

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم: الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء اشعاع

من إعداد: بالي عائشة - زهواني ابتسام

الموضوع

دراسة مميزات نظام الليزر الشمسي وحيد النمط TEM₀₀ ذي التحفيز على الطرف

نوقشت يوم: 2022/06/14

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا
مناقش أول
مناقش ثاني
مؤطراً

أستاذ تعليم عالي
أستاذ مساعد - أ -
أستاذ تعليم عالي
أستاذ محاضر - أ -

محبوب محمد الصادق
بوراس ليلى
رحومة فرحات
محلو السعيد

تم انجاز هذا العمل في مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية - LEVRES -

الموسم الجامعي: 2022/2021



إهداء

بسم الله أبدأ كلامي ... الذي بفضلته وصلت مقامي هذا الحمد والشكر على ما أتاني،
أهدي هذا العمل الكريم:

إلى من غمروني بالمحبة والدعاء والرضا، إلى والدي الفاضل والعزيز الذي تعب لتعبي
وجاهد لجهادي إلى الذي لولاه لما وصلت لما أنا عليه، إلى أمي الكريمة والحنونة التي
سهرت لسهرتي وتعبت لتعبي إلى التي لولوا رضاها لما وفقني الله، أدامهم الله لي نعمة
وزادني بفضلهم ارتقاء

إلى إخوتي سندي الطيب، خليفة ومبروك، علاء الدين، أحمد، وأخواتي سميرة و نصيرة
و مسعودة وأخص بذكرهم رفيقتي مريم.

إلى زوجة أبي حفظها الله وأطال في عمرها، إلى زوجات أخوتي وإلى كتاكيت البيت
وأخص بذكرهم زينب وملاك ويونس.
إلى أخوالي وخالاتي وعمتي وعمي، حفظهم الله ونور دربهم.

إلى كل عائلة "بالي" و"ديار" وجميع من تربطهم بي صلة رحم.

إلى رفيقة دربي وروح فؤادي "ابتسام" صديقتي وزميلتي في العمل.

إلى من زرعت في داخلي روح الأمل والتفاؤل وكانت سببا بعد الله في نجاحي أستاذتي
الفاضلة "بته سارة".

إلى كل من شاركوا معي الحزن والفرح وتذوقوا معي أجمل اللحظات صديقتي
وأصدقائي الحاضرين منهم والغائبين عن العين ولم يغيبوا عن القلب. وأخص منهم
هاجر ومنال، الشيماء، لمياء، سمية، خولة، فتيحة، عرفة وسارة

إلى كل من علمني حرفا أستاذتي وزملائي الطلبة الفيزيائيين خاصة معلمي الكريم الذي
بدأ معي أول خطواتي "صالح صالح".

إلى التي في القلوب دوما نسيتهما الألسن لكن الذكرى لن تنساها "القدس الحبيبة"، فاللهم
نور أعيننا برؤياها وأغثها بنصرنا قريبا عاجلا غير آجلا.

أهدي ثمرة نجاحي إلى كل روح فيزيائية شغوفة للعلم.

عائشة

الاهداء

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين.

أهدي ثمرة جهدي هذا إلى **والديا الكريمين** حفظهما الله ورعاهما

إلى من تقاسمت معهم ذكريات طفولتي وشبابي **إخوتي وأخواتي**

وإلى من تقاسمت معهم مشواري الدراسي صديقاتي

"منال"، "هاجر"، "عائشة".

إلى كل من ساعدني من قريب أو من بعيد ولو بكلمة.

إلى كل أهل المعرفة والعلم.

ابتسام

شكر و عرفان

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ وَالصَّلَاةَ وَالسَّلَامَ عَلَى أَشْرَفِ الْمُرْسَلِينَ سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ ﷺ وَعَلَى آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ. الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والحمد لله الذي أماننا على إتمام هذا العمل على أحسن وجه. ووفقنا فيما سعينا إليه.

بداية نتقدم بجزيل الشكر إلى الأستاذ المشرف الفاضل **محمود السعيد** لإشرافه على هذه المذكرة، والذي كان عوناً لنا من خلال توجيهاته وإرشاداته، كما نتقدم بالشكر الخاص إلى أعضاء اللجنة على قبولها مناقشة هذا العمل المتواضع.

نتقدم كذلك بجزيل الشكر إلى جميع من كانوا لنا عوناً أعضاء **مخبر LEVRES**. بداية برئيس المخبر الأستاذ **فرحات رحومة**، وممنذسه **قده عثمان**.

كما يسرنا أن نوجه الشكر لكل من نصحنا من زملائنا الفيزيائيين أو أساتذة وكان لنا عوناً في مشوارنا الدراسي. أو ساهم معنا في إعداد هذا العمل، خاصة إلى الطلبة "**اسويد بنمال**"، "**مسعودي لمياء**"، "**عازبة أحمد سمية**"، "**بوطمرة أنس عبد الصمد**"، "**دركي منال**"، و جزيل الشكر إلى "**خليل مناعي**"، وكذلك إلى رئيس القسم "**بِقاص عز الدين**" على تفهمه لنا طيلة مسيرتنا الدراسية. وإلى كل أساتذة الفيزياء بكلية العلوم الدقيقة.

وتسام عائشة

فهرس المحتويات

I	.....	الاهداء
III	.....	شكر و عرفان
IV	.....	فهرس المحتويات
IV	.....	قائمة الاشكال
XIII	.....	قائمة الرموز
XV	.....	قائمة المصطلحات
المقدمة العامة		
2	.....	المقدمة العامة
الفصل الأول: مبادئ وأساسيات الليزر		
5	.....	1- مقدمة
5	.....	2- تعريف الليزر
5	.....	3- خصائص الليزر
6	.....	1.3- أحادي الطول الموجي
6	.....	2.3- الاتجاهية
6	.....	3.3- الترابط
7	.....	4.3- السطوع
7	.....	4- المبدأ الأساسي لعمل الليزر
7	.....	1.4- الامتصاص
8	.....	2.4- الانبعاث التلقائي
9	.....	3.4- الانبعاث المستحث
9	.....	5- مكونات جهاز الليزر
10	.....	1.5- الوسط الفعال
11	.....	2.5- وسيلة الضخ
11	.....	3.5- المرنان
12	.....	6- الانقلاب السكاني
13	.....	7- أنظمة الليزر
13	.....	1.7- نظام ليزر ثلاث سويات
14	.....	2.7- نظام ليزر أربعة سويات
15	.....	8- الخاتمة
الفصل الثاني: طاقة الإشعاع الشمسي تركيزها وتوجيهها		
17	.....	1- مقدمة
17	.....	2- الشمس
17	.....	3- حركة الأرض
17	.....	4- الإشعاع الشمسي
18	.....	5- التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي
19	.....	6- الثابت الشمسي
19	.....	7- الزوايا الشمسية
19	.....	1.7- زاوية خط العرض (L) لنقطة (P) من سطح الأرض
20	.....	2.7- زاوية الميلان الشمسي (δ)
20	.....	3.7- زاوية الساعة الزاوية (ω)
21	.....	4.7- زاوية ارتفاع الشمس (α)
22	.....	5.7- زاوية السمات الرأسية (θ_z)

22	..... 6.7- زاوية السمات للشمس (γ_S)
22	..... 7.7- زاوية ميل السطح (γ)
22	..... 8.7- زاوية انحراف السطح (ψ_K)
22	..... 9.7- زاوية سقوط الإشعاع الشمسي (θ_K)
23	..... 8- الوقت الشمسي
23	..... 9- الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي
24	..... 10- أنواع الإشعاع
24	..... 11- تركيز الإشعاع الشمسي
24	..... 1-11 تعريف المركزات
25	..... 2-11 أنواع المركزات
25	..... 1.2.11- مركزات خطية
25	..... 2.2.11- مركزات نقطية
25	..... 1.2.2.11- عدسات فرينل
26	..... 2.2.2.11- أطباق القطع المكافئ
26	..... 12- توجيه الإشعاع الشمسي
27	..... 1.12- تعريف الموجهات الضوئية
27	..... 2.12- أنواع الموجهات الضوئية
27	..... 1.2.12- الدليل الموجي
27	..... 2.2.12- الألياف البصرية
27	..... 3-12- معادلات ماكسويل
29	..... 13- الخاتمة

الفصل الثالث: الليزر الشمسي

31	..... 1- مقدمة
31	..... 2- نبذة تاريخية
34	..... 3- تعريف الليزر الشمسي
35	..... 4- منظومة الليزر الشمسي
35	..... 1.4- المركز الأولي
35	..... 2.4- منظومة التتبع الشمسي
36	..... 3.4- الدليل الموجي
36	..... 4.4- المركز الثانوي
36	..... 5.4- المادة الفعالة
36	..... 6.4- حوض التبريد
36	..... 7.4- التجويف الرنيني
36	..... 5- طرق الضخ الشمسي
37	..... 1.5- الضخ غير المباشر
37	..... 2.5- الضخ المباشر
37	..... 3.5- أنواع الضخ المباشر لأشعة الليزر الشمسي
37	..... 1.3.5- الضخ الطرفي - الجانبي
37	..... 2.3.5- الضخ الجانبي
38	..... 6- أنماط الليزر الشمسي
38	..... 1.6- الأنماط الطولية
38	..... 2.6- الأنماط المستعرضة
39	..... 7- الخاتمة

الفصل الرابع: محاكاة ومناقشة النتائج

41	1- مقدمة.....
41	2- الهدف.....
41	3- الإشكالية.....
41	4- المحاكاة العددية.....
41	1.4- برنامج ZEMAX تصميم منظومة الليزر الشمسي.....
42	1.1.4- المصادر (Sources).....
43	2.1.4- العناصر البصرية الهندسية (geometric optical elements).....
43	3.1.4- الكواشف (detectors).....
43	4.1.4- تحليل طاقة الضخ الممتصة.....
43	2.4- LASCAD محاكاة التجويف الرنان لليزر الشمسي.....
44	1.2.4- تحليل العناصر المتناهية (FEA) للتأثيرات الحرارية.....
44	5- منظومة ضخ الليزر الشمسي.....
44	1.5- منظومة التركيز الأولية.....
45	2.5- رأس الليزر.....
45	1.2.5- الدليل الموجي.....
46	2.2.5- التجويف البصري.....
47	3.2.5- وسط الليزر.....
47	3.5- التحليل العددي لأداء منظومة الليزر الشمسي.....
47	1.3.5- نتائج المحاكاة ببرنامج ZEMAX.....
47	2.3.5- قياس طاقة الضخ.....
48	3.3.5- قياس الطاقة الممتصة في وسط الليزر وتوزيعها.....
49	4.5- نتائج المحاكاة ببرنامج LASCAD.....
50	6- المناقشة.....
50	7- الخلاصة.....
الخاتمة العامة	
52	الخاتمة العامة.....

قائمة الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
الفصل الأول: مبادئ وأساسيات الليزر		
01	صورة توضح جهاز ليزر	5
02 (أ)	ضوء عادي متعدد الأطوال الموجية	6
02 (ب)	ضوء الليزر وحيد الطول الموجي	6
03	صورة توضح تشتت الضوء العادي واتجاهية ضوء الليزر	6
04	صورة توضح فرق الترابط بين ضوء الليزر والضوء العادي.	7
05	صورة توضح آلية حدوث الامتصاص.	8
06	صورة توضح آلية حدوث الانبعاث التلقائي.	8
07	صورة توضح آلية الانبعاث المستحث.	9

10	صورة توضح مكونات جهاز الليزر.	08
10	صورة توضح المادة الليزرية (Nd:YAG).	09
11	صورة توضح المادة الليزرية (Rhodamine 6G).	10
11	صورة توضح ليزر هيليوم نيون (Ne-He).	11
12	صورة توضح أصناف المرنان.	12
13	التجمعات النسبية في مستويين من الطاقة للتوازن الحراري.	13(أ)
13	التجمعات النسبية في مستويين من الطاقة لعتبة الانقلاب.	13(ب)
13	التشبع في العمليات الانتقالية.	13(ج)
13	مخطط مستويات الطاقة لمادة ليزرية ذات ثلاث مستويات.	14
14	مخطط مستويات الطاقة لمادة ليزرية ذات أربعة مستويات.	15
الفصل الثاني: طاقة الإشعاع الشمسي تركيزها وتوجيهها		
18	التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي	01

20	زاوية كل من خط العرض الميلان الشمسي والساعة الزاوية	02
21	زاوية السمات الرأسية والسمات الشمسي وزاوية الارتفاع	03
23	زاوية ميل وانحراف السطح وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي	04
24	أنواع الإشعاع الشمسي	05
25	المجمع الأسطواني المركز	06
26	تقنية التركيز بعدسة فريزل المسطحة	07
26	تقنية التركيز بواسطة الأطباق	08
27	موجهات ضوئية مستوية ودائرية	09
الفصل الثالث: الليزر الشمسي		
31	تركيب تجريبي لمرآة كروية بفتحة 14 بوصة	01
31	رسم تخطيطي للضخ الطرفي	02 (أ)

31	صورة فوتوغرافية لمنتبع شمسي وضعت عليه مرآة كروية بقطر (61cm).	02 (ب)
32	رسم تخطيطي لمنظومة ليزيرية ذات فرن عالي التدفق (HFSF) من NREL.	03
32	رسم تخطيطي لرأس الليزر مصمم من طرف (Dinh et al).	04
33	تصميم تخطيطي لرأس ليزر مصمم من طرف (liang et Almedia).	05 (أ)
33	صورة فوتوغرافية لمنظومة تركيز ثنائية ومرناة الليزر المصممة من طرف (liang et Almedia).	05 (ب)
33	رسم تخطيطي لرأس ليزر مصمم من طرف (Mehellou et al).	06 (أ)
33	نظام الليزر الشمسي مع دليل ضوئي ملتوي من السيليكا مصمم من طرف (Mehellou et al).	06 (ب)
33	صورة فوتوغرافية لعدسة فريزل ورأس الليزر ونظام تتبع الشمس.	07 (أ)
33	رسم تخطيطي لرأس الليزر مصمم من طرف (Guan et al).	07 (ب)
34	مقطع طولي لرسم تخطيطي لرأس ليزر صمم من طرف (Ling et al).	08 (أ)
34	مقطع عرضي لرأس ليزر صمم من طرف (Ling et al).	08 (ب)

34 رسم تخطيطي رأس ليزر مصمم من طرف (Vistas et al). 09 (أ)

34 صورة توضح رأس ليزر مصمم من طرف (Vistas et al). 09 (ب)

35 صورة منظومة الليزر الشمسي. 10

37 رسم تخطيطي لمبدأ الضخ الطرفي - الجانبي لليزر الشمسي. 11

38 رسم تخطيطي لمبدأ الضخ الجانبي لليزر الشمسي. 12

38 صورة توضح الأنماط المستعرضة. 13

الفصل الرابع: محاكاة ومناقشة النتائج

42 صورة توضح واجهة برنامج ZEMAX. 01

44 صورة توضح منظومة الليزر الشمسي المقترحة. 02

44 صورة توضح الأشعة المركزة بواسطة المركز ذو القطع المكافئ. 03

45 صورة توضح رأس الليزر. 04

45 صورة توضح الدليل الموجي. 05

46	صورة توضح تجويف بصري.	06
47	صورة توضح مادة ليزر Nd:YAG.	07
48	صورة توضح الاستطاعة الضوئية عند البؤرة.	08
48	صورة توضح الاستطاعة الضوئية عند مخرج الدليل الموجي.	09
48	صورة توضح توزع الاستطاعة الممتصة على طول المادة الفعالة.	10
49	صورة توضح نتيجة الاستطاعة الممتصة في برنامج Excel.	11
49	صورة توضح توزيع الاستطاعة الليزر المنبعث بواسطة LASCAD.	12

قائمة الرموز

الوحدة	الرمز	المقادير الفيزيائية
[HZ]	ν	تردد الفوتونات
[J]	E	طاقة الالكترن في مستوي معين
/	N_1	عدد الذرات في المستوى الأدنى
/	N_2	عدد الذرات في المستوى الأعلى
$[m^3 \cdot s^{-2} \cdot j^{-1}]$	β_{12}	معامل أينشتاين للامتصاص المحثوث
$[J \cdot S \cdot m^{-3}]$	ρ_ν	كثافة طاقة الشعاع الوارد
[J.S]	h	ثابت بلانك
$[S^{-1}]$	A_{12}	معامل أينشتاين للإصدار التلقائي
[S]	τ_{21}	مدة حياة إشعاع الحالة المثارة
$[s^{-1}]$	A_{21}	معامل أينشتاين للانبعاث التلقائي
$[m^3 \cdot S^2 \cdot J^{-1}]$	B_{21}	معامل أينشتاين للإصدار المحثوث
[m]	$a = 150 \cdot 10^9$	المسافة المتوسطة
[m]	λ	طول الموجة
[Watt/m ²]	I_{sc}	شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي
يوم	N_D	رقم اليوم من السنة
[°]	L	زاوية خط العرض
[°]	δ	زاوية الميلان الشمسي

[°]	Ω	زاوية الساعة الزاوية
[h]	T_s	الزمن الشمسي المحلي الحقيقي
[°]	α	زاوية ارتفاع الشمس
[°]	θ_z	زاوية السمات الرأسية
[°]	γ_s	زاوية السمات الشمسية
[°]	γ	زاوية ميل السطح
[°]	ψ_k	زاوية انحراف السطح
[°]	θ_k	زاوية سقوط الإشعاع الشمسي
	LTC	الوقت المحلي
[watt/m ²]	I_0	الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي
[F/m]	ϵ	السماحية
[H/m]	μ	النفذية
[C/m ³]	ρ	كثافة الشحنة الكهربائية
[A/m ²]	j	كثافة التيار

قائمة المصطلحات

الإنجليزية	العربية
LASER	الليزر
Monochrome Light	أحادية اللون
Time and Spatial Coherence	الترابط الزمني والمكاني
Directionality	الاتجاهية
Narrow Scale	ضيق النطاق
Brightness	السطوع (اللمعان)
Possibility	الاستطاعة
Assembly Efficiency	كفاءة التجميع
Shape transaction	معاملات الشكل
Effective medium	الوسط الفعال
Resonator	المرنان
Pumping	الضخ
Spontaneous emission	الانبعاث التلقائي
Stimulated emission (catalyst)	الانبعاث المستحث (المحفز)
Potential to confuse	احتمال الإثارة
Einstein's coefficient of absorption	معامل أينشتاين للامتصاص
Level Housing	إسكان المستوى
Incoming radiation energy density	كثافة الطاقة للإشعاع الوارد
Einstein's spontaneous emission factor	معامل أينشتاين للانبعاث التلقائي
Einstein's stimulated emission factor	معامل أينشتاين للانبعاث المستحث
Probability of induced release	احتمال الإصدار المستحث
Laser generation	توليد الليزر
Population inversion	الانقلاب السكاني
Excited State	الحالة المثارة
Steady State	الحالة المستقرة
Solar Energy	الطاقة الشمسية
Solar Radiation	الإشعاع الشمسي
Large_Scale	واسع النطاق
Frequence	التوتر
Wavelength	الطول الموجي
Speed of light	سرعة الضوء
Spectrum allocations	التوزيع الطيفي

Ultraviolet Domain	المجال فوق البنفسجي
Visible Domain	المجال المرئي
Infra red Domain	المجال تحت الأحمر
The solar constant	الثابت الشمسي
Earth's atmosphere	الغلاف الجوي
Intens solar radiation	شدة الإشعاع الشمسي
Sun angles	الزوايا الشمسية
Declination	زاوية الميلان الشمسي
Hour angle	زاوية الساعة الزاوية
Altitude angle	زاوية ارتفاع الشمس
Zenith angle	زاوية سمت الرأسية
Azimuth angle	زاوية سمت للشمس
Local time	الوقت المحلي
Solar time	الوقت الشمسي
Direct radiation	الإشعاع المباشر
Diffuse radiation(Reflex)	الإشعاع المنتشر(المنعكس)
General Radiation(Incoming)	الإشعاع الكلي (الوارد)
Absorption	الامتصاص
Diffusion the radiation	الانتشار
Solar concentrators	المركزات الشمسية
Linear concentration	التركيز الخطي
Dot concentration	التركيز النقطي
Solar Dish Center	مركز ذو القطع المكافئ
Fresnel Lenses	عدسات فرينل
Light guide	الموجهات الضوئية
Relative index of refraction	قرينة انكسار
Fiber Optic	الألياف البصرية
Waveguide	الدليل الموجي
Electric Field	الحقل الكهربائي

Electrical Stimulation	التحريض الكهربائي
Magnetic Field	الحقل المغناطيسي
Magnetic Induction	التحريض المغناطيسي
Voltage Density	كثافة التيار الكهربائي
Electric Charge Density	كثافة الشحنة الكهربائية
Wave Equation	معادلة الموجة
Collect Sunlight	تجميع الأشعة الشمسية
Redirects Sunlight	توجيه الأشعة الشمسية
Solar Laser	الليزر الشمسي
Primary Focus system	منظومة التركيز الأولية
Tracking System	منظومة التتبع
Single Axis Tracker	متتبع أحادي المحور
Dual Axis Tracker	متتبع ثنائي المحور
Secondary Focus System	منظومة التركيز الثانوية
Cooling system	نظام التبريد
Optic lumen	التجويف البصري
Resonance cavity	التجويف الرنيني
Indirect Pumping	الضخ غير المباشر
Direct Pumping	الضخ المباشر
Terminal Pumping	الضخ الطرفي
Lateral Pumping	الضخ الجانبي
Electromagnetic patterns	الأنماط الكهرومغناطيسية
Longitudinal patterns	الأنماط الطولية
Transverse patterns	الأنماط العرضية (المستعرضة)
Multi Mode	متعدد الأنماط
Basic Mode (Gaussian)	النمط الأساسي (الغاوسي)
Amplification	التضخيم
Finite Element Analysis (FEA)	تحليل العناصر المتناهية

Laser head	رأس الليزر
Focus	البؤرة
Reflective mirror	مرآة عاكسة
Concentrated energy	الطاقة المركزة
Surface Detector	الكاشف السطحي
Volumetric Detector	الكاشف الحجمي
Volumetric Dot(Voxel)	نقاط حجمية (فوكسل)
Absorbed energy	الطاقة الممتصة
Emitted energy	الطاقة المنبعثة
Yield	المردود
Numerical Simulation	المحاكاة العددية

المقدمة العامة

المقدمة العامة

جذبت الطاقة الشمسية اهتماما كبيرا، حيث تلعب تكنولوجيا الطاقة الشمسية دورا مهما في حل أزمت الطاقة لوفرتها ومجانيتها، كما أثبتت أنها مناسبة للعديد من التطبيقات (توليد الكهرباء وتسخين المياه....) [1]. سخر الإنسان هذه الطاقة لمصلحته منذ العصور القديمة باستخدام مجموعة من وسائل التكنولوجيا التي تتطور باستمرار، فمن الممكن استغلالها لعملية توليد الليزر.

يعتبر الليزر أحد أكثر التقنيات الواعدة لأبحاث الطاقة في القرن الحادي والعشرين، قد يوفر الاستغلال المباشر لأشعة الليزر المتجددة بواسطة ضوء الشمس الطبيعي حولا فعالة من حيث التكلفة لتوليد إشعاع بصري مجاني [2].

إن عملية تحويل ضوء الشمس إلى ضوء ليزر بطريقة مباشرة (دون تحويلها إلى شكل آخر من أشكال الطاقة) له أهمية متزايدة، وهي الطاقة الأكثر وفرة حيث يمكن تحويل الإشعاع الشمسي عريض النطاق إلى إشعاع متماسك متوازي وضيق النطاق [3].

ظهرت فكرة الليزر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية (الليزر الشمسي) بعد فترة وجيزة من اختراع الليزر، عادة ما ينظر إليه في التطبيقات التي يكون فيها ضوء الشمس وفيرا وتكون مصادر الطاقات الأخرى نادرة، استمرت التطورات في المواد البصرية والليزرية في تحسين أداء الليزر الشمسي عن طريق تحسين أهم متغيراته المتمثلة في [4]:

- **استطاعة الليزر الشمسي:** وحدتها [W]، حيث توصلت الأبحاث حتى عام 1984 أين أبلغ أراشي (Arashi) عن استطاعة ليزر (متعدد الأنماط) قدرت ب: 18W [4]، وفي سنة 1988 حقق كل من وكسلر وشوارتز (Weksler et Shwartz) استطاعة ليزر قدرت ب: 60W، في سنة 2012 وصل دين ومن معه (Dinh et al) إلى أعلى استطاعة ليزر شمسي (متعدد الأنماط) قدرها 120W [4] [5]، وتم توجيه الأبحاث إلى الليزر وحيد النمط سنة 2013 لما لديه من خصائص، استطاعة عالية و شكل غاوصي مقارنة بالأنماط الأخرى، في نفس السنة تمكن كل من ليانغ وألميديا (Liang et Almedia) من تحقيق استطاعة ليزر وحيد النمط (TEM_{00}) قدرها 2.3W و وصلت إلى 5.5W في سنة 2015 من قبل ألميديا ومن معه (Almedia et al) [5].

- **كفاءة التجميع:** تساوي استطاعة الليزر الناتج على مساحة المركز الأولي والتي وحدتها $[W/m^2]$ ، بين عامي (1966-1988) ركزت الدراسات الأولى لليزر Nd:YAG متعدد الأنماط على زيادة استطاعة الليزر حيث بالرغم من استطاعة الليزر العالية 60W بلغت كفاءة التجميع مقدار ضعيف وهو $1.56W/m^2$ [4]، وتم النظر إليها بجدية عام 1996 من قبل جنكيس ومن معه (Jenkins et al) محققا كفاءة قدرها $4.7W/m^2$ [3] [4]، وفي سنة 2003 أبلغ لاندو ومن معه (Lando et al) عن كفاءة تجميع تقدر ب: $6.7W/m^2$ ، ضلت هذه القيمة قياسية حتى سنة 2007 عندما تم تعزيزها من قبل ياب ومن معه (Yabe et al) إلى $18.7 W/m^2$ [3]، وفي سنة 2012 حقق كل من دين ومن معه (Dinh et al) قفزة نوعية من حيث كفاءة التجميع والتي وصلت إلى $30W/m^2$ [3] [4] [5]، وكان آخر رقم قياسي تم تحقيقه هو $32.5W/m^2$ من قبل ليانغ ومن معه (liang et al). في سنة 2013 تم الإعلان عن أول كفاءة تجميع لليزر (TEM_{00}) قدرت ب: $2.93W/m^2$ [3] [5].

• **المعان:** يساوي استطاعة الليزر على معاملات الشكل، هذه الأخيرة تعطي نسبة التقارب بين شكل الحزمة والشكل المثالي والذي وحدته W أهمل هذا المقدار حتى عام 2003 حيث حقق لاندو ومن معه (Lando et al) درجة لمعان ليزر شمسي (متعدد الأنماط) قدرها $0.032W$ [3]، واستمر العمل على تعزيزها حتى عام 2015 تمكن ليانغ ومن معه (liang et al) تحقيق رقم قياسي لسطوع الليزر الشمسي (وحيد النمط) قدر بـ: $4W$ [3].

ظلت $6.5W$ أعلى درجة لمعان محققة لليزر شمسي (وحيد النمط) باستطاعة قدرها $9.3W$ وكفاءة تجميع قدرها $7.9W/m^2$ منذ سنة 2017 إلى يومنا هذا من قبل نفس المجموعة [6].

سنعمل من خلال دراستنا هذه الحصول على ليزر شمسي وحيد النمط ذو الشكل الغاوصي الأقرب للمثالي وبكفاءة عالية وذلك من خلال تطبيق تقنية الضخ على الطرف، حيث يندرج هذا العمل إلى أربعة فصول.

الفصل الأول: تتم فيه دراسة نظرية لليزر (خصائص الأشعة الليزرية، تضخيم، والمبدأ الأساسي لعمل الليزر)

الفصل الثاني: سنقدم فكرة عامة عن الإشعاع الشمسي، بالإضافة إلى دراسة عامة حول المركبات الشمسية والموجهات الضوئية.

الفصل الثالث: سنقدم فكرة عامة حول الليزر الشمسي، المنظومة الليزرية وطرق الضخ الشمسي.

الفصل الرابع: سنقوم بدراسة محاكاته باستخدام برنامج ZEMAX بهدف الحصول على أكبر استطاعة ممتصة من قبل المادة الفعالة، وLASCAD بهدف الحصول على أكبر استطاعة ليزر وحيد النمط ممكنة، وذلك بإجراء عملية محاكاة لمنظومة ليزرية تعمل بالضخ على الطرف.

نختم دراستنا بخاتمة عامة حول إنتاج الليزر شمسي وحيد النمط بالخصائص المرغوبة وذلك باستخدام تقنية الضخ على الطرف.

الفصل الأول

مبادئ وأساسيات

الليزر

1- مقدمة:

يعد الليزر أحد مصادر الضوء، شعاعه يختلف عن أشعة الأضواء الأخرى، فائق الجودة في خواصه (وحيد اللون، الاتجاه والترابط)، كل هذا جعل فكرة استخدامه في الكثير من المجالات أمر مهم. اكتشف العالم ألبرت أينشتاين سنة 1916 ظاهرة الانبعاث المحفز والتي يعتمد عليها المبدأ الليزر [7]، وتم تصميم أول جهاز ليزر في 1960 بواسطة العالم ميمان باستخدام بلورة الياقوت كوسط فعال ويعرف بليزر الياقوت [2]، في هذا الفصل سيتم التطرق إلى تعريف الليزر ومبدأ عمله مروراً بمكونات المنظومة الليزرية.

2- تعريف الليزر:

كلمة ليزر اشتقت في اللغة الانجليزية من الأحرف الأولى للمبدأ الذي يتم بواسطته توليد الليزر وهي اختصار لـ:

"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"

والتي تعني تضخيم الضوء عن طريق الانبعاث المحفز للإشعاع الكهرومغناطيسي [9]. وهو عبارة عن جهاز يحول الطاقة من مصادر مختلفة إلى إشعاع كهرومغناطيسي [8]، يتألف من فوتونات موجية تشترك في جميع خصائصها، معتمدة على نوع المادة المحفزة والطريقة المستخدمة في الحث، بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية [10]، قد يكون هذا الإشعاع مرئياً للإنسان أو غير مرئي، مستمر التدفق أو متقطع (نبضي).



الشكل (01): صورة توضح جهاز ليزر [8].

3- خصائص الليزر:

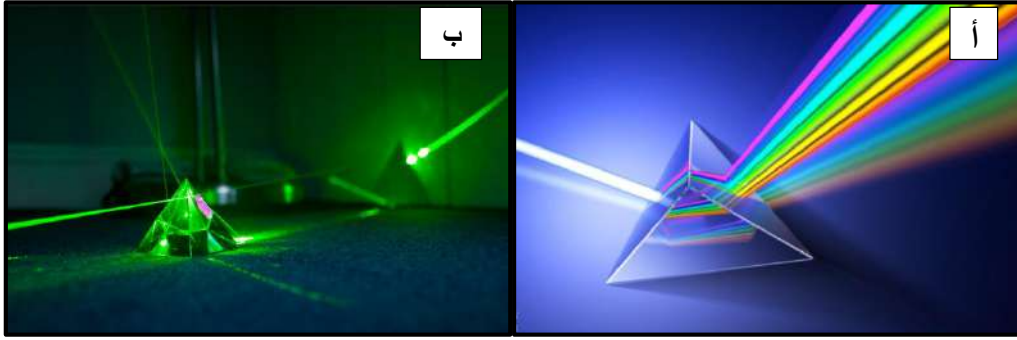
لليزر أربعة خصائص وهي:

- أحادي الطول الموجي
- الاتجاهية
- الترابط

• السطوع

1.3- أحادي الطول الموجي:

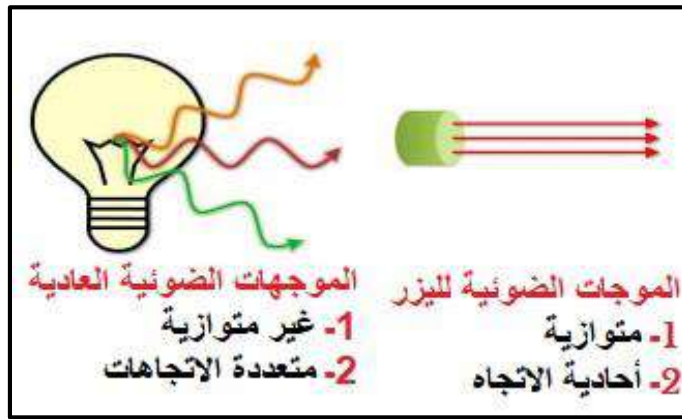
لليزر طول موجي وحيد، فهو يتميز بالنقاء الطيفي أكثر من أي مصدر ضوء آخر، وتعني أن له عرض طيفي ضيق ينتج عنه تردد مفرد نقي وهذه الخاصية الموجية كانت تتميز بها أشعة الراديو دون سواها [10]، كما يوضح الشكل (02).



الشكل (02): (أ) ضوء عادي متعدد الأطوال الموجية، (ب) ضوء الليزر وحيد الطول الموجي [11].

2.3- الاتجاهية:

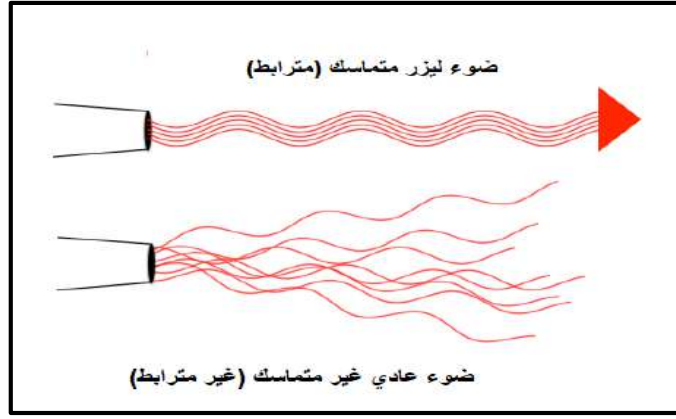
هي انتشار الحزمة باتجاه واحد ولمسافات طويلة جدا دون انفرجها عن محورها أي تكاد زاوية التشتت تكون معدومة [9] كما يوضح الشكل (03).



الشكل (03): صورة توضح تشتت الضوء العادي واتجاهية ضوء الليزر [12]

3.3- الترابط:

يعتبر الليزر المصدر الضوئي الوحيد الذي يمتلك صفة الترابط مقارنة بالمصادر الأخرى، ويعني الفرق بين أي نقطتين على موجة شعاع الليزر يكون ثابت عند حركة الشعاع [9]، كما يوضح الشكل (04).



الشكل (04): صورة توضح فرق الترابط بين ضوء الليزر والضوء العادي [9].

4.3- السطوع:

يتميز شعاع الليزر بشدة عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق، يمكن تعريضها أو تركيزها في بقعة صغيرة جدا باستخدام بعض الأجهزة البصرية [10].

4- المبدأ الأساسي لعمل الليزر:

تعتمد آلية الليزر على تفاعل مادة إشعاع الذي يؤدي إلى انتقال الإلكترون بين مستويات الطاقة مصاحبة بامتصاص أو انبعاث فوتون الذي يوصف بتردد:

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

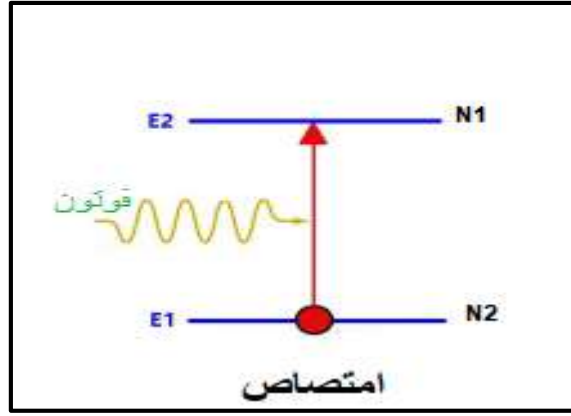
$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad \text{حيث:}$$

و E_2 ، E_1 هما طاقات الحالات التي حدث وسطهما الانتقال و h هو ثابت بلانك [13].

الآليات الثلاث التي يمكن من خلالها أن يتفاعل الضوء مع المادة وهي:

1.4- الامتصاص:

هو انتقال إلكترون من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى طاقة أعلى وذلك عند ورود موجة كهرومغناطيسية على المادة طاقتها أكبر أو تساوي $E_2 - E_1$ [4]، والشكل (05) يوضح ذلك.



الشكل (05): صورة توضح آلية حدوث الامتصاص [14].

واحتمال حدوثها هي [15]:

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

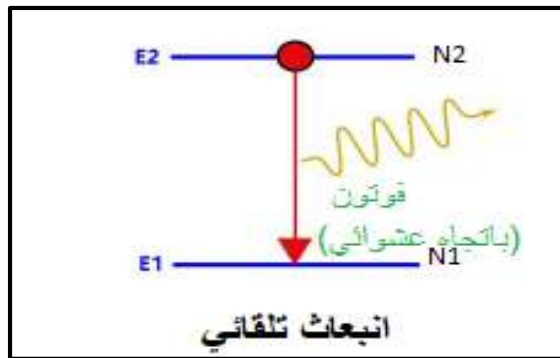
B_{12} : معامل اينشتاين للامتصاص المحفز $J^{-1} \cdot S^{-2} \cdot m^3$.

ρ_ν : كثافة طاقة الشعاع الوارد $J \cdot S \cdot m^{-3}$.

N_1 : اسكان المستوي E_1 .

2.4- الانبعاث التلقائي:

إذا كان الإلكترون في مستوي أعلى من المستوي الأساسي فإن الذرة تعتبر مثارة وغير مستقرة، بعد فترة وجيزة ينزل الإلكترون إلى المستوي الأساسي فاذا جزءا من طاقته على شكل فوتون بطاقة قدرها $(h\nu = E_2 - E_1)$ كما يوضح الشكل (06).



الشكل (06): صورة توضح آلية حدوث الانبعاث التلقائي [14].

واحتمال حدوث هذا الانتقال هو [15]:

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} N_2 = \frac{1}{\tau_{21}} N_2 \quad (3)$$

A_{12} : معامل أينشتاين للإصدار التلقائي (احتمال الاثارة التلقائية لوحدة الزمن) S^{-1} .

τ_{21} : مدة حياة إشعاع الحالة المثارة.

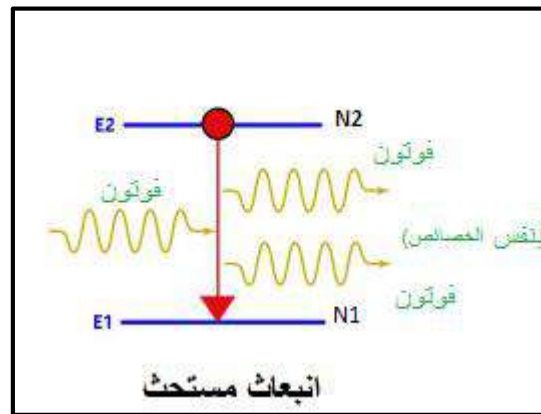
حيث:

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

3.4- الانبعاث المستحث:

إذا سكن الإلكترون مستوى أعلى من المستوى الأساسي فإن الذرة حتما ستكون غير مستقرة، فلا يلبث أن يعود تلقائيا ويمكن أن يحثه ورود فوتون خارجي على الذرة بنفس التواتر.

ينزل الإلكترون الفوتون الوارد ويعودته إلى المستوى الأساسي يصدر طاقة على شكل فوتون له نفس الخصائص الطيفية للفوتون الوارد، والشكل (07) يوضح ذلك.



الشكل (07): توضح آلية حدوث الانبعاث المستحث [14].

واحتمال حدوث هذا الانتقال هو [15]:

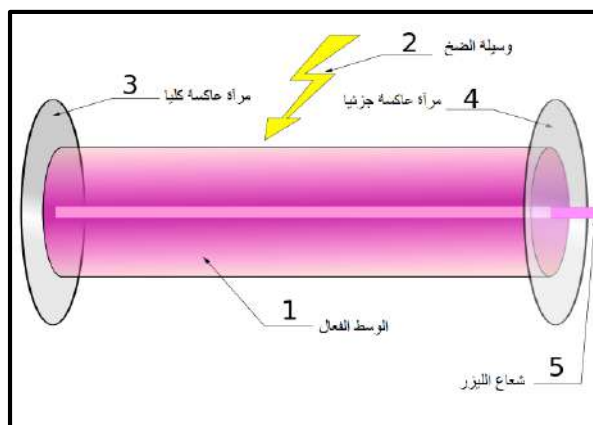
$$\frac{dN_2}{dt} = -B_{21}\rho_\nu N_2 \quad (4)$$

B_{21} : معامل أينشتاين للإصدار المحفز $J^{-1}m^3s^{-2}$.

5- مكونات جهاز الليزر:

أهم المكونات الرئيسية التي يشترط وجودها في أجهزة الليزر هي كما يوضحها الشكل (08):

- الوسط الفعال
- وسيلة الضخ
- المرنان



الشكل (08): صورة توضح مكونات جهاز الليزر [10].

1.5- الوسط الفعال:

يمثل المادة التي تستخدم لتوليد الانبعاثات الليزرية، وتنوع المادة يؤدي إلى إنتاج أنواع ليزرات مختلفة وهي ثلاث أنواع:

❖ **ليزر الحالة الصلبة:** في العادة تكون تلك الليزرات التي يكون وسطها الفعال فيه إما بلورة عازلة أو زجاجا مثل ليزر الياقوت الصناعي (Ruby) وليزر النيديوميك (Nd:YAG) الذي يوضحه الشكل (09) [15].



الشكل (09): صورة توضح المادة الليزرية (Nd:YAG) [16].

❖ **ليزر الحالة السائلة:** هو عبارة على صبغات كيميائية عضوية مختلفة مذابة في الماء، مثل الرودامين (Rhodamine 6G) الذي يوضحه الشكل (10) [17].



الشكل (10): صورة توضح المادة الليزرية (Rhodamine 6G) [18].

❖ **ليزر الحالة الغازية:** تكون المادة المستعملة في الوسط الفعال غاز مثل ليزر ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وليزر هيليوم - نيون (He-Ne) الذي يوضحه الشكل (11).



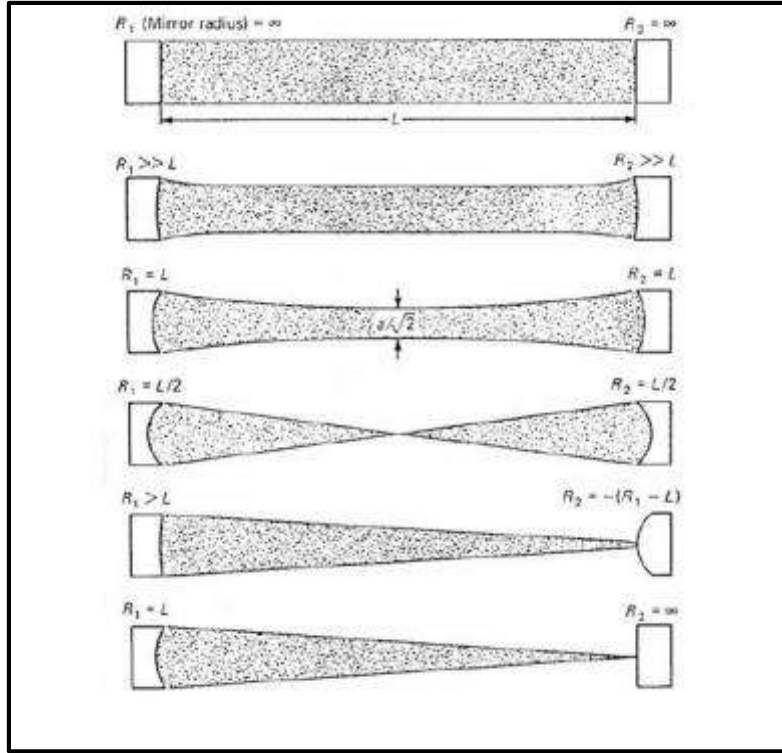
الشكل (11): صورة توضح ليزر هيليوم - نيون (Ne-He) [8].

2.5- وسيلة الضخ:

هي عملية نقل الطاقة من مصدرها إلى الوسط الفعال المولد لليزر، وهي التقنية التي من خلالها تشحن ذرات الوسط الفعال لنقلها من مستوى الاستقرار إلى مستوى التهيج [8]، وهناك عدة تقنيات للضخ نذكر منها: الكهربائي - الحراري - الكيميائي الخ.

3.5- المرنان:

عبارة عن منظومة في الغالب تكون مكونة من مرآتان متوازيتان على محور بصري مع الوسط الفعال تعمل على انعكاس الضوء وتضخيمه وذلك بانتقال الفوتونات بين المرآتين ذهابا وإيابا حيث تكون الأولى عاكسة كليا والثانية عاكسة جزئيا [19]، والشكل (12) يوضح أصناف المرنان.

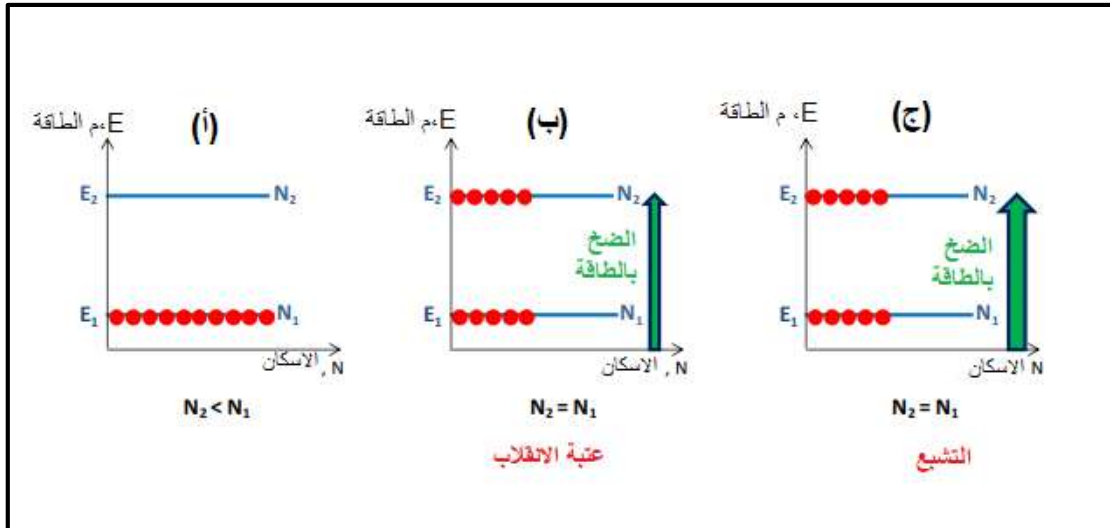


الشكل (12): صورة توضح أصناف المرنان [1].

6- الانقلاب السكاني:

في حالة التوازن الحراري للمادة عدد الإسكان في المستوي الأرضي E_1 أكبر منه في المستوى E_2 أي $N_1 > N_2$. عند تفاعل هذه المادة مع الإشعاع تتغلب عملية الامتصاص على عملية الإصدار المستحث وتكون الانتقالات من E_1 إلى E_2 أكثر من الانتقالات التي تتم من E_2 إلى E_1 ، ولتوليد الانبعاثات المحفزة يجب توفر إثارة أو ضخ للذرات في الوسط الليزري إلى حالة التوزيع المعكوس (عدد الإسكان N_2 في المستوى E_2 أكبر من عدد الإسكان N_1 في المستوى E_1) بتطبيق كمية كبيرة من الطاقة على الوسط، وهذا ما يسمى بالانقلاب السكاني [4] [20].

للحصول على انقلاب السكاني لمادة معينة، نعتقد احتمالية الحصول على هذا الانقلاب السكاني من خلال تفاعل مادة مع حقل كهربائي قوي لموجة كهرومغناطيسية ذات شدة كبيرة، تعمل هذه الأخيرة على إحداث انتقالات بين السويتين 1 و 2. بما أن المادة في حالة توازن حراري فحتمًا ستكون الانتقالات من السوية 1 إلى السوية 2 أكثر من الانتقالات من السوية 2 إلى السوية 1، بهذه الطريقة نأمل الوصول إلى حالة الانقلاب السكاني. لكن هذا الأمر لا يصح وخاصة في حالة الاستقرار، لأن استخدام مستويي طاقة سيولد حالة إشباع أي الوصول إلى حالة تساوي إسكان السويتين ($N_1 = N_2$) ومنه عملية الامتصاص ستعادل عملية الانبعاث المستحث. لذلك فمن المستحيل الحصول على انقلاب سكاني انطلاقًا من منظومة سويتين 1 و 2 فقط [20]، والشكل (13) يوضح ذلك.

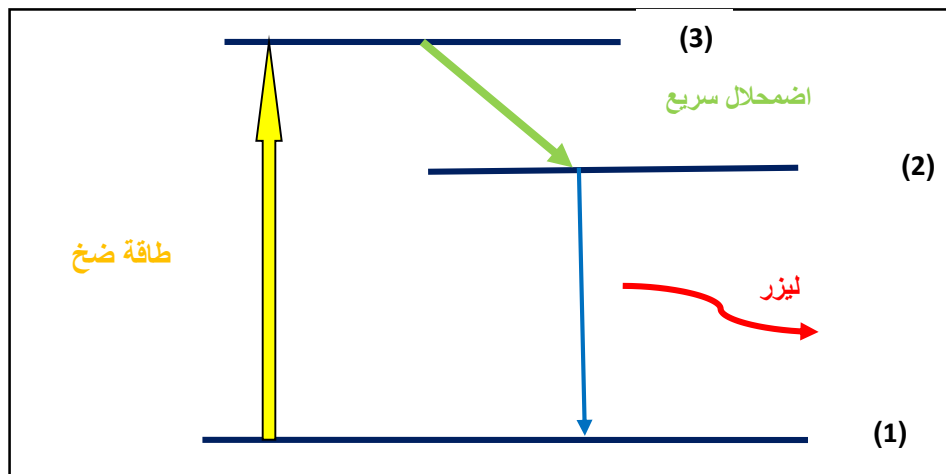


الشكل (13): التجمعات النسبية في مستويين من الطاقة (أ) للتوازن الحراري، (ب) لعتبة الانقلاب، (ج) التشبع في العمليات الانتقالية [3].

7- أنظمة الليزر:

1.7- نظام ليزر ثلاث سويات:

في ليزر ثلاث سويات كما هو موضح في الشكل (14) ترفع الذرة عن طريق الضخ من السوية الأرضية 1 إلى السوية 3. لتتحول الذرات بعد ذلك من السوية 3 إلى السوية 2 بانتقال سريع وغير مشع، تنتقل الذرات من المستوى 2 إلى المستوى 1 بإصدار انبعاثات مشعة. بالإضافة إلى الانتقال السريع غير المشع من السوية 3 إلى السوية 2 يجب ان يكون عمر السوية 2 كبير حتى يتسنى تجميع الالكترونات في هذه السوية والحصول على الانقلاب السكاني. ومنه يطبق شرط الانقلاب السكاني بين السويتين 1 و2.



الشكل(14): مخطط مستويات الطاقة لمادة ليزرية ذات ثلاث مستويات

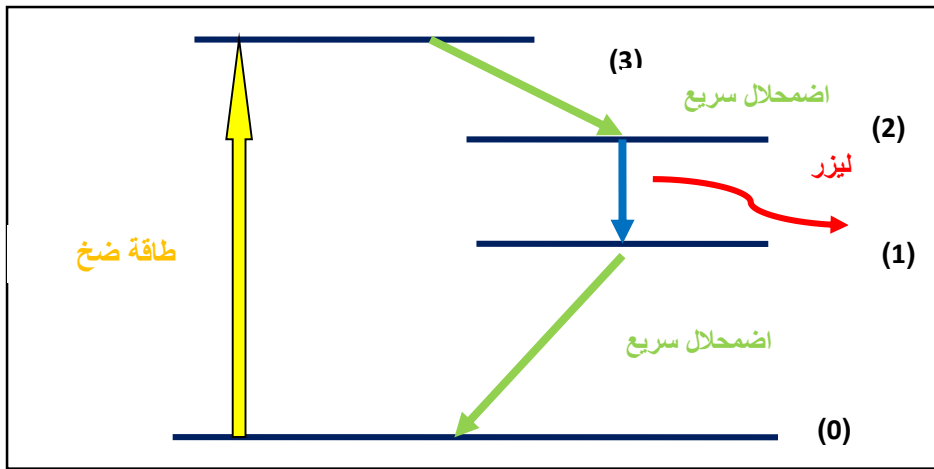
❖ خصائص نظام ثلاث سويات:

لنظام ثلاث سويات مجموعة من الخصائص تتمثل في [19]:

- ✓ المستوي الأرضي هو نفسه المستوي الليزري السفلي.
- ✓ للحصول على الانقلاب السكاني (التوزيع المعكوس) يجب ضخ نصف عدد الذرات من المستوي الأرضي إلى المستوي العلوي، لذلك نحتاج إلى طاقة ضخ عالية جدا.

2.7- نظام ليزر أربعة سويات:

تثار الذرات لتنتقل من السوية الأرضية 0 إلى السوية 3 في ليزر السويات الأربعة كما هو موضح في الشكل (15) لتتحول الذرات من السوية 3 إلى السوية 2 بانتقال سريع غير مشع، ثم من السوية 2 إلى السوية 1 بانتقال مشع ثم من السوية 1 إلى السوية 0 بانتقال غير مشع. بالإضافة إلى الانتقالات السريعة وغير المشعة بين السويات (0-1، 2-3) وحتى نحصل على الانقلاب السكاني بين السويتين 2 و 1 يجب أن يكون عمر السوية 2 أكبر من عمر السوية 1 حتى يتسنى تجميع الإلكترونات في السوية 2.



الشكل (15): مخطط مستويات الطاقة لمادة ليزرية ذات أربعة مستويات.

❖ خصائص نظام أربع سويات:

- لنظام أربع سويات مجموعة من الخصائص تتمثل في [19]:
- ✓ المستوي الأرضي هو ليس نفسه المستوي الليزري السفلي، لذلك فإننا لا نحتاج إلى مصدر ضخ قوي جدا لتحقيق الانقلاب الاسكاني.
- ✓ إذا كان عدد الذرات N_2 من أكبر N_1 بمقدار 1 (واحد) فإن هذا يعني حدوث الانقلاب السكاني ما بين المستويين E_1 و E_2 .
- ✓ أكثر المواد المستخدمة لتوليد الليزر تكون ذات نظام مستويات رباعية.

8- الخاتمة:

تم التطرق إلى نظرية الليزر ومبادئ عمله الأساسية، ولتسهيل استخدامه بأعلى طاقة وأقل تكلفة تم البحث عن مصادر دائمة للضخ كالشمس التي استخدمت كمصدر للضخ. حيث يتم استغلال الشمس لتوليد أشعة الليزر وذلك عن طريق تركيز إشعاعها بواسطة مجمعات وتوجيهها.

في الفصل الموالي ستنتم دراسة الإشعاع الشمسي الساقط وأنواعه بالإضافة إلى المركبات والموجهات الضوئية.

الفصل الثاني

طاقة الإشعاع الشمسي

تركيزها وتوجيهها

1- مقدمة:

تعتبر الشمس مصدر للطاقة المتجددة والمستدامة، فمن الشمس تنطلق أشعة يومية باتجاه الأرض ويحدث لها تغير في شدتها وذلك راجع إلى ظروف الطقس والمكان على مستوى سطح الأرض. حيث تقدر طاقة هذا الإشعاع بـ: $1,4 \text{ KW/m}^2$ ويتم استغلالها في العديد من التطبيقات (الطب، الليزر... الخ) وذلك باستعمال آليتين لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهربائية باستخدام الخلايا الشمسية، أو حرارية باستخدام المركبات الشمسية.

لمعرفة كيف يتم الحصول على هذه الطاقة فإننا بحاجة في هذا الفصل إلى التعرف على مختلف الزوايا الشمسية والمركبات والمجمعات الضوئية.

2- الشمس:

الشمس هي نجم كروي ملتهب يقدر وزنها بحوالي $(1,986.10^{30})$ كغ، يبلغ طول قطرها $(1,391.10^6)$ كلم، تتكون أساسا من غازات أهمها الهيدروجين بنسبة 75% و الهيليوم بنسبة 24%، تصل درجة الحرارة على سطحها إلى (5785) كلفن، في حين تتراوح درجة حرارة مركزها 10^6 . (8-40) كلفن، تصدر من الشمس طاقة إشعاعية كهرومغناطيسية إلى الفضاء الخارجي تتمثل في الإشعاع الشمسي [21].

3- حركة الأرض:

كوكب الأرض نعتبره كروي الشكل محاط بغلاف جوي، متأثر بضغط الهواء المتناقص مع الارتفاع عن سطح البحر. لها حركة معقدة فهي تدور حول نفسها خلال 24 ساعة تقريبا بسرعة زاوية تقارب $\frac{\text{rad}}{\text{s}} (7.26.10^{-5})$ وتدور حول الشمس دورة واحدة خلال 365 يوم بسرعة زاوية تقارب $\frac{\text{rad}}{\text{s}} (1,99.10^{-7})$ ومحور الأرض المار بالقطبين الشمالي والجنوبي مائل بزاوية (45.2°) بالنسبة لناظم المدار الإهليلجي [22].

أما نصف قطر دوران المدار الإهليلجي r الذي تصنعه حركة الأرض حول الشمس:

$$r = a \frac{1 - e^2}{1 + e \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

بحيث:

$$a = 150.10^9 \text{m} \text{ المسافة المتوسطة}$$

$$e = 0.017 \text{ الانحراف عن مركز المدار}$$

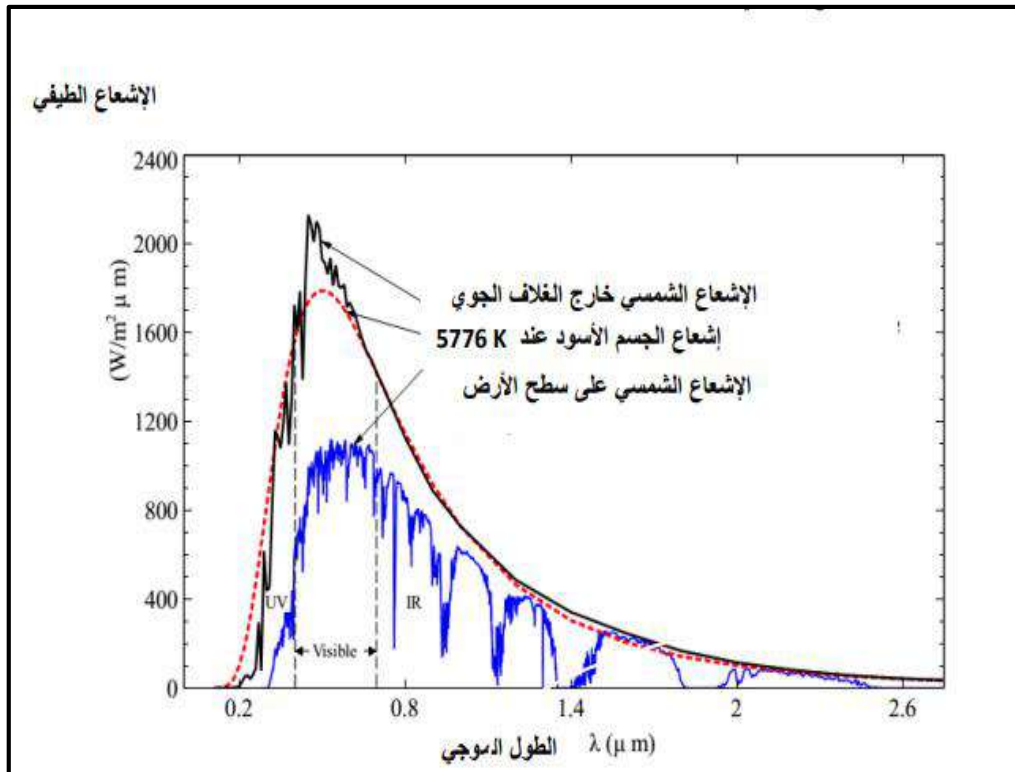
4- الإشعاع الشمسي :

هو إشعاع كهرومغناطيسي ذو أطوال موجية مختلفة، ناتج عن تفاعلات الاندماج النووي الحراري لأنوية الهيدروجين، من أجل تشكيل أنوية الهيليوم. علما أن الطاقة الشمسية تتولد نتيجة التحول المستمر لكل أربع ذرات من الهيدروجين من أجل تشكيل أنوية الهيليوم. ولما كانت كتلة الهيليوم الناتجة من التفاعل أقل من مجموع

كثرت ذرات الهيدروجين الداخلة فيه فإن فرق الكتلة هذا يتحول إلى ضوء وحرارة تنتقل على هيئة أشعة يبلغ معدل انبعاثها $(3,8.10^{23})KW$ ، وتنتشر هذه الكمية في جميع الاتجاهات، حيث تتغير شدته بسبب عدة عوامل جغرافية وأخرى متعلقة بالغلاف الجوي للأرض (سمكه، مكوناته.....الخ) [4].

5- التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي :

التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي في نطاق $(0.2 - 50)\mu m$ ، بينما يتراوح هذا النطاق على سطح الأرض بين $(0.3 - 3)\mu m$ بسبب تشتت وانتشار الإشعاع أثناء اختراقه لمكونات الغلاف الجوي من جزيئات الهواء وبخار الماء والغبار، حيث درجة الانتشار الحادث حسب نظرية رايلي تتعلق بعدد الجسيمات التي يمر بها الإشعاع وحجم الجسيمات بالنسبة للطول الموجي للإشعاع الشمسي، وبذلك يكون تشتت رايلي كبيراً في الأطوال الموجية القصيرة أقل من $(0.6)\mu m$. ويتم في الغلاف الجوي امتصاص الأشعة فوق البنفسجية القصيرة أقل من $(0.29)\mu m$ من طرف الأوزون، أما الأشعة تحت الحمراء فتمتص من طرف بخار الماء CO_2 وهذا ما يوضحه الشكل (01) [23].



الشكل (01): التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي [23].

يمكن تحليل الطاقة الموافقة للإشعاع الشمسي كما يلي:

- الأشعة فوق البنفسجية: وهي ذات طاقة عالية كما أنها مضرّة وتمثل % (6-7) من الإشعاعات الشمسية وتتراوح أطوال موجاتها من $(10-400) nm$.

- أشعة مرئية (ضوئية): وهي ضرورية جدا لعملية التمثيل الضوئي، وتشمل حزمة من الأشعة وهي الأشعة البنفسجية، الزرقاء، الخضراء، الصفراء، البرتقالية والحمراء تمثل قرابة 42% من الإشعاعات الشمسية وتتراوح أطوال موجاتها من (400-700) nm.
- أشعة تحت حمراء: هي ضرورية لتسخين الغلاف الجوي وسطح الأرض وتحريك الرياح وتبخير الماء، وتمثل 51% تقريبا من الإشعاعات الشمسية، وتتراوح أطوالها من (400 إلى 700) nm.

6- الثابت الشمسي :

يعرف الثابت الشمسي بأنه شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على مستوى عمودي على اتجاه الأشعة موجود خارج الغلاف الجوي للأرض ويتغير هذا الثابت بتغير الوقت من السنة بسبب تغير المسافة بين الأرض والشمس وتسمى قيمته عندما تكون المسافة عند معدلها بالثابت الشمسي. القيمة المستعملة في معظم المصادر للثابت الشمسي هي 1367W/m^2 ويحسب الثابت الشمسي خلال أي وقت من السنة من المعادلة الآتية [24]:

$$I_{sc} = 1367 * (1 + 0.033 * \cos \frac{360 * ND}{365}) \quad (2)$$

حيث:

ND : رقم اليوم من السنة.

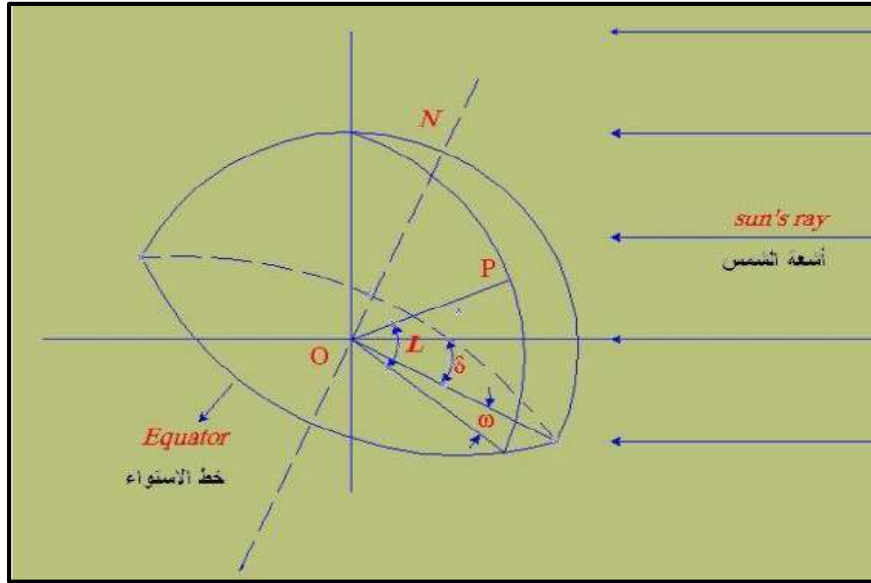
I_{sc} : شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي.

7- الزوايا الشمسية:

لتحديد موضع الشمس في السماء بالنسبة للناظر في وقت ما يتعين معرفة الزوايا بين الأرض والشمس وهذه الزوايا هي [25]:

1.7- زاوية خط العرض (L) لنقطة (P) من سطح الأرض:

تمثل زاوية بين خطين أحدهما يصل مركز الأرض بالنقطة (P) والثاني هو مسقط الأول على مستوى الاستواء، الشكل (02).



الشكل (02): زاوية كل من خط العرض الميلان الشمسي والساعة الزاوية [25].

2.7- زاوية الميلان الشمسي (δ):

هي الزاوية التي يصنعها الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض مع دائرة خط الاستواء تتراوح قيمة هذه الزاوية (23.45°) و(-23.45°)، الشكل (02).

ويمكن حساب هذه الزاوية بالعلاقة التالية:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (3)$$

حيث:

n : رقم اليوم في السنة.

الجدير بالذكر أن المدة الزمنية التي تقضيها الأرض في الدوران حول الشمس لا تتوافق تماما مع التقويم السنوي ولذلك فإن الميلان الشمسي يختلف قليلا لنفس اليوم من سنة أخرى.

3.7- زاوية الساعة الزاوية (ω):

هي وحدة قياس الوقت بدلالة الزاوية بحيث كل (1 ساعة = 15 أو 24 ساعة = 360)، وتقاس من وقت الظهر الشمسي وتكون موجبة قبل الظهر وسالبة بعد الظهر، الشكل (02)، ويمكن تحديد موقع نقطة ما على الأرض بالنسبة للإشعاع الشمسي في أية لحظة إذا علم كل من خط العرض "L" و الساعة الزاوية ω و زاوية الميلان الشمسي δ ويمكن حساب الساعة الزاوية بدقة مقبولة إذا تم ضبط الظهر الشمسي يوميا ts=12 بالعلاقة التالية:

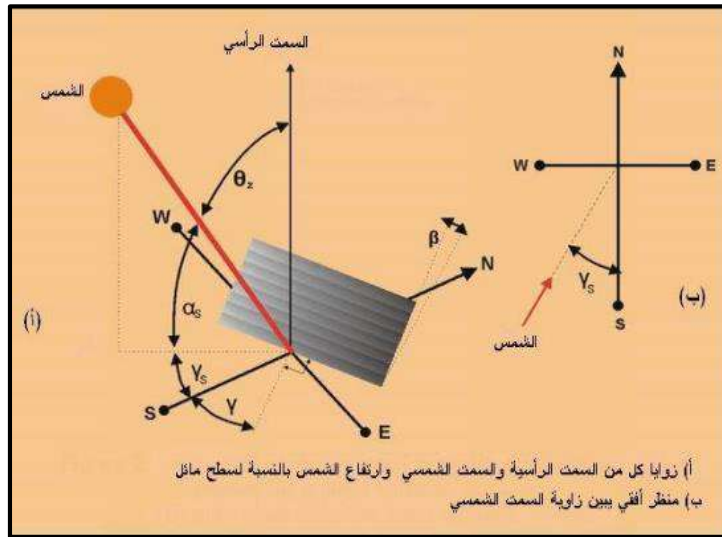
$$\omega = (ts - 12) 360/24 \quad (4)$$

وتعرف ts بالزمن الشمسي المحلي الحقيقي (بالساعات).

4.7- زاوية ارتفاع الشمس (α):

هي قياس زاوية بعد الشمس عن الأفق، الشكل (03)، وتحسب هذه الزاوية كالآتي:

$$\sin \alpha = \cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta \quad (5)$$



الشكل (03): زاوية السمت الرأسية والسمت الشمسي وزاوية الارتفاع [25].

يمكن حساب الساعة الزاوية لكل من شروق الشمس وغروبها حيث ($\omega_{Rise} = -\omega_{set}$) كالآتي:

$$\sin \alpha = \cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta$$

وبما أنه عند الغروب ($\alpha = 0$)، فإن ($\omega = \omega_s$):

$$\cos L \cos \delta \cos \omega + \sin L \sin \delta = 0$$

بالتالي:

$$\cos \omega_s = -\tan L \tan \delta \quad (6)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan L \tan \delta] \quad (7)$$

بالتالي يكون نصف طول النهار:

$$\text{نصف طول النهار} = \frac{1}{15} \omega_s$$

حيث نضرب في $\frac{1}{15}$ لتحويل من زاوية إلى ساعة، بالتالي يكون طول النهار

$$d_{\text{length}} = \frac{2}{15} \quad (8)$$

5.7- زاوية السميت الرأسية (θ_Z):

هي الزاوية التي يصفها عمود على سطح جسم ما مع أشعة الشمس الساقطة عليه. الشكل (03). يمكن حساب زاوية السميت الرأسية بالعلاقة التالية:

$$\cos \theta_Z = \cos \delta \cos L \cos \omega + \sin \delta \sin L \quad (9)$$

حيث:

θ_Z : زاوية السميت الرأسية.

δ : زاوية ميلان الشمس.

L : خط عرض المنطقة.

ω : الساعة الزاوية.

6.7- زاوية السميت للشمس (γ_S):

هي الزاوية المقاسة في المستوى الأفقي بين اتجاه الجنوب ومسقط الإشعاع الشمسي على هذا السطح، يكون قياس الزاوية بدءاً من الجنوب (الصفير)، وتكون موجبة باتجاه الشرق وسالبة باتجاه الغرب. الشكل (03).

يمكن حساب زاوية السميت بالعلاقة:

$$\sin \gamma = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \quad (10)$$

7.7- زاوية ميل السطح (γ):

هي الزاوية التي يصنعها السطح مع السطح الأفقي.

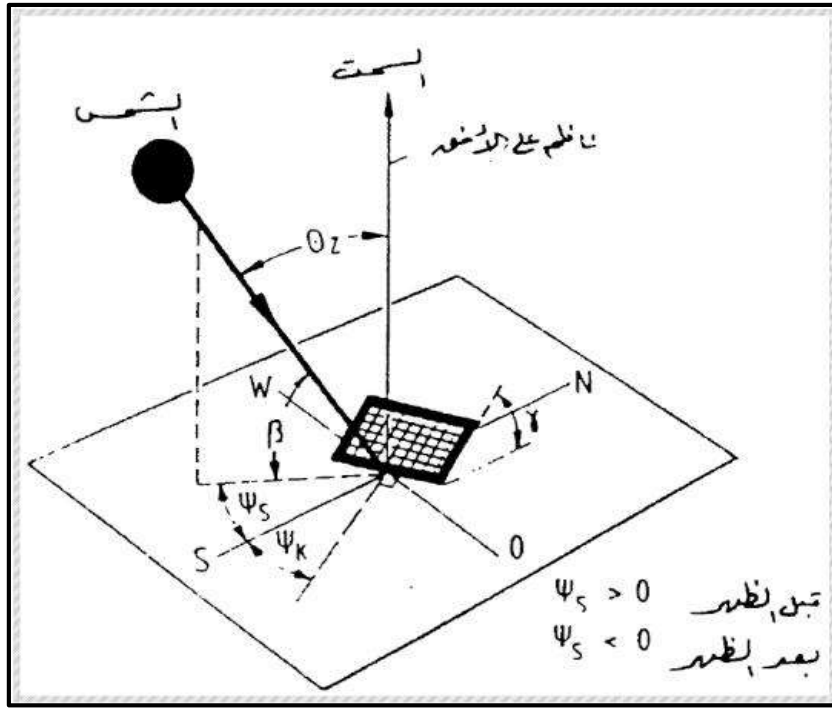
8.7- زاوية انحراف السطح (ψ_K):

هي الزاوية المقاسة في المستوى الأفقي، الشكل (04).

9.7- زاوية سقوط الإشعاع الشمسي (θ_K):

هي الزاوية بين أشعة الشمس والعمود على السطح المائل، الشكل (04) ويمكن حساب هذه الزاوية بالعلاقة:

$$\cos \theta_K = \sin \alpha \cos \psi_K + \cos \alpha \sin \psi_K \cos \gamma_S \quad (11)$$



الشكل (04): زاوية ميل وانحراف السطح وزاوية سقوط الإشعاع الشمسي [25].

8- الوقت الشمسي:

بعد خط غرينتش هو خط الطول الذي قيمته صفر، إذ يعد منتصف الليل عنده يساوي صفراً ومنتصف النهار يساوي الساعة 12 أما الوقت المدني المحلي LCT والذي يعتمد على خط الطول يكون متقدماً نحو الشرق ومتأخراً نحو الغرب من خط الإسناد (خط غرينتش) والفرق هو أربع دقائق لكل خط طول واحد. يعد طول اليوم بالتوقيت المدني المحلي 24 ساعة بالضبط أما اليوم الشمسي فهو ليس 24 ساعة بالتمام، لأن محور دوران الأرض حول الشمس ليس دائرياً مضبوطاً والفرق بين الوقت الشمسي المحلي والوقت المدني المحلي يعطي معادلة الوقت (E):

معادلة الوقت = الوقت الشمسي المحلي - الوقت المدني المحلي.

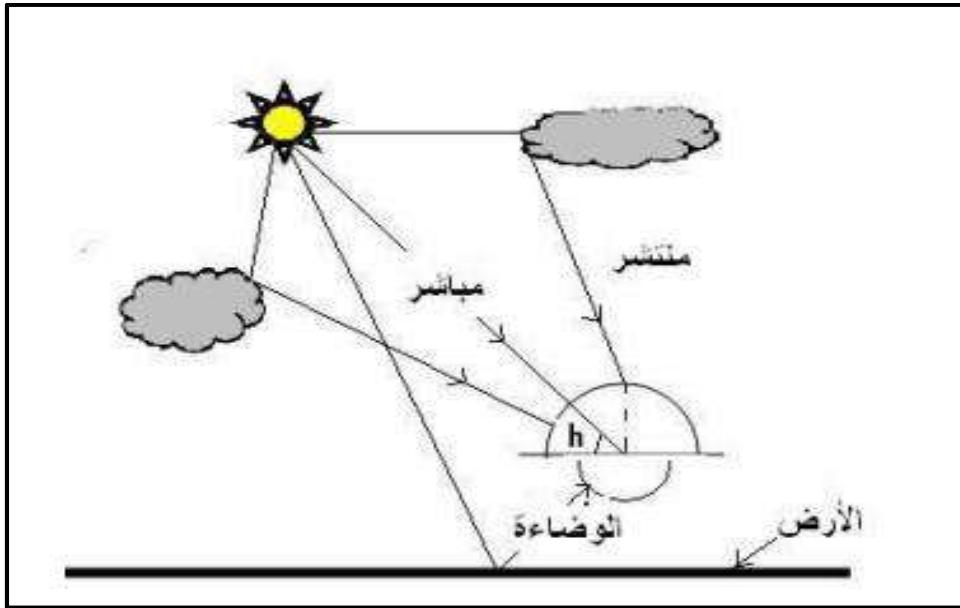
9- الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي :

تتغير المسافة بين الأرض والشمس خلال السنة مما يؤدي إلى تغيير كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض تبعاً لذلك ويمكن حساب كمية الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي الأرضي من المعادلة الآتية:

$$I_0 = 1367 \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 * ND}{365} \right) \sin \alpha \quad (12)$$

10- أنواع الإشعاع:

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 (الإجمالي) [15].



الشكل (05): يوضح أنواع الإشعاع الشمسي [15].

- الإشعاع المباشر: ويعرف الإشعاع المباشر على أنه الإشعاع المنبعث من القرص الشمسي فقط ويتم قياسها بجهاز البيربليومتر $erooiirGoS$ أو أجهزة أخرى تحملها الأقمار الصناعية، وهو يساوي الصفر عندما تحجب الشمس بالسحب [15].
- الأشعة المنتشرة: عندما تعبر الأشعة الشمسية الغلاف الجوي تنتشر بواسطة جزيئات الهواء والجسيمات العالقة فيه في كل الاتجاهات، لا تكون هذه الأشعة معدومة ليلاً [15].
- الإشعاع الكلي (الإجمالي): إشعاع الكلي هو مجموع كل من الإشعاع المباشر والمنتشر [15].

11- تركيز الإشعاع الشمسي:

لتحقيق الاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية (طاقة الأشعة الشمسية) يتم العمل على تجميعها بواسطة مركبات شمسية:

1.11- تعريف المركبات:

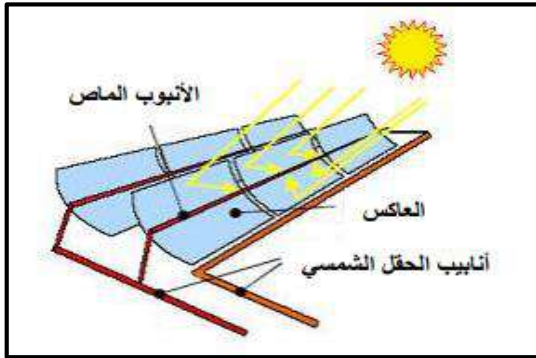
تعتبر المركبات الشمسية المكون الأساسي لأي نظام يعمل على استغلال الطاقة الشمسية، فهي الأداة التي تجمع الأشعة الواردة لتركزها على المستقبل.

2.11- أنواع المركزات:

يمكن تحويل الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض بطريقة مباشرة بواسطة الألواح الشمسية الكهروضوئية أو بطريقة غير مباشرة من خلال الطاقة الشمسية المركزة، توجد طريقتان لتركيز الإشعاع الشمسي هما [23]:

1.2.11- مركزات خطية:

يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر خطيا بواسطة عاكس على سطح أنبوب ماص مثبت في المحور البؤري، ويتم التتبع الشمسي وفق محور دوران واحد للرفع من المردود، ومن أهمها الأسطواني القطع مكافئ وعاكس فريزل الخطي [23].



الشكل(06): المجمع الأسطواني المركز [24].

2.2.11- مركزات نقطية:

هي مركزات يتم من خلالها تركيز الإشعاع الشمسي المباشر نقطيا على العاكس في نقطة تسمى بالبؤرة بواسطة سطوح مقعرة وتتبع الشمس على محورين نذكر منها:

1.2.2.11- عدسات فريزل:

تستخدم عدسات فريزل وهي نوع من العدسات المستوية لتجميع الأشعة الشمسية وتوجيهها باتجاه السطح الماص في نقطة محورية واحدة، حيث أن لها قسمين سطح علوي مسطح وسطح خلفي مخدد، وهي أرخص كلفة وأخف وزنا وسما من العدسات التقليدية المحدبة بنفس المساحة [18].



الشكل (07): تقنية التركيز بعدسة فريزل المسطحة [26].

2.2.2.11- أطباق القطع المكافئ:

يكون السطح العاكس لمجمع الطبق المركز مقعرا وهو أشبهما يكون بالمرآة المقعرة ويتخذ قطاعه العرضي شكل الدائرة (الشكل 8) يقوم السطح العاكس بتركيز أشعة الشمس على نقطة بؤرية يثبت فيها جسم كروي يقوم بامتصاص الشعاع المنعكس، نسبة التركيز في هذا النوع من المجمعات تكون عالية جدا عالية تصل إلى 1000°C [14].



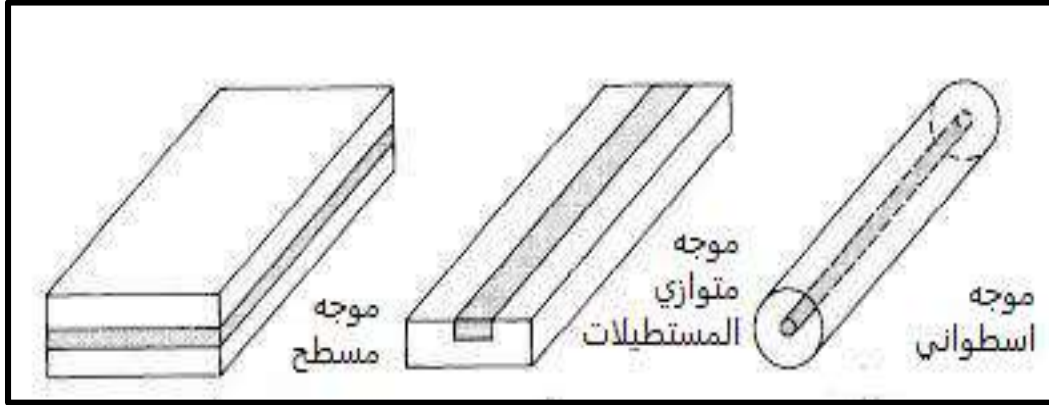
الشكل (08): تقنية التركيز بواسطة الأطباق [26]

12- توجيه الإشعاع الشمسي:

بعد تركيز الأشعة الشمسية بواسطة المركبات يتم العمل على نقلها وتوجيهها بطريقة مباشرة للمستقبل أو بطريقة غير مباشرة وذلك بواسطة موجات ضوئية خاصة.

1.12- تعريف الموجات الضوئية:

عبارة على أنظمة عازلة كهربائياً تستعمل لاحتباس الموجة الضوئية وتحديد مسارها، ومنها الموجات المستوية والموجات ذات ثلاث أبعاد (الدائرية)، كما هو موضح في الشكل (09):



الشكل (09): موجات ضوئية مستوية ودائرية [21].

كما تنقسم الموجات الضوئية إلى نوعين من حيث قرينة الانكسار:

- موجات ضوئية ذات قرينة انكسار ثابتة: حيث لا تتغير قرينة انكساره بالنسبة للاتجاه العرضي لانتشار الموجة الضوئية.
- موجات ضوئية ذات قرينة انكسار متغيرة: تكون قرينة انكساره متغيرة بالنسبة للاتجاه العرضي للانتشار وهذا راجع لتغير خواصه من نقطة إلى أخرى.

2.12- أنواع الموجات الضوئية:

- موجات مستوية: دليل موجي
- موجات دائرية: الألياف البصرية

1.2.12- الدليل الموجي:

يمثل مادة من الزجاج ذات شكل مستوي تنتشر بداخله الأضواء.

2.2.12- الألياف البصرية:

هي مجموعة من الاسطوانات المتمركزة المصنوعة من الزجاج النقي، طويلة ورفيعة حيث لا يتعدى سمكها سمك الشعرة، يمكن أن تجمع العديد من الألياف في حزم داخل كابلات بصرية حيث تستخدم الألياف في نقل الإشارات الضوئية لمسافات بعيدة جداً [21].

3.12- معادلات ماكسويل:

عرف خصائص الحقول الكهربائية والمغناطيسية في الكهرومغناطيسي بأربع معادلات لماكسويل، وتكتب كما يلي [27]:

$$\text{div} \vec{D} = \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (13)$$

$$\text{div} \vec{B} = \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (14)$$

$$\text{rot} \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (15)$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (16)$$

حيث:

\vec{D} : يمثل شعاع التحريض الكهربائي، ويكتب كالاتي: $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$.

\vec{B} : يمثل التحريض المغناطيسي، ويكتب كالاتي: $\vec{B} = \mu \vec{H}$.

ϵ : السماحية [F/m].

μ : النفاذية [H/m²].

ρ : كثافة الشحنة الكهربائية [C/m]، في الفراغ $\mu = \mu_0$ و $\epsilon = \epsilon_0$

j : كثافة التيار [A/m²].

حيث تعطى معادلة الموجة في الفراغ [27]:

$$\Delta \vec{E}(r, t) = -\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (17)$$

$$\Delta \vec{B}(r, t) = -\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{B}(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (18)$$

تعرف المعادلتان (17) و(18) بمعادلة الموجة الكهرومغناطيسية.

الشكل العام لحل (17) يكتب كما يلي [27]:

$$\vec{E}(r, t) = \vec{e}_0 \exp i(\omega t - \vec{K} \cdot \vec{r}) + \vec{e}_0 \exp i(\omega t + \vec{K} \cdot \vec{r}) \quad (19)$$

ω : النبض

\vec{r} : شعاع الموضع

e_0 : سعة الحقل الكهربائي

\vec{K} : شعاع الموجة ويكتب: $K = (\omega/v)$

13- الخاتمة:

تم التطرق في هذا الفصل إلى مفاهيم أساسية عن طاقة الإشعاع الشمسي ألا وهي الثابت الشمسي والزوايا الشمسية، حيث كان من الضروري دراسة هذه المقادير التي بدورها تحدد كمية الإشعاع الشمسي وتمكننا من اختيار أفضل مواقع تثبيت منظومة تركيز الطاقة الشمسية، وعلى هذا الأساس تمت دراسة المركبات الشمسية بنوعها الخطية والنقطية، ولتوجيه الطاقة المركزة إلى المستقبل استعملت موجهات ضوئية خاصة كالدليل الموجي.

وفي الفصل المقبل سيتم دراسة الليزر الشمسي الذي يعتمد على الطاقة الشمسية المركزة كمصدر ضخ.

الفصل الثالث

الليزر الشمسي

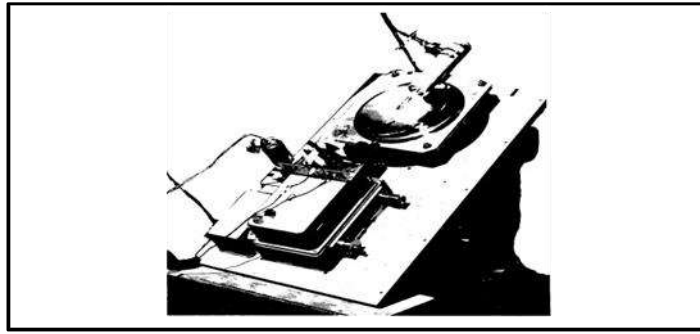
1- مقدمة:

ظهرت فكرة الليزر التي يتم ضخه بالطاقة الشمسية بعد فترة من اختراع الليزر. تم اعتبار جميع أنواع الليزر السائلة والصلبة والغازية ومرشحة لليزر الشمسي، مع ذلك من بين مواد الليزر المختلفة يبدو أن الليزر الصلب هو الأكثر جاذبية بسبب كثافة الطاقة العالية، عتبة الضخ المنخفضة نسبياً وإمكاناتها لتحويل الطاقة إلى ليزر بكفاءة عالية [3].

في هذا الفصل سيتم دراسة الليزر الشمسي الذي يعتمد على الطاقة الشمسية كمصدر للضخ، وبذلك سنتعرف على طرق الضخ الشمسي وكذا مكونات منظومة الليزر الشمسي.

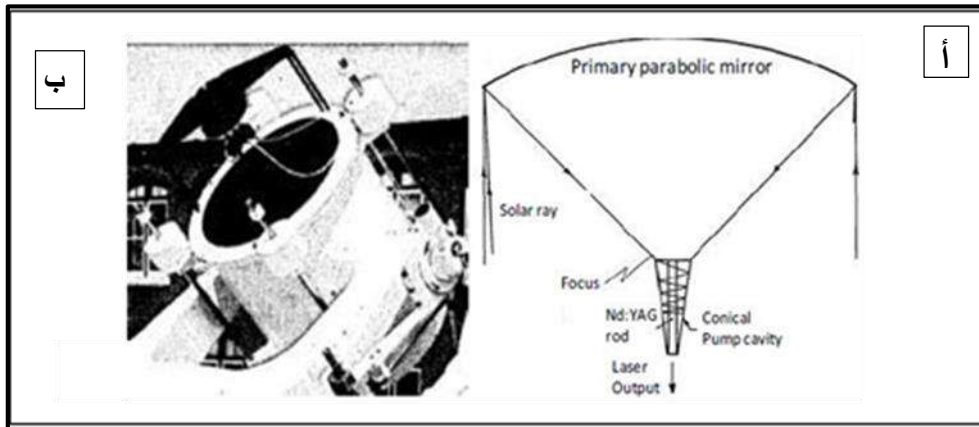
2- نبذة تاريخية:

في سنة 1962 كان أول ظهور لفكرة الليزر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية بعد فترة قصيرة من اختراع الليزر. تم توليد أول أشعة ليزر شمسي سنة 1963 من العالم كيس وآخرون (kiss et al) باستخدام بلورة (CaF₂) بواسطة مرآة كروية عن طريق الضخ الجانبي كما يوضح الشكل (01) [4].



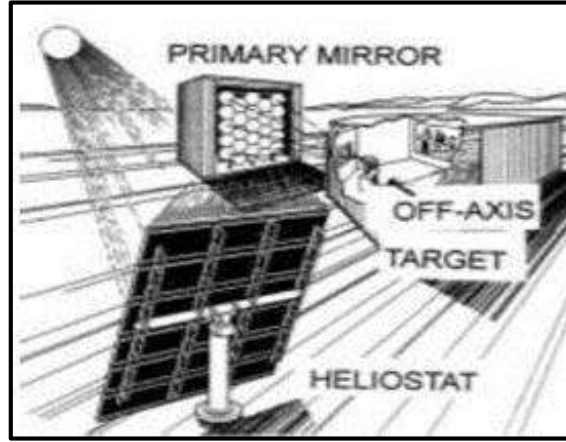
الشكل (01): تركيب تجريبي لمرآة كروية بفتحة 14 بوصة [4].

في سنة 1966 تمكن يونغ (Young) من الإعلان عن أول ليزر Nd:YAG ذو استطاعة قدرها 1W من ليزر من خلال تقنية الضخ الطرفي الجانبي، وذلك باستعمال تلسكوب كاسيجرين المعدل لتتبع الشمس والذي يتكون من مركز أساسي قطره 61cm [3].



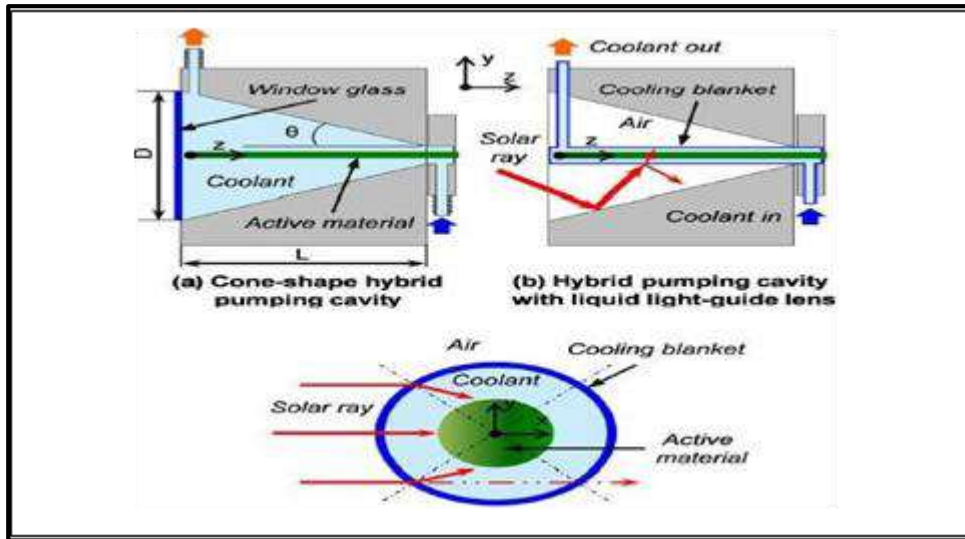
الشكل (02): (أ) رسم تخطيطي للضخ الطرفي، (ب) صورة فوتوغرافية لمتتبع شمسي وضعت عليه مرآة كروية بقطر 61cm [4].

سنة 1996 تم العمل على تحسين كفاءة التجميع لأنظمة الليزر Nd:YAG الأولى التي طالما سعت إلى زيادة استطاعة الليزر المنتجة والتي بلغت 60W، حيث صمم كل من جنكيس و من معه (Jenkin et al) ليزر Nd:YAG بكفاءة تجميع $4.7w/m^2$ وذلك بواسطة فرن الطاقة الشمسية عالي التدفق (HFSF) من NREL [5] كما يوضح الشكل (03) [3][4].



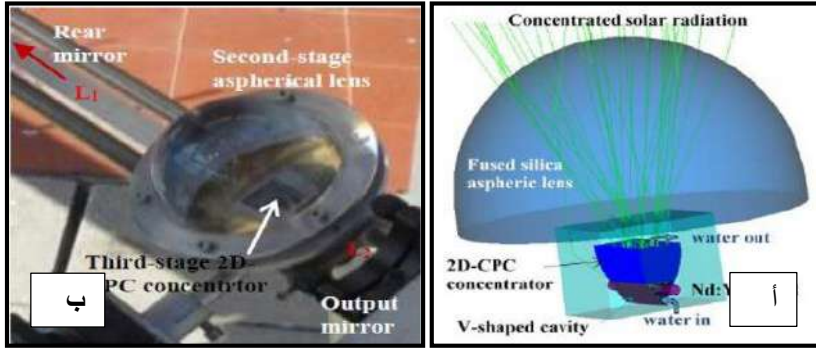
الشكل (03): رسم تخطيطي لمنظومة ليزرية ذات فرن عالي التدفق (HFSF) من NREL [5].

ومع تطور الأبحاث تمكن كل من دين و زملائه (Dinh et al) سنة 2012 من تحقيق كفاءة تجميعية تبلغ $30w/m^2$ عن طريق ضخ من الطرف لوسط ليزري أحادي البلورة Nd:YAG ومن خلال عدسة فريزل بمساحة $4m^2$ [3][4][5].



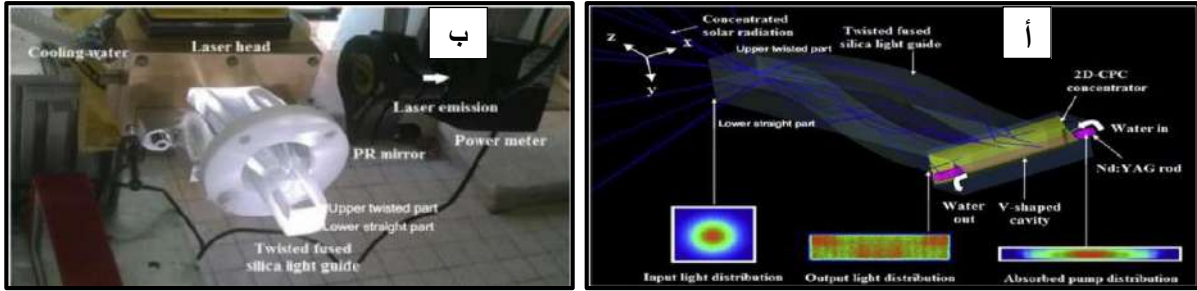
الشكل (04): رسم تخطيطي لرأس الليزر مصمم من طرف (Dinh et al) [4].

في سنة 2013 حقق كل من ليانغ وألميديا (liang et Almedia) كفاءة ليزر شمسي وحيد النمط قدرها $2.93 w/m^2$ تتناسب مع درجة لمعان مقدارها 1.9 W [5].



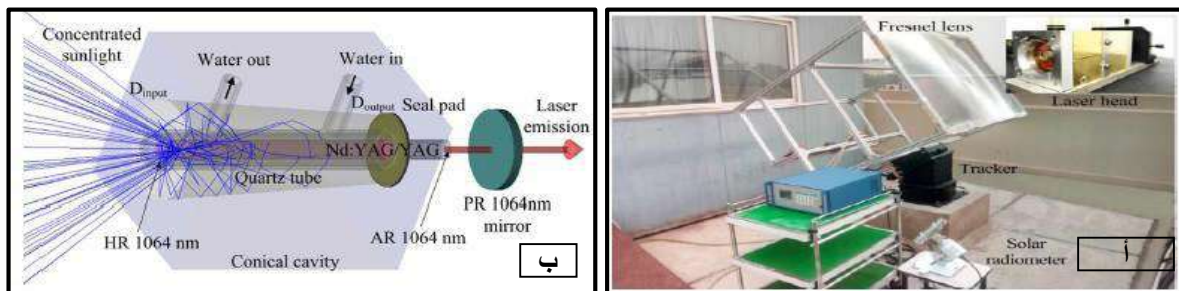
الشكل (05): (أ) تصميم تخطيطي لرأس ليزر مصمم من طرف (liang et Almedia)، (ب) صورة فوتوغرافية لمنظومة تركيز ثنائية ومرنانة الليزر المصممة من طرف (liang et Almedia) [5].

وفي سنة 2017 توصل (Mehellou et al) إلى طاقة ليزر وحيد النمط تقدر بـ: 2.7 W وكفاءة تجميع 2.3 w/m^2 ودرجة لمعان قدرها 2.45W و ذلك من خلال الضخ الجانبي باستعمال مرآة قطعية مكافئة [5].



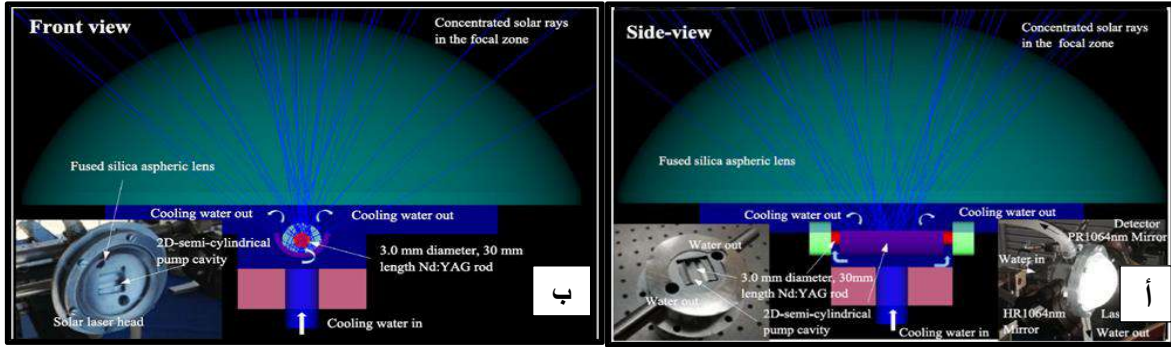
الشكل (06): (أ) رسم تخطيطي لرأس ليزر مصمم من طرف (Mehellou et al)، (ب) نظام الليزر الشمسي مع دليل ضوئي ملتوي من السيليكا مصمم من طرف (Mehellou et al) [5].

سنة 2018 أحرز جون ومن معه (Guan et al) تقدما كبيرا في كفاءة تجميع الليزر الشمسي حيث قدرت بـ: 32.1 w/m^2 وذلك من خلال قضيب بلوري محرز Nd:YAG / YAG كوسط لليزر واستخدام عدسة فريزل كمرکز أولي [4].



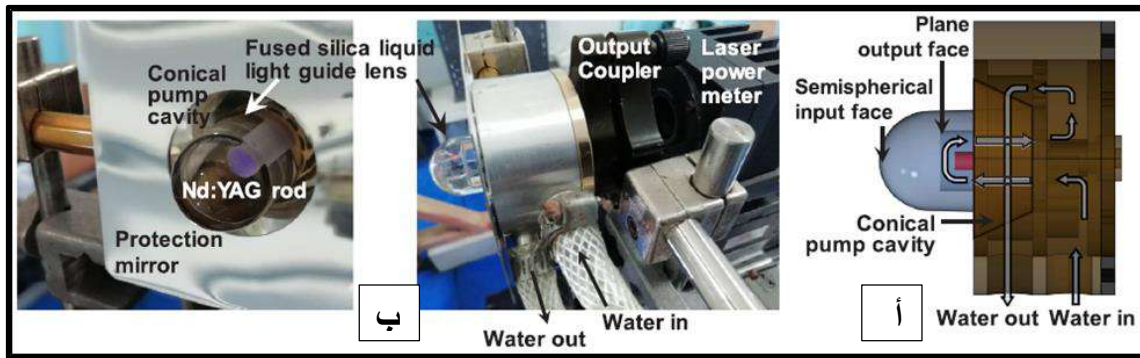
الشكل (07): (أ) صورة فوتوغرافية لعدسة فريزل ورأس الليزر ونظام تتبع الشمس، (ب) رسم تخطيطي لرأس الليزر مصمم من طرف (Guan et al) [4].

في سنة 2019 تم العمل على ليزر (TEM_{00}) حيث توصل ليانغ ومن معه (ling et al) بطريقة الضخ الجانبي على طاقة قدرها 2.8W [28].



الشكل (08): رسم تخطيطي لرأس ليزر صمم من طرف (Ling et al)، (أ) مقطع طولي، (ب) مقطع عرضي [28].

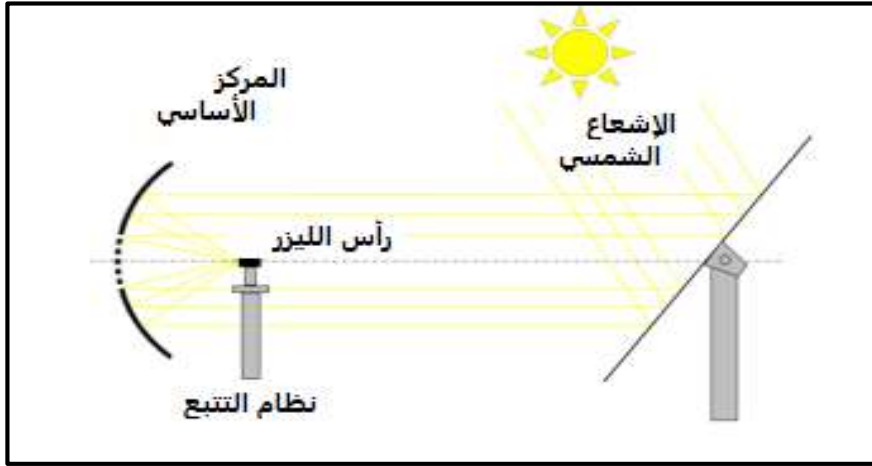
وحقق فيستاس ومن معه (Vistas et al) طاقة قدرها 3W بطريقة ضخ [29].



الشكل (09): (أ) رسم تخطيطي لرأس ليزر مصمم من طرف (Vistas et al)، (ب) صورة توضح رأس ليزر مصمم من طرف (Vistas et al) [29].

3- تعريف الليزر الشمسي:

الليزر الشمسي هو ليزر له نفس خصائص وميزات الليزر العادي، اكتسب أهمية متزايدة في السنوات الأخيرة بالمقارنة مع الليزر الذي يعمل بالكهرباء، فالليزر الشمسي أبسط وأكثر موثوقية بسبب الإزالة الكاملة لمعدات توليد الطاقة الكهربائية وتكييفها [30]، يكمن اختلاف الليزر الشمسي عن الليزر العادي في اعتماده على الطاقة الشمسية كمصدر للضخ، والتي تعتبر مصدر دائم ومجاني صديق للبيئة يوفر لنا العديد من المزايا كالكفاءة العالية للإشعاع وانخفاض تكلفته والعمر الطويل للهياكل والأجهزة المستعملة.



الشكل (10): منظومة الليزر الشمسي [1].

4- منظومة الليزر الشمسي:

للمنظومة الليزرية عدة أجزاء أساسية متمثلة في:

- المركز الأولي.
- منظومة التتبع الشمسي.
- الدليل الموجي.
- المركز الثانوي.
- المادة الفعالة (الوسط الفعال).
- حوض التبريد.
- التجويف الرنيني.

1.4- المركز الأولي:

باعتبار الليزر الشمسي من ليزرات الحالة الصلبة التي عادة ما يتم ضخها بالضوء، أين يستعمل هنا ضوء الشمس لهذه العملية. لقد ظهرت الحاجة الكبيرة إلى بصريات عالية التركيز الشمسي، وذلك لأن معظم الأجهزة الليزرية التي يتم ضخها بضوء الشمس تتطلب عامل تركيز عالي للحصول على تدفق كافي من هذا الإشعاع لتوفير كثافة ضخ أكبر من العتبة اللازمة لإثارة وسط التضخيم. استخدمت المرايا القطعية المكافئة حتى سنة 2007 ومن ثم رشحت عدسات فريزل كمركزات أولية لأنها حققت كفاءة تجميع أفضل [4].

2.4- منظومة التتبع الشمسي :

عبارة جهاز يعمل على توجيه المركز أو المرايا العاكسة نحو الشمس، حيث يتكون هذا الجهاز من دوائر تحكم إلكترونية. تستخدم هذه الآليات لزيادة كفاءة منظومة الليزر الشمسي.

توجد فئتان رئيسيتان من هذه الآليات:

- أحادية المحور: يكون مواز تقريبا لمحور الأرض. ومن عيوبه تعذر تتبع الشمس بدقة مطلقة بسبب الاختلاف الموسمي.

- **ثنائي المحور:** محاور قادرة على المحاذاة المثالية مع الشمس في جميع الأوقات ولها الأداء الأمثل على مدار السنة.

3.4- لدليل الموجي :

يكون الدليل الموجي عقب المركز الأولي تمام لينقل الأشعة المركزة من البؤرة إلى الوسط الفعال، حيث يخضع هذه الأشعة لمبدأ الانعكاس الكلي داخله لضمان وصول أكبر قدر ممكن منها:

4.4- المركز الثانوي:

بما أن الوسط الليزري عبارة عن قضيب والذي بدوره يكون صغير ورقيق فبالطبع كل هذا سيجعل المنظومة في حاجة إلى مركزات ثانوية تعمل على إعادة تركيز الأشعة المشتتة النافذة قد تتمثل في: عدسات محدبة من السيليكا، مرايا من نوع 2D - CPC و 3D - CPC.....الخ [4].

5.4- المادة الفعالة:

رغم اعتبار الليزر السائل والغاز كمرشحين لليزر الشمسي إلا أن تقارب الأبحاث بشكل أساسي في أنظمة الحالة الصلبة خاصة Nd:YAG هي من توجتها بكونها الأنسب كمادة فعالة للمنظومات الليزرية التي تضخ بالطاقة الشمسية [4].

6.4- حوض التبريد:

إن من المعضلات التي تواجه المنظومات الليزرية الشمسية ارتفاع درجات الحرارة داخل للوسط الليزري، حيث تمثلت أسباب نشوب هذه الظاهرة والتي تؤدي بصورة حتمية إلى تلفها وانخفاض في تحويلها البصري في الاختلاف بين طاقة ضخ الفوتونات وطاقة فوتونات الليزر الصلب الذي يضخ بصريا كسبب رئيسي. وامتصاص إشعاع الضخ بواسطة المادة المضيفة (امتصاص البلورة للضوء).

فمن الضروري جدا تبريد الوسط الليزري (القضيب) والحفاظ عليها عند درجة حرارة منخفضة وثابتة وذلك من خلال استخدام الماء أو المزيج الدهاني المائي الأبيض المستحلب الذي أكتشف كبديل وتمت مقارنته مع الماء من قبل SMYTH سنة 2018 [4].

7.4- التجويف الرنيني:

تتطلب عملية التذبذب الفوتوني وجود تغذية عكسية بهدف إدامة التذبذب، تتم هذه التغذية باستخدام تجويف بصري يسمى المرنان والذي هو عبارة عن مرأتين تنتقل بينهما الفوتونات المتولدة ذهابا وإيابا على طول المحور البصري للمنظومة.

5- طرق الضخ الشمسي:

تتم عملية الضخ في الليزر من خلال إحدى الطرق التالية منها الكهربائية، الغازية ويوجد أيضا الضوئية التي تبين أنها مناسبة جدا وبصورة خاصة لليزر الحالة الصلبة. فعندما يكون مصدر الضخ هو الشمس يسمى الليزر بالليزر الشمسي ويسمى الضخ بالضخ الشمسي [4].

1.5- الضخ غير المباشر:

عندما يتم تشغيل نظام كهربائي بالطاقة الشمسية يتم استخدامه لضخ الوسط الليزر، تسمى العملية غير المباشرة، يمكن أن يكون النظام الكهربائي محولا ضوئيا يحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية [14].

2.5- الضخ المباشر:

تركز المركزات على صورة الشمس في حجم صغير نسبيا، حيث يوجد رأس الليزر في مثل هذه الحالة. تصبح الشمس مصدر الضوء اللازم للضخ الليزر (وبالتالي يمكن القول ان الأشعة الشمسية مركزة في البقعة البؤرية)، الضخ المباشر بالطاقة الشمسية يوفر خطوتين لتحويل الطاقة مما يسمح لها بأن يكون الأكثر كفاءة وأبسط وأكثر موثوقية [14].

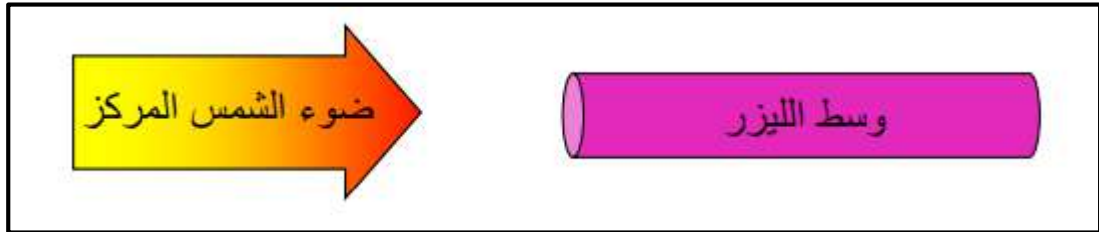
3.5- أنواع الضخ المباشر لأشعة الليزر الشمسي:

اقتصرت طرق الضخ المباشر لليزر الشمسي إلى تقنيتين هما:

- تقنية الضخ الطرفي - الجانبي (الطولي).
- تقنية الضخ الجانبي (المستعرض).

1.3.5- الضخ الطرفي - الجانبي:

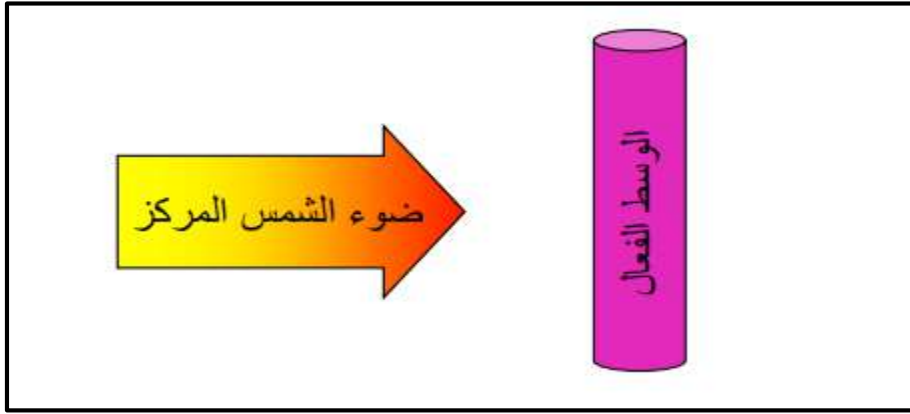
في هذه الحالة يوجه ضوء الشمس المركز على أحد طرفي قضيب الليزر من خلال تطبيق نظام التركيز الأولي الذي يكون مقترنا بفتحة اخراج لمركز ثاني قد يكون دليل ضوئي أو عدسة كروية أو ألياف بصرية مرآة مخروطية من نوع 3D-CPC [4].



الشكل (11): رسم تخطيطي لمبدأ الضخ الطرفي - الجانبي لليزر الشمسي [4].

2.3.5- الضخ الجانبي:

في هذه الحالة يتم توزيع ضوء الشمس المركز على الوجوه الجانبية من قضيب الليزر. بالإضافة إلى المركز الأولي يستخدم مركز ثانوي من النوع 2D-CPC أو تجويف بصري بالأشكال 2V أو مرآيا مخروطية... الخ لتوزيع الضوء الشمسي المركز بشكل موحد على طول قضيب الليزر [4].



الشكل (12): رسم تخطيطي لمبدأ الضخ الجانبي لليزر الشمسي [4].

6- أنماط الليزر الشمسي :

إن استخدام التغذية العكسية بواسطة المرايا يؤدي إلى تكبير الشعاع الضوئي خلال مروره بالوسط المشع لليزر، لهذه المرايا دور في التأثير على الإشعاع الكهرومغناطيسي داخل المكبر حيث ينتج نوعين من الأنماط [8]:

- ❖ أنماط طولية
- ❖ أنماط مستعرضة

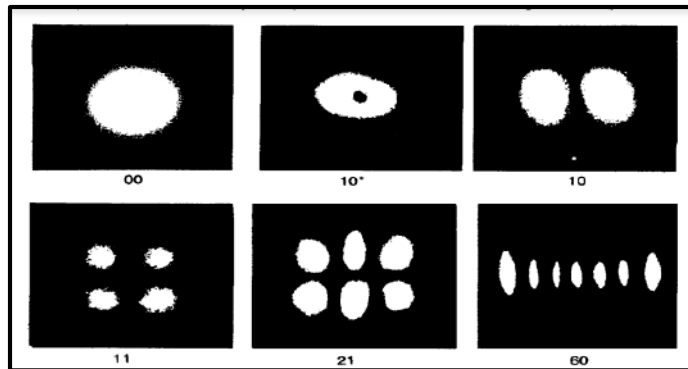
1.6- الأنماط الطولية:

هي توزيعات المجال الكهرومغناطيسي لموجة الليزر بشكل موازي للمحور البصري للمرنان.

2.6- الأنماط المستعرضة:

وهي توزيعات المجال الكهرومغناطيسي للموجة الضوئية (الليزر) بشكل عمودي على المحور البصري للمرنان كما في الشكل الآتي:

يسمى النمط TEM_{00} بالنمط الأساس أو الكاوسي. يحتوي هذا النمط على حوالي 85% من طاقة شعاع الليزر الناتج وهو دائري الشكل (منتظم)، ويعتبر النمط الأكثر تفضيلاً في تشغيل منظومات الليزر بصفة عامة [10].



الشكل (13): صورة توضح الأنماط المستعرضة [31].

7. الخاتمة:

بعد دراسة الليزر الشمسي الذي تميز باعتماده على ضوء الشمس كمصدر للضخ ويتم بنوعيه غير المباشر، والمباشر الذي يعتمد هذا الأخير على تركيز الأشعة وضخها بتقنيتين الجانبيية وعند الأطراف وكما أن هناك لليزر عدة أنماط، إلا أن المعتمد عليه في عمل الليزر هو وحيد النمط TEM_{00} وذلك راجع لتوفيره قدر أكبر من الطاقة مقارنة بالأنماط الأخرى.

سيتم التطرق في فصل القادم إلى دراسة عددية ومحاكاة الليزر الشمسي وحيد النمط بتقنية الضخ عند الأطراف.

الفصل الرابع

محاكاة ومناقشة

النتائج

1- مقدمة:

الليزر الشمسي هو أحد التقنيات المستقبلية التي تستغل الطاقة الشمسية، والتي سعى العلماء لتطبيقها بغية الاستفادة منها، حيث يعتمد في مبدأ عمله على تسليط أشعة الشمس المركزة على الوسط الليزري. ومن أشهر الأوساط الفعالة و الأكثر استعمالا هي مادة Nd:YAG لما تمتاز به من خصائص جيدة (قوة كسر عالية، خصائص حرارية.....).

تعتمد خصائص شعاع الليزر الشمسي بشكل أساسي على طرق الضخ حيث تنقسم إلى أليتين أساسيتين:

❖ **الضخ الجانبي:** الذي يتم فيه تسليط الأشعة المركزة على كامل الوسط الليزري.

❖ **الضخ عند الطرف:** الذي يتم فيه تسليط الأشعة المركزة على أطراف الوسط الليزري.

سنعتمد في دراستنا هذه الضخ على الطرف من أجل تحقيق كفاءة عالية من خلال تسليط الأشعة المركزة داخل الحيز الضيق (طرف الوسط الليزري)، لذلك سنقوم في هذا الفصل بالمحاكاة العددية باستعمال برنامج ZEMAX لمنظومة الليزر الشمسي وحيد النمط، والحصول على أكبر استطاعة ممتصة من طرف الوسط الفعال وبتوزيع منظم، ومن ثم نستعمل برنامج LASCAD للحصول على استطاعة وحزمة الليزر المنبعثة.

2- الهدف:

الحصول على ليزر شمسي وحيد النمط ذو طاقة عالية وشكل غاوصي لمنظومة ليزرية تعتمد على طريقة الضخ على الطرف.

3- الإشكالية:

الحصول على أكفأ منظومة ليزر شمسي وحيد النمط تعمل من خلال توجيه الأشعة المركزة بواسطة الدليل الموجي نحو الوسط الليزري. بغية إنتاج ليزر وحيد النمط بأكبر استطاعة ممكنة وبشكل غاوصي الأقرب من الشكل المثالي.

4- المحاكاة العددية:

سنستعمل في المحاكاة العددية برنامجي:

ZEMAX: الذي يسمح بنمذجة الأنظمة البصرية و تحليلها و المساعدة على تصميمها.

LASCAD: الذي يعمل على الجمع بين العديد من أدوات المحاكاة لتحسين تصميم مرنانة الليزر [4].

1.4- برنامج ZEMAX تصميم منظومة الليزر الشمسي:

هو عبارة عن برنامج تصميم بصري ذي استعمال واسع. يستخدم لتصميم الأنظمة البصرية وتحليلها. يستطيع ZEMAX أن يقوم بتتبع الأشعة الأصلية خلال العناصر البصرية من عنصر إلى آخر بالتتابع عن

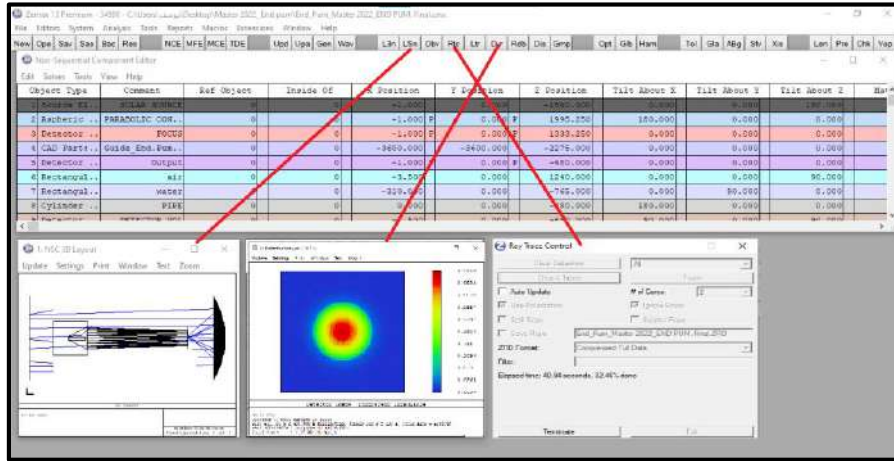
طريق نمط تتبع الشعاع المتسلسل كتصميم الأنظمة التقليدية مثل العدسات، التلسكوب وتحليل الضوء الشارد من دون تتابع في العناصر عن طريق نمط تتبع الأشعة غير المتسلسل كتصميم المواشير والألياف البصرية.

الجدير بالذكر أن برنامج ZEMAX له سمات أخرى مثل انه يستطيع تقييم تأثير الطلاء البصري على أسطح المكونات. يحوي البرنامج مكتبة ضخمة من العدسات والمواد المصنعة لها. كما يضم البرنامج طرائق عديدة لتقييم أداء التصميم عن طريق توزيع الاستضاءة ودوال الانتشار البصري واستخدام الكواشف [32].

يحتوي ZEMAX على أنواع مختلفة من النوافذ، كل منها يخدم غرضاً محدداً أهمها [1]:

- **النافذة الرئيسية:** يحتوي شريط النافذة الرئيسي على العديد من رؤوس القوائم مثل: (File, Editors, System, Analysis, Tools,)
- **نوافذ المحرر:** نوافذ المحرر تستخدم أساساً لإدخال البيانات.
- **نوافذ النص:** يتم استخدام نوافذ النص لإظهار بيانات نصية مثل بيانات التعليمات والزوايا والبيانات الرقمية.
- **الحوارات:** معظم الحوارات صريحة عادةً، توجد أزرار "موافق" و "إلغاء" الشائعة في نوافذ حوار

Windows



الشكل (01): صورة توضح واجهة برنامج ZEMAX.

1.1.4- المصادر (Sources):

هي الكائنات المستخدمة لإصدار أشعة المحاكاة، وبالتالي تمثل مصادر الضخ، وهي ضوء الشمس في الليزر الشمسي.

2.1.4- العناصر البصرية الهندسية (geometric optical elements):

تحدد المكونات الضوئية التي يتم فيها امتصاص الأشعة المنبعثة، وانكسارها، وانعكاسها، وانحرافها، وتشتتها، وتقسيمها، وما إلى ذلك. تمثل هذه الكائنات في هذه الحالة مكونات نظام تجميع وتركيز الطاقة الشمسية ومكونات رأس الليزر.

3.1.4- الكواشف (detectors):

تحدد المعلومات النوعية و / أو الكمية لأشعة الواردة باستخدام هذه الكواشف.

4.1.4- تحليل طاقة الضخ الممتصة:

لتوفير معلومات عن طاقة الضخ الواردة أو الممتصة، من الضروري استخدام الكواشف في ZEMAX، على سبيل المثال لاكتشاف المعلومات العددية في بؤرة المركز، عادة ما يتم استخدام الكاشف المستطيل (detector rectangle) يسمح الكاشف المستطيل بتسجيل قدر أكبر من البيانات، مثل الطاقة الواردة والزاوية، وتوزيع الطاقة ثنائي الأبعاد وملف تعريف الطاقة الواردة أو الممتصة في المنطقة التي يحددها الكاشف يمكن وضع هذا النوع من الكاشفات إما داخل أو خارج الجسم وله وظيفة الامتصاص أو الانعكاس أو عدم وجود أي تأثير على الإشعاع الساقط. ومع ذلك يقتصر شكل الكاشف على سطح مستطيل يحدده المستخدم. يمكن ضبط دقة الصورة عن طريق تحديد عدد وحدات البيكسل للكاشف، مع مراعاة التأثير على إجمالي الوقت المطلوب لكل محاكاة.

لتحليل طاقة الضخ الواردة أو الممتصة داخل مادة الليزر، يتم استخدام كاشف حجمي (volume detector) ذو شكل متوازي السطوح للحصول على معلومات الطاقة، يتم تحديد أبعاده من قبل المستخدم، وكذلك عدد وحدات الفوكسل.

2.4- LASCAD محاكاة التجويف الرنان لليزر الشمسي:

يتيح برنامج LASCAD الجمع بين العديد من أدوات المحاكاة لتحسين تصميم مرنان الليزر: تحليل العناصر الحرارية والبنوية المتناهية (FEA)، دليل الانتشار للحزمة الغاوصية ABCD، وخوارزمية انتشار الحزم غير الغاوصية - طريقة انتشار الحزمة (BPM)، وبالتالي من الممكن نمذجة تجاويف الرنين من خلال تحليل: تأثيرات العدسة الحرارية، والتي تعد واحدة من المشاكل الرئيسية في ليزر الحالة الصلبة، طاقة خرج الليزر متعدد الأنماط و TEM_{00} وكفاءة الليزر، جودة ومظهر شعاع الليزر، وكذلك انتشار شعاع الليزر خارج

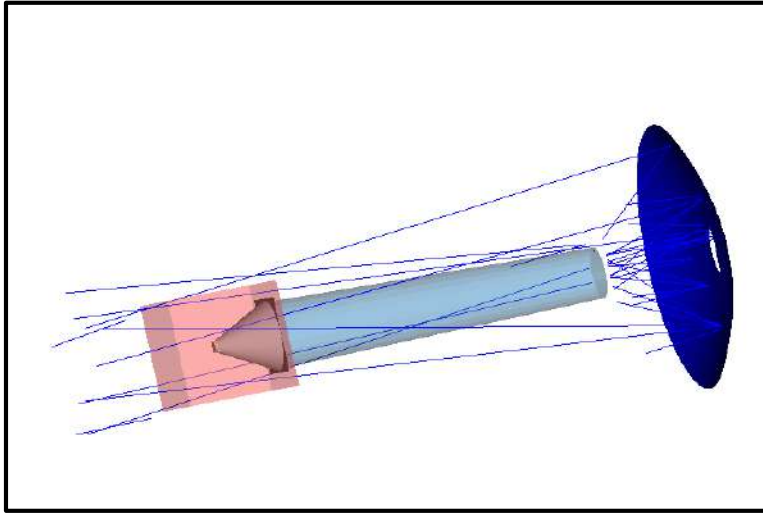
تجوييف الليزر، مع مراعاة العديد من ثوابت الليزر، مثل الانعكاسية ونصف قطر الانحناء والمسافة بين مكونات التجوييف وخسائر الانعراج وربح التشبع [4].

1.2.4- تحليل العناصر المتناهية (FEA) للتأثيرات الحرارية:

يحسب تحليل العناصر المتناهية (FEA) المتغيرات الناتجة عن الحرارة والضغط في بلورة الليزر، مع مراعاة متغيرات مادة الليزر وتكوين المضخة وهندسة التبريد. يوفر LASCAD عدة نماذج محددة مسبقاً للتصاميم النموذجية، ومع ذلك قد يكون لخطة الضخ خصائص خاصة جداً، من والتي لم يتم تحديدها في النماذج المحددة مسبقاً LASCAD، كما في حالة الليزر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية. وبالتالي لنمذجة أنظمة الليزر الشمسية بدقة، من الممكن استيراد الملفات من برنامج المحاكاة ZEMAX أو TracePro، الذي يمثل محتواه التوزيع ثلاثي الأبعاد لطاقة الضخ الممتصة بواسطة الوسط الفعال المحدد في ZEMAX [4].

5- منظومة ضخ الليزر الشمسي:

تتكون المنظومة الليزرية من جزئيين هما منظومة التركيز الأولي (المركز القطع المكافئ) ورأس الليزر. كما يوضح الشكل (02):

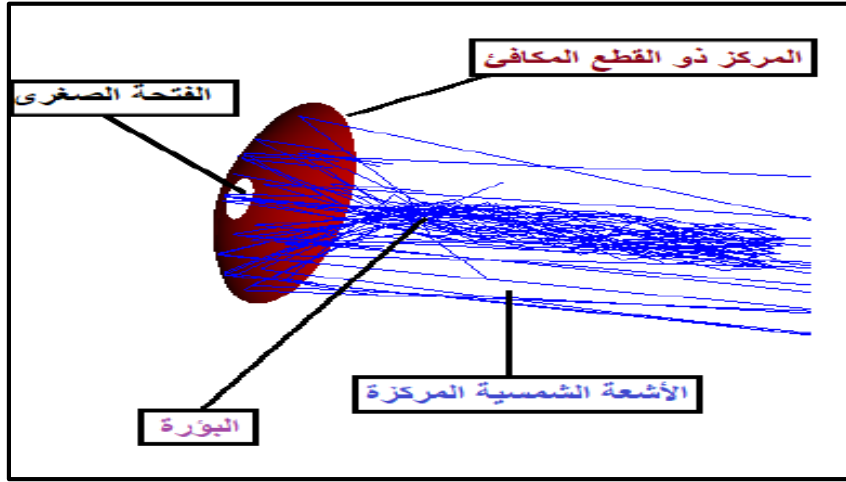


الشكل (02): صورة توضح منظومة الليزر الشمسي المقترحة.

1.5- منظومة التركيز الأولية:

المركز ذو القطع المكافئ (الشكل 3) هو أحد أنواع المراكز الشمسية التي سنستعملها في هذه الدراسة، وهو عبارة عن سطح عاكس مقعر لالتقاط أشعة الشمس وتجميعها وتركيزها في البؤرة، المركز المستعمل في

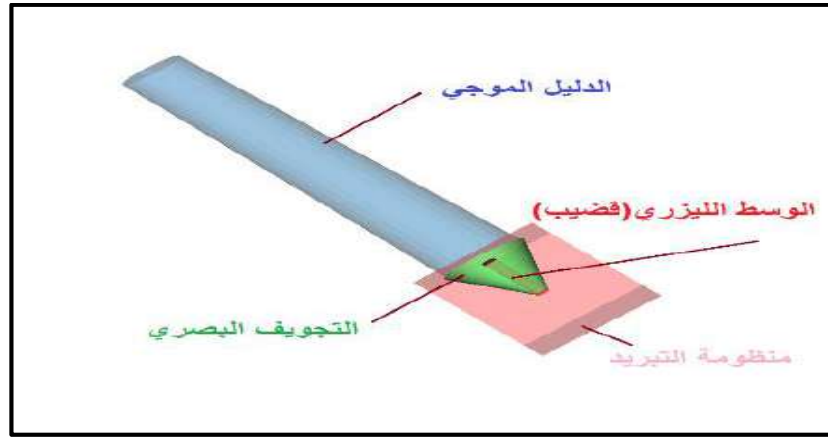
دراستنا يتكون من فتحتين الكبيرة ذات نصف قطر $R_1 = 750mm$ والصغيرة ذات نصف قطر $R_2 = 150mm$.



الشكل (03): صورة الأشعة المركزة بواسطة المركز ذو القطع المكافئ.

2.5- رأس الليزر:

يتكون رأس الليزر المعمول به في هذه الدراسة (الشكل 4) من عدة عناصر محتواة داخل هيكل خارجي يسمى بالمنظومة الميكانيكية، وتتمثل هذه العناصر في: الدليل الموجي، التجويف البصري والوسط الفعال.

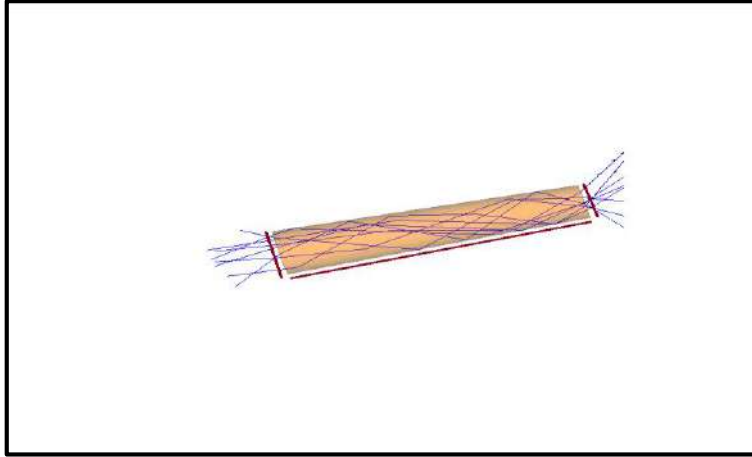


الشكل (04): صورة توضح رأس الليزر.

1.2.5- الدليل الموجي:

عبارة عن قناة مصنوعة من مادة السيليكون موجهة لحزمة الإشعاع المركزة عند بؤرة القطع المكافئ بهدف نقلها إلى المادة الفعالة مع الحفاظ عليها من التشتت أو فقدان، بتطبيق مبدأ الانعكاس الكلي اعتمادا على اختلاف قرينة الانكسار بين المادة الفعالة والهواء، يتم اختيار شكل الدليل على حسب نوع التركيز نقطي أو خطي وطريقة الضخ، وبما أن استعملنا المركز ذو القطع المكافئ فهو مركز نقطي. بحيث يتواجد مدخله في

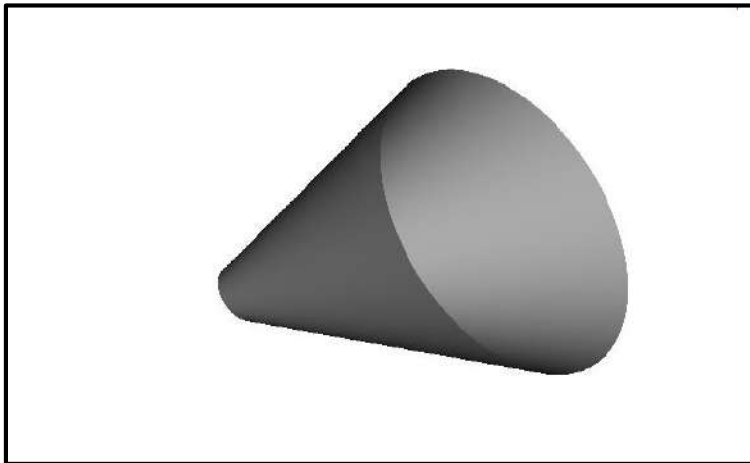
بؤرة المركز الشمسي ونصف قطره $R=14\text{mm}$ ومخرجه بمحاذاة مدخل الوسط الفعال، نصفه قطره يساوي $r=18\text{mm}$ بينما طوله $l=90\text{mm}$ كما هو موضح في الشكل (05):



الشكل (05): صورة توضح الدليل الموجي.

2.2.5- التجويف البصري:

هو عبارة عن قمع لأسطحه الداخلية مرابيا ذات درجة انعكاسية عالية لتجنب الضياع في الإشعاع الواصل له (الشكل 6)، يكون مدخله متصل بمخرج الوسط الفعال، نصف قطر مدخله $R=20\text{mm}$ ونصف قطر مخرجه $r=6\text{mm}$.

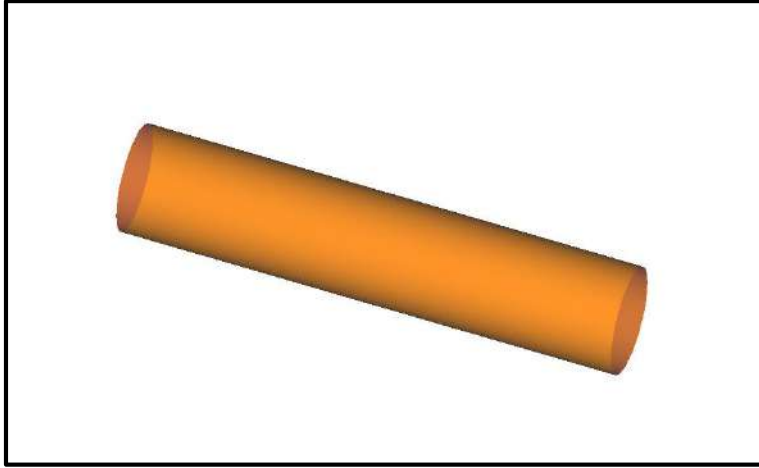


الشكل (06): صورة توضح تجويف بصري

يتم اختيار شكل التجويف البصري تبعا لطريقة الضخ المتبعة لكونه يحتضن المادة الفعالة، فالإشعاع الواصل يقوم بضخ طرفها مباشرة والسطح الداخلي يقوم بتسليط الإشعاع المشتت في عملية الضخ على جوانب المادة الفعالة وهذا للاستفادة من أكبر قيمة للإشعاع الشمسي المركز.

3.2.5- وسط الليزر:

تعد مادة ليزر Nd:YAG أكثر أنواع ليزر الحالة الصلبة استخداما كما يمتلك مجموعة من الخصائص الملائمة بشكل فريد لعملية الليزر. تم اثباته كأفضل مادة تحت أشعة الشمس شديدة كثافة الضخ لما لها من خصائص ممتازة في التوصيل الحراري، بالإضافة إلى قوة كسر مقارنة بالمواد المضيفة الأخرى. حيث الوسط الفعال المستعمل ذو قطر يساوي $R=4\text{mm}$ وطول يساوي $L=25\text{mm}$.



الشكل (07): صورة توضح مادة ليزر Nd:YAG.

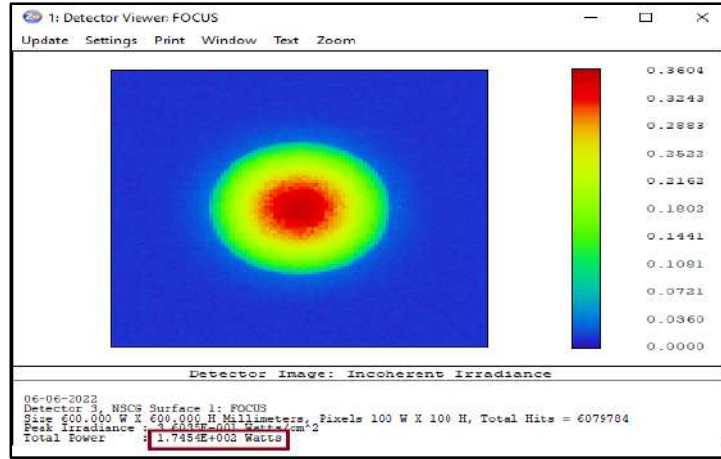
3.5- التحليل العددي لأداء منظومة الليزر الشمسي:

1.3.5- نتائج المحاكاة ببرنامج ZEMAX:

تمت محاكاة الطاقة الشمسية الواردة والتي تقدر باستطاعة قدرها 214W بواسطة برنامج ZEMAX، المجمعة في بؤرة المركز والتي تبعد عن مركزه بـ: 55,5 mm.

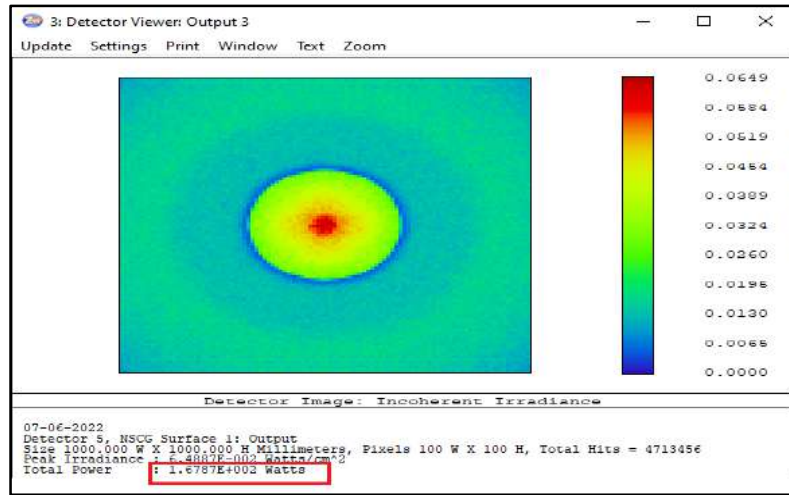
2.3.5- قياس طاقة الضخ:

تم قياس الاستطاعة المركزة في البؤرة المتصلة بمدخل الدليل الموجي بواسطة كاشف سطحي أول، قدرها 174,54W كما يوضح الشكل (08).



الشكل (08): صورة توضح الاستطاعة الضوئية عند البؤرة.

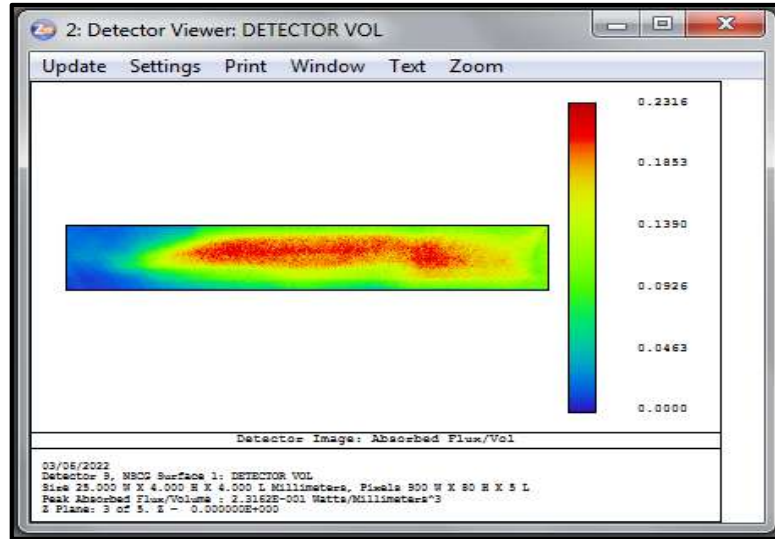
وبعد مرور الأشعاعات عبر الدليل الموجي قمنا بقياس الاستطاعة عند نهايته، بواسطة كاشف سطحي ثاني، حيث قدرت ب: 167.87 W كما يوضح الشكل (09).



الشكل (09): صورة توضح الاستطاعة الضوئية عند مخرج الدليل الموجي.

3.3.5- قياس الطاقة الممتصة في وسط الليزر وتوزيعها:

يمكننا برنامج من قياس استطاعة طاقة الضخ الممتصة من طرف لا الوسط الفعال ومعرفة طريقة توزيعها، وذلك من خلال الكاشف الحجمي (نقاط حجمية والتي تسمى الفوكسل)، كما يوضح الشكل (10).



الشكل (10): صورة توضح توزيع الاستطاعة الممتصة على طول المادة الفعالة.

من خلال الرسم لا يمكن معرفة قيمة الأشعة الممتصة لذا نلجأ إلى برنامج Excel الذي يحول صورة الكاشف الحجمي إلى نص عددي يحتوي على الاستطاعة الممتصة عند كل نقطة حجمية من النقاط الحجمية للوسط الفعال، ثم نقوم بجمع هذه الاستطاعات لنحصل على الاستطاعة الكلية وبالتالي نتحصل على استطاعة ممتصة تقدر بـ: 37.3W كما هو موضح في الشكل (11).

Voxel	X	Center Y	Center Z	Center	Incident Flux	Absorbed Flux	Absorbed/Vol
1	-1,25E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	4,92E-03	2,26E-07	2,04E-04	
2	-1,25E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	5,09E-03	2,41E-07	2,17E-04	
3	-1,24E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	5,10E-03	2,45E-07	2,21E-04	
4	-1,24E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	4,81E-03	2,39E-07	2,15E-04	
5	-1,24E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	4,75E-03	2,34E-07	2,10E-04	
6	-1,23E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	4,72E-03	2,39E-07	2,15E-04	
7	-1,23E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	4,95E-03	2,52E-07	2,27E-04	
8	-1,23E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	4,88E-03	2,38E-07	2,14E-04	
9	-1,23E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	5,03E-03	2,38E-07	2,15E-04	
10	-1,22E+01	-1,98E+00	-1,60E+00	5,26E-03	2,68E-07	2,41E-04	
359990	1,22E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,26E-02	1,11E-06	9,97E-04	
359991	1,22E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,23E-02	1,07E-06	9,59E-04	
359992	1,23E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,17E-02	1,09E-06	9,81E-04	
359993	1,23E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,26E-02	1,10E-06	9,90E-04	
359994	1,23E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,28E-02	1,16E-06	1,04E-03	
359995	1,23E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,26E-02	1,13E-06	1,01E-03	
359996	1,24E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,29E-02	1,14E-06	1,02E-03	
359997	1,24E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,31E-02	1,12E-06	1,01E-03	
359998	1,24E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,29E-02	1,12E-06	1,00E-03	
359999	1,25E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,21E-02	1,10E-06	9,94E-04	
360000	1,25E+01	1,98E+00	1,60E+00	2,15E-02	1,05E-06	9,44E-04	
							3,73E+01

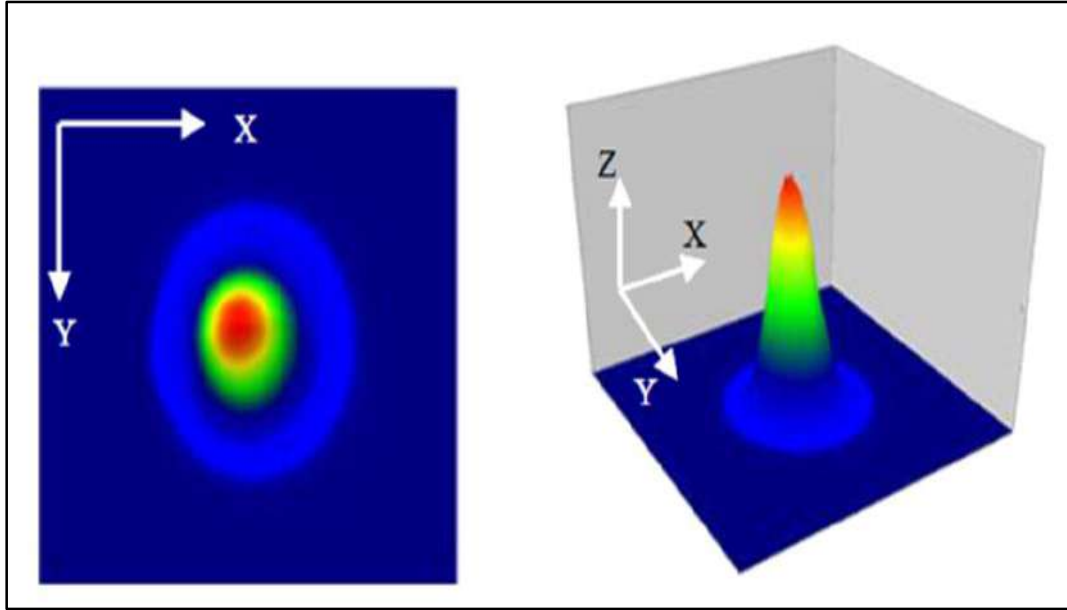
الشكل (11): نتيجة الاستطاعة الممتصة في برنامج Excel.

4.5- نتائج المحاكاة ببرنامج LASCAD:

تمت محاكاة المنظومة الليزرية بواسطة ZEMAX وتحديد القيمة الممتصة من طرف الوسط الفعال بواسطة EXCEL، قمنا بمحاكاة هذه النتيجة ببرنامج LASCAD كما هو موضح في الشكل (12)، الذي

بدوره يقيس استطاعة الليزر المنبعث والتي بلغت $2.25W$ وتحديد معاملات الشكل الصادر بها المتمثل في:

$$M_x^2 = M_y^2 = 1.3$$



الشكل (12): توزيع الاستطاعة الليزر المنبعث بواسطة LASCAD.

6- المناقشة:

انطلاقاً من مصدر ذو استطاعة قدرها $214W$ ، بلغت قيمة الاستطاعة الممتصة من قبل الوسط الليزري $37.3W$ وتوزيع منتظم نسبياً لأنه من الصعب الحصول على انتشار منتظم للاستطاعة الممتصة على طول الوسط الفعال عند استعمال الضخ الطرفي، هذا النقصان (الضياع) في الطاقة راجع إلى المركز الأولي، الدليل الموجي، التجويف البصري، حوض التبريد (امتصاص أو تشتت أو انعكاس.....)، أعطت نتائج المحاكاة استطاعة ليزر منبعثة تقدر بـ: $2.25W$ ، وحزمة ذات شكل غاوسي قريب من الشكل المثالي بمعاملات شكل قدرت بـ: $M_x^2 = 1.3$; $M_y^2 = 1.3$.

7- الخلاصة:

كان الهدف من الدراسة الحصول على منظومة ليزر شمسي ذات كفاءة عالية تمكن من الحصول على حزمة ليزر وحيد النمط باستطاعة عالية وشكل غاوسي. بالاعتماد على تقنية الضخ على الطرف، بغية الوصول إلى أكبر طاقة ممتصة ومن خلال عملية المحاكاة ببرنامج ZEMAX وصلت قيمة هاته الاستطاعة إلى $37.3W$ ، كما تحصلنا من خلال برنامج LASCAD على استطاعة ليزر شمسي (TEM_{00}) قدرها W 2.25 ، وحزمة ذات شكل غاوسي.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

أدى ظهور الليزر الشمسي إلى تطور الكثير من المجالات (اتصالات الليزر في الفضاء الحر، معالجة المواد ذات درجة حرارة عالية،)، حيث أنه يعتمد في مبدأ عمله على تحويل الطاقة الشمسية إلى أشعة ليزر من خلال تركيز أشعة الشمس وتوجيهها نحو الوسط الفعال.

يمكن أن يكون الليزر الشمسي متعدد الأنماط أو وحيد النمط (النمط الأساسي)، هذا الأخير يمتلك أكبر نسبة من استطاعة الليزر الكلية والشكل الغاوصي.

للحصول على أكفأ منظومة ليزر شمسي وحيد النمط، تم استخدام منظومة ليزرية تستعمل تقنية الضخ المباشر الطرفي للوسط الفعال، والذي يتم فيه تسليط الإشعاع الشمسي المركز على طرف قضيب Nd:YAG (الوسط الفعال)، والذي تم اختياره لخصائصه (الحرارية، الميكانيكية). بغية تفادي التلف والتشوه الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة المتوالة جراء تركيز الأشعة المسلطة على الطرف الليزري وكذلك الضغوطات الميكانيكية.

تم استخدام المحاكاة العددية بواسطة برنامجي ZEMAX و LASCAD لمنظومة ليزر شمسي وحيد النمط. من خلال المحاكاة باستعمال برنامج ZEMAX توصلنا إلى استطاعة ممتصة من طرف الوسط الفعال قدرها 37.3W، وانطلاقاً من هذه القيمة تحصلنا باستعمال برنامج على استطاعة ليزر وحيد النمط قدرها 2.25W وحزمة ذات شكل غاوصي وبمعاملات شكل:

$$M_x^2=1.3 ; M_y^2=1.3$$

الآفاق:

تحسين هذه المنظومة قصد الحصول على استطاعة ليزر وحيد النمط عالية والشكل الغاوصي لاستغلالها الأمثل في التطبيقات التي تحتاج الدقة العالية.



المراجع

المراجع

- [1] S. Mehellou, "pompage optique des lasers par faisceau solaire", Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla,(2018).
- [2] D.laing et al, "Simultaneous Sola remissions from three Nd:YAG rods within a singl pump cavity, Solar Energy, (Vol.199, PP. 192-197), (2020).
- [3] Joana, Isabel, Lázaro, Almeida, "Advances in solar-pumped laser efficiency and brightness", thèse de doctorat, univesidade nevade Lisboa, Setembro, (2017).
- [4] نور الدين حمروني، "ضخ الليزر الشمسي من كلا الطرفين"، أطروحة دكتوراه، جامعة الوادي(2021).
- [5] S. Mehellou, F. Rehouma, N. Hamrouni, and L. Bouras, "Thermal loading effects on Nd:YAG solar-laser performance in end- pumping and side-pumping configurations: a review" , Optical Engineering. 57. (12), 120902, (2018).
- [6] D. Liang, J. Almeida, C. R. Vistas, and E. Guillot "Solar-pumped Nd:YAG laser with 31.5 W/m² multimode and 7.9 W/m² TEM₀₀-mode collection efficiencies," Sol. Energy Mat. Sol. Cells 159, 435-439, (2017).
- [7] P. W. Milonni, J. H Eberly, "Laser Physics", A John Wiley & Sons, Canada, P.1, (2010).
- [8] د. حازم فلاح سكيك، "سلسلة محاضرات فيزياء الليزر وتطبيقاته"، جامعة الأزهر-غزة (2015).
- [9] د. رائد خضر سلمان الفهداوي، " محاضرات الليزر"، جامعة الأنبار(2015-2016).
- [10] د. سعود حميد اللحياي، مطبوعة محاضرات "الليزر وتطبيقاته"، جامعة أم القرى.
- [11] [/https://thedayintech.wordpress.com/light-amplification-by-stimulated-emission-of-radiation](https://thedayintech.wordpress.com/light-amplification-by-stimulated-emission-of-radiation) (2022/05/16)
- [12] محمد يوسف الشيخ يوسف، "دراسة اللوحات الفنية باستخدام تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر"، مذكرة ماجستير، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، كلية الدراسات العليا، (2017).
- [13] بيلا آ لينكيل، ترجمة فاروق عبودي قصير(1984)، "الليزرات"، جامعة الموصل، العراق.
- [14] R. da C. A. G. de Matos, "High-efficiency solar laser pumping by a ring-array concentrator", Dissertation for obtaining the Master's Degree in physical Engineering, NOVA University of Lisbon, (2019).
- [15] يمينة كرمية، "ضخ الأوساط الفعالة بالإشعاع الشمسي (حالة الليزر)، مذكرة ماجستير جامعة الوادي(2013).
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Nd:YAG_laser (2022/05/03)

- [17] صالح مصطفى الأثروشي ورياض وديع يوسف، "الليزر أسس واستخدامات"، جامعة دهوك، دار دجلة، الطبعة الأولى(2008).
- [18] <https://www.flickr.com/photos/67292116@N00/7476346232> (2022/05/30)
- [19] عدي عطا حمادي، "أساسيات الليزر وتقنياته"، دار الكندي للنشر والتوزيع، (2004).
- [20] د. محمد الكوسا، "فيزياء الليزر وتطبيقاته"، جامعة دمشق، سوريا(2006).
- [21] منيرة ميمي، "دراسة تحسين توجيه الضوء الشمسي"، مذكرة ماجستير، جامعة الوادي(2013).
- [22] عاشور رحال، "إنجاز سخان شمسي ودراسة تجريبيا كبديل عن السخان الكهربائي في المنطقة"، مذكرة تخرج لنيل دبلوم دراسات عليا بالمركز الجامعي الوادي(2009).
- [23] محمد البار سوداني، "تحقيق عملي لمركز شمسي إسطواني مكافئ لغطاء زجاجي"، رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة(2017-2018).
- [24] د. عمر خليل احمد الجبوري، احمد حسن احمد الجبوري، "مبادئ الطاقات المتجددة"، المعهد التقني – الحويجة كركوك، العراق(2010).
- [25] م. سومر معين حبيب، "دراسة تجريبية لتحسين أداء المقطر الانتشاري الشمسي"، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة تشرين، سوريا، (2015-2016).
- [26] مصطفى محمد الخياط، "مركزات الطاقة الشمسية"، مجلة الكهرباء العربية، العدد 99، (2010).
- [27] ليلي بوراس، "دراسة تأثير شبكة براغ المنتظمة على تحسين الانتقائية الطيفية في الموجات الضوئية المدمجة تطبيق: تجويف رنين لليزر مدمج"، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة(2006).
- [28] D. Liang, C. R. Vistas, J. Almeida, B. D. Tibúrcio, and D. Garcia, "Side-pumped continuous-wave Nd:YAG solar laser with 5.4% slope efficiency," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 192, 147–153 (2019).
- [29] C. R. Vistas, D. Liang, J. Almeida; B. D. Tibúrcio, and D. Garcia, "A doughnut-shaped Nd:YAG solar laser beam with 4.5 W/m² collection efficiency," *Solar Energy*, 182, 42–47 (2019).
- [30] D. Liang, J. Almeida, and D. Garcia, "Comparative study of Cr:Nd:YAG and Nd:YAG solar laser performances", In 8th Iberoamerican Optics Meeting and 11th Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications (Vol. 8785, pp. 973-979). SPIE, (2013).
- [31] J. J EWING, J. Hecht, B. Hitz, "Introduction to laser technology ", A John Wiley & Sons, Canada, P. 103, (2012).
- [32] مريم أزهر علي غالب، "تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيلينكون ذات اخاذيد مختلفة الشكل باستخدام برنامج ZEMAX"، رسالة مقدمة لنيل درجة ماجستير علوم فيزياء، جامعة بغداد(2016).

الملخص

تعد الشمس مصدر طاقة دائم ومتجدد، يستغل في الكثير من المجالات، منها الليزر الشمسي. يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى ليزر بوضخ الوسط بطريقتين (الضخ الجانبي والضخ الطرفي). كما هو معلوم تهتز الانبعاثات. الصادرة عن الوسط الفعال داخل المرنان على شكل أنماط أهمها النمط الأساسي لما يمتاز به من استحواذ على أكبر نسبة من طاقة الليزر الكلية وشكله الغاوصي. قصد الحصول على انبعاث ليزري في النمط الأساسي بطاقة عالية وشكل غاوصي صممنا منظومة ليزر شمسي تعتمد على الضخ الطرفي لما تمتاز به هذه الطريقة من فعالية باستعمال المحاكاة بواسطة البرامج ZEMAX و LASCAD. تم الحص على أكبر استطاعة ممتصة من طرف الوسط الفعال (Nd:YAG) قدرها 37.3W وموزعة نسبيا بانتظام على هذا الأخير بواسطة برنامج ZEMAX .

أدت هذه النتيجة للحصول على استطاعة ليزر أساسي قدرها 2.25W وحزمة ذات شكل غاوصي بمعاملات

$$\text{شكل } M_x^2=1.3 ; M_y^2=1.3$$

الكلمات المفتاحية: الليزر الشمسي، ليزر شمسي احادي النمط، الضخ لجانبي، الضخ الطرفي، الشكل الغاوصي، معاملات الشكل.

Résumé

Le soleil est une source d'énergie permanente et renouvelable qui est peut être exploitée dans de nombreux domaines, dont le laser solaire. L'énergie solaire est convertie en lumière laser en excitant un milieu laser de deux façons (latéralement ou par le bout). Les émissions laser émises par le milieu actif oscillent à l'intérieur du résonateur sous forme de modes, dont le plus important est le mode fondamental, qui se caractérise par l'acquisition de la plus grande partie de l'énergie laser totale et de sa forme Gaussienne. Afin d'obtenir une émission laser en mode fondamental avec une puissance élevée et une forme Gaussienne, nous avons conçu un système laser solaire basé sur le pompage par le bout en raison de l'efficacité de cette méthode en utilisant la simulation par les programmes ZEMAX et LASCAD. Une puissance maximale absorbée par le milieu actif (Nd : YAG) de 37.3 W avec une distribution relativement uniforme a été obtenue en simulant le système laser solaire par le programme ZEMAX. Ce résultat a conduit à une puissance laser en mode TEM₀₀ de 2,25 W et un faisceau gaussien avec des coefficients de forme ; $M_x^2 = M_y^2 = 1.3$.

Mots clés : Laser solaire, laser solaire monomode, pompage latéral, pompage par le bout, profile Gaussien, facteurs de forme.