دراسة خواص حزمة الليزر لبعض المنظومات المستخدمة في قسم فيزياء الليزر-كلية العلوم للبنات- جامعة بابل

لازم حسن عبود ندى عباس محمد صدام فليح

أنفال فاضل احمد صابرين عبد الحسين مكي

كلية العلوم للبنات–جامعة بابل

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة خواص حزمة الليزر لبعض الأجهزة المستخدمة في مختبرات قسم فيزياء الليزر.

وتم الحصول على خواص الحزمة الليزرية ذات النمط الكاوسي Gaussian mode (النمط أحادي الطور TEM_{00}) لأربعة منظومات ليزرية مختلفة القدرة وهي (ليزر الهليوم_نيون ذو القدرة p=1mW) و (ليزر الهليوم_نيون ذو القدرة p=5mW) و (ليزر النديميوم– ياك Nd:YAG ذو القدرة p=10mW) و (ليزر النديميوم– ياك Nd:YAG ذو القدرة p=150mW).

وتم رسم النمط الكاوسي للمنظومات الأربعة ومن خلاله أمكن الحصول على نصف قطر حزمة الليزر وهي التي تعبر بشكل أساسي عن زاوية انفراج الحزمة، ثم تم قياس تخصر الحزمة لهذه المنظومات الأربعة

Abstract

The Laser system were study in Laser Physics Department The beam properties of four Laser system with different power He-Ne(1m W),He-Ne(5m W), Nd:YAG (10m W), Nd :YAG(150m W)was measured The Gaussian term of the laser beam were draws and the divergence angle waste were measured of them .

1-الجزء النظري

النمط وحيد الطور (TEM_{00})

Mode:M Electro:E Transition:**T**

إن توزيع الشدة على المقطع العرضي للنمط TEM_{oo} من نوع كاوس Gaussian ويمثل بالمعادلة التالية:

$$I(x) = I_0 \exp(\frac{-2r}{W^2}) \quad \text{.....} \quad (1)$$

حيث تمثل (I_0) الشدة عند المركز.

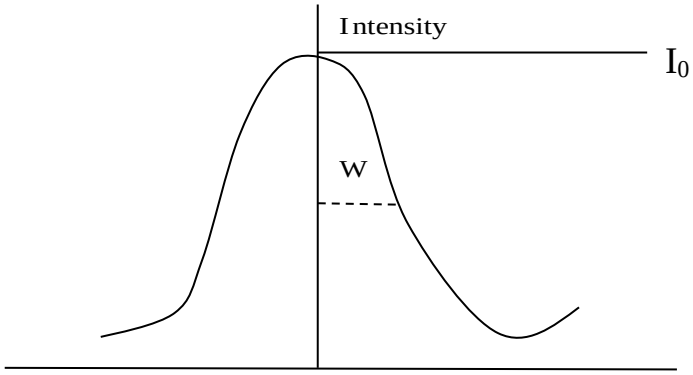
(r) المسافة عن المركز.

(W) هي قيمة r التي تنخفض عندها الشدة الى e^2 من قيمتها عند المركز (وتمثل نصف قطر حزمة الليزر).

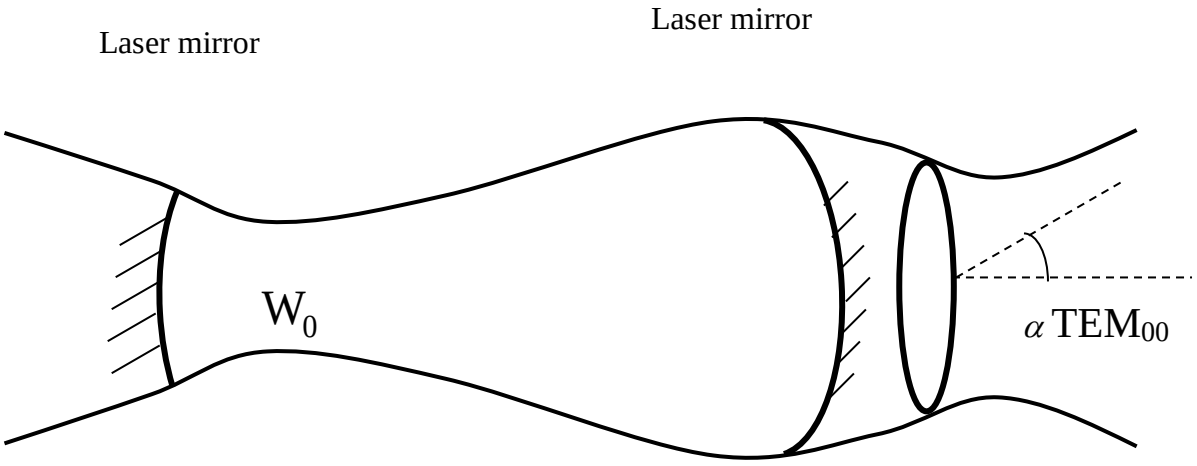
ونلاحظ من الشكل (1) التوزيع الكاوسي لهذه الشدة.

أما الشكل (2) فيوضح كيفية انتشار النمط وحيد الطور في الفضاء، ونلاحظ الجزء الذي تكون فيه الشدة عند e^{-2} من قيمتها عند المركز ويمثل تخصر النمط حيث تكون لـ W أقل قيمة ويرمز لها بـ (W_o)، وعند هذا التخصر تكون جبهة الموجه مستوية وعندها تكون خسارة الحيود أقل ما يمكن، مع ملاحظة إن تقوس جبهة الموجه عند المرآة يساوي تقوس المرآة ذاتها، إن موضع تخصر الحزمة يعتمد على نصفي قطري مرآتي المرنان الليزري، وكمثال على ذلك لو أن أحدى المرآتين مستوية فأن جبهة الموجه تكون مستوية عند المرآة نفسها. وفي

بعض الحالات يكون استخدام مرآة مستوية أو محدبة غير مرغوب فيه، وإذا كان المطلوب الحصول على جبهة موجه مستوية خارج التجويف فأن إمرار حزمه الليزر خلال عدسة محدبه (Convex Lens) تساعد على الحصول على جبهة الموجه مستوية في موقع معين ومناسب.



الشكل(1) توزيع كاوس للشدة



الشكل(2) انتشار النمط TEM_{00}

إن للنمط وحيد الطور عدداً من الصفات التي جعلته النمط المفضل في كثير من الليزرات.

أنه لا يعاني من انقلاب الطور خلال جبهة الموجة والذي تعاني منه الأنماط الأعلى مرتبة (High order modes)، وإن لهذه الصفة أهمية في تطبيقات التداخل وفي ما يسمى بالتصوير الفراغي أو المجسم (Holography) .

إن أقرب تمثيل لنمط وحيد الطور ذي الجبهة المستوية (أي عند تخصر الحزمة) هو فتحة (aperture) دائرية مضاءة بشكل منتظم.

في حالة النمط وحيد الطور فأن الانفراج نصف الزاوي للحزم يمثل بالمعادلة:

$$\alpha TEM_{oo} = \frac{\lambda}{\pi W_o} \quad \text{.....(2)}$$

حيث (λ) الطول الموجي لحزمة الليزر.

وأن النمط يستمر بالانتشار بتوزيع كاوسي

كذلك فأن مقدار 86.5 % من الطاقة الكلية تكون محصورة في مساحة هي المساحة الدائرية نصف قطرها (W) أما في حاله الإضاءة المنتظمة للفتحة فأن الوضع مختلف تماماً. حيث يكون نموذج الحيود عبارة عن نظام أهداب دائرية وأن المنطقة المركزية المضيئة داخل أول حلقه مظلمة تعرف بقرص ايري Airy disc وهذا القرص يحتوي مقداراً من الطاقة مساوياً لـ 84 % من الطاقة الكلية وإن أول حلقة مظلمة تصنع زاوية مع المحور الضوئي تساوي.

$$\alpha_{uniform} = 1.22 \frac{\lambda}{w_o} \quad \text{.....(3)}$$

أما العلاقة التالية:

$$W = W_O\left(1 + \frac{X^2 \lambda^2}{\pi^2 W_O{}^4}\right) \text{.....(4)}$$

تمثل العلاقة بين (W) و (W_0) والطول الموجي λ والمسافة X التي تمثل البعد عن موقع تخصر الحزمة.

أما العلاقات التي تربط بين مواصفات الحزمة والشكل الهندسي للمرنان:

$$W_1^4 = \left(\frac{\lambda R_1}{\pi}\right)^2 \frac{R_2 - \ell}{R_1 - \ell}\left(\frac{\ell}{R_1 + R_2 - \ell}\right) \text{.....(5)}$$

$$W_2{}^4 = \left(\frac{\lambda R_2}{\pi}\right)^2 \frac{R_1 - \ell}{R_2 - \ell}\left(\frac{\ell}{R_1 + R_2 - \ell}\right) \text{.....(6)}$$

$$W_1^4 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \frac{\ell(R_1 - \ell)(R_2 - \ell)(R_1 + R_2 - \ell)}{(R_1 + R_2 - 2\ell)^2} \text{.....(7)}$$

$$t_1 = \frac{\ell(R_2 - \ell)}{(R_1 + R_2 - 2\ell)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

$$t_2 = \frac{\ell(R_1 - \ell)}{(R_1 + R_2 - 2\ell)} \cdots\cdots(9)$$

حيث (W_1)، (W_2) يمثلان أنصاف أقطار حزمة الليزر على سطحي المرآتين الأولى والثانية على التوالي.

(R_1)، (R_2) يمثلان أنصاف أقطار تكور المرآتين الأولى والثانية على التوالي.

(t_1)، (t_2) بعد المرآة الأولى والثانية عن تخصر الحزمة. ℓ:طول المرنان

2-الجزء العملي

A- دراسة النمط الكاوسي للمنظومات الليزرية الأربعة :من خلال دراسة شدة حزمة الليزر وتغيرها مع البعد عن مركز الحزمة مع تثبيت المسافة بين مصدر الحزمة والشاشة لجميع القراءات، وكانت النتائج كالآتي:

1- تم قياس النمط لحزمة الليزر المنبعثة من منظومة الهليوم نيون ذات الطول ألموجي 632.8nm والقدرة $p = 1mW$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (1) تم رسم النمط الكاوسي لهذه المنظومة في الشكل (3)، وباستخدام المعادلة (4) أمكن حساب نصف قطر الحزمة من المعلومات التالية:

$$I = I_0 e^{-2}$$

$$I_0 = 657(mV)$$

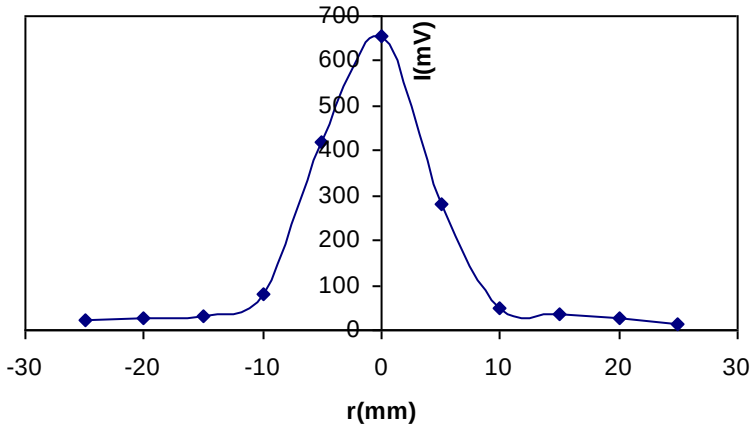
$$I = 657 \times 0.13$$

$$I = 85.14(mV)$$

فكانت قيمة نصف قطر الحزمة تقريبا (W= 9mm).

I(mV)	r(mm)
13	25
25	20
36	15
50	10
279	5
657	0
418	-5
81	-10
33	-15
27	-20
23	-25

الجدول(1) العلاقة بين الشدة والبعد عن مركز الحزمة لليزر الهليوم نيون ذو القدرة $p = 1mW$



الشكل (3) النمط الكاوسي لليزر الهليوم نيون ذو القدرة $p = 1mW$

2- تم قياس النمط الكاوسي لحزمة الليزر المنبعثة من منظومة الهليوم نيون ذو الطول الموجي λ=632 nm والقدرة $p = 5mW$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (2) تم رسم النمط الكاوسي لهذه المنظومة في الشكل (4) وباستخدام المعادلة (4) أمكن الحصول على نصف قطر الحزمة ومن المعلومات التالية:

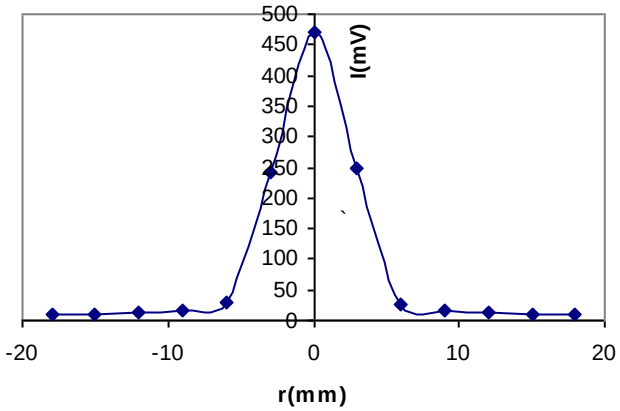
$$I_0 = 470(mV)$$
$$I = I_0 e^{-2}$$

$$I = 470 \times 0.13$$
$$I = 63.4(mV)$$

فكانت قيمة نصف قطر الحزمة تقريبا (W= 6mm).

I(mV)	r(mm)
9	18
11	15
13	12
15	9
27	6
247	3
470	0
241	-3
29	-6
15	-9
12	-12
11	-15
9	-18

الجدول(2) العلاقة بين الشدة والبعد عن مركز الحزمة لليزرالهليوم نيون ذو القدرة $p = 5mW$



الشكل (4) النمط الكاوسي لليزر الهليوم نيون ذو القدرة $p = 5mW$

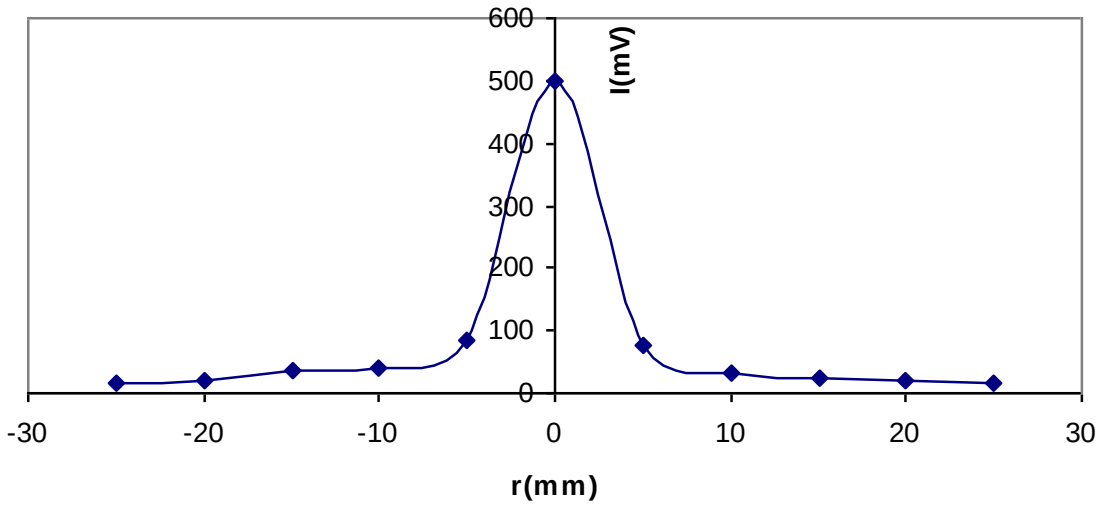
3- تم قياس النمط الكاوسي لحزمة الليزر المنبعثة من المنظومة هليوم نيون ذو الطول الموجي $\lambda = 531nm$ والقدرة $p = 10mw$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (3) تم رسم النمط الكاوسي لهذه المنظومة في الشكل (5) وباستخدام المعادلة (4) أمكن حساب نصف قطر الحزمة من المعلومات التالية:

$$I = I_0 e^{-2}$$
$$I_0 = 501(mV)$$
$$I = 501 \times 0.13$$
$$I = 65.13(mV)$$

فكانت قيمة نصف قطر الحزمة تقريبا (W= 5.3mm).

I(mV)	r(mm)
15	25
19	20
24	15
32	10
78	5
501	0
86	-5
42	-10
35	-15
22	-20
16	-25

الجدول(3) العلاقة بين الشدة والبعد عن مركز الحزمة لليزرالنديميوم ياك ذو القدرة $p = 10mW$



الشكل (5) النمط الكاوسي لحزمة ليزرالنديميوم ياك ذو القدرة $p = 10mW$

4- تم قياس النمط الكاوسي لحزمة الليزر المنبعثة من المنظومة الانديك ذو الطول ألموجي λ=531nm والقدرة $p = 150mW$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (4) تم رسم النمط الكاوسي لهذه المنظومة في الشكل (6)، وباستخدام المعادلة (4) أمكن حساب نصف قطر الحزمة باستخدام المعلومات التالية:

$I_0 = I_0 e^{-2}(mV)$

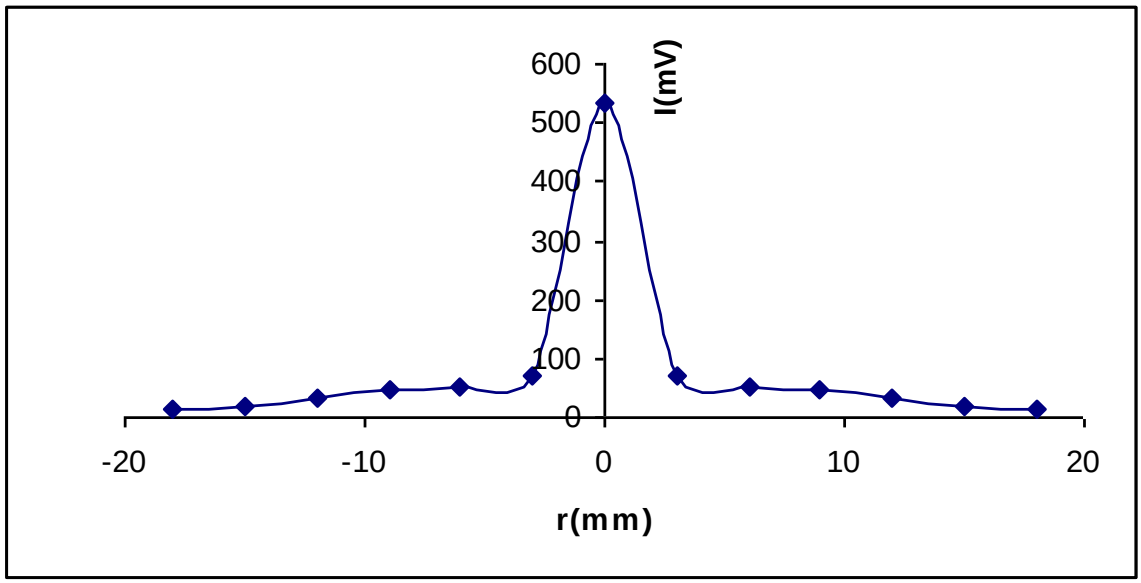
$I = 520 \times 0.13$

$I = 67.6(mV)$

فكانت قيمة نصف قطر الحزمة تقريبا (W= 4mm).

I(mv)	R(mm)
15	18
18	15
35	12
47	9
52	6
70	3
534	0
70	-3
52	-6
47	-9
35	-12
18	-15
15	-18

الجدول(4) العلاقة بين الشدة والبعد عن مركز الحزمة لليزرالنديميوم ياك ذو القدرة $p = 150mW$



الشكل (6) النمط الكاوسي لحزمة ليزرالنديميوم ياك ذو القدرة $p = 150\,mW$

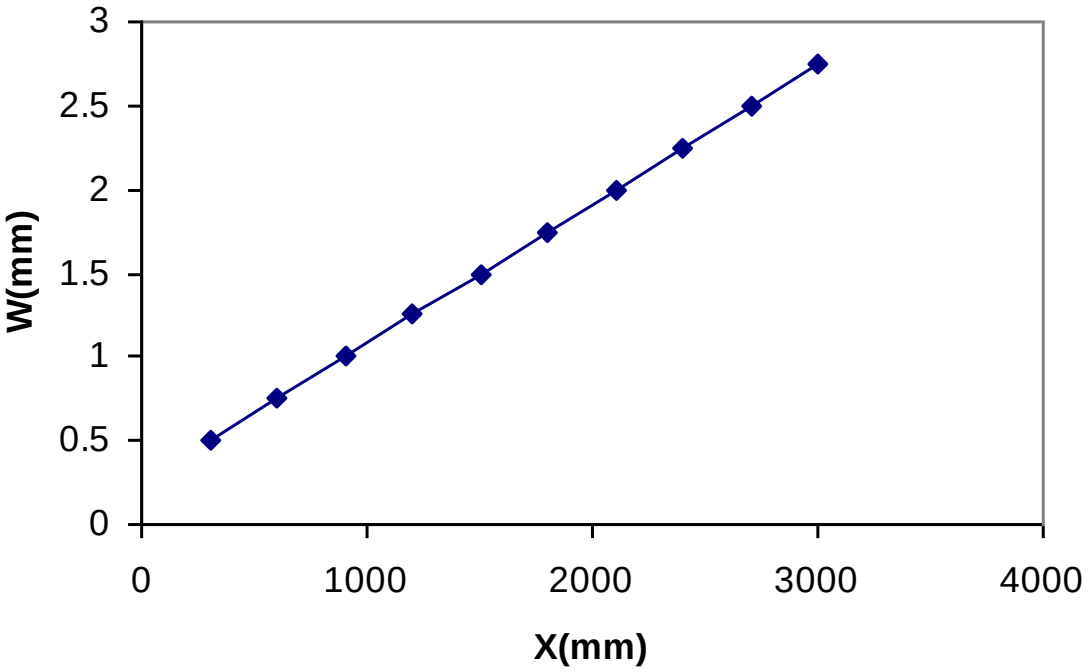
B-قياس تخصر الحزمة

بتغيير المسافة بين مصدر الحزمة (موقع التخصر) والشاشة تم قياس أنصاف أقطار الحزمة ومن خلالها أمكن الحصول على قيمة التخصر كالآتي:

1- تم قياس التخصر لحزمة الليزر المنبعثة من المنظومة هليوم النيون ذات الطول الموجي632.8nm والقدرة $p = 1mW$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (5)، تم رسم العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة و نصف قطرها والتي مثلها الشكل (7) ثم حصلنا على تخصر الحزمة والذي يمثل المقطع على المحور الصادي (0.285 mm).

W(mm)	X(mm)
0.5	300
0.75	600
1	900
1.25	1200
1.5	1500
1.75	1800
2	2100
2.25	2400
2.5	2700
2.75	3000

الجدول (5) العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة ونصف قطرها لليزر الهليوم نيون ذو القدرة $p = 1mW$

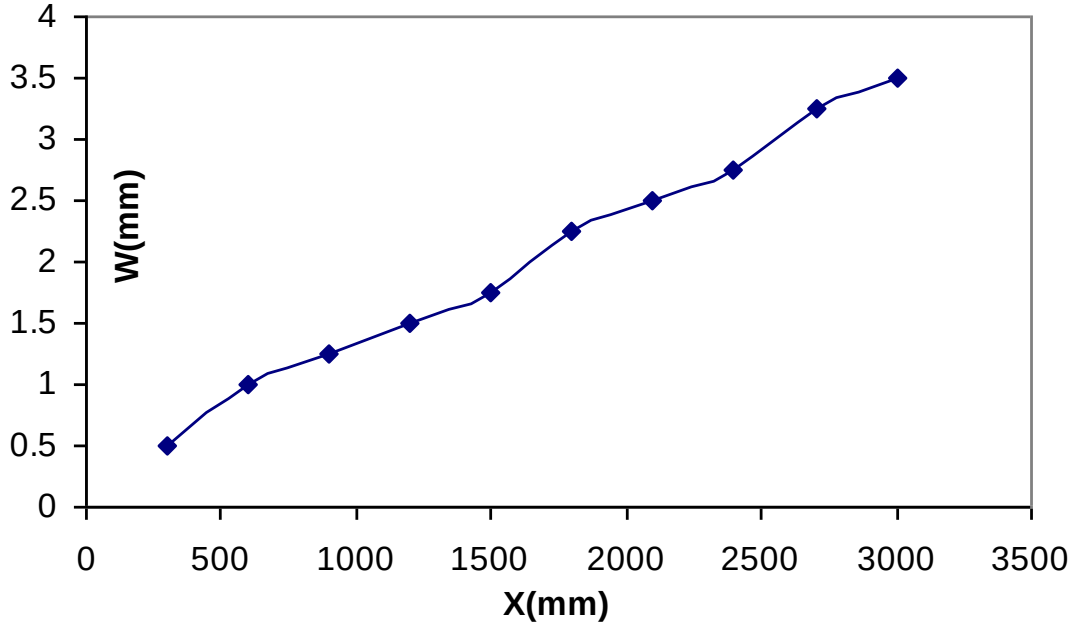


الشكل (7) العلاقة بين المسافة ونصف قطر الحزمة لليزر الهليوم نيون ذو القدرة $p = 1mW$

2- تم قياس التخصر لحزمة الليزر المنبعثة من المنظومة الليزرية الهليوم نيون ذات الطول الموجي λ=n632m والقدرة $p = 5mW$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (6)، تم رسم العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة و نصف قطرها والتي مثلها الشكل (8) ثم حصلنا على تخصر الحزمة والذي يمثل القطع على المحور الصادي (0.33 mm).

W mm	X(mm)
0.5	300
1	600
1.25	900
1.5	1200
1.75	1500
2.25	1800
2.5	2100
2.75	2400
3.25	2700
3.5	3000

الجدول (6) العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة و ونصف قطرها لليزر الهليوم نيون ذو القدرة $p = 5mW$

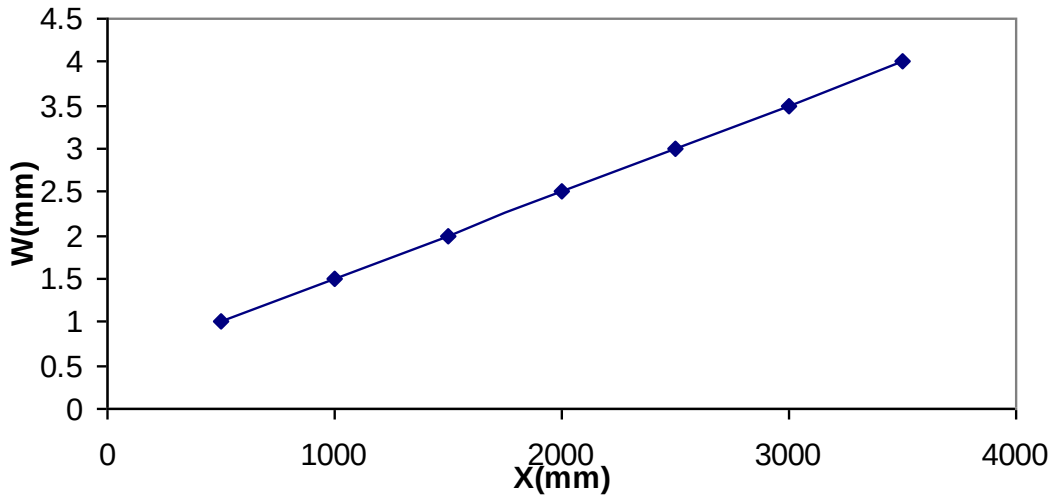


الشكل (8)العلاقة بين المسافة ونصف قطر الحزمة لليزر الهليوم نيون ذو القدرة $p = 5mW$

3 – تم قياس التخصر لحزمة الليزر المنبعثة من المنظومة الليزر النديميوم ياك ذات الطول الموجيλ=531nm والقدرة $p = 10mW$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (7) تم رسم العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة ونصف قطرها والتي مثلها الشكل (9) ثم حصلنا على تخصر الحزمة والذي يمثل القطع على المحور الصادي (0.5 mm).

W mm	X(mm)
1	500
1.5	1000
2	1500
2.5	2000
3	2500
3.5	3000
4	3500

الجدول (7) العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة ونصف قطرها لليزر النديميوم ياك ذو القدرة $p = 10mW$

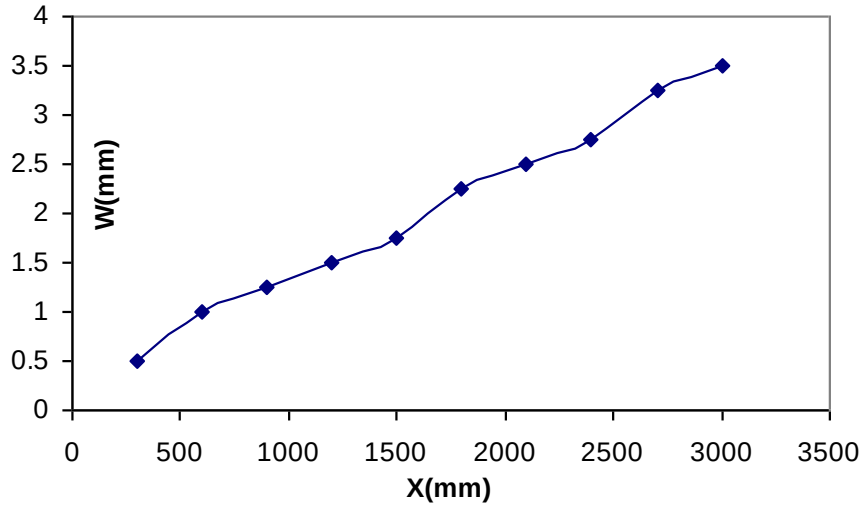


الشكل(9)العلاقة بين المسافة ونصف قطر الحزمة لليزرالنديميوم ياك ذو القدرة $p = 10mW$

4- تم قياس التخصر لحزمة الليزر المنبعثة من المنظومة الليزرية النديميو ياك ذات الطول الموجي531nm والقدرة $p = 150mW$ ومن خلال النتائج المبينة بالجدول (8) تم رسم العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة ونصف قطرها والتي مثلها الشكل (10) ثم حصلنا على تخصر الحزمة والذي يمثل القطع على المحور الصادي (1.46 mm).

W mm	X(mm)
1.5	300
2	600
2.25	900
2.5	1200
2.75	1500
3	1800
3.25	2100
3.5	2400
3.75	2700
4	3000

الجدول (8) العلاقة بين المسافة التي تقطعها الحزمة ونصف قطرها لليزرالنديميوم ياك ذو القدرة $p = 150mW$



الشكل(10) العلاقة بين المسافة ونصف قطر الحزمة لليزرالنديميوم ياك ذو القدرة $p = 150\,mW$

3-المناقشة والاستنتاجات:

تتميز دراسة المنظومات الليزرية بالكثير من التعقيد وذلك لكثرة المعاملات التي تؤثر بعملها، حيث إن طبيعة الوسط الفعال تؤثر كثيرا في خواص الحزمة وكذلك تؤثر في كفاءة المنظومة.

في هذه الدراسة تم التعرف على بعض خواص حزمة الليزر لأربعة منظومات ليزرية موجودة في مختبرات قسم فيزياء الليزر في كلية العلوم للبنات في جامعة بابل، وهي جزء من دراسة تتضمن تأثير زمن التشغيل الطويل لهذه الأجهزة على كفاءتها وعلى خواص حزمة الليزر الناتجة منها.

وقد تبين إن المنظومات ذات القدرة العالية نسبيا تتميز بمواصفات للحزمة أفضل وهذا ما كان واضحا في منظومة االنديميوم ياك ذات القدرة 150 mW حيث كانت النتائج تشير إلى إن الشكل الكاوسي للحزمة كان أقل المنظومات استعراضا وهذا يؤكد إن هذه المنظومة تنتج حزمة ليزر بزاوية انفراج قليلة بالقياس مع المنظومات الأخرى.

أما الليزرات التي تعمل بقدرات أوطأ مثل (1 mW) او (5 mW) فأنها تنتج حزمة ليزرية كان النمط الكاوسي لها ذو استعراض واسع قياسا مع المنظومات الأعلى قدرة، وهذا يؤدي الى إن زاوية الانفراج لها تكون كبيرة.

ومن قياس تخصر الحزمة لاحظنا إن الأنظمة التي تعمل بقدرات عالية تمتلك تخصر حزمة كبير قياسا بالتي تعمل بقدرات واطئة وهذا لزيادة الكفاءة عند زيادة القدرة كما في المنظومة ذات القدرة (10 mW) والمنظومة ذات القدرة (150 mW).

ومن النتائج العملية المهمة في هذه الدراسة إن استعراض النمط الكاوسي (نصف قطر الحزمة) للمنظومات الليزرية الخاضعة للدراسة يتناسب عكسيا مع تخصر الحزمة لها وبالتالي فأن زاوية الانفراج سوف تتناسب تناسب عكسيا أيضا مع تخصر الحزمة وهذا يطابق النتائج النظرية التي يمكن الحصول عليها من العلاقتين (3) و (4) وكان ذلك واضحا من النتائج التي ظهرت في هذه الدراسة لجميع المنظومات الليزرية.

4-المصادر

Ready, J. F. Industrial Application of lasers, Academic press, New York 1978.
http://www.mrl.columbia.edu/ntm/level1/ch02/html/l1c02s02.html.

http://www.britannica.com/EBchecked/topic/330874/laser/256339/Laser-beam-characteristics#.

Lucie (Doctoral Degree Programme), Supervised by: Otakar Wilfert, "Spectral and geometric properties of laser beam in relation to laser diode operating temperature", (2007).

فيزياء الليزر، د. سهام قندلا، جامعة بغداد، 1988.

ضوئيات الكم والليزر، د. خالد عبد الحميد الخطيب و د. وليد خلف حمودي، الجامعة التكنلوجية، (1989).

الليزرات وتطبيقاتها، بيسلي، ترجمة (جاسب عبد الحسين)، جامعة البصرة، (1988).