الكشف عن بخار الماء وبعض الغازات باستخدام ليزر أشباه الموصلات

عمار تحسين زكر و مزاحم إبراهيم عزاوي
قسم الفيزياء/ كلية التربية/جامعة الموصل

تاريخ الاستلام	تاريخ القبول
2006/10/01	2007/01/09

Abstract

A laser sensor was designed in this work in order to detect water vapour and some chosen gases for the enviromented pollution or in the field of meteorology .

The gases that had been studied were O_2, N_2, NH_3 and NH_4CL. The results had been pointed out that the gas O_2 gave the lowest attenuation on laser radiation , while the NH_4CL gas the largest attenuation . we were able to detect the NH_3 of an amount (23.5) part in athousant of volume when passing through the gas chamber in per second .

الملخص

تم في هذا البحث تصميم مجس ليزري لأجل الكشف عن بخار الماء وبعض الغازات المختارة، المؤثرة المهمةالتي تؤدي إلى التلوث البيئي في مجال الأنواء الجوية .

الغازات التي درست هي O2 و N2 و NH3 و NH4CL . أظهرت النتائج إن غاز O2 له أقل توهين على أشعة الليزر ، بينما كان غاز NH4CL هو الأكبر في ألتوهين . فضلاً عن ذلك تم الكشف عن غاز NH3 بمقدار 23.5 جزء من الألف بالحجم عند مرو ره في حجرة الغـــاز بالثانية .

1_ المقدمة

لقد أظهرت الدراسات الاخيرة باستخدام ضوء الليزر في الكشف عن الغازات [1] وكذلك عن بخار الماء [2] في العديد من التطبيقات العملية . من الجدير بالذكر إن استخدام ليزر أشباه الموصلات كم جسات لغاز CO قد طبق بشكل عملي [3] . إن استخدام الليزر في الكشف عن الغازات له عدة مزايا ، من بينها يمكن الكشف عنها موقع يا ، السلامة العامة ، اضافة إلى رخص وسرعة وكفاءة هذه الأجهزة في الكشف [4] . إن تحديد التراكيز الكيميائية للغازات وسير تفاعلها انياً بواسطة الليز ر وإيجاد تراكيبها الجزيئية [5] لها أهمية كبيرة مختبرياً وموقعياً خاصة في مصانع البتروكيمياويات . إن المراقبة الجوية باجهزة الليزر توفر امكانية التنبوء بالتغيرات المناخية والتلوث البيئي بالغازات مثل H_2S أو NH_3 [6] أو بخار الماء مع CO_2 و N_2O [7] .

في هذا البحث تم تصميم وبناء منظومة ليزرية للكشف عن الغازات وقياس توهين قدرة الليزر خلال مرورها في حجرة الغاز .

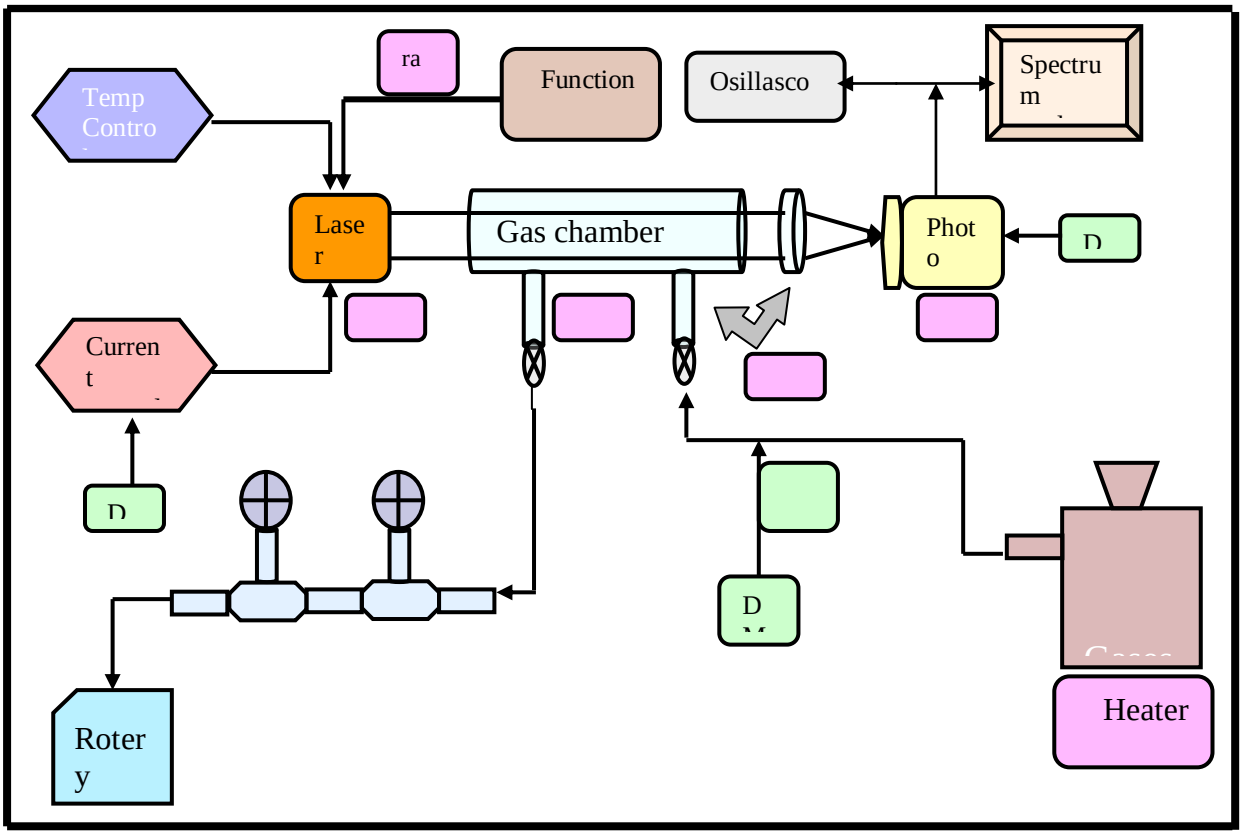
2- الجزء العملي

أ- المنظومة التجريبية

يوضح الشكل (1) المخطط التجريبي للمنظومة المستخدمة في دراسة توهين أشعة الليزر عند وجود بخار الماء أو بعض الغازات . الليزر شبه الموصل المستخدم قدرة خرج (1mW) ، تم سوقها من مصدر تيار ثابت ومسيطر على درجة حرارتها الياً لأجل الحصول على استقرارية خرج عالية جداً ، تم تضمين تيار الأنحياز لثنائي الليزر (ramp -modulated) من مولد النبضات . استخدمت عدسة مايكروية لتجميع أشعة الليزر على حجرة الغاز (gas chamber) . تم الكشف عن الشعاع الخارج من الحجرة بعد حصول الامتصاص ، من قبل كاشف سليكوني من نوع (DET210) من شركة (THORLABS) وحساسيته (0.45 A/W) .

وقد اجري الكشف عن الشعاع الخارج بواسطة راسم الأشعة الكاثودية (Cathode ray osillascope) وكذلك محلل الطيف (Spectrum analyzer) من نوع (ADVANTEST) . وقد تم قياس قدرة الليزر بعد خروجها من حجرة الغاز باستخدام الكاشف المذكور سابقاً وقبل حصول أي توهين (عدم وجود غاز أو بخار ماء) .

إن حجرة الغاز المستخدمة بطول (50cm) وتحتوي على فتحتين جانبيتين لدخول وخروج الغاز . استخدمنا منظومة ضغط (Pumping system) للحصول على جريان غازي مستقر وثابت . إن المضخة الهوائية هي من صنع شركة (Barnant) ومقياس الضغط من شركة (WLKA) و (DAITO/Hiroshima) . الغازات التي استخدمت في الدراسة تم تحضيرها انياً عن طريق تسخين بعض المركبات الكيمياوية . قيست درجة حرارة الغاز بواسطة مزدوج حراري (Thermocouple) من نوع K والموضوع في طريق الغاز المار مع مقياس رقمي .



الشكل (1) : مخطط المنظومة التجريبية التي استخدمت في دراسة الكشف عن الغازات وبخار الماء ، Tc تمثل المزدوج الحراري (Thermocouple) و DM تمثل مقياس رقمي (Digitalmeter)

ب- تهيئة الغازات

أولاً دُرس تأثير بخار الماء على أشعة الليزر بطريقة تبخير الماء و تم التخلص من قطرات الماء المرافقة لبخار الماء وضع في مسار بخار الماء انية تحوي على الثلج تعمل كمثابة

(Water droplets trap) .

وقد حصلنا على غاز O_2 بطريقتين الأولى عن طريق تسخين H_2O_2 أو اضافة المركب MnO_2 إليه والأخرى بواسطة حاوية لغاز O_2 وبنقاوة تصل إلى (95%) حيث تم التأكد من هذه النقاوة من محطة ملىء الحاويات الخاصة بغاز O_2 وكذلك الحال لغاز N_2 من حاوية ونقاوة (95%) ، أما غاز NH_3 فقد تم تحضيره عن طريق تسخين المركب NH_4OH مع خروج الغاز NH_3 فقط والمتعارف عليه كيميائياً .

وبالنسبة لغاز NH_4CL فقد تم تحضيره من خلال مزج غاز HCL (الذي تحرر من خلال إضافة قطرات من حامض H_2SO_4 المركز إلى الحامض HCL) مع غاز NH_3 مولداً غازاً ضبابياً هو الغاز NH_4CL .

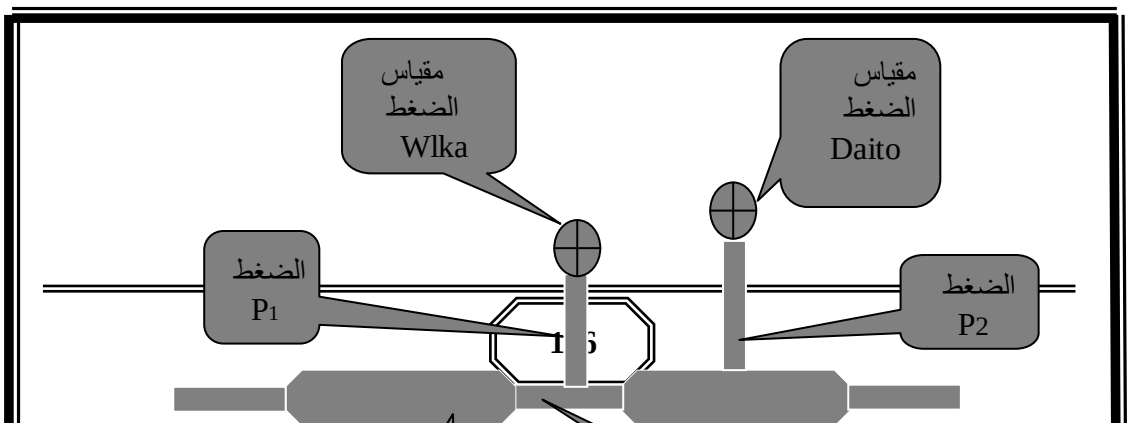
3- قياس الضغط

يعتبر دقة وقياس الضغط ضرورياً في تعيين مقدار التوهين في شعاع الليزر وكما سنوضح ذلك في أدناه . إن نظرية طيف الامتصاص مبنية بشكل رئيسي على قانون Bear-Lambert الذي يربط بين شدة الضوء النافذ (I) إلى شدة الضوء الساقط (I_o) في وسط ماص وحسب العلاقة التالية [3] :

$$\frac{I}{I_\circ} = EXP[-\delta \Phi PL] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث إن L تمثل طول حجرة الغاز (بوحدة سم) ، وإن P ضغط الغاز (بوحدة جو) ، Φ دالة عرض خط الطيف (سم) ، δ معامل انتقال طيف الامتصاص (absorbing transition) بوحدة قياس $^{-1}$(جو. سم٢) (line strength) .

تم قياس الضغط من خلال قراءة المقياس (1) والمقياس (2) ، كما موضح في الشكل (2) ومن ثم حساب معدل الجريان استناداً إلى مبدأ (Venturi tube) [8] وكما يلي .



الشكل (2) : الأسلوب المستخدم في قياس جريان الغازات دالة لتغير الضغط

تقاس سرعة جريان الغاز بالاستناد إلى قانون حفظ الكتلة ال ذي ينص على أن " كتلة السائل المار M_1 خلال المقطع العرضي الذي مساحته A1 بسرعة v1 يساوي كتلة السائل المار M_2 خلال مقطع عرضي مساحته A2 بسرعة v2 بنفس المدة الزمنية t " وكذلك نظرية برنولي .

حيث تم استخدام المنظومة المبينة بالشكل (2) الذي يكون عبارة عن انبوبتين مختلفتين في القطر حيث يكون الأول ذو قطر كبير مقداره (1.255cm) والثاني ذو قطر صغير مقداره (0.3525cm) ويتوسط كل انبوبة انبوبة جانبية لربط مقياس الضغط على كل انبوبة منها حيث إنه عن طريق هذين المقياسين اللذين يكونان ذو دقة معقولة يمكن قياس الفرق في الضغط الذي يمكن استخدامه لقياس سرعة الجريان .

يتم ربط المزدوج الحراري في طريق الغاز الذي يمر في حجرة الغاز للحصول على درجات الحرارة أثناء العمل على المنظومة المبينة في الشكل رقم (1) وبالرجوع إلى الجدوال ومعايرة هذه الدرجات الحرارية مع الضغوط المقابلة لها أي أنه يتم الحصول على الضغوط المق ابلة لتلك الدرجات الحرارية الذي يمكن استخدامها لاستخراج كثافة الغاز والذي تكون متغيرة بتغير الضغط وعند درجات الحرارة المختلفة الذي يدخل ضمن قانون سرعة الجريان حيث يمكن اشتقاق سرعة الجريان كالأتي :-

$$M_1 t = M_2 t \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$A_1 v_1 \rho t = A_2 v_2 \rho t \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

وحسب نظرية برنولي(Bernouli theorm)

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}\left(v_2^2 - v_1^2\right) = \frac{\rho v_1^2}{2}\left(\frac{v_2^2}{v_1^2} - 1\right) \quad \text{.....} \ (6)$$

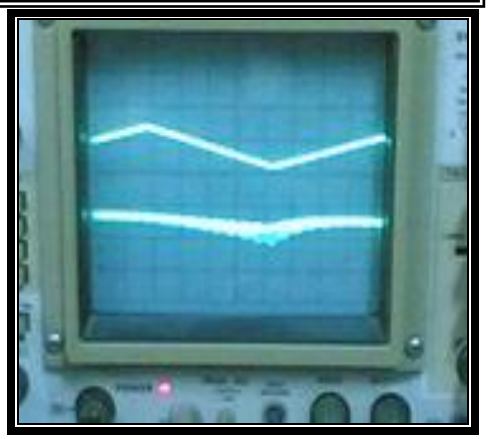
$$P_1 - P_2 = \frac{\rho v_1^2}{2}\left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right)^{-1} \quad \text{.....} \ (7)$$

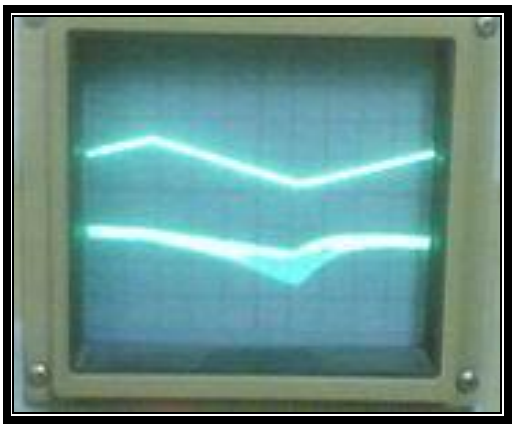
$$v_1^2 = 2\frac{(P_1 - P_2)}{\rho}\left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right)^{-1} \quad \text{.....} \ (8)$$

وهي السرعة المراد حسابها في هذه الدراسة

4- النتائج والمناقشة

الشكل (3) يوضح صورة من كاميرا رقمية التقطت لراسم ذبذبات الأشعة المهبطية ، النبضة التي في الأعلى هي لأشعة الليزر الاصلية (الشكل أ3) ،أما النبضة التي في الأسفل فتظهر تأثر النبضة مع وجود بخار الماء وبسرعة جريان قدره $(12.8112\ cm^3/\sec)$. أما (الشكل ب3) فيبين تأثير بخار الماء على نبضة الليزر ولكن عند معدل جريان قـدره $(14.323\ cm^3/\sec)$.





(أ) (ب)

الشكل (3) : صورة لراسم الأشعة الكاثودية يبين نبضة الليزر

أ –يمثل نبضة الليزر من دون وجود بخار الماء وبسرعةجريان($12.8112cm^3/sec$)

ب –يمثل نبضة الليزر مع وجود بخار الماء وبســرعة جريان($14.3233cm^3/sec$)

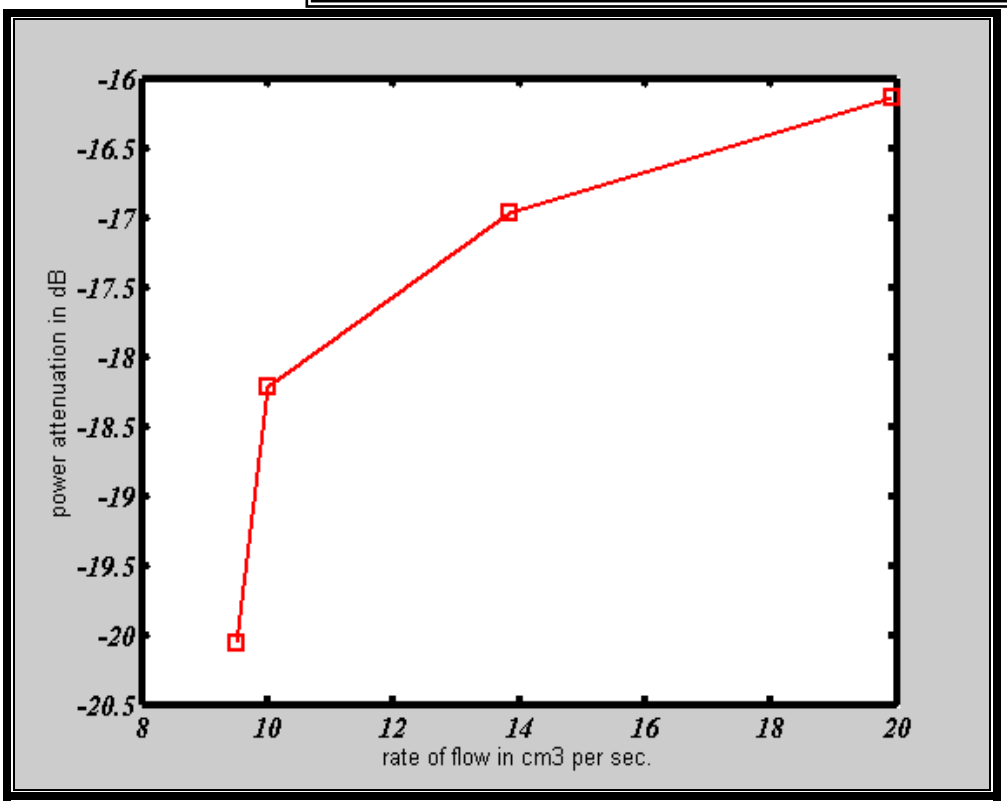
إن لبخار الماء تأثير واضح على نبضة الليزر من خلال دراسة الشكل (3) ، ولأجل إظهار هذا التأثير بشكل جلي على توهين قدرة الليزر المارة في حجرة الغا ز ، فقد تم حساب التوهين في القدرة من الكاشف المذكور أنفاً مع معدل جريان بخار الماء المحسوب من المعادلة رقم (8) كما في الشكل (4) . نلاحظ من الشكل إنه كلما زاد معدل جريان بخار الماء ، زاد التوهين في قدرة الليزر ، أي بعبارة اخرى زادت كمية امتصاص أشعة الليزر م ن قبل بخار الماء كما مشار اليه من المعادلة رقم (1) . ولغرض استنباط معادلة تجريبية من الشكل (4) ، وباستخدام برنامج Matlab في إجراء حسابات التوهين مع معدل الجريان ورسم القراءات ، امكننا إيجاد المعادلة التالية للرتبة الثانية

$$Y = -47*10^{-3}x^2 + 1.7x - 31 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

إذ إن Y تمثل مقدار التوهين للشعاع النافذ ، و X تمثل معدل الجريان بوحدة .

إن الرسم البياني لمعدل لمعدل جريان بخار الماء وتأثيره على قدرة الليزر ، الشكل (4)

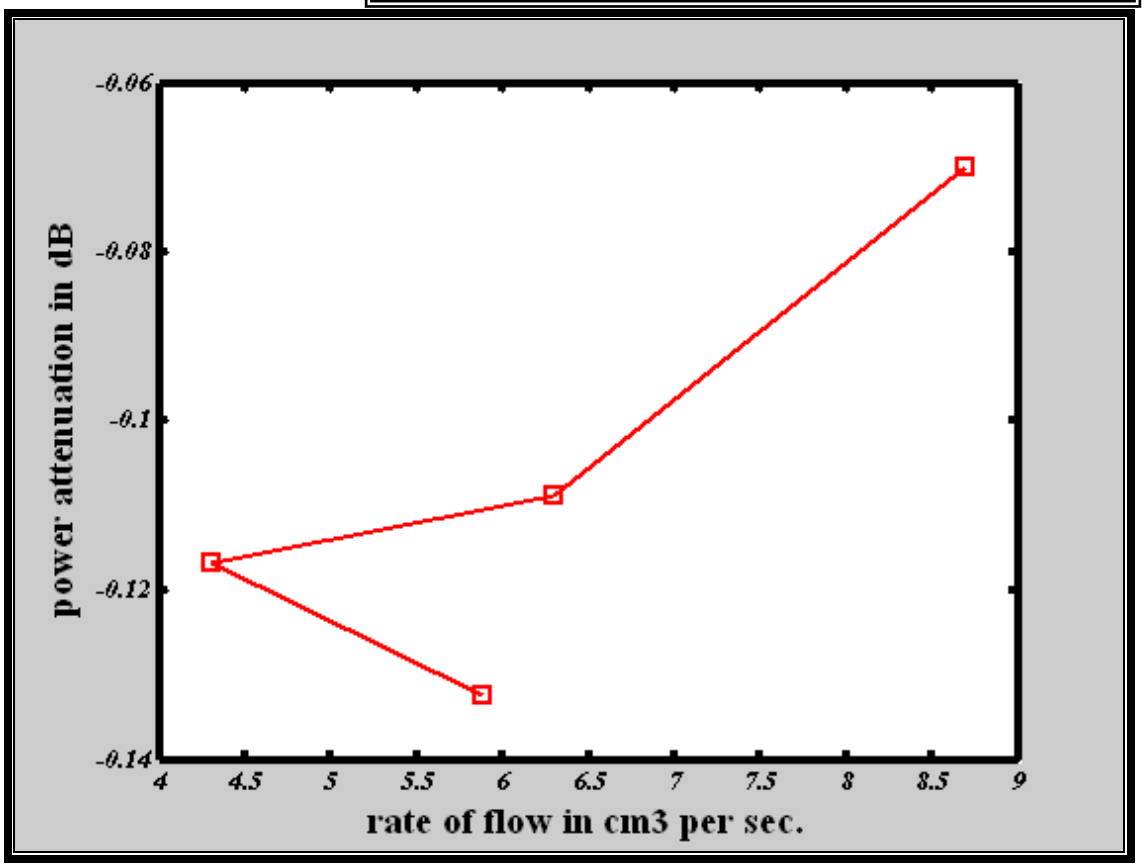
يظهر بشكل واضح زيادة كبيرة في التوهين ولكن بصور غي ر خطية . وهذه العلاقة الغير خطية قد بينتها المعادلة التجريبية (9) . ونلاحظ إن التوهين في قدرة الليزر مع معدل الجريان كما مبين في الشكل (4) .



الشكل (4) توهين أشعة الليزر أثناء مرورها في حجرة الغاز مع معدل جريان بخار الماء

عند دراسة التوهين مع وجود غاز O_2 كما في الشكل (5) ، نلاحظ إن التوهين مع معدل جريان الغاز يتغير بشكل لاخطي ، ولكن عند مقارنته مع الشكل (4) للتوهين مع البخار ، نجد إن التوهين مع غاز O_2 قليل جداً قياساً لبخار الماء .

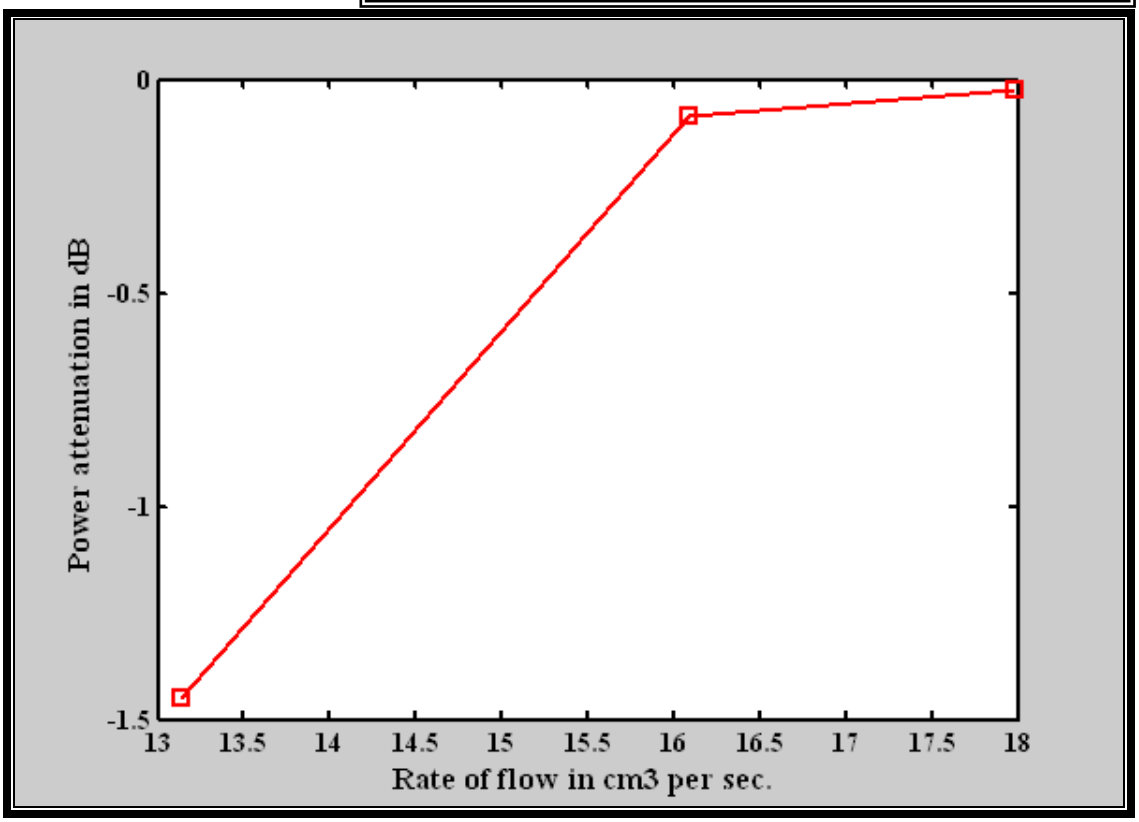
بعد إجراء الحسابات لمعرفة مقدار التوهين وخاصة عند م عدل جريان عالٍ لغاز O_2 ،كان مقدار التوهين على معدل جريان هو ($0.016 \quad dB/cm^3.\sec^{-1}$) مقارنة لبخار الماء الذي كان مقداره ($1.25 \quad dB/cm^3.\sec^{-1}$) . تشير هذه الأرقام وبشكل واضح أن بخار الماء له تأثير كبير على توهين أشعة الليزر أكبر بكثير من غاز O_2 لان كثافة بخار الماء أكبر من كثافة الـ O_2 .



الشكل (5) : التوهين في القدرة مع معدل جريان غاز O2

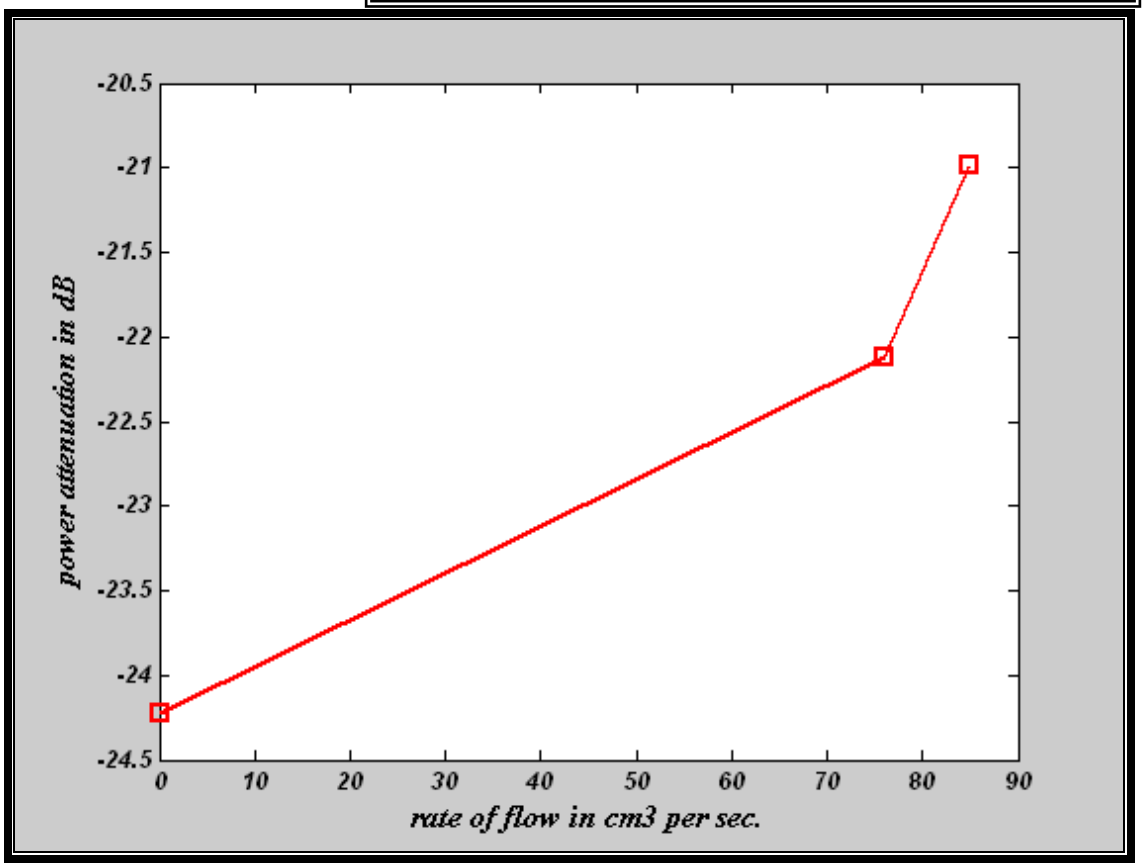
لم نجد أي تأثير لغاز N_2 على توهين قدرة أشعة الليزر أو طيف التضمين وحتى التأثر على نبضة الليزر ، والسبب يعزى في ذلك إلى أن كثافة هذا الغاز صغيرة جداً ($1.25*10^{-3} gm/cm^3$) مما جعل معامل إمتصاصه قليل جداً عند الطول الموجي لليزر المستخدم في هذه الدراسة ، هذا من جهة ، ومن جهة اخرى محاولة إستحداث طريقة مباشرة لقياس معدل جريان غاز معين وتأثيره على إمتصاص أشعة الليزر بدلاً من دراسة طيفية للطول الموجي الذي يمتصه كل غاز معين وتوفر ليزر شبه موصل يمكن توليفه عند الطول الموجي المرغوب فيه .

ولأختبار تراكيز مختلفة من غاز NH_3 أي بمعدل جريان معين ، أمكننا الحصول على الشكل (6) الذي يبين التوهين في القدرة مع معدل الجريان . حيث نلاحظ أن التوهين في شعاع الليزر المار في حجرة الغاز الذي يحتوي على غاز NH_3 كان بمقدار كبير قياساً إلى بخار الماء وإن الزيادة كانت بشكل مميز مع هذا الغاز.



الشكل (6) : تأثير غاز NH3 على توهين أشعة الليزر المار في حجرة الغاز

تبين من خلال دراسة الغاز NH4Cl ، والذي هو غاز ضبابي الشكل ، إن له توهيناً كبيراً على أشعة الليزر كما نلاحظه في الشكل (7) ويتزايد هذا التوهين بصورة سريعة مع الجريان . إن غاز NH4Cl في حجرة الغاز في فترة زمنية قصيرة قياساً إلى الغازات الأخرى والتي تم تحضيرها مختبرياً .



الشكل (7) : يبين تأثير غاز NH4CL على أشعة الليزر

ولأجل إظهار تأثير هذه الغازات وبخار الماء على أشعة الليزر ومقارنتها مع بعض ها البعض تم اختزال النتائج إلى الجدول التالي والذي يبين تأثير كل غاز على توهين الليزر ، مع الأخذ بنظر الأعتبار أن قدرة الليزر الساقطة على حجرة الغاز هي (1mW) .

جدول (1) : يوضح التوهين في قدرة الليزر مع معدل الجريان للغازات قيد الدراسة

نوعية الغاز	التوهين عند معدل جريان $10 cm^3/sec$	قدرة الليزر النافذة من حجرة الغاز
بخار الماء	-18.35 dB	$1.46*10^{-2} mW$
غاز O_2	-0.042 dB	$9.9*10^{-1} mW$
غاز NH_3	-2.86 dB	$5.176*10^{-1} mW$
غاز NH_4CL	-23.9 dB	$4.07*10^{-3} mW$

بعد مراجعة الجدول نجد أن غاز O_2 له التوهين الأقل في هذه المجموعة ، علماً بأن غاز N_2 لم يظهر أي تأثير على أشعة الليزر . يلي غاز O_2 في التوهين غاز NH_3 حيث نجد أن

قدرة الليزر النافذة من حجرة الغاز وبعد مرورها بمعدل جريان قدره $(10cm^3/\sec)$ ثابت لجميع الغازات قيد الدراسة كانت تساوي $0.5mW$. ثم يأتي بعد ذلك بخار الماء وأخيراً غـاز NH_4Cl . وقد وجد أن قدرة الليزر النافذة من غاز NH_4CL في الحجرة كانت $(4.07*10^{-3}mW)$ وهي قدرة ضوئية صغيرة بسبب التوهين ال كبير الذي جرى من جراء ذلك الغاز[6] .

5- الأستنتاجات

تم تصميم مجس ليزري للكشف عن اثار وجريان عـدة غـازات مختـارة مثـل (بخار الماء، والاوكسجين ، النتروجين ، الامونيا ، كلوريد الامونيوم) بالاضافة إلى بخـار الماء ، أظهرت النتائج أن الليزر المتوفر محلياً وهو ليزر تجاري مرئي مستورد من تايوان بامكانه أن يكشف عن اثار الغازات مثل الغاز NH_4CL بمقدار 30.6 جزء من الألف من الحجم وغاز NH_3 بمقدار 23.5 جزء من الألف من الحجم بالثانية الواحدة .

References

[1] D.Weidmann, A.A. Kosterev and F. K.Tittel, , Opt. Lett. 29, 1837(2004) .
[2] L. G. Gianfrani , M. Gobrysch , C. Corsi and P. DeNatale, , Appl. Opt.36,9481(1997) .
[3] M. Gharavi and S.G. Buckley, ,Appl.Spectr. 58, 468 (2004) .
[4] M. E. Webber , R. Claps, F. V. Engich , F. K. Tittel, J. B. Jeffries, and R. K.Hanson , Appl. Opt. 40,4395 (2001) .
[5] M. Gabrysch, C. Corsi , F. S. Pavone,and M. lnguscio, Appl. Phys. B65, 75 (1997) .
[6] M. E. Webber , D. S. Bear, and R. K. Hanson, , Appl.Opt 40, 2031 (2001) .
[7] R. M. Mihalcea ,M. E. Webber, D. S. Bear , R. K. Hanson, G S. Feller, and W. B. Chpman, ,Appl. Phys.B67,283 (1998) .
[8] R. A. Seway and J. W. Jewett, Physics for Scienyist and Engineers, 6th Edition , Thomson Book/Cole, 2004, USA .