

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



رقم الترتيب:.....

رقم التسلسل:.....

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء إشعاعات

من إعداد: ليله الحسن

الموضوع:

نظرية الجود-أوفيلت وتطبيقاتها على زجاج الانتيموان المطعم بأيونات الأرييوم

نوقشت يوم: 2022/06/15

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

جامعة الوادي	رئيسا	أستاذ محاضر - أ -	بقاص عز الدين
جامعة الوادي	مناقشا	أستاذ محاضر - ب -	الارقط حنان
جامعة الوادي	مؤطرا	أستاذ محاضر - ب -	تيوة بلخير

الموسم الجامعي: 2022/2021

القرآن مناشيد

إلى من وضع المولى سبحانه وتعالى الجنة تحت قدميها ووقرها في كتابه العزيز

"أمي الحبيبة" أطل الله في عمرها ورزقها الصحة والعافية.

إلى خالد الذكر الذي وافته المنية وكان خير مثال لرب الأسرة، والذي لم يتهاون يوما

في توفير سبل الخير والسعادة لي "أبي الموقر" رحمه الله وجعله من أهل الجنة.

إلى إخوتي وأخواتي، من كان لهم بالغ الأثر في تخطي الكثير من

العقبات والصعوبات، ومعارفي وأصدقائي الذين أحبهم وأحترمهم.

أهدي لكم هذا العمل

❁ ليله الحسن ❁



بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله نحمده حمدا كثيرا طيبا مبارك فيه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا وحبیبنا

محمد صلی الله علیه وسلم وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

إن الاعتراف بالجميل ما هو إلا جزء يسير من رده، ولا يسعنا إلا أن أتقدم ببالح

الشكر والتقدير لأستاذي الفاضل "الدكتور **تيوه بلخير**"، الذي لطالما حرص على دقة

وجودة البحث العلمي وعلى مجهوداته الكبيرة الذي بذلها، والذي لم يبخل علينا

بتوجيهاته ونصائحه القيمة وما بذله من جهد ومتابعة طيلة مدة الإشراف، وأيضاً على

دعمه لنا بالنصح والتشجيع.

كما أتقد بالشكر والتقدير إلى أعضاء لجنة المناقشة على قبولهم مناقشة هذا العمل،

وإلى جميع الأساتذة في قسم الفيزياء الذين أشرفوا على تكويني وتعليمي طيلة مشواري

الجامعي.

وفي الأخير أتوجه بشكري لكل من مد لي يد العون في إنجاز هذا العمل.

فهرس المحتويات

الصفحة	المحتوى
i.....	إهداء.....
ii.....	شكر و عرفان.....
iii.....	فهرس المحتويات.....
vi.....	فهرس الأشكال.....
vii.....	فهرس الجداول.....
viii.....	فهرس الرموز.....
1.....	مقدمة عامة:.....
3.....	المراجع:.....

الفصل الأول: عموميات حول الأتربة النادرة

5.....	I. 1- المقدمة:.....
5.....	I. 2- لمحة تاريخية:.....
6.....	I. 3- العناصر الترابية النادرة:.....
8.....	I. 4- مطيافية أيونات عناصر الأتربة النادرة:.....
8.....	I. 4-1- التوزيع الإلكتروني لعناصر الأتربة النادرة RE ولأيوناتها RE ³⁺ :.....
9.....	I. 4-2- الأعداد الكمية:.....
9.....	I. 4-3- الرموز الطيفية:.....
11.....	I. 4-4- الرموز الطيفية لعناصر الأتربة النادرة:.....
12.....	I. 4-5- مستويات الطاقة لعناصر الأتربة النادرة:.....
14.....	I. 4-6- قواعد الانتقاء:.....
15.....	I. 5- تفاعل أيونات الأتربة النادرة مع الإشعاع البصري:.....
15.....	I. 5-1- آليات إشعاعية:.....

16	I. 1-1-5- الامتصاص:
18	I. 2-1-5- الانبعاث التلقائي:
19	I. 3-1-5- الانبعاث المستحث:
21	I. 2-5- آليات غير اشعاعية:
24	I. 6- الخاتمة:
25	المراجع:
الفصل الثاني: نظرية الجود-أوفيلت والطرق المستخدمة في توصيف المعلمات الطيفية	
28	II. 1- المقدمة:
28	II. 2- مطياف الامتصاص البصري:
30	II. 3- معامل الامتصاص:
30	II. 4- المقطع الفعال للامتصاص:
31	II. 5- قوة الهزاز التجريبي للمستويات الطاقوية ل-RE3+:
31	II. 6- نظرية الجود-أوفيلت:
32	II. 1-6- قوة الانتقال:
34	II. 2-6- معاملات الجود-أوفيلت:
36	II. 3-6- جودة التعديل:
36	II. 4-6- احتمالية الانتقال الاشعاعية:
38	II. 5-6- نسبة التفرع:
38	II. 6-6- فترة الحياة الاشعاعية:
38	II. 7-6- المقطع الفعال التكاملي للانبعاث:
39	II. 7- برنامج الجود-أوفيلت:
41	II. 8- معاملات الجود-أوفيلت (Ω_K):
41	II. 9- الخلاصة:
42	المراجع:

الفصل الثالث: تطبيق حسابي لنظرية JO

45	.....III 1- المقدمة:
45	.....III 2- تركيبة الزجاج المدروس:
46	.....III 3- طيف الامتصاص:
46	.....III 4- معاملات الجود-أوفيلت:
47	.....III 5- قوى الانتقال:
48	.....III 6- قوى الاهتزاز:
49	.....III 7- المعلمات الطيفية:
50	.....III 8-الخلاصة:
51	.....المراجع:
53	.....خاتمة عامة:
55	.....الملحق:
56	.....الملخص:

فهرس الأشكال

ترتيب الشكل عنوان الشكل الصفحة

الفصل الأول

- (1-I) الجدول الدوري للعناصر..... 7
- (2-I) مخطط يوضح رفع التطابق لمستويات الطاقة لأيون الاربيوم Er^{+3} 13
- (3-I) مستويات الطاقة للعناصر الترابية النادرة : Ce^{+3} ، Er^{+3} ، Yb^{+3} 14
- (4-I) ظاهرة الامتصاص..... 16
- (5-I) ظاهرة الانبعاث التلقائي..... 18
- (6-I) ظاهرة الانبعاث المستحث..... 21
- (7-I) الآليات الاشعاعية وغير الاشعاعية للأيونات الترابية النادرة 23

الفصل الثاني

- (1-II) صورة فوتوغرافية لمقياس الطيف الضوئي Jasco طراز UV-vis-NIR V-670 . 29
- (2-II) رسم تخطيطي للنظام البصري الخاص بمقياس الطيف الضوئي..... 29
- (3-II) مخطط نظرية جود-أوفلت..... 32
- (4-II) مخطط تفصيلي لبرنامج الجود-أوفلت..... 39

الفصل الثالث

- (1-III) طيف معامل الامتصاص لزجاج SN0.3W..... 46

فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
الفصل الأول		
7	التشكيل الإلكتروني لكل من Ho ، Yb.....	(1-I)
8	التوزيع الإلكتروني لـ RE و لأيوناتها الـ RE ³⁺	(2-I)
12	الرمز الطيفي للمستوى الأساسي للعناصر الترابية النادرة.....	(3-I)
الفصل الثاني		
34	يمثل مصفوفة الانتقال لأيون الإيريوم U(k).....	(1-II)
38	الانتقالات الإشعاعية الممكنة لأيون الإيريوم Er ³⁺	(2-II)
الفصل الثالث		
45	الكتلة المولية ودرجة حرارة انصهار المواد الأولية.....	(1-III)
47	معلومات الجود-أوفيلت ($\times 10^{-20} cm^2$) Ω_K	(2-III)
48	قوى الانتقال التجريبية والمحسوبة لـ Er ³⁺ المطعم في زجاج SN0.3W.....	(3-III)
48	قوى الهزاز التجريبية والنظرية لـ Er ³⁺ المطعمة في زجاج SN0.3W.....	(4-III)
49	المعلومات الإشعاعية لأيون الأريوم في العينة SN0.3W.....	(5-III)

فهرس الرموز

الرمز	معناه
L	العزم الزاوي المداري الكلي
S	العزم الزاوي السبيني الكلي
J	العزم الزاوي الكلي
Ψ	دالة الموجة المرتبطة بالذرة
H	هاملتون التفاعل
E	طاقة المستوي
N	عدد الإلكترونات
H_0	هاملتون الأيون الحر
H_c	الهاملتون الذي يصف تفاعل الحقل البلوري
H_{el}	الهاملتون الذي يصف التفاعل بين الإلكترونات
H_{so}	الهاملتون الذي يصف التفاعلات بين اللف وعزم المداري
λ_i	معاملات الازدواج سبين-مدار
E_1	طاقة المستوي الأساسي
E_2	طاقة المستوي المثار
σ_a	المقطع الفعال للامتصاص
α	معامل الامتصاص
DO	الكثافة الضوئية
I	شدة الإضاءة
d	سمك العينة

تركيز الأيونات الترايية النادرة في وحدة الحجم	N_0
الكثافة الحجمية	ρ
عدد أفوجادرو	$:N_A$
الكتلة المولية	M
احتمال حدوث عملية الامتصاص	W_{12}
احتمال حدوث عملية الانبعاث المحفز	w_{21}
ثابت بلانك	h
التردد	ν
معامل أينشتاين لاحتمال الامتصاص لوحدة الزمن	B_{12}
كثافة الطاقة لكل وحدة مساحة للإشعاع الساقط	$\rho(\nu)$
مدة الحياة	T
احتمال حدوث عملية الانبعاث التلقائي	A_{21}
فترة الحياة الإشعاعية	τ_{rad}
نسبة التوصيل للانتقال 'z-j	β
كثافة التعداد في المستوى المثار	N_2
كثافة التعداد في المستوى الأساسي	N_1
المقطع الفعال للانبعاث	σ_e
شدة الإشعاع الساقط	I_p
التوالد في المستوي الطاقة E_2	g_2
التوالد في المستوي الطاقة E_1	g_1
درجة الحرارة	T

ثابت بولتزمان	K_B
ثابت بلانك المخفض	\hbar
ثابت بلانك	h
احتمال الانتقال عند 0^0k	W_0
عدد الفونونات	P
الفرق الطاقوي بين المستويات الانتقالية	ΔE
عدد بوز	$n(v)$
مدة الحياة غير الإشعاعية	τ_{nr}
احتمالية الانتقال غير الاشعاعي	W_{nr}
احتمال حدوث الاسترخاء متعدد الفونونات	W_{MP}
سرعة انتشار الضوء في الفراغ	c
قوى الاهتزاز التجريبية	f_{ed}
قوى الاهتزاز المحسوبة	f_{cal}
قوة الانتقال لثنائي القطب الكهربائي	$S_{ed}(JJ')$
قوة الانتقال لثنائي القطب المغناطيسي	$S_{md}(JJ')$
قوى الانتقال المحسوبة	S_{cal}
قوى الانتقال التجريبية	S_{ed}
وسائط الجود-أوفيلت	Ω_K
قيم المصفوفة لمكونات المؤثرة التنسوري المختزل	$U^{(k)}$
جودة التعديل	RMS
احتمالية الانتقال الاشعاعي	$A_{rad}(JJ')$

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

تعتبر المواد والوسائط النشطة خاصة المواد الزجاجية المطعمة بالأتربة النادرة «rare earth» من ضمن المواد المهمة وواسعة الاستخدام في شاشات العرض، الإضاءة، والوسائط الليزرية والمضخمات البصرية، والاتصالات الضوئية [1].

ومع التطور المستمر في التقنيات التكنولوجية، لا تزال المواد النشطة التي تلبى التطبيقات العملية مطلوبة في مجالات مطورة حديثا وبالتالي هناك اهتمام متزايد على البحث والتطوير في المواد المضيئة. تعتبر دراسة خصائص الانتقالات الالكترونية لأيونات RE وتفاعلاتها مع الإشعاع الكهرومغناطيسي ضرورية لفهم أعمق في تقييم خصائص الفلورة للمواد بشكل كامل، وفي أوائل الستينيات من القرن الماضي تم إقتراح نظرية $J-O$ من طرف الباحثين جود وأوفيلت [2,3] وغالبا ما يتم تطبيقها للتقييم الكمي لأداء الانتقال البصري لأيونات الثلاثية التكافؤ المطعمة في المواد الشفافة وقد تم اجراء حسابات نظرية JO من قبل الباحثين على نطاق واسع، وعلى مختلف عناصر الاتربة النادرة والوسائط المضيئة وقد حققت نجاحات ملموسة مع النتائج التجريبية [4,5]. ومنذ اقتراح نظرية $J-O$ لأول مرة بواسطة جود وأوفيلت في عام 1962، تم الاستشهاد بكل ورقة من أوراقهما أكثر من 5000 مرة في الستون عامًا الماضية [6].

وتهدف هذه المذكرة الى تسليط الضوء عن نظرية الجود اوفيلت من خلال توضيح مراحل حسابها وإعطاء نموذج الخوارزمية المتعلقة بها، مع القيام بتطبيق عملي لهذا البرنامج لحساب المعلمات الطيفية لأيونات الاربيوم Er^{3+} المطعمة في زجاج الانتيموان. حيث قسمنا هذا العمل إلى ثلاثة فصول وهي:

الفصل الأول: سيكون بعنوان " عموميات حول الاتربة النادرة " سيتم في هذا الفصل التعرف

على خصائص ومطيافية الايونات الترابية النادرة، وتطبيقاتها، وآليات تفاعل الإشعاع مع المواد المطعمة بها.

الفصل الثاني: الذي بعنوان " نظرية الجود-أوفيلت والطرق المستخدمة في توصيف المعلمات

الطيفية". سنتطرق في هذا الفصل الى تعريف نظرية JO والتعرف على القوانين الاساسية المعتمدة في حساب الوسائط الطيفية، وسنذكر أيضا مراحل خوارزمية الحساب.

الفصل الثالث: وعنوانه " تطبيق حسابي لنظرية JO" والذي سنعرض من خلاله النتائج المحصل

عليها من تطبيق برنامج JO على ايونات الارييوم المطعمة في زجاج الانتيموان كقوى الهزاز والانتقال ومعاملات (Ω_k) ، احتمال الانتقال الاشعاعي، ثابت الوصل وفترة الحياة لمستويات المثارة ل Er^{3+} .

المراجع:

- [1] X. Wang, G. J. De, Y. Y. Liu, Synthesis of orthorhombic $K_2YF_5: Yb^{3+}, Er^{3+}/Tm^{3+}$ nanocrystals and highly efficient multicolor up-conversion luminescence, *Mater. Res. Bull.* 11 (2019) 181–189.
- [2] B. R. Judd, Optical absorption intensities of rare-earth ions, *Phys. Rev.* 127 (1962) 750–761.
- [3] G. S. Ofelt, Intensities of crystal spectra of rare-earth ions, *J. Chem. Phys.* 37 (1962) 511–520.
- [4] Y. Yang, B. Yao, B. Chen, C. Wang, G. Ren, X. Wang, Judd–Ofelt analysis of spectroscopic properties of Tm^{3+}, Ho^{3+} doped $GdVO_4$ crystals, *Opt. Mater.* 29 (2007) 1159–1165.
- [5] N. N. Yusof, S.K. Ghoshal, M. N. Azlan, Optical properties of titania nanoparticles embedded Er^{3+} -doped tellurite glass: Judd–Ofelt analysis, *J. Alloy. Compd.* 724 (2017) 1083–1092.
- [6] M. P. Henlen, M. G. Brik, K. W. Krämer, 50 th anniversary of the Judd–Ofelt theory: an experimentalist’s view of the formalism and its application, *J. Lumin.* 136 (2013) 221–239.

الفصل الأول:

عموميات حول الأثرية

النادرة

I. 1- المقدمة:

تعتبر العناصر الترابية النادرة من الفلزات الانتقالية الداخلية التي تقع أسفل الجدول الدوري. لم تكن هذه العناصر محل اهتمام العلماء، إلا البعض منهم، ثم تضافرت الجهود تدريجياً، وازداد توجه الأنظار إلى هذه الأتربة قصد معرفة عناصرها وفصلها عن بعضها البعض من الناحية التجريبية من جهة، والبحث عن خصائصها الفيزيائية والكيميائية من جهة أخرى [1].

إن العناصر الترابية النادرة، خاصة عنصر الإيريوم (Er)، تلعب دوراً بارزاً في تطوير تكنولوجيا الاتصالات البصرية عند دمجها في المواد الصلبة، تتميز هذه العناصر بخصائص بصرية مهمة وتعتمد بشكل كبير على الحقل المحلي، هذه الخصائص تؤهلها لأن تدخل في العديد من الاستخدامات، تُستخدم أيوناتها كوسيلة نشطة ووسط فعال عند دمجها في العديد من المواد المضيفة الصلبة نظراً لانتقالاتها الضوئية العديدة ضمن المجال المرئي وتحت الأحمر، كما أنها تمتلك العديد من المستويات الطاقوية الغير مُستقرة مما يتيح عدد واسع من الانتقالات [1].

في هذا الفصل، سنقوم بالتطرق إلى بعض الخصائص الطيفية التي تتميز بها العناصر الترابية النادرة، و سنسلط الضوء على أحد عناصرها المهمة وهو عنصر الإيريوم، ونقوم بتحديد رموزه الطيفية ومستويات طاقته في وسط صلب.

I. 2- لمحة تاريخية:

في عام 1794 اكتشف "Gadolin" أرضاً جديدة (عنصر في شكل أكسيد) في خام من محجر Ytterby بالقرب من ستوكهولم. كانت هذه نقطة البداية لاكتشاف العناصر الترابية النادرة [2]. في نهاية القرن التاسع عشر يشار إلى الأتربة النادرة على أنها «عدد معين من الأكاسيد التي يصعب تمييزها والتي لا تختلف خصائصها الكيميائية إلا قليلاً» [3]. جعل هذا التشابه الكيميائي

الكبير فيما بينها من الصعب اكتشاف وتحليل مختلف العناصر الترابية النادرة التي لا يمكن تحقيقها إلا إذا تمكنا من عزل وتنقية العناصر المختلفة الموجودة في المعدن بشكل كافٍ.

في عام 1900، كتب "M.G. Urbain": « مرة أخرى، يتطلب الأمر جهداً وصبراً لعزل عدد قليل فقط من هذه المواد». «الأرض النادرة» هو الاسم العام الذي أطلق من البداية على الخامات التي تحتوي على أكاسيد هذه العناصر [4].

في القرن العشرين، ظهر تعريف جديد للأتربة النادرة (يستخدمها علماء المطيافية)، الذي يعتبر الأرض النادرة العناصر التي تتميز بالملء التدريجي للمدارين الإلكترونيين 4f و 5f [5]. وفقاً لهذا التعريف تشمل العناصر الترابية النادرة سلسلة اللانثانيدات التي تبدأ بالسيريوم ($Z = 58$) وتنتهي باللوتيتيوم ($Z = 71$) بالإضافة إلى سلسلة الأكتينيدات التي تبدأ بالثوريوم ($Z = 90$) وتنتهي بلورنسيوم ($Z = 103$) [6].

أضاف الكيميائيون اللانثانوم في اللانثانيدات والأكتينيوم في الأكتينيدات على الرغم من عدم وجود إلكترونات في 4f أو 5f. ويمكن أيضاً اعتبار الإيتريوم والسكانديوم من العناصر الترابية النادرة بسبب الخصائص الكيميائية المشابهة لهما (بسبب الطبقة الخارجية $6s^2$) [7].

I. 3- العناصر الترابية النادرة:

تعود البدايات الأولى لاكتشاف عناصر اللانثانيدات إلى الربع الأخير من القرن 18، على يد السويدي Gadolin حيث تتكون سلسلة اللانثانيدات من 14 عنصر ترابي نادر تبدأ من سيريوم إلى لوتيتيوم في الجدول الدوري، بالأرقام الذرية من 58 إلى 71، بعض العلماء يضيف إليهم عنصر لانثانوم 57 الذي يسبقهم في الجدول الدوري. يطلق عليها اسم اللانثانيدات نسبة إلى عنصر اللانثانوم وتتكون من سلسلة متتالية يكون فيها المدار f ممتلئاً جزئياً أو كلياً بالإلكترونات، بينما تكون المدارات p و d فارغة والمدار f ليس نشيطاً كيميائياً [8].

تكون العناصر الترابية النادرة متشابهة كيميائياً، ويرجع ذلك لوجود الطبقة 4f بمداراته الفرعية السبعة التي تتسع لـ 14 إلكترون. تحتوي في وضعياتها أحادية التركيبية الإلكترونية أين n تتغير من 0 بالنسبة للاندانوم إلى 14 بالنسبة للوتيتيوم وفق الشكل التالي [8]:

The diagram shows a 3D periodic table with three main regions labeled: METALS (left side), METALLOIDS (diagonal line), and NONMETALS (right side). The lanthanide and actinide series are highlighted in blue and labeled 'THE RARE EARTH'S'. The elements are arranged in rows and columns, with atomic numbers indicated below some elements.

الشكل (1- I): الجدول الدوري للعناصر [8].

- خاصيتهم الامتلاء تصاعديا للطبقات الإلكترونية 4f بينما الطبقات الأخرى الخارجية ممتلئة مسبقا، يوجد في الأجسام الصلبة على شكل ايونات ثنائية التكافؤ أو ثلاثية.
- في حالة ثنائية التكافؤ، تحدث عند فقدان لإلكترونين في المحط الذري 6s.
- تنتج الحالة ثلاثية التكافؤ عندما تفقد الذرة من المحط الذري 5d او في 4f، ويكون التوزيع

الإلكتروني للعناصر الترابية النادرة من الشكل $[Xe]:4f n5d^0 6s^2$.

حيث n يتراوح من 0 للاندانوم(La) إلى 14 للوتيتيوم (Lu) [8].

التوزيع الذري	العنصر	Z
$[Xe]4f^{11}5d^06s^2$	Ho	67
$[Xe]4f^{14}5d^06s^2$	Yb	70

الجدول (1-I): التشكيل الإلكتروني لكل من Ho، Yb [8].

I. 4- مطيافية أيونات عناصر الأتربة النادرة:

I. 4-1- التوزيع الإلكتروني لعناصر الأتربة النادرة RE ولأيوناتها RE³⁺:

يكون التوزيع الإلكتروني للعناصر الترابية النادرة ضمن الطبقة 4f لأن له دورا هاما في إظهار بعض الصفات الفيزيائية والكيميائية لها، نلاحظ أن إلكترونات هذه العناصر لا تتجه لملئ المدار 5d بل تتجه لملئ المدار 4f تدريجيا [9].

يمثل الجدول التالي التوزيع الإلكتروني لعناصر الأتربة النادرة [9]:

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

الجدول (I-2): التوزيع الإلكتروني لـ RE و لأيوناتها الـ RE³⁺ [9].

I. 4-2- الأعداد الكمية:

إن كل حالة للذرة تكون عادة مميزة بأعداد كمية، وتوجد أربعة أعداد كمية مهمة وهي [10]:

- العدد الكمي الرئيسي (n): يميز مستوى الطاقة الذي يتواجد فيه الإلكترون، ويأخذ القيم $n=1,2,3,\dots$
- العدد الكمي للف (s): كل إلكترون يدور حول نفسه في حركة مغزلية، حيث يأخذ اللف الذاتي (السين) دائماً قيمة $1/2$ ، وله اتجاهان.

• العزم الزاوي المداري (L): يحدد شكل المدار ويأخذ القيم التالية: $L=0,1,2,3,\dots n-1$

• العدد الكمي المغناطيسي (m): يحدد تصرف المستويات الطاقوية في وجود حقل مغناطيسي (عدد

المدارات التي يتكون منها المستوى الفرعي)، يأخذ القيمة $m=0,1,2,3,\dots$

I. 4-3- الرموز الطيفية:

توصف الحالات الذرية باستعمال الترميز الطيفي وتُستخدَم الرموز الطيفية لتمييز بين مستويات

الطاقة، إذ يُعطى الرمز الطيفي من الشكل L_{2S+1} وذلك بتحديد $2S+1$ ، والعزم الزاوي المدار الكلي

L ، بالإضافة إلى العزم الزاوي السبيني الكلي للإلكترون S ، والعزم الزاوي الكلي للإلكترون J ، يُعرف

الازدواج $L-S$ ، بازدواج راسيل - ساندر (Russell-Saunders) ويتم فيه جمع العزم الزاوي المدار

والعزم اللفي للإلكترون بشكل مُنفصل لتشكيل العزم الزاوي الكلي [11].

العزم الزاوي المداري الكلي L :

$$\vec{L} = \sum_i \vec{l}_i$$

العزم الزاوي اللفي الكلي S :

$$\vec{S} = \sum_i \vec{s}_i$$

العدد الكمي المداري $L=0,1,2,3,\dots,n-1$ يمثل مستويات الطاقة الفرعية والمنتفحة عن المستويات الأساسية وتصبح مستويات الطاقة الأساسية هنا منشطرة، وتوصف المستويات في هذه الحالة بأنها لا منطبقة وفي الذرية والأطياف توصف الأرقام الكمية السابقة كما هو الحال بالنسبة للدوال التي تصف إلكترون واحد [11].

يتم تحديد قيم L بالحروف بدلا من استخدام الأعداد كالتالي [11]:

$$L=0,1,2,3, 4\dots n-1$$

$$L=S, P, D, F, G,\dots$$

العزم الحركي J :

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

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

الازدواج J يعطي $J=J_1+J_2$ ، حيث: $J_1=l_1+s_1$ و $J_2=l_2+s_2$.

❖ قواعد هوند (Rules Hund):

تعطى قواعد هوند كيفية توزيع الإلكترونات التي تنتمي إلى نفس الطبقة الإلكترونية داخل كل

محيط ذري بحيث يكون المستوى يتميز بـ [11]:

- قيمة اللف الذاتي الكلي S : يأخذ أكبر قيمة ممكنة.
- العزم المداري الكلي L : تكون له أعلى قيمة مُتماشية وقيمة S أعلى قيمة L .
- $J=J_{\min} |L-S|$ من أجل طبقة مملوءة أقل من النصف.
- $J=J_{\max} |L+S|$ من أجل طبقة مملوءة أكثر من النصف.

❖ مبدأ الاستبعاد لباولي (Pauli) :

ينص هذا المبدأ على أنه لا يمكن أن تتساوى أعداد الكم الأربعة لأي إلكترون في ذرة واحدة يعني ذلك أن يأخذ نفس الحالة الكمومية، أي نفس قيم الأعداد الكمية والتي هي (n, l, m, s) ، بينما يمكن أن يشتركا في رقم واحد أو اثنين أو ثلاثة فقط [11].

I. 4-4- الرموز الطيفية لعناصر الأتربة النادرة:

نأخذ كمثال عنصر الإربيوم فمن أجل أيون الإربيوم يكون: Er^{+3}

• التوزيع الإلكتروني للعنصر: $[Xe]4f^{12}5d^06s^2$

• التوزيع الإلكتروني للأيون: $[Xe]4f^{11}$

انطلاقاً من قواعد هوند نجد أن الرمز الطيفي للمستوى الأساسي لأيون الإربيوم هو $4f_{15/2}^4$ [1].

يوضح الجدول التالي الرموز الطيفية للمستوى الأساسي لأيونات العناصر الترابية النادرة [1] :

العنصر	الرمز الطيفي للمستوى الأساسي
La	$1S_0$
Ce	$1F_{5/2}$
Pr	$3H_4$
Nd	$4F_{9/2}$
Pm	$5I_4$
Sm	$6H_{5/2}$
Eu	$7F_0$
Gd	$8S_{7/2}$
Tb	$7F_6$
Dy	$1H_{15/2}$

5I_8	Ho
$^4I_{15/2}$	Er
3H_6	Tm
$^2F_{7/2}$	Yb
1S_0	Lu

الجدول (3- I) : الرمز الطيفي للمستوى الأساسي للعناصر الترابية النادرة [1].

I. 4-5 - مستويات الطاقة لعناصر الأتربة النادرة:

يتميز كل أيون ترابي نادر بمخطط طاقة. ولتحديد وضع مستويات الطاقة له، فمن الضروري

حل معادلة شرودنغر:

$$H\Psi = E \cdot \Psi \quad (1- I)$$

حيث، Ψ : دالة الموجة المرتبطة بالذرة؛ H : هاملتون التفاعل؛ E : طاقة المستوى.

من اجل ايون الحرة، مع N الإلكترونات، والنواة شحنتها (Ze) وبفرض ان كتلتها لانهاية

نستطيع كتابة هاملتون للأيون الحر H_0 على الشكل التالي:

$$H_0 = H_c + H_{el} + H_{so} \quad (2- I)$$

H_c : هاملتون التشكيل حسب تقريب "الحقل المركزي"، ويمثل مجموع الطاقة الحركية الممكنة

للإلكترونات حول النواة. ويسمح بالحصول على وضع طاقة تشكيلات الإلكترونية.

$$H_c = \sum_i \left(-\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{r_i} \right) \quad (3- I)$$

H_{el} : يعبر عن التفاعل كولوم بين الإلكترونات في الطبقة (تتافر الإلكترونات فيما بينها)، هذا

التفاعل يرفع التطابق في المستويات الإلكترونية $4F$ ، من خلال الرموز الطيفية L^{2S+1} ، وهي تدل

على المسافة بين الإلكترونات i و j :

$$H_{el} = e^2 \sum_{i>j}^N \frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (4 - I)$$

H_{SO} : يمثل التفاعل بين اللف الذاتي والعزم الزاوي المداري لكل إلكترون (ازدواج سبين-مدار)

يعطي رفع التطابق للمستويات الثانوية من خلال الرمز الطيفي $2S+1L$ ويحددها العدد الكمي J

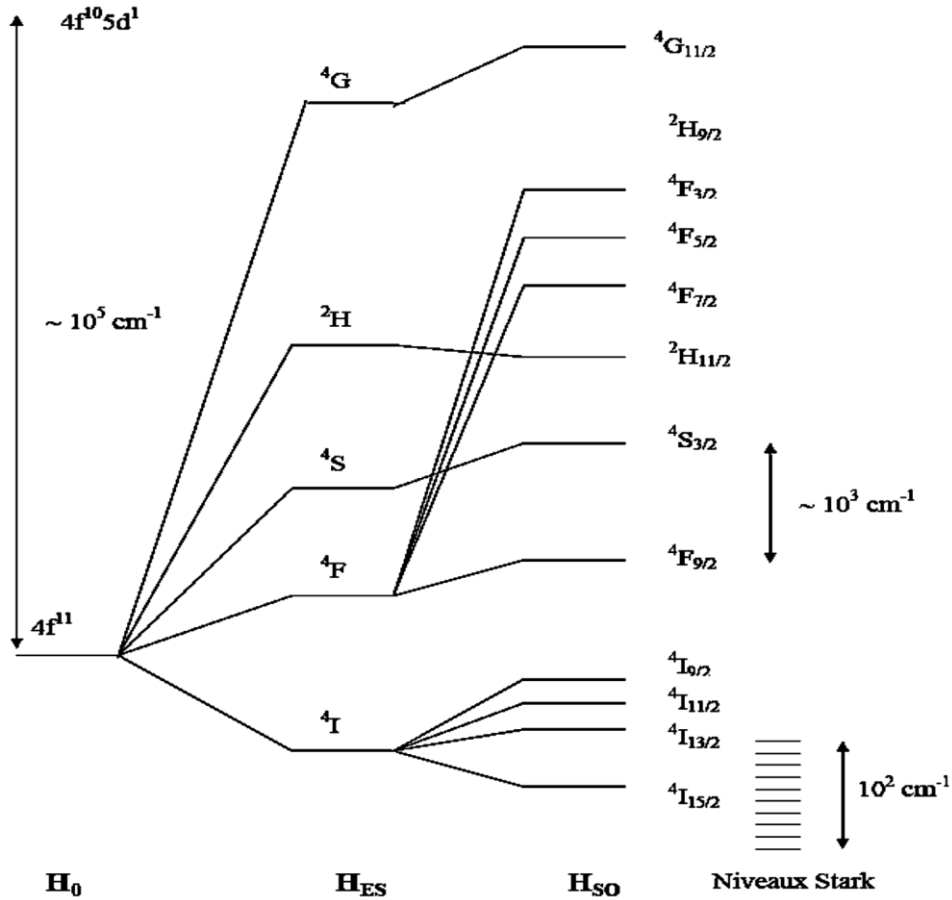
وذلك بـ $|L - S| \leq J \leq |L + S|$ وتعطى :

$$H_{SO} = \lambda_i \sum_i s_i \cdot l_i \quad (5 - I)$$

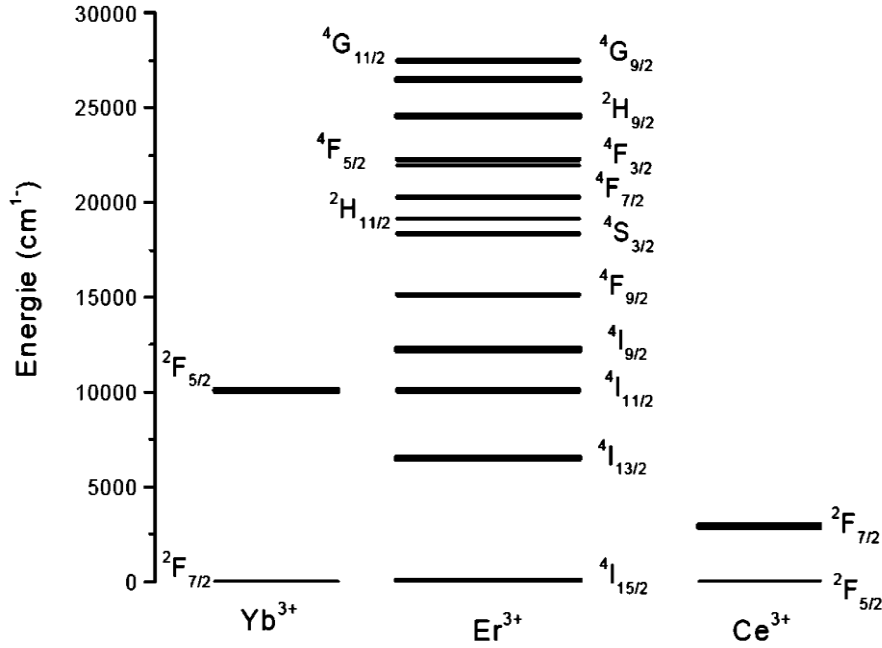
λ_i : معاملات الازدواج سبين-مدار.

يتم إدخال هاملتون H_{el} و H_{SO} في نظرية الاضطراب، ويطبق هذا في حالة العناصر الترابية

النادرة [12].



الشكل (2- I): مخطط يوضح رفع التطابق لمستويات الطاقة لأيون الاربيوم Er^{+3} [12].



الشكل (I-3) : مستويات الطاقة للعناصر الترابية النادرة: Ce^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+} [12].

I. 4-6 - قواعد الانتقاء :

إن تفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة في المادة المضيفة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي الوارد

إليه ينتج عنه انتقال الإلكترونات بين مستويات الطاقة للأيونات وفقا لقواعد الانتقاء وهي:

$$\Delta n = n_2 - n_1 \text{ كفي}$$

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \pm 1$$

$$\Delta j = j_2 - j_1 = 0, \pm 1$$

تفاعل إلكترونات العناصر الترابية النادرة مع الحقل البلوري يؤدي إلى نوعين من الانتقالات:

❖ انتقالات ثنائي القطب الكهربائي:

الانتقالات المسموح بها تكون أكثر شدة. فلحدوث انتقال من مستوى إلى مستوى يجب توفر

قواعد تعرف باسم قواعد لابورت (Règles de Laporte):

$$\Delta s = 0; \Delta l = \pm 1; |\Delta L| \leq 2l; |\Delta J| \leq 2l$$

هذه القواعد تدل على أن انتقالات ثنائي القطب الكهربائي بين المستويات التي لها نفس التكافؤ ممنوعة، وهذا يمنع كل انتقالا داخل التشكيلات في الطبقة 4f.

❖ انتقالات ثنائي القطب المغناطيسي:

وهي أقل شدة بكثير من كثافة الانتقال لثنائي القطب الكهربائي، وهي أيضا انتقالات مسموحة بين المستويات التي من نفس التكافؤ، بشرط تحقق القواعد التالية:

$$|\Delta J| = 0, \pm 1; |\Delta L| = 0, \pm 1; \Delta S = 0; \Delta l = 0$$

في المادة الزجاجية، يمكننا ان نلاحظ جميع الانتقالات [10].

I. 5- تفاعل أيونات الأتربة النادرة مع الإشعاع البصري:

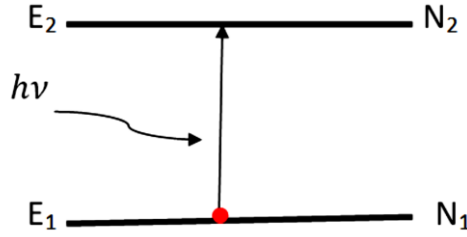
إن أصل ظاهرة الفلورة والتضخيم البصري في الوسائط النشطة هي تفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة مع الإشعاع الضوئي، ومن شأن هذا التفاعل أن يؤدي إلى الانتقالات بين مستويات الطاقة المختلفة للأيون النشط، في المواد المطعمة بأيونات العناصر الترابية النادرة، يكون التفاعل مصحوبا عادة بامتصاص فوتونات، أو اصدارها أو يكون تبادل فوتون - فونون ويعبر عنه بتحويلات طاوقية عبر الانتقالات الالكترونية وتصنف الى انتقالات الاشعاعية والانتقالات الغير إشعاعية [13].

I. 5-1- آليات إشعاعية:

عندما ينتشر الاشعاع الضوئي في المواد النشطة، يمكن امتصاص الفوتونات من طرف أيونات (RE^{3+}) وبالتالي يحدث انتقال للإلكترونات إلى مستويات أعلى للطاقة، أو يمكن اصدار الفوتونات عبر عودة الالكترونات من مستوى الإثارة إلى مستوى الاستقرار، فتعطي الفائض من الطاقة على شكل فوتون. كل هذه الظواهر لها خصائص مشتركة امتصاص أو إصدار فوتون، لذا فهي آلية إشعاعية [13].

I. 5-1-1- الامتصاص:

عندما يحدث تفاعل الإشعاع مع المادة الساقط عليها، فإنه يمكن ان تتم عملية امتصاص لطاقة الإشعاع مما يسبب انتقال إلكترونات الذرات المكونة للمادة إلى مستويات أعلى أي إثارة. ومنه فإن الامتصاص هي الآلية التي يمر بها أيون من المستوي E_1 إلى المستوي E_2 [14].



الشكل (I-4) : ظاهرة الامتصاص [14].

يمكن أن تصاغ هذه العملية بطريقتين مختلفتين، اعتمادا على تغير شدة الإشعاع خلال الانتشار أو تغير عدد الأيونات المثارة في الزمن. في كلتا الحالتين نحن بحاجة إلى ادخال المقطع الفعال للامتصاص σ_a ، وهو معامل التناسب بين احتمال امتصاص الفوتون لعدد الأيونات في وحدة الحجم. وتعطى عبارته كالتالي [14]:

$$\sigma_a = \frac{2,3DO}{N_0 d} = \frac{\alpha}{N_0} \quad (6 - I)$$

حيث DO تمثل الكثافة الضوئية وتعطى:

$$DO = \log \frac{I_0}{I} = \frac{\alpha d}{\ln 10} = \frac{\sigma_a N_0 d}{2,3} \quad (7 - I)$$

d : سمك العينة (cm).

I : شدة الإضاءة المارة خلال عينة سمكها d ، وتعطى بالعلاقة التالية :

$$I(d) = I_0 e^{-\sigma_a N_0 d} = I_0 e^{-\alpha d} \quad (8 - I)$$

حيث:

α : يعبر عن احتمال حدوث الامتصاص لكل وحدة الطول ويدعى بمعامل الامتصاص.

N_0 : تركيز ايونات العناصر الترابية النادرة ($\text{TR}(\text{ions.cm}^{-3})$) ويعطى:

$$N_0 = \frac{(TR \text{ mol}\%). \rho. N_A}{M} \quad (9 - I)$$

ρ : الكثافة الحجمية للعينة (g.cm^{-3}).

N_A : عدد أفوجادرو (mol^{-1}).

M : الكتلة المولية للمادة (g.mol^{-1}).

إذا ما أخذ نظام فيزيائي بسيط لتصادم مرن بين الايونات والفوتونات، تنخفض شدة الإشعاع

أثناء انتشارها في المادة بفعل الامتصاص:

$$\frac{dl(Z)}{dZ} = -\sigma_a I(Z) N_1 = -\frac{\alpha}{N_0} I(Z) N_1 \quad (10 - I)$$

بافتراض وجود انخفاض الامتصاص، يكون الإسكان في مستوى الاثارة E_2 ضئيل جدا مقارنة

مع التركيز الكلي للأيونات أي $N_1 \approx N_0$. تغير الإسكان في مستوى E_2 مع مرور الزمن يحدد

باحتمال إثارة في وحدة الزمن W_{12} [14]:

$$\frac{dN_2(dt)}{dt} = \sigma_a D N_2(dt) = W_{12} N_2(dt) \quad (11 - I)$$

D : هو تدفق الفوتون في وحدة المساحة، أي أن عدد الفوتونات التي تمر عبر المقطع الفعال في

الثانية هي:

$$D = \frac{I}{h\nu} \quad (12 - I)$$

حيث: h : ثابت بلانك ($\text{g.cm}^2.\text{s}^{-1}$).

ν : التردد (s^{-1}).

احتمال الانتقال يمكن ان يعرف أيضا باستخدام معامل أينشتاين $B_{12}(m^3 \cdot s^{-2} \cdot J^{-1})$:

$$W_{12}(v) = B_{12}\rho(v) \quad (13 - I)$$

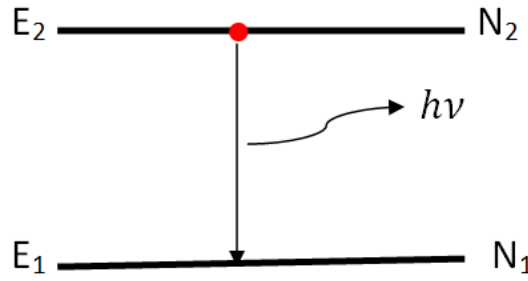
$\rho(v)$: هي كثافة الطاقة لكل وحدة مساحة للإشعاع الساقط ($J \cdot s \cdot m^{-3}$).

I. 5-1-2- الانبعاث التلقائي:

تعود الأيونات بصورة تلقائية إلى حالتها الطاقية الدنيا (الحالة الأساسية) عند الانتقال لأي حالة

مثارة، مما يؤدي إلى فقدان تلك الطاقة الزائدة في شكل انبعاث فوتوني، وهذا ما يسمى بظاهرة الانبعاث

التلقائي، ذلك بانتقال الأيونات من المستوى E_2 إلى E_1 [15]:



الشكل (I-5) : ظاهرة الانبعاث التلقائي.

يسمى متوسط عمر τ الذي تبقى فيه الأيونات في الحالة المثارة بمدة حياة الحالة المثارة، وهي

عبارة عن كمية إحصائية التي يتم تعريفها كالتالي [16] :

$$\tau = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i \quad (14 - I)$$

حيث: N_0 هي عدد الأيونات في الحالة المثارة عند اللحظة $t = 0$.

يعرف احتمال الانبعاث التلقائي لوحدة الزمن بعامل أينشتاين A_{21} ، ويمكن التعبير عن ذلك

بالمعادلة التالية:

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 \quad (15 - I)$$

حيث: $N_2 = -N_0 e^{-A_{21}t}$

في الحالة البسيطة (نظام ذو مستويين)، تعرف مدة الحياة الإشعاعية بـ [15]:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{A_{21}} \quad (16 - I)$$

العمليات الأخرى من الإثارة، لا تتضمن انبعاث فوتون، فيصبح لدينا ما يسمى بمدة الحياة غير الإشعاعية. فالذرة يمكن أن يكون لها عدة مستويات الطاقة E_j ومستوى الإثارة E_m تحدث الانتقالات التلقائية إلى هذه المستويات.

وتتميز هذه الانتقالات التي لها احتمال الإصدار التلقائي A_{mj} ، بالاحتمال الكلي للإثارة ومن ثم مجموع هذه الاحتمالات، ومدة الحياة الإشعاعية يساوي [16]:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{\sum_j A_{mj}} \quad (17 - I)$$

تعرف نسبة التوصيل للانتقال $m \leftarrow j$ التي تعطى بالعلاقة التالية:

$$\beta = \frac{A_{mj}}{\sum_j A_{mj}} = A_{mj} \tau_{rad} \quad (18 - I)$$

I. 5-1-3- الانبعاث المستحث:

الانبعاث المستحث هو ظاهرة يسببها التفاعل بين ايون في حالة مثارة وشعاع الليزر مع فوتونات الطاقة المقابلة للانتقال $2 \leftarrow 1$.

يحدث هذا الإصدار بواسطة مصدر طاقة خارجية، وذلك عن طريق تحفيز الأيونات المثارة للانتقال من مستوى طاقة عالي إلى مستوى طاقة أدنى، بواسطة فوتون يمتلك طاقة مساوية إلى فرق الطاقة بين المستويات وينتج عن هذا الانتقال إصدار فوتون آخر يمتلك نفس التردد ونفس الطول الموجي، نفس الاتجاه، نفس المرحلة ونفس الاستقطاب. حد "تضخيم الضوء عن طريق تحفيز انبعاث للإشعاع" الذي هو في الأصل من مصطلح ليزر.

من أجل الانبعاث المستحث يجب أن تكون نسبة الإسكان في مستو الحالة المثارة N_2 أكبر منه في مستوي الحالة الأساسية N_1 يعني ذلك أن هناك تعداد معكوس للإسكان ويمكن تحقيق ذلك باستعمال قوة محفزة خارجية تدعى الضخ [10].

يمكن نمذجة هذه الظاهرة بطريقة إحصائية بحثة من خلال إدخال احتمال الإصدار، وذلك باستخدام معامل أينشتاين B_{21} :

$$w_{21}(v) = B_{21}\rho(v) \quad (19 - I)$$

إن تغير الإسكان N_2 بدلالة الزمن في حالة الإثارة من قبل الانبعاث المحفز هو:

$$\frac{dN_2}{dt} = -B_{21}\rho(v)N_2 \quad (20 - I)$$

يمكننا أيضا تعريف المقطع الفعال للإصدار $\sigma_e(c^2)$ كالتالي:

$$\frac{dN_2}{dt} = -w_{21}N_2 = -\frac{\sigma_e I_p}{hv} N_2 \quad (21 - I)$$

حيث I_p هو شدة الشعاع الساقط وحدته (w/cm^2) .

بالنسبة لنظام ذو مستويين تكون الإثارة الإشعاعية:

$$\frac{dN_2}{dt} = w_{12}N_1 - (w_{21} + A_{21})N_2 = -\frac{dN_1}{dt} \quad (22 - I)$$

في التوازن الترموديناميكي، يتم ربط نسبة الإسكان لمستويين بمعامل بولتزمان:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{hv}{K_B T}} \quad (23 - I)$$

حيث $g_i = 2J_i + 1$ هو درجة التوالد في مستوى الطاقة E_i ، T درجة الحرارة و K_B ثابت بولتزمان.

في حالة النظام ثابت $\frac{d_i}{dt} = 0$ نجد:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{w_{12}}{w_{21} + A_{21}} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{hv}{K_B T}} \quad (24 - I)$$

من هذه العلاقة، يمكننا التعبير عن $\rho(\nu)$ بكثافة الطاقة للحزمة في وحدة المساحة كالتالي:

$$\rho(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{21}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{B_{12}g_1}{B_{21}g_2} e^{\frac{h\nu}{K_B T}} - 1 \right)} \quad (25 - I)$$

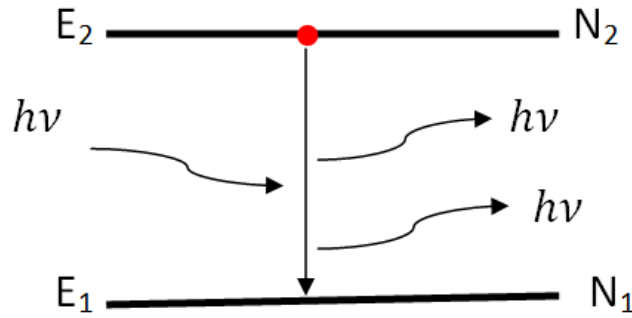
وفقا لقانون بلانك لدينا:

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi n^3 \nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{K_B T}} - 1} \quad (26 - I)$$

وبالمطابقة بين طرفي المعادلتين نجد:

$$g_1 B_{21} = g_2 B_{12} \quad (27 - I)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi n^3 h \nu^3}{c^3} \quad (28 - I)$$



الشكل (6- I) : ظاهرة الانبعاث المستحث [4].

I. 5-2- آليات غير اشعاعية:

يمكن للذرة ان تنتقل من مستوي مثار E_2 إلى مستوي اساسي E_1 دون ان تشع موجات كهرومغناطيسية، هذا الانتقال يمكن أن يسبب استرخاء غير مشع للذرة، يذهب هذا الفرق في الطاقة للانتقال بين المستويين على شكل اهتزازات (فونونات) في الشبكة البنوية للمادة المضيفة، وتكون طاقتها مكممة، وعادة ما يمثل انتقال ازاحة موجية في مادة بانتقال فونون واحد أو أكثر، يحمل طاقة قدرها $\omega\hbar=h\nu$ وكمية حركة $\hbar k$ ، وتقدر طاقة الفونون الواحد بالقيمة 0.1 eV ، في كثير من الحالات التي تهمننا (المرئية وتحت الحمراء القريبة)، طاقة الانتقالات الإلكترونية بين الحالة المثارة والحالة الاساسية

تكون اعلى بكثير من طاقة فونونات، وبالتالي فإن الاسترخاء غير الاشعاعي بواسطة الفونون يتم عبر عمليات متعددة الفونونات، احتمال حدوث الاسترخاء متعدد الفونونات يتعلق بالفرق الطاقى بين مستويات الانتقال وذلك حسب العلاقة الواردة في المرجع [14]:

$$W_{MP} = W_0[n(v) + 1]^P \quad (29 - I)$$

حيث:

P : هو عدد فونونات اللازمة لملئ فجوة الطاقة بين المستويات.

W_0 : هو احتمال الانتقال عند 0^0K حيث :

$$W_0 = B e^{-a\Delta E} \quad (30 - I)$$

ΔE : هو فرق الطاقة بين المستويات الانتقالية، $a(cm)$ و $B(s^{-1})$ ثابت موجية مميزة للشبكة، ولا

تتعلق بأيونات العناصر الترابية النادرة، أو مستويات الطاقة المعتبرة، و $n(v)$ هو عدد بوز يعطى :

$$n(v) = \frac{1}{\frac{hv}{eKT} - 1} \quad (31 - I)$$

تجدر الإشارة إلى أن احتمالية الانتقال غير الإشعاعي تتناقص مع زيادة فرق الطاقة، عندما يكون هذا الفرق بحيث يكون عدد الفونونات P اللازم للانتقال اقل من 4 ، فإن احتمالية الانتقال غير الاشعاعي تدخل في تنافس مع العمليات الاشعاعية، إذ ان احتمالية الانتقال غير الاشعاعي تزداد مع زيادة درجة الحرارة وبالتالي يؤدي انخفاض في فترة الحياة لمستويات المثارة، احتمالية الانتقال تتناقص بسرعة عندما يتزايد عدد الفونونات اللازم $P = \frac{\Delta E}{hv}$ ، وهي بالتالي تختلف من مادة الى اخرى ذلك ان انماط الاهتزاز هي الاخرى تختلف من مادة الى اخرى، بشكل عام تأثير هذه التفاعلات تؤدي إلى تغيير الاسكان الالكتروني للمستويات، اذ يمكن كتابة هذا التغيير بسبب الانتقالات غير المشعة بالصيغة التالية [17]:

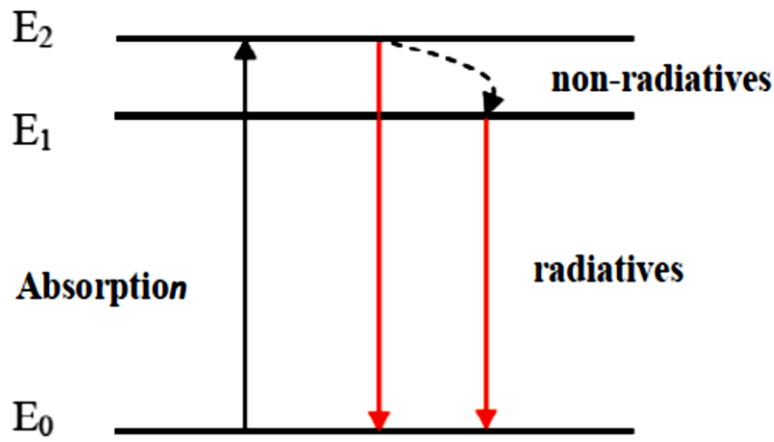
$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{N_2}{\tau_{nr}} \quad (32 - I)$$

حيث: τ_{nr} ثابت زمني مميز يعبر عن فترة الحياة غير المشعة وتعطى عبارته كالتالي :

$$\tau_{nr} = \frac{1}{W_{nr}} \quad (33 - I)$$

وفي الاخير يمكننا تعريف فترة الحياة الاجمالية للانتقالات المشعة وغير المشعة كالتالي :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{rad}} + \frac{1}{\tau_{nr}} \quad (34 - I)$$



الشكل (7- I) : الآليات الاشعاعية وغير الاشعاعية للأيونات الترابية النادرة [17].

I. 6- الخاتمة:

في هذا الفصل قمنا بإعطاء المفاهيم الأساسية لمطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة ورأينا أن التركيب الإلكتروني لذرات العناصر الترابية النادرة يلعب دورا مهما في إبراز بعض الصفات الكيميائية والفيزيائية لها، إذ إن التوزيع الإلكتروني لمعظمها يكون ضمن مدار $4f$ والذي له دور مهم في إكسابها لعدد من الخصائص الفريدة.

رأينا أيضا أنه عند التفاعل مع إشعاع كهرومغناطيسي، فإن الظواهر ممكنة الحدوث هي الامتصاص والانبعث التلقائي والانبعث المحفز للفوتونات والتي تتميز على التوالي بواسطة المقطع الفعال للامتصاص σ_a وفترة الحياة الإشعاعية τ_{rad} والمقطع الفعال للانبعث σ_e وهناك آليات أخرى غير إشعاعية ممكنة الحدوث أيضا ومن شأنها أن تنقص من فترة حياة المستويات الطاقوية.

يعتبر الزجاج أفضل مضيف لأيونات الترابية النادرة، ولمعرفة ذلك يجب تعيين بعض المعلمات الطيفية، باستخدام طرق ونظريات والتي ستكون محل دراستنا في الفصل الموالي.

المراجع:

- [1] ب. سعاد, "تعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون $Yb+3$ في زجاج فليوروفوسفاتي," قاصدي مرباح, ورقة, 2019.
- [2] J. Barton, C. Guillemet, Le verre science et technologie, Ed. E. D. P. Sciences, (2005).
- [3] V. Moisan , Etude de l'amplification laser en bande 2 dans les fibres de verres halogénures, thèse doctorat, Université de rennes 1, (2008).
- [4] V. Martinez, Influence des effets thermiques et mécaniques sur la relaxation structurale des préformes et des fibres optiques à base de silice .Etude par diffusion des rayons X, thèse doctorat, Université Claude Bernard-Lyon1,(2004).
- [5] B. Faure, Fabrication et caractérisation de fibres optiques en silice dopées au thulium: Influence de l'environnement des terres rares sur l'amplification dans la bande S. thèse doctorat ,Université de Nice-Sophia Antipolis,(2006).
- [6] J. E. Shelby, Introduction to Glass Science and Technology, 2nd edition, ED. RS. C. (2005).
- [7] J. De Bon fils, Effets d'irradiations sur la structure de verres borosilicates comportement a long terme des matrices vitreuses de stockage des déchets nucléaires, thèse doctorat, Université Claude Bernard –Lyon 1, (2007).
- [8] ط. يمينة, "تأثير التطعيم الاحادي و الثنائي على زجاج هالوجينو فوسفاتي", قاصدي مرباح ورقة, 2015.
- [9] ذ. ص. ص. ف. الزهرة, "تعيين المقاطع الفعالة للإصدار لأيون الإربيوم في بعض أنواع الزجاج," قاصدي مرباح, ورقة, 2018.

[10] E. Guedda, "Contribution à l'étude des structures atomiques et processus élémentaires dans les plasmas : Applications aux hydrogénoïdes et aux héliumoïdes", thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, 2006, Annaba.

[11] H. N. Russell, F. A. Saunders, News regularities in the spectra of the alkaline earth, The Astrophysical Journal, (1925).

[12] م. أمنة, "دراسة طيفية لزجاج هالوجينو-فوسفاتي مطعم بالإربيوم (Er^{+3})", قاصدي مرباح ورقة, 2014.

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

[14] ح. و. ق. بوبكر, "دراسة بعض الخصائص الطيفية لأيونات الأربيوم في الزجاج الانتيموان", حمه لخضر، الوادي, 2021

[15] O. Peron, "Guides d'ondes planaires en verre et vitrocéramique fluorés." thèse de doctorat. Université du Maine, 2007.

[16] د. محمد كوسا, "فيزياء الليزر وتطبيقاته." منشورات جامعة دمشق كلية العلوم, 2005

[17] بن دومة نورة الفريال, "دراسة بعض الخصائص الفيزيائية لزجاج فليوروفوسفاتي مطعم بالهولميوم", قاصدي مرباح، ورقة, 2019.

الفصل الثاني:

نظرية الجود-أوفيات

والطرق المستخدمة في

توصيف المعلومات الطيفية

1.II - المقدمة:

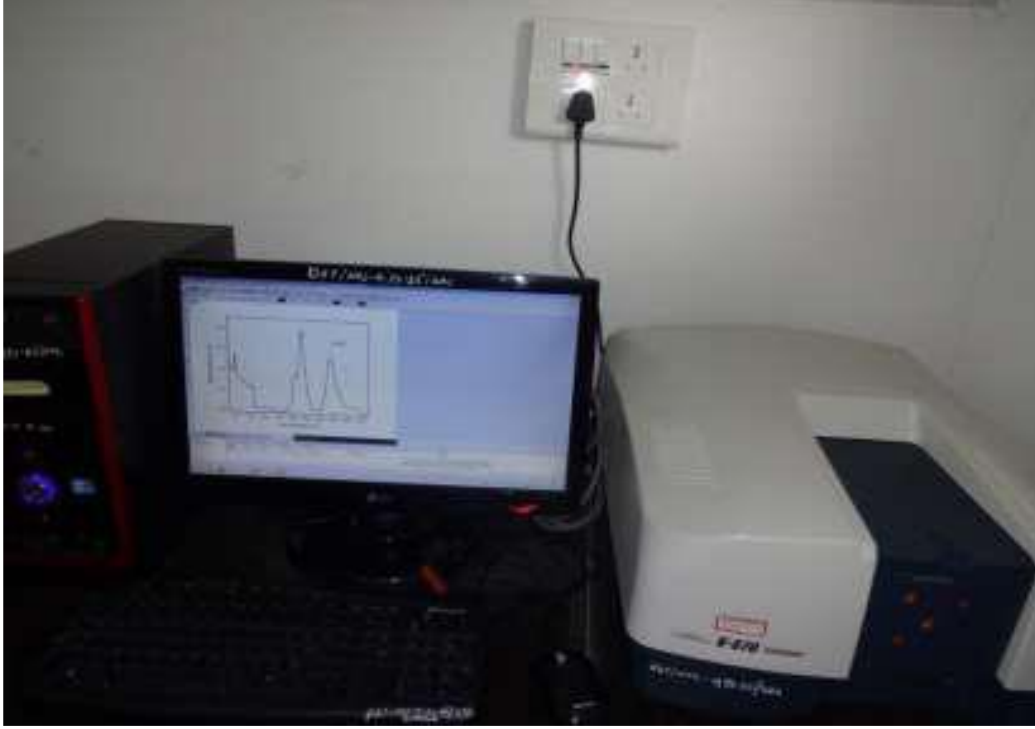
لأيونات العناصر الترابية النادرة ثوابت ووسائط طيفية مميزة كالمقطع الفعال للامتصاص، قوة الهزاز، قوة الانتقال، احتمالية الانتقال الاشعاعي، ثوابت الوصل وفترة الحياة الإشعاعية للمستويات الطاقوية. وتعتبر هذه الثوابت ذو أهمية كبيرة في مجالات الوسائط النشطة، من خلال التعرف على مدى ملائمة زجاج معين للتطبيقات البصرية كالمضخمات الضوئية، الحساسات ووسائط الليزرية. وتعتبر نظرية الجود أوفيلت من بين النظريات التي تتيح لنا حساب وتقدير المعلمات الطيفية خاصة الاشعاعية منها انطلاقاً من طيف الامتصاص المسجل للعينات. وعليه سننظر في هذا الفصل إلى عرض تفصيلي لنظرية الجود أوفيلت ومراحل الحساب.

2.II - مطياف الامتصاص البصري:

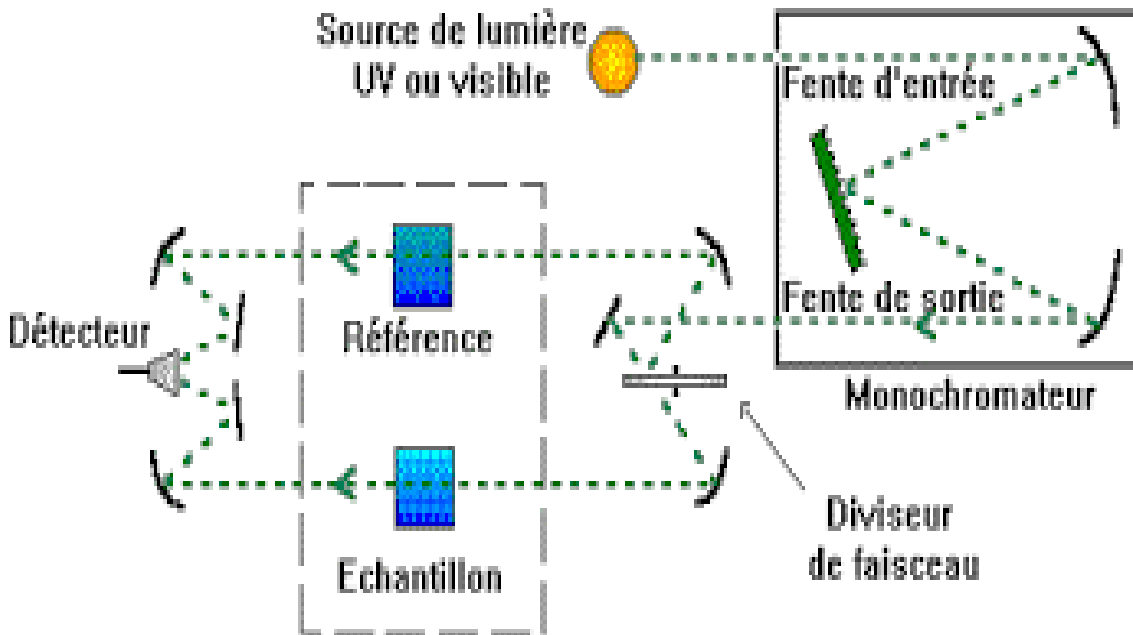
يعتبر مطياف الامتصاص البصري من اجهزة القياس الاساسية في مجال الفيزياء المواد، يمكننا من معرفة نطاقات الامتصاص وفعالية الوسائط ومن بين هذه الاجهزة يوجد مقياس الطيف الضوئي طراز JASCO V – 670 UV-vis-NIR. يظهر الرسم التخطيطي الشكل (II-2) ترتيب المعدات في جهاز مقياس الطيف الضوئي، ومبدأ عمل هذا الجهاز يكون كالتالي: [1]

يستخدم مصباحين كمصدر للضوء، الاول مصباح الديتريوم بمجال طيفي من 200 الى 305.5 نانومتر، والثاني مصباح الهالوجين WS ويكون تبديل هذه المصادر تلقائياً وفقاً لنطاق الطول الموجي. بداية يدخل شعاع الضوء المنبعث من مصدر الضوء الى غرفة توحيد اللون الذي يتم فيها فلتر الإشعاع الضوئي الصادر من المصباح الى ضوء احادي طول الموجة [1]، هذه الغرفة بها كل من المشبك الحلقي «toroidal Grating»، شق ضوئي «Slit»، مرشح «Filtre» ومرآيا لتوجيه «Mirror»، بعدها تخرج حزمة احادي الضوء من غرفة توحيد اللون الى مقسم الحزم الضوئية، جزء منها يمر الى غرفة

العينة والجزء الآخر إلى غرفة العينات المرجعية، لتستقر في الأخير عند كاشف الصمام الثنائي «detecteur» [1].



الشكل (II-1): صورة فوتوغرافية لمقياس الطيف الضوئي Jasco طراز UV-vis-NIR V-670.



الشكل (II-2): رسم تخطيطي للنظام البصري الخاص بمقياس الطيف الضوئي.

3.II - معامل الامتصاص:

يمكننا حساب معامل الامتصاص انطلاقاً من الكثافة الضوئية DO أو تدعى بالإمتصاصية «absorbance» التي يوفرها لنا جهاز Uv-Vis spectrophotomètre. هذا الطيف يتم قياسه باستخدام مطياف مزدوجة الحزمة ويوفر لنا حزمتين ضوئيتين بشدات مختلفة: حزمة واردة شدتها $I_0(\lambda)$ ، وحزمة تمر من خلال العينة شدتها $I(\lambda)$. إذ تعطى الكثافة الضوئية DO بـ [2]:

$$DO(\lambda) = \log \left(\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} \right) \quad (1 - II)$$

حيث شدة الضوء الممتصة تعتمد على معامل الامتصاص α وسمك المواد التي يجتاها

الشعاع dl:

$$\frac{dl}{I} = -\alpha \cdot dl \Rightarrow I = I_0 \exp(-\alpha \cdot l) \quad (2 - II)$$

ومن العبارة (2 - II) يمكننا استنتاج معامل الامتصاص بدلالة الكثافة الضوئية DO وفقاً

للعلاقة التالية:

$$\alpha = \frac{\ln 10}{x} \cdot DO \quad (3 - II)$$

α : معامل الامتصاص وحدته cm^{-1} .

DO: الكثافة الضوئية.

x: سمك العينة.

4.II - المقطع الفعال للامتصاص:

يمكن حساب المقطع الفعال للامتصاص انطلاقاً من معامل الامتصاص ويعبر عنه بالعلاقة

التالية [2]:

$$\sigma_a(\lambda) = \frac{\alpha(\lambda)}{N_0} = \frac{2.3 \times DO}{N_0 \cdot x} \quad (4 - II)$$

N_0 : هو تركيز الأيونات المسؤولة عن الامتصاص.

5.II- قوة الهزاز التجريبي للمستويات الطاقوية لـ RE^{3+} :

يمكن التعبير عن f_{mes} اعتمادا على معامل الامتصاص $\alpha(\lambda)$ عن طريق العلاقة [2]:

$$f_{mes} = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 N} \int \frac{\alpha(\lambda) d\lambda}{\lambda^2} \quad (5 - II)$$

حيث:

$$f_{mes} = f_{ed}^{mes} + f_{md}^{mes} \quad (6 - II)$$

وأيا:

$$f_{ed}^{mes}(J, J') = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 N} \int_{J \rightarrow J'} \frac{\alpha(\lambda) d\lambda}{\lambda^2} + f_{md}^{mes} \quad (7 - II)$$

f_{ed}^{mes} : قوة الهزاز التجريبي لثنائي القطب الكهربائي.

f_{md}^{mes} : قوة الهزاز التجريبي لثنائي القطب المغناطيسي.

6.II- نظرية الجود-أوفلت:

قدمت نظرية جود-أوفلت سنة 1662، من طرف كل من الأستاذ في قسم الفيزياء والفلك في

جامعة بيركلي بكاليفورنيا الأمريكية، برايان جود والأستاذ في جامعة جونز هربكنز بواشنطن الأمريكية

"جورج أوفلت".

أصبحت نظرية جود-أوفلت الأساس في مجال المطيافية البصرية للأتربة النادرة خلال العقود

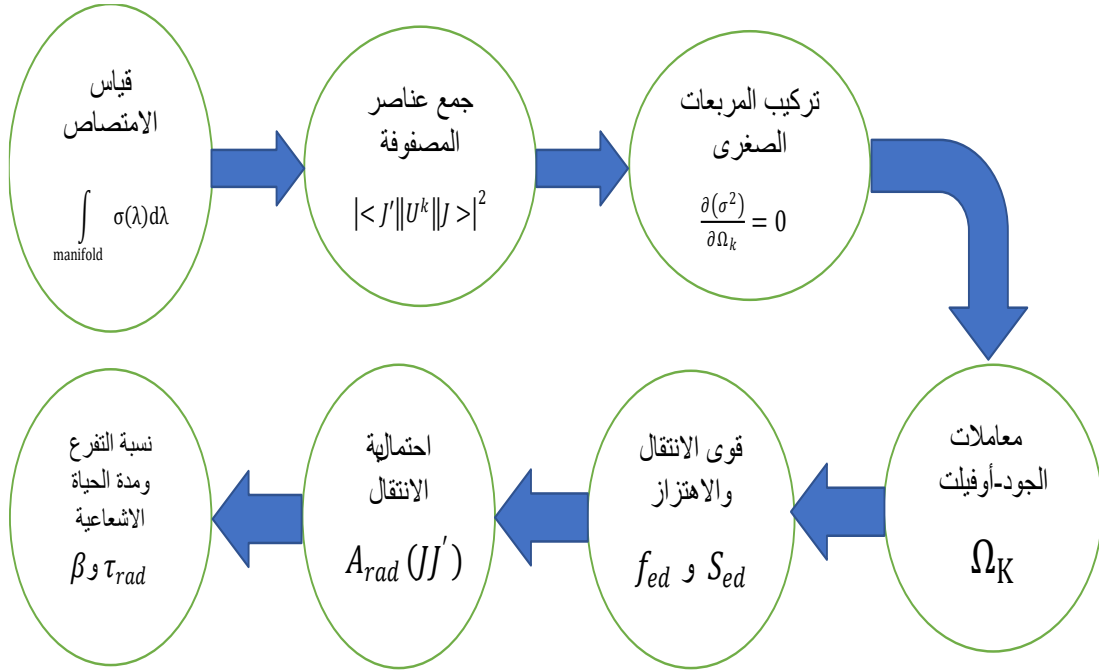
الستة الأخيرة حيث استغلت في الكثير من الدراسات ووجهت إلى التطبيقات المهمة للمواد المطعمة

بالأتربة النادرة مثل الليزر والتضخيم الضوئي [3]. وتسمح هذه نظرية بتحديد الوسائط الطيفية للمادة

المضيفة للعناصر الترابية النادرة، من هذه المعلمات نذكر: قوى الهزاز والانتقال، احتمالية الانتقال ثابت

الوصل وفترة الحياة للمستويات المثارة [4].

تعتمد هذه النظرية على تحديد معاملات الـ JO التي ترمز بـ Ω_k ، هذه الأخيرة تعتمد على قوى الهزاز التجريبي و مصفوفة الانتقال المختزلة $\langle U^k \rangle$ ، ومن معاملات Ω_k الناتجة يمكن حساب المقادير الاشعاعية، منها احتمال الانتقال، ثابت الوصل و فترة الحياة لمستويات المثارة.



الشكل (II-3): مخطط نظرية جود-أوفلت.

II.6-1 - قوة الانتقال:

قوى الانتقال بين عنصري ستارك يرمز لها بـ: $S(JJ')$ ويعرف بأنه عنصر المصفوفة لمربع

مؤثر الانتقال لثنائي القطب الكهربائي (DE) أو ثنائي القطب المغناطيسي (MD) [5]:

$$S_{ed}(JJ') = |\langle J|DE|J' \rangle|^2 \quad (8 - II)$$

$$S_{md}(JJ') = |\langle J|DM|J' \rangle|^2 \quad (9 - II)$$

حيث قوى الانتقال بين مستويين هي مجموع القوى الانتقالية بين مستويات ستارك [5]:

$$S_{ed,md}(JJ') = \sum S_{ed,md}(J,J') \quad (10 - II)$$

إذ قيمة قوة الانتقال S_{md} في انتقالات ثنائي القطب المغناطيسي، لا تعتمد على المادة المضيفة، بل تعتمد فقط على أيون العنصر الترابي النادر، وتعرف قوى الانتقال التجريبية S_{md} بالعلاقة التالية [5]:

$$S_{md} = \left(\frac{h^2}{4\pi m_e c} \right) |\langle J || L + 2S || J' \rangle|^2 \quad (11 - II)$$

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

$$J = J' \left\{ \begin{array}{l} |\langle || L + 2S || J' \rangle| = gh[J(J+1)(2J+1)]^{\frac{1}{2}} \\ g = 1 + \left\{ \frac{[J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)]}{2J(J+1)} \right\} \end{array} \right. \quad (12 - II)$$

$$J = J - 1: |\langle J || L + 2S || J - 1 \rangle| = h \left\{ \frac{[(S+L+J+1)(S+L+1-J)(J+S-L)(J+L-S)]^{\frac{1}{2}}}{4J} \right. \quad (13 - II)$$

$$J = J + 1: |\langle J || L + 2S || J + 1 \rangle| = h \left\{ \frac{[(S+L+J+2)(S+J+1-L)(L+J-S)(S+L-J)]^{\frac{1}{2}}}{4(J+1)} \right. \quad (14 - II)$$

وفقا لنظرية جود-أوفيلت فإن قوى الانتقال لثنائي القطب الكهربائي بين مستويين تعطى عن طريق المعادلة:

$$S_{ed}^{calc} = e^2 \sum_{K=2,4,6} \Omega_K |\langle J' || U^{(K)} || J \rangle|^2 \quad (15 - II)$$

Ω_K : هي معاملات تعكس تأثير المادة المضيفة على احتمالية الانتقالات الاشعاعية. وهي معروفة تحت اسم معاملات الجود-أوفيلت.

$U^{(K)}$: تمثل قيم المصفوفة لمكونات المؤثر التنسوري المختزل وهي قيم ثابتة مستقلة عن المادة المضيفة تتعلق بعنصر التطعيم.

❖ مصفوفة الانتقال في حالة الامتصاص:

تعرف عناصر مصفوفة الانتقال لعناصر الاثرية النادرة RE³⁺ بالرمز $U(k)$ ، وتحدد بين

الحالة الاساسية J والحالة المثارة J' وتكون قيمها حسب العلاقة التالية [6]:

$$U(k) = \langle \psi_J | U^k | \psi_{J'} \rangle^2$$

تعطى قيم عناصر مصفوفة الانتقال لأيون الإيريبيوم Er³⁺ من المستوى الطاقوي الاساسي $4I_{15/2}$

الى المستوى المثار J' ، والمجال الطيفي 400-1700 نانومتر حسب جداول «Carnall» في الجدول

التالي [6]:

		U(k)		
Transition	λ_{max}	U_2	U_4	U_6
$4I_{15/2} \rightarrow 4I_{13/2}$	1530	0.0195	0.1173	1.4316
$4I_{15/2} \rightarrow 4I_{11/2}$	976	0.0282	0.0003	0.3953
$4I_{15/2} \rightarrow 4I_{9/2}$	800	0	0.1733	0.0099
$4I_{15/2} \rightarrow 4F_{9/2}$	653	0	0.5354	0.4618
$4I_{15/2} \rightarrow 4S_{3/2}$	544	0	0	0.2211
$4I_{15/2} \rightarrow 2H_{11/2}$	521	0.7125	0.4125	0.0925
$4I_{15/2} \rightarrow 4F_{7/2}$	489	0	0.1469	0.6266
$4I_{15/2} \rightarrow 2H_{9/2}$	452	0	0.0038	0.0001

الجدول (II-1): يمثل مصفوفة الانتقال لأيون الإيريبيوم $U(k)$ [6].

II.6-2- معاملات الجود-أوفيلت:

نضع:

$$S_{ed} = \begin{pmatrix} S_{ed1} \\ \vdots \\ S_{edi} \\ \vdots \\ S_{edq} \end{pmatrix}; \quad f_{ed} = \begin{pmatrix} f_{ed1} \\ \vdots \\ f_{edi} \\ \vdots \\ f_{edq} \end{pmatrix}; \quad \Omega = \begin{pmatrix} \Omega_2 \\ \Omega_4 \\ \Omega_6 \end{pmatrix} \quad (16 - II)$$

$$A = \begin{pmatrix} \langle \|U^{(2)}\|_1 \rangle^2 & \langle \|U^{(4)}\|_1 \rangle^2 & \langle \|U^{(6)}\|_1 \rangle^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \langle \|U^{(2)}\|_i \rangle^2 & \langle \|U^{(4)}\|_i \rangle^2 & \langle \|U^{(6)}\|_i \rangle^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \langle \|U^{(2)}\|_q \rangle^2 & \langle \|U^{(4)}\|_q \rangle^2 & \langle \|U^{(6)}\|_q \rangle^2 \end{pmatrix} \quad (17 - II)$$

حيث: $1, \dots, i, \dots, q$ تمثل الانتقال.

وأيضاً:

$$C = \begin{pmatrix} C_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & C_i & 0 & \dots \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & C_q \end{pmatrix} = \xi \times \begin{pmatrix} \lambda_1^{-1} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & \lambda_i^{-1} & 0 & \dots \\ \dots & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \lambda_q^{-1} \end{pmatrix} = \xi \times C' \quad (18 - II)$$

حيث:

$$\xi = \frac{8\pi^{2mc}(n^2 + 2)^2}{27hn(2J + 1)} \quad (19 - II)$$

لدينا قوة مذبذب ثنائي القطب الكهربائي بالعلاقة:

$$f_{ed} = C \cdot S_{ed} \quad (20 - II)$$

و:

$$\cdot S_{ed} = A \cdot \Omega \quad (21 - II)$$

يتم إعطاء قيم Ω بواسطة معادلة المصفوفة التالية:

$$\Omega_s = \frac{A^T S_{ed}}{(A^T A)} \quad (22 - II)$$

$$f_{ed} = C \cdot S_{ed} \Rightarrow f_{ed} = C \times A \times \Omega = A' \times \Omega \quad (23 - II)$$

و:

$$A' = C \cdot A \quad (24 - II)$$

$$\Omega_f = \frac{A'^T f_{ed}}{(A'^T A')} \quad (25 - II)$$

يمكن تقييم الارتياح بين تعديلين باستخدام الصيغ التالية:

$$\Omega_S - \Omega_f = M_S (S_{ed}^{cal} - S_{ed}^{mes}) \quad (26 - II)$$

$$\Omega_S - \Omega_f = \frac{M_f}{\xi} (f_{ed}^{cal} - f_{ed}^{mes}) \quad (27 - II)$$

حيث M_S و M_f هما مصفوفتي الانتقال وتعريفهما:

$$M_S = \frac{A^T \cdot C^2}{(A^T C^2 A)} \quad (28 - II)$$

$$M_f = \frac{A^T}{(A^T A)C'} \quad (29 - II)$$

II.6-3 - جودة التعديل:

تقيم مدى صحة هذه المعلمات، والتي تعطى عبارتها بواسطة [7]:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (f_{calc} - f_{mes})^2}{q - p}} \quad (30 - II)$$

حيث q هو عدد العصابات الطيفية المحللة و p هو عدد مجهول في هذه الحالة يساوي 3.

II.6-4 - احتمالية الانتقال الإشعاعية:

ان معرفة معاملات ال $J0$ تمكننا من تحديد احتمالية الانتقالات الإشعاعية من أجل الانتقال

من الحالة الابتدائية أي المثارة J' إلى الحالة النهائية J وتعطى بالمعادلة التالية [7]:

$$A_{rad}(JJ') = \frac{64\pi^4}{3h(2J+1)\lambda^3} \left[\frac{n(n^2+2)^2}{9} \right] S_{ed} \quad (31 - II)$$

هو التصحيح الحقل المحلي في الحالة الأساسية l والمثار l' ، n هي قرينة الانكسار $\frac{n(n^2+2)^2}{9}$

عند الطول الموجي للانتقال و S_{ed} هي القوة الانتقالية لثنائي القطب الكهربائي التي يعبر عنها بالمعادلة (15-II).

❖ مصفوفة الانتقال في حالة الانبعاث :

يوضح الجدول 2 الانتقالات الاشعاعية الممكنة لأيون الإيريبيوم Er^{3+} ، وكذلك عناصر مصفوفة

الانتقال الموافقة لها وتعطي حسب «Carnall» كما يلي [6]:

Transition	λ_{max}	U(k)		
		U (2)	U (4)	U (6)
$^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	1533	0.0195	0.1173	1.4316
$^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	2686.1	0.0331	0.1708	1.0864
$^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	976	0.0282	0.0003	0.3953
$^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$	4629.6	0.0030	0.0674	0.1271
$^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	1739.1	0.0004	0.0106	0.7162
$^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	811.49	0	0.1732	0.0099
$^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$	3553.7	0.1279	0.0059	0.0281
$^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$	1973.2	0.0704	0.0112	1.2839
$^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	1137.6	0.0101	1.5333	0.0714
$^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	653	0	0.5354	0.4619
$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$	1719.7	0	0.0788	0.2542
$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$	1239.3	0	0.0042	0.0739
$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$	848	0	0	0.3462
$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$	548	0	0	0.2211
$^4H_{11/2} \rightarrow ^4F_{9/2}$	2545.2	0.3629	0.0224	0.0022

${}^4\text{H}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{9/2}$	1467.1	0.2077	0.0662	0.2858
${}^4\text{H}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{11/2}$	1114.1	0.0357	0.1382	0.0371
${}^4\text{H}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$	795.7	0.0230	0.0611	0.0527
${}^4\text{H}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$	522	0.7125	0.4123	0.0925

الجدول (2-II): الانتقالات الإشعاعية الممكنة لأيون الإيريبيوم Er^{+3} .

II.6-5 - نسبة التفرع:

ويمكن الحصول على نسبة التفرع من احتمالية الانتقالات الإشعاعية A_{rad} وفق للعلاقة

التالية [7]:

$$\beta = \frac{A_{rad}(JJ')}{\sum_{J'} A_{rad}(JJ')} \quad (32 - II)$$

II.6-6 - فترة الحياة الإشعاعية:

مدة الحياة الإشعاعية τ_{rad} للمستوى J تعطى بالعلاقة [7]:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{\sum_{J'} A_{rad}(JJ')} \quad (33 - II)$$

II.6-7 - المقطع الفعال التكاملي للانبعاش:

يستعمل هذا المقدار بشكل خاص من أجل تحديد إمكانية حدوث مفعول الليزر في الزجاج

ويعطى بالعلاقة [7]:

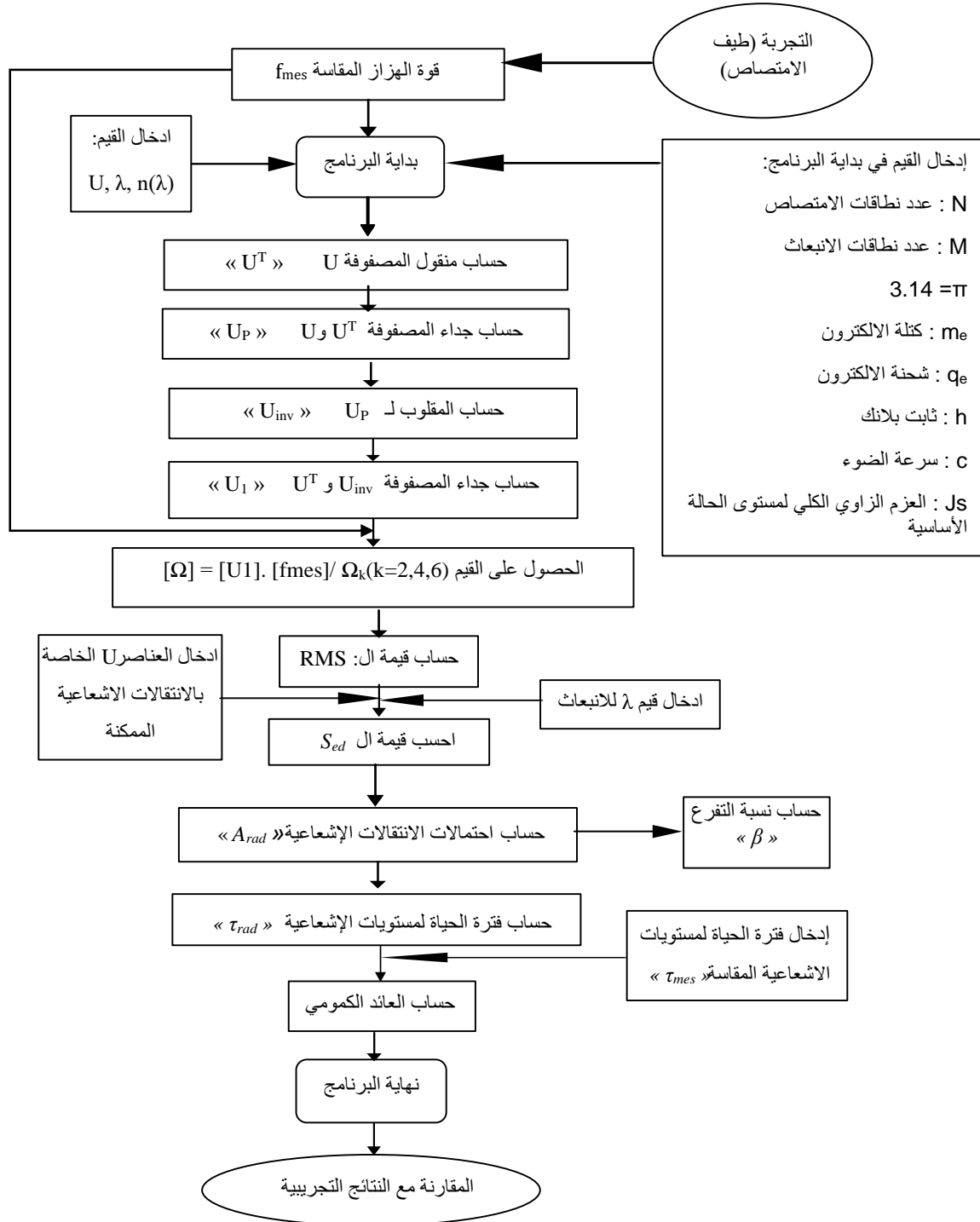
$$\Sigma = \frac{\lambda^2}{8\pi c n^2} A_{rad}(JJ') \quad (34 - II)$$

عندما تكون قيمة المقطع الفعال التكاملي للانبعاش قريبة أو أكبر من 10^{-2}cm هذا يعني إمكانية

حدوث فعل الليزر [7].

7.II - الخوارزمية الحساب برنامج الجود-أوفيلت:

يمثل الشكل (II-4) مخطط تفصيلي لخوارزمية برنامج الجود-أوفيلت من مدخلات، مراحل الحساب الى المخرجات.



الشكل (II-4): مخطط تفصيلي لبرنامج الجود-أوفيلت.

حيث تكون خوارزمية الحساب كالتالي [8]:

Algorithm 3.1: Judd Ofelt Algorithm

Data: $\sigma_{abs}(\lambda) = (A_a, \lambda)$ such that A_a - absorption coefficients (cm^{-1})

λ is wavelength (nm)

Result: $\Omega_t = (\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6)$ Judd-Ofelt parameters

$\tau_{ri} = (\beta_{ij}, \Omega_t, A_{ed})$

begin

$N_b \leftarrow DetectNumberOfBandsMeasured(\lambda)$

$RF_b \leftarrow StoreRefractiveIndex(\lambda_i (i = 1..N_b))$

$BaseTag \leftarrow 2J + 1$ such that J is the ground state stark Level split

$c \leftarrow 2.99792 \times 10^{10} (cm/2)$

$h \leftarrow 6.626 \times 10^{-27} (erg.s)$

$hbar \leftarrow 1.05457266 \times 10^{-27} (erg.s)$

$e \leftarrow 4.8032 \times 10^{-10} (esu(statC))$

$k \leftarrow 1.381 \times 10^{-16} (erg/L)$

$me \leftarrow 9.1093897 \times 10^{-28} (g)$

for $x \in N_b$ do

$A_\lambda(x) \leftarrow IntegrateBand(x) (nmcm^{-1})$

$Se(x) \leftarrow A_\lambda(x) \times 10.41 \times RF_b(x) \times (3/(RF_b(x)^2 + 2))^2 \times BaseTag/\lambda(x)$

 /* Table of reduced elements */

$M_i(x) \leftarrow RM_i(U_2, U_4, U_6);$ such that $i=1,2,3$

 /* Least Squares fit to obtain Judd-Ofelt Parameters */

$\Omega_t \leftarrow inverse(M^T \times M) \times M^T \times Se^T$

 /* Theoretical/Calculated Line Strengths (ST) */

 for $x, j \in N_b, 3$ do

$St(x) \leftarrow St(x) + M_x(j) \times Omega(j)$

 /* δ_{rms} for each transition */

$error \leftarrow sqrt(sum(abs(Se - St)^2)/(N_b - 3))$

$OriTag \leftarrow 2J_p + 1$ such that J_p is the stark Level split of all the bands

Function $TransitionValues(\Omega_t, N_b, J_p)$ **is**

 | β

end

8.II - معاملات الجود-أوفيلت (Ω_k):

معاملات جود-أوفلت لها علاقة بتركيبه الزجاج أو المادة المضيئة لحد بعيد يمكنها ان تعطينا معلومات مهمة عن الايون الذي تم اضافته للزجاج، وتتغير بتغير تركيب وبنية الزجاج المضيئ وكذلك بتغير تركيز الايونات الترابية النادرة[9].

- Ω_2 : تعبر عن مدى التكافؤية الرابط بين الايون الترابي مع الجوار الأقرب.
- Ω_4, Ω_6 : تعبران عن مدى صلابة المادة المضيئة مثل اللزوجة، و ثابت العزل الكهربائي لهذه المواد كما لها علاقة أيضا بالانتقالات الاهتزازية لروابط بين الايونات الترابية النادرة و ذرات الجوار.
- Ω_4/Ω_6 : يسمى معامل الجودة الطيفية وهو معامل مهم جدا للنتبؤ بمدى فعالية الانتقالات الليزرية في المادة المعطاة.

9.II - الخلاصة:

تم في هذا الجزء من المذكرة عرض تفصيلي لبرنامج الجود-أوفيلت من خلال التعرف على جهاز الامتصاص، كما تطرقنا الى اهم القوانين والعلاقات المستخدمة في نظرية J-O وكذا مراحل حسابها نذكر منها القوى الهزاز وقوى الانتقال، مصفوفة الانتقال، احتمالية الانتقال الاشعاعي، ثابت الوصل واخيرا فترة الحياة للمستويات الطاقوية المثارة. كما تم عرض وتوضيح مخطط عمل البرنامج وإعطاء الخوارزمية الخاص به. في الفصل التالي سنعرض تطبيق عملي لهذا البرنامج لحساب المعلمات الطيفية لأيونات الارييوم المطعمة في زجاج الانتيومان.

المراجع:

- [1] S. Koneru, "Absorption and Emission Characteristics of Dy³⁺, Sm³⁺, Eu³⁺, Tb³⁺ and Er³⁺ ions doped Zinc Alumino Bismuth Borate Glasses," no. October, p. 234, 2014.
- [2] B. Tioua, « Etude Spectroscopique des ions trivalents de terre rares dans les verres Sb₂O₃-M₂O », Mémoire de Magister , Centre Univeritaire d'El-Oued 2010.
- [3] K. Ouannes, « Etude structurale et spectroscopique des verres d'oxyde d'antimoine dopes par les ions Er³⁺ » These doctorat , Université Biskra,(2015).
- [4] B. Di Bartolo and O.Forte, « Advances in spectroscopy for lasers and sening , Printed in The Netherlands ,2006.
- [5] O. BENTOUILA, "Etude de l'effet des terres rares dans les verres Application: Lasers et amplificateurs optique." mémoire de magister, Université de Ouargla, 2005.
- [6] W. T. Carnall, P. R. Eieids, and K. Rajnak, "Electronic energy levels of the trivalent lanthanide aquo ions. II. Gd³⁺," J. Chem. Phys., vol. 49, no. 10, pp. 4407-4411, 1968.
- [7] ح. و. ق. بوبكر, "دراسة بعض الخصائص الطيفية لأيونات الارييوم في الزجاج 'الانتيموان', حمه لخضر، الوادي, 2021
- [8] T. Nottingham, N. E. User, Numerical and Experimental Investigation of Novel Materials for Laser and Amplifier Operations, (2015) 224.

[9] P. R. Watekar, S.ju, Won-Taek Han ,Optical properties of Ho-dopedalumino-germano-silica glass opticalfiber , journal of Non-crystalline Solide, (2008).

الفصل الثالث:

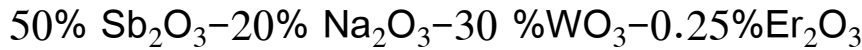
تطبيق حسابي لنظرية JO

III.1- المقدمة:

إن لنظرية جود-أوفلت أهمية كبيرة جعلها محل دراسات لعديد من الباحثين في فيزياء المواد والبصريات، من خلال توفيرها لثوابت ومعلومات طيفية للوسائط النشطة التي تمكننا لفهم اوسع ودقيق حول علاقة وتفاعل الوسائط بالإشعاعات الواردة، مما يتيح لنا سهولة تطبيقها على المواد من أجل انجاز مركبات ضوئية أكثر كفاءة وفعالية. سنعرض في هذا الفصل مثال تطبيقي لبرنامج JO حول زجاج الانتيموان المطعم بأيونات الاربيوم، وعرض أهم النتائج الطيفية المحصل عليها.

III.2- تركيبة الزجاج المدروس:

الزجاج المدروس هو عينة من زجاج الانتيموان، تركيبه الكيميائي يعطى بالصيغة التالية:



مطعما بأيون الاربيوم (Er^{3+}) بتركيز قدره $N=6.56 \times 10^{19} \text{ ion/cm}^3$.

كثافة العينة الحجمية هي: 4.96 g/cm^3 . نرسم للعينة ب: SN0.3W هذه المقادير مأخوذة من

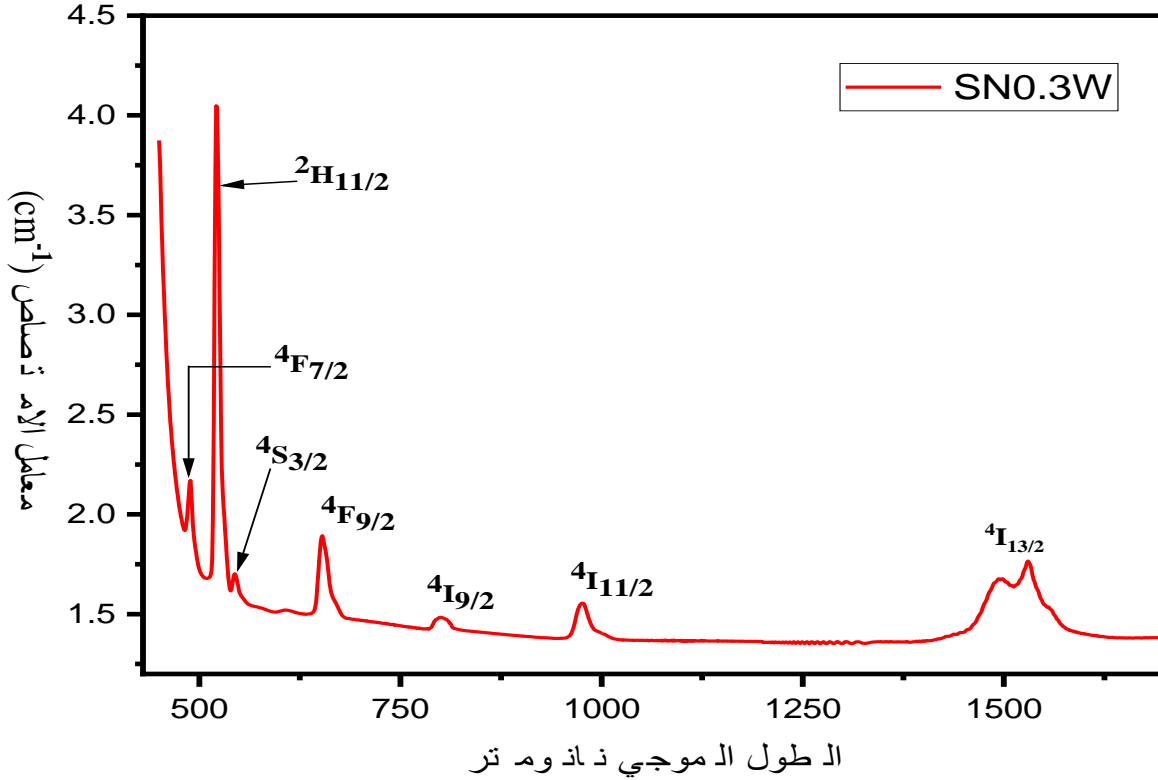
مرجع [1].

درجة حرارة الانصهار (° C)	الكتلة المولية (g/mol)	التركيبية	الاكاسيد
656	291.4	Sb2O3	ثلاثي اكسيد الانتيموان
851	105.97	Na2CO3	كربونات الصوديوم
1473	231.85	WO3	ثلاثي اكسيد التنغستن
2 344	382.56	Er2O3	اكسيد الاربيوم

الجدول (III-1): الكتلة المولية ودرجة حرارة انصهار المواد الاولية.

III. 3- طيف الامتصاص:

يمثل الشكل (III-1) طيف معامل الامتصاص لعينة الزجاجية SN0.3W في المجال الطيفي ما بين 400 و 1700 نانومتر باستخدام مطياف الامتصاص [1]UV-Vis-NIR Cary 5000.



الشكل (III-1): طيف معامل الامتصاص لزجاج SN0.3W.

نلاحظ من طيف الامتصاص بوجود سبع نطاقات امتصاص عند الاطوال الموجية على التوالي 1530، 976، 800، 653، 544، 521، 489 نانومتر. والتي مردها الى الانتقالات الالكترونية بين

المستويات الداخلية 4F لأيونات الاربيوم من الحالة الاساسية $4I_{15/2}$ إلى الحالات المثارة $4I_{11/2}$ ، $4I_{13/2}$

$$.4F_{7/2} , ^2H_{11/2} , ^4S_{3/2} , ^4F_{9/2} , ^4I_{9/2}$$

III. 4- معاملات الجودة-أوفيلت:

يمثل الجدول (III-2) النتائج المحصل عليها لقيم Ω_K بتطبيق برنامج ال JO على العينة

زجاج الانتيموان مطعم بالاربيوم بنسبة 25% مول.

$RMS \times 10^{-20}$	$\frac{\Omega_4}{\Omega_6}$	Ω_6	Ω_4	Ω_2	نوع الزجاج
0.13	1.59	0.86	1.37	5.69	SN0.3W
0.3	1.14	1.41	1.61	5.35	$90NaPO_3 - 8PbCl_2 - 2ErF_3$ [2]
0.17	0.79	1.92	1.53	6.46	SWNB0.25 [3]
0.18	1.85	0.66	1.22	4.36	SNZE0.25 [4]

الجدول (III-2): معاملات الجود-أوفيلت ($\times 10^{-20} cm^2$) Ω_K .

يوضح الجدول (III-2) قيم معاملات الجود-أوفيلت لزجاج SN0.3W، نلاحظ ان هذه المعاملات أتت وفق الترتيب $\Omega_2 < \Omega_4 < \Omega_6$ مع دقة قياس $RMS_S = 0.12978 \times 10^{-20}$ وهي نسبة جيدة. كما نلاحظ ايضا بأن القيم المحصل عليها متوافقة مقارنة مع القيم المحسوبة في مصفوفات الزجاجية الاخرى كما هو موضح في جدول القيم.

III. 5- قوى الانتقال:

تمكننا معاملات الجود-أوفيلت من حساب قوة الانتقال الخاصة بين الحالة الأساسية J والحالة المثارة J' من العلاقة (II - 21) التي تطرقنا إليها في الفصل الثاني، ويمثل الجدول التالي قيم قوى الانتقال المحسوبة S_{cal} من برنامج JO والتجريبية S_{ed} من طيف معامل الامتصاص الخاصة بالمستويات الطاقوية لأيون الاربوم.

الانتقالات	$S_{ed} \times 10^{-20}$	$S_{cal} \times 10^{-20}$	$\Delta S \times 10^{-20}$
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	1.6139	1.5076	0.1063
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	0.4068	0.5020	0.0952
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	0.2004	0.2470	0.0466

${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$	1.1820	1.1351	0.0468
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4S_{3/2}$	0.1515	0.1908	0.0392
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^2H_{11/2}$	4.7041	4.7032	0.0009
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{7/2}$	0.5400	0.7428	0.2028

الجدول (3-III): قوى الانتقال التجريبية والمحسوبة لـ Er^{3+} المطعم في زجاج SN0.3W.

III.6- قوى الاهتزاز:

يمثل الجدول (4-III) قوى الاهتزاز التجريبية f_{ed} من طيف معامل الامتصاص والمحسوبة f_{cal}

ببرنامج JO للامتصاص الخاص بالمستويات الطاقوية لأيون الأربيوم.

الانتقالات	f_{ed} $\times 10^{-6}$	f_{cal} $\times 10^{-6}$	Δf $\times 10^{-6}$
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	1.3682	1.2959	0.0723
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	0.5561	0.6863	-0.1302
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	0.3381	0.4168	-0.0786
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$	2.4839	2.3859	0.0980
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4S_{3/2}$	0.3902	0.4914	-0.1011
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^2H_{11/2}$	12.7199	12.7197	0.0001
${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{7/2}$	1.5705	2.1607	-0.5902

الجدول (4-III): قوى الهزاز التجريبية والنظرية لـ Er^{3+} المطعمة في زجاج SN0.3W.

نلاحظ من الجدولين (3-III) و(4-III) توافق كبير بين قيم قوى الانتقال وقوى الهزاز المحسوبة

والتجريبية، ويبين هذا على صحة ومصداقية برنامج الجود-أوفيلت في حساب قوى الهزاز والانتقال

انطلاقاً من طيف الامتصاص ومصفوفة الانتقال الخاصة بأيون النشط.

III.7- المميزات الطيفية الإشعاعية:

في الجدول (III-5) قيم المعاملات الإشعاعية المحصل عليها بناء على معاملات JO Ω_K

في جزء (III.4) من احتمال الانتقال الإشعاعي A_{rad} ، نسبة التفرع β وفترة الحياة الإشعاعية τ_{rad}

الانتقالات	$\lambda(nm)$	N	Ar(jj')	β	τ_{rad} (ms)
${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	1533	1.96317	249	1.00	4.016
${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	2686.1	1.95505	31	0.10915	3.521
${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	976	1.98051	253	0.89084	
${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	4629.6	1.95246	1	0.00301	
${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	1739.1	1.96049	65	0.19578	3.012
${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	811.49	1.99312	266	0.80120	
${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	3553.7	1.95337	9	0.00264	
${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	1973.2	1.9584	107	0.03148	0.294
${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	1137.6	1.97288	840	0.24720	
${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	653	2.01441	2442	0.71865	
${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	1719.7	1.9607	87	0.03283	0.377
${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	1239.3	1.9695	50	0.01886	
${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	848	1.9695	701	0.26452	
${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	548	2.03814	1812	0.68377	0.055
${}^4H_{11/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$	2545.2	1.9555	57	0.00314	
${}^4H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	1467.1	1.96427	219	0.01207	
${}^4H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	1114.1	1.97379	142	0.00782	0.01372
${}^4H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	795.7	1.99473	249	0.01372	
${}^4H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	522	2.04593	17477	0.96323	

الجدول (III-5): المميزات الإشعاعية لأيون الأربيوم في العينة SN0.3W.

يمكننا التنبؤ بحدوث الانتقال الاشعاعي من خلال النسب المرتفعة للمقادير (Ar, β) ، ولدينا في

هذا الجدول ملاحظة امكانية حدوث الانتقال الاشعاعي في مناطق التالية:

• الضوء الأحمر: عند الطول الموجي 653 نانومتر الخاص بالانتقال $4F_{9/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ مع نسبة

تفرع تبلغ حوالي 72% و باحتمال انتقال $[s^{-1}] = 2442$.

• الضوء الأخضر: عند الطول الموجي 548 نانومتر الخاص بالانتقال $4S_{3/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ بنسبة

تفرع تبلغ حوالي 68% و باحتمال انتقال $[s^{-1}] = 1812$.

• الضوء الأخضر أيضا عند الطول الموجي 522 نانومتر الخاص بالانتقال $4H_{11/2} \rightarrow 4I_{15/2}$

بنسبة تفرع 96% و باحتمال انتقال $[s^{-1}] = 17477$.

ويمكن كذلك حدوث الإضاءة في مجال الأشعة تحت الحمراء عند الطول الموجي 1530 نانومتر

الخاص بالانتقال $4I_{13/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ وهو يتميز بحد أقصى لنسبة التفرع تصل إلى $(\beta = 100\%)$

على الرغم من القيمة المنخفضة لاحتمال انبعائه $(A_{rad} = 249 [s^{-1}])$.

8.III-الخلاصة:

تم في هذا الفصل عمل تطبيقي لبرنامج JO وتمكنا من خلاله حساب واستنتاج المقادير الطيفية

لأيونات الارييوم المطعمة في زجاج الانتيموان، عملية الحساب تمت بدقة جيدة ونتائج متوافقة مقارنة

مع نتائج سابقة لوسائط مختلفة، كما تمكنا من التنبؤ بحدوث انبعاثات في المنطقة الحمراء والخضراء.

المراجع:

- [1] Mr. Belkhir TIOUA. "Amplification Optique dans les verres dopés par Er^{3+} et Co-dopés (Er^{3+}, Yb^{3+}) dans les Systèmes $Sb_2O_3-Na_2O-WO_3$ ". Université Mohamed Khider–Biskra, 2019
- [2] م. أمّنة, "دراسة طيفية لزجاج هالوجينو-فوسفاتي مطعم بالإربيوم (Er^{3+}) قاصدي مرباح، ورقة، 2014.
- [3] K. Ouannes *et al.*, "Spectroscopic properties of Er^{3+} + doped antimony oxide glass," 2014.
- [4] M. Hamzaoui *et al.*, "Optical properties of erbium doped antimony based glasses: Promising visible and infrared amplifiers materials," *Phys. Status Solidi Basic Res.*, vol. 249, no. 11, pp. 2213–2221, 2012.

خاتمة عامة

خاتمة عامة:

الهدف من هذا العمل هو دراسة نظرية الجود اوفيلت من خلال التعرف على مراحل حسابها وإعطاء نموذج لخوازمية الحساب، وهي تعتبر من اهم النظريات في علم البصريات التي تسهل لنا حساب المعلمات الطيفية للعناصر النشطة في المصفوفات المضيفة، هذه الأخيرة تدخل في تقييم وفهم أداء الوسائط التي تدخل في تطبيقات الالكتروضوئية كالحساسات، مضخات البصرية، المواد الليزرية،.....الخ.

ومن اجل بلوغ هذا الهدف من الدراسة قمنا بتقسيم المذكرة الى ثلاث فصول وكانت نتائجها كالتالي:

في الفصل الاول قمنا بعرض ودراسة مطيافية عناصر الاتربة النادرة **RE** منها التوزيع الالكتروني، الرموز الطيفية التابعة لها، مستويات الطاقة وتحديد قواعد الانتقاء، كما تعرفنا كذلك على الآليات التي يمكن حدوثها من خلال تفاعل الاشعاع مع هذه العناصر لما تكون مطعمة في وسائط المضيفة. أما في الفصل الثاني فقد قمنا بعرض والتعريف ب نظرية **J-O** من خلال التعريف او لا بجهاز مطيافية الامتصاص ومعامل الامتصاص المعتمد التجريبي لهذه النظرية، كما تطرقنا الى اهم القوانين والعلاقات المستخدمة في هذه النظرية وعرضنا مراحل الحساب التي تمكننا من معرفة وحساب الوسائط الطيفية لأيونات العناصر الاتربة النادرة كقوى الهزاز، قوى الانتقال، احتمالية الانتقال الاشعاعي، ثابت الوصل واخيرا فترة الحياة للمستويات الطاقوية المثارة.

وقمنا اخيرا في الفصل الثالث بتطبيق حسابي لبرنامج **JO** على الزجاج الانتيموان المطعم بأيونات الاربيوم بنسبة %0.25 مول في تركيبة، من خلاله تم حساب بعض المعلمات الطيفية انطلاقا من طيف الامتصاص. نتائج Ω_k المحصل عليها كانت متوافقة مع تلك المحسوبة في مصفوفات الزجاجية المختلفة وبدقة حساب $RMS \approx 0.13 \times 10^{-20} cm^2$ ، كما تم حساب قوى الانتقال S_{cal} وقوى الهزاز f_{cal} وكانت نتائجها جيدة مقارنة بالقيم التجريبية. بالإضافة إلى الحصول على نتائج الانتقالات الاشعاعية كاحتمالية الانتقال ($A_{rad}(jj')$ ، نسبة التفرع β وفترة الحياة الاشعاعية للمستويات المثارة τ_{rad} ، كما تنبئ هذه النتائج من خلال الثنائية (Ar, β) بحدوث الفلورة لهذا الزجاج في المنطقة الحمراء والخضراء.

الملحق

الملحق

قيم بعض الثوابت

الوحدة	القيمة (نظام cgs)	الرمز	الثابت
$cm \cdot s^{-1}$	2.998×10^8	c	سرعة الضوء في الخلاء
$cm^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot s^{-1}$	4.8032×10^{-10}	e	شحنة الإلكترون
g	9.1094×10^{-28}	m_e	كتلة الإلكترون
$g \cdot cm^2 \cdot s^{-1}$	6.6261×10^{-27}	h	ثابت بلانك
$g \cdot cm^2 \cdot s^{-1} \cdot k^{-1}$	1.3807×10^{-16}	K_B	ثابت بولتزمان
$g \cdot cm^2 \cdot s^{-1}$	1.0546×10^{-27}	\hbar	ثابت بلانك المخفض
g	1.6726×10^{-24}	m_p	كتلة البروتون
g	1.6749×10^{-24}	m_n	كتلة النيوترون
g	1.6605×10^{-24}	u	وحدة الكتلة الذرية

الملخص:

يتمحور هذا العمل حول نظرية الجود أوفيلت، من خلال دراستها والتطرق الى مراحل حسابها، وهي من بين النظريات الاساسية في علم المواد النشطة التي تعتمد على ايجاد معلمات الطيفية للعناصر النشطة المطعمة في الوسائط المضيفة والتي تمكنا الى فهم افضل حول التفاعل بين الاشعاع مع هذه المواد، وقمنا في هذه المذكرة بإعطاء خوارزمية حساب لهذه النظرية وقمنا كذلك بحساب تطبيقي على زجاج الانتيموان المطعم بالاربيوم بنسبة % 0.25 مول وقمنا من خلالها بتحديد بعض المعلمات الطيفية كقوى الهزاز و قوى الانتقال، احتمالية الانتقال لمستويات المثارة، ثابت الوصل و فترة الحياة، نتيجة الحساب كانت بدقة جيدة ومقبولة مقارنة مع نتائج سابقة لوسائط مختلفة.

الكلمات المفتاحية: نظرية الجود-أوفيلت، عناصر الأتربة النادرة، الاربيوم، زجاج الانتيموان

Abstract:

This work involves around the "Judd-Ofelt theory ", through studying and dealt with its accounting stages that it's among the basic theories of the active substances which depend on finding the spectral parameters for vaccinatdoped active elements in Host-media that it were able to understand better about the interaction between radiation with these substances.

And in this dissertation, we have given a calculation algorithm for this theory and also calculation implement on Antimoine glass doped with erbium (Er) a rate of 0.25 mol% and we have determined some of spectral parameters as vibrating and transmission forces, possibility to move to perseverance levels, fixed link, and lifespan, the results of calculation was good accuracy and acceptable compared with previous results of different media

key words :

Judd-Ofelt theory, rare earth elements, Erbium (Er), Antimoine glass .