

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة: ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص: فيزياء إشعاعات ، كاشف و بصريات إلكترونية

من إعداد الطالبة: بوحنيك سعاد

الموضوع:

## تعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون $Yb^{+3}$ في زجاج فليوروفوسفاتي

نوقشت يوم: الأربعاء 2019/07/10

أمام اللجنة المناقشة المتكونة من:

الصفة	الجامعة	الدرجة	الأستاذ
رئيسا	ورقلة	أستاذ محاضر	سوداني محمد البار
مناقشا	ورقلة	أستاذ محاضر	مامانو عبد اللطيف
مقررا	ورقلة	أستاذ محاضر	بن طويلة عمر

الموسم الجامعي 2019/2018

# الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم " **وقولوا عملوا فسيرى الله عملكم ورسوله و**

**المؤمنين**"

صدق الله العظيم

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك و لا يطيب النهار إلا بطاعتك... و لا تطيب اللحظات إلا بذكرك و لا تطيب الآخرة إلا بعفوك... و لا تطيب الجنة إلا برويتك.

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة... و نصح الأمة... إلى نبي الرحمة و نور العالمين... سيدنا محمد صلى الله عليه و سلم.  
إلى من كلله الله بالهبة و الوقار... إلى من علمني العطاء بدون انتظار... إلى من أحمل اسمه بكل افتخار... أرجو من الله أن يد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار و ستبقى كلماتك نجوم أهتدي بها اليوم و في الغد و إلى الأبد... **أبي العزيز**.  
إلى حكمتي... و علمي، إلى أدبي... و حلمي، إلى طريقي المستقيم، إلى طريق الهداية، إلى ينبوع الصبر و التفاؤل و الأمل إلى كل من في الوجود بعد الله و رسوله... **أمي الغالية**.

إلى معنى الحب و معنى الحنان و التفاني... إلى من كان دعاؤها سر نجاحي... إلى أعلى الجباب **مامايا**.

إلى توأم روعي إلى سندي و قوتي و ملاذي بعد الله "**زوجي الحبيب**".

إلى قرّة عيني و فلذة كبدي ابنتي **رودينا** حفظها الله و رعاها(هي و إخوتها القادمين إن شاء الله).

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة و النفوس البرية إلى رياحين حياتي **إخوتي**.

إلى البراعم **فاطمة الزهراء و مريم البتول و خديجة**.

إلى الأخوات اللاتي لم تلهن أي... إلى من تحلوا بالإخاء و تميزوا بالوفاء و العطاء إلى ينابيع الصدق الصافي... إلى من معهم سعدت و برقتهم في دروب الحياة الحلوة و الحزينة سرت، إلى من كانوا معي على طريق النجاح و الخير إلى من عرفت كيف أجدهم و علموني أن لا أضيعهم **صديقاتي**.

إلى أستاذي الفاضل "**بن طويلة عمر**" له مني خالص الثناء و الشكر على ما قدمه لي - وفقه الله -

إلى كافة الأهل و الأصدقاء... أهدي هذا الجهد المتواضع.

# شكر وتقدير

"كن عالماً.. فإن لم تستطع فكن متعلماً.. فإن لم تستطع فأحب العلماء.. فإن لم تستطع فلا تبغضهم "

لا بد لنا و نحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهوداً كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد...و قبل أن نمضي نقدم أسمى آيات الشكر و الامتنان و التقدير و المحبة.

إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة...إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم و المعرفة...إلى جميع أساتذتنا الأفاضل " أساتذة جامعة هواري بومدين للعلوم و التكنولوجيا – باب الزوار – " و "أساتذة جامعة قاصدي مرباح – ورقلة - " كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى مشرفي الدكتور الفاضل " بن طويبة عمر " الذي تقول له بشراك قول رسول الله صلى الله عليه وسلم " إن الحوت في البحر و الطير في السماء ، ليصلون على معلم الناس الخير " ، أسأل الله أن يجزيه عني خير الجزاء ، و أن يبارك في عمره و علمه في جميع الأوقات ، مع رفيع الدرجات في هذه الحياة، و في روضات الجنات.. وفقه الله و دام تألقه.

كما أعطف بثناء الشكر و العرفان إلى كافة أعضاء اللجنة من رئيس و مناقش و مقرر.

"أشكركم جميعاً فجزاكم الله عني خير الجزاء...جعلكم الله ذخراً للأمة"

بوحنيك سعاد

# الفهرس

الصفحة	فهرس المحتويات
I	الإهداء.....
II	شكر و تقدير.....
III	فهرس المحتويات.....
VI	فهرس الأشكال.....
VIII	فهرس الجداول.....
IX	الترميز.....
1	مقدمة عامة.....

## الفصل الأول : الليزر و المضخات الضوئية

4	1.1. مقدمة.....
4	2.1. نبذة تاريخية.....
6	3.1. المكونات الأساسية لجهاز الليزر.....
6	3.1.1. الوسط الفعال ( وسط التضخيم).....
6	2.3.1. المرنان الليزري.....
7	3.3.1. مصدر الضوء (تقنيات الضخ).....
8	4.1. المنظومات الليزرية.....
9	5.1. شروط الإنبعاث الليزري.....
9	1.5.1. الإنبعاث المحفز (الإصدار المحفز).....
10	2.5.1. التعداد المعكوس.....
10	3.5.1. التضخيم الضوئي.....

11	.....6.I علاقات اشتين الرياضية
14	.....7.I مضخات الألياف البصرية(المضخات الضوئية).
15	.....1 أنواع مضخات الألياف البصرية
17	.....2 مضخم الليف البصري المطعم بمادة الإيتريوم
18	.....8.I خلاصة الفصل

## الفصل الثاني: مطيافية العناصر الترابية النادرة

21	.....1.II مقدمة
21	.....2. II العناصر الترابية النادرة
23	.....3. II الإيتريوم
23	.....1. 3.II تاريخ الإيتريوم
23	.....2.3.II تعريف عنصر الإيتريوم
24	.....1. 2. 3.II الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لعنصر الإيتريوم
25	.....4.II مطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة
25	.....1. 4.II التوزيع الإلكتروني للعناصر الترابية النادرة و لأيوناتها
26	.....2. 4.II الأعداد الكمية
26	.....3. 4.II الرموز الطيفية
28	.....4. 4.II الرموز الطيفية لأيونات العناصر الترابية النادرة
29	.....5. 4.II مستويات الطاقة للعناصر الترابية النادرة
31	.....5.II تتفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة مع الضوء

31	.....1.5.II قواعد الإنتقاء.
31	.....2.5.II الإنتقالات الإلكترونية.
32	.....1.2.5.II الإنتقالات الإشعاعية(الآليات الإشعاعية).
36	.....2.2.5.II الآليات غير الإشعاعية.
37	.....6.II المدودية الكمية.
38	.....7.II نقل الطاقة.
41	.....8.II خلاصة.

### الفصل الثالث

#### تعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون الإيتريوم في زجاج فليوروفوسفاتي

44	.....1.III مقدمة.
44	.....2.III تركيبة الزجاج المدروس.
45	.....3.III تعيين الوسائط الطيفية لأيون الإيتريوم في العينات الزجاجية المدروسة.
45	.....1.3.III المقطع الفعال للإمتصاص.
48	.....2.3.III المقطع الفعال للإصدار.
49	.....3.3.III حساب المقطع الفعال للرجح.
51	.....4.3.III حساب فترة الحياة الإشعاعية.
51	.....5.3.III تعيين الوسائط المتعلقة بأداء الليزر.
54	.....4.III خلاصة.
56	.....خاتمة عامة.

# فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	الرقم
07	توضع المرآتان (المرنان)	1.I
07	مكونات ليزر الياقوت	2.I
08	نظام ذو ثلاث مستويات طاوقية	3.I
09	نظام ذو أربع مستويات طاوقية	4.I
09	انتقال الإلكترون من $E_1$ إلى $E_2$	5.I
10	انتقال الإلكترون من $E_2$ إلى $E_1$	6.I
10	التعداد المعكوس	7.I
10	عملية التضخم الضوئي	8.I
22	موقع اللاتنايدات في الجدول الدوري	1.II
30	تحليل مستويات الطاقة تحت تأثير التفاعلات المختلفة	2.II
30	مخطط مستويات الطاقة للأيون التراي النادر الإيتريوم	3.II
32	الآليات الرئيسية للتفاعل إشعاع-مادة	4.II
32	ظاهرة الإمتصاص	5.II
34	ظاهرة الإنبعث التلقائي	6.II
35	ظاهرة الإنبعث المحفز	7.II
37	الآليات الإشعاعية و غير الإشعاعية	8.II
38	نقل الطاقة الريني مع العودة إلى الحالة الأساسية	9.II
38	نقل طاقة ريني كيني	10.II

39	نقل الطاقة بواسطة الفونونات	11.II
40	عملية التحويل العلوي ل فتونين – أيونين	12.II
44	صورة للعينات المدروسة	1.III
45	عملية إمتصاص الضوء	2.III
47	بنية مستويات الطاقة لأيون الإيتريوم	3.III
47	المقاطع الفعالة للأمتصاص لأيون الإيتريوم في العينتين المدروستين	4.III
48	أطياف المقطع الفعال للإمتصاص و الإصدار للعينه (NPZS-HYT:1)	5.III
49	أطياف المقطع الفعال للإمتصاص و الإصدار للعينه (NPZS-HYT:2)	6.III
50	المقطع الفعال للريخ للعينه NPZS-HYT:1	7.III
50	المقطع الفعال للريخ للعينه NPZS-HYT:2	8.III

# فهرس الجداول

الصفحة	العنوان	رقم الجدول
16	خصائص كل المضخات الضوئية	1.I
23	النظائر المستقرة لعنصر الإيتريوم	1.II
24	النظائر المشعة لعنصر الإيتريوم	2.II
26	الأعداد الكمية للإلكترون	3.II
28	الرمز الطيفي للمستوي الأساسي للعناصر الترابية النادرة	4.II
45	الكتلة الحجمية و السمك و التركيز للعينات المدروسة	1.III
51	إحتمالية الإنتقال و فترات الحياة الإشعاعية لأيون الإيتريوم في العينات المدروسة	2.III
53	الوسائط المهمة لأداء الليزر للعينات المدروسة	3.III

# المترمينز

الرمز	معناه
E	طاقة المستوى
I	شدة الحزمة الضوئية
L	طول المرنان
$\gamma$	معامل الربح.
	الخسائر الكلية في المنظومة.
R	معامل الإنعكاس.
G	الربح الكلي.
	قيمة التوالد في مستوى الطاقة $E_i$ .
	ثابت بولتزمان.
T	درجة الحرارة.
N	تعداد الفوتونات لوحدة الحجم.
	ثابت أينشتاين للامتصاص.
	كثافة طاقة الفوتونات المسلطة على المنظومة عند التردد U.
	المقطع الفعال للامتصاص.
	المقطع الفعال للاصدار.
F	تدفق الفوتونات.
	ثابت أينشتاين للاصدار المحفّز.
	احتمال الامتصاص.
	احتمال الاصدار المحفّز.
	ثابت أينشتاين للانبعاث التلقائي.
H	ثابت بلانك.
	التردد.
C	سرعة انتشار الضوء في الفراغ.

العزم الزاوي المداري الكلي.	L
العزم الزاوي اللفي (المغزلي) الكلي.	S
العزم الحركي الكلي.	J
دالة موجية مرتبطة بالذرة.	$\Psi$
هاملتون التفاعل.	H
شحنة النواة	Ze

هاملتون الأيون الحر.	
هاملتون التشكيل حسب تقريب "الحقل المركزي" .	
شحنة الإلكترون.	E
كتلة الإلكترون.	$m_e$
تفاعل كولوم بين الإلكترونات في الطبقة.	
التفاعل بين اللف الذاتي والعزم الزاوي المداري لكل إلكترون.	
مُعاملات الأزواج سبين - مدار.	
نسبة التفرع للإنتقال من m إلى j.	
احتمال حدوث استرخاء مُتعدد الفونون.	
احتمال الانتقال.	
الفرق في الطاقة بين مُستويات المرحلة الانتقالية.	
عدد الفونونات.	P

عدد بوز ( Bose ) .	$n(\nu)$
مدة الحياة الإشعاعية.	
مدة الحياة الغير إشعاعية.	
مدة الحياة المقاسة تجريبيا.	
المردودية.	H
ثوابت موجبة مميزة للشبكة البلورية.	$B, \alpha(\nu)$
تعداد المستوي رقم 1.	

# مقدمة عامة

الليزر هو عبارة عن شعاع ضوئي يملك العديد من الخصائص التي يختلف بها عن الضوء العادي, حيث أنه يتميز بأموح قوية مترابطة تتميز بتواتر موحد إضافة إلى توازي الحزم التي يتكون منها هذا الشعاع , فيكون لدينا عندها شعاع قوي يحمل طاقة لا يمكن مقارنتها بالطاقة الضوئية العادية.

هناك العديد من أنواع الليزر التي يمكن استخدامها في عدة مجالات مثل (مجال الاتصالات )ألا وهي ليزرات الزجاج المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة, حيث اشتهرت هذه الأخيرة بإظهارها انبعاثات محفزة في حالة إضافتها إلى مادة زجاجية أو أي مادة صلبة بلورية وهذا ما يعرف بالتطعيم, وعلى الرغم من أنها ليست الوحيدة التي يمكن استخدامها في الأوساط الفعالة لليزر الصلبة مثل ليزر الإيتريوم .

ليزرات الزجاج المطعم بأيونات العناصر الترابية النادرة أوسع شهرة نظرا لتمييز هذه الايونات بالانتقالات ضوئية على مجال واسع من الأطوال الموجية الذي يمتد من الأشعة فوق البنفسجية إلى ما تحت الحمراء, كما أنها تمتلك مستويات طاوية غير مستقرة والتي تسهل انقلاب التعداد وبالتالي حصول مفعول الليزر. من بين أيونات العناصر الترابية النادرة نجد أيون الايتريوم  $Yb^{3+}$  الذي يتميز بإصدار ليزري عند طول موجي خاص به و له تطبيقات مهمة في العديد من المجالات : الطبية ,العسكرية و.....

تمكن الباحثون من تطعيم الألياف الزجاجية ببعض أيونات العناصر الترابية النادرة مثل  $Yb^{3+}$  للحصول على مضخات ذات كسب مرتفع كما تمكن من استعمالها كوسط فعال لإنتاج ليزرات الليف البصري, ومن هذه الليزرات ليزر الليف البصري المطعم بالإيتريوم (YDFL).

قُسمت هذه المذكرة إلى ثلاثة فصول بحيث:

نتطرق في الفصل الأول والذي هو بعنوان "الليزر والمضخات الضوئية" إلى دراسة نظرية لفزياء الليزر والمضخات الضوئية وأنواعها وهذا بعد التعرف على التفاعل إشعاع - مادة .

تقوم في الفصل الثاني والمعنون بـ "مطيافية العناصر الترابية النادرة" وفيه نسلط الضوء على أحد العناصر الترابية النادرة وهو عنصر الايتريوم حيث نحدد من خلاله توزيعه الالكتروني ومن ثم رموزه الطيفية، وبعدها تحديد مستويات طاقته.

أما الفصل الثالث فيشمل جوهر الموضوع تحت عنوان " تعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون الإيتريوم في زجاج فليوروفوسفاتي "

ختمنا كل ذلك بملخص نوجز فيها أهم النتائج التي تحصلنا عليها.

# الفصل الأول

الليزر والمضخمات الضوئية

**1.I. مقدمة :**

الليزر، وهو نوع من أنواع الضوء، يمتلك العديد من المميزات التي جعلته منذ اكتشافه في عام 1960 يدخل في الكثير من تطبيقات التكنولوجيا الجديدة، هناك عدة أنواع من أجهزة الليزر المتاحة اليوم والتي تعمل على أطوال موجية مختلفة وتستخدم في العديد من المجالات، مثل نقل المعلومات (الاتصالات عبر الألياف الضوئية...)، والطب (طب العيون، طب الأسنان...)، والصناعة (الحام وقطع المواد، والمعالجة السطحية).

الليزر هي أجهزة تولد أو تضخم الإشعاعات ذات الترددات الواقعة في المجال تحت الأحمر ( Infrared ) أو فوق البنفسجي (ultraviolet) من الأمواج الكهرومغناطيسية [1] فكلمة ليزر (LASER) هي لفظة مشتقة من الأحرف الأولى لفكرة عمل الليزر وهي باختصار للجملة التالية :

“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

والتي تعني “ تضخيم الضوء بواسطة انبعاث الإشعاع المحفز ” وهو عبارة عن حزمة ضوئية مركزة ومنظمة ذات فوتونات تشترك في ترددها وتتطابق بحيث تُحدث التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية نسبياً، وشديدة التماسك زمنياً ومكانياً ذات زاوية انقراج صغيرة جداً، كما له خصائص مميزة لا توجد في الضوء الذي تصدره بقية المصادر الضوئية الأخرى ولعل أهمها [2]: الاتجاهية، أحادية اللون، ترابط الأشعة والشدة.

**2.I. نبذة تاريخية :**

في عام (1908) أعلن العالم الفيزيائي ألبرت اينشتاين ( Albert Einstein ) عن نظرية “كمية الضوء” التي شكلت الأساس لتطوير تكنولوجيا الليزر، حيث قام بدراسة التفاعلات بين الإشعاعات الكهرومغناطيسية وذرات المادة، وتنبأ بأن الإلكترونات تستطيع أن تطلق نوعاً خاصاً من الضوء، والذي عُرف بنظرية الليزر التي ظهرت في بدايات القرن الميلادي الماضي بإسهامات أينشتاين العلمية فكان هو أول من أشار لوجود الليزر في عام (1917) ووضع الأساس النظري لعملية الانبعاث المحفز ( Stimulated Emission ) [3-4].

وفي عام (1940) اقترح العالم السوفيتي فابريكانت تضخيم الأشعة عن طريق السيزيوم [3]، كما تمكن الفيزيائي الأمريكي ويليز لامب (Willis Lamp) (1947) عملياً من إثبات وجود ظاهرة الإصدار المحفز ( stimulated emission ) والتي تعتبر شرطاً أساسياً للحصول على أشعة الليزر [3].

وفي عام (1954) تمكن الفيزيائي الأمريكي تشارلز تاونس ( Charles H. Townes ) وجماعته من تضخيم أشعة الميكروويف (Microwave) باستخدام الانبعاث المحفز, فقد اختار الترددات المعتمد استخدامها في الرادارات, حيث حصل على شعاع الميزر (MASER) وذلك في مختبرات (بيبل), وهو اختصار للأحرف الأولى للكلمات التالية:

“Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

والتي تعني “ تضخيم الموجات الدقيقة باستخدام انبعاث الإشعاع المحفز ”, وقد كان الهدف الأساسي من بناء جهاز الميزر هو استخدامه كمكبر قليل الضوضاء وكولد إشارة عالي الدقة, وفيما بعد تم تطوير الميزر من خلال دراسات تمت على الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء, وقد تم إطلاق كلمة ليزر على أول جهاز لتضخيم الضوء المرئي والغير مرئي [4].

كما تمكن كل من العالمين باسوف وبروكوروف ( Prokhorov and Basov ) (1957) من تصميم ميزرات أخرى معتمدين على ظاهرة الضخ البصري, وتم استخدام هذه الميزرات تطبيقياً في علم الفلك الراديوي وفي أجهزة الرادارات [4]. بينما في عام (1958) تمكن كل من العالم تشارلز تاونس ( Charles H. Townes ) الذي كان له شرف الأسبقية في بناء جهاز الميزر والعالم سكارلو (Schawlow) من بناء فكرة أسس الليزر باستخدام أصل فعال بين مرآتين عاكستين, إلا أن هذين العالمين لم يتمكنوا من بناء جهاز ليزر متكامل وذلك لعدم قدرتهما على اختيار المادة الفعالة و وسائل الضخ المناسبة للحصول على الليزر [2-4]. وفي سنة (1960) ومن مختبرات بحوث هيوز للولايات المتحدة الأمريكية, أنطلق أول شعاع ليزر في العالم من الجهاز الذي صممه ميمان ( maiman ) حيث استخدم بلورة الياقوت الصلبة كوسط فعال وتغطي الفضة طرفي هذه البلورة عليها ضوء غامر من مصباح أنبوبي زجاجي يحيط بها فيبيج ذراتها, لينبعث منها وميض فينتشر إلى طرفيها ليصطدم بالفضة التي عكسته كمرآة فترتد ذهاباً وإياباً وتزداد قوته وتركيزه, وينطلق بذلك شعاع لامع من الضوء الأحمر وقبل نهاية عام (1960) تمكن الفيزيائي الإيراني علي جافان (Ali Gavan) والأمريكي ويليام بينيت (William Bennett) في مختبرات بيل من انجاز وتشغيل ليزر الهليوم-النيون ( He-Ne ) الغازي, فأعطى إشعاعاً مستمراً وليس نبضياً كما هو الحال في ليزر الياقوت [4].

في عام (1962) تمكن المهندس الأمريكي روبرت هول ( Robert Hall ) من تصنيع ليزر أشباه الموصلات (Semiconductors Laser) الذي يتميز بصغر حجمه [2-3]. وفي عام (1963) لحقها ابتكار ليزرات سائلة وليزرات كياوية [4].

### 3.I المكونات الأساسية لجهاز الليزر :

جهاز الليزر عبارة عن مصدر الضوء, يعمل على تجميع وتركيز وتقوية الإشعاعات الضوئية, التي تتولد داخل الجهاز, على شكل حزمة ضوئية رفيعة جدا في اتجاه واحد مركز, كما تستطيع قطع مسافات لا نهائية في خط مستقيم, بزيادة شدتها, ويقوي بعضها البعض عند الانطلاق [5], كما يمكننا تكوين ليزر باستخدام أجهزة معينة تحتوي عدة عناصر أساسية وهي:

#### 1.3.I. الوسط الفعال ( وسط التضخيم )

يحتوي هذا الوسط على المادة التي تكون إما في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية, وتحتوي هذه المادة على الذرات أو الجزيئات التي يكون لها مخطط مستويات طاقة مناسبة بحيث توجد حالة شبه مستقرة توافق انتقالا مسموحاً بين مستويين طاقيين ولكنه بطيء مقارنة مع الانتقالات الأخرى, وهذا يتيح تجميع عدد كبير من الذرات المثارة في تلك الحالة محققة توزيعا معكوسا في الإسكان ومناسبا للإصدار المحفز [3-4].

- **المادة الفعالة في الحالة الصلبة:** تتكون من زجاج أو من مادة بلورية مُضيفة والتي تطعم بأيونات مثل: أيونات النوديميوم (Nd) أو الأرييوم (Er) أو الإيترييوم (Yb) أو أيونات أخرى. ومعظم المواد التي يتم تطعيم البلورات بها هي مواد من العناصر الترابية النادرة, فنجد البلورات الصلبة مثل (الياقوت الصناعي وعقيق الألمنيوم) [2-3].
- **المادة الفعالة في الحالة السائلة:** كالأصباغ العضوية التي هي عبارة عن صبغات كيميائية مذابة في الماء ومن أشهر أنواع الصبغات المستخدمة هو الرودمين (Rhodamin) [2].
- **المادة الفعالة في الحالة الغازية:** هي عبارة عن خليط من غاز ثاني أكسيد الكربون, الهيليوم والنتروجين [2-4].
- **المادة الفعالة عبارة عن مواد نصف ناقلة Semiconductors** مثل ارسنيك الجاليوم (Ga-As) [3].

### 2.3.I. المرنان الليزري:

يعتبر المرنان الليزري من المكونات الأساسية لأجهزة الليزر ويتكون من مرآتين متقابلتين , بحيث تكون مستويتان أو مقعرتان وموضوعتان على التوازي, ليزود الليزر بتغذية ضوئية خلفية و يتم وضع المادة الفعالة بين هاتين المرآتين كما يجب التحقق من شرط التوازي بشكل دقيق, لأن أي إخلال في هذا الشرط يقلل من طاقة أشعة الليزر, فيقوم المرنان بعكس الفوتونات المتولدة في الوسط لتنعكس ملايين المرات في الثانية ذهابا و إيابا بين المرآتين, مارة في كل جولة خلال الوسط الفعال لتحفيز أعداد كبيرة من الذرات المثارة لكي تبعث هذه الأخيرة فوتونات جديدة أخرى للحصول على حزمة ليزرية [5], و في العادة يستخدم إما:

• **المرنان الخارجي:** مرآتان متوازيتان في نهاية الأنبوب الحاوي للمادة الفعالة وتكون الانعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس في عملية التضخيم الضوئي كما في الليزر الغازية [2].

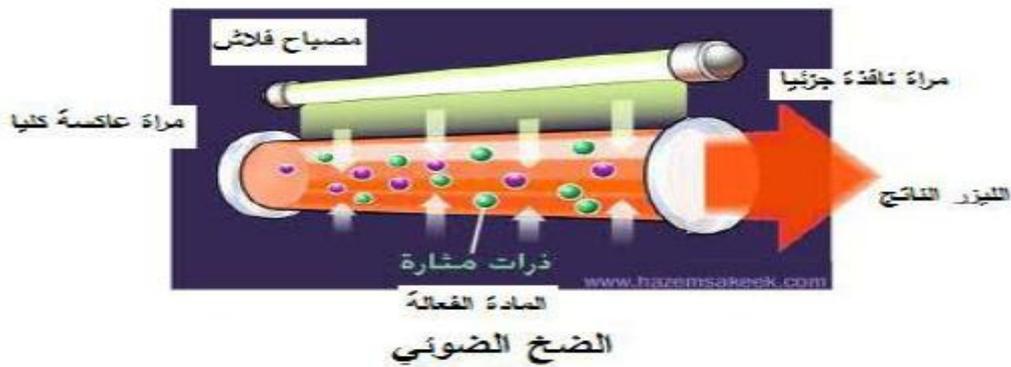
• **المرنان الداخلي:** ويمثل في طلاء نهايات المادة الفعالة لتعمل عمل المرآة، وعادة تكون إحدى النهايات عبارة عن عدسة سطحها الداخلي مطلي بمادة عاكسة جزئياً فتخرج الليزر من خلالها، وفي كلتا الحالتين يجب أن تكون إحدى المرآتين عاكسة كلياً للفوتونات الضوئية بنسبة 100% والأخرى نافذة جزئياً حيث تتراوح نفاذيتها من ( 1% إلى 99%) لكي يتسنى لشعاع الليزر الخروج خارج المرنان [4].



الشكل (1.1) توضع المرآتان (المرنان) [5].

### 3.3.I. مصدر الضوء (تقنيات الضخ)

يتم تحقيق إثارة الذرات المستقرة في الوسط الفعال بتقديم طاقة ضاحقة تنتقل إلى المستويات المثيجة ويتحقق بذلك التوزيع العكسي المناسب الذي يضمن توليد الليزر وهناك ثلاث تقنيات للضخ وهي: تقنيات الضخ الضوئي والضخ الكهربائي والضخ الكيميائي [5].



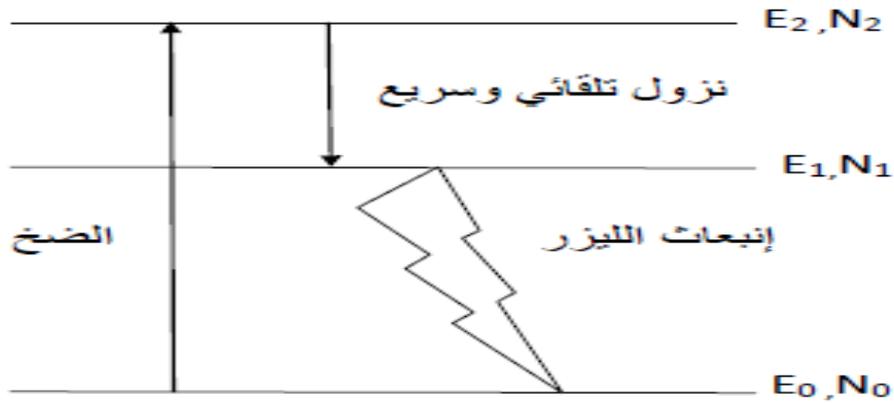
الشكل (2.1) مكونات ليزر الياقوت [2].

## 4.1. المنظومات الليزرية

يمكن تصنيف المنظومات الليزرية نسبة إلى مستويات طاقة الوسط الفعال، إلى منظومتين وهما:

### • منظومة ثلاثية المستوى

يعتمد توليد الليزر في المنظومة الثلاثية المستوى على انتقال ذرات الوسط الفعال بين ثلاثة مستويات للطاقة، المستوى الأرضي الذي يمثل المستوى الليزري السفلي والمستوى المتبجح الذي يمثل المستوى الليزري العلوي والمستوى الشبه مُستقر، فعندما تكون معظم الذرات موجودة في المستوى المستقر  $E_0$ ، يعني ذلك أن الوسط الفعال في حالة الاستقرار، أما عند تهيجه بواسطة إحدى طرق الضخ المناسبة، فإن هذه الذرات تنتقل إلى المستوى المتبجح  $E_2$ ، ولضمان توليد الليزر ينبغي أن تكون طاقة الضخ كافية لتحقيق التوزيع المعكوس، و لكن سرعان ما تنتقل بشكل تلقائي وسريع جدا إلى حالة الاستقرار (المستوى  $E_1$ )، ويتحول فرق الطاقة بين المستوى  $E_1$  و  $E_2$  إلى طاقة حرارية فتبقى فترة زمنية أطول في المستوى  $E_1$  وذلك لطول فترة حياته، ويكون عدد الذرات  $N_1$  في المستوى  $E_1$ ، أكبر من عدد الذرات  $N_2$  في المستوى  $E_2$  بينما إذا كان عدد الذرات في المستوى  $E_1$  أكبر من نصف عدد الذرات الكلي في الوسط الفعال يكون بذلك قد تحقق التوزيع المعكوس وتكون الذرات مهيأة لحدوث الانبعاثات المحرزة وبالتالي تبعث فوتونات ذات تردد وطور واتجاه واحد والتي تمثل شعاع الليزر بين المستويين ( $E_1$  و  $E_0$ ) [4-6].

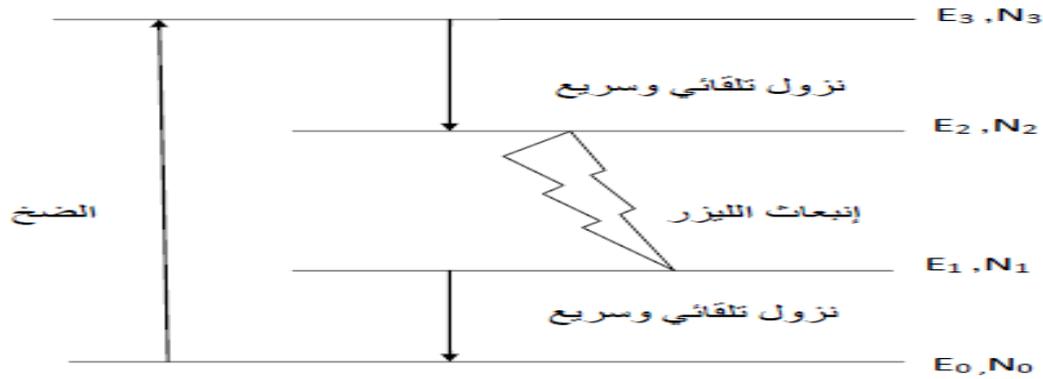


الشكل (3.1) نظام ذو ثلاث مستويات طاقة

### • منظومة رباعية المستوى

تتميز المنظومة رباعية المستوى بسهولة الحصول على التوزيع العكسي باستعمال طاقة ضخ قليلة مقارنة بالمنظومة ثلاثية المستوى، ويعود سبب ذلك إلى وجود مستوى إضافي  $E_1$  في هذه المنظومة ويكون فارغا في أغلب الأحيان، حيث يقع فوق المستوى المستقر  $E_0$  مباشرة. فعند إثارة المادة الفعالة تنتقل الذرات إلى مستوى الطاقة  $E_3$  وسرعان ما تنزل هذه الذرات تلقائيا إلى المستوى  $E_2$  و مقارنة

هذا الأخير مع المستوى  $E_1$  يتحقق التوزيع العكسي, وعند انتقال الذرات الموجودة في المستوى  $E_2$  الى المستوى  $E_1$  تنبعث فوتونات الليزر, لكن سرعان ما تهبط هذه الذرات تلقائيا من المستوى  $E_1$  إلى مستوى الاستقرار  $E_0$  [4-6].



الشكل (4.I) نظام ذو أربع مستويات طاقة

## 5.1. شروط الإنبعاث الليزري

### 1.5.1. الإنبعاث المحفز ( الإصدار المحفز ):

معظم الذرات في الظروف الطبيعية تكون إلكتروناتها في مستوى طاقة منخفض, حيث تكون مستقرة ولكن بعضها يكون في حالة تهييج أي أن إلكتروناتها في مستوى طاقة أعلى, فتقوم هذه الذرات بالتخلص من الطاقة الزائدة لتعود إلكتروناتها إلى المستوى المنخفض وتُرسل الطاقة على شكل فوتونات مبعثرة وغير مترابطة, كما أنها قليلة جدا بسبب قلة عدد الذرات المتهيجة [2-3].



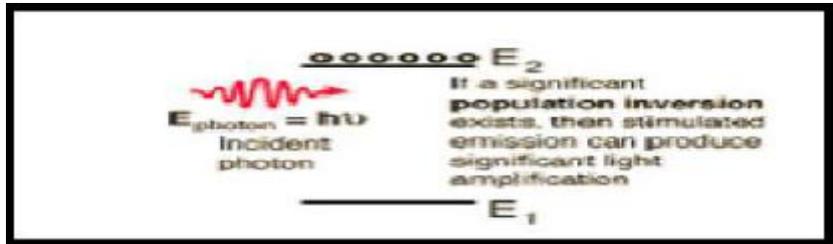
الشكل (5.I) انتقال الإلكترون من  $E_2$  إلى  $E_1$  [2]



الشكل (6.I) انتقال الإلكترون من  $E_2$  إلى  $E_1$  [2]

### 2.5.1. التعداد المعكوس

من أجل انبعاث أشعة الليزر يتطلب عدد كبير من الفوتونات ويتحقق ذلك بزيادة عدد الذرات المثبتة من خلال مصدر طاقة خارجي, حيث يصبح عدد الذرات المثبتة أكبر من عدد الذرات المستقرة فنستطيع القول بأنه حصل انقلاب في التعداد وهو ما يسمى بالتعداد المعكوس [2].



الشكل (7.I): التعداد المعكوس [2]

### 3.5.1. التضخيم الضوئي

عندما تعطي مجموعة من الذرات طاقة لتصبح في وضع التهييج فان انبعاث فوتون من احد هذه الذرات بسبب عودة الكترونات إلى مستوى الطاقة الارضي سيعطي هذا الأخير طاقة للذرات الأخرى فتنقل الكترونات إلى مستوى طاقة أعلى فتصدر بذلك فوتونات أخرى للتخلص من هذه الطاقة فيزيد عدد الفوتونات الناتجة بشكل كبير [2-3].



الشكل (8.I) عملية التضخيم الضوئي

## I-6 علاقات انشتاين الرياضية (الإمتصاص-الانبعاث التلقائي- الإصدار المحفز):

وضع العالم اينشتاين العلاقات الرياضية التي تصف عملية تفاعل الضوء مع الوسط الفعال المتوازن حراريا و يتضمن هذا التفاعل ثلاث ظواهر فيزيائية وهي الامتصاص ، الإصدار التلقائي ، والإصدار المحفز فعندما يكون الوسط الفعال متوازنا حراريا فإن معدل انتقال الذرات من المستوى الأرضي  $E_1$  إلى المستوى المثارة (المتهيج)  $E_2$  يجب أن يكون مساويا لمعدل هبوط الذرات من المستوى  $E_2$  إلى  $E_1$  وإذا كان عدد الذرات لوحدة الحجم في المستوى المثارة (المتهيج) الأول يساوي  $N_1$  فإن معدل انتقال الذرات من هذا المستوى إلى المستوى المتهيج الثاني  $E_2$  يتناسب مع كل من عدد الذرات  $N_1$  و عدد الفوتونات المسلطة على المادة الفعالة و هذا عندما يكون تردد الفوتونات  $U$  [5]:

$$\rho_\nu = N h \nu \quad (1.I)$$

حيث:

$N$  : تعداد الفوتونات

$\rho_\nu$  : كثافة طاقة الفوتونات المسلطة على المنظومة عند التردد  $\nu$

إن معدل انتقال الذرات من المستوى المثارة الأول  $E_1$  إلى المستوى المثارة الثاني  $E_2$  (الامتصاص) يكون كما يلي :

$$\frac{dN_1}{dt} = -B_{12} \rho_\nu N_1 \quad (2.I)$$

حيث :

$B_{12}$ : هو ثابت التناسب و يدعى ثابت اينشتاين للإمتصاص (الرقم 12 يشير إلى حدوث الانتقال من  $E_1$  إلى  $E_2$ )

$B_{12} \rho_\nu$ : احتمال الامتصاص في وحدة الزمن ( $S^{-1}$ ):  $W_{12}$

$$\frac{dN_1}{dt} = -W_{12} N_1 \quad (3.I)$$

$$W_{12} = \sigma_{12} \mathcal{F} \quad (4.I)$$

$$\mathcal{F} = \frac{I_\nu}{h \nu} \quad (5.I)$$

حيث:

$\sigma_{12}$ : المقطع الفعال للامتصاص ( $\text{cm}^2$ )

$I_0$ : شدة الإشعاع الوارد ( $\frac{W}{\text{cm}^2}$ )

$\mathcal{F}$ : يمثل تدفق الفوتونات أو عدد الفوتونات الواردة بوحدة  $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ .

و إذا كان عدد الذرات في المستوى المثار  $E_2$  هو  $N_2$  فإن معدل انتقال الذرات من المستوى  $E_2$  إلى المستوى  $E_1$  الذي يمثل ( الإصدار المحفز ) يكون كما يلي :

$$\frac{dN_2}{dt} = -B_{21} \rho_\nu N_2 \quad (6.I)$$

حيث :

$B_{21}$ : يمثل ثابت أينشتاين للإصدار المحفز ( الرقم 21 يشير إلى حدوث الانتقال من  $E_2$  إلى  $E_1$ ).

احتمال الإصدار المحفز في وحدة الزمن ( $\text{s}^{-1}$ ):  $B_{21} \rho_\nu$

$$W_{21} = \sigma_{21} \mathcal{F} \quad (7.I)$$

حيث :

المقطع الفعال للإصدار المحفز.  $\sigma_{21}$

$\mathcal{F}$ : يمثل تدفق الفوتونات أو عدد الفوتونات الواردة  $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ .

معدل انتقال الذرات من المستوى  $E_2$  إلى المستوى  $E_1$  الذي يمثل (الإنبعاث التلقائي) كما يلي :

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} N_2 \quad (8.I)$$

$A_{21}$ : ثابت أينشتاين للإنبعاث التلقائي .

لقد افترض أينشتاين وجود احتمال لحدوث الانبعاث التلقائي مع الإصدار المحفز كما يلي :

معدل الإنبعاث الكلي = معدل الإصدار المحفز + معدل الإنبعاث التلقائي .

معدل الإنبعاث الكلي  $B_{21} \rho_\nu N_2 = A_{21} N_2$

عندما يكون الوسط الفعال متوازنا حراريا أي أن الطاقة الكلية للوسط الفعال يجب أن تبقى ثابتة ، و إن معدل انتقال الذرات نحو

الأعلى (الإمتصاص ) يجب أن يكون مساويا لمعدل هبوطها إلى الأسفل ( الإصدار المحفز + الإنبعاث التلقائي ) .

$$B_{12} \rho_\nu N_1 = B_{21} \rho_\nu N_2 + A_{21} N_2 \quad (9.I)$$

$$\rho_\nu = \frac{A_{21} N_2}{N_1 B_{12} - N_2 B_{21}} \quad (10.I)$$

بالقسمة على  $N_2$  نحصل على :

$$(11.I)$$

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} B_{12} - B_{21}}$$

إذا كان الوسط الفعال متوازنا حراريا ، يكون التوزيع الذري في مستويات الطاقة خاضعا لتوزيع بولتزمان:  
(12.I)

وبفرض أن مستويات الطاقة كانت غير منحلّة ، نعوض معادلة بولتزمان (12.I) في المعادلة (11.I) نجد :  
(13.I)

$$\rho_\nu = \frac{g_1}{g_2} \left[ \exp \left( \frac{h\nu}{k_B T} \right) - 1 \right]^{-1}$$

ويمكن اعتبار أية منظومة ذرية متوازنة حراريا جسما أسودا مشعا خاضعا لعبارة الكثافة الطيفية لإشعاع الجسم الأسود التي وجدها بلانك (1900) وهي كالتالي [5] :  
(14.I)

$$\rho_\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \left[ \frac{1}{\left[ \exp \left( \frac{h\nu}{k_B T} \right) \right] - 1} \right]$$

ومقارنة المعادلتين (13.I) و (14.I) نحصل على :

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \quad (15.I)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{C^3} \quad (16.I)$$

تدعى هاتين المعادلتين بمعادلتين أينشتاين اللتان قادتاها إلى فكرة الإصدار المحفز.

النسبة بين معدل الإنبعاث التلقائي و الإصدار المحفز تحت شرط التوازن الحراري R تمثل بالمعادلة التالية :

$$R = \frac{A_{21}}{\rho_\nu B} \quad (17.I)$$

وبتعويض المعادلة (13.I) في المعادلة (17.I) نجد :

$$R = \left[ \exp\left(\frac{h\nu}{K_B T}\right) \right] - 1 \quad (18.I)$$

ولأجل الحصول على تضخيم الضوء ، يجب زيادة الإصدار المحفز إلى الإنبعاث التلقائي أي تقليل R ويتم ذلك بزيادة

الإصدار المحفز أي زيادة عدد الفوتونات الساقطة على المادة الفعالة ، و زيادة عدد الذرات  $N_2$  في المستوى  $E_2$  وذلك

بتحقيق الانعكاس السكاني ، الذي يعتبر شرطاً أساسياً من شروط توليد الليزر [5] .

## (المضخمات الضوئية) 7-I مضخمات الألياف البصرية

لنقل الإشارة طويلاً المدى (أكبر من 100km) يتطلب تعويض التوهين الذي يطرأ على الليف .

في الماضي كانت هاته العملية تتم من خلال محول بصري الكتروني الذي يتكون من : ناقل بصري (ليزر) ، نظام مقوي ، نظام معدل ، ومستقبل بصري ولتجنب التحول من الكتروني إلى بصري أو من بصري إلى الكتروني ولمنع الضياع (جعل الإشارة أضعف) ومنع آثار تشتيت الضوء ، صممت مضخمات الألياف البصرية (AFO) Optical fiber Amplifiers

استعمال مضخمات الألياف البصرية واجهته أيضاً مجموعة من المشاكل من بينها : التضخم المفاجئ أو العفوي للضوء ، وتزداد هاته الضوضاء كلما زاد عدد مضخمات الألياف البصرية على طول الإشارة . عدد الألياف البصرية ضخمة جداً إذا ما تم استخدام الأمواج التالية بطريقة صحيحة

(trohs 1460-1530nm)

C-dnab (lartneC 1530-1565nm)

L-dnab (gnol 1565-1625nm) و

لذلك فإن مضخمات الألياف البصرية تستعمل لتضخيم الإشارة على طول الليف وهاته المضخمات تتطلب أولاً قدرة على زيادة قوة الإشارة ، وثانياً يجب أن يكون لديها قوة بصرية عالية لضمان نقل الإشارة لمسافة طويلة دون تشويهها أو تخریبها .

تم إضافة بعض العناصر التي تختلف من روابط جد طويلة تقع تحت البحار إلى روابط قصيرة على مستوى الشبكات ، وهاته العناصر تتضمن :

- عنصر ما قبل المضخم (amplifier-Pre)

وهذا العنصر يستعمل قبل كاشف الصور على نهاية المستقبل . amplifier-Pre لديه قوة 30dB ولديه NF ضعيفة تتراوح ما بين 4.5 إلى 5 ديسيبل (dB) من اجل ضمان عدم وجود أخطاء بسبب الضوضاء على قنوات الإشارة .

- عنصر ما بعد التضخيم (amplifier-Post)

يستعمل هذا العنصر بعد المصدر في نهاية النقل لزيادة القوة . amplifier-Post يجب ان تكون قدرته على زيادة قوة الإشارة منخفضة ما بين 5dB إلى 15dB وقوة تقارب 20mdB.

- مضخم داخل الخط (amplifier line -nI)

وهو يعمل ككمرر لمنع التكبير البصري ، يوضع تقريبا كل 70km على فترات منتظمة . المضخم داخل الخط لديه قدرة متوسطة على زيادة قوة الإشارة ما بين 15dB إلى 25dB وNF ما بين 5dB إلى 7dB وقوة (~20dBm)

## 1-7-1 أنواع مضخمات الألياف البصرية :

المضخمات الضوئية التي لاقت رواجاً في مجال الألياف البصرية تنقسم الى ست مجموعات أساسية

(1) مضخم الليف البصري المطعم بمادة الاربيوم

Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

(2) مضخم رامان

Raman Amplifier (RA)

(3) مضخم الليف البصري الشبه (النصف) ناقل

Semiconductor Optical Amplifier (SOA)

(4) مضخم الليف البصري المطعم بمادة الايتريوم

Ytterbium Doped Fiber Amplifier(YDFA)

(5) مضخم الليف البصري المطعم بمادتي الايريوم و الايتريوم

Erbium Ytterbium Doped Fiber Amplifier (EYDFA)

(6) مضخم الليف البصري المطعم بمادة الثوليوم

Thulium Doped Fiber Amplifier (TDFA)

والجدول الموالي يوضح خصائص كل المضخمات البصرية :

Amplifiers	Advantages	Disadvantages
EDFA	High power efficiency (> 50%)	less Wavelength Range(1500-1600nm)
RAMAN	Gain BW is Pump dependent	Low Gain (~20-25 dB)
SOA	Compact, Output saturation power 5-10 dBm	High NF(~8dB), High Coupling losses
YDFA	High Output Power	Not compatible with others due to high Power
EYCDFA	High and Flat Gain (30-34 dB)	High NF(~10 dB)
TDFA	Low Fiber Loss, Low Noise	ASE - amplified spontaneous emission

الجدول (1.1):خصائص كل المضخمات البصرية [7].

## 2-7-1 مضخم الليف البصري المطعم بمادة الايترييوم (YDFA):

في سنة 1985 ، تم اختراع مضخم الليف البصري المطعم بالإيترييوم الذي لاقى رواجاً في مجال الاتصالات لكن تطبيقاته لم تكن ملائمة للاتصالات اللاسلكية مثل تضخيم الأمواج من أجل توفير قوة عالية الذروة ، فلم تعد الموجات الطويلة التي يوفرها هذا الاختراع هامة.

لهذا تم اختراع ألياف الليزر المطعمه بالإيترييوم . فهي توفر موجات واسعة المدى تتراوح ما بين 975nm إلى 1200nm ، و من المتوقع أن تأخذ حيزاً كبيراً من الاهتمام في المستقبل.

مضخم الليف البصري المطعم بالإيترييوم أقوى من مضخم الليف المطعم بالإيترييوم ، حيث عالج عدة مشاكل كانت ناجمة عن هذا الأخير .

- الموجة الواسعة المدى تمنح تضخيماً أفضل للنبضات القصيرة
  - استعمال YDFA يدخل عدة مجالات :
  - تضخيم القوة في موجات محددة مثل 1083nm
  - الإتصال اللاسلكي عبر بث الضوء في الهواء .
- Free space laser communication

[7]

## 8. I خلاصة :

حاولنا الإشارة في هذا الفصل إلى مفاهيم أساسية حول الليزر، الذي يعتمد على ظاهرة الإصدار المحفز وذلك بتحقيق الإنعكاس السكاني للذرات عن طريق طاقة خارجية تؤثر بها على المادة الفعالة تسمى الضخ " ، كما أشرنا إلى تعدد أنواع الليزر ، وقد تم اختيار ليزر الإيتريوم ك موضوع للدراسة والذي يعتبر من ليزرات الحالة الصلبة ، وبما أن الإيتريوم هو عنصر من العناصر الترابية النادرة ، لذا سندرس في الفصل الموالي مطابقة أيونات العناصر الترابية النادرة.

"مصدر

## مراجع الفصل الأول :

- [1] د. محمد كوسا ، "فيزياء الليزر وتطبيقاته" ، كلية العلوم ، منشورات جامعة دمشق، 2005-2006.
- [2] د. سعود بن حميد اللحياي، "الليزر وتطبيقاته" ، كلية العلوم ، جامعة أم القرى.
- [3] H. haken, "Laser light dynamics", Sadha, volume 2, Institute For Theories Physical, North Holland 1985.
- [4] صالح مصطفى الأتروشي ورياض وديع يوسف، "الليزر أسس واستخدامات" ، كلية الهندسة ، جامعة دهوك ، دار دجلة ، الطبعة الأولى 1426 هـ - 2008 م .
- [5] د. يوسف مولود حسن و د. صالح مصطفى الأتروشي، "تقنيات الليزر وإستخدامه" ، كلية الهندسة ، جامعة دهوك ، دار دجلة، الطبعة الأولى 2008م.
- [6] بيلا آ. لينكيل ، "الليزرات" ، جامعة سان فرناندو ، جامعة كاليفورنيا ، ترجمة فاروق عبودي قيصر ، كلية العلوم ، دار الكتب ، للطباعة والنشر ، جامعة الموصل 1403 هـ - 1984 م.
- [7] International Journal of Scientific and Engineering Reserch, Volume 5, Issue 11, November 2014. ISSN 2229-5518 (Comparative study of all Optical Amplifiers, (Prince Jain, Neena Gupta)).

## الفصل الثاني

مطيافية العناصر الترابية النادرة

## 1.1. مقدمة

تعتبر العناصر الترابية النادرة من الفلزات الانتقالية الداخلية التي تقع أسفل الجدول الدوري. هذه العناصر لم تكن تستدعي اهتمام العلماء، إلا قلة منهم، ثم تضافت الجهود تدريجياً، وازداد توجه الأنظار إلى هذه الأتربة لسبر أغوار عناصرها على الصعيد التجريبي بغية فصل بعضها عن بعض من جهة، وتبين خواصها الفيزيائية والكيميائية من جهة أخرى [1].

تميز هذه العناصر بخصائص مهمة، وتستخدم أيوناتها كوسيلة نشطة ووسط فعال في العديد من المواد المضيفة الصلبة نظراً لانتقالاتها الضوئية العديدة ضمن المجال المرئي وتحت الأحمر، كما أنها تمتلك مستويات طاقة غير مستقرة والتي تسهل انعكاس السكان [2].

وفي هذا الفصل، سنقوم بالتطرق إلى بعض الخصائص الطيفية التي تتميز بها العناصر الترابية النادرة، وسنسلط الضوء على احد العناصر المهمة وهو عنصر الايتريوم وسنقدم بعض خصائصه الفيزيائية والكيميائية ونقوم بتحديد رموزه الطيفية ومستويات طاقته.

## 2.1. العناصر الترابية النادرة

العناصر الترابية النادرة أو الفلزات الأرضية النادرة هي عبارة عن أكاسيد متشابهة جداً لسلسلة من العناصر المعدنية تضم سبعة عشر عنصراً كيميائياً في أسفل الجدول الدوري حسب تعريف الاتحاد الدولي للكيمياء البحثية والتطبيقية IUPAC وهي 15 عنصر بعد أن تمت إضافة عنصر (اللانثانوم)  $Z = 57$  إلى  $Z = 71$  (اللوتيتيوم) في مجموع اللانثانيدات، بالإضافة إلى العنصرين سكانديوم (Scandium) و الايتريوم (Yttrium)، كما اعتبر هذين الأخيرين من العناصر الترابية النادرة وذلك بعد اكتشاف تكوينها الذي له نفس تكوين اللانثانيدات ولها خصائص كيميائية متشابهة، وذلك يرجع لوجود الطبقة  $4f$  بمدارتها الفرعية السبعة التي تتسع إلى 14 إلكترون، وإمكانية انتقال الإلكترونات فيها، وهذه الطبقة مسؤولة عن الخصائص البصرية لأيونات العناصر الترابية النادرة، حيث أن الإنتقالات بين مستويات الطاقة التي لديها التشكيل  $4f$  غير المكتمل يولد أطوالاً موجية انطلاقاً من الأشعة فوق البنفسجية إلى غاية الأشعة تحت الحمراء [3-4].

سميت العناصر الترابية النادرة بهذا الاسم لندرة وجودها وبسبب قلة الأماكن التي كانت تستخرج منها سابقاً، حيث يصعب فصلها بسبب تقارب حجمها الذري، كما تعرف أيضاً بسلسلة اللانثانيدات نسبة إلى أول عنصر في السلسلة وهو عنصر اللانثانوم (La) تتكون هذه السلسلة من عناصر متتالية يكون فيها المدار  $f$  ممتلئاً جزئياً أو كلياً بالالكترونات (غير مشبع) بالإضافة إلى المدار  $d$  أيضاً والذي يكون هو الآخر غير مشبع. هذه العناصر موجودة أكثر على شكل أيونات ثلاثية التكافؤ  $RT^{3+}$ ، حيث أن المدار  $f$  ليس نشطاً كيميائياً مقارنة بالمدارات  $S$  و  $P$  و  $d$  [5].



**3.ii. الايتربيوم (YTTERBIUM)****3.ii. 1. تاريخ الايتربيوم:**

اكتشف الايتربيوم بواسطة عالم الكيمياء السويسري جان تشارلز جليساد ذي مار يجنك وذلك في عام 1848. وقد وجد مار يجنك مكون جديد في مجموعة الأثرية النادرة سمي بعد ذلك باسم اتريبيا، وذلك على اسم المدينة السويدية التي اكتشف المعدن فيها.

يوجد الايتربيوم مع عناصر أخرى من مجموعة الأثرية النادرة وغالبا ما يستخلص تجاريا من تراب المونازيت والذي يتواجد فيه بنسبة % 0.03 .

ويوجد هذا العنصر أيضا في الايوكسنت و الاكسهيوتيم . عادة ما يصعب عزل الايتربيوم من عناصر الأثرية النادرة الأخرى لكن يمكن ذلك عن طريق عملية التبادل الأيوني التي تطورت كثيراً في القرن العشرين مما سهل عملية العزل. عادة ما يستخدم جزء صغير من الايتربيوم، وكذلك عينة صغيرة من النظائر المشعة كعينة صغيرة لأشعة أكس [7].

**3.ii. 2. تعريف عنصر الايتربيوم (yb)**

هو عنصر كيميائي فلزي ذو لون ابيض فضي لامع ، رمزه yb وعدده الذري 70 ، وهو كعنصر من الأثرية النادرة (يقع ضمن

سلسلة اللانثانيدات من الجدول الدوري ، ترتيبه 14 من هذه السلسلة وله 7 نظائر مستقرة و 5 مشعة) نوردتها كمايلي [ 7 ] :

❖ النظائر المستقرة لعنصر yb

النظير	الوفرة الطبيعية (%)	السبين النووي
by (168)	0.13	0
by (170)	3.05	0
by (171)	14.30	-1/2
by (172)	21.90	0
by (173)	16.20	-5/2
by (174)	31.80	0
by (176)	12.70	0

الجدول (1.II) : النظائر المستقرة لعنصر الايتربيوم

◆ النظائر المشعة المصنعة لعنصر yb

النظير	الكثافة	عمر النصف	نقط الاضمحلال	السبين النووي
by (166)	165.933875	2.363d	Ec to 166Tm	0
by (167)	166.934947	17.5m	Ec to 167 Tm	5/2
by (169)	168.935187	32.03d	Ec to 169 Tm	7/2
by (175)	174.941273	4.19d	b- to 175 Lu	7/2
by (177)	176.945257	1.9h	b-to 177 Lu	9/2

الجدول (2.II): النظائر المشعة لعنصر الايتريوم

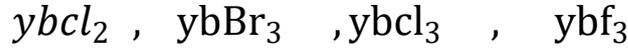
### 1.2.3.II الخصائص الفيزيائية والكيميائية لعنصر الايتريوم yb

لعنصر الايتريوم خصائص فيزيائية وكيميائية تميزه عن بقية العناصر الترابية الأخرى أهمها [7]:

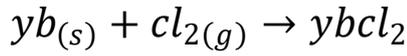
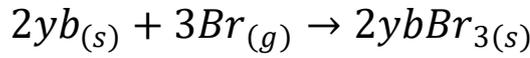
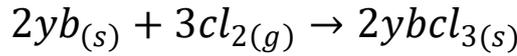
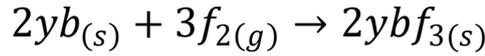
- الرمز الذري yb
- العدد الذري 70
- الوزن الذري 173.054mol/g
- التوزيع الالكتروني  $[eX]= 4f^{14} 6S^2$
- الكثافة  $6.965 \text{ g/cm}^3$  (عند درجة حرارة الغرفة).
- درجة حرارة الانصهار 819 C
- درجة حرارة الغليان 1194 C
- النقاية الحرارية  $38.5 \text{ k.m/w}$  (300k)
- حرارة التبخر  $159 \text{ mol}\backslash\text{kJ}$
- الكهروسلبية 1.1 (مقياس بولنغ)
- من خواص هذا المعدن انه طري ، طيع (قابل للصرف)، لدن وهو ذو بريق فضي لماع يستخدم في خلائط (Stainless Steel) لتحسين متانتها و خواصها الميكانيكية. رغم أن هذه المعادن مستقرة إلا انه يفضل حفظها في حاويات مغلقة وذلك لحمايتها من الهواء والرطوبة ، يتفاعل هذا المعدن بشكل بطيء مع الماء فيما ينحل بسرعة في أحماض المعادن. تتميز كل مركبات الايتريوم بالسمية العالية وذلك بالرغم من أن الدراسات العلمية قد أثبتت أن نسبة الخطورة من تلك السموم هي نسبة محدودة تسبب تلك المركبات تهيج في العين والبشرة. و أتربة الايتريوم قابلة للاحتراق والانفجار .

من بين تلك المركبات :

• هاليدات :

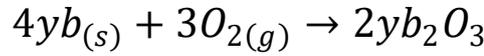


يتفاعل الايتريوم مع كل الهالوجينات وهذا التفاعل يكون قوي في درجة حرارة  $200^{\circ}C$  فما فوق للتفاعلات التالية:



• أكاسيد:  $yb_2O_3$

يتم حرق الايتريوم في درجة حرارة تقدر ب  $150^{\circ}C$  لتشكيل أكسيد الايتريوم وفق للمعادلة التالية:



## 4.11. مطيافية ايونات العناصر الترابية النادرة

### 4.1.1. التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية النادرة TR ولايوناتها $RT^{+3}$

يكون التوزيع الالكتروني للعناصر الترابية النادرة ضمن الطبقة 4f، لأن هذه الأخيرة هي المسؤولة على تشابه الصفات الكيميائية لهذه

العناصر ، ونلاحظ أن الالكترونات لا تتجه للملئ المدار 5d بل تتجه للملئ المدار 4f تدريجياً [8].

في المواد الصلبة ، تأخذ العناصر الترابية النادرة الشكل الأيوني  $TR^{+2}$  ثنائي التكافؤ أي أن الذرة تفقد إلكتروناتها في الطبقة 6s، و

تأخذ أيضاً الشكل الأيوني  $TR^{3+}$  ثلاثي التكافؤ ، عند فقدانها للإلكترونين السابقين وإلكترون آخر من الطبقة 5d فيتوجب عليه

الفقدان من الطبقة 4f، حيث تعتبر الحالة ثلاثية التكافؤ لهذه الأيونات هي الأكثر استقراراً [6-9].

## II.2.4. الأعداد الكمية

لتحديد طاقة الإلكترون في الذرة يجب معرفة قيم الأعداد الكمية الأربعة التي تصفه و هي مجدولة كالتالي [ 10 ]

الرمز	الاسم	القيمة	المعنى الفيزيائي
n	العدد الكمي الرئيسي	3,2,1,....	يحدد المدار الرئيسي للإلكترونات وبالتالي طاقته ، فهو عبارة عن عدد صحيح يتخذ أي قيمة صحيحة أكبر من الصفر
L	عدد الكم المداري	1,2,3,...n-1	يحدد شكل المدار
S	عدد الكم المغزلي	$\frac{1}{2}$ و له اتجاهان $\left(+\frac{1}{2}\right)$ أو $\left(-\frac{1}{2}\right)$	يحدد الحركة المغزلية للإلكترون و اتجاهه (دوران الإلكترون حول نفسه )
M	العدد الكمي المغناطيسي	$0, \pm 1, \pm 2, \dots \dots \pm l$	يحدد تصرف المستويات الطاقية في وجود حقل مغناطيسي (عدد المدارات التي يتكون منها المستوى الفرعي)

الجدول (3.II) : الأعداد الكمية للإلكترون .

### 3. الرموز الطيفية .II.4.

الذرات المعقدة التي تحتوي على أكثر من إلكترون لها عدة مصادر للعزم الزاوي وتمثل ب J S L ، و تستخدم الرموز الطيفية لتمييز مستويات الطاقة في الحالات الذرية ، إذ يعطى الرمز الطيفي من الشكل  $L_r^{2S+1}$  وذلك بتحديد  $2S+1$  ، والعزم الحركي المداري الكلي L ، بالإضافة الى العزم الحركي السبيني الكلي للإلكترون S ، والعزم الحركي الكلي للإلكترون [J 3-4] ، كما يعرف الأزواج S-L ، بازواج راسيل - ساندر ( S anders-Russell ) ففي هذا الأزواج يتم جمع العزم الزاوي المداري و العزم اللفي للإلكترون بشكل منفصل لتشكيل العزم الزاوي الكلي [11] .

• العزم الزاوي المداري الكلي L :

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

• العزم الزاوي اللفي ( المغزلي ) الكلي S :

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

العدد الكمي المداري  $L = 0, 1, 2, 3 \dots n-1$  يمثل مستويات الطاقة الفرعية والمتفرعة عن المستويات الأساسية وتصبح مستويات الطاقة الأساسية هنا منشطرة ، وتوصف المستويات في هذه الحالة بأنها لا منطبقة و في الذرية و الأطياف توصف الأرقام الكمية السابقة كما هو الحال بالنسبة للدوال التي تصف إلكترونات واحداً [12].

يتم تحديد قيم  $L$  بالحروف بدلا من استخدام الأعداد كالتالي :

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

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

• العزم الحركي  $J$  :

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

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

$$j_1 = l_1 + s_1 \quad \text{و} \quad j_2 = l_2 + s_2 \quad \text{حيث :} \quad J = j_1 + j_2 \quad \text{الازدواج } j - j \text{ يعطي}$$

### ❖ قواعد هوند ( rules Hund ) :

تعطى قواعد هوند كيفية توزيع الإلكترونات التي تنتمي إلى نفس الطبقة الإلكترونية داخل كل محط ذري بحيث يكون المستوى يتميز بـ [11]:

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

### ❖ مبدأ الإستهبعاد لباولي (Pauli):

ينص باولي على أنه لا يمكن لإلكترونين أو أكثر في نفس الذرة أن يأخذوا نفس الحالة الكمومية ، أي نفس الأعداد الكمية الأربعة والتي هي  $(s, m, l, n)$  ، بينما يمكن أن يشتركا في رقم واحد أو اثنين أو ثلاثة فقط [8].

#### 4.4.ii. الرموز الطيفية لأيونات العناصر الترابية النادرة

نأخذ كمثال عنصر الايتريوم فمن أجل أيون الايتريوم يكون:  $by^{+3}$

التوزيع الإلكتروني للعنصر:  $[eX] 4f^{14} 6s^2$

التوزيع الإلكتروني للأيون:  $[eX] 4f^{13}$

انطلاقاً من قواعد هوند نجد أن الرمز الطيفي للمستوى الأساسي لأيون الايتريوم هو  $2F_{7/2}$ .

يوضح الجدول التالي الرموز الطيفية للمستوى الأساسي لأيونات العناصر الترابية النادرة [8].

العنصر	الرمز الطيفي للمستوى الأساسي
La	$^1S_0$
Ce	$^1F_{5/2}$
Pr	$^3H_4$
Nd	$^4F_{9/4}$
Pm	$^5I_4$
Sm	$^6H_{5/2}$
Eu	$^7F_0$
Gd	$^8S_{7/2}$
Tb	$^7F_6$
Dy	$^1H_{15/2}$
Ho	$^5I_8$
Er	$^4I_{15/2}$
Tm	$^3H_6$
Yb	$^2F_{7/2}$
Lu	$^1S_0$

الجدول (4.II) : الرمز الطيفي للمستوى الأساسي للعناصر الترابية النادرة .

#### 5.4.II : مستويات الطاقة للعناصر الترابية النادرة [3- 8]

كل أيون من العناصر الترابية النادرة له شكل من الطاقة يتميز به ، و من أجل تحديد وضع مستويات الطاقة له من الضروري

حل معادلة شرودينغر :

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = H\Psi$$

$$E\Psi = H\Psi$$

حيث :

$H$ : هاملتون التفاعل .

$\Psi$ : دالة الموجة المرتبطة بالذرة .

$E$ : طاقة المستوى من اجل أيون حر موجود مع  $N$  إلكترون ونواة شحنتها  $(Ze)$  ، ويفرض كئلتها لا نهائية نستطيع كتابة الهاملتون للأيون الحر  $H_0$  على الشكل التالي :

$$H_0 = H_{conf} + H_{el} + H_{so}$$

$H_{fno}$ : هاملتون التشكيل حسب تقرب " الحقل المركزي " ويمثل مجموع الطاقة الحركية الممكنة للالكترونات حول النواة كما يسمح لنا بالحصول على وضع طاقة التشكيلات الالكترونية:

$$H_{conf} = \sum_{i=1}^N \left( -\frac{h^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{ze^2}{r_i} \right)$$

$H_{le}$ : يمثل تفاعل كولوم بين الالكترونات في الطبقة (تتافر الالكترونات في ما بينها) ، هذا التفاعل يرفع التطابق في المستويات الالكترونية للطبقة 4f من خلال الرموز الطيفية  $L_r^{2S+1}$  وهي تعتمد على المسافة بين الالكترونات  $i$  و  $j$ :

$$H_{el} = e^2 \sum_{i>1}^N \frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|}$$

$H_{so}$ : يمثل التفاعل بين اللف الذاتي و العزم الزاوي المداري لكل الكترون (تفاعل سين-مدار) ، فيعطى رفع التطابق للمستويات الثانوية من خلال الرمز الطيفي  $L_r^{2S+1}$  ويحدد

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

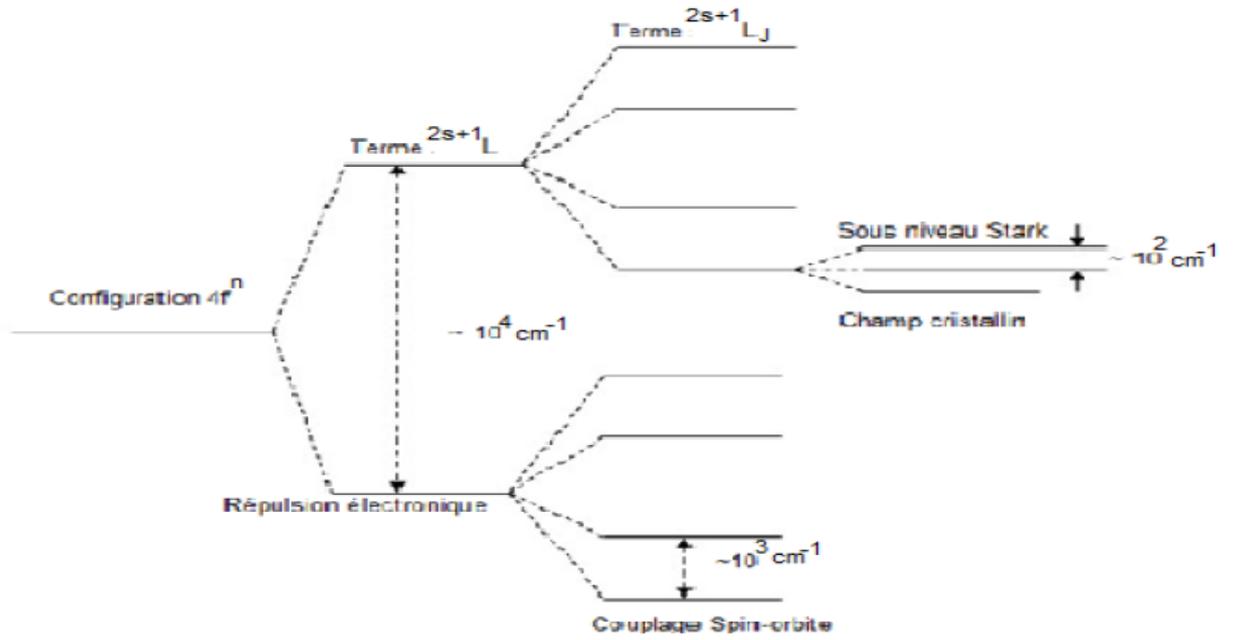
وتعطى :

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

حيث :

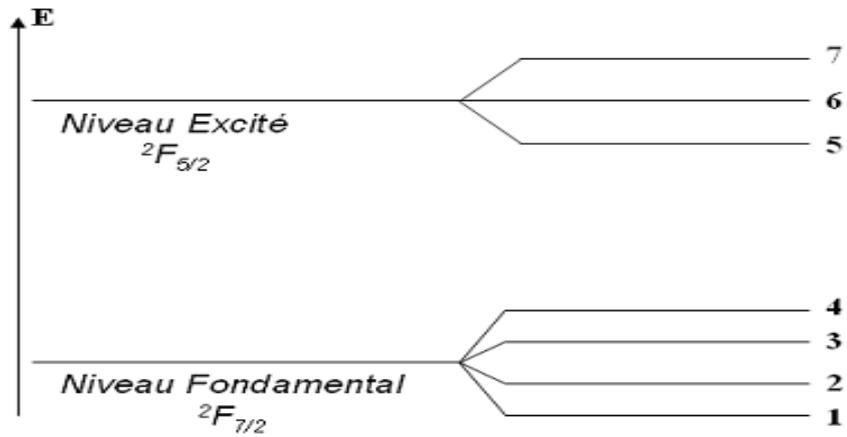
$\lambda_i$ : معادلة الازدواج سين - مدار .

يتم ادخال  $H_{os}$  و  $H_{le}$  في نظرية الاضطراب ، ويطبق ذلك في حالة العناصر الترابية النادرة .



الشكل  
II )  
2. تحلي

ل مستويات الطاقة تحت تأثير التفاعلات المختلفة [ 6 ].



الشكل (3.II): مخطط مستويات الطاقة للأيون الترابي النادر  $by^{+3}$

## 5.11. تفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة مع الضوء 5.11.1. قواعد الانتقاء

إن تفاعل أيونات العناصر الترابية النادرة في المادة المضيفة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي ينتج عنه إنتقال الإلكترونات بين مستويات الطاقة وفقاً لقواعد الانتقاء وهي :

$$\Delta n = n_2 - n_1 \text{ كيفي}$$

$$\Delta l = l_2 - l_1 = 0, \pm 1$$

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

تفاعل الكترولونات عناصر الترابية النادرة مع الحقل البلوري يؤدي إلى نوعين من الإنتقالات [5]

- **انتقالات ثنائي القطب الكهربائي :** الانتقالات المسموح بها تكون أكثر شدة فلهذوث انتقال من مستوي إلى

مستوي وجب توفر قواعد تعرف باسم قواعد لابورت (Régles de Laporte)

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

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

- **انتقالات ثنائي القطب المغناطيسي :** وهي أقل شدة بكثير من كثافة الانتقال لثنائي القطب الكهربائي فهي انتقالات

مسموحة بين المستويات التي من نفس التكافؤ ، بشرط تحقق القواعد التالية :

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

ففي المادة الزجاجية يمكننا ان نلاحظ جميع الانتقالات .

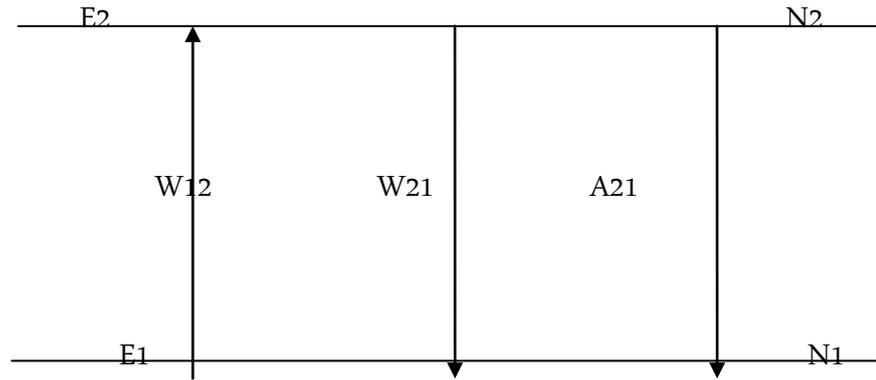
## 5.11.2. الانتقالات الالكترونية

اثناء الانتشار في المواد ، تتفاعل عناصر الايونات الترابية النادرة مع الاشعاع الوارد (الاشعاع الكهرومغناطيسي ) حيث يؤدي هذا التفاعل إلى الانتقال الأيون بين مستويات الطاقة المختلفة ، ويصنف هذا الانتقال إلى صنفين: إنتقالات إشعاعية، إنتقالات غير

إشعاعية [ 5 ].

## II.5.2.1. الإنتقالات الإشعاعية (الآليات الإشعاعية)

عند تسليط شعاع كهرومغناطيسي على أيونات العناصر الترابية النادرة فإنها تقوم بامتصاصه ويؤدي ذلك إلى انتقالها إلى مستويات طاقة أعلى ، فالأيونات التي في مستوى الإثارة تقوم بالتخلص من الطاقة الزائدة بعودتها إلى مستوى الاستقرار ، وتصدر هذه الطاقة على شكل فوتونات ، كل هذه الظواهر لديها الخصائص المشتركة امتصاص أو إصدار فوتون . لذا تعرف باسم الآليات الإشعاعية [3-5].

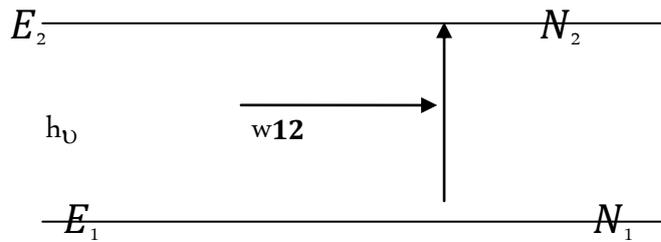


الشكل (II. 4) : الآليات الرئيسية للتفاعل إشعاع - مادة.

### • الإمتصاص

الإمتصاص هو الآلية التي يمر بها الإلكترون من المستوى  $E_1$  إلى المستوى  $E_2$  وذلك بعد اكتسابه لطاقة كهرومغناطيسية ، فبعد امتصاص فوتونات الإشعاع المسلط على الكتلونات ذرات العناصر الترابية النادرة، تعمل طاقة الإشعاع على رفع هذه الإلكترونات من مدارات منخفضة إلى مدارات عالية الطاقة ، وتصبح الإلكترونات في حالة إثارة ، ولا يتم امتصاص الفوتونات من قبل المادة إلا إذا كانت طاقتها أكبر من الفرق الطاقي بين مدارات الإلكترونات لذرات تلك المادة [3-8-13].

$$\Delta E = h\nu = E_2 - E_1$$



الشكل (II. 5) : ظاهرة الامتصاص.

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

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

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

وفي نفس الوقت فإن عدد ذرات المستوى الأساسي  $N_1(t)$  يتناقص بالمقدار :

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = -$$

حيث :

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

$B_{12}$ : معامل انشتاين ووحدته  $(m^3 \cdot s^{-2} \cdot J^{-1})$ .

$\rho(\nu)$ : كثافة الطاقة في وحدة المساحة لشعاع وارد و وحدتها  $(J \cdot s \cdot m^{-3})$ .

### • الانبعاث التلقائي

إلكترونات ذرات العناصر الترابية المثارة (الغير مستقرة) تعود الى مدارات منخفضة الطاقة ( الحالة الأساسية ) ، وذلك بانتقالها من المستوي  $E_2$  إلى المستوي  $E_1$  بصورة تلقائية ، أي دون تأثيرات خارجية ، فتتحرر الطاقة بشكل إشعاع فتوني غير مترابط وبطريقة عشوائية ، لذلك فإن هذا الإشعاع يحتوي على عدد كبير جدا من الترددات . تسمى فترة الحياة الإشعاعية التي تبقى فيها الأيونات في المستوى المثار بمتوسط العمر  $T$  لحالة الإثارة ( وحدته الثانية s)، وهو يعرف بالعلاقة التالية [3-13]:

$$T_{rad} = \frac{1}{\sum_i A_{mj}}$$

$$T_{rad} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i$$

حيث :

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

كما يتم تعريف التفاعل بالنسبة للإنتقال من  $m$  إلى  $j$  بالعلاقة .

$$\beta = \frac{A_{mj}}{\sum_{mj} A_{mj}} - A_{mj} \tau_{rad}$$

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

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

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

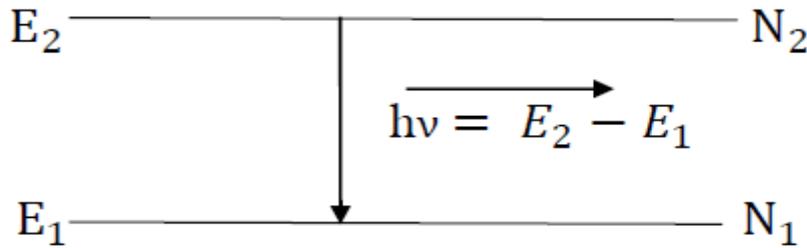
$$\frac{dN_1(t)}{dt} = A_{21} N_2$$

حيث :

$A_{21}$ : احتمالية الانبعاث التلقائي لوحدة الزمن ، ويعرف بمعامل انشطارين فيعطى بـ  $(S^{-1})$

وفي حالة نظام مكون من مستويين يتم التعبير عن مدة الحياة الاشعاعية بـ:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{A_{21}}$$



الشكل (6.II) ظاهرة الانبعاث التلقائي .

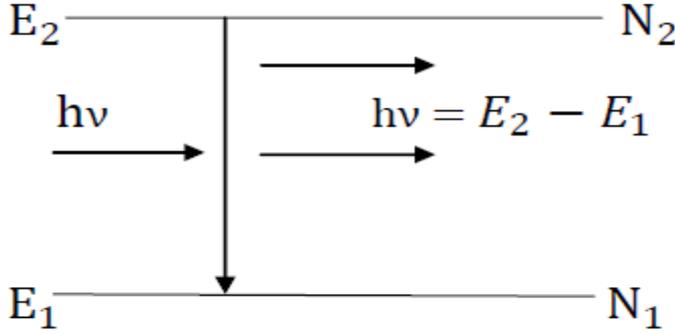
### ● الانبعاث المحفز

تقوم الكثرونات ذرات العناصر الترابية النادرة المثارة بإشعاع موجات كهرومغناطيسية ، نتيجة نزول الالكترونات من مدارات عالية الطاقة إلى مدارات منخفضة الطاقة ، ولكن ليس بطريقة تلقائية وعشوائية كما في الانبعاث التلقائي بل نتيجة لحثها إشعاع له تردد محدد

$$E\Delta = E_2 - E_1 = h\nu$$

ويملك طاقة مساوية إلى فرق الطاقة بين المستويين

فالإشعاع المحفز الصادر عن المادة المثارة يسمى إشعاعاً مترابطاً ، وذلك لأن الموجات الكهرومغناطيسية الناتجة عن نزول الإلكترونات لها تردد وطور يساويان تماماً تردد طور الأمواج التي قامت بتحفيز الإلكترونات على الإشعاع ، وهذه العملية تمثل الأساس الفيزيائي لعمل الليزر [13].



الشكل (7.11): ظاهرة الانبعاث المحفز .

خلال المدة الزمنية \$dt\$ عدد الذرات في المستوي المثار \$N\_2(t)\$ يتغير بالكمية .

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = -W_{21}N_2(t) = -B_{21}p(v)N_2(t)$$

ومن أجل نظام ذو مستويين ، وبافتراض الإشعاعات هي فقط التي تساهم في (الإمتصاص ، الإنبعاث التلقائي ، الإنبعاث المحفز ) يمكن كتابة :

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

عند الاتزان يكون  $\frac{dN_i}{dt} = 0$  نجد :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{W_{12}}{(W_{21} + A_{21})} = \frac{g_2}{g_1} \exp\left(-\frac{h\nu}{K_B T}\right)$$

## II. 2.2.5. الآليات غير الإشعاعية

طاقة الإنتقالات الالكترونية بين الحالة المثارة والحالة الأساسية أعلى بكثير من طاقة الفونونات ، بحيث يوجد هناك تحولات غير إشعاعية أي أن الذرة يمكن أن تنتقل من المستوي المثار  $E_2$  إلى المستوي الأساسي  $E_1$  دون إصدار فوتونات ، هذا الانتقال يمكن أن يسبب استرخاء غير مشع للذرة ، حيث يذهب هذا الفرق في الطاقة للانتقال بين المستويين على شكل اهتزازات ( فونونات ) وتكون طاقة ذبذبات الشبكة مكممة ، وعادة ما يمثل انتقال إزاحة موجية في المادة بانتقال فتون واحد أو أكثر بحيث نجد الاسترخاء غير الإشعاعي بواسطة الفونونات هو عملية متعددة الفونونات (multiphonon) ، فاحتمال حدوث استرخاء متعدد الفونون يتعلق بالفرق الطاقى بين مستويات الانتقال وهذا من خلال المعادلة التالية [6.3].

$$W_{MP} = W_0 [n(v) + 1]^p$$

حيث:

$P$ : عدد الفونونات اللازمة لملء فرق الطاقة .

$W_0$ : احتمال الانتقال .

$$W_{mp} = B_e^{-\alpha \Delta E}$$

حيث :

$\Delta E$ : الفرق في الطاقة بين مستويات المرحلة الانتقالية

$\alpha$  (n) ،  $B(s)$  : ثوابت موجبة مميزة للشبكة ولا تتعلق بايونات العناصر الترابية النادرة ولا بمستويات الطاقة المعتمدة

$n(v)$  : عدد بوز (Bose) حيث هذا الأخير :

$$n(v) = \frac{1}{\frac{\hbar \omega}{e^{kt} - 1}}$$

إن احتمالية الانتقال غير الإشعاعي تزداد بارتفاع درجة الحرارة وتتناقص مع زيادة فرق الطاقة و بالتالي يؤدي إلى انخفاض في مدة الحياة الاشعاعية ، فتتناقص احتمالية الإنتقال غير الإشعاعي بسرعة عندما يتزايد عدد الفونونات اللازم وذلك حسب العلاقة التالية :

$$p = \Delta E / \hbar \omega$$

وهي بالتالي تختلف من مادة إلى أخرى ، ذلك لأن أنماط الاهتزاز هي الأخرى تختلف من مادة إلى أخرى ، وبشكل عام تأثير هذه التفاعلات يؤدي إلى تغيير الإسكان في المستويات ، ويمكن كتابة التغير بسبب الانتقالات غير المشعة بالصيغة التالية :

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{N_2}{\tau_{nr}}$$

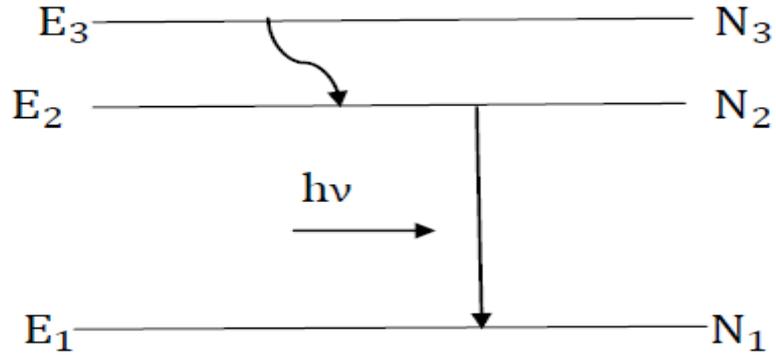
حيث:

$\tau_{nr}$  : ثابت زمني مميز يعبر عن مدة الحياة غير المشعة ويعطى بالعلاقة التالية :

$$\tau_{nr} = \frac{1}{W_{nr}}$$

ويمكن تعريف مدة الحياة الإجمالية للانتقالات المشعة وغير المشعة بالعلاقة التالية :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{rad}} + \frac{1}{T_{nr}}$$



الشكل (8.II) الآليات الإشعاعية وغير الإشعاعية .

## 6.II. المردودية الكمية

عند الأخذ بعين الاعتبار الآليات الإشعاعية وغير الإشعاعية ، والتغيرات في المستوي المثار الثاني لنظام ذو مستويين يمكن ان نكتب [3] :

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{1}{T_{mes}} N_2 = -\left(\frac{1}{T_{rad}} + \frac{1}{T_{nr}}\right) N_2$$

$N_2(t)$  تتغير أسياً بدلالة الزمن كالتالي :

$$N_2(t) = N_2(0) \exp\left(-\frac{t}{T_{mes}}\right)$$

وتعرف المردودية على أنها النسبة بين مدة الحياة المقاسة تجريبياً ومدة حياة الإشعاع في الحالة المثارة .

$$\eta = \frac{T_{mes}}{T_{rad}}$$

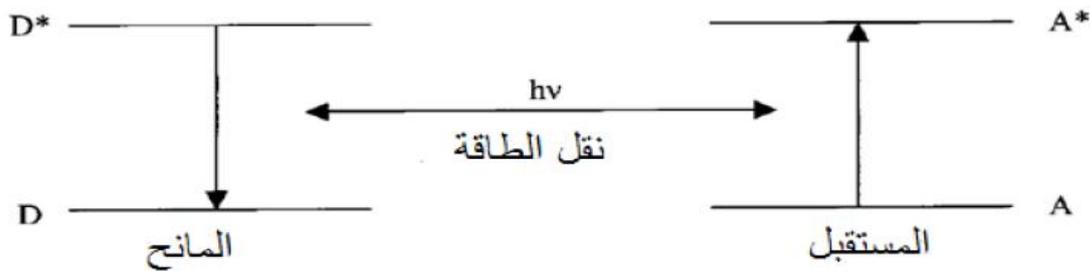
وللحصول على خصائص جيدة للمادة المضيفة ، فمن الضروري تحقيق أقصر مدة حياة في المستوي المثار و ذلك لتتقرب المردودية من القيمة 1.

## 7.11. نقل الطاقة

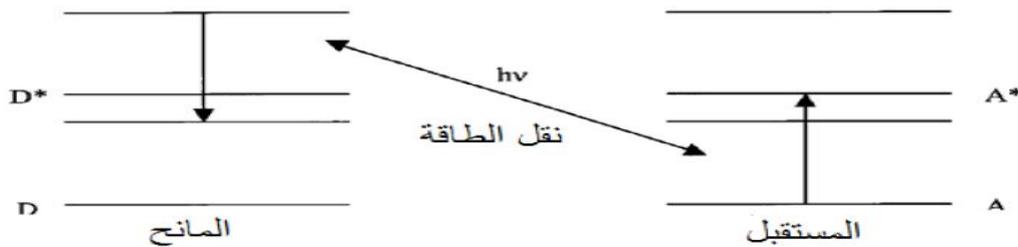
إن احتمالية الانتقال غير الإشعاعي مرتبطة بالاسترخاء متعدد الفونونات (Relaxation Multi Phonons) وينقل الطاقة بين مختلف الايونات . آليات التفاعل هذه بين الايونات المتجاورة هي دالة في المسافة الايونية والتي تتناقص مع زيادة التركيز . أثناء عملية نقل الطاقة ، الايون المانح سيمرر الطاقة إلى الأيون المستقبل دون انبعاثات إشعاعية ، كما أن نقل الطاقة يمكن أن يحدث بين أيونات متطابقة أو غير متطابقة . وتوجد أنواع مختلفة من التفاعل بين الايونات تؤدي إلى تفرغ المستوي المثار [5-6-8].

### نقل الطاقة الرنيني (Resonant energy transfer)

في هذه الحالة نعتبر أيونين قريبين و متجاورين يمثلان في مستويات طاقة متماثلة (الشكل 9.II). الايون المانح D في الحالة المثارة يعود إلى المستوى الأساسي ، المستوى الأقل طاقة ، تاركا طاقة  $h\nu$  للأيون المستقبل A ، هذا الأخير يمتص الطاقة وينتقل من الحالة الأساسية إلى الحالة المثارة . هذه الطاقة يمكن أن تنتقل بين أيونات العناصر الأرضية النادرة القريبة جداً في هذه الحالة يتم فقدان الطاقة ولا يؤدي إلى انبعاث فوتون.



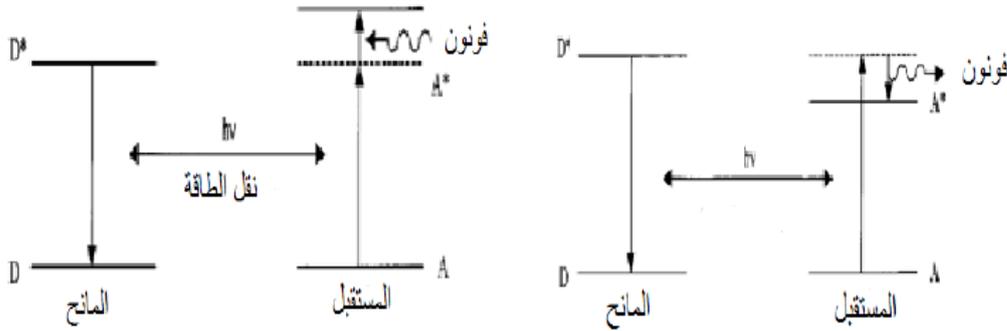
الشكل (9.II) نقل الطاقة الرنيني مع العودة إلى الحالة الأساسية.



الشكل (10.II) :نقل طاقة رنيني كيني .

## نقل الطاقة بمساعدة الفونونات (Transfer of phonon assisted) (ygrene)

في بعض الحالات لا يكون فرق الطاقة بين المستويات المشاركة في النقل هو نفسه (الشكل 11.II) ، وبالتالي فان نقل الطاقة لا يتضمن نفس الحالات المثارة ، ولكن يكون هناك انخفاض كلي للطاقة فانه يجب أن يحدث إما امتصاص أو إصدار فونون ، اعتمادا على ما إذا كانت طاقة الانتقال  $D \leftarrow D^*$  أكبر أو أقل من الانتقال  $A \leftarrow A^*$ .

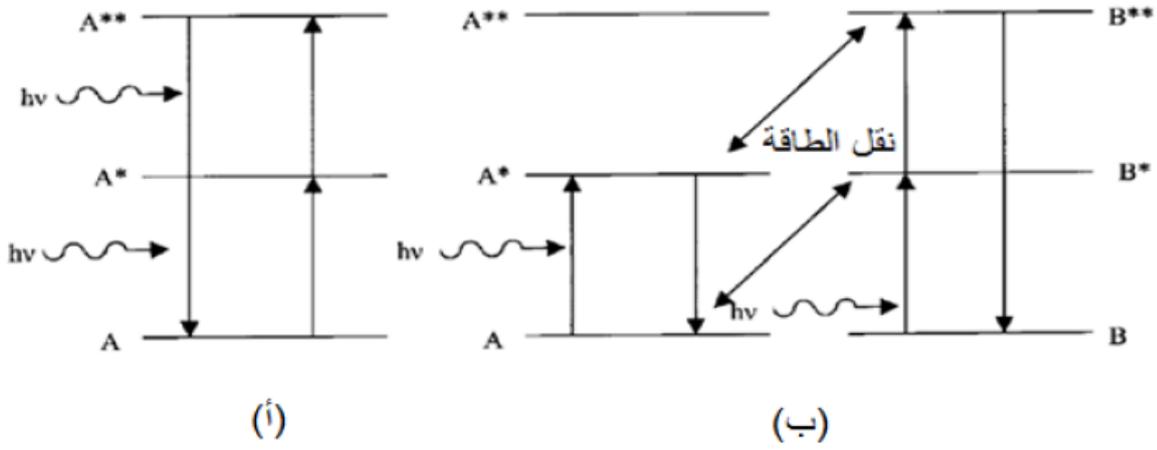


الشكل (11.II) : نقل الطاقة بواسطة الفونونات .

## ➤ نقل الطاقة بالتحويل العلوي للتواترات Energy transfer by noisrevnocpup

التحويل العلوي للتواترات هو عملية يؤدي خلالها انتقالان متتاليان لمستوي الأيون المانح إلى عبور الأيون المستقبل إلى الحالة المثارة بطاقة مساوية لضعف طاقة مستوى الأيون المانح . يستخدم الفوتون الأول للوصول إلى الحالة المثارة الأولى  $A^*$  (بواسطة نقل طاقة رينبي ، أو نقل الطاقة بمساعدة الفونونات ) ، ثم يقوم الفوتون الثاني بنقل أيونات العناصر الترابية النادرة من الحالة  $A^* \leftarrow A^{**}$  (دائما ، بواسطة نقل طاقة رينبي ، أو نقل الطاقة بمساعدة الفونونات).

يمكن لعملية التحويل العلوي للتواترات (upconversion) أن تجري بطريقتين مختلفتين : عن طريق امتصاص فوتونين اثنين بواسطة ايون واحد ، وتسمى أيضا هذه العملية بعملية الإمتصاص في الحالة المثارة ، أو بواسطة الإسترخاءات المتقاطعة بين أيونين مثارين (انظر الشكل )



الشكل (12.II) : عملية التحويل العلوي لـ (أ) فوتونين ، (ب) ايونين .

## 8.11. خلاصق

قمنا في هذا الفصل بتسليط الضوء على المفاهيم الأساسية لمطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة من حيث التوزيع الإلكتروني و الأيوني ، و رأينا أن الطبقة 4f مسؤولة على تشابه الصفات الكيميائية لهذه العناصر وقد خصصنا عنصر الايتريوم كأحد عناصرها في دراستنا هذه ، حيث قمنا بتحديد خصائصه الفيزيائية والكيميائية ووضعنا رموزه الطيفية و من ثم تحديد مستويات طاقته . رأينا أيضا عند تفاعل ايونات العناصر الترابية النادرة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي ، فانه يؤدي إلى نوعين من الآليات : الآليات الإشعاعية والتي تحدث بثلاثة ظواهر أساسية : امتصاص ، انبعاث تلقائي ، انبعاث محفز للفوتونات ، و آليات غير إشعاعية ممكنة الحدوث أيضا ، تميز هذه الآليات بوسائط طيفية مثل : المقطع الفعال للإمتصاص  $\sigma_a$  والمقطع الفعال للانبعاث  $\sigma_e$  و أيضا فترة الحياة الإشعاعية و الغير إشعاعية  $T_{rn}$  و  $T_{dar}$  على الترتيب .

## مراجع الفصل الثاني:

- [1] R. B. Heslop, P. L. Robinson, Chimie inorganique (Flammarion Sciences(1977).
- [2] Ying Tian, Liyan Zhang, Suyu Feng, Rongrong Xu, Lili Hu, Junjie Zhang, "2 $\mu$ m Emission of Ho<sup>3+</sup> - doped fluorophosphate glass sensitized by Yb<sup>3+</sup>", Optical Materials ,vol.32, pp 1508–1513, 2010.
- [4] A.Beggas, "Etat d'art des verres dopés aux ions terres rares (Application Amplificateur Optique)", mémoire de magister, Centre Universitaire d' El- Oued (2010).
- [5] 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 de doctorat, Université du Maine, (2002).
- [6] O. Maalej, "Verres et vitrocéramiques fluorés dopés terre rare et/ou métal de transition pour la conversion de l'énergie solaire", thèse de doctorat, Université du Maine, Université de sfax,(2015).
- [7] مصادر موثوقة من الشبكة العنكبوتية (كتب و مجلدات)
- [8] V. Moizan, "Etude de l'amplification laser en bande II dans les fibres de verres chalcogénures", thèse de doctorat, Université de Rennes I, (2008).
- [9] بيلا آ.لينكيل، " الليزرات"، جامعة سان فرناندو، جامعة كاليفورنيا، ترجمة فاروق عبودي قيصر، كلية العلوم، دار الكتب للطباعة و النشر، جامعة الموصل 1403 هـ 1984 م.
- [10] Molecular Quantum Mechanics Parts I and II: An Introduction to QUANTUM CHEMISTRY (Volume 1), P.W. Atkins, Oxford University Press 1977, ISBN 0-19-855129-0.
- [11] H.N. Russell, F.A. Saunders, News regularities in the spectra of the alkaline earth, The Astrophysical Journal, 61 (1925) 38–61.
- [12] J. tennyson, Astronomical Spectroscopy, Imperial College Press London, 2005.
- [13] د. محمد كوسا، " فيزياء الليزر وتطبيقاته"، كلية العلوم، منشورات جامعة دمشق، 2005- 2006.

# الفصل الثالث

تعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون **Yb+3** في زجاج فليوروفوسفاتي

### III-1. مقدمة

يُعتبر الإيتريوم ( $Yb^{+3}$ ) من بين أيونات العناصر الترابية النادرة، وهو الأيون الأساسي المستعمل من أجل تطبيقات الليزر العاملة في المجال تحت الأحمر من الطيف، لذا فإن معرفة الخصائص الطيفية لهذا الأيون مهمّة جدًا في تحديد مدى ملاءمته من أجل تطبيق معين بالإضافة إلى معرفة خصائص المادة المُطعّمة به.

سنقوم في هذا الفصل بتعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون الإيتريوم في زجاج فليوروفوسفاتي ثلاثي التطعيم، وسنرى تأثير زيادة تركيز أيونات الإيتريوم على الخصائص الطيفية لهذا الزجاج.

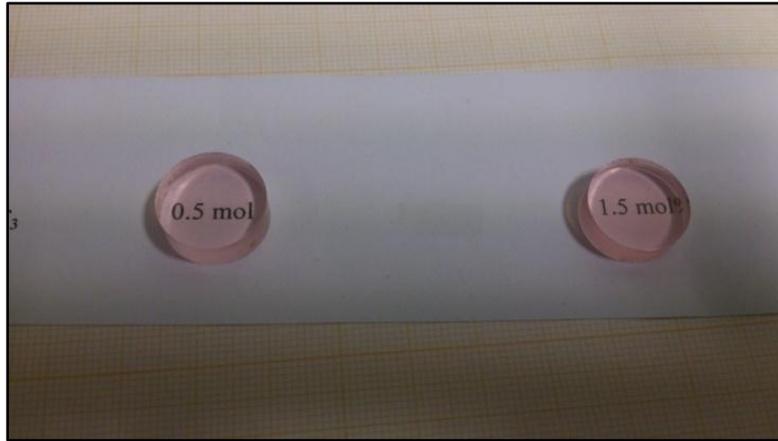
### III - 2. تركيبة الزجاج المدروس

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



$$(x = 0.5, 0.75 \text{ (mol\%)} ; y = 2, 3 \text{ (mol\%)} ; z = 1, 1.5 \text{ (mol\%)})$$

الرمز المختصر للعينات المدروسة: "NPZS\_HYT:1 ; 2"



الشكل (III-1): صورة للعينات المدروسة

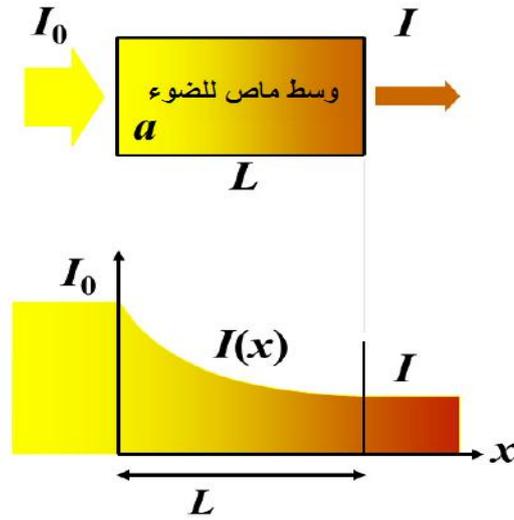
الجدول (1-III) : الكتلة الحجمية والسّمك والتركيز للعينات المدروسة

اسم العينة	الكتلة الحجمية ( $g/cm^3$ )	$[Yb^{+3}]$ (mol%)
NPZS_HYT:1	2,928	2
NPZS_HYT:2	2,994	3

### III - 3. تعيين الوسائط الطيفية لأيون الإيتريوم في العينات الزجاجية المدروسة:

#### III-3.1. المقطع الفعال للإمتصاص:

إنّ المقطع الفعال للإمتصاص يُمكن حسابه انطلاقاً من طيف الامتصاص التجريبي الذي يُتَحَصَّل عليه بواسطة مقياس طيفي يعتمد على مبدأ قياس النسبة بين الشدّة الضوئية النافذة  $I(\lambda)$  من العينة والشدّة الضوئية الواردة إليها  $I_0(\lambda)$ .



الشكل (2-III): عملية امتصاص الضوء

شدة الضوء الممتصة تعتمد على معامل الامتصاص  $\alpha$  وسّمك المادة التي يجتازها الشعاع  $dL$ :

$$(1 - III)$$

$$\frac{dI}{I} = -\alpha \cdot dL$$

بالمكاملة نحصل على:

$$(2 - III) \quad \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} = \exp(\alpha(\lambda) \cdot L)$$

ويُمكن الحصول على معامل الامتصاص  $\alpha$  ( وحدته  $\text{cm}^{-1}$  ) بدلالة الكثافة الضوئية D.O وفقا للعلاقة التالية [1]:

$$(3 - III) \quad \alpha(\lambda) = \frac{D.O(\lambda) \cdot \ln 10}{L}$$

حيث :

D.O : الكثافة الضوئية وتُعطى بالعلاقة [2]:

$$(4 - III) \quad DO(\lambda) = \log\left(\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}\right)$$

L: سمك العينة.

وتُعطى علاقة حساب المقطع الفعال للامتصاص كالتالي [3]:

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

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

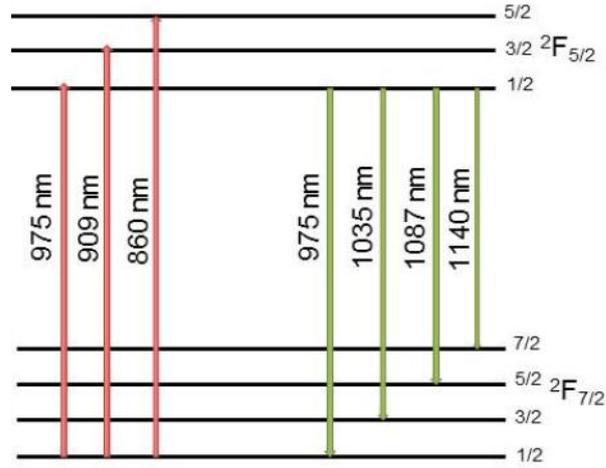
$$N_0 = \frac{[Yb^{+3} \text{ mol \%}] \cdot \rho \cdot N_A}{M} \quad (6 - III)$$

عدد أفوجادروا .  $N_A$

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

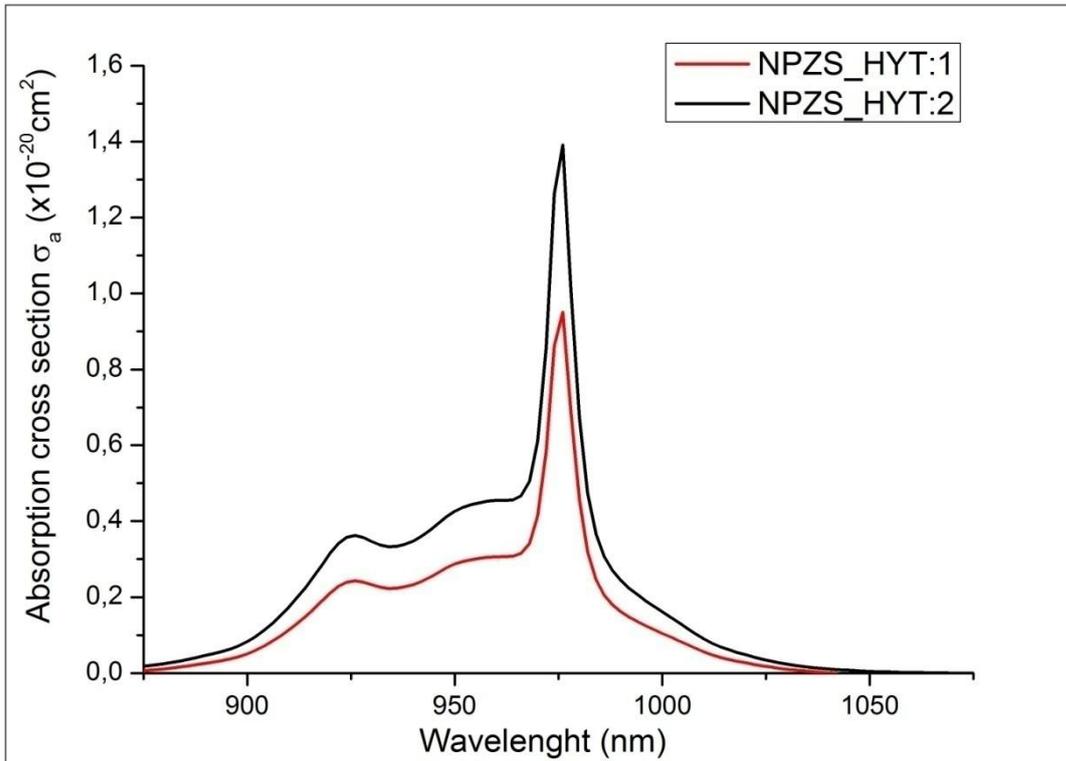
M: الكتلة المولية للمادة ( $\text{g.mol}^{-1}$ ).

انطلاقاً من طيف الامتصاص التجريبي، قمنا بحساب المقاطع الفعالة للامتصاص من أجل العينات المدروسة. الشكل (4-III) يوضح أطيف المقطع الفعال للامتصاص لأيونات الايتريوم  $Yb^{+3}$  المحسوبة. نلاحظ أن الأشكال الخطية لأطيف الامتصاص متشابهة من أجل العينتين المدروستين. إنَّ مَحْطَط الطاقة لأيون الايتريوم بسيط جداً، فهو مكوّن من مستويين طاقيين فقط هما:  $^2F_{7/2}$  و  $^2F_{5/2}$ ، ولهذا فإنَّ طيف الامتصاص له في العينات الزجاجية المدروسة يحتوي على عصابة امتصاص واحدة والتي لها شكل مُعَقَّد (غير متجانس) وهذا راجع إلى الانتقالات الإلكترونية بين مستويات ستارك الفرعية للحالة الأساسية  $^2F_{7/2}$  والحالة المثارة  $^2F_{5/2}$  (الشكل 3-III) بالإضافة إلى خاصية التفاعل القوي إلكترون - فونون للمادة المضيفة (الزجاج) [4].



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

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



الشكل (4-III): المقاطع الفعالة للإمتصاص لأيون  $Yb^{3+}$  في العينتين (NPZS\_HYT:1) و (NPZS\_HYT:2)

الشكل (4-III) يبين تغير المقطع الفعال للامتصاص عند القمة 976nm بدلالة تركيز أيونات الإيتريوم  $Yb^{3+}$  للعينات المدروسة. نلاحظ أنّ هناك زيادة خطية للمقطع الفعال للامتصاص بزيادة تركيز أيونات  $Yb^{3+}$ .

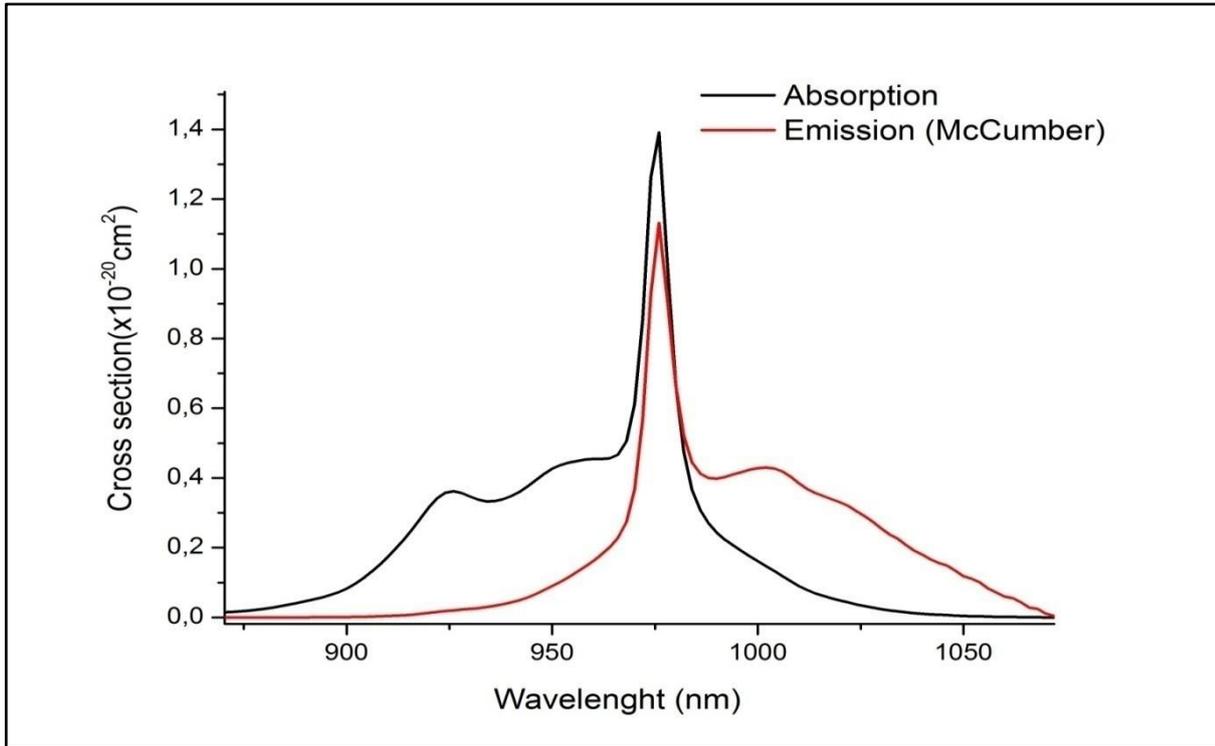
### 2.3-III المقطع الفعال للإصدار

باستعمال طريقة McCumber [5]، يُمكن حساب المقاطع الفعالة للإصدار انطلاقاً من المقاطع الفعالة للامتصاص وفق العلاقة التالية:

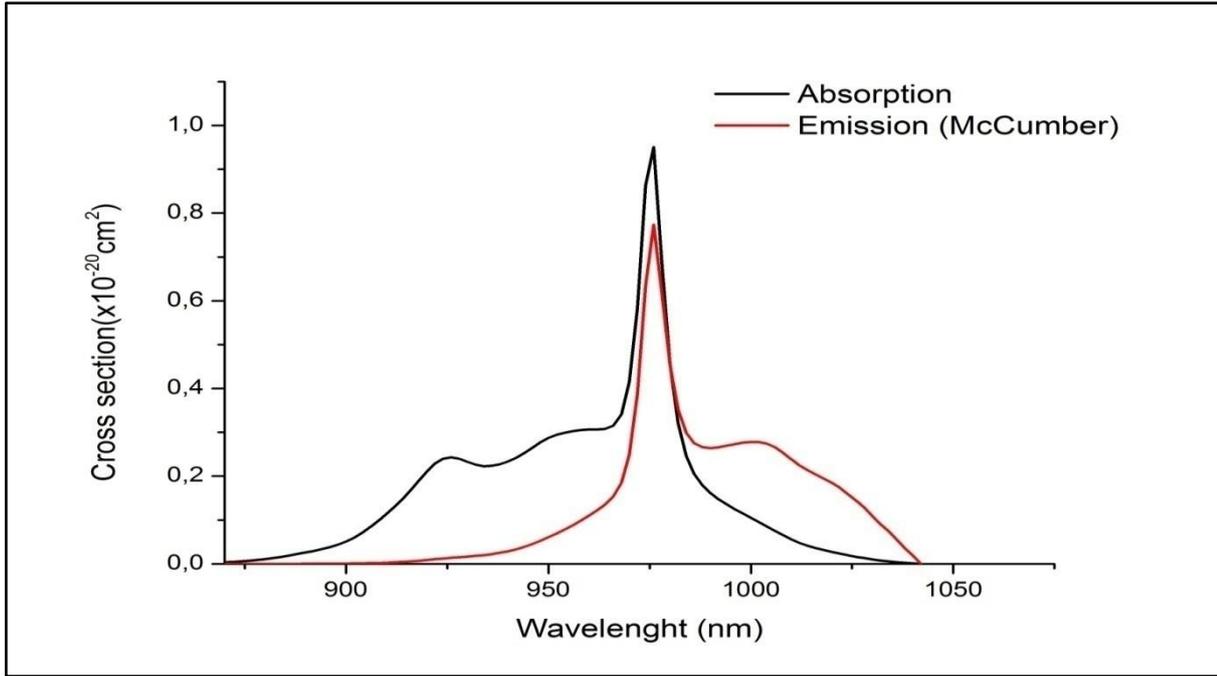
$$(8 - III) \quad \sigma_{em} = \sigma_{ab} \frac{z_l}{z_u} \exp \frac{(E_{z_l} - h\nu_0)}{KT}$$

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

منحنيات المقاطع الفعالة للإصدار المتحصل عليها انطلاقاً من المقاطع الفعالة للامتصاص باستخدام علاقة McCumber موضحة في الشكلين: (5-III) و (6-III).



الشكل (5-III): أطياف المقطع الفعال للإصدار والامتصاص للعينة (NPZS\_HYT:1)



الشكل (6-III): أطيف المقطع الفعال للإمتصاص والإصدار للعينة (NPZS\_HYT:2)

من وجهة النظر الخاصة باشتغال الليزر، فإنّ الربح يتعلّق بالمقطع الفعّال للإمتصاص والمقطع الفعّال للإصدار معاً.

من خلال الأشكال السابقة نلاحظ أنّ القيم القصوى للمقاطع الفعّالة للإمتصاص والإصدار لأيون Yb<sup>3+</sup> تكون محصورة بين 910nm و 1030 nm . مما يسمح بإمكانية اختيارات عديدة لطول موجة الضخ في هذا المجال.

من المحبذ أن يكون المقطع الفعّال للإصدار أكبر ما يمكن لكي يكون لدينا ربح كبير، لذا فإنّ العينة NPZS\_HYT:2 تظهر كمرشّح أمثل للتطبيق الليزري لأنّها تمتلك أكبر قيمة للمقطع الفعّال للإصدار عند الطول الموجي .

### 3.3-III حساب المقطع الفعّال للربح :

انطلاقاً من قيم المقاطع الفعّالة للإمتصاص وللإصدار يمكن حساب المقطع الفعّال للربح بواسطة العلاقة التالية:

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

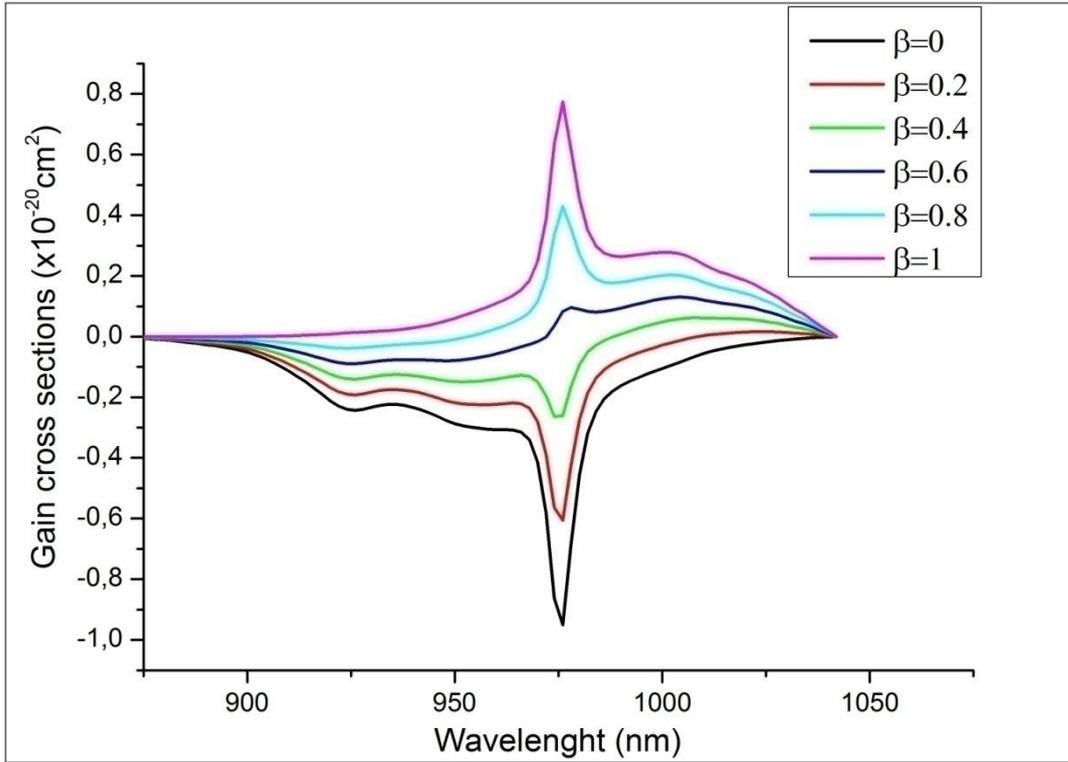
حيث:

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

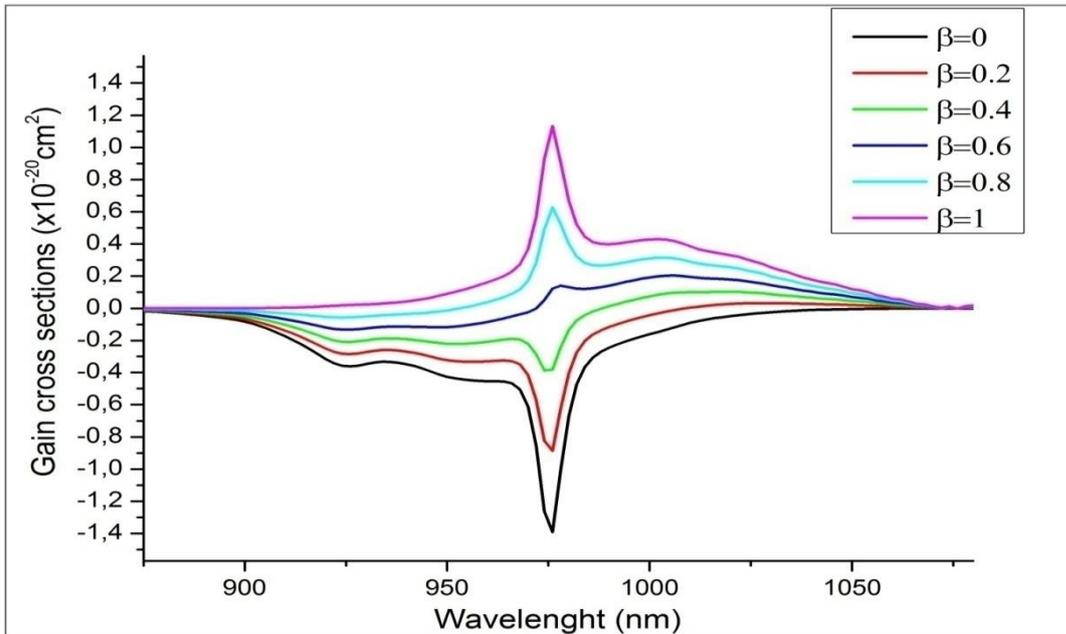
تُظهر الأشكال (7-III) و (8-III) أطيف المقطع الفعّال للربح لأيون لأيون Yb<sup>3+</sup> للعينات المدروسة من أجل قيم  $\beta$  محصورة بين

0 و 1.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن عيّنات الزجاج المدروسة يمكن اختيارها كمواد ربح ليزرية.



الشكل (7-III): المقطع الفعال للربح للعيينة NPZS\_HYT:1.



الشكل (8-III): المقطع الفعال للربح للعيينة NPZS\_HYT:2.

### 4.3-III حساب فترة الحياة الإشعاعية $T_{rad}$ :

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

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

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

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

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

قيم احتماليات الإنتقال وكذا فترات الحياة الإشعاعية المحسوبة لمختلف العينات المدروسة مُعطاة في الجدول (2-III) حيث نلاحظ أن فترة الحياة الإشعاعية تقلّ مع زيادة التركيز.

الجدول (2-III) : احتماليات الانتقال وفترات الحياة الإشعاعية لأيون  $Yb^{+3}$  في العينات المدروسة

العينات	$A(s^{-1})$	$\lambda$ (nm)
NPZS_HYT:1	391,79	2,55
NPZS_HYT:2	586,38	1,71

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

### 5.3-III تعيين الوسائط المتعلقة بأداء الليزر:

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

حيث:  $I_{min}$ ،  $I_{sat}$ ،  $\beta_{min}$

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

مع:

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

و :

(14 – III)

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

مع:

$\lambda_0$  : طول موجة الإصدار الليزري

$\lambda_p$  : طول موجة الضخ

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

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

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

$\tau_{exp}$  : فترة الحياة للإصدار

$h$  : ثابت بلانك

$c$  : سرعة الضوء في الفراغ

- $\eta_{min}$  تمثل النسبة الأدنى من أيونات Yb<sup>+3</sup> التي يجب أن تُثار من أجل موازنة الريح بدقة مع الامتصاص في الحالة الأساسية
- عند طول موجة الليزر  $\lambda_0$ ، فعندما تُثار النسبة  $\eta_{min}$  من تعداد أيونات Yb<sup>+3</sup>، تكون معدلات الانتقالات الصاعدة والهابطة
- متساوية، ويكون الزجاج المُطعم بـ Yb<sup>+3</sup> شفافاً بشكل أساسي عند طول الموجة  $\lambda_0$  بحيث لا يكون هنالك ربح ولا خسارة. من المستحسن الحصول على قيم صغيرة لـ  $\eta_{min}$  من أجل الحصول على الحد الأدنى من الضياع الناتج عن الامتصاص.
- شدة ضخ التشبع  $I_{sat}$ ، والتي هي خاصية مميزة لحركة الضخ وتتطلب قياساً دقيقاً لكل من المقطع الفعّال للإمتصاص عند طول موجة الضخ  $\lambda_p$ ، وفترة الحياة لأيونات Yb<sup>+3</sup>. مقطع فعّال عريض للإمتصاص وفترة حياة طويلة يؤدّيان إلى قيمة صغيرة مُحَبَّذة لـ  $I_{sat}$ .
- شدة الضخ الأصغر  $I_{min}$  هي الحد الأدنى من شدة الضخ الممتصة، وهي مطلوبة من أجل الوصول إلى عتبة الليزر، هذا الوسيط يأخذ خصائص الامتصاص والإصدار، لذا فإن الوسائط الطيفية المحبّذة التي تؤدّي إلى أداء ليزري مرغوب يجب أن

تتضمن مقطعا فعالا كبيرا للإصدار عند  $\lambda_0$  ، ومقطعا فعالا كبيرا للامتصاص عند  $\lambda_p$  ، وفترة حياة طويلة للمستوى العلوي لليزر.

قيم الوسائط المتعلقة بأداء الليزر للعينتين المدروستين مبينة في الجدول ( 3-III ).

الجدول ( 3-III ) :الوسائط المهمة لأداء الليزر للعينات المدروسة

العينة	$\lambda_0=10$ nm)20	$I_{sat}$ (kW/cm <sup>2</sup> )	$I_{min}$ (kW/cm <sup>2</sup> )
NPZS_HYT:1	0,128	12,545	1,606
NPZS_HYT:2	0,128	5,729	0,733

### 4-III خلاصة

في هذا الفصل، قمنا بحساب المقاطع الفعالة للامتصاص انطلاقاً من طيف الامتصاص، كما استعملنا نظرية McCumber للحصول على المقاطع الفعالة للإصدار، ثم عيّنا الربح وكذا فترات الحياة وشدهات الضخ. لاحظنا من خلال النتائج أن هناك زيادة لقيمة المقطع الفعال للامتصاص بزيادة تركيز أيونات  $Yb^{+3}$ ، كما رأينا أن الربح له علاقة بكل من المقطع الفعال للامتصاص و الإصدار، وتبعاً للنتائج المتحصّل عليها، يُمكن القول أن العينتين المدروستين هنا قد تكونان مرشّحتين من أجل التطبيقات الليزرية.

## مراجع الفصل الثالث:

- [1] Kevin Jojeph, Neodymium- Doped phosphate glass Waveguide laser, Ph.D. thesis , University of Colorado at Boulder, (1994).
- [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] O. Peron, "Guides d'ondes planaires en verre et vitrocéramique fluores ", thèse de doctorat, Université du Maine,(2007).
- [4] 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).
- [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] Kassab, L. R., Tatum, S. H., Morais, A. S., Courrol, L. C., Wetter, N. U., & Salvador, V. L. R. Spectroscopic properties of lead fluoroborate glasses doped with ytterbium. Optics express, 8(10), (2001) 585- 589
- [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 ) .

## خاتمة عامة:

يتحور هذا العمل حول تعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون  $Yb^{+3}$  في زجاج فليوروفوسفاتي، من أجل ذلك قمنا في البداية بإعطاء حوصلة وجيزة نلخص فيها فيزياء الليزر من حيث تعريفه و أنواعه و أيضا تطبيقاته، بالإضافة إلى المضخات الضوئية(التعريف و الأنواع) و ركزنا بالأخص على مضخم الليف البصري المطعم بمادة الإيتريوم.

تطرقنا في الفصل الثاني إلى دراسة مطيافية أيونات العناصر الترابية النادرة و ركزنا على عنصر الإيتريوم، حيث قمنا بتحديد رموزه الطيفية و مستويات طاقته، بعدها انتقلنا إلى الفصل الثالث و الذي يدرس الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون  $Yb^{+3}$  في زجاج فليوروفوسفاتي، حيث قمنا بحساب المقاطع الفعالة للامتصاص انطلاقا من طيف الامتصاص، كما استعملنا نظرية McCumber للحصول على المقاطع الفعالة للإصدار، ثم عينا الربح و كذا فترات الحياة و شدات الضخ.

لاحظنا من خلال النتائج أن:

- ❖ هناك زيادة لقيمة المقطع الفعال للامتصاص بزيادة تركيز أيونات  $Yb^{+3}$ .
- ❖ الربح له علاقة بكل من المقطع الفعال للامتصاص و الإصدار.

و تبعا للنتائج المتحصل عليها يمكن القول أن: "العينتين المدروستين هنا قد تكونان مرشحتين من أجل التطبيقات الليزرية".

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو تعيين الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون  $Yb^{+3}$  في زجاج فليوروفوسفاتي، من أجل هذا قمنا في البداية بدراسة عامة حول الليزر و المضخمات الضوئية، ثم تطرقنا إلى العناصر الترابية النادرة التي تستعمل في تطعيم الزجاج للحصول على مفعول الليزر، و في الأخير قمنا بدراسة الوسائط الطيفية المتعلقة بأداء الليزر لأيون  $Yb^{+3}$  في زجاج فليوروفوسفاتي، و قمنا بحساب المقاطع الفعالة للامتصاص انطلاقاً من طيف الامتصاص، و استعملنا لذلك نظرية McComber للحصول على المقاطع الفعالة للإصدار، ثم عينا الربح وكذا فترات الحياة و شدات الضخ.

فكانت النتائج كالتالي:

- هناك زيادة لقيمة المقطع الفعال للامتصاص بزيادة تركيز أيونات  $Yb^{+3}$ .
- الربح له علاقة بكل من المقطع الفعال للامتصاص و الإصدار.

من خلال النتائج المتحصل عليها يمكن القول أن: "العينتين المدروستين هنا قد تكونان مرشحتين من أجل التطبيقات الليزرية".

ليزر الإيتريوم - زجاج مطعم - أيونات ترابية نادرة - الوسائط الطيفية - زجاج فليوروفوسفاتي: الكلمات المفتاحية

## Abstract

The aim of this work is to state spectrum media connected to the role of laser for ion  $Yb^{+3}$  in a Fliorofosfatic glass.

In the beginning, we have studied laser and optical amplifiers, then we have dealt with rare earth elements which are used in doped glass to get laser effect.

Finally, we have studied spectrum media which are connected with the role of laser for ion  $Yb^{+3}$  in a Fliorofosfatic glass, and we have connted effective difference for absorption starting from absorption and we have used the theory of Mc comberfor that to get effective difference for emission and we state gain , life periodand pumping imteusity .

We get the follouring reoultis :

- There is an increeae of the value of effective diffrence for abseorption with the incriase of ions  $Yb^{+3}$  concentration.
- Gin arelation writh both effective difference for absorption and emission .

Acording to the resules , we can that both samples can be uesd in laser application.

**Keywords:**  $Yb^{+3}$  laser – deped glass – rare rarth elements – specterun media – fliorofosfatic glass.