### 1.1.3 Laser đa mode và ánh sáng hỗn loạn

Chúng ta hãy xét một cơ chế khác gây ra hiện tượng mở rộng vạch phổ laser. Những cơ chế này gắn liền với laser đa mode. Biên độ phức của trường phát ra từ laser có dạng [18]:

$$\zeta(t) = \sum_{k=1}^{M} \zeta_k e^{-i(\omega_k t+\varphi_k)}, \quad (1.9)$$

Trong đó M là số mode, $\omega_k$ là tần số của chúng đối với tần số trung bình $\omega_L$, $\zeta_k$ là biên độ hằng số và $\varphi_k$ là các pha ngẫu nhiên độc lập nhau.

Chúng ta thừa nhận giả thuyết cho rằng các pha này phân bố đồng đều trong khoảng $[0, 2\pi]$.Từ các tính chất của pha $\varphi_k$ suy ra rằng

$$\langle \zeta(t) \rangle = 0 \quad (1.10\text{ a})$$

$$\langle \zeta^*(t)\zeta(t') \rangle = \sum_{k=1}^{M} \zeta_k^2 e^{-i\omega_k(t-t')} \quad (1.10\text{ b})$$

$$\langle \zeta(t)\zeta(t') \rangle = \langle \zeta^*(t)\zeta(t') \rangle = 0 \quad (1.10\text{c})$$

Phiếm hàm đặc trưng của quá trình $\zeta(t)$ [2,18] là:

$$\varphi_M[\nu(t), \nu^*(t)] = \langle e^{[-i\int \zeta(t)\nu(t)dt - i\int \zeta^*(t)\nu^*(t)dt]} \rangle = \prod_{k=1}^{M} J_0(2|\nu_k|) \quad (1.11)$$

Trong đó $\nu_k = \int e^{-i\omega_k t}\nu(t)dt$ và $J_0$ là hàm Bessel bậc không [19]. Chúng ta giả sử rằng số mode M có khuynh hướng tiến đến vô cùng, trong khi đó biên độ của chúng giảm đến không sao cho

$$\langle I(t) \rangle = \langle |\zeta(t)|^2 \rangle = \sum_{k=1}^{M} \zeta_k^2 \quad (1.12)$$

là hằng số. Dựa vào sự kiện [20]

$$\frac{J_0'(z)}{J_0(z)} \underset{z \to 0}{\cong} \frac{z}{2} \quad (1.13)$$

Khi $\zeta_k \to 0$ chúng ta có

$$\varphi_\infty[\nu(t), \nu^*(t)] = exp\{-\iint \nu(t) \langle \zeta^*(t)\zeta(t') \rangle \nu^*(t')dtdt'\} \quad (1.14)$$

Vì thế, khi số mode tiến đến vô cùng, $\varphi_\infty[\nu(t), \nu^*(t)]$ là phiếm hàm đặc trưng của quá trình Gauss, tức là $\zeta(t)$ là một quá trình Gauss. Chúng ta không biết dạng tường minh của hàm tương quan $\langle \zeta^*(t)\zeta(t') \rangle$. Để áp dụng (1.10b) trong quá trình tính toán bất kỳ đại lượng nào, chúng ta cần biết mối quan hệ giữa $\zeta_k$ và $\omega_k$. Chúng ta có thể loại bỏ sự tự do này bằng cách tiến hành các thí nghiệm dựa trên phép đo các vạch phổ. Thông thường, chúng ta giả sử rằng [21-23]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]

[redacted]