

Study the Optical and Spectral Properties of the Acridine Dye As an Effective Medium in Dye Lasers

Afrah M. AL Hussainey^a Ruaa Kahtan Mahmoud^b Talib M. Abbas ALShafie^c

^{a,b} Department of Physics, college of Science, Babylon University, Babylon, Iraq

^c Department of Physics, Education for pure sciences, Babylon University, Babylon, Iraq

afrahalsherefy@yahoo.com

Dr.Talib_mohsen@yahoo.com

Submission date:- 29/5/2018 Acceptance date:- 12/6/2018 Publication date:- 29/11/2018

Keywords: Acridine, Absorption, Fluorescence, Laser Dye.

Abstract

In this study, the absorption and fluorescence spectra of the dissolved Acridine solution were studied in ethanol and different concentrations. The optical properties (absorption coefficient, linear refraction) and spectral characteristics (Fluorescence time and quantitative fluoridation efficiency) were calculated. It is observed that increasing the concentration increases the absorbance values and decreases the permeability values, thus increasing the values of the absorption coefficient and the refractive index. Also, the values of the fluorine intensity increase. The peak of the emission spectrum is transferred to the longer wavelengths.

دراسة الخصائص البصرية والطيفية لصبغة الأكريدين كوسط فعال في ليزرات الصبغة

افراح محمد الحسيني^١ رؤى قحطان محمود^{٢*} طالب محسن عباس^٣

^{١,٢}قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بابل، بابل، العراق.

^٣قسم التربية، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة بابل، بابل، العراق.

afrahalsherefy@yahoo.com

Dr.Talib_mohsen@yahoo.com

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة اطيف الامتصاص والفلورة لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول وبتراكيرز مختلفة، اذ تم حساب الخصائص البصرية (معامل الامتصاص ومعامل الانكسار الخطيبين) والخصائص الطيفية (العمر الزمني للفلورة والنتائج الكمي للفلورة). اذ لوحظ ان زيادة التركيز يؤدي الى زيادة قيم الامتصاصية ونقصان قيم النهاية ومن ثم زيادة قيم معامل الامتصاص ومعامل الانكسار، كذلك تزداد قيمة شدة الفلورة وتزاح قمة طيف انبعاث الفلورة نحو الاطوال الموجية الاطول (red shift) وبالتالي يزداد العمر الزمني للفلورة ويقل النتاج الكمي بزيادة تركيز المحلول.

الكلمات الدالة: الأكريدين، الامتصاصية، الفلورة، ليزر الصبغة.

١. المقدمة

تعد ليزرات الصبغة Dye lasers من الليزرات التي يتكون وسطها الفعال من محليلات مركبات معينة لصبغة عضوية متغيرة مذابة في سوائل مثل كحول الأثيلين، أو كحول الميثيلين، أو الماء [1].

تعرف النفاذية للوسط (T) على أنها "النسبة المئوية لشدة الضوء النافذ (I) إلى شدة الضوء الساقط (I_0)، أو أنها طاقة الإشعاع النافذ من الوسط إلى طاقة الإشعاع الساقط عليه" أي: [8]

$$T = (I / I_0) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (6)$$

وأستناداً إلى قانون بير-لامبرت فإن النفاذية تتفاوت كلما زاد التركيز المولاري C_m وطول المسار البصري L الذي يمر خلاله الضوء. أما نفاذية الوسط ترتبط بامتصاصية المحلول (A) بالعلاقة الآتية: [8]

$$A = -\log (1/T) = -\log (I/I_0) = \log (I_0/I) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (7)$$

ومن هذه العلاقة نلاحظ إن النفاذية T تزداد كلما قلت امتصاصية A الوسط.

ينتقل الضوء بجميع أطواله الموجية بأقصى سرعة له خلال الفراغ وهي كمية ثابتة وتقل هذه القيمة في أي وسط آخر كما إنها تتغير في الأوساط المادية باختلاف الأطوال الموجية. وتعرف النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في أي وسط معين لطول موجة معينة بمعامل الانكسار الوسط لنك الموجة. [9]

$$n = c/v \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (8)$$

حيث c : سرعة الضوء في الفراغ و v : سرعة الضوء في الأوساط المادية.

إن معامل الانكسار غير ثابت ويعتمد على طول الموجة الكهرومغناطيسية. بالإضافة لبعض المواد يختلف معامل الانكسار وفق اتجاه تقدم الموجة الكهرومغناطيسية في المادة، وتستعمل هذه المواد لتغيير اتجاه استقطاب تلك الأمواج. [10]

إن معامل الانكسار يبين مدى تأثير المادة على إشعاع الكهرومغناطيسية. عند سقوط الإشعاع الكهرومغناطيسية على مادة ما فإنها تعمل على إزاحة الشحنات في المادة عن مواقعها الأصلية مولده بذلك ثانوي قطب فإذا كان (v) هو تردد المجال الكهربائي المتباوب والتابع للموجة الكهرومغناطيسية الساقطة فإن الاستقطاب الكهربائي للجزء سوف يتذبذب بنفس التردد (v)، وإن جزء من طاقة الموجة الساقطة سوف يتحول إلى طاقة اهتزازية لثانوي القطب الكهربائي المتولد، وبذلك تقتصر سعة الموجة الساقطة، وعلى فرض أن الفقان في الطاقة يسبب تذبذب الثنائيات بشكل قليل، إلا أن فعل التأخير الحاصل في إعادة الإشعاع سيقلل من سرعة الضوء، ومن ثم يقال إن المادة تمتلك معامل الانكسار (n) كما في المعادلة (9).

ومن هنا يتضح إن الاستقطاب في المادة بفعل سقوط الإشعاع الكهرومغناطيسية عليها مقاييس لمعامل الانكسار لهذه المادة، فكلما كان الاستقطاب كبيراً كان فعل التأخير أكبر وكلما كانت سرعة الضوء في المادة أصغر كلما كان معامل الانكسار أكبر، والمواد التي لا تمتلك استقطاب لا تمتلك أي تأخير في إعادة الضوء، وبالتالي فإن معامل انكسارها ($n=1$)، وفي أغلب الحالات يكون معامل الانكسار أكبر من الواحد وقيمه تتناسب مع كثافة الوسط، كلما ازدادت كثافة الوسط كلما زاد معامل الانكسار للمادة. كما ليس لمعامل الانكسار وحده تميّزه. كما يمكن الحصول على معامل الانكسار من خلال المعادلة الآتية:

$$n_0 = \frac{1}{T} + \left[\left(\frac{1}{T^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (9)$$

اما معامل الامتصاص الخطى فنجد بتطبيق المعادلة الآتية.

$$\alpha_0 = \frac{1}{t} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (10)$$

حيث (T) النفوذية البصرية .

٢.٢ الخصائص الطيفية Spectral properties

ان الانتقالات الاعشاعية هي العمليات التي يرفقاها انبعاث فوتون بسبب انتقال الجزيئية المتهيج إلى أحدي مستويات الحالة الأرضية الألوطى، وتشمل الفلورة (fluorescence) والفسفورة (phosphorescence). والفلورة هي عملية انتقال مشع (مبادر) للجزئية تتم بين المستويات ذات التعددية نفسها (multiplicity)، وتحدث الفلوره عند الانتقال بين المستوى الاهتزازي للحالة الالكترونية المتهيج الاولى (S_1) إلى أي من المستويات الاهتزازية للحالة الالكترونية الارضية (S_0) وتتحدد الفلوره بزمن العمر (τ) ، ويكون بحدود (10^{-9} - 10^{-1} ثانية لجزئيات الصبغة العضوية [12]. إلا أن بعض المركبات العضوية يحدث فيها انبعاث الفلوره من أوطاً مستوى للحالة الالكترونية المتهيج الثانية (S_2) إلى أي من المستويات الاهتزازية للحالة الأرضية (S_0) وذلك بسبب أن فجوة الطاقة ($S_1 - S_2$) كبيرة لهذه المركبات العضوية وبسبب هذا يحصل نقصان في معدل التحول الداخلي من S_2 إلى S_1 [13].

إن التركيب الجزيئي للصبغات العضوية له أهمية في كفاءة الفلورة حيث تزداد في الجزيئات ذات التركيب الصد (rigid Structure) وكذلك عند امتلاك الجزيئة لفواصل طافية بين المستويين S_1 و T_1 إذ يؤدي ذلك إلى نقصان في معدل العبور البيئي (inter System Crossing).

ولأن طيف الفلورة يحدث بسبب امتصاص الجزيئة للفوتون الساقط عليها وانتقالها إلى المستويات الالكترونية المتباعدة العليا لكن هذه الجزيئات بطبعها تميل إلى الاستقرار لذلك تعود إلى المستوى المتباعد الأول أما على شكل طاقة حرارية أو طاقة اهتزازية، وعند عودة الجزيئات إلى المستويات الابتدائية المستقرة فإنها تبعث فوتون ، بحيث أن طاقة الإشعاع المنبعث تلقائيا تكون أقل من طاقة التباعد ، والطول الموجي المنبعث أطول من الطول الموجي المتباعد [14].

بعد امتصاص الجزيئية للضوء المنبعث من مصدر خارجي فإنها تنتقل إلى أحد المستويات الاهتزازية لحالة الالكترونية المتباعدة (S_n) وتنتتج اصطدامها بالجزيئات المجاورة لها (إذا كان الوسط كثيفا – Condensed Phase) مما يؤدي إلى فقدانها جزءاً من طاقتها الاهتزازية فتبعد إلى أوطأ مستوى لحالة الاحادية المتباعدة (S_1) ومن هذا المستوى تنتقل اشعاعياً إلى أحد المستويات الاهتزازية لحالة الأرضية (S_0)، وتحدث هذه العملية بسرعة فائقة وتستغرق أزمة قصيرة جداً [15].

إن زمن الانقال الإشعاعي من المستوى الاهتزازي الأول لحالة الالكترونية المتباعدة (S_1) إلى أحد المستويات الاهتزازية لحالة الأرضية (S_0) ويعود النظام إلى حالته الأولى بعد انقضاء هذه المدة الزمنية، يسمى زمن عمر الإشعاع (τ_{FM} – radiative lifetime)، والذي يعرّف على أنه مقلوب احتمالية الانقال الإشعاعي (K_{FM}) بوحدة (sec^{-1}) [13]:

$$\tau_{FM} = \frac{1}{K_{FM}} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (11)$$

وبسبب وجود العمليات غير الإشعاعية المتباينة مع احتمالية الانقال الإشعاعي (K_{FM}) فإنها سوف تقل عدد الجزيئات المنشطة لانبعاث الفلورة، لذلك فإن احتمالية الانقال الكلية (K_F) ستكون عبارة عن مجموع احتماليات الانقالات المنشطة وغير المنشطة أي: [16]

$$\tau_F = \frac{1}{K_{FM} + \sum K_d} = \frac{1}{K_F} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (12)$$

إذ ($\sum K_d$) يمثل مجموع ثوابت المعدل الزمني (rate constant) للعمليات غير الإشعاعية (deactivation) لأوطأ مستوى طاقة اهتزازي لحالة الاحادية المتباعدة (S_1). أما زمن عمر الفلورة (τ_F) فهو عبارة عن الزمن الفعلي للفلورة والذي يكون مساوياً إلى مقلوب مجموع ثوابت جميع العمليات غير الإشعاعية والإشعاعية التي تتسبب فقدان الطاقة لحالة (S_1) [18,17] :

$$\tau_F = \frac{1}{K_{FM} + K_{IC} + K_{ISC}} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (13)$$

حيث أن :

(K_{IC}) يمثل ثابت معدل التحول الداخلي.
 (K_{ISC}) يمثل ثابت معدل العبور البيئي.

ولأن زمن عمر الفلورة (τ_F) يمكن أن يمثل زمن العمر الرئيسي لحالة التباعد ، وهناك علاقة تربط شدة الفلورة مع زمن عمر الفلورة (τ_F) وهي : [13]

$$I = I_0 \exp(-t / \tau_F) \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (14)$$

إذ (I) تمثل شدة الفلورة عند الزمن (t)، و (I_0) تمثل أعلى شدة تقلور و (t) الزمن بعد توقف التباعد مباشرةً .

٣. الجزء العملي

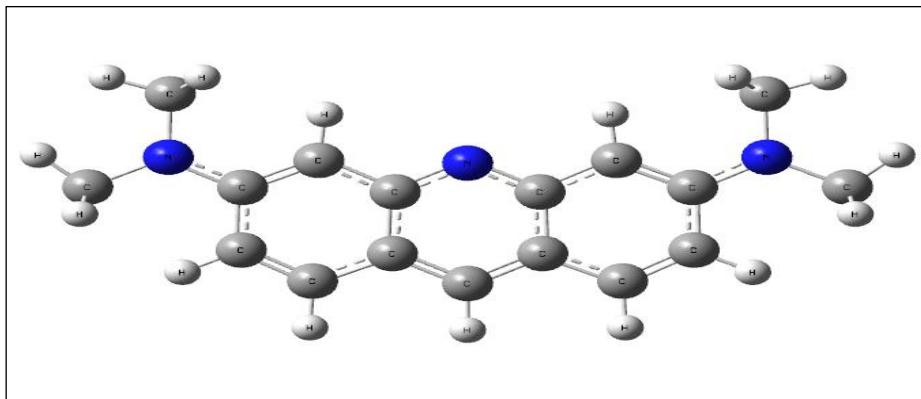
١.٣ . الأجهزة المستخدمة

تم تسجيل طيف الامتصاص باستخدام مطياف ثانوي الحزمة (UV-Visible – Spectrophotometer)، ويعطي هذا المطياف منطقة واسعة من الطيف الكهرومغناطيسي من المنطقة فوق البنفسجية حتى منطقة تحت الحمراء القريبة، ويشتمل الجهاز على مصادر للتباين هما مصباح الديوتيريوم (Deuterium Lamp) ويعطي المنطقة الواقعة ضمن الأطوال الموجية (nm-360-190) ومصباح التكتسن (Tungsten Lamp) ويعطي توزيعاً طيفياً ضمن المنطقة الواقعة للأطوال الموجية (360-1100nm). كذلك تم استخدام جهاز مطياف الفلورة من نوع F96PRO، لقياس أطيف الفلورة لمحلول صبغة الأكريدين. ويكون من مصدر ضوء (150 Wat Xenon arc lamp) ومعدل طيف الانبعاث والتباعد (200 nm-700 nm) ونسبة المسح (200) وكاشف(PMT) (High sensitivity- photomultiplier tube) (200, 400,600 nm/min).

٢٠٣ المواد المستخدمة
Material Used
أ- صبغة الأكريدين Acridine dye

جدول(1) يبين التركيب الكيميائي للأكريدين

Chemical Name	Molecular Formula	Molecular Weight
Acridine Orange	C ₁₇ H ₁₉ N ₃	265.36 g/mol



الشكل (1) التركيب الجزيئي لصبغة الأكريدين

ب - الايثanol (Ethanol)

مذيب كيميائي عضوي كحولي والصبغة الجزئية له: C₂H₅OH. وهو مركب قطبي يمتاز بخاصية تكوين الارابطة الهايدروجينية بين جزيئاته إذ إنه يحتوى على مجموعة الهايدروكسيل التي تعمل على تزايد تماسك الروابط. سائل عديم اللون قابل للتطاير . والوزن الجزيئي له (46.07 gm/ mol) وكتافته (0.789 gm/cm³).

٣.٣. تحضير المحاليل

لتحضير محلول صبغة الأكريدين بتركيز M = 10⁻³ M، تمت إذابة (0.0026gm) من مسحوق الصبغة في حجم (10 cm³) من مذيب الايثanol (ethanol) الذي تم استخدامه في البحث وفقاً للعلاقة:

$$W_m = \frac{C \times V \times M.W}{1000} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \quad (15)$$

حيث:

w_m: وزن الصبغة اللازم للحصول على التركيز المطلوب بوحدة gm

C: التركيز المراد تحضيره بوحدة M

V: حجم المذيب cm³ اللازم اضافته إلى المادة.

M. W : الوزن الجزيئي للصبغة المستخدمة gm / mol

ولتحضير تراكيز أخف M = 10⁻⁴ M من التركيز الذي تم تحضيره يتم استخدام العلاقة الآتية والتي تسمى بعلاقة التخفيف: C₁V₁ = C₂V₂..... (16)

حيث:

C₁: التركيز الاول (العللي).

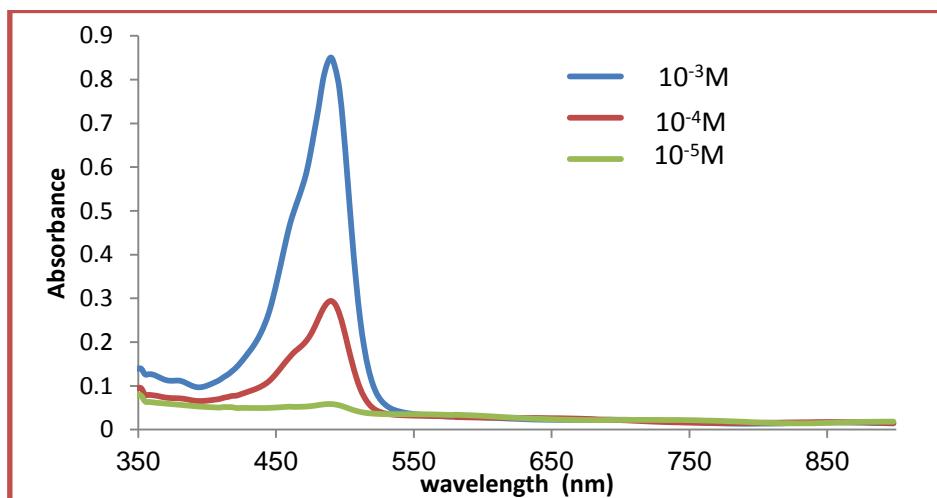
C₂: التركيز الثاني (الأخف).

V₁: الحجم اللازم من التركيز الاول.

V₂: الحجم اللازم اضافته للتركيز الاول للحصول على التركيز الثاني.

٤. الحسابات والنتائج Calculation and Results

أظهرت نتائج أطيف الامتصاص لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في مذيب الإيثانول وتراكيز مختلفة (1×10^{-3} , 1×10^{-4} and 1×10^{-5} M) باستخدام مطياف الأشعة المرئية وال فوق البنفسجية (UV-Visible Spectrophotometer) كما هو موضح في الشكل (2)، اذ يلاحظ من الشكل ان ترکیز صبغة الأكريدين المذابة في مذيب الإيثانول يؤدي الى التضليل في شدة الامتصاص وازاحة الطيف نحو الطول الموجي الاطول وهذا ينطبق مع قانون بير لامبرت. والجدول (2) يوضح تأثير الترکیز على مقادير الشدة النسبية والطول الموجي لأطيف الامتصاص لصبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول.

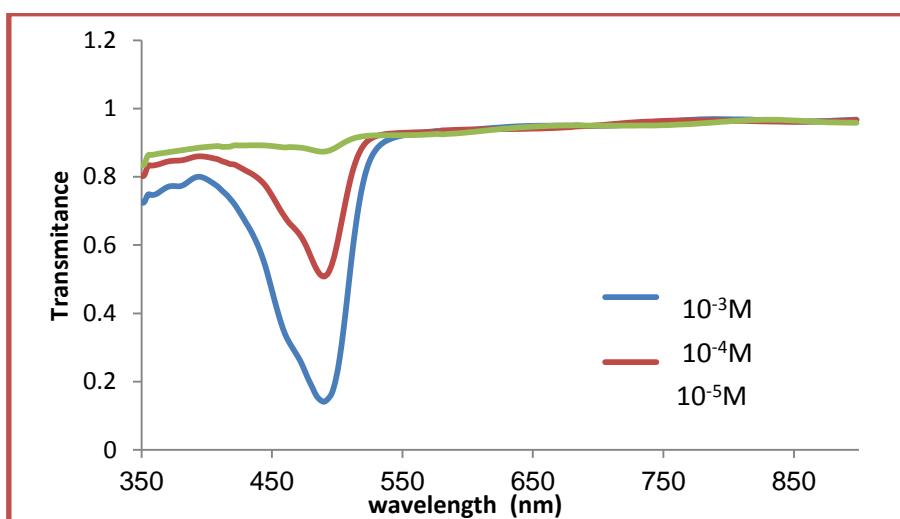


الشكل (2) طيف الامتصاص في منطقة (UV-Vis) لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول بتراكيز مختلفة

جدول (2) الامتصاصية عند الأطوال الموجية العظمى لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول وبتراكيز مختلفة

C (M)	λ_{\max} (nm)	A
1×10^{-3}	487	0.8350
1×10^{-4}	484	0.2702
1×10^{-5}	481	0.0562

ومن نتائج أطيف الامتصاص أمكن الحصول على أطيف النفاذية (Transmission) (Transmission) وكما هو موضح بالشكل (3) والجدول (3).

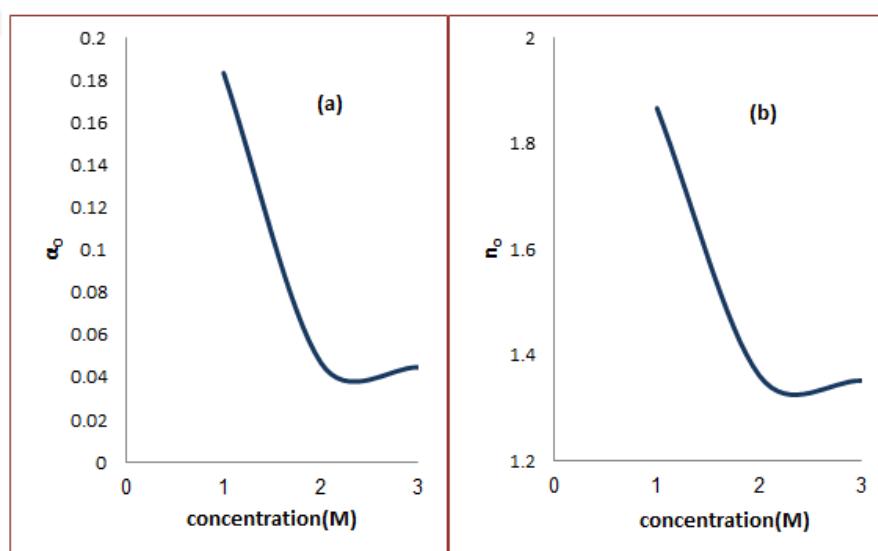


الشكل (3) طيف النفاذية في منطقة (UV-Vis) لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول بتراكيز مختلفة

جدول (3) النفاذية عند الأطوال الموجية العظمى لمحلول لصبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول وبتراكيز مختلفة

C (M)	λ_{\max} (nm)	T
1×10^{-3}	484	0.1591
1×10^{-4}	484	0.5306
1×10^{-5}	487	0.8758

وبعد الحصول على نتائج النفاذية تم قياس معامل الانكسار الخطى ومعامل الامتصاص الخطى للنماذج المحضرة باستخدام العلقتين (10)، (9) فنلاحظ نقصان التركيز يؤدي إلى النقصان في معامل الانكسار ومعامل الامتصاص الخطيبين كما موضح في الشكل (4) والجدول (4).



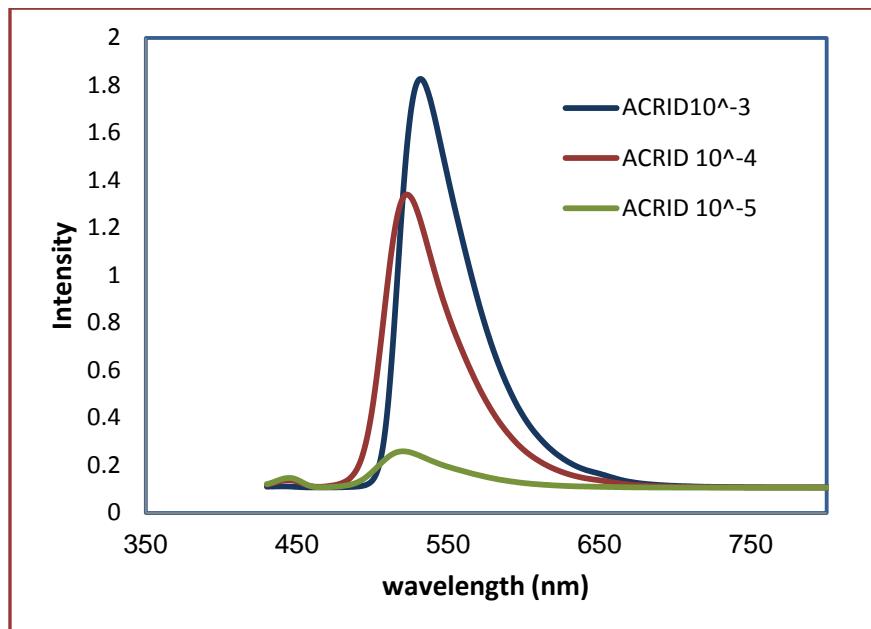
الشكل (4) (a) معامل الامتصاص الخطى (α_0) لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول وبتراكيز المختلفة

(b) معامل الانكسار الخطى (n_0) لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول وبتراكيز المختلفة .

جدول (4) معامل الانكسار الخطى والامتصاص الخطى مع التراكيز المختلفة من محلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول

C (M)	Wavelength (nm)	Linear transmission	Linear Absorption (α_0)	Linear refractive index(n_0)
1×10^{-3}	538	0.8323	0.18356	1.86750
1×10^{-4}	538	0.9541	0.04698	1.36200
1×10^{-5}	538	0.9562	0.04478	1.35192

تم قياس أطيفات الفلورة للنماذج المحضرة لمحلول صبغة الأكريدين المذابة بالإيثانول باستخدام مطياف الفلورة (spectrofluorometer) وكانت نتائج القياسات كما موضح في الشكل (5) والجدول (5).



الشكل (5) منحنيات طيف الفلورة لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول و بتراسيز مختلفة

جدول (5) الشدة عند الأطوال الموجية العظمى لمحلول صبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول.

C (M)	λ_{max} (nm)	Relative Intensity
1×10^{-3}	528	1.786
1×10^{-4}	520	1.336
1×10^{-5}	513	0.247

ومن نتائج أطياف الفلورة أمكن حساب العمر الزمني للفلورة (τ_f) وكذلك النتاج الكمي للفلورة (Quantum Yield) وكانت النتائج كما موضح في الجدول (6).

جدول (6) العمر الزمني والنتائج الكمية للفلورة وبتراسيز مختلفة لمحلول صبغة الأكريدين

C (M)	τ_f (ns)	Q_f
1×10^{-3}	0.287	0.89
1×10^{-4}	0.313	0.97
1×10^{-5}	0.316	0.98

٥. الاستنتاجات

نلاحظ من خلال دراسة الفوامص البصرية لصبغة الأكريدين المذابة في الإيثانول ان التراكيز الواطئة يؤدي الى ظهور اطياف ذات قمم نقل شدتها وتنتج نحو الأطوال الموجية الاطول (red shift) وقد أظهرت هذه الصبغة بأن أعلى شدة نسبية في قمة طيف الامتصاص كانت عند الطول الموجي (487 nm) عند التركيز $M = 1 \times 10^{-3}$ بينما أقل شدة نسبية للامتصاص كانت للتراكيز الأقل للصبغة في المحلول وتحديداً عند التركيز $M = 1 \times 10^{-5}$ وعند الطول الموجي (481 nm)، ويعزى ذلك الى زيادة عدد الجزيئات الذي يؤدي الى زيادة احتمالية الامتصاص وهذا يؤكد الامتصاص الحقيقي للصبغات وينتفق مع قانون بير - لامبرت وبالتالي النقصان في قيم معامل الامتصاص والانكسار تبين النتائج ايضاً ان نقصان التركيز يؤدي الى نقصان شدة اطياف الفلورة واتجاهها نحو الأطوال الموجية القصر (blue shift)، وكذلك لوحظ ان نقصان التركيز

بودي الى تقليل زمن عمر الفلورة مما يؤدي ذلك الى زيادة النتاج الكمي للفلورة وبالتالي يمكن استخدام هذه الصبغة كوسط فعال في ليزرات الصبغة.

CONFLICT OF INTERESTS

There are no conflicts of interest.

المصادر

- [1] B. Snavely *et al.*, "Organic Molecular Photo physics", Vol.1, John Wiley & Sons , p. 239, (1973).
- [2] F. Duarte , "Tunable Laser Optics" Elsevier Academic, New York, Appendix of Laser Dyes ,(2003).
- [3] J. Mc Murry , " Organic Chemistry" , Oxford university Press, New York ,p. 314, (1984).
- [4] حسن الشربيني, بتول الخياط , صبحي كمال حسون, "البصريات الفيزيائية" ، جامعة بغداد - كلية التربية ،(١٩٨٢) .
- [5] R. Fowels, " Introduction to modern optics" , holt Rinehart and Winston ,Inc., second , (1975) .
- [6] M. Wang, Z. Lin and G. Zhai, "Optical linearity and nonlinearity of ZnSe Nano crystals embedded in epoxy resin matrix investigated by z-Scan technique" , Ceramics International , 34, 1073–1076,(2008).
- [7] Verhaegen *et al.* , "Mass spectrometric determination energy of B_2 ", J. Chem. Phys. ,37,1367, (1960).
- [8] J.M. ,"*Modern Spectroscopy*" John Wiley and sons Ltd, The Atrium, Southern Cate Chionester, west Sussex PO19 8SQ, England ,(2004) .
- [9] M. Parikh, "*Absorption Spectroscopy of Organic Molecules*", Adison-Weleg, 1974 .
- [10] W. Demtröder, "*Atoms ,Molecules and Photons*", Springer Berlin Heidelberg New York. 2010.
- [11] B. Straughan *et al.* , "*Spectroscopy*" , Chapman and Hall, London,(1976).
- [12] S. Jacobs, "Laser Application to Optics and Spectroscopy", Addison-Wesly Publishing Company, London. Amsterdam .Don Mills, Ontario-Sydney-Tokyo, 2nd edition, (1975).
- [13] M. Maeda, "Laser Dyes, Properties of organic compounds for dye lasers " , Academic Press, INC, (1984).
- [14] R. Sastre," Laser performance of Coumarin 540A dye molecules in polymeric host media with different viscosities: From liquid solution to solid polymer matrix " , J. Appl. Phys., Vol.83, No.2, pp.650-660, (1998) .
- [15] N. Sahib ,"*Spectroscopic Study for Some Organic Dyes* " , A Thesis , Al-Mustansiriya University , College of Sciences(2005).
- [16] R. Hamood Al-Hamadani ,"*Spectroscopy Study and Manfacturing of An Active Polymeric Laser Medium* " , A Thesis ,University of Baghdad , College of Science for Women, (2006).
- [17] عدي محسن نايف, "دراسة طيفية لنقل الطاقة والعمليات المترافقه في أصباغ الليزر (كومارين 522 ورودامين 101)" , مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد26، العدد5,(2008).
- [18] رافد عباس علي, "قياس أطياف الامتصاص والفلورة لصبغة الكومارين في مذيب التلوبين" , مجلة جامعة ذي قار, العدد1, المجلد5,(2009).