

تأثير الأرجون كشريك تصادمي مع الأوكسجين في شريط امتصاص الأوكسجين المعرض بالتصادم الواقع في منطقة الأطوال الموجية $1.27 \mu\text{m}$

عصام فواز الجفامي⁽¹⁾

تاريخ الإيداع 2015/04/08
قبل للنشر في 2015/05/03

الملخص

قيس الامتصاص المعرض بالتصادم للأوكسجين في مزيج غازي مع الأرجون مخبرياً، في منطقة الأطوال الموجية $1.27 \mu\text{m}$ ، باستخدام مقياس الطيف الضوئي Cary 5000 مع خلية امتصاص غازية بطول مسار ثابت بلغ 9.6m . دُرست تغيرات الامتصاص المعرض بالتصادم في مزانج بنسب مزج للأوكسجين بلغت 20% و 50% و 80%، بدلالة الضغط عند ضغوط من 1bar حتى 25 bar، وبدرجة حرارة ثابتة 298K. تألف هذا الامتصاص من شريطين متراكبين، الأول هو امتصاص ضيق يمتلك بنية دورانية، ويختفي كلياً في مجال الضغوط الأعلى من 12 bar، ويظهر فوق الشريط الثاني، الذي يبدو بدوره على هيئة امتصاص عريض غير متناظر، ولا يبدي أية بنية دورانية. استخلص شريط الامتصاص الضيق حاسوبياً باستخدام برنامج Origin 8.5. نُسب الشريط الأول لامتصاص الجزيئات الصرفة O_2 ، في حين نُسب الشريط العريض للامتصاص المعرض بالتصادم CIA بين جزيئات الأوكسجين مع نفسها O_2-O_2 من جهة، ومن جهةٍ أخرى مع جزيئات الأرجون O_2-Ar . بيّنت النتائج أن تغيرات الامتصاصية التكاملية بدلالة الضغط خطية من أجل الشريط الضيق، في حين تكون تربيعية من أجل الشريط العريض، وفي المزانج جميعاً. دُرست تغيرات الامتصاصية التكاملية للشريط العريض عند ضغط ثابت للأوكسجين 4bar، وبزيادة ضغط الأرجون حتى 20 bar. وُجد أن الامتصاصية التكاملية تزداد خطياً بازدياد ضغط الأرجون، ونُسب ذلك إلى ازدياد إسهام الأرجون في الامتصاص المعرض بالتصادم O_2-Ar . حُسبت كفاءة الأرجون كشريط تصادمي استناداً إلى علاقة مقترحة أعطت لهذه الكفاءة قيمةً وسطيةً قرابة 0.20 من كفاءة الأوكسجين كشريك تصادمي مع نفسه، وهذا ما اتفق -إلى حدٍ مقبولٍ- مع بعض المعطيات المرجعية، واختلف قليلاً مع بعضها الآخر.

الكلمات المفتاحية: الامتصاص المعرض بالتصادم، الامتصاصية التكاملية، امتصاص الأوكسجين في منطقة تحت الأحمر القريب، كفاءة شريك التصادم.

⁽¹⁾ أستاذ مساعد قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

The impact of argon as a collision partner with oxygen on the collision induced absorption band of oxygen at wavelength region of 1.27 μm

I. Al Jghami⁽¹⁾

Received 08/04/2015

Accepted 03/05/2015

Abstract

The collision induced absorption spectra of oxygen in gaseous mixture with argon at laboratory were measured, in the wavelength region of 1.27 μm , using Cary 5000 spectrophotometer, and White absorption gas cell with a fixed path length of 9.6 m. The variation of collision induced absorptions with pressure in mixtures with mixing ratio of 20%,50% and 80% of oxygen in argon for pressures between 1 and 25 bar at temperature of 298K were studied. The absorption consisted of two overlapping bands. The first one is a narrow absorption with rotational structure, and disappeared entirely when the pressure was higher than 12bar, and arise over the second one, which is a wide nonsymmetrical continuum absorption, and did not show any rotational structure. Using the Origin 8.5 program, we extracted the narrow absorption band, and attributed it to the absorption of O₂, while the continuum referred to the collision induced absorption CIA between oxygen molecules O₂-O₂, and oxygen with argon O₂-Ar. The results showed that the absorbance varied linearly with oxygen pressure for the narrow band, while the variation was quadratic for the continuum in all mixtures. The integrated absorbance of wide band at constant oxygen pressure of 4bar with increasing argon pressure up to 20bar were studied. It has been found that the integrated absorbance increased linearly with an argon pressure, because of the increasing contribution of argon in collision induced absorption CIA O₂-Ar. The efficiency of argon as a collision partner, was calculated according to the suggested equation, which gave an average value of about 0.20, if compared with oxygen itself. This value agreed well with some references, and disagreed slightly with others.

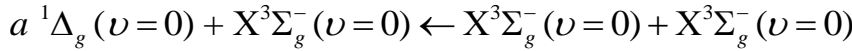
Key words: Collision-induced absorption (CIA), Integrated Absorbance, Near infrared absorption of oxygen, Efficiency of a collision partner.

⁽¹⁾ Associate Prof., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

المقدمة

يمتلك الأوكسجين الجزيئي O_2 عصابات امتصاص في أنحاء مختلفة من الطيف الكهروطيفي تمتد من منطقة تحت الأحمر القريب (IR) إلى منطقة فوق البنفسجي (UV). تُبدي بعض هذه العصابات خصائص طيفية مستمرة، نسبت سابقاً إلى الجزيئات المزدوجة (معقدات فانديرفالس) $(O_2)_2$ ، أو إلى المعقدات التصادمية O_2-O_2 ، أو ما يُعرف حالياً بالامتصاص المحرض بالتصادم (CIA) Collision Induced Absorption [1].

يُحصل في منطقة تحت الأحمر القريب الامتصاص الناجم عن الانتقال الإلكتروني الاهتزازي $X^3\Sigma_g^-(\nu=0) \leftarrow a^1\Delta_g(\nu=0)$ ، الذي تقع قمة امتصاصه عند $1.27\mu\text{m}$ (7900cm^{-1}). يمتلك هذا الشريط عند درجة حرارة وضغط نظاميين، عرضاً طيفياً ضيقاً وبنية دورانية، ويعزى إلى الامتصاص العائد للجزيئات O_2 غير المرتبطة. يظهر هذا الشريط إلى أعلى شريط آخر عريض ومستمر لا يمتلك أية بنية، ويكون واضحاً حتى في مجال الضغوط المنخفضة. ينسب هذا الشريط إلى الامتصاص المحرض بالتصادم بين جزيئين من جزيئات الأوكسجين O_2-O_2 ، ينتقل أحدهما إلى حالة إلكترونية مثارة، ويبقى الآخر في حالته الأساسية. يوصف هذا الانتقال بالعلاقة:



لما كان امتصاص الأوكسجين في منطقة تحت الأحمر القريب يتطلب إثارة جزيء واحد فقط من جزيئي الأوكسجين في زوج التصادم، فإن تحريض هذا الانتقال ليس مقصوداً على جزيء الأوكسجين كشريك تصادم، بل يمكن أن يكون هذا الشريك أي جزيء آخر من مكونات الغلاف الجوي، مثل الأزوت O_2-N_2 أو بخار الماء O_2-H_2O أو الأرجون O_2-Ar [2].

يمتلك طيف الأوكسجين في منطقة تحت الأحمر القريب تطبيقات مهمة في علوم الغلاف الجوي وفيزياء الكواكب. تتطلب عمليات الاستشعار الضوئي عن بعد التي تنجز باستخدام أجهزة مختلفة، تعمل على عدد من المنصات المحمولة جواً، توفر معطيات طيفية مرجعية عن المركبات الكيميائية المحتواة في الغلاف الجوي الأرضي، وعن المركبات المتداخلة التي تمتلك ميزات طيفية متراكبة. ويعود السبب في ذلك إلى تأثير الامتصاص التي تقوم به هذه المركبات المختلفة من الإشعاع الشمسي، أو ما يسمى امتصاص الأمواج القصيرة، الحاصل في الغلاف الجوي الأرضي، وبالنتيجة تأثيره في المخزون الحراري للغلاف الجوي. بينت الدراسات المرجعية مؤخراً أن أخذ هذا الامتصاص بالحسبان، في ظروف السماء الصافية والغائمة، على حدٍ سواء، يساعد على فهم كل من سلوك درجات الحرارة في الغلاف الجوي الأرضي والتغيرات المناخية [3].

تسمح النماذج العددية بحساب كثافة تدفق الإشعاع الشمسي عند سطح الأرض في الظروف المختلفة لحالة السماء، إذ تتطلب هذه النماذج معرفة المقاطع العرضية المطلقة لامتصاص المركبات الكيميائية الماصة المختلفة جميعاً في المناطق الطيفية المدروسة، وفي شروط مختلفة من درجات حرارة وضغوط تصادف في الغلاف الجوي. لكن عند مقارنة النتائج التي تعطيها القياسات الحاصلة بطرائق قياس مختلفة، تبين أن هذه النماذج تعطي نتائج متباينة بين كثافة التدفق الإشعاعي للأمواج القصيرة المحسوبة، مع تلك الملاحظة عند سطح الأرض في ظروف السماء الصافية والغائمة [4].

في كثير من الأحيان، يكون تقدير مقدار الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض في منطقة الأمواج القصيرة كبيراً، بسبب عدم الأخذ بالحسبان عدداً من عمليات الامتصاص والتبعثر الحاصلة في الغلاف الجوي في تلك النماذج العددية. من بين تلك الإسهامات المهمة في عمليات الامتصاص في الغلاف الجوي، هناك الامتصاص المحرض بالتصادم في الأوكسجين. يبين العمل [2] أن أخذ الامتصاص المستمر للأوكسجين بالحسبان في امتصاص الغلاف الجوي في منطقة تحت الأحمر القريب، يقود إلى تخفيض كثافة التدفق الإشعاعي المحسوبة عند سطح الأرض، بمعامل يساوي 0.75 إلى القيمة $1.32 W \cdot m^{-2}$. مع أن كل امتصاص من هذه الامتصاصات المستمرة المهمة، يعطي منفرداً كسراً صغيراً في قيمة الامتصاص الكلي للإشعاع الشمسي، الذي تقوم به أنواع الغازات المحتواة في الغلاف الجوي الأرضي والسطح البالغ قرابة $240 W \cdot m^{-2}$ ، إلا أن التأثير التجميعي للامتصاصات المستمرة المهمة جميعاً، يسهم بمقدار يراوح بين $10 W \cdot m^{-2}$ و $30 W \cdot m^{-2}$. لهذا السبب، يمكن أن يكون هذا المسؤول عن جزء مهم من التباينات بين قيم كثافة التدفق الإشعاعي المقاسة منها والمحسوبة على سطح الأرض [3].

وفقاً للمذكور آنفاً يتطلب امتصاص الأوكسجين المستمر في منطقة تحت الأحمر القريب من الطيف قياسات إضافية ذات دقة عالية. لكن في غالبية الشروط تكون عملية كشف الامتصاص المستمر ليست سهلة، بل تمثل عملية قياسها كميّاً في الغلاف الجوي تحدياً كبيراً، وعلى وجه الخصوص إذا كانت مقدرة الفصل الطيفية للجهاز المستخدم غير كافية لفصل الخطوط الطيفية المترابطة. لهذا السبب يعتمد الباحثون على القياسات المخبرية الكمية الدقيقة، في ظروف تماثل ظروف الغلاف الجوي. بينما تكون الامتصاصات المستمرة للأوكسجين في منطقة تحت الأحمر شديدة نسبياً عندما تقاس على مسارات طويلة في الغلاف الجوي، فإنه من الصعوبة بمكان ملاحظتها مخبرياً ضمن الشروط نفسها [4]. استخدم عدد من الدراسات التجريبية السابقة، عينات من الغاز تحت ضغوط تساوي أضعاف كثيرة من الضغط الجوي، بهدف التوصل إلى معطيات كافية لنسبة الإشارة إلى الضجيجية في الأطياف المسجلة [3]. إن صلاحية هذه النتائج الحاصلة ضمن هذه الشروط يجب أن

تكون موضع تساؤل، على وجه الخصوص عندما تعطى النتائج ضمن شروط الغلاف الجوي الأرضي عن طريق الاستقراء الخارجي [4].

كانت شرائط امتصاص الأوكسجين في منطقة تحت الأحمر القريب من الطيف، موضع اهتمام كثير من الباحثين، منذ ثلاثينيات القرن العشرين عندما توقع موليكين هذه الانتقالات، ومن ثم سجلها كل من أليس وكنيزر في طيف امتصاص الأوكسجين السائل، ومازالت تلاقي اهتماماً كبيراً في الوقت الحالي. يعود سبب هذا الاهتمام إلى أن الانتقالات الحاصلة هي انتقالات محظورة وفقاً لقواعد اصطفاء السبين والتناظر. يتطلب تسجيل شرائط امتصاص الأوكسجين المحرزة بالتصادم في الطور الغازي استخدام مسارات ضوئية طويلة جداً، أو ملاحظتها ضمن ضغوط مرتفعة. لكن أصبح بالإمكان، مع تقدم التقنيات الطيفية التجريبية، الحصول عليها تجريبياً في المختبر، ضمن شروط قريبة من تلك الشروط الملاحظة في الغلاف الجوي من ضغط ودرجة حرارة [1].

استخدم الباحثون في العمل [5] خلية غازية ذات طول مسار ضوئي يبلغ 89.5cm للحصول على طيف امتصاص الأوكسجين الغازي عند ضغوط وصلت إلى 55bar، بمساعدة مصور طيف مزود بمنبع هالوجيني وكاشف من صنف من الثنائيات Diode array. حُدّد في هذا العمل المقطع العرضي للامتصاص ومواقع القمم العظمى والعرض الكامل عند منتصف القمة العظمى (FWHM)، وذلك من أجل عدد من الشرائط الواقعة في الجزء المرئي وتحت الأحمر القريب. لم يتطرق هذا العمل إلى شريط الامتصاص الواقع في منطقة الأطوال الموجية $1.27\mu\text{m}$ ، وذلك بسبب محدودية الكاشف المستخدم. سجل الباحثون في العمل [6] شرائط امتصاص الأوكسجين الغازي استناداً إلى أطيايف العمق الضوئي في الغلاف الجوي، وحددوا الشدة التكاملية والمقطع العرضي الثنائي للامتصاص، باستخدام نموذج نظري أغفل تأثيرات درجة الحرارة. باستخدام مطيافية تحويل فورييه سجل الباحثان في العمل [7] شريط امتصاص الأوكسجين الغازي الواقع في منطقة الأطوال الموجية $1.27\mu\text{m}$ عند ضغوط أعلى من 50bar، وحددوا المقطع العرضي للامتصاص وشدة الامتصاص التكاملية، وحسبوا العرض الكامل للشريط وطول موجة قمة الامتصاص. لكن من الضروري الإشارة إلى أنه عند ضغوط مرتفعة يؤدي التصادم دوراً كبيراً في تعريض شريط الامتصاص، ومن الضروري دراسة هذا الشريط عند ضغوط منخفضة؛ وذلك من أجل الحصول على معطيات دقيقة، تكفي لتقدير امتصاص الأوكسجين في الغلاف الجوي بدقة [2].

تركز غالبية المراجع العلمية الخاصة بالأوكسجين [1,4,8] على دراسة تأثير بخار الماء وغاز ثاني أوكسيد الكربون، وعلى وجه الخصوص الأزوت، كشركاء تصادم، وتفقر المراجع العلمية إلى دراسات تأثير الأرجون، باستثناء العمل [3] الذي يورد عدداً محدوداً من التجارب التي استخدم فيها الأرجون كشريك تصادم عند نسبة مزج واحدة، وفي درجات حرارة منخفضة

فقط. بين الباحثون في هذا العمل أن كفاءة الأرجون تماثل تلك الكفاءة للأزوت، دون إجراء قياسات كافية تثبت ذلك. فقد أصبح بالإمكان الحصول على شرائط الأوكسجين المحرض بالتصادم تجريبياً في المختبر، باستخدام خلية غازية متعددة المسارات، تتحمل ضغوطاً مرتفعة، كما يمكن التحكم بدرجة حرارتها. إن استخدام هذه الخلية سمح بالحصول على شروط قريبة من تلك الشروط الملاحظة في الغلاف الجوي الأرضي [9].

هدف البحث وأهميته

هدفت هذه الدراسة التجريبية إلى تحديد إسهام الأرجون في امتصاص الأوكسجين المحرض بالتصادم في مزائج بنسب مختلفة من الأوكسجين والأرجون، في منطقة الأطوال الموجية $1.27\mu\text{m}$ ، وبدرجة حرارة 298K ، وفي مجال الضغوط من 1bar حتى 25bar . يمكن أن تسهم النتائج المستخلصة من هذا البحث في إظهار تأثير شركاء التصادم في تشكيل طيف امتصاص الأوكسجين في طبقات الغلاف الجوي المختلفة. مع أن النسبة المئوية للأرجون في الغلاف الجوي تساوي 0.0093% ، إلا أن أهمية دراسته كشريك تصادم مع الأوكسجين تأتي من كونه غازاً وحيد الذرة من جهة، ومن جهة أخرى لا يدخل بتفاعلات كيميائية مع الأوكسجين في الشروط النظامية من ضغط ودرجة حرارة. إن إدخال إسهام الأوكسجين في تقدير امتصاص الإشعاع الشمسي، في شروط السماء الصافية، يدل على أن هناك امتصاصاً إضافياً يساوي 0.58W.m^{-2} يجب أن يؤخذ بالحسبان، عند وضع خرائط التنبؤات المناخية الطويلة والمتوسطة الأمد [3].

العمل التجريبي

أنجزت القياسات التجريبية باستخدام مقياس الطيف الضوئي Cary 5000 الذي يجري التحكم به عن طريق حاسوب مزود بالبرامج اللازمة الموجود في مخبر المطيافية في قسم الفيزياء من كلية العلوم بجامعة دمشق. سُجِّلت أطياف الامتصاص جميعاً في مجال الأطوال الموجية من 1210nm إلى 1300nm ، وذلك لمسح شريط امتصاص الأوكسجين بالكامل. استخدم نمط قياس تصحيح خط القاعدة، وبلغ العرض الطيفي للشق المقدار 0.2nm ، أما سرعة المسح فكانت 10nm/min . اختيرت قيم هذه المتغيرات لضمان الحصول على أطياف ذات ضجيجية أصغر ما يمكن.

بلغت نقاوة غاز الأوكسجين 99.999% ، في حين كانت نقاوة غاز الأرجون 99.99% ، ولم تخضع هذه الغازات المستخدمة إلى أية عملية تنقية إضافية، لكن جرى التحقق من نقاوتها باستخدام تقنية الكروماتوغرافية الغازية GC. استخدمت لتسجيل أطياف الامتصاص خلية White غازية، يتكون المسار الضوئي فيها من 48 انعكاساً بين مرآياها، التي تفصل فيما بينها مسافة تساوي 20cm . لهذا بلغ طول المسار الضوئي

المستخدم لإنجاز التجارب جميعاً المقدار 9.6m . إن الخلية مزودة بنوافذ من الياقوت الأزرق sapphire وتمتلك نفوذية تساوي 96% في مجال الأطوال الموجية من 200nm إلى 2500nm ، وتتحمل ضغوطاً تصل حتى 60bar ، وفقاً للشركة المصنعة.

جرى تخلية الخلية الغازية، قبل البدء بتسجيل كل طيف من الأطياف، وذلك باستخدام مضخة تخلية دورانية زيتية من شركة Edward، تعطي تخلية تصل إلى قرابة 1×10^{-2} Torr ، تكفي للحصول على خط قاعدة مستقر لا تتجاوز فيه قيمة الامتصاصية المقدار $\pm 5 \times 10^{-4}$.

لضمان إجراء القياسات عند درجة حرارة ثابتة تساوي 298K ، استُخدم منظم درجة حرارة من شركة Watlo، مناسب للتوصيل مع الخلية الغازية عن طريق حساسات حرارية تصل دقتها إلى $\pm 0.1^\circ\text{C}$. سُجِّل كل طيف بعد زمن قدره 30min على الأقل، من لحظة إدخال الغاز إلى الخلية وتثبيت درجة الحرارة، مما يعطي الوقت الكافي لتجانس المزيج الغازي واستقراره عند درجة الحرارة المطلوبة. زُوِّدَت الخلية الغازية واسطوانات الغاز بمنظمات ضغط ومقاييس ضغط مناسبة للعمل مع الأوكسجين، ووُصِّلت باستخدام أنابيب ضغط مرتفع، ونُظِّفَت بمحلول الهكسان لضمان خلوها من أي آثار متبقية من الزيوت.

يتطلب الحصول على أطياف امتصاص ذات دقة عالية، إنجاز عملية القياس على النحو الآتي: في البداية يُسجَّل طيف الخلفية بعد تخلية الخلية وتثبيت درجة حرارتها، حيث تحفظ النتيجة في الحاسوب المربوط مع مقياس الطيف، على هيئة طيف لخط القاعدة. بعد ذلك يُدخَل غاز الأوكسجين بضغط محدد، ويترك كي يستقر ويتجانس مع ثبات درجة حرارة الخلية، ومن ثم يسجل طيف امتصاص الأوكسجين الصافي، أي عند نسبة مزج 100% . يسجل مقياس الطيف طيف الامتصاص مطروحاً منه طيف خط القاعدة. بعد ذلك يُدخَل غاز الأرغون بضغط محدد، يوافق نسبة المزج المطلوبة، ويترك كي يستقر المزيج ويتجانس مع ثبات درجة حرارة الخلية، ومن ثم يسجل طيف امتصاص الأوكسجين في المزيج. تكرر هذه الإجراءات عند تسجيل كل طيف من أطياف الامتصاص، وعند كل قيمة من قيم نسبة مزج الغازات المدروسة.

من الضروري الإشارة إلى أنه لوحظ ارتفاع خط قاعدة الطيف بالكامل، وقيمة ثابتة إلى حدٍ مقبولٍ، من أجل كل قيمة للضغط داخل الخلية، دون أن يؤثر هذا في دقة الطيف المسجل. يُعزى ذلك إلى تغير قرينة انكسار المزيج الغازي مع الضغط، وقد جرى التخلص من هذا الارتفاع بسهولة عن طريق الحاسوب باستخدام برنامج Origin 8.5.

يبين الجدول (1) قيم ضغط كل من الأوكسجين والأرجون والضغط الكلي والنسب المئوية للأوكسجين في المزائج المستخدمة لتسجيل أطيايف الامتصاص. اختيرت قيم الضغوط الواردة في الجدول للحصول على نسب المزج المطلوبة من جهة، ومن جهة أخرى كي لا يتجاوز الضغط الكلي في الخلية مقدار 25 bar. أما إشارة "*" الواردة على نسب المزج في الجدول، فتدل على سلسلة التجارب التي أنجزت عند ضغط ثابت للأوكسجين مع زيادة ضغط الأرجون، وذلك من أجل حساب كفاءة الأرجون كشريك تصادم.

الجدول (1) قيم ضغط كل من الأوكسجين والأرجون والضغط الكلي والنسب المئوية للأوكسجين في المزيج الغازي.

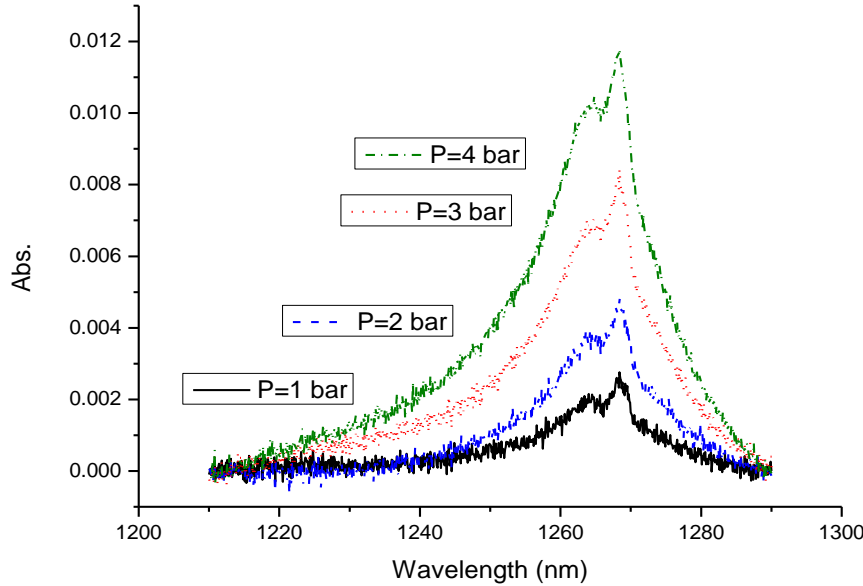
O ₂ Pressure (bar)	Ar Pressure (bar)	Total Pressure (bar)	O ₂ Mixing Ratio %
1	0	1	100
1	1	2	50
1	4	5	20
2	0	2	100
2	2	4	50
2	8	10	20
3	0	3	100
3	3	6	50
3	12	15	20
4	0	4	100*
4	1	5	80*
4	4	8	50*
4	16	20	20*
4	1	5	80*
4	4	8	50*
4	8	12	33*
4	12	16	25*
4	16	20	20*
4	20	24	17*

O ₂ Pressure (bar)	Ar Pressure (bar)	Total Pressure (bar)	O ₂ Mixing Ratio %
5	0	5	100
5	5	10	50
5	20	25	20
8	0	8	100
8	2	10	80
8	8	16	50
10	0	10	100
10	10	20	50
12	0	12	100
12	3	15	80
12	2	24	50
15	0	15	100
16	0	16	100
16	4	20	80
20	0	20	100
20	5	25	80
25	0	25	100

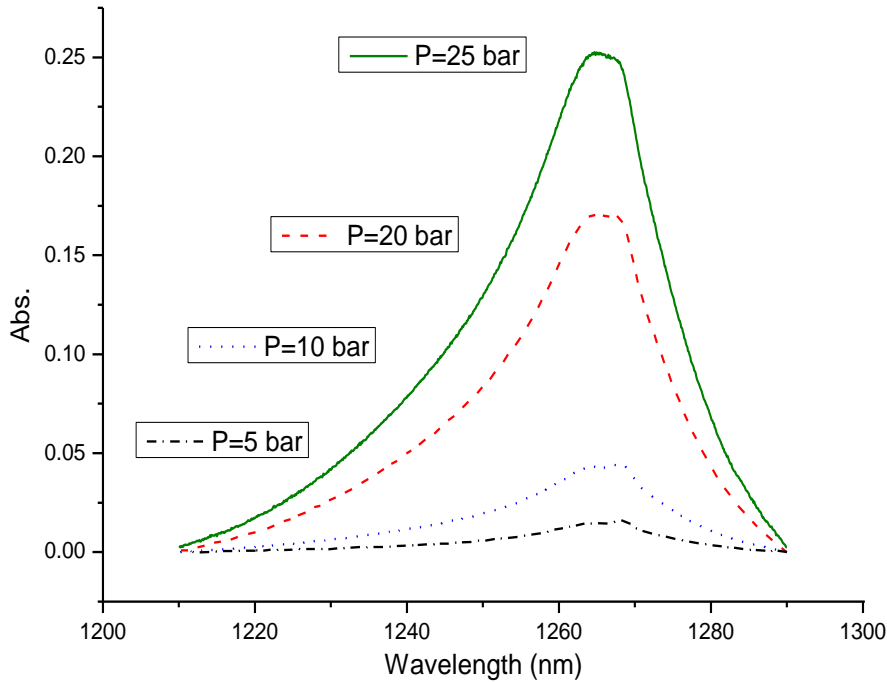
النتائج والمناقشة

1- امتصاص الأوكسجين الصافي

يبين الشكل (1) والشكل (2) نموذجين من نتائج قياسات طيف امتصاص الأوكسجين الصافي، أي من أجل نسبة مزج 100%، في منطقة الأطوال الموجية 1270nm، عند ضغوط من 1bar حتى 25bar. يظهر في هذه المنطقة من الطيف شريطا امتصاص. الشريط الأول هو شريط ضيق ويظهر إلى الأعلى من شريط امتصاص آخر عريض ومستمر. تقع قمة شريط الامتصاص الضيق عند طول الموجة $1268.4 \pm 0.2 \text{ nm}$ ، في حين تقع قمة شريط الامتصاص العريض عند $1264.5 \pm 0.2 \text{ nm}$. إن العرض الكامل عند منتصف القمة العظمى للشريط الأول لا يتجاوز المقدار 2nm، في حين يبلغ للشريط الثاني قرابة 30nm. يظهر شريط الامتصاص الأول واضحاً في مجال الضغوط من 1bar حتى قرابة 12bar، لكن بارتفاع الضغط يختفي هذا الشريط الضيق ضمن شريط الامتصاص العريض، إلا أن بالإمكان تمييز موضعه بسهولة، لأنه يظهر على هيئة كتف على الشريط العريض غير المتناظر.



الشكل (1) شريط امتصاص الأوكسجين الصافي في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm عند ضغوط 1 bar و 2 bar و 3 bar و 4 bar.

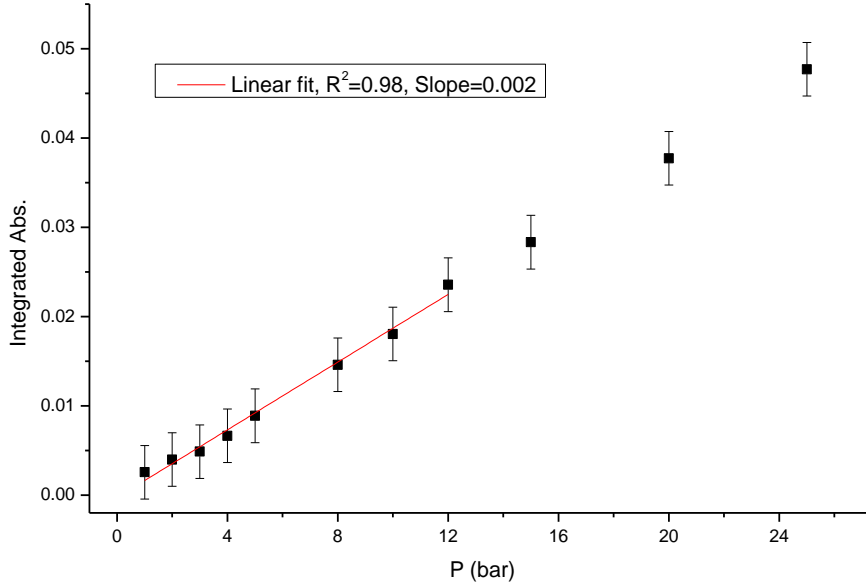


الشكل (2) شريط امتصاص الأوكسجين الصافي في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm عند ضغوط 5 bar و 10 bar و 20 bar و 25 bar.

يبقى كل من موضع القمة العظمى لامتصاص الشريط الأول، وعرضه الكامل، ثابتين بازدياد الضغط، في مجال الضغوط التي يبقى فيها هذا الشريط واضحاً. لهذا يمكن الاستنتاج أن مراكز الامتصاص المسؤولة عن ظهور هذا الشريط، لا تتأثر بتغيرات الضغط في المجالات المدروسة. فقد كان بالإمكان استخلاص هذا الشريط الضيق من شريط الامتصاص العريض في كامل مجال الضغوط المدروسة، استناداً إلى معرفة موضعه عند الضغوط المنخفضة، بهدف دراسة تبعيته للضغط. استُخلص شريط الامتصاص هذا باستخدام برنامج Origin 8.5، وحُسبت الامتصاصية التكاملية له في مجال الضغوط من 1 bar حتى 12 bar. عند رسم تغيرات الامتصاصية التكاملية بدلالة الضغط، بينت

النتائج أنها تتواءم جيداً مع علاقة خطية، أي إنها تتزايد تزايداً خطياً بازدياد الضغط، كما يبين الشكل (3).

بهدف تحديد قيمة الامتصاصية التكاملية للشريط الضيق في مجال الضغوط الأعلى من 12 bar، أي حالما يختفي هذا الشريط الضيق ضمن شريط الامتصاص العريض، طُبِّقت طريقة الاستقراء الخارجي في تحديد هذه القيم من الخط البياني. استناداً إلى هذا، يعزى الامتصاص في هذا الشريط إلى الانتقال الاهتزازي الإلكتروني $\Delta_g^1 (\nu = 0) \leftarrow {}^3\Sigma_g^- (\nu = 0)$ في جزيئات الأوكسجين O_2 ، وهذا ما يتفق اتفاقاً جيداً مع النتائج التي تعطيها الأعمال [3,7].



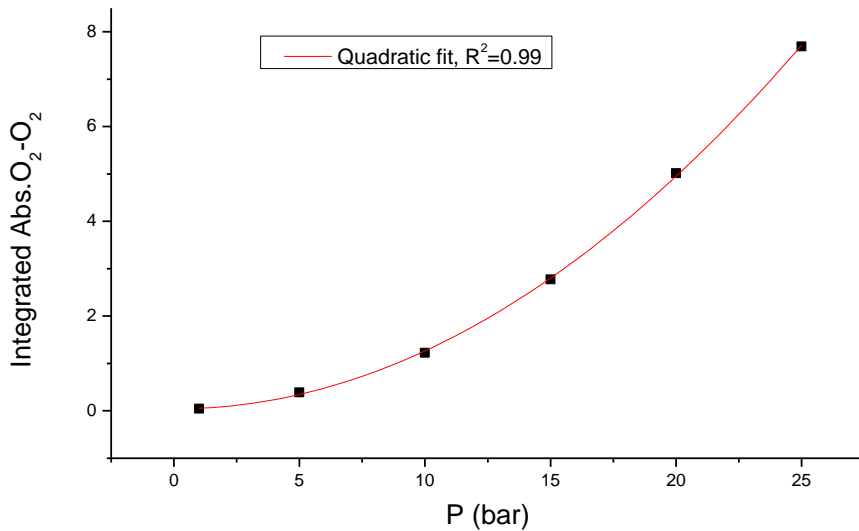
الشكل (3) تغيرات الامتصاصية التكاملية لشريط امتصاص الأوكسجين الصافي O_2 عند 1268.4 nm بدلالة الضغط.

أمّا فيما يخص شريط الامتصاص الثاني، فهو كما يبين الشكلان (1) و(2)، يظهر على هيئة امتصاص عريض ومستمر، ولا يبدي أية بنية دورانية في كامل مجال الضغوط المدروسة. لم يلاحظ أي انزياح في موضع القمة العظمى لهذا الشريط بازدياد الضغط؛

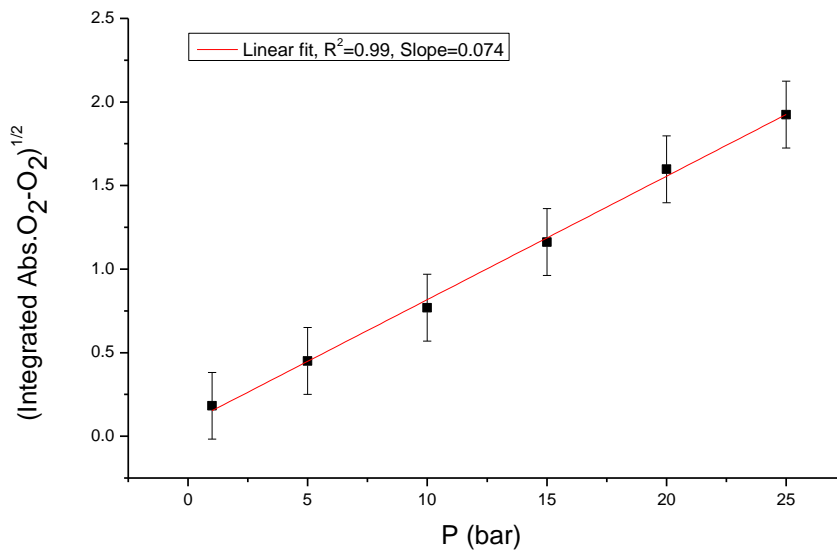
وذلك ضمن حدود الأخطاء التجريبية. يبدأ هذا الشريط بالظهور حتى عند ضغط يساوي 1bar. مع أنه عند الضغوط المنخفضة تكون الضجيجية كبيرة، إلا أن هذا الامتصاص المستمر يبدو واضحاً، ويمكن تمييزه بسهولة عن الامتصاص الضيق العائد لجزيئات الأوكسجين O_2 . تبين عند حساب العرض الكامل عند منتصف القمة العظمى لهذا الشريط، بعد استخلاص الامتصاص الضيق منه، أنه يزداد قليلاً بزيادة الضغط. بالإمكان تفسير ذلك بأنه ناجم عن تعريض الشرائط الطيفية بالضغط، بالطريقة نفسها التي يزداد بها عرض الخطوط الطيفية بسبب الضغط. من الضروري الإشارة إلى أن القيمة المحسوبة لهذا العرض، والتي تساوي 30nm، تقع ضمن مجال القيم التي تعطيها الأعمال [8,9,10]، والتي حُسبت في درجات حرارة مختلفة، كانت غالبيتها درجات حرارة منخفضة. على ما يبدو أن العرض الكامل لهذا الشريط يتعلق بدرجة الحرارة، ويتطلب البرهان على ذلك إجراء دراسة لتبعية هذا الشريط لدرجات الحرارة الأعلى من درجة حرارة الغرفة.

يبين الشكل (4) تغيرات الامتصاصية التكاملية لشريط الامتصاص العريض بدلالة الضغط. يوضح الشكل أن الامتصاصية التكاملية تزداد بزيادة الضغط وفقاً لعلاقة غير خطية. يبين الشكل (5) أن الامتصاصية التكاملية تتناسب مع مربع الضغط، وذلك كون الجذر التربيعي للامتصاصية التكاملية يزداد ازدياداً خطياً مع الضغط. وفقاً لذلك يعزى شريط الامتصاص المستمر هذا إلى الانتقال الاهتزازي الإلكتروني ${}^3\Sigma_g^-(\nu=0) + {}^3\Sigma_g^-(\nu=0) \leftarrow {}^3\Sigma_g^-(\nu=0) + \Delta_g^1(\nu=0)$ في الأزواج التصادمية $O_2 - O_2$ ، ويسمى الامتصاص المحرض بالتصادم، وهذا ما يتفق مع معطيات الأعمال [6,8]. إن ظهور الامتصاص المحرض بالتصادم، حتى عند ضغط 1bar، يدل على نحوٍ غير قابلٍ للشك، على أن الأزواج التصادمية $O_2 - O_2$ تسهم إسهاماً مهماً في عمليات الامتصاص الحاصلة في الغلاف الجوي، ولهذا لا يمكن إهمال هذا الإسهام عند الأخذ بالحسبان عمليات النقل الإشعاعي.

بين العمل [9] أن الامتصاصية التكاملية لا تتغير مع الضغط، لكن هذه النتيجة غير صحيحة ولاقت عدداً من التعليقات، على سبيل المثال أشار العمل [10]، إلى أن هذا الاستنتاج غير صحيح ويعزى إلى الخطأ الكبير المرتكب في فصل طيف الخلفية عن أطراف الامتصاص المسجلة، وذلك بسبب تداخل هذه الطيوف مع بعضها الآخر.



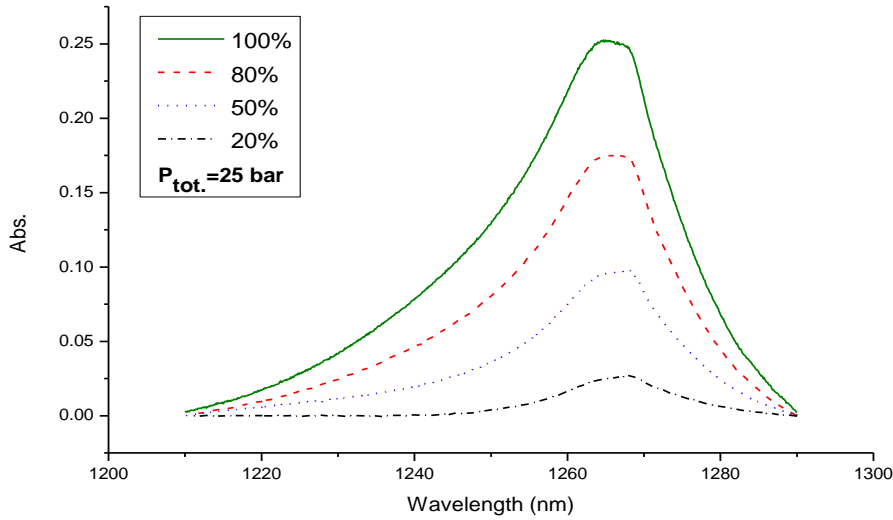
الشكل (4) تغيرات الامتصاصية التكاملية لامتصاص المحرض بالتصادم O₂ - O₂ عند 1264.5 nm بدلالة الضغط.



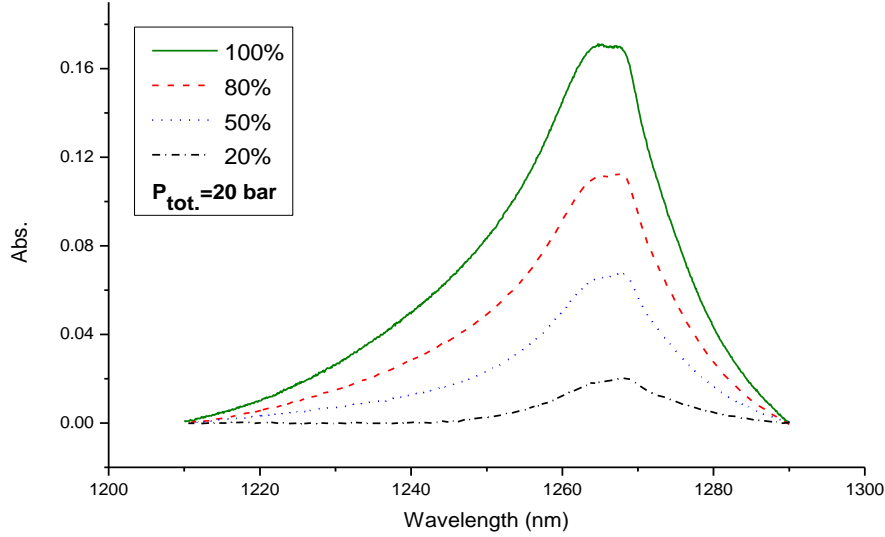
الشكل (5) تغيرات الجذر التربيعي لامتصاصية التكاملية لامتصاص المحرض بالتصادم O₂ - O₂ عند 1264.5 nm بدلالة الضغط.

2- امتصاص الأوكسجين في المزائج الغازية مع الأرجون

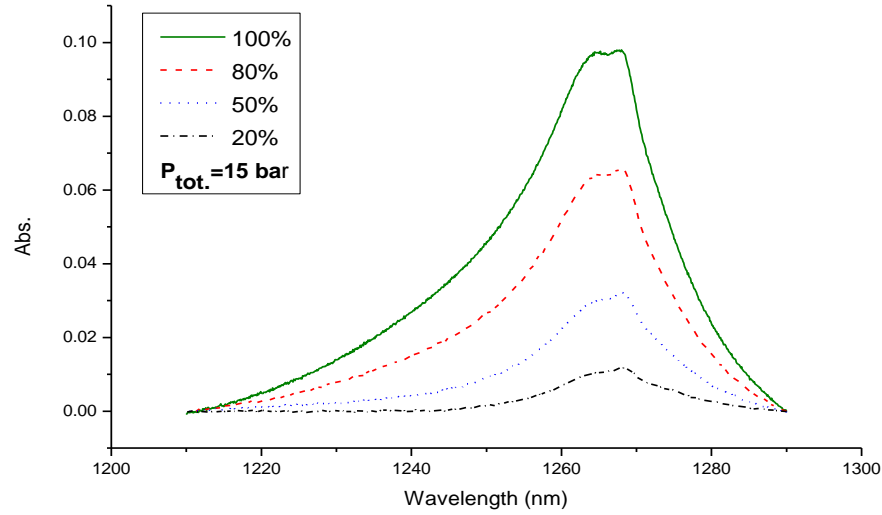
تبيّن الأشكال (6) و (7) و (8) و (9) و (10) نماذج من نتائج قياسات شريط امتصاص الأوكسجين في مزائج من الأوكسجين والأرجون، عند ضغط كلي للمزيج يساوي 25 bar و 20 bar و 15 bar و 10 bar و 5 bar، على الترتيب، وبنسب مزج 100% و 80% و 50% و 20%. رسمت هذه الأطياف بمقاييس رسم مختلفة بهدف إظهارها عند الضغوط المنخفضة وعند نسب المزج الصغيرة. كما هي عليه الحال من أجل الأوكسجين الصافي، يظهر في هذه المنطقة من الطيف شريطا امتصاص، الأول ضيق ويظهر أعلى شريط امتصاص وآخر عريض ومستمر. يظهر شريط الامتصاص الأول واضحا، في درجة الحرارة المدروسة، في مجال الضغوط من 1 bar حتى 12 bar، ومن ثم يختفي ضمن شريط الامتصاص العريض. إن مواضع قمم هذه الشرائط تبقى على حالها، وكذلك الأمر بالنسبة إلى عرضها الكامل عند منتصف القمة العظمى، وتتطابق ضمن حدود الخطأ التجريبي مع قيمها في حالة الأوكسجين الصافي. لهذا بالإمكان الاستنتاج أن مراكز الامتصاص المسؤولة عن ظهور هذا الشريط، لا تتأثر بتغيرات الضغط في المجال المدروس في المزيج الغازي، على نحوٍ مشابهٍ لحالة الأوكسجين الصافي، وهذا ما يتفق مع نتائج العمليين [1] و [8] اللذين يعطيان الاستنتاج نفسه، لكن من أجل مزائج الأوكسجين مع الأروت.



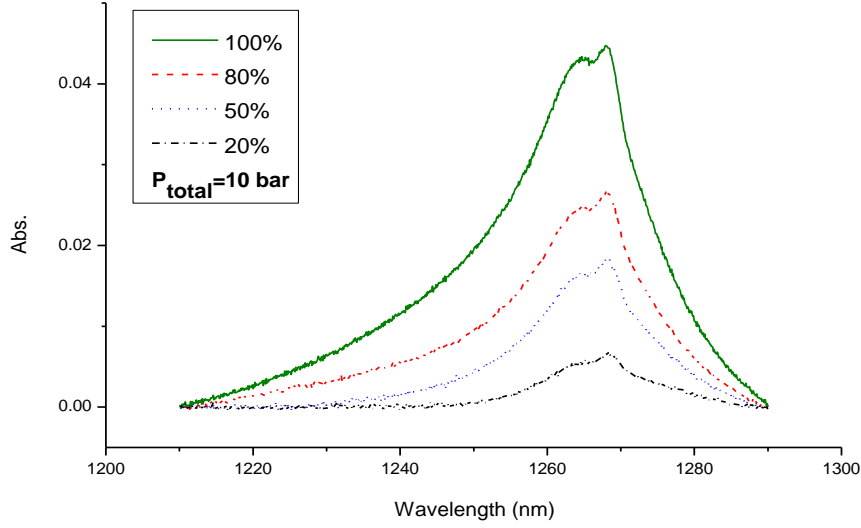
الشكل (6) شريط امتصاص الأوكسجين في مزائج من الأوكسجين والأرجون في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm. الضغط الكلي 25 bar بنسب مزج مختلفة.



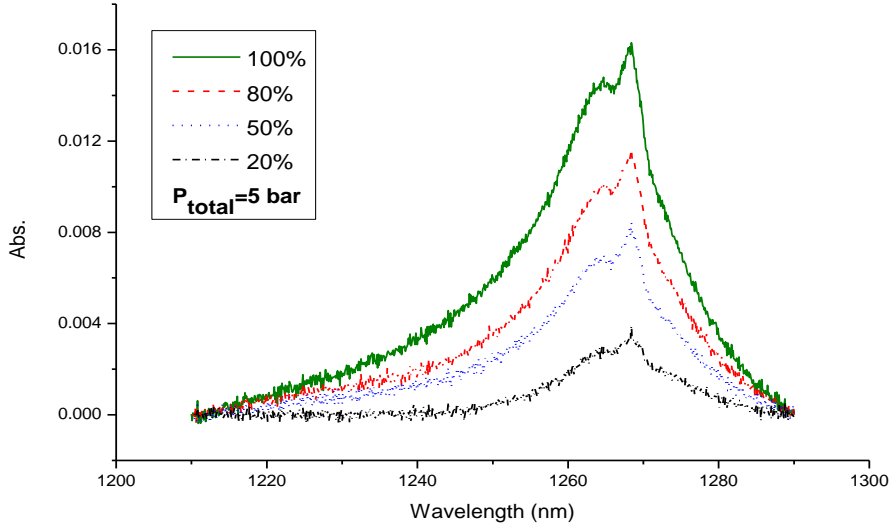
الشكل (7) شريط امتصاص الأوكسجين في مزائج من الأوكسجين والأرغون في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm. الضغط الكلي 20 bar بنسب مزج مختلفة.



الشكل (8) شريط امتصاص الأوكسجين في مزائج من الأوكسجين والأرغون في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm. الضغط الكلي 15 bar بنسب مزج مختلفة.



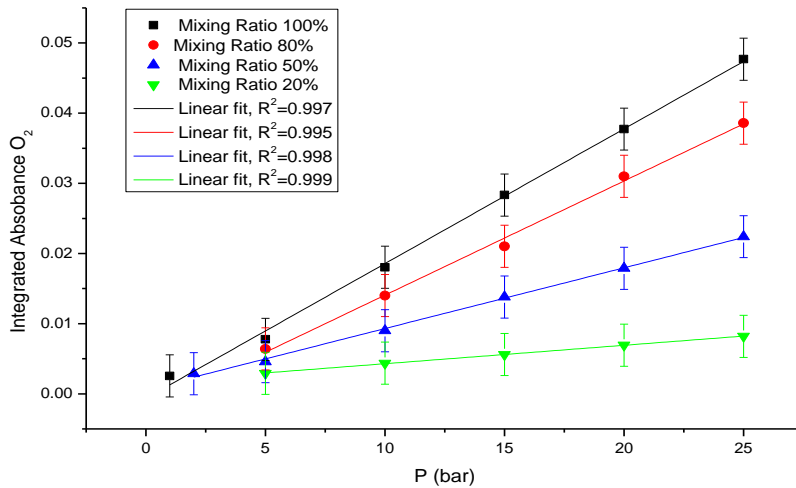
الشكل (9) شريط امتصاص الأوكسجين في مزائج من الأوكسجين والأرجون في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm. الضغط الكلي 10 bar بنسب مزج مختلفة.



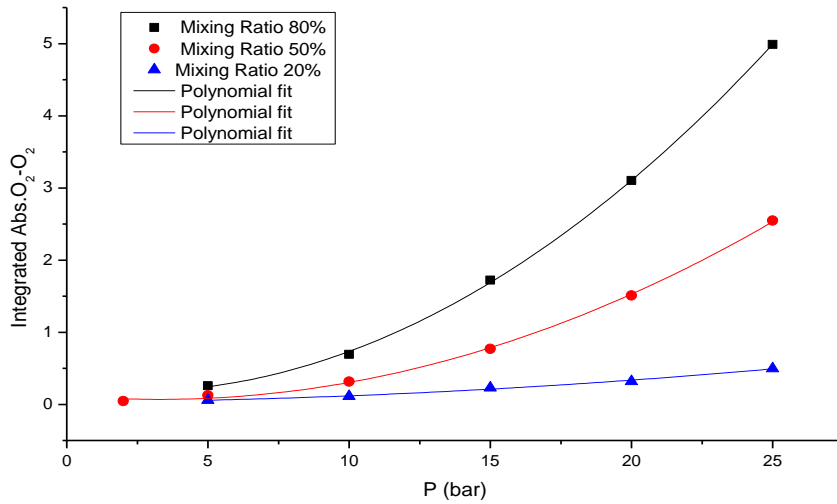
الشكل (10) شريط امتصاص الأوكسجين في مزائج من الأوكسجين والأرجون في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm. الضغط الكلي 5 bar بنسب مزج مختلفة.

وفقاً لمعطيات الأشكال الآتية الذكر، من الواضح أن الامتصاصية تتناقص بتناقص نسبة الأوكسجين في المزيج، مع بقاء الضغط الكلي للمزيج ثابتاً. ولدراسة علاقة الامتصاصية التكاملية للشريط الضيق بالضغط في المزائج المختلفة، استُخلص هذا الشريط، بالطريقة نفسها التي استخدمت في حالة الأوكسجين الصافي، بمساعدة برنامج Origin 8.5، وحُسبت الامتصاصية التكاملية له في مجال الضغوط من 1bar حتى 12bar، وجرى استقراء قيمها عند الضغوط الأعلى، ومن ثم رُسمت تغيرات الامتصاصية التكاملية بدلالة الضغط. بيّنت النتائج أنها تتواءم جيداً مع علاقة خطية، أي أنها تزداد تزايداً خطياً بازدياد الضغط، من أجل نسب المزج جميعاً، كما يبيّن الشكل (11). استناداً إلى هذا، يعزى الامتصاص في هذا الشريط الضيق أيضاً إلى الانتقال الاهتزازي الإلكتروني $\Delta^1_g (v=0) \leftarrow {}^3\Sigma^-_g (v=0)$ في جزيئات الأوكسجين O_2 . يدل هذا على أن ضغط الأروغون في المزيج لا يؤثر في امتصاص الجزيئات O_2 ، ويتفق هذا الاستنتاج اتفاقاً جيداً مع معطيات العمل [3].

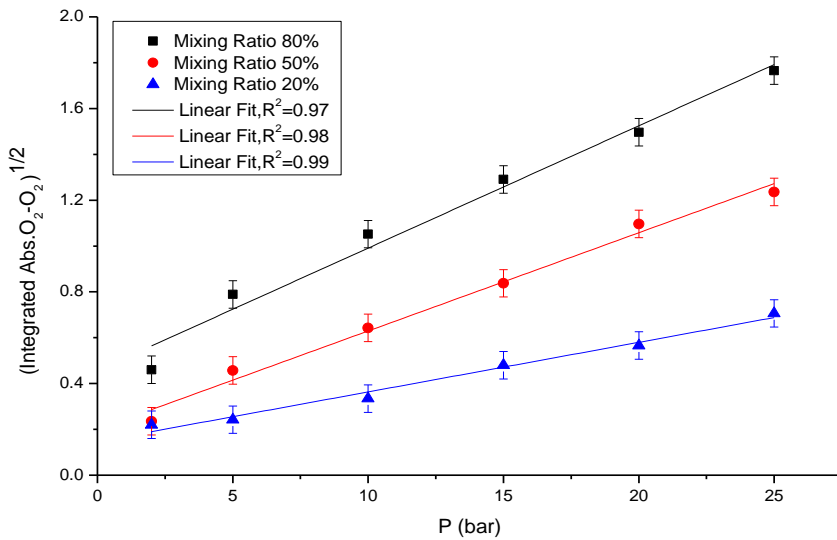
كما في حالة الأوكسجين الصافي، حُسبت الامتصاصية التكاملية للشريط العريض في المزائج المختلفة، باستخدام برنامج Origin 8.5، وطرحت منها تلك القيم العائدة للامتصاصية في الشريط الضيق. يبين الشكل (12) أن تغيرات الامتصاصية التكاملية لشريط الامتصاص العريض بدلالة الضغط، ليست خطية عند نسب المزج جميعاً، وأنها تتناسب مع مربع الضغط، إذ يبيّن الشكل (13)



الشكل (11) تغيرات الشدة التكاملية لشريط امتصاص الأوكسجين O_2 عند طول الموجة 1268.4 nm في مزائج بنسب مختلفة من الأوكسجين والأروغون بدلالة الضغط الكلي.



الشكل (12) تغيرات الشدة التكاملية لامتناص $O_2 - O_2$ في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm في مزائج بنسب مختلفة من الأوكسجين والأرجون بدلالة الضغط الكلي.

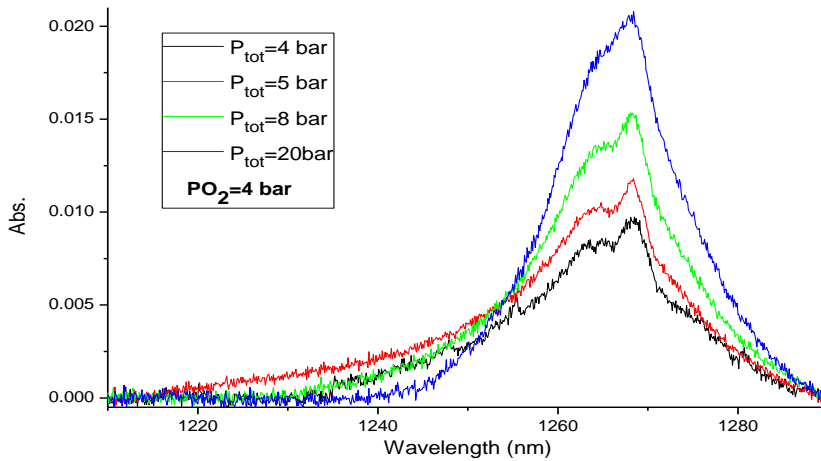


الشكل (13) تغيرات الجذر التربيعي للشدة التكاملية لامتناص $O_2 - O_2$ في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm في مزائج بنسب مختلفة من الأوكسجين والأرجون بدلالة الضغط الكلي.

يزداد الجذر التربيعي للامتصاصية التكاملية ازدياداً خطياً مع الضغط، وذلك من أجل نسب المزج جميعاً. تشبه هذه العلاقة تلك الحاصلة في حالة الأوكسجين الصافي، أي عند نسبة مزج 100%، إلا أن الفرق المهم هو تناقص قيم الامتصاصية التكاملية بتناقص نسبة الأوكسجين في المزيج.

لكن عند مقارنة قيم الامتصاصية التكاملية بحالة المزائج المختلفة، من أجل قيمة محددة للضغط الجزئي للأوكسجين، مع قيمتها بحالة الأوكسجين الصافي، من أجل قيمة الضغط نفسها، يتضح أنها أكبر في حالة المزيج منها في حالة الأوكسجين الصافي، وتزداد بازدياد نسبة الأرجون. لتوضيح ذلك كميّاً، أجريت سلسلة من القياسات عند ضغط ثابت للأوكسجين يساوي 4 bar، مع زيادة ضغط الأرجون تدريجياً وصولاً إلى قيمة للضغط الكلي تساوي 24 bar. اختيرت هذه القيمة لضغط الأوكسجين كون طيف الأوكسجين الصافي عندها واضحاً وذا وثوقية عالية، يمكن الاعتماد عليها في الحسابات اللاحقة.

يبين الشكل (14) طيف امتصاص الأوكسجين في مزائج بنسب مختلفة من الأوكسجين والأرجون عند ضغط جزئي ثابت للأوكسجين يساوي 4 bar. تبين مقارنة الامتصاصية التكاملية أن قيمها بحالة المزيج أعلى منها في حالة الأوكسجين الصافي. يبين الجدول (2) قيم الضغط الكلي وضغط كل من الأوكسجين والأرجون ونسبهما المئوية في المزيج، وقيمة الامتصاصية التكاملية، محسوبة باستخدام برنامج Origin 8.5، لشريط الامتصاص بالكامل. يبين الشكل (15) تغيرات الامتصاصية التكاملية

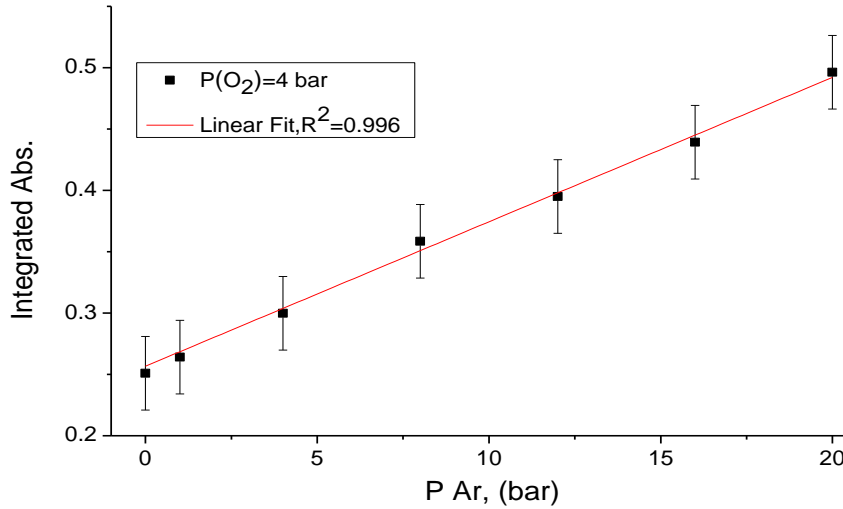


الشكل (14) شريط امتصاص الأوكسجين في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm في مزائج من الأوكسجين والأرجون بنسب مختلفة عند ضغط جزئي ثابت للأوكسجين يساوي 4 bar

الجدول (2) قيم الضغط الكلي وضغط كل من الأوكسجين والأرجون ونسبهما المئوية في المزيج، وقيمة الامتصاصية التكاملية.

P_{tot} (bar)	P_{O_2} (bar)	P_{Ar} (bar)	$O_2\%$	$Ar\%$	الامتصاصية التكاملية	$\kappa = \frac{Ar\%}{O_2\%}$	كفاءة الأرجون ϵ
4	4	0	100	0	0.2510		
5	4	1	80	20	0.2641	0.25	0.209
8	4	4	50	50	0.2998	1.00	0.194
12	4	8	33	67	0.3585	2.03	0.211
16	4	12	25	75	0.3950	3.04	0.189
20	4	16	20	80	0.4393	4.00	0.188
24	4	20	17	83	0.4963	4.88	0.200

بدلالة ضغط الأرجون في المزيج الغازي. يوضح الشكل أن الامتصاصية التكاملية تزداد ازدياداً خطياً بزيادة ضغط الأرجون، مع بقاء ضغط الأوكسجين ثابتاً. هذا يعني أن الأرجون يؤثر في زيادة الامتصاص في الشريط العريض، وليس له من تأثير في امتصاص الأوكسجين O_2 الذي يظهر على هيئة شريط امتصاص ضيق. يمكن الاستدلال على ذلك، من كون شريط الامتصاص الضيق يبقى واضحاً عند القيم المختلفة لضغط الأرجون، ويبدأ باندماج مع الشريط العريض على هيئة شريط غير متناظر عند ازدياد ضغط الأرجون.



الشكل (15) تغيرات الامتصاصية التكاملية لشريط امتصاص الأوكسجين في منطقة الأطوال الموجية 1270 nm بدلالة ضغط الأرجون في المزيج عند ضغط جزئي للأوكسجين 4 bar.

وفقاً إلى المتقدم ذكره، وعلى وجه الخصوص العلاقة التريبية للامتصاص التكاملي بالضغط، يعزى شريط الامتصاص العريض والمستمر إلى الانتقال الإلكتروني الاهتزازي $\Delta^1_g(v=0) + {}^3\Sigma_g^-(v=0) \leftarrow {}^3\Sigma_g^-(v=0) + {}^3\Sigma_g^-(v=0)$ في أزواج التصادم $\dot{O}_2 - O_2$. أما زيادة الامتصاص بازدياد نسبة الأرجون عند قيم ثابتة للضغط الجزئي للأوكسجين، فتعزى إلى امتصاص الأزواج $O_2 - Ar$ الذي يتطابق، كما تبين النتائج التجريبية، مع امتصاص الأزواج $O_2 - O_2$. يمكن الاستدلال على صحة هذا الاستنتاج من عدم تناظر شكل شريط الامتصاص في الشكل (14). إن إسهام الأزواج $O_2 - Ar$ في الامتصاص المحرض بالتصادم في منطقة الأطوال الموجية 1270nm واضح، وذلك كما هي عليه الحال مع الأزوت، إذ بينت الأعمال [3,10] وجود مثل هذه الزيادة. وعليه بالإمكان القول: إن تصادم الأوكسجين مع الجزيئات الأخرى، يسهم أيضاً في الامتصاص المحرض بالتصادم، ويجب أن يؤخذ بالحسبان في عمليات النقل الإشعاعي في الغلاف الجوي، وهذا ما يتفق مع ما ورد في العمل [11].

3-4 تقدير كفاءة الأرجون كشريك تصادم مع الأوكسجين في المزائج الغازية

يمكن تقدير كفاءة الأرجون، أو أي غاز آخر، كشريك تصادم مع الأوكسجين، مقارنة بالأوكسجين كشريك تصادمي مع نفسه، بالأخذ بالحسبان أن الامتصاصية التكاملية S_1 ، لعينة تحوي N جزيئاً من الأوكسجين الصافي تساوي S_{O_2} الامتصاصية التكاملية الناجمة عن تصادم الأزواج $O_2 - O_2$. أما بحالة المزيج، فإن الامتصاصية التكاملية الكلية S_2 ، تنجم من مجموع حدين، الأول هو S_{O_2} ، والآخر هو S_{Ar} ، الامتصاصية التكاملية الناجمة عن تصادم الأزواج $O_2 - Ar$. ولما كانت حالة المزيج تنجم عن إضافة K جزيئاً من الأرجون، إذ $K = (Ar\% / O_2\%)$ ، إلى عينة الأوكسجين الصافي، فإن الامتصاصية التكاملية للعينة المحصلة، يمكن أن نكتب على النحو الآتي:

$$S_2 = S_{O_2} + \varepsilon K S_{Ar} \quad (1)$$

يدل المقدار ε على كفاءة الأرجون كشريك تصادم. تبين هذه العلاقة أنه إذا كان الأرجون غير فعالٍ كلياً كشريك تصادمي، أي كفاءة الأرجون $\varepsilon = 0$ ، كما هي عليه الحال لشريط امتصاص الأوكسجين المحرض بالتصادم بحالة الأوكسجين الصافي، فإن المقدار $S_{Ar} = 0$ ، وبالنتيجة $S_2 = S_{O_2} = S_1$. أما إذا كان الأرجون فعالاً كشريك تصادمي، في إنتاج الامتصاص المحرض بالتصادم، بقدر كفاءة الأوكسجين، فإن $\varepsilon = 1$ ويكون المقدار S_{Ar} أكبر بمقدار K مرة من S_{O_2} ؛ وذلك كون عدد جزيئات الأرجون في العينة أكبر K مرة من عدد جزيئات الأوكسجين. في هذه الحالة يكون $S_2 = S_{O_2} + K S_{Ar}$ ، أو $S_2 - S_1 = K S_1$.

وفقاً لهذا بالإمكان حساب كفاءة الأرجون باستخدام العلاقة الآتية:

$$S_2 - S_1 = \epsilon \kappa S_1 \Rightarrow \epsilon = \frac{S_2 - S_1}{\kappa S_1} \quad (2)$$

لتطبيق هذه العلاقة أُخذت قيمة الامتصاصية التكاملية لعينة الأوكسجين الصافي عند ضغط 4 bar، على أنها تساوي S_1 ، في حين كانت S_2 هي الامتصاصية التكاملية عند كل قيمة من قيم ضغط الأرجون، بثبات ضغط الأوكسجين. يبيّن الجدول (2) قيم κ المحسوبة من أجل المزائج المختلفة، وكذلك قيم كفاءة الأرجون الموافقة من أجل كل نسبة من نسب المزج. إن القيمة الوسطية لكفاءة الأرجون كشريك تصادم، مقارنة بكفاءة الأوكسجين كشريك تصادم مع نفسه، تساوي 0.20 ± 0.01 .

يبيّن العمل [3]، دون أن يتطرق لطريقة الحساب، ويكتفي بنسبة مزج واحدة، أن كفاءة الأرجون كشريك تصادم تماثل كفاءة الأزوت التي تساوي 0.28، في حين يعطي العمل [11] القيمة 0.2 لهذه الكفاءة. لهذا بالإمكان القول: إن كفاءة الأرجون المحسوبة في هذا العمل، تتفق اتفاقاً معقولاً مع هذه القيمة المرجعية المتوافرة، بصرف النظر عن الاختلاف في درجة الحرارة التي سجلت فيه الأطياف المدروسة. على ما يبدو أن الحكم النهائي على وثوقية هذه القيم جميعاً، يتطلب دراسة تأثير درجات الحرارة في شريط امتصاص الأوكسجين المدروس في مزائج غازية مع الأرجون.

الاستنتاجات

- 1- يعود امتصاص الأوكسجين الصافي، في منطقة الأطوال الموجية $1.27 \mu\text{m}$ ، إلى كل من جزيئات الأوكسجين الحرة O_2 وإلى الأزواج التصادمية $\text{O}_2 - \text{O}_2$ ، على حدٍ سواء. يبدو الامتصاص المحرض بالتصادم واضحاً، حتى عند ضغط يساوي 1 bar، ويبدأ امتصاص جزيئات الأوكسجين الحرة O_2 يختفي ضمن شريط الامتصاص المحرض بالتصادم، عند ضغط يساوي 12 bar، ويكون مظهر شريط الامتصاص المحرض بالتصادم غير متناظر.
- 2- تتغير الامتصاصية التكاملية الناجمة عن جزيئات الأوكسجين الحرة O_2 ، بحالة الأوكسجين الصافي، مع الضغط تغيراً خطياً، في حين تكون تغيرات الامتصاصية التكاملية للامتصاص المحرض بالتصادم للأزواج $\text{O}_2 - \text{O}_2$ تريبعية.
- 3- يظهر في حالة المزائج الغازية كل من امتصاص جزيئات الأوكسجين الحرة O_2 ، وامتصاص الأزواج التصادمية $\text{O}_2 - \text{O}_2$ و $\text{O}_2 - \text{Ar}$. أمّا علاقة الامتصاصية

- التكاملية لجزيئات الأوكسجين الحرة بالضغط فتبقى خطية، كما تبقى علاقة الامتصاصية التكاملية للامتصاص المحرض بالتصادم تريبعية أيضاً.
- 4- تزداد الامتصاصية التكاملية بازدياد ضغط الأرجون، عند ضغط جزئي ثابت للأوكسجين، ازدياداً خطياً، مما يدل على تأثير الأرجون كشريك تصادم مع الأوكسجين.
- 5- تكون الامتصاصية التكاملية بحالة المزيج، أخفض منها بحالة الأوكسجين الصافي، عند القيمة نفسها للضغط الكلي؛ وذلك بسبب انخفاض نسبة الأوكسجين في المزيج عنها في حالة الأوكسجين الصافي.
- 6- يبقى موضع القمة العظمى لشريط الامتصاص المحرض بالتصادم، دون أي انزياح في كامل مجال الضغوط المدروسة، وفي حالة كل من الأوكسجين الصافي ومزائج من الأوكسجين والأرجون. لهذا بالإمكان الاستنتاج أن مراكز الامتصاص الجزيئية هي نفسها دون تغيير.
- 7- إن العرض الكامل عند منتصف القمة العظمى لهذا الشريط الطيفي لا تتغير بازدياد الضغط، وتبقى ثابتة، وذلك ضمن حدود الأخطاء التجريبية.
- 8- لا يؤثر الأرجون في امتصاص جزيئات الأوكسجين الحرة O_2 ، ويظهر تأثيره في شريط الامتصاص المحرض بالتصادم، وذلك في منطقة الأطوال الموجية نفسها التي يظهر فيها شريط الامتصاص المحرض بالتصادم بحالة الأوكسجين الصافي. لهذا السبب ليس بالإمكان فصل الامتصاص المحرض بالتصادم العائد للأزواج $O_2 - O_2$ ، عن ذلك العائد للأزواج $O_2 - Ar$.
- 9- إن كفاءة الأرجون كشريك تصادم مع الأوكسجين تساوي 0.20 ± 0.01 ، من كفاءة الأوكسجين كشريك تصادم مع نفسه البالغة 100%.
- 10- إن الامتصاص المحرض بالتصادم للأوكسجين في منطقة الأطوال الموجية $1.27 \mu m$ ، ليس مهماً في الغلاف الجوي، ومن الضروري دراسة علاقة هذا الامتصاص بدرجة الحرارة، وعلى وجه الخصوص في مجال درجات الحرارة الأعلى من 298 K. من ناحية أخرى، هناك حاجة لدراسة تأثير شركاء التصادم في امتصاص الأوكسجين في منطقة الأطوال الموجية $1.06 \mu m$ ، إذ يكون الانتقال إلى الحالة الاهتزازية المثارة الأولى، العائدة للحالة الإلكترونية المثارة نفسها، التي ينتهي إليها الانتقال الإلكتروني الواقع عند $1.27 \mu m$.

References

- [1] Smith, K. M., Newnham, D. A., 1999. Near-infrared absorption spectroscopy of oxygen and nitrogen gas mixtures. *Chemical Physics Letters*, 308 (1): 1–6.
- [2] Paul, D. C., Robert, E. J., Terence, I. Q., 2003. A review of possible optical absorption features of oxygen molecules in the icy surfaces of outer solar system bodies. *Planetary and Space Science*, 51: 183–190.
- [3] Chagas, J. C. S., Newnham, D. A., Smith, K. M., Shine, K. P., 2002. Impact of new measurements of oxygen collision-induced absorption on estimates of short-wave atmospheric absorption. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128(585):2380–2383.
- [4] Solomon, S., Portmann, R. W., Sanders, R. W., Daniel, J. S., 1998. Absorption of solar radiation by water vapor, oxygen, and related collision pairs in the Earth's atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 103(D4):3847–3858.
- [5] Greenblatt, G. D., Orlando, J. J., Burkholder, J. B., Ravishankara, A. R., 1990. Absorption measurements of oxygen between 330 and 1140 nm. *Journal of Geophysical Research*, 95(D11):18577–18582.
- [6] Michalsky, J. J., Harnois, M. B., Bernd, T. J., Harrison, L. C., Kiedron, P. W., Min Q. I., 1999. O₂-O₂ absorption band identification based on optical depth spectra of the visible and near-infrared. *Geophysical Research Letters*, 26(11):1581–1584.
- [7] Newnham, D. A., Ballard, J., 1998. Visible absorption cross sections and integrated absorption intensities of molecular oxygen (O₂ and O₄). *Journal of Geophysical Research*, 103(28):801–816.
- [8] Smith, K. M., Newnham, D. A., 2000. Near-infrared absorption cross sections and integrated absorption intensities of molecular oxygen (O₂, O₂-O₂, and O₂-N₂). *Journal of Geophysical Research*, 105(73):83–96.
- [9] Mlawer, E. J., Clough, S. A., Brown, P. D., Stephens, T. M., Landary, J. C., Goldman, A., Murcray, F. J., 1998. Observed atmospheric collision induced absorption in near infrared oxygen bands. *Journal of Geophysical Research*, 103(38):59–63.
- [10] Mate, B., Lugez, C., Fraser, G. T., Lafferty, W. J., 1999. Absolute intensities for the O₂ 1.27 μm continuum absorption; *Journal of Geophysical Research*. 104(30): 585–590.
- [11] Zender, C. S., 1999. Global climatology of abundance and solar absorption of oxygen collision complexes. *Journal of Geophysical Research*, 104(24):471–484.