

جامعة قاصدي مرياح ورقلة

رقم الترتيب: .....

رقم التسلسل: .....

كلية الرياضيات وعلوم المادة والطب  
قسم الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

مجال : علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص : فيزياء إشعاعية

من إعداد الطالبتين : بوخطة ربيعة- حريز نورالهدى

الموضوع:

دراسة طيفية لعنصر الإيتريوم

في بعض أنواع الزجاج

نوقشت يوم 2018/06/10 أمام لجنة المناقشة المكونة من :

رئيسا	أستاذ محاضر - أ-	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	بن مبروك لزهري
مناقشا	أستاذ تعليم العالي	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	عيادي كمال
مناقشا	أستاذ مساعد-أ-	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	مامانو عبد اللطيف
مشرفا	أستاذ محاضر - أ-	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	بن طويلة عمر

الموسم الجامعي : 2017 - 2018

## الإهداء

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل إليه لولا فضل الله علينا أما بعد

اهدي هذا العمل إلى من رباني صغيرا والدتي "فاطمة"

إلى كل من علمني، واخذ بيدي، وأثار لي طريق العلم والمعرفة إلى كل من شجعني

والذي العزيز "حسين" في رحلتي إلى التميز والنجاح

والى رفيق دربي و سندي في الدنيا زوجي الذي ساعدني على إتمام هذا العمل ولم

يبخل عليا بتوجيه ونصيحة ولا أحصي له

فضلا إلى كل أفراد أسرتي أختي إخوتي إلى عائلة زوجي كل واحد باسمه دون ان لاننسى

براعمي "أميمة وعبد المعز" إلى كل أقاربي دون استثناء إلى كل من ساندني، وقفه

بجانبني

إلى كل من قال لي : لا، فكان سببا في تحفيزي

والتميز سبيله

إلى كل الأصدقاء والأحباب الذين جمعنا بهم الحياة الجامعية خاصة طلبة فيزياء

إشعاعية دفعة 2018/2017

إلى أساتذتي الكرام

إلى هؤلاء جميعا اهدي ثمرة مجهودي هذا

وفي الأخير أرجو من الله تعالى إن يجعل عملي هذا نفعاً يستفيد منه جميع الطلبة

المقبليين على التخرج

ربيعة

## الإهداء

إلى من لا يمكن للكلمات أن توفي حقهما

إلى من لا يمكن للأرقام أن تحصى فضائلهما

إلى والدي العزيزين أدامهما الله لي أبي الغالي عطية وأمي الحبيبة نجمة

إلى إخوتي إبراهيم واسماعيل وعيسى وبلخير

و أخواتي فاطمة ، ونجاة ونعيمة وخاصة أختي الزهراء التي كانت سندا لي من أيام الابتدائي

إلى براعم الحياة جميعهم

إلى رفيقات دربي : ربيعة وحيزية وعجلة وكريمة وحنان وفاطمة

إلى كل طلبة تخصص فيزياء وبالأخص فيزياء الإشعاعية دفعة 2018

نور الهدى

## شكر وعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي أثار لنا درج العلم والمعرفة وأعاننا على أداء هذا الواجب ووفقنا إلى  
انجاز هذا العمل

نتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد

على انجاز هذا العمل وفي تذليل ما واجهناه من صعوبات،

ونخص بالذكر الأستاذ المشرف بن طويلة عمر الذي لم يبخل علينا بتوجيهاته ونصائحه  
القيمة التي كانت عوناً لنا في إتمام هذا البحث. ولا يفوتنا بتوجيه

الشكر و التقدير إلى أساتذة اللجنة المناقشة الأستاذ لزهير بن مبروك على قبوله ترؤس  
اللجنة المناقشة و

الأستاذ همامو عبد اللطيف و عميادي كمال على قبولهما مناقشة هذه المذكرة

ولا يفوتنا أن نشكر كل موظفي الجامعة

كما نتقدم بالشكر إلى كل عمال مكتبة و الإداريين في إنجاز هذه المذكرة.

أخيراً نتقدم بخالص الشكر لكل أساتذة علوم المادة

والى كل من قدم لنا يد العون

## فهرس

المحتويات	
I.....	الإهداء.....
II.....	الشكر والعرفان.....
III.....	فهرس المحتويات.....
VI.....	فهرس الأشكال.....
VII.....	فهرس الجداول.....
الفصل الأول: الزجاج	
3.....	1-I مقدمة.....
3.....	2-I تاريخ الزجاج.....
3.....	3-I حالات المادة.....
4.....	4-I مفهوم الزجاج.....
5.....	5-I درجة حرارة الانتقال الزجاجي (Tg).....
6.....	6-I بنية الزجاج.....
6.....	1-6-I البنية البسيطة.....
7.....	2-6-I البنية المركبة للزجاج.....
9.....	7-I طبيعة الروابط.....
9.....	8-I أنواع الزجاج.....
9.....	1-8-I الزجاج الأكسيدي.....
10.....	2-8-I الزجاج المالحوجيني.....
11.....	3-8-I زجاج العناصر الكالكوجينية.....
11.....	9-I خواص الزجاج:.....
11.....	1-9-I الخواص البصرية.....
12.....	2-9-I الخواص الميكانيكية.....
12.....	3-9-I الخواص الحرارية.....
14.....	4-9-I الخواص الكهربائية.....
14.....	10-I الخلاصة.....

## الفصل الثاني: الزجاج المطعم بالزجاج بالعناصر الترابية النادرة

15	1-II مقدمة.....
15	2-II لمحة تاريخية.....
15	3-II العناصر الترابية النادرة.....
18	4-II مطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة.....
18	1-4-II الأعداد الكمية.....
18	2-4-II الرموز الطيفية.....
20	3-4-II مستويات الطاقة :.....
22	4-4-II قواعد الانتقاء :.....
23	5-4-II تعريضات خطوط الطيف :.....
23	5-II عنصر الإيتريوم.....
23	1-5-II التوزيع الإلكتروني :.....
24	3-5-II مخطط ومستويات الطاقة لأيون الإيتريوم :.....
25	6-II الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة :.....
25	1-6-II المادة المضافة للعناصر الترابية النادرة.....
26	2-6-II التأثيرات على خصائص الاستضاءة :.....
27	1-2-6-II تركيز الإطفاء الذاتي :.....
27	2-2-6-II التفاعل مع الفونونات.....
27	3-2-6-II تفاعلات أيون-أيون.....
28	4-2-6-II تأثير $\text{OH}^-$ :.....
28	7-II آليات تفاعل الإشعاع مع أيونات العناصر الترابية النادرة :.....
28	1-7-II آليات إشعاعية :.....
28	2-7-II آليات غير إشعاعية :.....
34	8-II المرادودية الكمية:.....
34	9-II الخلاصة:

## الفصل الثالث: الليزر والمضخمات الضوئية

35	1-III مقدمة:.....
35	2-III التضخيم الضوئي والليزري.....
35	1-2-III التضخيم الضوئي.....
35	1-1-2-III المكونات الأساسية لجهاز التضخيم الضوئي هي كالتالي.....
36	2-2-III الليزر.....
37	1-2-2-III المكونات الأساسية لجهاز الليزر.....
38	2-2-2-III شروط الانبعاث الليزري.....

39	.....III-2-3الريح
40	.....III-3 أصناف الليزر
40	.....III-3-1 ليزر المستويات الثلاثية
41	.....III-3-2 ليزر المستويات الرباعية
42	.....III-4 الخلاصة
<b>الفصل الرابع: دراسة طيفية لأيون الإيتريوم في بعض أنواع الزجاج</b>	
43	.....IV-1..المقدمة
43	.....IV-2 المقطع الفعال للإمتصاص
45	.....IV-3 قوى الانتقال:
45	.....IV-4 المقطع الفعال للإصدار
45	.....IV-5 حساب المقطع الفعال للريح
45	.....IV-6 حساب فترة الحياة الاشعاعية $\tau_{rad}$
46	.....IV-7 شدة الضخ الأصغرية $I_{min}$ :
47	.....IV-8 تعيين الوسائط الطيفية لأيون الإيتريوم في زجاج فليوروفوساتي
47	.....IV-8-1 تركيبة الزجاج المدروس
48	.....IV-9 النتائج والمناقشة
59	.....IV-10 الخلاصة

## فهرس الاشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
4	تمثيل مبسط مادة بلورية - مادة لابلورية	(1-I)
5	تغيرات الحجم $V$ من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (الزجاج_البلور)	(2-I)
7	يوضح مجالات الاستقرار متعددات السطوح تبعا لقيمة النسبة بين نصفي قطري الشاردتين السالبة والموجبة $R_C/R_A$ .	(3.I)
10	مجال شفافية مختلف أنواع الزجاج	(4.I)
16	موقع العناصر الترابية النادرة في الجدول الدوري	(1-II)
21	تمثيل تخطيطي لرفع التوالد بسبب التفاعلات الكهربائية للاندواج سبين - مدار	(2-II)
21	يوضح مستويات الطاقة للعناصر الترابية النادرة $Yb^{+3}$ ، $Er^{+3}$ ، $Ce^{+3}$ ..	(3-II)
24	مخطط الطاقة لأيون الإيتريوم $Yb^{+3}$	(4-II)
25	مخطط يوضح مستويات الطاقة لأيون الإيتريوم $Yb^{+3}$	(5-II)
28	يوضح الآليات الرئيسية للتفاعل إشعاع - مادة	(6-II)
29	ظاهرة الامتصاص	(7-II)
31	ظاهرة الانبعاث التلقائي	(8-II)
36	رسم تخطيطي لمبدأ التضخيم الضوئي	(1-III)
36	يوضح المكونات الأساسية لليزر	(2-III)
39	يوضح شروط الانبعاث الليزري	(3-III)
41	نظام ذو ثلاث مستويات	(4-III)



42	نظام ذو أربعة مستويات	(5-III)
43	امتصاص الضوء	(1-IV)
47	صورة للعينات المدروسة.	(2-IV)
49	بنية مستويات الطاقة لأيون الإيتريوم $Yb^{+3}$	(3-IV)
49	أطياف المقطع الفعال للإمتصاص لأيونات الإيتريوم $Yb^{+3}$ للعينات الأربعة.	(4-IV)
50	تغيّر المقطع الفعال للإمتصاص بدلالة تركيز أيونات الإيتريوم $Yb^{+3}$ للعينات الأربعة	(5-IV)
52	أطياف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (0.5mol%)	(6-IV)
52	أطياف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (1mol%)	(7-IV)
53	أطياف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (1.5mol%)	(8-IV)
53	أطياف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (2mol%)	(9-IV)
54	المقطع الفعال للريح للعينة (0.5mol%)	(10-IV)
55	المقطع الفعال للريح للعينة (1mol%)	(11-IV)
55	المقطع الفعال للريح للعينة (1.5mol%)	(12-IV)
56	المقطع الفعال للريح للعينة (2mol%)	(13-IV)
57	تغيّر فترة الحياة الإشعاعية بدلالة تركيز أيونات الإيتريوم في العينات المدروسة	(14-IV)

## فهرس الجداول

الصفحة	العنوان	رقم الجدول
7	تصنيف zachariasen « لبعض الأكاسيد	(1-I)
17	يمثل التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية النادرة	(1-II)
26	الطاقة القصوى للفنونات بعض أنواع من الزجاج	(2-II)
48	الكتلة الحممية والسلك والتركيز للعينات المدروسة	(1-IV)
51	قوى الإنتقال	(2-IV)
57	احتماليات الانتقال وفترات الحياة الإشعاعية لأيون $Yb^{+3}$ في العينات المدروسة	(3-IV)
58	الوسائط المهمة لأداء الليزر للعينات المدروسة	(3-IV)

## الترميز

الرمز	معناه
Tg	درجة حرارة الإنتقال الزجاجي
I	شدة الحزمة الضوئية
L	سمك العينة
$\alpha$	معامل الإمتصاص ( $\text{cm}^{-1}$ )
$\lambda$	طول الموجي
$K(\lambda)$	قرينة الإمتصاص
N	قرينة الانكسار
C	سرعة انتشار الضوء في الخلاء
$C_v$	سرعة انتشار الضوء في الزجاج
$D_v$	التشتت
R	معامل الانعكاس
T	معامل انتقال الضوء في الزجاج
$\delta$	الإجهاد
E	معامل المرونة
$\xi$	التشوه النسبي
$\alpha_{T\Delta}$	معامل التمدد الحراري
$L\Delta/L_0$	الإستطالة النسبية لعينة بطول ابتدائي $L_0$
B	معامل التمدد الحراري الحجمي
$\eta$	معامل اللزوجة
T	إجهاد القص
$dy/ dt$	سرعة التشوه الزاوي
N	العدد الكمي الرئيسي
M	العدد الكمي المغناطيسي
S	العزم الزاوي اللفي (المغزلي) الكلي
L	العزم الزاوي المداري الكلي

مجموع العزم الزاوي	J
دالة الموجة مرتبطة الذرة	$\Psi$
هاملتون التفاعل	H
طاقة المستوي	E
شحنة النواة	$Ze$
هاملتون الأيون الحر	$H_0$
هاملتون التشكيل في التقريب "الحقل المركزي"	$H_c$
كتلة الإلكترون	$m_e$
شحنة الإلكترون	E
فاعل كولوم بين الكترونات في الطبقة	$H_{el}$
تفاعل بين اللف الذاتي و العزم الزاوي المداري لكل إلكترون	$H_{so}$
معامل الدوران في ازدواج سبين - مدار.	$\lambda_i$
المقطع الفعال للامتصاص	$\sigma_a$
الكثافة الضوئية	$D_0$
تركيز الأيونات الترابية النادرة ( $\text{ions, cm}^{-3}$ )	$N_0$
الكثافة الحجمية للعينة ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	$\rho$
عدد افوجادرو	$N_A$
الكتلة المولية للمادة ( $\text{g. mol}^{-1}$ )	M
ثابت بلانك	H
التردد	$\nu$
معامل انشنتين احتمال الامتصاص لوحدة الزمن	B
فترة الحياة الإشعاعية	$\tau_{rad}$
معامل انشنتين لاحتمال الامتصاص لوحدة الزمن.	B
مدة الحياة (s) الحالة المثارة	$\tau$
معامل أينشتاين لاحتمال الانبعاث تلقائي لوحدة الزمن.	$A_{12}$
احتمال حدوث عملية الانبعاث المحفز	$W_{21}$

معامل أينشتاين لاحتمال الانبعاث المحفز لوحدة الزمن.	$B_{21}$
المقطع الفعال للاصدار ( $\text{cm}^2$ )	$\sigma_e$
هي شدة الشعاع الساقط ( $\text{w/cm}^2$ )	$I_p$
التوالد في المستوى الطاقة $E_i$	$g_i$
ثابت بولتزمان	$K_B$
درجة الحرارة	$T$
عدد الفونونات	$P$
إحتمال إثارة الفونونات	$W_{MP}$
إحتمال إنتقال $0^0k$	$W$
فرق الطاقة بين مستويات الانتقالية	$\Delta E$
عدد بوز BOSE	$n(v)$
المردودية الكمية	$\eta$
تركيز الإطفاء الذاتي	$Q$
أس نوعي	$P$
كفاءة الليزر	$\eta_L$
معامل الريح	$\gamma(v)$
معامل الحجز	$\Gamma$
قوى الانتقال	$F$
المقطع الفعال للريح	$G(\lambda)$
احتمالية الانتقال الإشعاعي	$A_{rad}$
شدة الضخ الأصغرية	$I_{min}$
شدة الضخ التشبع	$I_{sat}$
طول موجة الإصدار الليزري	$\lambda_0$
طول موجة الضخ	$\lambda_p$
فترة الحياة للإصدار	$\tau_{exp}$

### المقدمة العامة

بدأت صناعة الزجاج بالتطور منذ القرن السابع عشر حيث أدخلت عدة تعديلات على هذه الصناعة سواء من ناحية المواد الأولية أو من ناحية الآلات الحديثة كذلك من أجل الحصول على مواصفات فيزيائية وكيميائية أفضل، ومن خلال التطورات التي حدثت في القرن العشرين الذي أدى إلى تطور صناعة المنتجات الزجاجية حيث طغى على جميع التطورات السابقة، لذلك أصبح من الضروري إنتاج زجاج يختلف عن مواصفات الزجاج العادي [1].

حيث تنشط الأبحاث لتعميق فهم بنية الزجاج وسلوكه وخواصه بهدف تحسين أدائه وتطوير أنواع الزجاج المختلفة، فالزجاج ينشط عند ما نقوم بتطعيمه بكميات صغيرة من أيونات الأرضية النادرة (TR) حيث يسمى بالتركيبات الضوئية.

الأيونات الأرضية النادرة تتميز بالعديد من الخصائص البصرية في مجموعة واسعة من الأطوال الموجية من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء، إضافة إلى ذلك فإنها تمتلك مستويات الطاقة متبدل الاستقرار التي تسهل انعكاس السكان، وبخصوص أنها محفزة في حالة مزجها في مادة زجاجية، على الرغم من أنها ليست الأيونات الوحيدة التي يمكن استخدامها في الأوساط الفعالة لليزر الصلبة الزجاجية، وتعتبر ليزرات الزجاج المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة أوسع شهرة مقارنة بالمنظومات الليزرية الأخرى، وذلك لسهولة ضبطها واستقراريتها العالية في حالة تواجد تغيرات في درجة الحرارة، وبما أن الغرض الأول من المضخمات الليزرية، هو إنتاج نبضات بطاقة عالية، فإن تشغيلها يختلف بصورة كبيرة عن تلك المضخمات المستخدمة في علم الإلكترونيات التقليدية، ففي حالة هذه الليزر، نحن لا نتعامل مع تضخيم الإشارة الصغيرة، بل نتعامل مع تضخيم الإشارات المضخمة [2].

نقدم هذه المذكرة تحت عنوان "دراسة طيفية لعنصر الإيتريوم Yb في بعض أنواع الزجاج"

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير تركيز الإيتريوم على الخصائص الطيفية للمركب الزجاجي التالي:



$$(x = 1 \text{ and } y = 0.5, 1, 1.5 \text{ and } 2\text{mol}\%)$$

استخراج الوسائط الطيفية للزجاج المدروس باستخدام نظرية McCumber وبذلك تنقسم الدراسة إلى

أربعة فصول:

الفصل الأول: حاولنا في هذا الفصل إعطاء بعض المفاهيم الأساسية حول الزجاج، بنيته، تركيبه وخواصه البصرية.

## المقدمة العامة

---

الفصل الثاني: تطرقنا للزجاج المطعم بالايونات الترابية النادرة وبالأخص عنصر الإيتريوم، والمفاهيم الأساسية لمطيافية هاته العناصر والتشكيل الإلكتروني .

الفصل الثالث: تناولنا في هذا الفصل التعرف عن المضخات الضوئية والليزر، أصنافه، مكوناته.....

الفصل الرابع: لتحديد الوسائط الطيفية قمنا بحساب المقطع الفعال للامتصاص وباستغلاله و بتطبيق نظرية ماك كومبر

McCumber استطعنا حساب المقطع الفعال للإصدار والرياح، وفترة الحياة الإشعاعية وشدة الضخ.

الفصل الأول

الزجاج



## 1-I مقدمة

يعتبر الزجاج من أقدم وأهم المواد التي تم تصنيعها من طرف الإنسان، حيث كان يستعمل حجر السبع ( حجر زجاجي أسود) لصنع السكاكين وأسهم الحروب..... إلخ، يبدأ تاريخه منذ حوالي ثلاثة آلاف سنة قبل الميلاد وهذا لتمييزه ببعض المميزات الهامة، كالشفافية والصلادة( مقاومتها للخدش والتعب) و المقاومة الكيميائية الكبيرة، فهو أكثر استخداما في العالم.

## I-2 تاريخ الزجاج:

بالرغم من أن صناعة الزجاج من الصناعات القديمة التي عرفها الفراعنة والفينيقيون وكان هذا قبل أن يتعلم الناس أسرار صنع الزجاج فهناك طريقتين مختلفتين الأولى عندما كان البرق يرتطم بالرمل، كانت الحرارة أحيانا تصهر الرمل وتصنع منه أنابيب رفيعة طويلة تسمى ذات الوميض، كذلك فإن حرارة البراكين المتفجرة الهائلة كانت هي الأخرى تصهر أحيانا الصخور والرمل وتكوّن منها زجاجا يعرف باسم السبع (الزجاج البركاني) .

يعتبر الصناع الآسيويون هم أول من أرسى صناعة الزجاج ومنه انتقلت الصناعة إلى مصر، حيث ترجع أول آنية زجاجية إلى حكم تحتمس الثالث (1504-1450) قبل الميلاد، وقد ظلت صناعة الزجاج منتعشة في مصر حتى حوالي 1200 قبل الميلاد، ثم توقفت فعليا لعدة قرون من الزمان، وفي القرن التاسع قبل الميلاد ظهرت كل من سوريا والعراق كمراكز لصناعة الزجاج.

بعد الحرب العالمية الثانية فعلا بدأ التوفيق والانسجام بين البحث العلمي والتكنولوجيا الزجاجية، حيث شهدت الفترة الممتدة بين(1950م - 1960م)ازدهار حقيقي لعلم التزجيج مقارنة بما عرفه علم التعدين (المعادن) قبله بعشرات السنين، خلال العشرية الأخيرة، حيث صنف الزجاج ضمن المواد ذات التطبيقات الدقيقة، عالية التخصص في التقنيات الإلكترونية والبصرية (LASER)

## I-3 حالات المادة:

للمادة أربعة حالات هي الحالة السائلة، الحالة الصلبة، الحالة الغازية وحالة البلازما، إذ يختلف التركيب البنوي للمادة من حالة إلى أخرى حسب قوى الربط المسيطرة على المادة، ويمكن تمييز كل حالة عن الأخرى فيزيائيا بالنظر في خاصية السريان أو التدفق، حيث تكون المادة في حالتها الغازية والسائلة قابلة للانتساب والتشكل بشكل الإناء الذي توضع فيه. بينما تفقد المادة الغازية والسائلة

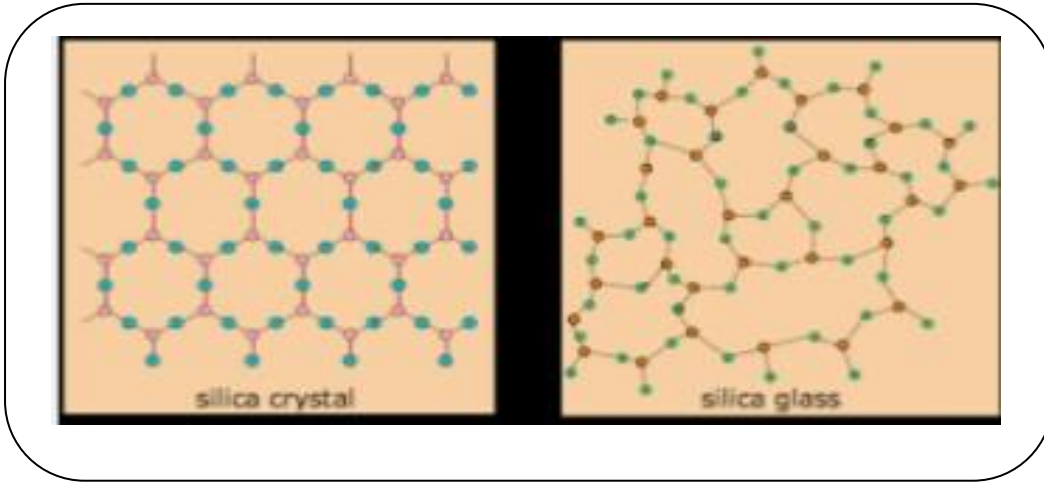
قدرتها على التدفق عندما تتحول إلى الحالة الصلبة بعد تبريدها، وتتخذ شكلا وحجما ثابتين. يمكن تصنيف المواد الصلبة إلى قسمين رئيسيين هما [3]:

• مواد صلبة متبلورة:

هي مواد صلبة تكون ذراتها موزعة بشكل هندسي منتظم، مشكلة نمطا هندسيا دوريا، عند انتشار هذا النمط ليشغل كل أجزاء المادة وذلك يعني أن لدينا بلورة وحيدة، وإذا توقف إطراد دورية النمط الهندسي عندها تسمى بمحدود الحبيبات، فتكون المادة متعددة البلورات أي مكونة من مجموعات صغيرة جدا من الحبيبات أو البلورات الأحادية الصغيرة في اتجاهات مختلفة [3].

• مواد صلبة اللامتبلورة:

تتخذ ذراتها توزيع عشوائي بحيث تمتلك دورية ذات ترتيب ذري قصير المدى، وذلك بتحويلها من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، توصف بالمواد اللابلورية أيضا بأنها زجاجية التركيب حيث أن الزجاج هو أشهر المواد اللابلورية إلى جانب السيراميك. [3].



الشكل (1-I) : تمثيل مبسط مادة بلورية - مادة لابلورية [4].

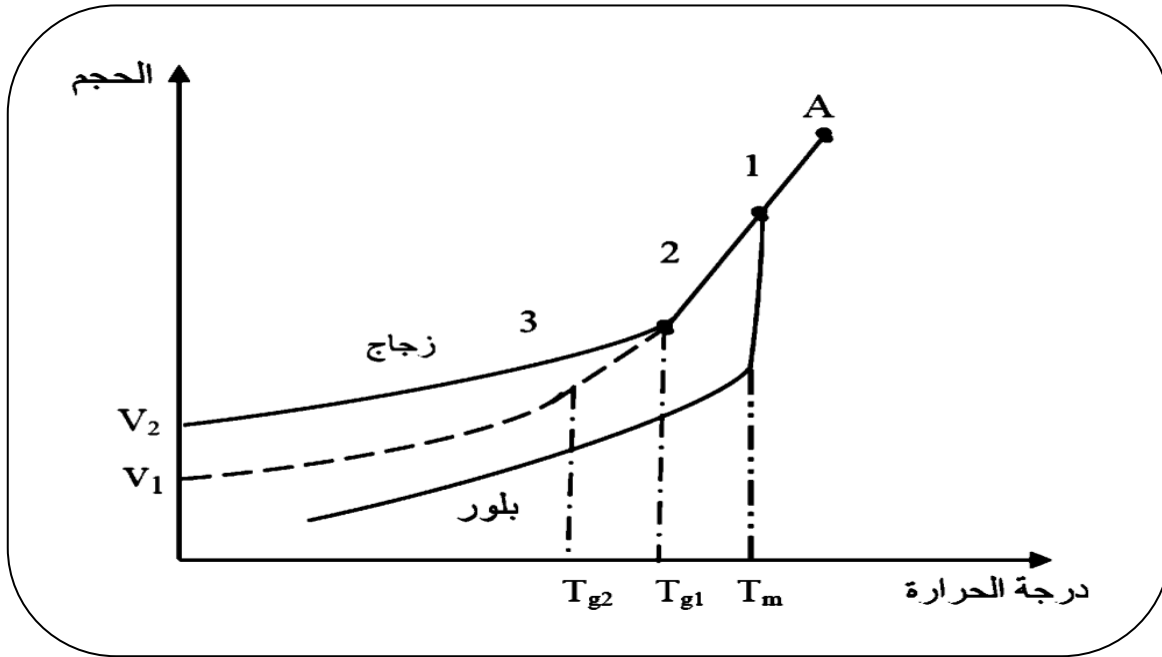
4-I مفهوم الزجاج:

ينتمي الزجاج إلى المواد الصلبة اللابلورية، التي لا تمتلك نمطا هندسيا دوريا، تتميزها ظاهرة الانتقال الزجاجي، وتسمى الحالة الفيزيائية لها بالحالة الزجاجية، ونحصل على هذه الحالة بواسطة التبريد السريع للسائل الزجاجي المذاب [5].

### I-5 درجة حرارة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) :

عند البدء بتبريد منصهر زجاجي عشوائي التركيب البلوري، فإن حجمه يتقلص مع انخفاض درجة الحرارة، فإذا كانت النقطة (A) شكل (2.I) تمثل الزجاج بالطور السائل وبدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة الإنصهار، تبدأ الذرات بفقد طاقتها عند أقل من درجة الحرارة في (A) ، حيث يكون خليط صلب-سائل (المنطقة 1)، أما في درجة حرارة أقل من ( $T_m$ ) يكون الزجاج بالطور الصلب ولكنه يحمل صفات السائل (المنطقة 2). وفي نهاية المنطقة يحدث ثبات نسبي في الحجم .

درجة حرارة التحول من الحجم المتغير إلى الحجم الثابت تسمى درجة حرارة الانتقال الزجاجي ( $T_g$ ) ، وفي نهاية المرحلة (المنطقة 3) يأخذ الزجاج حجمه النهائي. والمنحني المتقطع يعني أنه في حالة إطالة فترة التبريد، فيكون معدل فقدانه للحرارة بطيء ولذلك ( $T_g2$ ) تكون أقل من ( $T_g1$ ) . هذا يعني أن معدل التبريد له تأثير كبير على خواص الزجاج، أم الخط الثاني فإنه يشمل المادة المنصهرة التي تتحول إلى بلور، حيث نلاحظ أن له نقطة حرجة ( $T_m$ ) ينتقل فيها مباشرة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة [6].



الشكل (2.I): تغيرات الحجم  $v$  من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة (الزجاج\_البلور) [6].

## I-6-1 بنية الزجاج:

مند بداية القرن العشرين وضعت عدة فرضيات من أجل دراسة بنية الزجاج، ومن بينها النظرية البلورية التي طورت من طرف العالم Lebedev ثم من طرف Valenkov و Porai-Koshitz ومبدأها أن الزجاج يتشكل من مجموعة من المجالات الذرية الصغرى المرتبة تدعى بالبلورات، أما النظرية الثانية "نموذج الشبكة العشوائية" التي وضعت من طرف Zachariazen سنة 1932م والتي تحث على عدم وجود مجالات ذرية مرتبة، بل تعتمد بنية الزجاج على طبيعة ونسبة الأكاسيد المكونة له [7]. وهكذا يمكن أن تنقسم البنية الزجاجية إلى بنيتين كالتالي:

### I-6-1-1 البنية البسيطة:

يتشكل الزجاج البسيط من نوع واحد من الأكاسيد، حيث يكون للجزيئات ترتيب عشوائي ويمثل بالشبكة العشوائية تأخذ هذه الأخيرة أشكال متعددة الوجه وهي:

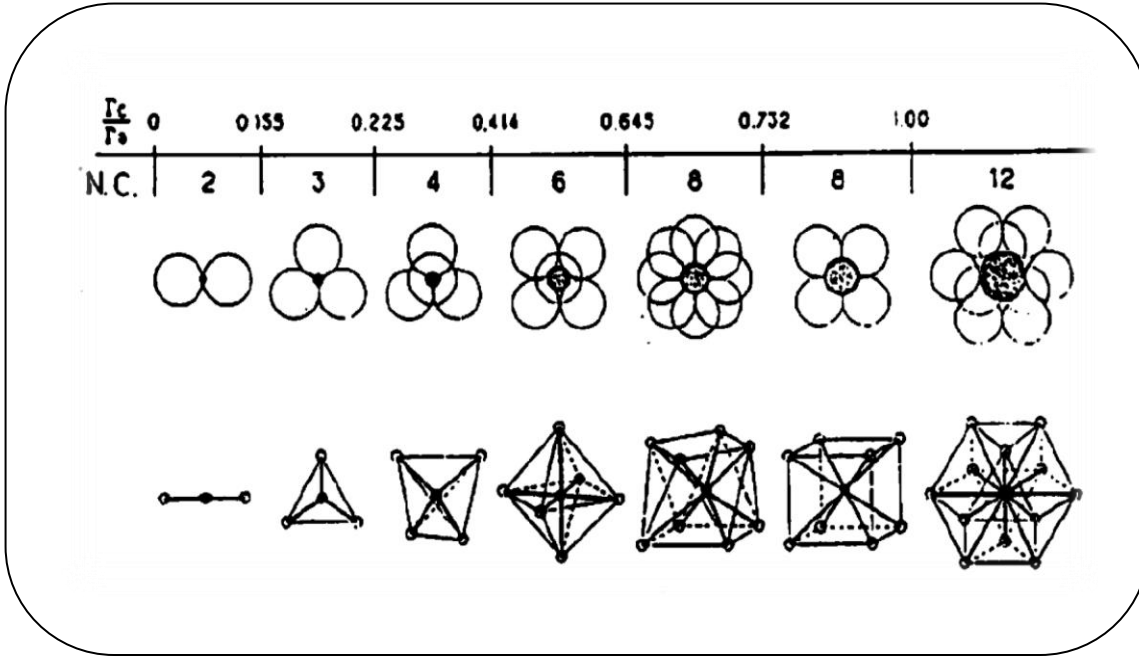
➤ زجاج السيلكا  $SiO_2$  .

➤ زجاج الفوسفات  $P_2O_5$  .

➤ زجاج المكون من البورات  $B_2O_3$  .

#### • نموذج غولد سميث GOLDSMITH :

ثلاثة شوارد سالبة A ذات نصف قطر  $R_A=1$  تتربط مشكلة مثلت تتوسطها شاردة موجبة ذات نصف قطر  $R_C=0.155$ ، وتكتب الصيغة الكيميائية في هذه الحالة  $CA_3$ ، وهو عبارة عن شكل ثلاثي السطوح والنسبة  $R_C/R_A=0.155$ ، وإذا كانت الشاردة السالبة لها نصف قطر  $R_C$  كبير جدا، فإن النسبة الموافقة لهذا النسق تكون في حدود 0.225 وهي الحالة الأقرب إلى الاستقرار لهذه البنية وتوافق الصيغة الكيميائية  $CA_4$  وهي عبارة عن شكل رباعي السطوح *tétraèdre* أما إذا كانت النسبة ذات القيمة  $R_C/R_A=0.414$  يكون الشكل عبارة عن ثماني الأوجه *Octaèdre* [7].



الشكل (3.I): يوضح مجالات الاستقرار متعددات السطوح تبعاً لقيمة النسبة بين نصفي قطري الشاردتين

السالبة و الموجبة  $R_C/R_A$  [7].

### • نموذج Zachariaze:

لقد فرض Zachariazen في نمودجه أن الأكاسيد المشكلة للزجاج تخضع لمجموعة من القواعد وهي:

- تشترك متعددات الأوجه في الرؤوس ولا يمكن لها الاشتراك في الأوجه.
- كل متعدد وجوه له على الأقل ثلاثة رؤوس مشتركة مع متعددات الوجوه الأخرى.
- لكل ذرة أكسجين لها أن ترتبط بشاردتين موجبتين على الأكثر [8].

### I-6-2 البنية المركبة للزجاج:

يتكون الزجاج المركب عادة من أكسيد فأكثر من الأكاسيد البسيطة وواحد من الأكاسيد التالية:  $AO$ ،  $A_2O$ ، بنسب متفاوتة

ووظائف مختلفة ولقد وصف « zachariasen » الأكاسيد من حيث وظائفها في الشبكة الزجاجية إلى ثلاثة أصناف نلخصها في

الجدول التالي :

الجدول (1-I) : تصنيف « Zachariasen » لبعض الأكاسيد [9].

الأكاسيد الوسيطة	الأكاسيد المغيرة	الأكاسيد المشكلة
PbOK , ZnO , CdO , TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O , MgO , CaO , SrO , BaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , AS <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , AS <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub> , GeO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

### ➤ الأكاسيد المشكلة للشبكة الزجاجية:

- ✓ تشكل البنية القاعدية للشبكة الزجاجية للزجاج المركب [10].
- ✓ تتراوح نسبة دخولها في الزجاج ما بين (55\_94) % [1].
- ✓ تصنف هذه الأكاسيد من حيث بنيتها الفارغة إلى صنفين (أكاسيد ذات هندسة بنيوية مستوية وأكاسيد ذات هندسة بنيوية فضائية).
- ✓ تتميز الأكاسيد المشكلة بطاقة ربطها الكبيرة.
- ✓ لها درجة حرارة ذوبان عالية جدا. [10].

### ➤ الأكاسيد المغيرة للشبكة الزجاجية:

- ✓ أكاسيد تضاف إلى التركيبة الأولية للزجاج لإطراء تغيير على بنية شبكته الزجاجية، بغية الحصول على خصائص فيزيو كيميائية معينة.
- ✓ تتراوح نسبت دخولها إلى الزجاج ما بين (1.5-22) % [1].
- ✓ تستعمل عادة أكاسيد المعادن القلوية ذات الصيغة الكيميائية A<sub>2</sub>O مثل: Na<sub>2</sub>O ، K<sub>2</sub>O ، Li<sub>2</sub>O أو أكاسيد المعادن القلوية الترابية ذات الصيغة الكيميائية AO مثل: SrO ، BaO ، CaO ، MgO ، كأكسيد مغير [10].

### ➤ الأكاسيد الوسيطة:

- ✓ هي أكاسيد يمكنها القيام بوظيفة الأكاسيد المشكلة وإما الأكاسيد المغيرة وذلك متوقف على نسبتها المضافة على تركيبة الزجاج ومن أهمها أكسيد الألمنيوم  $Al_2O_3$  [10].
- ✓ تتراوح نسبة دخولها في الزجاج ما بين (2-30) % [1].
- ✓ تنتمي وفق التركيب الكيميائي للزجاج إلى إحدى الفئتين السابقتين مثل:  $NaO_2$  ،  $CaO$  ،  $Al_2O_3$  .
- ✓ تعمل هذه الأكاسيد على إستقرار الشبكة الزجاجية، بمنحها خاصية عدم التغير والذوبان [10] .

### I-7 طبيعة الروابط :

في المواد الزجاجية تشترك العناصر اللامعدنية ( $S_e$  (non-métal) ،  $F$  ،  $S$  ،  $O$  ، مع العناصر المشكلة  $A$  للشبكة الزجاجية برابطة تكافؤية، أما الروابط الموجودة بين العناصر اللامعدنية مع العناصر المغيرة فهي برابطة أيونية، وباستبدال إحدى العناصر  $F$  ،  $S$  ،  $O$  ،  $S_e$  ، تصبح هذه الروابط تدريجياً أكثر تكافؤاً [11].

### I-8 أنواع الزجاج:

هناك ثلاث أنواع لعائلات الزجاج وهي:

### I-8-1 الزجاج الأكسيدي:

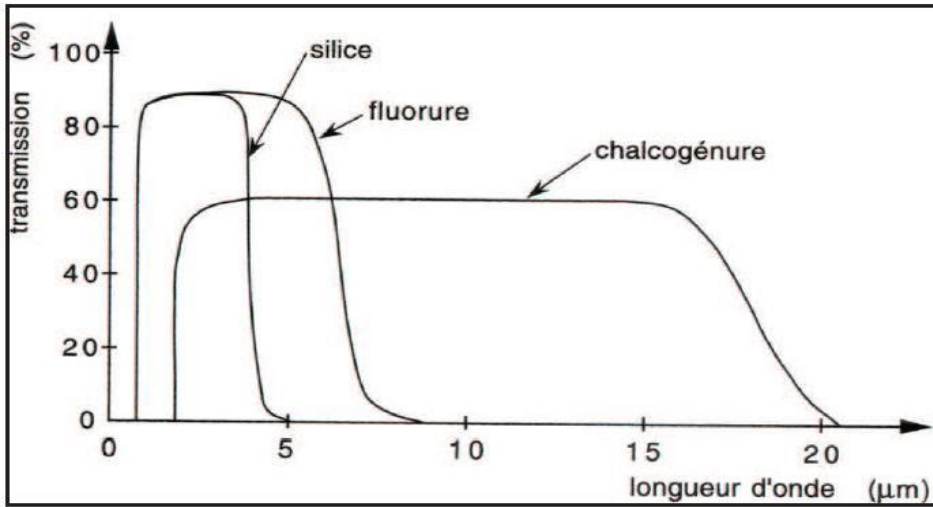
يتميز هذا النوع من الزجاج بخصائص ترموميكانيكية ممتازة، له شفافية للضوء المرئي تصل إلى  $3-5 \mu m$ ، وقرينة انكساره ضعيفة نسبياً تتغير نسبياً (2-3) ، أما درجة الانتقال الزجاجي  $T_g$  تفوق  $1000 C^\circ$  ، كماله استقرار حراري عالي ومقاومة عالية جدا للتآكل، يستعمل هذا النوع من الزجاج لصناعة الألياف البصرية الزجاجية وبعض أنواع زجاج اللحام مع المعادن [5][12]. ويستعمل في تطبيقات زجاج الليزر ومن أنواعه زجاج أكسيد السيليسيوم، زجاج أكسيد الجرمانيوم، زجاج أكسيد البور، زجاج الفوسفور.

### I-8-2 الزجاج الهالوجيني:

تشكل بعض مركبات الفلوريدات أنواع من الزجاج اللاعضوية، فحرائط فلورايدات الزركونيو، الباريو، اللانتانيو، والألمنيون والصوديوم تعطي أنواعا من زجاج الفلورايدات ذات أهمية تجارية نظرا لنفوذها للأشعة تحت الحمراء ولاستخدامها في التضخيم الضوئي في الألياف البصرية للاتصالات، اغلب أنواع الزجاج الهالوجيني غير مستقر كيميائيا، إلا أن زجاج الفلورايد يتميز بخصائص ميكانيكية وكيميائية جيدة [13].

### I-8-3 زجاج العناصر الكالكوجينية :

أكتشف هذا النوع من الزجاج سنة 1950 م ، حيث يتم تشكيله من عناصر المجموعة VIa الممزوجة بعناصر أخرى ، كما تعد بعض العناصر الكالكوجينية مثل : الكبريت والسيليونيوم أساس الزجاج الكالكوجيني، يمتاز هذا الزجاج باستقراره الكيميائي وشفافيته الكبيرة للأشعة تحت الحمراء لبعض التراكيب يصل إلى  $20 \mu\text{m}$  كما تتميز جزيئات كيميائية متكافئة كقرينة انكسار خطية أكبر من 2 [13]



الشكل (I-4): مجال شفافية مختلف أنواع الزجاج.



## I-9 خواص الزجاج:

### I-9-1 الخواص البصرية :

#### • الشفافية Transparence

هو مفهوم مرتبط بنفاذية الضوء للزجاج، حيث يتميز الزجاج بشفافية صافية ومتجانسة تمرر الأشعة الضوئية جميعها من فوق البنفسجية إلى تحت الحمراء كما إن له خاصية الاحتفاظ بالأشعة ذات التأثير الحراري، وتعرف الشفافية بقانون بار مار Beer Lambert كالتالي [10]

$$I = I_0 \exp(-\alpha x) \quad (1 - I)$$

I: شدة الاشعاع الصادر

$I_0$ : شدة الاشعاع الوارد

X: سمك عينة الزجاج

$\alpha$ : معامل الامتصاص

#### • قرينة الانكسار Indice de refraction

قرينة انكسار الزجاج n تعبر عن سرعة انتشار الضوء في الزجاج فهي النسبة بين سرعة الضوء C في الفراغ، وسرعة الضوء في الزجاج . [14]

$$n = c / c_v \quad (2 - I)$$

حيث تتغير قرينة الانكسار بتغير تردد الإشعاع الضوئي وبالتالي تغير الطول الموجي، وبذلك تتناقص قرينة الانكسار بزيادة الطول

الموجي  $\lambda$ ، هذا التغير يسمى بالتشتت dispersion يعطى بالعلاقة التالية [5] [7].

$$D_v = dn/d\lambda \quad (3 - I)$$

عند سقوط حزمة ضوئية عموديا على عينة زجاجية متجانسة، فإن جزءا من هذه الحزمة ينعكس على السطح البين، بمعامل

انكسار R يعطى بالعلاقة:

$$R = (1-n)^2 / (1+n)^2 \quad (4 - I)$$

بينما ينفذ الجزء الأخر إلى العينة ليعاني جزءا منه امتصاصا، وعليه يعرف انتقال الضوء في الزجاج بمعامل T ويعطى [10].

$$T=I/I_0 \quad (5 - I)$$

## I-9-2 الخواص الميكانيكية:

### • الصلادة

هي قدرة مقاومة الزجاج لعوامل الخدج والاحتكاك، وتختلف صلادة الزجاج باختلاف تركيبه، فالزجاج البوتاسي أكثر أنواع الزجاج صلادة فهو يقاوم عوامل الاحتكاك دائما، تقدر صلادة الزجاج بنسب الاكاسيد المكونة له [11].

### • المرونة

وهي عودة الجسم إلى شكله الأصلي بعد زوال المؤثر عليه وتقدر مرونة الجسم بالثقل الذي يتحمله وتزداد مرونة الزجاج بالارتفاع درجة الحرارة [11]

### • المتانة

تختلف متانة الزجاج باختلاف تركيبه فتزداد بزيادة نسبة السيليكا وكذلك ترفع الالومينا متانة الزجاج بينما نلاحظ أن متانة الزجاج تضعف بالتسخين الطويل [11].

## I-9-3 الخواص الحرارية :

### • التوصيل الحراري Conductivité thermique

للزجاج توصيل حراري ضعيف حيث نجد معدل سريان الحرارة في الزجاج اقل بكثير مقارنة بالمعادن، أي مهما تغير تركيب الزجاج فان التوصيل الحراري لن يتغير كثيرا. والزجاج الذي له أكثر توصيل حراري هو الزجاج السيليكاتي [11].

### • اللزوجة Viscosité

تعتبر اللزوجة من أهم خصائص الزجاج و العامل المهم في تشكيله، تظهر نتيجة التغير المفاجئ لدرجة الحرارة كما لها علاقة بالتركيب الكيميائي، تقيس اللزوجة مقاومة السائل لاجهادات القص، فاللزوجة العالية تعني أن مقاومة اجهادات القص عالية، باعتبار الزجاج سائل نيوتوني (السائل النيوتوني الذي تكون فيه الاجهادات المماسية والناظمية دوال خطية بالنسبة للتشوه  $\epsilon_{ij}$ ) يعطى معامل لزوجته [10].

$$\eta = dy / \tau dt \quad (6 - I)$$

$\tau$  بإ جهادات القص و  $dy/dt$  سرعة التشوه الزاوي.

### • الثبات الكيميائي Durabilité chimique

الثبات الكيميائي للزجاج هو مفهوم يعبر عن مدى مقاومة الزجاج للعوامل الجوية والتي كثيرا ما تؤثر عليها، كالمحاليل

الحمضية أو الملحية (القاعدية) كالغازات الخ

### • التمدد الحراري Dilatation thermique

إن تسخين مادة معينة يؤدي إلى زيادة طاقتها الحرارية، وبالتالي زيادة سعة اهتزازاتها الذرية، فإذا كانت قوى الربط بين الذرات

لاتوافقية إن هذه الاهتزازات تؤدي إلى زيادة في طول الروابط الذرية ومنه زيادة في حجم العينة، حيث تسمى هذه الظاهرة

بظاهرة التمدد الحراري [15].

تميز التمدد الحراري للمادة بمعامل متوسط لزيادة الطول مع درجة الحرارة، يسمى معامل التمدد الحراري الخطي، أو معامل

متوسط لزيادة الحجم مع درجة الحرارة، يسمى معامل التمدد الحراري الحجمي  $\beta$  إذ يعرفان في مجال حراري معين، ويعطى الأول

بالعلاقة :

$$\alpha_{\Delta T} = \frac{L}{L_0} \left( \frac{\Delta L}{\Delta T} \right) \quad (7 - I)$$

$\alpha_{\Delta T}$  : معامل التمدد الحراري الخطي

$$\frac{\Delta L}{\Delta T}: \text{الاستطالة النسبية لعينة بطول ابتدائي } L_0, \Delta T$$

$\Delta T$ : المجال الحراري المعبر، وتعطى معامل وتمدد الحراري الحجمي بالعلاقة التقريبية

$$\beta = 3\alpha \text{ [10] .}$$

### I-9-4 الخواص الكهربائية:

في درجة الحرارة العالية يكون الزجاج رديء التوصيل للكهرباء ويعتبر في هذه الحالة من المواد العازلة، وتختلف مقاومة الزجاج للكهرباء، باختلاف تراكيبه، وبارتفاع درجة الحرارة تقل كما أن السطح الخشن للزجاج يقلل من مقاومة التيار [10]

### I-10 الخلاصة:

حاولنا في هذا الفصل إعطاء بعض المفاهيم الأساسية حول الزجاج على أنه جسم صلب لابلوري يتميز بظاهرة الانتقال الزجاجي، والحالة الفيزيائية الموافقة هي الحالة الزجاجية ومن خلال التعرف على بنيته البسيطة والمركبة، حيث بينا أن هذا الأخير يتكون من ثلاثة أصناف وهي: أكاسيد مشكلة للشبكة وأخرى مغيرة وأكاسيد وسيطية، كما اشرنا لأهم خصائصه: البصرية والحرارية والميكانيكية والكهربائية ومن اجل معرفة كيف يبدو الزجاج المطعم بقليل من العناصر الترابية النادرة، سنتطرق في الفصل التالي لأهم الخواص الطيفية للعناصر الترابية ومن بينهم عنصر الإيتريوم .

## مراجع الفصل الأول

[1] طارق إسماعيل كاخيا "الكيمياء الصناعية الجزء الأول تكنولوجيا الصناعات الكيميائية اللاعضوية" الكتاب السادس.

tarek.kakhia.org/books/Industrial\_Chemistry\_\_Chemistry\_1.Tarek\_  
Kakhia.pdf

[2] الليزرات تأليف : بيلا أ. لينكيل "الليزرات" جامعة سان فرناندوا، جامعة كاليفورنيا ، ترجمة فاروق عبودي قصي ، كلية العلوم  
جامعة الموصل 1403هـ\_1984م .

[3] أ. غوغالي مبروك و أ. بن سفيان ، "مدخل إلى فيزياء الحالة الصلبة" ، الجزء الأول ، مطبعة مزوار الجزائر.

[4] 7.1 :Matter Under theMicroscope

Chem .libretexts.org

[5] A.Beggas, "E« at d'art des verres dopés aux ions terres rares (Application  
Amplificateur Optique)", mémoire de magister, Centre Universitaire

d' El- Oued 2010.

[6] أ. د. شهاب احمد زيدان الجبوري "علم السيراميك والزجاج" "Ceramic Glass Science" قسم العلوم التطبيقية

الجامعة التكنولوجية. - 3/thrid\_class/material/Lecture\_material/ - y.edu.iq/appsciences/material/

seramic.pdf

[7] F.Rehouma, "Etude de l'échange d'ions à l'argent dans un verre  
aluminoborosilicate: Application a un procédé d'enterrage sélectif des guide", Thèse  
de doctorat, Institut National de Grenoble 1994.

[8] Kevin Jojeph Malone, Neodymium-Doped phosphate Glas Waveguide Laser, Ph.D. thesis, University of Colorado at Boulder, (1994).

[9] Ion Vasilief, Guides d'onde canaux amplificateurs en verres de fluorures dopées erbium: spectroscopie et amplification optique, Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, (2003).

[10] أ. غوقالي مبروك " نمذجة و محاكاة ظاهرة التبادل في الزجاج السيليكاتي القلوي تطبيق : تعيين بيان قرينة الانكسار لموجه بصري مستوي سطحي " ، مذكرة ماجستير ، جامعة ورقلة 2005 .

[11] د. جواد كاظم الخفاجي ، د. سلوى القاسم ، د. محي رسول حمود ، د. عماد الرجيلي ، د. محمد المهداوي ، الكيمياء الصناعية ، جامعة بغداد ، بيت الحكمة ، (1988).

[12] M. Hamzaou, "Verres d'oxydes lourds a base de  $Sb_2O_3$ , exploration, caractérisation physico-chimiques et application a l'amplification optique ", Thèse Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra 2013.

[13] V. Moizan, "Etude de l'amplification laser en bande II dans les fibres de verres chalcogénures", thèse de doctorat, Université de Rennes I, (2008).

[14] Jon Rifkin, XMD - Molecular Dynamics Program, University of Connecticut, 18 Feb 2011.

[15] Azzedine Ayadi, "Technologie du verre", office des publication Universitaires, Alger, 2004.

## الفصل الثاني

# الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة

## II-1 مقدمة:

يصبح الزجاج نشطا عندما يطعم بكميات صغيرة من الأيونات المضيئة مثل العناصر الترابية النادرة، وذلك بتمييزها بالعديد من التحولات البصرية، على مدى واسع من الأطوال الموجية، من الأشعة فوق البنفسجية إلى تحت الحمراء. كما تتميز بأن لها طبقة f غير مشبعة بالإضافة إلى الطبقة d، وعليه تضم هذه العناصر كل من السكندنيوم، الايتريوم، واللانثانيدات، حيث تعتبر هذه الأخيرة على أنها عناصر ترابية نادرة بسبب ظهورها في الفلزات مع اللانثانيدات وبسبب خواصها الكيميائية المتشابهة لها، حيث أطلق اسم نادرة على هذه العناصر بسبب قلة الأماكن المتواجدة فيها.

## II-2 لمحة تاريخية:

يعود اكتشاف اللانثانيدات إلى الربع الأخير من القرن 18م، وبالتحديد في سنة 1794م، عرفت العناصر اللانثانيدات بأنها عناصر أرضية نادرة وذلك لندرتها وجودها حرة ويصعب فصلها بسبب تقارب حجمها الذري، كما عرفت كذلك بالعناصر الانتقالية من النوع f بمشابهتها بالعناصر الانتقالية في بعض الخواص الطبيعية والكيميائية وتسمى كذلك بالعناصر الانتقالية الداخلية .

## II-3 العناصر الترابية النادرة :

تتكون العناصر الترابية النادرة من أربعة عشر عنصر كيميائي في الجدول الدوري من العنصر اللانثانوم ذات  $Z=57$  إلى اللوتيتيوم ذو  $Z=71$  عن طريق التعبئة التدريجية للطبقة الإلكترونية الداخلية ويطلق عليها اللانثانيدات نسبة إلى العنصر اللانثانوم وتتكون من سلسلة متتالية يكون فيها المدار f ممتلئ جزئيا أو كليا بالإلكترونات بينما تكون المدارات p.d فارغة، والمدار f ليس نشطا كيميائيا [1] [2] .

تكون العناصر الترابية النادرة متشابهة كيميائيا، ويرجع ذلك لوجود الطبقة 4f بمداراته الفرعية السبعة التي تتسع إلى 14 إلكترون تحتوي في وضعياتها أحادية التركيب الإلكترونية أي أن n تتغير من 0 بالنسبة لانتانوم إلى 14 بالنسبة للوتيتيوم وفق للشكل التالي [1] .



الشكل (II-1) : موقع العناصر الترابية النادرة في الجدول الدوري

خاصيتهم الامتلاء تصاعديا للطبقات الالكترونية 4f بينما الطبقات الأخرى الخارجية ممتلئة مسبقا يوجد في الأجسام الصلبة على شكلين أو ثلاثي .

● الحالة الشائبة: تنتج عن فقدان إلكترونين في 6s

● الحالة الثلاثية : تنتج عندما تفقد الذرة أكثر عدد من الالكترونات 5d إذا كان وإما تفقدها في 4f

يكون التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية النادرة من الشكل  $[Xe] : 4f^n 5d^0 6s^2$  حيث n يتراوح من 0 للاثانيوم إلى 14

للويتيوم .

الجدول ( 1-II ) : يمثل التوزيع الإلكتروني للعناصر الترابية النادرة. [1].

العدد الذري z	العنصر	رمز العنصر	التوزيع الإلكتروني	التوزيع الأيوني	الرمز الطيفي
57	لاتثانيوم	La	[Xe]5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]	<sup>1</sup> S <sub>0</sub>
58	السيريوم	Ce	[Xe]4f <sup>2</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>1</sup>	<sup>2</sup> F <sub>5/2</sub>
59	براسيودميوم	Pr	[Xe]4f <sup>3</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>2</sup>	<sup>3</sup> H <sub>4</sub>
60	نيودميوم	Nd	[Xe]4f <sup>4</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>3</sup>	<sup>4</sup> I <sub>9/4</sub>
61	برمثيوم	Pm	[Xe]4f <sup>5</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>4</sup>	<sup>5</sup> I <sub>4</sub>
62	سماريوم	Sm	[Xe]4f <sup>6</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>5</sup>	<sup>6</sup> H <sub>5/2</sub>
63	يوروبيوم	Eu	[Xe]4f <sup>7</sup> d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>6</sup>	<sup>7</sup> F <sub>0</sub>
64	جادلونيم	Gd	[Xe]4f <sup>7</sup> d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>7</sup>	<sup>8</sup> S <sub>7/2</sub>
65	تربيوم	Tb	[Xe]4f <sup>9</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>8</sup>	<sup>7</sup> F <sub>6</sub>
66	ديبروسيوم	Dy	[Xe]4f <sup>10</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>9</sup>	<sup>6</sup> H <sub>15/2</sub>
67	هولميوم	Ho	[Xe]4f <sup>11</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>10</sup>	<sup>5</sup> I <sub>8</sub>
68	اربيوم	Er	[Xe]4f <sup>12</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>11</sup>	<sup>4</sup> I <sub>15/2</sub>
69	ثوليوم	Tm	[Xe]4f <sup>13</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>12</sup>	<sup>3</sup> H <sub>6</sub>
70	ايتربيوم	Yb	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>13</sup>	<sup>2</sup> F <sub>7/2</sub>
71	لورانسيوم	Lu	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	[Xe]4f <sup>14</sup>	<sup>1</sup> S <sub>0</sub>

## II-4 مطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة :

### II-4-1 الأعداد الكمية :

إن كل حالة الذرة تكون مميزة بأعداد كمية، حيث توجد أربعة أعداد كمية وهي:

العدد الكمي الرئيسي (**n**): حيث يأخذ القيم 1, 2, 3, n=

العزم الزاوي المداري (**l**): ويأخذ القيم 0, 1, 2, 3, n-1

العدد الكمي للف (**s**): يأخذ القيمة 1/2

العدد الكمي المغناطيسي (**m**): يأخذ القيم 1, 0, ±1, ±2, ±3, m=

### II-4-2 الرموز الطيفية

الذرات المعقدة التي تحتوي على أكثر من إلكترون لها عدة مصادر للعزم الزاوي وتمثل ب L S J

• ازدواج راسيل - ساندر **Russell-Saunders** : هو ازدواج ( L - S ) فيه يتم جمع العزم الزاوي المداري والعزم

اللفي بشكل منفصل لتشكيل العزم الزاوي الكلي:

$$\vec{S} = \sum_i s_i \quad \text{العزم الزاوي اللفي الكلي S}$$

$$\vec{L} = \sum_i l_i \quad \text{العزم الزاوي المداري الكلي L}$$

العدد الكمي المداري الثانوي  $l=0,1,2,3,\dots,n-1$ ، يمثل مستويات الطاقة الفرعية و المتفرعة من 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 [3] .

يمكن تحديد قيم L بالحروف بدلا من استخدام الأعداد كالاتي :

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

$$S, P, D, F, G$$

....

$$|\vec{L} - \vec{S}| \leq J \leq |\vec{L} + \vec{S}| \quad \text{ومنه}$$

J: العزم الحركي الكلي

• الإرتباط **J-j** : يكون

$$j_1 = l_1 + s_1 \quad , \quad j_2 = l_2 + s_2 \quad , \quad J = j_1 + j_2$$

الرمز الطيفي للمستوى الأساسي يحدد حسب قواعد هوند وكذلك حسب مبدأ استبعاد لباولي، ينص على مايلي:

قواعد هوند :

- أكبر قيمة ل L

- أكبر قيمة ل S

-  $J = J_{min} = |L - S|$  من اجل الطبقة مملوءة اقل من النصف.

-  $J = J_{max} = |L + S|$  من اجل الطبقة مملوءة أكثر من النصف.

ويكون الرمز الطيفي من الشكل التالي :

$$\boxed{{}^{2S+1}L_J}$$

مبدأ الإستبعاد لباولي :

ينص على :

أنة لا يمكن لالكترونيين أو أكثر في نفس الذرة امتلاك نفس قيم الأعداد الكمية الأربعة بينما يمكن أن يشتركا في رقم واحد

أو اثنين أو ثلاثة فقط.

### II-4-3 مستويات الطاقة :

يتميز كل أيون ترابي نادر بمخطط طاقة ، ولتحديد وضع مستويات الطاقة له ، يجب حل معادلة شرودنغر .

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = H\Psi \quad (1 - II)$$

$$E\Psi = H\Psi \quad (2 - II)$$

$\Psi$ : دالة الموجة المرتبطة بالذرة .

$H$ : هاملتون التفاعل .

$E$ : طاقة المستوي من أجل أيون حر .

$N$ : الالكترونات، والنواة شحنتها ( $Ze$ ) وبفرض كتلتها لانتهائية، نستطيع كتابة الهاملتون للأيون الحر  $H_0$  على الشكل التالي:

$$H_0 = H_{\text{conf}} + H_{\text{ei}} + H_{\text{so}} \quad (3 - II)$$

$H_{\text{conf}}$ : يمثل هاملتون التشكيل في تقريب الحقل المركزي ، ويمثل مجموع الطاقة الحركية الممكنة حول النواة، و يسمح لنا بالحصول

على وضع طاقة التشكيلات الإلكترونية.

$$H_{\text{conf}} = \sum_{i=1}^N \left( -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{ze^2}{r_i} \right) \quad (4 - II)$$

$H_{\text{ei}}$ : يعبر عن التفاعل كولومب بين للإلكترونات في طبقة (التنافر الإلكترونية فيما بينها) ، هذا التفاعل يرفع التطابق في مستويات

الإلكترونية  $4f$ ، وهي تدل على المسافة الإلكترونية  $i, j$ :

$$H_{\text{ei}} = e^2 \sum_{i>j}^N \frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (5 - II)$$

$H_{\text{so}}$ : يمثل التفاعل بين اللف الذاتي والعزم الزاوي المداري لكل إلكترون (ازدواج سبين-مدار ) يعطي رفع التطابق للمستويات

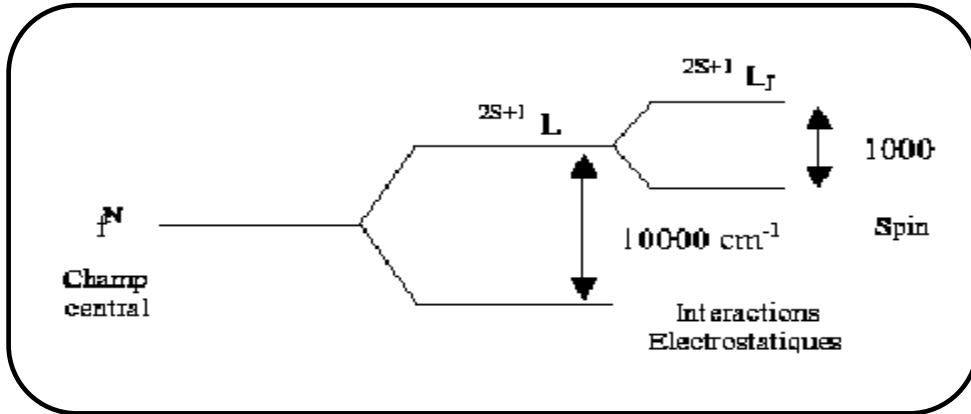
الثانوية من خلال الرمز الطيفي  $L^{2S+1}$ ، ويحدها العدد الكمي  $J$ ، وذلك بـ  $|L+S| \leq J \leq |L-S|$  وتعطي [4].

$$H_{so} = \lambda_i \sum_i S_i l_i$$

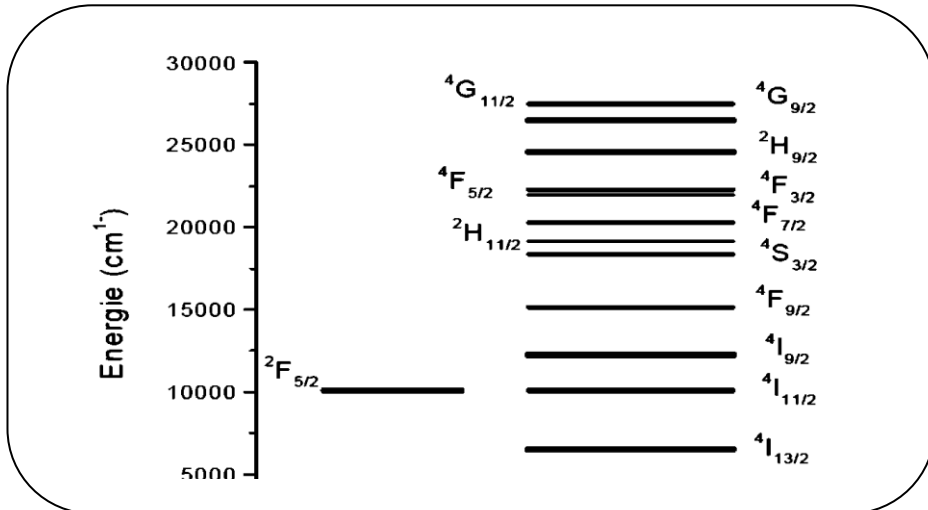
(6 - II)

معاملات الازدواج سبين - مدار  $\lambda_i$  :

يتم إدخال  $H_{so}$  و  $H_{el}$  في نظرية الاضطراب ويطبق في حالة العناصر الترابية .. [4]



الشكل (2-II): تمثيل تخطيطي لرفع التوالد بسبب التفاعلات الكهربائية للازدواج سبين - مدار .



الشكل (3-II) : يوضح مستويات الطاقة للعناصر الترابية النادرة  $Ce^{+3}$ ,  $Er^{+3}$ ,  $Yb^{+3}$  [5].

## II -4-4 قواعد الانتقاء :

تفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة في المادة المضيفة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي، قد تؤدي إلى الانتقال بين مستويات الطاقة، تحكم هذه انتقالات قواعد الانتقاء وهي :

$$\Delta n = n_2 - n_1$$

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

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

تفاعل الإلكترونات الترابية النادرة مع الحقل البلوري يؤدي إلى نوعين من انتقالات [3].

### • انتقال ثنائي القطب الكهربائي:

الانتقالات المسموح بها تكون أكثر شدة، وتحكمها قواعد لابورت (règles de Laporte)

$$|\Delta J| \leq 2 ; \quad |\Delta L| \leq 2 ; \quad \Delta S = 0 ; \quad \Delta I = \pm 1$$

هذه القواعد تدل على أن انتقالات ثنائي القطب الكهربائي بين مستويات التي لها نفس التكافؤ ممنوعة ، هذا يمنع كل انتقالات داخل التشكيلات في الطبقة 4f [4].

### • انتقال ثنائي القطب المغناطيسي:

هي أقل بكثير من كثافة الانتقالات ثنائي القطب الكهربائي، وهي أيضا انتقالات مسموحة بين المستويات من نفس التكافؤ بشرط أن تخضع للقواعد التالية:

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

في مادة زجاجية، يمكننا أن نلاحظ جميع الانتقالات [4].

## II-4-5 تعريضات خطوط الطيف :

يوجد نوعان من التعريضات:

### ✓ تعريضات متجانسة :

يوجد نوعان من الأسباب لهذا التعريض في العناصر الترابية النادرة، التعريض الطبيعي للمستويات حسب مبدأ الارتياح لهايزنبرغ، والتعريض الناتج عن الازدواج بين الأيونات العناصر الترابية النادرة والمادة المضيفة لها، وذلك من خلال كمات من الطاقة الاهتزازية للشبكة البلورية (الفونونات).

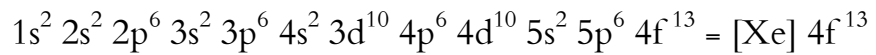
### ✓ التعريضات غير المتجانسة :

في البلورات تتعلق هذه العريضات بالتغير المحلي التدريجي لوسائط الشبكة، أو يتعلق بوجود الشوائب وأيضا تنتج عن تشكل أزواج أو مجموعات عند التطعيم، أما في الزجاج هذا التعريض يرجع إلى اضطرابات الذاتية في المادة الزجاجية. وتكون التعريضات الغير متجانسة للأيونات الترابية في البنية الزجاجية اعلى من تلك الموجودة في البنية البلورية [6].

## II-5 عنصر الإيتريوم

الإيتريوم عنصر كيميائي فلزي لونه فضي ورمزه الذري Yb وعدده الذري 70 ووزنه الذري 173، وجوده نادر في الطبيعة، يقع ضمن سلسلة اللانثيدات من الجدول الدوري، ذو الترتيب الرابع عشر في سلسلة اللانثيدات [7].

### II-5-1 التوزيع الالكتروني :



[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	شكل التوزيع الإلكتروني Yb
[Xe]4f <sup>13</sup>	شكل التوزيع الأيوني Yb <sup>+3</sup>

قيم S و L ، S = 1/2 ، L = 3



$${}^2F_{5/2} \quad J = 5/2 = J_{min} = |L - S|$$

$${}^2F_{7/2} \quad J = 7/2 = J_{max} = |L + S|$$

حسب قواعد هوند:

بما أن الطبقة مملوءة أكثر من النصف إذا :  $J_{max} = |L + S|$

$$J = 7/2 \text{ ومنه}$$

و الرمز الطيفي للمستوي الأساسي لأيون الإيتريوم هو :  ${}^2F_{7/2}$

### II-5-3 مخطط ومستويات الطاقة لأيون الإيتريوم :

#### مخطط الطاقة

من التوزيع الإلكتروني المفصل للطبقة  $4f$  في بداية هذا الجزء غير مكتملة ، ويمثلها سبعة مربعات الكم التي يمكن أن

تستوعب كل منهما إلكترونين ، وذلك العزم الزاوي المدارية  $l$  ذات الصلة بين

(  $-3$  و  $3$  ) أي [7]:

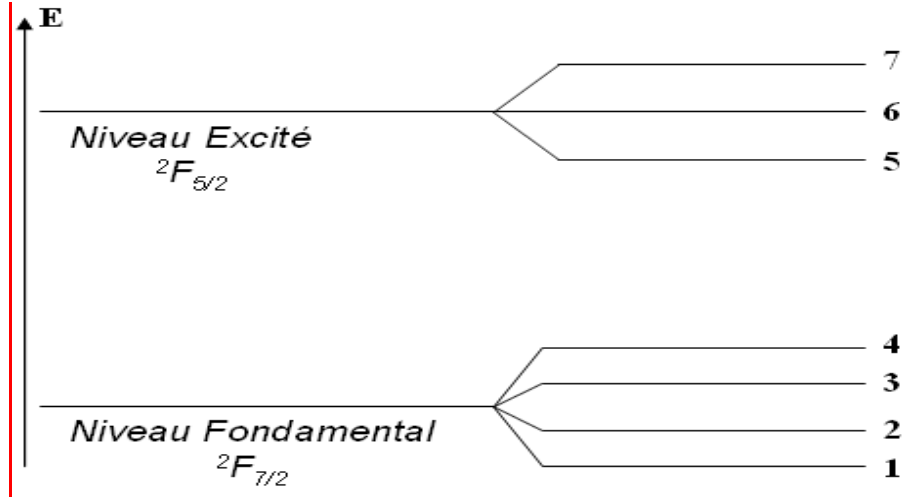
$$l = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$$



الشكل (II-4): مخطط الطاقة لأيون الإيتريوم  $Yb^{+3}$  [7].

• مستويات الطاقة :

هناك فقط مستويان يشاركان في عملية الليزر لأيون الإيتريوم: المستوى الأساسي  $^2F_{7/2}$  الذي ينقسم الى أربعة مستويات فرعية ، والمستوي المثار  $^2F_{5/2}$  إلى ثلاثة مستويات فرعية وهي كالتالي [7] . :



الشكل (II-5) : مخطط يوضح مستويات الطاقة لأيون الإيتريوم  $Yb^{+3}$  [7] .

II-6 الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة :

II-6-1 المادة المضيئة للعناصر الترابية النادرة :

المادة المضيئة للعناصر الترابية النادرة يمكن تجميعها في مجموعتين رئيسيتين هما مواد صلبة لابلورية (زجاجية) ومواد صلبة بلورية، هذه المواد يجب إن تكون لديها خصائص ضوئية وميكانيكية وحرارية جيدة ومناسبة، وذلك لمقاومة ظروف عملية التطعيم وأيضاً الأخذ بعين الاعتبار حجم ذرات الايونات النشطة، كخصائصها الطيفية بطريقة مثالية تتوافق مع ايونات المادة المضيئة، ومقارنة الفرق بين مستويات الطاقة للايونات النشطة، والتردد الأقصى لاهتزاز الشبكة للمادة المضيئة ( فرنون) ، عند إضافة الايونات النشطة بكميات كبيرة قد تؤثر على خصائص المادة المضيئة، لذا فان إضافتها للمواد الصلبة البلورية أو الزجاجية تكون بكميات صغيرة جداً لتفادي تلك التأثيرات الجانبية.

يعتبر الزجاج مضيئ جيد للايونات العناصر الترابية النادرة، وذلك لقابليته على التكييف من ناحية الحجم والشكل والخصائص البصرية الممتازة، بالإضافة إلى وجود مرونة في تغير بعض خواصه، خاصة قرينة الانكسار .

كما يمكن ضبط معامل التغير الحراري، لنحصل على فجوى بصرية مستقرة حرارية ويتميز أيضا لمعامل ربح ثابت في أطوال موحية مختلفة، بسبب التعرض الغير متجانس لشريط الامتصاص والانبعث وله قدرة تخزين كبيرة لطاقة مقارنة مع المواد البلورية، زجاج الجرمانيوم والسيلكا يمكن تشريحه لإعطاء انبعث ليزر في منتصف الأشعة تحت الحمراء [2].

تشكل ايونات العناصر الترابية النادرة رواسب في اغلب المواد الصلبة لذلك لا يمكن إدراجها في المادة المضيفة بطريقة عشوائية، بل تكون قابلة لذوبان في الطور الصلب في الزجاج هناك تفاعلات أيون - مادة وأيون-أيون، تحدث هذه الأخيرة تأثيرات على الخصائص الطيفية لايونات العناصر الترابية مثل (المقطع الفعال، خطوط الامتصاص والانبعث، مدة الحياة.....) عند بلوغ درجة الانتقال الزجاجي تنتج طاقة الفونونات في الشبكة الزجاجية وهي تختلف من نوع لآخر [8].

### الجدول (II-2) الطاقة القصوى للفونونات بعض أنواع من الزجاج [9].

نوع الزجاج	الفوسفات	السليكاتي	التييلوريت	ZBLAN	الفلورايد	كالكوجيني
طاقة الفونون (cm)	1200	1100	750	590	500	350

### II-6-2 التأثيرات على خصائص الاستضاءة :

عند تطعيم مادة زجاجية بأيونات العناصر الترابية النادرة تظهر عدة تأثيرات على الخصائص الطيفية مثل المقطع الفعال وخطوط الامتصاص والاصدار، تفاعل ايون - مادة مضيفة، أو ايون - ايون، فمدة حياة الاستضاءة للأيونات الترابية النادرة تكون ما بين  $10^{-6}$  -  $10^{-3}$  ms إما تجريبا تكون القيم أقل من ذلك بكثير، فهناك عدة مستويات للأيونات الترابية النادرة لاتنسب في انبعث فوتون بعد الاثارة، فقد تبين أن هناك انتقالات غير مشعة تكون حساسة للمادة المشعة كل ذلك يؤدي الى تقليل الاستضاءة [2] نلخص ذلك في مايلي :

## II-6-2-1 تركيز الإطفاء الذاتي:

تركيز الإطفاء الذاتي، هو التأثير الذي يقلل من كفاءة الاستضاءة، يحدث ذلك عند تركيز عال للأيونات النشطة فيؤدي إلى انخفاض في مدة الحياة في الحال المثارة، نظرا لتفاعل أيون - أيون هذا التفاعل يعتمد كثيرا على نوع المادة المضيفة، مدة حياة الاستضاءة يمكن التعبير عنها بدلالة التركيز باستخدام المعادلة التالية [2] [10].

$$\tau_{abs} = \frac{\tau_0}{1+(\rho/Q)^p} \quad (7 - II)$$

$\tau_0$ : مدة حياة الاستضاءة عند انعدام تركيز ،

$\rho$  : تركيز التطعيم

$Q$ : تركيز الاطفاء الذاتي

$P$ : أس نوعي

## II-6-2-2 التفاعل مع الفونونات :

إن نقل الطاقة لا يكون فقط للأيونات المجاورة كما هو معروف بل جزء منها يعطى للفونونات، الأمر الذي يؤدي إلى فقدان الطاقة، كما يبين في عملية الاسترخاء الغير إشعاعي بواسطة الفونونات بأنه عملية متعددة الفونونات، فهذا النوع من العمليات يظهر عندما يكون عدد محدود من الفونونات اللازمة من أجل عبور الفرق الطاقوي بين الحالة الأساسية والحالة المثارة للأيونات العناصر الترابية النادرة [2][9].

## II-6-2-3 تفاعلات أيون - أيون :

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

## 6-II-2-4 تأثير $\text{OH}^-$ :

في وجود مجموعات  $\text{OH}^-$  داخل المادة يؤدي إلى انخفاض إسكان المستويات في الحالة المثارة، وبالتالي تتسبب في انطفاء للاستضاء، فتعرف هذه المجموعة بتأثيرها على الإنبعاثات ما تحت الحمراء، إذ أن أنماطها الإهتزازية تقع في عصابة طاقة عريضة عند حوالي  $3300\text{cm}^{-1}$  [2].

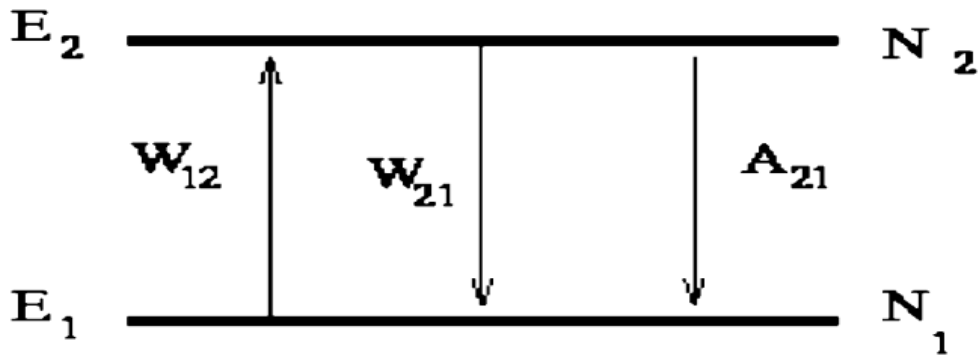
## 7-II-7 آليات تفاعل الإشعاع مع ايونات العناصر الترابية النادرة :

يسمى تفاعل ايونات العناصر الترابية النادرة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي بظاهرة التضخيم البصري، ومن شأن هذا التفاعل أن يؤدي إلى الانتقال بين مستويات الطاقة المختلفة للأيونات وعلى هذا الأساس يمكن تصنيفها إلى فئتين :

- آليات إشعاعية
- آليات غير إشعاعية

## 1-7-II-1 آليات إشعاعية :

تمتص أيونات العناصر الترابية النادرة الشعاع الكهرومغناطيسي المسلط عليها، فيؤدي ذلك لانتقالها إلى مستويات طاقة أعلى، الأيونات في المستوي المثارة يعود إلى مستوى الاستقرار، فيعطي الفائض من الطاقة على شكل فوتون، كل هذه الظواهر خصائصها مشتركة امتصاص أو إصدار فوتون وعليه فهي آليات إشعاعية [5].

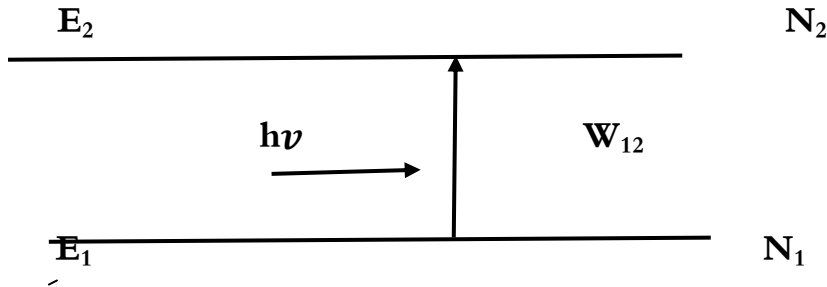


الشكل (6-II) : يوضح الاليات الرئيسية للتفاعل إشعاع - مادة [5].

• الامتصاص :

الامتصاص هو الآلية التي يمر بها الإلكترون من المستوى  $E_1$  إلى المستوى  $E_2$  وذلك بعد اكتسابه الطاقة الكهرو مغناطيسية، تقوم الفوتونات بامتصاص الإشعاع المسلط على الكترونات ذرات العناصر الترابية النادرة، تعمل طاقة الإشعاع على رفع هذه إلكترونات من مدارات منخفضة إلى عالية الطاقة، وعليه تكون الإلكترونات في حالة إثارة وبالتالي ذرات المادة لا تقوم بامتصاص الفوتونات إلا إذا كانت طاقتها أكبر من الفرق الطاقوي بين مدارات الإلكترونات [5] .

$$\Delta E = h\nu = E_2 - E_1 \quad (8 - II)$$



الشكل (7-II): ظاهرة الامتصاص

وليكن  $N_1(t)$  و  $N_2(t)$  تعداد المستويين الطاقويين للحالة الأساسية والمثارة على الترتيب.

حيث  $N_2(t)$  عدد الذرات في المستوى المثار، تتغير خلال المدة الزمنية  $dt$  بالكمية:

$$\frac{dN_2}{dt} = W_{12}N_1(t) = \rho(\nu)B_{12}N_1(t) \quad (9 - II)$$

وفي نفس الوقت فإن عدد ذرات المستوي الأساسي  $N_1(t)$  يتناقص بمقدار :

$$\frac{dN_1}{dt} = -W_{12}N_1(t) = -B_{12}\rho(\nu)N_1 \quad (10 - II)$$

$W_{12}$ : احتمالية الإثارة في وحدة الزمن .

$B_{12}$ : معامل أنشتاين وحدته  $(m^3 \cdot s^{-2} \cdot J^{-2})$ .

$P(V)$ : كثافة الطاقة في وحدة المساحة لشعاع وارد ووحدتها  $(J \cdot s \cdot m^{-3})$

• الانبعاث التلقائي

تعود إلكترونات ذرات العناصر الترابية النادرة الغير مستقرة إلى مدارات الحالة الأساسية، وذلك بانتقالها من المستوى  $E_2$  إلى المستوى  $E_1$  بصورة تلقائية، فتحرر الطاقة في شكل إشعاع فوتوني غير مرتبط وبطريقة عشوائية، لذلك فان هذا الإشعاع يحتوي على عدد كبير جدا من الترددات، تسمى فترة الحياة الإشعاعية التي تبقى فيه الايونات في المستوى المثار بمتوسط العمر  $\tau$  لحالة الإثارة (وحدته الثانية s)، وهو يعرف بالعلاقة التالية [11][12].

$$\tau_{rad} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i \quad (11 - II)$$

$N_0$ : عدد الايونات في الحالة المثارة عند اللحظة  $t=0$ .

كما يتم تعريف نسبة التفرع للانتقال من  $m$  الى  $j$  بالعلاقة :

$$\beta = \frac{A_{mj}}{\sum_j A_{mj}} = A_{mj} \tau_{rad} \quad (12 - II)$$

خلال المدة الزمنية  $dt$  عدد الذرات في المستوى المثار  $N_2(t)$  يتغير بالمقدار :

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -A_{21}N_2 \quad (13 - II)$$

وفي نفس الوقت فإن عدد ذرات المستوى الأساسي  $N_1(t)$  يرتفع بنفس المقدار:

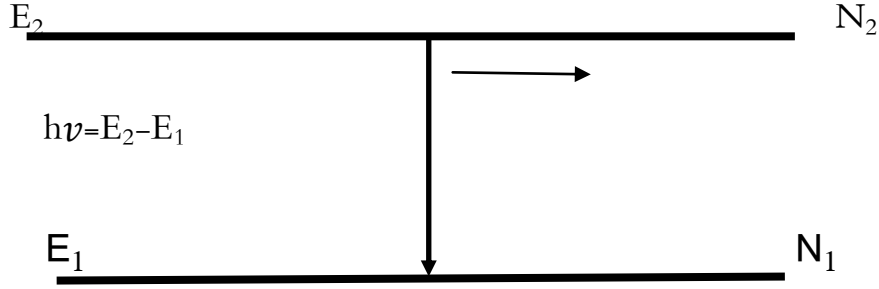
$$\frac{dN_1(t)}{dt} = A_{21}N_2 \quad (14 - II)$$

حيث:

$A_{21}$ : احتمالية الانبعاث التلقائي لوحدة الزمن، ويعرف بمعامل انشطار فيعطى ب  $(s^{-1})$  وفي حالة نظام مكون من مستويين يتم

التعبير عن فترة الحياة الإشعاعية ب:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{A_{21}} \quad (15 - II)$$



(8-II) : ظاهرة الانبعاث التلقائي \$W\_2\$

• الانبعاث المحفز:

يحدث هذا الانبعاث عن طريق تحفيز الايونات لنتقل من مستوي طاقة عال إلى مستوي طاقة اقل ، بواسطة فوتون يمتلك طاقة مساوية إلى الفرق الطاقة بين المستويات ، وينتج عن هذا الانتقال انبعاث فوتون آخر يمتلك نفس التردد وطور الفوتون الأول المحفز [13] وهذه العملية هي أساس عمل شعاع الليزر، ويمكن التعبير عن احتمال حدوث عملية الانبعاث المحفز باستخدام معامل أنشتاين \$B\_{21}\$ [5]:

$$W_{21}(V) = B_{21} \rho(v) \quad (16 - II)$$

تغير الإسكان \$N\_2\$ بدلالة الزمن في حالة الاثارة من قبل الانبعاث المحفز هو :

$$\frac{dN_2}{dt} = - B_{21} \rho(v) N_2 \quad (17 - II)$$

يمكننا أيضا تعرف المقطع الفعال للانبعاث \$(\sigma\_e, cm^2)\$ :

$$\frac{dN_2}{dt} = - w_{21} N_2 = - \frac{\sigma_e I_p}{h\nu} N_2 \quad (18 - II)$$

حيث \$I\_p\$ هي شدة الشعاع الساقط \$(w/cm^2)\$ ، من اجل نظام ذو مستويين تكون الإثارة الإشعاعية :

$$N_2 = - \frac{dN_1}{dt} (w_{21} + A_{21}) = - w_{21} N_1 = \frac{dN_2}{dt} \quad (19 - II)$$



في حالة توازن حراري ترتبط نسبة الإسكان لمستويين بمعامل بولتزمان:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{hv}{kT}} \quad (20 - II)$$

حيث :  $g_i = 2J_i + 1$  هو التوالد في مستوي الطاقة  $E_i$  ،  $T$  هي درجة الحرارة و  $k$  ثابت بولتزمان، في حالة  $N_i$  ثابتة أي  $dN_i/dt = 0$  ، يكون لدينا :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{w_{12}}{w_{21} + A_{21}} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{hv}{kT}} \quad (21 - II)$$

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

$$\rho(v) = \frac{A_{21}}{B_{21}} \cdot \frac{1}{\left( \frac{B_{12}g_1}{B_{21}g_2} e^{\frac{hv}{kT}} - 1 \right)} \quad (22 - II)$$

وفقا لقانون بلانك، لدينا:

$$\rho(v) = \frac{8\pi n^3 v^2}{c^3} \cdot \frac{hv}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1} \quad (23 - II)$$

بالمطابقة بين طرفي المعادلتين نجد :

$$g_1 B_{21} = g_2 B_{12} \quad (24 - II)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi n^3 v^3}{c^3} \quad (25 - II)$$

## II-7-2 آليات غير إشعاعية :

التحولات غير الإشعاعية هي أكثر حساسية لطبيعة المواد من التحولات الإشعاعية، إن التفاعل بين ذرة في الحالة المثارة و أنماط الاهتزاز من المواد المضيفة يمكن أن يسبب استرخاء غير إشعاعي للذرة، في الكثير من الحالات التي تهمنا طاقة الانتقالات الالكترونية

بين الحالة المثارة و الحالة الأساسية أعلى بكثير من طاقة الفونونات وبالتالي فإن الاسترخاء الغير إشعاعي بواسطة الفونونات هو إذن عملية متعددة الفونونات، احتمال حدوث الاسترخاء المتعدد الفونون يتعلق بالفرق الطافي بين مستويات الانتقال كالتالي [2]:

$$w_{MP} = w_0 [n(v) + 1]^P \quad (26 - II)$$

$P$ : عدد الفونونات اللازمة لملء فجوة الطاقة بين المستويات،  $w_0$ : احتمال الانتقال كما يعرف:

$$w_0 = B e^{-a\Delta E} \quad (27 - II)$$

$B(s^{-1})$  و  $a(cm)$  الثوابت الموجبة المميزة للمادة لا تتعلق بأيونات الترابية النادرة ولا بمستويات الطاقة المعتبرة، و

$n(v)$  عدد بوز Bose .

$$n(v) = \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (28 - II)$$

تجدر الإشارة إلى أن احتمالية الانتقال غير الإشعاعي تتناقص مع زيادة فرق الطاقة، عندما يكون هذا الفرق بحيث يكون عدد  $P$  اللازم للانتقال اقل من 4، فإن احتمالية الانتقال الغير إشعاعي تدخل في تنافس مع العمليات الإشعاعية، إذا إن احتمالية الانتقال الغير إشعاعي تزداد مع زيادة درجة الحرارة وبالتالي يؤدي إلى انخفاض في مدة الحياة [16]، احتمالية الانتقال تتناقص بسرعة عندما يتزايد عدد الفونونات اللازم  $p = \Delta E/h\nu$  وهي بالتالي تختلف من مادة إلى أخرى، ذلك أن أنماط الاهتزاز هي الأخرى تختلف من مادة إلى أخرى، بشكل عام تأثير هذه التفاعلات تؤدي إلى تغير الإسكان في المستويات، إذ يمكن كتابة تغير الإسكان للمستويات المثارة بسبب الانتقالات الغير مشعة بالمعادلة التالية [9].

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{N_2}{\tau_{nr}} \quad (29 - II)$$

$\tau_{nr}$ : ثابت زمني مميز يعبر عن مدة الحياة الغير مشعة وتعطى عبارة كالتالي:

$$\tau_{nr} = \frac{1}{w_{nr}} \quad (30 - II)$$

وفي الأخير يمكننا تعريف مدة الحياة الإجمالية للانتقالات المشعة والغير مشعة كالتالي [2]:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_{\text{rad}}} + \frac{1}{\tau_{nr}} \quad (31 - \text{II})$$

## 8-II المردودية الكمية:

هي النسبة بين مدة الحياة المقاسة تجريبيا ومدة حياة الإشعاع في الحالة المثارة، لذا يجب اختيار المادة المضيفة بحيث تكون مدة حياة المستوى المثار للأيون النشط كبيرة [2].

$$\eta = \frac{\tau_{mes}}{\tau_{rad}} \quad (32 - \text{II})$$

## 9-II الخلاصة:

تطرقنا في هذا الفصل إلى الدراسة الطيفية للعناصر الترابية النادرة وبما يخص أيون الإيتريوم، من حيث التركيب الإلكتروني ومستويات الطاقة و آليات تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع أيونات هاته العناصر، بحيث ينتج هذا التفاعل ثلاث ظواهر أساسية اشعاعية ( امتصاص ،اصدار تلقائي، اصدار محثوث) واليات غير إشعاعية، كما يعتبر الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة من أفضل المواد الليزرية، و ذلك لقابليته على التكييف من ناحية الحجم والشكل و تكافؤ الذرات بطريقة مثالية، وهذا ما يجعلنا معرفة المزيد في الفصل القادم للتعرف على المضخمات الضوئية و تطبيقات الليزر .

## مراجع الفصل الثاني

- [1] A.Beggas, "E« at d'art des verres dopés aux ions terres rares (Application Amplificateur Optique)", mémoire de magister, Centre Universitaire d' El- Oued 2010.
- [2] O.Bentouila, "Etude de l'effet des terres rares dans les verres applications: lasers et amplificateurs optiques", mémoire de magister, Université de Ouargla, (2005).
- [3] J. tennyson, Astronomical Spectroscopy, Imperial College Press London ,2005.
- [4] V. Moizan, "Etude de l'amplification laser en bande II dans les fibres de verres chalcogénures", thèse de doctorat, Université de Rennes I, (2008).
- [5] Ion Vasilief, Guides d'onde canaux amplificateurs en verres de fluorures dopées erbium: spectroscopie et amplification optique, Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, (2003).
- [6] د. فاروق قنديل , يوسف حمد" الكيمياء", الطبعة الاولى 2013 م -2014 م.
- [7] Cardinali, V. (2011). Matériaux lasers dopés à l'ion ytterbium: Performance lasers en pompage par diodes lasers et étude des propriétés thermo-optiques à des températures cryogéniques(Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique X).
- [8] S. Bordais, "Etude des amplificateurs et lasers 1  $\mu\text{m}$  de forte puissance à base de fibre double gaine dopée Ytterbium", Thèse Doctorat, Université de Rennes I, (2002).

[9]V. Balan, "Verres chalgogénures pour l'optique intégrée ", thèse de doctorat, Université Sciences et Techniques du Languedoc-Montpellier II, (2003).

[10]T.Wächtler, Conception of an integrated optical waveguide amplifier, Project report, Technische Universität Chemnitz, (2002).

[11] د. معصرين . الفيزياء الكمومية ، كلية العلوم ، قسم الفيزياء / منشورات جامعة دمشق .

[12] د. محمد كوسا " فيزياء الليزر و تطبيقاته " منشورات جامعة دمشق كلية العلوم 2005-2006.

[13] صالح مصطفى الاتروشي ورياض وديع يوسف ، " الليزر أسس وإستخدامات "، الطبعة الاولى 1426هـ - 2008م، دار

دجلة عمان.

الفصل الثالث

الليزر و المضخات الضوئية

**III-1 مقدمة:**

لمعرفة أين تحدث آليات التفاعل المختلفة بين أيونات العناصر الترابية النادرة والإشعاع الكهرومغناطيسي، وذلك بمعرفة هذه الأيونات بأن لديها العديد من التحولات الضوئية، في مجموعة واسعة من الأطوال الموجية من الأشعة فوق بنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء، يمكننا التعرف أكثر خلال التطرق إلى مبدأ تطبيقات الليزر والمضخمات الضوئية

**III-2 التضخيم الضوئي والليزري:****III-2-1 التضخيم الضوئي:**

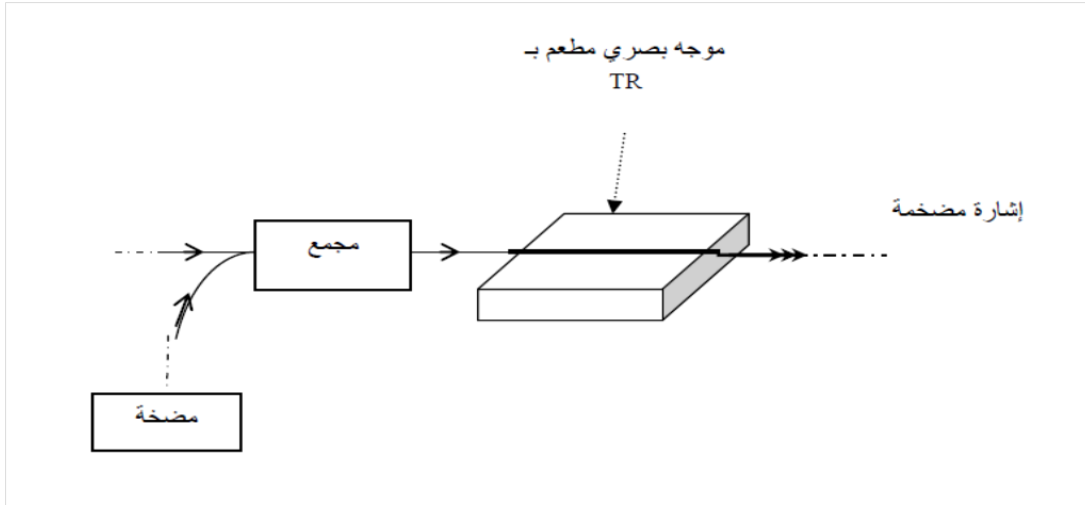
المضخم الضوئي يسمح بتضخيم الإشارة الضوئية باستخدام مبدأ الانبعاث المحفز للإشعاع، ومن أجل إحداث انقلاب تعداد لا بد من إعطاء كمية من الطاقة الخارجية للنظام و هذا ما يسمى بالضخ، فإن الضخ هو مجموعة التقنيات التي تسمح بتحقيق شرط انقلاب التعداد.

و يمكن انجازة بعدة طرق حسب نوع الليزر:

مثلا: التفريغ الكهربائي لليزر الغازي، أو الفرق في التوتر بالنسبة لليزر نصف الناقل..... الخ [1][2].

**III-2-1-1 المكونات الأساسية لجهاز التضخيم الضوئي هي كالتالي:**

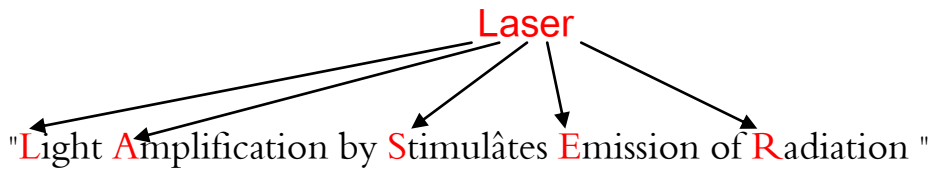
- موجه بصري مطعم بأيونات العناصر الترابية.
- مضخة التي تحقن في الموجه البصري بواسطة مجمع.
- الليف البصري و ينتج عن انعكاس سكان للإلكترونات أي يكون عدد الفونونات التي تخرج من الموجه البصري أكبر من الفونونات التي دخلت إليه [2].



الشكل (III-1): رسم تخطيطي لمبدأ التضخيم الضوئي [3].

### III-2-2 الليزر:

المصطلح الانجليزي لليزر هو:



فهو تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع، وهو مصدر لتوليد الضوء المرئي وغير المرئي، للشعاع الليزري خصائصه وهي

ترابط الأشعة، الاتجاهية، أحادية اللون، شدة الإضاءة العالية، قدم أول جهاز من هذا النوع في عام 1960م من قبل العالم

الأمريكي تيودور مايمان T.Maiman [3][4].



### III-2-2-1 المكونات الأساسية لجهاز الليزر :

يتكون جهاز الليزر في الحالة الصلبة من ثلاثة عناصر أساسية:

**الوسط الفعال:** إما يكون عادة في حالة سائلة أو صلبة أو غازية فتكون القوانين الفيزيائية التي تتحكم في توليد الليزر تشابه في

جميع الأوساط الفعالة.

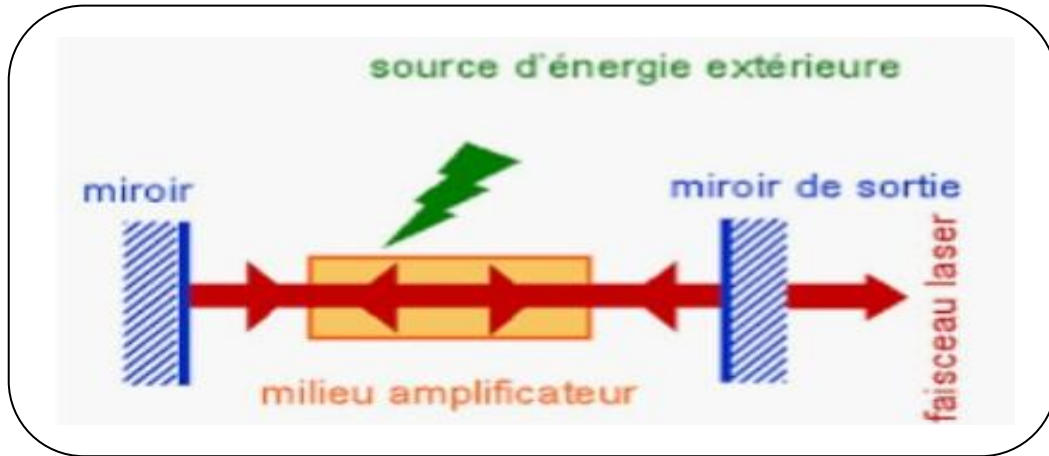
**تقنيات الضخ:** تقوم الطاقة الضاحة بإثارة الذرات المستقرة في الوسط الفعال لتنتقل إلى المستويات المثيعة ليتحقق التوزيع

العكسي المناسب الذي يضمن توليد الليزر، وهناك ثلاثة تقنيات للضخ وهي:

- تقنية الضخ الضوئي
- تقنية الضخ الكهربائي
- تقنية الضخ الكيميائي [3].

**المرنان الليزري :** يتكون من مرأتين متقابلتين وتكون إحداها عاكسة كلياً والأخرى عاكسة جزئياً أي تسمح بنسبة معينة من

الضوء بالنفاد خارج الرنان [5].



الشكل (III-2) : يوضح المكونات الأساسية لليزر [6].

## III-2-2-2 شروط الانبعاث الليزري:

للحصول على أشعة الليزر من الضروري توفر ثلاث شروط أساسية وهي:

## 1. الانبعاث المحفز:

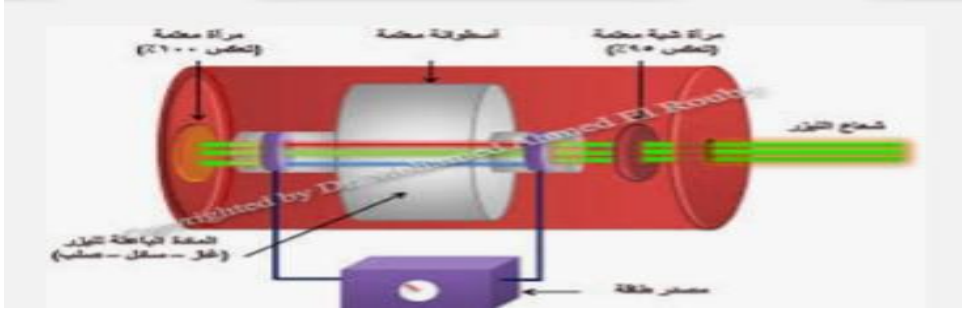
في الظروف العادية تكون غالبية الذرات في مستوى الطاقة الأقل، وعدد قليل منها يكون في المستويات العليا، والذرات التي تكون في حالة تهيج تنبعث فوتونات تلقائياً، وللتخلص من حالة التهيج والنزول إلى مستويات طاقة أقل تكون هذه العملية عشوائية الحدوث، والفوتونات المنبعثة لا تكون مترابطة مع بعضها البعض (أي لا تكون في نفس الطور) [7]

## 2. التعداد المعكوس:

من أجل انبعاث أشعة الليزر يجب العمل على زيادة عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا، أي زيادة تعدادها عن الحالة الطبيعية، باستخدام طاقة خارجية مثلاً، و عندما يكون عدد الذرات في مستويات الطاقة العليا أكثر من عدد الذرات في مستويات الطاقة الدنيا، نستطيع القول بأنه حصل انقلاب في التعداد وهو ما يسمى بالتعداد المعكوس [7][8].

## 3. التكبير الضوئي:

يجب أن يضح الوسط المادي من مصدر طاقة لحث الذرات والجزيئات على التهيج، أي الارتفاع إلى مستوى طاقة أعلى وهذا ما يعرف بالتعداد المعكوس، والتي تكون فيه غالبية ذرات وجزيئات المادة في مستويات الطاقة العليا بدلاً من المستويات المنخفضة وبعدها ينبعث الشعاع الليزري بواسطة الانبعاث المحثوث وعمليات التكبير الضوئي.



الشكل (III - 3): يوضح شروط الانبعاث الليزري [9].

### III-2-3 الربح:

هو النسبة بين شدة الإضاءة الناتجة عند خروج شعاع الليزر وشدة الإضاءة عند دخول الشعاع للوسط و في حالة وجود موجة

كهرومغناطيسية، و الذرات ذات المستويين 1 و 2 لهما الإسكان على التوالي  $N_1$  و  $N_2$ ، وتوزيعهما الطيفي للانتقال من 2

نحو 1، فإن تغير الشدة الضوئية  $I$  بدلالة اتجاه الانتشار تعطى بالمعادلة التالية [10] [11]:

$$\frac{dI_v}{dz} = (\sigma_{21}N_2 - \sigma_{12}N_1 - \alpha)I \quad (1 - III)$$

استعملنا هذا التقريب الذي يعتبر أن كثافة التوزيع المعكوس للإسكان  $(\sigma_{21}N_2 - \sigma_{12}N_1)$  تكون ثابتة في وسط التضخيم

بمكاملة المعادلة (1 - III) نحصل [11].

$$I_v = I_v(0) \exp[(\gamma(v) - \alpha)z] \quad (2 - III)$$

نجد التعبير البسيط التالي :  $\sigma_{12} = \sigma_{21} = \sigma_0$  ، معامل الربح إذا كانت :  $\gamma(v) = (\sigma_{21}N_2 - \sigma_{12}N_1)$

$$\gamma(v) = \sigma_0 \Delta N \quad (3 - III)$$

ولدينا  $N = N_2 - N_1$  ومنه الربح يكون كالتالي:

$$G = \frac{I_v(l)}{I_v(0)} \quad (4 - III)$$

حيث:  $l$  طول العينة التي يجتازها الضوء.

بما أن الضوء الواقع في الوسط الفعال ليست موزعة بالتساوي، وكذلك توزيع الأيونات النشطة في المادة ليست منتظما أيضا يمكننا إدخال عامل الحجز  $\Gamma$  ويتم التعبير عن الربح بواسطة المعادلة التالي:

$$G = \exp [\Gamma(\gamma(v) - \alpha)L] \quad (5 - III)$$

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

كذلك يمكن أن نحصل على نفس الربح عن طريق تركيز مرتفع أو عن طريق طول كبير للمضخم

ويعطى الربح بدسيبل "décibels" بالعلاقة [12]:

$$G_{dB} = 10 \log(G) \quad (6 - III)$$

فالربح هو :

$$G_{dB} = 4.34[\Gamma(\gamma(v) - \alpha)L] \quad (7 - III)$$

### III-3 أصناف الليزر :

هناك نوعان من الأصناف للضخ التي تُستخدم في توليد الليزر وهما :

#### III-3-1 ليزر المستويات الثلاثية:

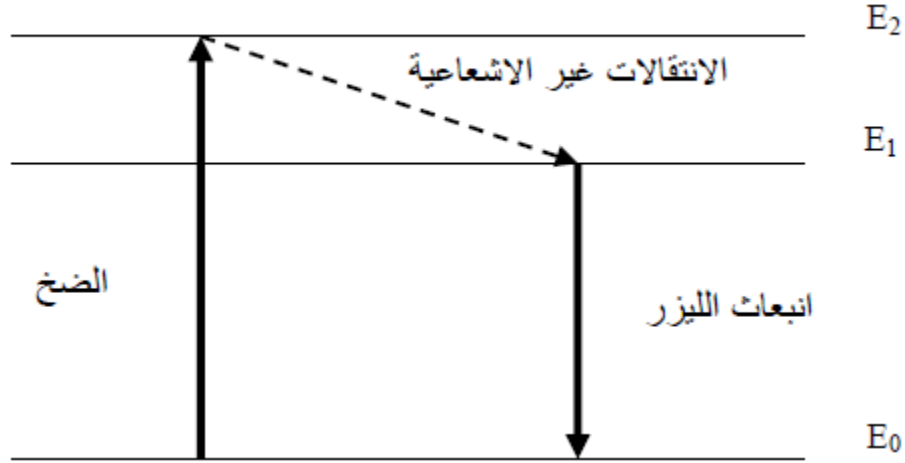
يعتمد توليد الليزر على انتقال ذرات الوسط الفعال بين ثلاثة مستويات للطاقة أي المستوي الأرضي  $N_0$  والمستويان المثييجان

$$N_1 \text{ و } N_2.$$

عند تهييج الوسط الفعال بواسطة إحدى طرق الضخ فإن هذه الذرات تنتقل إلى المستوي المثييج  $E_2$  ولضمان توليد الليزر ينبغي

أن تكون طاقة الضخ كافية لإحداث التوزيع العكوس، فسرعان ما تعود الذرات إلى حالة الاستقرار  $E_1$  الفرق بين المستويين

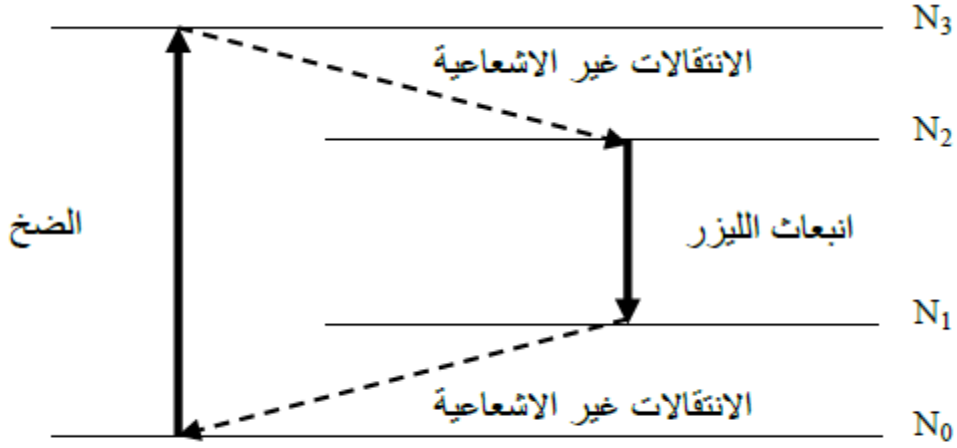
يتحول إلى طاقة حرارية، إذا كان عدد الذرات في  $E_1$  أكبر من نصف عدد الذرات الكلي في الوسط الفعال يكون قد تحقق التوزيع العكوس ، فعند هبوط الذرات إلى المستوي المستقر  $E_0$  ينبعث الليزر [4].



الشكل (III-4) : نظام ذو ثلاث مستويات [8] .

### III-3-2 ليزر المستويات الرباعية :

يتكون من أربع مستويات طاقة ، المستوى الأرضي  $N_0$  ، والمستوي الليزري السفلي  $N_1$  ، والمستوي الإثارة  $N_2$  ، والمستوي الليزري العلوي  $N_3$  ، و يكون الضخ من المستوى  $N_0$  إلى المستوى  $N_3$  بينما الفعل الليزري يحدث ما بين المستويين  $N_1$  و  $N_2$  في حالة التوازن الحراري و قبل بدأ عملية الضخ يكون عدد الذرات الموجودة في المستويين  $N_1$  و  $N_2$  قليل جداً و يمكن إهماله و ذلك بسبب فرق الطاقة على المستوى الأرضي  $N_0$  ، يحصل للضخ من المستوى  $N_0$  إلى المستوى  $N_3$  بواسطة المصدر المهيج، ويملك المستوى  $N_3$  عمراً قصيراً جداً مما يجعل انتقال الذرات إلى المستوى  $N_2$  مسرعاً جداً، ويكون ها الأخير لديه عمر طويل جداً نسبياً مما يُسهل عملية التوزيع العكسي أي يكون عدد الذرات في المستوى  $N_2$  أعلى بكثير من المستوى  $N_1$  لأن المستوى هذا يكون فارغاً في البداية لبعده عن المستوى الأرضي و كذلك قصر عمر المستوى مما يسهل تفرغه سريعاً، و في النهاية نحصل على الفعل الليزري بين المستويين  $N_1$  و  $N_2$  [13] .



الشكل (III-5) : نظام ذو أربعة مستويات [8].

### III-4 الخلاصة:

حاولنا في هذا الفصل التعرف على المضخم الضوئي وتركيبه الذي يؤدي إلى حدوث شرط انقلاب التعداد، ومكوناته الأساسية وهي (موجه بصري و الليف البصري والمضخة)، كما تعرفنا كذلك على كيفية عمل الليزر من خلال مكوناته الرئيسية (الوسط الفعال والمرنان الليزري و تقنيات الضخ)، والشروط الأساسية للانبعاث الليزري وهي (التعداد المعكوس، الانبعاث الإستحثاثي، والتكبير الضوئي)، والربح المتعلق بالشعاع الليزري الناتج، ومن أصناف الليزر، ليزر ذو ثلاث وأربعة مستويات موضح الانتقالات.

## مراجع الفصل الثالث

- [1] J. Le Person, "Verre de sulfures : spectroscopie des ions de terres – rares, fibres microstructurées et nouvelles compositions", thèse de doctorat, Université de Rennes 1,(2004).
- [2] 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, pp1453-1459, (2008).
- [3]O.Bentouila, "Etude de l'effet des terres rares dans les verres applications: lasers et amplificateurs optiques", mémoire de magister, Université de Ouargla, (2005).
- [4] صالح مصطفى الاتروشي ورياض وديع يوسف ، " الليزر أسس وإستخدامات " ، الطبعة الاولى 1426هـ - 2008م، دار دجلة عمان.
- [5] عدي عطاء حمادي ، " أساسيات الليزر و تقنياته " 1425هـ-2004م.
- [6] Partie 1 / Vincent .clement 92.free.fr
- [7] د .محمد كوسا " فيزياء الليزر و تطبيقاته " منشورات جامعة دمشق كلية العلوم 2005-2006.
- [8] د .معصرين . الفيزياء الكمومية ، كلية العلوم ، قسم الفيزياء / منشورات جامعة دمشق .
- [9] فكرة الليزر – ELROUBY CLINIC

[10] Ion Vasilief, Guides d'onde canaux amplificateurs en verres de fluorures dopées erbium: spectroscopie et amplification optique, Doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, (2003).

[11]V. Moizan, "Etude de l'amplification laser en bande II dans les fibres de verres chalcogénures", thèse de doctorat, Université de Rennes I, (2008).

[12]Y.Jestin, "Verres fluorés à base de fluoroindates et fluorogallates pour l'implification optique : fibre à forte ouverture numérique, guides d'onde planaires et spectroscopie des ions de terre rare", thèse doctorat, Université du Maine, (2002).

[13] الليزرات تأليف : بيلا أ. لينكيل "الليزرات" جامعة سان فرناندوا، جامعة كاليفورنيا ، ترجمة فاروق عبودي قصي ، كلية العلوم جامعة الموصل 1403هـ\_1984م .



الفصل الرابع

دراسة طيفية لأيون الإيتريوم في

بعض أنواع الزجاج

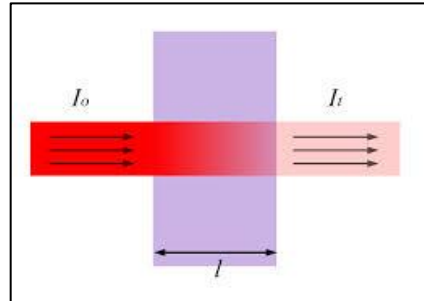
#### IV-1 المقدمة

التطور الحاصل في مجال الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة له أهمية كبرى خصوصا في مجال تطوير المركبات الفوتونية. من بين أيونات العناصر الترابية النادرة، يُعتبر الإيتربيوم ( $Yb^{+3}$ ) الأيون الأساسي من أجل تطبيقات الليزر عالية القدرة والليزر القابلة للتوليف (Tunable laser) (يمكن التحكم في طولها الموجي أثناء التشغيل) وليزر النبضات القصيرة العاملة في المجال تحت الأحمر من الطيف. إن ربح هذه المركبات يكون محدودا بالتحويل السريع للطاقة والاسترخاءات غير الإشعاعية الناتجة عن تشكل عناقيد المجموعات (clusters) من أيونات العناصر الترابية النادرة، وللحصول على الأداء الجيد لهذه المركبات، فإنه من الضروري الحد من هذه العناقيد وذلك بالتحكم في تركيز هذه الأيونات في الزجاج. إن معرفة الخصائص الطيفية لأيون الإيتربيوم ( $Yb^{+3}$ )، مثل المقاطع الفعالة للإمتصاص والإصدار وفترة الحياة للمستويات المثارة،... مهمة جدًا في تقييم مدة ملاءمة هذا الأيون للتطبيقات المذكورة سابقا، كما أنه من بين الأمور المهمة أن يكون للزجاج المضيف خصائص محددة.

في هذا الفصل سنقوم بدراسة طيفية لأيون الإيتربيوم في زجاج فليوروفوسفاتي ثنائي التطعيم، وسنرى تأثير زيادة تركيز أيونات الإيتربيوم على الخصائص الطيفية لهذا الزجاج.

#### IV-2 المقطع الفعال للإمتصاص

يمكن حساب المقطع الفعال للإمتصاص عند أطوال موجية مختلفة انطلاقا من طيف الامتصاص التجريبي، هذا الطيف يُحصّل عليه بواسطة مقياس طيفي يعتمد على مبدأ قياس النسبة بين الشدة الضوئية النافذة  $I(\lambda)$  من العينة والشدة الضوئية الواردة إليها  $I_0(\lambda)$ .



الشكل (IV-1): امتصاص الضوء.

تعطى الكثافة الضوئية D.O بالعلاقة [1]:

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

شدة الضوء الممتصة تعتمد على معامل الامتصاص  $\alpha$  وسمك المواد التي يجتاها الشعاع  $dl$  :

$$\frac{dI}{I} = -\alpha \cdot dl \quad (2 - IV)$$

بالمكاملة نحصل على:

$$\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} = \exp(\alpha(\lambda) \cdot l) \quad (3 - IV)$$

معامل الامتصاص  $\alpha$  يعطى بوحدة  $\text{cm}^{-1}$ ، ويعبر عنه بدلالة الكثافة الضوئية D.O. وفقا للعلاقة التالية [2]:

$$\alpha(\lambda) = \frac{D.O(\lambda) \cdot \ln 10}{l} \quad (4 - IV)$$

حيث  $l$ : سمك العينة.

يمكننا حساب المقطع الفعال للامتصاص انطلاقا من معامل الامتصاص بالعلاقة التالية [3]:

$$\sigma_a(\lambda) = \frac{D.O(\lambda) \cdot \ln(10)}{N_0 \cdot l} = \frac{\alpha(\lambda)}{N_0} \quad (5 - IV)$$

حيث  $N_0$ : تركيز أيونات الايتربيوم، الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$N_0 = \frac{[\text{Yb}^{+3} \text{ mol\%}] \cdot \rho \cdot N_A}{M} \quad (6 - IV)$$

$N_A$ : عدد أفوجادروا.

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

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

#### IV-3 قوى الانتقال:

قوى الانتقال  $f$  بين مستويين هي مجموع القوى الانتقالية بين مستويات ستارك، وتُعطى بتكامل المساحة لطيف الامتصاص، ويمكن التعبير عنها اعتمادا على معامل الامتصاص  $\alpha(\lambda)$  بدلالة الطول الموجي  $\lambda$  عن طريق المعادلة التالية:

$$f = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 N} \int \frac{\alpha(\lambda) d\lambda}{\lambda^2} \quad (7 - IV)$$

#### IV-4 المقطع الفعال للإصدار

يُمكن حساب المقطع الفعّال للإصدار باستعمال طريقة McCumber التي تربط المقطع الفعال للامتصاص بالمقطع الفعال للإصدار، والتي تعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$\sigma_{em} = \sigma_{ab} \frac{z_l}{z_u} \exp \frac{(E_{z_l} - h\nu_0)}{KT} \quad (8 - IV)$$

حيث  $Z_l$  و  $Z_u$  هما دوال التوزيع للمستويات السفلية (الأرضية) والعلوية (المثارة) ، على التوالي ،  $E_{ZL}$  هي طاقة خط الصفر، والتي تساوي الفاصل الطاقوي بين أدنى مستويات ستارك في كلٍّ من مجموعة المستويات العلوية و مجموعة المستويات السفلية لأيون  $Yb^{3+}$ ، أما  $h$  و  $K$  فهما ثابت بلانك وبولتزمان على التوالي.

#### IV-5 حساب المقطع الفعال للربح :

انطلاقا من قيم المقاطع الفعّالة للامتصاص وللإصدار يمكن حساب المقطع الفعّال للربح بواسطة العلاقة التالية:

$$G(\lambda) = \beta \sigma_e(\lambda) - (1 - \beta) \sigma_a(\lambda) \quad (9 - IV)$$

حيث:

$$\beta = \frac{N_1}{N_0} : \text{نسبة إنقلاب التعداد}$$

#### IV - 6 حساب فترة الحياة الإشعاعية $\tau_{rad}$ :

يُمكن حساب فترة الحياة الإشعاعية  $\tau_{rad}$  بالعلاقة التالية:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{A_{rad}} \quad (10 - IV)$$

حيث  $A_{rad}$  احتمالية الانتقال الإشعاعي لأيون الإيتريوم، وتُعطى بواسطة العلاقة:

$$A_{rad} = \frac{8\pi cn^2(2J'+1)}{\lambda_p^4(2J+1)} \int \sigma_{abs}(\lambda) d\lambda \quad (11 - IV)$$

حيث:  $\lambda_p$  طول الموجة عند قمة الإمتصاص،  $J$  و  $J'$  هما العزم الكلي للمستوى العلوي والمستوى السفلي،  $\sigma_{abs}$  هو المقطع الفعال للإمتصاص.

#### IV - 7 شدة الضخ الأصغرية $I_{min}$ :

يتم حساب شدة الضخ الأصغرية انطلاقاً من العلاقة [5]:

$$I_{min} = \beta_{min} \cdot I_{sat} \quad (12 - IV)$$

مع :

$$\beta_{min} = \frac{\sigma_{abs}(\lambda_0)}{\sigma_{abs}(\lambda_0) + \sigma_{em}(\lambda_0)} \quad (13 - IV)$$

و :

$$I_{sat} = \frac{hc}{\lambda_p \cdot \sigma_{abs}(\lambda_p) \cdot \tau_{exp}} \quad (14 - IV)$$

حيث:

$\lambda_0$  : طول موجة الإصدار الليزري

$\lambda_p$  : طول موجة الضخ

$\sigma_{abs}(\lambda_0)$  : المقطع الفعال للإمتصاص عند طول موجة الإصدار الليزري

$\sigma_{em}(\lambda_0)$  : المقطع الفعّال للإصدار عند طول موجة الإصدار الليزري

$\sigma_{abs}(\lambda_p)$  : المقطع الفعّال للامتصاص عند طول موجة الضخ

$\tau_{exp}$  : فترة الحياة للإصدار

$h$  : ثابت بلانك ،  $c$  : سرعة الصوت في الفراغ

#### 8-IV تعيين الوسائط الطيفية لأيون الإيتربيوم في زجاج فليوروفوساتي:

##### 1- 8-IV تركيبة الزجاج المدروس

الزجاج المدروس هو عينات من زجاج فليوروفوسفاتي ثنائي التطعيم هولميوم/إيتربيوم ذي التركيب المولي :



الرمز المختصر للعينات المدروسة: "NPSZHYy"



الشكل (2-IV): صورة للعينات المدروسة

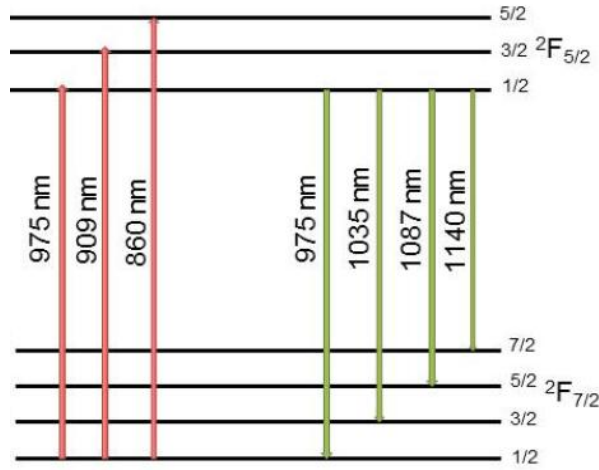
الجدول ( 1-IV ) : الكتلة الحجمية والسّمك والتركيز للعينات المدروسة.

اسم العينة	الكتلة الحجمية ( $\text{g/cm}^3$ )	السّمك (cm)	$[\text{Yb}^{+3}]$ (mol%)
NPSZHY0.5	2.820	0.5489	0.5
NPSZHY1	2.859	0.5373	1
NPSZHY1.5	2.883	0.3672	1.5
NPSZHY2	2.904	0.4984	2

#### 9-IV النتائج والمناقشة

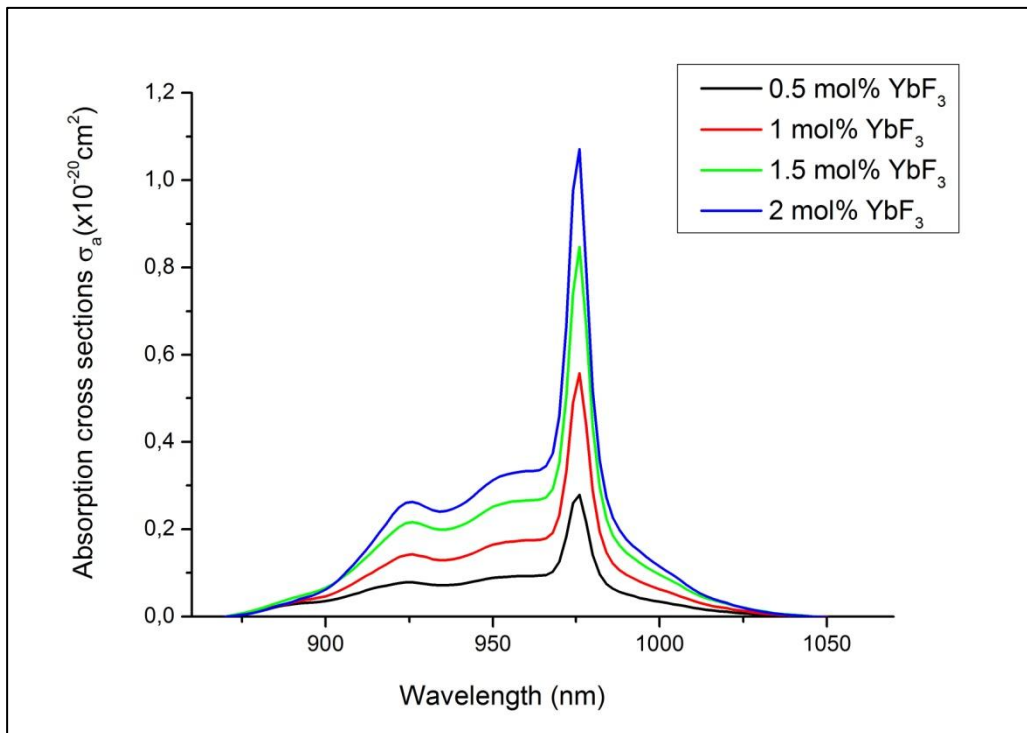
##### • أطيف المقطع الفعال للامتصاص :

انطلاقاً من طيف الامتصاص التجريبي، قمنا بحساب المقاطع الفعّالة للامتصاص من أجل العينات المدروسة. الشكل (3-IV) يوضح أطيف المقطع الفعال للامتصاص لأيونات الإيتربيوم  $\text{Yb}^{+3}$  المحسوبة. نلاحظ أن الأشكال الخطية لأطيف الامتصاص متشابهة من أجل جميع العينات المدروسة. إنّ مخطّط الطاقة لأيون الإيتربيوم بسيط جداً، فهو مكوّن من مستويين طاقيين فقط هما:  $^2\text{F}_{7/2}$  و  $^2\text{F}_{5/2}$ ، ولهذا فإنّ طيف الامتصاص له في العينات الزجاجية المدروسة يحتوي على عصابة امتصاص واحدة والتي لها شكل مُعقّد (غير متجانس) وهذا راجع إلى الانتقالات الإلكترونية بين مستويات ستارك الفرعية للحالة الأساسية  $^2\text{F}_{7/2}$  والحالة المثارة  $^2\text{F}_{5/2}$  (الشكل (3-IV) بالإضافة إلى خاصية التفاعل القوي إلكترون - فونون للمادة المضيفة (الزجاج) [6].



الشكل (3-IV): بنية مستويات الطاقة لأيون الإيتربيوم  $Yb^{3+}$

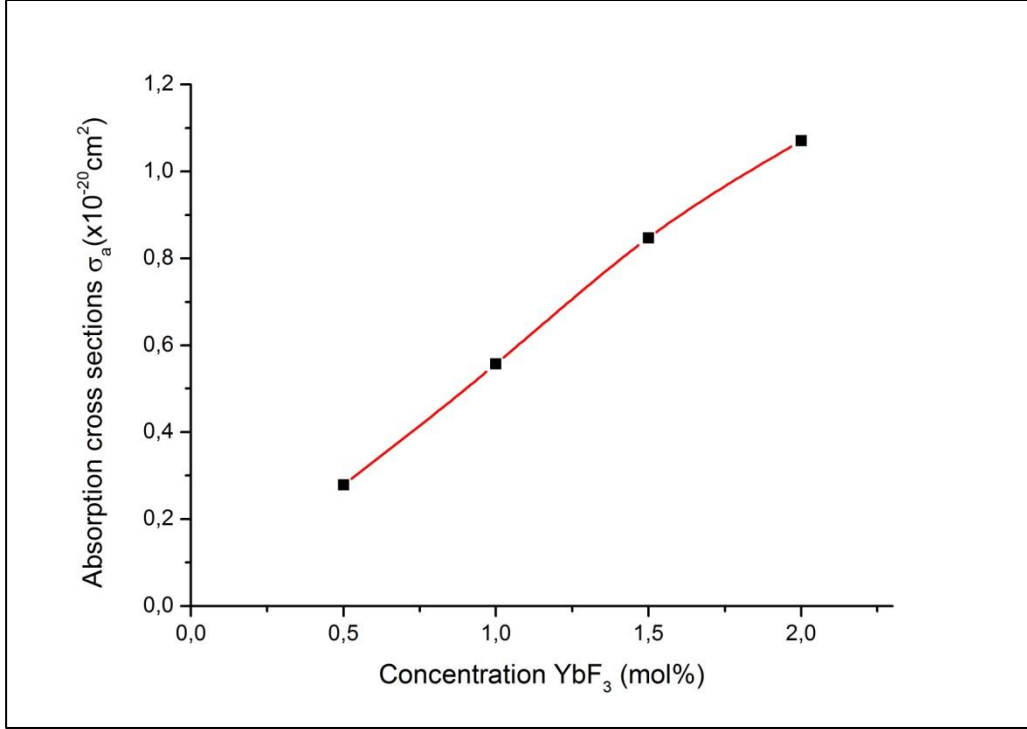
القمتان في طيف المقطع الفعال للامتصاص تُعطيان اختيارات من أجل طول موجة الضخ، فالضخّ الفعّال يكون مُمكنًا في حدود 910nm أو قريبًا من 976nm. عند 910nm يكون المقطع الفعّال واسعاً لكن منخفض نسبياً ويحتاج إلى ضخّ قويّ لتحقيق ربح عالٍ، أمّا عند 976nm فإنّ عرض خط الضخ يجب أن يكون صغيراً.



الشكل (4-IV): أطيف المقطع الفعال للامتصاص لأيونات الإيتربيوم  $Yb^{3+}$  للعينات الأربعة



الشكل (4-IV) يبيّن تغيّر المقطع الفعال للامتصاص عند القمة 976nm بدلالة تركيز أيونات الإيتربيوم  $Yb^{+3}$  للعينات الأربعة المدروسة. نلاحظ أنّ هناك زيادة خطيّة للمقطع الفعال للامتصاص بزيادة تركيز أيونات  $Yb^{+3}$  ممّا يُؤكّد اندماج أيونات  $Yb^{+3}$  بالمصفوفة الزجاجية ووجود بيئة محلية متماثلة حول أيونات  $Yb^{+3}$  في جميع العينات الزجاجية المدروسة.



الشكل (5-IV): تغيّر المقطع الفعال للامتصاص بدلالة تركيز أيونات الإيتربيوم  $Yb^{+3}$  للعينات الأربعة

### • قوى الانتقال:

انطلاقاً من حساب المساحة تحت عصابات أطيف المقطع الفعّال للامتصاص، يمكن إيجاد قيم قوى الانتقال وذلك باستعمال المعادلة (IV - 7)، هذه القيم مُعطاة في الجدول (IV - 2)، ونلاحظ تزايداً خطياً لقوى الانتقال بتزايد تركيز أيونات الإيتربيوم.

الجدول ( 2-IV ) قوى الانتقال

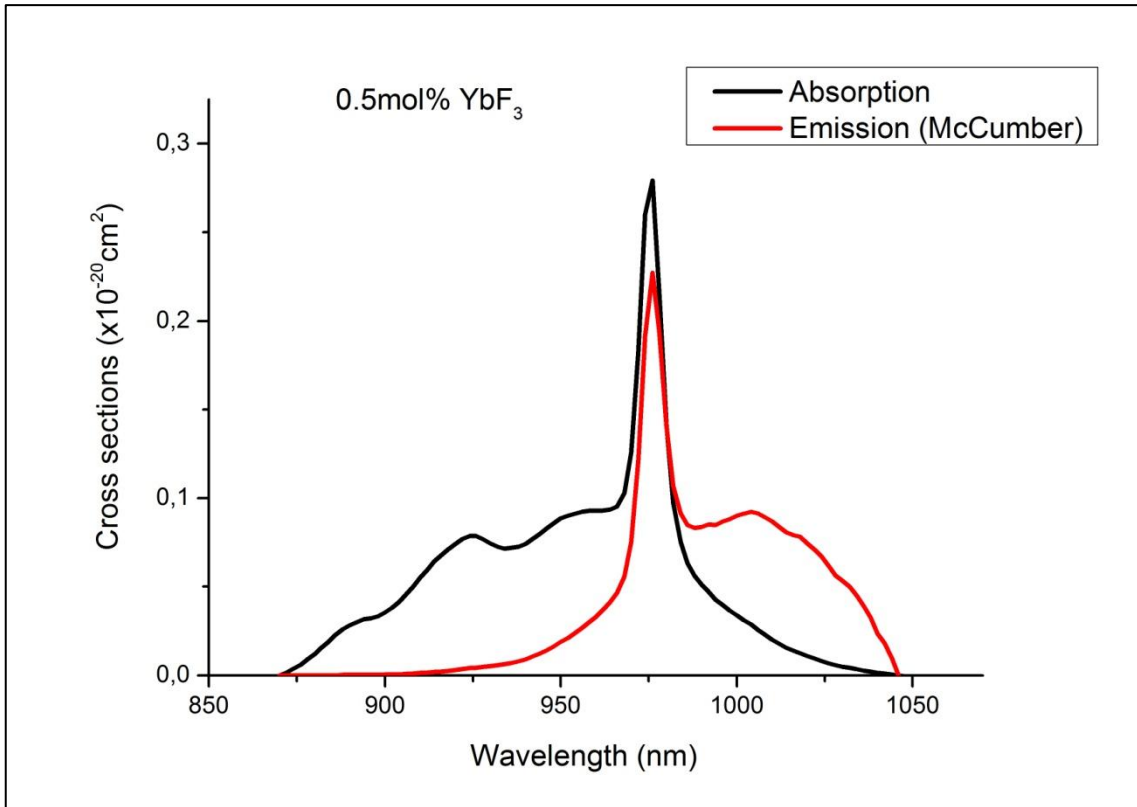
العينة	$\int \sigma(\nu) d\nu (\times 10^{-8})$	$F_{mes}(\times 10^{-6})$
NPSZHY0.5	3,224	1,214
NPSZHY1	5,748	2,164
NPSZHY1.5	8,678	3,267
NPSZHY2	10,466	3,940

• حساب المقاطع الفعالة للإصدار:

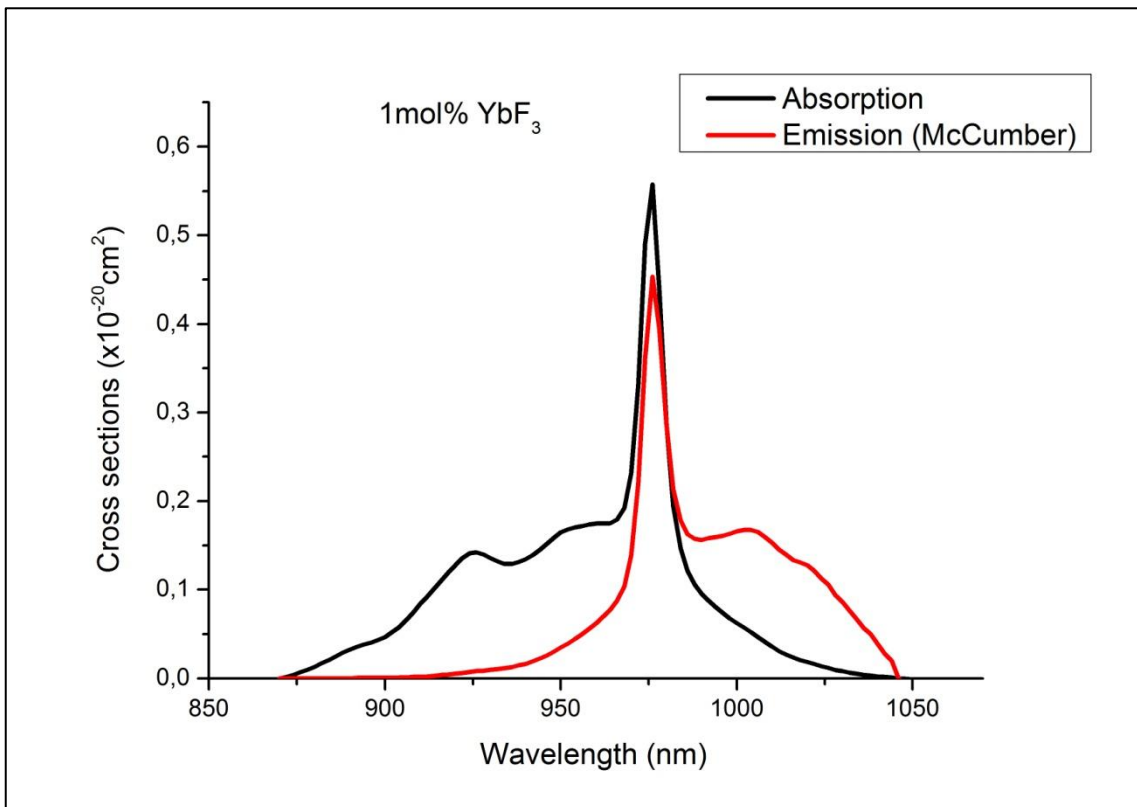
منحنيات المقاطع الفعالة للإصدار المتحصل عليها انطلاقاً من المقاطع الفعالة للامتصاص باستخدام علاقة McCumber موضحة

في الأشكال: (6-IV)، (7-IV)، (8-IV)، (9-IV).

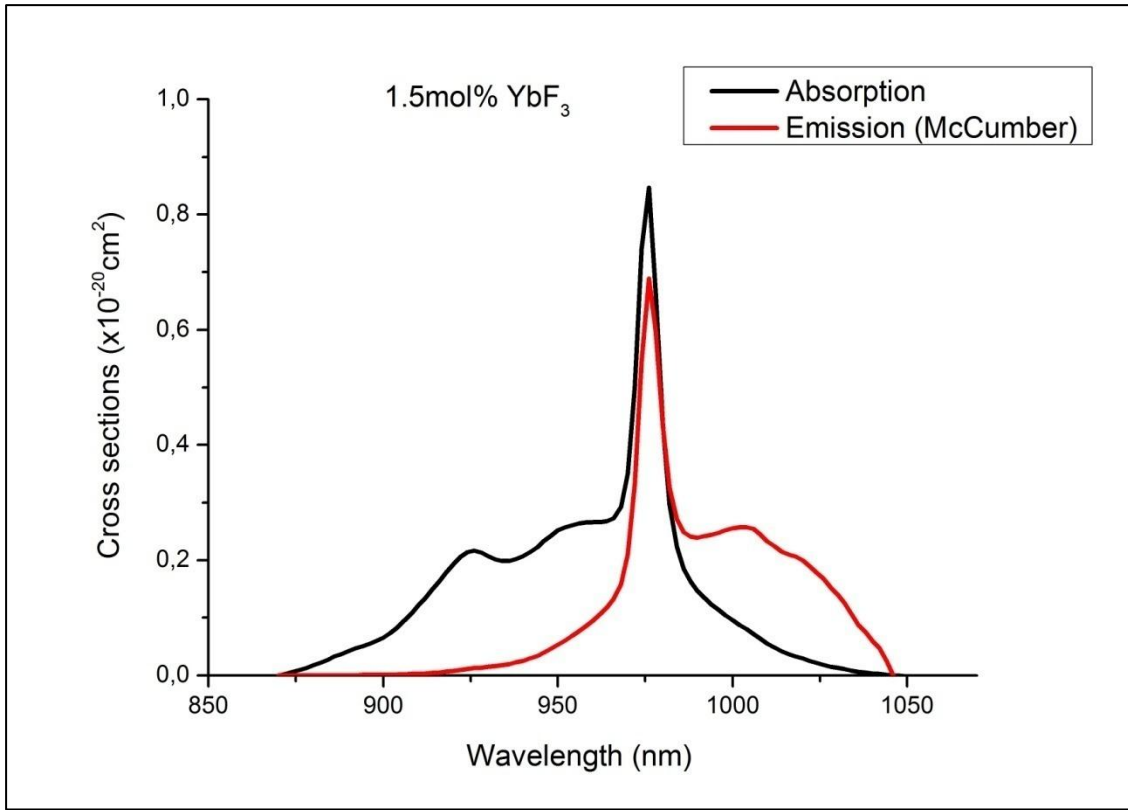
من وجهة النظر الخاصة باشتغال الليزر، فإنّ الربح يتعلّق بالمقطع الفعّال للامتصاص والمقطع الفعّال للإصدار معاً. نلاحظ من خلال الأشكال السابقة أنّ المقاطع الفعّالة للامتصاص ولالإصدار لأيون  $Yb^{3+}$  تُظهر أنّ القيم القصوى للمقاطع الفعّالة تكون بين 910nm و 1030nm ، هذا المجال من التعريض يسمح باختيارات عديدة لطول موجة الضخ. إنّه من المحبّد أن يكون المقطع الفعّال للإصدار أكبر ما يمكن لكي يكون لدينا ربح كبير، لذا فإنّ العينة NPSZHY2 تظهر كمرشّح أمثل للتطبيق الليزري لأنّها تمتلك أكبر قيمة للمقطع الفعّال للإصدار عند الطول الموجي.



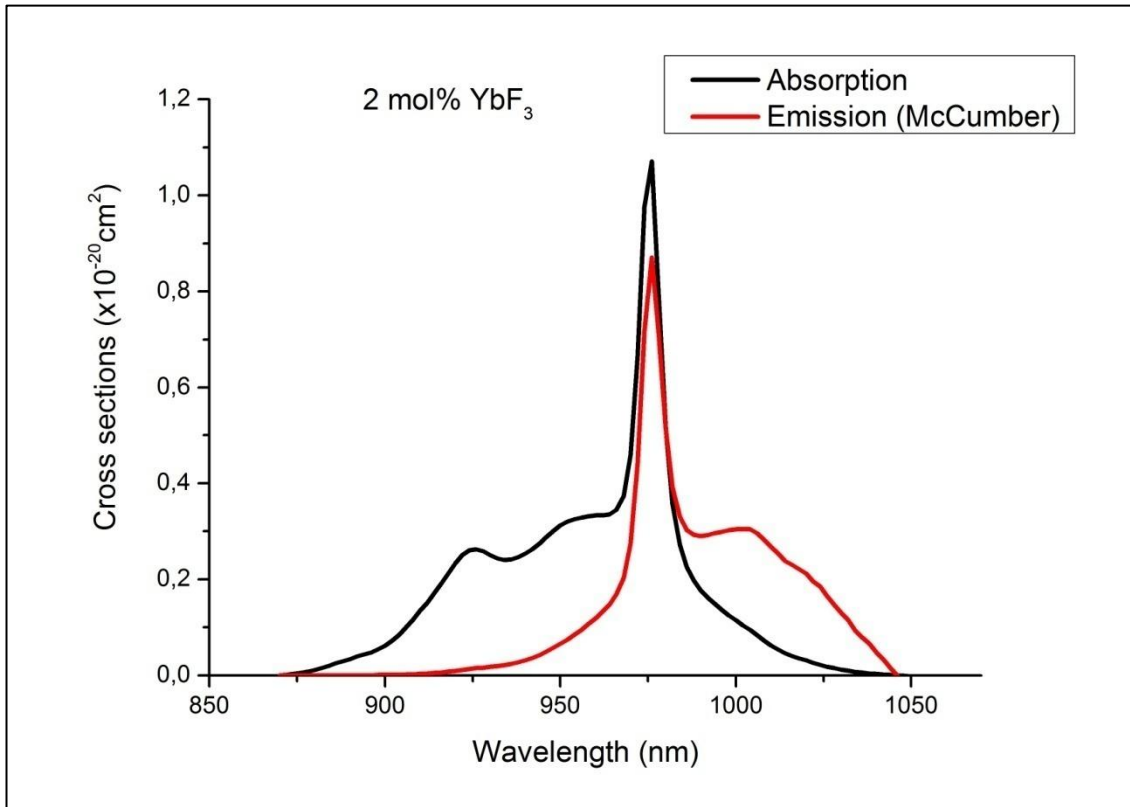
الشكل (6-IV): أطياف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (0.5mol%).



الشكل (7-IV): أطياف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (1mol%).



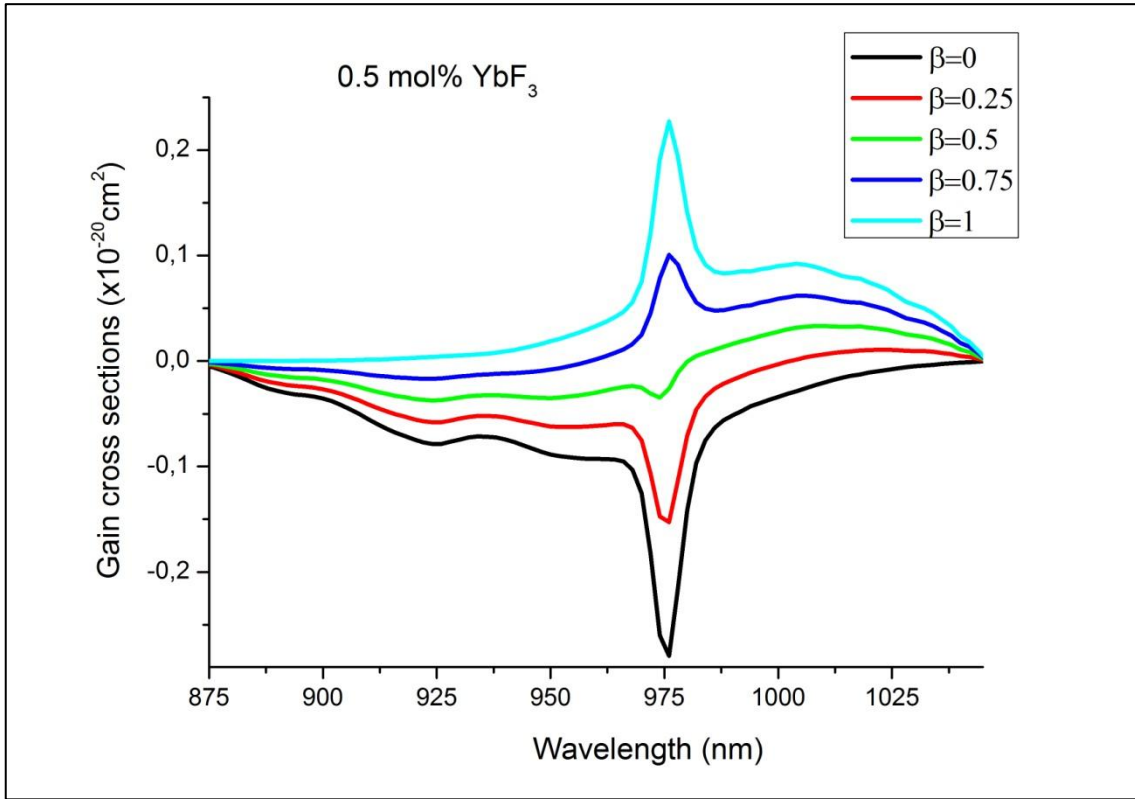
الشكل (8-IV): أطيف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (1.5mol%).



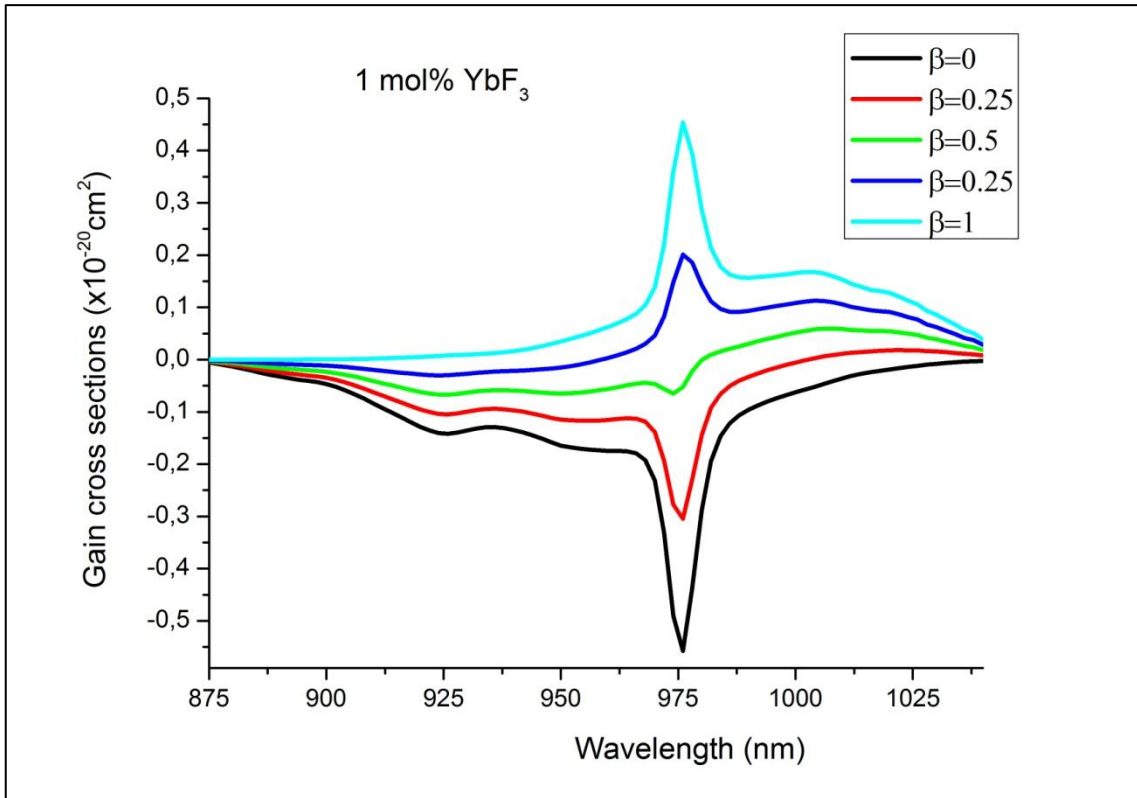
الشكل (9-IV): أطيف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار ذات التركيز المولي (2mol%).

## • المقطع الفعال للرياح :

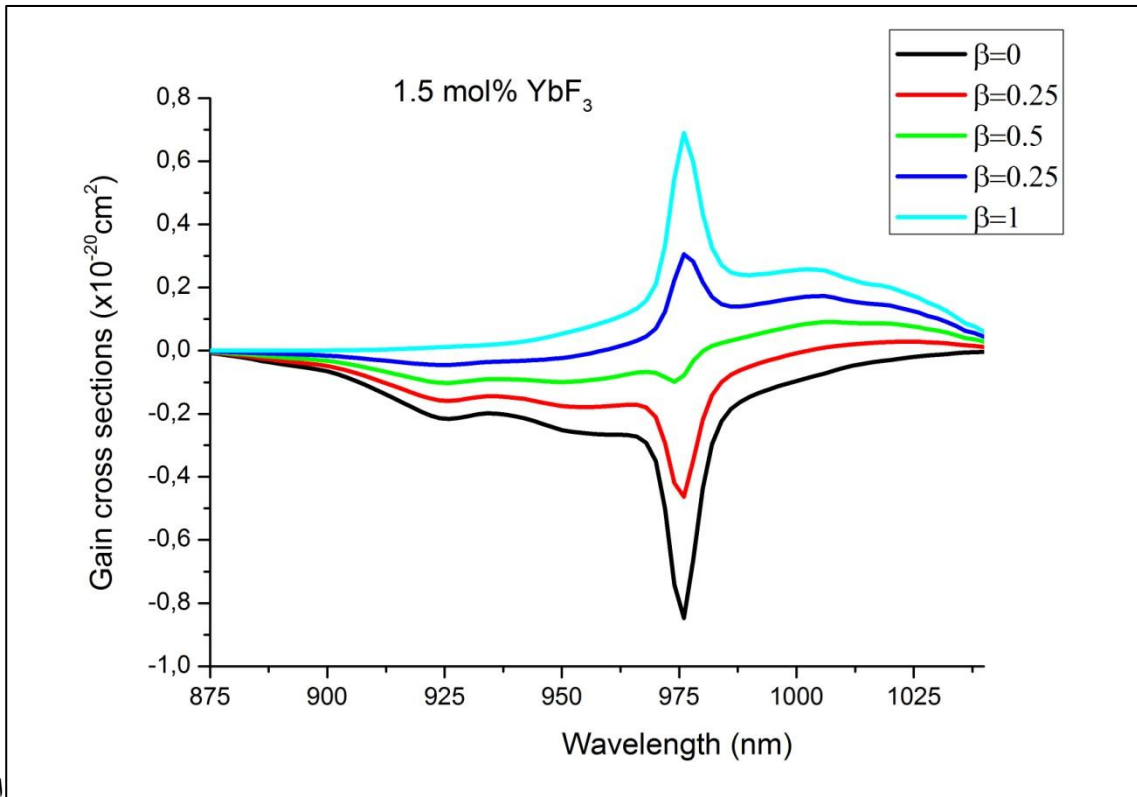
تُظهر الأشكال من (10-IV) إلى (13-IV) أطيف المقطع الفعال للرياح لأيون لأيون  $Yb^{3+}$  في الزجاج المدروس. وقد تم حسابها انطلاقاً من قيم المقطع الفعال للإمتصاص وقيم المقطع الفعال للإصدار الحاسوبية بطريقة ماك كومبر، وذلك من أجل قيم  $\beta$  محصورة بين 0 و 1. كما يمكن رؤيته من أطيف الرياح، فإنه من المتوقع وجود نطاق واسع من أطوال الموجات، من 980 إلى 1030 نانومتر، قابل للتوليف، كلما كانت قيمة المقطع الفعال للرياح أكبر من 0.4. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن عيّنات الزجاج المدروسة يمكن اختيارها كمواد ربح ليزيرية.



الشكل (10-IV): المقطع الفعال للرياح للعيينة (0.5mol%).

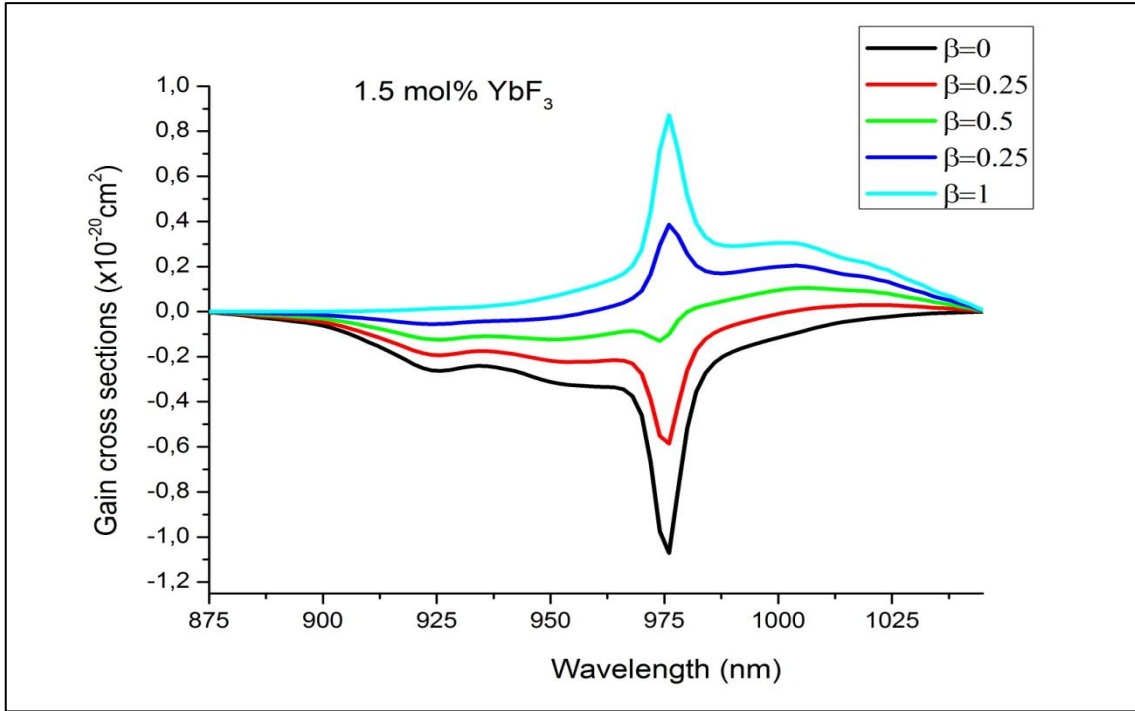


الشكل (11-IV): المقطع الفعال للريح للعينه (1mol%).



الشكل

(12-IV): المقطع الفعال للريح للعينه (1.5mol%).



الشكل (13-IV): المقطع الفعال للريح للعينة (2mol%).

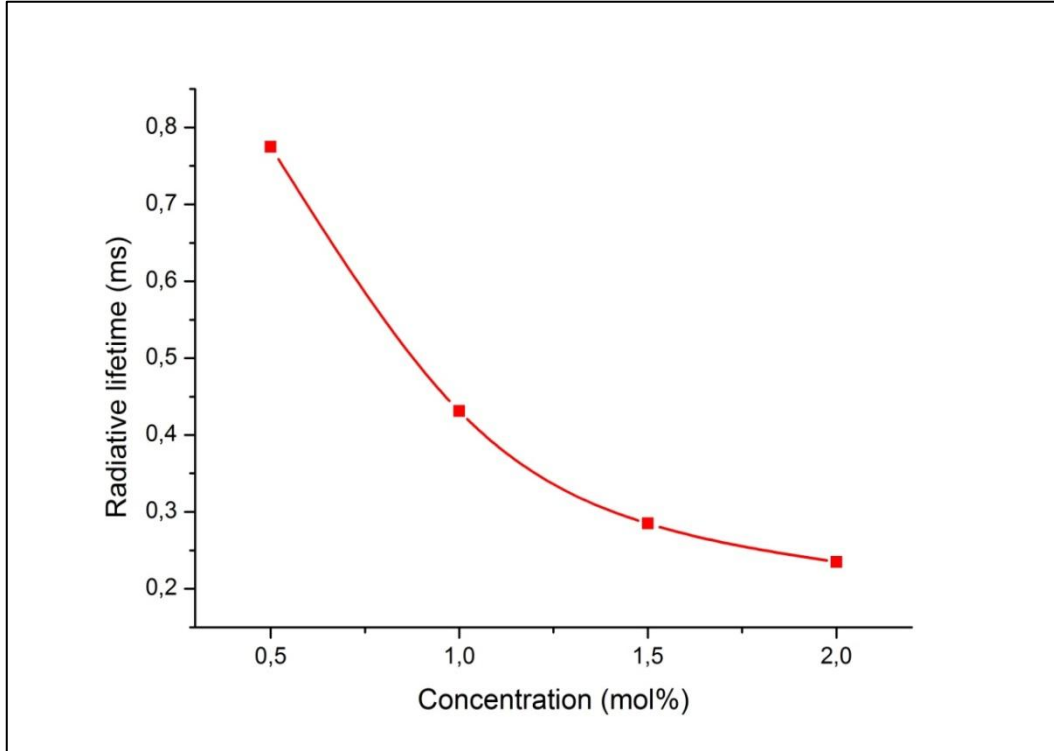
#### • حساب فترة الحياة الإشعاعية $\tau_{rad}$ :

قيم احتماليات الإنتقال وكذا فترات الحياة الإشعاعية المحسوبة لمختلف العينات المدروسة مُعطاة في الجدول (3-IV) حيث نلاحظ أن فترة الحياة الإشعاعية تقلّ مع زيادة التركيز. منحني تغير فترة الحياة بدلالة التركيز له شكل أُسي كما يوضّحه الشكل (10-IV) وهي نتيجة تتفق مع دراسات سابقة [7]:

إنّ الانخفاض في فترة الحياة مع زيادة تركيز أيونات  $Yb^{+3}$  يُمكن أن يفسّر بأنّه ناتج عن تحويل الطاقة بين أيونات  $Yb^{+3}$  و/أو تحويلها إلى أيونات  $Ho^{+3}$  (لأنّ الزجاج ثنائي التطعيم)، هذا التحويل الطاقوي من شأنه أن يفرّغ المستوى المثار  $^2F_{5/2}$ .

الجدول ( 3-IV ) :احتماليات الانتقال وفترات الحياة الإشعاعية لأيون  $Yb^{+3}$  في العينات المدروسة

$\tau$ (ms)	$A$ ( $s^{-1}$ )	العينة
0,775	1290,85	NPSZHY0.5
0,431	2318,15	NPSZHY1
0,285	3508,58	NPSZHY1.5
0,235	4247,07	NPSZHY2



الشكل (14-IV): تغيّر فترة الحياة الإشعاعية بدلالة تركيز أيونات الإيتربيوم في العينات المدروسة.

### • تعيين الوسائط المتعلقة بأداء الليزر:

انطلاقاً من طيف الامتصاص وطيف الإصدار يمكن الحصول على الوسائط المهمة المتعلقة بأداء الليزر والمتمثلة في المقادير التالية:

$$I_{\min}, I_{\text{sat}}, \beta_{\min}$$



$\beta_{\min}$  تمثل النسبة الأدنى من أيونات  $Yb^{+3}$  التي يجب أن تُثار من أجل موازنة الربح بدقة مع الامتصاص في الحالة الأساسية عند طول موجة الليزر  $\lambda_0$ ، فعندما تُثار النسبة  $\beta_{\min}$  من تعداد أيونات  $Yb^{+3}$ ، تكون معدلات الانتقالات الصاعدة والهابطة متساوية، ويكون الزجاج المطعم بـ  $Yb^{+3}$  شفافاً بشكل أساسي عند طول الموجة  $\lambda_0$  بحيث لا يكون هنالك ربح ولا خسارة. من المستحسن الحصول على قيم صغيرة لـ  $\beta_{\min}$  من أجل الحصول على الحد الأدنى من الضياع الناتج عن الامتصاص. شدة الضخ التشبيح  $I_{\text{sat}}$ ، والتي هي خاصية مميزة لحركية الضخ وتتطلب قياساً دقيقاً لكل من المقطع الفعال للامتصاص عند طول موجة الضخ  $\lambda_p$ ، وفترة الحياة لأيونات  $Yb^{+3}$ . مقطع فعال عريض للإمتصاص وفترة حياة طويلة يؤديان إلى قيمة صغيرة مُحَبَّذَة لـ  $I_{\text{sat}}$ . الحد الأدنى من شدة الضخ الممتصة  $I_{\min}$  مطلوب من أجل الوصول إلى عتبة الليزر، هذا الوسيط يأخذ خصائص الامتصاص والإصدار، لذا فإن الوسائط الطيفية المحبَّذَة التي تؤدي إلى أداء ليزري مرغوب يجب أن تتضمن مقطعاً فعالاً كبيراً للإصدار عند  $\lambda_0$ ، ومقطعاً فعالاً كبيراً للامتصاص عند  $\lambda_p$ ، وفترة حياة طويلة للمستوى العلوي لليزر.

قيم الوسائط المتعلقة بأداء الليزر حُسبت لجميع العينات المدروسة وُجمعت في الجدول ( 3-IV ). من خلال هذا الجدول يمكننا ملاحظة أن العينة الأفضل لأداء ليزري أمثل من بين العينات المدروسة، هي العينة NPSZHY2 وهذا استناداً إلى المواصفات التي تم ذكرها في الفقرات السابقة، حيث تمتلك هذه العينة أكبر قيمة للمقطع الفعال للإمتصاص، وأكبر قيمة للمقطع الفعال للإصدار، و  $\beta_{\min}$  في حدود 9,8%، بالإضافة إلى أصغر قيمة لشدة الضخ الممتصة  $I_{\min}$ .

الجدول ( 4-IV ) : الوسائط المهمة لأداء الليزر للعينات المدروسة

$I_{\min}(\text{kW}/\text{cm}^2)$	$I_{\text{sat}}(\text{kW}/\text{cm}^2)$	$\beta_{\min}$ ( $\lambda_0=1004\text{nm}$ )	العينة
3,35	29,15	0,115	NPSZHY0.5
3,04	29,48	0,103	NPSZHY1
2,96	28,54	0,104	NPSZHY1.5
2,82	28,84	0,098	NPSZHY2

## IV-10 الخلاصة:

انطلاقاً من طيف الامتصاص تمكنا من الحساب المباشر لكل من المعامل والمقطع الفعال للامتصاص، وباستغلال هذا الأخير في نظرية ماك كومبر، تحصلنا على المقطع الفعال للإصدار، وكل من الريح وفترة الحياة وشدة الضخ. ومن خلال النتائج لاحظنا زيادة خطية للمقطع الفعال للامتصاص بزيادة تركيز أيونات  $Yb^{+3}$ ، وكذا تزايد خطي لقوى الانتقال بتزايد تركيز أيونات الإيتربيوم. كما استنتجنا أن الريح له علاقة بكل من المقطع الفعال للامتصاص و الإصدار، ولكي يكون الريح كبير يجب أن يكون المقطع للإصدار أكبر ما يمكن، وعليه تعتبر العينة NPSZHY2 مرشح أمثل للتطبيق الليزري لأنها تمتلك أكبر قيمة للمقطع الفعال للإصدار عند الأطوال الموجية معينة.

## مراجع الفصل الرابع

- [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] Kevin Jojeph, Neodymium- Doped phosphate glass Waveguide laser, Ph.D. thesis , University of Colorado at Boulder, (1994).
- [3] O. Peron, "Guides d'ondes planaires en verre et vitrocéramique fluores ", thèse de doctorat, Université du Maine,(2007).
- [4]A.Beggas, "E« at d'art des verres dopés aux ions terres rares (Application Amplificateur Optique)", mémoire de magister, Centre Universitaire .d' El- Oued 2010
- [5]Kassab, L. R., Tatumi, S. H., Morais, A. S., Courrol, L. C., Wetter, N. U., & Salvador, V. L. R. (2001). Spectroscopic properties of lead fluoroborate glasses doped with ytterbium. *Optics express*, 8(10), 585– 589.
- [6] Plucinski, K. J. *et al. Luminescence of the Yb-doped PbO–Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–BaO glasses, Opt. Mater.* 22, 13–19 (2003).
- [7](A.S. Pinheiro et al. Laser performance parameters of Yb<sup>3+</sup> doped UV-transparent phosphate glasses *Chemical Physics Letters* 592 (2014) 164–169 ).

## الخلاصة العامة

يهدف هذا العمل إلى الدراسة الطيفية لأيون الإيتريوم في الزجاج، من أجل هذا قمنا في البداية بتناول الجانب النظري، حيث سلطنا الضوء على الزجاج بشكل عام، الذي يعتبر مادة صلبة لابلورية تتميزها ظاهرة الإنتقال الزجاجي. و ثانيا قمنا بدراسة الزجاج المطعم بالعناصر الترابية النادرة، و مطبافية هاته الايونات و بالأخص ايون الايتريوم بالإضافة إلى تأثيرات المادة المضيفة. وفي الفصل الثالث تعرفنا على المضخمات الضوئية والليزر بشكل عام. ومن الجانب التجريبي لتحديد الوسائط الطيفية قمنا بحساب المقطع الفعال للامتصاص وباستغلاله و بتطبيق نظرية ماك كومبر McCumber استطعنا حساب المقطع الفعال للإصدار والرياح، وفترة الحياة الإشعاعية والشدة الضخ.

ومن خلال نتائجنا وجدنا إن الزجاج هو أكثر المواد اللابلورية ترشيحا للتطعيم بأيونات العناصر الترابية النادرة نظرا لخواصه الملائمة، كما توصلنا إلى أن كلاً من المقطع الفعال للامتصاص والإصدار له علاقة خطية بالرياح. وللوصول إلى عتبة الليزر فإن الوسائط الطيفية المحبذة التي تؤدي إلى أداء ليزري مرغوب يجب أن تتضمن مقطعا فعّالا كبيرا للإصدار عند  $\lambda_0$  (طول موجة الإصدار)، ومقطعا فعّالا كبيرا للامتصاص عند  $\lambda_p$  (طول موجة الضخ)، وفترة حياة طويلة للمستوى العلوي لليزر.

وفق نتائج هذه الدراسة، تعتبر العيّنة NPSZHY2 أفضل العينات لأداء ليزري أمثل وهذا استنادا إلى المواصفات التي تحملها، حيث تمتلك هذه العيّنة أكبر قيمة للمقطع الفعّال للإمتصاص، وأكبر قيمة للمقطع الفعّال للإصدار، و  $\beta_{min}$  في حدود 9,8%، بالإضافة إلى أصغر قيمة لشدة الضخ المتصّبة  $I_{min}$ .

## الملخص:

المهدف هذا العمل هو الدراسة الطيفية لأيون الإيتربيوم في الزجاج، من أجل هذا قمنا في البداية بدراسة عامة حول الزجاج ومطيافية العناصر الترابية النادرة، ثم عرضنا مبادئ الليزر والتضخيم الضوئي. ثم قمنا بتعيين الوسائط الطيفية لأيون الإيتربيوم في أربع عينات من زجاج فليوروفوسفاتي، ووجدنا أن العينة المطعمة بـ 2mol% YbF3 هي الأفضل من حيث امتلاكها لأكبر قيمة للمقطع الفعال للإمتصاص، وأكبر قيمة للمقطع الفعال للإصدار، وكذا وسائط ليزرية أفضل تتمثل في النسبة الأدنى من أيونات  $Yb^{+3}$  التي يجب أن تُثار لمعادلة الربح وكذا أضعف قيمة لشدة الضخ اللازمة لحدوث المفعول الليزري.

**الكلمات المفتاحية:** الزجاج الفليوروفوسفاتي، العناصر الترابية النادرة، الإيتربيوم، الليزر، الربح

## Résumé :

L'objectif de ce travail est l'étude spectroscopique de l'ion Ytterbium dans le verre. Pour cela, nous avons d'abord entrepris une étude générale sur le verre et la spectroscopie des éléments des terres rares, puis nous avons présenté les principes de laser et amplification optique. Puis, nous avons déterminé les propriétés spectroscopiques de l'Ytterbium dans quatre échantillons de verre fluorophosphate. Nous avons constaté que l'échantillon dopé avec 2 mol% YbF3 est le meilleur en termes de possession de valeur supérieure pour la section efficace de l'absorption et d'émission, ainsi que des mieux paramètres de laser, pourcentage minimum d'ions  $Yb^{+3}$ , qui doit être pompés pour compenser le gain ainsi que la plus petite valeur de l'intensité du pompage nécessaire pour l'effet laser.

**Mots Clés :** Verre Fluorophosphate, Terres Rares, Ytterbium, Laser, Gain

## Abstract :

The aim of this work is the spectroscopic study of the Ytterbium ion in glass. For this, we first undertook a general study on glass and spectroscopy of rare earth elements, then we presented the principles of laser and optical amplification. After that, we determined the spectroscopic properties of Ytterbium in four fluorophosphate glass samples. We found that the sample doped with 2 mol% YbF3 is the best in terms of possessing superior value for absorption and emission cross sections, as well as better laser parameters, minimum percentage of  $Yb^{+3}$  ions, which must be pumped to compensate the gain as well as the smallest amount of pumping intensity required for the laser effect.

**Keywords:** Fluorophosphate Glass, Rare Earths, Ytterbium, Laser, Gain