مجلـة جامعـة تشرين للدراسـات والبحـوث العلمية
المجلـد ٥ ـ العـدد ٢ مـن ٤٩ إلـى ٥٦
شعبان ١٤٠٢هـ
حزيران ١٩٨٢م

آلية تفاعل الارجاع الضوئي لشاردتي ١ ـ و ٤ ـ آزا الفينانترين بواسطة الفينول وثنائي ميتيل الفورم أميد

الدكتور
سامي أبو العينين
كلية العلوم

ملخص :

لقد خصص هذا البحث لدراسة تفاعل الارجاع الضوئي لشاردتي ١ -و٤ - آزا الفينانترين بوجود الفينول وثنائي ميتيل الفورم أميد . وقد حدد المردود الكوانتي لتفاعلات الارجاع الضوئي الجارية في مختلف الجمل المدروسة . بواسطة طريقة التحليل الضوئي الوميضي تم اكتشاف المركبات الوسطية المتشكلة أثناء التفاعلات - جذور آزا الفينانترين الحرة ، وكذلك معقدات انتقال الشحنة الثلاثية (معقد جذر ١ -آزا الفينانترين الحر مع الجذر الشاردي الموجب لثنائي ميتيل الفورم أميد) . وتبين من خلال البحث أن المردود الكوانتي المنخفض لتفاعل الارجاع الضوئي يرتبط بعمليات التخميل التي تشترط بالانتقال المعاكس للالكترون من جذر آزا الفينانترين الحر الى الجذر الشاردي الموجب العائد للمادة المطفئة (الفينول أو ثنائي ميتيل الفورم أميد) وذلك في معقدات انتقال الشحنة الاحادية والثلاثية .

الارجاع الضوئي للمركبات العطرية وآزا العطرية معروف بشكل جيد في حقل الكيمياء الضوئية (1) . تعتبر الجزيئات المشحونة (الشوارد الموجبة)أخذات أكثر قوة للالكترونات من الجزيئات المعتدلة ، لذلك فمن المنتظر أن تكون تفاعلات ارجاعها الضوئي أكثر عمقا . لقد بحث تفاعل الارجاع الضوئي للشوارد الموجبة بشكل رئيسي على الأصبغة (2،3) . وتبين أنه بوجود مانحات الالكترونات يجري تشكل الاشكال المرجعة لهذه الأصبغة نتيجة لانتقال الالكترونات (4) . وذلك بشكل مشابه لما يحدث في تفاعلات انتقال الالكترون الجارية باشتراك الجزيئات المعتدلة(5) .

كنا قد بينا في بحث سابق(6) . ان اطفاء فلورة شارجبة ٩ - فينيل الاكريدين بواسطة الفحوم الهيدروجينية العطرية مرتبط بعمليات انتقال الالكترون . أما في البحث الحالي فقد درست عمليات الارجاع الضوئي ، واطفاء الفلورة والحالات المهيجة الثلاثية لشارجبتي ١ -و٤ -آزا الفينانترين بواسطة الفينول وثنائي ميتيل الفورم أميد(DMF) عند إضاءة محاليل أملاح ١ - و٤ -آزا الفينانترين في الاسيتونتريل بوجود DMF والفينول ، يلاحظ تشكل مركب ثنائي هيدرو آزا الفينانترين الموافق . يستدل على ذلك بظهور قمة امتصاص جديدة في المجال ٣٠٠ -٣٠٥ نانومتر وكذلك باختفاء قمة الامتصاص العائدة للشارجبة المدروسة . من الجدير بالذكر انه اثناء حدوث التفاعل الكيميائي الضوئي لشارجبة ٤ -آزا الفينانترين ، يلاحظ ظهور قمتي امتصاص جديدتين في طيف امتصاص النواتج . تنسب احدى هاتين القمتين الى ثنائي هيدرو آزا الفينانترين ، أما الأخرى فانها تعود على ما يبدو الى ناتج تفاعل جذر ٤ -آزا الفينانترين الحر مع DMF .

لقد بينا في بحث سابق (7) . أن تفاعل الارجاع الضوئي لشارجبة الاكريدين بوجود DMF يجري عبر تشكل الجذر الاكريديني . كذلك هنا فقد تمكنا ، عند اجراء التحليل الضوئي الوميضي لشاردتي ١ -و٤ - آزا الفينانترين بوجود DMF والفينول ، من ملاحظة تشكل مركبات وسطية قصيرة العمر يمكن اعتبارها جذور ١ -و٤ -آزا الفينانترين .

لمعرفة طبيعة الحالة المهيجة الالكترونية التي يجري منها تفعل ارجاع شاردتي ١ -و٤ - آزا الفينانترين ، عمدنا الى دراسة اطفاء الفلورة والحالات المهيجة الثلاثية العائدة لهما بواسطة DMF والفينول . تملك الشارجبتان المذكورتان في درجة حرارة الغرفة طيفي فلوره عديمي الشكل تقع قمتاهما عند ٢٢٤٠٠ و٢٢١٠٠ سم $^{-1}$ من أجل ١ -و٤ - آزا الفينانترين على الترتيب . من الجدير بالذكر ان اطفاء فلورة هاتين الشارجبتين بواسطة DMF والفينول يخضع لمعادلة شتيرن - فولمر . لكن يلاحظ في حالة DMF ابتعاد عن العلاقة الخطية عندما يكون تركيزه اكبر من ٢,٥ مول/ ليتر ، الشيء الذي يرتبط على ما يبدو بتغير طبيعة الوسط . تجدر الاشارة الى أن علاقتي زمن التخامد والمردود الكوانتي للفلورة بتركيز المادة المطفئة تتطابقان فيما بينهما مما يدل على غياب الاطفاء السكوني للفلورة في الجمل المدروسة. يورد في الجدول /١/ زمنا تخامد الفلورة (τ_0^s) للشارجبتين المدروستين في الاسيتونتريل وكذلك قيم ثوابت اطفاء الفلورة ($\varkappa_s$) المحددة وفقاً لمعادلة شتيرن - فولمر :

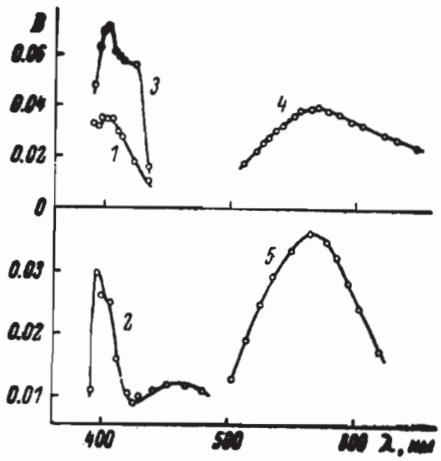
$$(I_0/I)-1 = \varkappa_s[Q]$$

حيث I, I_0- شدتا الفلورة بغياب وبوجود المادة المطفئة Q على الترتيب .

جدول / ١/ المعايير الحركية لاطفاء الفلورة والحالات الثلاثية ، وكذلك لتفاعل الارجاع الضوئي لشاردتي ١- و٤- آزا الفينانترين بوجود DMF والفينول .

الثوابت	الجملة			
	1- $C_{13}H_9N.H^+$		4- $C_{13}H_9N.H^+$	
	DMF	PhOH	DMF	PhOH
$\tau_0^s \cdot 10^9$, c	11±1		11±1	
$\varkappa_s$, $M.^{-1}$	0.20±0.02	160±10	1.3±0.4	170±10
$\tau_0^T \cdot 10^4$, c	1.2±0.05		1.25±0.05	
$\varkappa_T$, $M.^{-1}$	0.36±0.03	(2.7±0.3)·10³	—	(10±1)·10³
$\varkappa_T$, $M.^{-1}$	0.18±0.02	(3.0±0.3)·10³	—	(8.5±1)·10³
k_1, c^{-1}	14±1	—	48±8	—
$k_1' \cdot 10^{-3}$, c^{-1}	0.15	—	1.3±0.5	—
γ_s,	0.04	0.01	—	0.012
$\gamma_T \cdot \Phi_T$	—	0.022	—	0.01

لقد كان استخدام شدة الفلورة في معادلة شتيرن ـ فولمر بدلا من مردود الفلورة الكوانتي ممكنا نظرا لان شكل طيف الفلورة للشارجبتين المدروستين لا يتغير عند اضافة المادة المطفئة الى الجملة . ومن الجدير بالذكر أن ثابتي اطفاء فلورة شارجبتي آزا الفينانترين بواسطة DMF أصغر بكثير من مثيليهما في حالة الاطفاء بواسطة الفينول (جدول ١) . إن طيفي فلورة شارجبتي ١ـ و٤ـ آزا الفينانترين معروفان في المراجع العلمية(8) . ويشار في المرجع(9) الى وجود الامتصاص T-T العائد لهما . وقد تمكنا بواسطة التحليل الطيفي الوميضي من تسجيل طيف الامتصاص T-T لهاتين الشاردتين في الاسيتونتريل (الشكل ١) .



الشكل (١) طيوف امتصاص جذري ١ـآزا الفينانترين(1) و ٤ـ آزا الفينانترين(2) ومعقد انتقال الشحنة الثلاثي لجذر ١ـ آزا الفينانترين مع الجذر الشاردي الموجب لـ DMF (3) في وسط من DMF ؛ وطيفي الامتصاص T-T لكل من شارجبة ١ـ آزا الفينانترين(4) وشارجبة ٤ـ آزا الفينانترين(5) في وسط من الاسيتونتريل .

يلاحظ عند اضافة الفينول الى الجملة اطفاء الحالات الثلاثية لكلتا الشاردتين بينما عند اضافة DMF اليها يلاحظ اطفاء الحالات الثلاثية العائدة لشارجبة ١ـ آزا الفينانترين . هذا ويخضع اطفاء الحالات الثلاثية الى معادلة شتيرن ـ فولمر . يورد في الجدول / ١/ زمن حياة الحالات الثلاثية للشارجبتين المدروستين τ_0^T وكذلك قيم ثوابت اطفاء الحالات الثلاثية α_T المحددة بواسطة معادلة شتيرن ـ فولمر :

$$(\tau_0^T/\tau^T) - 1 = \alpha_T[Q]$$

يجب أن نشير هنا الى أن قيمة ثابت سرعة اطفاء الحالات الثلاثية الذي يساوي (α_T/τ_0^T) بواسطة DMF (من أجل ١- آزا الفينانترين) والفينول أقل بكثير من قيمة ثابت سرعة اطفاء الحالات المهيجة الاحادية (جدول ١) . لنستعرض الآن المخطط الحركي العام لتفاعل شارجبتي آزا الفينانترين المهيجتين مع مانحات الالكترونات(D) :

$$^1(AH^+)^* \xrightarrow{k_f} {}^1(AH^+)_0 + h\nu',$$

$$^1(AH^+)^* + D \xrightarrow{k_r^d} \dot{A}H + D\dot{+},$$

$$^1(AH^+)^* + D \xrightarrow{k_d} {}^1(\dot{A}H\cdots D\dot{+}) \longrightarrow {}^1(AH^+)_0 + D,$$

$$^1(AH^+)^* \xrightarrow{k_{isc}} {}^3(AH^+),$$

$$^3(AH^+) \xrightarrow{k'_{isc}} {}^1(AH^+)_0,$$

$$^3(AH^+) + D \xrightarrow{k_r^T} \dot{A}H + D\dot{+},$$

$$^3(AH^+) + D \xrightarrow{k_d'} {}^3(\dot{A}H\cdots D\dot{+}) \longrightarrow {}^1(AH^+)_0 + D.$$

في الحالة العامة اذا كان التفاعل يجري من الحالتين المهيجتين الاحادية والثلاثية بآن واحد ، فاننا سنحصل على العبارة التالية للمردود الكوانتي للتفاعل :

$$\Phi = \gamma_s \cdot \varkappa_s \cdot \frac{[Q]}{1+\varkappa_s[Q]} + \varphi_T \cdot \gamma_T \cdot \varkappa_T \cdot \frac{[Q]}{(1+\varkappa_s[Q])(1+\varkappa_T[Q])} \qquad (1)$$

او

$$\Phi \cdot \frac{1+\varkappa_s[Q]}{[Q]} = \frac{\Phi \cdot I_0}{[Q]\cdot I} = \varkappa_s \cdot \gamma_s + \frac{\varkappa_T \cdot \varphi_T \cdot \gamma_T}{1+\varkappa_T[Q]} = \varkappa_s\gamma_s + \varkappa_T\varphi_T \cdot \gamma_T\tau_0^T/\alpha_T \qquad (2)$$

حيث γ_s و γ_T ـ المردودان الكوانتيان الحديان للتفاعل من الحالتين المهيجتين الاحادية والثلاثية على الترتيب ؛ φ_T ـ المردود الكوانتي للحالات الثلاثية لشارجبة آزا الفينانترين ؛ $\alpha_s = (k_r^s + k_d)\tau_0^s$ ، $\alpha_T = (k_r^T + k_d')\tau_0^T$ ـ ثابتا سرعتي اطفاء الحالتين المهيجتين الاحادية والثلاثية .

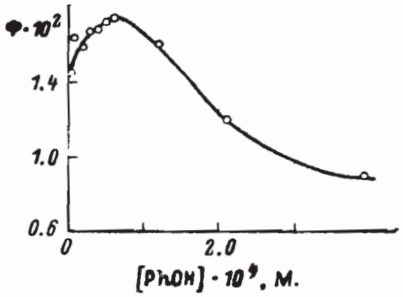
أما اذا كان التفاعل يجري فقط من الحالة المهيجة الاحادية فاننا سنحصل على المعادلة التالية :

$$\frac{1}{\Phi} = \frac{1}{\gamma}\left(1 + \frac{1}{\varkappa_s}\right)\cdot\frac{1}{[Q]}, \quad \varkappa_s = (k_r + k_d)\cdot\tau_0. \qquad (3)$$

حيث ν - المردود الكوانتي الحدي للتفاعل ؛ k_r و k_{nr} - ثابتا سرعتي التفاعل الكيميائي الضوئي وتخميل الحالات المهيجة الاحادية على الترتيب ؛ τ_0 - زمن حياة الفلورة في غياب المادة المطفئة .

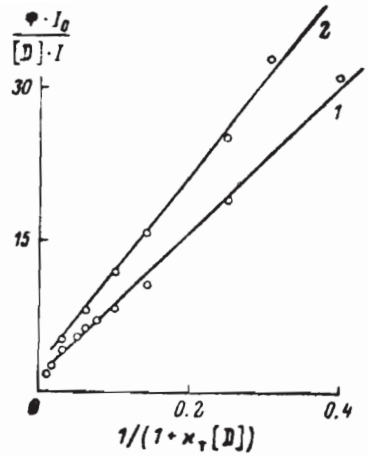
على ضوء المعطيات التجريبية حول اطفاء الحالات المهيجة للشارجبتين المدروستين يمكننا القول بان تفاعل الارجاع الضوئي لشارجبة ٤- آزا الفينانترين بوجود DMF يجري من الحالة المهيجة الأحادية وذلك لان حالته المهيجة الثلاثية لا تطفأ بواسطة DMF . كذلك في حالة شارجبة ١- آزا الفينانترين فان تفاعل الارجاع على ما يبدو يجري من الحالة المهيجة الاحادية وذلك لان قيمة الثابت $k_r\tau_0$ المحددة من علاقة $1/\Phi$ بمقلوب تركيز المادة المطفئة (1/Q) تتطابق مع قيمة ثابت اطفاء الفلورة $k_f\tau_0$ بواسطة DMF (جدول ١) . وهذا على الرغم من أن قيمة ثابت اطفاء الحالة المهيجة الثلاثية لشارجبة ١- آزا الفينانترين بواسطة DMF اكبر من قيمة الثابت $k_s\tau_0$.

أما بوجود الفينول فان تفاعل الارجاع الضوئي لشارجبتي آزا الفينانترين يجري حتى في تراكيز صغيرة من الفينول عندما لا يلاحظ بعد اطفاء فلورتها . وإذا رسمنا المنحني الممثل لعلاقة المردود الكوانتي لتفاعل ارجاع شارجبة ١- آزا الفينانترين بتركيز الفينول فاننا سنلاحظ أنه يمر بنهاية عظمى (الشكل ٢) .



الشكل (٢) علاقة المردود الكوانتي لتفاعل الارجاع الضوئي لشارجبة ١- آزا الفينانترين بتركيز الفينول .

إن مثل هذه العلاقة لا تلاحظ الا عندما يجري التفاعل من الحالة المهيجة الثلاثية بالاضافة الى جريانه من الحالة المهيجة الاحادية . وبالفعل فان المعطيات التجريبية التي حصلنا عليها من أجل شارجبتي ١- و٤- آزا الفينانترين توصف بشكل جيد بواسطة المعادلة رقم (٢) (الشكل ٣) .



الشكل (٣) علاقة المردود الكوانتي لتفاعل الارجاع الضوئي لشارجبتي ١- آزا آلفينانترين(1) و ٤- آزا الفينانترين(2) بتركيز الفينول في احداثيات المعادلة رقم (٢) .

إذا يجري تفاعل الارجاع الضوئي لشارجبتي آزا الفينانترين بوجود الفينول من كلتا الحالتين المهيجتين الاحادية والثلاثية . أضف الى ذلك أن لمردود التفاعل من كلتاهما قيم متقاربة .

عندما نستعرض تفاعل الارجاع الضوئي لشارجبتي ١- و ٤- آزا الفينانترين بوجود DMF والفينول أول ما يسترعي الانتباه هو انخفاض قيمة مردوده الكوانتي بغض النظر عن الحالة المهيجة التي يجري منها التفاعل المدروس . هناك شيء آخر يسترعي الانتباه ألا وهو الاختلاف الكبير بين قيمتي ثابتي اطفاء الحالتين المهيجتين الاحادية والثلاثية .

بالنسبة للامر الاول يمكننا الافتراض بان المردود الكوانتي المنخفض لتفاعلات الارجاع الضوئي المدروسة مرتبط بعمليات تبديد الطاقة الالكترونية تحت تأثير المتفاعلات . ترتبط آلية تبديد الطاقة الالكترونية المذكور قبل كل شيء بعمليات الانتقال المعاكس للالكترون في معقدات انتقال الشحنة (معقدات جذور آزا الفينانترين مع الجذر الشاردي الموجب لثنائي ميتيل الفورم أميد أو للفينول) وذلك بشكل مشابه لتخميل معقد انتقال الشحنة الثلاثي (معقد جذر ٩- فينيل الاكريدين مع الجذر الشاردي الموجب للمركب العطري) الملاحظ بواسطة التحليل الطيفي الوميضي(6) .

وبالفعل عند اجراء التحليل الضوئي الوميضي لشارجبة ١- آزا الفينانترين بوجود DMF يلاحظ الى جانب قمة الامتصاص T-T تشكل ناقل وسيطين زمن حياتهما قصير ، يمتصان في المجال ٤٠٠-٤٢٠ نانومتر (الشكل ١) ، ويختفيان [illegible] قانون من الدرجة الأولى

لكن بثابتي سرعة مختلفين (جدول ١) . إن المركبان الوسطيان اللذان يتمتعان بزمن حياة طويل نسبيا (٠,٠٧ ثا و ٠,٠٢٢ ثا من أجل ١- و ٤- ازا الفينانترين على الترتيب) هما على ما يبدو جذرا آزا الفينانترين الموافقان . يجب أن ننوه الى ان المنشورات العلمية لا تضم معلومات عن طيوف امتصاص جذور آزا الفينانترين ، لكن من المعروف أن طيوف امتصاص جذور المركبات العطرية غير المتجانسة (الآزوتية) تقع عادة في المجال ٤٠٠-٥٠٠ نانومتر . هذا ويمكننا الافتراض بشكل مشابه لجذور الأكريدين(7) أن جذور آزا الفينانترين هي جسيمات وسطية في تفاعلات الارجاع الضوئي لشوارد آزا الفينانترين .

أما الجسيمات التي تتمتع بزمن حياة قصير نسبيا فيمكن أن تنسب الى معقدات انتقال الشحنة الثلاثية (لا سيما الى معقدي جذري آزا الفينانترين مع الجذر الشاردي الموجب لثنائي ميتيل الفورم أميد) وذلك بشكل مشابه لما يحدث لشارجبة ٩- فينيل الاكريدين(6) . من الجدير بالذكر أن المردود الكوانتي لمعقد انتقال الشحنة الثلاثي الذي تشكله شارجبة ٤- آزا الفينانترين صغير جدا الى درجة لا يمكن معها تسجيل طيف امتصاص المعقد . يرتبط هذا الفرق بين شارجبة ٤- آزا الفينانترين وشارجبة ١- آزا الفينانترين على ما يبدو بغياب اطفاء الحالة المهيجة الثلاثية لشارجبة ٤- آزا الفينانترين بواسطة DMF . ومن جهة أخرى يعتبر الغياب العملي للجسيمات قصيرة العمر نسبيا في حالة شارجبة ٤- آزا الفينانترين دليلا آخر على صحة نسب الجسيمات الوسطية التي تتمتع بثابت سرعة كبير في حالة ١- آزا الفينانترين ، الى معقدات انتقال الشحنة الثلاثية .

لقد بينا مؤخرا(6) أن الانتقال المعاكس للالكترون من الجذر الى الجذر الشاردي الموجب في معقدات انتقال الشحنة الثلاثية يقود الجملة الى الحالة الاولية . وعلى ما يبدو عندما تتفاعل شاردتا آزا الفينانترين مع DMF في حالتهما المهيجة الاحادية تتشكل معقدات انتقال الشحنة الاحادية (بشكل مشابه لمعقدات الشحنة الثلاثية) والتي يؤدي فيها انتقال الالكترون المعاكس الى عودة الجملة الى حالتها الابتدائية . بالنتيجة يمكننا القول أن سبب انخفاض المردود الكوانتي لتفاعلات الارجاع الضوئي المدروسة هو تشكل معقدات انتقال الشحنة والتي يؤدي انتقال الالكترون المعاكس في داخلها الى تبديد طاقة التهييج الالكترونية .

الآن اذا استعرضنا قيم ثوابت اطفاء الحالات المهيجة الاحادية والثلاثية لشارجبتي ١- و ٤- آزا الفينانتري بواسطة DMF والفينول نجد من جهة أن ثوابت اطفاء الفلورة بواسطة DMF أو الفينول اكبر بحوالي ثلاث مراتب من ثوابت اطفاء الحالات المهيجة الثلاثية ، ومن

جهة أخرى نجد أن ثوابت اطفاء الحالات المهيجة الاحادية والثلاثية بواسطة الفينول هي أكبر بكثير من ثوابت اطفائها بواسطة DMF .

يصبح الاختلاف بين قيم ثوابت اطفاء الحالات المهيجة الاحادية والثلاثية بواسطة DMF والفينول واضحا اذا أخذنا بعين الاعتبار قيمتي كموني اكسدةDMF والفينول . بما أن كمون اكسدة الفينول(1.34B) أصغر من كمون أكسدةDMF (1.85B) فان انتقال الالكترون في حالة الفينول سيتم بصورة أسرع . هذا ويعطي حساب نسبة ثابتي اطفاء شوارد آزا الفينانترين المهيجة بواسطة الفينول وDMF وفقا لمعادلة ويلر(10) قيمة قريبة من ٣١٠ الشيء الذي يتطابق مع النتائج التجريبية التي حصلنا عليها . أما الاختلاف بين قيمتي ثابتي اطفاء الحالتين المهيجتين الاحادية والثلاثية فيعود الى الفرق بين كموني ارجاعهما ، الشيء الذي يرتبط باختلاف طاقتي تهييجهما (٣,٢٠ و ٢,٥٤ الكترون فولط من أجل الحالتين الاحادية والثلاثية على الترتيب) .

أخيرا يمكننا تلخيص النتائج التي توصلنا اليها في هذا البحث بالنقاط الرئيسية التالية :

١ـ ترجع شارجبات آزا الفينانترين المهيجة بواسطة الفينول و DMF .

٢ـ تبعا للجملة المدروسة يمكن لعملية الارجاع الضوئي أن تحدث من الحالة المهيجة الاحادية كما ان تحدث من الحالة المهيجة الثلاثية .

٣ـ يشير المردود الكوانتي المنخفض لعملية الارجاع الى أن القسم الاعظم من الجزئيات المهيجة يتعرض لعملية التخميل .

٤ـ ترتبط عملية التخميل بالانتقال الالكتروني المعاكس من الجذر الحر الى الجذر الشاردي الموجب في داخل معقدات انتقال الشحنة الاحادية أو الثلاثية ، والذي يؤدي الى تشكل الجزئيات الابتدائية .

٥ـ تعتبر عملية الانتقال الالكتروني المعاكس المنافس الاكبر لعملية تشكل جذور آزا الفنانترين التي تؤدي الى انجاز تفاعل الارجاع الضوئي .

طريقة العمل

حصلنا على املاح آزا الفينانترين باضافة حمض فوق الكلور(0,01 M) الى محلول آزا الفينانترين الموافق في الاسيتونتريل . أما تراكيز محاليل أملاح آزا الفينانترين التي أخذت للعمل فكانت في حدود ١٠ -٤ مول/ ليتر .

وأجريت كل التجارب في البحث على محاليل خالية من الغازات . سجلت طيوف الفلورة بواسطة جهاز «Bearn» من صنع شركة «Jobin and Yvon» أما طيوف الامتصاص فقد

سجلت بواسطة مقياس الطيف الضوئي «SP-8000» من صنع شركة «Pye Unicam» . حددت أزمان حياة الفلورة بواسطة مقياس فلورة وميضي(11) زمن ومضته من رتبة ١٠-٩ ثا .

أما المراديد الكوانتية لتفاعلات الارجاع الضوئي لشوارد آزا الفينانترين فقد حددت بواسطة خلية ضوئية درجت مسطرتها بمساعدة اكتينومتر(12) (حماضات الحديد) . سجلت طيوف الامتصاص T-T لشوارد آزا الفينانترين بواسطة جهاز التحليل الطيفي الوميضي الذي تصل طاقته الى ٦٥٠ جول ومدة ومضته يصل الى ٦٠-٥ ثانية . من أجل ذلك استعملت خلايا مصنوعة من الكوارتز طولها ٦٠ ملم وقطرها ١٠ ملم .

هذا وقد سجل طيف الامتصاص T-T بطريقة النقاط .

REFERENCES

[1] *J. A. Bartrop*, Pure Appl. Chem., ***33***, 179 (1973).
[2] *А. К. Чибисов*, Хим. выс. энерг., *10*, 3 (1976).
[3] *A. Kellmann*, Photochem. Photobiol., *20*, 103 (1974).
[4] *Л. В. Рамашов, Ю. И. Кирюхин, Х. С. Багдасарьян*, ДАН СССР, *230*, 1145 (1976).
[5] *K. H. Grellmann, A. R. Watkins, A. Weller*, J. Phys. Chem., *76*, 469 (1972).
[6] *В. Л. Иванов, Сами Абу Аль-айнен, М. Г. Кузьмин*, ДАН СССР, *237*, 1400 (1977).
[7] *В. Л. Иванов, Сами Абу Аль-айнен*, Хим. выс. энерг., *12*, 148 (1978).
[8] *V. Donckt, R. Dramaix, J. Nasielski, C. Vogels*, Trans. Faraday Soc., *65*, 3258 (1969).
[9] *G. Favoro, F. Mazetti, U. Mazzucato*, Spectr. acta, *27A*, 915 (1971).
[10] *D. Rehm, A. Weller.* [redacted] J. Chem., *8*, 259 (1970).
[11] *М. Г. Кузьмин, И. А. Садовский*, Хим. выс. энерг., *9*, 291 (1975).
[12] *C. A. Parker*, Proc. Roy. Soc., *220A*, 104 (1953).