دراسة تأثير التركيز على الخواص الطيفية للصبغة الليزرية الكومارين ٤٧

م.م. علي جهاد كاطع العبودي
جامعة ذي قار/كلية العلوم /قسم الفيزياء

ملخص البحث :

تم في هذا البحث دراسة تأثير التركيز على أطياف الامتصاص والفلورة للكومارين ٤٧ حيث لوحظ أن زيادة التركيز تؤدي إلى زيادة الشدة النسبية للامتصاص وهذا ينطبق مع قانون بير- لامبرت أما طيف الفلورة فلوحظ أن الكفاءة الكمية للفلورة ازدادت مع زيادة التركيز ما بين (10^{-6}-10^{-4}) مولاري ولم يظهر أي تأثير للدايمر أو الاكسايمر في حدود هذه التراكيز إلا أنه ظهر زحف في الأطوال الموجية للامتصاص والفلورة نحو الأطوال الموجية الطويلة مع زيادة التركيز (Red Shift).

يعرف علم الأطياف بأنه الدراسة التي تختص بتفاعل الموجات الكهرومغناطيسية مع المادة، وان دراسة أطياف جزيئات ليزر الصبغة كانت ولا زالت على درجة كبيرة من الأهمية لما توفره هذه الدراسة من مفاهيم وبيانات عن تركيب الجزيئات وأشكالها الهندسية وطبيعة التفاعلات فيما بينها بالطرق التقليدية الفيزياوية[١]، وعلى الرغم من النجاحات الأولية في مجال الليزر التي تم إنجازها باستخدام المواد الصلبة والغازية إلا إن السوائل أيضاً أظهرت إمكانياتها في توليد الليزر، ومنها ليزر الصبغة والصبغة هي عبارة عن مادة متفلورة عضوية تذوب في مذيبات معينة، وتشتق هذه الصبغات ألوانها من أنطقة ذات امتصاصية قوية تقع في المنطقة المرئية.

إن الأنظمة الليزرية الصلبة والغازية تعطي فعل ليزري لعدد محدود من الأطوال الموجية في هذا الجانب تمتاز محاليل الصبغة بكونها تُعَدُّ مصادر تعطي فعل ليزري لمدى أوسع من الأطوال الموجية، وهي من الخواص الفريدة التي تتمتع بها ليزرات الصبغة حيث يمكن الحصول من وسائط مختلفة على مدى طيفي واسع بين nm (1100-250) وبالتالي يمكن توليفة (Tuning) والحصول على ليزرات ذات أطوال موجية عديدة جعلت منه المصدر المثالي للدراسات الطيفية.

إن الربح الذي يمكن إحرازه في محاليل هذه الصبغات عالٍ جداً، ، لكن هناك بعض التأثيرات التي يمكنها أن تؤثر على ليزر الصبغة، وتسبب في انخفاض كفاءتها بوصفها أوساطاً فعالة لليزر، ومنها تأثير المذيب ودرجة الحرارة والتركيز والشوائب مثل الأوكسجين وغيره [٢] .

عندما تمتص جزيئة الصبغة الضوء (فوتون) والامتصاص هو عملية اختزال الشدة لترددات معينة (أطوال موجية معينة) من الإشعاع الكهرومغناطيسي وصعود الجسيمات من مستوى معين إلى مستوى ذي طاقة أعلى نتيجة التأثر بين عزم ثنائي القطب الكهربائي لهذه الجسيمات والمركبة الكهربائية للإشعاع الكهرومغناطيسي (فوتون) فان انتقالاً الكترونيا يحدث من أوطأ مستوى اهتزازي عائد إلى الحالة المستقرة (S_o) إلى أحد المستويات الاهتزازية العليا العائدة إلى الحالة المتهيجة الأولى (S_1 First exited state) والذي تكون طاقته مساوية إلى طاقة الفوتون الساقط (الممتص) بولتزمان. إن احتمال حدوث الانتقال من S_o إلى S_2 ممكن أيضاً إلا أن معظم جزيئات الصبغة ستعاني انحلال سريع جداً (Rapid decay) (10^{-10}-10^{-11})sec إلى المستوى S_1 .

أن امتصاصية محلول الصبغة تتناسب مع طول المسار ℓ خلال المحلول وتركيز المادة الماصة C ومعامل الإخماد المولاري ε ووحداته هي لتر سم$^{-1}$ مول$^{-1}$ ($lit\ cm^{-1}\ mol^{-1}$) ويعتمد معامل الإخماد المولاري على طبيعة المادة والطول الموجي الساقط أي أن الامتصاصية هي:

.....

$$A = \varepsilon C \ell \quad \ldots(1)$$

ويحكم الامتصاص قانون بير-لامبرت الذي ينص على انه كمية الضوء الممتص تتناسب مع عدد الجزيئات الماصة له وتتناسب الامتصاصية مع العوامل الثلاثة المحددة في المعادلة (1) والتعبير الرياضي لقانون بير لامبرت هو[٣]:

.....,

$$\ln \frac{I}{I_o} = e^{-\varepsilon C \ell} \quad \ldots\ldots (2)$$

حيث

I هي شدة الإشعاع عند طول موجي معين.

dI هي التغير بالشدة نتيجة الامتصاص.

ℓ سمك العينة.

بعد حدوث عملية الامتصاص وبعد أن تقضي الجزيئات فترة قصيرة جداً (10^{-6}-10^{-9}) ثانية في المستوي المتهيج وهو ما يعرف بزمن العمر[٤] فالفلورة يمكن أن تحدث عندما تعود الجسيمات إلى المستوي الأرضي باعثةً فوتونات وتعرف الفلورة بأنّها عملية انبعاث تلقائية تحدث بين مستويين لهما نفس التعددية [٥]. ففي درجة حرارة الغرفة تكون معظم الجزيئات في أوطأ مستوى اهتزازي للمستوي الأرضي لذلك فان الامتصاص يحدث من المستوي الاهتزازي الصفري للمستوي الأرضي إلى أحد المستويات التابعة للمستوي المتهيج وفي هذه الحالة فانه يمكن أن تحدث الفلورة بإحدى العمليتين:-

العملية الأولى: أما أن ينبعث فوتون نتيجة انتقال الجزيئة من نفس المستوي الاهتزازي الذي تهيجت له أولاً إلى الحالة الأرضية، وتسمى الفلورة الرنينية وتحدث في أغلب الأحيان في طور الغاز وعند الضغوط الواطئة.

العملية الثانية: أن تعاني الجزيئة تغيرات في المستويات الاهتزازية قبل أن يحدث الانتقال إلى الحالة الأرضية وتبعث فوتوناً ويعتمد ذلك على طبيعة الجزيئة، وتسمى الفلورة الاعتيادية وتحدث في المحاليل والأوساط الكثيفة وعند الضغوط العالية.

هذه التغييرات في المستويات الاهتزازية للحالة المتهيجة التي تسبق حدوث الفلورة الاعتيادية تسمى بالاسترخاء الاهتزازي وتحدث في زمن حوالي (10^{-11}-10^{-13}) ثانية ولذلك فان انبعاث الفوتون في المحاليل يحدث دائماً في أوطأ مستوى اهتزازي للحالة المتهيجة. يسبب الاسترخاء الاهتزازي ارتفاعاً في درجة حرارة العينة كما يسبب الاسترخاء الاهتزازي زحف في طيف الفلورة نحو الأطوال الموجية الطويلة ويسمى(Stoke's shift) [٦].

إن طيفي الامتصاص والفلورة هما صورتان مرآتيتان إذا كانت المسافة بين مستويات الاهتزاز في الحالتين المستقرة والمتهيجة متشابهة.

أما العمليات غير الإشعاعية وتشمل الانتقال بين المستويات الاهتزازية المتساوية بالطاقة التابعة لمستويات إلكترونية مختلفة وتزداد احتمالية الانتقال اللاإشعاعي كلما كان التشابك كبيراً بين هذه المستويات ويدعى الانتقال اللاإشعاعي بين المستويات الإلكترونية التي لها نفس التعددية بالتحول الداخلي (***internal conversion***) وتزداد احتمالية هذا الانتقال اللاإشعاعي في المستويات الإلكترونية المتهيجة العليا إذ تكون فجوة الطاقة بين المستويات قليلة في حين تكون الاحتمالية أقل في المستوى الإلكتروني المتهيج الأحادي الأول بسبب كبر فجوة الطاقة بين المستوي (S_1) والمستوي الإلكتروني الأرضي (S_o) إن عملية حدوث التحويل الداخلي سريعة جداً وتحدث خلال 10^{-11} ثانية.

أما إذا كان الانتقال غير الإشعاعي بين مستويين إلكترونيين مختلفين بالتعددية فيدعى بالعبور البيني (***intersystem crossing***) ويحدث باحتمالية اقل من احتمالية حدوث التحول الداخلي وذلك لأنه ممنوع بالبرم إذ يستغرق زمناً طويلاً نسبياً 10^{-7} ثانية إلا إن الاحتمالية تزداد أيضا كلما كان التشابك كبيرا بين المستويات الاهتزازية للمستوي الإلكتروني الثلاثي والمستوي الإلكتروني الأحادي [٦][٧][٨].

الكفاءة الكمية *Quantum efficiency*

تعرف الكفاءة الكمية(Φ_F) بأنها النسبة بين عدد الفوتونات المنبعثة إلى عدد الفوتونات الممتصة(الجزيئات المتهيجة)[٦][٩][١٠].

.....,(3)

$$\Phi_F = \frac{number\ of\ quanta\ emitted}{number\ of\ quanta\ absorbed}$$

تتراوح قيمة الكفاءة الكمية بين الصفر عندما تعود جميع الجزيئات المتهيجة إلى المستوى الأرضي بفقدانها طاقتها لا إشعاعيا وبين الواحد عندما تعود جميع الجزيئات المتهيجة إلى المستوى الأرضي بفقدان طاقتها إشعاعيا وتتراوح قيمة الكفاءة الكمية بين هاتين القيمتين وحسب احتمالية حدوث العمليات الإشعاعية وغير الإشعاعية.

الجزيئات المتهيجة أما أن تفقد طاقتها إشعاعياً (انبعاث فلورة مثلاً) أو لا إشعاعيا أما عن طريق التحويل الداخلي، أو عن طريق العبور البيني عائدة إلى المستوى الأرضي.

أما حساب الكفاءة الكمية فيتم أما بمقارنة معدل انبعاث الفلورة إلى معدل امتصاص الضوء المهيج عند كل الأطوال الموجية وهي ما تعرف بالكفاءة الكمية المطلقة، أو تحديدها نسبة إلى مادة أخرى ذات كفاءة كمية معلومة تعرف بالمادة القياسية وتعرف بالكفاءة الكمية النسبية للفلورة وتكون المادة القياسية والمجهولة عند الشروط نفسها مثل درجة الحرارة، وشدة الضوء المهيج. إن المعدل الكلي للفلورة يتناسب مع حاصل ضرب $I_o \varepsilon C \ell \Phi_F$ ويتناسب أيضاً مع المساحة تحت المنحني لطيف الفلورة المصحح ولهذا إذا كانت أطياف الفلورة مقاسه بنفس المذيب وعند نفس شدة الضوء المهيج فان النسبة بين شدة الفلورة المقاس تعطى بالعلاقة الآتية [١١]:

,.....

..... (4)

$$(\Phi_F)_2 = (\Phi_F)_1 \frac{Area\ 2}{Area\ 1} \frac{a_1}{a_2} \frac{n_2^2}{n_1^2}$$

حيث:

1 تمثل رمز المادة القياسية.

2 تمثل رمز المادة المجهولة.

Φ_F هي الكفاءة الكمية للفلورة.

a امتصاصية المحلول عند الطول الموجي المهيج.

n معامل انكسار المذيب.

وإذا كانت الكفاءة الكمية المطلقة $(\Phi_F)_1$ لأحد المواد معلومة(المادة القياسية) فان الكفاءة الكمية للمادة الثانية يمكن حسابها بسهولة.ولقد تم إدخال معامل الانكسار كمعامل تصحيح وذلك عند قياس الكفاءة الكمية في مذيبين مختلفين [٧].

تأثير التركيز

زيادة التركيز المولاري $[M]$ لمحاليل الفلورة بعد حد معين يؤدي إلى نقصان الكفاءة الكمية للفلورة وكبح التركيز يعود سببه إلى تكوين معقد جزيئي يسمّى بالدايمر المتهيج ***excited dimmer*** أو يسمّى إختصاراً بالاكسايمر (excimer). ويمكن أن توصف عملية الانتشار التصادمية بالثابت k_{DM} التي هي سبب تكوين الاكسايمر [٩][١٢] لذا تصبح الكفاءة الكمية:

,.....(5)

$$\Phi_F = \frac{k_F}{k_F + k_{IC} + k_{ISC} + k_{DM}[{}^1M]}$$

k_F هو ثابت معدل انبعاث عملية الفلورة .

k_{IC} هو ثابت معدل حدوث عملية التحول الداخلي .

k_{ISC} هو ثابت معدل حدوث عملية العبور البيني .

$[{}^1M^*]$ هو تركيز المحلول في الحالة المتهيجة.

,.....(6)

$$\Phi_F = \frac{\Phi_F^o}{1 + \tau_F^o k_{DM}[{}^1M]}$$

وزمن العمر:

,.....(7)

$$\tau_F = \frac{1}{k_F + k_{IC} + k_{ISC} + k_{DM}[{}^1M]}$$

,.....(8)

$$\tau_F = \frac{\tau_F^o}{1 + \tau_F^o k_{DM}[{}^1M]}$$

حيث :

Φ_F^o هي قيمة الكفاءة الكمية عند التركيز الأول (الخفيف).

Φ_F هي قيمة الكفاءة الكمية عند التركيز الثاني (العالي).

τ_F^o هي قيمة زمن عمر الفلورة عند التركيز الأول (الخفيف).

τ_F هي قيمة زمن عمر الفلورة عند التركيز الثاني (العالي).

زيادة التركيز أيضاً تسبب زحف في الأطوال الموجية للفلورة بسبب الاكسايمر المتكون حيث إن فلورته تسبب إزاحة نحو الطول الموجي الطويل (إزاحة حمراء) [١٣][١٤] . إن تكوّن الاكسايمر في المحاليل يتم بوساطة عمليات الانتشار التصادمية التي توصف بالثابت k_{DM} وعلى حسب العلاقة [٧]:

$$k_{DM} = \frac{8RT}{3000\eta} \quad \text{,.....(9)}$$

حيث:
η : لزوجة المحلول.
R: ثابت الغازات.
T: درجة الحرارة.

الجزء العملي *Experimental part*

تم استخدام مطياف spectrophotometer ثنائي الحزمة من النوع (*SP800 UV Spectrometer*) لقياس أطياف الامتصاص للصبغات المستخدمة والمجهز من شركة (*Pye unicam*). لغرض قياس طيف الامتصاص للصبغة الليزرية المستخدمة حيث يحتوي الجهاز على مصباحين أحدهما من الديتريوم Deuterium lamp يعطي حزمة بأطوال موجية nm (190-322.5) في حين يزود المصباح الآخر وهو التنكستن Tungsten Lamp بضوء تتراوح أطواله الموجية بين nm (322.5-800) . وتقوم فكرة القياس في الجهاز على أساس النسبة بين الشعاعين يمر أحدهما في المذيب مع المذاب وتعرف بالعينة (Sample) وبين الشعاع والآخر الذي يمر في المذيب لوحده والذي يسمى بالمصدر (Reference) ويتم تسجيل الطيف بواسطة المسجل (Recorder unit) [١٥].

تم استخدام جهاز لقياس طيف الفلورة من نوع (Spectrofluorophotometer model RF- 540) المجهز من شركة (Shimadzu) اليابانية حيث يحتوي الجهاز على مصباح الزينون ذي القدرة (١٥٠) واط (Watt) والذي يغطي المنطقتين فوق البنفسجية والمرئية(٧٠٠-٢٠٠) نانومتر من الطيف الكهرومغناطيسي[١٦].

المواد المستخدمة *Materials*

أ- الكومارين 47 (*coumarin 47*)

اسمه العلمي (coumarin,7diethylamino-4-methyl) ذو الصيغة الكيميائية (C14H17NO2) والوزن الجزيئي (231.30 gm/cm3) [١٧] والمجهزة من شركة (Lambdaphysik).

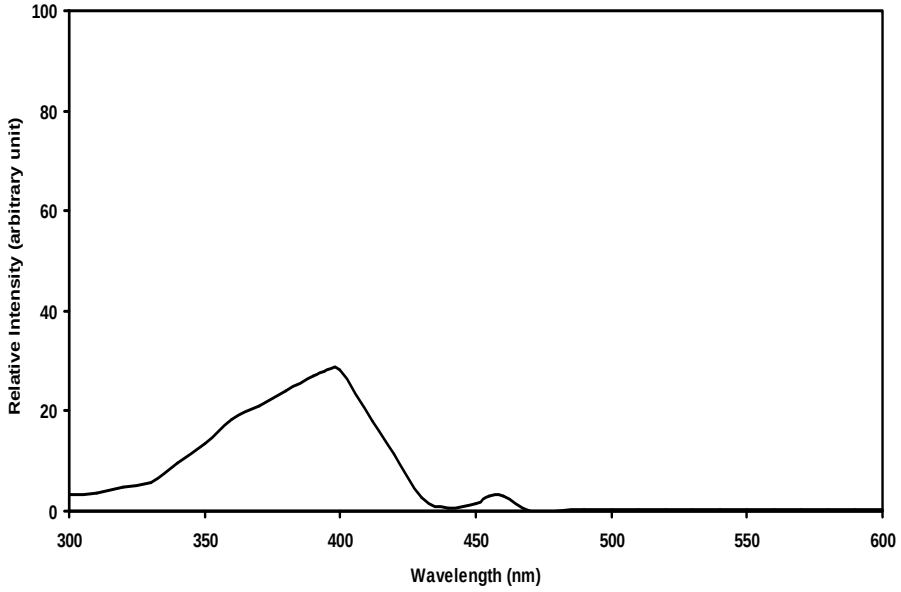
ب- الميثانول (*Methanol*)

هو مذيب عضوي اسمه العلمي الكحول المثيلي (Methyl alcohol) ذو الصيغة الكيميائية (CH_3OH) والوزن الجزيئي (٣٢.٠٤) غم/مول ويعتبر من أفضل المذيبات لعائلة الزانثين وهو ذو قطبية أعلى من الإيثانول ، وقد استخدم ميثانول ذو نقاوة (٩٩,٩٩%) المجهز من شركة (Fluka) الألمانية.

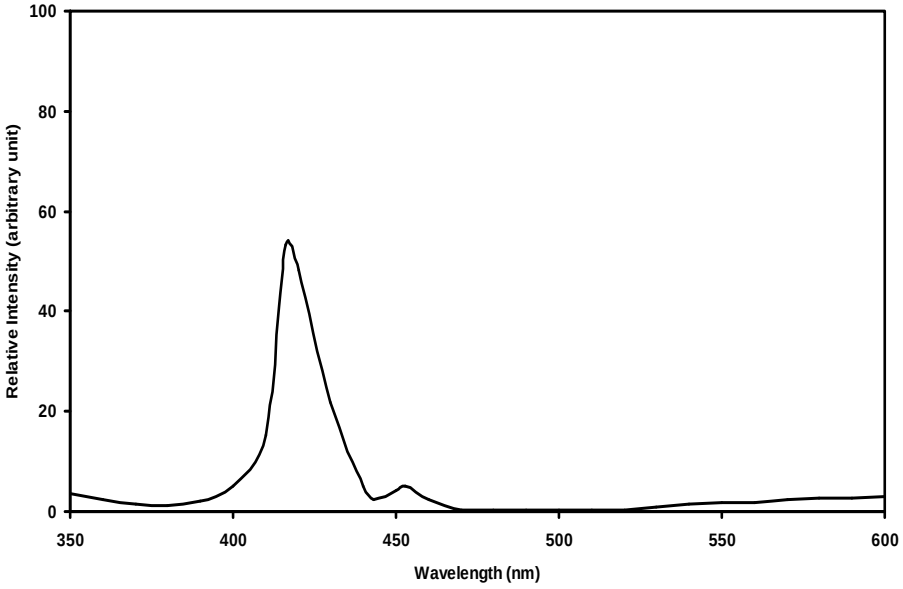
الجزء العملي والمناقشة

إن قياسات أطياف الامتصاص التي تم إجراءها عند درجة حرارة الغرفة أظهرت أن تغير تركيز الكومارين 47 في مذيب الميثانول يؤثر على أطياف الامتصاص وضمن المدى (10^{-4}-10^{-6}) مولاري، كما موضح في الأشكال (١) و (٢) و (٣). حيث وجد أن قمة الامتصاص كانت للتركيز(10^{-6}) مولاري عند الطول الموجي (394)nm وللتركيز(10^{-5}) مولاري عند الطول الموجي (416) nm واقل وللتركيز(10^{-4}) عند الطول الموجي (418)nm، حيث نلاحظ حصول إزاحة لطيف الامتصاص نحو الطول الموجي الأطول مع زيادة التركيز. ونلاحظ زيادة في شدة الامتصاص مع زيادة التركيز وهذا ينطبق مع قانون بير لامبرت.

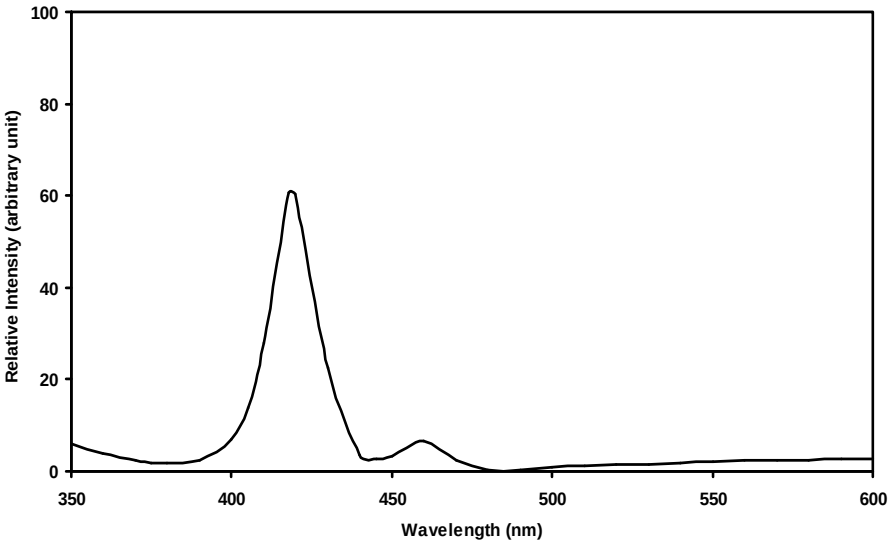
ويوضح الجدول(١) و (2) تأثير تغير التركيز على مقادير الشدة النسبية و الطول الموجي و المدى الطيفي لأطياف الامتصاص لصبغة الكومارين 47 في مذيب الميثانول.



شكل (١) يمثل طيف الامتصاص لصبغة الكومارين 47 في مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-6} مول/التر.



شكل (٢) يمثل طيف الامتصاص لصبغة الكومارين 47 في مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-5} مول/التر.



شكل (٣) يمثل طيف الامتصاص لصبغة الكومارين 47 في مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-4} مول/لتر.

الصيغة الكيميائية	الوزن الجزيئي (غم/ مول) Mw	معامل الانكسار Refractive index	ثابت العزل الكهربائي Dielectric Constant	درجة الانجماد Freezing Point (C)	اللزوجة Viscosity (centi poises)	الكثافة Density (gm/cm^3)	درجة الغليان Boiling Point (C)	الخواص الطيفية Spectral properties
CH_3OH	32.04	1.3284	32.7	-97.7	0.544	0.7861	64.7	نفاذية عالية للمنطقة المرئية والفوق البنفسجية

جدول (1)

يبين تأثير تغير تركيز صبغة الكومارين 47 على

خواص طيف الامتصاص في مذيب الميثانول لتراكيز مختلفة

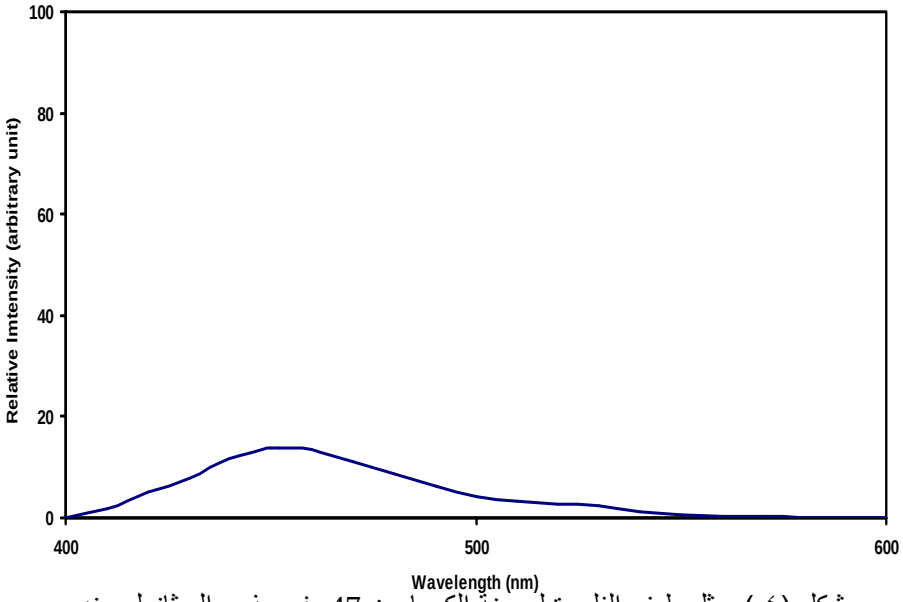
Absorption Spectrum

Dye : Coumarin 47

Solvent: Methanol **At Room Temperature**

Concentration (Molar)	Relative intensity	$\lambda_{Max.}$ (nm)	Band width $\Delta\lambda$ (nm)
10^{-6}	27.6	394	300-440
10^{-5}	53.2	416	390-440
10^{-4}	60.6	418	384-442

أمـا أطيـاف الفلـورة فقـد لـوحظ أن قمـة الفلـورة للتركيز 10^{-6} مولاري كانت عند الطول الموجي 452 nm وقـد أزيحـت هـذه القمـة نحـو الطـول المـوجي الأطول مـع زيـادة التركيـز فكانـت عنـد التركيـز 10^{-5} مولاري عند الطول الموجي 454 nm وللتركيز 10^{-4} مولاري عند الطول الموجي 456 nm كما موضح

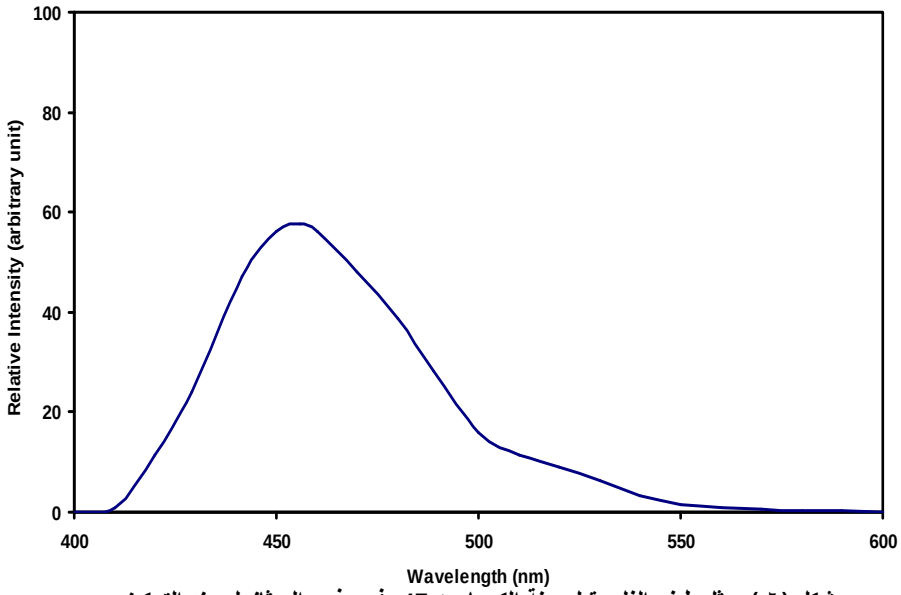


شكل (٤) يمثل طيف الفلورة لصبغة الكومارين 47 في مذيب الميثانول عند التركيز
10^{-6} مول\التر.

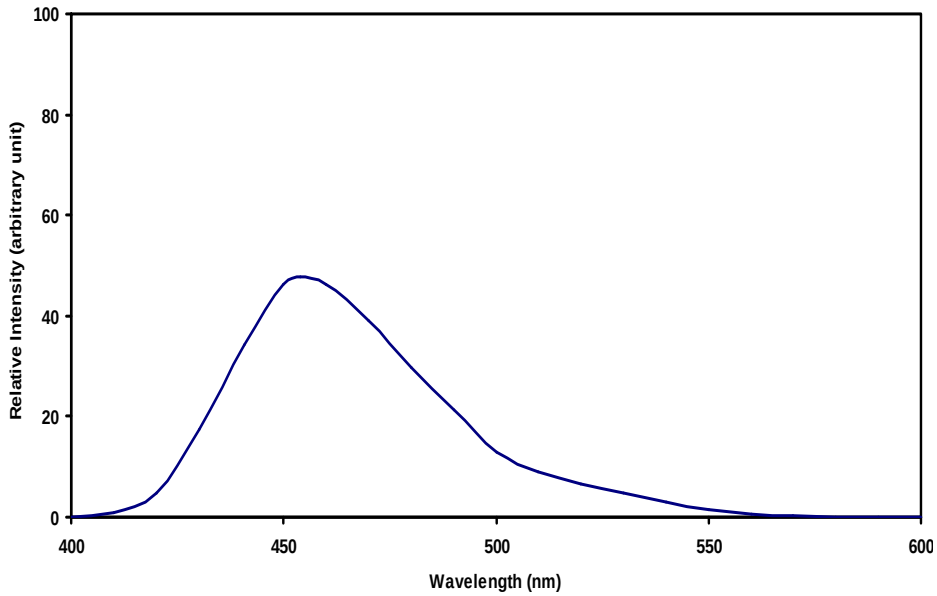
في الأشكال (٤) و (٥) و (٦) و سبب الازاحة يعود الى زيادة مجال الاضطراب الحاصل بين الجزيئات [25] على التوالي ونلاحظ زيادة في شدة الفلورة مع زيادة التركيز، ويوضح الجدول (٢) تأثير تغير التركيز على مقادير الشدة النسبية و الطول الموجي والمدى الطيفي.

جدول (2)
يبين تأثير تغير تركيز صبغة الكومارين 47 على خواص طيف الفلورة في مذيب الميثانول لتراكيز مختلفة

Flourescence Spectrum			
Dye : Coumarin 47 Solvent: Methanol			At Room Temperature
Concentration (Molar)	Relative intensity	$\lambda_{Max.}$ (nm)	Band width $\Delta\lambda$ (nm)
10^{-6}	13.8	452	400-552
10^{-5}	48.3	454	404-574
10^{-4}	57.6	456	404-582



شكل (٦) يمثل طيف الفلورة لصبغة الكومارين 47 في مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-4} مول\التر.

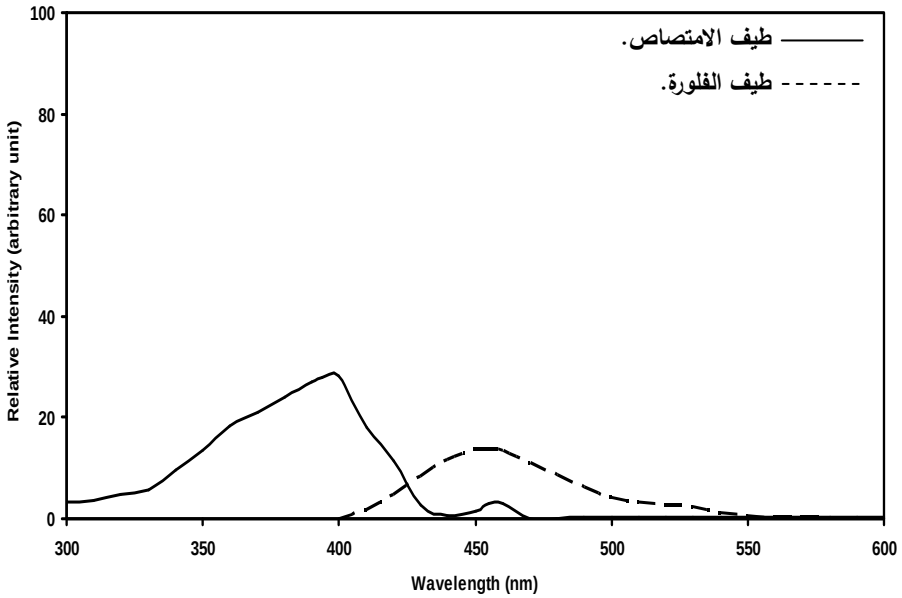


شكل (٥) يمثل طيف الفلورة لصبغة الكومارين 47 في مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-5} مول\التر.

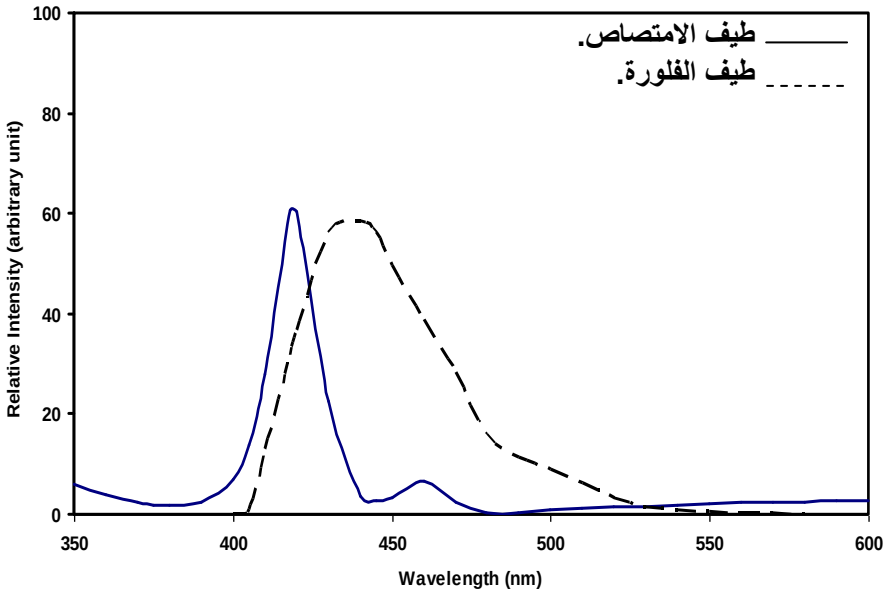
الجدول (٣) يوضح قيم الكفاءة الكمية للفلورة والتي تزداد مع زيادة التركيز إذ أن التراكيز المدروسة ليست ضمن التراكيز التي يمكن ان تتكون فيها المعقدات التي يمكن تكبح الفلورة وهي الدايمر أو الاكسايمر.أما الأشكال (٧) (٨) (٩) فتوضح التداخل ما بين طيفي الامتصاص والفلورة الذي يؤدي إلى زيادة عملية الامتصاص الذاتي التي تزداد مع زيادة هذا التداخل والتي تؤدي بدورها إلى كبح الفلورة.

جدول (٣)يوضح تأثير التركيز على قيم الكفاءة الكمية لفلورة لصبغة الكومارين ٤٧ في مذيب الميثانول

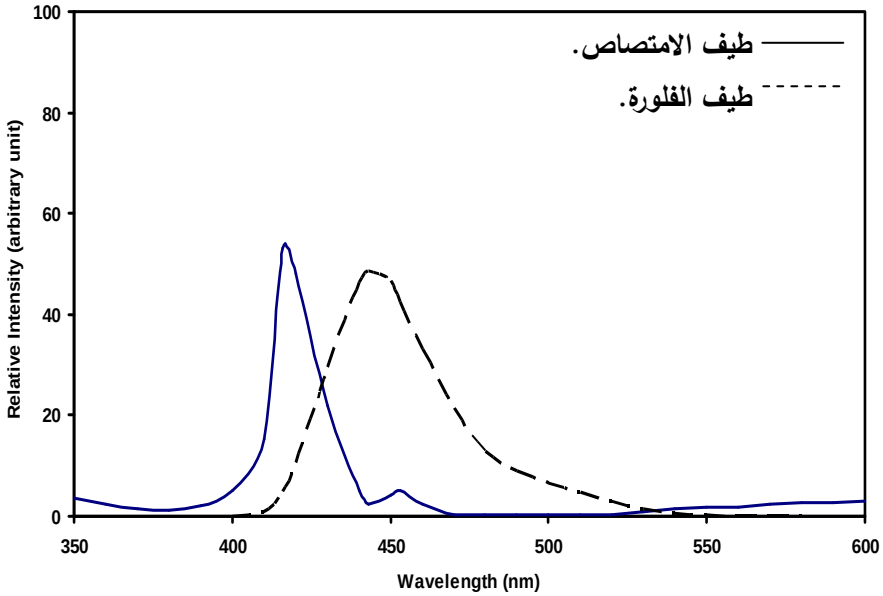
Fluorescence Spectrum Dye : Coumarin 47 Solvent: Methanol At Room Temperature	
Concentration (Molar)	Quantum Efficiency (Φ_F)
10^{-6}	0.48
10^{-5}	0.69
10^{-4}	0.8



شكل (٧) يوضح التداخل الحاصل بين طيفي الامتصاص والفلورة للكومارين ٤٧ في مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-6} مولاري.



شكل (٩) يوضح التداخل الحاصل بين طيفي الامتصاص والفلورة للكومارين ٤٧ في مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-4} مولاري.



شكل (٨) يوضح التداخل الحاصل بين طيفي الامتصاص والفلورة للكومارين ٤٧ فى مذيب الميثانول عند التركيز 10^{-5} مولارى.

الاستنتاجات

عند دراسة تأثير التركيز على أطياف الامتصاص والفلورة للكومارين ٤٧ في مذيب الايثانول لوحظ أن زيادة التركيز مابين (10^{-6}-10^{-4}) مولاري لم يتم اكتشاف أي تأثير للدايمر أو الاكسايمر إلا أن زيادة التركيز أدت إلى زيادة الامتصاصية وشدة الفلورة والتي تعني زيادة الكفاءة الكمية للفلورة كما ظهر زحف للأطوال الموجية لطيفي الامتصاص والفلورة نحو الأطوال الموجية الطويلة من ذلك يمكن تحديد التراكيز التي يمكن استخدامها كأوساط ليزرية والتخلص من المشاكل واتاثيرات التي تظهر مع ظهور هذه المعقدات (الدايمر أو الاكسايمر).

Abstract:

In this research we had studied the influence of concentration variation on absorption and fluorescence spectra of coumarin 47 dye in methanol solvent, we observed that the increasing of the concentration cause increasing in the absorbance according to Beer Lambert law and increasing in the fluorescence intensity and there isn't any influence of dimmer and eximer in this range of used concentration but shift in wavelength of absorption and fluorescence spectra to long wavelength (red shift) was existed.

المصادر

[١] جامعة بغداد – كلية العلوم (قسم الفيزياء) – التعليم المستمر دورة التطبيقات الفيزيا ئية للتحليلات الطيفية ١٩٩٥.

[٢] New G. H. C. ,Estratio da "ALTA FREQUENZA"Vol XLI, No.10, da pag. 706 a pag. 710, 1972

[٣] Skoog Douglas A., Principles of Instrument Aalysis, third edition 1985.

[٤] Skoog , West , Hooler ;Fundemental of Analytical Chemistry ; fifth edition 1988

[٥] Banwell C. N.; Fundemental of Molecular Spectroscopy ; third edition 1983.

[٦] Hercules David M.; Fluorescence and Phosphorescence Aalysis , Principles and Applications ,1966.

[٧] Parker C. P. ; Photo luminescence of Solution.1968

[٨] Schulman Stephen G.; Fluorescence and Phosphorescence Spectroscopy ; Physicochemical Princeple and Practice; 1977.

[٩] Guilbault George G.; Practical Fluorescence ; 1973.

[١٠] Drushel Harry V., Sommers A. L., and Robert C. Cox; Analytical Chemistry , vol. 35 ., no. 13, 1963

[١١] C.Vijila and Ramalingam; J.Mater.Chem.,2001,11,749-755.

[١٢] Birks John B.; Photo physics of Aromatic Molecules; 1970.

[١٣] Penzkofer A.and Lu Y.; Chemical Physics, 105, pp.(399-405), 1986.

[١٤] Arbeloa T. Lopez, Arbeloa F. Lopez Estevez, M. J. Tapia, Arbeloa I Lopez., Journal of Luminscence, 59, pp.(369-375), 1994.

[١٥] Manual of the SP8-100 Series UV-VIS Spectrophoto-meter Systems, Pye Unicam Ltd. , Cambridge England, 1978.

[١٦] Manual of the Shimadzu Recording Spectrophoto-meter Model RF-540 , Shimadzu Corporation , Kyoto, Japan.

[١٧] Mitsuo Maeda ; Laser Dyes ; Academic press ,INC; 1984.