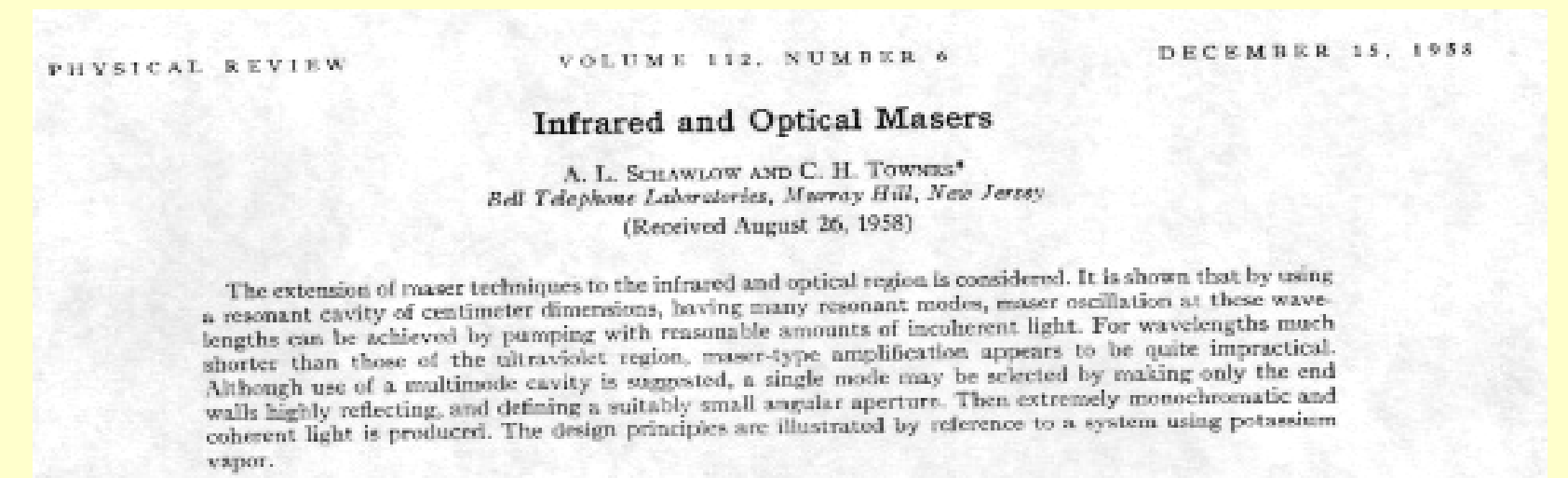
T.H. Maiman

1954 Charles H. Townes, (Premi Nobel 1964): primer màser (Microwave Amplifier by Stimulated Emission of Radiation).

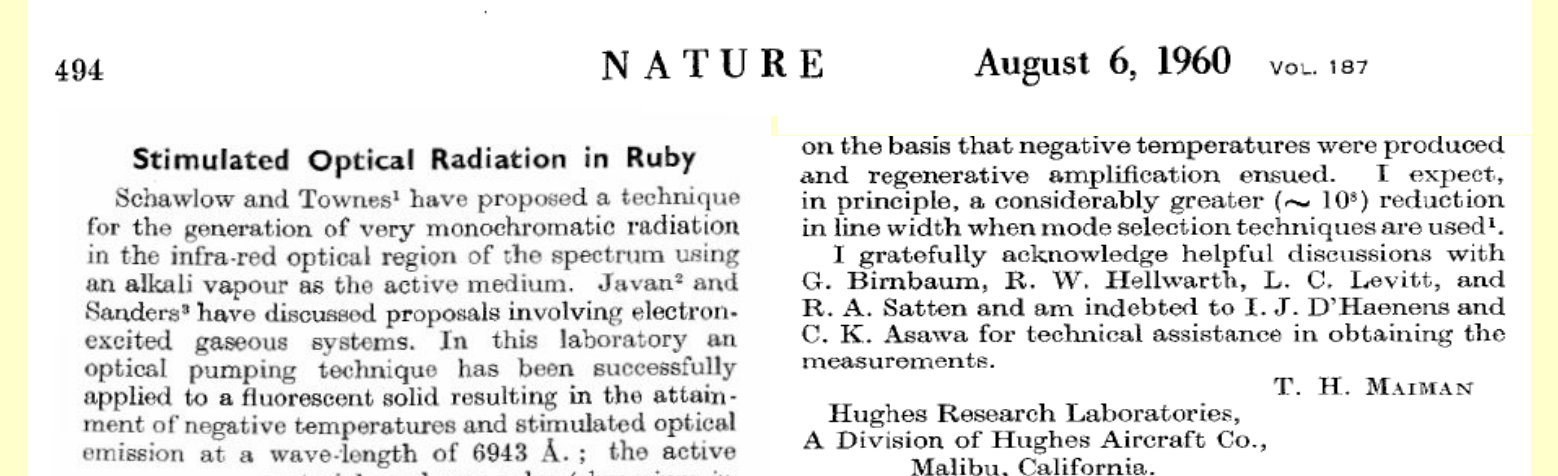
1958 C. H. Townes i Arthur L. Schawlow (Premi Nobel 1981), de Bell T. Lab., *Phys. Rev.*, **112**, 1940-1949 (1958), bases teòriques pel làser.

1960 Theodore H. Maiman, de Hughes Res. Lab. *Nature*, **187**, 493-494 (1960), primer làser de rubí.

Els Treballs



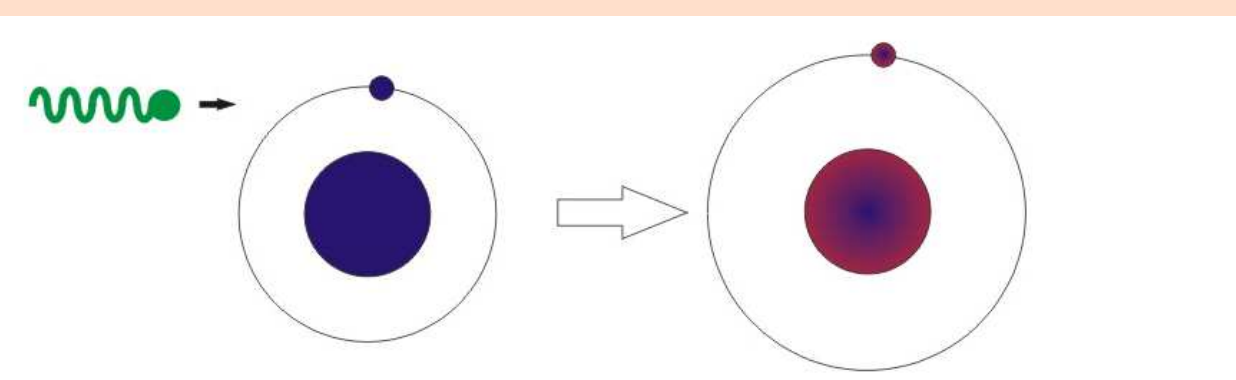
Phys. Rev., 112, 1940-1949 (1958)



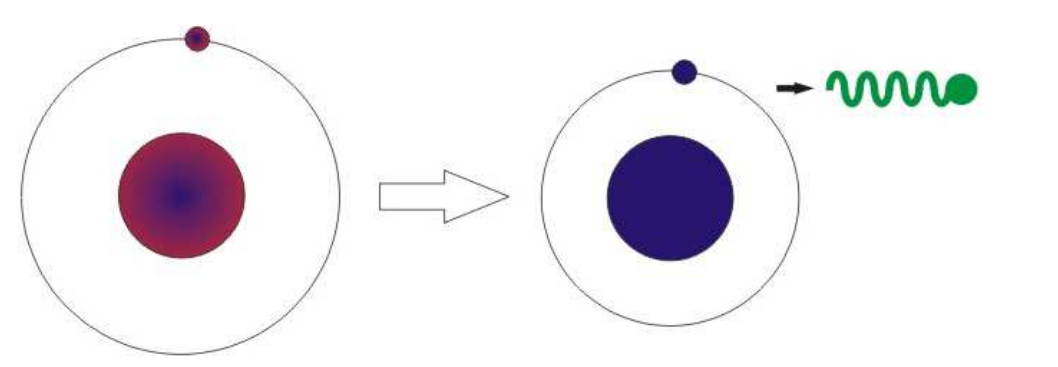
Nature, 187, 493-494 (1960)

Bases Físiques

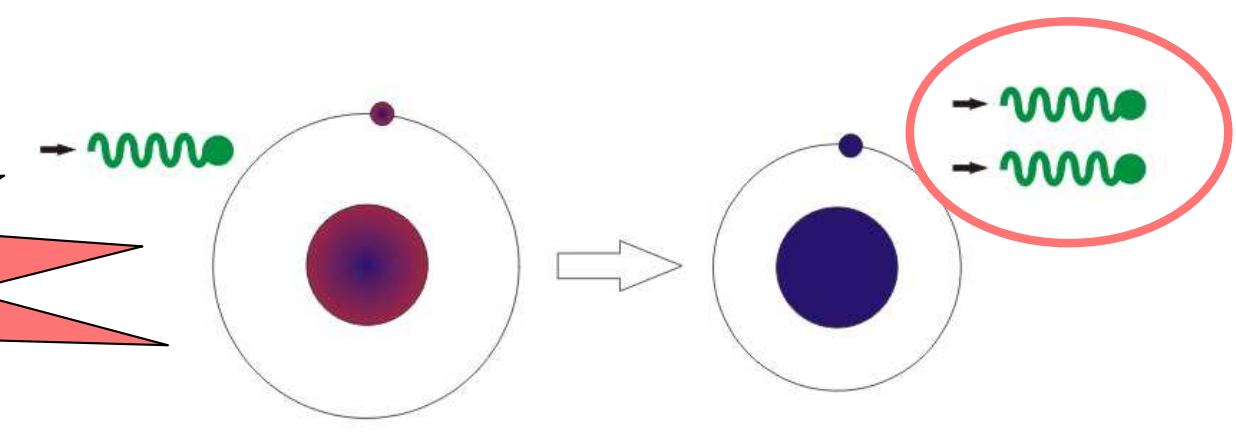
Absorció:



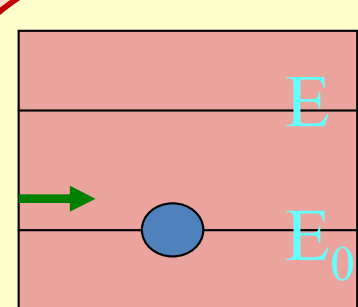
Emissió Espontànea:



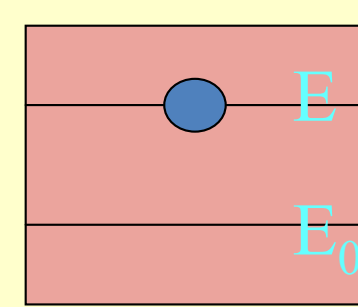
Emissió Estimulada



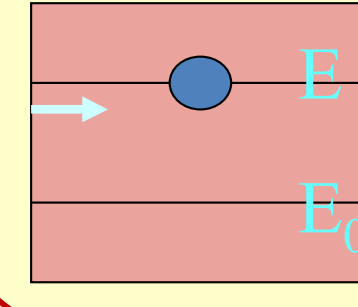
Interacció fotons-àtoms



$$h\nu = E - E_0$$



$$E - E_0 = h\nu$$

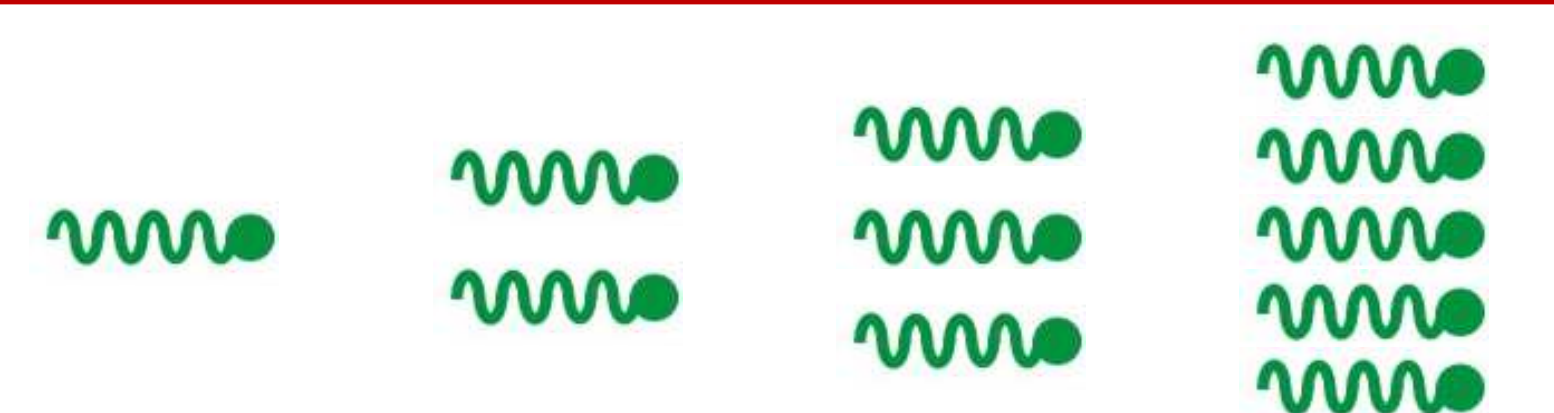


$$E - E_0 = h\nu$$

Procés per fer "lasing"

– Tres condicionants –

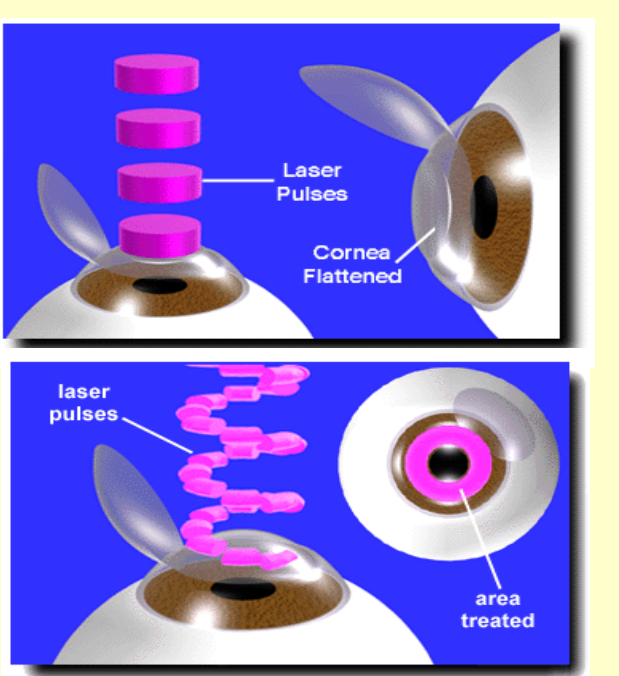
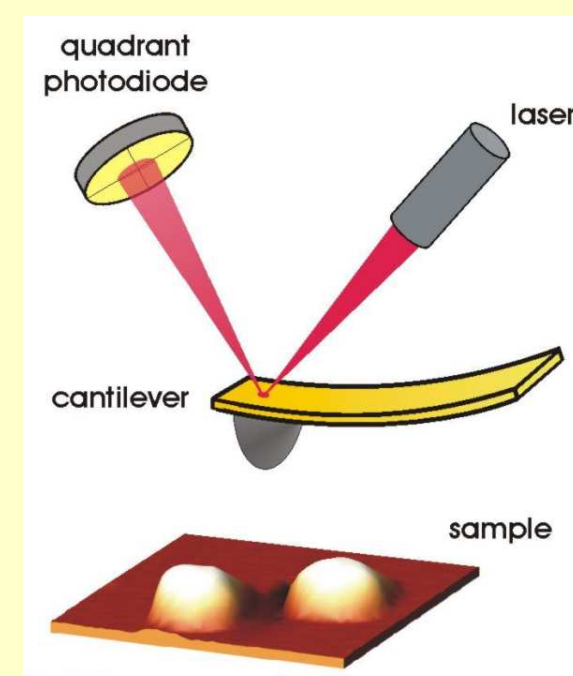
- **El medi actiu:** Tipus de material. Nivells d'energia electrònica adequats.
- **El bombeig:** Aconseguir la inversió població. Domini d'emissió estimulada.
- **La cavitat ressonant:** Geometria adequada per l'amplificació del procés.



Radiació produïda per emissió estimulada i amplificada en una cavitat adequada

Biomedicina i aplicacions mèdiques

Quirúrgiques
Terapèutiques
Cosmètiques



Aplicacions Industrials i Processat de Materials:

Soldadura, fusió, tall, tractament de superfícies: polit, tremp.

Producció Industrial:

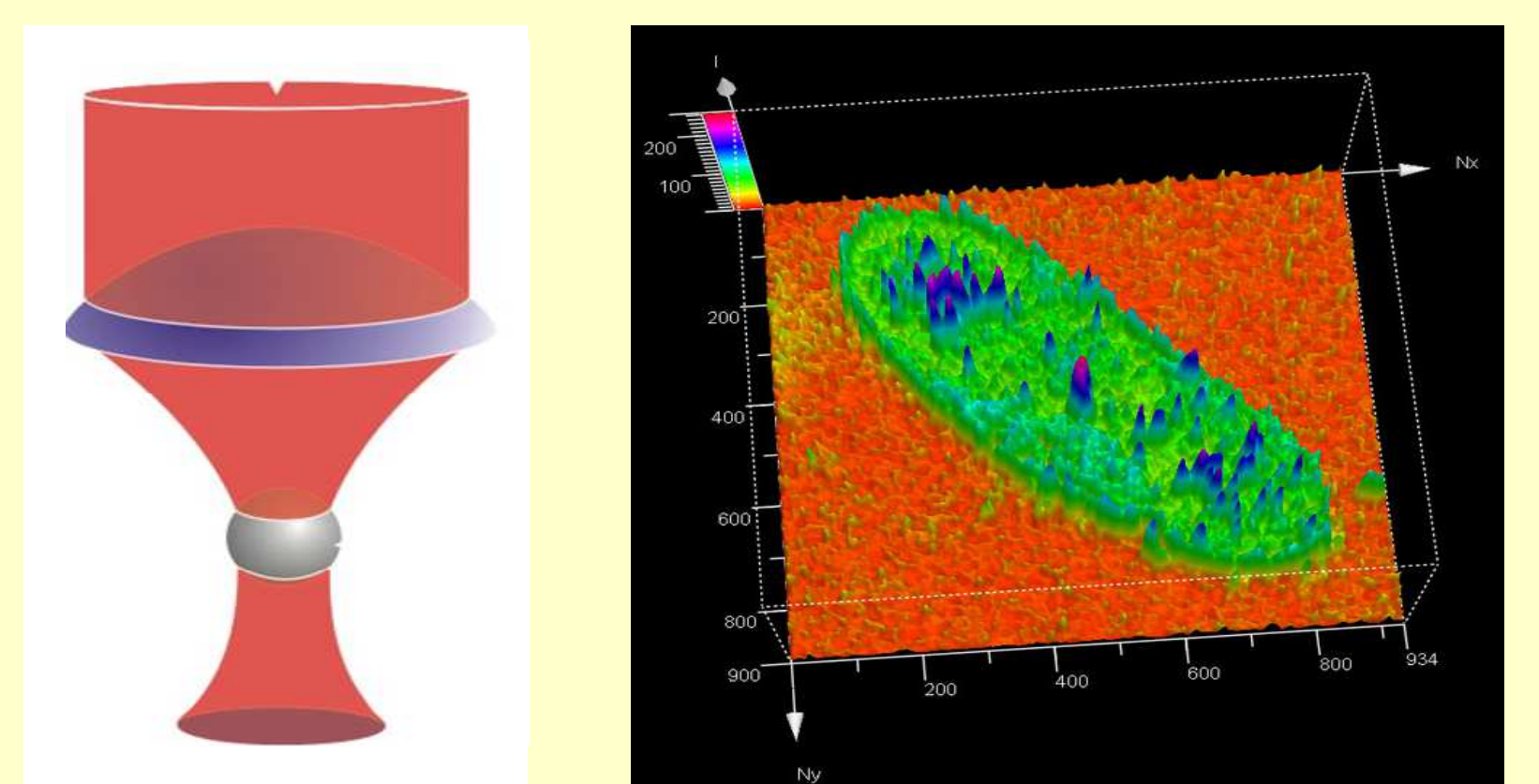
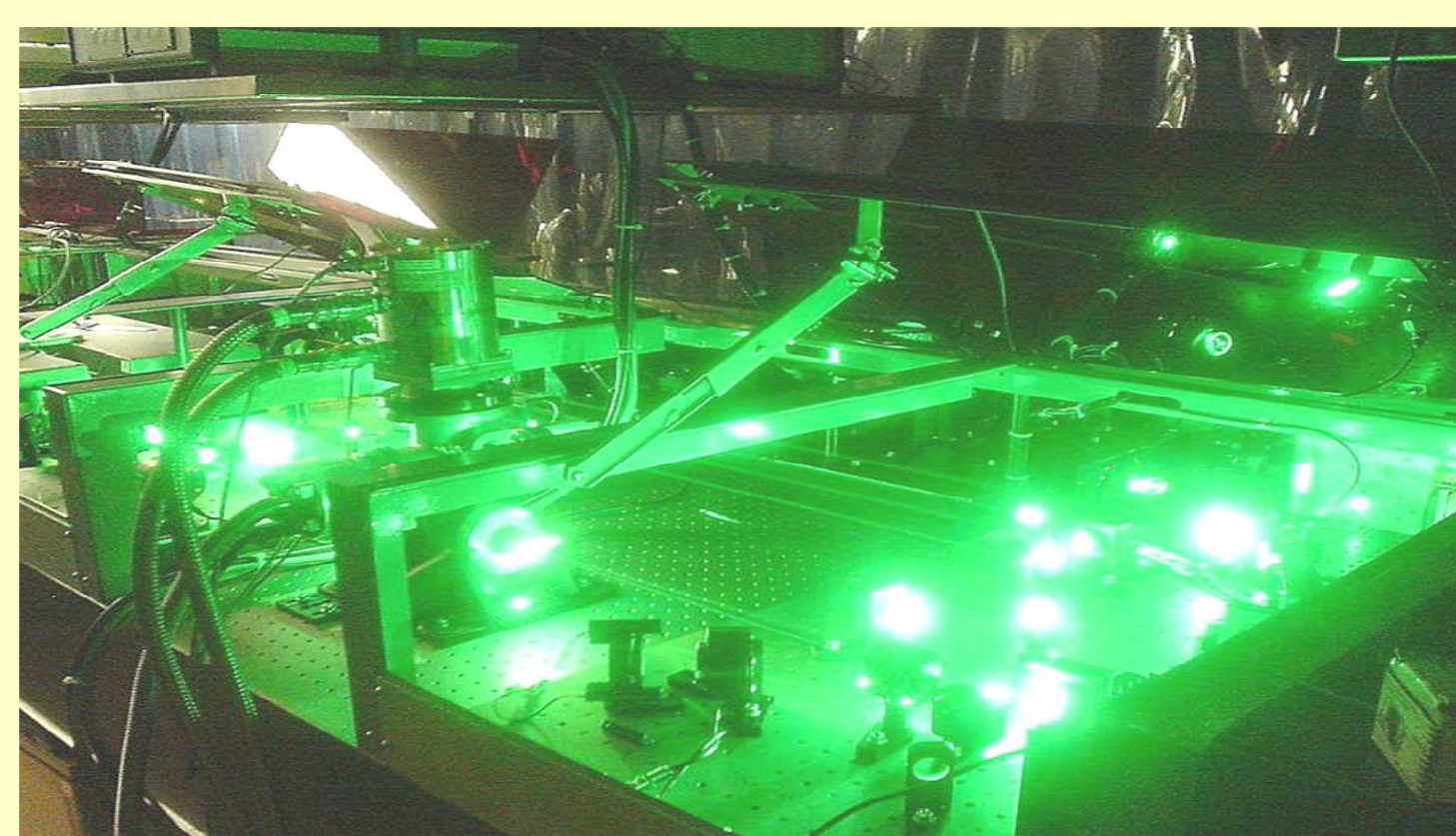
Inspecció, mesura i control, visió artificial. Sensors, posicionament. Metrologia; teledetecció, telemetria, perfilometria, scanners 3D. LIDAR (Light Detection And Ranging). Anàlisi superficial. Anemometria i velocimetria (Doppler). Holografia interferencial y holografia speckle.

Recerca

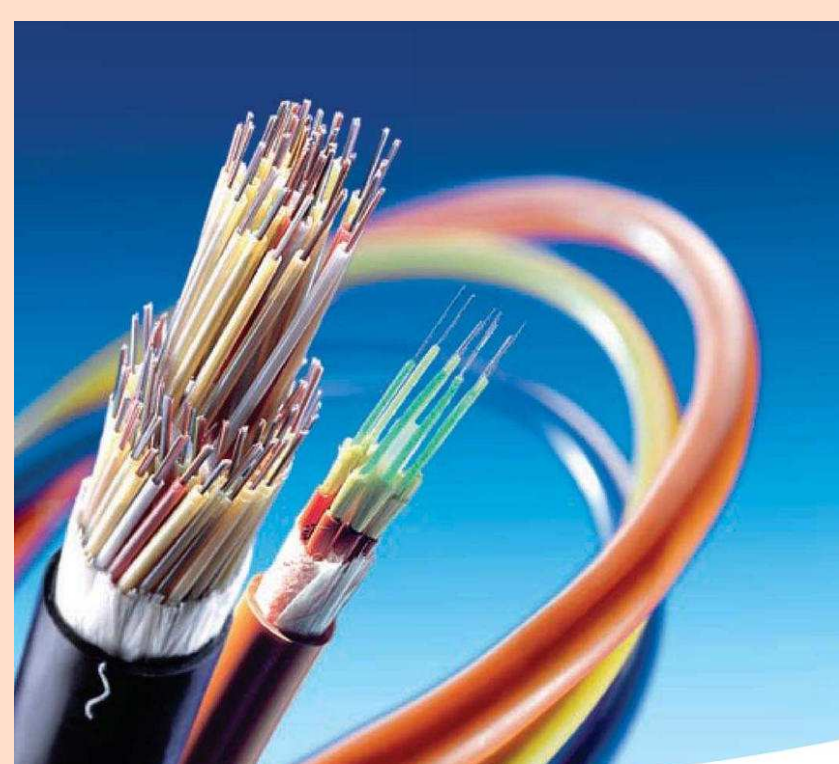
Espectroscòpies Raman, Brillouin. Anàlisi espectral.
Anàlisi de superfícies. Òptica no lineal

Micro i Nanobiologia

Pinces òptiques.
Microscòpies confocal, AFM, STM, SNOM ...

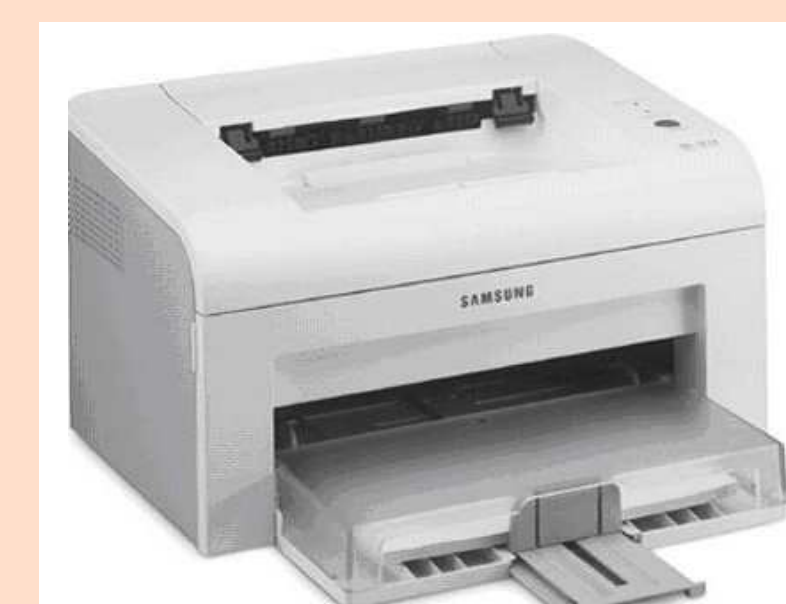


Telecomunicacions



Intervenien en processos de comunicació per **fibra òptica**:
Moduladors de senyal d'entrada, amplificadors, regeneradors...

El làser nostre de cada dia

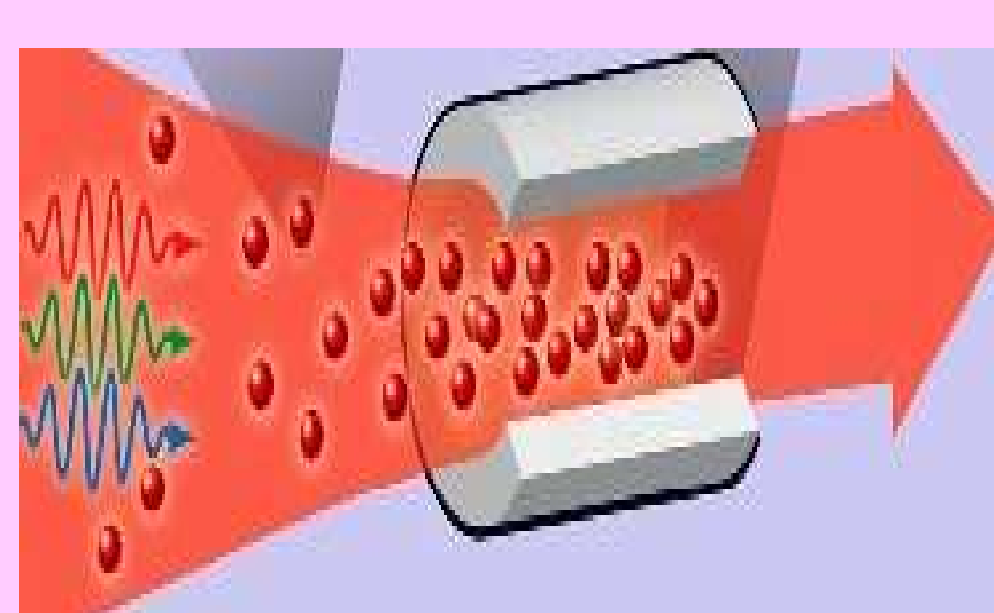
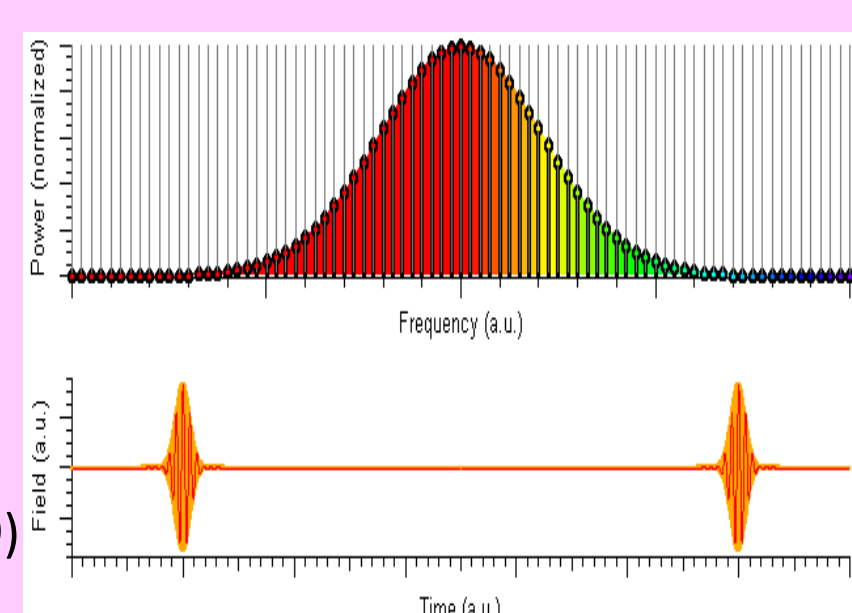


Femtoquímica

10⁻¹⁵ s

Ahmed Zewail

(Premi Nobel de Química 1999)



Fronteres de la Recerca:

Ultrafred, ultrabreu, ultradelicat...