

## تشغيل ودراسة خواص ليزر ثاني اوكسيد الكربون المستمر

لطفي علي محمود      عواطف صابر جاسم      هاني هادي احمد  
قسم الفيزياء ، كلية التربية      قسم علوم الحاسبات، كلية      قسم علوم الحاسبات، كلية  
العلوم      العلوم      العلوم  
جامعة تكريت      جامعة تكريت

المؤتمر العلمي السنوي الأول لكلية التربية الأساسية (٢٣-٢٤/أيار/٢٠٠٧)

### ملخص البحث :

تم في هذا البحث ترصيف وتشغيل ودراسة خواص منظومة ليزر ثاني اوكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) المستمر ، حيث أجريت عملية ترصيف وتشغيل للمنظومة المستخدمة مع أفضل شروط للتشغيل ، وتم الحصول على قدرة خرج ليزري (2.40W) عند ضغط (35mbar) وتيار (30mA) والفولتية المطبقة (5kV) كما تم دراسة تأثير ضغط مزيج الغاز الكلي وتيار التفريغ الكهربائي على معدل القدرة الخارجة، بعدها تم دراسته تحليل بلازما الليزر للمنظومة العاملة اعتماداً على علاقات رياضية ومقارنتها مع القيم العملية التي تم الحصول عليها للتأكد من عمل المنظومة بالشكل المطلوب.

### Operation and Study Characterize(CW) CO<sub>2</sub> Laser

**Lutfe A.Mahmod**      **Auatf S.Jassem**      **Hani H. Ahmed**  
*Phisics*      *Computer science*      *Computer science*  
*department/College of*      *department/College of*      *department/College of*  
*science*      *science*      *science*  
*University of Tikret*

### Abstract:

In this work a commercial (CW) CO<sub>2</sub> laser has been operated and characterized, Where a power of up to (2.40 W) has been achieved at a pressure (35 mbar) , a current of (30 mA) and an applied voltage of (5kV) . The effect of the pressure and the current on out put power has been studied. Also the laser plasma has been studied theoretically and compared with the experimental values to insure the best operation of the laser tube.

## المقدمة

اكتشف ليزر الياقوت عام (1960) من قبل العالم (Maimen) وكان من النوع النبضي ، وعلى ضوء التطور العلمي والتكنولوجي تم بناء ليزرات كثيرة تختلف من حيث أوساطها ، الفعالة عن بعضها البعض ، فقد تكون هذه الأوساط (صلبة ، سائلة ، شبه موصله، غازية) وبالتالي فإن اختلاف هذه الأوساط يسبب توليد أشعة ليزرية بأطوال موجية مختلفة<sup>(1)</sup>. وفي عام (1964) صمم العالم (Patel) أول ليزر ثاني أكسيد الكاربون بقدرة خرج ليزري (1mW)<sup>(2)</sup> ، حيث يصنف هذا الليزر ضمن الليزرات الغازية الجزيئية وذلك لأن الوسط الفعال عبارة عن جزيئات ثاني أكسيد الكاربون المتهيجة التي تستطيع تضخيم الأشعة الكهرومغناطيسية بطول موجي معين عند توفر شرط التوزيع العكسي<sup>(3)</sup>.

تعتبر ليزرات ثاني أكسيد الكاربون من الليزرات المهمة بسبب قدرتها العالية وكفاءة ادائها التي تصل الى (30%) وقابليتها على العمل بالنمطين النبضي والمستمر وقد تصل القدرة الى ملايين الواطات عند التشغيل النبضي والى عشرات الآلاف من الواطات عند التشغيل المستمر (CW) وبطول موجي (10.6 μm)<sup>(4)</sup> .

ويمكن القول ان التوزيع المعكوس بين أي مستويين في الغاز يحدث تحت أحد أو كلا

الشرطين الآتيين:

1. إن معدل التهيج للمستوى العلوي أكبر مما هو للمستوي السفلي .
  2. إن عمر المستوى العلوي أطول من عمر المستوى السفلي .
- والشرط الثاني من الشروط المهمة في تشغيل الليزر بالنمط المستمر<sup>(6)</sup>.

## 2. الجزء العملي

### 2.1 منظومة ليزر ثاني أكسيد الكاربون المستمر

منظومة ليزر (CO<sub>2</sub>) المستمر المستخدمة في البحث مجهزةً من قبل شركة (PHWYE) الألمانية . لذا فإن المنظومة تحتاج الى عملية فرصيف وتشغيل ومن ثم دراسة بعض العوامل المؤثرة على القدرة الخارجة، وتتكون من الأجزاء الآتية الشكل (1):

1. أنبوب التفريغ الكهربائي: وهو أنبوب زجاجي مزدوج (Double jacket) طوله (50cm)

وقطره الداخلي (1cm) وهو أنبوب سريان خليط الغازات المتكون من غازات ( : CO<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> )

(He) والأنبوب الخارجي المغلف للأنبوب الداخلي يمر فيه ماء التبريد للمنظومة، توجد على

أطراف الأنبوب الأقطاب الموجبة والمسافة بينها (34cm) وفي مركز الأنبوب يوجد القطب

السالب اذ تكون المسافة بين بينه وبين الأقطاب الموجبة (17cm) والأنبوب مزود بفتحات

جانبيهة لدخول وخروج الماء والغازات ، ولغلق الأنبوب نستخدم نوافذ بروسستر ( Brewster )

- Windows) مصنوعة من مادة (ZnSe) ويتم مسك الأنبوب والسيطرة على حركته باستخدام ماسك ثلاثي النقاط (Tri – point).
2. المرنان: ويتالف من مرآتين إحداهما (الخلفية) عبارة عن مرآة مستوية مصنوعة من السليكون (Si – Plano mirror) تامة الانعكاسية قطرها (25.4mm) ويفضل استخدام المرايا المعدنية كمرايا خلفية بسبب الانعكاسية العالية للمعادن للأطوال الموجية تحت الحمراء حيث تصل الى حوالي (99.8%)<sup>(7)</sup> ، أما مرآة الخرج (الأمامية) وهي مرآة مقعرة مصنوعة من مادة سلتيد الخارصين (ZnSe – Plano / concave mirror) انعكاسيتها تصل إلى (95 %) وقطرها (25.4cm) ، وأن تفضيل استخدام مرايا (ZnSe) كمرايا خرج يعود الى النفاذية العالية لها عند الطول الموجي (10.6μm) وهي ذات صلابة عالية ولا تذوب في الماء<sup>(7)</sup> . والمرايا مزودة باطار معدني او حامل له لولب من الاعلى والاسفل وذلك للتحكم بحركة المرايا باتجاه (X,Y) ولأغراض الترصيف البصري.
3. **مجهز القدرة العالية (H.V-DC-Power Supply):** يقوم بتحويل التيار الكهربائي من تيار متناوب (AC) و (220V) الى تيار مستمر (DC)، (5kV / 60mA).
4. **صندوق من المقاومات الكابحة (Ballast Resistors):**
5. **منظومة التفريغ (Vacuum System):** تستخدم للتخلص من نواتج تحلل الغازات داخل انبواب التفريغ الكهربائي ، وتتكون من مضخة دوارة (Rotary pump) مربوطة الى قياس الدرجة الفراغ (Vacuum gauge) وهو مربوط بدوره الى عداد رقمي لقياس درجة الفراغ ، ولتوصيل المضخة الدوارة مع مقياس الفراغ ومع انبواب التفريغ الكهربائي تستخدم انابيب من المطاط محكمة الافراغ عند نقطة التوصيل ، كما تم ربط الطرف الخارج من مضخة التفريغ بأنبوب توصيل من المطاط الى خارج المختبر لطرد نواتج لتفريغ الكهربائي.
6. **منظومة دوران الماء:** تستخدم لتبريد أنبوب التفريغ الكهربائي ، وهي عبارة عن خزان مائي مصنوع من البلاستيك سعته (10Liters) مزود بمضخة ماء (Water pump) لدفع الماء الى أنبوب التفريغ الكهربائي ومن ثم رجوعه إلى الخزان مرة ثانية ، وهو مربوط الى مقياس خاص لقياس سرعة جريان الماء (Flow meter).
7. **لوحة السيطرة :** مثبت عليها مقياس لسرعة جريان الماء والغاز وعداد رقمي لقياس ضغط الغاز ، كذلك مقياس لقياس درجة حرارة انبواب التفريغ الكهربائي (thermometer).
8. **منضدة بصرية (Optical bench):** لحمل أجزاء الليزر مصنوعة من الفولاذ طولها (130cm) مزودة بحافات جانبية لتثبيت أجزاء الليزر وحركتها في جميع الاتجاهات.
9. **أسطوانة غاز (50L/200bar) :** تحتوي على خليط غازات (CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He) مخلوطة بنسبة ثابتة (4.5:13.5:82%) ولأسطوانة مزودة مقياس ضغط بوحدة (bar) وصمام أبري للتحكم

يفتح وغلق الغاز ، موصلة إلى وحدة السيطرة بأنبوب مطاطي محكم الإغلاق عند نقطة التوصيل.

10. ليزر هليوم – نيون: ذو قدرة خرج (1mW) مع شاشتين معدنيتين تحتوي كل منهما على ثقب مركزي قطره (1mm) ،تستخدم لأغراض الترصيف البصري قبل تشغيل المنظومة.

11. مقياس لقياس قدرة الخرج الليزري (Power meter): ذو المدى (30mW/ 10W).

## 2.2 ترصيف المنظومة

لغرض ترصيف المنظومة (Alignment) يستخدم ليزر هليوم- نيون (He-Ne) لكونه متوفر ومرئ (أحمر) ومستمر ذو قدرة واطئة نسبياً (أمين) وانفراجية قليلة<sup>(7)</sup>. ان اجراء الترصيف مهم جداً حيث بإمكانه تقليل القدرة الخارجة او منع العملية الليزرية حيث استخدم في عملية الترصيف ليزر هليوم – نيون ذو قدر (1mw) مع شاشتين معدنيتين تحتوي كل واحدة منهما على ثقب مركزي قطره (1mm) توضع واحدة امام ليزر هليوم – نيون والأخرى في نهاية المسطبة البصرية كما موضح في الشكل (2) ويمكن إجراء الترصيف باتباع الخطوات الآتية :

1. رفع أنبوب التفريغ الكهربائي والمرايا ومقياس القدرة من المنضدة البصرية.
2. تحديد ارتفاع الثقب على الشاشات المعدنية وضبطها مع ارتفاع المرايا وهي (95mm).
3. تشغيل ليزر هليوم – نيون وجعل حزمته تمر من الثقب الأول والثاني مباشر.
4. تثبيت مرآة السليكون المستوية على المنضدة البصرية وتحريكها باتجاه (X,Y) حتى تنعكس الحزمة وتعود الى ليزر هليوم – نيون من الثقب الأول.
5. تثبيت مرآة (ZnSe) المستوية / المقعرة بحيث تشكل مع مرآة السليكون المستوية نوعاً من مقياس التداخل (Fabry – Perrot) وظهور حلقات مضيئة و مظلمة على الشاشة الأولى حول الثقب المركزي ، وبضبط مرآة (ZnSe) وجعل الحزمة تنعكس وتعود مرة ثانية الى ليزر هليوم – نيون من خلال الحركة باتجاه (X,Y) ،خلال هذا الأجراء نحجب مرآة السليكون.
6. تثبيت أنبوب الليزر على المنضدة البصرية ثم نرفع نوافذ بروستر الاولى الثانية ،وضبط الأنبوب من ماسكة الثلاثي النقاط (Tri – point) حتى الحزمة تمر من مركز الأنبوب بدون لمس الجدران ، ثم نعيد تغطية نوافذ بروستر ، ونجعل الحزمة تمر من مركز نوافذ بروستر الاولى والثانية ، من خلال الحركة بواسطة الماسك الثلاثي النقاط.
7. نغطي أنبوب الليزر بواسطة الشاشة الشفافة ، سوف تظهر لنا بقعتين والتي تمثل انعكاس حزمة هليوم نيون بواسطة نوافذ بر وستر نحدد نقطة تقاطع البقعتين من خلال رفع خفض

الشاشة الشفافة ، ثم نجعل البقعتين يتداخل فوق مركز أنبوب الليزر وذلك بفتح إحدى نوافذ بر وستر وتحريكهما مع مراعاة للأخرى ، إذا حزمة ليزر هليوم – نيون تمر داخل الأنبوب بصورة مثالية فان البقعتين يجب ان يكونا متساويتان في السطوح تقريباً.

8. نعيد تركيب مقياس القدرة (Powermeter) في مكانه المناسب أمام مرآة الخرج (ZnSe) ونثبتته على المنضدة البصرية.

### 2.3 أفضل شروط للتشغيل

بعد إجراء عملية ترصيف المنظومة وحسب الخطوات أعلاه، يتم تشغيل المنظومة باتباع خطوات التشغيل ، تم الحصول على أفضل قدرة خرج ليزري (2.40W) مع أفضل شروط للتشغيل وهي موضحة في الجدول رقم (1) .

الجدول (1) يوضح أفضل شروط للتشغيل

ت	المعاملات	الشرط
1	ضغط التفريغ	2 mbar
2	ضغط الغاز على الاسطوانة	1 bar
3	المسافة بين المرايا	58 cm
4	التيار	30 mA
5	الفولتية	5 kV
6	ضغط الغاز الكلي	35mbar
7	سرعة جريان الماء	0.5L / min
8	سرعة جريان الغاز	1L / min
9	نسبة خلط الغازات (ثابتة)	CO <sub>2</sub> =4.5%,N <sub>2</sub> =13.5%,He=82%

وتم دراسة:

- تأثير ضغط الغاز على القدرة الخارجة.
- تأثير تيار التفريغ على القدرة الخارجة.
- دراسة معاملات بلازما الليزر.

### 3. النتائج والمناقشة

#### 3.1 تأثير ضغط خليط الغازات على القدرة الخارجة

الشكل (3) يوضح تغير قدرة الخرج الليزري مع ضغط الغاز عند قيمة مثلى لتيار التفريغ (30mA) والفولتية المطبقة (5kV) ، نلاحظ من الشكل ، ابتداءً من القيمة المثلى للضغط (35mbar) أنه كلما قل ضغط الغاز فأن القدرة الخارجة لليزر (CO<sub>2</sub>) تقل الى قيمة معينة للضغط تنقطع عندها قدرة الخرج الليزري لأن جزيئات الغاز تكون قليلة وغير كافية لأحداث التفريغ الكهربائي الذي يتناسب مع التيار المطلوب والفولتية المطبقة

#### 3.2 تأثير تيار التفريغ على القدرة الخارجة:

الشكل(4) يوضح تأثير تيار التفريغ على معدل قدرة الخرج لليزر عند قيمة مثلى للضغط هي (35mbar) والفولتية المطبقة هي (5kV) حيث يلاحظ من الشكل ابتداءً من القيمة المثلى للتيار أنه لما قل التيار فأن القدرة الخارجة تقل تبعاً لذلك الى قيمة معينة لتيار التفريغ التي ينقطع عندها التفريغ الكهربائي مما يؤدي الى انقطاع قدرة الخرج الليزري لأن التيار يكون قليل وغير كافي لأحداث عملية التفريغ في الغاز.

#### 3.3 دراسة معاملات بلازما الليزر

يكون التفريغ الكهربائي للمنظومة العاملة هو من نوع التفريغ ذو الإدامة الذاتية ( Self Sustaining Discharge ) ، لذا فأن قيمة (E/N) المتوقعة هي (  $E/N=4.9 \times 10^{-16}$  ) (8) ، حيث (E) يمثل شدة المجال الكهربائي المسلط بين الاقطاب و(N) يمثل عدد جزيئات الغاز في التفريغ الكهربائي. ولكون هذا النوع من التفريغ من نوع التفريغ التوهجي (Glow Discharge) وأن قيمة أزواج (الكترن - ايون) ، (e-i Rairs) يكون بحدود  $N_e$  ( $=4 \times 10^{10}$ ) cm<sup>3</sup> (8) ، عندئذ يمكن التعبير عن كثافة التيار كما يأتي :

$$J=N_e \cdot e \cdot v_d \dots\dots\dots (1)$$

حيث أن :

$v_d$  : تمثل سرعة الانجراف (Drift velocity) للإلكترونات في التفريغ الكهربائي وهي بحدود ( $v_d = 5.49 \times 10^6 \text{ cm/sec}$  وهذه تعتمد على قيمة  $E/N$ ).

حيث أن  $e$ : شحنة الإلكترون تساوي  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Columb}$   
لذا فإن كثافة التيار تسكون :

$$J = 35 \times 10^{-3} \text{ A / cm}^{-3}$$

وبما ان قطر انبوب التفريغ الكهربائي الداخلي بحدود (1 cm) لذا فإن تيار التفريغ الكهربائي يساوي :

$$I = 35 \text{ mA} \times (\pi r^2)$$

حيث ان  $r$  : نصف قطر أنبوب التفريغ الكهربائي  $r=0.5$   
 $\pi$  : النسبة الثابتة  $\pi = 3.14$

$$I = 27.5 \text{ mA}$$

وهذه القيمة قريبة من الناتج العملي وهو ( $I = 30 \text{ mA}$ ) ، وان التقارب بين القيم النظرية والعملية يؤكدان حالة البلازما كانت من نوع (Glow Discharge) وان قيمة الالكترونات المتحررة يقارب المفترض نظريا<sup>(8)</sup> .  
الآن بما ان قيمة المجال الكهربائي تساوي :

$$E = (E/N) \times N \dots\dots\dots(2)$$

حيث  $N$  تساوي:

$$N = P / KT \dots\dots\dots(3)$$

حيث ان :

$P$  : ضغط الغاز الكلي ومن الناتج العملي  $P = 35 \text{ mbar}$

$K$  : ثابت بولتزمان  $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J . K}^{-1}$

$T$  : درجة حرارة التفريغ الكهربائي وتساوي تقريبا  $T = 400 \text{ K}$  تقريباً

لذا فإن :

$$N = \frac{35 \times 10^{-3} \times 10^5 \text{ Nt/m}^2}{1.38 \times 10^{-23} \text{ J . K}^{-1} \times 400 \text{ K}}$$

$$N = 6.34 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

وبتعويض قيمة  $E/N$  و  $N$  في المعادلة (2) نحصل على :

$$E=4.9 \times 10^{-16} \text{V.cm}^2 \times 6.34 \times 10^{17} \text{.cm}^{-3}$$

$$E= 310 \text{ V/cm}$$

ولما كانت المسافة بين اقطاب المنظومة هي ( $L=34\text{cm}$ ) فإن الفولتية المطبقة تكون بحدود :

$$V=E \times L \dots \dots \dots (4)$$

$$V=10.54\text{kV}$$

من هذه الحسابات يتضح ان القيمة النظرية هي ( $10.5\text{kV}$ ) وهي تقريباً ضعف القيمة

العملية ( $V=5\text{kV}$ ) وهذا يعود الى ان التفريغ الكهربائي يتم بين الاقطاب التوصيل (1) مع

الأرض و(2) مع الأرض والمسافة بين كل قطبين هي ( $L= 17\text{cm}$ )، لذا فإن العلاقة (4)

تكتب كالآتي:

$$V=5.27\text{kV}$$

وهذه القيمة قريبة من الناتج العلمي ( $V=5\text{kV}$ ) حيث ممكن اعتبار المنظومة عبارة

عن أنبوبين من الليزر متطابقان مع بعضهما وهذا يؤكد الحصول على تفريغ مدام ذاتياً عند

الضغط ( $P=35\text{m bar}$ ) والفولتية بحدود ( $V=5.27\text{kV}$ ).

ان الطاقة الكهربائية الداخلة للمنظومة تساوي :

$$P_{in} = IV \dots \dots \dots (5)$$

$$P_{in} = 27.5 \times 10^{-3} \text{ A} \times 5.27 \times 10^{-3} = 145 \text{ Watt}$$

ولما كانت الكفاءة الكمية ( $\eta$ ) لليزر ( $\text{CO}_2$ ) هي ( $39.9\%$ ) وهذا يأتي من العلاقة

الآتية<sup>(8)</sup>:

$$\eta = E_2 - E_1 / E_2 \dots \dots \dots (6)$$

حيث أن  $E_2$  : تمثل مستوى طاقة الليزر العلوي و  $E_1$  : يمثل مستوى الطاقة الليزر السفلي

ولما كانت انعكاسية مرآة الخرج هي ( $95\%$ ) أي ان النفاذية هي ( $5\%$ ) فقط ، لذا فان الطاقة

الضوئية المتوقعة للخروج من هذا الليزر هي <sup>(8)</sup> :

الطاقة الضوئية = الطاقة الكهربائية الداخلة × الكفاءة الكمية × نفاذية مرآة الخرج

$$P_{out} = 145 \times 0.399 \times 0.05$$

$$P_{out} = 2.89 \text{ Watt}$$

وهذه القيمة قريبة من الناتج العملي حيث كانت ( $P_{out} = 2.40 \text{ Watt}$ ).

لغرض حساب المقطع العرضي لتفريغ جزيئات المزيج ( $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ ) في هذا الليزر يمكن

استخدام المعادلة الآتية<sup>(8)</sup>



$$\delta = \frac{2}{N.L} \dots\dots\dots (7)$$

حيث (N) تمثل تركيز الجزيئات في الخليط و (L) طول الوسط الفعال.

$$\delta = \frac{2}{6.34 \times 10^{17} \times 0.18 \times 34}$$

$$\delta = 5.1 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$$

كما أن معامل ربح العتبة (Threshold Gain Coefficient) ممكن حسابه من المعادلة الآتية<sup>(8)</sup>:

$$\gamma = \frac{1}{2L} \ln \left( \frac{1}{R_1 R_2} \right) \dots\dots\dots (8)$$

حيث :

L : طول الوسط الفعال (L=34cm).

R<sub>1</sub> : انعكاسية مرارة الخلية (R<sub>1</sub>=1).

R<sub>2</sub> : انعكاسية مرارة الخرج (R<sub>2</sub> = 0.95).

$$\gamma = \frac{1}{2 \times 34} \ln \left( \frac{1}{1 \times 0.95} \right)$$

$$\gamma = 0.0005 \text{ Cm}^{-1}$$

والحساب التوزيع العكسي لحد العتبة لهذا الليزر من المعادلة<sup>(8)</sup>

$$N_{th} = \frac{\gamma}{\delta} \dots\dots\dots (9)$$

$$N_{th} = \frac{5 \times 10^{-4}}{5.1 \times 10^{-19}} \approx 9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

من هذه القيم يتضح ان الضغط (35 mbar) كان كافيا لتوفير توزيع عكسي ملائم لهذه القدرة.

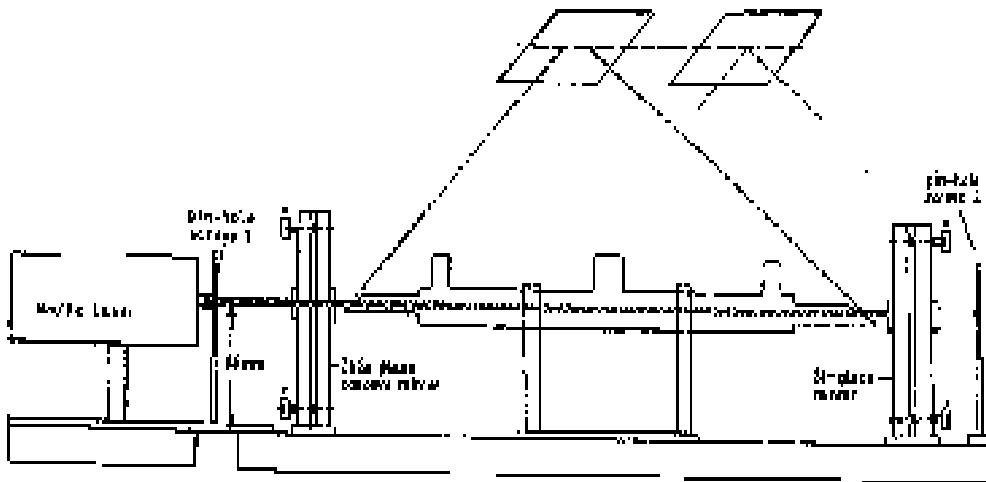
#### 4. الاستنتاجات

يمكن تلخيص الاستنتاجات التي تم الحصول عليها في البحث كما يلي :

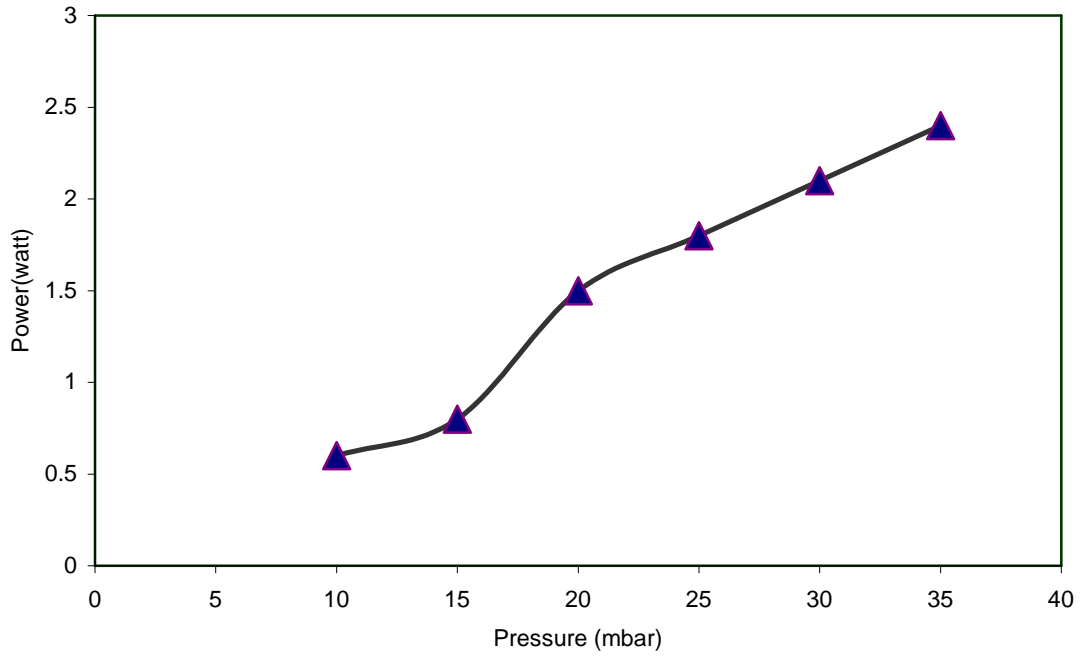
1. هناك شروط مثلى لتشغيل الليزر تعتمد بعضها على بعض حيث بإمكانها التقليل أو الزيادة في قدرة الخرج لهذا يجب اختيار الشرط الأمثل الذي تعمل عنده المنظومة بأفضل قدرة.
2. تطابق القيم العملية مع قيم النظرية المحسوبة بالنسبة لشروط التشغيل المثلى مما يدل على ان المنظومة تعمل بحالة جيدة وبالشكل المطلوب.



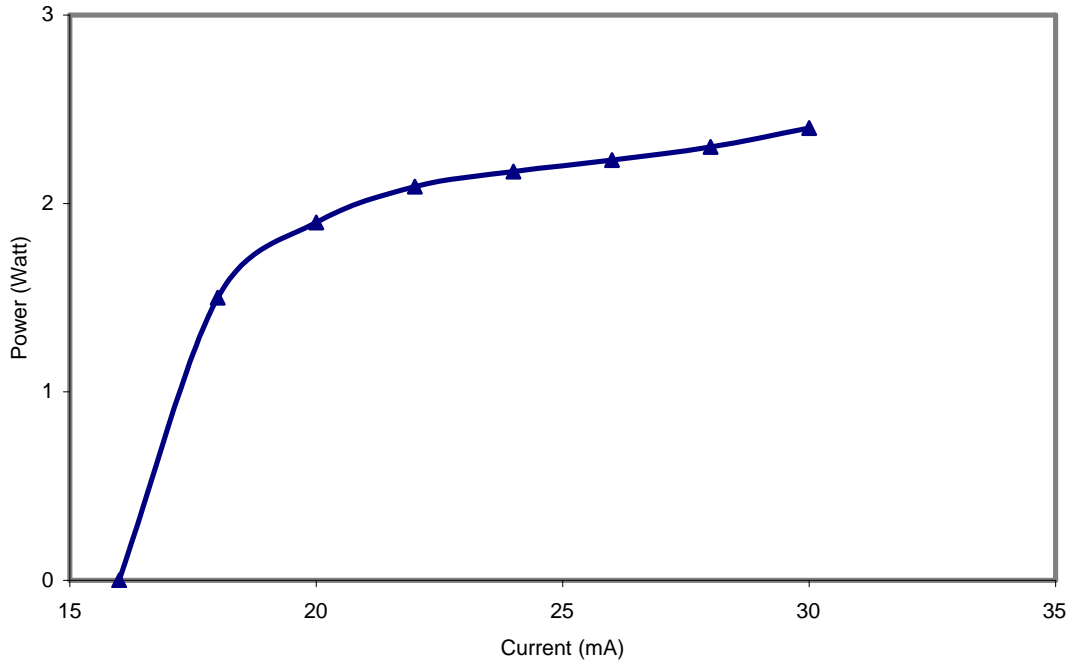
الشكل (1) يوضح منظومة ليزر ثاني اوكسيد الكربون.



شكل(2) يوضح اجراء الترصيف لمنظومة ثاني اوكسيد الكربون المستمر.



شكل (٣) تغير قدرة الخرج الليزري مع ضغط الغاز.



شكل (٤) تغير قدرة الخرج الليزري مع تيار التفريغ الكهربائي.

## المصادر

1. T. H .Maimam, Nature .vol.187,P.493,1960 .
2. Privet Paper , “under Stade CO<sub>2</sub> laser” , Internet,2002 .
3. E.P Velikhov , Men. USSR Acad. ., MIR publishers, (1981) ,  
“molecular gas laser and applications” , Ch.5 ,PP.1847 .
4. B.E .Cherringfon “Gaseous electronics and gas laser ,”  
Dergamon press (1979) ,vol. 94 , Ch.12 , PP. 210 .
5. Privet paper, “Sealed CO<sub>2</sub> Laser Application,” Internet 2003.
6. Svelto, O, “Principles of Laser ,” 3<sup>rd</sup> Edition , plenum press (New  
York) ,1989.P.270 .
٧. ناصر محمود احمد الراوي "تصميم وبناء منظومة ليزر غازية للأغراض الصناعية" رسالة  
ماجستير مقدمة الى قسم العلوم التطبيقية / الجامعة التكنولوجية (1988).
8. J.J.L Lowke ,A.V.Phelpe , and B.W.Irein , " Predicted Electron  
Transport Coefficients and Operating Characteristics CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He  
Laser Mixing ," J.Appl.Phys . 44(10), 4464-4471,(1973).