الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي
كلية العلوم الدقيقة
قسم الفيزياء

رقم الترتيب:.....
رقم التسلسل:.....

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة
تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاعات وطاقة

من إعداد: بن ناصر نور الهدى

الموضوع

مقارنة كفاءة الليزر الشمسي ل Nd:YAG بالتحفيز على الطرف والتحفيز الجانبي

نوقشت يوم:19/06/ 2019

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رحومة فرحات	أستاذ تعليم عالي	رئيسا
زروال صورية	أستاذ محاضر -أ-	مناقشا
محلو السعيد	أستاذ محاضر -ب-	مؤطرا

الموسم الجامعي: 2019/2018

مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية

الإهداء

أتشرف بأن أتقدم بإهداء هذا العمل إلى:

إلى من سخر عمره لراحتي

إلى ملجأي وملاذي

إلى الشمعة التي أنارت وتنير حياتي ... والدي العزيز

إلى النبع الصافي والمصدر الدافئ

إلى عطاء الله الوافي

إلى من يرخص لها عمري الماضي والآتي ... والدتي الحنون

إلى النور الذي تبصر به عيني

إلى الدم الذي يجري في عروقي

إلى سندي وعوني ... أختي وأولادها

إلى رفيق دربي وهذه الحياة بدونه لا شيء

إلى من لم يبخل عني بشيء وكان لي خير سند ... خطيبي علي بلول

إلى رفقاء دربي من لم يتهاونو أبدا في تقديم المساعدة لي

من أعيش معهم أحلى أيام حياتي... شلتي حمد الحامدين 2

إلى من وقفو بجانبي وكانوا لي خير عون

بنات أعمامي وبنات عماتي

إلى من تشاركوا معي الفرح والحزن

وكانوا بسمتي في كل الأوقات... صديقاتي

وإلى حبيباتي بشيرة ونجوى

شكر وعرفان

بداية أود أن أتقدم بفائق الشكر والتقدير والامتنان العميق:

إلى من علمني كل حرف بإتقان وكان لي خير معلم وتحمل معي أعباء هذا البحث وأنار لي طريق العلم، أهدي ثمرة بحثي هذا إلى الأستاذ المشرف محلو السعيد.

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى مخبر استغلال وتثمين مصادر الطاقوية الصحراوية على احتضانهم لنا طيلة عمل هذا البحث.

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر الجزيل إلى أعضاء اللجنة على قبولهم لمناقشة هذا العمل بداية برئيس اللجنة رحومة فرحات والأستاذة زروال صورية.

فهرس المحتويات

فهرس المحتويات..... III
فهرس الأشكال..... VI
فهرس الجداول..... VIII
قائمة الرموز..... IX
مقدمة عامة:..... 1
الفصل الأول: تركيز وتوجيه الإشعاع الشمسي..... 3
المركزات الشمسية:..... 4
1-1- مقدمة:..... 4
1-2- تعريف المركزات الشمسية:..... 4
1-3- أشكال المركزات:..... 4
1-4- أنواع المركزات الشمسية:..... 5
1-5- المركزات النقطية:..... 6
1-5-1- مركز القطع المكافئ : 6
1-5-2- مجمعات عدسات فرينل FC: 7
1-6- تعريف الموجهات الضوئية:..... 8
1-6-1- موجهات ضوئية ذات قرينة انكسار ثابتة : 8
1-6-2- موجهات ضوئية ذات قرينة انكسار متغيرة:..... 8
1-7- أنواع الموجهات الضوئية:..... 8
1-7-1- موجهات مستوية: 9
1-7-2- موجهات دائرية: 9
1-8- الألياف البصرية:..... 9
1-9-الأدلةالموجية:..... 10
1-10- الخاتمة:..... 11
الفصل الثاني: الليزر والليزر الشمسي..... 13
2- الليزر والليزر الشمسي:..... 14
2-1- مقدمة:..... 14
2-2- الليزر:..... 14

2-2-1 نبذة تاريخية: 14
2-2-2 تعريف الليزر: 14
2-3- مميزات (خواص) شعاع الليزر: 15
2-3-1- أحادي اللون (النقاء الطيفي): 15
2-3-2- الاتجاهية (نفس الطور): 15
2-3-3 - الترابط الزماني والمكاني: 16
2-3-4- الشدة الضوئية (السطوع): 16
2-4- مكونات جهاز الليزر: 17
2-4-1- الوسط الفعال: 17
2-4-2- تجويف الرنين (المرنان): 17
2-4-3-الضخ: 18
2-5- آليات حدوث الانبعاث الليزري: 18
2-5-1-الامتصاص: 19
2-5-2- الانبعاث التلقائي: 20
2-5-3- الانبعاث المحفز: 20
2-6- آليات توليد أشعة الليزر: 21
2-7 كيفية حدوث الانقلاب السكاني في مستويات الليزر: 22
2-7-1- ليزر ثلاث مستويات: 22
2-7-2- ليزر ذو أربعة مستويات: 23
2-8- الليزر الشمسي: 23
2-8-1- نبذة تاريخية: 24
2-8-2- تعريف الليزر الشمسي: 25
2-8-3- مكونات منظومة الليزر الشمسي: 25
2-8-3-1- الضخ الشمسي: 25
2-8-3-1-1- الضخ الجانبي: 26
2-8-3-1-2- الضخ عند الأطراف: 27
2-9- الخاتمة: 27
قائمة المراجع: 28
الفصل الثالث: مقارنة مقادير فيزيائية لليزر الشمسي لقضيب Nd: YAG بالضخ الجانبي والضخ على طرف 31
3-1-مقدمة: 32
3-2- أنواع الليزر من حيث النمط: 32
3-2-1- ليزر متعدد الأنماط: 32

3-2-2- ليزر وحيد النمط $TEM00$: 32
3-3 خواص الليزر: 32
3-3-1-الاستطاعة الممتصة : 32
3-3-2- استطاعة خرج الليزر: 32
3-3-3- كفاءة التجميع: 32
3-3-4- معامل الشكل: 33
3-3-5-اللمعان: 33
3-3-6- كفاءة الميل: 33
3-3-7- استطاعة العتبة لتوليد الليزر: 33
3-4- جدول لأهم الأعمال: 33
3-4-1- أهم الأعمال لليزر المتعدد الأنماط: 33
3-5-المناقشة: 37
3-6-الخاتمة: 38
المراجع: 39
خاتمة عامة: 42
الملخص: 43

فهرس الأشكال

ترتيب الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
	الفصل الأول	
(1-1)	أشكال المجمعات	**04**
(2-1)	مجمع القطع مكافئ	**05**
(3-1)	أنواع قناة الموجه الضوئي	**06**
(4-1)	موجهات الأمواج الضوئية	**07**
(5-1)	موجهات الأمواج الضوئية	**08**
(6-1)	الليف البصري	**09**
(7-1)	الموجه الضوئي المستوي العازل المدمج	**09**
	الفصل الثاني	
(1.2)	شعاع الليزر	**14**
(2.2)	الموجات الضوئية لليزر والضوء العادي	**14**
(3.2)	الفرق بين الضوء العادي وضوء الليزر	**15**
(4.2)	الفرق الترابط بين الضوء العادي وضوء الليزر	**15**
(5.2)	مكونات جهاز الليزر	**16**
(6.2)	ظاهرة الامتصاص	**18**
(7.2)	الانبعاث التلقائي	**19**
(8.2)	ظاهرة الانبعاث المحفز	**20**
(9.2)	مخطط آلية توليد الليزر	**21**
(10.2)	ليزر ذو ثلاث مستويات	**22**
(11.2)	ليزر أربعة مستويات	**22**
(12.2)	مخطط توليد الليزر الشمسي بمادة Nd:YAG	**23**

(13.2)	مخطط تسليط الأشعة على Nd:YAG	**23**
(14.2)	منظومة ليزرية	**24**
(15.2)	تقنية ترشيح الإشعاع الشمسي	**25**
(16.2)	رسم تخطيطي لتقنية الضخ الجانبي	**25**
(17.2)	رسم تخطيطي لتقنية الضخ عند نهاية قضيب الليزر	**26**

فهرس الجداول

ترتيب الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
	الفصل الأول	
(1-3)	المقادير الفيزيائية لأعمال لليزر الشمسي متعدد الأنماط	**32**
(2-3)	المقادير الفيزيائية لأعمال لليزر الشمسي وحيد النمط	**34**
(3-3)	استطاعة العتبة وكفاءة الميل لليزر متعدد الأنماط	**35**
(4-3)	استطاعة العتبة وكفاءة الميل لليزر وحيد النمط	**36**

قائمة الرموز

المقادير الفيزيائية المستعملة	الرمز	الوحدة
قرينة انكسار منطقة اللب	n_1	بدون وحدة
قرينة انكسار الغلاف	n_2	بدون وحدة
زاوية التشتت	θ	بالدرجة
عدد الذرات في مستوي الطاقة E_1 و E_2	N_1 و N_2	بدون وحدة
ثابت بولتزمان	K_B	$[J/S]$
توالد المستويات	g_i	بدون وحدة
احتمال الإثارة في وحدة الزمن	ω_{12}	بدون وحدة
معامل اينشتاين للامتصاص	B_{12}	$[m^3.s^{-2}.j^{-1}]$
كثافة الطاقة للإشعاع الوارد	ρ_ν	$[\mathrm{j.s.m^{-3}}]$
معامل اينشتاين للانبعاث التلقائي	A_{21}	$[S^{-1}]$
مدة حياة إشعاع الحالة المثارة	τ_{rad}	$[s]$
معامل اينشتاين للانبعاث المحفز	B_{21}	$[m^3.\mathrm{s^{-2}.j^{-1}}]$
احتمالية الانبعاث المحفز في وحدة الزمن	ω_{21}	بدون وحدة
الاستطاعة	P	$[W]$
اللمعان	B	$[W]$
معامل الشكل	M^2	بدون وحدة

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

تعتبر الطاقة الشمسية من أفضل الطاقات المستخدمة حاليا وبكثرة، فقد استفاد منها الإنسان منذ القدم في العديد من التطبيقات منها: تجفيف المحاصيل الزراعية، التدفئة، إنارة المنازل وغيرها [1]، وقد تم أيضا استغلال الإشعاع الشمسي مؤخرا في عملية ضخ الأوساط الفعالة بهدف إنتاج ما يسمى بالليزر الشمسي.

تم صنع أول ليزر شمسي سنة 1966م من مادة Nd:YAG من قبل العالم يونغ باستطاعة بلغت 1w وبكفاءة تجميع تقدر ب$3.4w/m^2$ ، وبعد عمل يونغ لم يكن هناك أعمال أخرى حتى سنة 1984م فتم الحصول على ليزر شمسي باستطاعة 18w وكفاءة تجميع $0.023w/m^2$ وذلك من قبل العالم آراشي وزملائه وباستعمال نفس الوسط الفعال ، ومن ثمة توالت الأبحاث بهدف تحسين استطاعة الليزر الشمسي [2].

استعملت كل هذه الأبحاث تقنيتين لضخ الأوساط الفعالة (الضخ الجانبي والضخ على طرف الوسط الفعال)، حيث في التقنية الأولى يكون الإشعاع المسلط موزع على كامل الوسط الفعال، أما في التقنية الثانية فيكون الإشعاع المسلط متمركز على طرف المادة الفعالة [2].

سنقوم في مذكرتنا هذه بمقارنة بعض المقادير الفيزيائية (الاستطاعة الممتصة من طرف المادة الفعالة، استطاعة خرج الليزر، كفاءة التجميع، معامل الشكل واللمعان) لقضيب Nd:YAG بالضخ الجانبي و الضخ على طرف ، وذلك انطلاقا من الدراسات السابقة قصد تحضير أرضية عمل للأبحاث المستقبلية.

ينقسم هذا العمل إلى ثلاثة فصول:

* الفصل الأول سوف يكون حول تركيز وتوجيه الإشعاع الشمسي وذلك من خلال مركزات شمسية وموجهات ضوئية.

* الفصل الثاني سنقوم بطرح المفاهيم الأساسية لليزر العادي ومن ثمة التعرف على الليزر الشمسي وطرق ضخه.

* الفصل الثالث سوف نقوم بمقارنة المقادير الفيزيائية لليزر الشمسي لقضيب Nd:YAG بطريقتين الضخ الجانبي والضخ على طرف .

قائمة مراجع المقدمة العامة:

[1] علي ناجي حمودي، دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية جامعة تشرين 2009.

[2] Said Mehellou, Ferhat Rehouma, Noureddine Hamrouni, Leila Bouras, "Thermal loading effects on Nd:YAG

solar-laser performance in end-pumping and side-pumping configurations: a review," Opt. Eng. 57(12), 120902 (2018), doi: 10.1117/1.OE.57.12.120902.

الفصل الأول

تركيز وتوجيه الإشعاع الشمسي

المركزات الشمسية:

1-1- مقدمة:

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة على سطح الأرض ، حيث قام الإنسان بتسخيرها لمصلحته منذ العصور القديمة ، وذلك إما بالطريقة المباشرة في التدفئة والتسخين وتجفيف المحاصيل الزراعية ...الخ ، أو بطريقة غير مباشرة ، وذلك بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية أو حرارية باستخدام آليتي التحويل الكهرو ضوئي و التحويل الحراري باستخدام وسائل متطورة حيث تستخدم الخلايا (الألواح) الشمسية لتحويل لإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية ، كما يستعمل أيضا ما يسمى بالمركزات الشمسية لتجميع وتركيز الطاقة الشمسية ثم استغلالها إما بتحويلها إلى حرارة أو استعمالها بشكل آخر لاستغلالها في مجالات مختلفة كالإضاءة وتوليد أشعة الليزر ...الخ .

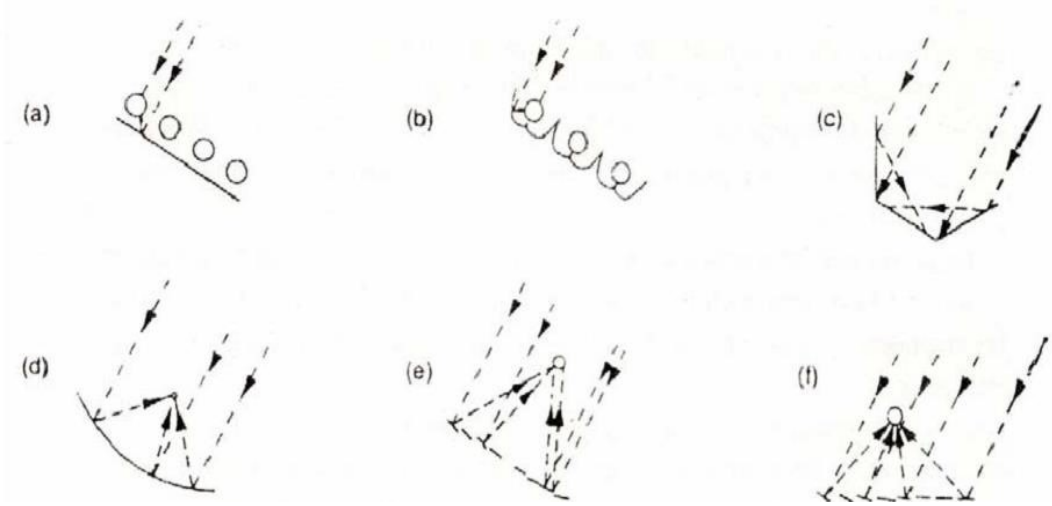
1-2- تعريف المركزات الشمسية:

مركزات الطاقة الشمسية هي أجهزة تعمل على تجميع وتركيز الإشعاع الشمسي لاستغلاله في مجالات مختلفة [1].

وتعتبر المجمعات الشمسية المكون الأساسي لأي نظام يعمل على استغلال الطاقة الشمسية، فهي الأداة التي تجمع الأشعة الواردة لتركزها على مستقبل.

1-3- أشكال المركزات:

العديد من أنواع المركزات يمكنها تركيز تدفق الإشعاع الشمسي على سطح المستقبل [1]، يمكن أن تكون المجمعات عاكسة أو كاسرة، يمكن أن تكون اسطوانية الشكل لتركز الأشعة الشمسية على خط أو ذات مقطع دائري لتركزها في نقطة. الشكل (1-1) :يوضح أشكال المركزات الشمسية.



الشكل (1-1): أشكال المجمعات [1]

حيث [1]:

(a) و (b) هما مجموعة من الأنابيب المفرغة ذات ماصات اسطوانية وعاكس خلفي لتوجيه الإشعاع إلى الأنابيب الماص (a) يستخدم عاكس خلفي مسطح و(b) عاكس بشكل قرن .

(c) لديه مستقبل مسطح وعاكس مسطح الحواف ليعكس الإشعاع الزائد إلى المستقبل.

(d) هو مجمع قطع مكافئ الشكل الذي يمكن أن يكون لديه سطح اسطواني (بمستقبل أنبوبي) أو سطح انقلاب (بمستقبل كروي أو نص كروي).

أما المجمع (e) فهو عاكس فرينل وهو مجموعة من العاكسات المتحركة.

المجمع الأخير (f) مجمع المستقبل المركزي وهو يتكون من مجموعة من المرايا hliostats بمستقبل وسطي

1-4- أنواع المركزات الشمسية:

تصنف المركزات الشمسية إلى صنفين الخطية والنقطية، حيث تتركز الأشعة الساقطة على العاكس في نقطة وتسمى البؤرة أو في خط ويسمى المحور البؤري [2] [3]، وسنعتمد في هذه الدراسة على المجمعات النقطية من أجل تركيز الإشعاع في بؤرة.

1-5- المركزات النقطية:

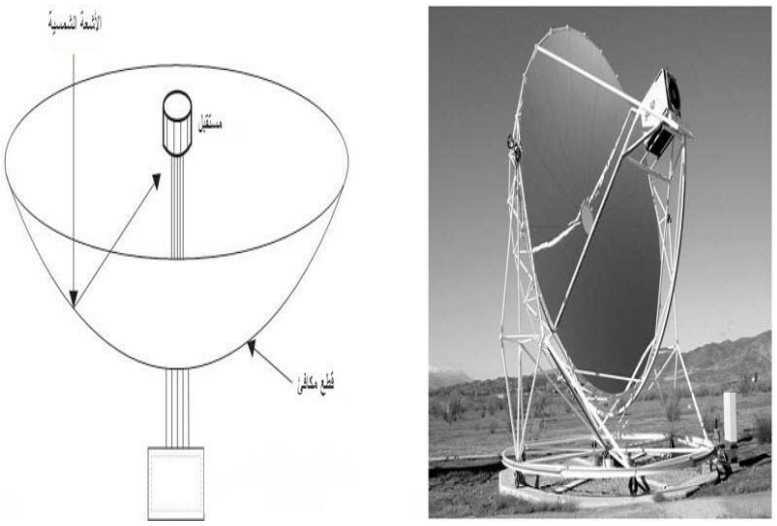
تعرف المركزات الشمسية النقطية على أنها سطوح عاكسة مقعرة، تعمل على تركيز الإشعاع الشمسي في نقطة وتسمى البؤرة [4]. ونذكر منها:

1- المركز الشمسي ذو قطع مكافئ.
2- عدسات فرينل.

1-5-1- مركز القطع المكافئ:

يسمى هذا المجمع أيضا بمجمع نقطة التركيز لأنه يركز الأشعة الشمسية على مستقبل نقطي يقع عند بؤرة الصحن العاكس [5]، [6].

حيث يتبع المركز الشمسي الشمس في محورين ليعكس الإشعاع إلى المستقبل الذي يعمل على امتصاص الإشعاع الشمسي ثم تركيزه وتحويله إلى طاقة حرارية. كما في الشكل (1-2)



الشكل (1-2): مجمع القطع مكافئ

هذه المجمعات لها عدة مزايا [6] منها:

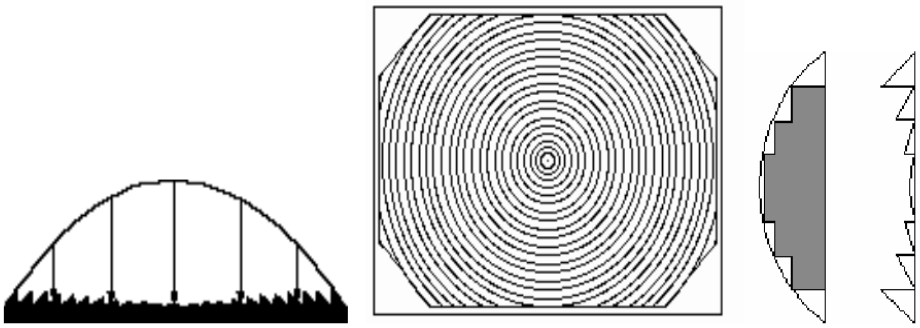
1-لأنها موجهة دوما إلى الشمس فهي ذات كفاءة عالية.

2-لها نسب تركيز في حدود 600 إلى 2000 فبالتالي لها كفاءة عالية في تركيز الطاقة الشمسية.

3-يمكن أن تعمل بشكل مستقل أو كجزء من نظام واسع.

1-5-2- مجمعات عدسات فرينل FC:

عدسات فرينل هي عدسات محدبة السطح أو مقعرة، مقطعة إلى دوائر أو أقراص رقيقة مسطحة، إذا كانت هذه الدرجات رقيقة يصبح سطح العدسة مخروطي وليس كروي [5]. الشكل (1-3): يوضح رسم تخطيطي لعدسة فرينل.



الشكل (1-3): عدسة فرينل

إن استعمال عدسة فرينل كمركز شمسي راجع للمزايا التالية [6]:

1-عدسة فرينل يمكن أن تصمم بأحجام كبيرة و وزن خفيف و بسمك أقل من 4mm وهكذا تكون تكلفتها منخفضة.

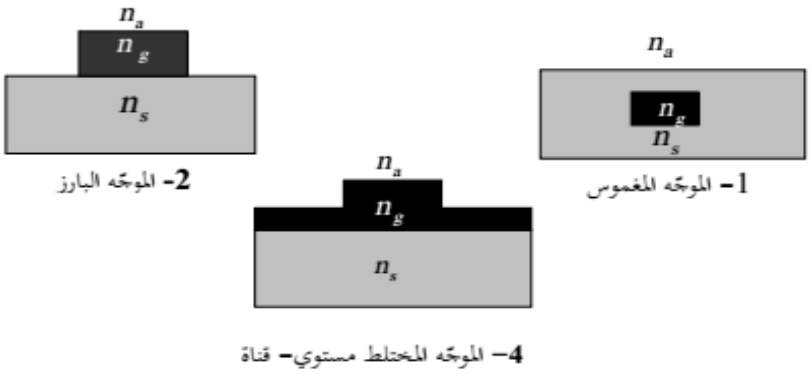
2-ضوءها الخفيف يسمح باستخدام عدسات بقطر أكبر والتي تجمع كمية أكبر من الضوء من المصدر.

3-عدسات فرينل لها بعد بؤري صغير، وتصميمها يصحح الانحراف الكروي ويسمح بإنارة متماثلة.

بعد دراسة المركزات الشمسية النقطية بنوعيها، عدسات فرينل والقطع مكافئ، وعلى الرغم من أن عدسات فرينل تملك مميزات عديدة من انخفاض تكلفتها وسهولة صنعها وتوفرها الدائم، إلا أن المركز الشمسي ذو قطع مكافئ له كفاءة أكبر في تركيز الأشعة الشمسية، ثم توجهه الأشعة المركزة إلى المستقبل، يمكن أن يكون المستقبل موضوع في البؤرة مباشرة، ويمكن أن يكون بعيدا عن البؤرة وفي هذه الحالة تنقل وتوجه الأشعة المركزة بواسطة مركزات أو عدسات، باستعمال موجهات ضوئية خاصة كالأدلة الموجية والألياف البصرية.

1-6- تعريف الموجهات الضوئية:

هي عبارة عن أنظمة عازلة كهربائيا، تستعمل لاحتباس الموجة الضوئية وتحديد مسارها، ومنها الموجهات المستوية والموجهات ذات ثلاثة أبعاد (قناة موجهة) [7]. وبعض هذه الأخيرة موضحة في الشكل (4-1):



الشكل (1-4): أنواع قناة الموجه الضوئي

وتنقسم الموجهات الضوئية من حيث قرينة الانكسار إلى نوعين:

1-6-1- موجهات ضوئية ذات قرينة انكسار ثابتة :

حيث لا تتغير قرينة انكساره بالنسبة للاتجاه العرضي لانتشار الموجة الضوئية.

1-6-2- موجهات ضوئية ذات قرينة انكسار متغيرة:

تكون قرينة انكساره متغيرة بالنسبة للاتجاه العرضي للانتشار وهذا راجع لتغير خواصه من نقطة إلى أخرى.

1-7- أنواع الموجهات الضوئية:

من بين موجهات الأمواج المعروفة [8]:

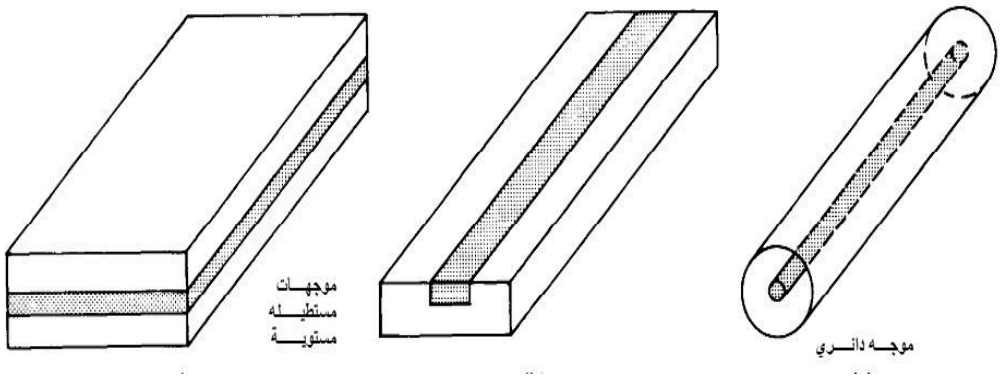
- موجهات مستوية.
- موجهات دائرية.

1-7-1- موجهات مستوية:

هي عبارة عن مادة من الزجاج ذات شكل مستوي أين تنتشر الأضواء بداخله، (دليل موجي).

1-7-2- موجهات دائرية:

هي عبارة عن نواقل ذات مقطع دائري، وتعتبر الألياف البصرية أحد هذه الموجهات الدائرية.



الشكل (1-5): موجهات الأمواج الضوئية

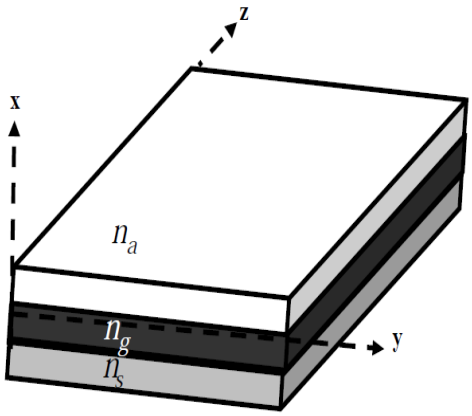
1-8- الألياف البصرية:

وهي تركيب من مادة الزجاج أو البلاستيك لنقل الإشارة الضوئية من نقطة إلى أخرى بأقل فقدان أو تلف أو تشويه، ويتكون الليف البصري من منطقة داخلية تسمى اللب يمر من خلالها الأضواء وتحيط بها منطقة تسمى الغلاف وتكون قرينة انكسار منطقة اللب n_1 أكبر من قرينة انكسار الغلاف n_2 لجعل الأضواء تسير في المنطقة الوسطية [9]. وتستعمل الألياف البصرية لنقل الإشارة الضوئية وينتقل الضوء داخلها بمبدأ الانعكاس الكلي بين الوسطين. شكل (1-6): يوضح الليف البصري.

الشكل (1-6): الليف البصري

1-9-الأدلةالموجية:

يستعمل الدليل الموجي لنقل الأشعة المركزة من نقطة التركيز إلى الوسط الفعال، حيث تخضع الأشعة داخله لمبدأ الانعكاس الكلي [7]، كما يوضحه الشكل (1-7):



الشكل (1-7): الموجه الضوئي المستوي العازل المدمج

لتوجيه الإشعاع الشمسي من بؤرة المركز الشمسي نستعمل الدليل الموجي الذي يعتمد على مبدأ الانعكاس الكلي للضوء بداخله.

يحدد شكل الموجه طريقة نشر الإشعاع الشمسي المركز والمنقولة بواسطته على المستقبل، بحيث يمكن أن تنتشر هذه الأضواء على محيط المستقبل أو على نهايتيه.

1-10- الخاتمة:

تم التطرق في هذا الفصل إلى المركزات أو المجمعات الشمسية النقطية بنوعيها المركز الشمسي ذو القطع المكافئ وعدسة فرينل، ومن أجل الحصول على أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية المركزة اخترنا المركز الشمسي ذو قطع مكافئ لأنه يسمح بمعامل تركيز مرتفع مقارنتا مع عدسات فرينل، ولتوجيه هذه الأشعة المركزة وتسليطها على الوسط الفعال نستعمل الدليل الموجي الذي يعتمد على مبدأ الانعكاس الكلي.

قائمة المراجع:

[2] محمد البار سوداني، تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي، رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017- 2018.

[4] سوداني عبد البار، " دراسة نظرية لمجمع شمسي أسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي "، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة 2009.

[9] عدي عطا حمادي، " أساسيات الليزر وتقنياته لطلبة الدبلوم الفني في الاتصالات " العراق 2004.

[10] بوراس ليلى، "دراسة تأثير شبكة براغ المنتظمة على تحسين الانتقالية الطيفية في الموجهات الضوئية المدمجة تطبيق تجويف رنين لليزر مدمج "، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة 2006.

[1] John A. Duffie, Willam. Bckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", New York, John Wiley a Sons, Inc,1999.

[3] Michael Mouzouris, A High-Flux Solar concentrating System, Mèmoire de Master, University of Kwazulu-Natal, July 2011.

[5] Abdelhadi Yasser, "Development of Optical Concentrator Systems For Directly Solar Pumped Laser Systems " , 2005.

[6] Soteris A. Kalogirou, "Solar Energy Engineering Processes and Systems ", Elsevier , 2009.

[7] Hamani Nadjette ,Modélisation du flux Solaire incident et de la température .

[8] Bahaa E.A. Saleh, "Fundamentals of photonics ", John Wiley a sons , 1991.

الفصل الثاني

الليزر والليزر الشمسي

2- الليزر والليزر الشمسي:

2-1- مقدمة:

الليزرات هي منظومة تولد الأشعة اعتمادا على مبدأ التضخم.

تم تصميم أول جهاز ليزر عام 1960 م من قبل العالم ميمان باستخدام بلورة الياقوت الذي يعرف بليزر الياقوت، يتميز شعاعه بخصائص مميزة عن الضوء العادي مما جعلته يدخل في الكثير من المجالات: الطب، المجال العسكري، والمجال الصناعي، والاتصالات...الخ [1].

بما أن الطاقة الشمسية تعد هي المصدر الرئيسي المجاني والوفير والمتجدد، لذلك يمكن استغلاله في عملية توليد أشعة الليزر لما تمتاز بيه من خصائص.

سنقوم في هذا الفصل بدراسة عامة لمنظومة الليزر، كما سنتطرق لتوليد الليزر إنطلاقا من الأشعة الشمسية.

2-2- الليزر:

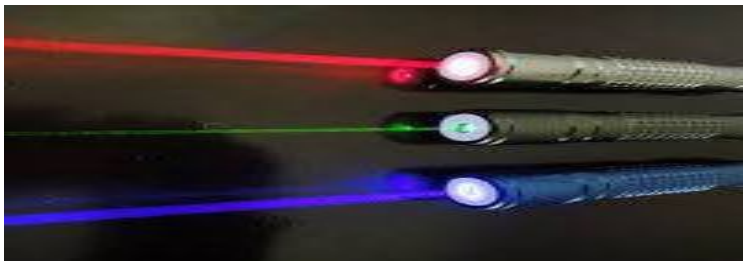
2-2-1 نبذة تاريخية:

في عام 1917 م أعطى آينشتاين الأساس النظري للانبعاث المحفز للإشعاع [2]، وفي عام 1960 م أنتج أول ليزر من قبل العالم ميمان بالضخ الضوئي لبلورات الياقوت الاصطناعي بإستعمال مصباح وامض مولدا إشعاع ليزر أحمر نابض بطول موجي (694 nm) [2]، وفي عام 1963 م لحقها ابتكار ليزرات كيماوية [3]، فتوالت تطورات البحث العلمي في مجال الليزر وأصبح التركيز على الأقل تكلفة والأنجع فقد تم استخدام الطاقة الشمسية كوسيلة ضخ لتوليد الليزر الشمسي سنة 1966 م [4].

2-2-2 تعريف الليزر:

المصطلح الإنجليزي لليزر Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

ويعني " تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز " وهو عبارة عن حزمة ضوئية مركزة ومنتظمة ذات فوتونات تشترك في ترددها وتتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها. [5] وكمثال لأحد أنواع الليزر موضح في الشكل (2-1)



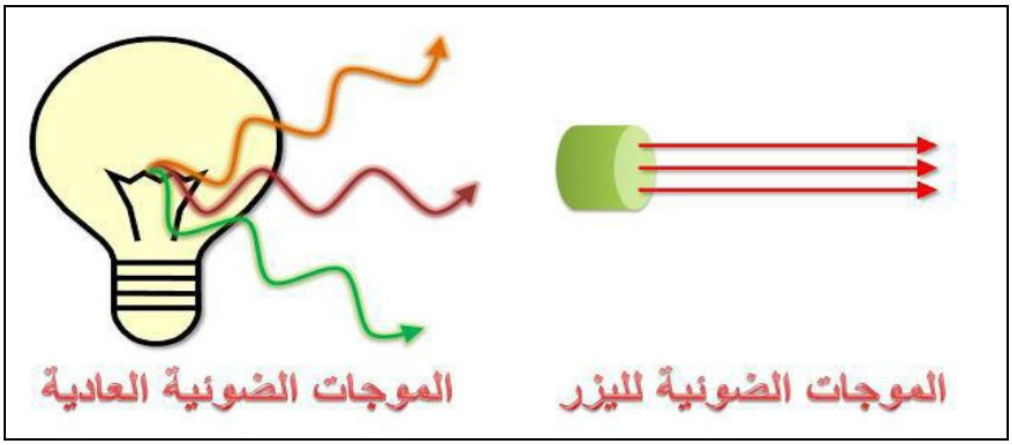
الشكل (2-1): شعاع الليزر

2-3- مميزات (خواص) شعاع الليزر:

لليزر خصائص مميزة لا توجد في الضوء العادي الذي تصدره بقية المصادر الضوئية العادية أهمها:

2-3-1- أحادي اللون (النقاء الطيفي):

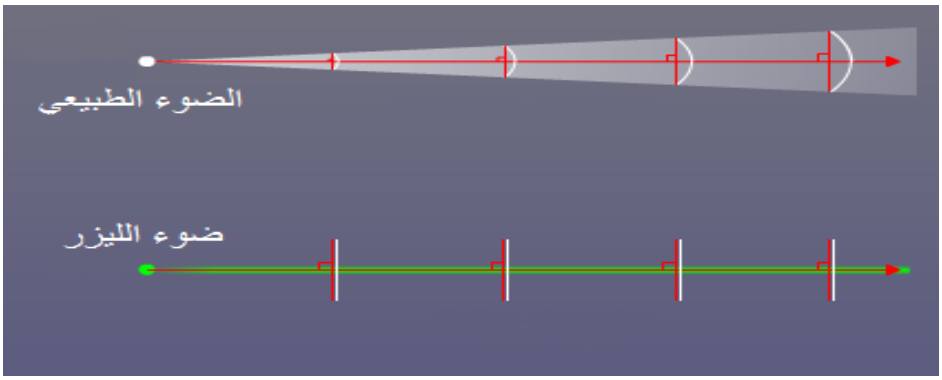
إن ضوء الليزر هو ضوء أحادي اللون لأن موجاته لها تواتر وطول موجي نفسه تقريبا ضمن مجال طيفي ضيق جدا مما يسبب إصدار إشعاع على درجة عالية من النقاء الطيفي وهذا ما يعطي لون واحد لضوء الليزر [5]، كما يوضح الشكل (2-2)



الشكل (2-2): الموجات الضوئية لليزر والضوء العادي [6]

2-3-2- الاتجاهية (نفس الطور):

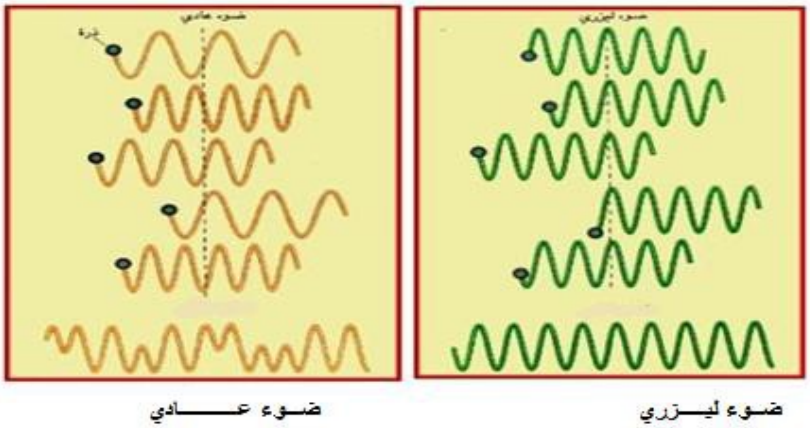
يملك الليزر حزم ضوئية متوازية تنتشر جميعها في اتجاه واحد، مما يجعلها تنتقل لمسافات بعيدة جدا مقارنة بالضوء العادي بتشتت يكاد يكون معدوم حيث زاوية التشتت θ صغير جدا $(\cos\theta\sim1)$ والشكل (2-3) يوضح ذلك.



الشكل (2-3): الفرق بين الضوء العادي وضوء الليزر

2-3-3 - الترابط الزماني والمكاني:

الترابط بين موجات الحزمة الواحدة عالي جدا ومتزامن وهذا يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة وقدرة عالية للحزمة على عكس الضوء العادي [5] كما هو موضح في الشكل (2-4).



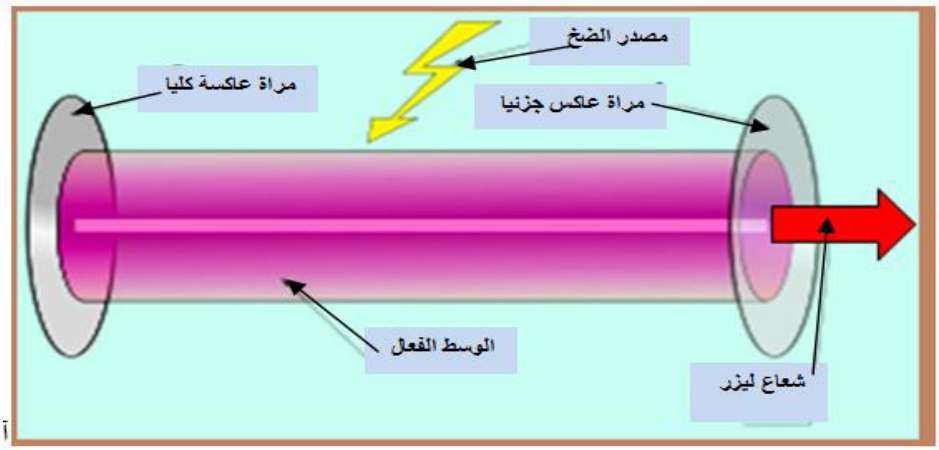
الشكل (2-4): الفرق بين ترابط الضوء العادي وضوء الليزر [7]

2-3-4- الشدة الضوئية (السطوع):

يتميز شعاع الليزر بشدة عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق، يمكن تعريضها أو تركيزها في بقعة صغيرة جدا باستخدام بعض الأجهزة البصرية (العدسات) [5].

2-4- مكونات جهاز الليزر:

تتكون منظومة الليزر من (وسط فعال، المرنان ووسيلة الضخ) كما يوضح الشكل (2-5)



الشكل (2-5): مكونات جهاز الليزر

2-4-1- الوسط الفعال:

هو المادة المسؤولة عن توليد الليزر ويمكن ان تكون في ثلاثة حالات [5].

الحالة الصلبة: وهو وسط بلوري مثل الياقوت الصناعي Ruby أو Nd:yag وعقيق الألمنيوم ، أو وسط زجاجي ... الخ

الحالة السائلة: وهي محاليل للأتربة النادرة بحيث يكون هذا المحلول عبارة عن مركب معدني-عضوي يكون فيه الأيون المعدني محاط بذرات الأكسجين مثل:Nd2o3 ، وليزر الأصباغ العضوية المتفلورة ...

الحالة الغازية: مثل خليط غاز الهليوم نيون He-Ne وغاز أو أكسيد الكربون co.

ليزر أشباه موصلات :تتكون المادة الفعالة من عناصر العمود الرابع من الجدول الدوري وتطعم بعنصر من العمود الخامس، مثل ارسنيك الجاليوم As-Ga.

2-4-2- تجويف الرنين (المرنان):

يعتبر المرنان من المكونات الرئيسية لأجهزة الليزر وهو منظومة مكونة من مرآتين أو أكثر، يمكن أن يكون لهما محور بصري مشترك في حالة المرآتين حيث تنتقل الفوتونات بين المرايا ذهابا وإيابا من أجل تضخيمها، وتكون واحدة من هذه المرايا ذات انعكاسية جزئية والمرايا الأخرى تكون ذات انعكاسية تامة [8]، وينقسم التجويف إلى:

1 تجويف خطي (فبري بيرو)

2 تجويف حلقي (أولي وثاني)

2-4-3-الضخ:

هو مصدر الطاقة الذي يهز ذرات الوسط الفعال من اجل إثارتها، وله عدة أنواع حسب الوسط الفعال لليزر [9]:

2-4-3-1- الضخ الكهربائي (التفريغ الكهربائي):

وتستخدم هذه التقنية في ضخ الليزرات الغازية وهي التفريغ الكهربائي، من خلال وضعها داخل أنبوب زجاجي (أنبوبة التفريغ الكهربائي)، يطبق عليها فرق جهد عالي على الأقطاب الكهربائية على جانبي الأنبوب [1]، [10].

2-4-3-2 - الضخ الضوئي:

ويتم استخدام المصابيح العادية أو شعاع ليزر معين ليقوم بضخ الوسط الفعال من أجل إثارة الذرات، والأنواع الأكثر شيوعا للمصابيح المستخدمة هي أنابيب الكوارتز مملوءة بغازات مثل الزينون الذي يعمل كمادة مشعة داخل المصباح الضوئي [12]، كما يمكن استغلال وتثمين الطاقة الشمسية لعملية ضخ الليزر الشمسي وهذا عن طريق المركزات التي تعمل على تركيز أشعة الشمس لتوليد الليزر [4].

2-5- آليات حدوث الانبعاث الليزري:

تكون المادة الفعالة في الحالة العادية في اتزان حراري مستقر، أي أن جميع الإلكترونات تكون في المستوي الأساسي، وعند ورود إشعاع كهرومغناطيسي عليها بتردد مناسب يحدث تحفيز للإلكترونات فتتفاعل المادة مع هذا الإشعاع في ثلاث آليات وهي الامتصاص، الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز [11]:

الاتزان الحراري يعطينا فكرة عن احتمالية حدوث انتقال بين مستويات الطاقة وذلك عند حدوث توازن حراري، يرتبط توزيع N_1و N_2 بعلاقة بولتزمان التي تعطى كما يلي [12] :

$$\frac{N_2}{\mathrm{N_1}} = \frac{g_2}{\mathrm{g_1}} \exp\left(\frac{-(\mathrm{E_2} - \mathrm{E_1})}{\mathrm{K_B T}}\right) \dots\dots\dots (1-2)$$

حيث:

N_1 و N_1: عدد الذرات في مستويات الطاقة E_1 و E_2

g_1 و g_2: توالد المستويات

K_B: ثابت بولتزمان $1.38065\left[{}^{j}/_{s}\right] \times 10^{-24}$

2-5-1-الامتصاص:

نعتبر انتقالات الالكترون قد تحدث بين مستويين طاقويين في نظام ذري مفترض، كما يبينه الشكل (2-6) لانتقال الإكترون من المستوي الأساسي E_1 إلى المستوي E_2 لابد من إمتصاصه لفوتون، ويجب أن يحمل هذا الفوتون نفس كمية طاقة بين المستويين، ويكون تواتر الإشعاع اللازم $\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{h}$ ويدعى هذا الانتقال بالامتصاص المحثوث واحتمال حدوثه هو [8] [13]:

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = -\omega_{12} N_1 = N_1 \rho_\nu B_{12} \dots\dots\dots (2-2)$$

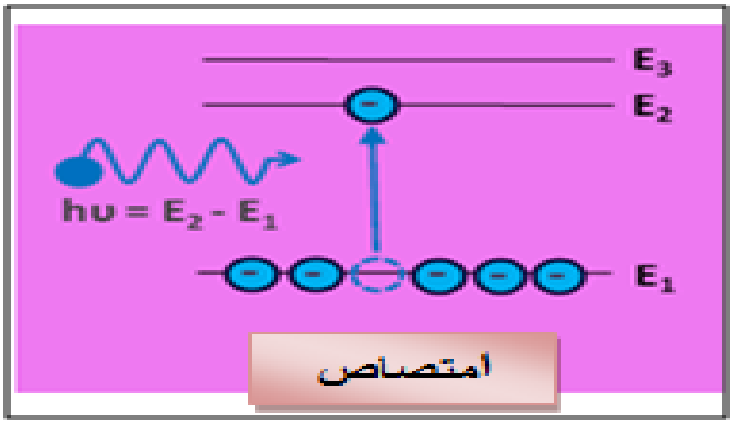
حيث:

ω_{12}: إحتمال الإثارة في وحدة الزمن.

B_{12}: معامل اينشتاين للامتصاص المحثوث $[m^3 s^{-2} j^{-1}]$

ρ_ν: كثافة الطاقة للإشعاع الوارد $[j.s.m^{-3}]$

N_1: عدد ذرات المستوي E_1



الشكل (2-6): ظاهرة الامتصاص [14]

من أجل نظام مكون من مستويين وبفرض وجود الاثارة المشعة فقط فالمساهمة في انتقال الالكترونات بين المستويين تكون:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -\frac{\partial N_1}{\partial t} \dots\dots\dots (3-2)$$

2-5-2- الانبعاث التلقائي:

هي عملية فقدان الطاقة من المادة بشكل تلقائي وبدون تأثير خارجي ويكون على شكل ضوء. بحيث تعود الإلكترونات لوضع الاستقرار تلقائيا وتعطي فوتون بالطاقة الممتصة سابقا [11] كما يوضح الشكل (2-7).

الشكل (2-7): الانبعاث *التلقائي* [14]

وتعرف نسبة الانتقال من المستوي الأعلى إلى المستوي الأدنى بالمعادلة التالية:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -A_{21}N_2 = -\frac{1}{\tau_{rad}}N_2 \dots\dots\dots (4-2)$$

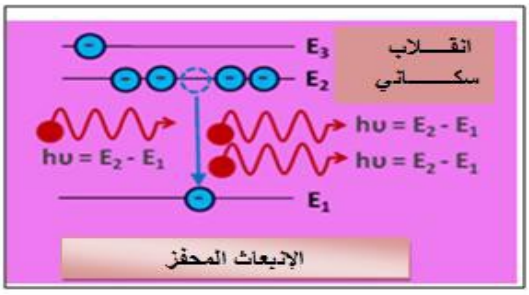
حيث:

A_{21}: معامل اينشتاين للانبعاث التلقائي وحدته $[s^{-1}]$

τ_{rad}: زمن المكوث أو عمر المستوي وحدته $[s]$ حيث $\tau_{rad} = \frac{1}{A_{21}}$

2-5-3- الانبعاث المحفز:

عندما تكون المادة مثارة أي أن الالكترونات تكون في المستوي المثار E_2 ويمر بها فوتون ذو طاقة $h\nu = E_2 - E_1$ يحفزها على النزول للمستوي الأساسي E_1قبل انتهاء زمن مكوثها في تلك الطبقة محررا فوتون يمتلك نفس الطاقة $h\nu$ وبنفس الخصائص [11] كما هو في الشكل (2-8)



الشكل (2-8): ظاهرة الانبعاث المحفز [14]

تعطى نسبة الانتقال من المستوي الأعلى إلى المستوي الأدنى بالمعادلة التالية [12]:

$$\frac{dN_2}{dt} = -B_{21}\rho_{\nu}N_2 = -\omega_{21}\mathrm{N}_2 \dots\dots\dots (5-2)$$

حيث:

ω_{21}: احتمال الإصدار المحثوث لوحدة الزمن.

B_{21}: معامل اينشتاين للانبعاث المحفز ووحدته $[m^3\mathrm{s}^{-2}\mathrm{j}^{-1}]$.

نسبة معاملات اينشتاين تعطينا فكرة عن احتمالية حدوث الامتصاص أو الانبعاث التلقائي أو الانبعاث المحفز المعطى بالمعادلة التالية [15]:

$$\frac{A}{B} = \frac{8h\pi\nu^3 n^3}{\mathrm{c}_0^3} \dots\dots\dots (6-2)$$

حيث:

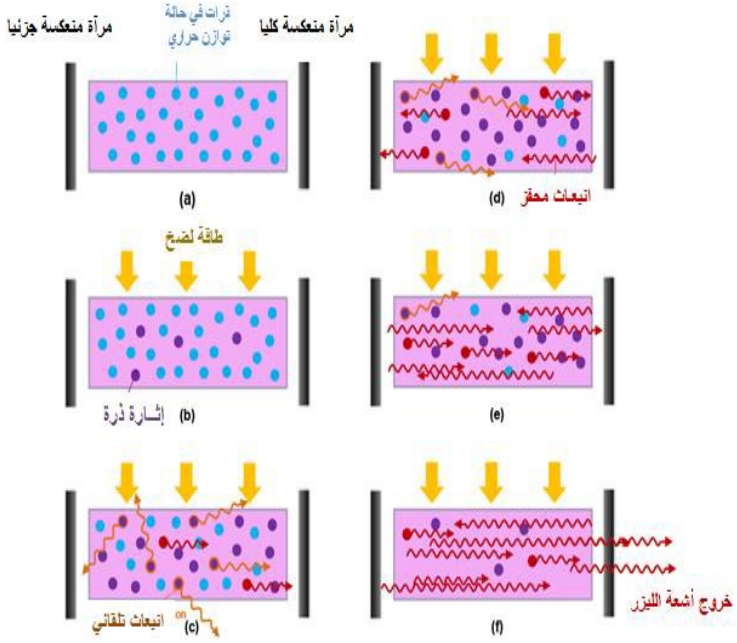
n : قرينة انكسار الوسط الفعال .

c_0: سرعة الضوء في الفراغ $3 * 10^8[m/s]$

2-6- آليات توليد أشعة الليزر:

يبين الشكل (2-9) مراحل توليد الليزر ، توضح المرحلة (a) الذرات مستقرة وفي حالة توازن حراري وبإعطاء طاقة خارجية (وسيلة الضخ) ، يحدث لعدد من الذرات إثارة كما تبينه المرحلة (b) ثم تعود الذرات لحالة استقرار من خلال انبعاث فوتون فتحدث عملية انبعاث تلقائي الموضحة في المرحلة (c) وبوجود تجويف الرنين فان الأشعة الموازية للمحور البصري ستعاني انعكاس على المرآتين (مرآة الجزئية والمرآة الكلية) وبالتالي فستساهم في عملية التضخيم كما هو موضح في المرحلة (d) ، نلاحظ أن عملية

التضخيم بدأت تتزايد فتكون أغلبية الذرات مثارة في المرحلة (e) ، فتكون عدد الذرات في المستوي الأعلى أكثر من عدد الذرات في المستوي الأدنى وهذا ما يسمى بالانقلاب السكاني ،ونتيجة لعملية التضخيم يتم انبعاث شعاع الليزر الذي يملك خصائص معينة ، المبينة في المرحلة (f) [14] [1] .

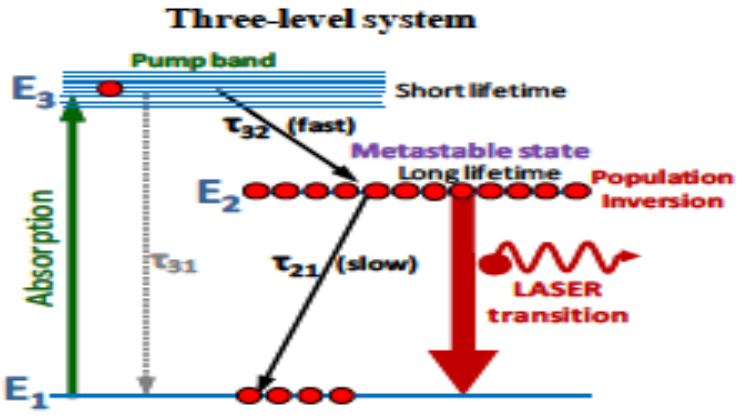


الشكل (2-9): مخطط آلية توليد الليزر [14]

2-7 كيفية حدوث الانقلاب السكاني في مستويات الليزر:

2-7-1- ليزر ثلاث مستويات:

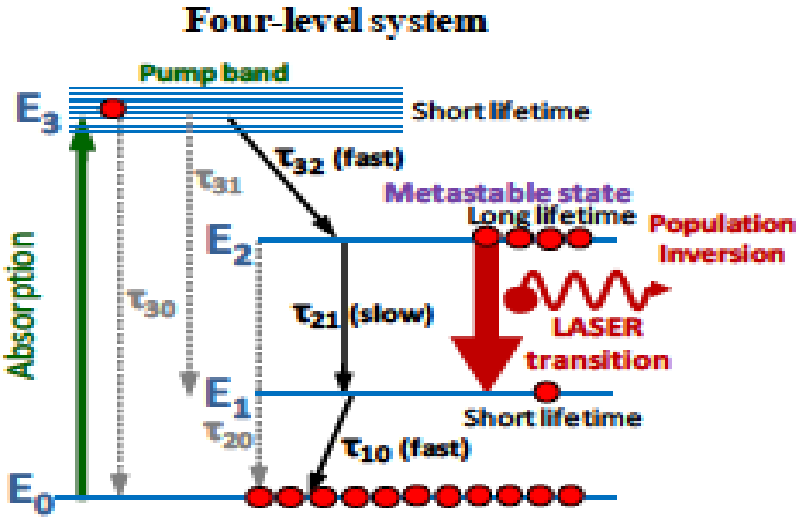
تكون الذرات في حالتها المستقرة في السوية الأولى E_1 وعند اكتساب طاقة تنتقل إلى السوية E_3(المستوي المثار)، وبعد عملية الاسترخاء تعود الذرات للسوية E_2 . فإذا كانت عملية الاسترخاء سريعة تبقى السوية E_3 فارغة تقريبا، ويحدث الانقلاب السكاني ما بين السويتينE_2،E_3 (المستوي شبه المستقر) ويكون الانتقال من السوية E_2 إلى السوية E_1 انتقال مشع كما يبينه الشكل (2-10) [4].



الشكل (2-10):ليزر ذو ثلاث مستويات [14]

2-7-2- ليزر ذو أربعة مستويات:

عند إثارة الذرة ترتفع من المستوي الأساسيE_0 للمستوي المثار E_3 ثم تنزل للمستوي شبه المستقر في عملية الاسترخاء E_2 ، ويكون الانتقال من السوية E_2 إلى السوية E_1مشع، ثم يصاحبه انتقال بين السويتين E_1وE_0 غير مشع كما في الشكل (2-11) [1].



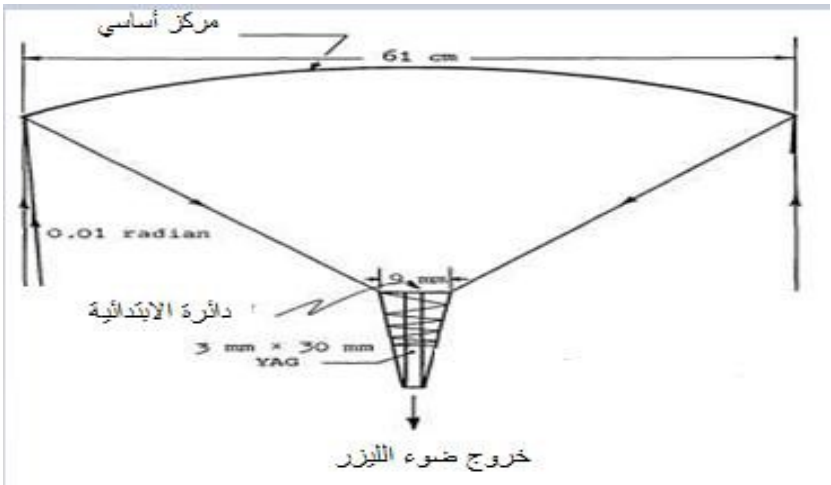
الشكل (2-11): ليزر أربعة مستويات [14]

2-8- الليزر الشمسي:

إن منظومة الليزر الشمسي لا تختلف عن منظومة الليزر العادي إلا في وسيلة الضخ.

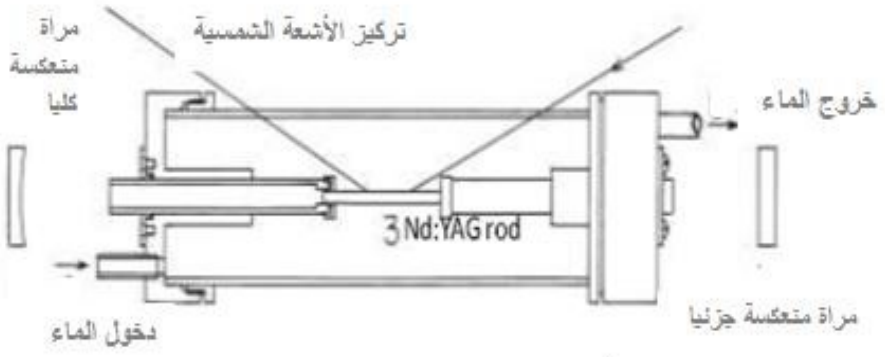
2-8-1- نبذة تاريخية:

في عام 1966 م تم تحقيق أول ليزر شمسي باستطاعة1w من قبل العالم يونغ باستعمال مادة Nd:YAG وتلسكوب معدل Cassegrain Suntracking يتكون من مركز أساسي قطره 61cm ، كما يوضح الشكل (12-2) [14]



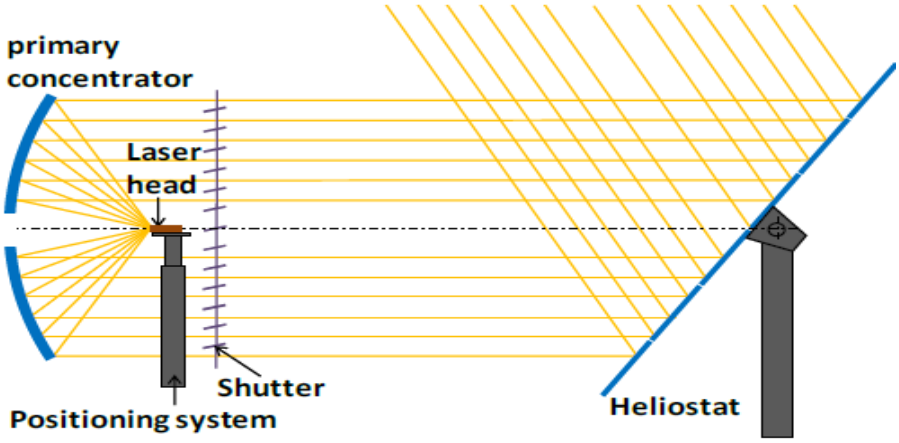
الشكل (2-12): مخطط توليد الليزر الشمسي بمادة Nd:YAG

بعد عمل يونغ لم يكن هناك تقدم كبير في مجال أبحاث الليزر الشمسي حتى عام 1984 م تحصل آراشي وزملائه على ليزر باستطاعة 18w باستخدام Nd:YAG أحادي البلورة ذو قطر 4mm وطول 75mm داخل أنبوب التدفق المبرد بالماء المقطر 50mm في بؤرة مركز مكافئ مساحته 78.5 m^2 كما في الشكل (2-13) [14].



الشكل (2-13): مخطط تسليط الأشعة على Nd:YAG

تواصل البحث في هذا المجال إلى أن عمل الباحث D. Liang وزملاؤه في الفترة الممتدة ما بين 2013-2017 على القيام بعدد من البحوث منها استعمال منظومة مركز القطع المكافئ لإنتاج ليزر بلغت كفاءته 9.6 w [14] كما في الشكل (2-14).



الشكل (2-14): منظومة ليزرية

2-8-2- تعريف الليزر الشمسي:

هو ليزر يعمل بالطاقة الشمسية، يشترك في نفس الخصائص مع أشعة الليزر العادية ولكنه يستخدم الطاقة الشمسية لضخ وسط ليزري، هذا النوع من الليزر لا يتطلب أي مصدر للطاقة الاصطناعية مما يشجع استخدام الطاقة البديلة.

تعتمد فكرة الليزر الشمسي على تركيز الإشعاع الشمسي من أجل الحصول على كثافة ضخ عالية لتوليد الليزر، وذلك باستخدام أجهزة التركيز الشمسي مثل المركز المكافئ، عدسة فرينل ...الخ لزيادة مستوي التركيز إلى مستوى أعلى [4].

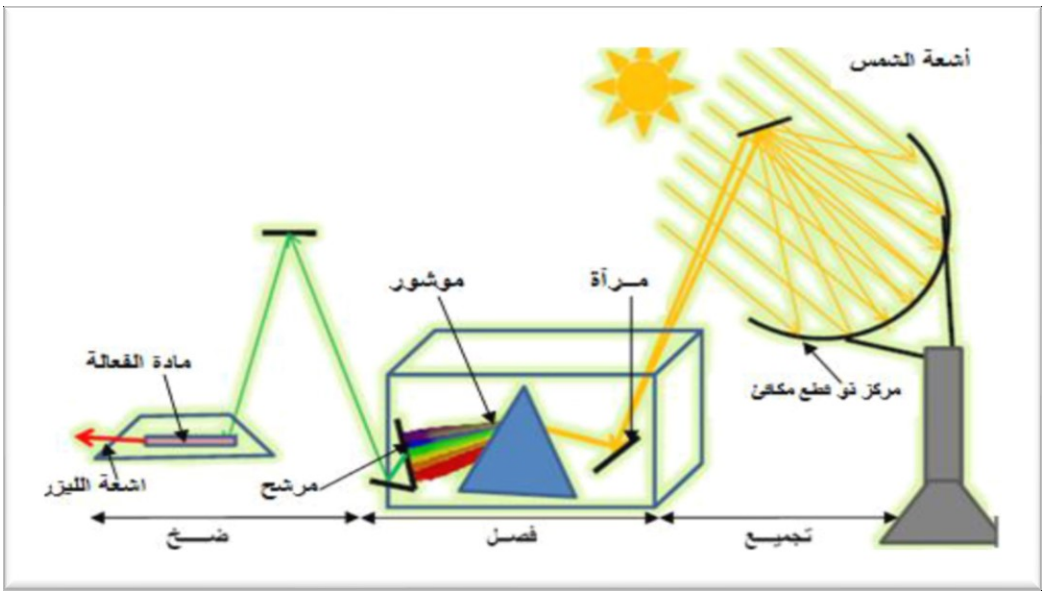
2-8-3- مكونات منظومة الليزر الشمسي:

تتكون منظومة الليزر الشمسي كباقي المنظومات من مادة فعالة وتجويف رنين ووسيلة ضخ، لكن هنا تستعمل أشعة الشمس المركزة كوسيلة للضخ.

2-8-3-1- الضخ الشمسي:

تستعمل الطاقة الشمسية المركزة من طرف المركز الشمسي لضخ المادة الليزرية ، ولكون طيف الإشعاع الشمسي المركز يحوي مجال من الأطوال الموجية لا تتفاعل كلها مع المادة الفعالة (لأنها لا تثار إلا

بأطوال موجية مناسبة) ، مما يؤدي إلى انتشار الحرارة داخلها وهذا قد يؤدي إلى تلفها ففي هذه الحالة نقوم بعملية ترشيح الضوء المجمع من طرف المركز الشمسي للحصول على ضوء ذو الطول الموجي المطلوب من المجال الطيفي والذي يتلاءم مع ضخ المادة الفعالة ، وتكون عملية ترشيح الإشعاع الشمسي المركز بفصل الأضواء المجمعة وترشيحها بواسطة موشور ثم نقوم بضخ الطول الموجي المناسب للمادة الفعالة . كما في الشكل (2-15)



الشكل (2-15): تقنية ترشيح الإشعاع الشمسي [16]

ويوجد نوعان من الضخ [14]:

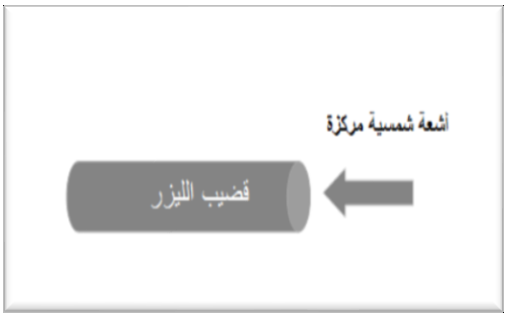
2-8-3-1-1- الضخ الجانبي:

في تقنية الضخ الجانبي، يتم تسليط الإشعاع الشمسي المركز من طرف المركز الشمسي على جوانب قضيب الليزر. ليجمع الأشعة ويركزها على جوانب قضيب الليزر، الشكل (2-16) يبين رسم تخطيطي لتقنية الضخ الجانبي

الشكل (2-16) : رسم تخطيطي لتقنية الضخ الجانبي

2-8-3-1-2- الضخ عند الأطراف:

في تقنية الضخ عند الطرف، يتم تسليط الإشعاع الشمسي المركز من طرف قطع مكافئ أو عدسة فرينل على نهاية واحدة من قضيب الليزر. يستعمل مركز ثانوي من نوع مركز مخروطي أو مركز مكافئ ركب لتجميع الأشعة ويركزها على نهاية واحدة لقضيب الليزر، الشكل (2-17) يوضح ذلك



الشكل (2-17): رسم تخطيطي لتقنية الضخ عند نهاية قضيب الليزر

2-9- الخاتمة:

تم التطرق في هذا الفصل إلى دراسة منظومة الليزر عموما والليزر الشمسي خصوصا، حيث يعتبر الليزر من أهم التكنولوجيات التي هي قيد البحث والتطوير، فتتميز أشعة الليزر بخواصها عن الضوء العادي حيث يتم توليده تحت شروط معينة من خلال آليات تفاعل مادة - إشعاع.

يمكن الحصول على الليزر إنطلاقا من مصدر متجدد ووفير ودائم وهي الطاقة الشمسية من خلال تركيز أشعة الشمس وضخ الوسط الفعال، ويتم الضخ بطريقتين، على الجانب وعند الطرف من أجل الحصول على الليزر الشمسي.

قائمة المراجع:

[1] محمد كوسا " فيزياء الليزر وتطبيقاته " كلية العلوم جامعة دمشق 2005-2006.

[3] صالح مصطفى الأتروشي ورياض وديع يوسف " الليزر وتطبيقاته "، كلية العلوم، جامعة أم القرى 2008.

[5] سعود بن عبد الحميد اللحياني، " الليزر وتطبيقاته "، كلية العلوم، جامعة أم القرى أبريل 2009.

[6] محمد يوسف الشيخ يوسف، دراسة اللوحات الفنية باستخدام تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر، مذكرة ماجستير، جامعة السودان أفريل 2017/5/08.

[8] عدي عطا حمادي، " أساسيات الليزر وتطبيقاته لطلبة الدبلوم الفني في الاتصالات " العراق 2004.

[9] أحمد عوف محمد عبد الرحمان، " الليزر شعاع الأمل الطبي "، المكتبة الأكاديمية شركة مساهمة مصرية 2007.

[11] عدي عطا حمادي، " تصنيع وتشغيل ليزر ثاني أكسيد الكربون لقطع البلاستيك "، شهادة ماجستير، العراق 2001.

[12] سلمي سميحة وعوينات نورالهدى " دراسة كفاءة الليزر الشمسي بواسطة الضخ عند الطرف ل Nd:YAG " مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي بجامعة حمة لخضر الوادي 2018.

[15] الزهرة حمادي وصبرينة خليفة " دراسة كفاءة الليزر الشمسي بواسطة الضخ الجانبي ل Nd:YAG" مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي بجامعة حمه لخضر الوادي 2018.

[2] Subhash Chandra Singh, Haibo Zeng, Chunlei Guo, and Weiping Cai, Nanomaterials: Processing and Characterization With Laser, Chapter 1 , Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. K Ga A ,2012.

[4] Yasser Abdel-Fattah Abdel-Hadi "Development of Optical concentratir Systems for directly Solar pumped laser systems" Technical University of Berlin Institute of Optics 2005.

[10] Peter W. milonni، Joseph h. eberly, " Laser physics ", edited John Wiley & sons

[13] Beggas Azzeddine" Etat d'art des verres dopés aux ions terres rares: Application Amplificateur Optique" Mémoire Magister, Université El-oued ,2010.
[14] Joana Isabel L'azaro Almeida" Advances in Solar-pumped Laser efficiency and brightness" these Doctor, University de Lisbon. Septembre 2017.

[16] Mehellou Said, Pompage optique des lasers par faisceau solaire, thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018

[7] http://www.moqatel.com/openshare/Behoth/MElmiah12/Lezr/fig08.jpg_cvt.htm08/5/2018

الفصل الثالث

مقارنة المقادير الفيزيائية للليزر الشمسي لقضيب Nd: YAG بالضخ الجانبي والضخ على الطرف

3-1-مقدمة:

ظهرت فكرة الليزر الشمسي بعد وقت قصير من اختراع الليزر، حيث تم صنع أول ليزر شمسي سنة 1966 م من خلال تركيز أشعة الشمس، من اجل ضخ الوسط الفعال لتوليد الليزر. هناك طريقتان للضخ، الضخ الجانبي والضخ على نهاية القضيب [1].

عند ضخ الوسط الفعال تتم عملية امتصاص الأشعة المركزة والتي تعتبر كميتها أحد العوامل الأساسية في تحديد فعالية الليزر الشمسي، حيث تتعلق استطاعة الخرج بالاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال. يؤدي امتصاص الأشعة إلى ارتفاع درجة حرارة الوسط مما يؤثر سلبا على الليزر الناتج [1].

سنقوم في هذا الفصل بإعطاء قيم خواص الليزر الشمسي في منظومتي الضخ الجانبي والضخ على النهاية والمقارنة بينهما في حالة الليزر وحيد النمط ومتعدد الأنماط.

3-2- أنواع الليزر من حيث النمط:

3-2-1- ليزر متعدد الأنماط:

نعتبر فيه كل أنماط الليزر المولدة.

3-2-2- ليزر وحيد النمط TEM_{00}:

ويسمى بالنمط الأساسي حيث يحتوي هذا النمط على حوالي 85%من طاقة شعاع الليزر الناتج، وهو عبارة عن بقعة دائرية مضيئة بشكل منتظم، ذات شكل قوسي، ويعتبر هذا النمط الأكثر تفضيلا في تشغيل منظومات الليزر بصفة عامة [2].

3-3 خواص الليزر:

لليزر خواص نذكر منها:

3-3-1-الاستطاعة الممتصة :

هي الاستطاعة الشمسية المركزة الممتصة من طرف الوسط الفعال، و وحدتها (w) .

3-3-2- استطاعة خرج الليزر:

هي الاستطاعة المولدة من طرف منظومة الليزر، ووحدتها (w).

3-3-3- كفاءة التجميع:

هي النسبة بين استطاعة خرج الليزر ومساحة المركز الأولي ووحدتها (w/m^2).

3-3-4- معامل الشكل:

هو حاصل قسمة الشكل الحقيقي لحزمة الليزر على الشكل المثالي لها، وكلما اقترب الحاصل من الواحد كان معامل الشكل أفضل.

3-3-5-اللمعان:

هو النسبة بين استطاعة الخرج ومعامل الشكل، ووحدته (w).

3-3-6- كفاءة الميل:

هو ميل منحنى استطاعة الليزر بدلالة الاستطاعة المركزة.

3-3-7- استطاعة العتبة لتوليد الليزر:

هي استطاعة الطاقة الشمسية المركزة التي من اجلها يبدأ الانبعاث المحفز، كلما كانت أقل كانت أفضل، ووحدتها (w).

3-4- جدول لأهم الأعمال:

3-4-1- أهم الأعمال لليزر المتعدد الأنماط:

الجدول (3-1): المقادير الفيزيائية لأعمال لليزر الشمسي متعدد الأنماط [1]

نوع الضخ	الضخ الجانبي				الضخ على طرف			
المقادير الفيزيائية	Multi mode laser power (w)	Multi mode laser collection efficiency (w/m^2)	Brightness (w)	factors M^2 (M_X^2/M_Y^2)	Multi mode laser power (w)	Multi mode laser collection efficiency (w/m^2)	Brightness (w)	factors M^2 (M_X^2/M_Y^2)
	استطاعة خرج ليزر متعدد الأنماط (w)	كفاءة التجميع لليزر متعدد الأنماط (w/m^2)	اللمعان B(w)	معامل الشكل M^2	استطاعة خرج ليزر متعدد الأنماط (w)	كفاءة التجميع لليزر متعدد الأنماط (w/m^2)	اللمعان B(w)	معامل الشكل M^2
Yong C G., 1966					1	3.45	x	x

Arashi H.et al., 1984	18	0.23	x	x				
Weksler M and Shwartz J 1988	60	1.56	x	x				
JenkinzD. G 1996	57	4.7	x	x				
LandoM .et al 2003	46	6.7	0.00033	استطاعة ليزر متعدد الأنماط 17w B=0.032w				
Yabey .et al 2007					24.4	18.7	x	x
Liang D and Almeida J 2011					12.3	19.3	0.014	$M^2 = 10.6$ استطاعة ليزر متعدد الأنماط 9.7w B=0.086w
Dinh T.H.et al 2012					120	30	0.0066	137
Almeida J, et al 2012	27.7	9.6	0.16	$M^2 = 0.92$				
Liang D et al	33.6	11.7	0.044	$M^2 = 0.97$				

2013								
Almeida J .et al 2013					40	13.9	0.09	21
X U P et al.,2014					20.3 27	19.7 26.14	0.0017	126
Almeida J. et al 2015					56	21.1	0.028	44.7
Liang D. et al., 2016					29.3	25	0.01	54.13
Liang D. et al 2017					37.2	31.5	0.013	53.5
Guanz .et al 2018					33.1	32.1	0.009	61

الجدول (3-2): أهم الأعمال لليزر الشمسي وحيد النمط [1]

نوع الضخ	**الضخ الجانبي**				**الضخ على طرف**			
المقادير الفيزيائية	TEM_{00} mode laser power (w)	TEM_{00} Mode collection efficiency (w/m^2)	Brightness figure of merit, TEM_{00}	M^2	TEM_{00} mode laser power (w)	TEM_{00} Mode collection efficiency (w/m^2)	Brightness figure of merit, TEM_{00}	M^2
	استطاعة خرج ليزر وحيد النمط (w)	كفاءة التجميع لليزر وحيد النمط (w/m^2)	لمعان ليزر وحيد النمط (w)	معامل الشكل M^2	استطاعة خرج ليزر وحيد النمط (w)	كفاءة التجميع لليزر وحيد النمط (w/m^2)	لمعان ليزر وحيد النمط (w)	معامل الشكل M^2
Liang D. and	2.3	2.93	1.9	≤ 1.1				

Almeida J 2013								
Liang D et al., 2015	4.4	1.9	4.0	≤ 1.05				
Almeida J .et al 2015	5.5	2.84	3.52	≤ 1.25				
Vistas C.R.et al ., 2015	4.0	3.6	3.0	$M_X^2 \leq 1.2$ $M_{Y\leq 1.1}^2$				
Liang D .et al., 2016	4.5	4.0	3.72	≤ 1.1				
Liang D .et al., 2017					9.3	7.9	6.46	≤ 1.2
Bouadjemi meR .et al.,2017	2.3	1.96	2.2	≤ 1.05				
Mehellou S. et al ,2017	2.7	2.3	2.45	≤ 1.05				

الجدول (3-3): استطاعة العتبة وكفاءة الميل لليزر متعدد الأنماط [1]

ليزر متعدد الأنماط		
نوع الضخ	**الضخ الجانبي**	**الضخ على طرف**
Maximum threshold pump power (w) **استطاعة العتبة (W)**	**402**	**192**

Maximum slope efficiency (%) **كفاءة الميل (%)**	**2.2**	**2.9**

الجدول (3-4): استطاعة العتبة وكفاءة الميل لليزر وحيد النمط [1]

ليزر وحيد النمط		
نوع الضخ	**الضخ الجانبي**	**الضخ على طرف**
Maximum threshold pump power (w) **استطاعة العتبة (W)**	**380**	**x**
Maximum slope efficiency (%) **كفاءة الميل (%)**	**2.36**	**x**

3-5-المناقشة:

نلاحظ أن استطاعة الخرج بالنسبة للضخ على الطرف أكبر من استطاعة الخرج للضخ الجانبي، وذلك يعود إلى أن الطاقة الممتصة تكون مركزة على الطرف على عكس الجوانب فتكون موزعة.

أما بالنسبة لكفاءة التجميع فنفس الشيء، على الطرف أكبر من على الجوانب وذلك لأن الكفاءة متعلقة باستطاعة الخرج، فكلما كانت استطاعة الخرج أكبر كانت الكفاءة أكبر.

يؤثر الحمل الحراري على شكل حزمة الخرج الذي يحدده معامل الشكل ففي الضخ الجانبي معامل الشكل أفضل من الضخ على الطرف، والسبب في ذلك هو أن التوزيع المنتظم للاستطاعة الممتصة للضخ الجانبي يؤدي إلى توزيع منتظم لدرجة الحرارة وبالتالي يكون تأثير الحمل الحراري منخفض أما في حالة الضخ على الطرف تكون الاستطاعة الممتصة مركزة وبالتالي تكون درجة الحرارة مرتفعة في هذه المنطقة مما يؤدي إلى تأثير كبير للحمل الحراري.

اللمعان في الضخ الجانبي أفضل من اللمعان في الضخ على الأطراف، والسبب في ذلك يعود إلى القيم الكبيرة لمعامل الشكل في الضخ على الطرف تقلل من قيمة اللمعان.

استطاعة العتبة في الضخ على الطرف أفضل لأنها أقل من استطاعة العتبة في الضخ الجانبي، وكذلك زاوية الميل بالنسبة للضخ على الطرف أفضل لأن قيمها أكبر من قيم زاوية الميل للضخ الجانبي، وبالتالي كفاءة أحسن.

في الليزر وحيد النمط نفس ملاحظات ليزر المتعدد الأنماط (استطاعة الخرج وكفاءة التجميع) للضخ على الطرف أفضل، و(معامل الشكل واللمعان) في الضخ الجانبي أفضل.

3-6-الخاتمة:

تم التطرق في هذا الفصل إلى دراسة العديد من الأعمال السابقة حول منظومتي الضخ الجانبي والضخ على الأطراف، وذلك من خلال إعطاء قيم خواص الليزر الشمسي في كل منظومة، ومن ثمة المقارنة بينهما فتوصلنا إلى أن لكل منظومة ميزات كما أن لها عيوب، حيث أن قيم استطاعة الخرج في الضخ الجانبي منخفضة إلا أن هذه الطريقة تقلل من مشكل الحمل الحراري، وذلك بتوزيع الأشعة الممتصة بانتظام على الوسط الفعال ومنه المحافظة على خصائصه والحصول على حزمة ليزر شكلها أقرب إلى الشكل النظري.

أما بالنسبة للضخ على الطرف فقيم استطاعة الخرج معتبرة إلا أن تمركز الإشعاع الممتص على طرف المادة الفعالة يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها وبالتالي التأثير سلبا على خصائص ليز الخرج وإمكانية تلف الوسط الفعال.

المراجع:

[2] عدي عطا حمادي، " أساسيات الليزر وتطبيقاته لطلبة الدبلوم الفني في الاتصالات "، العراق 2004

[1] Said Mehellou, Ferhat Rehouma, Noureddine Hamrouni, Leila Bouras, "Thermal loading effects on Nd:YAG solar-laser performance in end-pumping and side-pumping configurations: a review," Opt. Eng. 57(12), 120902 (2018), doi: 10.1117/1.OE.57.12.120902.

خاتمة عامة

خاتمة عامة:

الليزر الشمسي أو ليزر الطاقة الشمسية هو تحويل أشعة الشمس إلى ليزر، ويتم ذلك من خلال تركيز الإشعاع الشمسي على الوسط الفعال، وقصد مقارنة بعض المقادير الفيزيائية والمتمثلة في استطاعة خرج الليزر كفاءة التجميع ومعامل الشكل واللمعان لقضيبNd:YAG في منظومتي الضخ الجانبي والضخ على الطرف قمنا بدراسة الأعمال السابقة حول هاتين المنظومتين فتوصلنا إلى أن استطاعة الليزر المولد (المنتج) تحدد انطلاقا من الاستطاعة الممتصة من طرف القضيب .

ففي الضخ الجانبي الاستطاعة الممتصة تكون موزعة على كامل القضيب وبالتالي استطاعة الخرج تكون منخفضة وكفاءة التجميع منخفضة أيضا، أما فيما يخص معامل الشكل فيكون صغير (قريب من الواحد، شكل حزمة ليزر الخرج تكون أقرب إلى الشكل النظري) وقيم اللمعان فتكون معتبرة.

أما في الضخ على الطرف فتكون استطاعة الخرج معتبرة وذلك لأن الاستطاعة الممتصة من طرف القضيب مركزة على طرفه وبالتالي كفاءة التجميع معتبرة ومعامل الشكل كبير وقيم اللمعان منخفضة.

ومنه نقول إنه في التقنية الأولى معامل الشكل واللمعان أفضل نتيجة للتوزيع المنتظم للإشعاع الممتص، وفي التقنية الثانية استطاعة الخرج وكفاءة التجميع أفضل مع توزيع غير منتظم للإشعاع الممتص وبالتالي تأثير معتبر للحمل الحراري.

لتخطي سلبيات الطريقتين يمكن استغلال طريقة الضخ على الطرفين.

الملخص:

قدمنا في هذا العمل بدراسة حول الليزر الشمسي والذي هو عبارة عن تحويل أشعة الشمس إلى ليزر، وذلك من خلال تجميع وتركيز الإشعاع الشمسي عن طريق مركز قطع مكافئ ثم توجيهه باستعمال دليل موجي، بهدف ضخ الوسط الفعال، وهناك طريقتين للضخ الضخ الجانبي والضخ على طرف. قمنا بدراسة مجموعة من الأعمال السابقة حول هاتين الطريقتين (الضخ الجانبي والضخ على الطرف) فتوصلنا إلى أن في الضخ الجانبي قيمة الاستطاعة الممتصة منخفضة مع توزيع منتظم للإشعاع الممتص على كامل القضيب، أما في الضخ على طرف فقيمة الاستطاعة الممتصة مرتفعة والإشعاع الممتص يكون متمركز عند طرف المادة الفعالة.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي، المركز الشمسي، الدليل الموجي، الوسط الفعال Nd:YAG ، الضخ الجانبي، الضخ على طرف، ليزر متعدد الأنماط، ليزر وحيد النمط.

Résumé :

Dans ce travail, nous avons présenté une étude sur les lasers solaires, qui consistent à convertir la lumière solaire en lumière laser en concentrant le rayonnement solaire au moyen d'un concentrateur, puis en le dirigeant à l'aide d'un guide d'onde pour pomper le milieu laser. Il existe deux méthodes de pompage, le pompage latéral et le pompage par le bout. Nous avons étudié une série de travaux antérieurs utilisant ces deux méthodes de pompage, ce qui nous a permis de conclure que, le pompage par le bout est le plus efficace tandis que le pompage latéral permet une distribution uniforme de la lumière de pompage ce qui réduit les problèmes de charge thermique.

Mots-clés: rayonnement solaire, concentrateur solaire, guide d'onde, milieu actif Nd: YAG, pompage latéral, pompage par le bout, laser multimode, laser monomode.