

cl. 12a - (S 17.2-3) - Efectul LASER, tipuri de Laseri 21.01.2021
 pag. (81-87) LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

(1) - Istoricul descoperii:

- C.H. Townes (SUA) - 1958
- H.C. Basor - A.M. Prohorov (Rusia) } Prem. Nobel (1964)
- Ion Agârbiceanu (ROM) - 1962 → (IFTAR → IHLPR)
- Th. Maiman (L. Rubiu - $Al_2O_3:Cr^{3+}$ - $\lambda = 6943 \text{ \AA}$ - 1960) SUA
- Ali Javan (Iran) - HeHe (10:1) $\lambda = 1,15 \mu m; 6328 \text{ \AA}$

(2) - Def.

LASERUL - sistemul fizic care realizează conversia energiei dintr-o formă primară (el, opt, chimică) în energie radiată (x, UV, viz) într-un mediu activ laser, în care s-a realizat o inversie de populație ($H_2 \gg H_1$), declanșând o emisie stimulată de

(3) - Akativarea LASERului

- mediu activ laser (gaz, solid, lichid, semiconductor)
- sistem de pompaj / încălzire
- cavități rezonantă, rezonator optic

radiativă - LASER

(4) - Proprietăți ale rad. Laser:

- a) - direcționalitate
- b) - cromaticitate, λ - fixă
- c) - coerență
- d) - intensitate f. mare.

(5) - Clasificare după tipul med. activ laser:

- a) - cu gaze; HeHe (6328 \AA); CO_2 ($9,6 - 10,6 \mu m$); N_2 (715 nm); KrF (248 nm)
- b) - Solide $\left\{ \begin{array}{l} \text{sticle dopate: - rubiu } (Al_2O_3:Cr^{3+} - 6943 \text{ \AA} / 694,3 \text{ nm}) \\ Nd:YAG (1064 / 532 / 355 / 266 \text{ nm}) \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} ArF (193 \text{ nm}) \\ ArCl (308 \text{ nm}) \end{array} \right.$
- c) - lichide (coloranți) - Dye Lasers - Rodamina B.
- d) - semiconductoare (Diode LASER)

$Al_xGa_{1-x}In_{(1-x-y)}P$, $\lambda \in (630 - 680 \text{ nm})$; $Al_xGa_{(1-x)}As$, $\lambda \in (780 - 880 \text{ nm})$
 $In_xGa_{(1-x)}As$, $\lambda = 980 \text{ nm}$

(6) - Aplicații ale Laserelor:

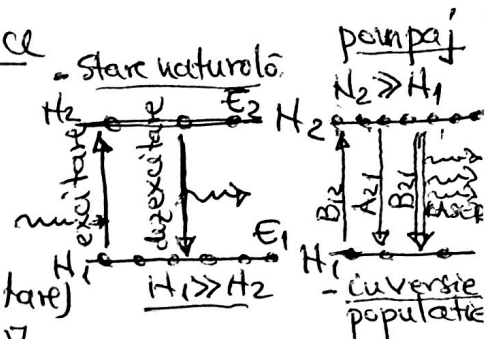
- chirurgie (bisturiu cu laser)
- prelucrarea mat. dure (metale, ceramice)
- telecomunicații (fibre optice)
- calculatoare (înregistrare / redare / imprimare)
- imagistică 3D și holografie
- măsurări precise - telemetrie
- domenii militare (tintire / ghidare / distrugere)
- aplicații speciale (modulare / demodulare, extragere informații la distanță)

(7) Clase de Laseri după P - putere

- I: $P < 0,4 \text{ mW}$ { IIIa: $P \in (1 - 5) \text{ mW}$.
- II: $P < 1 \text{ mW}$ { IIIb: $P \in (5 - 500) \text{ mW}$.
- IV: $P > 500 \text{ mW} / 0,5 \text{ W}$.

(8) - Nivele de energie laser si caracteristici

- nivelul fundamental, (H_1, E_1)
- nivele intermediare/metastabile.
- nivelul de pompare/inversie (H_2, E_2)



P - probabilitatea de tranzitie (excitare/deexcitare)

$$P \approx -\frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[-\frac{1}{n} \left(\frac{\Delta n}{\Delta t} \right) \right]$$

τ - timpul mediu de viață, a e⁻ într-o stare excitată

$$\tau = 1/P$$

- (9) - Legea de deexcitare
- a) - pe niv. naturale, $\tau < 10^{-8}$ s
 - b) - pe niv. metastabile/intermediare, $\tau > 10^{-8}$ s

$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$ - legea de deexcitare

deducerea leg. $P = -\frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dt} \rightarrow P \cdot dt = -\frac{dn}{n}$

integrând. avem. $-\int P \cdot dt = \int \frac{dn}{n} \rightarrow \ln n \Big|_{N_0}^N = -Pt \Big|_0^t$

adică $\ln N - \ln N_0 = -Pt \rightarrow \ln(N/N_0) = -Pt / \exp$

$\rightarrow N = N_0 e^{-Pt}$ ($\tau = 1/P$) $\rightarrow N = N_0 e^{-t/\tau}$

(10) - Tipuri de tranziție electronice

- a) - excitare/absorbție de energie: $E_i \xrightarrow{h\nu_{is}} E_s$, $h\nu_{is} = E_s - E_i$
 - (B_{12}) - probabilitatea de excitare de pe E_1 (inf.) pe E_2 (superior)
 - b) - deexcitare
 - (b1) - spontane/naturale, $\tau = 10^{-8}$ s (A₂₁) - prob. de dez.
 - (b2) - induse/stimulate, $\tau \neq 10^{-8}$ s (B₂₁) - prob. de tranz. stimulată
- { - (1917) - A. Einstein
 { - coef. Einstein (B_{12}, A_{21}, B_{21})

(11) - Inversia de populație / Legea Boltzmann în med. activ LASER

a) - la distribuția naturală: $H_1(E_1) \gg H_2(E_2)$; $E_2 > E_1$

populația niv. superior/fundamental $H_1(E_1)$ este superioară lui $H_2(E_2)$

(b) - la inversia de populație - realizată artificial prin excitare/pompare
electronii sunt excitați din st. fundam. pe niv. sup. excitate
adică $H_2(E_2) \gg H_1(E_1) \rightarrow$ stare de neechilibru

$$N_2 = N_1 e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}} = N_1 \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right)$$

Legea distribuției populației e Boltzmann.

- unde:
- $E_2 > E_1$ - energ. niv. excitat, E_2 este mai mare decât E_1 - energ. niv. inferior
 - $H_1 \gg H_2$ - la ech. natural (Temperatură mică/obinuită) ($T > 0$) fundam.
 - $H_2 \gg H_1$ - la inversie de populație/dezechilibru dus prin pompare de energie de exc.
- ($T < 0$)

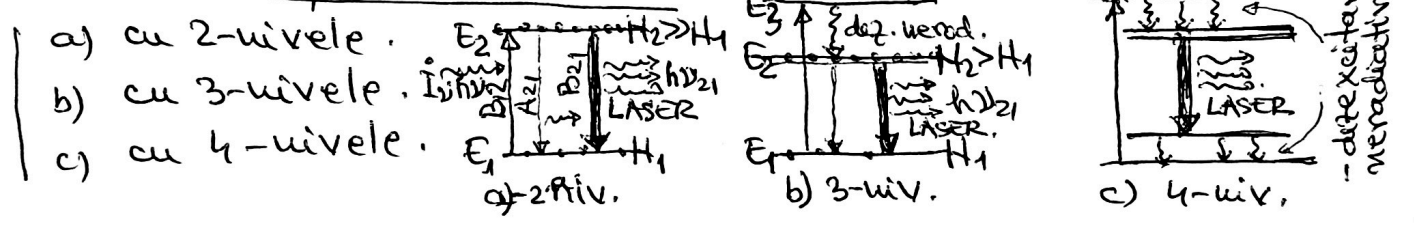
$$P_i(h\nu_{12}) = I_i(h\nu_{12}) B_{12} H_1$$

(12) Mediul optic / Laser activ, - un mediu chimic / material (gaz, lich, sol) în care se realizează artificial o inversie de populație prin pompare / exc. între niv. fundamental (de echilibru) și cel excitat superior / dezech.

(13) - procedee de pompare: $H_1(E_1)$ $H_2(E_2)$
 HeHe (10:1) - pompare protonică / electronică prin ciocniri cu electroni ropiți / accelerați prin descărcări electrice în gaze rarefiate
 $Al_2O_3:Cr^{3+}$ (10^{-6}) - pompare optică cu lampă FLASH de (Xe, He) eliptică
 laser chimic

(14) - Rezonatorul optic / Cavitățile optice rezonante - pompare chimic / rad. de excitare
 ogl. - oglinzi laser / este alcătuit dintr-un sistem de una/două oglinzi plane / sferice mixte, dintre care una este semitransparentă la rad. LASER pe care o lasă să treacă la intensitate mare.
 Ogl. - asigură posib. rad. excitatoare să parcurgă de multe ori med. activ, în care avem inversie mare de populație, $H_2(E_2) \gg H_1(E_1)$ pentru a stimula dezechilibrul lor în avalanșă de pe $(E_2 \rightarrow E_1)$, asigurând emisia LASER de mare intensitate.

(15) Evoluția tipurilor de LASERE



(16) Bilanțul puterilor și coef. Einstein pt. tranziții / Laser stimulat
 B_{12} - coef. de excitare ($E_1 \rightarrow E_2$)
 A_{21} - coef. de dezechilibrare naturală ($E_2 \rightarrow E_1$) în $\tau \sim 10^{-8}$ s
 B_{21} - coef. de dezechilibrare / tranziție stimulată de rad. rezonantă de pe niv. laser superior, (E_2) pompat / suprapopulat pe cel inferior, (E_1) - care trebuie rapid depopulat pentru a nu frâna descărcarea prin supradizita mediului laser.

$$P_{21 \text{ exc.}} = I_{\nu} H_1 h \nu_{12} B_{12}$$

$$P_{21 \text{ spontan}} = H_2 h \nu_{21} A_{21}$$

$$P_{21 \text{ stimulat}} = I_{\nu} H_2 h \nu_{21} B_{21}$$

$$P_{\text{emisie laser}} = P_{21 \text{ exc.}} - (P_{21 \text{ sp.}} + P_{21 \text{ st.}}) = I_{\nu} H_1 h \nu_{12} B_{12} - H_2 h \nu_{21} A_{21} - I_{\nu} h \nu_{21} H_2 B_{21}$$

$$\Rightarrow I_{\nu} h \nu_{12} [H_1 B_{12} - H_2 B_{21}] - h \nu_{21} H_2 A_{21}$$