

Lesson 3

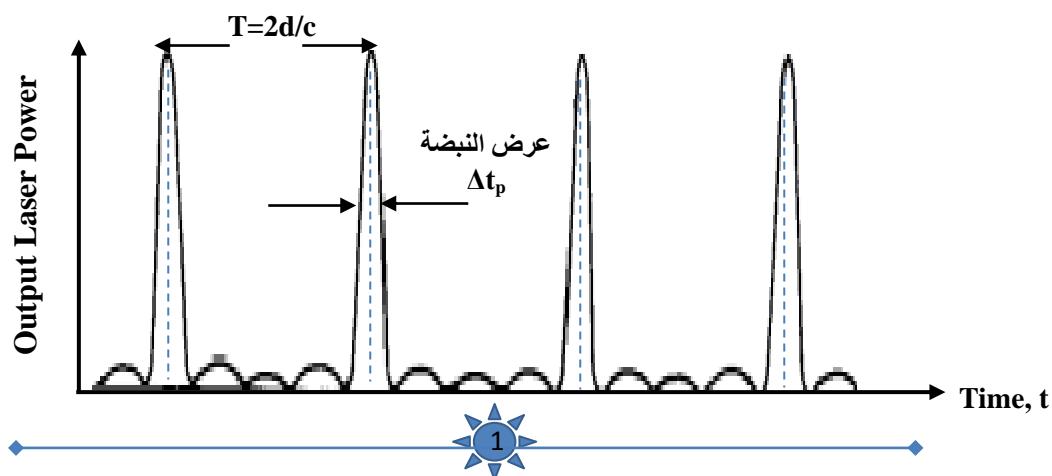
محاضرة رقم (3)

مقرر فيزياء الليزر / ف ١٣

الفصل الخامس:- تقنيات القدرة العالية High Power Techniques**تقنية تثبيت النمط: Mode-Locked Laser**

في حالة تقنية ليزر ضبط عامل النوعية Q تعاملنا مع المادة كما لو أنها تملك اتساعاً متجانساً وإن هذا النوع من التقنية يكون محدوداً بزمن نبضة مقدارها بضعة نانو ثانية لكن في بعض الانتقالات يكون الاتساع غير متجانس وإن بعض الليزرات تتذبذب بأكثر من تردد ضمن عرض خط الانتقال. ويمكن استخدام هذه الخاصية لتوليد نبضة ليزر ذات فترات زمنية قصيرة جداً في حدود البيكوثانية sec^{-12} أو قد تصل إلى الفيمتو ثانية sec^{-15} وذات ذروة قدرة عالية جداً بحدود كيكواط. هذه التقنية تسمى تثبيت النمط.

أي ان بهذه التقنية فان النبضة العملاقة يمكن ان تكون بشكل متسلسلة من النبضات الحادة جداً ومفصولة عن بعضها البعض بمسافات متساوية. وعند اثارة الليزر الى مستوى أعلى بكثير من حد العتبة، فإنها سوف لا تتذبذب بصيغة مفردة بل سلسلة متتالية من الضخ. ان انتاج سلسلة متواتلة من النبضات الحادة يمكن انجازه بإثارة عدد ضخم من الصيغ بأطوار مناسبة وبعلاقة سعة متبادلة. وبذلك فان قدرة خرج الليزر التي تعمل بتقنية تثبيت النمط يمكن ان تبين في الشكل التالي:



ولإثبات ان خرج الليزر الذي يمكن انتاجها بهذه التقنية هو عبارة عن سلسلة من النبضات و مفصولة عن بعضها البعض بمسافات تردديه متساوية و ذات سعات متساوية تقريبا و نتبع ما يلي:

- (١) نفرض ان هناك N من الانماط المتساوية في السعة وتتذبذب في ان واحد في داخل تجويف الليزر.
- (٢) نفرض ان السعة الكلية للمجال الكهربائي الضوئي لهذه الانماط المتذبذبة عند نقطة ما داخل تجويف الليzer بعد انعكاسه من احدى المرآيا يمكن ان يعطى بالعلاقة التالية:

$$E(t) = \sum_n E_n e^{i[(\omega_0 + n\Delta\omega)t + \varphi_n]} \quad (1)$$

حيث ω_0 يمثل تردد النمط المركزي و $\Delta\omega$ فرق التردد بين نمطين متتاليين وبما ان الفاصلة الزمنية T لدورة واحدة بين نمطين طوليين متتاليين داخل المرنان تعطى بالعلاقة التالية:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2d}{c} \quad [\text{H.W}]$$

حيث d تمثل طول المرنان و c سرعة الضوء و يمكن اثبات ان سعة المجال الكهربائي تعيد نفسها كل $T=2d/c$ بغض النظر عن قيم الاطوار

$$\begin{aligned} E(t+T) &= \sum_n E_n \exp \left[i(\omega_0 + n\Delta\omega) \left(t + \frac{2d}{c} \right) + \varphi_n \right] \\ &= \sum_n E_n \exp [i(\omega_0 + n\Delta\omega)t + \varphi_n] \exp \left[i \left(2\pi \left(\frac{\omega_0}{\Delta\omega} + n \right) \right) \right] \end{aligned}$$

$$\frac{\omega_0}{\omega} = \text{int } eger =$$

باستخدام بعض الشروط، فإن:

$$\therefore E(t+T) = E(t) = \text{Periodic} \quad (2)$$

نلاحظ من المعادلة (2) ان الخاصية التكرارية $E(t)$ تعتمد على الطور φ_n . وفي الكثير من الليزرات ان الطور والسعه E_n يتغيران بصورة عشوائية مع الزمن t وبذلك فان الخاصية التكرارية سوف تتحطم الا

اذا وجد طريقة لتبییت العلاقة الطوریة بین الانماط. اذا فرض قد تم تتبییت كل نمط عند زمان معین وبطور φ_n یساوی صفر، وبحل معادلة (2) تحت الظروف الاعتيادیة یکون:

$$E(t) = E_0 \cdot e^{i\omega_0 t} \cdot \frac{\sin(N\Delta\omega t / 2)}{\sin(\Delta\omega t / 2)} \quad (3)$$

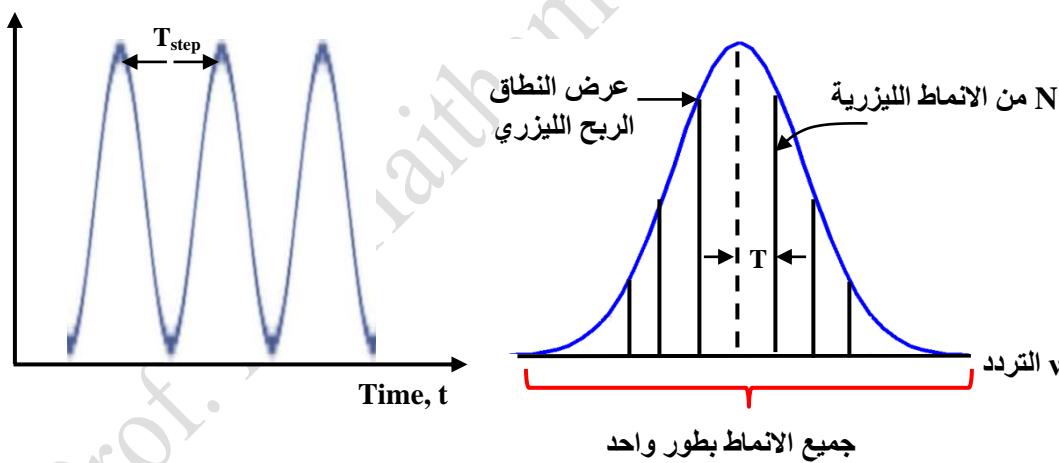
وان القدرة الخارجیة (المنبعثة) من الليزر تكون:

$$\text{Power} \cong E(t) \cdot E(t)^* \cong \frac{\sin^2(N\Delta\omega t / 2)}{\sin^2(\Delta\omega t / 2)}$$

ومعدل القدرة المنبعثة من الليزر تكون بشكل سلسلة من النبضات القصیرة بزمان تکرار مقداره

$$T_{step} = \frac{2d}{c}$$

ويمکن توضیح ذلك بالشكل أدناه:



من الملاحظ ان النبضة الليزرية التي يتم الحصول عليها بتقنية تتبییت النمط لها الخواص التالية:

- (1) معدل القدرة للیزر تساوی N مضروبا في القدرة للنمط الواحد (حيث N تمثل عدد الانماط).
- (2) ذروة القدرة تساوی N مضروبا في معدل القدرة

$$P_{peak} = N \cdot P_{av}.$$

(٣) ان النبضات الليزرية تكرر نفسها كل زمن دورة واحدة بالعلاقة $T_{step} = \frac{2d}{c}$ مكونة سلسلة من النبضات.

(٤) يمكن تخمين عرض النبضة الليزرية Δt_p من العلاقة:

$$\Delta t_p \approx \frac{1}{\Delta \nu} \quad [\text{H.W}]$$

أذن ان عرض النبضة الليزرية هو مقلوب عرض خط الانتقال للليزر $\Delta \nu$ وهذا يمكن ان يكون قصير جدا حتى في الانتقالات الصقيقة جدا.

مثال (1):

أحسب عرض نبضة ثبيت النمط Δt_p اذا كان عرض خط الانتقال للليزر الهيليوم-النيون He-laser مقداره 1500 MHz

$$\Delta t_p = \frac{1}{1500 \text{ MHz}} \approx 0.6 \text{ ns} \approx 6 * 10^{-10} \text{ sec}$$

مثال (2):

أحسب عرض نبضة ثبيت النمط Δt_p اذا كان عرض خط الانتقال للليزر Nd-Glass مقداره $3 * 10^{12}$ Hz

$$\Delta t_p \approx 0.3 \text{ ps} \approx 3 * 10^{-13} \text{ sec}$$

مثال (3):

أحسب عرض نبضة ثبيت النمط Δt_p والفاصله الزمنية T_{step} بين نبضتين للليزر الهيليوم-النيون. علما ان عرض خط الانتقال مقداره 1500 MHz وطول المرنان . 50 cm

$$\Delta t_p = \frac{1}{1500 \text{ MHz}} \cong 0.6 \text{ ns} \approx 6 * 10^{-10} \text{ sec}$$

$$T_{step} = \frac{2d}{c} = \frac{2 * 0.5 \text{ m}}{3 * 10^8 \text{ (14)}} = 3.33 * 10^{-9} \text{ sec} .$$