

الباب الثاني: خصائص أشعة الليزر

Properties of Laser Radiation

عرض الخط الطيفي للليزر
انفراج الشعاع
ترابط الشعاع
اللمعان
تجميع أشعة الليزر
تبديل معامل - Q
مضاعفة التردد
مزاوجة الطور

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

عرض الخط الطيفي لليزر Laser Linewidth

يحدث الليزر ضمن نطاق طيفي محدد بعرض الخط الطيفي الطبيعي للانتقال الذري المناسب.

ويحدث داخل التجويف الضوئي عدد من الترددات المهتزة عند قيم محددة وكل قيمة من الترددات مصحوبة بنمط من أنماط التجويف cavity mode .

تقسم الأنماط إلى أنماط محوية axial و مستعرضة transverse .

يرمز للأنماط بـ TEM_{grp} وكل نمط مستعرض يجمع تحته عدداً من الأنماط المحوية المنفصلة.

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

كيف يمكن التقييم من عدد الأنماط الطولية و المستعرضة؟

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

• معامل الجودة Quality factor للتجريف:

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

- مثال: ماهو عرض الخط الليزري عندما يكون

$$R_1 = R_2 = 0.99$$

$$L = 0.5m$$

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

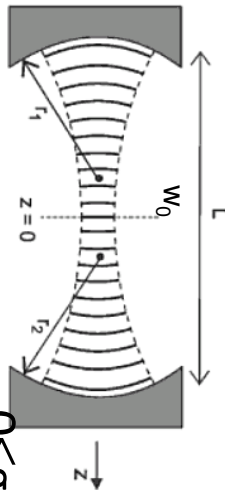
انفراج الشعاع Beam Divergence

تكون الأشعة الخارجة من الليزر متوازية تقريباً فيمكن تجميعها وتركيزها في منطقة صغيرة. الانفراج الحادث بسبب ظاهرة الحيود الناشئة من الطبيعة الموجية للضوء.

$$\theta = \sin^{-1}(1.22\lambda / D)$$

where λ and D are the wavelength and the diameter of the beam respectively

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ



- حالة التجويف المستقر : $0 \leq g_1 g_2 \leq 1$
- أقل قيمة للمقدار w :
- تتغير w مع z بالعلاقة:

$$w_0^2 = \frac{\lambda}{\pi} \left[\frac{L(r_1 - L)(r_2 - L)(r_1 + r_2 - L)}{(r_1 + r_2 - 2L)^2} \right]^{1/2}$$

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

- في حالة التجويف المتحد البؤرة $r_1 = r_2 = L$ فإن:

$$w(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{2z}{r} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$w_0^2 = \frac{\lambda r}{2\pi}$$

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

- مثال: ما هو نصف قطر الشعاع في تجويف متحد البؤرة
He-Ne الليزر $r=0.5m$ الطول الموجي له $633nm$.



د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

- الانفراج الزاوي:

$$\theta_{confocal} = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{\pi w_o} \right)$$

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

- مثال: احسب انقراج الشعاع لتجويف الليزر المتحد البؤرة،
علمًا بأن $r_1=r_2=0.5\text{m}$ و الطول الموجي له 633nm و
 $w_0=2.2\times 10^{-4}\text{m}$

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

الترابط Coherence

تعتبر أشعة الليزر متر ابطة أم الأشعة الصادرة من الشمس و أنبوبة الفلور سينت أو مصباح التنجستين غير متر ابطة.
تعود الدرجة العالية لاستقامة شعاع الليزر وتوازيه وأحادية موجته إلى خاصية الترابط.
لكي تكون الموجة الضوئية متر ابطة يجب أن تحقق الشرطين:

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

الترابط Coherence

شروط الترابط:

1. أن تكون أحادية التردد إلى درجة تقريبية كبيرة جداً. أي أن الاتساع الطيفي $\Delta\nu$ يجب أن يكون صغيراً. وعندما يكون الضوء له ترابط زمني Temporal coherence عالي.
2. جبهة الموجة يجب أن يكون لها شكل ثابت مع الزمن. فإذا تحقق هذا الشرط يقال بأن الضوء له ترابط حيزي أو مكاني Space coherence.

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

الترابط الزمني Temporal coherence :

- هذا الترابط يعود إلى العلاقة بين المجال عند نقطة معينة وبين المجال عند نفس النقطة عند فترة زمنية.

$$E(x, y, z, t_1)$$

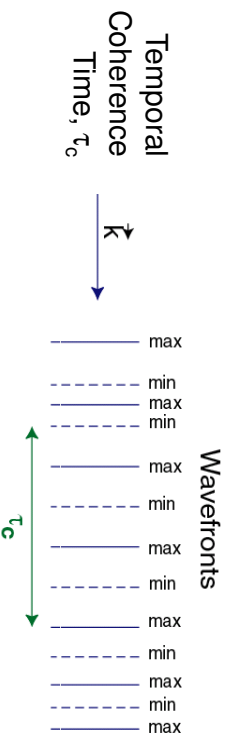
$$E(x, y, z, t_2)$$

- فإذا كان فرق الطور بين هذين المجالين ثابت خلال تلك الفترة الزمنية والتي تقدر بالمعمر الزمني للمستوى المثار والذي يسمى زمن الترابط coherence time فإنه يقال بأن الموجة لها ترابط زمني.
- أما إذا كان فرق الطور يتغير عدة مرات وبطريقة غير عادية خلال الفترة الزمنية τ فإن الموجة تكون غير مترابطة noncoherence.

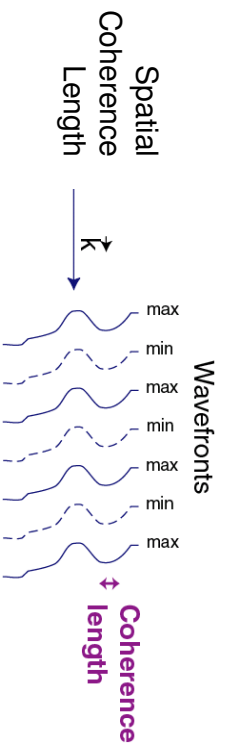
د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

The Temporal Coherence Time and the Spatial Coherence Length

The temporal coherence time is the time the wave-fronts remain equally spaced. That is, the field remains sinusoidal with one wavelength:



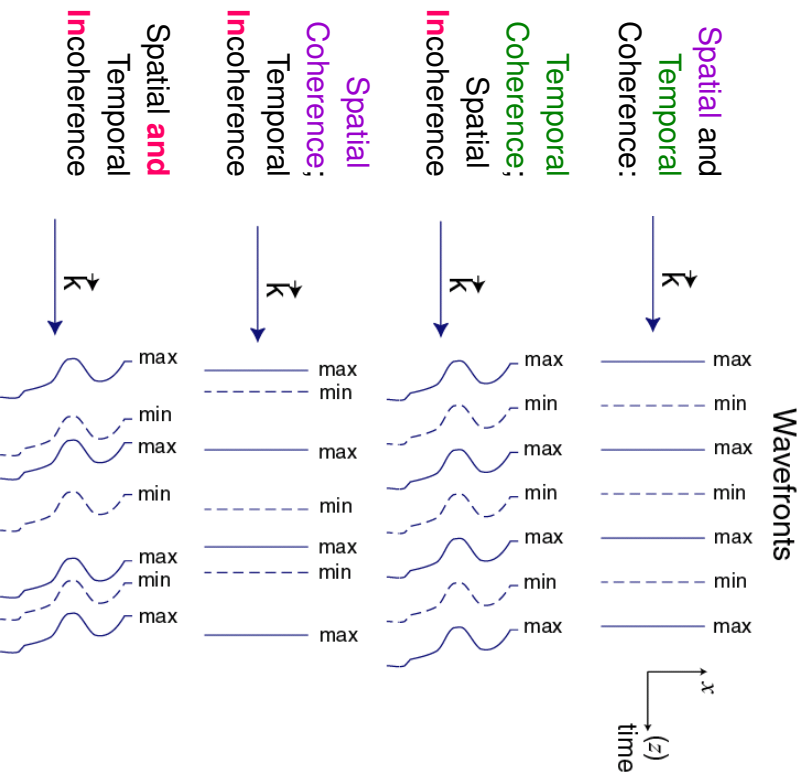
The spatial coherence length is the distance over which the beam wave-fronts remain flat:



Since there are two transverse dimensions, we can define a coherence area.

Spatial and Temporal Coherence

Beams can be coherent or only partially coherent (indeed, even incoherent) in both space and time.



The coherence time is the reciprocal of the bandwidth.

The coherence time is given by:

where $\Delta\nu$ is the light bandwidth (the width of the spectrum).
 L_c is coherence length.

Sunlight is temporally very incoherent because its bandwidth is very large (the entire visible spectrum).

Lasers can have coherence times as long as about a second, which is amazing; that's $>10^{14}$ cycles!

- مثال: ماهو طول الترابط لليزر الهيليوم – نيون إذا كان عرض الخط الطيفي 1500MHz و 1MHz؟ أيهما أكبر؟

اللمعان Brightness

القدرة المنبعثة لكل وحدة مساحة لكل وحدة زاوية
مجسمة.

وحدة اللمعان في نظام SI :
 $W.m^{-2}.sr^{-1}$

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

- مثال: ليزر He-Ne ذو قدرة $P=3mW$ وبانفراج للشمع مقداره $5.2 \times 10^{-5} rad$. ماهو اللمعان لهذا الشعاع؟
- الزاوية المجسمة :

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

خصائص تجميع أشعة الليزر

Focusing Properties of Laser Radiation

يمكن وضع عدسة مجمعة مناسبة في طريق الشعاع المنفرج فينتج عن ذلك شعاعاً مجتمعاً عند مسافة تساوي تقريباً f (البعد البؤري للعدسة) من العدسة. فإذا كان W_1 نصف قطر الشعاع عند العدسة فإن:

حيث r_s نصف قطر الشعاع المجمع.

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

فإن نصف قطر الشعاع المجمع يعطى بالعلاقة:
وإذا افترضنا أن الضوء يملأ فتحة العدسة فإن:

عدد F للعدسة.

د. زياد الأحمد الفصل الدراسي الثاني 1430 هـ

A **beam** from an argon **laser** has a diameter of 1.0 mm, and is focused by a 10 cm focal length lens with diameter 2.5 cm. Determine the spot size at the focus of the lens. Repeat the calculation if the **beam** is first expanded to fill the entire lens area. The wavelength of the light is 514.5 nm.

Solution: Focusing the original **beam** gives

$$w_{02} = \frac{(514.5 \times 10^{-9})(0.10)}{\pi(0.5 \times 10^{-3})} = 3.3 \times 10^{-5} \text{ m} = 33 \mu\text{m}$$

If the **beam** is first expanded to diameter 25 mm,

$$w_{02} = \frac{(514.5 \times 10^{-9})(0.10)}{\pi(12.5 \times 10^{-3})} = 1.3 \times 10^{-6} \text{ m} = 1.3 \mu\text{m}$$

This illustrates the importance of utilizing the entire lens area for achieving the smallest spot size at the focus.