تحديد القدرة المثلى لليزر ثاني اوكسيد الكاربون الجزيئي المستمر

أنور مصطفى عزت الفيضي
قسم الفيزياء / كلية العلوم

زياد طارق احمد محمد القاضلي
قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

الاستلام
09/11/2006

القبول
09/05/2007

ABSTRACT

Some parameters and their effects on CO_2 laser output were studied in this research. This has been done through studying the effect of gases mixture pressure inside the electrical discharge tube and effect of electrical discharge current. Calculating (E/N) through molecular population using the optimum power parameters of the molecular laser CO_2, was done. The theoretical value of output power and this value were compared with the practical value.

It was found that the optimum operating conditions for the system were (35 mbar) as an operating pressure and (25 mA) as discharge current, where the velocity of the cooling water flow rate was $(0.55\ liter/\min.)$. System efficiency in the optimum operating cases of CW CO_2 laser reached (1.7%) and system output power was (0.765 Watts). The best value of the factor (E/N) of the system has been determined and found to be (3.42×10^{-16} V.cm^2) which is near the international calculated standard value of CO_2 laser systems (4.5×10^{-16} V.cm^2).

الخلاصة

جرى في هذا البحث دراسة تأثر قدرة خرج ليزر CO_2 من جراء تغيير ضغط خليط الغازات داخل أنبوب التفريغ الكهربائي ، و تغيير تيار التفريغ الكهربائي . وجرى أيضاً حساب (E/N) من خلال تعداد الجزيئات باستخدام معلمات القدرة المثلى المكونة لمادة الليزر الجزيئي CO_2 ، والتوصل إلى القيمة النظرية لقدرة الخرج ، ومقارنة هذه القيمة مع القيمة العملية .

وقد تم التوصل إلى تحديد الظروف التشغيلية المثلى للمنظومة المستخدمة ، فكان أفضل ضغط تشغيلي لخليط الغازات عند القيمة $(35\ mbar)$ ، وأفضل تيار تفريغ كهربائي عند القيمة $(25\ mA)$ عندما كانت سرعة انسياب ماء التبريد $(0.55\ liter/\min.)$ ، كما

وجد بان أفضل قدرة خارجة للمنظومة المستخدمة هي (0.765 W) حيـث وصـلت كفـاءة المنظومة من خلال تشغيلها في الظروف المثلى إلى القيمة (1.7%) . كما تم تحديد أفـضل قيمة للعامل (E/N) للمنظومة فكانت بحـدود ($3.42*10^{-16}\ V.cm^2$) ، وهـي مقاربـة لأفضل قيمة نظرية لمنظومات ليزر CO_2 وهي ($4.5*10^{-16}\ V.cm^2$).

المقدمة

يصنف ليزر ثاني أوكسيد الكربون ضمن الليزرات الجزيئية ، ويعـد من أكفئها – بعد ليزر أول أوكسيد الكربون [1] – إذ تصل كفاءته التشغيلية(Working Efficiency) في بعض المنظومات التي تعمل بالنمط المستمر (CW-Mode) إلى (30%) . أما في المنظومات التي تعمل بالنمط النبضي (Pulse-Mode) فتصل كفاءة التشغيل إلى (10%) [2] ، ويمتاز ليزر CO_2 بإمكانية إنتاجه لقدرات عالية مقارنةً مع كثير من الليزرات الغازية فضلاً عن إمكانية تصنيعه بأحجام مختلفة . إن الأطـوال الموجيـة الناتجـة من عملية الفعل الليزري في ليزر CO_2 تقع ضمن المنطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي وبالتحديد عند الطولين الموجيين (الأكثر شيوعا) (10.6 µm) و (9.6 µm) [3] . و تركزت بعض البحوث التي قام بها العلماء والباحثون مثل (Artamonov et al ,1981) [15] و آخرين (راجع المصدر 14) على إمكانية الحصول على أعلى قدرة خرج ممكنة من المنظومات المستخدمة ، وبالتالي كان هدفهم هـو تحسين كفاءة أداء تلك المنظومات[14].

يهدف هذا البحث إلى دراسة و تحديد بعض المعلمات المؤثرة في قدرة خرج المنظومة وبالتالي في كفاءة أداء المنظومة للتوصل إلى أفضل شروط تشغيلية للمنظومة ، والمعلمات التي تم دراستها هي: ضغط مزيج الغازات المستخدم داخل أنبوب التفريغ ، وتأثير تيار التفريغ الكهربائي و كذلك دراسة خصائص بلازما ليزر CO_2 من خلال بعض من تلك المعلمات التي تم التوصل إليها و مقارنة النتائج العملية بمثيلتها النظرية.

الجزء النظري

تعمل ليزرات الغازات الجزيئية معتمدةً على الانتقالات بين مستويات الطاقة للجزيئة ، و ليزر CO_2 يمثل احد أنواع هذه الليزرات، حيث الغاز الرئيسي فيه هو غازCO_2 (جزيئة ثاني اوكسيد الكربون جزيئة ثلاثية (Triatomic Molecule) تتكون من ذرتي أوكسجين وذرة كربون ، وهي جزيئة خطية بسيطة التركيب تقع كل ذراتها على محور واحد) مضاف إليه غازي النتروجين و الهليوم وبنسب خلط (4.5%,13.5%,82%) على التوالي لزيادة كفاءته

حيث يسهم كل من He, N_2 في رفع كفاءة التوليد بدرجة كبيرة [4]. وتعتمد نسب خلط هذه الغازات على عوامل عديدة منها: الضغط الكلي للخليط الغازي ، ودرجة حرارة الغاز التي بدورها تؤثر في القدرة الخارجة للّيزر و تيار التفريغ الكهربائي [14]. يحدد ضغط خليط الغازات كثافة جزيئات الوسط الفعال داخـل أنبوب التفريغ الكهربائي، وبالتالي يتحدد مقدار فولتية التفريغ اللازمة لضخها ، ويمكن تحديد قيمة قدرة الخرج الليزري ، كما يأتي : [2]

$$P_L = W_{21}.\Delta N.h\nu \qquad \ldots(1)$$

إذ أن P_L : القدرة الخارجة لوحدة الحجم (/cm^3)، W_{21} : معدل الانتقال من المستوى العلوي إلى المستوى السفلي (cm^{-3}) ، ΔN: قيمة التوزيع المعكوس الذي يمثل الفرق بين الاستيطان في المستوى العلوي والمستوى (sec^{-1}) و $h\nu$: طاقة الفوتون المنبعث(Joule) . إن الضغط الأمثل لغاز CO_2 والمفضل في منظومات ليزر CO_2 عادةً ينحصر بين (1.5-2 Torr) من مجموع الضغط الكلي الأمثل لخليط الغازات ، كما أن زيادة كفاءة التبريد عـن طريق زيادة معدل جريان الغاز ، أو بتقليل درجة حرارة الوسط الليزري سيؤول إلى قيمة مثلى عليا لضغط الغـاز [14].

يحدد تيار التفريغ الكهربائي معدل ضخ جزيئات CO_2 (التوزيع المعكوس) في أنبوب التفريغ الكهربائي بوساطة التهييج الإلكتروني المباشر، وعبر التصادم مع جزيئات N_2 المتهيجة. وتعتمد قدرة الخرج الليزري على تيار التفريغ الكهربائي الذي بدوره يعتمد على ضغط الغاز وتركيبه ، ودرجة حرارة أنبوب التفريغ و الفولتية المسلطة ، ومعدل جريان الغاز, و بتحديد القيم المثلى للضغط و لتيار التفريغ الكهربائي فانه يتبقى تحديد كثافة البلازما أو كثافة جزيئات خليط الغازات[14] .

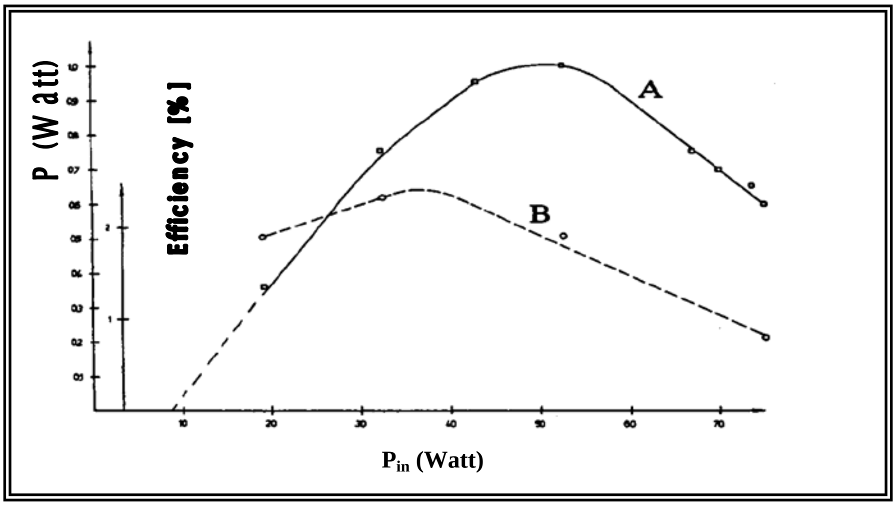
إن السيطرة علـى طاقـة إلكترونـات التفريغ الكهربائي تعتمد على العامل (E/N) (وهو نسبة المجال الكهربائي المؤثر E إلى كثافة الجزيئات لخليط الغازات الكلية N) ؛ إذ أن أفضل كفاءة ضخ تتحقق عادة عند القيم الصغيرة للنسبة (E/N) ضمن المدى $(10^{-16} - 5*10^{-16} V.cm^2)$ [16]. و عليه فانه من الضروري حساب العامل (E/N) للمنظومة كما ان قيمة تيار التفريغ الكهربائي تتأثر كثيرا بالنسبة (E/N) التي تلعب دوراً فعالاً في استقرارية بلازما الليزر ؛ إذ تعد هذه النسبة عاملاً مهماً في تحديد الكفاءة الكلية لمنظومات ليزر CO_2 ؛ لأنّها تحدد القدرة الكهربائية الداخلة إلى منطقة التفريغ الكهربائي المستخدمة في عملية التهييج [14]. إن أفضل قيمة للنسبة (E/N) تم الحصول عليها لهذا النوع من الليزرات الجزيئية انحصرت بين $(10^{-15} - 10^{-16} V.cm^2)$ التي عندها تكون القدرة الكهربائية المصروفة في عملية التهيج اكبر ما يمكن [16]. و في بعض الأحيان تؤخذ النسبة (E/P_r)

(وهي نسبة المجال الكهربائي المسلط إلى ضغط خليط الغازات الكلي) بدلا من النسبة (E/N) إذ أن (N) هي دالة لـ (P_r) ، كما في المعادلة الآتية :

$$N = \frac{P_r}{K_B . T} \quad \dots (2)$$

إذ أن K_B : ثابت بولتزمان، T : درجة الحرارة (K). ويتضح تأثير النسبة (E/P_r) من خلال القيمة المثالية لتيار التفريغ الكهربائي في ضغط معين للخليط الغازي ، وإن الحفاظ على استقرارية بلازما الليزر يتم من خلال تحقيق اقل قيمة للنسبة (E/P_r) الذي يعني أن نسبة تفكك جزيئات غاز CO_2 قليلة أيضاً.

ويوضح الشكل (A -1) دراسة تأثير قدرة الدخل في قدرة خرج الليزر عند الضغط الأمثل الذي حددته الشركة المصنعة للجهاز ، هذه الدراسة تم إجراؤها من قبل الشركة نفسها ؛ إذ يوضح المنحني (A) اعتماد القدرة الخارجة للمنظومة المستخدمة على قدرة الدخل الكهربائية التي تعتمد على تيار التفريغ الكهربائي والفولتية المسلطة (قدرة الدخل الكهربائية يمكن حسابها من حاصل ضرب الفولتية المسلطة في تيار التفريغ الكهربائي مطروحاً منها القدرة الضائعة عند مقاومتي الموازنة(Ballast Resistors)) مع بقاء حاصل الضرب (Flow*Pressure) ثابت [8] ؛ إذ يلاحظ من المنحني (A) أيضا ازدياد قدرة الخرج ابتدائياً مع زيادة قدرة الدخل إلا أنّه أثناء عبور قمة المنحني التي تمثل قدرة الدخل المثلى للمنظومة(Optimum Power Input) تبدأ قدرة الخرج بالتناقص مع ازدياد قدرة الدخل بسبب ازدياد تعجيل إلكترونات التفريغ الكهربائي ، وارتفاع درجة حرارة الوسط الليزري



الشكل (1): المنحني (A) يمثل قدرة خرج ليزر CO_2 دالة لقدرة الدخل الكهربائية.المنحني (B) كفاءة منظومة ليزر CO_2 دالة لقدرة الدخل الكهربائية.

. أما قدرة الدخل العملية فتحسب باستخدام :

$$P_{sup.} = I.V \qquad \ldots(3)$$

$(P_{sup.})$ هي القدرة الحقيقية التي يجهزها مجهز القدرة ، و(V) هي الفولتية المسلطة عند الضغط الأمثل لخليط الغازات . إن العامل الأساسي والأهم الذي يحد من قدرة الخرج في منظومات ليزر CO_2 هو عدم القدرة على إزالة الحرارة من الوسط الليزري بكفاءة[14].

ان حساب أفضل قيمة للنسبة (E/N) لمنظومات الليزر ذو اهمية كبيرة و يمكن حسابها اعتماداً على النسبة (E/P_r)، وكما يأتي :

$$P_r = N.K_B.T \qquad \ldots(4)$$

إذ أن : (P_r) : ضغط الغاز الكلي داخل أنبوب التفريغ الكهربائي ، (T) : درجة الحرارة المطلقة للبلازما داخل الأنبوب والتي يمكن حسابها من قانون ستيفان- بولتزمان [7] :

$$P_{in} = I.V = 2\pi\, r\, L_a\, .\sigma_S\, .T^4 \qquad \ldots(5)$$

إذ أن : $(V),(I)$: ظروف التشغيل المثلى ، r : نصف قطرأنبوب التفريغ الكهربائي ، L_a طول أنبوب التفريغ الكهربائي (الوسط الفعال) ، σ_S : ثابت ستيفان- بولتزمان .كما أن المقدار $(2\pi\, r\, L_a)$ يمثل المساحة السطحية لأنبوب التفريغ الكهربائي وأن (P_{in}) تمثل افضل قدرة دخل (مطروحاً منها القدرة الضائعة عند مقاومة الموازنة) .

يكون التفريغ الكهربائي أو البلازما في منظومات ليزر CO_2 من النوع التوهجي الذاتي (Self Sustaining Glow Discharge) ، كما أن قيمة أزواج (إلكترون-أيون) (e-i Pairs) في هذا النوع من التفريغ تكون بحدود $(N_e = 4*10^{10}\ Per\ cm^3)$[14] حينئذٍ يمكن التعبير عن كثافة التيار بالشكل الآتي : [7,12]

$$J = N_e.e.V_d \qquad \ldots(6)$$

إذ أن : V_d : يمثل سرعة انجراف الإلكترونات في التفريغ الكهربائي وتعتمد على العامل (E/N) ، e : شحنة الإلكترون و حيث:

$$I = J.A \qquad \ldots(7)$$

حيث (A) تمثل مساحة المقطع العرضي للأنبوب وان المجال الكهربائي يمكن أن يحسب أيضا من العلاقة:

$$E = (E/N)*N \qquad \ldots(8)$$

إذ أن (N) تمثل كثافة جزيئات الغاز في التفريغ الكهربائي ، ويمكن حسابها من العلاقة(4). ولما كان التفريغ الكهربائي يحدث في المنطقة على طول المسافة (L) التي تمثل الحيز المحصور بين أقطاب أنبوب التفريغ، فان الفولتية المسلطة هي :

$$V = E.L \qquad \ldots(9)$$

إن فولتية التشغيل المحسوبة عن طريق المعادلة (9) تمثل القيمة النظرية .وبالاعتماد على ما تم في أعلاه أصبح بالإمكان حساب حتى قدرة خرج الليزر نظرياً باستخدام العلاقة الآتية : [13]

$$P_{out} = P_{in} * \eta * t \qquad \ldots(10)$$

(η) تمثل الكفاءة الكمية لليزر CO_2 ، (t) : نفاذية مرآة الخرج. ومن خلال ذلك يمكن حساب كفاءة الليزر التشغيلية باستخدام المعادلة التالية:

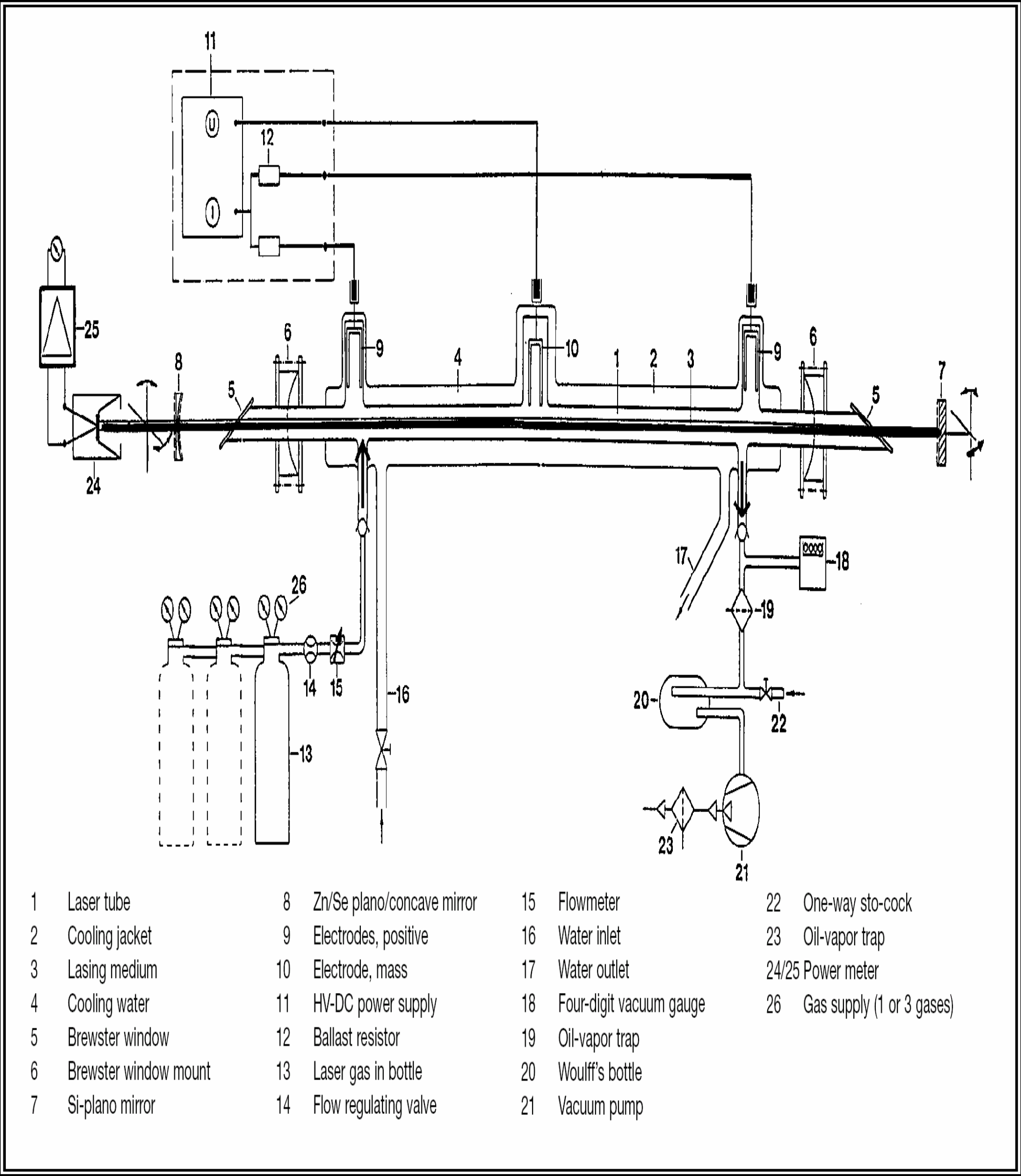
$$Efficiency = [POW.(out)/POW.(in)] * 100\ \% \qquad \ldots(11)$$

إذ أن :$POW.(out)$: قدرة خرج الليزر، $POW.(in)$: قدرة الدخل الكهربائية.

الجزء العملي

استخدم جهاز ليزر CO_2 وملحقاته(في جامعة تكريت- كلية العلوم) (الشكل(2)) لإجراء القياسات في هذا البحث ، و الجهاز مصنع من شركة (PHYWE) الألمانية ، وتعمل منظومة ليزر CO_2 هذه عند أقل قدرة دخل (Input Power) قيمتها (8 Watts) وهي أقل قيمة للقدرة الداخلة ؛ لكي يبدأ الفعل الليزري للمنظومة ، أما نمط تشغيل المنظومة فهو مستمر (قدرة خرج مستمرة) (Continuous Operation) ، وتعمل المنظومة بتقنية الجريان الطولي (Longitudinal Gas Flow Technique) لخليط الغازات (CO_2, N_2, He) ، وأن أقصى كفاءة تشغيل (Working Efficiency) يمكن أن تصل إليها المنظومة هي (2.3%) [8] .

لقد تم قياس درجة حرارة ماء التبريد (T_1) ودرجة حرارة المختبر (T_2) لكل مرحلة ، والهدف منها هو ملاحظة تأثير ذلك في كفاءة المنظومة فضلاً عن بيان تأثير درجة الحرارة في أداء المنظومة.



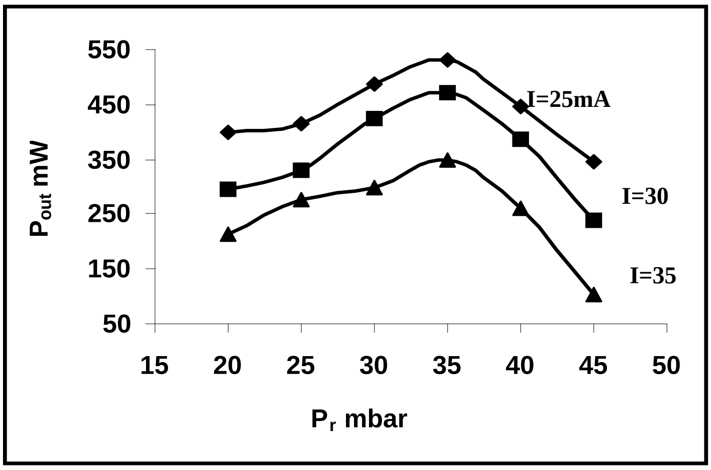
الشكل (2) : أجزاء منظومة ليزر CO_2 المستمر

في المرحلة الاولى سلطت عدة قيم لضغط الغاز داخل انبوب التفريغ الكهربائي ابتداء من (20 mbar) وحتى (45 mbar) وبزيادة (5 mbar) في كل مرة ، كما أعيدت هذه الضغوط لثلاث قيم من تيار التفريغ وهي (35 mA,30 mA,25 mA). الشكل(3) يوضح الرسم البياني لتغيير ضغط خليط الغازات داخل أنبوب التفريغ . ثم تم تغير درجة حرارة ماء التبريد و أعيدت الخطوات التي تم إجراؤها في المرحلة الأولى و لعدة مرات . و لقد تم تثبيت معدل جريان ماء التبريد عند قيمته المثلى وهي (0.55 Liter/min) ومعدل جريان خليط الغازات هو (1 Liter/min) لجميع المراحل .

و لتحديد أفضل تيار تفريغ كهربائي (Current Discharge) (أفضل قدرة دخـل) والحصول على أفضل قدرة خرج ، تم تشغيل المنظومة لمدى من قيم تيار التفريغ إبتداء مـن (20 mA) ولغاية (45 mA) وبزيادة (5 mA) في كل مرة ، وأجريت القياسات لأربع قـيم من ضغط خليط الغازات مع بقاء درجة الحرارة ثابتة وهي ($T_1 = 17\ ^{\circ}C$) ($T_2 = 32\ ^{\circ}C$)، كما أن معدل انسياب ماء التبريد هو (0.55 liter / min). تفاصيل أكثـر عـن الجهـاز و طريقة العمل موجودة في المصدر[14].

النتائج و الحسابات

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ان الضغط الأمثـل كـان عنـد 35 mbar و أن أفضل تيار تفريغ لهذه المنظومة 25Amp. و لدرجات حرارة مختلفة و لثلاث مراحـل و كما في الشكل (3) و الجدول (1) .



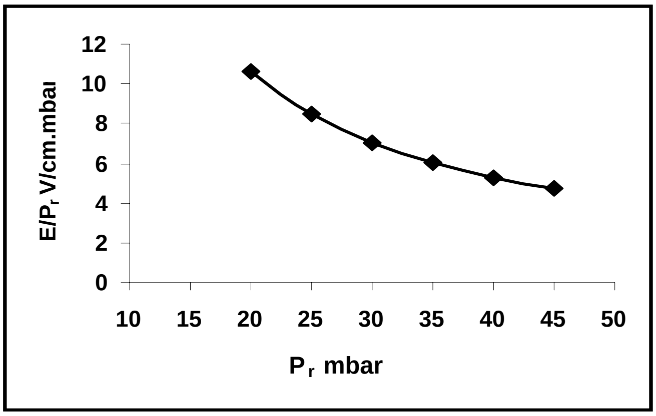
الشكل (3) : تغيير قدرة خرج الليزر مع تغيير ضغط خليط الغازات لتيارات تفريغ كهربائي مختلفة

الجدول (1) : القيم المثلى لقدرة خرج منظومة الليزر عند الضغط الأمثل لخليط الغازات

مراحل مختلفة لدرجات الحرارة	P_r = 35 mbar I = 25 mA	P_r = 35 mbar I = 30 mA	P_r= 35 mbar I = 35 mA
المرحلة الأولى $T_1 = 20\ ^{\circ}C$ $T_2 = 32\ ^{\circ}C$	0.530 W	0.515 W	0.511 W
المرحلة الثانية $T_1 = 23\ ^{\circ}C$ $T_2 = 33\ ^{\circ}C$	0.530 W	0.471 W	0.350 W
المرحلة الثالثة $T_1 = 25\ ^{\circ}C$ $T_2 = 34\ ^{\circ}C$	0.530 W	0.467 W	0.435 W

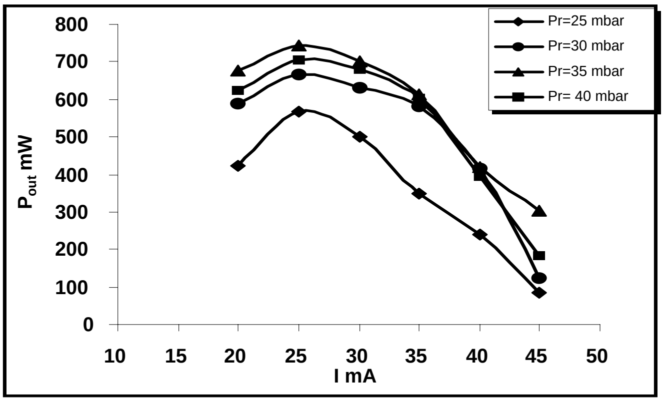
و لقد لوحظ في كل مرحلة ازدياد قدرة الخرج بازدياد ضغط خليط الغازات إلى حد معين وبعده تبدأ القدرة بالنقصان كلما ازداد الضغط ، وذلك عند قيمة معينة لتيار التفريغ ؛ إذ أن قمة المنحني كانت دائماً عند قيمة الضغط (35 mbar). والشكل (4) يوضح تغير قيمة (E/P_r) مع ازدياد الضغط عند تيار (25 mA) ودرجة حرارة ماء التبريد (20 °C) ونلاحظ من الشكل أن قيمة النسبة (E/P_r) تقل أثناء زيادة الضغط المسلط لخليط الغازات ، وهذا يؤثر بصورة سلبية في عملية التوزيع العكسي داخل حجرة التفريغ ، مما يؤدي إلى نقصان القدرة الليزرية الخارجة [5].

في الشكل (4) يتضح أن أفضل قيمة للنسبة (E/P_r) عند أفضل ضغط تشغيلي (35 mbar) هي (6.05 V/cm.mbar) ، كما يمكن حساب أفضل قيمة للنسبة (E/N) نظرياً لمنظومة ليزر CO_2 المستخدمة من خلال المعادلات (4)و(5)



الشكل (4) : منحني النسبة (E/P_r) على أنّه دالة لضغط خليط الغازات داخل أنبوب التفريغ الكهربائي عند تيار 25 mA .

وهي $E/N \cong 3.42*10^{-16}\ V.cm^2$ وهذه القيمة تقع في أفضل مدى لقيم (E/N) المحصور بين $(10^{-15} - 10^{-16}\ V.cm^2)$ الذي تتحقق فيه أفضل كفاءة ضخ لجزيئتي $(CO_2\ ,\ N_2)$ في منظومات ليزر CO_2 [7].



الشكل (5): تغيير قدرة خرج الليزر مع تغيير تيار التفريغ الكهربائي لضغوط مختلفة

إن سلوك المنحني (A) في الشكل (1-A) ينطبق مع الدراسة العملية من خلال الشكل (5) تزايد قدرة الخرج من منحني لاخر بزيادة قدرة الدخل وللضغوط (35,30,25 mbar) على التوالي بسبب تزايد كثافة جزيئات الوسط الفعال أما عند الضغط (40 mbar). إن سبب نقصان القدرة بزيادة تيار التفريغ هو بسبب ازدياد التيار الإلكتروني وبالتالي زيادة معدل التصادم وتبدد طاقة الإلكترونات على شكل حرارة فتزداد بذلك درجة حرارة الوسط الليزري فيقترب التفريغ التوهجي من التفريغ القوسي مسبباً اضطراباً في البلازما مؤدياً الى تقليل نسبة الاستيطان المعكوس وبالتالي تناقص معامل الربح ولكن بمعدل أبطأ من معدل التزايد و بالتالي قدرة خرج ليزري اقل ، فضلاً عن ذلك فأن المنحني (A) يبين أن قيمة قدرة الدخل المثلى (50 W) ، أما قدرة الدخل العملية فتم حسابها من معادلة رقم (3) $[P_{sup.} = 90 \quad Watts]$. و أن قدرة الدخل التي تسهم في عملية التفريغ الكهربائي فهي $P_{in} = 58.75 \quad Watts$

ويبين الجدول (2) القيم المثلى لقدرة الخرج عند التيار (25 mA) ولأربع قيم من ضغط الغاز إذ تمثل الحالة (P_{out}=0.745 Watts, P_r=35 mbar, I=25 mA) حالة مثلى عند درجة الحرارة (T=17 $^{\circ}$C) ، ويمكن تمثيل تغيير قدرة الخرج مع تغيير تيار التفريغ الكهربائي بمعادلة كاوسية أيضاً تم استنتاجها باستخدام برنامج (MatLab) وكما يأتي:

$$P_{out}(Watts) = 0.740 * e^{\frac{-1}{2} * \left(\frac{I-25}{20}\right)^2}$$

($P_\circ$) تمثل قدرة الخرج عند التيار الأمثل، ويلاحظ توافق قيمتها في المعادلة أعلاه مع قيمتها العملية في الجدول (2) في درجة حرارة (17°C) للوسط الليزري وضغط أمثل (35 mbar) و(S) هو الانحراف المعياري لقراءات التيار المأخوذة من الشكل (5) على أن المنحني يمثل حالة مثلى.كما يلاحظ من الرسوم البيانية الأربعة أن أقل قيمة لقدرة الدخل هي تقريباً (5 Watts) الناتجة من تقاطع امتداد كل منحني مع المحور الذي يمثل قيم التيار، في حين أن قيمتها الموضحة في المنحني (A) هي (8 Watts).

الجدول (2): يوضح القيم المثلى لقدرة خرج المنظومة عند تيار التفريغ الكهربائي الأمثل.

I = 25mA	P_r = 25 mbar	P_r = 30 mbar	P_r = 35 mbar	P_r = 40 mbar
T_1 = 17 $^{\circ}$C T_2 = 32 $^{\circ}$C	0.567 W	0.667 W	0.745 W	0.704 W

و لحساب كفاءة التشغيل لهذه المنظومة فقد تم استخدام المعادلات(6-10) باعتبار ان V_d تمثل سرعة انجراف الإلكترونات في التفريـغ الكهربـائي الحاصـل فـي المنظومـة المستخدمة وهي $(5.49*10^6\ cm/\sec)$[8] .

و في منظومة ليزر CO_2 المستخدمة كان قطر أنبوب التفريغ الكهربائي (1 cm) ، وعليه فإن تيار التفريغ الكهربائي يساوي $[I = 27.48\ mAmp.]$ وهذه القيمة قريبة مـن قيمـة تيار التفريغ الكهربائي العملية التي كانت $(25\ mAmp.)$ ، أما المجال الكهربائي فقد تم حسابه من خلال حـساب كثافـة جزيئـات الغـاز فـي التفريـغ الكهربـائي N (المعادلـة 4) $N = 6.467*10^{17}\ cm^{-3}$ و باستخدام المعادلة (8) و كانت قيمتـه $E = 291\ (V/cm)$ و مـن خلال المعادلة (9) تم حساب فولتية التشغيل 4.95 K Volt و منها قدرة الدخل الكهربائية و التي امكن حسابها نظرياً من معادلة رقم (3) $P_{in} = 136\ Watts$.لقد وجد ان قدرة خرج الليزر نظرياً باستخدام العلاقة (10) ($P_{out} = 2.1\,Watts$)، إذ أن (η) تمثل الكفاءة الكميـة لليـزر CO_2 ، وتساوي تقريباً (40%) أما (t) فيمثل نفاذيـة مـرآة الخـرج (ZnSe Mirror) ، وتساوي (5%) [8] . وكانت أفضل كفاءة تشغيل للمنظومة تم الحصول عليها عملياً في درجة حرارة $(11\,^\circ C)$ هي (1.7 %) باستخدام المعادلة (11) وهي قريبة مـن كفـاءة التـشغيل المحسوبة من قبل الشركة المصنعة للمنظومة وهي (2.3 %) ، كما هو موضح مـن الـشكل (1) المنحني (B).

الاستنتاجات

لكل منظومة ليزر CO_2 ظروف تشغيلية مثلى من ضغط لخليط الغازات ، وتيار تفريغ كهربائي ، وفي هذه الظروف تكون القدرة الليزرية الخارجة لتلك المنظومة أقصى ما يمكن ، ففي هذا البحث كانت أفضل قدرة خارجة للمنظومة المستخدمة هي (0.765 W) لضغط خليط الغازات الأمثل (35 mbar) ، وتيار تفريغ أمثل (25 mA) عندما كانت قيم سرعة الجريان هي (0.55 Liter/min ,1 Liter/min) لخليط الغازات ، وماء التبريد على التوالي في المنظومة المستخدمة . إن سبب ازدياد قدرة الخرج تدريجياً عند الضغوط الأقل من (35 mbar) هو أن كثافة جزيئات الوسط الفعال تزداد وبالتالي يزداد عدد التصادمات بين تلك الجزيئات والكترونات التفريغ الثانوية الذي يؤدي إلى زيادة عمليات التأيين والتهييج بازدياد معدل انتقال الطاقة بين تلك الإلكترونات وجزيئات $(CO_2\ ,N_2)$ مما يعزز من عملية التوزيع العكسي حتى الوصول إلى حالة الإشباع عند الضغط (35 mbar) عندها تكون القدرة أعلى ما يمكن. ان قيمة القدرة الخارجة و التي حسبت نظرياً كانت 2.1W و مقارنة هذه

القيمة بالقيمة العملية لقدرة الخرج والبالغة (0.765 W) يلاحظ أن هناك فـرقاً بيـن القيمتين يسـاوي تقريباً (1.335 Watts) وهذا يقود إلى الاستنتاج بان جزءاً من قدرة الدخـل يتبدد على شكل حرارة التي تؤدي إلى انخفاض كفاءة المنظومة كونها لم تدخل في الحساب النظري. إن العامل الأساسي والأهم الذي يحد من قدرة الخرج في منظومات ليزر CO_2 هو عدم القدرة على إزالة الحرارة من الوسط الليزري بكفاءة ؛ وسبب ارتفاع الحرارة هو ازدياد الطاقة الحركية لذرات الهليوم نتيجة التصادم مع جزيئات CO_2 لتحقيق شرط التوزيع المعكوس وهو السبب الأساسي لنقصان الكفاءة و قدرة الخرج. و قد تم الحصول على أفضل قيمة للنسبة (E/N) وهي $(3.42*10^{-16}\ V.cm^2)$ أثناء دراسة خصائص بلازما ليزر CO_2 ، وبالاعتماد على القياسات العملية في الشكل (4) عندما كانت النسبة (E/P_r) بقيمة (6.05 V/cm.mbar) وهي مقاربة لأفضل قيمة نظرية لمنظومات ليزر CO_2 وهي $(4.5*10^{-16}\ V.cm^2)$ [14].

المصادر

1. Sovelto, O., “Principles of Laser”, 3rd ed., Plenum Press, (New York), (1989).
2. Charschan, S.S., “Laser In Industry”, Western Electric Series, Van Westrand New York Reinhold Co. 641 P. (1972).
3. Hitz, B., Ewing, J.J. and Hecht, J., “Introduction To Laser Technology”, 3rd ed., IEEE Press, (New York), (2001).
4. Demaria, A.J., Proceedings of the IEEE. , Vol. (61) No. (6), (1973). PP (731-748).
5. Velikhov, E.P., “Molecular Gas Laser And Applications”, Men.USSR Acad., MIR Publishers, (1981).
6. Dully, W.W., “CO_2 Laser Effects and Applications”, Academic Press, (London), (1976). PP (130-139).
7. Lowke, J.J.L., Phelps, A.V. and Irwin, B.W., J. App. Phys., Vol. (44), No. (10), (1973).PP (4664-4671).
8. PHYWE Series of Publications, Laboratory Experiments, Physics, PHYWE System GMBH. (37070), Germany.
9. “Module 3_8 Energy Transfer in Molecular Laser”, LEOT Tutorial on Laser, Internet, (cord.org), (2001).
10. “Module 3_9 CO_2 Laser System”, LEOT Tutorial on Laser, Internet, (cord.org), (2001).
11. الخزاعي ، حيدر علي ركبان ، رسالة ماجستير ، قسم العلوم التطبيقية_الجامعة التكنولوجية ، (2000).
12. Wilkison, M., “The Behavior of Optics At High Power”, Laser Beam Products Ltd., Internet, (2003).
13. Witteman, W.J., “The CO_2 Laser”, Springer-Verlag (Berlin), (1987). PP (1-162). (2005).
14. الفاضلي ، زياد طارق احمد ، رسالة ماجستير جامعة الموصل ، كلية العلوم ، قسم الفيزياء
15. Artamonov, A.V, Borkin, A. G. , Dzisyak,A. P. , Drobyazko, S. V., Lazurchenkov,A. I. , Nekrasov, A. A. and Yu M. Senatorov , Sov. J. Quant. Electronics, Vol. 11, No. 5, (1981), pp (679-681).
16. Verdeyen, J.T., “Laser Electronics”, 2nd ed., Prentice-Hall Inc., (USA), (1989). PP (116-445)