



## الإهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون)

سورة التوبة، آية 105

إلهي.. لا يطيب الليل الا بشكرك ولا يطيب النهار الا بطاعتك...ولا تطيب اللحظات  
إلا بذكرك... ولا تطيب الآخرة الا بعفوك...ولا تطيب الجنة الا برؤيتك . فلك الحمد ولك  
الشكر...

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة..، ونصح الأمة..إلى نبي الرحمة ونور العالمين..  
"سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم"

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار... إلى من علمني العطاء بدون إنتظار.. إلى من أحمل  
اسمه بكل افتخار.... أرجو من الله أن يمد في عمرك ل ترى ثمارا قد حان قطافها بعد طول  
انتظار وستبقى كلماتك نجوم اهتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الابد ..

"والدي العزيز"

إلى ملاكي في الحياة... إلى معنى الحب والحنان... إلى بسمة الحياة وسر الوجود إلى من  
كان دعائها سرنجاحي وحنانها بلسم جريحي إلى احلى الحبايب.

"أمي الحبيبة"

إلى من رافقني منذ أن حملنا حقائب صغيرة ومعهن سرت الدرب خطوة بخطوة.. إلى شموع  
متقدة تنير ظلمة حياتي..

## "إخوتي"

إلى الاخوة والأخوات، إلى من تحلو بالاخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء إلى ينابيع الصدق الصافي  
إلى من معهم سعدت وبرفقتهم في دروب الحياة الحلوة والحزينة صرت إلى من كانوا معي  
على طريق النجاح والخير إلى من عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم.

## "أصدقائي"

## شكر وتقدير

الحمد لله، أتم الحمد أوفاه..حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه كما يحب ربنا ويرضى،  
يارب لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك فأنت المعلم الأكرم  
الذي علم بالقلم علم الإنسان ما لم يعلم.

أفضل الصلاة والسلام، على خير الورى ونبي الهدى، سيدنا وحبينا محمد صلى  
الله صلى الله عليه وسلم.

أما بعد:

فإن من تمام شكر نعمة الله علينا، في هذه المذكرة، يطيب لنا أن نتقدم بجزيل  
الشكر و التقدير، التي امتدت إلينا :تعلينا وتفهيما، تدريسا وتأسيسا،توضيحا  
وتصحيحا،بفضل إشراف وتوجيه، في عطاء مبذول وجهد موصول، وتواضع جم  
..إلى المشرف الدكتور الفاضل: بن طويلة عمر نسأل الله أن يجزيه عنا خير الجزاء،  
أن يبارك في عمره و علمه في جميع الأوقات، مع رفيع الدرجات، في هذه الحياة ،وفي  
روضات الجنات ...وفقه الله ودام تألقه ..

كما نعطف بثناء الشكران و العرفان ،إلى الأساتذة الأفاضل :الأستاذ عيادي كمال  
الدين ومامانو عبد اللطيف و غربي إبراهيم لقبولهم تقييم هذا العمل .

كما نتوجه بخالص الشكر العميق والثناء إلى جميع أساتذتنا الأفاضل في جامعة  
قاصدي مرباح بورقلة ونخص بالذكر كلية الرياضيات و علوم المادة قسم الفيزياء.

الصفحة	فهرس المحتويات
I	الإهداء
III	شكر وتقدير
IV	فهرس المحتويات
IX	فهرس الاشكال
XI	فهرس الجداول
1	مقدمة عامة
<b>الفصل الأول:العناصر الترابية النادرة</b>	
4	1.1. مقدمة
4	2.1.العناصر الترابية النادرة
5	3.1.التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية النادرة و ايواناتها
6	1.3.1.التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية النادرة
6	2.3.1. التوزيع الالكتروني لايونات العناصر الترابية
7	4.1. مطيافية العناصر الترابية النادرة
7	1.4.1.مستويات الطاقة
9	2.4.1. الرموز الطيفية
10	3.4.1. قواعد الانتقاء
10	4.4.1.الرموز الطيفية لايون $Er^{+3}$
11	5.1.تفاعل ايونات العناصر الترابية النادرة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي
11	1.5.1.التفاعلات الإشعاعية
15	2.5.1.التفاعلات غير الإشعاعية
18	6.1.الاتساع الطيفي
18	1.6.1.مصطلح أحادي اللون
19	2.6.1. التعريض الطبيعي

21	3.6.1. تعريض دوبلر
23	4.6.1. تعريض التصادمات
24	7.1. الخلاصة
<b>مراجع الفصل الأول</b>	
<b>الفصل الثاني: الزجاج المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة</b>	
27	1.1. مقدمة
27	2.1. الزجاج المطعم
28	3.1. التأثيرات على خصائص الاستضاءة
28	1.3.1. تركيز الإطفاء الذاتي
28	2.3.1. التفاعل مع الفونونات
29	3.3.1. تفاعلات أيون - أيون
29	4.3.1. تأثير $\text{OH}^-$
29	4.1. التضخيم الضوئي والليزر
29	1.4.1. التضخيم الضوئي
30	2.4.1. الليزر
30	1. 2.4.1. مميزات الليزر
30	2. 2.4.1. المكونات الأساسية لجهاز الليزر
31	3. 2.4.1. شروط الانبعاث الليزري
31	5.1. التعداد المعكوس
32	6.1. الريح
33	7.1. أنظمة المستويات الليزرية
33	1.7.1. منظومة ثلاث مستويات
34	2.7.1. منظومة أربع مستويات
35	8.1. طيف الامتصاص
36	9.1. نظرية جود - أوفلت

40	1.7.11. الخلاصة
مراجع الفصل الثاني	
الفصل الثالث : محاكاة طيف إمتصاص أيون الارييوم المطعم في الزجاج	
42	1.111. مقدمة
42	2.111. تركيب الزجاج
42	3.111. طيف الامتصاص
43	4.111. قوى الاهتزاز
45	5.111. المساحة A
45	6.111. خطوات المحاكاة
55	7.111. مناقشة النتائج
56	8.111. الخلاصة
مراجع الفصل الثالث	
58	الخلاصة العامة

## فهرس الأشكال

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
5	العناصر الترابية النادرة في الجدول الدوري	1.I
9	مخطط مستويات الطاقة لمختلف التصحيحات	2.I
11	مستويات الطاقة لأيون $Er^{+3}$	3.I
12	مبدأ الامتصاص	4.I
13	مبدأ الانبعاث التلقائي	5.I
14	مبدأ الانبعاث المحرض	6.I
18	التفاعلات الاشعاعية و غير الاشعاعية للايونات الترابية	7.I
19	اتساع الخط الطيفي النظري والحقيقي	8.I
20	خط إصدار لمستويات الطاقة الضيقة	9.I
20	خط إصدار لمستويات الطاقة المتسعة	10.I
21	الاتساع الناتج عن التعريض الطبيعي	11.I
22	الاتساع الناتج عن تعريض دوبلر	12.I
29	رسم تخطيطي لمبدأ التضخيم الضوئي	1.II
31	مبدأ انتاج الليزر	2.II
33	الشدة الضوئية الداخلة والخارجة للوسط الفعال	3.II
33	نظام ذو ثلاث مستويات طاوية	4.II
34	نظام ذو أربع مستويات طاوية	5.II
43	طيف الإمتصاص للزجاج الهالوجينو - فوسفاتي المطعم بالاربيوم $90NaPO_3-8PbCl_2-2ErF_3$	1.III
47	خطوات المحاكاة	2.III
48	عصابة الانتقال $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	3.III
48	عصابة الانتقال $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$	4.III
49	عصابة الانتقال $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$	5.III



49	عصابة الانتقال ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$	6.III
50	عصابة الانتقال ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4S_{3/2}$	7.III
50	عصابة الانتقال ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^3H_{11/2}$	8.III
51	عصابة الانتقال ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{7/2}$	9.III
51	عصابة الانتقال ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{5/2}$	10.III
52	عصابة الانتقال ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^2H_{9/2}$	11.III
52	عصابة الانتقال ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4G_{11/2}$	12.III
53	الطيف الإجمالي المحاكى مع الطيف الإجمالي التجريبي بدلالة التواتر	13.III
54	الطيف الإجمالي المحاكى مع الطيف الإجمالي التجريبي بدلالة الطول الموجي	14.III

## فهرس الجداول

الصفحة	العنوان	رقم الجدول
6	التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية و أيوناتها	الجدول (1.ا)
42	الكتل المولية والنسبة المئوية للزجاج $90\text{NaPO}_3-8\text{PbCl}_2-2\text{ErF}_3$	الجدول (1.ااا)
44	الأطوال الموجية والتردد للانتقالات العشر لأيون الاربيوم في الزجاج $90\text{NaPO}_3-8\text{PbCl}_2-2\text{ErF}_3$	الجدول (2.ااا)
56	نسبة المساهمة الغاوصية في كل عصابة	الجدول (3.ااا)

مقدمة عامة

### المقدمة العامة

يعد الزجاج جسماً صلباً لا بلورياً له العديد من المواصفات التي يتميز بها والتي تأتي من خصوصية بنيته مما جعله يدخل في الكثير من التطبيقات في العديد من المجالات على مر العصور. بدأت صناعة الزجاج بالتطور منذ القرن السابع عشر، حيث أدخلت عدة تعديلات على هذه الصناعة وذلك للحصول على مواصفات فيزيائية وكيميائية أفضل، والجدير بالذكر أن ما حدث في القرن العشرين من تطور في صناعة المنتجات الزجاجية يطغى على جميع التطورات السابقة، فقد أصبح من الضروري إنتاج زجاج يختلف في مواصفاته عن الزجاج العادي. [1]

الخصائص الضوئية لأيونات العناصر الترابية النادرة لها أهمية كبيرة في كثير من التطبيقات كالليزر والمضخمات الضوئية. تتميز هذه العناصر بالطبقة 4f التي يتم ملؤها بشكل غير كامل، ونتيجة لذلك تشتهر هذه الأيونات، عند دمجها في مضافات الحالة الصلبة كالزجاج مثلاً، بإظهارها قمم امتصاص وإصدار، متعلقة بالانتقالات بين مختلف مستويات الطاقة، مستقلة تقريباً عن المادة المضيفة. الانتقالات الممكنة بين مختلف مستويات طاقة أيونات العناصر الترابية النادرة لها أشكال خطوط طيفية معينة، خطوط الطيف هذه تمثل العلاقة بين الطاقة مع احتمالية الانتقال بين مستويين طاقيين، هي إذن دالة كثافة احتمال تصف الاحتمال بأن يقوم أيون معين، من أجل انتقال معين، بإصدار أو امتصاص فوتون طاقته  $E_0$  في المجال بين  $E_0$  و  $E_0 + \Delta E$ .

يُصبح الزجاج نشطاً عند طعمه بكميات صغيرة من أيونات العناصر الترابية النادرة، بالإضافة إلى ذلك، يعتبر أكثر المضيفات الواعدة لدراسة تأثير البيئة المحلية على الخصائص البصرية لأيونات العناصر الترابية النادرة، حيث يوفر التوصيف الطيفي للزجاج المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة معلومات حول مختلف الوسائط مثل بنية مستويات الطاقة والخصائص الإشعاعية والمقاطع الفعالة للامتصاص والإصدار المحثوث وما إلى ذلك، تلعب هذه الوسائط دوراً رئيسياً في تحسين أو تطوير أجهزة بصرية جديدة مثل أشعة الليزر وأجهزة الاستشعار وغيرها. ومن بين أيونات العناصر الترابية النادرة، يعتبر الإربيوم (Erbium) ذو أهمية كبيرة في تكنولوجيا التضخيم الضوئي، وكذلك في الليزر الصلبة وليزر الألياف البصرية، الانتقال الأكثر شيوعاً هو حوالي  $1.53\mu\text{m}$  الذي له أهمية بشكل خاص في الاتصالات البصرية.

## المقدمة العامة

مع تزايد الحاجة إلى مركبات وأجهزة مُحسنة في مختلف التطبيقات، فإن المعلومات الطيفية تصبح ضرورية. من ضمن التقنيات التي توفر مثل هذه المعلومات، نجد تقنية طيف UV-Vis، حيث نحصل على طيف الامتصاص للأيون في العينة الصلبة بمساعدة جهاز مطياف (Spectrophotomètre).

تفترض نظرية التحليل الطيفي (UV-vis) أن أي انتقال إلكتروني يتم تعريفه من خلال كل من الطاقة والاحتمال (أو ما يسمى قوى الاهتزاز) وينتج عن عصابة امتصاص فردية. يتم تحديد موقع ومساحة هذه العصابة الفردية بواسطة الخصائص الأساسية للانتقال، ويمكن استخدامها لتقدير الخصائص الأساسية للانتقال أيضا. عند صياغة النظرية بهذه الطريقة، يبدو أن الممارسة الطيفية الحقيقية بسيطة للغاية بعد قياس الطيف المثالي للأيون المعني، وقد يكون من السهل جدا العثور على العصابات الفردية، وتحديد حساب خصائص الانتقالات المرافقة. لكن لسوء الحظ، طبيعة الأمر معقدة بشكل لا يمكن قياسه (تحديده)، وكل الأشياء موجودة في علاقات متبادلة لا يمكن تجنبها (لا يمكن التعامل مع الانتقالات الإلكترونية على أنها حركة معزولة لإلكترون واحد فقط، ولكن كتغير للأيون وللمادة ككل)، مما يؤدي إلى طيف امتصاص يتكون من العديد من العصابات، متداخلة بشدة، وغالبا ما يستحيل تعيين مواقع العصابات الفردية، ويكون تقدير مساحتها أكثر صعوبة. لقد سمح تطور الحواسيب بتحدي هذا الوضع، ويمكن للمرء أن يقرأ في كثير من الأحيان عن "تحليل الكمبيوتر" لأطياف الامتصاص، إن تحليل الكمبيوتر للأطياف المعتمدة لUV-vis، له جوانب متعددة. يمكن للمرء أن يختار البرامج التجارية المناسبة، وبمساعدة الكمبيوتر يمكنه حل الطيف إلى عصابات فردية، لكن يجب ملاحظة تحليل الكمبيوتر هذا ليس وحيدا، ولا يمكن أن يكون أوتوماتيكيا (بشكل آلي) بالكامل، إنما يعتمد بشكل حاسم على المعلومات الأولية حول عدد العصابات المتداخلة. إذا كانت العصابات في النظام لا تتوافق مع بعض الشروط الأساسية، فإن النتائج يمكن أن تكون غير دقيقة فيزيائيا، حتى وإن ظهرت دقيقة من وجهة نظر رياضية، هذا يعني أنه يجب استخدام تحليل الكمبيوتر بحذر و عناية، ويجب معرفة و فهم ما يجب فعله، وإلا فإن النتيجة ستكون صادمة. [2]

إن استنساخ وتفسير طيف الامتصاص لأيونات العناصر الترابية النادرة هو حقل بحث نشط في الفيزياء الحاسوبية النظرية، حيث أن تشكيل طيف الامتصاص لا يسمح فقط بتقدير الطول الموجي المركزي لعصابة الامتصاص إنما أيضا بمعرفة التعريض وشدة الامتصاص، ويمكن الوصول لهذا باعتماد طرق رياضية كطريقة التقريبات التريعية. يمكن نمذجة عصابات

## المقدمة العامة

الامتصاص باستخدام منحنيات غاوصية أو لورنتزية أو غاوصية-لورنتزية مُختلطة (Voigt)، هذه المنحنيات لها كلها أشكال متناظرة تتناقص كلما ابتعدنا عن مركز قمة العصابة، ويمكن تشكيل طيف الامتصاص كسلسلة لعصابات الامتصاص المختلفة.

في هذه الدراسة سنقوم بمحاكاة طيف الامتصاص لأيون الارييوم ومقارنته بالطيف التجريبي . من أجل ذلك قُسمت

الدراسة إلى ثلاث فصول وخاتمة نلخص فيها أهم نتائج هذه الدراسة:

-الفصل الأول " العناصر الترابية النادرة مع المواد الصلبة " حاولنا في هذا الفصل بإعطاء المفاهيم الأساسية لطيفية

أيونات العناصر الترابية النادرة وبصفة خاصة عنصر الارييوم، ورأينا أن التشكيل الالكتروني لهذه العناصر يلعب دوراً مهماً في إكسابها العديد من الخصائص الفريدة .

-الفصل الثاني " الزجاج المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة" تكسب العناصر الترابية النادرة خواص طيفية للزجاج مما

يؤهلها أن تكون مطعومات جيدة، لهذا تطرقنا في هذا الفصل لعملية التطعيم مع مراعاة مختلف التأثيرات الجانبية على خواص الزجاج . من أجل تحقيق ليزرات ومضخمات ضوئية ذات كسب عالي .

-الفصل الثالث "محاكاة طيف إمتصاص أيون الارييوم المطعم في الزجاج" وهو الفصل الذي يلم بجوهر الموضوع العام

. باستعمال برنامج الماتلاب سنقوم بمحاولة تنفيذ برنامج يسمح برسم العصابات العشر لأيون الارييوم المشكلة لطيف الامتصاص ومن ثم مقارنة مدى توافقه مع الطيف التجريبي.

# الفصل الأول

العناصر الترابية النادرة مع المواد  
الصلبة

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

### 1.1. المقدمة:

تعتبر العناصر الترابية النادرة من الفلزات الانتقالية الداخلية، التي تقع أسفل الجدول الدوري، هذه العناصر لم تكن تستدعي اهتمام العلماء إلا قلة منهم، ثم تضافرت تدريجياً، وازداد توجه الأنظار إلى هذه الأتربة لسير أغوار عناصرها على الصعيد التجريبي بغية فصل بعضها عن بعض من جهة، و تبيان خواصها الفيزيائية والكيميائية من جهة أخرى. [3]

تتميز هذه العناصر بخصائص مهمة، وتستخدم أيوناتها كوسيلة نشطة ووسط فعال في العديد من المواد المضيفة الصلبة نظراً لانتقالاتها الضوئية العديدة ضمن المجال المرئي وتحت الأحمر، كما أنها تمتلك مستويات طاقة غير مستقرة التي تسهل التعداد المعكوس. [4]

في هذا الفصل، سنقوم بالتطرق إلى معرفة العناصر الترابية النادرة وأيوناتها وسنسلط الضوء على أحد عناصرها المهمة هو عنصر الأربيوم، وسنقدم بعض خصائصه الفيزيائية والكيميائية ونقوم بتحديد رموزه الطيفية ومستويات طاقته.

### 2.1. العناصر الترابية النادرة :

هي مجموعة العناصر الكيميائية الموجودة في الجدول الدوري تعرف باسم اللانثانيدات، تتكون هذه السلسلة من 15 عنصر تبدأ من عنصر اللانثانيم  $(Z=57)$  La إلى اللوتيتيوم  $(Z=71)$  Lu ، وقد سميت قبل بداية القرن التاسع عشر بالندرة وارتفاع الثمن نظراً لصعوبة استخراجها وتحضيرها، أما حالياً فهي متوفرة في الطبيعة بشكل معادن صلبة. تتميز عناصر الترابية النادرة بأن لها طبقة f غير مشبعة وكذلك طبقة d غير مشبعة.



## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

1																	18		
1	H																	He	
2	3	4												5	6	7	8	9	10
	Li	Be												B	C	N	O	F	Ne
3	11	12										13	14	15	16	17	18		
	Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar		
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	
			6	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
			الملائنات	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			7	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
			الأكثنيدات	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

### عناصر الأتربة النادرة

الشكل (1.1): العناصر الترابية النادرة في الجدول الدوري [5].

### 3.1. التوزيع الإلكتروني لعناصر الترابية النادرة وأيوناتها:

#### 1.3.1. التوزيع الإلكتروني للعناصر الترابية النادرة :

إن التوزيع الإلكتروني لذرات عناصر الترابية النادرة مهما في إبراز بعض الصفات الكيميائية و الفيزيائية لها، إذ أنها تتميز بمبدأ المدار  $4f$ ، حيث تبدأ بعنصر اللانثانوم ببنية الكترونية خارجية متضمنة هيكل عنصر الزينون النادر  $(Xe: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$  ، يليه مباشرة أربعة عشر عنصر الشكل (1.1).

توحي البنية الإلكترونية لعنصر اللانثانوم أن التعبئة اللاحقة ستجرى بإضافة الإلكترونات إلى المدار  $d$  إلا أن ذلك لم يحدث، إذ تبدأ التعبئة في المدارات  $4f$  بصورة متزايدة بإلكترون واحد لكل عنصر بدءاً من السيريوم  $Ce: [Xe] 4f^1 5d^1 6s^2$  ، ولأن طاقة المدار  $5d$  تساوي تقريباً طاقة المدار  $4f$  ، يمكن أن يذهب إلكترون  $5d^1$  إلى المدار  $4f$  بحيث يمكن أن يأخذ السيريوم البنية  $Ce: [Xe] 4f^2 5d^0 6s^2$  عوضاً عن البنية السابقة، ويحدث الشيء نفسه عند تعبئة بقية العناصر، ويستثنى عنصر الغادولينيوم  $Gd (Z=64)$  الموسوم بالبنية نصف مشبعة الأكثر استقراراً  $Gd: [Xe] 4f^7 5d^1 6s^2$  وعنصر اللوتوتيوم  $Lu (Z=71)$  ببنية مشبعة أكثر استقراراً  $[6]. Lu: [Xe] 4f^{14} 5d^1 6s^2$

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

### 2.3.1. توزيع الالكتروني لأيونات عناصر الترابية النادرة :

تملك أيونات عناصر الترابية النادرة عدد من الخصائص البصرية و المغناطيسية التي تؤهلها لأن تدخل في العديد من الاستخدامات كعوامل محفزة، وهي عناصر كهروسلبية ضعيفة جدا .

إن درجة تأكسد هذه الايونات بصفة عامة (+3) كما يوجد احتمال درجة التأكسد (+4) مثل السيريوم Ce أو (+2) مثل الاوروبيوم Eu واللاتيريوم Yb والساماريوم Sm.

نعطي في الجدول (1.1) توزيع العناصر الترابية النادرة و أيوناتها (ونركز على عنصر Er) :

#### الجدول (1.1): التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية وأيوناتها. [7]

العدد الذري Z	العنصر	رمز العنصر	التوزيع الالكتروني	التوزيع الايوني
57	لانثانيوم	<i>La</i>	[Xe] 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]
58	سيريوم	<i>Ce</i>	[Xe]4f <sup>2</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>1</sup>
59	براسيوديميوم	<i>Pr</i>	[Xe]4f <sup>3</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>2</sup>
60	نيوديميوم	<i>Nd</i>	[Xe]4f <sup>4</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>3</sup>
61	بروميثيوم	<i>Pm</i>	[Xe]4f <sup>5</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>4</sup>
62	ساماريوم	<i>Sm</i>	[Xe]4f <sup>6</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>5</sup>
63	يوروبيوم	<i>Eu</i>	[Xe]4f <sup>7</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>6</sup>
64	جادولينيوم	<i>Gd</i>	[Xe]4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>7</sup>
65	تربيوم	<i>Tb</i>	[Xe]4f <sup>9</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>8</sup>
66	ديسبروسيوم	<i>Dy</i>	[Xe]4f <sup>10</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>9</sup>
67	هولميوم	<i>Ho</i>	[Xe]4f <sup>11</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>10</sup>
68	إربيوم	<i>Er</i>	[Xe]4f <sup>12</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>11</sup>
69	ثولميوم	<i>Tm</i>	[Xe]4f <sup>13</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>12</sup>
70	إيتربيوم	<i>Yb</i>	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>13</sup>
71	لوتيتيوم	<i>Lu</i>	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>14</sup>

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

### 4.1. مطيافية العناصر الترابية النادرة:

#### 1.4.1. مستويات الطاقة:

تعمل الانتقالات الضوئية لايونات العناصر الترابية النادرة بين مختلف مستويات الطاقة للطبقة  $4f$  على إعطاء معلومات مميزة هي [8]:

- العديد من الانتقالات في المجال المرئي إلى ما تحت الحمراء.
- عصابات امتصاص و انبعاث.
- مستويات الطاقة وفترة حياة كل مستوي.

توضع مستويات الطاقة  $4f$  يتم تحديدها انطلاقا من معادلة شرودنجر، بتطبيق مؤثر هاملتون على معادلة الموجة بالشكل التالي :

$$H\Psi = E\Psi \quad (1.I)$$

من أجل أيون حر يحمل  $N$  إلكترون، ونواة مشحونة  $Ze$ ، وكتلة غير منتهية. لهاملتون  $H$  يمكن كتابته على النحو التالي:

$$H=H_0+H_{S-O} \quad (2.I)$$

الرمز الأول  $H_0$  ما هو إلا مجموع الطاقة الحركية للالكترونات و طاقته الكامنة ذات الأصل الكهروستاتيكي ونكتب:

$$H_0=H_1+H_{ee} \quad (3.I)$$

إذن:

$$H_1 = \frac{-\hbar}{2m} \sum_{i=1}^n \nabla_i^2 - e^2 \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{r_i} \quad (4.I)$$

$r_i$ : المسافة بين إلكترون  $i$  و النواة.

$$H_{ee} = +e^2 \sum_{i>j}^n r_{ij}^{-1} \quad (5.I)$$

$r_{ij}$ : المسافة بين إلكترونين  $i$  و  $j$ .

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

نستطيع أيضا الكتابة بالصيغة التالية :

$$H_1 = \sum_{i=1}^n F_i \quad F_i = \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{e^2 Z_i}{r_i} \quad (6.I)$$

$$H_{ee} = \sum_{i>j}^n g_{ij} \quad g_{ij} = \frac{e^2}{r_{ij}} \quad (7.I)$$

والرمز الثاني  $H_{S-O}$  هو تفاعل سبين - مدار، هذا التفاعل يرفع من توالد مستويات الطاقة .

$$H_{SO} = \sum_i \xi(r_i) \vec{l}_i \vec{s}_i \quad (8.I)$$

$\xi(r_i)$ : معامل ازدواج سبين - مدار.

$\vec{l}_i$  و  $\vec{s}_i$ : العزم الزاوي لللف الذاتي والعزم الزاوي المداري للإلكترون.

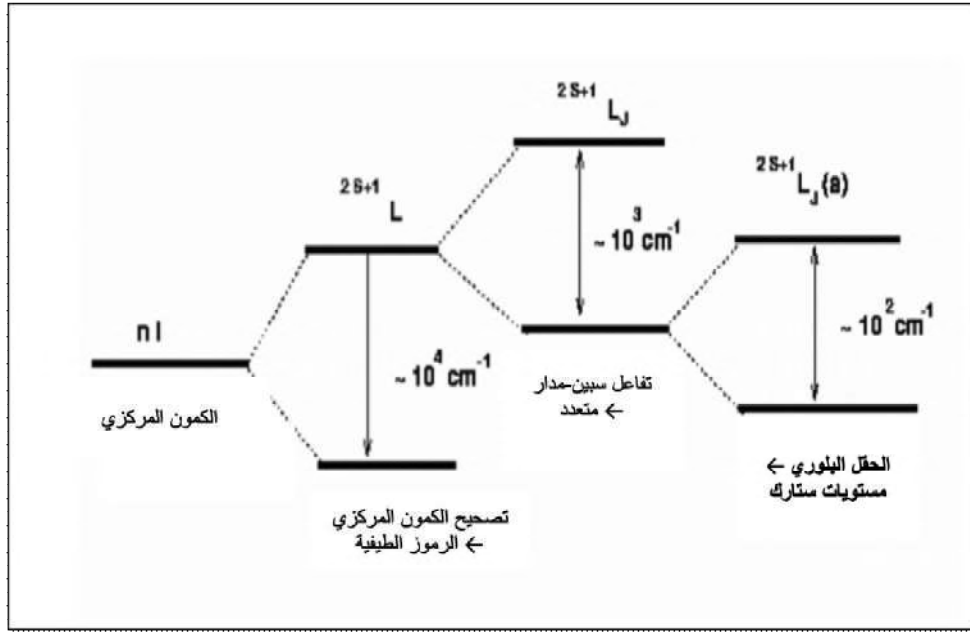
من أجل الأيون الحر في التناظر الكروي، مستويات الطاقة بصفة عامة تتوالد ( $J$  مستوي). لأن الأيون ينتج داخل المواد الزجاجية أو البلورية، التناظر يتغير.

لهذا يجب معرفة تأثير الحقل البلوري الذي أنشأته ذرات المصفوفة في الكترولونات الطبقة  $4f$  لأيونات العناصر الترابية.

الهاملتون الناتج من هذا الاضطراب يمكن كتابته كالتالي:

$$H_{cc} = -e \sum_i V(\vec{r}_i) \quad (9.I)$$

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة



الشكل (2.1): مخطط مستويات الطاقة لمختلف التصحيحات لعناصر الترابية النادرة.

### 2.4.1 الرموز الطيفية :

إن الحالات الذرية توصف باستعمال ترميز الطيفي وذلك بتحديد  $2S+1$ ، والعزم الزاوي المداري الكلي  $L$ ، بالإضافة إلى العزم اللفي الكلي للإلكترون  $S$ .

في الازدواج  $L-S$  يتم جمع العزم الزاوي والعزم اللفي للإلكترون بشكل منفصل لتشكيل العزم الزاوي الكلي [9].

▪ العزم الزاوي المداري الكلي  $L = \sum l_i$  :

▪ العزم الزاوي اللفي الكلي  $S = \sum s_i$  :

قيم العدد الكمي  $L$  تحدد بالحروف بدل من الأعداد:

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
الحالة	S	P	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad \text{ومنه :}$$

$\vec{J}$  العزم الحركي الكلي ، يكتب كالتالي:

$$|L - S| \leq J \leq |L + S|$$

### 3.4.1. قواعد الانتقاء:

يحدد الرمز الطيفي للمستوي الأساسي حسب قواعد هوند ومبدأ الاستبعاد لباولي :

#### • قواعد هوند:

- تأخذ أكبر قيمة ممكنة ل  $S$
  - تأخذ أكبر قيمة ممكنة ل  $L$
  - من أجل الطبقة مملوءة بأقل من النصف ، تأخذ  $J = J_{\min} = |L - S|$ .
  - من أجل الطبقة مملوءة بأكثر من النصف ، تأخذ  $J = J_{\max} = |L + S|$ .
- مبدأ الاستبعاد لباولي: لا يمكن لإلكترونين أو أكثر في نفس الذرة امتلاك نفس الحالة الكمومية أي نفس قيم الأعداد

الكمية. [4]

### 4.4.1. الرموز الطيفية لأيون $Er^{+3}$ :

التوزيع الإلكتروني لعنصر  $Er$  :  $[Er]:[Xe]4f^{12} 5d^0 6s^2$

التوزيع الإلكتروني لأيون  $Er^{+3}$  :  $[Er^{+3}]:[Xe]4f^{11}$

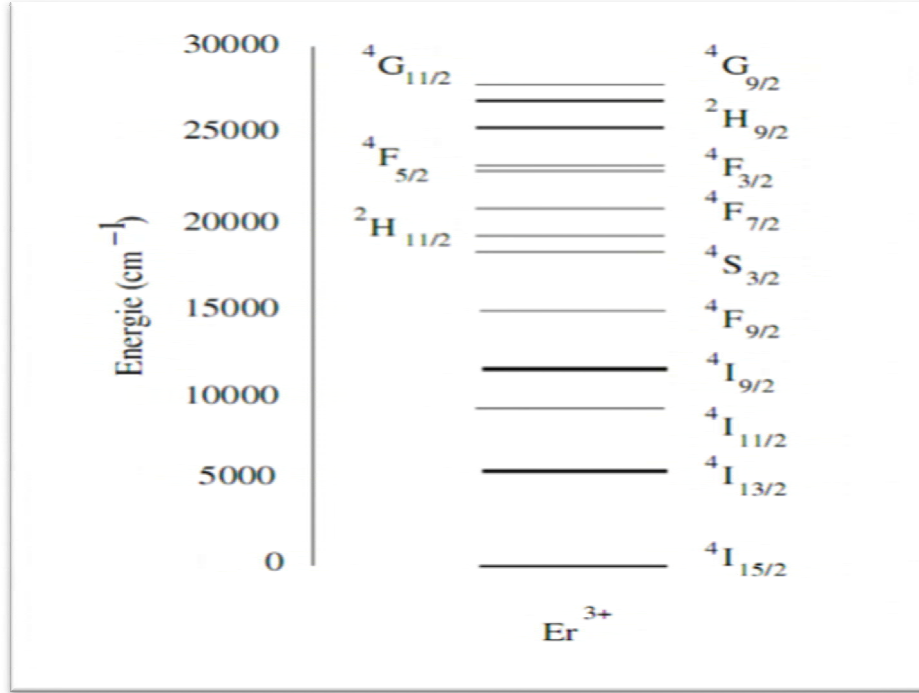
قيم  $L$  و  $S$  لهذا الأيون هي :  $L=3$  و  $S=1/2$

الرموز الطيفية للطبقة  $4f^{11}$  هم:

$^1I_3, ^3H_4, ^3G_4, ^3F_4, ^3D_3, ^3P_2, ^3S_1$

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

نأخذ المستوى الأساسي، حسب قواعد هوند هو:  $4I_{15/2}$ .



الشكل (3.1): مستويات الطاقة لأيون  $Er^{3+}$ .

### 5.1. تفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي:

إن أصل ظواهر تضخيم الضوء ناتج عن تفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي ، وعموما يوجد نوعين من التفاعلات الضوئية بين مستويات الطاقة لهذه الأيونات ، تفاعلات إشعاعية وتفاعلات غير إشعاعية.

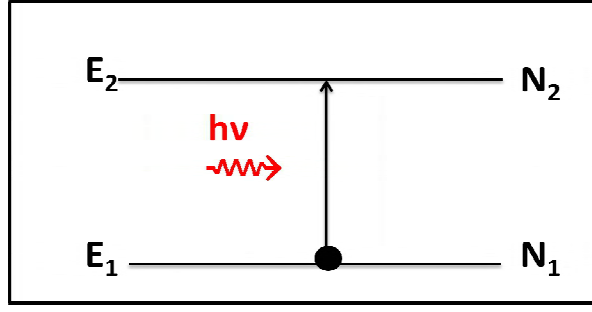
#### 1.5.1 التفاعلات الإشعاعية

##### • الإمتصاص:

نعتبر شعاع كهرومغناطيسي ذو طاقة  $E=h\nu$  يعبر مادة التي تحتوي على أيونات الترابية النادرة؛ يستطيع الأيون إمتصاص الفوتون

وتمرير الإلكترونات من مستوي أساسي  $E_1$  إلى مستوي مثار  $E_2$ ، والفرق في الطاقة  $\Delta E=E_2-E_1$  الموافق لطاقة الفوتون هي

$$[10]\Delta E = h\nu$$



الشكل (4.1): مبدأ الإمتصاص.

ليكن  $N_1(t)$  و  $N_2(t)$  نسبة الإسكان في المستويين الطاقويين للحالة الأساسية و المثارة على الترتيب .

تغير نسبة الإسكان في المستوي بدلالة الزمن يسمح لنا بتحديد احتمال الإثارة خلال وحدة الزمن .

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_{12}\rho(\nu)N_1 = -\frac{dN_1}{dt} \quad (10.1)$$

$\beta_{12}$  : معامل أنشتاين، وحدته  $m^3 \cdot s^{-2} \cdot J^{-1}$  ، هذا المعامل مرتبط باحتمالية الإمتصاص  $W_{12}$  ( $s^{-1}$ ) بالعلاقة التالية :

$$W_{12}(\nu) = \beta_{12}\rho(\nu) \quad (11.1)$$

ويكتب أيضا بدلالة المقطع الفعال للإمتصاص  $\sigma_{abs}$  ، وشدة الحزمة الساقطة :

$$W_{12}(\nu) = \sigma(\nu) \frac{I(\nu)}{h\nu} \quad (12.1)$$

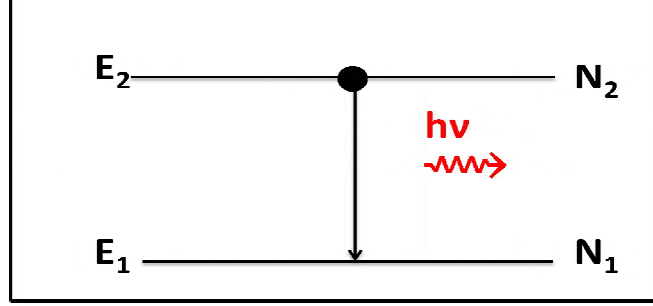
$I$  ( $W \cdot m^{-2}$ ): شدة الإشعاع بدلالة التوتر  $\nu$  ( $s^{-1}$ ).



## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

### • الإنبعاث التلقائي:

تقوم ذرات العناصر الترابية النادرة المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من مدارات عالية الطاقة إلى المدارات منخفضة الطاقة، وذلك بأن الإلكترونات تنزل تلقائياً وبطريقة عشوائية بين مدارات الذرة المختلفة، لهذا الإشعاع يحتوي على عدد كبير جداً من الترددات تسمى مدة الحياة التي تبقى فيها الأيونات في الحالة المثارة بمتوسط عمر لحالة الإثارة. [10]



الشكل (5.1): مبدأ الإنبعاث التلقائي.

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 = -\frac{dN_1}{dt} \quad (13.1)$$

بمكاملة معادلة الاشتقاق نحصل :

$$N_2 = N_2^0 e^{-A_{21}t} \quad (14.1)$$

المعادلة السابقة تسمح لنا بمعرفة مدة حياة الإشعاع في الحالة المثارة  $\tau_{rad}$  بوحدة (s)، في نظام ذو مستويين:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{A_{21}} \quad (15.1)$$

والعلاقة العامة لمدة حياة الإشعاع في حالة وجود العديد من مستويات الطاقة  $E_j$  ومستويات الإثارة  $E_j$  تكون كالتالي:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{\sum_j A_{jj'}} \quad (16.1)$$

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

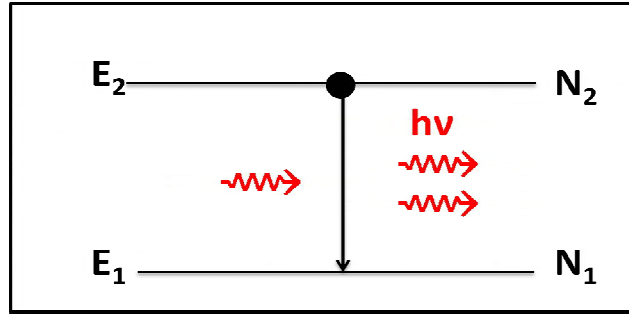
تعرف نسبة تفرع الانتقال بالعلاقة التالية :

$$\beta(J \rightarrow J') = \frac{A_{JJ'}}{\sum_{J''} A_{JJ''}} \quad (17.1)$$

كما يمكن حساب هذه النسب ومدة حياة للإشعاع وذلك باستخدام نظرية جود-أوفلت.

### • الإنبعاث المحرض:

تقوم ذرات العناصر الترابية النادرة المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية نتيجة نزول الإلكترونات من مدارات عالية الطاقة إلى مدارات منخفضة الطاقة، ولكن ليس بطريقة تلقائية وعشوائية كما في الإنبعاث التلقائي بل نتيجة لحثها بإشعاع له تردد محدد. ذلك أن الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن نزول الإلكترونات لها تردد وطور يساويان تماما تردد وطور الأمواج التي قامت بحث الإلكترونات على الإشعاع ، و لهذا الإشعاع له تردد واحد من الناحية النظرية .



الشكل (6.1): مبدأ الإنبعاث المحرض.

من أجل الإنبعاث المحرض يجب أن تكون نسبة الإسكان في مستوي الحالة المثارة  $N_2$  أكبر منه في مستوي الحالة الأساسية يعني ذلك أن هناك تعداد معكوس للإسكان، ويمكن تحقيق ذلك باستعمال قوة محفزة خارجية تدعى الضخ [11].

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -\beta_{21}\rho(\nu)N_2(t) = -\frac{dN_1(t)}{dt} \quad (18.1)$$

نستطيع كتابة احتمالية الإثارة بدلالة معامل أنشتاين للإصدار و المقطع الفعال للإصدار .

$$w_{21}(\nu) = \beta_{21}\rho(\nu) = \sigma_e(\nu) \frac{I_p(\nu)}{h\nu} \quad (19.1)$$

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

من أجل نظام به مستويين ، وبافتراض الإشعاعات هي فقط التي تساهم يمكن كتابة:

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = W_{12}N_1 - (W_{21} + A_{21})N_2 = \frac{dN_1(t)}{dt} \quad (20.1)$$

في حالة التوازن الحراري، نسبة الإسكان بين مستويين ترتبط بمعامل بولتزمان، ونكتب:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (21.1)$$

حيث  $g_i = 2J_i + 1$  هي قيمة التوالد في مستويات الطاقة  $E$ ، درجة الحرارة  $T$ ،  $K$  ثابت بولتزمان.

عندما تكون  $\frac{dN_i}{dt} = 0$  نجد :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{W_{12}}{W_{21} + A_{21}} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad (22.1)$$

كما يمكن إنطلاقاً من هذه العلاقة التعبير عن كثافة الطاقة للحزمة في وحدة المساحة كالتالي:

$$\rho(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{21}} \cdot \frac{1}{\frac{B_{12}g_2}{B_{21}g_1} e^{-\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (23.1)$$

تبعاً لقانون بلانك لدينا :

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi n^3 \nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{(e^{-\frac{h\nu}{kT}} - 1)} \quad (24.1)$$

### 2.5.1 التفاعلات غير إشعاعية :

بالإضافة إلى التفاعلات الإشعاعية يمكن للذرة الانتقال من المستوي 2 إلى المستوي 1 من دون أن تشع موجات كهرومغناطيسية

في هذه الحالة سيذهب فرق الطاقة  $(E_2 - E_1)$  إلى الجزيئات المحيطة على شكل طاقة حركية انتقالية أو دورانية أو اهتزازية أو تهيج

إلكتروني، ويوجد حالات عديدة يمكن أن تحدث إنتقالات غير إشعاعية فمثلاً في حالة البلورات الأيونية يحدث إنتقال غير

إشعاعي عادة عن طريق إستثارة أنماط اهتزازية في النسق البلوري وفي شبه الموصلات التي فيها إلكترونات في العصابة العلوية

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

(عصابة التوصيل) و الفجوات في العصابة السفلية (عصابة التكافؤ)، فإن الإنتقال غير إشعاعي يحدث من خلال إعادة اتحاد إلكترون مع فجوة، مما تقدم يتضح أن العمليات غير الإشعاعية معقدة جدا.

لذلك فهي أكثر حساسية من التحولات الإشعاعية في الكثير من الحالات فإن طاقة الإنتقالات الإلكترونية بين الحالة المثارة والحالة الأساسية أعلى بكثير من طاقة الفونونات، وبالتالي فإن الإسترخاء غير الإشعاعي بواسطة الفونونات هو عملية متعددة الفونونات. [10][11]

إحتمال حدوث إسترخاء متعدد الفونونات يتعلق بالفرق الطاقى بين مستويات الإنتقال كما في المعادلة التالية :

$$W_{MP} = W_0(n(v) + 1)^P \quad (25.1)$$

P: عدد الفونونات اللازمة لملء الطاقة بين المستويات .

$W_0$  هو احتمال الانتقال بحيث :

$$W_0 = \beta e^{-\alpha \Delta E} \quad (26.1)$$

$\Delta E$ : هو فرق الطاقة بين المستويات الإنتقالية.

$\alpha$  و  $\beta$ : ثوابت موجية مميزة للشبكة .

$n(v)$ : عدد بوز حيث:

$$n(v) = \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (27.1)$$

وبشكل عام فإن تأثير هذه التفاعلات تؤدي تغيير الإسكان في المستويات، إذ يمكن كتابة هذا التغير بسبب الإنتقالات غير

الإشعاعية بالصيغة التالية: [12]

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{nr} = \frac{-N_2}{\tau_{nr}} \quad (28.1)$$

$\tau_{nr}$ : ثابت زمني مميز يسمى فترة الإنتقال غير الإشعاعي.

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

إن قيمة هذا الزمن تعتمد إلى حد كبير على نوع الذرة أو الجزيئية المدروسة وعلى طبيعة المادة المحيطة ونتيجة لحدوث الإنتقالات الإشعاعية في آن واحد فإن التغير الزمني لإسكان المستوي العلوي  $N_2$  يأخذ الصيغة الآتية :

$$\frac{dN_2}{dt} = -\left(\frac{N_2}{\tau_{sp}} + \frac{N_2}{\tau_{nr}}\right) \quad (29.1)$$

و توضح هذه المعادلة أنه بإمكاننا تعريف فترة حياة إجمالية  $\tau$  بالصيغة الآتية :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{sp}} + \frac{1}{\tau_{nr}} \quad (30.1)$$

وتدعى هذه الكمية فترة المستوي العلوي 2، هي كمية يمكن قياسها بسهولة من ملاحظة التغير الزمني للضوء المشع تلقائيا ولهذا الغرض نفترض أنه عند اللحظة  $t=0$  هناك  $N_2(0)$  من الذرات في المستوى العلوي في حجم المادة  $V$ . وفق المعادلة (27.1) نجد أن قدرة الإنبعث التلقائي:

$$p(t) = \frac{N_2(t)\hbar\omega_0 V}{\tau_{sp}} \quad (31.1)$$

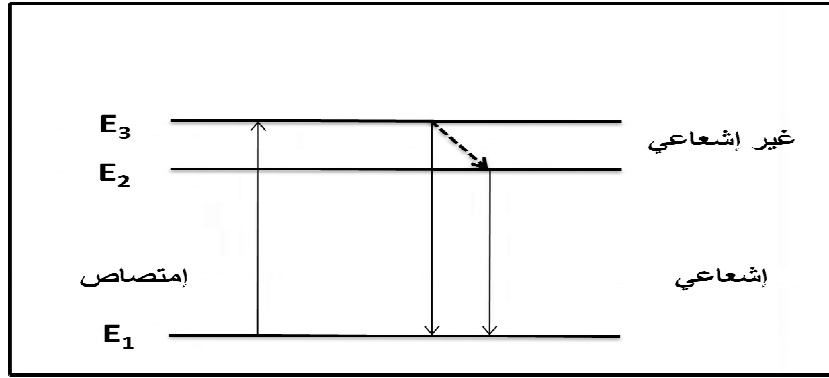
ونحصل على الإسكان  $N_2(t)$  عند اللحظة  $t$  من التكامل المعادلة (29.1) إذ نجد:

$$N_2(t) = N_2(0)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (32.1)$$

وعلى هذا فإن :

$$p(t) = \frac{N_2(t)\hbar\omega_0 V}{\tau_{sp}} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (33.1)$$

نلاحظ هنا أن شدة الإشعاع المنبعث تلقائيا يتناقص أسيا وينتابت زمني  $\tau$  بدلا  $\tau_{sp}$ .



الشكل (7.1): التفاعلات الإشعاعية وغير الإشعاعية للأيونات الترابية.

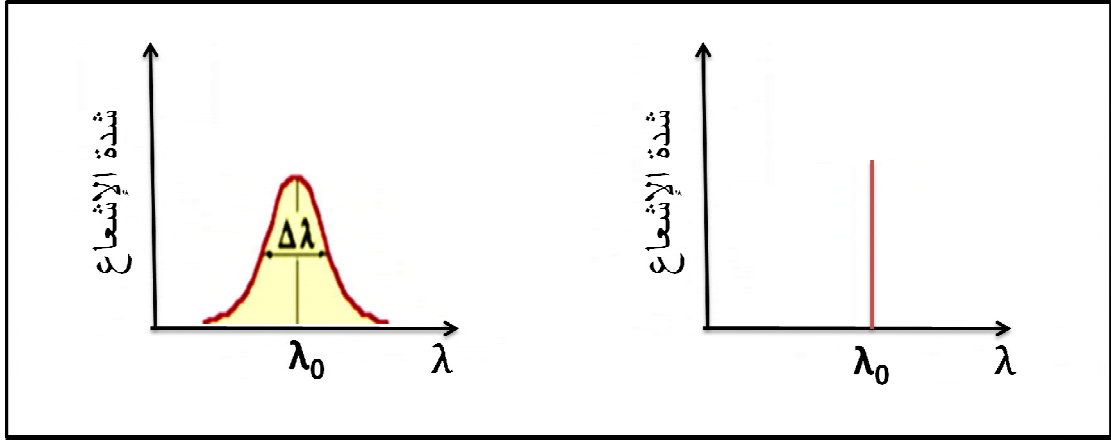
### 6.1. الإلتساع الطيفي :

في هذا العنوان نقوم بدراسة موجزة للفعاليات المختلفة التي تؤدي إلى توسيع الخطوط الطيفية وما يرافق ذلك سلوك الدالة  $g(v)$  (حيث يمكننا رسم شدة الإشعاع لتمثيل خطوط الطيف الناتجة عن عمليتي الإمتصاص و الإنبعث للمادة كدالة في التردد أو الطول الموجي). [11]

إعتبارنا أن الطيف المنبعث من الذرة المثارة يتركز فقط عند تردد وحيد وهو  $v_0$ . ولكن في الحقيقة فإن عمليتي الإمتصاص و الإنبعث لا تحدثان عند تردد وحيد فقط ولكن عند حزمة من الترددات التي تشكل إلتساع في الخط الطيفي  $\Delta v$ . [13]

### 1.6.1. مصطلح أحادي اللون :

نظريا فإن مصطلح أحادي اللون يعني طول موجي محدد  $\lambda_0$ ، وعند رسم منحنى التغير في شدة الطيف المنبعث للمستويين الطاقويين مع الطول الموجي ينتج خط يعرف بالخط الطيفي، كما في الشكل الموضح على الجانب الأيمن حيث أن شدة الأشعة عند أطوال موجية خارج  $\lambda_0$  تساوي صفر.



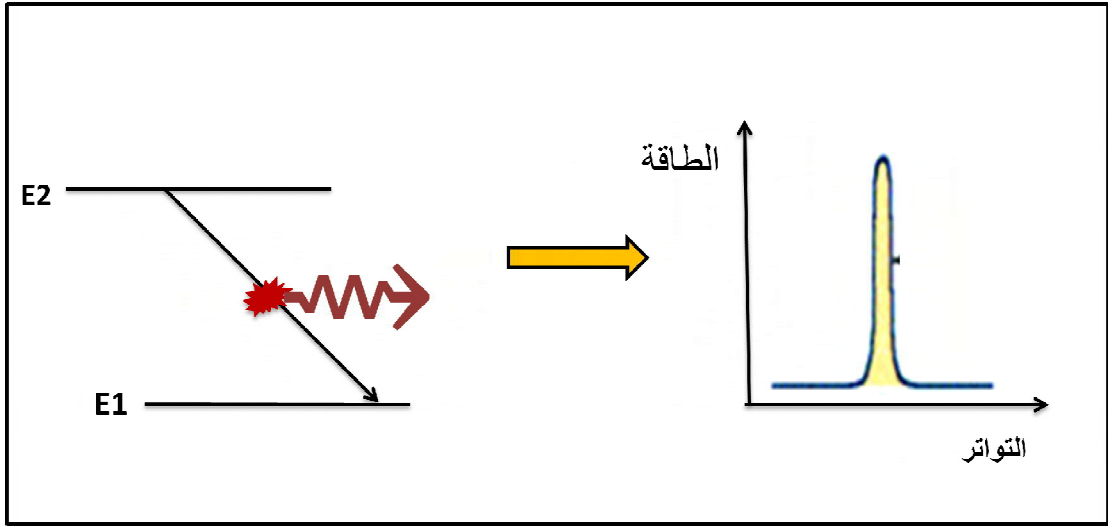
### الشكل (8.1): إتساع الخط الطيفي النظري والحقيقي.

أما في الحقيقة فإنه عند تمثيل العلاقة بين شدة الطيف المنبعث والطول الموجي نلاحظ أن للخط الطيفي إتساع معين مقداره  $\Delta\lambda$  يعرف بالإتساع الطيفي، حيث تكون القيمة العظمى عند  $\lambda_0$  وتتناقص على الأطوال الموجية المجاورة بجوار  $\lambda_0$  كما في الشكل على الجانب الأيسر من الشكل التوضيحي.

#### 2.6.1. التعريض الطبيعي :

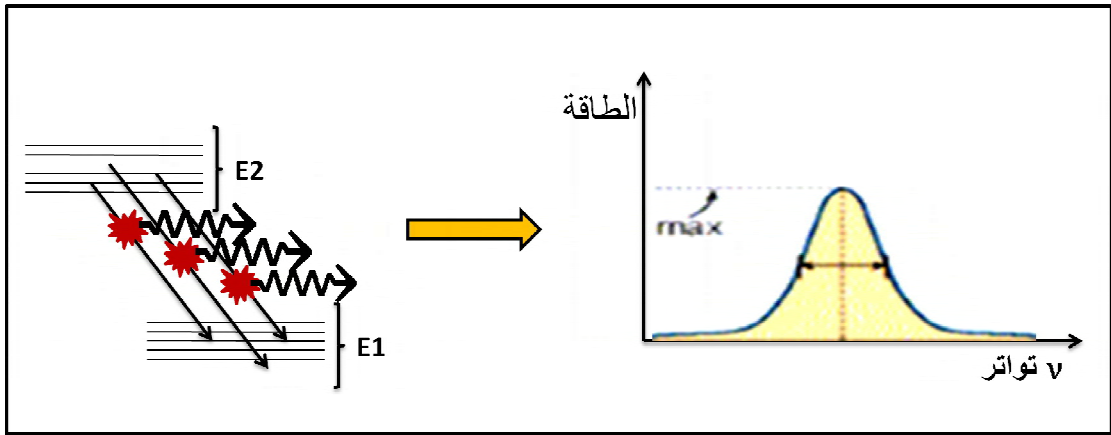
إنطلاقاً من فيزياء الكم ومبدأ هيزنبرغ للشك فإن الذرة المثارة للمستوي  $E_2$  يجب أن تبقى زمن لانهائي حتى يكون الشك في تحديد مستوى الطاقة  $E_2$  يساوي صفر. إلا أن المسلم به أن مستويات الطاقة ( $E_1, E_2$ ) تكون محددة تماماً أي أن قيمة الاحتمالية تساوي الصفر  $\Delta E=0$  لكل منهما، وهذا يشكل تناقض مع مبدأ هيزنبرج .

نعلم أن الزمن الذي تبقى فيه الذرة في الحالة المثارة غير محدد بشكل لانهائي. فإذا أثرت ذرة إلى مستوى طاقة ما فسوف تبقى فيه فترة زمنية محددة ثم تعود إلى المستوى الأساسي للطاقة وتطلق فوتونات.



الشكل (9.1): خط إصدار لمستويات الطاقة الضيقة .

وللتغلب على هذا التناقض بين مبدأ الشك والعمر المحدود لبقاء الذرة مثارة ، نفرض أن مستويات الطاقة لها إتساع وأن الذرات تتوزع بإحتمالية أكبر ما يمكن عند التردد  $\nu_0$  كما في الشكل الموضح (10.1).



الشكل (10.1): خط إصدار لمستويات الطاقة المتسعة.

ويمكن تقدير إتساع الخط الطيفي نتيجة الإتساع الطبيعي لمستوي طاقة  $\Delta E$  بالمعادلة التالية:

$$\Delta \nu_i = \frac{1}{2\pi\tau_i} \quad (34.1)$$



## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

فترة حياة المستوي المثار بدلالة معامل اينشتاين :

$$\tau = \frac{1}{A_{21}} \quad (35.1)$$

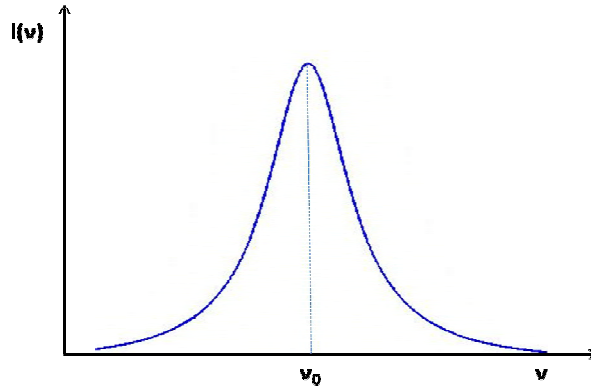
وبصفة عامة :

$$\tau = \frac{1}{\sum A_{21}} \quad (36.1)$$

ويعطى شكل طيف الاتساع الطبيعي بواسطة دالة التابع  $g(v)$ :

$$g(v) = \frac{\Delta v_n}{2\pi} \frac{1}{(v-v_0)^2 + (\Delta v_n/2)^2} \quad (37.1)$$

حيث نحصل على شكل لورانتز. [13]



الشكل (11.1) الاتساع الناتج عن التعريض الطبيعي.

### 3.6.1. تعريف دوبلر:

في كثير من الأحيان يتم إمتصاص أو إنبعاث الإشعاع من قبل الجسيمات (ذرة، أيون ...)، أثناء الحركة وبفعل تأثير دوبلر يختلف تردد الإشعاع المنبعث عن تردد المنبعث من الجسيم عند الراحة (الإختلاف بين تردد المرسل والمستقبل). يرتبط متوسط سرعة

## الفصل الأول: العناصر الترابية النادرة

الجسيمات في التوازن الديناميكي الحراري بدرجة حرارة الوسط ومن ثم فإن التوسيع الناجم عن تأثير دوبلر الإحصائي يرتبط بتوزيع سرعة المرسل عند درجة الحرارة  $T$  وكتلة المرسل  $m$ .

ويعطى تعريض نصف الإرتفاع (تعريض دوبلر)  $\Delta\omega_D$  بدلالة تردد المنبعث  $\omega_0$ ، بالعلاقة التالية :

$$\Delta\omega_D = 7,16 * 10^{-7} \cdot \omega_0 \sqrt{\frac{T}{m}} \quad (38.1)$$

$\Delta\omega_D$  و  $\omega_0$ : بوحدة eV.

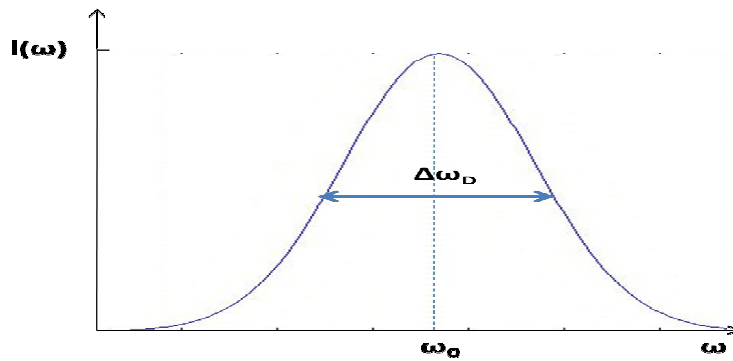
$T$ : بالكلفن K.

$m$ : بوحدة الكتلة الذرية (u.m.a).

الإتساع في الخط الطيفي نتيجة ظاهرة دوبلر يوافق دالة التابع  $g(\omega - \omega_0)$ ، وتكتب كالتالي:

$$g(\omega - \omega_0) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\Delta\omega_D} e^{-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{\Delta\omega_D^2}} \quad (39.1)$$

شكل خط تعريض دوبلر هو شكل غوس (Gaussian).



الشكل (12.1) الإتساع الناتج عن تعريض دوبلر.

### 4.6.1. تعريض التصادمات :

إن السبب الأساسي لتعريض خطوط الطيف هو الاضطراب الناجم عن الذرات وذلك بمختلف جزيئاتها المشحونة وغير مشحونة وفي هذه الحالة يحدث التعريض بواسطة التصادم حيث يمكن تقسيمه إلى ثلاث أقسام :

1- التعريض بالرنين: يكون ذلك بواسطة اضطراب جزيئات غير مشحونة (تفاعل ثنائي الأقطاب -ثنائي الأقطاب).

2- تعريض فاندرفاز: ويكون ذلك بواسطة اضطراب جزيئات غير مشحونة مع مختلف أنواع ذرات المصدر. (تفاعل ذرة من A. ذرة من نوع B).

3- تعرض ستارك: سببه تفاعل الجسيمات المشحونة (أيونات، إلكترونات) مع ذرات المصدر. ويتم التعبير عن هذا التفاعل بواسطة تأثير حقل ضعيف أيوني وإلكتروني مع ذرات المصدر. الحقل  $E$  يعمل على اضطراب مستويات الطاقة الذرية لتصل إلى أدنى المستويات، هذا الطرح يعمل على تحلل مستويات الطاقة الذرية إلى عدة مستويات [14].

من خلال التعريضات السابقة يمكن تقسيم الإتساع الطيفي إلى نوعين هما الإتساع المتجانس مثل الإتساع الناتج عن التعريض الطبيعي والإتساع الناتج عن التصادمات، والإتساع غير متجانس مثل تعريض دوبلر.

### 7.1. الخلاصة:

في هذا الفصل قمنا بإعطاء المفاهيم الأساسية لمطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة، ورأينا أن التركيب الإلكتروني لذرات العناصر الترابية النادرة يلعب دوراً مهماً في إبراز بعض الصفات الكيميائية و الفيزيائية لها، إذ إن التوزيع الإلكتروني لمعظمها يكون ضمن مدار (4f) والذي له دور مهم في إكسابها لعدد من الخصائص .

رأينا أيضاً أنه عند التفاعل مع إشعاع كهرومغناطيسي، فإن الظواهر ممكنة الحدوث هي الإمتصاص و الإنبعاث التلقائي و الإنبعاث المحرض للفوتونات والتي تتميز على التوالي بواسطة المقطع الفعال للإمتصاص  $\sigma_{abs}$  ، وفترة الحياة الإشعاعية  $\tau_{rad}$  و المقطع الفعال للإنبعاث  $\sigma_e$ ، وهناك تفاعلات أخرى غير إشعاعية ممكنة الحدوث أيضاً ومن شأنها أن تنقص من فترة حياة المستويات الطاقوية.

كما تطرقنا إلى بعض عمليات الإمتصاص الطيفي، الإمتصاص الطبيعي، إمتصاص دوبلر، و الإمتصاص الناتج عن التصادمات. فقمنا بدراسة موجزة للفعاليات المختلفة التي تؤدي إلى توسيع الخطوط الطيفية مما يجعل الحديث عن هذه الأسباب ونتائجها شيئاً ضرورياً. وتعد أيونات العناصر الترابية النادرة عناصر منشطة عند إضافتها لمواد زجاجية، ذلك من أجل تطبيقات الليزر و المضخمات الضوئية، لهذا سندرس في الفصل اللاحق الزجاج المطعم بهذه الأيونات.

- [1]- طارق إسماعيل كاخيا، "الكيمياء الصناعية الجزء الأول تكنولوجيا الصناعات الكيميائية اللاعضوية"، الكتاب السادس .
- [2] Liudmil Antonov and Daniela Nedeltcheva· Resolution of overlapping UV–Vis absorption bands and quantitative analysis, *Chem. Soc. Rev.*, 2000, 29, 217–227
- [3] R.B.Heslop,P.L.Robinson, *Chimie inorganique*(Flammarion Sciences 1977).
- [4] Ying Tian,liyan Zhang,Suya Feng,Rongrong Xu,Lili Hu,junjie Zhang, "2 $\mu\text{m}$  Emission of Ho<sup>+3</sup> -doped fluorophosphate glass sensitized by Yb<sup>+3</sup>",*Opetical Materials* ,vol.32,pp1508-1513,2010.
- [5]- عبدالمجيد البلخي، "كتاب الجدول الدوري كيمياء المعادن الانتقالية كيمياء اللاعضوية"، الجزء الثالث، جامعة دمشق، 1993.
- [6] V.Moizan, Etude de l'amplification laser en bande II dans les fibres de verres chalcogénures,Thèse de doctorat ,Université de Rennes 1,(2008).
- [7] -مدخل آمنة.(دراسة طيفية لزجاج هالوجينو- فوسفاتي مطّعم بالإيريوم Er<sup>+3</sup>)، مذكرة ماستر، جامعة قاصدي مرياح ورقلة .2014.
- [8]- Mohamed El Jouad,"Modélisation et Spectroscopie des Vitrocéramiques Fluorées dopés par des Ions de Terres Rares pour Application en Amplification dans l'infraouge"، thèse de doctorat .Angers ,France ,(2010).
- [9] F.Khelfaoui, "Cour de Master physique du rayonnement"،2012/2013.
- [10]O.Bentouila, "Etude de l'effet des terres rares dans les verres applications: lasers et amplificateurs optiques"، mémoire de magister, Université de Ouargla, (2005).
- [11] د. محمد كوسا، "فيزياء الليزر وتطبيقاته"، كلية العلوم، منشورات جامعة دمشق، 2005-2006.
- [11] Mohamed El Jouad,'Modélisation et Spectroscopie des Vitrocéramiques Fluorées dopés par des Ions de Terres Rares pour Application en Amplification dans l'infrarouge, thèse de doctorat .Angers ,France ,(2010).
- [12]A.Beggas, Etat d'art des verres dopés aux ions terres rares (Application Amplificateur Optique), mémoire de magister, Centre Universitaire d' El- Oued (2010)

## مراجع الفصل الأول

---

[13] د.حازم فلاح سكيك ، سلسلة محاضرات فيزياء الليزر و تطبيقاتها، جامعة الازهر - غزة.

[14] W.Demtröder, Atoms Molecules and photons, Springer – Verlag , 2006, Berlin Heidelberg.

**الفصل الثاني**  
**الزجاج المطعم بأيونات العناصر**  
**الترايية النادرة**

### 1.11. مقدمة

يصبح الزجاج نشطا عندما يطعم بكميات صغيرة من الأيونات المضيفة ، مثل أيونات العناصر الترابية النادرة، لهذه الأخيرة العديد من الإستخدامات كعوامل محفزة نظرا لإنتقالاتها الضوئية العديدة ضمن المجال المرئي و فوق الأحمر، المواد التي توضع فيها الأيونات النشطة، يمكن أن تغير الكثير من خصائص تلك الأيونات، لذلك فهناك عدد محدود من المواد التي يصلح تطعيمها بالعناصر الترابية ، كما سنرى خلال هذا الفصل العوامل والشروط التي تتحكم في عملية التطعيم .

### 2.11. الزجاج المطعم:

تصنف المواد المضيئة للعناصر الترابية النادرة إلى صنفين :مواد زجاجية، مواد صلبة بلورية، يجب أن يكون للمضيف خصائص بصرية وميكانيكية وحرارية جيدة ، وذلك من أجل مقاومة ظروف عملية التطعيم، يمكن للمواد المضيئة التي يتم وضعها مع الأيونات النشطة أن تحدث تغييرا كبيرا في خصائص الأيونات .

لذا علينا الأخذ بعين الاعتبار حجم ذرات الأيونات النشطة، وخصائصها الطيفية، بطريقة مثالية تتوافق مع أيونات المادة المضيئة كذلك يجب مقارنة الفرق بين مستويات الطاقة في أيون الترابي النادر، والتردد الأقصى لاهتزاز شبكة المواد المضيئة (الفونونات).

إن إضافة الأيونات النشطة بكميات كبيرة قد تؤثر على خصائص المادة المضيئة، لذا فإن إضافتها للمواد الصلبة البلورية، أو المواد الزجاجية تكون بكميات صغيرة جدا لتفادي تلك التأثيرات الجانبية.

يعتبر الزجاج مضيف جيد لأيونات العناصر الترابية النادرة، وذلك لقابليته على التكييف من ناحية الحجم و الشكل والخصائص البصرية الممتازة، بالإضافة إلى وجود مرونة في تغيير بعض خواصه الفيزيائية، وخاصة قرينة انكسارها بحيث يمكن تغييرها من حوالي 1.5 إلى 2 ، كما يمكن ضبط معامل التغيير الحراري، لكي نحصل على فجوة بصرية مستقرة حراريا ويتميز أيضا بمعامل ربح ثابت في أطوال موجية مختلفة، وله قدرة كبيرة لتخزين الطاقة مقارنة بالمواد الصلبة البلورية [1].



### 3.11. التأثيرات على خصائص الاستضاءة:

تشكل أيونات العناصر الترابية النادرة رواسب في أغلب المواد الصلبة، لذا فلا يمكن إدراجها في المادة المضيفة بطريقة عشوائية بل تكون قابلة للذوبان في الطور الصلب، في الزجاج هناك تفاعلات أيون-أيون، و أيون-مادة، تحدث هذه الأخيرة تأثيرات على الخصائص الطيفية لأيونات العناصر الترابية النادرة مثل: المقطع الفعال للإمتصاص و الإصدار، فترة الحياة ....، فترة حياة الاستضاءة لأيونات الترابية النادرة تكون فيما بين  $10^{-6}$  -  $10^{-3}$  ms نظريا، أما تجريبيا فتكون أقل من ذلك بكثير [1].

### 1.3.11. تركيز الإطفاء الذاتي:

هو تأثير الذي يقلل من فعالية الإستضاءة، تحدث هذه التأثيرات مع ارتفاع تركيز الأيونات النشطة، فيؤدي إلى نقصان فترة حياة حالة الإثارة بسبب تفاعل أيون-أيون، هذا النوع من التفاعل يعتمد بشكل كبير على نوع المادة المضيفة، و يعبر عن فترة حياة الإستضاءة بدلالة التركيز باستخدام المعادلة التالية [1].

$$\tau_{obs} = \frac{\tau_0}{1 + \left(\frac{\rho}{Q}\right)^P} \quad (1.11)$$

حيث:  $\tau_0$  هي فترة حياة الإستضاءة عند انعدام التركيز ،  $\rho$  هو تركيز التطعيم،  $Q$  هو تركيز الإطفاء الذاتي،  $P$  هو أس نوعي .

### 2.3.11. التفاعل مع الفونونات:

لا يكون نقل الطاقة للأيونات المجاورة فقط ، ولكن جزء منها يذهب للفونونات، الأمر الذي يؤدي إلى فقدان الطاقة . إن الإسترخاء غير إشعاعي بواسطة الفونونات هي عملية متعددة الفونونات ، هذا النوع من العمليات يظهر عندما يكون هناك عدد محدود من الفونونات اللازمة من أجل عبور الفرق الطاقي بين الحالة الأساسية والحالة المثارة لأيونات الترابية النادرة.

من أجل طاقات فونون محصورة بين 0.1-0.25 من طاقة الإنتقال فإن فترة حياة الإستضاءة تتعلق بدرجة الحرارة، ومن أجل

طاقات فونون أقل فإن الإسترخاء متعدد الفونونات يصبح مهملا [1][2].

### 3.3.ii. تفاعلات أيون-أيون:

تحدث التفاعلات أيون-أيون عند زيادة تركيز أيونات العناصر الترابية النادرة، إما من أجل نفس النوع أو أكثر ، مما يؤدي إلى انخفاض مدة الحياة للمستويات الطاقية مقارنة مع فترة حياة هذه المستويات عندما يكون الأيون معزول [1][2] .

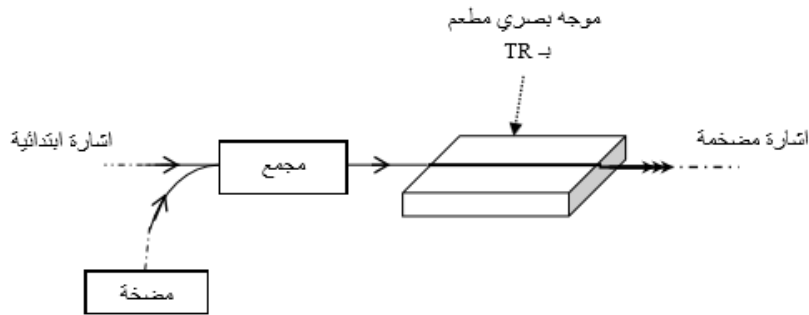
### 4.3.ii. تأثير $\text{OH}^-$ :

هناك عملية أخرى تؤدي إلى انخفاض إسكان المستويات في الحالة المثارة، وبالتالي تتسبب في إنطفاء للإستضاءة، يحدث ذلك في تواجد مجموعات  $\text{OH}^-$  داخل المادة. [1][2]

### 4.ii. التضخيم الضوئي والليزر:

#### 1.4.ii. التضخيم الضوئي :

هو مضاعفة إشارة ضوئية ، بإستخدام مبدأ الإنبعاث المحرض ،المكونات الأساسية لجهاز التضخيم الضوئي هي : موجه بصري مطعم بأيونات العناصر الترابية، مضخمة التي تحقن في الموجه البصري بواسطة مجمع وليف بصري من أجل إثارة العناصر الترابية النادرة و حدوث إنعكاس سكاني. [1]



الشكل (1.ii): رسم تخطيطي لمبدأ التضخيم الضوئي [1].

### II.2.4.2. الليزر:

هو مصدر لتوليد الضوء المرئي وغير المرئي، والذي يملك مواصفات مميزة لا توجد في بقية مصادر الضوء الطبيعية (الشمس، النجوم...) والصناعية (المصابيح الكهربائية).

وكلمة الليزر (laser) هي إختصار لأحرف الأولى لكلمات الجملة الإنجليزية (light amplification by stimulated emission of radiation) والتي تعني تضخيم الضوء بواسطة الإنبعاث المحرض للإشعاع.

### II.1.2.4.1. مميزات الليزر:

يتميز الليزر بعدة خصائص أهمها [3][4]:

- ضوء وحيد اللون.
- تماسك الحزمة الليزرية.
- الإتجاهية.
- شدة الإضاءة العالية.

وهذه الخواص مفصولة عن بعضها البعض وإنما هي مترابطة وجاءت أساسا من طبيعة الانبعاث المحرض.

### II.2.2.4.2. المكونات الأساسية لجهاز الليزر :

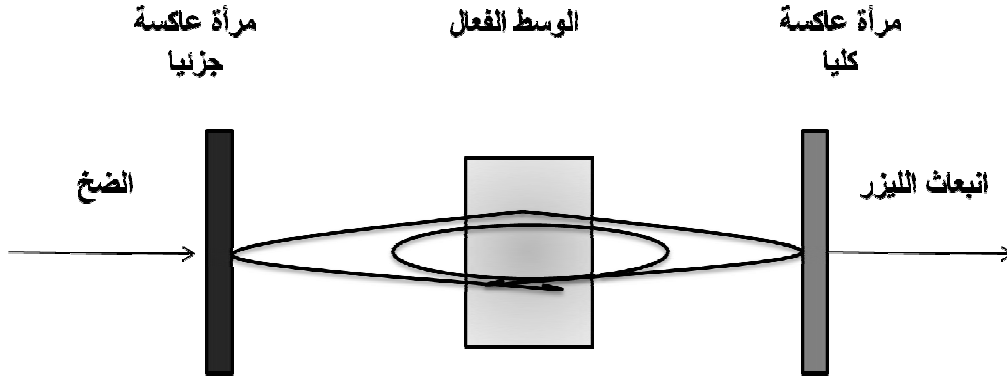
هو جهاز يحتوي على ثلاث عناصر أساسية :

- الوسط الفعال: هو المادة المصدرة لأشعة الليزر، عبر تضخيم عدد الفوتونات المارة خلالها، ويكون الوسط الفعال صلبا، سائلا أو غاز كما يسمى الليزر باسم الوسط الفعال الذي فيه.
- نظام الضخ: وهو الجهاز الذي يضخ الفوتونات لكي تعمل على إثارة الوسط الفعال لنقل ذراته إلى مستويات الطاقة العليا. هناك عدة طرق للضخ منها، الضخ الضوئي، والضخ الكهربائي، و الضخ الكيميائي.

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

- تجويف الليزر: هو عبارة عن مرآتين توضعان على جانبي الوسط الفعال، إحداها عاكسة كلياً والأخرى جزئياً وعبرها يصدر ضوء ليزري.

مهمة المرآتين عكس الفوتونات الخارجة من الوسط الفعال إلى الوسط الفعال ذاته، بحيث تعود الفوتونات المضخمة إليه للتضخيم من جديد وذلك بعملية مستمرة حتى الوصول إلى الطاقة المطلوبة لإنتاج الضوء الليزري.



الشكل (2.11): مبدأ إنتاج الليزر .

### 3.2.4.11. شروط الإنبعاث الليزري:

- توفر الإنبعاث المحرض.
- حدوث التعداد المعكوس.
- إيجاد التضخيم الضوئي.

### 5.11. التعداد المعكوس :

في الحالة الطبيعية للمادة تكون عدد الذرات  $N_1$  في المستوى  $E_1$  أكبر من عدد الذرات  $N_2$  في المستوى  $E_2$  ( $N_1 > N_2$ )

وحسب قانون بولتزمان لتوزيع الذرات و الجزيئات:

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp \left( -\frac{E_1 - E_2}{KT} \right) \quad (2.11)$$

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

وعليه لا يمكن الحصول على الليزر بسبب عدم وجود التعداد المعكوس. ومن أجل أحداث قلب التعداد ( $N_1 < N_2$ ) لا بد من إعطاء كمية من الطاقة الخارجية وهذا ما يسمى بالضخ. [3][4]

### 6.11. الربح:

وجود الوسط الفعال في حالة التعداد المعكوس يمكن أن يحفز على إنبعاث سلسلة من الفوتونات (شعاع ليزر)، ووجود التجويف الليزري (المرآتين) يحفز على تضخيم الفوتونات .

يتم قياس درجة هذا التضخيم بالربح الذي يعطى بدلالة تغير الشدة الضوئية  $I$  في اتجاه الانتشار  $X$  كالتالي:

$$\frac{dI_v}{dX} = (\delta_{21}N_2 - \delta_{12}N_1 - \alpha)I \quad (3.11)$$

حيث :

$$\gamma(v) = \delta_{21}N_2 - \delta_{12}N_1 \quad (4.11)$$

$\gamma(v)$ : هو معامل الربح .

و بكاملة المعادلة السابقة نحصل على:

$$I_v(X) = I_v(0) \exp [(\gamma(v) - \alpha)X] \quad (5.11)$$

الربح هو النسبة بين الشدة الخارجة والشدة الداخلة للوسط، وتعطى:

$$G = \frac{I_v(L)}{I_v(0)} \quad (6.11)$$

$L$ : طول العينة التي يجتازها الضوء.

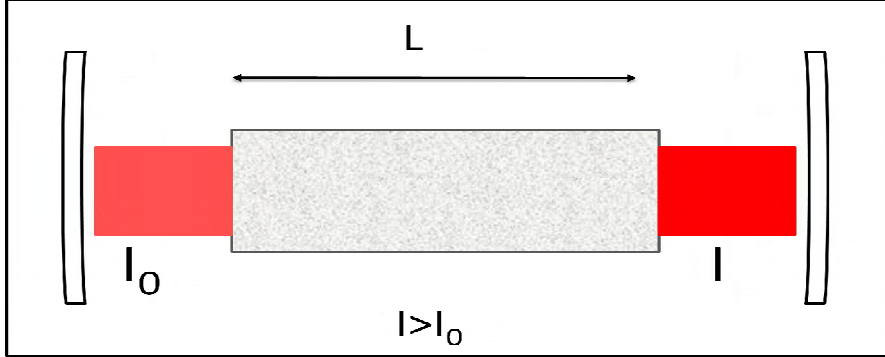
بما أن الضوء الواقع في الوسط الفعال ليس موزعا بالتساوي، وكذلك توزيع الأيونات النشطة في المادة غير منظمة، وعليه يمكن

إدخال عامل الحجز  $\Gamma$ ، ويعبر عن الربح بواسطة العبارة التالية [1][5][6]:

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

$$G = \exp [(\Gamma\gamma(v) - \alpha)L] \quad (7.11)$$

من أجل زيادة الربح، لابد من زيادة معامل الربح  $\gamma$ ، والتقليل من الضياعات  $\alpha$ .



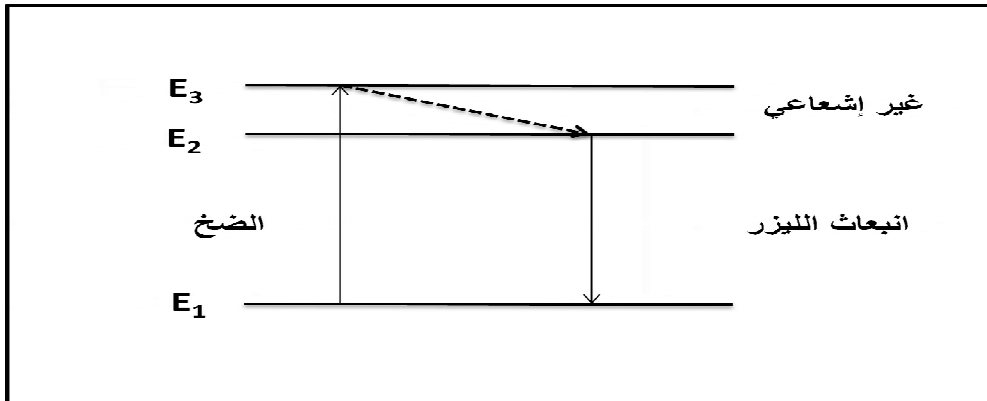
الشكل (3.11): الشدة الضوئية الداخلة والخارجة للوسط الفعال.

### 7.11. أنظمة المستويات الليزرية:

لغرض توضيح فكرة الليزر إنطلقنا من مستويين فقط (المستوي الأساسي و المستوي المثار)، ولكن بشكل عام يتم توليد الليزر بمشاركة ثلاث مستويات أو أربع مستويات .

### 1.7.11. منظومة ثلاث مستويات :

إن المادة الفعالة تكون في حالة إستقرار عندما تكون معظم ذراتها موجودة في المستوي الأساسي رقم (1)، وعند إثارة المادة بواسطة إحدى طرق الضخ المعروفة، تمتص هذه الذرات طاقة تنتقل إلى المستوي مثار رقم (3).



الشكل (4.11): نظام ذو ثلاث مستويات طاقيّة.

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

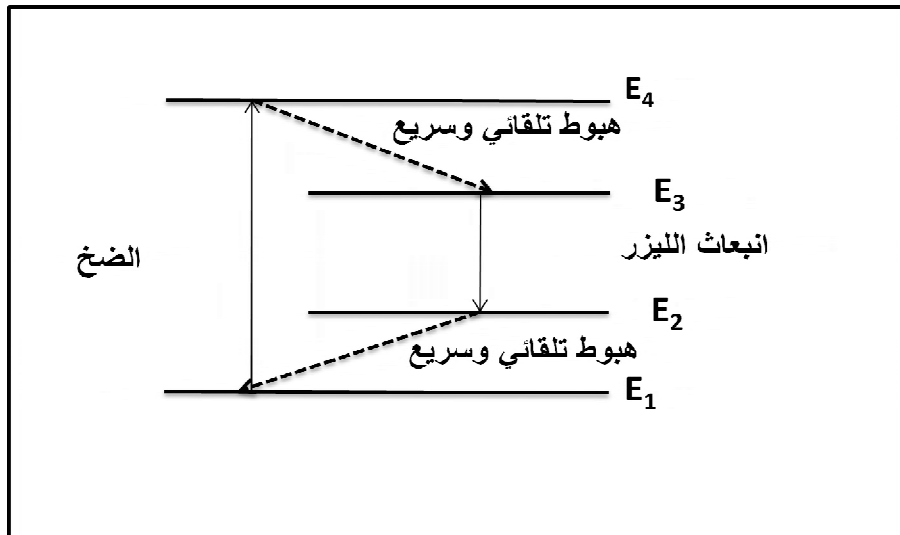
لكن سرعان ما تهبط هذه الذرات بشكل تلقائي وسريع إلى المستوي رقم (2) التي تبقى فترة زمنية أطول في هذا المستوي وذلك لطول فترة حياة المستوي مما يسهل إحداث عملية التعداد المعكوس، وبعد الحصول على هذا الأخير تكون الذرة مهياًة لحدوث الانبعاث المحرض وبالتالي إصدار شعاع ليزر بين المستوي الأساسي و المستوي رقم (2) .

### 2.7.ii. منظومة أربع مستويات :

يكون التعداد المعكوس في هذه المنظومة سهلاً، والفرق بين منظومة ثلاث مستويات ومنظومة أربع مستويات هو وجود مستوي إضافي في المنظومة الرباعية ويكون في أغلب الأحيان فارغاً.

فعند إثارة المادة الفعالة تنتقل الذرات إلى مستوي طاقة رقم (4) وسرعان ما تهبط هذه الذرات تلقائياً إلى المستوي رقم (3)، وبذلك يحدث العداد المعكوس بين المستويين (3) و(2)، وبما أن المستوي (2) يكون فارغاً في الأغلب لذا فإن وجود عدد قليل في المستوي (3) يحقق التعداد المعكوس.

وعندما تنتقل الذرات الموجودة في المستوي (3) إلى المستوي (2) يحدث انبعاث شعاع ليزر، إلا أنه سرعان ما تهبط هذه الذرات تلقائياً من المستوي (2) إلى المستوي الأساسي (1). [4].



الشكل (5.ii): نظام ذو أربع مستويات طاقة

## 8.11. طيف الإمتصاص :

انطلاقاً من طيف الإمتصاص التجريبي يمكن حساب المقطع الفعال للإمتصاص عند أطوال موجية مختلفة، هذا الطيف يتم قياسه باستخدام مطياف مزدوج الحزمة وذلك بإرسال شعاع من الضوء الأبيض إلى موحد اللون ، فيتم فصلها إلى شعاعين بشدة متساوية : حزمة واردة شدتها  $I_0(\lambda)$  ، وحزمة واردة تمر من خلال العينة شدتها  $I(\lambda)$  ، تعطى الكثافة الضوئية [8] :

$$DO = \log\left(\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}\right) \quad (8.11)$$

شدة الضوء الممتصة تعتمد على معامل الإمتصاص  $\alpha$  و سمك المواد التي يجتاها الشعاع  $dl$

$$\frac{dI}{I} = -\alpha dl \quad \Rightarrow \quad I = I_0 \exp(-\alpha l) \quad (9.11)$$

$\alpha$  معامل الإمتصاص وحدته  $\text{cm}^{-1}$ ، ويعبر عنه بدلالة الكثافة الضوئية DO وفقاً للعلاقة التالية :

$$\alpha = \frac{\ln 10}{x} DO \quad (10.11)$$

ونستنتج المقطع الفعال للإمتصاص:

$$\sigma_0(\lambda) = \frac{\alpha(\lambda)}{N_0} = \frac{2.3DO}{N_0 x} \quad (11.11)$$

حيث  $N_0$  تركيز أيونات العناصر الترابية النادرة TR ويعطى بالعلاقة التالية :

$$N_0 = \frac{(TR \text{mol}\%) \rho N_A}{M} \quad (12.11)$$

$\rho$ : الكثافة الحجمية للعينة  $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ .

$M$ : الكتلة المولية للمادة  $(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$ .



## 9.ii. نظرية جود-أوفلت Judd-Ofelt:

نظرية جود-أوفلت (1962)، تسمح بتحديد الوسائط الطيفية لأيونات العناصر الترابية النادرة، مثل احتمالية الانتقال الإشعاعي بين مستويين طاقيين، فترة حياة المقاطع الفعالة، وتعتمد هذه النظرية على دراسة عصابات الإمتصاص للأيون الترابي النادر، من أجل تحديد قوى الإهتزاز لثنائي القطب الكهربائي DE، أو ثنائي القطب المغناطيسي DM للانتقال بين المستويين، هذه القوى يتم تحديدها تجريبيا من طيف الإمتصاص، وتعتمد هذه النظرية على قواعد الانتقال [6]:

- في حالة إنتقالات ثنائي القطب الكهربائي، الإنتقالات المسموحة هي :

$$\Delta L = \pm 1 \quad \Delta S = 0$$

$$\Delta J \leq 2l \quad \Delta L \leq 2l$$

- في حالة إنتقالات ثنائي القطب المغناطيسي، الإنتقالات المسموحة :

$$\Delta L = 0$$

$$\Delta S = 0$$

$$\Delta J = 0, \pm 1$$

- قوى الإنتقال وقوى الاهتزاز :

قوى الإنتقال بين عنصري ستارك يرمز لها ب  $S(J)$ ، يعرف بأنه عنصر المصفوفة لمربع مؤثر الإنتقال لثنائي القطب الكهربائي (DE) أو ثنائي القطب المغناطيسي (DM):

$$S_{ed}(J, J') = |\langle J | DE | J' \rangle|^2 \quad (13.11)$$

$$S_{md}(J, J') = |\langle J | DM | J' \rangle|^2 \quad (14.11)$$

قوى الإنتقال بين مستويين هي مجموع القوى الإنتقالية بين مستويات ستارك :

$$S_{ed.md}(J, J') = \sum S_{ed.md}(J, J') \quad (15.11)$$

قوى الإهتزاز تعرف:

$$f(J, J') = \frac{8\pi^2 m_e c}{3h(2J+1)n^2 \lambda} \left[ \chi_{ed} S_{ed}(J, J') + \chi_{md} S_{md}(J, J') \right] \quad (16.11)$$

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

حيث  $\chi_{ed} = \frac{n(n^2+2)^2}{9}$  و  $\chi_{md} = n^3$  ، هما التصحيحين للحقل المحلي حول الأيونات الترابية النادرة،  $m_e$  هي كتلة الإلكترون ،  $c$  سرعة الضوء في الفراغ،  $n$  قرينة الانكسار في الوسط،  $h$  ثابت بلانك و  $\lambda$  الطول الموجي لمتوسط الانتقال.

### • حساب قوى الانتقال:

قيم قوى الانتقال  $S_{md}$  و الإهتزاز  $f_{md}$  في إنتقالات ثنائي القطب المغناطيسي، لا تعتمد على المادة المضيفة، بل تعتمد على الأيون الترابي النادر فقط. وتعرف قوى الانتقال التجريبية  $S_{md}$  بالعلاقة التالية [6]:

$$S_{md} = \left( \frac{h^2}{4\pi m_e c} \right) |\langle J \| L + 2S \| J' \rangle|^2 \quad (17.11)$$

$|\langle J \| L + 2S \| J' \rangle|$  : مؤثر عنصر المصفوفة ، يتعلق فقط بالأيونات الترابية النادرة والانتقال  $|J\rangle \rightarrow |J'\rangle$  ولدينا

$$J = J': \left\{ \begin{array}{l} |\langle J \| L + 2S \| J' \rangle| = g\hbar [J(J+1)(2J+1)]^{\frac{1}{2}} \\ g = 1 + \left\{ \frac{[J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)]}{2J(J+1)} \right\} \end{array} \right. \quad (18.11)$$

$$J = J - 1: |\langle J \| L + 2S \| J - 1 \rangle| = \hbar \left\{ \frac{(S+L+J+1)(S+L+1-J)(J+S-L)(J+L-S)}{4J} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (19.11)$$

$$J = J + 1: |\langle J \| L + 2S \| J + 1 \rangle| = \hbar \left\{ \frac{(S+L+J+2)(S+J+1-L)(L+J-S)(S+L-J)}{4(J+1)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20.11)$$

وفقا لنظرية جود-أوفلت، قوى الانتقال لثنائي القطب الكهربائي بين مستويين  $|J\rangle$  و  $|J'\rangle$  تعطى عن طريق المعادلة:

$$S_{ed}^{calc} = e^2 \sum_{k=2,4,6} \Omega_k |\langle J' \| U^{(k)} \| J \rangle|^2 \quad (21.11)$$

$\Omega_k$  هي معاملات تعكس تأثير المادة المضيفة على احتمالية الإنتقالات الإشعاعية و هي معروفة تحت إسم وسائط جود-أوفلت  $U^{(k)}$ ، تمثل قيم المصفوفة لمكونات المؤثر التنسوري المختزل *operateur tensoriel* ، وهي قيم ثابتة مستقلة عن المادة المضيفة، تتعلق بعنصر التطعيم [7].

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

### • قوى الإهتزاز التجريبية:

يمكن التعبير عن  $f_{mes}$  اعتماداً على معامل الإمتصاص  $\alpha(\lambda)$  في الطول الموجي  $\lambda$  عن طريق المعادلة:

$$f_{mes} = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 N} \int \frac{\alpha(\lambda) d\lambda}{\lambda^2} \quad (22.II)$$

$$f_{mes} = f_{ed}^{mes} + f_{md}^{mes} \quad (23.II)$$

وأيضاً:

$$f_{ed}^{mes}(J, J') = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 N} \int_{J \rightarrow J'} \frac{\alpha(\lambda) d\lambda}{\lambda^2} - f_{md}^{mes} \quad (24.II)$$

ويكون لدينا:

$$S_{ed}^{mes}(J, J') = \frac{9n}{(n^2+2)^2} \left[ \frac{3hc(2J+1)}{8\pi^3 e^2 N} \int_{J \rightarrow J'} \frac{\alpha(\lambda) d\lambda}{\lambda^2} - S_{md}^{mes} \right] \quad (25.II)$$

حيث:

•  $m_e$ : كتلة الإلكترون .

•  $c$ : سرعة الضوء .

•  $e$ : شحنة الإلكترون .

•  $N$ : التركيز الابتدائي

في هذا العمل إستندنا إلى نظرية جود-أوفلت باستعمال برنامج الماتلاب الذي يحسب قيم  $\Omega_k$ ، ومختلف المعايير الطيفية ، إحصائية الإنتقال الإشعاعي، فترة الحياة الإشعاعية، والمقاطع الفعالة.

### • جودة التعديل:

تقييم مدى صحة هذه الوسائط التي تعطى عبارتها بواسطة:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (f_{calc} - f_{mes})^2}{q-p}} \quad (26.II)$$

حيث  $q$  هو عدد العصابات الطيفية المحللة و  $p$  هو عدد مجهول في هذه الحالة  $p=3$

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

### • احتمالية الانتقالات الإشعاعية:

وسائط جود -أوفلت نحصل عليها بالمقارنة بين قوة الإهتزاز المقاسة  $f_{mes}$  و النظرية  $f_{calc}$  ، لحساب قوة الإنتقال بين الحالتين  $J$  و  $J'$  نستخدم المعادلة (21.II) و احتمالية الإنتقال الاشعاعي تعطى بالمعادلة :

$$A_{rad}(J,J') = \frac{64\pi^4}{3h(2J+1)\lambda^3} \left[ \frac{n(n^2+2)^2}{9} \right] S_{ed} \quad (27.II)$$

حيث  $\frac{n(n^2+2)^2}{9}$  هو تصحيح الحقل المحلي في الحالة الأساسية  $J$  والمثارة  $J'$  .

$n$  هي قرينة الإنكسار عند الطول الموجي للإنتقال و  $S_{ed}$  هي القوة الإنتقالية لثنائي القطب الكهربائي التي يعبر عنها بالمعادلة (21.II).

### • نسبة التفرع :

يمكن الحصول عليها من احتمالية الإنتقالات الإشعاعية  $A_{rad}$  وفق المعادلة التالية:

$$\beta = \frac{A_{rad}(J,J')}{\sum_{J'} A_{rad}(J,J')} \quad (28.II)$$

### • فترة الحياة الإشعاعية :

تعطى فترة الحياة الإشعاعية  $\tau_{rad}$  للمستوي  $J$  بالعلاقة التالية:

$$\tau_{rad}(J) = \frac{1}{\sum_{J'} A_{rad}(J,J')} \quad (29.II)$$

### • المقطع الفعال التكاملي للانبعاث :

يستعمل هذا المقدار بشكل خاص من أجل تحديد إمكانية حدوث مفعول الليزر في الزجاج ، ويعطى بالعلاقة :

$$\Sigma = \frac{\lambda^2}{8\pi c n^2} A_{rad}(J,J') \quad (30.II)$$

عندما تكون قيمة المقطع الفعال التكاملي للانبعاث قريبة أو أكبر من  $10^{-2}m$  هذا يعني إمكانية حدوث فعل الليزر [9].

### 10.11. الخلاصة :

يعد هذا الفصل تكملة لما سبق حيث تناول تأثير خصائص الزجاج المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة، ويستخدم هذا النوع من الزجاج المطعم في التضخيم الضوئي وكذا الليزري، حيث تصنف المنظومات الليزرية إلى منظومات ثلاثية و رباعية المستوى وهذا الأخيرة تتميز بسهولة الحصول على التوزيع العكوس باستعمال ضخ قليل. و في آخر الفصل مررنا بطيف الإمتصاص ونظرية جود - أوفلت التي تحدد الوسائط الطيفية .

في الفصل القادم سنقوم بمحاكاة طيف إمتصاص أيون الإربيوم المطعم في الزجاج ومقارنته بالطيف التجريبي.

### مراجع الفصل الثاني

[1] O. Bentouila, Etude de l'effet des terres rares dans les verres applications: lasers et amplificateurs optiques, mémoire de magister, Université de Ouargla, (2005).

[2] Mohamed El Jouad, Modélisation et Spectroscopie des Vitrocéramiques Fluorées dopés par des Ions de Terres Rares pour Application en Amplification dans l'infrarouge, thèse de doctorat. Angers, France, (2010).

[3] Moussa. O. cheibetta, Contribution à la théorie d'élargissement des raies Spectrales émises par les plasma : Application la raie Ly- $\alpha$  de l'atome.

[4] - د. مسعود بن حميد الليحاني، الليزر وتطبيقاتها، جامعة أم القرى.

[5] - بيلا آ. لينكيل، " الليزرات"، جامعة سان فرناندو، جامعة كاليفورنيا، ترجمة فاروق عبودي قيصر، كلية العلوم، دار الكتب للطباعة و النشر، جامعة الموصل 1403 هـ - 1984 م

[6] Jenny LE PERSON, Verre de sulfures: spectroscopie des ions de terres-rares fibres microstructurées et nouvelles composition, thèse de doctorat, université de Rennes 1, (2004).

[7] Yoann Jestin, Verres fluorés à base de fluorindates et fluorogallates pour l'implification optique : fibre à forte ouverture numérique, guides d'onde planaires et spectroscopie des ions de terre rare, thèses Doctorat, Université du Maine, (2002)

[8] - عبدالمجيد البلخي، "كتاب الجدول الدوري كيمياء المعادن الانتقالية كيمياء اللاعضوية"، الجزء الثالث، جامعة دمشق، 1993.

[9] P. R. Watekar, S. Ju, Won-Taek Han, Optical properties of Ho-doped alumino-germano-silica glass optical fiber, Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 354, pp 1453–1459, (2008).

# الفصل الثالث

محاكاة طيف امتصاص أيون الاربيوم  
المطعم في الزجاج

## الفصل الثالث: محاكاة طيف إمتصاص أيون الأربيوم المطعم في الزجاج

### 1.1.1. مقدمة:

نقوم في هذا الفصل بمحاولة نمذجة طيف امتصاص أيون الإربيوم في زجاج هالوجينوفوسفاتي، معتمدين في ذلك على بعض دوال التعريض الطيفي المعروفة، وسنقوم بمقارنة نتائج المحاكاة مع النتائج التجريبية لمعرفة مدى التطابق بين هذه التعريضات النظرية والطيف الحقيقي.

### 2.1.1. تركيب الزجاج:

الزجاج الذي تمت عليه الدراسة هو زجاج هالوجينو-فوسفاتي مطعم بأيون الأربيوم  $Er^{+3}$  بنسبة قدرها 2% أي بتركيز قيمته  $N_0=2.91 \times 10^{20}$  atom/cm<sup>3</sup> ، وقرينة إنكساره  $n=1.523$  وكثافة حجمية  $2.8653$  g.cm<sup>3</sup> ودرجة حرارة انتقاله الزجاجي  $T_g \sim 295c$ ، أما سمك العينة المدروسة من هذا الزجاج فهو  $0.5$  cm. الجدول (1.1.1) يوضح الكتل المولية والنسب المئوية لمركب الزجاج المدروس.

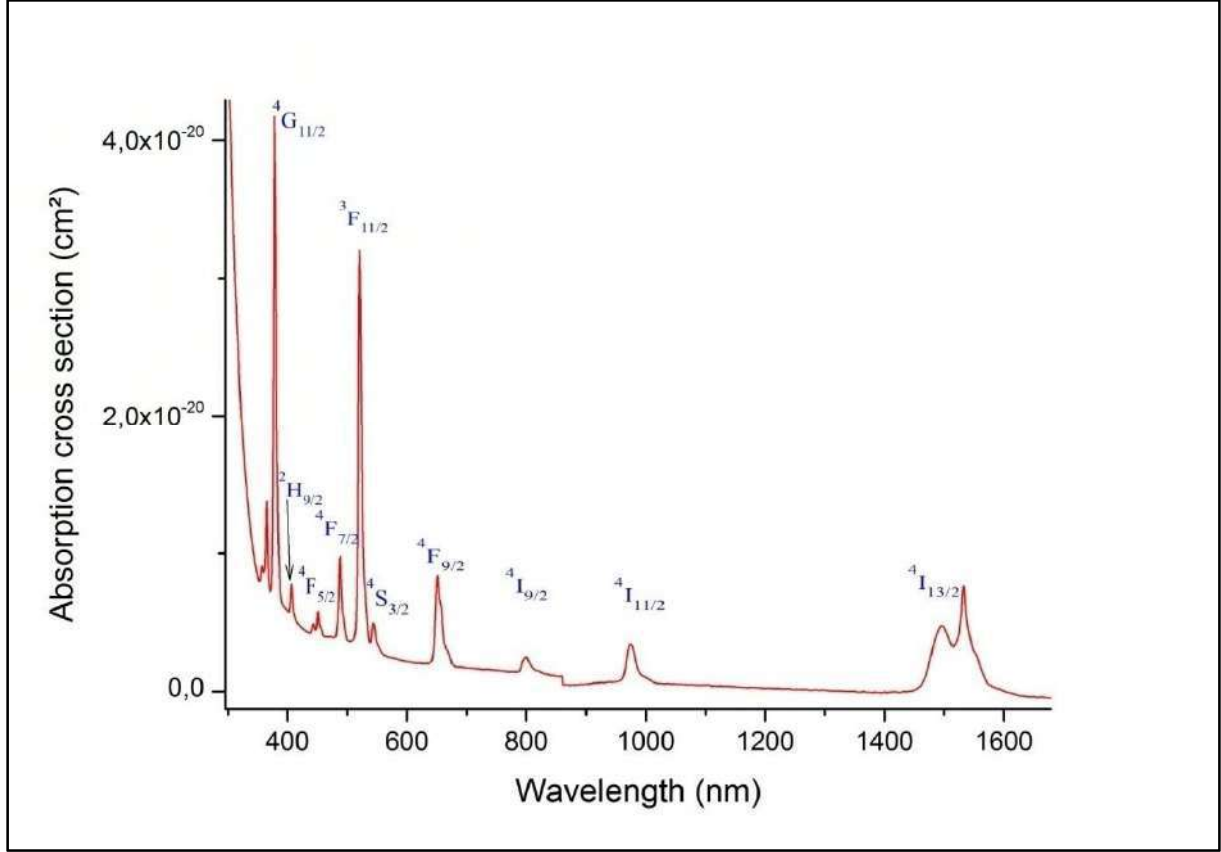
### الجدول (1.1.1): الكتل المولية و النسبة المئوية للزجاج $90NaPO_3-8PbCl_2-2ErF_3$

المركب	$NaPO_3$	$PbCl_2$	$ErF_3$	$90NaPO_3-8PbCl_2-2ErF_3$
الكتلة المولية (g/cm <sup>3</sup> )	101.94	278.1	224.22	122.0018
المعامل المولي (%100)	90	8	2	100

### 3.1.1. طيف الامتصاص :

طيف الامتصاص لأيون الأربيوم  $Er^{+3}$  سجل عند درجة حرارة الغرفة بواسطة مطياف مزدوج الحزمة، (Spectrophotométre UV-Vis Near IR CARY 5G brand) الذي يشتغل ما بين 200-3000 نانومتر، المنحى المسجل يعطي تغير الكثافة الضوئية (DO)، بدلالة الطول الموجي في مجال طيفي واسع انطلاقا من UV (200nm) وصولا الى ما تحت الحمراء القريبة IR-proche (3000 nm) وبدقة طيفية قدرها 2nm.





الشكل (1. III): طيف الامتصاص للزجاج المدروس

من خلال الشكل الذي يوضح طيف الإمتصاص لـ:  $Er^{+3}$ ، نميز عشرة عصابات امتصاص موضحة في الجدول (2. III)

### 4. III. قوى الاهتزاز:

تعرف قوى الاهتزاز  $f_{mes}$  بالعلاقة التالية:

$$f_{mes} = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 N} \int \frac{\alpha(\lambda) d\lambda}{\lambda^2} \quad (1. III)$$

ويمكن أيضا التعبير عنها بدلالة التواترات كالتالي:

$$f_{mes} = \frac{m_e c}{\pi e^2 N} \int \alpha(\nu) d\nu \quad (2. III)$$

## الفصل الثالث: محاكاة طيف إمتصاص أيون الأربيوم المطعم في الزجاج

قوى الاهتزاز لها أهمية كبيرة في معرفة تكامل كل عصابة من عصابات الامتصاص (المساحة A) .

الجدول (2.III): الأطوال الموجية والتردد وقوى الإهتزاز للانتقالات العشر لأيون الأربيوم في الزجاج



الانتقال	الطول الموجي $\lambda$ (nm)	التردد $\nu$ ( $\times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ )	$f_{\text{mes}} (\times 10^{-6})$
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	1533	1.9569	2.17
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	975	3.0779	1.26
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	801	3.7474	0.43
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$	651	4.6051	4.30
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4S_{3/2}$	544	5.5108	0.71
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^3H_{11/2}$	520	5.7652	16.58
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{7/2}$	488	6.1432	3.57
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{5/2}$	451	6.6472	1.05
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^2H_{9/2}$	406	7.3840	1.15
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4G_{11/2}$	378	7.9310	27.50

### 5.III. المساحة A :

إن المساحة A الواقعة تحت المنحنى تلعب دوراً مهماً في رسم طيف إمتصاص كل عصابة من عصابات الامتصاص لأيون الأربيوم  $Er^{+3}$ ، حيث يتم استنتاجها من عبارة قوى الاهتزاز و تعطى، بدلالة الأطوال الموجية و التواترات على الترتيب، كالتالي:

$$A(\lambda) = \int \alpha(\lambda) d\lambda = \frac{f_{mes} \pi e^2 N}{\lambda^2 m_e c^2} \quad (3.III)$$

$$A(\nu) = \int \alpha(\nu) d\nu = \frac{f_{mes} \pi e^2 N}{m_e c} \quad (4.III)$$

### 7.III. خطوات المحاكاة :

قبل أن نشرع في محاكاة طيف إمتصاص أيون الأربيوم، سيكون من المفيد أن نلخص نتائج عمليات اتساع خطوط الطيف. حيث لاحظنا أنه من الممكن أن يكون لها شكل غاوسي Gaussian (5.III) أو أن يكون لها شكل لورنتزي Lorentzian (6.III) أو شكل مختلط voigt (7.III).

$$g(\nu - \nu_0)_g = \frac{2A}{\gamma_0} \left( \frac{\ln 2}{\gamma_0} \right)^{1/2} \exp \left[ - \left( \frac{\nu - \nu_0}{\gamma_0/2} \right)^2 \ln 2 \right] \quad (5.III)$$

$$g(\nu - \nu_0)_L = \frac{2A}{\pi} \frac{\gamma}{4(\nu - \nu_0)^2 + (\gamma_0)^2} \quad (6.III)$$

$$g(\nu - \nu_0)_v = f \cdot g(\nu - \nu_0)_L + (1 - f) \cdot g(\nu - \nu_0)_g \quad (7.III)$$

حيث:

A: مساحة العصابة،  $\nu_0$ : التواتر المركزي عند قمة العصابة،  $\gamma_0$  العرض عند منتصف القمة (FWHM)، f: المساهمة اللورنتزية

عندما يكون العرض ليس منتظماً على كل العصابة، فإنه ينشأ منحنى غير متناظر، لذلك نلجأ إلى تقريب يعتمد على تعويض  $\gamma_0$  في المعادلات (5.III)، (6.III)، (7.III) بدالة ملائمة  $\gamma(\nu)$  لإحداث عدم التناظر، مع مراعاة أنه في حالة التناظر

الحددي، فإن المنحنى يمكن أن يؤول إلى غاوسي أو لورنتزي، ونحصل على أفضل تعريض عندما [1]:

## الفصل الثالث: محاكاة طيف إمتصاص أيون الاربيوم المطعم في الزجاج

$$\gamma(v) = \frac{2\gamma_0}{1+\exp[\alpha(v-v_0)]} \quad (8.III)$$

الوسيط  $\alpha$  هو قياس لعدم التناظر.

- القيم السالبة ل  $\alpha$  تنقل الطيف إلى القيم العالية للتردد، في حين القيم الموجبة تنقله إلى القيم المنخفضة.
- عندما يساوي  $\alpha$  صفراً، فإن المعادلة (8.III) تختصر إلى  $\gamma_0$  و العصابة الناتجة لها تناظر قياسي غاوصي أو لورنتزي الشكل مع  $\gamma_0 = \text{FWHM}$  ثابتة.

الطيف UV-Vis الحقيقي، المتكون من  $n$  عصابة فردية، يمكن أن يمثَّل على أنه تراكب هذه العصابات [2]:

$$A(x) = \sum_{j=1}^n F(x, \vec{P}_j) + A_{bl}(x) + e(x) \quad (9.III)$$

$x$ : العدد الموجي ( $\bar{\nu} \text{Cm}^{-1}$ ) أو الطول الموجي ( $\lambda \text{ nm}$ ).

$F$ : شكل الدالة الواصف للعصابة الفردية.

$\vec{P}_j$ : شعاع يحتوي على الوسائط الأساسية ( $\gamma_0 A_{\max}, x_{\max}$ ) للعصابة رقم  $j$ .

$A_{bl}$ : خط الأساس (baseline).

$e$ : الضوضاء (Noise).

المنحنى المتحصل عليه من المحاكاة يعطى بالعلاقة:

$$A^{\wedge}(x_j) = \sum_{j=1}^n F(x_j, \vec{P}_j) \quad (10.III)$$

لمعرفة مدى مطابقة الطيف المتحصل عليه من المحاكاة مع الطيف الحقيقي، فإننا نستعمل طريقة التريعات الصغرى

(least-squares)، حيث تُستهدف القيمة الصغرى للفرق بين الطيف الحقيقي والطيف المحاكى:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^m s_i^l}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m (A(x_i) - A^{\wedge}(x_i))^2}{m} \quad (11.III)$$

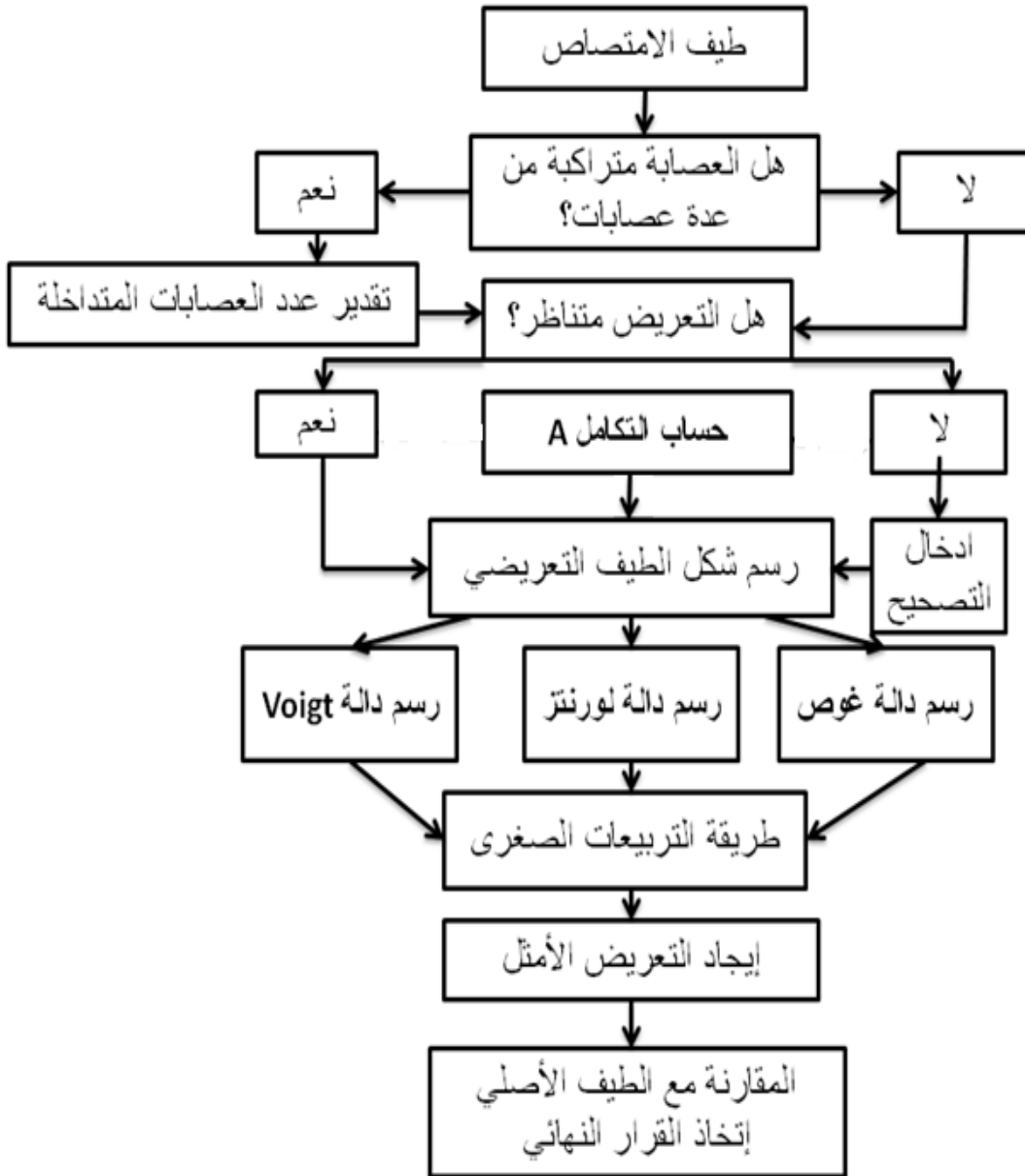
## الفصل الثالث: محاكاة طيف إمتصاص أيون الاربيوم المطعم في الزجاج

خطوات المحاكاة موضحة بالمخطط في الشكل (2. III).

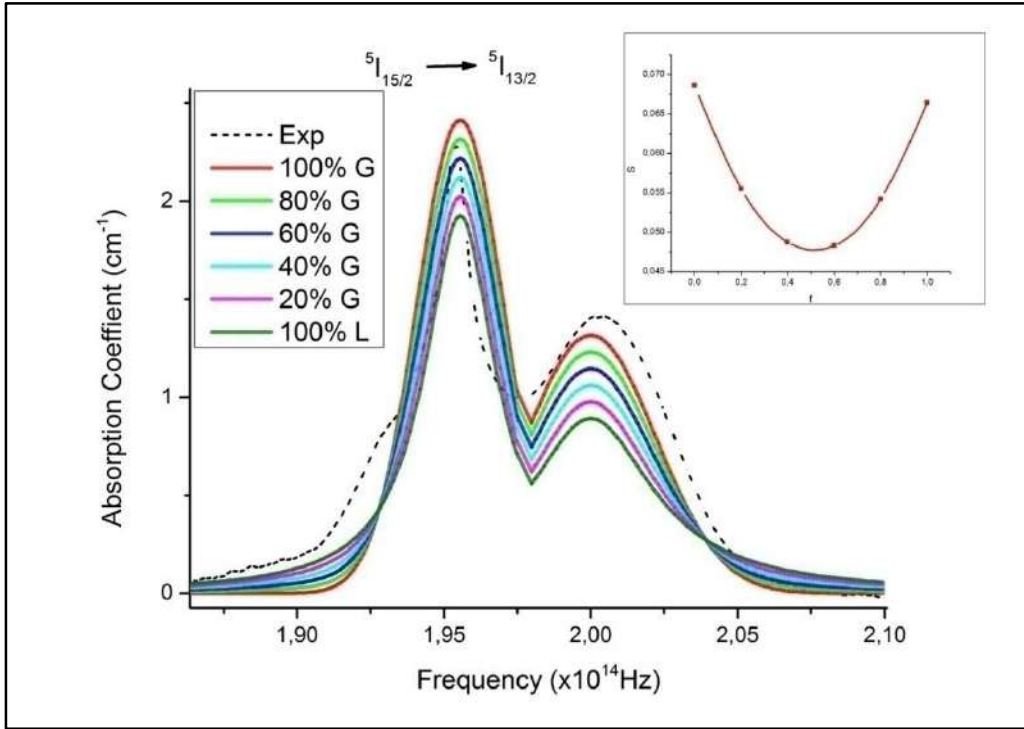
كما توضح الأشكال من (3. III) إلى غاية (12. III) النتائج المتحصّل عليها بواسطة المحاكاة لكل عصابة من

العصابات العشر محلّ الدراسة، وكذا مقارنتها مع عصابة الطيف التجريبي الموافق لها مع منحنى تغيير  $S$  بدلالة المساهمة اللورنتزية  $f$

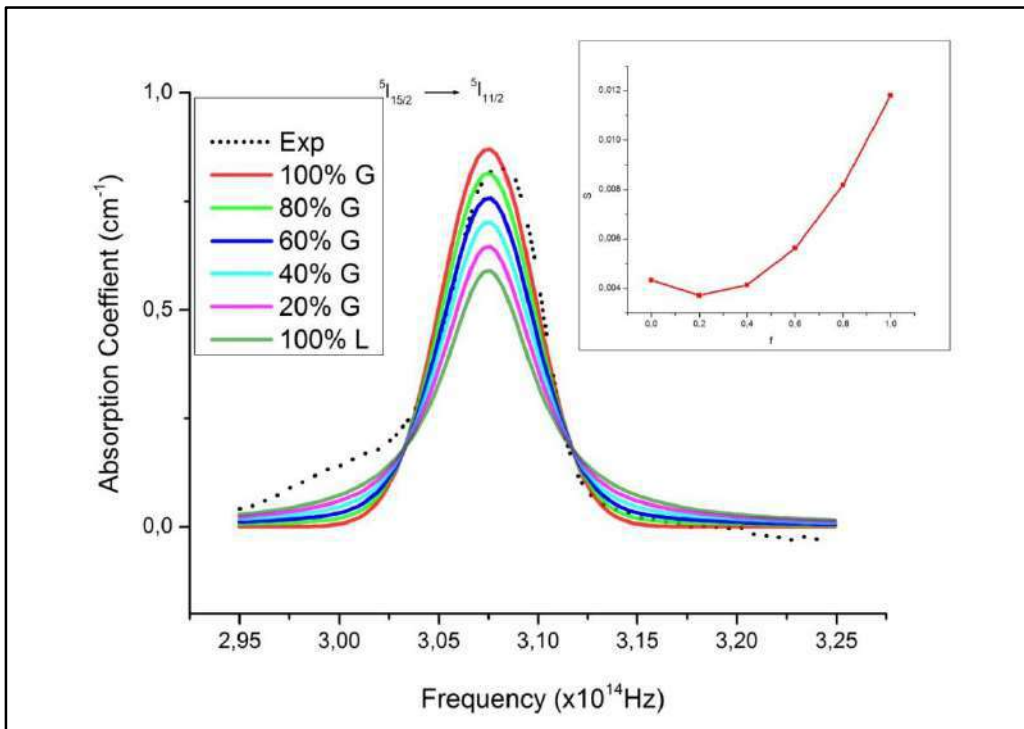
في المنحنى .



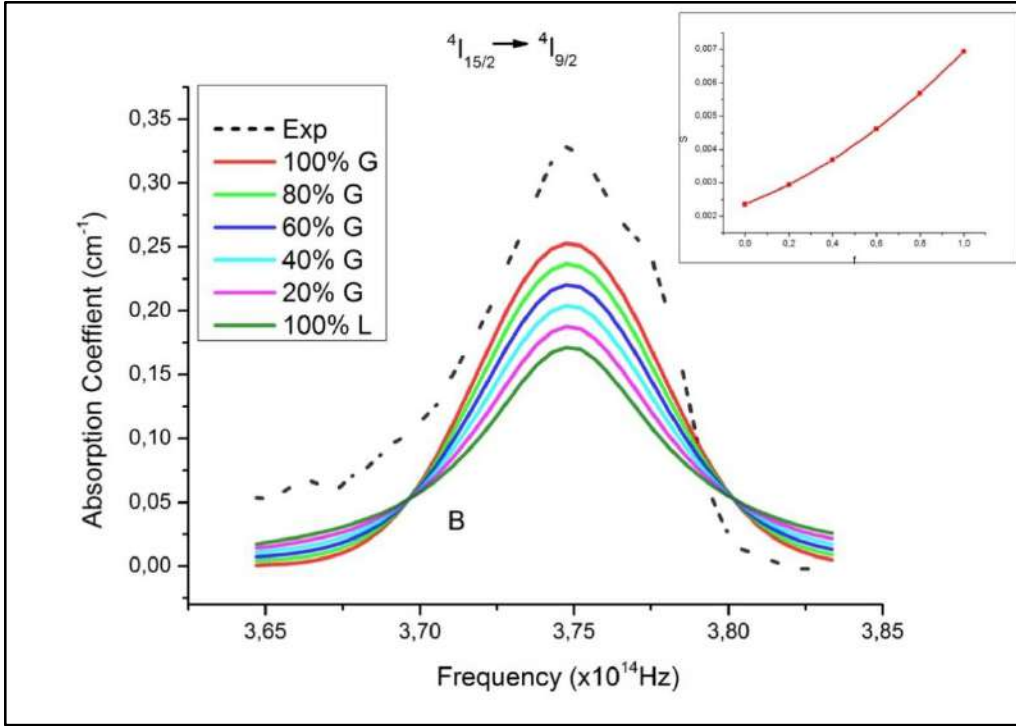
الشكل (2.III) : خطوات المحاكاة.



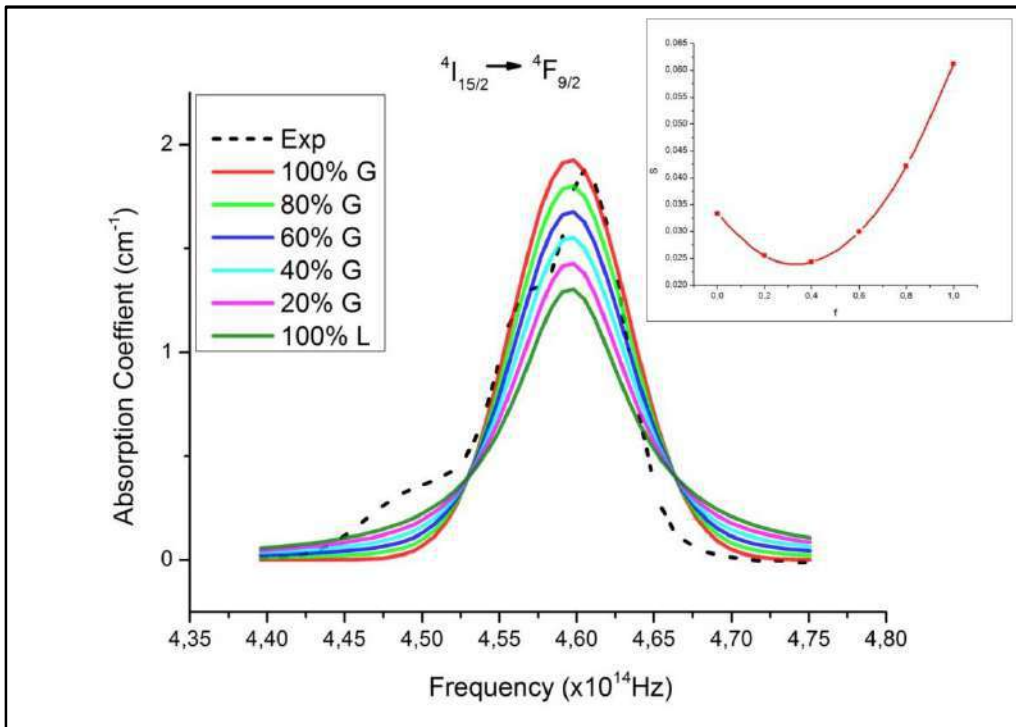
الشكل (3.111): عصابة الانتقال  $5I_{15/2} \rightarrow 5I_{13/2}$



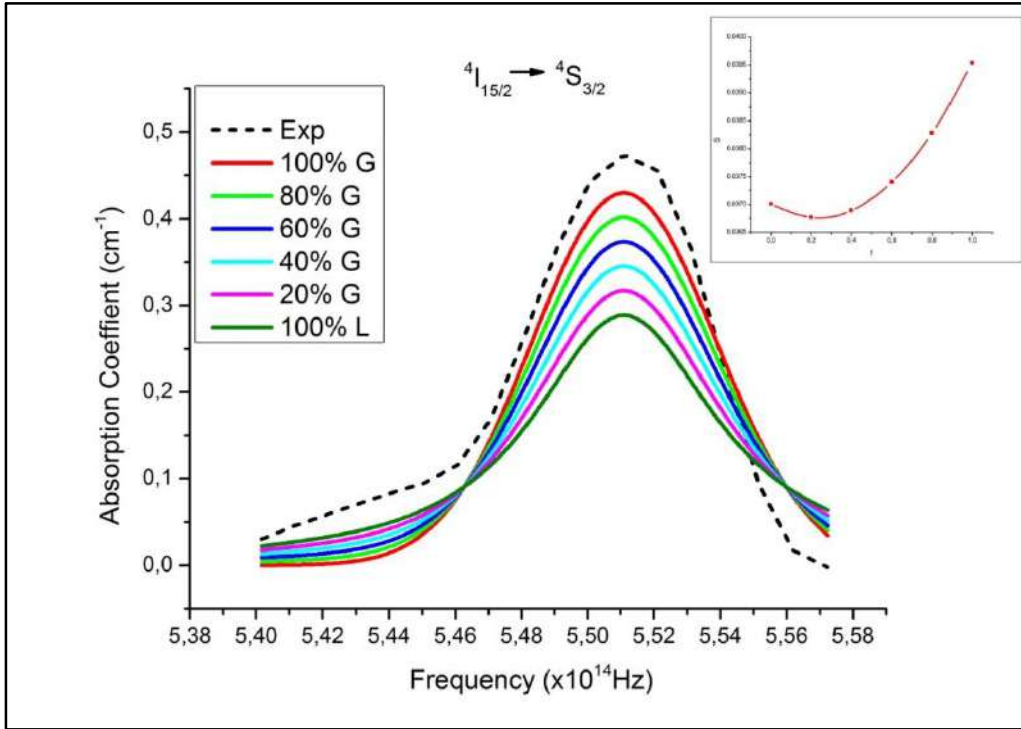
الشكل (4.111): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4I_{11/2}$



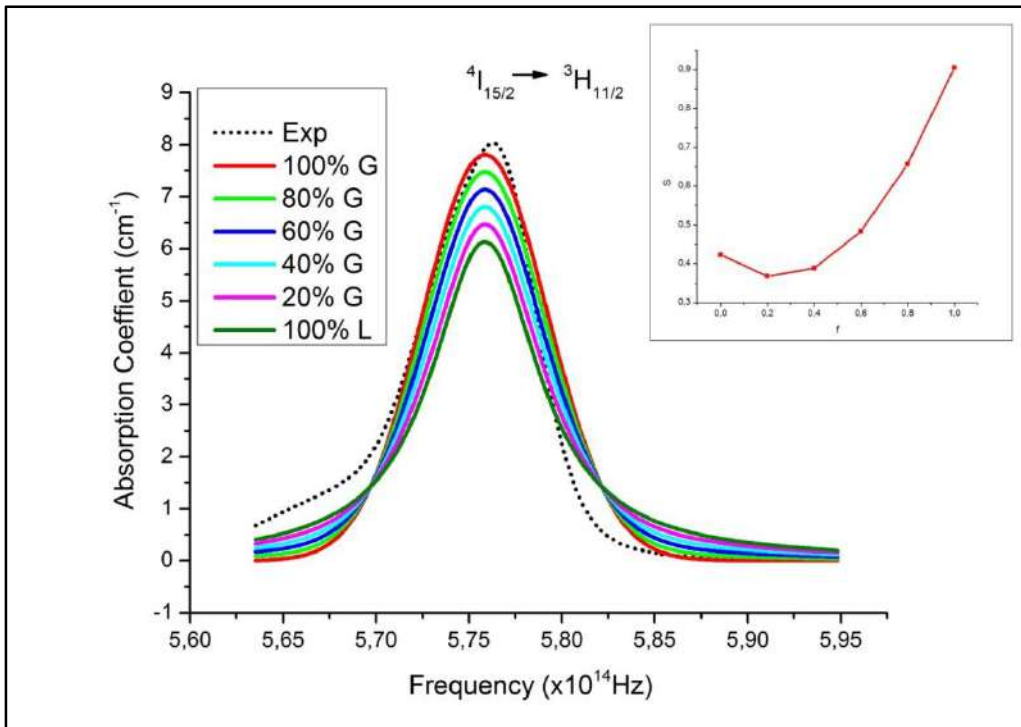
الشكل (5.III): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4I_{9/2}$



الشكل (6.III): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4F_{9/2}$

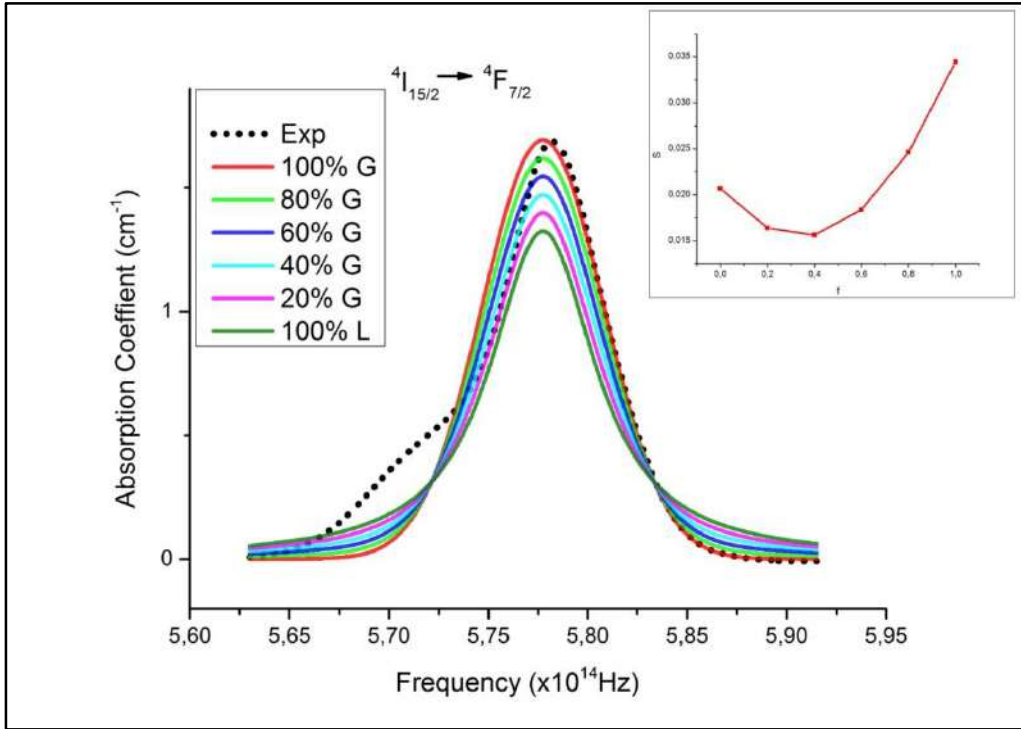


الشكل (7.III): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4S_{3/2}$

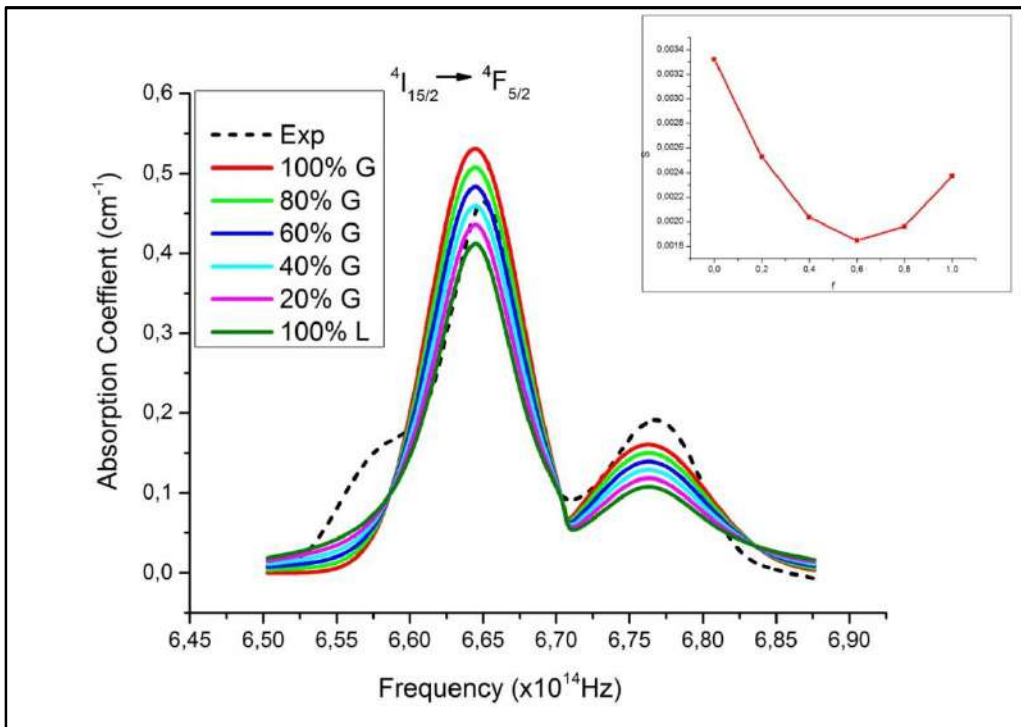


الشكل (8.III): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 3H_{11/2}$

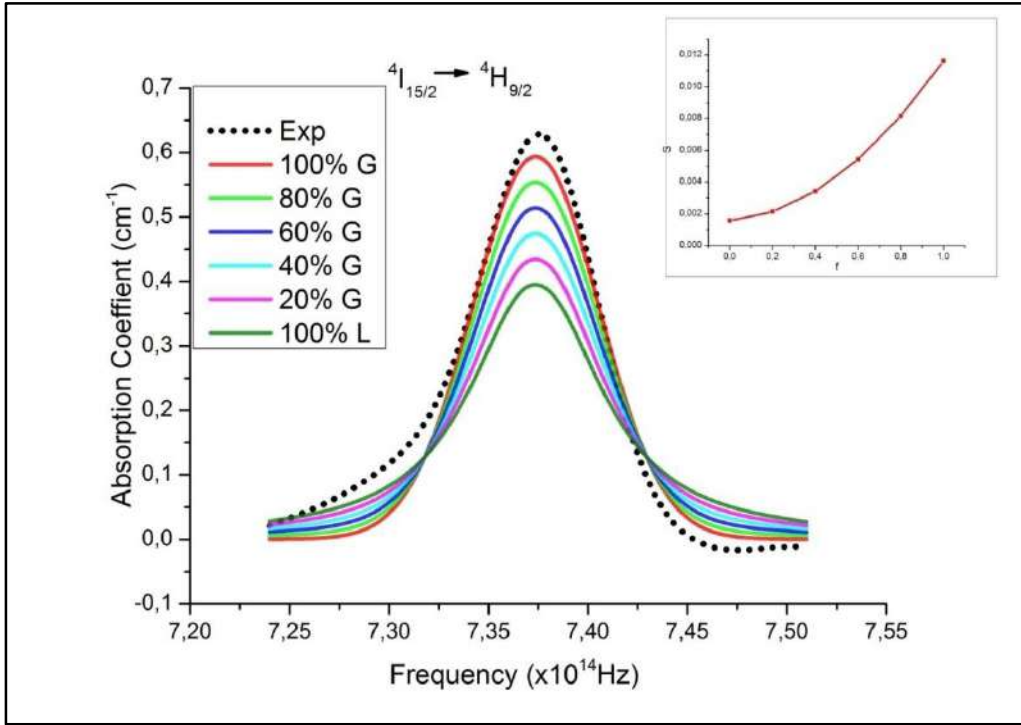




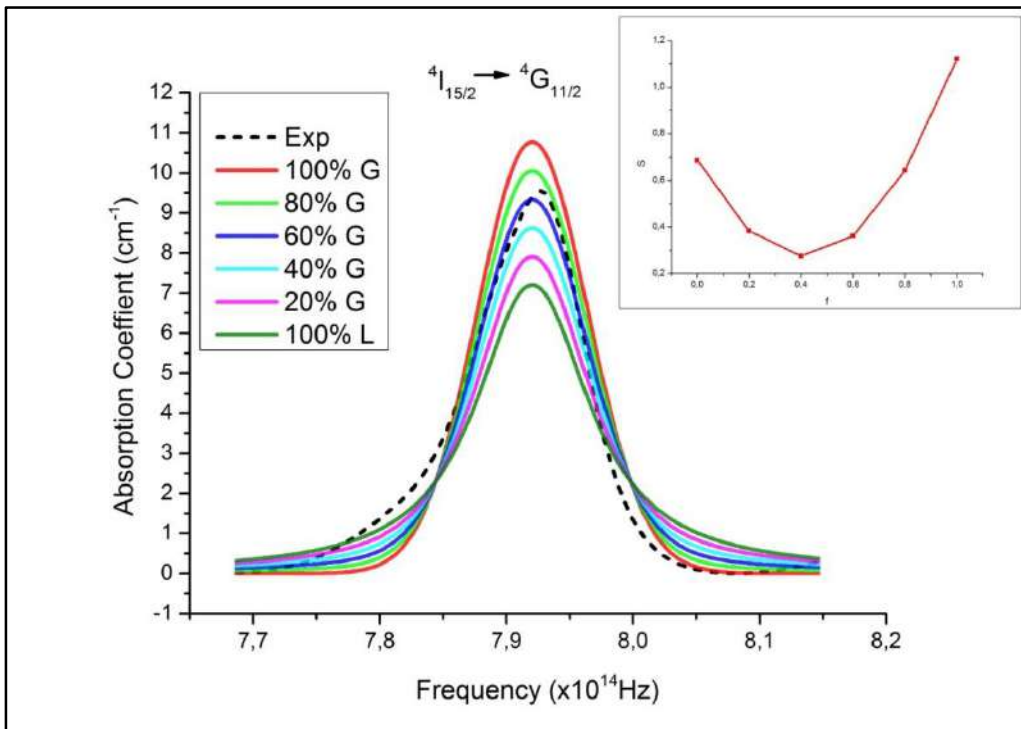
الشكل (9.III): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4F_{7/2}$



الشكل (10.III): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4F_{5/2}$



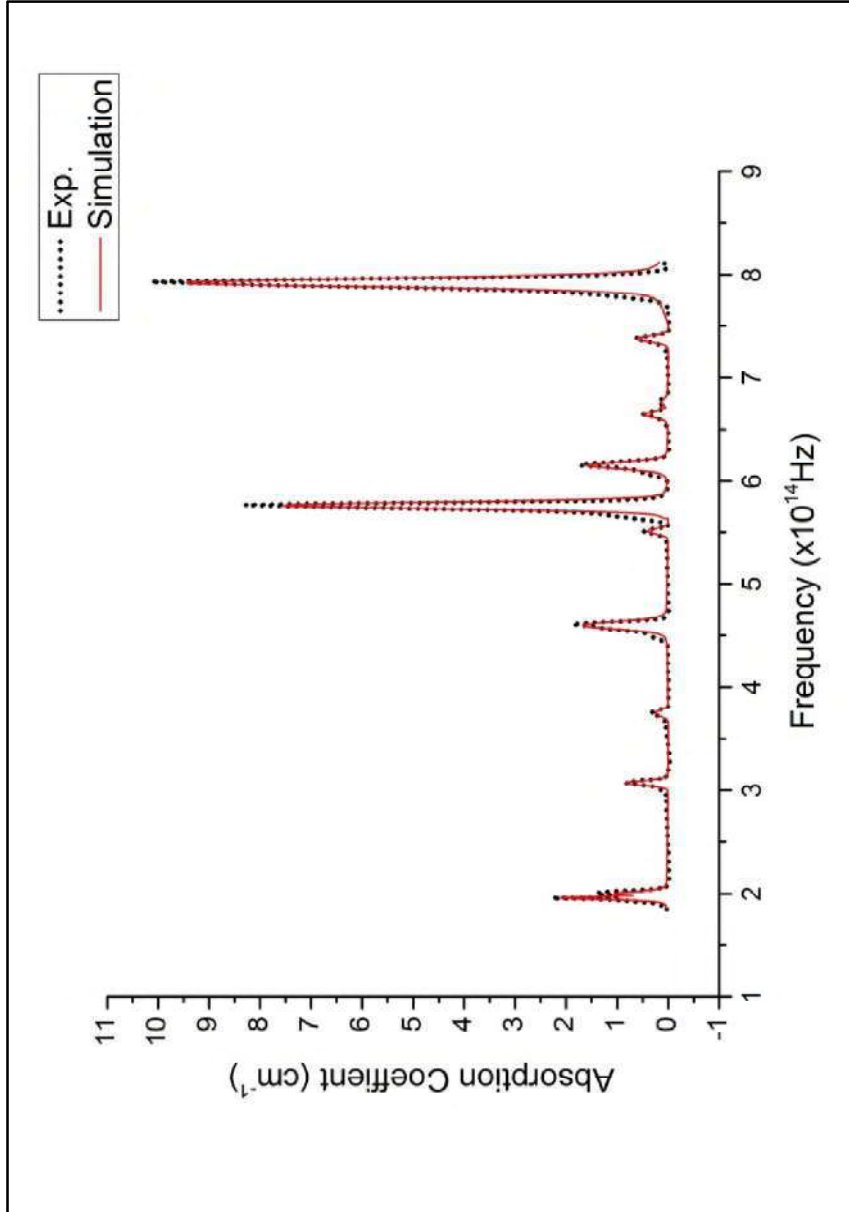
الشكل (11.111): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4H_{9/2}$



الشكل (12.111): عصابة الانتقال  $4I_{15/2} \rightarrow 4G_{11/2}$

## الفصل الثالث: محاكاة طيف إمتصاص أيون الاربيوم المطعم في الزجاج

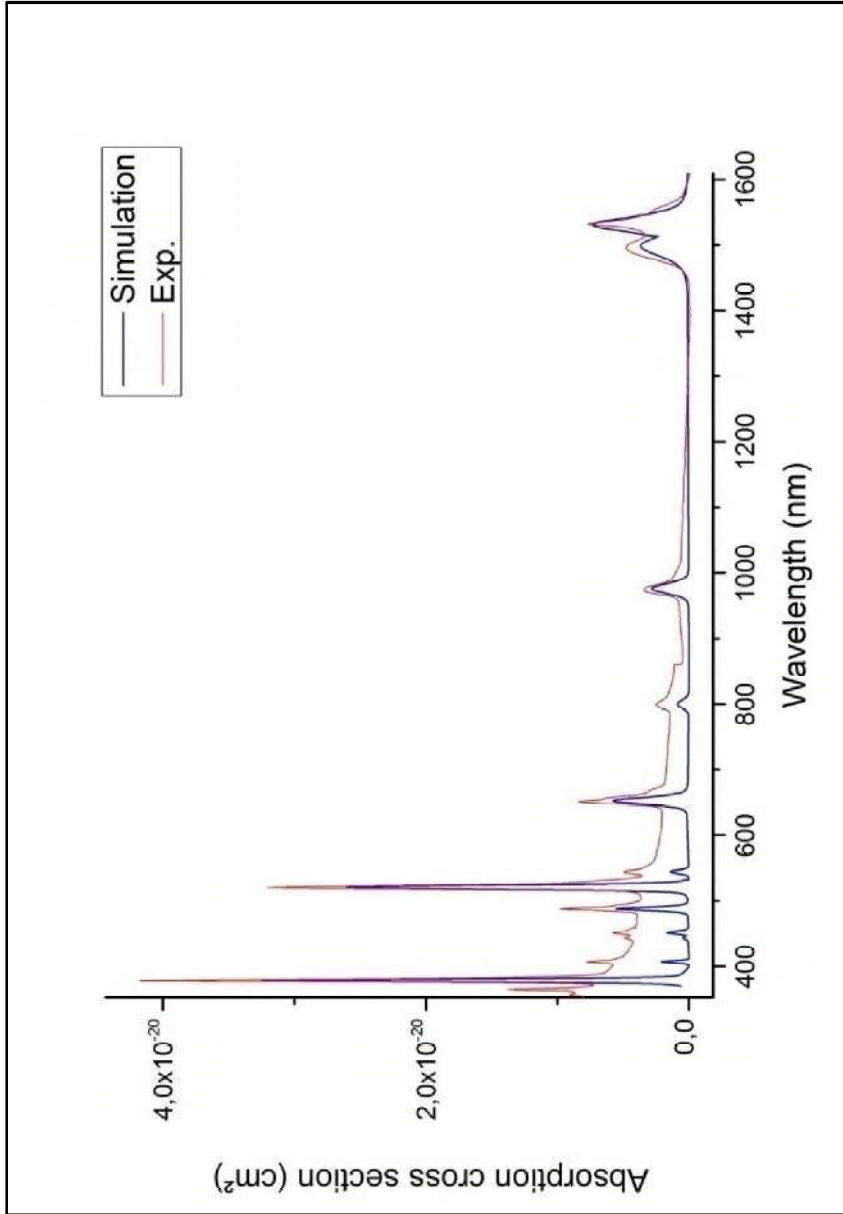
بعد إيجاد التعريض الأمثل لكل عصابة، قمنا بتشكيل الطيف الإجمالي بدلالة التواتر ومقارنته مع الطيف الإجمالي الحقيقي وقمنا بتمثيله في الشكل (13.III).



الشكل (13.III): الطيف الإجمالي المحاكى مع الطيف الإجمالي التجريبي بدلالة التواتر.

## الفصل الثالث: محاكاة طيف إمتصاص أيون الاربيوم المطعم في الزجاج

كما قمنا باستخدام الطيف المتحصّل عليه لإيجاد طيف المقطع الفعّال للإمتصاص بدلالة الطول الموجي ومقارنته مع الطيف الأصلي (بدون حذف خط الأساس).



الشكل (14.III): الطيف الإجمالي المحاكى مع الطيف الإجمالي التجريبي بدلالة الطول الموجي.

### 8.III. مناقشة النتائج:

الهدف من عملية المحاكاة بالحاسوب هو إنشاءُ صُطنع لطيف الامتصاص (المعادلة (10.III) ) بطريقة تسمح بالوصول إلى تقريب أمثل بدلالة القيمة الصغرى ل  $S$  ( المعادلة (11.III)).

مقارنة الأطياف التجريبية مع منحى النموذج النظري يتطلب تحليل مساهمات المستويات الطاقوية وكذلك منحى الخلفية أو خط الأساس (baseline). كما يجب الأخذ بعين الاعتبار جميع عمليات الإثارة الممكنة في العينة والضوضاء الناتجة عن الجهاز أو عن تشتت الضوء على سطح العينة بالإضافة إلى تلك الناتجة عن المصدر الضوئي في المطياف. في معظم الحالات ، يمكن وصف هذه الدوال الطيفية بواسطة مجموعة من العصابات عادة ما يتم إعطاء شكلها من خلال المساهمة اللورنتزية بسبب العمر المحدود للحالة المثارة والتوسيع الغاوصي في الغالب بسبب دقة قياس المحلل. كما قد تكون المساهمات الغاوصية مرتبطة أيضاً بالتوسع الحراري، وبالتجانس الكيميائي والبنوي والإلكتروني في المحيط الذي.

نتائج المحاكاة التي تحصلنا عليها تُبين أن المساهمة الغاوصية هي الغالبة على كل العصابات المدروسة. الجدول (4.III) يوضح نسبة المساهمة الغاوصية في كل عصابة. كما نلاحظ أنه كلما زادت شدة العصابة ، زاد الخطأ وقلّت المساهمة الغاوصية، بالإضافة إلى أن العصابة المتشكّلة من أكثر من قمة (العصابة 1 والعصابة 8) تمتلكان أقل مساهمة غاوصية ونسبة خطأ أعلى.

بعد انتقاء التعريض النظري الأمثل، قمنا باستنساخ الطيف الكلي وذلك بتجميع العصابات المحسوبة نظريا ومقارنتها مع الطيف التجريبي، وأكد التطابق مقبولاً في حدود التقريبات المأخوذة، كما تمكّننا من إنشاء طيف المقطع الفعّال للإمتصاص بدلالة الطول الموجي و قمنا بمقارنته مع الطيف الأصلي بدون حذف خط الأساس، وذلك لرؤية مدى تأثير خط الأساس وكذا الضوضاء على طيف الإمتصاص. هذا يمكننا من ملاحظة، ولو بصورة تقريبية، مقدار مساهمة هذين العاملين.

## الفصل الثالث: محاكاة طيف إمتصاص أيون الأربيوم المطعم في الزجاج

الجدول(4.III): نسبة المساهمة الغاوصية في كل عصابة.

رقم العصابة	الانتقالات	التعريض الأمثل في حدود دراستنا الحالية
1	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	40% غاوصي
2	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	80% غاوصي
3	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	100% غاوصي
4	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$	60% غاوصي
5	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4S_{3/2}$	80% غاوصي
6	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^3H_{11/2}$	80% غاوصي
7	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	60% غاوصي
8	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{5/2}$	40% غاوصي
9	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4H_{15/2}$	100% غاوصي
10	${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4G_{15/2}$	60% غاوصي

### 9.III الخلاصة:

قمنا خلال هذا الفصل بمحاكاة طيف الإمتصاص لأيون الإربيوم في زجاج هالوجينوفوسفاتي. نستنتج من خلال النتائج أن معظم الانتقالات تميل إلى أن تكون ذات شكل غاوصي، بدلا من شكل لورنتزي، وأن ما توصلنا له بعد المناقشة للانتقالات العشر لأيون الأربيوم لا ينفي النتائج المتحصل عليها بل يجعل الأخذ بما مبدئيا أمرا ممكنا، بالإضافة إلى بعض التحسينات، أو الأخذ بدوال أخرى أكثر توافقا مع النتائج التجريبية، كما لا ننسى أن لظروف التجربة تأثيراً نسبياً.

مراجع الفصل الثالث

[1] A.L. Stancik, E.B. Brauns, A simple asymmetric lineshape for fitting infrared absorption spectra, *Vibrational Spectroscopy* 47 (2008) 66–69

[2] L. Antonov, D. Nedeltcheva, Resolution of overlapping UV–Vis absorption bands and quantitative analysis, *Chem. Soc. Rev.*, 2000, 29, 217–227

الخلاصة العامة



## الخلاصة العامة

كان الهدف من هذه الدراسة هو محاكاة طيف الامتصاص لأيون الأرييوم في الزجاج ومقارنته بالطيف التجريبي. وللوصول إلى هذا الهدف، قمنا في البداية بإعطاء المفاهيم الأساسية لمطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة، ورأينا أن التركيب الإلكتروني لذرات العناصر الترابية النادرة يلعب دوراً مهماً في إبراز بعض الصفات الكيميائية و الفيزيائية لها ، كما رأينا أنه عند التفاعل مع الإشعاع الكهرومغناطيسي ، فإن الظواهر ممكنة الحدوث هي الإمتصاص و الإنبعاث التلقائي و الإنبعاث المحرض، كما أنّ هناك تفاعلات أخرى غير إشعاعية ممكنة الحدوث أيضاً ومن شأنها أن تنقص من فترة حياة المستويات الطاقوية.

ثم تناولنا بشيء من الشرح بعض أنواع الاتساع الطيفي كالإتساع الطبيعي وإتساع دوبلر والإتساع الناتج عن التصادمات، حيث قمنا بدراسة موجزة للفعاليات المختلفة التي تؤدي إلى توسيع الخطوط الطيفية مما يجعل الحديث عن هذه الأسباب ونتائجها شيئاً ضرورياً. بعد هذا عاجلنا موضوع تأثير خصائص الزجاج المطعم على أيونات العناصر الترابية النادرة، هذا النوع من الزجاج يستخدم في تطبيقات الليزر والتضخيم الضوئي.

وأخيراً قمنا بمحاكاة طيف إمتصاص أيون الأرييوم المطعم في الزجاج، حيث قمنا بإعادة إنشاء عصابات الإمتصاص العشر لأيون الإيرييوم في هذا الزجاج مستخدمين دوال تعريض مختلفة، وكان من نتائج هذه المحاكاة أن المساهمة الغاوسية هي الغالبة على كل العصابات المدروسة. كما لاحظنا أنه كلما زادت شدة العصابة ، زاد الخطأ وقلّت المساهمة الغاوسية، بالإضافة إلى أنّ العصابة المتشكّلة من أكثر من قمة تمتلكان أقل مساهمة غاوسية ونسبة خطأ أعلى. التتابق بين الطيف الناتج عن محاكاتها والطيف التجريبي كان مقبولاً في حدود التقريبات المأخوذة.

## الملخص

هدف هذه الدراسة هو محاكاة طيف الامتصاص لأيون الارييوم في الزجاج ومقارنته بالطيف التجريبي. قمنا في البداية بعرض المفاهيم الأساسية لمطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة، وأسباب الاتساع الطيفي، وتأثير خصائص الزجاج على أيونات العناصر الترابية النادرة، بعدها قمنا بمحاكاة طيف إمتصاص أيون الارييوم المطعم في الزجاج، حيث قمنا بإعادة إنشاء عصابات الإمتصاص العشر لأيون الإيريوم في هذا الزجاج مستخدمين دوال تعريض مختلفة، وكان من نتائج هذه المحاكاة أن المساهمة الغاوصية هي الغالبة على كل العصابات المدروسة. التطابق بين الطيف الناتج عن محاكاتنا والطيف التجريبي كان مقبولاً في حدود التقريبات المأخوذة.

الكلمات المفتاحية: الإيريوم، الزجاج، طيف الإمتصاص، المحاكاة العددية

## Résumé

L'objectif de cette étude est de simuler les spectres d'absorption de l'ion Erbium dans le verre et de le comparer avec le spectre expérimental. Nous avons d'abord présenté les concepts de base de la spectroscopie des ions terre rares, les raisons de l'élargissement du spectre, et l'effet des propriétés de verre sur les ions des ions rares, nous avons simulé un spectre d'absorption de l'ion erbium dans le verre, où nous recréons les dix bandes d'absorption de l'ion Erbium utilisant des différentes fonctions d'élargissement, les résultats de cette simulation indiquent que la contribution gaussienne prédomine sur toutes les bandes étudiées. Nous avons également constaté que plus l'amplitude de la bande augmente, plus l'erreur augmente et la contribution gaussienne diminue. La compatibilité résultant de nos simulations et du spectre expérimental était acceptable dans les approximations prises.

**Mots Clés :** Erbium, Verres, Spectre d'absorption, Simulation numérique

## Abstract

The objective of this study is to simulate the absorption spectra of the Erbium ion in glass and to compare it with the experimental spectrum. We first introduced the basic concepts of rare earth ion spectroscopy, the reasons for spectrum broadening, and the effect of glass properties on rare ion ions, we simulated an absorption spectrum. of the erbium ion in the glass, where we recreate the ten absorption bands of the Erbium ion using different broadening functions, the results of this simulation indicate that the Gaussian contribution predominates over all the bands studied. We also found that as the amplitude of the band increases, the error increases and the Gaussian contribution decreases. Compatibility resulting from our simulations and the experimental spectrum was acceptable in the approximations taken.

Keywords: Erbium, Glass, Absorption Spectra, Numerical Simulation