

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم: فيزياء



مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

الميدان: علوم المادة

تخصص: فيزياء إشعاعية

من اعداد الطالبتين: سعود فتيحة – الشارف عفاف
بعنوان:

إنتاج الليزر بالطاقة الشمسية بواسطة المركبات الشمسية

نوقشت بتاريخ: 2018/06/03

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

مشرفا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة	د. سوداني محمد البار
رئيسا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة	د. بن طويلة عمر
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح - ورقلة	د. تخة محمد

الموسم الجامعي: 2017/2018

الإهداء

بسم الله نبدأ كلامي الذي بفضلته وصلت لمقامي هذا الحمد والشكر
على ما أتاني أهدي هذا العمل للوالدين الكريمين، إخوتي، أخواتي على دعمهم لي،
كل العائلة، وأهدي ثمرة هذا المجهود البسيط إلى كل من تجمعني به صلة الرحم و
الصدقة، و إلى من ساندني في إنجاز هذا العمل
الأستاذ المشرف سوداني محمد البار .

الشارف عفاف

الإهداء

بسم الله نبدأ كلامي الذي بفضلته وصلت لمقامي هذا الحمد والشكر
على ما أتاني أهدي هذا العمل للوالدين الكريمين، إخوتي، أخواتي على دعمهم لي،
كل العائلة، وأهدي ثمرة هذا المجهود البسيط إلى زوجي، و كل من تجمعني به صلة
الرحم و الصداقة، و إلى من ساندني في إنجاز هذا العمل
الأستاذ المشرف سوداني محمد البار .

سعود فتيحة

الشكر

نحمد الله ونشكره، على توفيقنا إلى ما سعينا إليه، كما نتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من أمد لنا يد العون والمساعدة، ونسأل الله عز وجل أن يبارك لنا في عملنا هذا، وأن يكون خير مساعد لكل من يطلب العلم والمعرفة.

بداية نتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ الفاضل **سوداني محمد البار** الذي وافق التأطير والإشراف على إنجاز هذه المذكرة، وعلى كل المعلومات والتوجيهات الذي تفضل بها من إتمام هذا العمل. كما نتقدم بالشكر الخالص إلى أعضاء اللجنة المناقشة :

د. بن طويلة عمر

د. تخته محمد

وكل أساتذة كلية الرياضيات و علوم المادة

ترميز

التواتر (s^{-1})	ν
ثابت بلانك	h
مساحة المقطع العرضي للوسط الفعال (m^2)	A
معامل الإمتصاص	α
قطر الوسط الفعال (m)	D
كفاءة الضخ	ε
إنعكاسية المرآة	R
شدة الريح المشبع (w/mm^2)	I_s
ثابت الشمسي (w/m^2)	I_0
شدة الإشعاع المباشر (w/m^2)	I_b
كفاءة الكوانتية	η_q
معدل التداخل	η_{ovp}
الخسارة عبر القضيب	γ
النفاذية عبر المرآة	T
طاقة الضخ (W)	P_{in}
طاقة العتبة (W)	P_{th}
كسب الليزر	g_0
مقطع الإصدار المستحث (m)	σ
مدة حياة إشعاع الحالة المثارة (s)	τ
الطول الموجي (m)	λ

الفهرس

11	.....مقدمة عامة
	الفصل الأول : دراسة نظرية أشعة الليزر و خصائصها
14	.....1.1 مقدمة
14	.....2.1 تفاعل المادة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي
14	.....1.2.1 إمتصاص الضوء
15	.....2.2.1 الإصدار التلقائي
15	.....3.2.1 الإصدار المستحث
15	.....3.1 الأشعة الليزرية
16	.....4.1 جهاز الليزر
16	.....5.1 النظرية الأولية في تضخيم الضوء
17	.....6.1 آلية الضخ الضوئية
18	.....1.6.1 نظام ذو ثلاثة مستويات
18	.....2.6.1 نظام ذو أربعة مستويات
19	.....7.1 خصائص أشعة الليزر
20	.....8.1 أنواع أشعة الليزر
20	.....1.8.1 ليزر الحالة الصلبة
21	.....2.8.1 ليزر الحالة الغازية
22	.....3.8.1 ليزر الحالة السائلة
23	.....4.8.1 الليزر شبه موصل
23	.....5.8.1 الإكسايمر
24	.....9.1 تطبيقات أشعة الليزر
25	.....خاتمة
	الفصل الثاني : الإشعاع الشمسي و المركبات الشمسية
27	.....1.2 مقدمة
27	.....2.2 حركة الأرض حول الشمس
27	.....3.2 القبة السماوية
28	.....4.2 الإحداثيات السماوية
28	.....1.4.2 الإحداثيات الأرضية
28	.....أ- خطوط الطول
28	.....ب- دائر العرض

29	..... ت- الإرتفاع
29	..... 2.4.2 الإحداثيات الإستوائية
29	..... أ- إنحراف الشمس
30	..... ب- الزاوية الساعية
31	..... 3.4.2 الإحداثيات الأفقية
31	..... أ- زاوية الإرتفاع
31	..... ب- زاوية الذروة
31	..... ت- زاوية السميت الرأسى
32	..... 5.2 الإشعاع الشمسى
32	..... 1.5.2 الشمس
33	..... 2.5.2 التوزىع الطىفى للإشعاع الشمسى
34	..... 3.5.2 أنواع الإشعاع الشمسى
34	..... أ- الإشعاع المباشر
34	..... ب- الإشعاع الشمسى المنتشر
35	..... ت- الإشعاع الكلى
36	..... 4.5.2 تقدر الإشعاع الشمسى
36	..... 1.6.2 طرق تجمىع و إستقبال الأشعة الشمسىة
37	..... 2.6.2 خصائص المجمعات المركزة
37	..... أ- التركىز
38	..... ب- المردود
38	..... ت- درجة حرارة الركود
38	..... 3.6.2 آلية عمل المركزات الشمسىة
39	..... 4.6.2 أنواع المركزات الشمسىة
39	..... 1- مركزات البؤرة النقطىة
41	..... 2- مركزات البؤرة الخطىة
42	..... خاتمة
..... الفصل الثالث : اللىزر الشمسى و الأوساط الفعالة	
44	..... 1.3 مقدمة
44	..... 2.3 نبذة تاريخىة
44	..... 3.3 تقنىة اللىزر الشمسىة
45	..... 1.3.3 ضخ غىر مباشر
45	..... 2.3.3 ضخ مباشر
45	..... 4.3 المقارنة بىن ضخ اللىزر بالشمس (مباشر-غىر المباشر)
46	..... 5.3 لىزرات الحالة الصلبة
47	..... 6.3 أىونات الأتربة النادرة

48	..... 1.6.3 إختيار المواد المضيفة مع أيونات الأرض النادرة
48	..... 2.6.3 أيونات الأرض النادرة و الطيف الشمسي
49	..... 7.3 ليزرات النوديميوم
51	..... Nd: YAG ليزر 1.7.3
52	..... Nd:YVO ₄ ليزر 2.7.3
53	..... Nd/Cr:YAG ceramic ليزر 8.3
55	..... 9.3 طاقة العتبة و كفاءة الليزر
57	..... خاتمة
الفصل الرابع : عرض و مناقشة النتائج	
59	..... 1.4 مقدمة
59	..... Nd/Cr: YAG ceramic و Nd: YVO ₄ المقادير الفيزيائية لكل من
60	..... 3.4 الإشعاع الشمسي المركز
61	..... 4.4 طاقة خرج الليزر للضخ الشمسي
62	..... 1.4.4 تأثير إنعكاسية المرآة على طاقة خرج الليزر الشمسي
63	..... 5.4 كسب الليزر
64	..... 6.4 تأثير قطر الوسط الفعال على كسب الليزر
65	..... 7.4 تأثير قطر الوسط الفعال على طاقة العتبة
66	..... خاتمة
68	..... خاتمة عامة
70	..... المراجع

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل
	الفصل الأول : دراسة نظرية توليد أشعة الليزر و خصائصها
(14)	(1.1) مبدأ الإمتصاص.....
(15)	(2.1) الإمتصاص التلقائي.....
(15)	(3.1) الإصدار المستحث.....
(16)	(4.1) مخطط لتجويف رنيني.....
(18)	(5.1) نظام ذو ثلاث مستويات.....
(19)	(6.1) نظام ذو أربعة مستويات.....
(21)	(7.1) توليد الليزر باستخدام بلورة.....
(22)	(8.1) عملية الضخ باستخدام عملية تفريغ كهربائي.....
(23)	(9.1) الليزر شبه موصل.....
	الفصل الثاني : الإشعاع الشمسي و المركبات الشمسية
(27)	(1.2) حركة الأرض حول الشمس.....
(28)	(2.2) الكرة السماوية.....
(29)	(3.2) الإحداثيات الأرضية.....
(30)	(4.2) بيا تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال أيام السنة.....
(30)	(5.2) الإحداثيات الإستوائية.....
(31)	(6.2) الإحداثيات الأفقية.....
(33)	(7.2) الطيف الشمسي.....
(35)	(8.2) مخطط يوضح وصول الإشعاع الشمسي إل سطح الأرض.....
(36)	(9.2) الإشعاع الشمسي لمدينة ورقلة بدلالة الزمن.....
(37)	(10.2) طرق تجميع و إستقبال الأشعة الشمسية.....
(39)	(11.2) المجمع الشمسي المقعر ذو البؤرة النقطية.....
(40)	(12.2) حقل مركزي لأسطح عاكسة مقعرة.....
(40)	(13.2) نظام البرج المركزي ذو البؤرة النقطية.....
(41)	(14.2) مركبات البؤرة النقطية (الأسطواني المقعر).....

الفصل الثالث : الليزر الشمسي و الأوساط الفعالة

- (47) موضع أيونات الأرض النادرة في الجدول الدوري. (1.3)
- (49)Nd/Cr: YAG ceramic طيف الإشعاع الشمسي مع إمتصاص (2.3)
- (50) مستويات الطاقة و الإنتقالات الإلكترونية لليوديميوم. (3.3)
- (51) مخطط لمستويات الطاقة Nd:YAG (4.3)
- (54) مستويات Nd^{+3} و Cr^{+3} (5.3)
- (54) طيف الامتصاص Nd^{+3} :YAG 1.0 at% , Cr^{+3} 0.1 at% و Nd^{+3} 1.0at% مطعم في YAG . و Cr^{+3} 0.1 at% مطعم في YAG عند درجة حرارة الغرفة. (6.3)

الفصل الرابع : عرض و مناقشة النتائج

- (60) تغير شدة الإشعاع الشمسي المركز بدلالة الزمن. (1.4)
- (61)Nd:YAG و Nd/Cr: YAG ceramic طاقة خرج الليزر لكل من (2.4)
- (62) طاقة خرج الليزر بدلالة طاقة الضخ الشمسي ل Nd:YAG حسب الدراسة الخط المتقطع (أبعاد البلور 6×150 mm) و الخط المستمر (أبعاد البلور 10×130 mm) . (3.4)
- (62) طاقة خرج الليزر بدلالة طاقة الضخ الشمسي ل Nd/Cr: YAG ceramic حسب الدراسة (1) $R = 90\%$ (2) $R = 75\%$ (4.4)
- (63) Nd/Cr: YAG ceramic طاقة خرج الليزر بدلالة الزمن ل (5.4)
- (64) كسب الليزر بدلالة الزمن. (6.4)
- (65) كسب الليزر بدلالة قطر الوسط الفعال. (7.4)
- (66) طاقة العتبة بدلالة القطر الفعال. (8.4)

قائمة الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
(24)	جدول بعض أنواع الليزر و الطول الموجي لشعاع الليزر	(1-1)
(32)	الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض.....	(1-2)
(35)	قيم معامل الإضطراب و إرتفاع الماء المكثف.....	(2-2)
(46)	مزايا و مساوى مختلف أنواع الضخ الليزر الشمسي.....	(1-3)
(48)	التوزيع الإلكتروني لذرات الأرض النادرة و أيوناتها و المستوى الأساسي الموافق...	(2-3)
(49)	عصابات الإمتصاص و الإصدار.....	(3-3)
(52)	إختلاف الوصلية الحرارية Nd:YAG بإختلاف درجة الحرارة.....	(4-3)
(53)	القيم المقاسة لطاقة الضخ و الطاقة الصادرة للمواد الليزرية.....	(5-3)
(59)	المقادير الفيزيائية لكل من Nd:YAG و Nd/Cr :YAG ceramic.	(1-4)

مقدمة عامة

مقدمة عامة

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة، فهي طاقة نظيفة (صديقة للبيئة) و دائمة (غير قابلة للنفاذ) و واسعة الإنتشار (غير محتكرة)، فمصدرها الضوء و الحرارة المنبعثان عن كوكب الشمس، أهم ما يدعونا إلى ضرورة الالتفات إلى ما أنعم الله به على بلادنا حيث تعتبر الجزائر ضمن الحزام الشمسي بشدة متوسط تدفق الطاقة الشمسية تتراوح من 1700 إلى 2650 kWh/m²/an و مدة تشميس تتراوح من 2650 إلى 3500 ساعة في السنة لذا من الضروري استغلالها، باعتبارها المورد الأساسي الأكثر أهمية لجميع هذه الطاقات، فالأرض تستقبل معدل طاقة متوسطة قدره 1.4 kW/m² ⁽¹⁾ من أجل سطح أفقي بالنسبة لسطح الأرض، فمن الممكن أن تستغل هذه الطاقة في عملية الضخ و إنتاج الليزر .

تعد أشعة الليزر من المنجزات الكبرى في النصف الثاني من القرن العشرين، حيث بدأ الإكتشاف عام 1917 ، عندما بين ألبرت أينشتاين وجود عملية الانبعاث المستحث .و كانت هذه بداية لإثبات وجود نوع جديد من الإشعاع المنبعث .

في مطلع الخمسينات، عملت مجموعة في جامعة كولومبيا U.S.A، برئاسة Townes جهاز الموجات الدقيقة (Microwaves) هذا الجهاز سمي الميزر (Maser). و في عام 1958 نشر Townes و Arthur L. Schawlow مقالة مهمة ناقشا فيها توسيع تقنية الميزر في المنطقة البصرية من الطيف الكهرومغناطيسي و التي أشارت إلى بداية عصر كان غنيا بالمنافسة لعمل البحوث المتعلقة بالمواد الليزرية و عمليات الإثارة . لم يكمل العالمان ابتكار الليزر لعدم مقدرتهم على إيجاد المادة الفعالة ووسائط الإثارة المناسبة لحدوث الانعكاس السكاني. ⁽²⁾

بحلول عام 1960 تم تصميم أول جهاز T.H. Maiman في مختبرات بحوث هيوز، و كان هذا الليزر يتكون من ساق من الياقوت تضخ بضوء صادر عن مصابيح (flashlamp) ، و في غضون ستة أشهر أعلن الباحث Ali Javan عن نجاح تشغيل الليزر خليط من غازات الهليوم-نيون، و يوجد حاليا المئات من الأوساط الليزرية. ⁽²⁾

سعى العلماء لخفض تكلفة إنتاج الليزر عن طريق الحد من طاقة الضخ، فمن الممكن أن الضخ بالطاقة الشمسية سيصبح مصدرا رخيصا. و هو ضوء غير متماسك، و ذو إشعاع واسع النطاق و متعدد الطول الموجي، إلى أشعة ليزر أحادية اللون.

فإستخدام الضخ بالطاقة الشمسية سيكون مفيد في البلدان النامية، حيث أشعة الشمس وفيرة و مجانية، و غيرها من أشكال الطاقة النادرة، لذلك فإن تقنية الليزر الشمسية ستكون الخيار الأمثل .

في أوائل 1960 عملت عدد من البحوث الأولى للضخ بالطاقة الشمسية، أين أستعمل Nd:YAG ليكون أفضل المواد الليزرية المضخوخة بالشمس بسبب خصائصه المتميزة و قوته الميكانيكية مقارنة مع المواد الأخرى، لكنه يفتقر إلى كفاءة الضخ في إستخدام ضوء الشمس⁽³⁾ كمصدر للضخ، كما أنه يملك عصابات ضيقة في منطقة الطيف الشمسي لذلك نبحت عن تصنيع مواد ليزرية جديدة مع نطاق عريض لإمتصاص طيف الشمس، فمن أجل الإستغلال الفعال لطيف الشمس و فكرة الإستفادة من النطاق العريض لطيف إمتصاص أيونات الكروم في منطقة الطيف المرئي يعد الكروم Cr^{+3} المرشح الأول لهذه التقنية .

الهدف من هذا العمل هو دراسة التضخيم بالإشعاع الشمسي، كطريقة بديلة لإستخدام الطاقة الشمسية، و التحول من الطاقة الشمسية إلى أشعة الليزر و ذلك بإستعمال طريقة الضخ و الوسط المضخم الفعال الأنسب لهذه التقنية و تركيز إشعاع الشمسي بواسطة المركزات الشمسية و إمكانية تطبيق Nd/Cr :YAG ceramic للضخ بالطاقة الشمسية .

سوف يكون عملنا في هذه المذكرة مقسم إلى أربعة فصول، و هي على النحو التالي:

- ✓ في الفصل الأول سنقدم فكرة عامة عن الدراسة النظرية لليزر (التضخيم الضوئي ، خصائص الأشعة الليزرية ، أنواع الليزر و تطبيقاته).
- ✓ في الفصل الثاني سنقدم فكرة عامة عن مجال الطاقة الشمسية و الإشعاع الشمسي (الزوايا الشمسية و العوامل المؤثرة في توزيع الإشعاع الشمسي) كما نقدم أيضا فكرة عن المركزات الشمسية و آلية عملها .
- ✓ في الفصل الثالث سنقدم أهم الأوساط المضخمة المستعملة في تقنية الليزر الشمسية Nd:YAG ، Nd:YVO4 ، Nd/Cr: YAG ceramic و كفاءة الليزر .
- ✓ بينما سيتناول الفصل الرابع عرض و مناقشة نتائج دراسة التحليلية بإستعمال برنامج (origin) تأثير قطر المركز الشمسي على تدفق الليزر الشمسي و تأثير تغير إنعكاسية المرآة على كسب الليزر.

الفصل الأول

(دراسة نظرية توليد أشعة الليزر و خصائصها)

1-1 مقدمة :

تتميز أشعة الليزر بقدرة ضوئية هائلة، و هي أشعة أحادية اللون، على نحو متماسك و موجه و التقنية للحصول على هذا النوع من الضوء هي الضخ، فقد سعى العلماء للبحث عن مصدر اقل تكلفة و بما أن الطاقة الشمسية تعد هي المصدر الرئيسي للطاقة المستمرة الوفيرة و مجانية، فمن الممكن استخدامها في عملية الضخ، لذلك فإن تقنية الليزر الشمسية ستكون طريقة بديلة بسيطة و غير مكلفة لاستخدام الطاقة الشمسية، و تحويل الأشعة الشمسية لأشعة الليزر. لذلك سنقدم في هذا الفصل فكرة عامة عن نظرية الليزر .

2-1 تفاعل المادة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي:

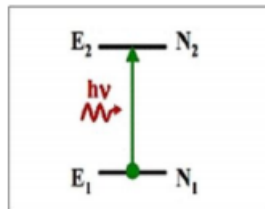
عند انتقال إلكترون في ذرة بين حالات الطاقة أو المستويات، يكون مصحوبا بانبعث أو امتصاص فوتون، الذي

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} \quad (1)$$

ΔE : هي فرق الطاقة بين المستويين المعنيين.

عندما تتفاعل موجة كهرومغناطيسية مع المادة، تحدث ثلاث ظواهر أساسية وهي : عملية الانبعث التلقائي والانبعث المستحث وعملية الامتصاص .

1-2-1 إمتصاص الضوء :

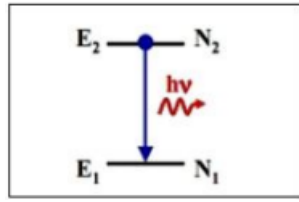


شكل (1-1): مبدأ الإمتصاص (4)

نعتبر انتقالات إلكترون قد تحدث بين مستويين طاقيين في نظام ذري مفترض كما بينها الشكل (1-1) لرفع إلكترون من المستوى الأساسي إلى المستوى لابد من إمتصاصها لفوتون. ويجب أن يحمل هذا الفوتون كمية الطاقة، و يكون تواتر

$$\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{h} \quad \text{الإشعاع اللازم}$$

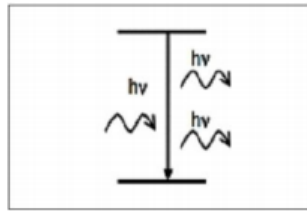
2-2-1 الإصدار التلقائي :



شكل (1-2): الإصدار التلقائي (4)

إذا شغل إلكترون مستوى أعلى من المستوى الأساسي، فإننا نقول أن الذرة في حالة مثارة. وفي وضع غير مستقر، فلا يلبث الإلكترون بعد فترة وجيزة أن يعود تلقائياً إلى المستوى الأساسي، فاقتدا جزء من طاقته على هيئة فوتون بشكل عشوائي غير مترابط زمنياً في اتجاهات مختلفة [يعتمد تواتره على فرق الطاقة بين المستويين $(E_2 - E_1)$]. $h\nu = (E_2 - E_1)$.

3-2-1 الإصدار المستحث :



شكل (1-3): الإصدار المستحث (5)

إن الإلكترون الذي يرفع إلى مستوى طاقة أعلى، لا يلبث أن يعود تلقائياً إلى المستوى الأساسي، مصدراً فوتون بتواتر محدد، قبل أن يمضي فترته الزمنية τ بكاملها. وقد يحث الإلكترون على العودة ورود فوتون خارجي على الذرة بنفس التواتر، حيث لا يمتص هذا الفوتون بل يستمر في طريقه. و بعودة الإلكترون إلى المستوى الأساسي فإنه يصدر طاقة من الذرة على هيئة فوتون له نفس تواتر الفوتون الوارد ونفس الطور والاتجاه والاستقطاب ونفس الخصائص الطيفية. وهذه

الحقائق هي المسؤولة عن الدرجة العالية جداً من التماسك التي تتميز شعاع الليزر، مما تؤدي إلى زيادة شدة الإشعاع الوارد وتقويته و تضخيمه .

3-1 الأشعة الليزرية :

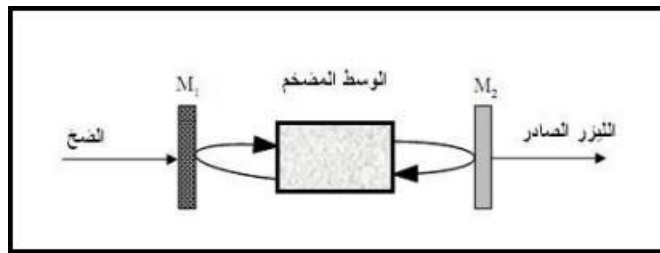
ما هو إلا ضوء مضخم بواسطة عملية الإنبعاث الاستحثائي للإشعاع، و يتميز عن الضوء العادي : أحادي اللون (طول موجي واحد)، متزامن (نفس الطور)، له اتجاه واحد (حزمة الفوتونات في مسار مستقيم). بالرغم من وجود عدة أنواع من الليزر إلا أنها جميعاً تشترك في نفس الخصائص.

1-4 جهاز الليزر :

جهاز الليزر عبارة عن مصدر للضوء ، يعمل على تجميع الإشعاعات الضوئية ، التي تتولد داخل الجهاز، و تركيزها و تقويتها على شكل حزمة ضوئية رفيعة جدا في اتجاه واحد مركز، و هي أشعة كهرومغناطيسية متجانسة و متماسكة، و تستطيع قطع مسافات لانهائية في خط مستقيم، و تتميز بأنها تزداد شدتها و يقوي بعضها بعضا عند الإنطلاق.

و عملية توليد أشعة الليزر تنتج عن تعريض المواد المختلفة لمصادر إثارة و تغذية خارجية، و يختلف الطول الموجي لأشعة الليزر الناتجة باختلاف المادة التي تنتجها، مع احتفاظها بطبيعتها الأساسية و خصائصها العامة بوصفها موجة ضوئية، و الخصائص العامة للموجات الكهرومغناطيسية . و يتكون جهاز الليزر من ثلاثة أجزاء رئيسية هي :

1. مادة الوسط الفعال: وهي التي تنتج أشعة الليزر، وقد تكون مادة صلبة، مثل الياقوت الصناعي الذي يتكون من أكسيد الألمنيوم مضافا إليه كمية ضئيلة من الكروم لا تزيد نسبتها عن 0.05 % و هذه النسبة من الكروم المسؤولة عن إنتاج الليزر القوي، أي أنها المادة الفعالة في هذا الليزر . فقد تكون مادة الوسط الفعال مادة سائلة مثل مادة النيوديم المذابة في أكسيد كلوريد الصوديوم، أو قد تكون مادة غازية مثل الهيليوم أو النيون أو ثاني أكسيد الكربون، و الوسط الفعال بضوء شديد التركيز و التماسك، إذا وجهت إليه طاقة مثل تيار كهربائي أو إشعاع ضوئي .
2. مصدر للطاقة لإثارة ذرات مادة الوسط الفعال .
3. وحدة تضخيم الضوء، و تكون غالبا على شكل مرآتين .



الشكل (1-4) : مخطط لتجويف رنيني⁽⁴⁾ .

1-5 النظرية الأولية في تضخيم الضوء:⁽⁶⁾

لإدراك الشروط الضرورية لحصول تضخيم للضوء، نعتبر جملة ذات مستويين E_1 و E_2 ، حيث $E_1 < E_2$ ، حيث

$$\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{h}$$

يكون تواتر الانتقال بين المستويين هو

لنفرض أن الالكترونات تحتل في بعض الذرات المستوى الأدنى E_1 و أن بعضها يحتل المستوى الأعلى E_2 . ولنفترض أن عدد الذرات التي هي في الحالة E_1 هو N_1 ، وأن عددها في الحالة E_2 هو N_2 . فإذا مر ضوء وحيد اللون مساو لتواتر الانتقال بين المستويين عبر الوسط، فيحتمل حدوث مايلي:

أ- قد تمتص بعض الفوتونات من الحزمة الواردة فترتفع الالكترونات بسبب ذلك من المستوى الأدنى N_1 إلى المستوى N_2 .

ب- قد تحت بعض الفوتونات الواردة الالكترونات للهبوط من المستوى N_2 إلى المستوى N_1 ، و يصدر بسبب ذلك فوتون آخر له نفس التواتر، ونفس جهة الفوتون الوارد مما يؤدي الى زيادة شدة الحزمة. يبدو جليا مما سبق أنه إذا أردنا أن تزداد شدة الحزمة لدى مرورها في الوسط، فإن الإصدار المحثوث يجب أن يطغى على امتصاص الفوتونات .

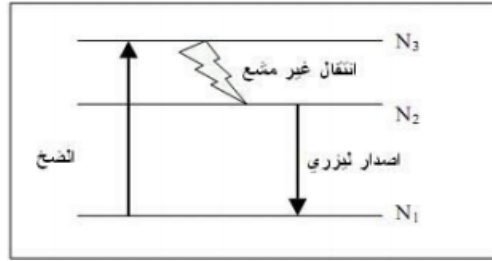
إن عدد الانتقالات من N_1 إلى N_2 متناسب مع N_1 . أما عدد الانتقالات من N_2 إلى N_1 متناسب مع N_2 ، وقد بين أينشتاين أن ثابتي التناسب لهذين التحولين متساويان. و عليه فلكي يزيد الإصدار المحثوث عن الامتصاص يجب أن يكون N_2 أكبر من N_1 . ونشير إلى أنه في ظروف التوازن الحراري العادية يكون عدد الالكترونات في المستوى الأدنى أكبر من عددها في المستوى الأعلى. ونحن بحاجة إلى عكس هذا الواقع إذا أردنا أن يتحقق تضخيم الضوء، تسمى هذه الظروف المعكوسة بالإنقلاب السكاني .

1-6 آلية الضخ الضوئية:

لتحقيق الإنقلاب السكاني، يجب زيادة عدد الالكترونات في المستوى الأعلى. ويتم ذلك بتسليط إشعاع ضوئي على المادة، بحيث يساوي تواتره تواتر الانتقال بين المستويين. يسمى هذا الضوء بالضوء الضاخ . تقوم الالكترونات بامتصاص الفوتونات وترتفع من المستوى الأدنى إلى الأعلى. ولكي يتحقق شرط التوزع السكاني المعكوس يجب أن يزيد عدد الالكترونات التي ترفع من المستوى الأدنى إلى الأعلى عن نصف عددها الأصلي⁽⁷⁾. إلا أنه كلما زاد عدد الالكترونات في المستوى الأعلى فإن الإشعاع نفسه الذي يقوم بدور زيادة هذا العدد يميل إلى نقل عدد من هذه الالكترونات إلى المستوى الأدنى بفعل الإصدار المحثوث. وكلما زاد عدد الالكترونات في المستوى الأعلى زاد معدل عودة بعضها إلى المستوى الأدنى بفعل الإصدار المحثوث لدى مرور الضوء الضاخ. ولذا فإنه يستحيل تحقيق الإنقلاب السكاني بين مستويين. يمكن وصف عملية الضخ بنظام ذو ثلاث أو أربع مستويات .

1-6-1 نظام ذو ثلاث مستويات : في الجمل ذات المستويات الثلاث فإننا نستخدم الإشعاع لضخ الإلكترونات إلى مستوى أعلى من المستوى الذي نرغب أن تكون فيها. ويتم تجمع الإلكترونات بعدئذ بفعل الهبوط التلقائي لهذه الإلكترونات إلى المستوى المطلوب . لنفترض أننا بصدد تحقيق توزيع سكاني معكوس بين المستويين N_1 و N_2 الشكل (5-1).

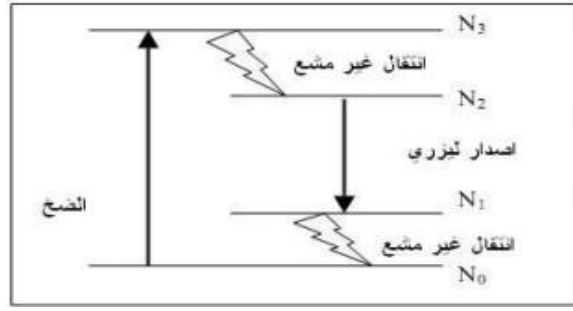
فبتسليط إشعاع ضوئي بتواتر محدد. ترتفع الإلكترونات من المستوى N_1 إلى N_3 . ولا تلبث هذه الإلكترونات أن تعود تلقائياً إلى المستوى N_2 عن طريق انتقال غير مشع، يعطي جزء من الطاقة على شكل إهتزاز للشبكة تشبه عملية استرخاء عدة فوتونات⁽⁴⁾ حيث تتراكم حتى يزيد عدد الإلكترونات في المستوى N_2 عن عددها في المستوى N_1 . بعد ذلك تنتقل إلى المستوى الأدنى N_1 مصدرة إشعاعاً وهذا هو الانتقال الليزري المتوقع .



الشكل (5-1) : نظام ذو ثلاث مستويات .

يجب أن يكون معدل الهبوط إلى المستوى N_1 من المستوى N_3 أصغر بكثير من معدل الهبوط إلى المستوى N_2 ، و إلا فإن عدد الإلكترونات الذي يتراكم في المستوى N_2 سيتناقص بمعدل لا يسمح بخلق ظروف تؤدي إلى زيادة كبيرة فيه . إن ميزة الجملة ذات المستويات الثلاث على الجملة ذات المستويين تكمن في أن تواتر الانتقال بين المستويين N_1 و N_3 يختلف عن تواتر الانتقال بين المستويين N_2 و N_1 . و عليه تواتر الإشعاع الذي يقوم بعملية الضخ لا يمكنه أن يحث الإلكترونات على الانتقال من المستوى N_2 ⁽⁷⁾.

1-6-2 نظام ذو أربعة مستويات : يمكن الحصول على الانقلاب السكاني بسهولة في حالة المستويات الأربعة، عنها في حالة المستويات الثلاث، التي تستوجب تفرغ المستوى الأساسي من نصف عدد الذرات الفعالة، قبل إمكانية الحصول على الانقلاب السكاني، أما الليزر التي تشمل إنتقالات على أربعة مستويات يمكنها الاشتغال بكفاءة أعلى.



الشكل (1-6): نظام ذو أربعة مستويات .

تبدأ الإنتقالات من المستوى الأساسي N_0 ، ومنه ترتفع الذرات عن طريق الضخ الضوئي إلى المستوى N_3 ، (و هنا يجب أن يكون هذا المستوى عريضاً كما هو الحال في الليزر ذات الثلاثة مستويات) و يحدث بعدها انتقال سريع للذرات من N_3 و يكون عموماً غير مشع (استرخاء) نحو المستوى N_2 ، الذي يعتبر المستوى البدئي للانتقال الليزري، الذي يأخذ الذرات إلى مستوى وسطي (المستوى N_1) و عموماً يكون هذا المستوى فارغاً، و لهذا يمكن للانقلاب السكاني أن يبدأ مع وجود عدد بسيط من الذرات في المستوى N_2 ، وأخيراً تنتقل الذرات من N_1 إلى N_0 بانتقال غير مشع (إسترخاء عدة فونونات) يعطي جزء من الطاقة على شكل إهتزاز للشبكة .

7-1 خصائص أشعة الليزر :

بما أن أشعة الليزر عبارة عن أشعة ضوئية مركزة ، فإنها تخضع لقوانين الضوء من حيث الانعكاس ، الانكسار و الانحراف بواسطة المرايا و العدسات و المناشير الزجاجية .
فأهم الخصائص التي تتميز بها أشعة الليزر عن الأشعة الضوئية هي :

- ◆ **أحادية اللون** : يكون الضوء الناتج من الليزر أحادي اللون ، بينما الضوء الأبيض الناتج من الشمس يتكون من ألوان الطيف المرئية ، و يوجد حالياً أنواع من الليزر تنتج جميع الألوان الطيفية المرئية منها و غير المرئية ، مثل الأشعة تحت الحمراء و فوق البنفسجية.
- ◆ **شدة الشعاع** : شدة الشعاع عالية و مركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز 1 mm وعند استخدام البصريات الملائمة يكمن تعريضها وفق الحاجة .
- ◆ **النقاء الطيفي** : فشعاع الليزر حزمة ضوئية غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي فأشعة الضوء المنبعثة من المصادر الضوئية العادية كالنيون وهي ما تستخدم في الإنارة هذه الأشعة على الرغم من وصفها بأنها وحيدة الطول الموجي ، إلا أنها في الواقع تحتوي على أطوال موجية أخرى حول الطول الموجي الرئيس ، أي أن الاتساع الطيفي

لشعاع الليزر ضئيل للغاية مقارنة بالمصادر العادية للضوء و لهذا فإنه غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي أو التردد.

◆ **تركيز الأشعة :** شعاع الليزر عبارة عن حزمة ضوئية رفيعة جداً، إذ أن زاوية انفراسها صغيرة جداً، وتسير هذه الأشعة في خطوط مستقيمة، أقرب ما تكون إلى التوازي، ويصاحب عدم انفراس الأشعة بريق شديد، ضار بالعين إذا ما استقبلته مباشرة، بينما مصادر الضوء الأخرى تشع ضوءها في جميع الاتجاهات. وهذا يعني أن حزمة الليزر لا تفقد شدتها إلا ببطء شديد .

◆ **ترابط وتماسك فوتونات الأشعة :** من الخصائص المهمة لأشعة الليزر ترابط وتماسك الفوتونات المكونة لها. والأشعة الضوئية تصدر عن إثارة العناصر، وتبعث منها فوتونات لها طول موجي واحد، يحدده منسوباً طاقة الذرة التي انتقلت بينها هذه الفوتونات. وملايين هذه الانتقالات، التي تحدث في ملايين الذرات المثارة، ينبعث عنها ملايين الفوتونات، وتظهر للعين المجردة أشعة ضوئية، ويلاحظ هنا عدم وجود رابطة بين الفوتونات المنبعثة. ويمكن تشبيه الأشعة العادية بأصوات منطلق من ملايين المصادر المتماثلة، ولها التردد نفسه، ولكنها لا تصدر في وقت واحد، وبهذا فإنها تسمع من بعد وكأنها ضجيج، في حين أنه إذا انطلقت هذه الأصوات في الوقت نفسه، فإنها تصبح حادة، شديدة الأثر.

1-8 أنواع أشعة الليزر :

يصنف الليزر تبعاً لنوع مادة الوسط الفعال فيها، فبعض أنواع الليزر تتميز بـكبر القدرة الناتجة عنها مثل (ليزر ثاني أكسيد الكربون) الذي يعتبر من أخطر أنواع الليزر ، بسبب قدرته العالية التي تصل إلى عشرات الكيلو واط ، وهذه القدرة الكبيرة أوحى بتسميته بأشعة الموت ، ويستخدم لقطع المعادن وفي تطبيقات صناعية مختلفة . كما توجد أنواع أخرى من الليزر ضعيفة جداً ، مثل تلك التي تستخدم في الحياة اليومية في المؤشرات ، وهذه عادة تكون ليزر ثنائي الوصلة.

وفيما يلي أهم أنواع الليزر⁽⁸⁾:

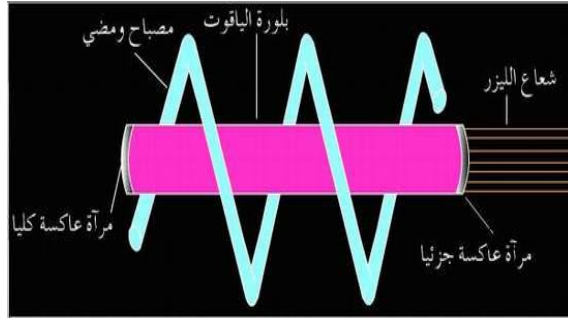
1-8-1 ليزر الحالة الصلبة (Solid-state laser) :

وفي هذه الحالة تتوزع مادة الليزر في مصفوفة صلبة مثل ليزر الياقوت (Ruby laser) وليزر النيوديميوم – ياج (neodymium –Yag).

- **ليزر الياقوت :** صُنِع أول جهاز ليزر بنجاح في عام 1960 و كان ليزر الياقوت . والياقوت بلورة لونها أحمر تتكون من أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) المطعمة بأيونات الكروم الثلاثية (Cr^{+3}).

وتكون أيونات الكروم هي المسئولة عن توليد مستويات طاقة جديدة داخل التركيب البلوري وتكون مؤثرة أيضاً في عمليات الانتقال المصحوبة بتوليد الليزر.

ويتم في أنبوب توليد الليزر استخدام بلورة بشكل اسطوانة وتقطع نهايتها المتقابلتين وتُطليان بالفضة ليتكون مرآتان من نفس المادة وتشكل هاتين النهايتين مرآتين إحداها عاكسة كلياً والأخرى عاكسة جزئياً.



الشكل (1-7): توليد الليزر باستخدام بلورة .

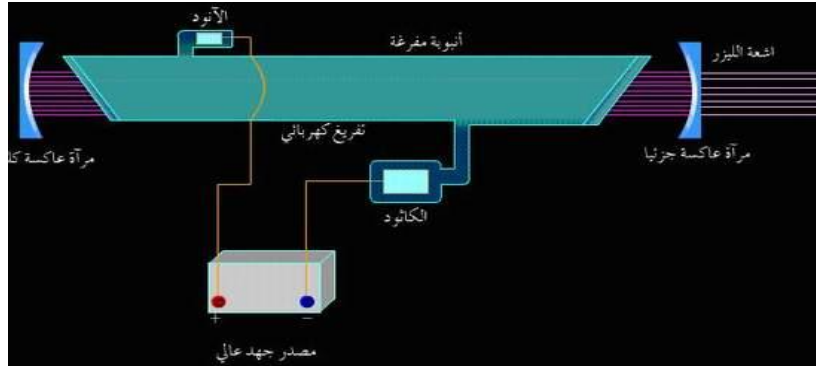
ويستخدم مصباح ومضى لولبي ليحيط بالياقوت ، وعندما يبعث المصباح وميضاً عالي الشدة فإن أيونات الكروم تمتص الضوء الصادر ويرتفع عدد كبير من هذه الأيونات إلى مستويات الطاقة العليا . وعند هبوطها إلى مستوى الحالة شبه المستقرة يتحقق شرط التوزيع المعكوس ويتولد شعاع الليزر عند هبوطها إلى مستوى الطاقة الأول (Ground state) تكون أشعة الليزر الناتجة هنا ذات لون أحمر طولها الموجي 694 نانومتر.

- ليزر النيوديميوم - ياج : يعد هذا الليزر من أهم أنواع الليزر الموجودة حالياً ، ويتفوق على ليزر الياقوت بكثير من المزايا ، وكلمة الياج هي مختصر لمادة بلورية هي (Yttrium Aluminum Garnet) $(Y_3Al_5Q_2)$ وتطعم هذه البلورة بأيونات النيوديميوم (Nd^{+3}) بنسبة 2.5% حيث تحل هذه البلورة محل أيونات الاتريوم الموجودة في الياج .

2-8-1 ليزر الحالة الغازية (Gas lasers) :

ومن أهم أنواع هذا الليزر هو ليزر الهيليوم - نيون (Helium Neon laser) - وليزر ثاني أكسيد الكربون (CO_2) .

- ليزر الهيليوم - نيون : ويتكون وسط الليزر هنا من خليط من غاز النيون وغاز الهيليوم $\frac{1}{10}$. ويوضع الخليط في أنبوبة مغلقة مفرغة.



الشكل (1-8): عملية الضخ باستخدام عملية تفريغ كهربائي .

تم عملية الضخ باستخدام عملية تفريغ كهربائي (فرق جهد عال يسلط بين الكاثود والأنود). وتقوم الإلكترونات الناتجة عن مرور التيار بواسطة التفريغ الكهربائي بالتصادم مع ذرات الهيليوم حيث تنقلها إلى مستويات الطاقة العليا ، ثم بتصادم ذرات الهيليوم مع ذرات النيون يمكن أن تنتقل الطاقة إلى ذرات النيون والتي تنتقل بدورها من مستوى الطاقة الأول إلى مستوى طاقة أعلى E_3 .

وبهذا يتم تحقيق التوزيع المعكوس لذرات النيون . وعندئذ يحدث الانبعاث المستثار إلى مستوى الطاقة (E_3) لذرة النيون لتنتقل الذرة إلى المستوى (E_2) باعثة حزمة الليزر ذات اللون الأحمر بطول موجي 633 nm . وتعتبر كفاءة هذا الليزر منخفضة جداً ، ولا تتعدى أعلى قدرة له (50 mW) . لكن استخداماته واسعة جداً بسبب طول الموجي المرئي وانفراجيته الصغيرة.

- ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO_2 - laser) :

يعتبر ليزر ثاني أكسيد الكربون من أهم أنواع الليزر ، بسبب كفاءته العالية التي تبلغ 30% وكبر القدرة الناتجة عنه بسبب أن هذا الليزر يصدر إشعاعاً في منطقة الأشعة تحت الحمراء ومنطقة الميكرويف . وبسبب الحرارة العالية الصادرة عن هذا الليزر فإنه يصهر كل شيء يعترضه.

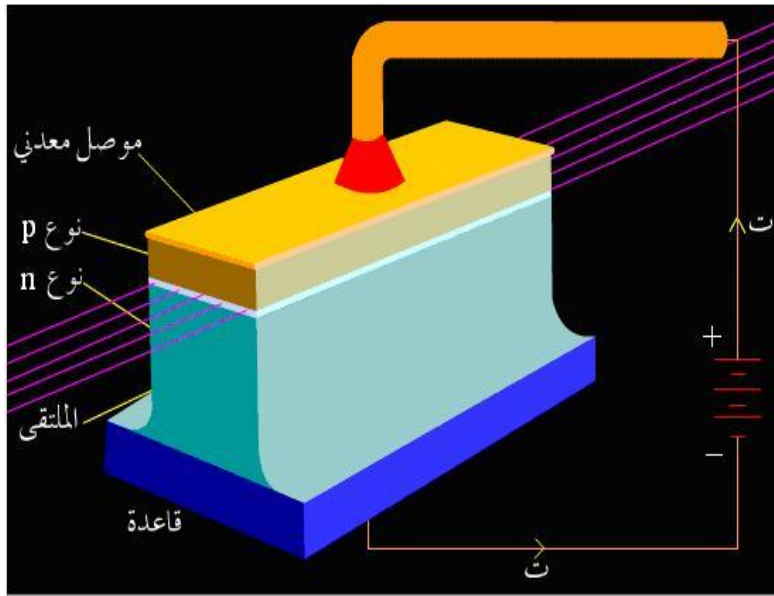
3-8-1 ليزر الحالة السائلة ($\text{Dye} - \text{lasers}$) :

وتستخدم هذه الليزر بعض الصبغات العضوية المعقدة، مثل استخدام الرودومين (Rhodamine G6) في محلول سائل كوسط لليزر ، وتميز هذه الليزر بأننا يمكن الحصول منها على مدى واسع من الأطوال الموجية .

4-8-1 الليزر شبه الموصل (Semiconductor or diode – lasers) :

يختلف الليزر شبه الموصل عن ليزر الحالة الصلبة في طريقة تمثيل مستويات الطاقة، وبالتالي ميكانيكية الضخ و عملية الانبعاث الضوئي، حيث يحتوي ليزر شبه الموصل على حزم عريضة من مستويات الطاقة بدلاً من المستويات المفردة التي تحدث بينها الانتقالات التي تشارك في عملية انبعاث الليزر . وكل حزمة من هذه الحزم تحتوي على عدد كبير من مستويات الطاقة المتقاربة والتي لا يقترن وجودها بذرات معينة وإنما تشترك فيها المادة البلورية كلها.

إن ليزر شبه الموصل عبارة عن وصلة ثنائية (P-N junction) وأكثر أنواعه شيوعاً هو زرنيخيد الجاليوم (Ga As) وشعاع الليزر الذي يبعثه يقع في منطقة تحت الحمراء وهو ضوء غير مرئي.



الشكل (1-9): الليزر شبه موصل .

5-8-1 الإكسايمر (Excimer lasers) :

والاسم بالانجليزية مشتق من excited (المثارة) و (dimmers) الضوء القصير المدى . ويستخدم هذا النوع خليط من غازات غير خاملة مثل الكلور والفلور ، وغازات خاملة مثل الأرجون ، الكريبتون ، والزينون . وباستخدام التفريغ الكهربائي يمكن إنتاج جزيء وهمي يصدر ضوءاً قصير المدى ويكون الطول الموجي المميز له في منطقة الضوء فوق البنفسجي . والجدول التالي يوضح بعض أنواع الليزر والطول الموجي لشعاع الليزر الناتج :

والجدول التالي يوضح بعض أنواع الليزر والطول الموجي لشعاع الليزر الناتج :

نوع الليزر	منطقة الإشعاع	الطول الموجي (nm)
أرجون-فلور	فوق البنفسجية	193
كربون-فلور	فوق البنفسجية	248
النيتروجين	فوق البنفسجية	337
الأرجون	الأزرق	448
الأرجون	الأخضر	514
الهيليوم-نيون	الأخضر	542
الهيليوم-نيون	الأحمر	733
الرودمين G6	متغير	650-570
نوديميوم ياج	تحت الحمراء القريبة	1064
ثاني أكسيد الكربون	تحت الحمراء البعيدة	10600

الجدول (1-1): بعض أنواع الليزر والطول الموجي لشعاع الليزر

9-1 تطبيقات أشعة الليزر :

يستخدم الليزر حاليا في مجالات متعددة فمن بين التطبيقات التي يستخدم فيها مايلي :

- ✓ تطبيقات طبية : عمليات الجراحة، اعتلال الشبكية السكري، الزرق (إرتفاع ضغط العين) ... إلخ .
- ✓ تطبيقات صناعية : القياسات measurements و في الترتيب للأجهزة البصرية و أنابيب الضخ وخطوط الكهرباء و استخدم في مجال التصنيع كالقطع واللحام والصهر والتبخير وفي تصنيع الدوائر الإلكترونية المتكاملة.
- ✓ تطبيقات الحياة اليومية: لليزر تطبيقات عديدة في مجال استخدامات الحياة اليومية كالأقراص المضغوطة، الكمبيوتر الضوئي، الوسائط المستخدمة في عمل طابعة الليزر... إلخ .
- ✓ تطبيقات عسكرية: فقد استخدم الليزر في التصويب واستخدامه في التفجير عن بعد أو توجيه القذائف وفي تعقب الهدف مهما كانت سرعته وقدرته على تغيير وجهته وفي الأسلحة .

خاتمة :

في هذا الفصل، قدمنا نظرية الليزر و تفاعل المادة مع الإشعاع الكهرومغناطيسي و التضخيم الضوئي، فالليزر إكتشاف مثير غير الكثير من حياتنا، لذلك يجب الإستفادة منه في تسهيل الأمور و حفظ الوقت و ذلك عن طريق الإختراع و تشجيع البحث العلمي، فلتشغيل أنظمة الليزر عالية الطاقة بإستمرار نستخدم الضخ بالطاقة الشمسية يعد تقنية مميزة و غير مكلفة و رخيصة كون طاقة الضخ مجانية فهذا ما سنتطرق له في الفصول القادمة أي سنقوم بتحويل أشعة الشمسية إلى أشعة الليزر دون تحويلها إلى طاقة كهربائية، يوفر عدد قليل من الخطوات لتحويل الطاقة، و بالتالي سيكون أكثر كفاءة و فعالية .

الفصل الثاني

(الإشعاع الشمسي و المركبات الشمسية)

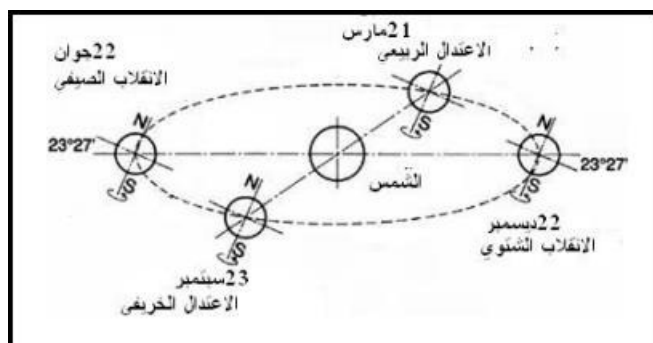
1-2 مقدمة :

الإشعاع الشمسي يعد المصدر الرئيسي للطاقة إذ يساهم بأكثر من 99.97% من الطاقة المستغلة بالغللاف الجوي و على سطح الأرض أما المصادر الباقية للطاقة و المتمثلة بطاقة باطن الأرض و طاقة النجوم و المد و الجزر فإنها لا تسهم إلا بقسط ضئيل جدا لا يزيد عن 0.03%. و يعرف الإشعاع بأنه انتقال الطاقة غير المحسمة وانتشارها كما هو الحال في الطاقة الحرارية و الضوئية و الكهرومغناطيسية ، و أحيانا يطلق على هذا النوع من الإشعاع اسم الإشعاع الأثيري مصدره الشمس .

يستقبل كل موضع من سطح الأرض الإشعاع الشمسي من شروق الشمس إلى غاية غروبها بزاوية ورود تتأثر بمختلف الزوايا الشمسية الناتجة عن حركة الشمس و الأرض كما تتغير شدة الإشعاع الشمسي المباشر مكانا حسب الموضع من سطح الأرض و زمانا على مدار اليوم (من الشروق إلى الغروب) و على مدار السنة (الأشهر الشمسية)، و لتقدير شدة الإشعاع الشمسي التي تصل سطح الأرض فإننا بحاجة في هذا الفصل إلى التعرف على مختلف الزوايا الشمسية .

2-2 حركة الأرض حول الشمس :

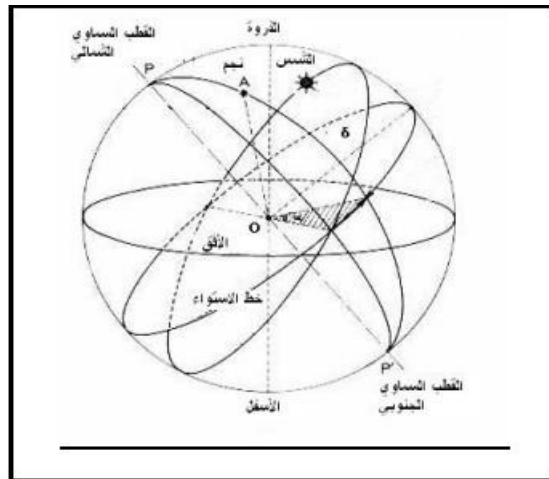
تدور الأرض حول الشمس في مدار بيضاوي اهليجي « elliptique » يسمى مدار أو فلك الأرض في مدة 365.25 يوم. وتقدر المسافة بين الأرض و الشمس ب $1,49675 \cdot 10^8$ Km .
وتبلغ هذه المسافة قيمتها الدنيا في 22 ديسمبر و قيمتها القصوى في 22 جوان أنظر الشكل (1-2) (9) .



شكل (1-2): حركة الأرض حول الشمس .

3-2 القبة السماوية :

الكرة السماوية هي دائرة وهمية ذات قطر كبير، مركزها الأرض. يعتبر أن كل الأجسام المرئية في السماء تقع على سطح الكرة السماوية. يمكن تلخيص مختلف الخصائص على الكرة نفسها كما هو مبين في الشكل (2-2) (1)



شكل (2-2): الكرة السماوية .

2-4 الإحداثيات السماوية :

2-4-1 الإحداثيات الأرضية :

الأرض عبارة عن كرة تدور حول محور ثابت يمر بقطب شمالي (P_N) و قطب جنوبي (P_S) تتميز كل نقطة من الأرض بخط طول وعرض، يمثل هذان البعدان الإحداثيات الجغرافية لهذه النقطة. وكذلك لكل نقطة ارتفاع. انظر الشكل (2-3).

أ- خطوط الطول (**Longitude**) : هي خطوط وهمية على هيئة أنصاف دوائر يبلغ عددها 360 خط و قد تم الاتفاق على اتخاذ الخط الذي يمر بجرينتش (**Greenwich**) كخط أساسي ورقمه 0° والخط المقابل له في الجهة الثانية يسمى خط الزوال فيكون هناك 180 خط شرق جرينتش و 180 خط غربها. يعين خط الطول بالحرف " λ ".⁽⁹⁾

* خطوط طول غربية $0^\circ < \lambda$.

* خطوط طول شرقية $0^\circ > \lambda$.

تنهي الأرض دورتها حول محورها أمام الشمس خلال 24 ساعة بقطع 360 خط أي أن الفرق بين خط طول و آخر يوافق 4 دقائق.

يوافق خط الطول لورقلة : 5.24° شرقا

ب- دوائر العرض (**Latitude**) :

هي دوائر وهمية متوازية أهم خط فيها هو خط الاستواء (**l'équateur**) الذي يمر في منتصف الكرة الأرضية ويبلغ عددها 180 و تتراوح قيمها بين عند خط الاستواء 0° و 90° عند القطب الشمالي و -90° عند

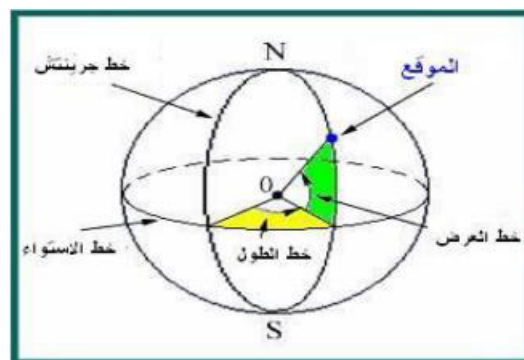
القطب الجنوبي، تعين دوائر العرض بالحرف " φ " .

فمن أجل مدينة ورقلة يوافق : 31.57° شمالا

ت- الارتفاع (The altitude) :

لكل نقطة إرتفاع يوافق المسافة العمودية بينها وبين سطح مرجعي نظري (مستوى سطح البحر) و يقدر عادة بالمتر⁽⁹⁾.

فمن أجل مدينة ورقلة يوافق الارتفاع 141 م .



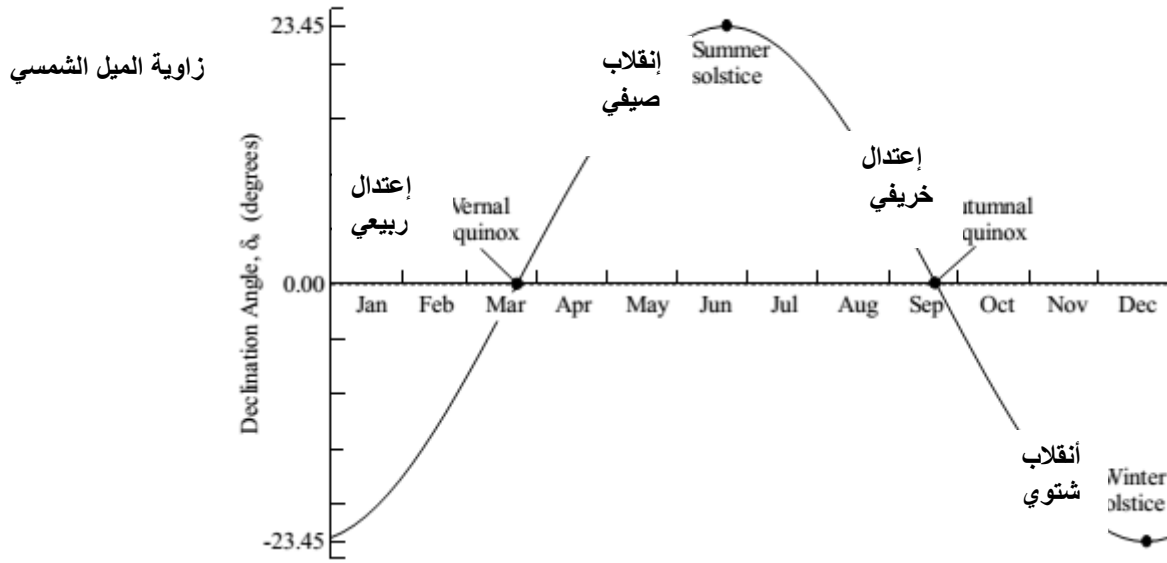
الشكل (2-3): الإحداثيات الأرضية⁽⁹⁾

2-4-2 الإحداثيات الإستوائية :

أ- إنحراف الشمس : تتغير زاوية سقوط أشعة الشمس على خط الاستواء على مدار السنة بين القيمتين $+23,45^\circ$ (الانقلاب الصيفي، 22 جوان) و $-23,45^\circ$ (الانقلاب الشتوي، 22 ديسمبر) وتنعدم قيمتها في الاعتدالين الربيعي و الخريفي (21 مارس و 23 سبتمبر) و تحسب هذه الزاوية بالعلاقة التالية⁽⁹⁾:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \frac{360}{365} (284 + N_j) \quad (1-2)$$

حيث N_j يمثل رقم ال0 يوم من السنة الشمسية ($N_j = 1, 2, \dots, 365$).



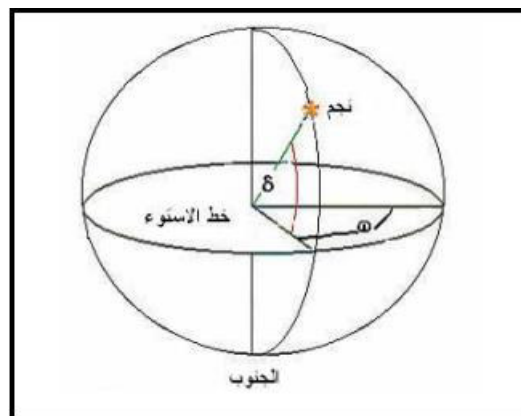
الشكل (2-4): بيان تغيرات زاوية الميل الشمسي خلال ايام السنة

ب- الزاوية الساعية : من أجل يوم محدد، يعتبر الانحراف ثابت، في الكرة السماوية، ترسم الشمس إذن دائرة صغيرة، موازية لخط الإستواء، بسرعة زاوية ثابتة خلال دورة واحدة 24سا، في الزمن t الزاوية الساعية للشمس تعطى بالعلاقة

$$w = 15(TVs - 12) \quad (2-2) \quad (9)$$

حيث TV_s يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي الذي يعتمد الزوال الشمسي في المنطقة ($w=0$) عند الساعة 12:00

زوالا. و تكون $W > 0$ مساء بينما تكون $W < 0$ صباحا .



الشكل (2-5): الإحداثيات الإستوائية⁽¹⁾

3-4-2 الإحداثيات الأفقية :

أ- زاوية الارتفاع h : هي الزاوية التي يصنعها الشعاع الشمسي الوارد إلى النقطة من سطح الأرض مع المستوى

الأفقي المار بالنقطة حيث تكون $h=0$ عند الشروق و الغروب كما يبين الشكل (2-6) وتعطى بالعلاقة:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos w \quad (3 - 2)$$

ب- زاوية الذروة θ_z : هي الزاوية بين الشعاع الشمسي الوارد للنقطة من سطح الأرض والناظم على المستوى

الأفقي في تلك النقطة كما يبين الشكل (2-6) حيث:

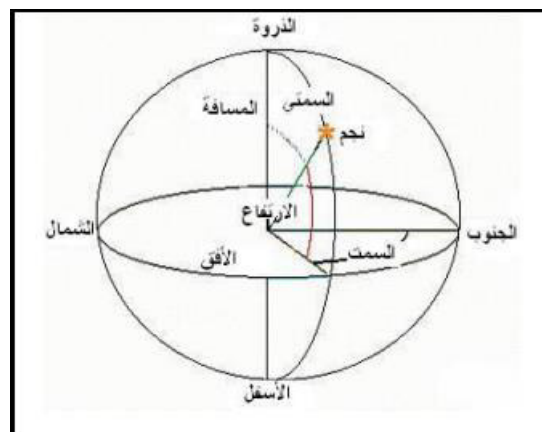
$$\theta_z + h = 90^\circ \quad (4 - 2)$$

ت- زاوية السميت الرأسي a : هي الزاوية التي يصنعها مسقط الشعاع الوارد للنقطة من سطح الأرض على

المستوى الأفقي مع المحور المتجه للجنوب عند هذه النقطة, و تكون هذه الزاوية موجبة إذا كانت نحو الغرب و

تكون سالبة إذا كانت نحو الشرق كما يبين الشكل (2-6), وتعطى بالعلاقة (10):

$$\cos a = \frac{\sin h \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h \cos \varphi} \quad (5 - 2)$$



الشكل (2-6): الإحداثيات الأفقية

2-5 الإشعاع الشمسي :

الإشعاع الشمسي هو الإشعاع الحراري الذي ينتشر في شكل أمواج كهرومغناطيسية خارج الغلاف الجوي الأرضي و يقدر الثابت الشمسي ب $I_0 = 1366.1 \text{ W/m}^2$ (11).

و خلال أيام السنة تعطى علاقة التصحيح للثابت الشمسي (12) :

$$I = I_0 \left[1 + 0.034 \cos \left[(N_J - 2) \frac{360}{365} \right] \right] \quad (6 - 2)$$

2-5-1 الشمس : الشمس أحد النجوم المتوسطة الحجم، ويتم إنتاج الطاقة الشمسية عن طريق تفاعلات الاندماج النووي. حيث يتحول الهيدروجين إلى هيليوم، وتتواجد في صورة بلازما ويبلغ قطرها $1.39 \times 10^9 \text{ m}$ و تبعد عن الأرض حوالي $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ (2). تبلغ درجة حرارة الغلاف الشمسي نحو 5777 K و تتراوح درجة حرارة المناطق الداخلية بين 8×10^6 - $40 \times 10^6 \text{ K}$ (2).

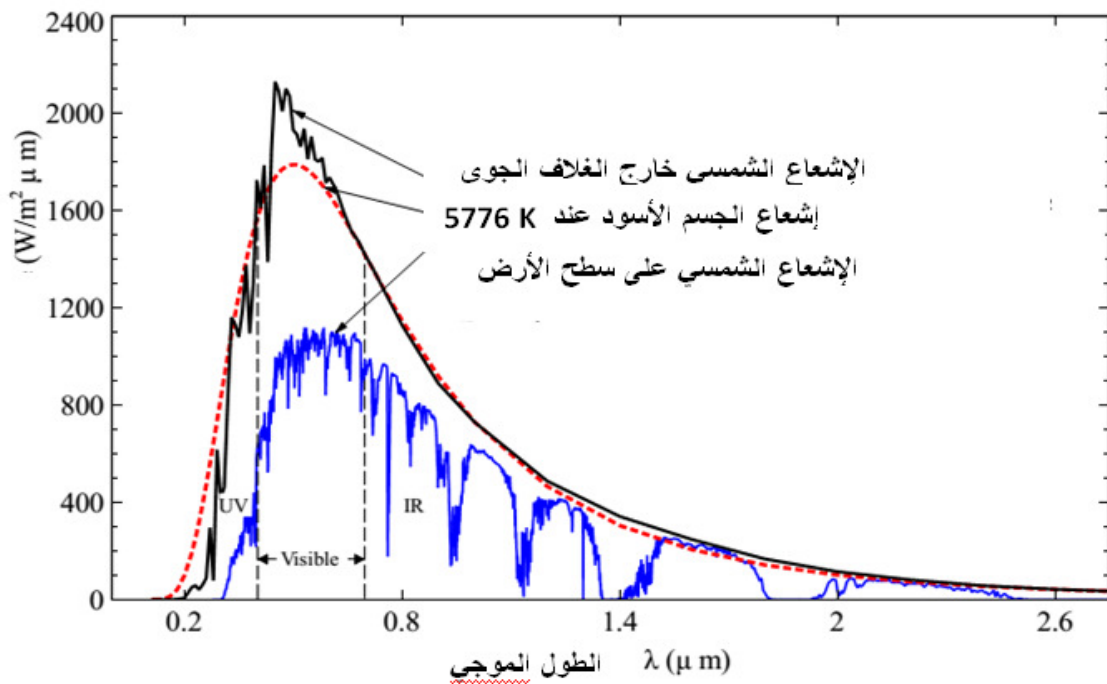
تستغرق الشمس في دوراتها حول محورها 30 يوماً بالنسبة للمناطق القطبية، بينما تستغرق دورة المناطق القريبة من خط استواء الشمس مدة 27 يوماً ويعود هذا الاختلاف لكون جسم الشمس ليس بصلب (2). تصل الطاقة الشمسية إلى الأرض في شكل إشعاع كهرومغناطيسي ذي أطوال موجية تتراوح من $(0.3 - 3 \mu\text{m})$: الأشعة فوق البنفسجية (أقل من $0.38 \mu\text{m}$) و الأشعة المرئية $(0.38 - 0.78) \mu\text{m}$ و الأشعة تحت الحمراء (أكثر من $0.78 \mu\text{m}$). و تتركز معظم هذه الطاقة في الإشعاع المرئي و الأشعة تحت الحمراء ذات الطول الموجي القريب من المرئي كما يوضح الجدول (2-1) التالي :

المجال	الطول الموجي (μm)	النسبة %	شدة الإشعاع الشمسي W/m^2
الأشعة فوق البنفسجية UV	0.38 - 0	7	95
الأشعة المرئية Visible	0.78 - 0.38	47,29	640
الأشعة تحت الحمراء IR	3.0 - 0.78	45,71	618

الجدول (2-1): الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض (13)

2-5-2 التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي : التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي في نطاق $(0.2 - 50) \mu\text{m}$, بينما يتراوح هذا النطاق على سطح الأرض $(0.3 - 3) \mu\text{m}$, بسبب تشتت و انتشار الإشعاع أثناء إختراقه لمكونات الغلاف الجوي من جزيئات الهواء وبخار الماء و الغبار. حيث درجة الانتشار الحادث حسب نظرية رايلي تتعلق بعدد الجسيمات التي يمر بها الإشعاع, و حجم الجسيمات بالنسبة للطول الموجي للإشعاع الشمسي, و بذلك يكون تشتت رايلي كبير في الأطوال الموجية القصيرة أقل من $(0.6 \mu\text{m})$. و يتم في الغلاف الجوي امتصاص الأشعة فوق البنفسجية القصيرة أقل من $(0.29 \mu\text{m})$ من طرف الأوزون أما الأشعة تحت الحمراء فتمتص من طرف بخار الماء و $\text{CO}_2^{(13)}$, وهذا ما يوضحه الشكل (7-2):

الإشعاع الطيفي



الشكل (7-2) : الطيف الشمسي

3-5-2 أنواع الإشعاع الشمسي : يتعرض الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى الأرض إلى عدة آليات في الغلاف الجوي الأرضي دون أن يغير اتجاهه ، ويسمى حزمة الإشعاع المباشر، أما الإشعاع الذي يتم تغيير اتجاهه عن طريق التشتت والانعكاس يدعى الإشعاع المنتشر، ومجموع الإشعاع المباشر والمنتشر يدعى الإشعاع الكلي .

أ- الإشعاع المباشر : تعطى عبارة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد من الشمس إلى سطح الأرض ناظماً بعد اختراقه للغلاف الجوي بالعلاقة (14) :

$$I_b = I[a_0 + a_1 e^{-K.AM}] \quad (7 - 2)$$

حيث a_0 و a_1 و K ثوابت تجريبية تعطى من طرف Duffie و Beckman بالعلاقات التالية (15) :

$$a_0 = 0.94[0.4237 - 0.00821(6 - Z)^2]$$

$$a_1 = 0.98[0.5055 - 0.00595(6.5 - Z)^2]$$

$$K = 1.02[0.2711 - 0.01858(2.5 - Z)^2]$$

حيث: Z ارتفاع المنطقة فوق سطح البحر معبراً عنها بالكيلومتر (Km).

$$AM = \frac{1}{\sin h} : \text{الكتلة الهوائية الضوئية .}$$

I الثابت الشمسي , أما في حالة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يرد بزاوية i على سطح مائل تعطى عبارته بالعلاقة :

$$I_{bt} = I_b \cos i \quad (8 - 2)$$

ب- الإشعاع الشمسي المنتشر : وهو الناتج عن تشتت الإشعاع الشمسي بفعل مكونات الغلاف

الجوي وتعطى عبارته في حالة سطح أفقي بالعلاقة (16) :

$$I_d = I \sin h [0.2710 - 0.2939(a_0 + a_1 e^{-K.AM})] \quad (9 - 2)$$

حيث أن الإشعاع المنتشر لا يتأثر بتصميم وتركيز المجمع الأسطواني القطع مكافئ بخلاف الإشعاع المباشر .

ت- الإشعاع الكلي : هو مجموع الإشعاع المباشر و المنتشر و يحسب في حالة الإشعاع ناظمي $i = 0$

بالعلاقة :

$$G = (1270 - 56T_L)(\sin h)^{\frac{T_L+36}{33}} \quad (10 - 2)$$

حيث T_L معامل الاضطراب للغلاف الجوي وتعطى صيغته :

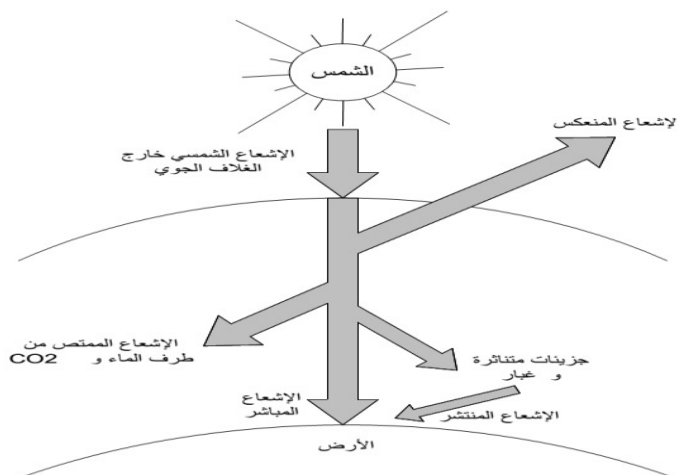
$$T_L = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (11 - 2)$$

حيث β_A معامل أنغيشتروم و W إرتفاع الماء المكثف و قيمهما تتغير حسب الحالة الجوية كما هو موضح بالجدول

(2-2) :

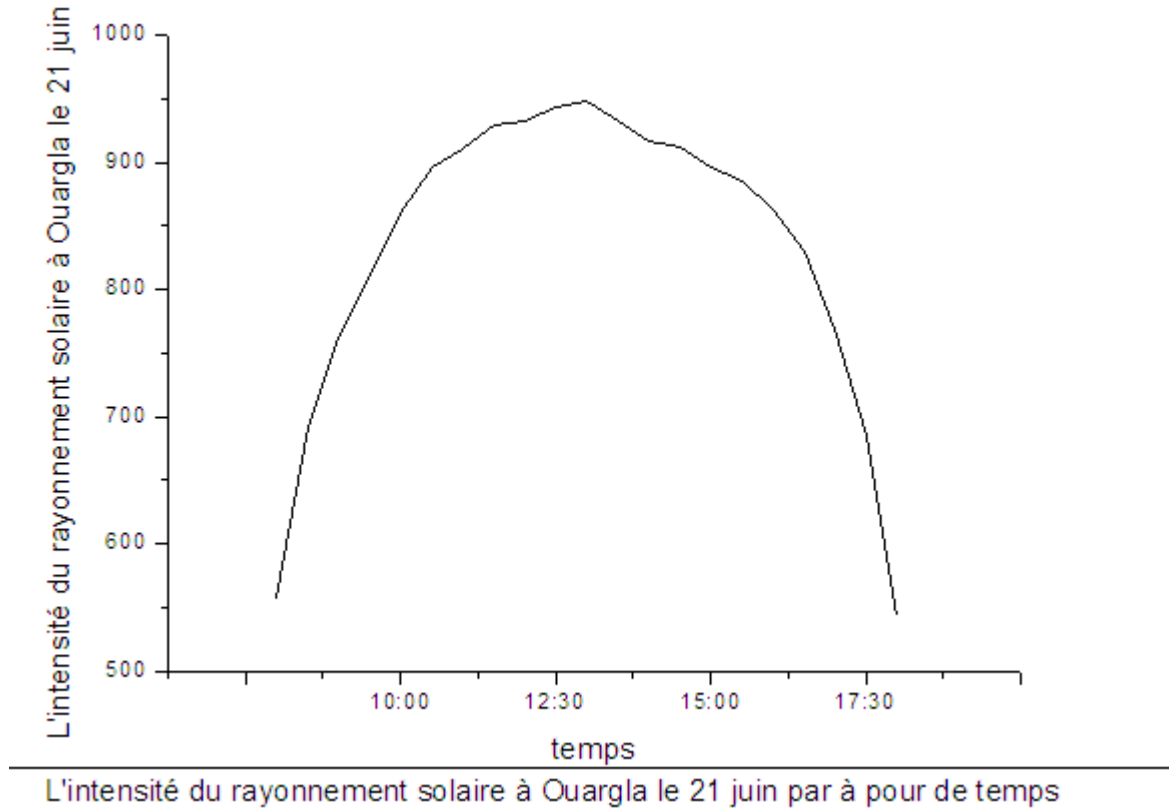
سواء صافية (زرقاء)	سواء متوسطة	سواء مضطربة (بيضاء)	
0.05	0.1	0.2	β_A
1cm	2cm	5cm	W

الجدول (2-2) : قيم معامل الاضطراب وارتفاع الماء المكثف⁽¹⁷⁾



الشكل (2-8) : مخطط يوضح وصول الإشعاع الشمسي الى سطح الارض

4-5-2 تقدير الإشعاع الشمسي : شدة الإشعاع الشمسي الواصلة لمدينة ورقلة خلال يوم 21 جوان من الشروق إلى غاية الغروب .



الشكل (2-9): الإشعاع الشمسي لمدينة ورقلة بدلالة الزمن

6-2 المركبات الشمسية :

تعرف المركبات الشمسية بأنها أجهزة خاصة لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو كهربائية يمكن استخدامها لأغراض متعددة .

1-6-2 طرق تجميع واستقبال الأشعة الشمسية : يتم تجميع الإشعاع الشمسي بواسطة المجمعات الشمسية من خلال طريقتين:

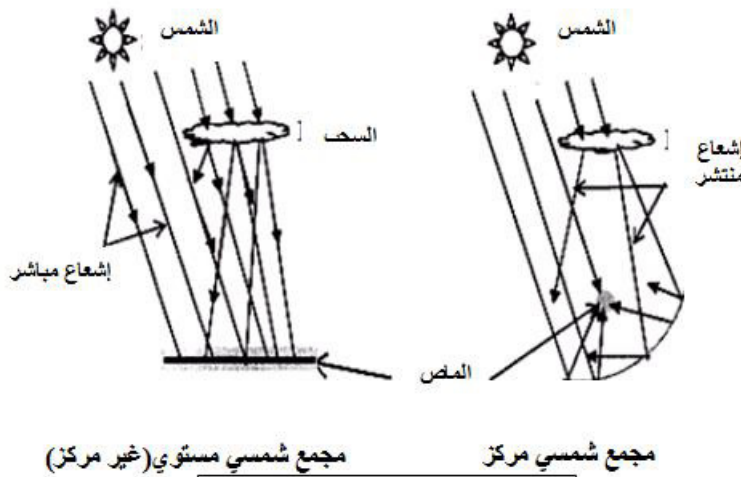
❖ التجميع غير المركز : المجمعات الشمسية المستوية تستقبل الإشعاع الشمسي المباشر و المنتشر في جميع الاتجاهات

من دون تركيز (أي بتركيز يساوي 1) ليتم تحويله إلى حرارة بواسطة الممتص ثم تنتقل الحرارة إلى المائع الناقل

للحرارة و بفضل الاحتباس الحراري الذي يفرضه الغطاء الزجاجي الخارجي العاتم للإشعاع تحت الأحمر تقل الضياعات الحرارية .

❖ التجميع المركز : أما في حالة المجمعات المركزة فيحدث تركيز للإشعاع الشمسي المباشر الوارد على سطح افتتاح

المجمع بعد عملية الانعكاس على السطح العاكس نحو المحرق (البؤرة) والتي توافق السطح الماص وبنفس الطريقة يحدث تحويل الإشعاع الشمسي المركز إلى الحرارة بواسطة الممتص.



الشكل (2-10): طرق تجميع و إستقبال الأشعة الشمسية

2-6-2 خصائص المجمعات المركزة :

أ- التركيز: تتميز المركبات الشمسية بنسبة تركيز الإشعاع الشمسي الوارد على سطح فتحة الدخول نحو البؤرة

(سطح الماص) وتعتبر من أهم المعايير التي تقيم من خلالها عمل المركبات وتعرف بطريقتين (18) :

❖ نسبة التركيز الهندسي CI : وهي نسبة مساحة فتحة الدخول (سطح استقبال الإشعاع الشمسي) إلى

$$Cr = \frac{S_b}{S_r} \quad : \text{مساحة فتحة الخروج (سطح الماص)}$$

❖ نسبة تركيز التدفق الشمسي C : وهي نسبة شدة تدفق الإشعاع الشمسي على فتحة الخروج (سطح

$$C_{flux} = \frac{P_r}{P_b} \quad : \text{المصاص إلى شدة تدفق الإشعاع الشمسي على فتحة الدخول (سطح الاستقبال)}$$

ب- المردود : مردود المجمع الشمسي الكلي هو النسبة بين الطاقة الحرارية التي امتصها المائع وسيط التسخين خلال زمن محدد وطاقة الإشعاع الشمسي التي استقبلها سطح المجمع الشمسي خلال نفس الزمن وذلك تحت شروط حالة الاستقرار وهي الحالة التي يكون فيها مجموع تدفق الحرارة الممتصة من طرف المائع وسيط التسخين وتدفق الضياع الحراري يساوي تدفق الإشعاع الشمسي الوارد على سطح المجمع .

ويتميز المركز الشمسي بمردود للعمليات الضوئية (مردود ضوئي) و مردود للعمليات الحرارية (مردود حراري) :

❖ المردود الضوئي : هو نسبة شدة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأنبوب الماص (فتحة الخروج) إلى

شدة الإشعاع الشمسي الوارد على سطح الاستقبال (فتحة الدخول) ويتعلق بمعامل نفاذ كل من الغطاء الزجاجي و الظرف الزجاجي ومعامل انعكاس السطح العاكس و يبرز هذا المردود العيوب الضوئية للمواد المكونة للمركز الشمسي وكذا الضياع الضوئي الناجم عن عدم تركيز الإشعاع الشمسي المنتشر و تعطى عبارته :

$$\eta_{optique} = \left[\frac{I_b + \frac{1}{Cr} I_d}{I_b + I_d} \right] \cdot \tau_b \cdot \tau_e \cdot \rho_m^n$$

حيث Cr : يعبر عن التركيز الهندسي .

n : متوسط عدد الانعكاسات .

وتعطى العلاقة التجريبية ل n بالعلاقة التالية: $n = 1 + 0.07.Cr$

❖ المردود الحراري : هو نسبة شدة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الماص P_r وشدة التدفق الحراري المفيد

P_u (الذي اكتسبه المائع) .

$$\eta_{thermique} = \frac{P_u}{P_r}$$

$$P_u = m C_f (T_{fs} - T_{fe})$$

$$P_r = P_u + P_p \quad \text{حيث :}$$

ت- درجة حرارة الركود : الركود يعبر عن حالة المجمع الشمسي دون سريان للمائع وسيط التسخين ونسبي درجة حرارة الركود الحرارة الموافقة للمائع الراكد (من غير سريان) وفي هذه الحالة يكون تدفق الإشعاع الشمسي الوارد على سطح المجمع يساوي تدفق الضياع الحراري .

3-6-2 آلية عمل المركبات الشمسية :

تسقط الأشعة الشمسية على السطح العاكس للمرآة فتنعكس أو على العدسة فتتكسر . و تتجمع الأشعة الشمسية على السطح الماص في البؤرة الضوئية مؤدية إلى تسخين الوسط الحراري وبالتالي دوران المحرك ، و تلعب الزوايا التي يسقط بها الإشعاع الشمسي و الشكل الهندسي لسطح المركز دورا هاما في سرعة حركته . و بوجه عام يعد نصف قطر إنحناء المقاطع الهندسية المذكورة في مجموعة سطح الالتقاط عاملا هاما من حيث تأثيره على تصميم نظم المركبات الشمسية . ويعتمد مبدأ التشغيل على الخطوات التقنية التالية :

- 1- تركيز الإشعاع الشمسي على سطح المستقبل (الماص) المثبت في البؤرة .
- 2- امتصاص الإشعاع الشمسي من طرف المستقبل وتحويل الطاقة إلى حرارة .
- 3- نقل هذه الحرارة إلى المائع وسيط التسخين ثم تخزينها عند الحاجة .

4-6-2 أنواع المركبات الشمسية :

1- مركبات البؤرة النقطية : هي المركبات الثلاثية الأبعاد D3 وتستخدم عموماً عندما يشترط وجود تركيز عالٍ (Cr=500-1000) وتستخدم في الأفران الشمسية ومستقبلات القدرة المركزية التي ظهرت لأول مرة بواسطة علماء سوفيت عام 1960 ومن أحدث برامجه هو Solar 2 ذو الإنتاجية الكهربائية المقدرة بـ 10MW في صحراء كاليفورنيا وقد شغل عام 2000.

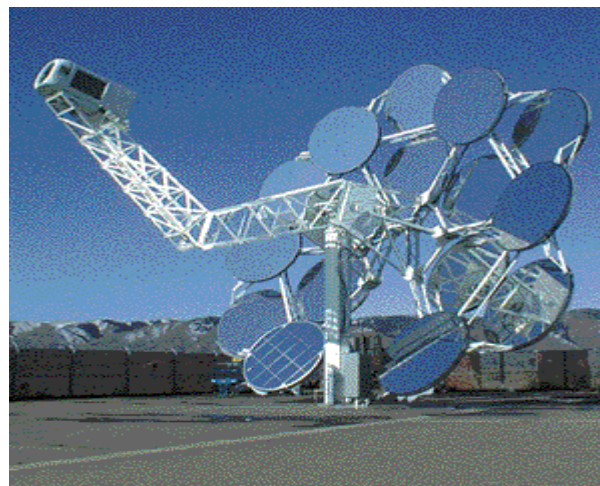
■ **نظام العاكس المقعر** : يتكون من سطح عاكس (مرايا) مقعرة الشكل وكبيرة بما نظام تحكم آلي يوجه السطح المقعر نحو حركة الشمس ويقوم هذا السطح بتركيز الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على السطح المقعر نحو

البؤرة الخطية والتي يثبت بها المستقبل للإشعاع المركز حيث تصل درجة الحرارة إلى حدود 1000^0 توظف من خلال دورة ترموديناميكية في إنتاج الكهرباء وبمردود عالي .



الشكل (2-11) : المجمع الشمسي المقعر ذو البؤرة النقطية

كما يمكن تشكيل حقل مركزي متكون من عدة أسطح عاكسة مقعرة تقوم بتركيز الإشعاع الشمسي المباشر الوارد في البؤرة النقطية بفعل التحكم الآلي في توجيه الأسطح .



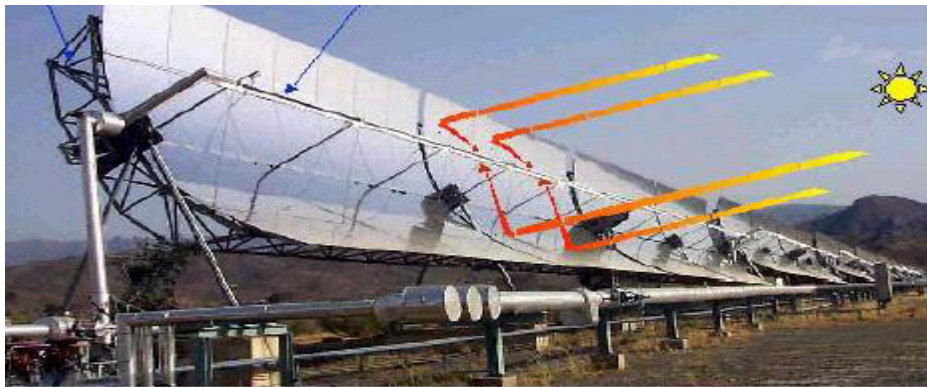
الشكل (2-12) : حقل مركزي لأسطح عاكسة مقعرة

- نظام البرج المركزي : يتكون من مجموعة أسطح عاكسة مستوية تغطي مساحات كبيرة وتقوم بتوجيه الإشعاع الشمسي المباشر الساقط عليها نحو مستقبل كبير (ماص) مثبت في البرج ويتم التحكم الآلي في هذه الأسطح حسب حركة الشمس وتتجاوز درجة حرارة المستقبل 1000^0 حيث يتم إنتاج البخار تحت ضغط مرتفع وبذلك توليد الكهرباء .



الشكل (2-13): نظام البرج المركزي ذو البؤرة النقطية

- 2- مركزات البؤرة الخطية : هي المركبات الثنائية الأبعاد D-2 مثل عدسات فرنيل ذات البؤرة الخطية وأحواض القطع الناقص المركب وأحواض الأسطواني المقعر ويتم اختيارها عندما يتم اختيار تركيز صغير أو متوسط .



الشكل (2-14) : مركزات البؤرة الخطية [الأسطواني المقعر]

نظام العاكس الأسطواني المقعر : يتكون من سطح عاكس اسطواني ذو مقطع مقعر مكافئ يقوم بتجميع الإشعاع الشمسي المباشر الوارد على السطح العاكس نحو المحور المحرقى (البؤري) للسطح العاكس والذي يثبت به أنبوب مستقبل للإشعاع المركز والذي يحاط بظرف زجاجي للتقليل من الضياع الحراري .

وتصل درجة حرارة المستقبل في حدود 400^0 تستغل في إنتاج البخار والحصول على الطاقة الكهربائية .

خاتمة :

في هذا الفصل قدمنا مفاهيم هامة في مجال الطاقة الشمسية مثل الزوايا الشمسية، حركة الأرض حول الشمس ثم قدمنا مختلف أنواع الإشعاع الشمسي و العبارات الرياضية لكل إشعاع وفق إختلاف الميل و الإتجاه .

دراسة الإشعاع الشمسي ضرورية لإختيار أفضل موقع لتثبيت نظام تركيز الطاقة الشمسية، فمركز الطاقة الشمسية يثبت لإستقبال الطاقة القصوى عندما يوجه نحو الجنوب و يميل بزواوية لحد كبير لخط عرض المكان (ورقلة) . و تكون أشعة الشمس العمودية على المركز الشمسي هي الأمثل لكل أنظمة الإلتقاط. و بعد إستقبال هذه الطاقة الأعظمية بالمركز الشمسي يتم تمرير حزمة الضوء الشمسية قصد تضخيمها لإنتاج الليزر الشمسي الذي سنتطرق إلى أساسياته و تقنياته في الفصل القادم.

الفصل الثالث

(الليزر الشمسي و الأوساط الفعالة)

1-3 مقدمة :

في أوائل 1960 أُنجزت عدد من البحوث الأولى للضخ بالطاقة الشمسية، حيث أُستعمل Nd:YAG ليكون أكثر المواد الليزرية المضخوخة بالشمس بسبب خصائصه المتميزة وقوته الميكانيكية مقارنة مع المواد الأخرى، لكنه يفتقر إلى كفاءة الضخ في استخدام ضوء الشمس كمصدر للضخ، كما أنه يملك عصابات ضيقة في منطقة الطيف الشمسي⁽¹⁹⁾. لذلك نبحت عن تصنيع مواد ليزرية جديدة مع نطاق عريض لامتماص طيف الشمس، فمن أجل الاستغلال الفعال لطيف الشمس وفكرة الاستفادة من النطاق العريض لطيف الامتماص لأيونات الكروم في منطقة الطيف المرئي، فيعد Cr^{+3} من أهم المرشحين لهذه التقنية.

لذلك نقدم في هذا الفصل، أهم الأوساط الفعالة المضخمة المستعملة في تقنية الليزر الشمسية. و إضافة إلى إمكانية تطبيق بلور Nd/Cr: YAG ceramic للضخ بالطاقة الشمسية.

2-3 نبذة تاريخية :

ظهر مصطلح ليزر الطاقة الشمسية أو ليزر الضخ بالطاقة الشمسية بعد اختراع الليزر بوقت قصير. إن فكرة تحويل الإشعاع الشمسي واسع النطاق مباشرة إلى أشعة ليزر متماسكة وضيقة النطاق قديمة مثل الليزر نفسه. كانت طريقة التفكير هذه هي الحل الجيد للحصول على شعاع الليزر من الطاقة الشمسية.

بعد فترة قصيرة من اختراع الليزر، بدأ العلماء والباحثون بالتفكير في الحصول على هذه الحزمة القوية أحادية اللون الموجهة باستخدام الطاقة الشمسية التي بدأت تعلن نفسها كمصدر بديل ونظيف للطاقة. تم تسجيل التجارب حتى للحصول على مازر ثم الليزر في وقت مبكر في 1960.

يبدو أن العدد (ستة) يمثل الرقم السري في هذا الاختراع. إذا عدنا إلى التاريخ، يمكننا أن نجد أنه قد تم الإبلاغ عن أول MASER (تضخيم الموجات الميكروية عن طريق الإشعاع المحفز للإشعاع) في عام 1957. بعد ست سنوات، تم الإبلاغ عن أول سولار مازر بواسطة كيس و آخرون. إعطاء دعم لهذه التكنولوجيا متعددة التخصصات وبالمثل، تم الإبلاغ عن اختراع LASER رسمياً في عام 1960 يليه اختراع SOLAR LASER التي أبلغ عنها (في 1966).

3-3 تقنية الليزر الشمسية :

عند التفكير في إنتاج الطاقة الليزرية، تتبادر إلى الذهن عدة نقاط⁽⁶⁾:

1- إنتاج الانعكاس السكاني بطريقة بسيطة ورخيصة.

2- يكون الوسط الليزري بسيط وفعال .

وقد اقترحت التطبيقات المختلفة لليزر الحالة الصلبة، فالطاقة الشمسية هي المصدر الرئيسي للطاقة المستمرة، و يمكن استخدامها لضخ ليزر الحالة الصلبة إما بشكل مباشر أو غير مباشر.

في الضخ غير المباشر، يمكن لضوء الشمس إلقاء الضوء على الخلايا الشمسية و إنتاج الكهرباء، أي قوة ديود ليزر، يمكن لضوء ديود الليزر المنبعث أن يضخ ليزر الحالة الصلبة (تكنولوجية فوتوفولطي)، التي جذبت الكثير من الإهتمام في الماضي.

يوفر الضخ المباشر بالشمس لليزر الحالة الصلبة عدد قليل من الخطوات لتحويل الطاقة، وبالتالي يحتمل أن تكون أكثر كفاءة، وأبسط وأكثر فعالية.

لتشغيل أنظمة الليزر عالية الطاقة باستمرار نستخدم الطاقة الشمسية بنوعين:

3-3-1 ضخ غير مباشر : يتألف نظام من هذا النوع من:

1-مجمع لضوء الشمس.

2-مكيفات بصرية.

3-مولد قوة كهربائية.

4-وسط ليزري.

ويمكن للضخ غير المباشر أن تنتج عن طريق الفوتوفولطي الذي يحول الأشعة الشمسية إلى كهرباء .

3-3-2 ضخ مباشر : واحد من أهم المعايير في ضخ الليزر بالطاقة الشمسية بهذا النوع هو تداخل الطول

الموجي، هذا المعيار هو التداخل بين طيف الانبعاثات الشمسية و امتصاص الليزر. و هي تدخل في الحسابات وتؤثر على قوة الليزر الناتجة لتحقيق أنظمة الليزر الشمسية. لأنها ليست جميع مناطق الطول الموجي المتركزة في الطيف الشمسي يتم إمتصاصها من قبل الليزر لتعبئة مستويات الليزر .

3-4 المقارنة بين ضخ الليزر بالشمس (المباشر - غير المباشر) :

العيب الأساسي للضخ غير المباشر هو الحجم الكبير للمولدات الكهربائية و هي تكنولوجيا ذات عدة خطوات، من ناحية أخرى هو الحرارة الناتجة عن استعمال الأطوال الموجية الممتصة من قبل الوسط الليزري. يمكن تفادي ذلك عن طريق التبريد .

يبين الجدول (1-3) مزايا و مساوئ مختلف ضخ الليزر بالشمس (المباشر - غير المباشر) (2).

نوع المنبع	مزايا	مساوئ
الضخ بالشمس	غير مباشر	<ol style="list-style-type: none"> 1. أكثر تكلفة للبناء و التشييد. 2. كفاءة منخفضة للغاية. 3. يتعلق بالزمن، اليوم، الفصول و الطقس. 4. عدة خطوات للإعداد.
	مباشر	<ol style="list-style-type: none"> 1. لا يحتاج لتتبع الشمس. 2. صديق البيئة.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. يحتاج لتتبع الشمس. 2. معقد في تكييف المكونات البصرية. 3. يتعلق بالزمن، اليوم، الفصول و الطقس.
		<ol style="list-style-type: none"> 1. سعر معقول. 2. عدد قليل من الخطوات للإعداد. 3. كفاءة متوسطة. 4. عدم إتلاف الأجزاء. 5. صديق البيئة.

الجدول (1-3): مزايا و مساوئ مختلف أنواع ضخ الليزر الشمسي

3-5 ليزرات الحالة الصلبة:

يقصد بليزرات المواد الصلبة عادة تلك الليزرات التي يكون الوسط الفعال فيها إما بلورة عازلة أو زجاجا، و هو عبارة عن وسط ضخ للتكبير في منطقة ترددية ضيقة وذلك باستخدام تقنية الانعكاس السكاني. وتكمن المشكلة الرئيسية والتي يجب حلها عند تصميم أجهزة الليزر، في خلق أو استحداث الانعكاس السكاني ومن ثم الحفاظ عليها ما أمكن، لأن كل العمليات الطبيعية التي تحمل حدوثها ستحاول تحريك المنظومة إلى حالة التوازن الحراري، وبالتالي فهي تحاول تدمير الانعكاس السكاني (20).

ليزرات الحالة الصلبة غالبا ما تكون فيها المواد الفعالة عبارة عن أيونات شائبة داخل البلورات الأيونية. والأيون عادة أحد المركبات من سلسلة العناصر الانتقالية في الجدول الدوري مثل Cr^{+3} ، أو أيونات الأتربة النادرة ومن أبرزها Nd^{+3} . إن الانتقالات التي تحصل في العمل الليزري تشمل حالات تعود إلى الطبقة الداخلية غير الممتلئة لذلك فإن الانتقالات لا تتأثر بقوة بالحقل البلوري. و هذا بدوره يعني أن هذه الانتقالات تكون إلى حد بعيد حادة (أي أن مقطع الإصدار

المحرض نوعا ما كبير) وتكون الانتقالات غير المشعة ضيقة (أي أن عمر الإثارة نوعا ما طويل) ⁽²¹⁾، و لهذا فإن حد العتبة لمعدل الضخ لليزر المستويات الأربعة صغير بشكل كاف مما يسمح للفعل الليزري بالحدوث.

3-6 أيونات الأتربة النادرة:

تعتبر أيونات الأرض النادرة في بلورات معينة، مواد ليزرية جيدة، و هي تملك عدد ذري محصور بين $Z=57$ (Lanthane) و $Z=71$ (Lutécium)، و يكون التوزيع الإلكتروني في الحالة المتعادلة : $[Xe] 4f^n 5d^0 6s^0$ ، n يتغير من 0 (Lanthane) إلى 14 (Lutécium).

1 H				
3 Li	4 Be			
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	

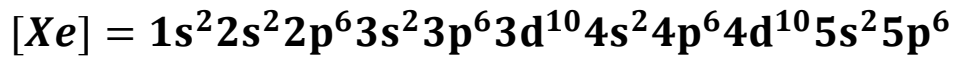
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

الشكل (3-1) : موضع أيونات الأرض النادرة في الجدول الدوري ⁽⁵⁾

وتتميز أيونات الأرض النادرة بالملاء التدريجي للطبقة الإلكترونية، $4f$ في حين تكون الطبقات الخارجية $6s$ و $5p$ و $5s$ مليئة.

الجدول (3-2) : التوزيع الالكتروني لذرات الأرض النادرة و أيوناتها والمستوى الأساسي الموافق .

العدد الذري	العنصر	الرمز	التوزيع الالكتروني للذرات	التوزيع الالكتروني للأيونات	المستوى الأساسي
57	Lanthane	La	[Xe]5d ¹ 6s ²	[Xe]	¹ S ₀
58	Cérium	Ce	[Xe]4f ² 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ¹	² F _{5/2}
59	Praséodyme	Pr	[Xe] 4f ³ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ²	³ H ₄
60	Néodyme	Nd	[Xe] 4f ⁴ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ³	⁴ I _{7/2}
61	Prométhium	Pm	[Xe] 4f ⁵ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁴	³ I ₄
62	Samarium	Sm	[Xe] 4f ⁶ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁵	⁶ H _{5/2}
63	Europium	Eu	[Xe] 4f ⁷ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁶	⁷ F ₆
64	Gadolinium	Gd	[Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ⁷	⁸ S _{7/2}
65	Terbium	Tb	[Xe] 4f ⁹ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁸	⁷ F ₆
66	Dysprosium	Dy	[Xe] 4f ¹⁰ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁹	⁶ H _{15/2}
67	Holmium	Ho	[Xe] 4f ¹¹ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ¹⁰	⁵ I ₈
68	Erbium	Er	[Xe] 4f ¹² 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ¹¹	⁴ I _{15/2}
69	Thulium	Tm	[Xe] 4f ¹³ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ¹²	³ H ₆
70	Ytterbium	Yb	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁰ 6s ²	[Xe]4f ¹³	² F _{7/2}
71	Lutécium	Lu	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴	¹ S ₀



3-6-1 اختيار المواد المضيئة مع أيونات الأرض النادرة: (6)

ينبغي للبنية الالكترونية مع الايونات الفعالة، منح مستويات مناسبة في مجال الطاقة، و ينبغي للمادة المضيئة منح ظروف مناسبة، وخصائص ديناميكية وحرارية جيدة، ونظام طاقة مرتفع وكفاءة تبديد للحرارة لذلك يجب أن تملك:

1-عتبة ضخ منخفضة.

2-موصلية حرارية عالية لتبديد كفاءة الحرارة المتولدة في مادة الليزر.

3-خصائص حرارية وميكانيكية عالية للصلمود في وجه النبضات ذات الطاقة العالية.

4-عمر إثارة طويل.

5-مقطع إصدار ليزري كبير

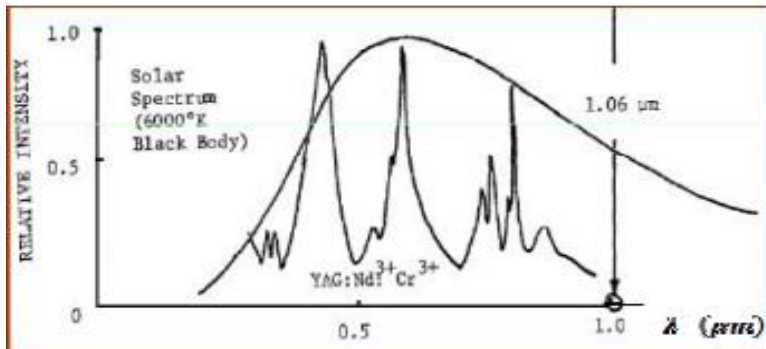
3-6-2 أيونات الأرض النادرة والطيف الشمسي :

نعرض في الجدول عصابات الامتصاص و الإصدار لبعض أيونات الأرض النادرة.

الرمز	العنصر	$\lambda_{\text{em}} (\mu\text{m})$	$\lambda_{\text{ab}} (\mu\text{m})$
Pr	Praséodyme	1300	1010
Nd	Néodyme	1060	790
Sm	Samarium	1293	488
Dy	Dysprosium	1300	900-800
Er	Erbium	1550	800
Yb	Ytterbium	1000	980-900
Nd:YAG		1060	808
Nd:YVO4		1342-1060	808
Nd/Cr: YAG ceramic		1064	600-440

الجدول (3-3) : عصابات الامتصاص و الإصدار

يوضح الشكل 3-2 وقوع عصابتي الامتصاص ل Nd/Cr: YAG ceramic في مجال الإشعاع الشمسي الأقصى 400 nm و 600 nm .



الشكل (3-2) : طيف الإشعاع الشمسي مع طيف امتصاص Nd/Cr: YAG ceramic (22)

3-7 ليزرات النيوديميوم:

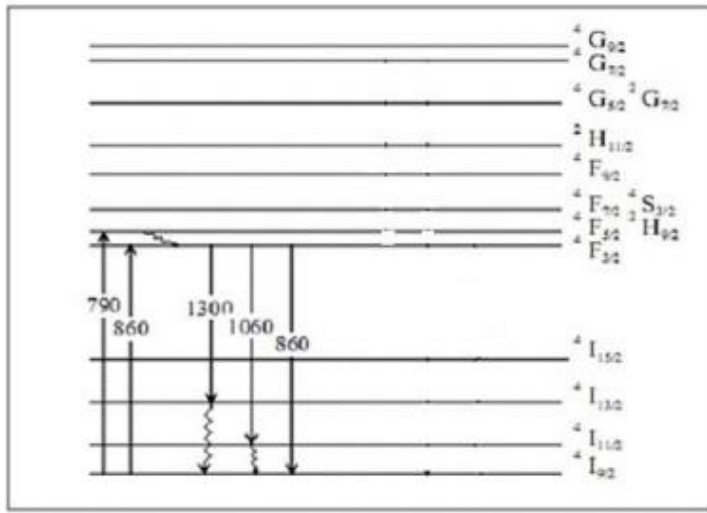
يوجد المئات من الأوساط الصلبة التي يمكن الحصول من خلالها على الليزر، ولقد شاع استعمال ليزرات الياقوت في الماضي، أما في الوقت الحاضر فقد حلت محلها ليزرات النيوديميوم، لأن ليزر الياقوت يشتغل على أساس مخطط ليزر الثلاث مستويات المبذرة للطاقة، والتي لا يمكن الحصول منها على خارج ليزري مقابل الطاقة المصروفة لتهييج نصف عدد الذرات المتواجدة في المستوى الأساسي.

تعد ليزرات النيوديميوم من أكثر الليزرات شيوعاً، لأن أيونات النيوديميوم لها القابلية على الفعالية الليزرية عند عدد من الترددات وفي مجموعة متنوعة من البلورات المضيفة، إضافة إلى الزجاج.

✓ النيوديميوم Nd^{+3} :

يعتبر عنصر النيوديميوم العنصر المهم ، و هو من أكثر المواد المعروفة استعمالا في الليزر الصلبة، حيث له القابلية على إنتاج أشعة ذات قدرة عالية في المنطقة تحت الحمراء و في مناطق مختلفة من الطول الموجي .
 يسخ النيوديميوم عند الطول الموجي 790 nm تقريبا ويصدر منه عدة أطوال موجية منها الأساسية :
 1300 nm ، 1060 nm ، 860 nm⁽⁴⁾.

مخطط الطاقة مبين في الشكل (3-3)⁽⁴⁾.



الشكل (3-3): مستويات الطاقة و الإنتقالات الإلكترونية للنيوديميوم

■ إن نطاقي الضخ الرئيسيين يكون بين المستويات $2H_{9/2}$ ، $4F_{5/2}$ و $4I_{9/2}$ عند الأطوال الموجية 860 nm ، 790nm⁽⁴⁾.

■ المستوى $4I_{9/2}$ هو المستوى الأساسي.

■ مدة حياة المستويات $4F_{5/2}$ و $2H_{9/2}$ قصيرة جدا⁽⁴⁾، لذلك يحدث استرخاء للأيونات بسرعة نحو المستوى بانتقال غير مشع.

الانتقالات الممكنة المشعة لهذا المستوى:

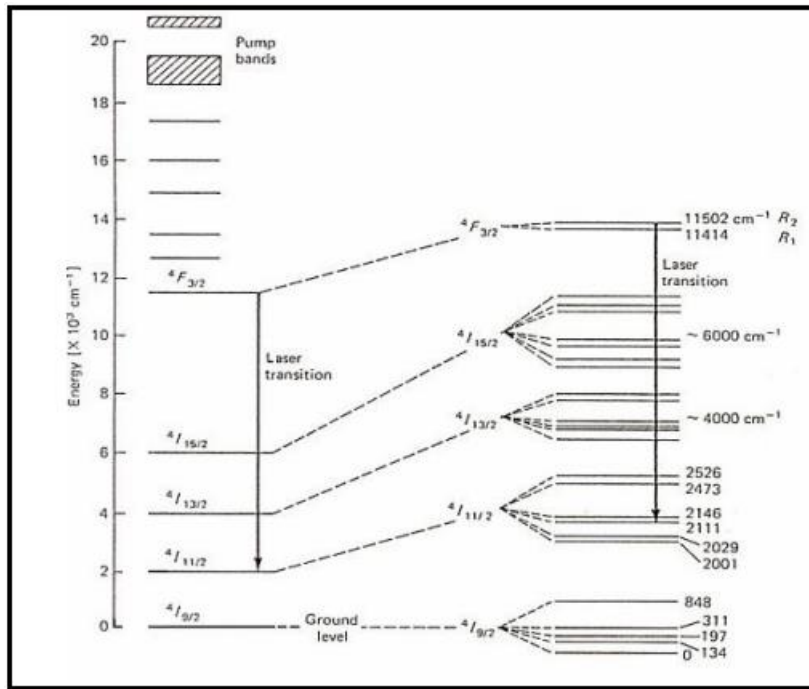
$4F_{3/2}$	→	$4I_{13/2}$	* عند الطول الموجي 1.3μm
$4F_{3/2}$	→	$4I_{11/2}$	* عند الطول الموجي 1.06 μm
$4F_{3/2}$	→	$4I_{9/2}$	* عند الطول الموجي 0.86 μm

3-7-1 ليزر Nd:YAG :

يكون فيها الوسط الليزري المضيف عبارة عن بلورة $Y_3Al_5O_{12}$ (عادة يطلق عليها اسم YAG) وكلمة ياغ متكونة من الأحرف الأولى لـ (yttrium aluminum garnet) عقيق الألمنيوم و اليتاريوم، الذي فيه قسم من أيونات Y^{+3} تحل محلها أيونات Nd^{+3} .

إن ليزرات النيوديميوم يمكنها أن تتذبذب عند عدة خطوط، أقوى هذه الخطوط و أكثرها استعمالا هو الخط $\lambda = 1.06\mu m$ (2) (21).

يمثل الشكل (3-4) مخطط لمستويات الطاقة Nd:YAG. يكون الانتقال الليزري عند الخط $\lambda = 1.06\mu m$ هو الأقوى من بين الانتقالات $^4F_{3/2} \longrightarrow ^4I_{11/2}$. حيث يرتبط نطاقي الضخ الرئيسيين مع المستوى $^4F_{3/2}$ بانتقال غير مشع، في حين ترتبط السوية السفلى $^4I_{11/2}$ أيضا بانتقال غير مشع مع المستوى الأرضي $^4I_{9/2}$ (21)، ومن ثم فإن ليزر النيوديميوم يشتغل على أساس مخطط الأربع مستويات.



الشكل (3-4): مخطط لمستويات الطاقة Nd:YAG (2).

ليزر Nd:YAG له مقطع إصدار مستحث يقدر ب $\sigma = 6.5 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ (2) الموافق للانتقال $^4F_{3/2} \longrightarrow ^4I_{11/2}$. بينما عمر الإثارة يقدر ب $\tau = 230\mu s$ (2).

و تختلف الموصلية الحرارية له باختلاف درجة الحرارة كما هو موضح في الجدول⁽²⁾.

300 k	200 k	100 k	درجة الحرارة
0.13	0.21	0.58	الموصلية الحرارية $Wcm^{-1}K^{-1}$

الجدول(3-4) : اختلاف الموصلية الحرارية لليزر Nd:YAG باختلاف درجة الحرارة.

• بعض مميزات ليزر Nd:YAG :

- يملك خصائص بصرية وحرارية وميكانيكية جيدة.
- الإصدار الليزري يكون عند $\lambda = 1.06\mu m$.
- موصلية حرارية عالية نسبيا.
- بنية مستقرة.
- عتبة ضخ منخفضة نسبيا.
- أسعار معقولة وأقل تكلفة .

3-7-2 ليزر Nd:YVO₄ :

يكون فيه الوسط المضيف عبارة عن فاناتات الايتيريوم مطعمة بالنيوديميوم (neodymium doped yttrium ortho vanadate).

تعد Nd:YVO₄ حديثة الاستخدام في مجال الليزر المولد بالطاقة الشمسية، وتحتل موقع متميز بين المواد المستخدمة في هذا المجال نظرا لانخفاض مستوى حاجز الضخ الليزري⁽²⁾.

ليزر Nd:YVO₄ له مقطع إصدار مستحث يقدر ب $\sigma = 6.5 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ ⁽²⁾ عند الطول الموجي 1064 nm. و عمر إثارة يقدر ب $\tau = 90\mu s$ ⁽²⁾، و موصلية حرارية تقدر ب $0.0523 \text{ W cm}^{-1}K^{-1}$ ⁽²⁾.

• بعض مميزات ليزر Nd:YVO₄ :

- تمتلك خواص ميكانيكية وفيزيائية وكيميائية جيدة.
- الإصدار الليزري في كل من 1064 nm و 1340 nm.

- موصلية حرارية ضعيفة⁽²³⁾.
- انخفاض عتبة الضخ وكفاءة عالية.

◆ المقارنة بين Nd:YVO₄ و Nd:YAG

- Nd:YVO₄ له معامل امتصاص أكبر ثلاث مرات من Nd:YAG.
 - عمر الإثارة اقل حوالي 2.7 مرة من Nd:YAG.
 - الانبعاث المستحث عند الطول الموجي 1064 nm أعلى حوالي أربعة مرات من Nd:YAG أما عند الطول الموجي 1340 nm فيبلغ حوالي 18 ضعفا⁽²⁾.
 - معامل الامتصاص أكبر خمس مرات من Nd:YAG عند الضخ ب 808nm .
- الجدول التالي يعطي بعض القيم المقاسة لطاقة الضخ والطاقة الصادرة لكل من Nd:YAG و Nd:YVO₄⁽²⁾.

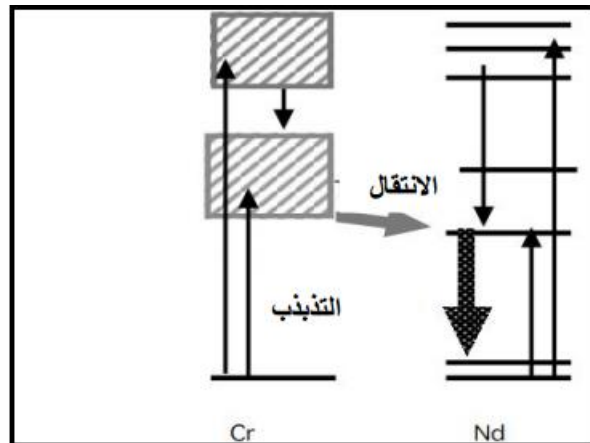
البلور	الأبعاد mm ³	طاقة الضخ	الطاقة الصادرة (1064 nm)
Nd:YVO ₄	3×3×1	850 mW	350 mW
Nd:YAG	3×3×2	850 mW	34 mW

الجدول(3-5) : القيم المقاسة لطاقة الضخ والطاقة الصادرة للمواد الليزرية⁽²⁾.

يتبين مما سبق أن Nd:YVO₄ أكثر كفاءة من Nd:YAG ، لكنه أكثر عرضة للتلف في درجات الحرارة العالية، نظرا لامتلاكه موصلية حرارية ضعيفة⁽²³⁾. تقدر ب $0.0523 \text{ W cm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ⁽²⁾.

8-3 ليزر Nd/Cr: YAG ceramic

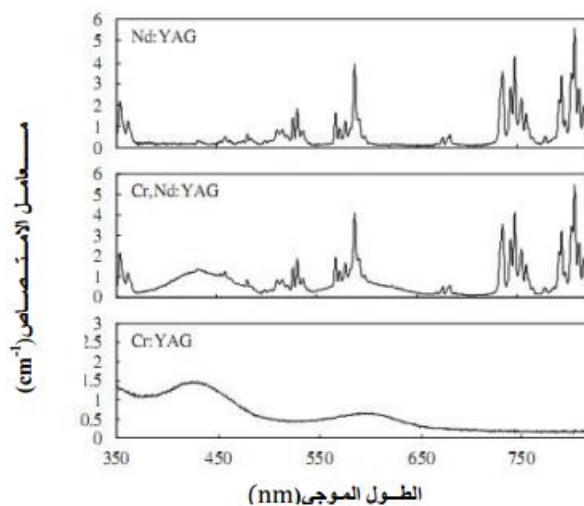
يعد ضوء الشمس مماثل تقريبا لإشعاع الجسم الأسود 5800 K . لذلك لامتصاص طيف من ضوء الشمس بكفاءة، يلزم ليزر مطعم مع مواد متعددة. التطعيم ب Cr^{+3} و Nd^{+3} يستوفي هذا الاحتياج، الشكل (3-5) يوضح الضخ المباشر ونطاق طيف الامتصاص لفعالية الانتقال من Cr^{+3} إلى Nd^{+3} ⁽²⁴⁾.



الشكل (3-5): مستويات Cr^{+3} و Nd^{+3} (24)

تملك مادة السيراميك امتصاص واسع للطيف الشمسي، و هو ما يعني كفاءة ليزرية متولدة من خلال الطاقة الشمسية. ويتركز عند Nd على خط التذبذب 1.06 ميكرومتر .

يبين الشكل (3-6) طيف الامتصاص ل $\text{Nd}^{+3}:\text{YAG}$ 1.0 atom% , Cr^{+3} 0.1 atom% . و $\text{Nd}^{+3}:\text{YAG}$ 1.0 atom% مطعم في YAG و Cr^{+3} 0.1 atom% مطعم في YAG . تم قياس طيف الامتصاص عند درجة حرارة الغرفة. كل من Nd/Cr YAG: ceramic و Cr:YAG لهما عصابتي امتصاص واسعتين حول 440nm و 600nm، أنظر الشكل (3-6) (13).
امتصاص Nd/Cr: YAG ceramic أعلى من امتصاص Nd:YAG و Cr:YAG .



الشكل (3-6) طيف الامتصاص ل $\text{Nd}^{+3}:\text{YAG}$ 1.0 at% , Cr^{+3} 0.1 at% , Nd^{+3} 1.0at% . و Cr^{+3} 0.1 at% مطعم في YAG عند درجة حرارة الغرفة (13)

9-3 طاقة العتبة و كفاءة الليزر :

تحسب طاقة ضخ العتبة بالصيغة التالية⁽²⁵⁾:

$$P_{th} = \frac{A I_s}{\eta_q \eta_{ovp} \alpha} \left(\frac{2\gamma - \ln R}{2\varepsilon} \right) \quad (1 - 3)$$

حيث A : مساحة المقطع العرضي للوسط الفعال: $A = \frac{\pi D^2}{4}$.

D : قطر الوسط الفعال، α : معامل الإمتصاص، ε : كفاءة الضخ، R : إنعكاسية المرآة.

I_s : شدة الريح الشبع (W/mm^2) .

η_q : كفاءة كوانتية.

η_{ovp} : معدل التداخل .

γ : فقدان المرور في الوسط الليزري.

يمكن حساب كفاءة التحويل بالعلاقة⁽²⁵⁾ :

$$\eta_s = \eta_q \eta_{ovp} \varepsilon \alpha \left(\frac{T}{2\gamma - \ln R} \right) \quad (2 - 3)$$

T : نفاذية المرآة .

باستعمال صيغ كل من P_{th} و η_s يمكن حساب طاقة خرج الليزر بدلالة طاقة الدخل :

$$P_{out} = \eta_s(P_{in} - P_{th}) \quad (3 - 3)$$

P_{in} : الطاقة الداخلة إلى التجويف .

◆ كسب الليزر :

$$g_0 = \frac{\eta_q \eta_{ovp} \epsilon \alpha}{A I_s} P_{in} \quad (4 - 3)$$

خاتمة :

في هذا الفصل تعرضنا لأهم المواد المستخدمة في مجال الليزر المولد بالطاقة الشمسية، حيث أستعمل أولا Nd:YAG ليكون أفضل المواد الليزرية المضخوخة بالشمس، لكنه يملك عصابات ضيقة في منطقة الطيف الشمسي. بينما تعد Nd:YVO₄ حديثة الاستخدام في مجال الليزر الشمسية، وتحتل موقع متميز بين المواد المستخدمة في هذا المجال نظرا لانخفاض مستوى حاجز الضخ الليزري نسبيا. وتوصلنا إلى أن Nd:YVO₄ أكثر كفاءة من، Nd:YAG لكنه أكثر عرضة للتلف في درجات الحرارة العالية، نظرا لامتلاكه موصلية حرارية ضعيفة. بينما يملك Nd/Cr:YAG ceramic امتصاص واسع للطيف الشمسي، و هو ما يعني كفاءة ليزرية متولدة من خلال الطاقة الشمسية، وهو مؤهل للاستخدام كمادة ليزرية صلبة مضخوخة بالشمس. ثم تطرقنا إلى الدراسة التحليلية للمعادلات الليزر التي سنطبقها في الفصل القادم .

الفصل الرابع

(عرض و مناقشة النتائج)

1-4 مقدمة :

تعتمد تقنية الليزر الشمسية على تركيز الأشعة الشمسية بواسطة المركبات الشمسية بغية الوصول إلى مستوى إشعاعي يسمح بتخطي حاجز الضخ اللازم لحدوث الفعل الليزري، وذلك بالحصول على طريقة بديلة بسيطة و غير مكلفة لاستخدام الطاقة الشمسية وتحويلها مباشرة لأشعة الليزر، وذلك باستعمال طريقة الضخ و إختيار الوسط الليزري الأنسب لهذه التقنية. لذا نستخدم في هذه الدراسة وسطين ليزريين يعتبران من أهم المواد المستخدمة في مجال الليزر المولد بالطاقة الشمسية Nd:YAG و Nd/Cr :YAG ceramic.

لذلك سنعتمد في هذا الفصل على المقادير الفيزيائية لكل من Nd:YAG و Nd/Cr :YAG ceramic وأيضا تأثير تغير طاقة الضخ على طاقة خرج الليزر لكلا النموذجين، ونظرا لامتلاك Nd/Cr: YAG ceramic امتصاص واسع للطيف الشمسي، سنقتصر الدراسة عليه وندرس تأثير مختلف المقادير الفيزيائية على طاقة خرج الليزر، وكذلك كسب الليزر.

2-4 المقادير الفيزيائية لكل من Nd:YAG و Nd/Cr :YAG ceramic :

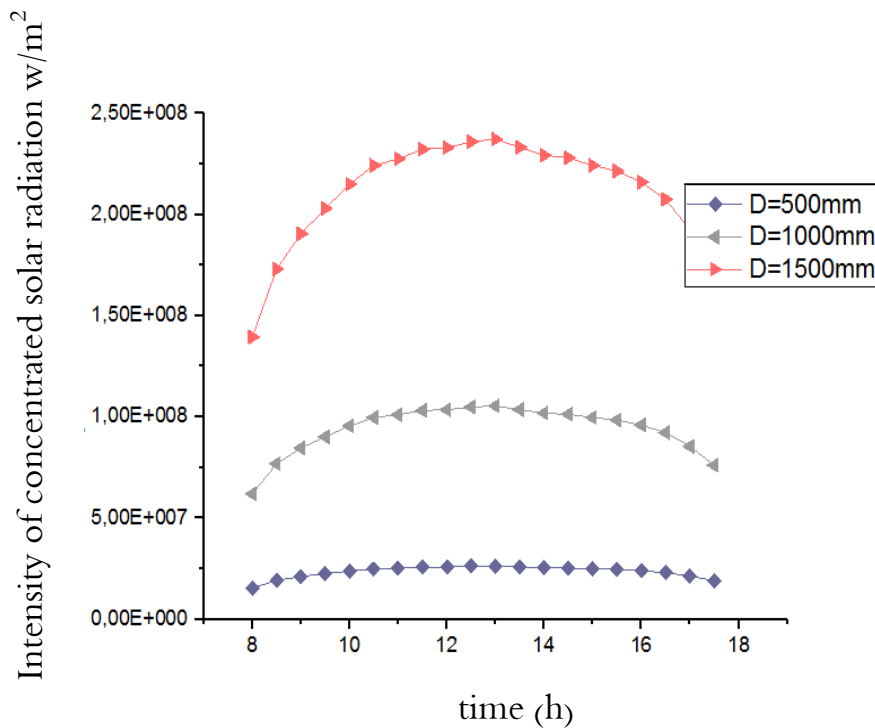
نقوم بدراسة الوسطين الليزريين المقترحين Nd:YAG و Nd/Cr: YAG ceramic نظرا لامتلاكهما عتبة ضخ منخفضة ولكونهما يعتبران وسطين مناسبين لليزر الشمسي. نحدد المقادير الفيزيائية لكليهما في الجدول التالي: (2) (13) (3)

القيمة		الرمز	المقادير
Nd/Cr: YAG ceramic	Nd:YAG		
40	40	L	طول الوسط الفعال (mm)
3	3	D	قطر الوسط الفعال (mm)
0.62	0.59	α	معامل الامتصاص
0.88	0.63	η_g	كفاءة الكوانتية
0.7	0.67	ϵ	كفاءة الضخ
0.25	0.14	η_{ovp}	معدل التداخل
0.016	0.016	γ	الخسارة عبر القضيب
0.02	0.02	T	النفذية عبر المرآة
0.8497	12.5	I_g	شدة الريح المشبع (الفلورة من البلور) (w/mm^2)
1495	22000	T_p, σ_{em}	الناتج $T. \sigma_{em}$ ($10^{-19}/s.cm^2$)

الجدول(1-4) : المقادير الفيزيائية لكل من Nd:YAG و Nd/Cr :YAG ceramic

3-4 الإشعاع الشمسي المركز :

تطرقنا سابقا لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على مدينة ورقلة خلال يوم 21 جوان من الشروق إلى غاية الغروب فقد قمنا بتركيزها بواسطة مجمع شمسي مقعر ذو بؤرة نقطية مع أن قطر الوسط الفعال لNd:YAG و Nd/Cr:YAG ceramic ($D=3\text{ mm}$)، نسجل شدة الإشعاع الشمسي المركز بتغيير قطر المجمع الشمسي في الشكل (1-4).

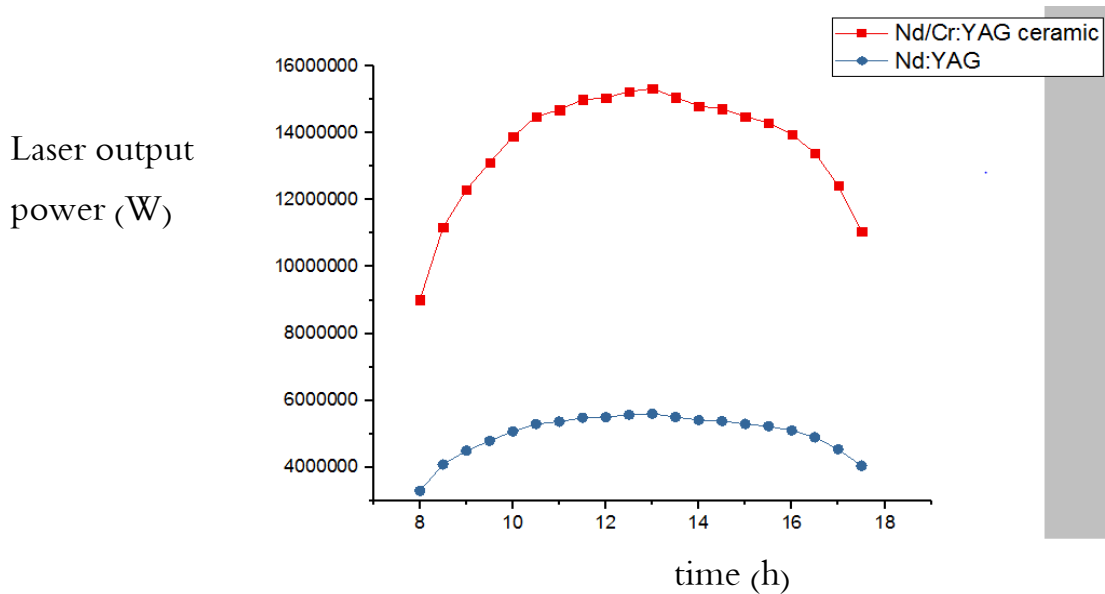


الشكل (1-4) : تغير شدة الإشعاع الشمسي المركز بدلالة الزمن.

تبين النتائج المتحصل عليها في الشكل (1-4) تزايد شدة الإشعاع الشمسي المركز بزيادة قطر المجمع الشمسي .

4-4 طاقة خرج الليزر للضخ الشمسي :

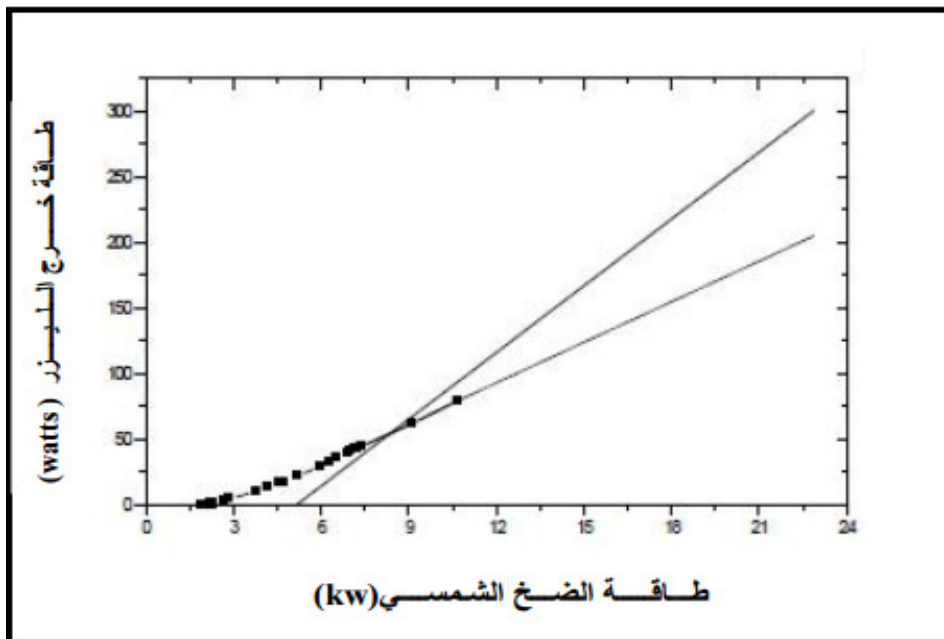
بعد تركيز الطاقة الصادرة الشمسية بواسطة المركز الشمسي وتمريه داخل التجويف الرنيني بحيث تكون انعكاسية المرآة الأمامية مساوية ل 98%، نسجل طاقة خرج الليزر لكل من Nd:YAG و Nd/Cr: YAG ceramic في الشكل (2-4).



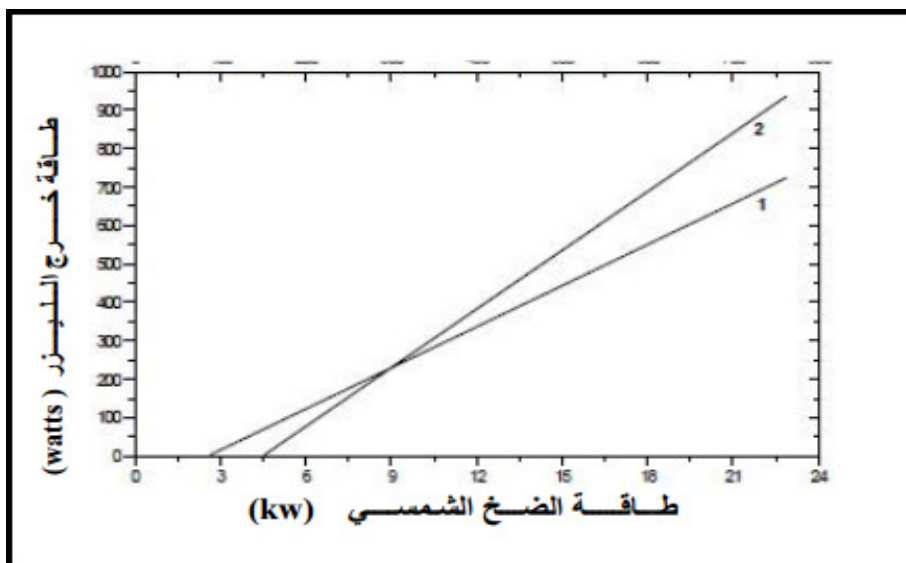
الشكل (2-4) : طاقة خرج الليزر لكل من Nd:YAG و Nd/Cr: YAG ceramic

تبين النتائج المتحصل عليها في الشكل (2-4) تزايد طاقة خرج الليزر بزيادة طاقة الضخ ، فمن أجل معامل انعكاسية المرآة الأمامية مساوية ل 98%، وقطر الوسط الليزري ، $D = 3 \text{ mm}$ و الخسارة عبر القضيب . فعند طاقة الضخ 139 MW تصل طاقة خرج الليزر بالنسبة لNd:YAG 3 MW أما في حالة Nd/Cr: YAG ceramic 9 MW تصل عند نفس طاقة الضخ.

ومنه يتبين أن ليزر Nd/Cr: YAG ceramic له كفاءة أكثر من ضعف كفاءة ليزر Nd:YAG. كما تظهر النتائج الكفاءة العالية لليزر Nd/Cr: YAG ceramic وهذا ما تؤكد نتائجه لدراسة سابقة الموضحة في الشكلين (3-4) و (4-4).



الشكل (3-4): طاقة خرج الليزر بدلالة طاقة الضخ الشمسي ل Nd:YAG حسب الدراسة⁽³⁾ الخط المتقطع (أبعاد البلور 6×150 mm) و الخط المستمر (أبعاد البلور 10×130 mm) .

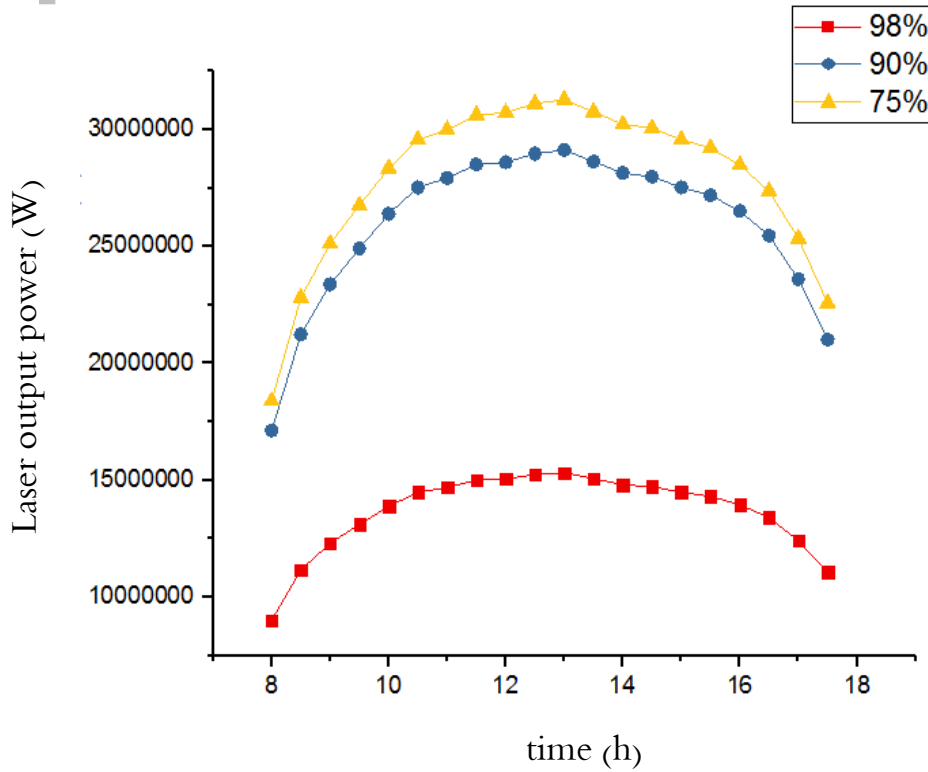


الشكل (4-4): طاقة خرج الليزر بدلالة طاقة الضخ الشمسي ل Nd/Cr: YAG ceramic حسب الدراسة⁽³⁾ (1) R= %90 (2) R= %75 .

1-4-4 تأثير إنعكاسية المرآة على طاقة خرج الليزر الشمسي :

نقتصر الدراسة الآن على ليزر Nd/Cr:YAG ceramic لامتلاكه كفاءة أعلى ولوقوع عصابتي الامتصاص له في مجال الإشعاع الشمسي الأقصى .

نقوم بتغيير انعكاسية المرآة الأمامية للتجويف الرنيني لليزر Nd/Cr: YAG ceramic بين القيم 98%، 90% و 75% و نسجل طاقة خرج الليزر بدلالة طاقة الضخ في كل حالة. النتائج المتحصل عليها مدونة في الشكل (4-5).

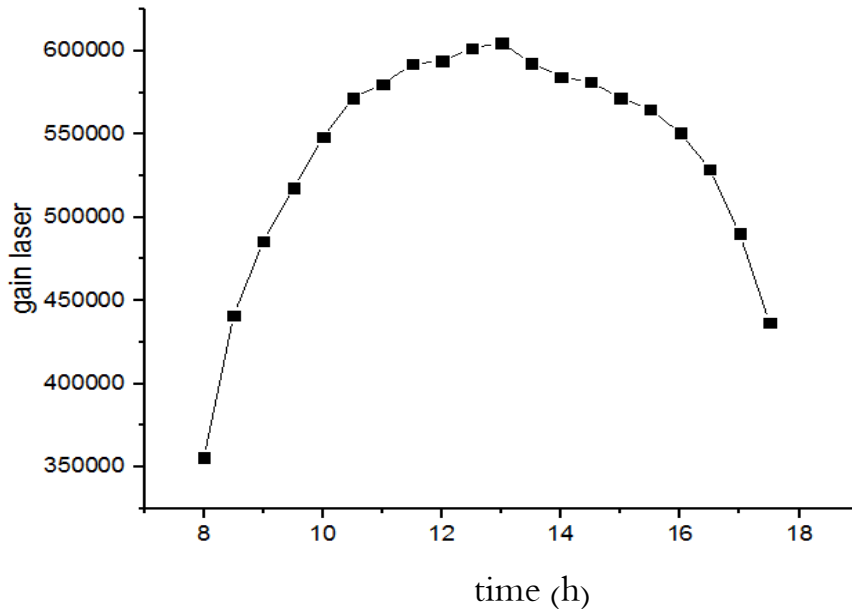


الشكل (4-5): طاقة خرج الليزر بدلالة الزمن ل Nd/Cr: YAG ceramic

تبين النتائج المتحصل عليها في الشكل (4-5) التناسب العكسي بين طاقة خرج الليزر مع انعكاسية المرآة الأمامية للتجويف الرنيني، و ذلك بسبب ارتفاع الخسائر الضوئية الناجمة عن الانعكاس والتشتت والامتصاص مما يزيد من طاقة العتبة و يقلل من كفاءة الليزر، إذ يتبين أن انعكاسية المرآة $R=75\%$ تمكننا من الحصول على أقصى طاقة خرج الليزر. وهذا ما تؤكدته نتائج لدراسة سابقة الموضحة في الشكل (4-4).

5-4 كسب الليزر:

ندرس تغير كسب الليزر بدلالة تغير طاقة الدخل في حالة الضخ بالمصباح الومضي و حالة الضخ الشمسي، من أجل معامل انعكاسية المرآة الأمامية مساوية ل 98%، وقطر الوسط الليزري $D=3 \text{ mm}$ ، $I_s = 32 \text{ W. mm}^{-2}$ و $\alpha = 2.12$ ⁽²⁶⁾. نسجل النتائج المتحصل عليها في الشكل (4-6).



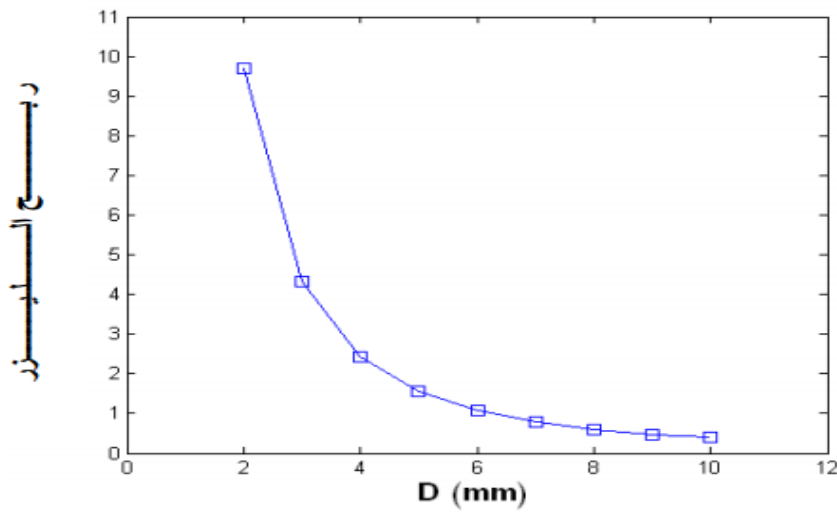
الشكل (4-6): كسب الليزر بدلالة الزمن

تبين النتائج المتحصل عليها في الشكل (4-6) تزايد كسب الليزر بزيادة طاقة الضخ الشمسي .

فإن استخدام الضخ بالطاقة الشمسية يحسن من الإشعاع الناتج بالمقارنة مع مصادر الضوء الكلاسيكية. ومن هنا يتبين لنا الكفاءة العالية لليزر الشمسي .

6-4 تأثير قطر الوسط الفعال على كسب الليزر: (6)

ندرس تغير كسب الليزر بدلالة قطر الوسط الفعال، وذلك عند طاقة الضخ 3000 واط، نسجل النتائج المتحصل عليها في الشكل (4-7).

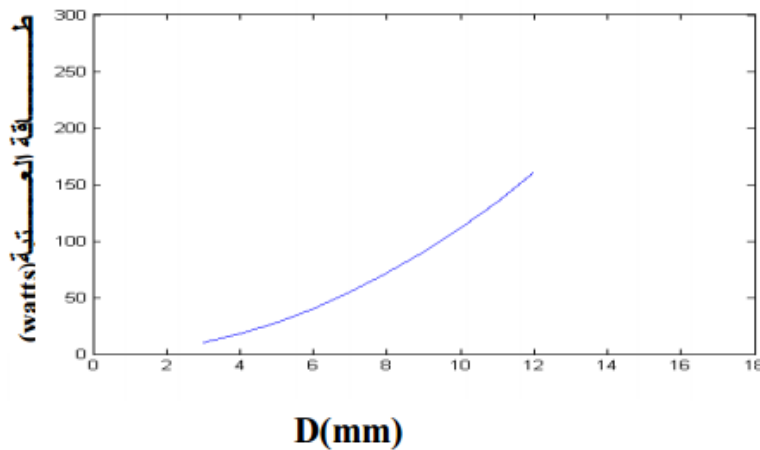


الشكل (4-7): كسب الليزر بدلالة قطر الوسط الفعال⁽⁶⁾

تبين النتائج المتحصل عليها في الشكل (4-7) العلاقة العكسية الرابطة بين كسب الليزر و قطر الوسط الفعال، فيكون منخفض جدا عند الأقطار الكبيرة ويرتفع عند الأقطار الصغيرة، فزيادة قطر الوسط الفعال يتناقص الكسب فيبلغ 0.3885 عند القطر 10 mm، بينما يصل 9.71 عند القطر 2mm. وذلك راجع لتناقص الخسائر داخل الوسط الفعال عند الأقطار الصغيرة بسبب تناقص حجم البلور.

4-7 تأثير قطر الوسط الفعال على طاقة العتبة:⁽⁶⁾

نمثل تأثير قطر الوسط الفعال على طاقة ضخ العتبة في الشكل (4-8) بحيث تكون انعكاسية المرآة الأمامية مساوية ل 75%.



الشكل (4-8) : طاقة العتبة بدلالة قطر الوسط الفعال. (6)

يبين الشكل (4-8) تزايد طاقة ضخ العتبة بزيادة القطر، فتكون طاقة الضخ منخفضة عند الأقطار الصغيرة وتزيد بزيادة القطر. فتبلغ 10.04 واط عند القطر 3mm و 160.7 واط عند القطر 12mm، وذلك راجع لزيادة عدد الذرات اللازمة للضخ عند زيادة قطر الوسط الفعال لتزايد حجم البلور. مما يتطلب زيادة في طاقة ضخ العتبة اللازمة لإثارة هذه الذرات وتحقيق الانعكاس السكاني وتوليد الليزر.

خاتمة:

في هذا الفصل توصلنا إلى الكفاءة العالية لليزر الشمسي، فاستخدام الضخ بالطاقة الشمسية يحسن من الإشعاع الناتج بالمقارنة مع مصادر الضوء الكلاسيكية، كما يملك ليزر Nd/Cr:ceramic YAG كفاءة ليزرية عالية متولدة من خلال الطاقة الشمسية أكثر من ضعف كفاءة ليزر Nd:YAG، و يمكننا الحصول على أقصى طاقة خرج الليزر باستعمال مرآة ذات انعكاسية $R=75\%$.

خاتمة عامة

خاتمة عامة

تعتمد تقنية الليزر الشمسي على تركيز الأشعة الشمسية بغية الوصول إلى مستوى إشعاعي يسمح بتخطي حاجز الضخ اللازم لحدوث الفعل الليزري، و ذلك بالحصول على طريقة بديلة، بسيطة وغير مكلفة لاستخدام الطاقة الشمسية في عملية التضخيم و تحويلها لأشعة الليزر بإستعمال طريقة الضخ بواسطة مركبات شمسية و الوسط المضخم وسطين Nd:YAG و Nd/Cr:YAGceramic الأنسب لهذه التقنية. لذا قمنا في هذا العمل بإستعمال ليزرين يعتبران من أهم المواد المستخدمة في مجال الليزر المولد بالطاقة الشمسية و توصلنا إلى النتائج التالية :

✓ إنتاج الانعكاس السكاني بإستعمال الضخ المباشر بالإشعاع الشمسي، يعد تقنية مميزة و غير مكلفة و رخيصة فتحويل الأشعة الشمسية إلى أشعة الليزر دون تحويلها إلى طاقة كهربائية، يوفر عدد قليل من الخطوات لتحويل الطاقة و بالتالي يملك Nd/Cr: YAGceramic من بين كل المواد عتبة ضخ منخفضة.

✓ حساب شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على مدينة ورقلة .

✓ ترتبط طاقة خرج الليزر خطيا بطاقة الضخ.

✓ كفاءة ليزر Nd/Cr:YAG ceramic أكثر من الضعف كفاءة ليزر Nd:YAG.

✓ يتغير كسب الليزر خطيا مع طاقة الضخ.

✓ يتناسب كسب الليزر عكسيا مع قطر وسط الفعال .

✓ الكفاءة العالية لليزر الشمسي، فاستخدام الضخ بالطاقة الشمسية يحسن من الإشعاع الناتج.

✓ لإمتصاص طيف من ضوء الشمس بكفاءة، يلزم ليزر مطعم مع مواد متعددة، التطعيم ب Cr^{+3} و

Nd^{+3} يلي هذا الإحتياج، فتطعيم Cr^{+3} و Nd^{+3} في السيراميك، يحقق خصائص بصرية مهمة

للسيراميك، فيملك إمتصاص واسع للطيف الشمسي Nd/Cr:YAGceramic . وهو مايعني كفاءة

ليزرية عالية متولدة من خلال الطاقة الشمسية، و يمكننا الحصول على أقصى طاقة خرج لليزر، بإستعمال مرآة

ذات إنعكاسية $R=75\%$.

السيراميك له مستقبل مشرق وهو مؤهل للاستخدام كمادة ليزرية صلبة مضخوخة بالشمس .

إن البحث العلمي مستمر في حقل الليزر الشمسي ، و يبدو أن الأمل معقود على استخدامه في تطبيقات عديدة لم تكن تخطر على بال أولئك الذين إبتكروه أول مرة. وكنظرة مستقبلية لهذا الموضوع فإننا نأمل أن يتم تحسين خصائص جديدة في مجال الليزر الشمسي، و تطوير أنظمة تركيز و استخدام بلورات Nd/Cr: YAGceramic بلورة الإشعاع الشمسي و الوسائل اللازمة لذلك .