

SỰ HOẠT ĐỘNG KHÔNG DỪNG CỦA LASER CÓ CHỨA VẬT LIỆU HẤP THỤ BÃO HÒA

TS ĐÌNH VĂN HOÀN và PHAN NGỌC HÀ

1. MỞ ĐẦU

Trong nhiều năm gần đây người ta chú ý nhiều đến hoạt động của các laser có chứa vật liệu hấp thụ bão hòa gọi tắt là LSA (lasers with saturable absorber) do ở chỗ trong chúng xuất hiện nhiều hiện tượng mới lý thú về phương diện khoa học cũng như về áp dụng kỹ thuật như các hiện tượng lưỡng ổn định quang học [1,2], các hiện tượng phản nhiễu xạ [3], hỗn độn quang [4] v.v..

Trong các bài báo trước đây, chúng tôi đã nghiên cứu sự hoạt động của LSA có mở rộng không đồng nhất là nổi bật và chỉ ở trạng thái dừng khi không phụ thuộc thời gian [5,6]. Đối với các laser vòng và qua trên cơ sở của các phương trình tốc độ (rate equations) chúng tôi đã tìm được biểu thức về đặc trưng cường độ mode của laser trong các chế độ hoạt động đơn mode cũng như đa mode và xác định được các điều kiện xuất hiện hiện tượng lưỡng ổn định quang học của các laser khảo sát. Trong bài báo này chúng tôi lưu ý đến sự phụ thuộc thời gian của đặc trưng cường độ mode. Bài toán không dừng sẽ phức tạp hơn và chủ yếu được giải bằng số nhờ máy tính điện tử. Bước đầu chúng tôi xét trường hợp đơn giản của hoạt động đa mode là khi laser chỉ phát 3 mode $j = 0 \pm 1$ và giả thiết bơm ở 2ogan khuếch đại và hấp thụ hầu như không đổi theo thời gian và theo tần số. Do ở các laser vòng tương phân bố đều trong không gian buồng cộng hưởng nên không xét đến ảnh hưởng của độ dài cũng như vị trí của các ngăn khuếch đại hay hấp thụ. Sai khác cơ bản của bài toán được đặt ra ở đây so với một số tác giả trước là đề ý đến sự không đồng nhất trong hoạt động laser và do đó các kết quả thu được sẽ chủ yếu tương ứng với các laser khí.

Dưới đây là các phương trình cơ bản, phương pháp giải và phần biện luận kết quả.

2. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN VÀ PHƯƠNG PHÁP GIẢI

Chúng tôi xuất phát từ các phương trình cơ bản trình bày trong [6]

$$\frac{dn_j}{dt} = -x_j n_j + B \sum_{\mu} \frac{\Gamma^2 (n_j + 1)}{\Gamma^2 + 4(\omega_{\mu} - \Omega_j)^2} (N_{\mu a} - N_{\mu p}) \quad (1)$$

$$\frac{dN_{\mu a}}{dt} = R_{\mu a} - N_{\mu a} \left(B \sum_k \frac{\Gamma^2 N_k}{\Gamma^2 + 4(\omega_{\mu} - \Omega_k)^2} + \gamma \right) \quad (2)$$

$$\frac{dN_{\mu b}}{dt} = R_{\mu b} - N_{\mu b} \left(B \sum_k \frac{\Gamma^2 N_k}{\Gamma^2 + 4(\omega_{\mu} - \Omega_k)^2} + \xi \gamma \right) \quad (3)$$

Ở đây các ký hiệu được giữ như ở [5, 6], và được viết cho đơn vị độ dài, n_j - số photon mode thứ j với tần số tròn Ω_j ; $N_{\mu a}, N_{\mu b}$ - hiệu độ tích lũy các hệ nguyên tử ở trạng thái kích thích (ký hiệu a) và hấp thụ (ký hiệu b). Tổng theo μ nói lên sự có mặt của mở rộng không đồng nhất đối với dịch chuyển mức năng lượng trong các hệ nguyên tử, tổng theo k chỉ ra ảnh hưởng của các mode khác lên mode thứ j trong hoạt động đa mode của laser.

Để khảo sát sự phụ thuộc của n_j vào thời gian, chúng tôi giải hệ phương trình (1) - (3) bằng số theo phương pháp Kutta-Runge.

$$\text{Khi đặt} \quad \omega_{\mu} = \omega_0 + \mu \Delta\omega \quad (4)$$

$$\Omega_j = \Omega_0 + j \Delta\Omega$$

với $\omega_0 = \Omega_0$, $\Delta\omega$ - khoảng cách giữa 2 tần số tâm ω_{μ} của 2 nhóm nguyên tử có cùng chung độ mở rộng đồng nhất Γ .

$\Delta\Omega$ - khoảng cách giữa 2 mode liên tiếp. μ, k - các số nguyên nhận giá trị $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ và khi chọn $\Delta\Omega = 20 \Delta\omega$ do các dịch chuyển giữa các nhóm nguyên tử nhiều lần nhỏ hơn khoảng cách giữa các mode thì

$$\omega_{\mu} - \Omega_j = \frac{\Delta\Omega}{20} (\mu - 20j)$$

và tổng theo k trở thành

$$S(\mu, k) = B \sum_k \frac{\Gamma^2 n_k}{\Gamma^2 + 4(\omega_{\mu} - \Omega_k)^2} = BA^2 \sum_k \frac{n_k}{A^2 + (\mu - 20k)^2} \quad (5)$$

ở đây $A = \frac{10\Gamma}{\Delta\Omega}$ và tương tự cho tổng theo j .

Sử dụng (5) trong (2) và (3) có

$$\frac{dN_{\mu a}}{dt} R_{\mu a} - N_{\mu b} [S(\mu, k) + \gamma] \quad (6)$$

$$\frac{dN_{\mu b}}{dt} R_{\mu b} - N_{\mu a} [S(\mu, k) + \xi\gamma] \quad (7)$$

Với giả thiết $R_{\mu a}, R_{\mu b}$ không phụ thuộc t lời giải (6) và (7) cho

$$N_{\mu a} = \frac{R_{\mu a}}{[S(\mu, k) + \gamma]} \left(1 - e^{-[S(\mu, k) + \gamma]t}\right) \quad (8)$$

và

$$N_{\mu b} = \frac{R_{\mu b}}{[S(\mu, k) + \xi\gamma]} \left(1 - e^{-[S(\mu, k) + \xi\gamma]t}\right) \quad (9)$$

Thay thế (8), (9) trong (1) chúng ta có phương trình về số photon n_j ở trạng thái không dừng:

$$\frac{dn_j}{dt} = -x_j n_j + BA^2 \sum \frac{n_j + 1}{A^2 + (\mu - 20j)^2} \times$$

$$\left[\frac{R_{\mu a}}{[S(\mu, k) + \gamma]} \left(1 - e^{-[S(\mu, k) + \gamma]t}\right) - \frac{R_{\mu b}}{[S(\mu, k) + \xi\gamma]} \left(1 - e^{-[S(\mu, k) + \xi\gamma]t}\right) \right] \quad (10)$$

Phương trình (10) thuận tiện cho việc lập chương trình với máy tính điện tử phương trình được giải trên máy tính Minsk 32. Các số liệu được chọn như sau:

$$\Gamma = 40 \cdot 10^6 \text{ sec}^{-1}, \quad \xi = 0,25,$$

$$\gamma = 10^8 \text{ sec}^{-1}, \quad B = 10^3$$

$\Delta\Omega, R_{pa}, R_{pb}$ đi thay đổi với các giá trị khác nhau ghi ở hình 1

$$j, k = 0, \pm 1$$

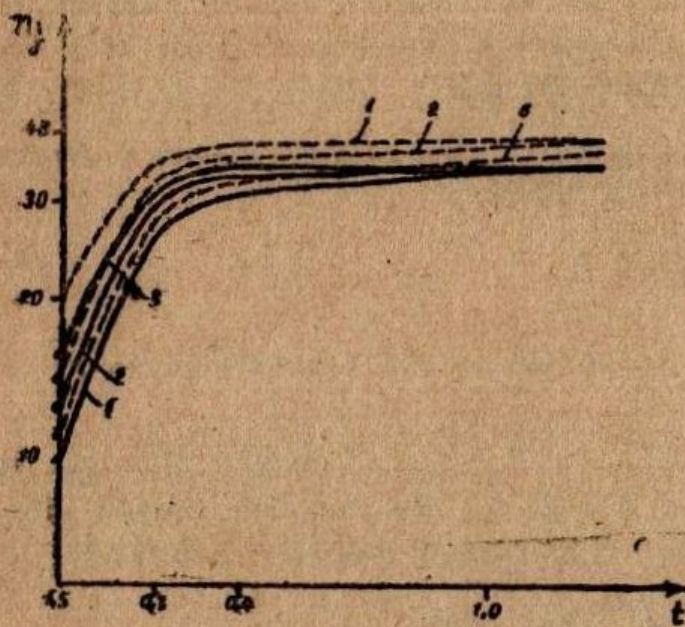
$$\mu = 0, 1, 2, 3, \dots, 100$$

$$\Delta t = 0,01 \text{ nanosec}$$

3. CÁC KẾT QUẢ VÀ BIỆN LUẬN

Do hàm $n_j(t)$ phụ thuộc rất nhiều tham số khác nhau nên trên máy tính chúng tôi khảo sát các đường cong $n_j(t)$ khi một trong các tham số biến đổi và các tham số còn lại giữ không đổi.

Trên hình 1 được trình bày sự thay đổi số photon $n_j(t)$ theo thời gian ở các giá trị khác nhau của bơm ngán khuếch đại. Với các mode phát $j = 0, 1$ ta đều thấy khi tăng thời gian n_j tăng nhanh và sau đó đạt tới giá trị gần như định.



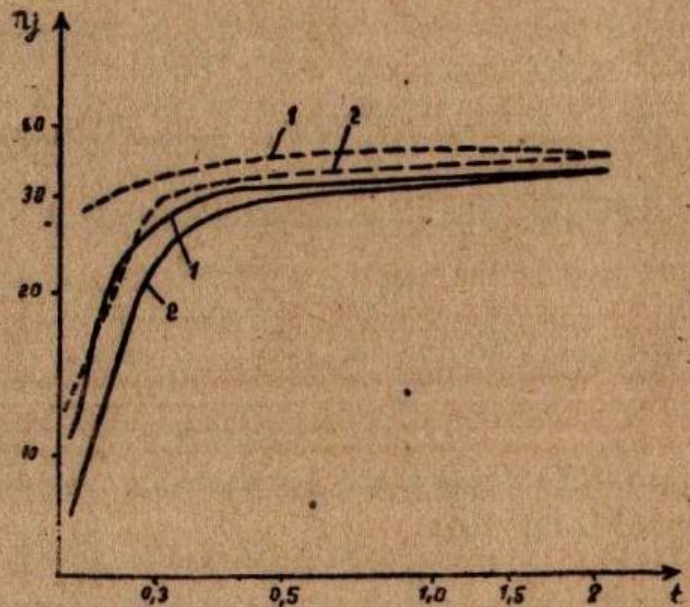
Hình 1

Sự thay đổi của n_j theo t khi $R_{pb} = 5 \cdot 10^9$, $\Delta\Omega = 150 \mu$, $\gamma = 10^9 \text{ sec}^{-1}$, với 1 — $R_{pa} = 10^9 \cdot 10^9$ 2 — $R_{pa} = 200 \cdot 10^9$ 3 — $R_{pa} = 300 \cdot 10^9$

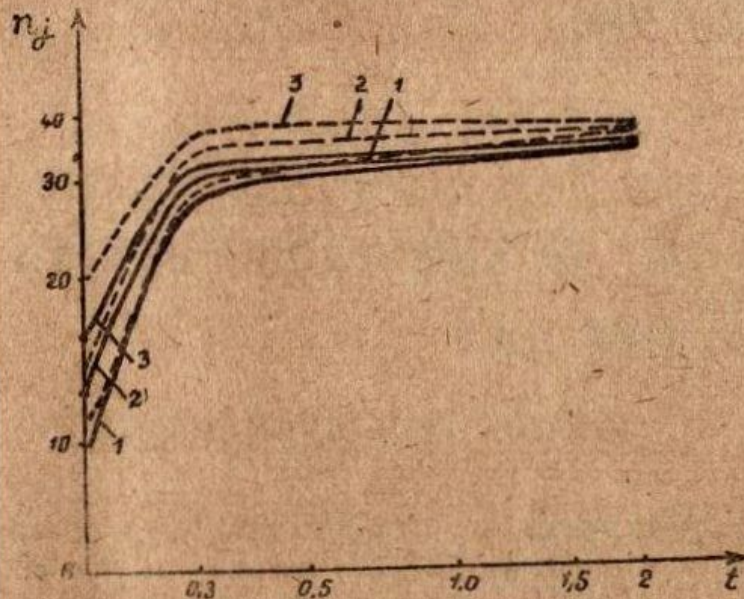
Khi $t \gg R_{pa}$, n_{j-1} tăng còn n_j giảm, điều này phản ánh sự bảo toàn năng lượng trong hoạt động của laser cũng như ảnh hưởng của sự cạnh tranh mode

Hình 2 chỉ ra sự thay đổi của $n_j(t)$ khi giá trị bơm ở ngán hấp thụ thay đổi. Sự tăng tốc độ bơm ở ngán hấp thụ nó chung làm giảm cường độ mode phát, tuy nhiên dạng đường cong không thay đổi so với khi thay đổi chỉ R_{pb} .

Sự thay đổi độ bão hòa ở 2 ngán khuếch đại và hấp thụ (thay đổi) cũng dẫn đến sự thay đổi số photon phát hay cường độ mode phát khi tăng ξ tức là tăng độ tích thoát của ngán hấp thụ sẽ dẫn đến tăng công suất phát ở các mode. Kết quả là cường độ mode tăng như thấy ở hình 3.



Hình 2. Sự thay đổi của n_j theo t khi $R_{pa} = 100 \cdot 10^9$, $\xi = 0,25$, $\Delta\Omega = 150 \text{ MHz}$, $\Gamma = 40 \text{ MHz}$, $\gamma = 10^9 \text{ sec}^{-1}$ và với 1 — $R_{pb} = 5 \cdot 10^9$, 2 — $R_{pb} = 20 \cdot 10^9$ nét liền, nét chấm



Hình 3 Sự thay đổi của n_j theo t khi $R_{pa} = 100 \cdot 10^9$, $R_{pb} = 5 \cdot 10^9$, $\Delta\Omega = 150 \text{ MHz}$, $\gamma = 10^8$ với $1 - \xi = 0,1$; $2 - \xi = 0,25$; $3 - \xi = 0,5$

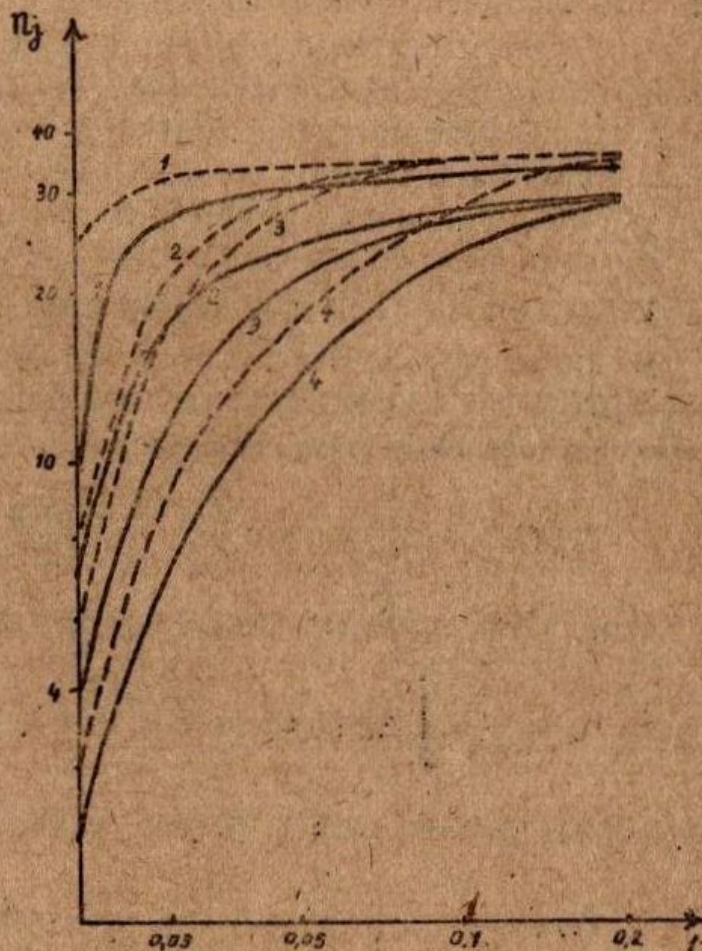
luôn xảy ra dù có mặt hay không có mặt của mở rộng không đồng nhất của vạch phổ. Nói cách khác ở sự hoạt động không dừng, ảnh hưởng của mở rộng không đồng nhất lên hiện tượng cạnh tranh mode là không rõ nét.

Những kết luận nêu ở đây chỉ mới là bước đầu và sẽ được tiếp tục đối với các trường hợp khác phức tạp hơn phù hợp với thực tế hơn và điều này sẽ được công bố trong các bài báo sau này.

Chúng tôi cảm ơn các đồng chí ở tổ phương pháp tính phòng Địa Vật lý Viện Khoa học Trái đất Viện KHVN đã giúp thu số liệu trên máy tính của bài báo này.

Xem tiếp trang 64

Trên hình 4 được trình bày sự thay đổi của $n_j(t)$ khi khoảng cách giữa các mode $\Delta\Omega$ thay đổi. Điều này có do độ dài bước sóng hưởng thay đổi. Sự thay đổi $\Delta\Omega$ dẫn đến sự thay đổi số mode có mặt trong khoảng mở rộng đồng nhất Γ . Khi $\Delta\Omega < \Gamma$ số photon phát ở mode $j = 0$ và $j = 1$ giảm và thời gian đạt đến giá trị chuẩn dừng cũng chậm lại. Đây là hệ quả của hiện tượng cạnh tranh mode mà nó thường xảy ra khi khoảng cách giữa 2 mode liên tiếp nhỏ hơn độ mở rộng đồng nhất. Kết quả này cũng cho phép kết luận là khi $\Delta\Omega < \Gamma$ hiện tượng cạnh tranh mode



Hình 4 Sự thay đổi của n_j theo t khi $R_{pa} = 100 \cdot 10^9$, $R_{pb} = 5 \cdot 10^9$, $\gamma = 10^8 \text{ sec}^{-1}$, $\xi = 0,25$ với $1 - \Delta\Omega = 150 \text{ MHz}$, $2 - \Delta\Omega = 30 \text{ MHz}$, $3 - \Delta\Omega = 20 \text{ MHz}$, $4 - \Delta\Omega = 10 \text{ MHz}$.