

دراسة أثر عنصر الإربيوم على طيوف الامتصاص والتألق لفلوريد الكالسيوم لتحديد المجالات الطيفية الأكثر احتمالاً.

برهان دالاتي*

محمود أحمد**

نواف اسماعيل***

(تاريخ الإيداع ٢٧/٣/٢٠٢٤ – تاريخ النشر ٢٧/٦/٢٠٢٤)

□ ملخص □

تمت إشابة فلوريد الكالسيوم بعنصر الإربيوم بنسب مختلفة % (6,8,10) ، أخذت أطيايف الامتصاص والإصدار للعينات المشابة. تمت المطابقة الحاسوبية باستخدام برنامج Mathcad، بين الطيوف التجريبية والنظرية. تم حساب قوة المهتز للانتقالات الإلكترونية لتحديد الأطوال الموجية الأكثر احتمالاً. ظهرت قمم طيف الإصدار بشكل أوضح من قمم طيف الامتصاص ، حيث أن امتصاصية المركب للإربيوم تزداد عند تجفيف العينة. لوحظ أن الأطيايف عند النسب % (6,8) لم تظهر بشكل واضح، في حين كانت الأطيايف عند النسبة % (10) واضحة، لوحظ أن أقوى الإصدارات يعود لنسبة الإشابة % (10)، عند الطول الموجي (533)nm. تم تحديد المجالات الطيفية التي تصدر عندها كل عينة، وذلك للاستفادة منها لاحقاً في التطبيقات العملية.
الكلمات المفتاحية : الإربيوم، التألق ، طيف الامتصاص، طيف الإصدار ، قوة المهتز .

* أستاذ، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين. dr.brdalati@gmail.com

** أستاذ، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين. drxxdahmad@gmail.com

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة تشرين nawafismael454545@gmail.com

Sudy on the Effect of an Element on the Absorption and Emission Spectra of Calcium Fluoride to Detemine the Most Likely Spectral Ranges.

Burhan Dalati*
Mahmoud Ahmad**
Nawaf Ismael***

(Received 27/3/2024.Accepted 27/6/2024)

□ABSTRACT □

Calcium fluoride was doped with erbium element at different ratios (6, 8, 10)%. Absorption and emission spectra of the prepared samples were obtained. Computer matching using Mathcad software was conducted between experimental and theoretical spectra. Vibrational strengths of electronic transitions were calculated to determine the most probable wavelengths. Emission peaks were more pronounced than absorption peaks, as the absorption of the compound increases upon sample drying. It was noted that spectra at ratios (6, 8)% were not clearly observed, while spectra at the ratio (10)% were evident. The strongest emissions were observed at a doping ratio of (10)% at a wavelength of 533 nm. Spectral ranges emitted by each sample were identified for future practical applications.

Keywords: Erbium, luminescence, absorption spectrum, emission spectrum, vibrational strength.

* Prof, Dept. of physics, Faculty of Science, Tishreen University

** Prof, Dept. of physics, Faculty of Science, Tishreen University

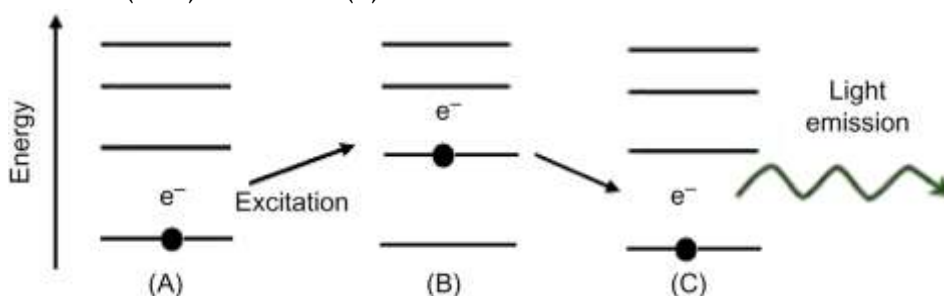
***Postgraduate student (PhD), Dept. of physics, Faculty of Science, Tishreen University.

1- المقدمة Introduction:

كانت الانبعاثات الضوئية من اليرقات الالامعة وكائنات البحر والعروض الضوئية الرائعة للشفق القطبي. منذ القدم ، مثيرة للإعجاب، وتم بذل الكثير من الجهود لفهم أصولها. حتى ظهور الميكانيكا الكمية، لم يكن من الممكن فهم أصول هذه الانبعاثات بشكل كافٍ. وبعد ذلك، وبعد العديد من المحاولات الجادة لتحديد الأصل وراء هذه الانبعاثات، تم التوصل أخيراً إلى أنها ناتجة عن ظاهرة التألق، التي تتضمن امتصاص الطاقة المناسبة وإطلاق الضوء بشكل متتالي كإشعاع فوق البنفسجي (UV)، أو ضوء مرئي، أو أشعة تحت الحمراء (IR) من المواد. مع مرور الوقت، جعلت الاختراقات الرئيسية في دراسات التألق هذا المجال محوراً رئيسياً للابتكار.

التألق بالتعريف هو شكل آخر من أشكال التوهج الضوئي، كان الفيزيائي الألماني ومؤرخ العلوم Eithord Wiedmann (1888)، أول من قدم مصطلح اللعان (التألق)، الذي يأتي من الجذر اللاتيني Lumin، والذي يعني الضوء. التألق هو إشعاع بارد يسببه حركة الإلكترونات داخل مادة من الحالات ذات الطاقة الأكثر نشاطاً إلى الحالات ذات الطاقة الأقل، وبالتالي فهو عملية إطلاق للضوء عند درجات حرارة عادية أو باردة دون توليد حرارة. يمكن أن يتسبب في ذلك امتصاص الفوتونات، أو التفاعلات الكيميائية أو الكيميائية البيولوجية، أو نشاط الجزيئات ، أو الإشعاع، أو التوتر على بلورة [5-1].

طول موجة الضوء المنبعث هو خاصية للمادة اللعانية وليس للإشعاع الحاصل. ينص قانون اللعان، على أن طول موجة الإشعاع المنبعث (الصادر) دائماً أطول من طول موجة الإشعاع الممتص ($\lambda_{emi} > \lambda_{exc}$). وتسمى المواد التي ينبعث منها اللعان مضيئات أو مواد لعانية [6]. يُظهر الشكل (1) عملية اللعان (التألق).



الشكل (1) : يوضح آلية التألق.

تبدأ ظاهرة التألق عندما تثار الذرة أو الجزيء أو البنية (البلورة) أو البوليمير إثارةً غير حرارية إلى حالة الكترونية أو اهتزازية أو دورانية. وعند عودة هذه العينة إلى وضع التوازن فإنها تصدر إشعاعاً (ضوءاً). هذا إذا كانت في حالة عدم توازن مع المحيط. يكون هذا الإشعاع المنطلق عادةً في مجال الضوء المرئي، لكن يمكن أن يكون أيضاً في مجال الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet أو تحت الحمراء Infrared أو أدنى من ذلك طاقةً. أي طاقة أقل وأطول موجية أطول مقارنةً بالإشعاع المثار [10-7].

التألق هو موضوع متعدد التخصصات حيث يمكن تطبيقه على مجموعة متنوعة من المجالات مثل الفيزياء، الكيمياء، العلوم البيولوجية، العلوم الطبية، العلوم الجنائية، علم الجيولوجيا، علم المواد، وتكنولوجيا الهندسة، وما إلى ذلك. وبما أن التألق هو السمة المميزة والجاذبة لأيونات العناصر الأرضية النادرة، لذا كان الخوض في دراستها وتأثيرها على المواد ضرورياً في مجال البحث والتطور العلمي [15-11].

تعتبر سلسلة اللانثانيدات التي تحتوي على مدارات F ممثلة جزئياً عناصر انتقالية، وتُعرف عادة بالمعادن الانتقالية الداخلية. حيث أن المعادن الأرضية النادرة هي عائلة مكونة من 17 عنصراً من العناصر ذات الأعداد الذرية 21، 39، و 57-71 ، من بين هذه العناصر، العنصر ذو العدد الذري 57، اللانثانيوم (La)، ليس لديه إلكترون حر في المدار 4f ، في حين أن العنصر ذو العدد الذري 71، اللوتيتيوم (Lu)، لديه مدار 4f ممتلئ تماماً بـ 14 إلكترونًا. خاصية غريبة لجميع العناصر الـ 13 بين المعادن الأرضية النادرة، بدءاً من السيريوم (Ce) حتى الإيتريوم (Yb)، هو أن المدار 4f غير ممتلئ تماماً، ولكنه يُحجب تماماً بواسطة المدارات الفرعية 5s و 5p، التي تمتلئ تماماً. حيث أن الخصائص البصرية والكهرومغناطيسية لهذه العناصر الـ 13 من المعادن الأرضية النادرة يعود أساساً إلى حجب المدار 4f غير الممتلئ تماماً. ينشأ اللعان في أيونات المعادن الأرضية النادرة الثلاثية بشكل رئيسي بسبب التحول في مستويات الطاقة داخل المدار 4f ، والتي عموماً تكون ممنوعة بموجب القواعد الميكانيكية الكمية. لكن لا يزال يمكن أن يحدث اللعان الفعال في هذه الأيونات في ظروف حيث لا تحتل مثل هذه الأيونات موضعاً يكون له مركز تماثل في الشبكة البلورية. بعض الأيونات الثلاثية الموجبة مثل الإربيوم (Er^{+3})، التربيوم (Tb^{+3})، والدسبروسيوم (Dy^{+3}) هي مُشعَّة جيدة للضوء، وهو الأمر الذي يعتمد على عدد الإلكترونات في مدارها 4f [15-20].

2-هدف البحث:

- 1.دراسة أثر إشابة فلوريد الكالسيوم بعنصر الإربيوم، وتأثيره على طيوف الامتصاص و الإصدار ، وذلك من خلال الدراسة الحاسوبية لتحديد قوة المهتز .
2. تحديد المجالات الطيفية التي يصدرها فلوريد الكالسيوم المشاب بالإربيوم، للاستفادة منها لاحقاً في المجالات التطبيقية.

3-الدراسة التجريبية:

3-1- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- مطياف UV-VIS (Jasco - V360).
- جهاز الفلورة photo-Luminance (PLFS20)
- خلاط مغناطيسي
- ميزان الكتروني حساس من نوع AA-200
- جهاز الطرد المركزي
- مجففة
- جميع الأجهزة المستخدمة متوفرة في جامعة حلب- كلية العلوم- قسم الفيزياء

3-2- تحضير مركب ($Er:CaF$):

المرحلة الأولى:

تم تحضير ثلاث عينات من فلوريد الكالسيوم المشاب بالإربيوم بثلاث نسب إشابة مختلفة، حيث حُضرت العينة الأولى بنسبة إشابة (6%) عن طريق إضافة $1.9gr$ من كلوريد الكالسيوم و $0.31gr$ من

نترات الإربيوم و 1.32gr من فلوريد الأمونيوم إلى 25ml من الماء المقطر، ثم يُحرَك المحلول بخلاط مغناطيسي لمدة 10min حتى الحصول على محلول شفاف.

المرحلة الثانية:

ترسب بعدها العينة باستخدام جهاز طرد مركزي وبسرعة دوران 4000rpm لمدة 10min ثم توضع في المجففة لمدة 30min عند درجة حرارة 100°C .

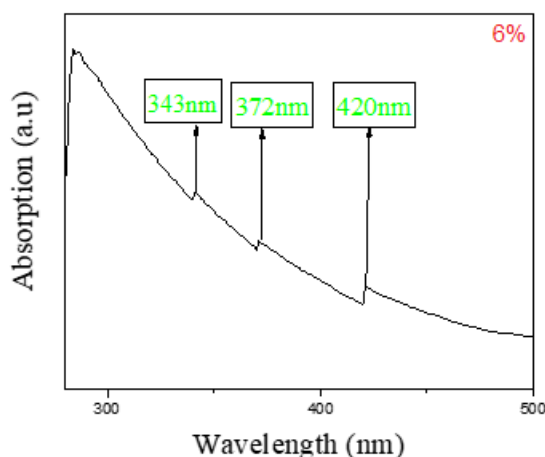
حُضرت العينة الثانية بنفس الطريقة السابقة، لكن بإضافة 1.79gr من كلوريد الكالسيوم و 0.43gr من نترات الإربيوم و 1.29gr من فلوريد الأمونيوم إلى 25ml من الماء المقطر، وبالتالي تم الحصول على نسبة الإشابة (8%)، وحُضرت العينة الثالثة التي تمثل نسبة الإشابة (10%) بنفس الأسلوب لكن بإضافة 1.7gr من كلوريد الكالسيوم و 0.53gr من نترات الإربيوم و 1.26gr من فلوريد الأمونيوم إلى 25ml من الماء المقطر.

3-3- القياسات:

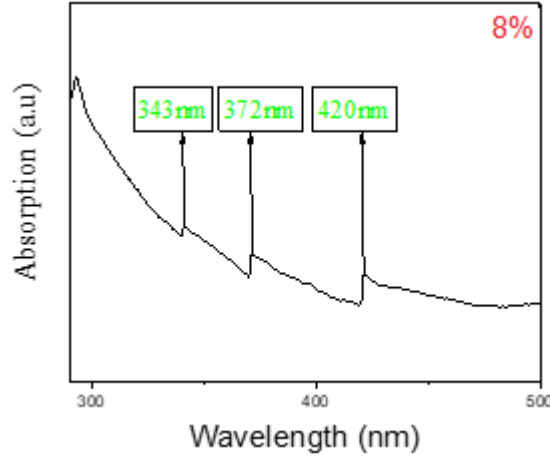
3-3-1- الدراسة الضوئية:

3-3-1-1- طيف الامتصاص:

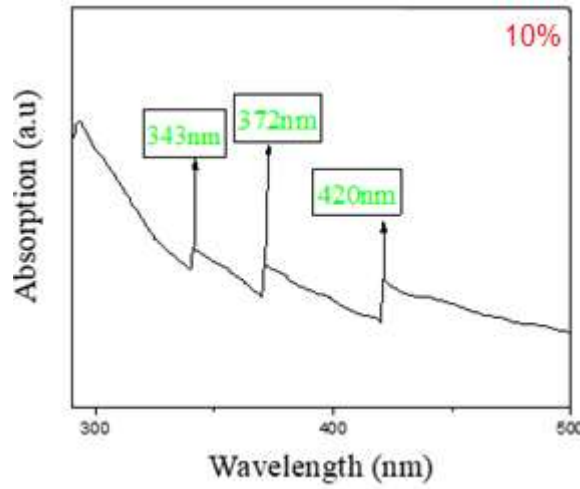
باستخدام مطياف UV-VIS، أخذ طيف امتصاصية مركب فلوريد الكالسيوم المشاب بنسب مختلفة بالإربيوم المعلق في الماء المقطر ضمن المجال الموجي ($200-900\text{nm}$) كما موضح في الأشكال (2, 3, 4).



الشكل (2): طيف الامتصاص للعينة المشابة بنسبة 6%.



الشكل (3): طيف الامتصاص للعينة المشابة بنسبة 8%.



الشكل (4): طيف الامتصاص للعينة المشابة بنسبة 10%.

3-3-1-2- الدراسة الحاسوبية وتحديد قوة المهتز لطيف الامتصاص:

قوة المهتز هو مقدار بدون أبعاد، ويعبر عن قوة الانتقال الإلكتروني بين حالتين في جزيء أو ذرة ، ويستخدم لتحديد مدى قوة هذه الانتقالات، حيث يكون لها قيمة بين 0 و 1 ، حيث تدل القيمة الكبيرة على احتمالية كبيرة لحدوث الانتقال.

لتحديد قوة المهتز باستخدام برنامج Mathcad ، تم إدخال معطيات طيف الامتصاص التجريبي، وطيف الامتصاص النظري حيث نفترض مجاله (200-900nm)، حيث يقوم البرنامج بمطابقة بين طيف الامتصاص التجريبي وطيف الامتصاص النظري، لمركب فلوريد الكالسيوم المشاب بالإرييوم بنسب (6,8,10)%.

حيث يمثل ϵ معامل الامتصاص المولي، λ_{max} الطول الموجي الموافق لأعظم قمة

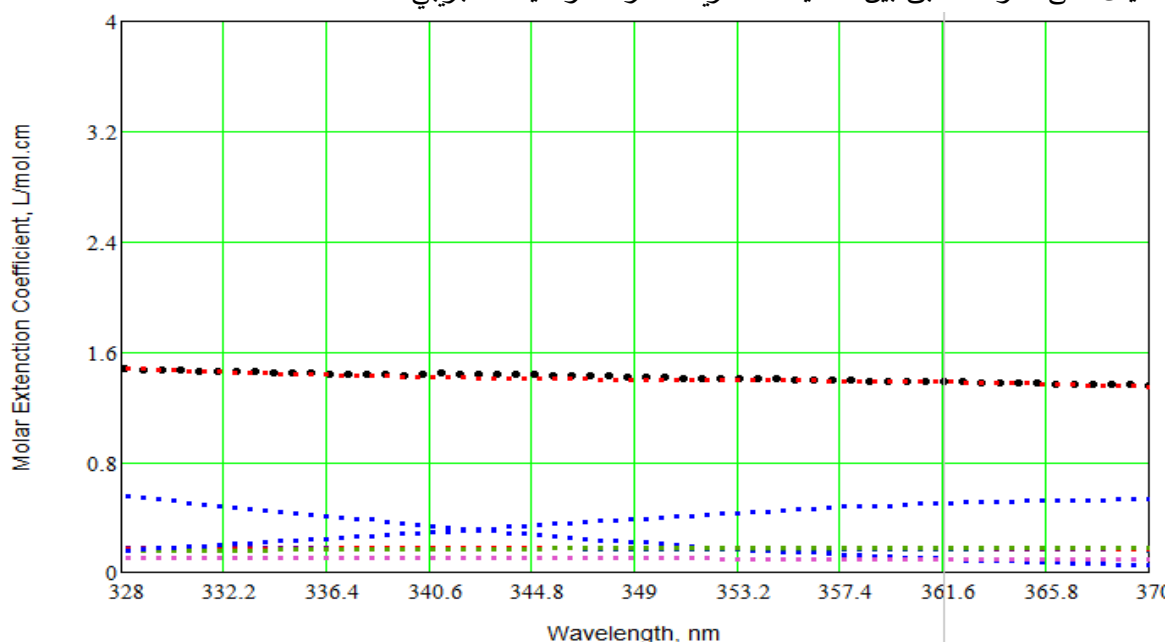
امتصاص، $FWHM$ عرض منتصف الشدة الأعظمي، f قوة المهتز المعطى بالعلاقة (1) [19]:

$$f = 2303 \frac{m_e \cdot c^2}{\pi \cdot N_{av} \cdot e^2} \int \epsilon(\nu) d\nu = 4.39 \times 10^{-9} \int \epsilon(\nu) d\nu \quad (1)$$

حيث تمثل m_e ، كتلة الإلكترون، e شحنة الإلكترون، c سرعة الضوء في الخلاء، N_{av} عدد أفوغادرو، ν عدد موجي يُقاس بوحدة cm^{-1} .

يقوم البرنامج بحساب قوة المهتز من خلال إجراء التكامل المحدد بالعلاقة (1) الذي يمثل المساحة تحت كل منحنى طيفي. حيث هذا البرنامج مصمم لإدخال 7 أو 9 مجالات نظرية مفترضة وهذا يعود إلى نوع وإمكانية الحاسوب. نقوم بافتراض 7 مجالات طيفية بشرط أن تكون ضمن المجال (200-900nm)، لكي توافق الطيف التجريبي. حيث نستمر بتغيير هذه المجالات حتى نحصل على أفضل مطابقة، وعند حدوث التطابق يقوم البرنامج بحساب قيم f من العلاقة (1) التي يعتمد عليها في عملية النمذجة.

حيث يمثل الخط المنقط باللون الأحمر طيف الإمتصاص التجريبي، والأطياف ذات الألوان المختلفة في أسفل الشكل الأطياف النظرية المفترضة، ويمثل الخط المنقط باللون الأسود نتيجة المطابقة، حيث نلاحظ الإنطباق. مما يدل على حدوث تطابق بين الأطياف النظرية المفترضة والطيف التجريبي.



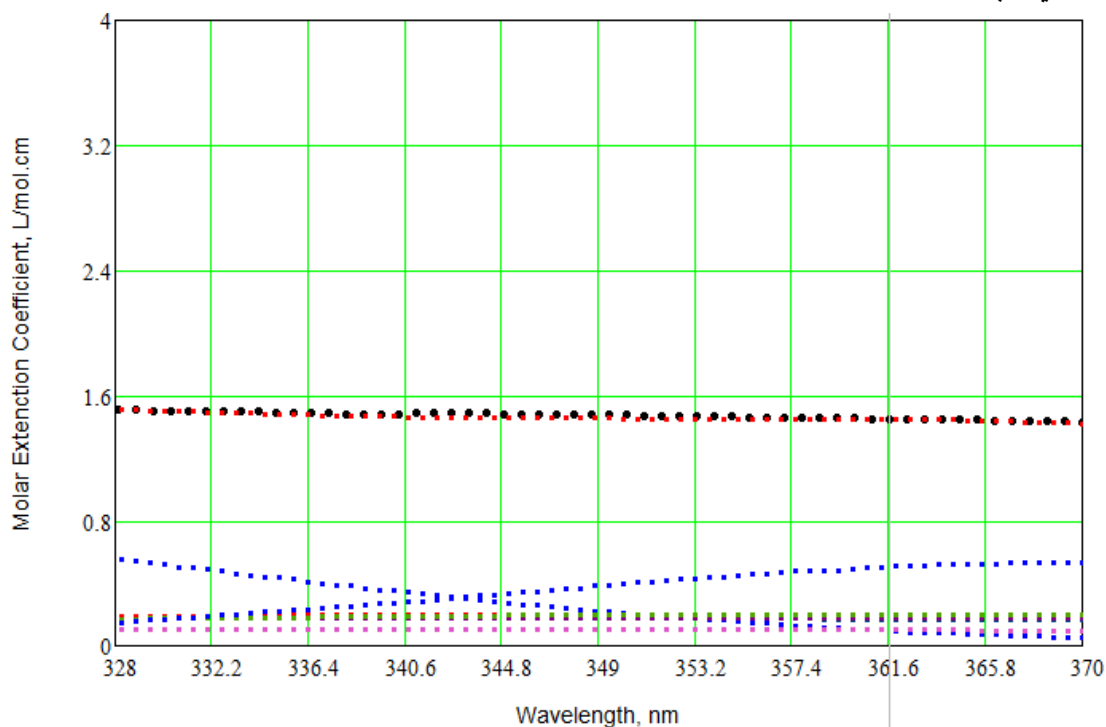
الشكل (5): مطابقة بين طيف الامتصاص التجريبي UV والطيف النظري للعينة المشابهة بنسبة (6%).

الجدول (1) البارامترات المتعلقة بكل قمة إمتصاص تابعة لانتقال الكتروني محدد بالاعتماد على برنامج Mathcad للعينة المشابهة بنسبة (6%).

$\varepsilon(L / mol.cm)$	λ_{max}	FWHM(nm)	f(oscillator strength)
0.174	331.753	140.11	$6.743 * 10^{-12}$
0.175	343.397	144.609	$1.829 * 10^{-8}$
0.163	348.325	112.36	$8.36 * 10^{-9}$
0.176	352.633	108.83	$8.444 * 10^{-11}$
0.178	362.077	87.256	$4.891 * 10^{-9}$
0.198	365.051	102.36	$4.057 * 10^{-13}$

0.528	370.591	38.615	$3.051 * 10^{-8}$
-------	---------	--------	-------------------

يلاحظ من الجدول (1) أن قيم معامل الامتصاص صغيرة، وأعظم قيمة هي 0.5، وهذا يعود لنسبة الإشابة المنخفضة، و أن الانتقالات الأشد هي الانتقالات الموافقة للأطوال الموجية (343.39, 370.59)nm والتي بدت بشكل مقبول ضمن الطيف الموضح في الشكل (5)، أما بقية الانتقالات فلم تظهر على الطيف لأنها ضعيفة جداً.

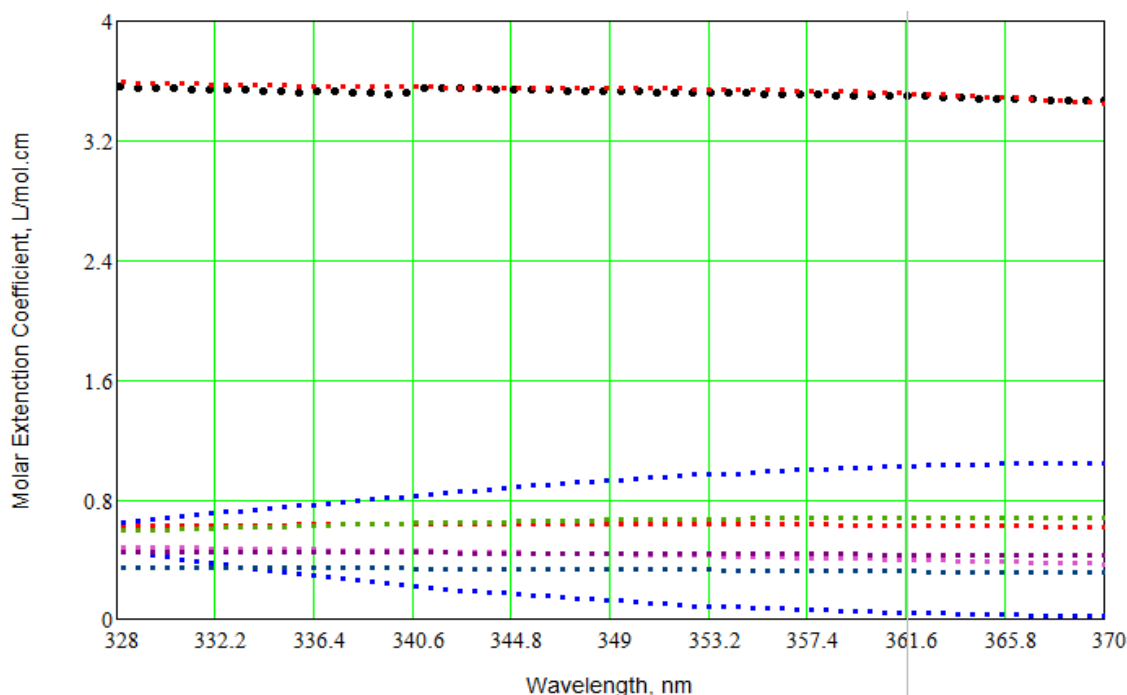


الشكل(6): مطابقة بين طيف الامتصاص التجريبي UV والطيف النظري للعينة المشابة بنسبة (8%).

الجدول (2): البارامترات المتعلقة بكل قمة إمتصاص تابعة لانتقال الكتروني محدد بالاعتماد على برنامج Mathcad للعينة المشابة بنسبة (8%).

$\epsilon(L / mol.cm)$	λ_{max}	FWHM(nm)	f(oscillator strength)
0.106	330.133	134.338	$3.681 * 10^{-11}$
0.177	334.865	143.258	$4.636 * 10^{-12}$
0.178	343.122	145.321	$1.666 * 10^{-8}$
0.199	354.923	103.153	$1.747 * 10^{-9}$
0.203	363.573	83.144	$8.405 * 10^{-9}$
0.21	367.231	111.23	$6.32 * 10^{-13}$
0.533	370.638	37.359	$4.189 * 10^{-8}$

يلاحظ من الجدول (2) أن الانتقالات الأشد هي الانتقالات الموافقة للأطوال الموجية (343.12, 370.63)nm والتي بدت بشكل مقبول ضمن الطيف الموضح في الشكل (6)، أما بقية الانتقالات فلم تظهر على الطيف لأنها ضعيفة جداً. كما يلاحظ أن زيادة نسبة الإثابة بمقدار 2%، لم تحدث الفارق الكبير في الامتصاص.



الشكل (7): مطابقة بين طيف الامتصاص التجريبي uv والطيف النظري للعينة بنسبة إثابة (10%).

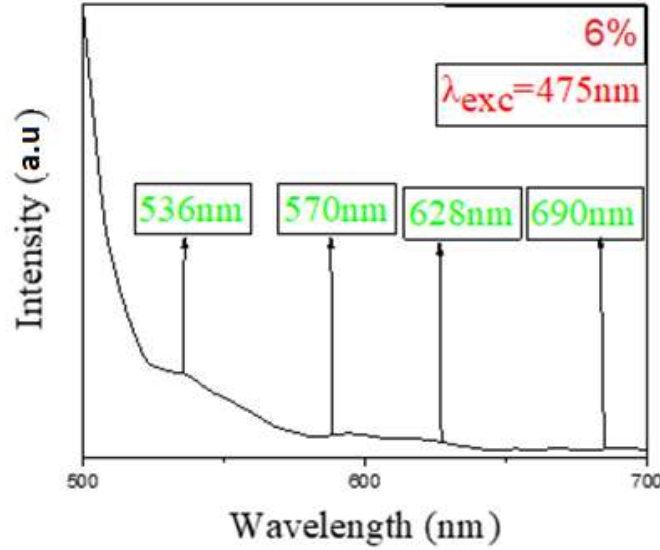
الجدول (3) : البارامترات المتعلقة بكل قمة إصدار تابعة لانتقال الكتروني محدد بالاعتماد على برنامج Mathcad للعينة بنسبة إثابة (10%).

$\varepsilon(L/mol.cm)$	λ_{max}	FWHM(nm)	f(oscillator strength)
0.445	331.207	169.234	$1.747 \cdot 10^{-13}$
0.334	337.879	123.541	$4.587 \cdot 10^{-12}$
0.636	343.282	124.055	$5.419 \cdot 10^{-8}$
0.785	358.856	103.157	$7.78 \cdot 10^{-9}$
0.678	362.703	92.393	$1.084 \cdot 10^{-9}$
0.25	366.547	102.265	$7.87 \cdot 10^{-13}$
1.041	370.649	60.265	$4.74 \cdot 10^{-8}$

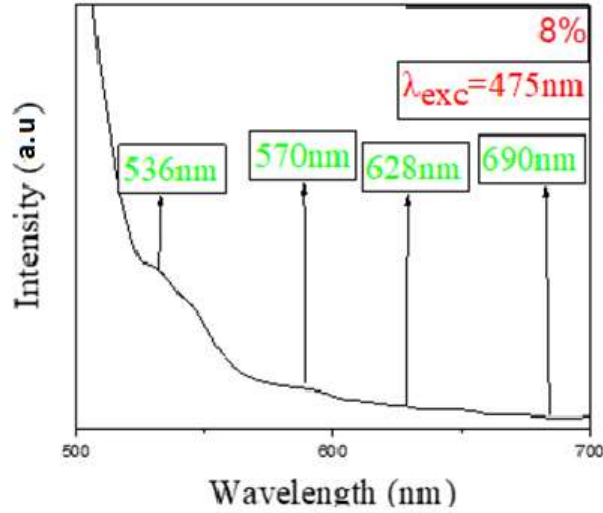
يلاحظ من الجدول (3) أن الانتقالات الأشد هي الانتقالات الموافقة للأطوال الموجية (343.282, 370.649)nm والتي بدت بشكل واضح ضمن الطيف الموضح في الشكل (7)، كما يلاحظ من الجدول أنه تم عند معامل امتصاص مرتفع.

3-1-3-3- طيف الإصدار PL للعينات المحضرة :

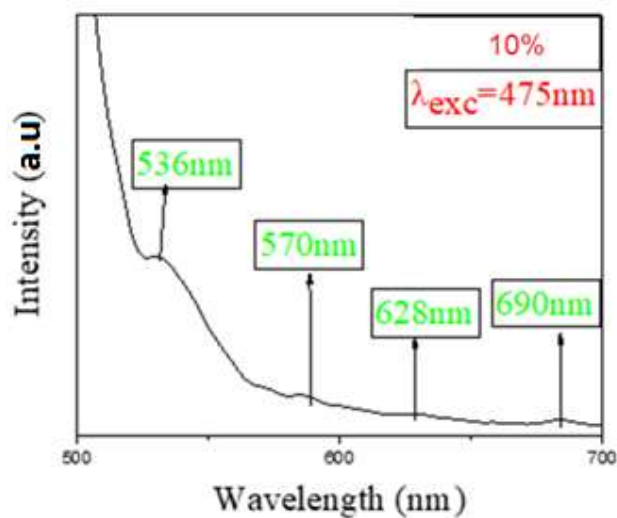
قيست طيوف الإصدار للعينات المحضرة باستخدام جهاز الفلورة الضوئية PL ضمن الأطوال الموجية 200-900nm، وتم تكبير المجال كما موضح في الأشكال (8,9,10). نلاحظ عند طول موجي للإثارة مقداره 475nm وجود قمم إصدار عند الأطوال الموجية (536,570,628,690nm) كما هو موضح في الأشكال (8, 9, 10).



الشكل (8): طيف الإصدار للعيينة بنسبة إشابة 6%.

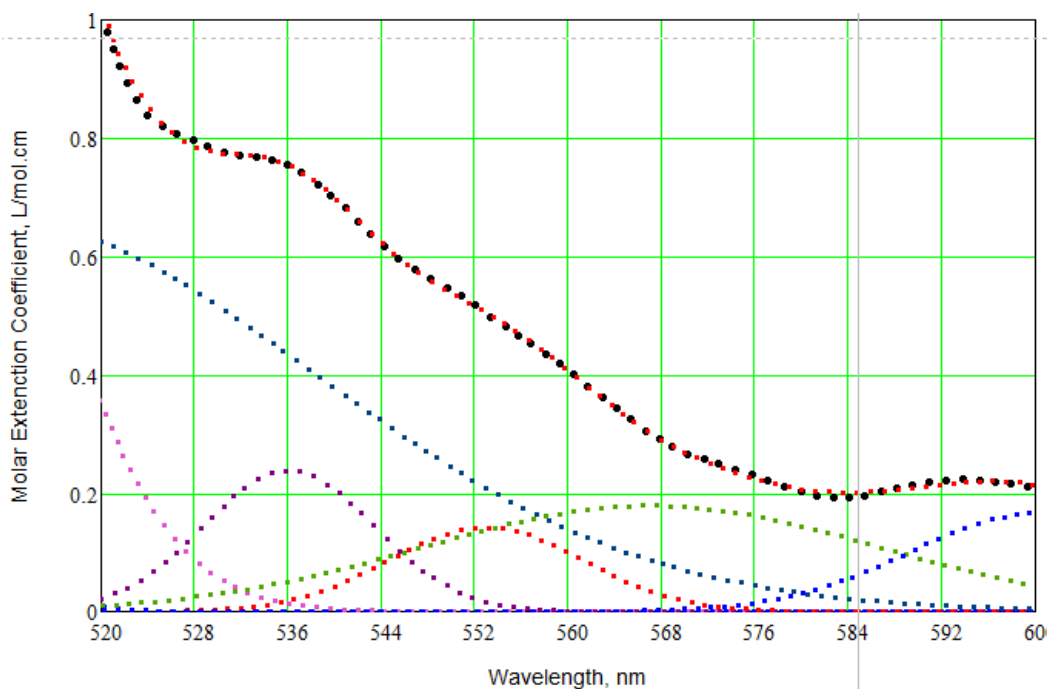


الشكل (9): طيف الإصدار للعيينة بنسبة إشابة 8%.



الشكل (10): طيف الإصدار للعينة بنسبة إشابة 10%.

3-3-1-4- الدراسة الحاسوبية وتحديد قوة المهتز لطيف الإصدار:

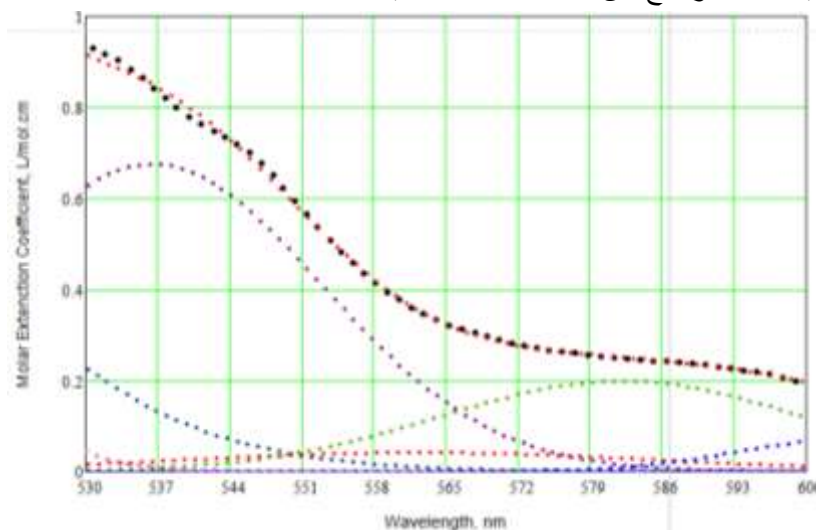


الشكل (11): مطابقة بين طيف الإصدار التجريبي وطيف الإصدار للعينة بنسبة إشابة 6%.

الجدول (4) البارامترات المتعلقة بكل قمة إصدار تابعة لانتقال الكتروني محدد بالاعتماد على برنامج Mathcad للعينة بنسبة إشابة 6%.

$\varepsilon(L / mol.cm)$	λ_{max}	FWHM(nm)	f(oscillator strength)
0.341	520.23	7.61	$2.679 \cdot 10^{-14}$
0.491	525.02	16.398	$2.599 \cdot 10^{-12}$
0.67	530.63	40.244	$6.078 \cdot 10^{-14}$
0.238	536.077	10.339	$5.329 \cdot 10^{-8}$
0.172	552.959	11.826	$3.197 \cdot 10^{-8}$
0.197	567.674	27.674	$3.313 \cdot 10^{-8}$

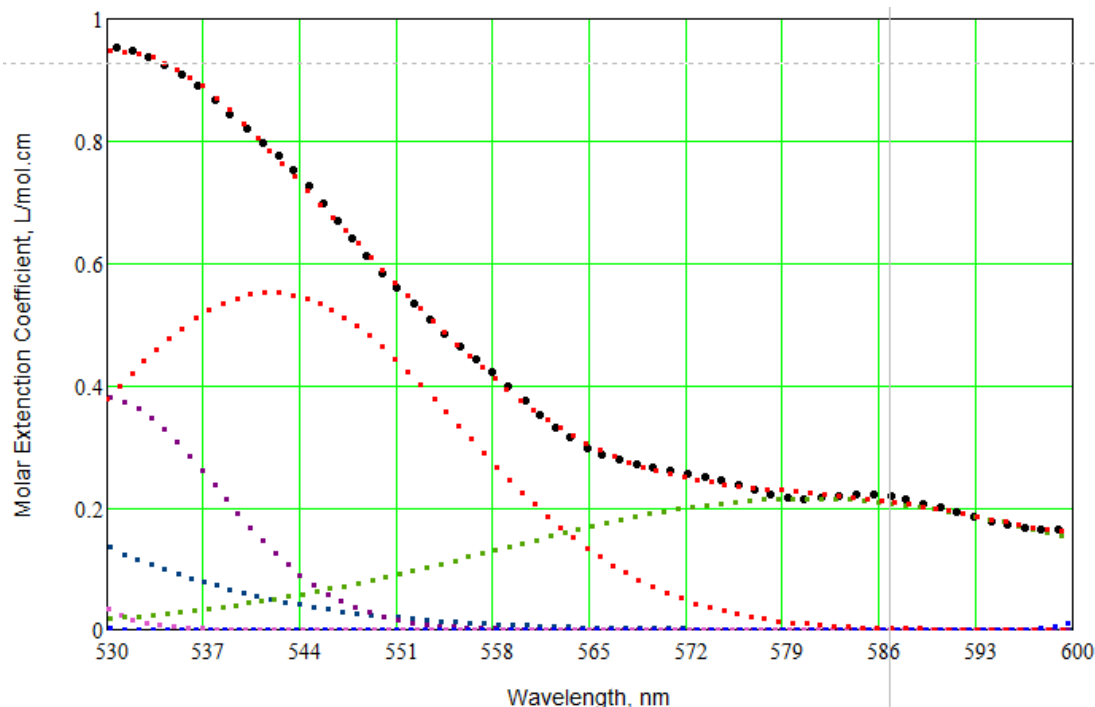
يلاحظ من الجدول (4) أن الانتقالات الأشد هي الانتقالات الموافقة للأطوال الموجية (536,552,567)nm والتي بدت بشكل واضح ضمن الطيف الموضح في الشكل (11)، أما بقية الانتقالات فلم تظهر على الطيف بشكل واضح لأن احتمال انتقالها ضعيف جداً.



الشكل (12): مطابقة بين طيف الإصدار التجريبي وطيف الإصدار النظري للعينة بنسبة إشابة 8%.
الجدول (5) : البارمترات المتعلقة بكل قمة إصدار تابعة لانتقال إلكتروني محدد بالاعتماد على برنامج Mathcad للعينة بنسبة إشابة 8%.

$\varepsilon(L / mol.cm)$	λ_{max}	FWHM(nm)	f(oscillator strength)
0.259	530.25	6.296	$3.984 \cdot 10^{-9}$
0.675	536.446	23.318	$1.177 \cdot 10^{-7}$
0.054	550.36	46.253	$6.21 \cdot 10^{-9}$
0.041	562.505	32.265	$5.971 \cdot 10^{-9}$
0.198	582.051	24.991	$4.057 \cdot 10^{-8}$
0.019	590.34	22.64	$3.913 \cdot 10^{-8}$
0.07	600.472	14.855	$1.349 \cdot 10^{-8}$

يلاحظ من الجدول (5) أن الانتقالات الأشد هي الانتقالات الموافقة للأطوال الموجية (536, 582, 590, 600)nm والتي بدت بشكل واضح ضمن الطيف الموضح في الشكل (12)، أما بقية الانتقالات فلم تظهر على الطيف لأن احتمال انتقالها ضعيف جداً.



الشكل (13): مواعمة بين طيف الإصدار التجريبي وطيف الإصدار النظري للعينة بنسبة إشابة 10%.

الجدول (6) المعاملات المتعلقة بكل قمة إصدار تابعة لانتقال الكتروني محدد بالاعتماد على برنامج Mathcad للعينة بنسبة إشابة 10%.

$\epsilon(L/mol.cm)$	λ_{max}	FWHM(nm)	f(oscillator strength)
0.382	533.13	12.028	$8.357 \cdot 10^{-8}$
0.551	541.863	19.264	$1.211 \cdot 10^{-8}$
0.056	550.36	33.25	$6.96 \cdot 10^{-14}$
0.021	563.505	22.25	$9.91 \cdot 10^{-9}$
0.21	587.051	34.21	$5.6 \cdot 10^{-8}$
0.058	594.34	6.365	$9.914 \cdot 10^{-14}$
0.069	598.472	11.588	$2.65 \cdot 10^{-9}$

يلاحظ من الجدول (6) أن الانتقالات الأشد هي الانتقالات الموافقة للأطوال الموجية (533, 541, 587)nm والتي بدت بشكل واضح ضمن الطيف الموضح في الشكل (13)، أما بقية الانتقالات فلم تظهر على الطيف لأن احتمال انتقالها ضعيف جداً. وهذا يعود إلى السويات الطاقية التي حدث بينها عملية الانتقال الإلكتروني.

4-الاستنتاجات:

- أخذ طيف الامتصاص لعينات فلوريد الكالسيوم المشاب بالإرييوم بنسب مختلفة % (6,8,10). ولوحظ وجود قمم امتصاص موافقة للطول الموجي (343, 372, 420)nm.
- لوحظ أن قمم الامتصاص تبدو بشكل أوضح مع زيادة نسبة الإشابة. وهذا يدل أن مركب فلوريد الكالسيوم مستقبل جيد لعنصر الإرييوم.
- لدى مطابقة طيف الامتصاص التجريبي مع طيف الامتصاص النظري، لمركب فلوريد الكالسيوم المشاب بالإرييوم بنسب مختلفة % (6, 8, 10) ، لوحظ أن الإنتقالات الأشد تحدث عند الأطوال الموجية (343,370)nm.
- تبين أن للعينة ذات نسبة الإشابة 10% ، الامتصاصية الأفضل، واحتمال الانتقال الإلكتروني عندها الأقوى ، حيث تبلغ قيمة f حوالي 4.7×10^{-8} من أجل الطول الموجي ، 370nm
- لوحظ من طيف الإصدار التجريبي وجود أربع قمم إصدار موافقة للطول الموجي (536, 570, 628, 690)nm، وذلك عند تعريض مركب فلوريد الكالسيوم المشاب بالإرييوم بنسب إشابة مختلفة % (6, 8, 10) لطول موجة إثارة $\lambda_{exc} = 475nm$.
- لدى مطابقة طيف الإصدار التجريبي مع طيف الإصدار النظري لهذه العينات، لوحظ أن الإصدارات التي تتمتع باحتمالية عالية تكون من 500nm إلى 600nm. وأن الإصدار الأقوى يعود للعينة ذات نسبة الإشابة 8% حيث تبلغ قيمة f حوالي 1.17×10^{-7} والعينة 10% حيث تبلغ قيمة f حوالي 8.3×10^{-8} .
- بمقارنة قيم f لطيفي الإصدار والامتصاص نلاحظ أن أكبر احتمال امتصاص يكون عند الطول الموجي 343.282nm وتبلغ قيمة f عنده حوالي 5.419×10^{-8} ، وذلك في عينة فلوريد الكالسيوم المشاب بالإرييوم بنسب 10%، ولهذا السبب يلاحظ وجود قيمة احتمال كبيرة للإصدار في طيف الإصدار عند الطول الموجي 533.13nm المقابل للامتصاص السابق، بما يتفق مع النتيجة التجريبية.

References:

- [1] N. Thejokalyani, S.J. Dhoble, *Defect Diffus.* Forum 357 (2014) .
- [2] B.P.Chandra, *Mechanoluminescence and its applications*, Int. J. Luminescence and Applications 2(3) (2012)
- [3] L.J. Davis, *Light Measurement Handbook*, International Light Arcade Publishing, New York, 2003.
- [4] Mihóková, E.; Nikl, M. *Luminescent materials: Probing the excited state of emission centers by spectroscopic methods*. Meas. Sci. Technol. 2015.
- [5] D.R. Vij, *Luminescence of Solids*, Plenum Press, New York, 1998.
- [6] C. Fourassier, *Luminescence Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, Academic Press, New York, 1984.

- [7] S.W. Mc Keever, *Thermoluminescence in Solids*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- [8] C. Ronda, *Luminescence: From Theory to Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, 2008.
- [9] R.H. Petrucci, W.S. Harwood, F.G. Herring, *General Chemistry*, eighth ed., Prentice-Hall, New York, 2002.
- [10] C.E. Housecroft, A.G. Sharpe, *Inorganic Chemistry*, second ed., Pearson Prentice-Hall, Harlow, 2005..
- [11] N. Thejokalyani, S.J. Dhoble, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 32 (2014) .
- [12].*Thermoluminescence of Ce and Nd co-doped CaF₂ phosphors after beta irradiation*. Topaksu, Townsend (2021).
- [13] *Synthesis and optical properties of Er⁺³ Doped CaF₂ Nanopowder*. Mi Bingchu (2014).
- [14] *Luminescence studies of the rare earth ions-doped CaF₂ and MgF₂ films for wavelength conversion*. Byug, Kawano (2006)
- [15] E.G. Yukihara and S.W.S. Mckeever, *Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons Ltd., London, 2011
- [16] G.T. Reynolds, *Lyoluminescence*, *Journal of Luminescence*, 54(1)(1992).
- [17] N. Sabbatini, M. Guardigli, J.M. Lehn, *Coord. Chem. Rev.* 123 (1993).
- [18] G.F. Sa, O.L. Malta, C. Mello Donega, A.M. Simas, R.L. Longo, P.A. Santa-Cruz, et al., *Coord. Chem. Rev.* 196 (2000).
- [19] *photoluminescence properties of a natural fluoride*. Aierken Sidike, Isao Kusachi, (2000).
- [20] G.F. deSá, O.L. Malta, C. de Mello Donegá, A.M. Simas, R.L. Longo, P.A. Santa-Cruz, et al., *Coord. Chem. Rev.* 196 (2000).