

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

رقم الترتيب: .....

رقم التسلسل: .....



جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم: الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

## ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاعات وطاقة

من إعداد:

لوشان إيمان

عشور سمية

الموضوع



دراسة كفاءة منظومة الليزر الشمسي بـ Nd: YAG  
باستعمال الدليل الضوئي المحدّب: Tapered light guide

نوقشت يوم: 2020/09/30

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيساً	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	أستاذ محاضر - أ -	بديدة نصيرة
مناقشاً	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	أستاذ مساعد - أ -	يوراس ليلي
مؤطراً	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي	أستاذ محاضر - أ -	محلو السعيد

الموسم الجامعي 2020/2019

أنجز هذا العمل في مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية (LEVRES)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## الإهداء

إلى العظيمة أمي، أعرف مسبقاً أن الكتابة عنك شيء محكوم بالفشل، امرأة مثلك يستحيل تحويلها إلى أبجدية، أنت أكبر من أن تعتلي في جملة، أكبر من أن تحبسي بين فاصلتين، لا يمكنني تحويل العطر إلى لغة، العطر يشم ولا يكتب! أنت في حلق اللغة غصة، أنت امرأة لا تكتب!

إلى من مال كل شيء وظل كتفه يسندني، إلى العظيم أبي.

إلى سكر أيامي وحلوها إخوتي وأخواتي.

إلى رياحين الروح وتفتح القلب، إلى من يعلمون أنني أعنيهم دون أن أذكرهم.

إلى كل زملائي من دفعتي السابقة، لن أنسى دعاءكم ودعمكم ما حييت.

إلى أرواح لازالت ذكراهم في القلب حتى وإن فارقونا

إلى من التقيتهم صدفة وكانوا أقرب لي مني

إلى كل من صادفتهم في باتنة والعاصمة.. لن أنسى تشجيعكم لي يوماً.

سمية عشور



## الإهداء

إلى حكمتي وعلمي، إلى أدبي وحلمي، إلى طريقي المستقيم.

إلى طريق الهداية، إلى ينبوع الصبر والتفاؤل والأمل.

إلى كل من في الوجود بعد الله ورسوله **أمي الغالية**.

إلى من جرع الكأس فارغا ليستقيني قطرة حب.

إلى من كلت أنامله ليقدم لنا لحظة سعادة.

إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم.

إلى القلب الكبير **والدي العزيز**.

إلى سندي وقوتي وملاذي بعد الله.

إلى من أثروني على أنفسهم، إلى من علموني علم الحياة.

إلى من اظهروا لي ما هو أجمل من الحياة إخوتي.

إلى البراعم المفعمة بالبراءة ألاء، جود، يزيد.

إلى من كانوا ملاذي وملجئي، إلى من تذوقت معهم أجمل اللحظات.

إلى من جعلهم الله إخوتي بالله ومن أحببتهم بالله.

إلى الأخوات الآتي لم تلدهم أمي ومن تحلوا بالإخاء وتميزوا بالوفاء.

سعدت برفقتهم في المشوار الدراسة.

إيمان لوشان



## شكر وإقصاد

الحمد لله الذي وفقنا لإنهاء هذا العمل على أكمل وجه، فما كان لشيء أن يجري في ملكه إلا بمشيئته جل شأنه وعظم قدره، والصلاة والسلام على شفيعنا وحبينا محمد.

وعملاً بقول النبي صلى الله عليه وسلم { لا يشكر الله من لا يشكر الناس } فإننا نتوجه بالشكر إلى من كان لنا خير عون، و نعم دعم، إلى من سار معنا خطوة بخطوة طوال مسيرتنا في إنجاز هذا العمل، إلى من أثار لنا طريق العلم و المعرفة الأستاذ الدكتور

محمو السعيد.

كما نتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ نور الدين حمروني، جزاك الله عنا خير الجزاء.

كما نود أن نشكر الزميل موساوي محمد الصالح على تعاونه معنا طيلة العمل والذي لم يبخل علينا بوقته وجهده.

ولن أنسى الأستاذ لكموتة لمين الذي دعمني بما أمكنه.

كما يسعدنا أن نتقدم بالشكر الجزيل لأعضاء اللجنة على موافقتهم مناقشة هذا العمل بداية برئاسة اللجنة بديدة نصيرة وكذلك الأستاذة ليلي بوراس.

وفي الختام لا يسعنا إلا أن نشكر مخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية على احتضانهم لنا طيلة هذا العمل.

لوشان و عشور



## فهرس المحتويات

I.....	الإهداء
III.....	شكر وتقدير
IV.....	فهرس المحتويات
VIII.....	فهرس الأشكال
X.....	فهرس الجداول
XI.....	فهرس الرموز
1.....	المقدمة العامة
3.....	قائمة مراجع المقدمة العامة

### الفصل الأول: الإشعاع الشمسي

4.....	I-1- مقدمة
4.....	I-2- الشمس
5.....	I-3- علاقة الأرض بالشمس
5.....	I-4- الإشعاع الشمسي
6.....	I-4-1- شدة الإشعاع الشمسي
6.....	I-4-2- أنواع الإشعاع الشمسي
6.....	I-4-2-1- الإشعاع الشمسي المباشر من الشمس (حزمة الإشعاع المباشر)
7.....	I-4-2-2- الإشعاع الشمسي المشتت والمتطاير في الجو (حزمة الإشعاع المبعثر)
7.....	I-4-2-3- الإشعاع الشمسي المنعكس من السطوح الأخرى (حزمة الإشعاع المعكوس)....
8.....	I-4-2-4- الإشعاع الشمسي الكلي (الشامل أو الجملي)
9.....	I-4-3- الثابت الشمسي
9.....	I-4-4- طيف الإشعاع الشمسي
10.....	I-5- الزوايا الشمسية
10.....	I-5-1- خطوط الطول
11.....	I-5-2- دوائر العرض $\varphi$
11.....	I-5-3- الزاوية الساعية W
11.....	I-5-4- انحراف الشمس $\delta$

12	5-5-I زاوية ارتفاع الشمس h
12	6-5-I زاوية سمت $\alpha$
13	7-5-I زاوية سمت الشمسي الأفقية $\psi_s$
13	8-5-I زاوية سمت سطح $\psi_k$
13	9-5-I الوقت الشمسي
13	10-5-I الوقت القياسي
14	6-I مميزات وعيوب الطاقة الشمسية
14	1-6-I مميزات الطاقة الشمسية
14	2-6-I عيوب الطاقة الشمسية
14	7-I تطبيقات الطاقة الشمسية
16	8-I خلاصة
17	قائمة مراجع الفصل الأول

### الفصل الثاني: الليزر الشمسي

18	1-II مقدمة
18	2-II تعريف الليزر
18	3-II مميزات شعاع الليزر
19	4-II المكونات الأساسية لمنظومة الليزر
20	5-II آليات تفاعل إشعاع - مادة
23	6-II شروط الانبعاث الليزري
24	7-II الأنظمة الليزرية
24	1-7-II منظومة ثلاثية المستوى
24	2-7-II منظومة رباعية المستوى
25	8-II تركيز وتوجيه الأشعة الشمسية
25	1-8-II المجمعات الشمسية
26	2-8-II أنواع المجمعات الشمسية
26	3-8-II المركبات الشمسية
26	4-8-II أنواع المركبات الشمسية

26	.....II-8-4-1- التركيز الخطي
27	.....II-8-4-2- التركيز النقطي
29	.....II-8-5- الموجهات الضوئية
30	.....II-8-6- الألياف البصرية
30	.....II-8-7- الدليل الضوئي
31	.....II-8-8- أنواع الدليل الضوئي
31	.....II-8-9- مبدأ عمل الدليل الضوئي
33	.....II-9- الليزر الشمسي
33	.....II-9-1- لمحة تاريخية
33	.....II-9-2- تقنية الليزر الشمسي
33	.....II-9-3- أنواع الضخ المباشر لليزر الشمسي
34	.....II-8-3-1- الضخ الجانبي
35	.....II-8-3-2- الضخ على الطرف
36	.....II-10- خلاصة
37	..... قائمة مراجع الفصل الثاني
<b>الفصل الثالث: المحاكاة العددية لمنظومة الليزر الشمسي</b>	
39	.....III-1- مقدمة
39	.....III-2- محاكاة منظومة الليزر الشمسي بالدليل الضوئي "Tapered light guide" باستعمال البرنامج Zemax
39	.....III-2-1- برنامج "Zemax"
40	.....III-2-2- مكونات منظومة الليزر الشمسي بالدليل الضوئي "Tapered light guide"
45	.....III-2-3- منظومة الليزر الشمسي المدروسة
45	.....III-2-4- المحاكاة العددية باستعمال البرنامج "Zemax"
45	.....III-2-5- نتائج المحاكاة العددية
50	.....III-2-6- تحليل نتائج المحاكاة العددية
51	.....III-3- خلاصة
52	..... الخلاصة العامة

## فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
<b>الفصل الأول</b>		
5	حركة الأرض بالنسبة للشمس	(1-I)
5	الأبعاد وموضع الشمس والأرض	(2-I)
7	أنواع الإشعاع الشمسي	(3-I)
8	الأشعة الشمسية ونظام الأرض-الغلاف الجوي	(4-I)
9	أنواع الطيف الكهرومغناطيسي	(5-I)
12	زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض	(6-I)
13	زاوية الارتفاع الشمسي والسمت (معلم سطح أرضي)	(7-I)
<b>الفصل الثاني</b>		
18	طيف ليزر الهيليوم نيون	(1-II)
19	الفرق بين الضوء العادي وضوء الليزر	(2-II)
20	منظومة الليزر	(3-II)
21	آلية حدوث الامتصاص	(4-II)
22	آلية حدوث الانبعاث التلقائي	(5-II)
22	آلية حدوث الانبعاث المحفز	(6-II)
23	التعداد السكاني المعكوس	(7-II)
24	نظام ذو ثلاث مستويات طاقوية	(8-II)
25	نظام ذو أربعة مستويات طاقوية	(9-II)
27	المجمع الشمسي الاسطواني القطع المكافئ (PTC)	(10-II)
27	عاكس فرينل الخطي (LFR)	(11-II)
28	البرج المركزي الشمسي (CRS)	(12-II)
29	رسم تخطيطي لعدسة فرينل	(13-II)
29	الطبق ذو القطع المكافئ	(14-II)
30	أنواع قنوات الموجه الضوئي	(15-II)
30	الليف البصري	(16-II)
30	الدليل الضوئي	(17-II)

31	الدليل الضوئي لقرينة انكسار متغيرة	(18-II)
31	الدليل الضوئي لقرينة انكسار ثابتة	(19-II)
32	الموجه الضوئي المستوي العازل المدمج	(20-II)
32	مبدأ الانعكاس الكلي للضوء داخل الموجة	(21-II)
34	طريقة الضخ الجانبي لقضيب الليزر	(22-II)
34	تجربة "Almeida" وزملاؤه للضخ الجانبي	(23-II)
35	طريقة الضخ على الطرف لقضيب الليزر	(24-II)
35	تجربة Liang وزملاؤه للضخ على الطرف	(25-II)
<b>الفصل الثالث</b>		
40	النافذة الرئيسية (الإحداثيات، زوايا الدوران والمواد...) وبعض النوافذ الثانوية في برنامج Zemax.	(1-III)
41	مخطط المركز ذو القطع المكافئ	(2-III)
42	مخطط الدليل الضوئي المحدب "Tapered light guide"	(3-III)
42	مخطط المركز الثانوي	(4-III)
43	مخطط التجويف البصري	(5-III)
44	مخطط قضيب الليزر	(6-III)
44	رسم تخطيطي للمرنان	(7-III)
45	منظومة الليزر الشمسي	(8-III)
46	صورة للكاشف الضوئي في بؤرة المركز	(9-III)
46	صورة للكاشف الضوئي عند مدخل الدليل الضوئي	(10-III)
47	صورة للكاشف الضوئي على عمق 20 مم في الدليل الضوئي	(11-III)
47	صورة للكاشف الضوئي عند مخرج الدليل الضوئي	(12-III)
49	صورة الكاشف الحجمي في مستويات طولية	(13-III)
50	صورة الكاشف الحجمي في مستويات عرضية	(14-III)
50	صورة لصفحة تعطي قيمة الاستطاعة الممتصة	(15-III)

## فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
	الفصل الأول	
8	قيم معامل الاضطراب وارتفاع الماء المكثف	(1-I)
10	التوزيع الطاقى لطيف الإشعاع الشمسى الحرارى	(2-I)

فهرس الرموز

الوحدة	الرمز	المقادير الفيزيائية المستعملة
$W/m^2$	$\Phi$	التدفق
$W/m^2.k^4$	$\sigma$	ثابت ستيفان- بولتزمان
K	$T_s$	درجة حرارة الشمس
M	$R_s$	قطر الشمس
$W/m^2$	$I_b$	الإشعاع الشمسي المباشر
$W/m^2$	I	الثابت الشمسي
°	I	زاوية ورود الإشعاع الشمسي
/	$a_0$	ثابت تجريبي
/	$a_1$	ثابت تجريبي
/	K	ثابت تجريبي
/	AM	الكتلة الهوائية الضوئية
$W/m^2$	$I_d$	الإشعاع الشمسي المشتت
$W/m^2$	G	الإشعاع الشمسي الكلي
/	$\beta_A$	معامل انغيشتروم
Cm	$\omega$	ارتفاع الماء المكثف
يوم	$N_j$	رقم اليوم من السنة
M	$\lambda$	طول الموجة
°	$\Phi$	زاوية دائرة العرض
°	W	الزاوية الساعية
°	$\delta$	انحراف الشمس
°	$h$	زاوية ارتفاع الشمس
°	$\alpha$	زاوية السميت
°	$\psi_s$	زاوية السميت الشمسي الأفقية
°	$\psi_k$	زاوية سميت السطح
H	$TV_s$	التوقيت الشمسي
Hz	$\nu$	تردد الفوتونات

Ev	E	طاقة المستوى
j.s	H	ثابت بلانك
/	$N_1$	عدد الذرات في المستوى الأدنى
/	$N_2$	عدد الذرات في المستوى الأعلى
Ev	$E_0$	المستوي الأرضي
Ev	$E_1$	المستوي شبه المستقر
Ev	$E_2$	المستوي المثار

# المقدمة العامة

## مقدمة عامة

الطاقة المستخدمة في العالم اليوم تأتي من رواسب الوقود الأحفوري (الفحم والنفط والغاز) وتمثل 85% من إجمالي الطاقات المستغلة. في مواجهة نضوب مصادر الطاقة الأحفورية وتأثيرها السلبي على البيئة، تبرز الطاقات المتجددة كحل مستقبلي لتلبية احتياجات العالم من الطاقة بشكل مستدام، من بين الطاقات المتجددة لدينا الطاقة الشمسية وهي مصدر نظيف بنسبة 100% ومتوفرة على سطح الأرض بالكامل [1].

تعد الشمس مصدراً رئيسياً للطاقة المتجددة التي يمكن أن توفر مصدراً غير محدود لإمدادات الطاقة في أجزاء كثيرة من العالم، فهي أصل مصادر الطاقة المختلفة الموجودة في الطبيعة، مثل الوقود الأحفوري المخزن في أعماق الأرض، الشلالات وطاقة الرياح، النمو النباتي والحيواني والبشري، جميع المواد العضوية التي يمكن تحويلها إلى حرارة وطاقة ميكانيكية، الجاذبية، المد والجزر. كما تعتبر الطاقة الشمسية التي تتلقاها الأرض في ساعة واحدة أكثر من الطاقة التي يستخدمها سكان العالم في عام كامل. ازداد الاهتمام العالمي بها مؤخرًا بسبب التطور التكنولوجي وانخفاض تكلفة التركيب والتشغيل إلى جانب المخاوف البيئية بشأن الوقود الأحفوري. وفقًا للخبراء ستصبح الطاقة الشمسية مستقبلًا الطاقة الأكثر استخدامًا [2]. يمكن أن يتولد عن الطاقة الشمسية طاقات أخرى كطاقة الليزر.

في العقد الأول من القرن الماضي وصف بلانك التوزيع الطيفي للإشعاع الحراري، وفي العقد الثاني صاغ أينشتاين من خلال الجمع بين قانون بلانك وإحصاءات بولتزمان مفهوم الانبعاث المحفز. كان الامتصاص والانبعاث التلقائي هما الآليتين المعروفتين للتفاعل بين الضوء والمادة حتى عام 1917، وهو العام الذي افترض فيه ألبرت أينشتاين وجود آلية جديدة لانبعاث الضوء وهي الانبعاث المحفز، بعدها بخمسين عامًا نتج عن ذلك أول جهاز انبعاث محفز في الموجات الدقيقة "الميزر" في عام 1955، وبأطوال موجية بصرية "الليزر" في عام 1960 [3]. كان حلم البشرية تحويل ضوء الشمس، وهو إشعاع عريض النطاق غير متماسك إلى إشعاع ليزر متماسك وأحادي اللون، وقد بدأ هذا الحلم يتحقق بعد وقت قصير من اختراع الليزر، حيث يعتبر الليزر الشمسي من أكثر مجالات البحث إثارة للاهتمام [4]، بالمقارنة مع الليزر التي تعمل بالكهرباء فإن الليزر الشمسي أبسط وموثوق به كثيرًا بسبب الإزالة الكاملة لمعدات توليد الطاقة الكهربائية، مما يوفر احتمالية انخفاض كبير في تكلفة الإنتاج، مما يؤدي إلى العديد من الفوائد البيئية والاقتصادية في السنوات القادمة [5]. يوفر الضخ المباشر لليزر الحالة الصلبة بتحويل ضوء الشمس إلى ضوء الليزر مرحلة تحويل الطاقة، من شمسية إلى كهربائية، وهو أكثر كفاءة بطبيعته. ومع ذلك فقد تم تكريس قدر أقل من الاهتمام بالليزر المباشر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية، وبالتالي فقد شهد هذا المجال تطورًا بطيئًا بعد أول ليزر مضخ بالطاقة الشمسية في عام 1966 [6]، لكن العقود الأخيرة شهدت تطورًا نوعيًا فيما يخص استطاعة الليزر وكذلك جودة حزمته والتي تتعلق بطريقة تحفيز الوسط الفعال، هذا التحفيز ينتج عنه ارتفاع في درجة الحرارة مما يؤثر سلبًا على كفاءة المنظومة.

يدخل عملنا في هذه المذكرة في إطار المساهمة في تطوير الليزر الشمسي وهو مقسم إلى ثلاث فصول، وهي على النحو التالي:

- في الفصل الأول سنقدم فكرة عامة عن الإشعاع الشمسي.

- في الفصل الثاني سنتطرق لذكر المبادئ الأساسية لليزر، كما سنقوم بدراسة تجميع، تركيز وتوجيه الإشعاع الشمسي، ومن ثم سنتعرف على الليزر الشمسي وطرق ضخه.
- الفصل الأخير سيكون عبارة عن محاكاة باستعمال برنامج Zemax لمنظومة الليزر الشمسي، الضخ الجانبي بالاعتماد على الدليل الضوئي "Tapered light guide".

## قائمة مراجع المقدمة العامة

- [1] Ballo Djibril et Bettarch Nesrine Manel, "Etude experimental d'un retro-concentrateur solaire parabolique", Mémoire de Master, Université Abdel Hamid Ben Badis - Mostaganem, Algérie (2019).
- [2] Tayyebatossadat P. Aghaei, Solar Electric and Solar Thermal Energy: A Summary of Current Technologies, GENI, (2014).
- [3] Said Mehellou, "Pompape optique des lasers par faisceau solair", thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah- Ourgla, Algérie (2018).
- [4] Yasser A. Abdel-Hadi, Simulation model of a new solar pumped laser system of Fresnel lens in Helwan of Egypt, National Research Institute of Astronomy and Geophysics. N°1, 195-198 (2012).
- [5] Dawei Liang, "Advances in solar-pumped laser efficiency and brightness", Master Thesis, University Nova de Lisboa, Portugal(2017).
- [6] Dawei Liang and Joana Almeida, Highly efficient solar-pumped Nd:YAG laser, CEFITEC, University Nova de Lisboa, Portugal (2011).

# الفصل الأول

## الإشعاع الشمسي

## I-1- مقدمة:

تعتبر الطاقة الشمسية هي المصدر الرئيسي والهام الذي يمد الأرض بالطاقة، حيث إن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس لمدة 105 دقيقة تكفي احتياجات واستهلاكات العالم اجمع لمدة عام [1].

استفاد الإنسان منذ القدم من طاقة الإشعاع الشمسي مباشرة في تطبيقات عديدة كتجفيف المحاصيل الزراعية وتدفئة المنازل، كما استخدمها في غيرها من المجالات، فقد احرق ارخميدس الأسطول الحربي الروماني في الحرب عام 212 ق.م عن طريق تركيز الإشعاع الشمسي على سفن الأعداء بواسطة المئات من الدروع المعدنية. وفي العصر البابلي كانت نساء الكهنة يستعملن أنية ذهبية مصقولة كالمرآيا لتركيز الإشعاع الشمسي للحصول على النار. كما قام علماء أمثال: "تشرنهوس"، "سويز"، "لافوازييه"، "موتشوت"، "اريكسون"، "هاردنغ" وغيرهم باستخدام الطاقة الشمسية في صهر المواد وطهي الطعام وتقطير الماء وتوليد بخاره وتسخين الهواء.

في مطلع القرن الميلادي الحالي أنشئت أول محطة للري بواسطة الطاقة الشمسية في المعادي قرب القاهرة حيث كانت تعمل لمدة 5 ساعات في اليوم [2].

## I-2- الشمس:

الشمس تمثل نجم المجموعة الشمسية، وهي أكبر من كواكب المجموعة ككل مجتمعة ويبلغ وزنها حوالي  $1,986 \times 10^{30}$  Kg، أما قطرها فيبلغ حوالي  $1,4 \times 10^6$  Km مقارنة بقطر الأرض [3].

تتكون الشمس من عنصري الهيدروجين والهيليوم بشكل رئيسي، إذ تبلغ نسبة الهيدروجين حوالي 80% والهيليوم 19% أما 1% المتبقية فهي عبارة عن عناصر أخرى كالكربون والنيتروجين، ينتج الهيليوم نتيجة تفاعل الاندماج النووي بين ذرات الهيدروجين. تبلغ درجة حرارة مركز الشمس حوالي  $20 \times 10^6$  K، أما درجة حرارة الطبقة الخارجية حوالي  $6 \times 10^3$  K [3]. ويمكن تشبيه الشمس فيزيائياً بإشعاع الجسم الأسود الذي تنبعث منه موجات الإشعاع الكهرومغناطيسي حاملا الطاقة الموزعة طيفا، أي تسير شدتها مع طول الموجة [2].

يعطى تدفق هذه الطاقة بقانون Stephen [4]:

$$\Phi = \sigma T_s^4 4\pi R_s^2 \quad (1-I)$$

حيث:

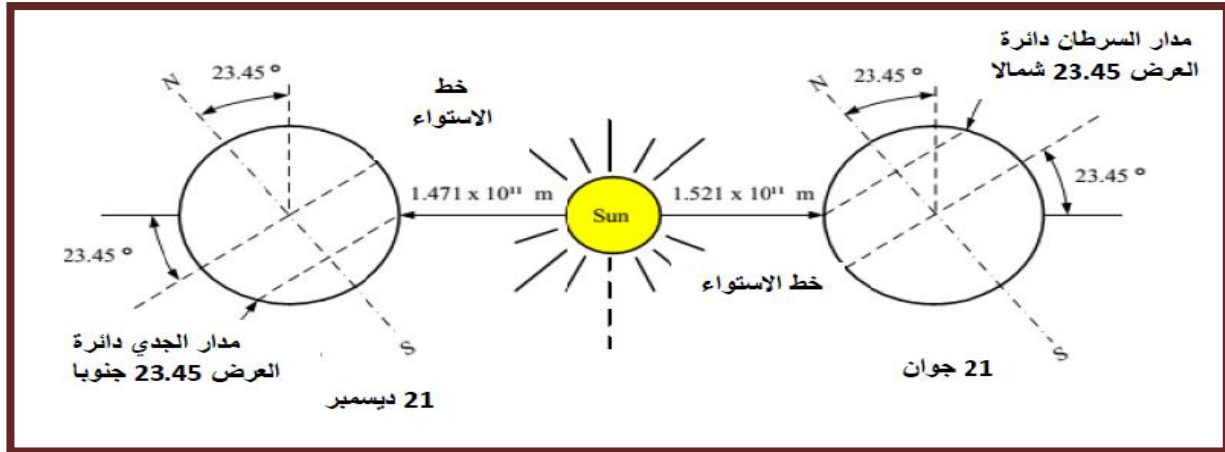
-  $R_s$  نصف قطر الشمس.

-  $T_s$  درجة حرارتها.

-  $\sigma$  ثابت ستيفان- بولتزمان.

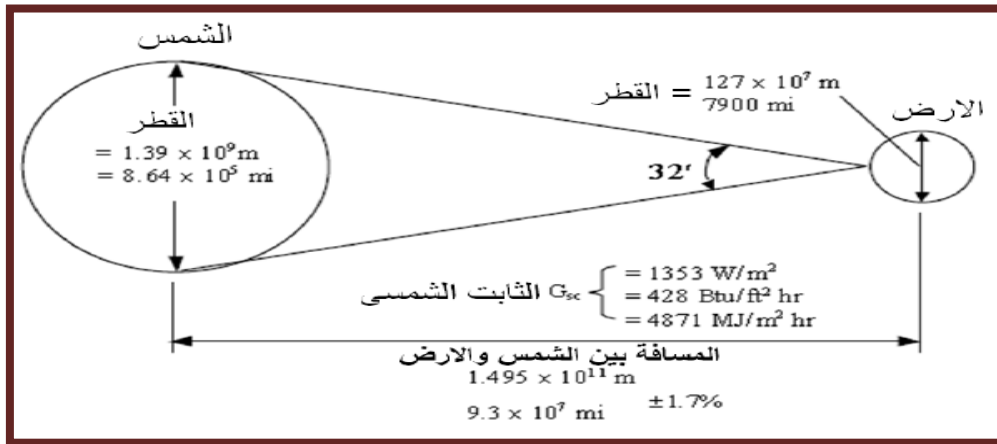
### 3-I- علاقة الأرض بالشمس:

كما هو معلوم يتخذ مدار الأرض حول الشمس شكلا بيضاويا مما يؤدي إلى تغير المسافة بينهم [3]، حيث تدور الأرض حول محور وهمي يمر في القطب الشمالي والقطب الجنوبي، هذا المحور يميل بمقدار  $23,5^\circ$  عن مستوى مدار الأرض. هذا الميلان يسبب الفصول الأربعة فيكون النهار طويلا وحارا والليل قصيرا في الصيف، بينما النهار قصير بارد والليل طويل في الشتاء [5]، وهذا ما يمثله الشكل (1-I).



الشكل (1-I): حركة الأرض بالنسبة للشمس [4].

أما المسافة بين الأرض والشمس فتبلغ حوالي  $150 \times 10^6$  Km كما يظهر في الشكل (2-I) [3].



الشكل (2-I): الأبعاد وموضع الشمس والأرض [5].

### 4-I- الإشعاع الشمسي:

يختلف الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض في الكمية والخصائص عن الإشعاع الشمسي الخارجي، حيث ينعكس جزء من الإشعاع بواسطة الضباب. تتفاعل المواد الكيميائية مع أشعة الشمس فتمتص موجات معينة. تكون أغلب الطاقة المستقبلة من الشمس عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية في صورة موجات [5].

### I-4-1- شدة الإشعاع الشمسي:

تختلف شدة الإشعاع الشمسي وكميته من مكان إلى آخر، وهذا الاختلاف ناتج من العوامل الآتية والتي تشكل القوة المحركة للكثير من الظواهر الطبيعية على سطح الأرض [5]:

• دوران الأرض في شكل بيضاوي مرة كل 365 يوم محدثا التغيرات الفصلية.

• دوران الأرض حول محورها كل 24 سا محدثا اختلاف الليل والنهار.

وتعتبر طبقة الفوتوسفير مصدر الإشعاع الرئيسي من الشمس وتبلغ درجة حرارتها حوالي  $6 \times 10^3 K$ ، حيث تشع الشمس طاقة بمعدل  $3,85 \times 10^{23} KW$  تستقبل الأرض منها حوالي  $1,8 \times 10^{14} KW$  [3].

عموما لا تتساوى شدة الإشعاع الشمسي في جميع الأماكن على كوكب الأرض، حيث يعتمد ذلك على خط عرض المكان والرطوبة فيه، فكلما ارتفع خط العرض وزادت الرطوبة انخفضت شدة الإشعاع الشمسي [1].

### I-4-2- أنواع الإشعاع الشمسي:

لا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو 130 MW لكل متر مربع من سطح الشمس، وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي [1].

يصل إلى الأرض ثلاثة أنواع من الإشعاعات، والتي تمثل نسبة 50% من الأشعة الشمسية وهي:

#### I-4-2-1- الإشعاع الشمسي المباشر من الشمس (حزمة الإشعاع المباشر):

هو عبارة عن شعاع مباشر، أي في خط مباشر من الشمس إلى الأرض ويمثل نسبة كبيرة من الأيام المشمسة حوالي 27%، أما في الأيام الغائمة فان الشمس تكون مغطاة بالغيوم وعندئذ يكون الشعاع تقريبا معدوم وبالتالي يمثل الإشعاع المبعثر الأغلبية العظمى في ذلك الوقت [5].

تعطى عبارة الإشعاع الشمسي المباشر الوارد من الشمس إلى سطح الأرض ناظميا بعد اختراقه للغلاف الجوي بالعلاقة [4]:

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

حيث  $a_0$  و  $a_1$  و  $K$  ثوابت تجريبية تعطى من طرف "Duffie" و "Beckman" بالعلاقات التالية:

$$a_0 = 0.94 [0.4237 - 0.00821 (6 - Z)^2] \quad (3-I)$$

$$a_1 = 0.98 [0.5055 - 0.00595 (6.5 - Z)^2] \quad (4-I)$$

$$K = 1.02 [0.2711 - 0.01858 (2.5 - Z)^2] \quad (5-I)$$

حيث: Z- ارتفاع المنطقة فوق سطح البحر معبرا عنها بالكيلومتر.

- AM الكتلة الهوائية الضوئية.

- I الثابت الشمسي.

أما في حالة الإشعاع الشمسي المباشر الذي يرد بزاوية i على سطح مائل تعطى عبارته بالعلاقة [4]:

$$I_{bt}=I_b \cos i \quad (6-I)$$

### I-2-4-2- الإشعاع الشمسي المشتت والمتطاير في الجو (حزمة الإشعاع المبعثر):

هذا الإشعاع يأتي من أنحاء متفرقة من السماء لذا يطلق عليه "إشعاع السماء" وتكون كميته حوالي 10% للسماء الصافية وتصل إلى 100% للسماء الغائمة [5].

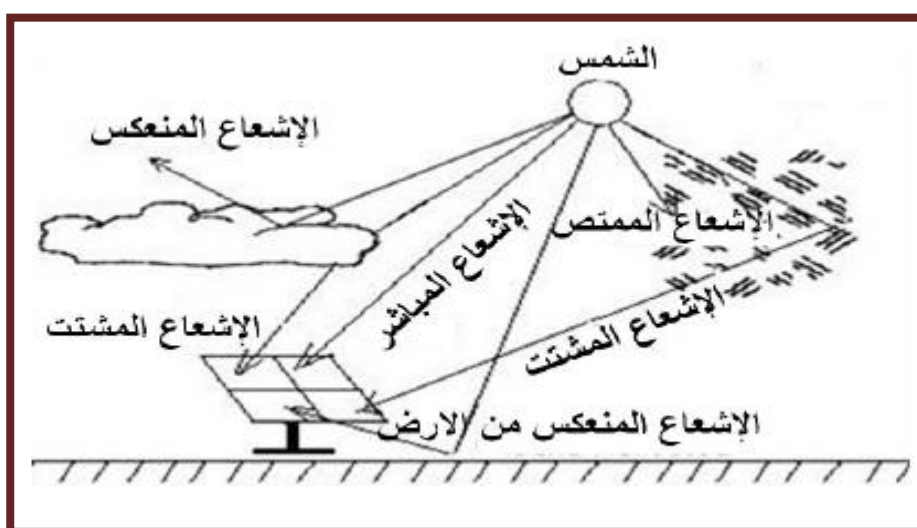
وتعطى عبارته في حالة سطح أفقي بالعلاقة [4]:

$$I_d = I \sin h [0.2710 - 0.2939 (a_0 + a_1 e^{-K \cdot AM})] \quad (7-I)$$

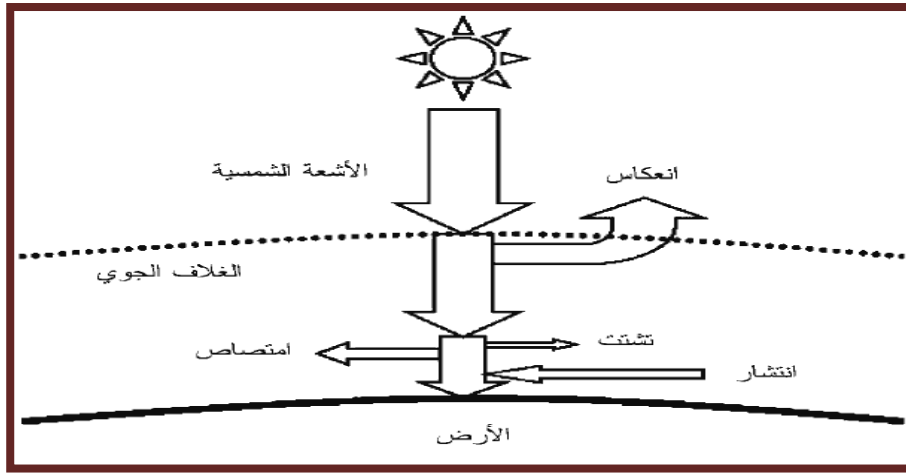
### I-3-2-4- الإشعاع الشمسي المنعكس من السطوح الأخرى (حزمة الإشعاع المعكوس):

كمية الإشعاع المنعكس على سطح الخلية الشمسية يختلف نتيجة اختلاف السطوح العاكسة للإشعاع، فمن المعلوم اختلاف معاملات الانعكاس من سطح لآخر، وتكون كمية الإشعاع المنعكس حوالي 13% [5].

والشكلين (3-I) و(4-I) يوضحان الأنواع المذكورة آنفا.



الشكل(3-I): أنواع الإشعاع الشمسي [5].



الشكل(4-I): الأشعة الشمسية ونظام الأرض- الغلاف الجوي [7].

#### 4-2-4-I- الإشعاع الشمسي الكلي (الشامل أو الجملي):

وهو مجموع الإشعاعين المباشر والمنتشر الساقطين على سطح ما مهما كان اتجاهه [3]. ويعطى في حالة الإشعاع الناطمي  $i=0$  بالعلاقة [4]:

$$G = (1270 - 56 T_L) (\sin h)^{\frac{TL+36}{33}} \quad (8-I)$$

حيث  $T_L$  معامل الاضطراب للغلاف الجوي وتعطى صيغته:

$$T_L = 2.5 + 16 \beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (9-I)$$

حيث  $\beta_A$  معامل انغيشتروم و  $\omega$  ارتفاع الماء المكثف وقيمهما تتغير حسب الحالة الجوية كما هو موضح بالجدول (1-I).

الجدول(1-I): قيم معامل الاضطراب وارتفاع الماء المكثف [4].

سواء صافية	سواء متوسطة	سواء مضطربة	
0.05	0.1	0.2	$\beta_A$
1 cm	2 cm	5 cm	$\omega$

عموما تتأثر كمية وشدة الإشعاع الشمسي لجميع الأنواع بعدة عوامل منها [5]:

- حالة السماء من حيث صفائها وتلبدها بالغيوم.
- الوقت خلال النهار والفصل خلال السنة.
- الارتفاع فوق سطح البحر.
- موقع الشمس في السماء وزاوية ميل الشمس.

### I-4-3- الثابت الشمسي:

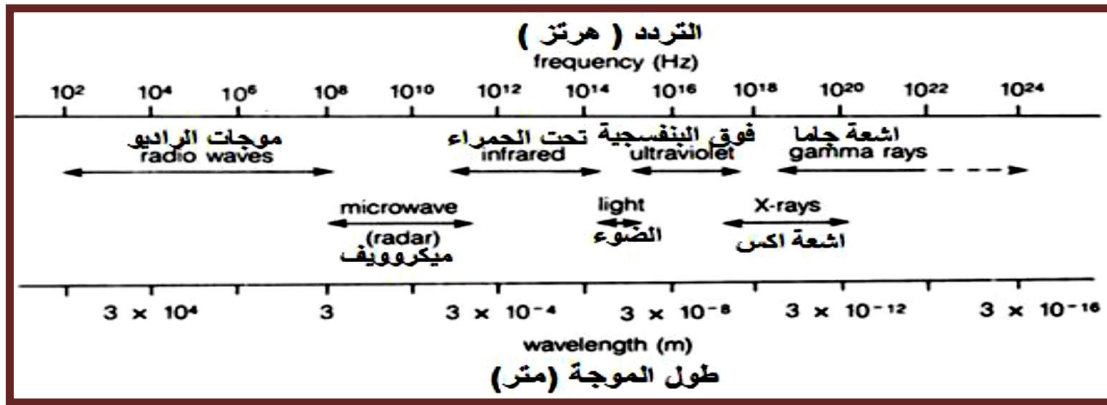
إن سطوع النجم هو الطاقة الكلية المشعة لكل ثانية بواسطة النجم، وسطوع الشمس يساوي تقريبا  $3,8 \times 10^{26} \text{ W}$ ، الأشعة القادمة من الشمس تشبه الأشعة المنبعثة بواسطة الجسم الأسود عند درجة حرارة 6000 K وكمية الأشعة القادمة من الشمس والواصلة إلى الغلاف الجوي للأرض تسمى الثابت الشمسي وتساوي تقريبا  $1370 \text{ W/m}^2$ ، ويتغير الثابت الشمسي مع الزمن لأن محور الأرض مائل كما أن الأرض تتحرك في مدار بيضاوي حول الشمس. والمسافة الفاصلة بين نقطة على سطح الأرض والشمس تتغير على مدار العام [6]. وخلال أيام السنة تعطى علاقة التصحيح للثابت الشمسي [4]:

$$I = I_0 \left[ 1 + 0.34 \cos \left[ (N_j - 2) \frac{360}{365} \right] \right] \quad (10-I)$$

حيث  $N_j$  يمثل رقم اليوم من السنة الشمسية ( $N_j=1,2,3,\dots,365$ ).

### I-4-4- طيف الإشعاع الشمسي:

يتكون الإشعاع الشمسي من طيف من موجات كهرومغناطيسية تقسم إلى نطاقات حسب أطوالها الموجية كما في الشكل (5-I) [7].



الشكل (5-I): أنواع الطيف الكهرومغناطيسي [5].

ومن هذا الطيف الكبير للموجات الكهرومغناطيسية نشعر فقط بالموجات في نطاق الأطوال من 0,1 إلى 100 ميكرون حيث تسبب هذه الموجات إحساسنا بالحرارة وبالتالي تسمى بالإشعاع الحراري. الجدير بالذكر إن نطاق الضوء المرئي يحتل جزءا يسيرا من طيف الإشعاع الحراري [7].

ويبين الجدول (2-I) التوزيع الطاقى لبعض نطاقات هذا الطيف القادم من الشمس.

الجدول (I-2): التوزيع الطاقى لطيف الإشعاع الشمسي الحراري [7].

40-0,75	0,75 - 0,40	0,40- 0	نطاق الأطوال الموجية (مكرون)
618	640	95	الطاقة التقريبية (W/m <sup>2</sup> )
%46	%47	%7	النسبة المئوية التقريبية من الطاقة الكلية

ويتضح من هذا الجدول إن الضوء المرئي يحتوي على حوالي نصف الطاقة الكلية للطيف الكهرومغناطيسي القادم من الشمس [7].

### I-5- الزوايا الشمسية:

إن شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض تابع لموقع سطح الأرض بالنسبة للشمس، فيكون من الضروري تحديد بعض الزوايا الهندسية التي توضح العلاقة بين سطح الأرض والشمس، وتستخدم في إجراء حسابات قيم الإشعاع ومجالات أنظمة الطاقة الشمسية، حيث يمكن وصف وضع الشمس عند أي موقع عن طريق الارتفاع الشمسي والسمت الشمسي كما يبينه الشكل (I-7) [5].

### I-5-1- خطوط الطول:

تعرف خطوط الطول بأنها [5]:

- ✓ أنصاف دوائر تبدأ من القطب الشمالي عند القطب الجنوبي وبشكل عمودي تحيط بالأرض.
- ✓ عددها 360 خط.
- ✓ خطوط وهمية.
- ✓ خط الطول الرئيسي هو خط جرينتش والذي درجة حرارته صفر يتوسط خطوط الطول.
- ✓ تمر على مناطق لها نفس التوقيت تماما.

### الأهمية:

لخطوط الطول أيضا فائدة كبيرة في [5]:

- ❖ تحديد موقع الأماكن شرق وغرب خط جرينتش.
- ❖ تحديد الزمان وفروق التوقيت في كل جهات العالم.
- ❖ نتيجة اختلاف الوقت من دولة إلى أخرى حول العالم فإن هذه الخطوط تساعد على تحديد الوقت بدقة.

**I-5-2-دوائر العرض  $\varphi$ :**

تعرف دوائر العرض بأنها [5]:

- ✓ دوائر وهمية أفقية تحيط بالكرة الأرضية وتصغر تدريجياً كلما ابتعدنا شمالاً أو جنوباً عن خط الاستواء.
- ✓ عددها 180 دائرة.
- ✓ الدائرة الأساسية هي الدائرة الاستوائية ودرجتها صفر وهي أطول دائرة.
- ✓ قسمت المناطق حسب حرارتها على أساس هذه الخطوط.

**الأهمية:**

تتميز كذلك دوائر العرض بـ [5]:

- ❖ تحديد المناطق شمال وجنوب خط الاستواء.
- ❖ تقسيم العالم إلى مناطق حرارية وتحديد أحوال المناخ (درجة الحرارة).
- ❖ تستخدم كل من خطوط الطول والعرض في تحديد موقع المكان وموضع الإنسان براً أو بحراً أو جواً.

**I-5-3- الزاوية الساعية  $W$ :**

نتيجة دوران الأرض حول نفسها فإن الإشعاع الشمسي يسمح دورة كاملة حول الأرض  $360^\circ$  خلال 24 ساعة وفق دائرة العرض أي  $15^\circ$  لكل ساعة، مع اعتبار الزوال هو المبدأ ( $W=0$ )، وتعطي عبارة زاوية الساعة الشمسية بالعلاقة [4]:

$$W = 15(TV_s - 12) \quad (11-I)$$

حيث:  $TV_s$  - يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي الذي يعتمد على الزوال الشمسي في المنطقة ( $W=0$ ) عند الساعة 12:00 زوالاً.

- وتكون  $W > 0$  مساءً بينما تكون  $W < 0$  صباحاً.

**I-5-4- انحراف الشمس  $\delta$ :**

يوضح الشكل (6-I) الزاوية التي يشكلها اتجاه الإشعاع الشمسي مع المستوي الاستوائي وتسمى الميل. تتغير على مدار العام بين  $-23.45^\circ$  و  $+23.45^\circ$  وتكون صفر عند الاعتدال (21 مارس و 21 سبتمبر)، كحد أقصى عند الانقلاب الصيفي (21 جوان) أما الحد الأدنى في الانقلاب الشتوي (21 ديسمبر). يمكن حساب قيمة الانحراف عن طريق العلاقة التالية [8]:

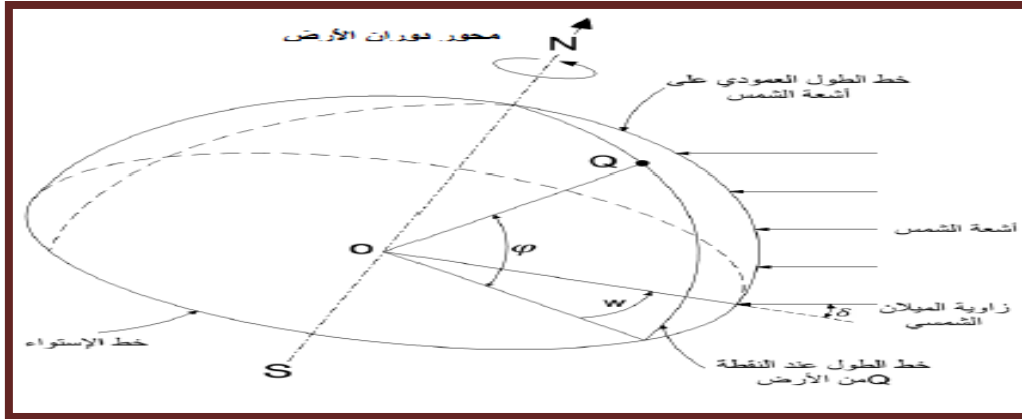
$$\delta = 23,45^\circ \sin[0,980^\circ (N_j + 284)] \quad (12-I)$$

حيث  $N_j$  هي عدد أيام السنة.

حيث نأخذ القيمة العظمى: (+23.45) في 21 جوان انقلاب صيفي.

(-23.45) في 21 ديسمبر انقلاب شتوي.

بينما تكون معدومة ( $\delta = 0$ ) في الاعتدالين الخريفي في 21 سبتمبر والربيعي في 21 مارس.



الشكل (6-I): زاوية الساعة الشمسية ودائرة العرض [4].

### 5-5-I- زاوية ارتفاع الشمس h:

هي الزاوية التي يتخذها اتجاه الشمس بإسقاطها على سطح أفقي كما يظهر في الشكل (7-I) [8]، وتعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$\sin h = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos w \quad (13-I)$$

### 6-5-I- زاوية السم $\alpha$ :

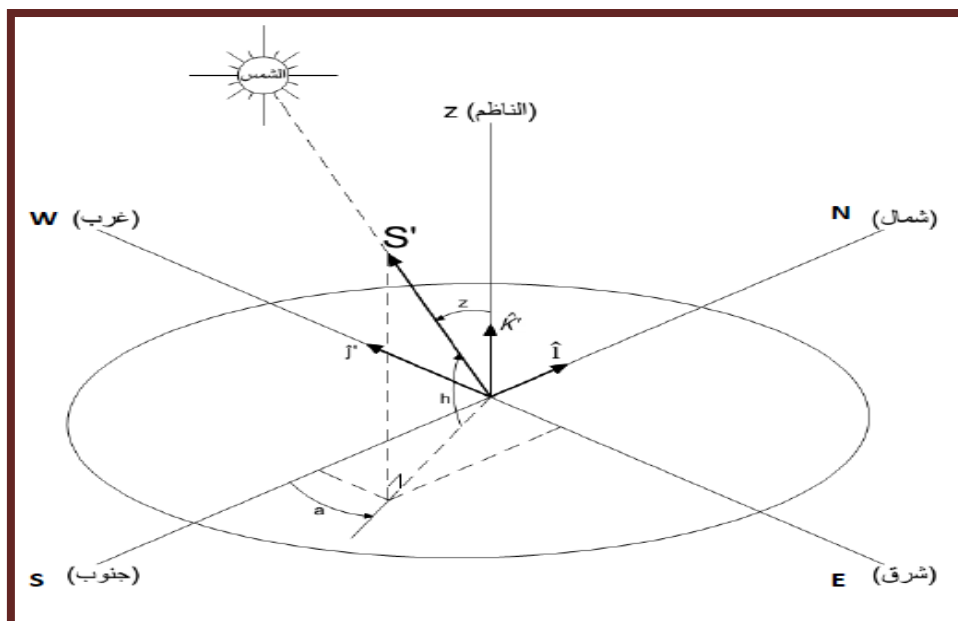
هي الزاوية التي اتجاهها اتجاه إسقاط الشمس على المستوى الأفقي مع اتجاه الجنوب، هذه الزاوية موجهة بشكل إيجابي باتجاه الغرب، وتعطى بالعلاقة [8]:

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta - \sin w}{\cos h} \quad (14-I)$$

حيث: h- زاوية ارتفاع الشمس.

w - الزاوية الساعية.

$\delta$ - زاوية الميل الشمسي.



الشكل (I-7): زاوية الارتفاع الشمسي والسمت (معلم سطح ارضي) [4].

### I-5-7- زاوية سمت الشمسي الأفقية $\psi_s$ :

هي الزاوية المقاسة في المستوي الأفقي بين الجنوب ومسقط أشعة الشمس، ويكون الاتجاه نحو الشرق الجنوبي سالبا، والاتجاه نحو الغرب الجنوبي موجبا أي أن  $(-180^\circ \leq \psi_s \leq +180^\circ)$  [5].

### I-5-8- زاوية سمت السطح $\psi_k$ :

تمثل الزاوية المقاسة في المستوي الأفقي بين مسقط المستقيم المتعامد مع السطح والجنوب، والاتجاه نحو الغرب يعد موجبا أي  $(-180^\circ \leq \psi_k \leq +180^\circ)$  [5].

### I-5-9- الوقت الشمسي:

هو الزمن المبني على الحركة الزاوية الظاهرية للشمس عبر السماء، ويعرف وقت الظهيرة بأنه الوقت الذي تكون فيه الشمس تعبر دائرة نصف النهار [5].

### I-5-10- الوقت القياسي:

الزمن المعطى بالساعة المحلية. الوقت الشمسي هو الزمن المستخدم لجميع علاقات الزوايا الشمسية وهذا لا يتطابق مع الوقت القياسي [5].

**I-6-1- مميزات و عيوب الطاقة الشمسية:****I-6-1-1 مميزات الطاقة الشمسية:**

للطاقة الشمسية ايجابيات أهمها [9]:

- ✓ طاقة هائلة من حيث مخزونها وكميتها، فبالنسبة لمخزونها الشمس منبع لا ينتهي من الطاقة. أما من حيث كميتها فإن ما يصل إلى الأرض من الأشعة الشمسية يعادل عدة أضعاف احتياج البشرية من الطاقة.
- ✓ مجانية.
- ✓ تتوزع على سطح الكرة الأرضية وتصل إلى الجميع، فلا حاجة لنقلها أو توزيعها.
- ✓ عملية من ناحية استخدامها، فهي قابلة للتحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والميكانيكية والكهربائية.
- ✓ لا مثل لها في بعض الاستخدامات الخاصة في ما يتعلق بالإنسان و النبات.
- ✓ تعد مصدر نظيف للطاقة من حيث تأثيرها على البيئة وغير خطرة الاستعمال.

**I-6-2- عيوب الطاقة الشمسية:**

من أهم سلبيات الطاقة الشمسية [9]:

- ☒ تعد الطاقة الشمسية قليلة الكثافة لوحدة السطح إذا ما قورنت بأنواع الطاقة التقليدية.
- ☒ عدم استمرارية الطاقة الشمسية خلال اليوم، حيث تتوفر فقط لساعات معينة في اليوم مما يسبب مشاكل عملية في استخدامها.
- ☒ إن نظام الطاقة الذي عاشه الإنسان خلال التطور الصناعي نتج عنه نظام حياتي معين، ونظام الطاقة الشمسية الجديد قد يتطلب تغييرا نوعيا في بعض أسس هذا النظام.

**I-7- تطبيقات الطاقة الشمسية:**

- **حرارة الدفيئة:** تصمم بيوت الدفيئة لتسمح بدخول أشعة الشمس والاحتفاظ بها، حيث تدخل الألواح الزجاجية أشعة الشمس التي تدفئ الدفيئة، لكنها لا تسمح بخروج الحرارة. تستخدم لتدفئة المباني وتستغل لتساعد في نمو النباتات.
- **الغرف المضاءة بالشمس:** من أبسط الطرق للاستفادة من الطاقة الشمسية السماح بدخول الضوء، حيث يقلل ضوء الشمس مقدار الإنارة الكهربائية اللازمة في الغرفة، يتيح اختيار مواقع النوافذ إدخال الضوء ومقدار محدود من الحرارة، لذا يشيع استخدامها في المناخات الدافئة.

- **تسخين الماء بالطاقة الشمسية:** توضع المجمعات الشمسية على سطوح المباني عادة، حيث تحصل على كثير من أشعة الشمس المباشرة، تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية وعندما ترتفع الحرارة تنقل إلى أنابيب تحمل الماء وتؤدي إلى خزان يحفظ فيه الماء الساخن ليستخدم لاحقاً.
  - **التدفئة بالطاقة الشمسية:** تستخدم المجمعات الشمسية أيضاً لتدفئة الهواء في المباني، بدلاً من الأنابيب التي تنقل الماء، تنقل الأنابيب في المجمع الهواء، يضخ الهواء في المجمع الشمسي من داخل المبنى، فيدفاً ثم ينشر بالمرآح كهواء دافئ.
  - **المواقد الشمسية:** وهي أفران تستخدم الطاقة الشمس لطهو الطعام، للمواقد الشمسية سطوح معدنية لماعة تركز الطاقة الشمسية [11].
  - **التبريد الشمسي:** يتحقق عندما يتم الجمع بين التظليل والتهوية [6].
  - **تجفيف المحاصيل:** يستخدم لتخليص المحاصيل من السوائل الموجودة فيها وذلك لمنعها من التلف وجعلها صالحة للتخزين لمدة أطول.
  - **تحلية المياه:** إن أكثر الطرق شيوعاً لتحلية المياه بالطاقة الشمسية هي طريقة المقطر الشمسي حيث يستخدم الطاقة الشمسية في تبخير المياه [3].
  - **الليزر الشمسي:** هناك تطبيقات أخرى يتم فيها استغلال الطاقة الشمسية لضخ الأوساط الفعالة وتوليد ليزرات حيث يتمتع الليزر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية بإمكانيات كبيرة مثل [11]:
    - ✓ إنتاج مواد النانو.
    - ✓ معالجة المواد.
    - ✓ دورة المغنيسيوم لإنتاج الهيدروجين.
    - ✓ اتصالات ليزر الفضاء الحر.
    - ✓ نقل الطاقة.
- خاصة عندما يتم تنفيذ هذه التطبيقات في مناطق مؤقتة أو متحركة أو نائية حيث لا تتوفر طاقة الشبكة أو لا يمكن استخدامها مثل [11]:
- ✓ الصحاري.
  - ✓ مناطق البرية
  - ✓ مناطق الكوارث الطبيعية (مثل الفيضانات، تسونامي، الزلازل).
  - ✓ القطب الشمالي أو القطب الجنوبي.
  - ✓ المحيطات أو في البحر.
  - ✓ في الهواء.
  - ✓ قواعد العمليات العسكرية المتقدمة.

## 8-I - خلاصة:

في هذا الفصل تطرقنا لمفاهيم عامة حول الطاقة الشمسية، حيث قدمنا فكرة عن الشمس والإشعاع الشمسي بأنواعه والزوايا الشمسية.

تمثل الشمس منذ القدم مصدر أساسي للطاقة على سطح الأرض، وقد تطور استعمالها عبر العصور بتطور العلوم والتكنولوجيا، فبعد أن استخدمها الإنسان للتدفئة والتجفيف، استغلها لتسخين الماء اعتماداً على مبدأ التحويل الإشعاعي الحراري باستعمال اللاقط الشمسي، ثم لإنتاج الطاقة الكهربائية بالاعتماد على مبدأ تحويل الإشعاعي الإلكتروني، وهذا ما يتطلب معرفة المفاهيم العامة حول الطاقة الشمسية، والمتمحورة حول الشمس والإشعاع الشمسي بأنواعه والزوايا الشمسية.

وبما أن أحد الاهتمامات الرئيسية للبحث العلمي في مجال الطاقات المتجددة اليوم هو استخدام الإشعاع الشمسي لإنتاج مصادر طاقة جديدة، فإن الليزر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية هو الأبرز، وهذا ما سيتمحور حوله عملنا في الفصل القادم.

## قائمة مراجع الفصل الأول

## ❖ المراجع العربية:

- [1] كاميليا يوسف محمد، "تكنولوجيا محطات المركبات الشمسية"، لجنة التعاون الألمانية المصرية للطاقات المتجددة، ص11-12، (2018).
- [2] صالح عبد الرحمان العذل، مجلة العلوم والتقنية - الرياض، ص4، (1996).
- [3] سعود يوسف عياش، "تكنولوجيا الطاقة البديلة"، عالم المعرفة، ص156-170، (1978).
- [4] سوداني محمد البار، "تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي"، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح- ورقلة، الجزائر (2018).
- [5] كاميليا يوسف محمد ، "الطاقة الكهروشمسية"، لجنة التعاون الألمانية المصرية للطاقات المتجددة، ص17-31، (2016).
- [6] جون ر. فانشي، "الطاقة التقنية والتوجهات الى المستقبل"، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، ص309-311، (2004).
- [7] محمد رأفت اسماعيل رمضان، "الطاقة المتجددة"، دار الشروق، ص33-35، (1986).
- [9] علي ناجي حمودي، "دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية"، مذكرة ماجستير، جامعة تشرين، سوريا (2009).
- [10] نيكي ووكر، "استغلال طاقة الشمس"، هيئة أبو ظبي للثقافة والتراث، ص10-13، (2010).

## ❖ المراجع الأجنبية:

- [8] Yves Jannot, Thermique Solaire, P 08-10, (2011).
- [11] Thomas Eubanks and others, Solar pumped lasers to directly convert sunlight to laser radiation, Leeward Space Foundation, (2014).

# الفصل الثاني

## الليزر الشمسي

**II-1- مقدمة:**

يتم التطور الصناعي باستخدام تقنيات حديثة ويمثل الليزر إحدى هذه التقنيات. حيث تتمتع حزم الليزر بخصائص منها: الشدة العالية، التشنت الضعيف والتجانس وهذا ما يجعلها تؤثر في المواد التي تتميز ذراتها باحتوائها على مستويات إثارة متعددة مما يفسح المجال لتوفر آفاق واسعة في استخدام الليزر [1].

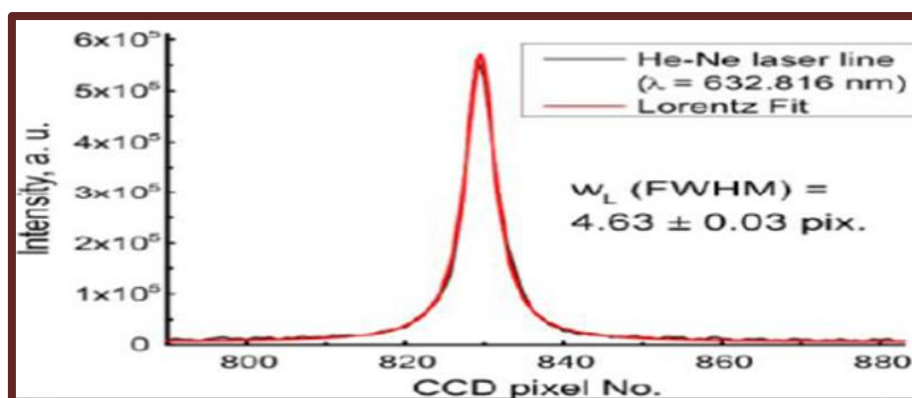
**II-2- تعريف الليزر:**

جاءت تسمية كلمة الليزر LASER من الأحرف الأولى لمبدأ عمل الليزر والمتمثل في الجملة التالية "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" وتعني تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع. وضع العالم ألبرت اينشتاين في 1917 الأساس النظري لعملية الانبعاث المحفز، ثم تم بعد ذلك تصميم أول جهاز ليزر في سنة 1960 بواسطة العالم "ميمان" باستخدام بلورة الياقوت، حيث يعرف بليزر الياقوت. ويعرف الليزر على أنه إصدار الضوء باستعمال عملية التضخيم الضوئي عن طريق الانبعاث المحفز للفوتونات [2].

**II-3- مميزات شعاع الليزر:**

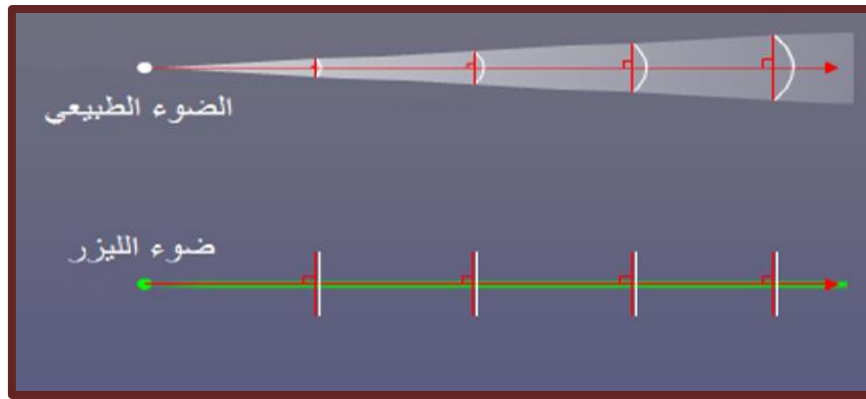
يتميز ضوء الليزر على بقية أنواع الضوء الصادر عن المصادر الطبيعية كالشمس والمصابيح الصناعية كالمصابيح الكهربائية بعدة خصائص مهمة، تؤهلها لاستخدامه في الكثير من التطبيقات ومن أهم هذه الخصائص [3]:

✓ **أحادي اللون:** حيث يتكون من حزمة من الترددات الضوئية الضيقة، أي يظهر ضوء الليزر تقريبا بلون واحد (تقريبا أحادي الطول الموجي) كما يظهر في الشكل (II-1).



الشكل (II-1): طيف ليزر الهيليوم نيون [2].

✓ **الاتجاهية:** وهي سمة من سمات ضوء الليزر، وتعني أن زاوية انفرج أشعة الليزر صغيرة جداً، وهذا ما يسمح له بالانتقال في اتجاه واحد ضمن نطاق ضيق من دون تشتت للطاقة وتغير في الاتجاه كما يوضحه الشكل (II-2).



الشكل(II-2): الفرق بين الضوء العادي وضوء الليزر [2].

- ✓ **الترابط:** يبرز هذا الترابط عند حدوث الانبعاث المحفز الذي يعد عامل أساسي في تضخيم الضوء، ويعني أن الفرق بين أي نقطتين على موجة شعاع الليزر يكون ثابت عند حركة الشعاع زمنيا ومكانيا.
- ✓ **السطوع:** شدة الشعاع عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز الواحد ميليمتر، وبما أن جميع الطاقة الضوئية التي يطلقها الليزر تتمركز في هذا المقطع العرضي الصغير ستظهر بشكل إضاءة أو إشعاع شديد.

## II-4- المكونات الأساسية لمنظومة الليزر:

تحتوي كل منظومة ليزر على عدة عناصر أساسية كما يوضح الشكل (II-3) منها [4]:

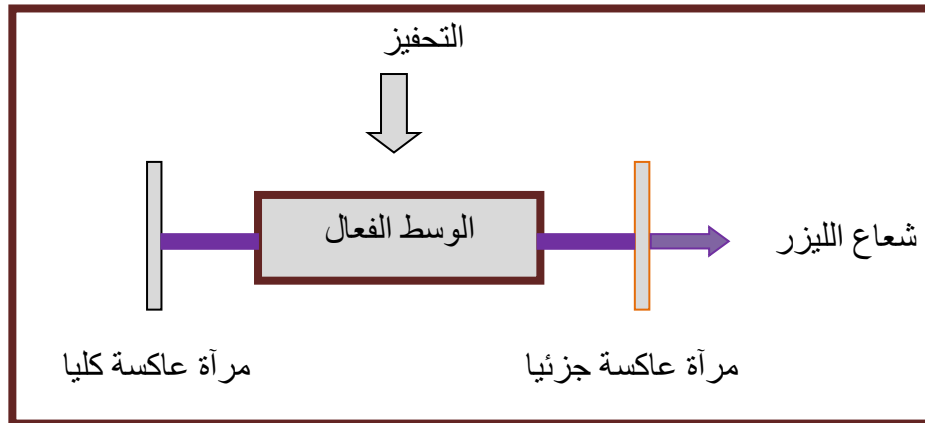
**II-4-1- المرنان:** هو منظومة مكونة من مرآتين على محور بصري مشترك مع الوسط الفعال حيث تنتقل الفوتونات المولدة بين مرآتين ذهابا وإيابا من أجل تضخيمها، تكون إحدى المرآتين ذات انعكاسية تامة الخلفية والمرآة الأخرى تكون ذات انعكاسية جزئية.

**II-4-2- الوسط الفعال:** هو المادة التي تستخدم لتوليد الفوتونات وتكون على ثلاثة حالات: صلبة، غازية وسائلة.

- المادة الصلبة: هو وسط بلوري مثل الياقوت الصناعي Rupy و Nd:YAG وعقيق الألمنيوم، أو وسط زجاجي.
- المادة السائلة: هي محاليل للأتربة النادرة بحيث يكون هذا المحلول عبارة عن مركب معدني عضوي يكون فيه الأيون المعدني محاط بذرات الأكسجين مثل  $Nd_2O_3$ ....
- المادة الغازية: مثل خليط غاز الهيليوم النيون He-Ne وغاز أول أكسيد الكربون CO وغاز الهيليوم الكاديوم He-cd.
- ليزر أشباه الموصلات: تتكون المادة الفعالة من عناصر العمود الرابع من الجدول الدوري وتطعم بعنصر من العمود الخامس، مثل الأرسنيك الجاليوم As-Ga.

**II-3-4-3- الضخ (التحفيز):** هو إرسال الطاقة من مصدرها إلى الوسط الفعال قصد تحفيز ذراته وهو عدة أنواع أهمها [2]:

- **الضخ الضوئي:** هو تسليط الضوء على المادة الفعالة لنقل ذراتها إلى سوية أعلى وهذه التقنية مناسبة في ليزرات الحالة الصلبة.
- **الضخ الكيميائي:** يتم عن طريق التفاعلات الكيميائية للمادة الفعالة مع مواد أخرى.
- **الضخ الكهربائي:** تستخدم الطاقة الكهربائية لإثارة ذرات الوسط الفعال.



الشكل (II-3): منظومة الليزر [4].

قبل التطرق إلى شروط الانبعاث الليزري وكذا الأنظمة الليزرية لتتعرف أولاً على آليات تفاعل المادة مع الإشعاع.

## II-5- آليات تفاعل إشعاع - مادة:

تكون المادة الفعالة في حالة اتزان حراري مستقر، أي أن جميع الإلكترونات تكون في المستوى الأساسي عند ورود إشعاع كهرومغناطيسي عليها بالتردد المناسب  $\nu$ ، يحدث تحفيز للإلكترونات، تتفاعل المادة مع هذا الإشعاع في ثلاث آليات الامتصاص والانبعاث التلقائي والمحفز [5].

الاتزان الحراري تعطينا فكرة عن حدوث انتقال بين مستويات الطاقة وذلك عند حدوث توازن حراري يربط توزيع  $N_1$  و  $N_2$  بعلاقة بولتزمان التي تعطى كما يلي [4]:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{\frac{-h\nu}{kt}} \quad (1-II)$$

حيث: -  $N_1$ : عدد الذرات في المستوى الأدنى.

-  $N_2$ : عدد الذرات في المستوى الأعلى.

-  $g_i$ : انحلال المستوى  $i$ .

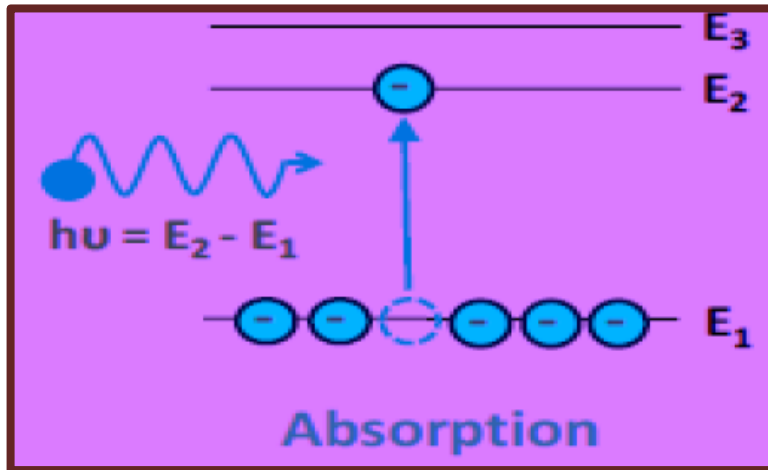
-  $h$ : ثابت بلانك  $6.63 \cdot 10^{-34}$  [j.s].

-  $\nu$ : تردد الفوتونات Hz.

-  $k$ : ثابت بولتزمان  $1.38 \cdot 10^{-23}$  [j/k].

-  $T$ : درجة الحرارة K.

الامتصاص: يعتمد على انتقال ذرات المادة من مستوى طاقي  $E_1$  بعد اكتسابها لطاقة  $E$  من الوسط الخارجي (محيط) إلى مستوى طاقة أعلى  $E_2$  شرط أن يكون  $E = E_2 - E_1$  [3].



الشكل (II-4): آلية حدوث الامتصاص [3].

تعرف نسبة الانتقال من المستوى الأدنى إلى المستوى الأعلى بالمعادلة التالية [4]:

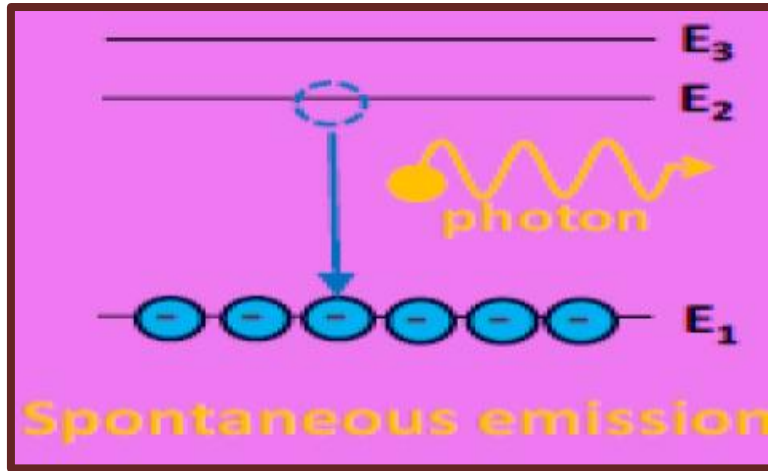
$$\frac{dN_1}{dt} = -B_{21}\rho(\nu)N_1 = -W_{12}N_1 \quad (2-II)$$

حيث:  $w_{12}$  : احتمال الاثارة لوحدة الزمن.

-  $B_{21}$ : معامل انشعاع لعملية الامتصاص وحدته  $m^3 \cdot s^{-2} \cdot j^{-1}$ .

-  $\rho(\nu)$ : كثافة طاقة الاشعاع الوارد ووحدتها  $j \cdot s \cdot m^{-3}$ .

الانبعاث التلقائي: هو عملية فقدان الطاقة من المادة بشكل تلقائي وبدون تأثير خارجي ويكون على شكل ضوء. بحيث تعود الالكترونات لوضع الاستقرار تلقائي وتعطي فوتون بطاقة الممتصة سابقا [3].



الشكل(II-5): آلية حدوث الانبعاث التلقائي [3].

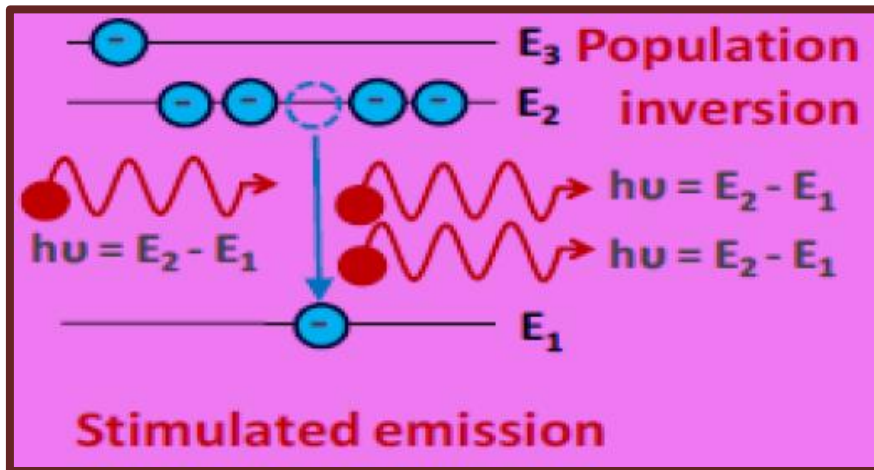
تعرف نسبة الانتقال من المستوي الاعلى الى المستوي الادنى بالمعادلة التالية [4]:

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 = \frac{1}{\tau_{rad}} N_1 \quad (3-II)$$

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

$\tau_{rad}$  - زمن مكوث او عمر الطبقة وحدته  $[s]$ ، وعبارته هي  $\tau_{rad} = \frac{1}{A_{21}}$ .

الانبعاث المحفز: عندما تكون المادة مثارة أي ان الالكترونات تكون في المستوي المثار  $E_2$  ويمر بها فوتون ذو طاقة  $h\nu = E_2 - E_1$  يحفزها على النزول للمستوي الاساسي  $E_1$  قبل الانتهاء زمن مكوثها في تلك الطبقة محررا فوتون يمتلك نفس الطاقة  $h\nu$  وبفلس الخصائص الموجية [3].



الشكل(II-6): آلية حدوث الانبعاث المحفز [3].

تعطى نسبة الانتقال من المستوي الاعلى الى المستوي الادنى بالمعادلة التالية [4]:

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

حيث:  $W_{21}$  - احتمال الاصدار المحثوث لوحدة الزمن.

$B_{21}$  - معامل انشئتين للإنبعاث المحفز ووحدته  $m^3 \cdot s^{-1} \cdot j^{-1}$ .

- نسبة معاملات اينشتاين: تعطينا هذه النسبة فكرة جيدة عن احتمالية حدوث الامتصاص او الانبعاث التلقائي او الانبعاث المحفز المعطى بالمعادلة [6]:

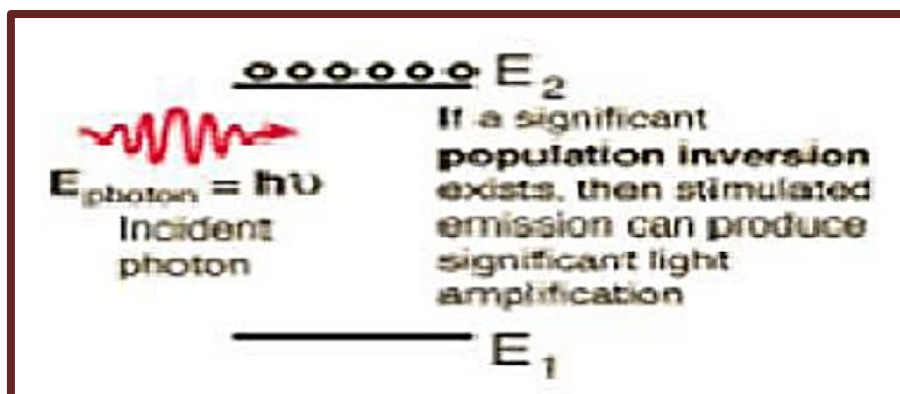
$$\frac{A}{B} = \frac{8h\pi V^3 n^3}{c_0^3} \quad (5-II)$$

حيث:  $n$  - قرينة انكسار الوسط الفعال.

$C_0$  - سرعة الضوء في الفراغ ووحدته  $3 \cdot 10^8 \left[ \frac{m}{s} \right]$ .

## 6-II- شروط الانبعاث الليزري:

- **الانبعاث المحفز:** معظم الذرات في الظروف الطبيعية تكون الكتروناتها في مستوى طاقة منخفض، حيث تكون مستقرة، ولكن يمكن أن يكون بعضها في حالة إثارة، أي أن الكتروناتها تكون في مستوى طاقة أعلى. يمكن أن تعود هذه الالكترونات إلى مستوى طاقة منخفض محررة طاقة على شكل فوتونات، حيث يمكن أن يكون هذا الرجوع محفزا بواسطة فوتون فيحصل تضخيم للأضواء [7].
- **تضخيم الأضواء:** يمكن الانبعاث المحفز من تضخيم الأضواء حيث يسمح تحفيز الالكترونات المثارة من انبعاث مضاعف للفوتونات المحفزة والفوتونات الناتجة عن رجوع الالكترونات المثارة إلى حالة الاستقرار (مستوى طاقة أدنى) [7].
- **التعداد السكاني المعكوس:** يمكن للفوتونات المسلطة على المادة أن تثير الالكترونات، فتنتقلها من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى طاقة أعلى (امتصاص)، كما يمكن أن تحفز الالكترونات المثارة فتنتقلها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى (انبعاث محفز)، وحتى نضمن أن يكون الانبعاث المحفز هو الغالب (تضخيم للأضواء) يجب أن يكون عدد الالكترونات المثارة أكبر من عدد الالكترونات في مستوى الطاقة الأدنى، وهو ما يسمى بالانقلاب السكاني أو التعداد السكاني المعكوس كما هو موضح في الشكل (7-II) [7].

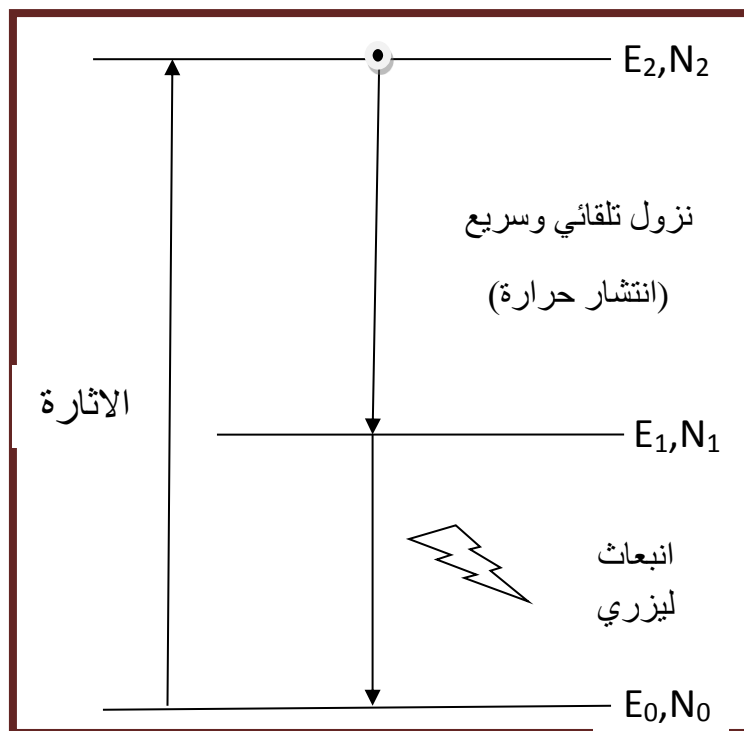


الشكل (7-II): التعداد السكاني المعكوس [3].

## 7-II- الأنظمة الليزرية:

## 1-7-II- منظومة ثلاثية المستوى:

يعتمد توليد الليزر في المنظومة ثلاثية المستوى على انتقال ذرات الوسط الفعال بين ثلاث مستويات للطاقة كما يبينه الشكل (8-II)، المستوى الأرضي الذي يمثل المستوى الليزري السفلي  $E_0$  والمستوي المثار  $E_2$  والمستوي شبه المستقر الذي يمثل المستوى الليزري العلوي  $E_1$  (مدة حياة المستوى  $E_1$  تكون أكبر من مدة حياة المستوى  $E_2$ ). فعندما تكون معظم الذرات موجودة في المستوى المستقر، يعني ذلك أن الوسط الفعال في حالة استقرار، أما عند إثارته بواسطة إحدى طرق الإثارة المناسبة فإن هذه الذرات تنتقل إلى المستوى المثار لتنتقل بشكل تلقائي وسريع جدا إلى المستوى شبه المستقر محررة طاقة على شكل حرارة، ثم بعد ذلك تعود إلى المستوى الأرضي محررة طاقة على شكل انبعاث ليزري، ولضمان توليد الليزر ينبغي أن تكون طاقة الإثارة كافية لتحقيق الانقلاب السكاني [6].

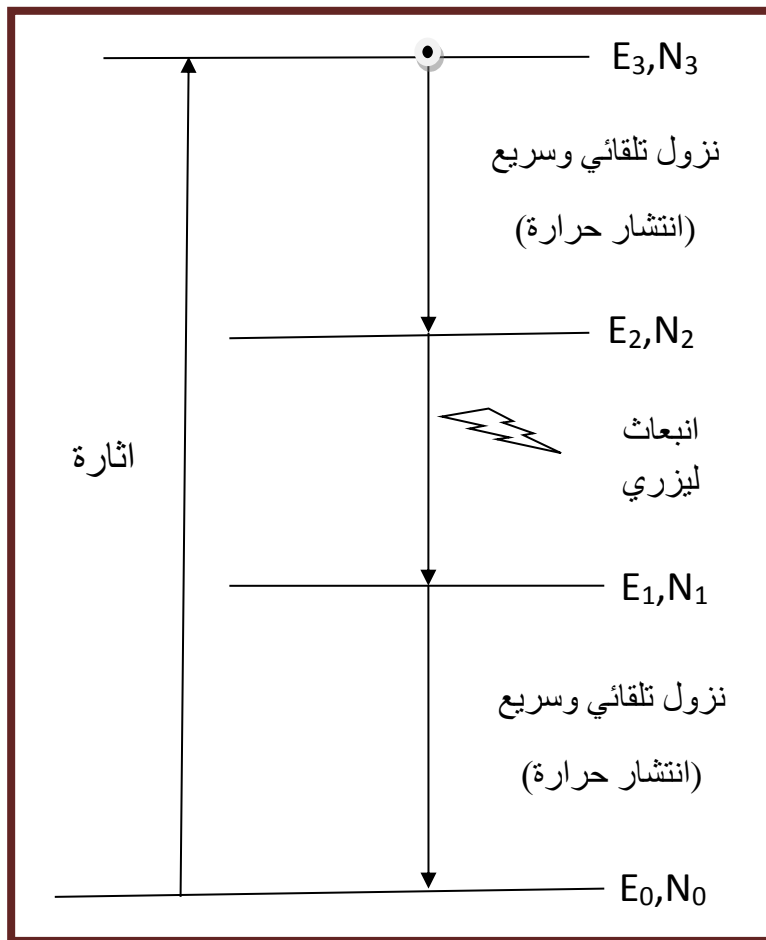


الشكل (8-II): نظام ذو ثلاث مستويات طاوية [6].

## 2-7-II- منظومة رباعية المستوى:

تتميز المنظومة رباعية المستوى بسهولة الحصول على الانقلاب السكاني باستعمال طاقة ضخ ضعيفة، مقارنة بالمنظومة ثلاثية المستوى، ويعود سبب ذلك إلى وجود مستوى إضافي  $E_1$ ، الذي يكون فارغا في اغلب الأحيان، ويقع فوق المستوى الأرضي  $E_0$  مباشرة، ويمثل المستوى الليزري السفلي. عند إثارة المادة الفعالة تنتقل الذرات إلى مستوى الطاقة  $E_3$  وسرعان ما تنزل هذه الذرات تلقائيا إلى المستوى  $E_2$  محررة طاقة على شكل حرارة (مدة حياة المستوى  $E_2$  تكون أكبر من مدة حياة المستوى  $E_1$ )، قصر مدة حياة المستوى  $E_1$  يترتب عنه التفريغ السريع لهذا المستوى في المستوى الأرضي  $E_0$  مباشرة، مما يؤدي إلى تجمع الإلكترونات في المستوى  $E_2$  على حساب المستوى  $E_1$  مما يحقق الانقلاب السكاني بين هذين

المستويين أي  $E_1$  و  $E_2$  كما يوضح الشكل (9-II). عند انتقال الذرات الموجودة في المستوى  $E_2$  إلى المستوى  $E_1$  تنبعث فوتونات الليزر [6].



الشكل (9-II): نظام ذو أربعة مستويات طاقوية [6].

## 8-II- تركيز وتوجيه الأشعة الشمسية:

يتم الحصول على الليزر الشمسي بضخ (تحفيز) الوسط الفعال بواسطة الطاقة الشمسية المركزة حيث يوجد تطبيقات يمكن أن تستغل الإشعاع الشمسي كما يصل إلى الأرض (الألواح الشمسية) بينما يوجد تطبيقات أخرى تتطلب مستوى طاقي عالي، لذا يجب تجميع وتركيز الإشعاع الشمسي للوصول إلى حد معين يمكن من استغلاله عمليا.

### 1-8-II- المجمعات الشمسية:

يتطلب الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية ضرورة تحويلها من موجات كهرومغناطيسية إلى أحد أشكال الطاقة الشائعة الاستعمال وهي الطاقة الحرارية، الكهربائية...، ومن أجل تحقيق هذا الغرض يتطلب الأمر استعمال المجمعات الشمسية ذلك أن مهمتها هي التقاط الطاقة الشمسية الساقطة على سطحها وتحويلها إلى شكل آخر من الطاقة الكهربائية، الحرارية... الخ [8].

**II-8-2- أنواع المجمعات الشمسية:**

الأنواع الرئيسية للمجمعات الشمسية هي:

- **المجمعات الشمسية الحرارية:**

وهي التي تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية من خلال خصائص الأجسام المادية المتعلقة بالقدرة على امتصاص الأشعة الشمسية، وتعرف أيضا باللاقطات الشمسية [8].

- **المجمعات الشمسية الكهربائية (الخلايا الفوتوفولطية):**

وهي الأجسام التي تقوم بتحويل طاقة الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية بشكل مباشر دون الدخول في عمليات التحويل [8].

**II-8-3- المركزات الشمسية:**

تستخدم أنظمة محطات المركزات الشمسية تركيبة من المرايا أو العدسات لتركيز حزم الأشعة الشمسية المباشرة بغرض إنتاج أشكال من الطاقة المفيدة مثل الحرارة أو الكهرباء.... وذلك باستخدام تكنولوجيات مختلفة [9].

**II-8-4- أنواع المركزات الشمسية:**

تصنف تكنولوجيا مجمعات المركزات الشمسية إلى:

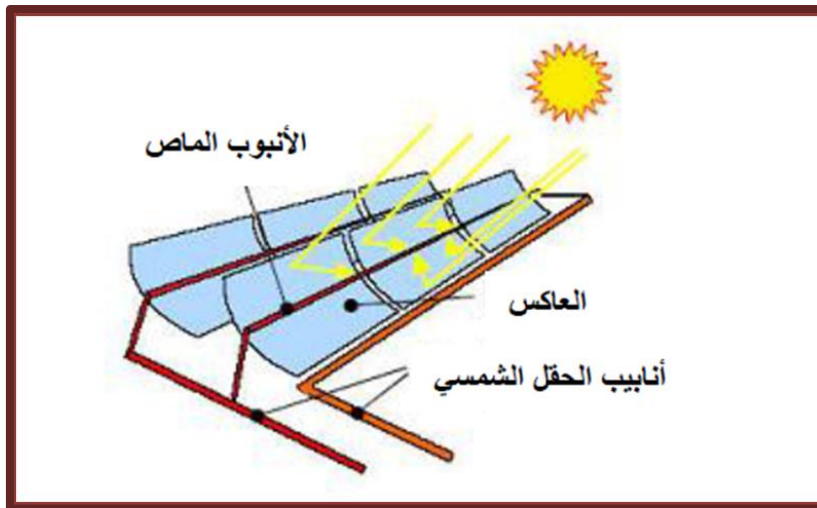
**II-8-4-1- التركيز الخطي:**

وتعني أنها تركز الإشعاع في خط وتتبع الشمس بمحور واحد، هذا النوع هو مجمعات أحواض القطع المكافئ ومجمع فرينل الخطي [9].

- **نظام محطة أحواض القطع المكافئ:**

البنية الأساسية لهذا النوع من المحطات الموضحة في الشكل (II-10) عبارة عن صفوف طويلة موضوعة في محور الشمال والجنوب، هذه الصفوف تتعقب الشمس من الشرق إلى الغرب [9].

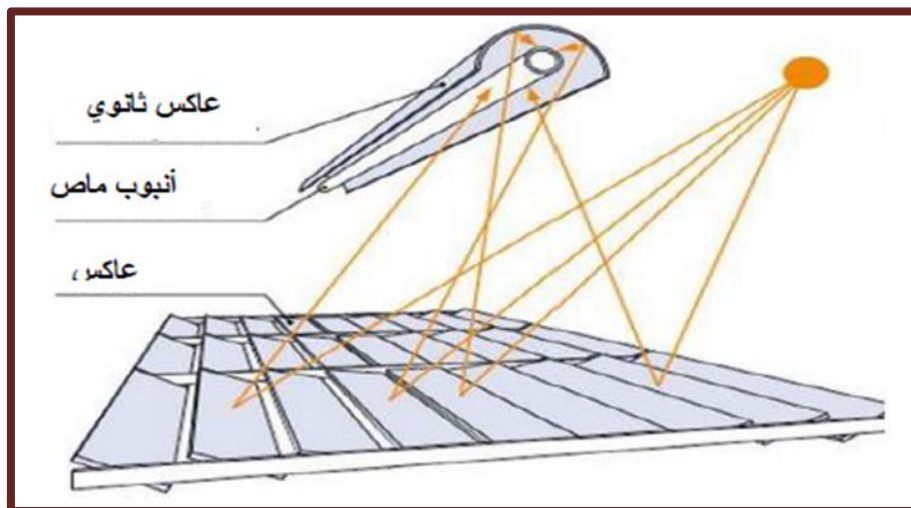
وتتكون مجمعات أحواض القطع المكافئ من مجمعات شمسية (مرايا)، مستقبلات حرارة و هيكل معدني للتثبيت، الغرض من المرايا المصنعة على شكل قطع مكافئ هو تركيز الأشعة المستقبلة من ضوء الشمس إلى أنبوب استقبال مركزي عند خط محور المجمع و يمكن ان يستقبل الأشعة الشمسية التي تصل درجة حرارتها  $400^{\circ}\text{C}$  [9].



الشكل(II-10): المجمع الشمسي الاسطواني القطع المكافئ (PTC) [10].

• أنظمة عاكسات فرسند الخطية:

تتصف هذه الأنظمة بأنها تكنولوجيا أبسط كثيرا من أنظمة أحواض القطع المكافئ، حيث يتكون النظام من مرايا صغيرة طويلة توضع على مستوى واحد و يمكنها أن تدور تبعا لمسار الشمس كما يظهر في الشكل(II-11) وذلك لإعادة توجيه وتركيز مستمر لأشعتها إلى أنبوب المستقبل الخطي الثابت، حيث تتراوح متوسط درجة حرارة التشغيل للنظام بين  $400^{\circ}\text{C}$  و  $500^{\circ}\text{C}$  وهي أعلى من درجة حرارة تشغيل أنظمة أحواض القطع المكافئ [9].



الشكل(II-11): عاكس فريندل الخطي (LFR) [10].

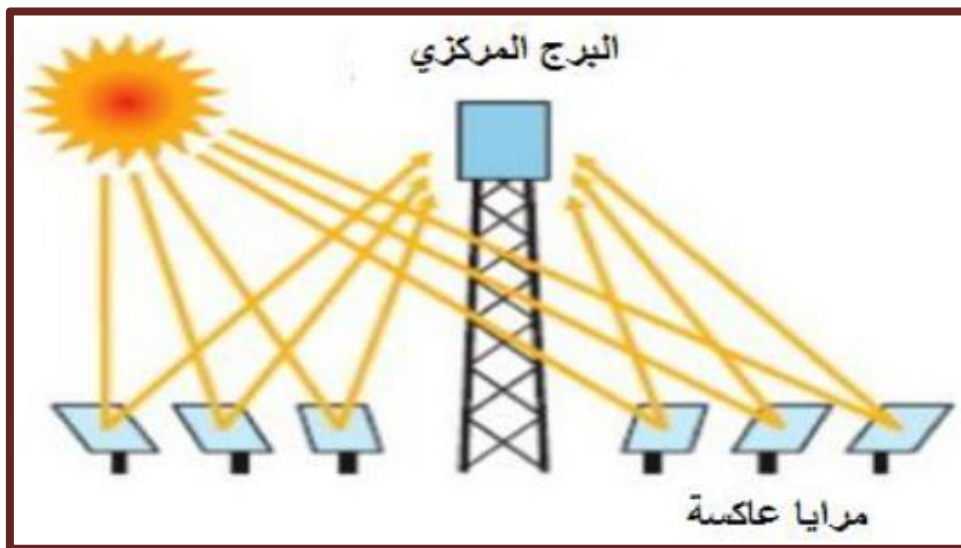
II-8-4-2- التركيز النقطي:

والتي تعني أنها تركز أشعة الشمس في نقطة وتتبع الشمس على محورين. نجد في هذا النوع من المركبات الأبراج الشمسية، عدسات فريندل وأطباق القطع المكافئ.

• الأبراج الشمسية:

تعتبر الأبراج الشمسية جزء من أنظمة المستقبلات الثابتة، ولها في هذا المجال أكبر الفوائد لأن لها القدرة على إنتاج بخار مشبع بدرجة حرارة من  $700^{\circ}\text{C}$  وحتى  $1000^{\circ}\text{C}$ ، تعمل درجات الحرارة العالية على الحصول على كفاءات أعلى مع تربيينات البخار و بالتالي كفاءة كلية عالية مرجع [9].

تعمل أبراج الحرارة الشمسية بألاف المرايا والتي تعرف بالهليوستات (أدوات ذات مرآة تعكس الشمس في اتجاه واحد). هذه الهليوستات تعمل لحظيا كعاكسات مسطحة كما يبين الشكل (12-II) والتي تكون مركبة على نظام محور مزدوج وتعكس الإشعاع الشمسي على نقطة واحدة في البرج العالي [9].



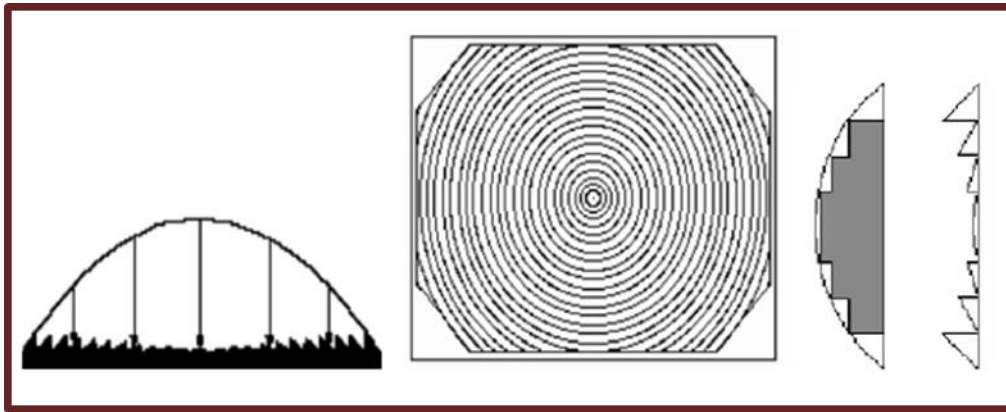
الشكل(12-II): البرج المركزي الشمسي (CRS) [10].

• عدسة فريزل (FC):

عدسات فريزل هي عدسات محدبة السطح أو المقعرة، مقطعة إلى دوائر أو أقراص رقيقة مسطحة، إذا كانت هذه الدرجات رقيقة يصبح سطح العدسة مخروطي وليس كروي [11]. والشكل (13-II) يوضح رسم تخطيطي لعدسة فريزل.

إن استعمال عدسة فريزل كمركز شمسي راجع للمزايا التالية [12]:

- ✓ عدسة فريزل يمكن أن تصمم بأحجام كبيرة ووزن خفيف وبسبك اقل من 4 مم وهكذا تكون تكلفتها منخفضة.
- ✓ ضوءها الخفيف يسمح باستخدام عدسات بقطر أكبر والتي تجمع كمية أكبر من الضوء من المصدر
- ✓ يمكن أن يصحح تصميمها الانحراف الكروي ويسمح بإنارة متماثلة.

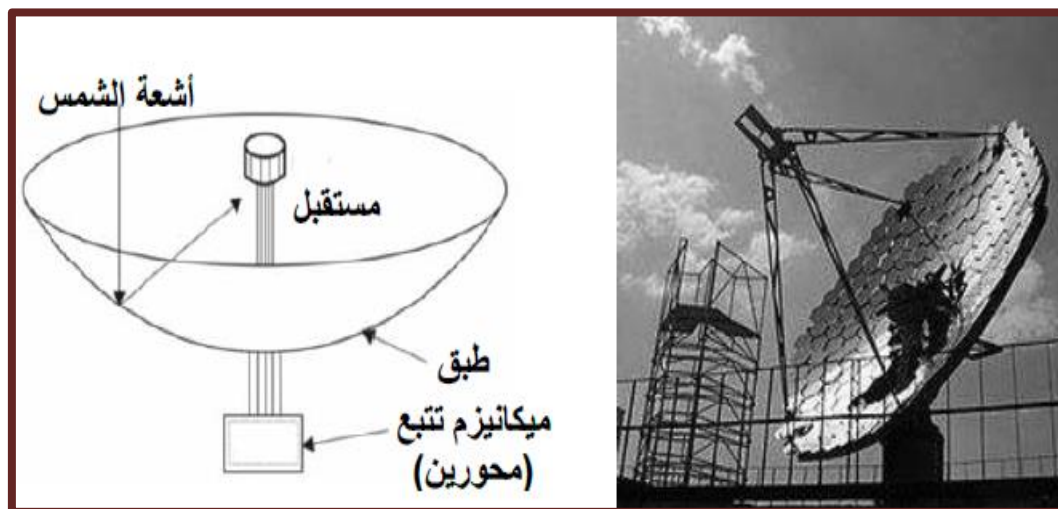


الشكل (II-13): رسم تخطيطي لعدسة فرينل [11].

• المركز الشمسي ذو القطع المكافئ:

يكون المجمع على شكل طبق قطع مكافئ كما يظهر في الشكل (II-14)، ينعكس الإشعاع على مستقبل موضوع في نقطة المركز (بؤرة الطبق)، يجهز الطبق بنظام تتبع شمسي على محورين للتأكد من الحصول على أفضل إشعاع للمرايا، دائما يوجه الطبق جهة الشمس، وله نسبة تركيز ممكن أن تصل إلى 2000 [9].

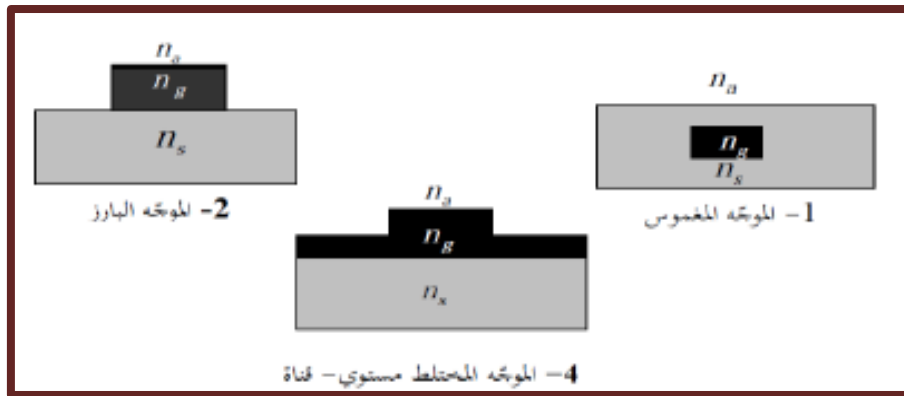
يمكن أن تصل درجة الحرارة عند العاكس حتى  $750^{\circ}\text{C}$  بعض الأنواع تصل إلى  $1500^{\circ}\text{C}$  وضغط 150 bar، يتم تحويل الحرارة الى كهرباء عن طريق مولد ستيرلنج أو مولد صغير آخر [9].



الشكل (II-14): الطبق ذو القطع المكافئ [9].

II-8-5- الموجهات الضوئية:

هي وسط ناقل للأشعة الضوئية تتميز بقرينة إنكسار  $n_g$  أكبر من قرينة إنكسار الوسط  $n_s$  الذي يحيط بها وهناك عدة أنواع منها الألياف بصرية وتسمى كذلك بالألياف الضوئية ويوجد نوع ثاني من الموجهات الضوئية يمكن أن يأخذ أشكال مختلفة كما يوضحه الشكل (II-15) [13].



الشكل(II-15): أنواع قنوات الموجة الضوئي [13].

حيث  $n_s$ ،  $n_g$ ،  $n_a$  تمثل على التوالي قرينة انكسار كل من: الطبقة العليا، الطبقة الموجهة والشريحة.

## II-6-8- الألياف البصرية:

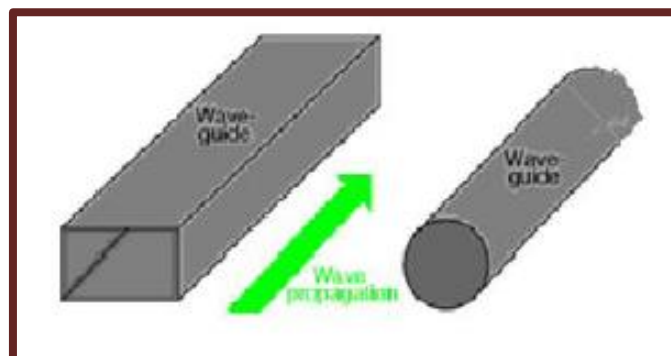
وهي عبارة عن شعيرات من مادة الزجاج المغطى بعازل تنقل الإشارة الضوئية من نقطة لأخرى والشكل (II-16) يظهر ليف بصري [4].



الشكل(II-16): الليف البصري [4].

## II-7-8- الدليل الضوئي:

هي أنظمة عازلة كهربائياً (عادة من مادة الزجاج) تستعمل لحبس وتحديد (توجيه) مسار الموجة الضوئية، لها عدة أشكال ومنها: الموجات المستوية وثلاثية الأبعاد (القناة) [14]. كما هو موضح في الشكل (II-17).



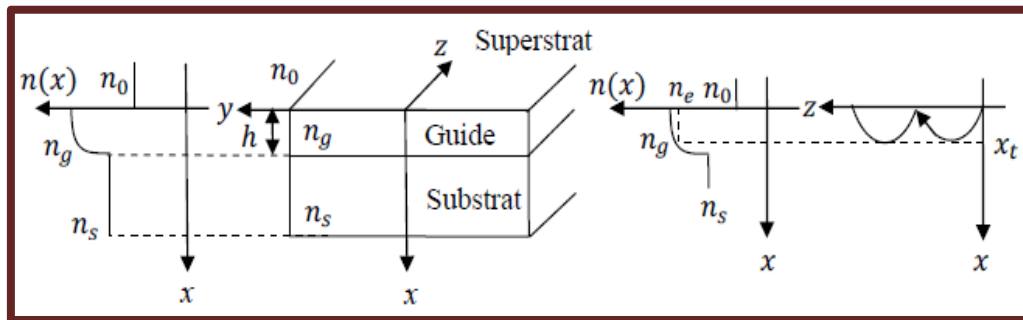
الشكل(II-17): الدليل الضوئي [14].

## 8-8-II- أنواع الدليل الضوئي:

تنقسم لنوعين بحسب قرينة انكسارها الى [13]:

- دليل ضوئي ذو قرينة انكسار متغيرة:

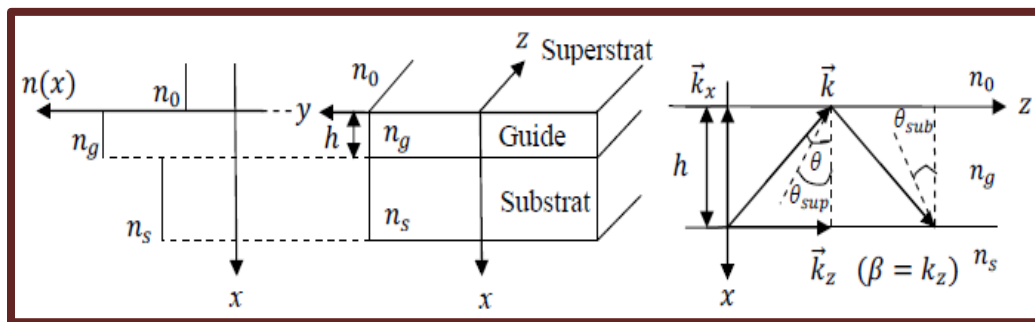
تكون قرينة انكساره متغيرة بالنسبة للاتجاه العرضي للانتشار وهذا راجع لتغير خواصه من نقطة لأخرى. ويظهر الشكل (18-II) دليل ضوئي لقرينة انكسار متغيرة.



الشكل(18-II): الدليل الضوئي لقرينة انكسار متغيرة [15].

- دليل ضوئي ذو قرينة انكسار ثابتة:

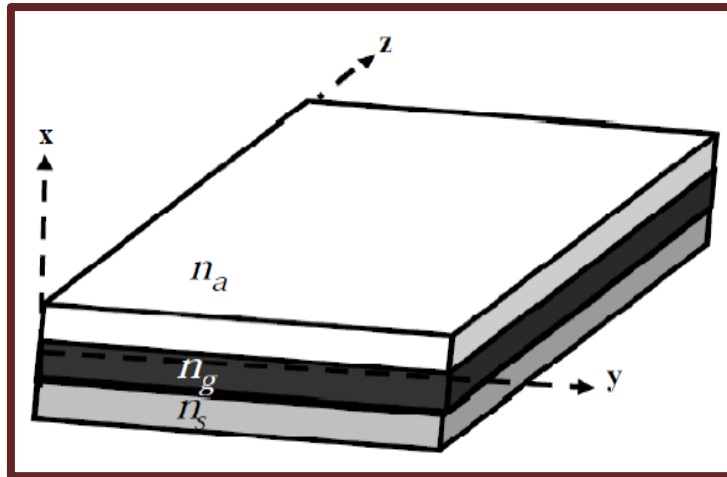
حيث لا تتغير قرينة انكساره بالنسبة للاتجاه العرضي للانتشار الموجة الضوئية كما يظهره الشكل (19-II).



الشكل(19-II): الدليل الضوئي لقرينة انكسار ثابتة [15].

## 9-8-II- مبدأ عمل الدليل الضوئي:

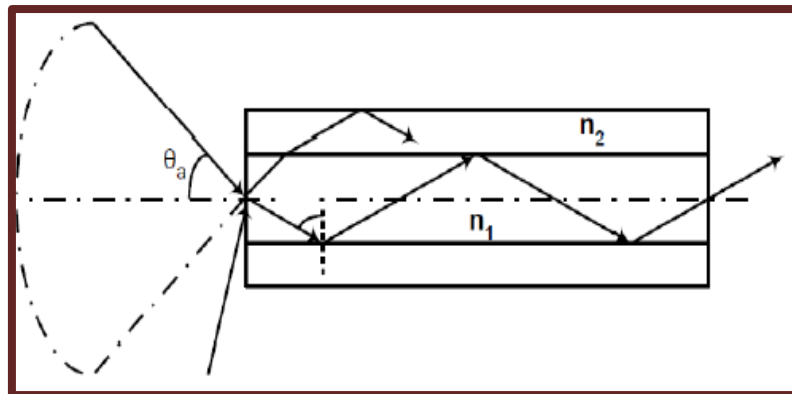
يعتمد الدليل الضوئي في نقله للأضواء على مبدأ الانعكاس الكلي الداخلي لهذه الأخيرة داخل المادة الناقلة. حيث يكون للموجة المستوي العازل بنية هندسية تسمح باحتباس الضوء داخله في اتجاه واحد وطبقته الموجهة محجوزة بين عازلين [13].



الشكل (II-20): الموجه الضوئي المستوي العازل المدمج [13].

يخضع انتشار الضوء داخل الموجه الى مبدأ الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل بين الوسطين (الموجه  $n_g$  والطبقة العليا  $n_a$  والشريحة  $n_s$ ) باتباعه مسار منكسر وحسب شرط التوجيه للضوء داخل الموجه الضوئي كما يلي [4].

$$n_g > n_s \geq n_a$$



الشكل (II-21): مبدأ الانعكاس الكلي للضوء داخل الموجه [4].

ولكي ينتشر الشعاع داخل الدليل الضوئي يجب ان يحقق شرط قبول وهي أكبر زاوية يصنعها الشعاع مع المحور البصري والتي تسمح بدخوله للدليل الموجي كما يوضح الشكل (II-21). وتعطى علاقة زاوية القبول بالمعادلة التالية [13]:

$$\theta_a = \sin^{-1}(\sqrt{n_a^2 - n_s^2}) \quad (6-II)$$

حيث:  $n_a$  - قرينة انكسار الطبقة العليا.

$n_s$  - قرينة انكسار الطبقة الشريحة.

## II-9-9- الليزر الشمسي:

## II-9-1- لمحة تاريخية:

- في عام 1966 تم الإعلان عن أول ليزر Nd: YAG يتم ضخه بواسطة الطاقة الشمسية من قبل Young [16]، ومنذ ذلك الحين استغل الباحثون المرايا المكافئة وأنظمة عدسات فريزل للحصول على ما يكفي من الإشعاع الشمسي المرکز عند النقطة البؤرية واقترح العديد من تصاميم الضخ لتعزيز أداء منظومات الليزر الشمسي (استطاعة الليزر، كفاءة التجميع واللمعان) حيث:
- في عام 1999 تم تحقيق كفاءة جمع  $6.7 \text{ W/m}^2$  في معهد وايزمان عن طريق ضخ قضيب Nd: YAG من خلال نظام هيليوستات - نظام مرايا مكافئ [17].
- أما في عام 2007 أدى التقدم مع استعمال عدسات فريزل والوسط الفعال Cr: Nd: YAG إلى كفاءة تجميع  $18.7 \text{ W/m}^2$ ، مما كشف عن مستقبل واعد لاستعادة Mg المتجددة من MgO [17].
- وفي عام 2011 تم الحصول عن كفاءة تجميع  $19.3 \text{ W/m}^2$  من خلال استخدام عدسة فريزل وقضيب الليزر Nd: YAG [17].

## II-9-2- تقنية الليزر الشمسي:

تعتمد فكرة الليزر الشمسي على تركيز الإشعاع الشمسي بواسطة المركبات الأولية مثل المركز ذو القطع المكافئ أو عدسة فريسل من أجل الحصول على نسبة ضخ تفوق مستوى العتبة اللازم لتوليد الليزر، كما يمكن استخدام أجهزة التركيز البصري الثانوية مثل المركز المكافئ ثنائي الأبعاد (2D-CPC) أو ثلاثي الأبعاد (3D-CPC). وأخيراً يمكن استعمال التجويفات البصرية ثنائية أو ثلاثية الأبعاد وبأشكال مختلفة، للزيادة من مستوى التركيز. عند التفكير في إنتاج طاقة الليزر، ما يتبادر إلى الذهن هو أن تكون منظومة الليزر بسيطة وغير مكلفة [11]. وبما أن الطاقة الشمسية هي مصدر طاقة دائم، نظيف ومجاني، إذن يمكن استخدامها لضخ ليزرات الحالة الصلبة. يمكن أن يتم هذا الضخ بشكل مباشر أو غير مباشر.

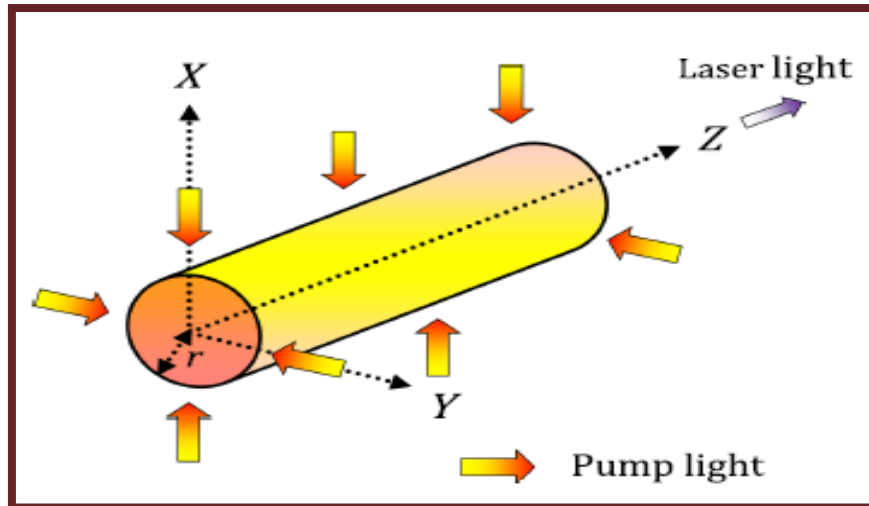
- **الضخ غير المباشر:** عند استخدام نظام كهربائي يعمل بالطاقة الشمسية لضخ وسط الليزر كهربائياً، تسمى العملية بالضخ غير المباشر. حيث يحول النظام الكهربائي الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ويسمى بالمحول الضوئي [18].
- **الضخ المباشر:** يستعمل الإشعاع الشمسي المركز لضخ الوسط الليزري المتواجد في بؤرة المركز وتسمى هذه العملية بالضخ المباشر [18].

## II-9-3- أنواع الضخ المباشر لليزر الشمسي:

عادة ما يتم تنفيذ عملية الضخ بطريقتين، وهما الضخ الجانبي والضخ على الطرف.

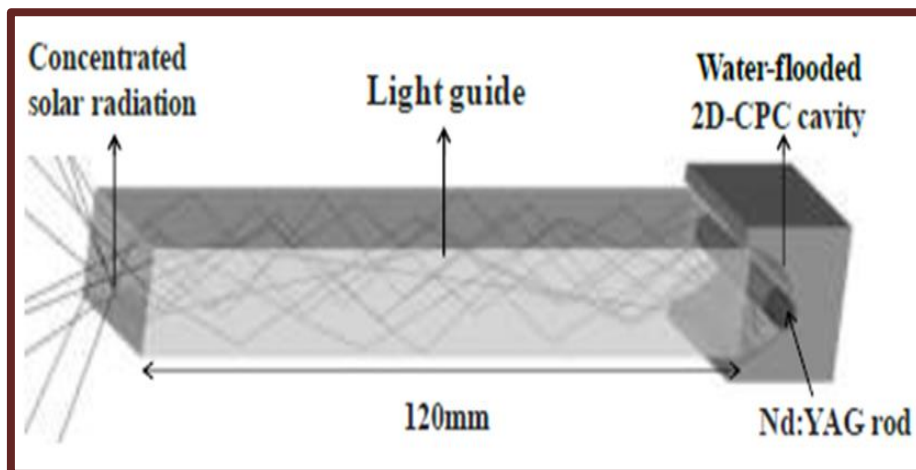
### II-9-3-1- الضخ الجانبي:

في هذه الطريقة يتم توجيه الضوء المحفز نحو الأسطح الجانبية لقضيب الليزر مما يؤدي إلى امتصاص الأضواء بشكل موزع بانتظام على طول القضيب مما يؤدي إلى توليد حرارة داخلية منتظمة كذلك. للتقليل من التأثير السلبي للحرارة يتم التبريد على طول السطح الأسطواني لقضيب الليزر، فيكون تدرج الحرارة التنازلي عمودياً على محور القضيب [19]. كما يوضح في الشكل (II-22).



الشكل (II-22): طريقة الضخ الجانبي لقضيب الليزر [19].

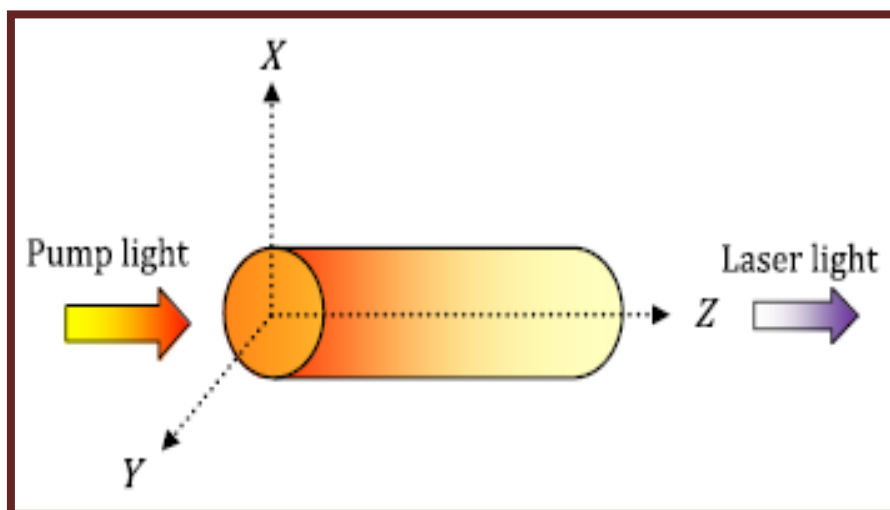
يوجد عدة أعمال سابقة للضخ الجانبي وكمثال تجربة Almeida وزملائه سنة 2012 والتي تم فيها ضخ قضيب Nd:YAG قطره 4mm وطوله 30mm باستعمال مرآة مكافئة لتركيز الاشعاع الشمسي كما يوضح في الشكل (II-23) وقد تم الحصول على كفاءة تجميع تقدر ب  $9.6W/m^2$  [16].



الشكل (II-23): تجربة "Almeida" وزملاؤه للضخ الجانبي [16].

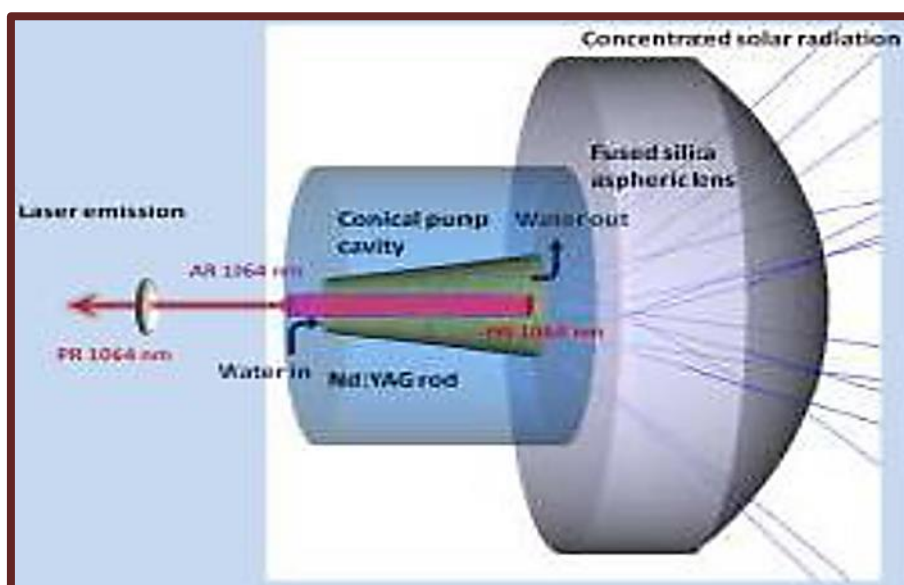
## II-9-3-2- الضخ على الطرف:

على عكس أنظمة الليزر ذات الضخ الجانبي، فإن الترسيب الحراري في أنظمة الليزر ذات الضخ على الطرف غير متجانس. في هذه الطريقة ترسل الأضواء نحو قضيب الليزر من خلال نهايته مما يؤدي إلى توزيع غير منتظم لهذه الأضواء الممتصة داخل القضيب كما يوضحه الشكل (II-24). يؤدي الترسيب الحراري الناتج عن طريقة الضخ على الطرف إلى درجات حرارة غير موزعة بانتظام مما يؤثر سلباً على كفاءة هذه الأنظمة [19].



الشكل (II-24): طريقة الضخ على الطرف لقضيب الليزر [19].

من بين الأعمال التجريبية المحققة للضخ على الطرف عمل الباحث "Liang" وزملاؤه كما يبين الشكل يوضح الشكل (II-25) حيث تم الوصول لكفاءة تقدر ب  $W/m225$  سنة 2016.



الشكل (II-25): تجربة Liang وزملاؤه للضخ على الطرف [16].

## II-10- خلاصة:

بعد دراسة المركبات الشمسية بنوعها الخطية والنقطية هذه الأخيرة ستكون محل دراستنا، وعلى الرغم من أن عدسات فرينل تملك مميزات عديدة كإخفاض تكلفتها وسهولة صنعها وتوفرها الدائم، إلا أن المركز الشمسي ذو القطع المكافئ له كفاءة أكبر في تركيز الأشعة الشمسية، ثم توجيه الأشعة المركزة إلى المستقبل، يمكن أن يكون المستقبل موضوع في البؤرة مباشرة، ويمكن أن يكون بعيداً عن البؤرة وفي هذه الحالة تنقل وتوجه الأشعة المركزة بواسطة موجات ضوئية خاصة كالدليل الضوئي قصد استغلالها كوسيلة لضخ الأوساط الليزرية وتوليد الليزر الشمسي، فبعد اختراع الليزر بفترة وجيزة تم اعتماد الإشعاع الشمسي مصدراً لضخ ليزرات الحالة الصلبة حيث تعد هذه التقنية غير مكلفة كون الطاقة الشمسية مجانية، مستمرة ونظيفة كما أنها متوفرة مقارنة بالطاقات الأخرى، فاكتملت بذلك أنظمة الليزر التي يتم ضخها بالطاقة الشمسية أهمية متزايدة في السنوات الأخيرة بالمقارنة مع أجهزة الليزر التي تضخ بمصادر أخرى للطاقة. حيث يتم استعمال الضخ المباشر بالطاقة الشمسية وتحويلها إلى أشعة ليزر دون اللجوء إلى تحويلها إلى طاقة كهربائية لتستعمل للضخ.

أنظمة الليزر الشمسي، مكوناتها، مقاديرها المميزة، طرق الضخ المستعملة الخ ... ستكون محل دراسة الفصل القادم.

## قائمة مراجع الفصل الثاني

## ❖ المراجع العربية

- [1] سلمى احمد الزين النور، "دراسة تأثير ضوء ليزر الهليوم والنيون على الخلايا الشمسية السليكونية"، مذكرة ماجستير، جامعة الخرطوم، السودان (2014).
- [2] محمد كوسا، "فيزياء الليزر وتطبيقات"، كلية العلوم، منشورات جامعة دمشق، ص. 8-9، (2005-2006).
- [3] سعود بن حميد الليحاني، "الليزر وتطبيقات"، كلية العلوم، جامعة أم القرى، ص. 7-9.
- [4] عدي عطا حمادي، "أساسيات الليزر وتقنياته"، ص 5-9، (2004).
- [5] س. سلمى، ن. عوينات، "دراسة كفاءة الليزر الشمسي بواسطة الضخ عند الطرف لـ: Nd:YAG"، مذكرة ماستر، جامعة الوادي، الجزائر (2018).
- [6] فاروق عبودي قيصر، "الليزرات"، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الوصل، ص 68-70، (1984).
- [7] أ. زيتوني، "نمذجة ليزر الثوليوم في الزجاج"، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة، الجزائر (2014).
- [8] سعود يوسف عياش، "تكنولوجيا الطاقة البديلة"، عالم المعرفة، ص 156-170، (1978).
- [9] كاميليا يوسف محمد، "تكنولوجيا محطات المركزات الشمسية"، لجنة التعاون الألمانية المصرية للطاقات المتجددة، ص 11-12، (2018).
- [10] سوداني محمد البار، "تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي"، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح- ورقلة، الجزائر (2018).
- [13] بوراس ليلي، "دراسة تأثير معاملات شبكة براغ المنتظمة على تحسين الانتقائية الطيفية في الموجهات الضوئية المدمجة تطبيق: تجويف رنين مدمج"، رسالة ماجستير، جامعة ورقلة، الجزائر (2006).

## المراجع الأجنبية:

- [11] Yasser Abdel-Fattah, Abdel-Hadi, Development of optical concentrator systems for directly solar pumped laser systems, University of Berlin, Germany (2005).
- [12] Soteris. Kalogirou, "Solar Energy Engineering: processes and systems", Elsevier, (2009).

- [14] Hamani Nadjette, "Modisation du flux solaire incident et de la temperature de sortie dans un capteur solaire a eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident", Mémoire de magister, Université Mohammed Khider- Biskra, Algérie (2005).
- [15] Said Mehellou, "Determination du profil d'indice d'un guide optique planaire", Mémoire de Magister, Centre Universitaire d'El-oued, Algérie (2010).
- [16] Dawei Liang, "Advances in solar-pumped laser efficiency and brightness", Master Thesis, University Nova de Lisboa, Portugal(2017).
- [17] Joana Almeida, Dawei Liang and Emmanuel Guillot, Improvement in solar-pumped Nd:YAG laser beam brightness, University Nova de Lisboa (2012).
- [18] Said Mehellou, "Pompage optique des lasers par faisceau solair", thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah- Ourgla, Algérie (2018).
- [19] 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, SPIE, (2018).

# الفصل الثالث

المحاكاة العددية لمنظومة

الليزر الشمسي

**III-1-1- مقدمة:**

يعتمد الليزر الشمسي على مصدر طاقة لتحفيز الوسط الفعال لتوليد أشعة الليزر، وفي هذه الحالة المصدر هو الطاقة الشمسية. وقصد الحصول على الحد الأدنى للطاقة اللازمة لتوليد الليزر يجب أن تركز أشعة الشمس باستعمال المركزات (المركز ذو القطع المكافئ، عدسات فرينل ...) لتسلط بعد ذلك هذه الإشعاعات المركزة على الوسط الفعال قصد توليد أشعة ليزر، ومن أهم الأوساط الفعالة المستعملة Nd:YAG.

يمتص الوسط الفعال إشعاعات الشمس المركزة لتوليد الليزر وتحدد كمية الطاقة الممتصة قيمة استطاعة الليزر المولدة كما تعتبر طريقة تحفيز الوسط الفعال أحد العوامل الأساسية في تحديد جودة حزمة الليزر الشمسي.

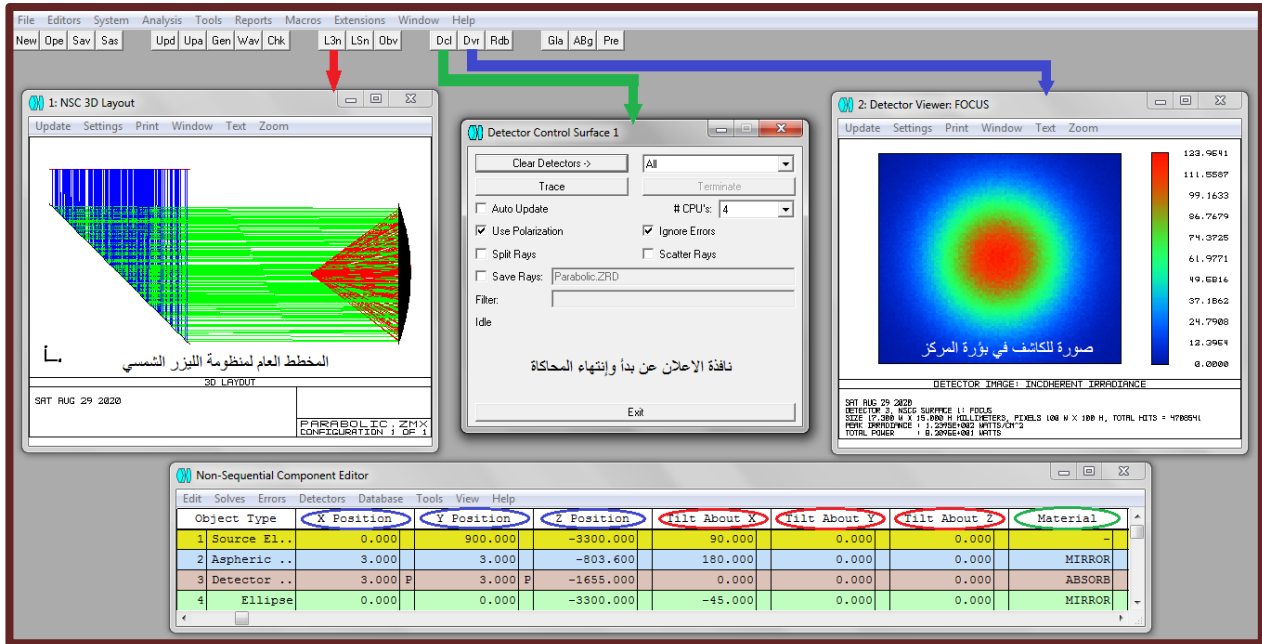
هناك طريقتان لضخ الوسط الفعال لتوليد الليزر الشمسي، ضخ جانبي وضخ على الطرف، وفي هذه الدراسة تم اختيار الضخ الجانبي باستعمال الدليل الضوئي المحدب "Tapered light guide" لأنه يمكننا من توزيع أشعة الشمس المركزة على كامل محيط الوسط الفعال بانتظام مما يقلل من ارتفاع درجة حرارته التي يؤثر ارتفاعها سلباً على كفاءة منظومة الليزر الشمسي. لذلك سنقوم في هذا الفصل بالمحاكاة العددية باستعمال برنامج "Zemax" ومحاولة الحصول على أكبر طاقة ممتصة من طرف الوسط الفعال وبتوزيع منتظم للأشعة.

**III-2- محاكاة منظومة الليزر الشمسي بالدليل الضوئي " Tapered light guide" باستعمال البرنامج "Zemax":**

سيتم في هذا الفصل تقديم أداء محاكاة نظام الليزر الشمسي المستعمل في هذه العمل حيث يتم التحسين أولاً بواسطة البرنامج Zemax. ثم بعد ذلك تتم نمذجة المقادير المميزة لممران الليزر بواسطة LasCad لتحسين طاقة خرج الليزر وجودة حزمته والتي ستكون في دراسات مقترحة لاحقاً.

**III-2-1- برنامج "Zemax":**

هو برنامج يمكنه بواسطة المحاكاة نمذجة الأنظمة البصرية حيث يحتوي على النافذة الرئيسية والتي يمكن من خلالها فتح العديد من النوافذ الثانوية. تشمل النافذة الرئيسية كل العناصر المستعملة في المنظومة البصرية ممثلة بالمواد المتكونة منها، إحداثياتها بالنسبة للمحاور الثلاثة مع زوايا الدوران حولها وكذلك خصائصها التي تختلف من عنصر إلى آخر كما في الشكل (III-1).



الشكل (III-1): النافذة الرئيسية (الإحداثيات، زوايا الدوران والمواد...) وبعض النوافذ الثانوية في برنامج .Zemax

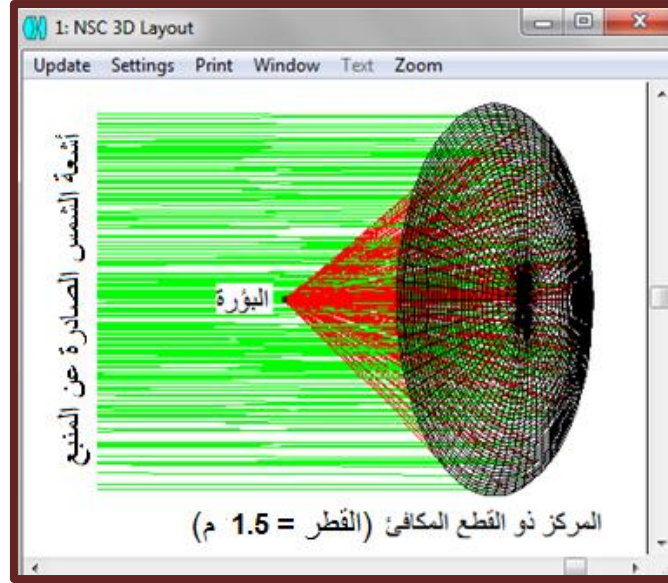
### III-2-2-2- مكونات منظومة الليزر الشمسي بالدليل الضوئي "Tapered light guide":

تتكون منظومة الليزر الشمسي بالدليل الضوئي "Tapered light guide" من العناصر التالية:

- ❖ مركز ذو قطع مكافئ.
- ❖ الدليل الضوئي.
- ❖ المركز الثانوي.
- ❖ التجويف البصري.
- ❖ الوسط الفعال (قضيبي Nd:YAG).
- ❖ التجويف الرنيني.
- ❖ حوض التبريد.

#### أ - المركز ذو القطع المكافئ:

يمكن أن تركز أشعة الشمس بعدة أنواع من المراكز ومن أهمها المركز ذو القطع المكافئ وعدسات فريزل...، وفي هذه الدراسة نستعمل المركز ذو القطع المكافئ الذي يتميز بنسبة تركيزه العالية مقارنة ببقية المراكز كما هو موضح في الشكل (III-2).

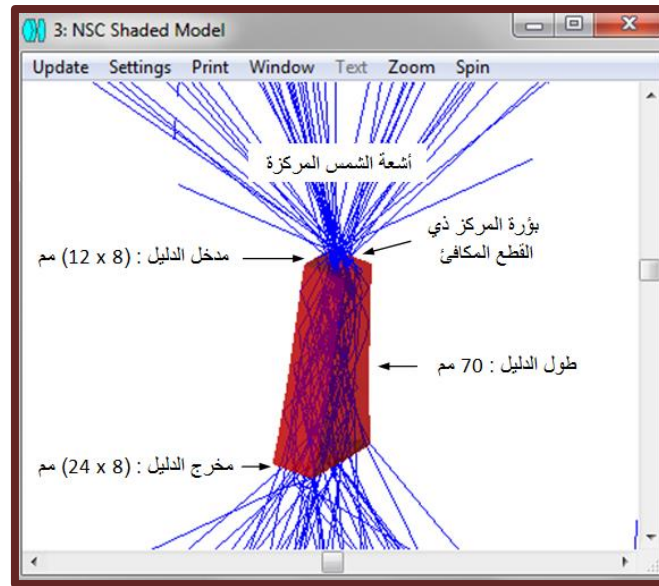


الشكل (III-2): مخطط المركز ذو القطع المكافئ.

### ب- الدليل الضوئي:

يستعمل الدليل الضوئي المحدب "Tapered light guide" لنقل أشعة الشمس المركزة من بؤرة المركز إلى الوسط الفعال، حيث تخضع الأشعة داخله لمبدأ الانعكاس الكلي ويكون شكل مدخل الدليل مربع (أو مستطيل) لكنه أصغر من مخرجه وهذا ما يمكن مدخله من احتواء حزمة الأشعة المركزة في بؤرة المركز (تركيز نقطي للقطع المكافئ) ويسمح شكل مخرجه بالضحخ الجانبي لقضيب Nd:YAG كما يظهر في الشكل (III-3).

- قطر البؤرة: 7 مم.
- أبعاد مدخل الدليل: (8 x 12) مم.
- أبعاد مخرج الدليل: (8 x 24) مم.
- طول الدليل: (70) مم.

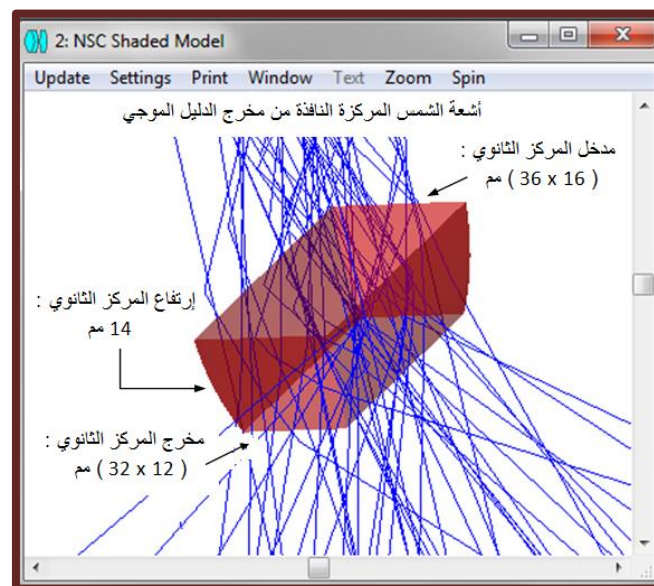


الشكل(III-3): مخطط الدليل الضوئي المحدب "Tapered light guide".

### ج - المركز الثانوي:

يستعمل المركز الثانوي لإعادة توجيهها لأشعة المشتتة النافذة من مخرج الدليل الضوئي والذي يتناسب مدخله مع مخرج الدليل ومخرجه مع طول قضيب Nd:YAG كما يوضحه الشكل (III-4).

- أبعاد مدخل المركز الثانوي: (36 x 16) مم .
- أبعاد مخرج المركز الثانوي: (32 x 12) مم .
- ارتفاع المركز الثانوي: (14) مم.

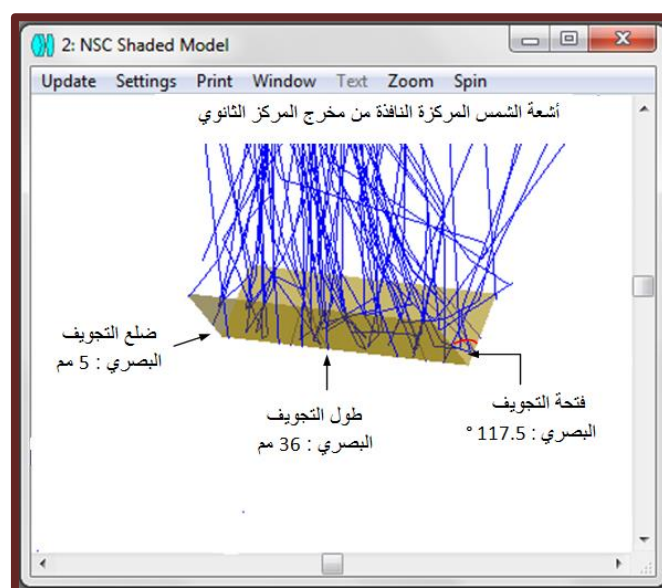


الشكل(III-4): مخطط المركز الثانوي.

## د- التجويف البصري:

في الضخ الجانبي لقضيب Nd:YAG يجب أن نضمن توزيع الأشعة المركزة على كامل جوانبه ولذلك نستعمل التجويف البصري لان المركز الثانوي يسمح فقط بتسليط الأشعة على القضيب من الجهة العلوية. يمكن أن يأخذ التجويف البصري أشكال مختلفة مثل:  $V$ ،  $V$  المضاعفة، المخروط... كما يبينه الشكل (5-III).

- ضلع التجويف البصري: 5 مم.
- طول التجويف البصري: 36 مم.
- فتحة التجويف البصري:  $117.5^\circ$ .

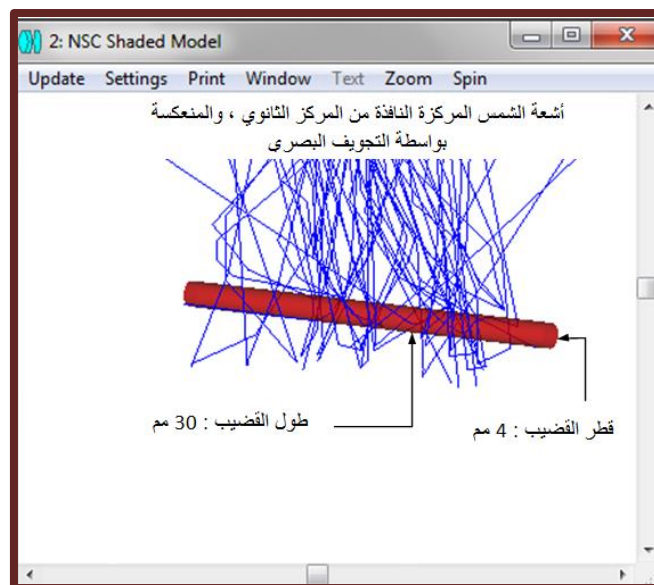


الشكل (5-III): مخطط التجويف البصري.

## هـ - الوسط الفعال (قضيب Nd:YAG):

الوسط الفعال هو عبارة عن بلورة  $Y_3Al_5O_{12}$  (YAG: Yttrium Aluminum Garnet) مطعمة بأيونات  $Nd^{+3}$  والتي تعتبر من عناصر الأرض النادرة بحيث يمكنها امتصاص الأشعة الشمسية. تتميز المادة الحاضنة YAG بموصلية حرارية عالية نسبياً تقدر بـ  $14 \text{ W / m.K}$  وأبعاد قضيب الليزر تظهر في الشكل (6-III):

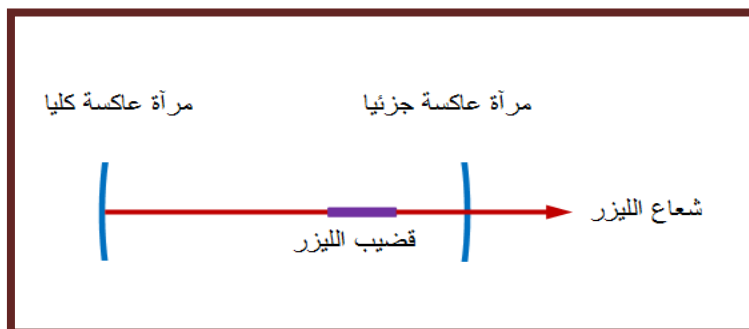
- قطر قضيب الليزر: 4 مم.
- طول قضيب الليزر: 30 مم.



الشكل(III-6): مخطط قضيب الليزر.

### و- التجويف الرنيني:

حتى نتمكن من مضاعفة الفوتونات المولدة من طرف الوسط الفعال وتوليد الليزر يجب استعمال التجويف الرنيني أو ما يسمى بالمرنان. المرنان هو منظومة تتكون من مرآتين (أو أكثر، حتى أربعة مرآيا) توضع على محور بصري مشترك مع الوسط الفعال (حالة مرآتين) حيث تنتقل الفوتونات بين المرآتين ذهابا وإيابا مرورا بالوسط الفعال من أجل تضخيمها حيث تكون إحدى المرآتين ذات انعكاسية تامة بينما تكون المرآة الثانية عاكسة جزئيا كما هو موضح في الشكل (III-7).



الشكل(III-7): رسم تخطيطي للمرنان.

### ز- حوض التبريد:

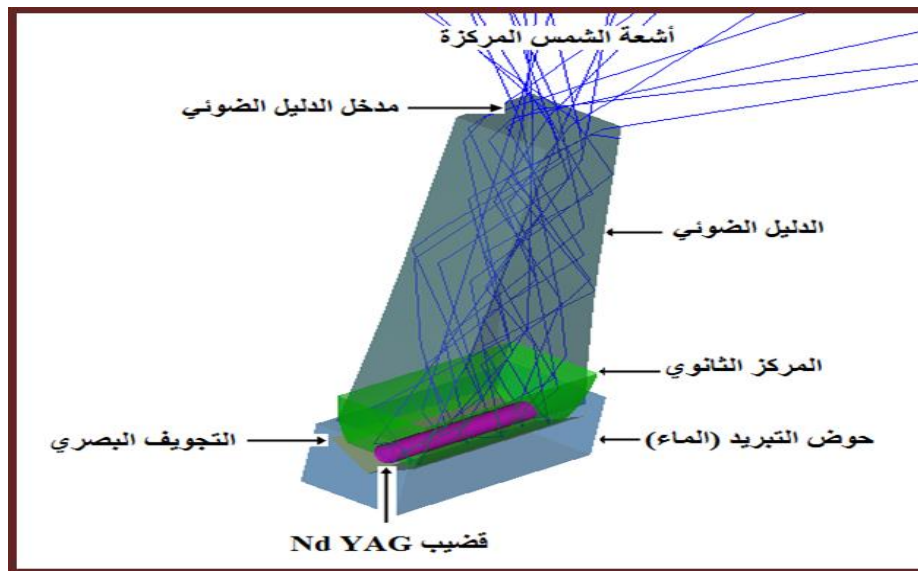
ترتفع درجة حرارة الوسط الفعال عند توليد أشعة الليزر وهذا ناتج عن الانتقالات غير المشعة والتي تكون مصحوبة بانتشار حرارة مما يستوجب لتفادي تلفه التخفيض من درجة حرارته ويكون ذلك بواسطة التبريد باستعمال الماء وتحت ضغط معين.

قصد وضع المجموعة المكونة من العناصر: الدليل الضوئي، المركز الثانوي، التجويف البصري، الوسط الفعال في بؤرة المركز يجب ضمها في منظومة ميكانيكية تحتوي على عدة حوامل منها فتحتين

لانتقال الفوتونات عبرها ذهابا وإيابا للمرأتين العاكستين مرورا بالوسط الفعال قصد التضخيم، وفتحيتين لإدخال وإخراج الماء المستعمل للتبريد.

### III-2-3- منظومة الليزر الشمسي المدروسة:

يمثل الشكل (III-8) منظومة الليزر الشمسي بالدليل الضوئي "Tapered light guide" والمكونات المذكورة سابقا.



الشكل(III-8): منظومة الليزر الشمسي.

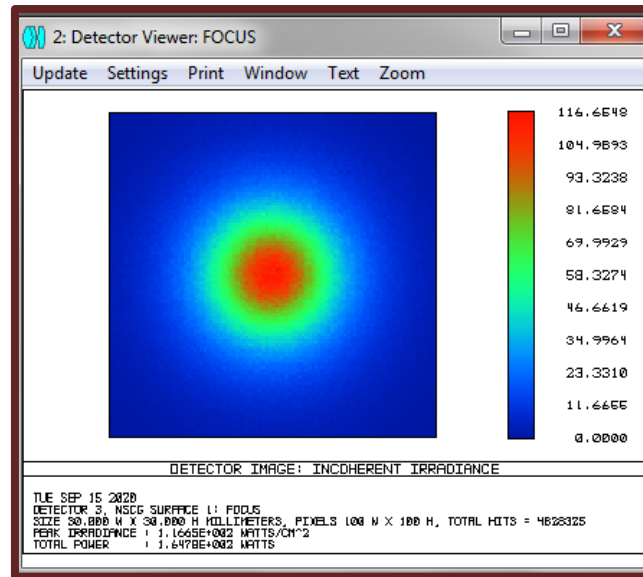
### III-2-4- المحاكاة العددية باستعمال البرنامج "Zemax":

حتى نتمكن من قياس الاستطاعة نستعمل الكواشف حيث توضع في النقاط التي نريد قياس الاستطاعة فيها، نضع أولا كاشفا في بؤرة المركز (قياس الاستطاعة المركزة)، عند مخرج الدليل الضوئي (قياس الاستطاعة المنقولة بواسطة الدليل) وحول الوسط الفعال (قياس الاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال).

### III-2-5- نتائج المحاكاة العددية :

#### أ- الاستطاعة المقاسة عند بؤرة المركز:

باستعمال مصدر طاقة (214 واط) ومركز ذي قطع مكافئ ذي مساحة (1.77 م<sup>2</sup>) وكاشف ضوئي في بؤرة المركز تمكنا من قياس الطاقة الشمسية المركزة في هذه النقطة وكذلك تحديد توزيعها وذلك بعد عمليات تحسين عديدة. الاستطاعة المركزة تساوي: 164.78 واط بتوزيع غوسي كما يظهر في الشكل (III-9).

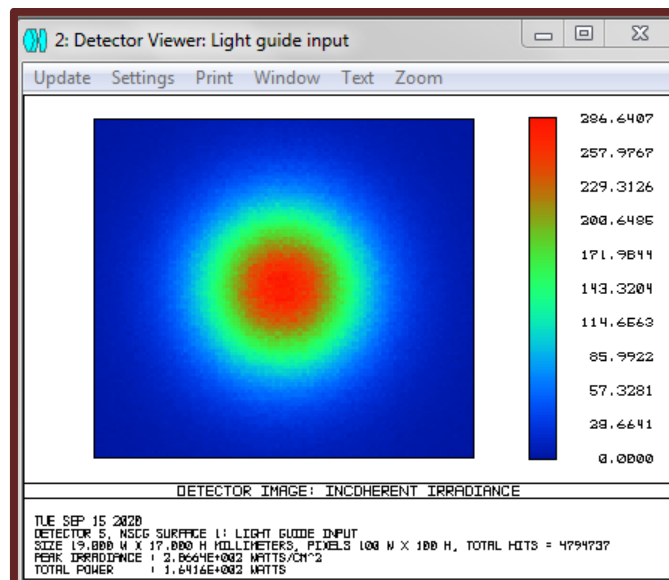


TUE SEP 15 2020  
 DETECTOR 3, NSCG SURFACE 1: FOCUS  
 SIZE 30.000 W X 30.000 H MILLIMETERS, PIXELS 100 W X 100 H, TOTAL HITS = 4828325  
 PEAK IRRADIANCE : 1.1665E+002 WATTS/CM<sup>2</sup>  
 TOTAL POWER : 1.6478E+002 WATTS

الشكل(III-9): صورة للكاشف الضوئي في بؤرة المركز.

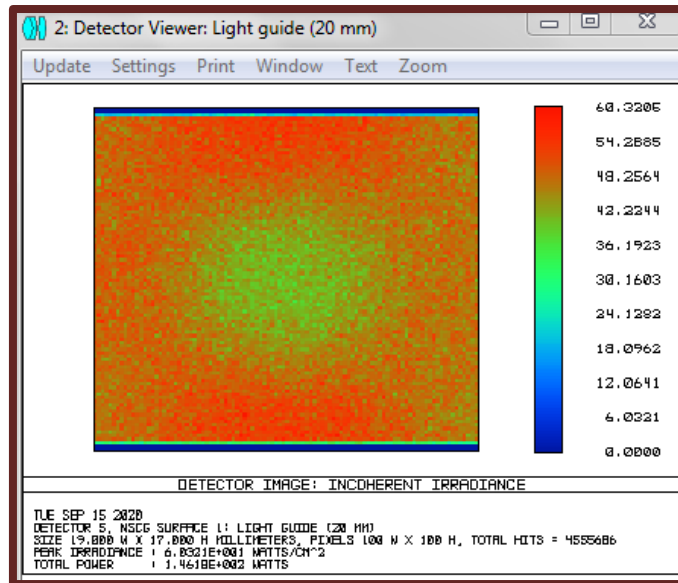
ب - الاستطاعة المقاسة عند مدخل الدليل الموجي:

تصل مدخل الدليل الضوئي استطاعة قدرها 164.16 واط وبتوزيع يوضحها الشكلين (III-10) و (III-11).



TUE SEP 15 2020  
 DETECTOR 5, NSCG SURFACE 1: LIGHT GUIDE INPUT  
 SIZE 19.000 W X 17.000 H MILLIMETERS, PIXELS 100 W X 100 H, TOTAL HITS = 4794737  
 PEAK IRRADIANCE : 2.8664E+002 WATTS/CM<sup>2</sup>  
 TOTAL POWER : 1.6416E+002 WATTS

الشكل(III-10): صورة للكاشف الضوئي عند مدخل الدليل الضوئي.

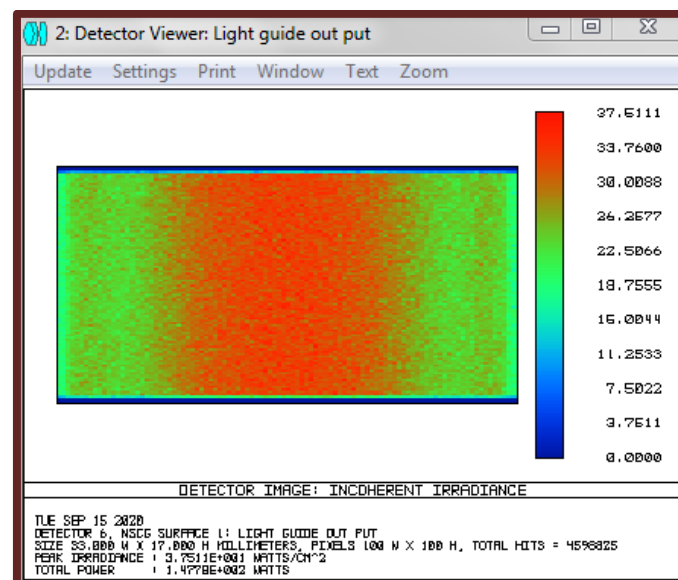


```
TUE SEP 15 2020
DETECTOR 5, NSCG SURFACE 1: LIGHT GUIDE (20 MM)
SIZE 19.000 W X 17.000 H MILLIMETERS, PIXELS 100 W X 100 H, TOTAL HITS = 4555686
PEAK IRRADIANCE : 6.0321E+001 WATTS/CM^2
TOTAL POWER : 1.4618E+002 WATTS
```

الشكل(III-11): صورة للكاشف الضوئي على عمق 20 مم في الدليل الضوئي.

### ج - الاستطاعة المقاسة عند مخرج الدليل الموجي:

عند مخرج الدليل تقدر الاستطاعة بـ: 147.78 واط وهي القيمة الأمثل لأبعاد الدليل الضوئي المقترحة أما التوزيع فيوضحه الشكل (III-12).



```
TUE SEP 15 2020
DETECTOR 6, NSCG SURFACE 1: LIGHT GUIDE OUT PUT
SIZE 33.000 W X 17.000 H MILLIMETERS, PIXELS 100 W X 100 H, TOTAL HITS = 4598825
PEAK IRRADIANCE : 3.7511E+001 WATTS/CM^2
TOTAL POWER : 1.4778E+002 WATTS
```

الشكل(III-12): صورة للكاشف الضوئي عند مخرج الدليل الضوئي.

نلاحظ أن هناك تناقص في قيمة الاستطاعة من: 164.16 واط إلى 147.78 واط، ومنه نستطيع حساب كفاءة نقل الأشعة للدليل الضوئي وذلك بالعلاقة التالية:

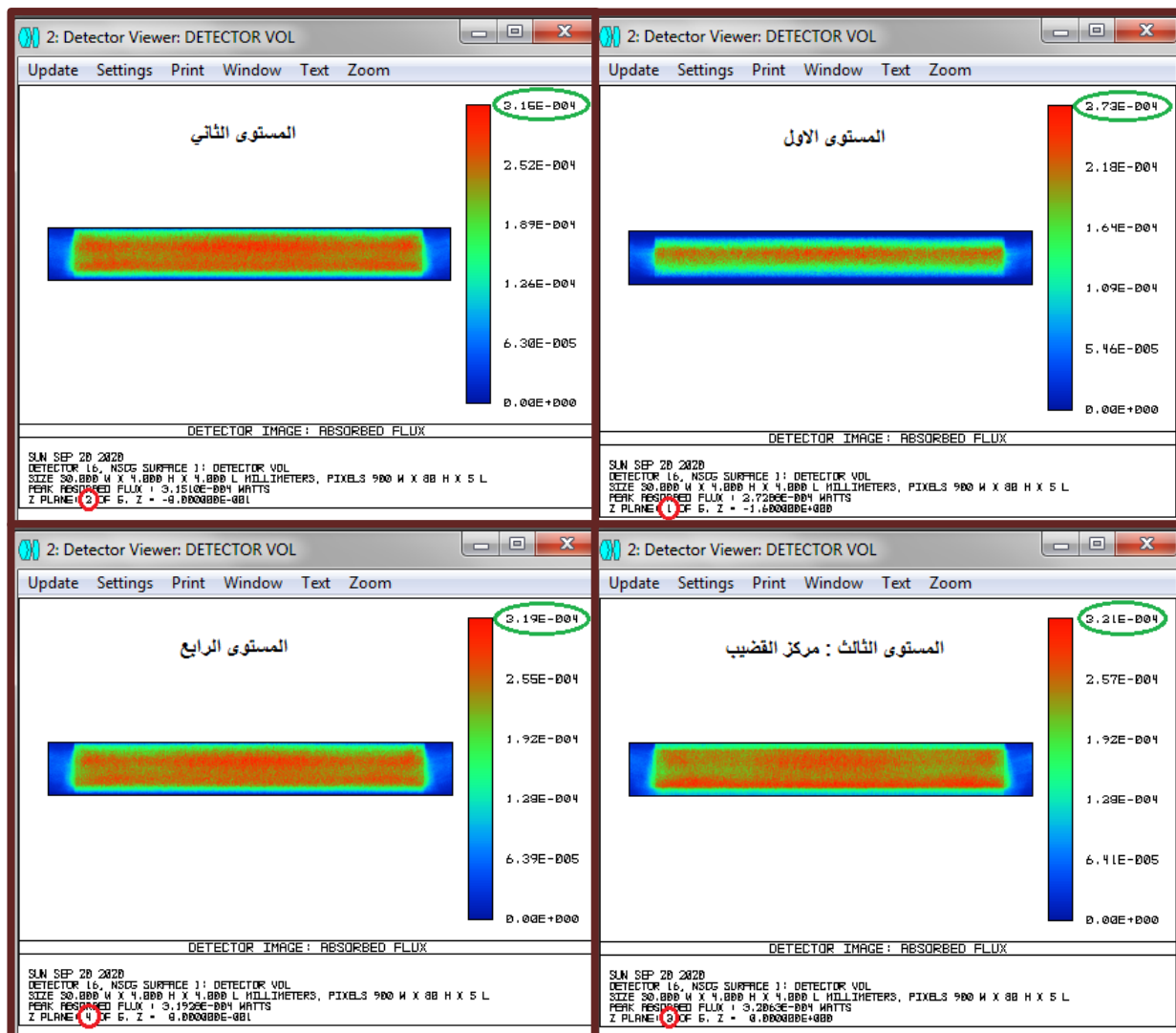
$$147.78 / 164.16 = 90\%$$

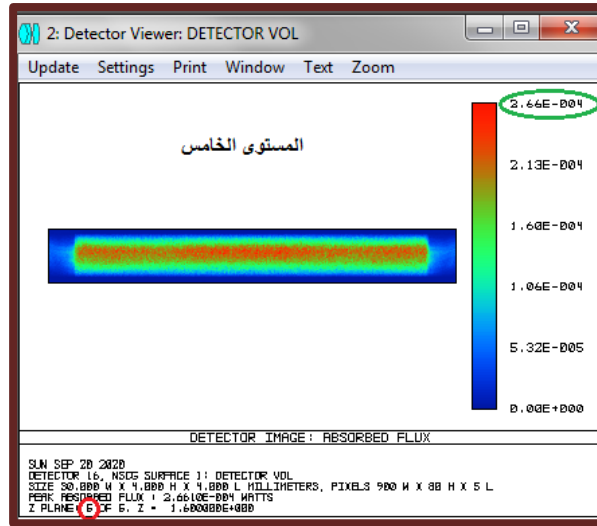
يرجع هذا التناقص في قيمة الاستطاعة إلى الضياعات داخل الدليل الضوئي (الامتصاص، الانعكاس الداخلي غير التام).

#### د - الاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال:

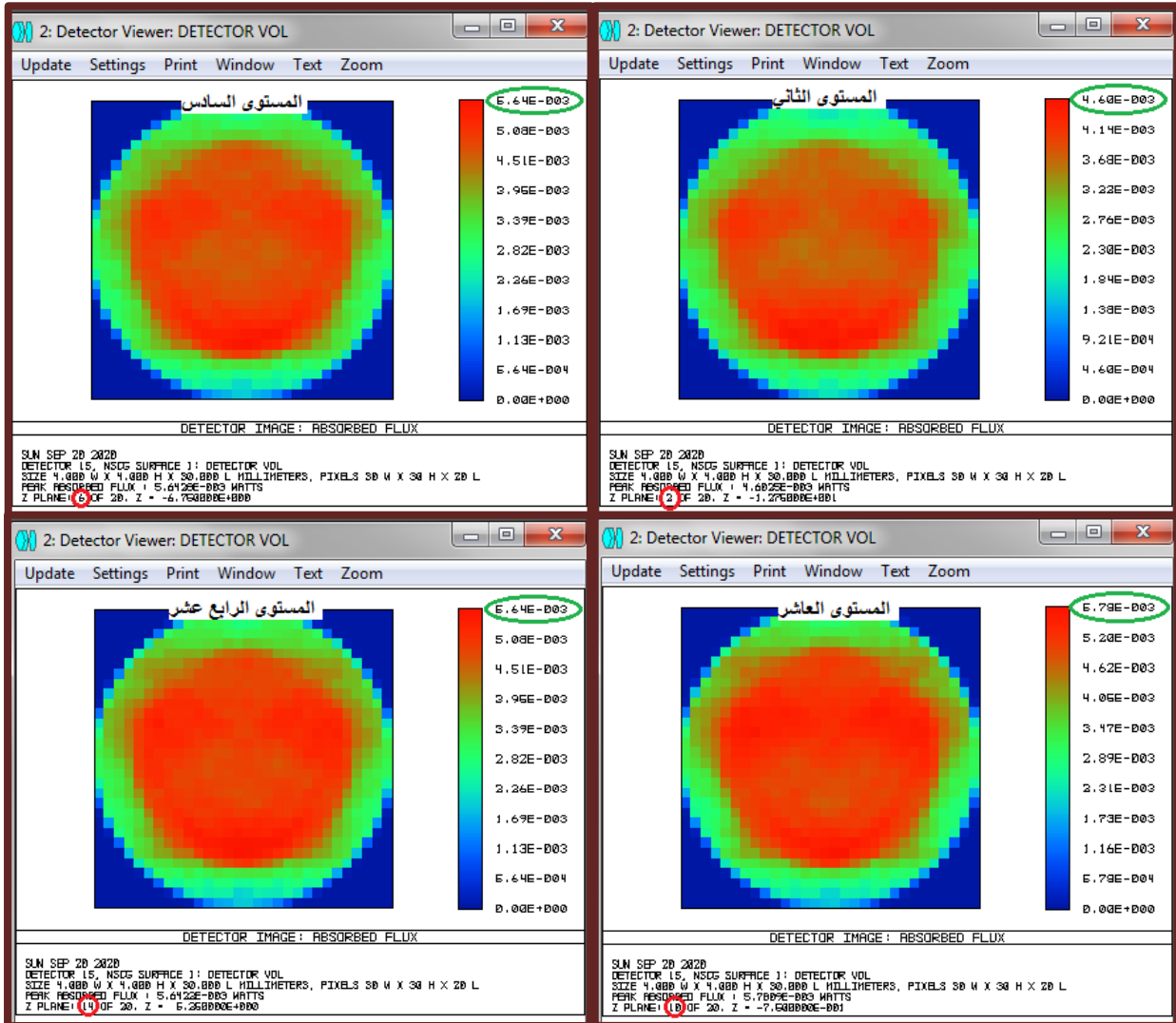
من أجل قياس الاستطاعة الممتصة من طرف قضيب الليزر (Nd:YAG) نستعمل كاشفين من نوع خاص يسميان بالكاشف الحجمي حيث يغمر هذين الأخيرين القضيب لكي يتمكن من قياس الاستطاعة في كل نقطة حجمية من نقاطه حيث يعطي الأول التوزيع الطولي والثاني التوزيع العرضي للاستطاعة في مستويات مختلفة.

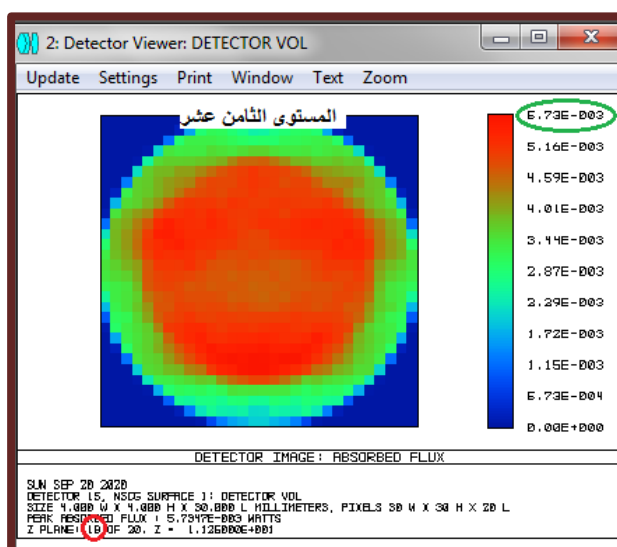
يوضح الشكلين (13-III) و(14-III) توزيع الاستطاعة الممتصة من طرف قضيب Nd:YAG في مستويات طولية وعرضية، حيث يقسم القضيب طوليا إلى خمسة مستويات (الشكل (13-III)) وعرضيا إلى عشرون مستوى (الشكل (14-III)).





الشكل (III-13): صورة الكاشف الحجمي في مستويات طولية.





الشكل (III-14): صورة الكاشف الحجمي في مستويات عرضية.

حتى تتمكن من قياس الاستطاعة الممتصة من طرف قضيب الليزر نحول صورة القضيب المعطاة في الشكلين (III-13) و (III-14) وذلك بالضغط على (Text) ليتم تخزينه كنص رقمي ثم يفتح بواسطة "Excel" لتجمع الاستطاعة الممتصة في كل نقاط القضيب كما في الشكل (III-15).

Voxel	X	Y	Z	Incident Flux	Absorb. Flux	Absorb. Vol
1	-1.50E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.46E-02	2.76E-06	2.07E-03
2	-1.50E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.93E-02	2.54E-06	1.91E-03
3	-1.49E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.78E-02	2.61E-06	1.96E-03
4	-1.49E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.68E-02	2.41E-06	1.80E-03
5	-1.49E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.72E-02	2.41E-06	1.81E-03
6	-1.48E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.61E-02	2.25E-06	1.69E-03
7	-1.48E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.43E-02	2.13E-06	1.60E-03
8	-1.48E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.43E-02	2.18E-06	1.63E-03
9	-1.47E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.38E-02	2.21E-06	1.66E-03
10	-1.47E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	2.24E-02	2.03E-06	1.52E-03

359995	1.48E+01	1.98E+00	1.60E+00	4.03E-02	3.34E-06	2.50E-03
359996	1.49E+01	1.98E+00	1.60E+00	4.13E-02	3.74E-06	2.80E-03
359997	1.49E+01	1.98E+00	1.60E+00	4.35E-02	3.83E-06	2.87E-03
359998	1.49E+01	1.98E+00	1.60E+00	4.66E-02	3.97E-06	2.98E-03
359999	1.50E+01	1.98E+00	1.60E+00	4.76E-02	4.26E-06	3.19E-03
360000	1.50E+01	1.98E+00	1.60E+00	4.25E-02	4.57E-06	3.43E-03
					5.51E+01	

الشكل (III-15): صورة لصفحة تعطي قيمة الاستطاعة الممتصة.

قيمة الاستطاعة الممتصة المسجلة هي: 55.1 واط.

## III-2-6- تحليل نتائج المحاكاة العددية:

بعد محاولات عديدة للمحاكاة العددية لمنظومة الليزر الشمسي تحصلنا على استطاعة ممتصة من طرف الوسط الفعال تقدر بـ 55.1 واط وهي قيمة معتبرة بالمقارنة مع النتائج السابقة والتي تقدر بـ 43.6 واط سنة 2018 وتوزيع منتظم تقريبا طوليا وعرضيا على مستوى الوسط الفعال وهذا ما تبينه نتائج المحاكاة بواسطة الكاشفين الحجميين الطولي والعرضي، هذا التوزيع المنتظم للاستطاعة الممتصة كان نتيجة التوزيع المنتظم للإشعاع النافذ من الدليل الضوئي على طول القضيب ومنه تم التقليل من ارتفاع درجة الحرارة والتي تؤثر سلبا على كفاءة المنظومة وإنتاج حزمة ليزر ذات جودة عالية.

## III-3- خلاصة:

مكننا استعمال المنظومة الليزرية المقترحة والمكونة من مركز ذي قطع مكافئ ذي مساحة  $1.77 \text{ m}^2$  ودليل ضوئي محدب "Tapered light guide" أبعاد مدخله (8×12) مم وأبعاد مخرجه (8×24) مم وطوله 70 مم، مركز ثانوي يتناسب مدخله مع مخرج الدليل ومخرجه مع طول القضيب Nd:YAG وللتقليل من الضياعات الطاقوية يقوم بإعادة توجيه الأشعة المشتتة النافذة من مخرج الدليل الضوئي، وسط فعال من بلورة  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  مطعمة بأيونات  $\text{Nd}^{+3}$  لأجل طيف الامتصاص يقع ضمن الطيف الشمسي وناقلية حرارية  $K$  تقدر بـ  $K=14\text{W/m.k}$ ، تجويف بصري ومرنان كما شرحنا سابقا.

من أجل الحصول على استطاعة ممتصة من طرف الوسط الفعال تكون الامثل بمحاكاة عددية ومحاولات عديدة لتغيير أبعاد مكونات المنظومة المدروسة الى أن تحصلنا على نتيجة قياسية تقدر بـ: 55.1 واط بالمقارنة مع النتائج السابقة والتي تقدر بـ 43.6 واط سنة 2018. والأهم من ذلك الوصول إلى توزيع منتظم للشدة الضوئية الممتصة تقريبا طوليا وعرضيا لهذه الاستطاعة، وهذا هو الهدف الذي كان منتظرا من استعمال هذا الدليل في المنظومة الليزرية. حيث مكن من نشر الإشعاع المركز طوليا على كل محيط القضيب الذي يمثل الوسط الفعال وذلك بمساعدة التجويف البصري مما أدى إلى تحسين قيمة الاستطاعة الممتصة والتقليل من ارتفاع درجة الحرارة وبالتالي الحصول على حزمة ليزر ذات جودة عالية.

# الخلاصة العامة

## خلاصة عامة

بسبب الخصائص المميزة لضوء الليزر كشعاع رفيع ومترابط (متناسك) فقد تم استغلاله في تطبيقات عديدة طبية، عسكرية... الخ. يتم الحصول على أشعة الليزر عن طريق تحفيز الوسط الفعال بالطاقة قصد اثاره ذراته، ولأن الطاقة الشمسية مجانية نظيفة ومتجددة فهي الأمثل. تعتمد فكرة الحصول على الليزر الشمسي على تجميع وتركيز وتوجيه الاشعاع الشمسي لتحفيز الوسط الفعال هذا التركيز يتم بوسائل تدعى المركزات والتي تكون إما خطية أو نقطية، هذه الاخيرة لها انواع مختلفة مثل عدسات فريزل والتي تمتلك مميزات عديدة كانهخفاض تكلفتها وسهولة صنعها وتوفرها الدائم، إلا أن المركز الشمسي ذو القطع المكافئ له كفاءة أكبر في تركيز الأشعة الشمسية، ثم توجيه الأشعة المركزة إلى المستقبل، يمكن أن يكون المستقبل موضوع في البؤرة مباشرة، ويمكن ان يكون بعيدا عن البؤرة وفي هذه الحالة توجه الأشعة المركزة بواسطة موجات ضوئية خاصة كالدليل الضوئي قصد استغلالها كوسيلة لضخ الأوساط الليزرية وتوليد الليزر الشمسي وهذا محل دراستنا والذي يندرج في اطار المساهمة في تحسين الليزر الشمسي، يكون التحفيز جانبي (الضخ الجانبي) أو على الأطراف (الضخ على الأطراف). من ايجابيات الضخ الجانبي التوزيع المنتظم لأشعة الشمس المركزة على كامل محيط الوسط الفعال، مما يؤدي إلى التقليل من أضرار التركيز الحراري على الوسط الفعال، والحصول على حزمة ليزر ذات جودة عالية، بينما يسمح الضخ على الأطراف بتسليط أشعة الشمس المركزة على نهاية الوسط الفعال مما يترتب عنه توليد استطاعة ليزر عالية. في عملنا تم اختيار الضخ الجانبي كطريقة لتحفيز الوسط الفعال حيث تم استعمال منظومة ليزرية تتكون من مركز ذي قطع مكافئ ذي مساحة  $1.77\text{m}^2$  قصد تركيز الأشعة الشمسية في البؤرة والتي وضعنا فيها دليل ضوئي محدب "Tapered light guide" ليقوم بنقل أشعة الشمس المركزة من بؤرة المركز إلى الوسط الفعال، حيث تخضع الأشعة داخله لمبدأ الانعكاس الكلي، أما لإعادة توجيه الأشعة المشتتة النافذة من مخرج الدليل الموجي تم وضع مركز ثانوي حيث يتناسب مدخله مع مخرج الدليل ومخرجه مع طول قضيب Nd:YAG والذي يمثل الوسط الفعال حيث تتميز المادة الحاضنة YAG بموصلية حرارية K عالية نسبيا تقدر بـ  $14\text{ W/m.K}$  / وقد استخدمنا قضيب ليزر بقطر 4 مم و طول 30 مم، ولضمان توزيع الاشعاع الشمسي المركز على كامل محيط هذا القضيب قمنا بوضع تجويف بصري، وحتى تتمكن من مضاعفة الفوتونات المولدة من طرف الوسط الفعال وتوليد الليزر فقد تم استعمال التجويف الرنيني (المرنان) حيث تنتقل الفوتونات بين المرآتين ذهابا وإيابا مرورا بالوسط الفعال من أجل تضخيمها حيث تكون إحدى المرآتين ذات انعكاسية تامة بينما تكون المرآة الثانية عاكسة جزئيا. عند توليد أشعة الليزر ترتفع درجة حرارة الوسط الفعال نتيجة الانتقالات غير المشعة مما يستوجب التبريد باستعمال الماء وتحت ضغط معين وذلك لتجنب تلف المنظومة. الهدف من اقتراح هذه المنظومة هو الحصول على ضخ جانبي منتظم وتحسين قيمة الطاقة الممتصة من طرف الوسط الفعال وهذا ما تم بالفعل وأكده نتائج المحاكاة العددية بعد محاولات عديدة حيث قدرت قيمة الاستطاعة الممتصة من طرف قضيب الليزر بـ: 55.1 واط وهي نتيجة قياسية بالمقارنة مع النتائج السابقة والتي تقدر بـ 43.6 واط سنة 2018، أما بالنسبة لتوزيع الشدة الضوئية الممتصة من طرف الوسط الفعال فقد كان منتظما وهذا ما تؤكد المقاطع الطولية والعرضية للوسط الفعال و بالتالي تم التقليل من ارتفاع درجة الحرارة والتي لها تأثير سلبي على كفاءة المنظومة الليزرية و انتاج حزمة ليزر ذات جودة عالية.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## الملخص

للحصول على الليزر المحفز بالطاقة الشمسية تعتمد طريقتي التحفيز الجانبي وعلى الأطراف، تؤدي الأولى إلى التوزيع المنتظم للأضواء المحفزة على كامل محيط الوسط الفعال، مما يؤدي إلى التقليل من أضرار التركيز الحراري على الوسط الفعال والحصول على حزمة ليزر ذات جودة عالية. بينما يترتب عن الثانية تركيز الأضواء المحفزة على نهاية الوسط الفعال، مما يترتب عنه توليد استطاعة ليزر عالية. تتطلب بعض التطبيقات الصناعية حزمة ليزر ذات جودة عالية لذا يتوجب في هذه الحالة استعمال الضخ الجانبي. يلعب شكل الدليل الضوئي دوراً رئيسياً في طريقة نشر الأضواء على الوسط الفعال. يتمتع الدليل الضوئي "Tapered light guide" بمخرج عريض بالمقارنة مع مدخله حيث يسمح هذا المخرج بتوزيع الأضواء بانتظام على كامل الوسط الفعال. أدت الأضواء النافذة من مخرج الدليل الضوئي إلى طاقة أضواء ممتصة موزعة بانتظام طولياً وعرضياً مقدرة بـ: 55.1 واط وهي نتيجة قياسية بالمقارنة مع النتائج السابقة.

**الكلمات المفتاحية:** الليزر المحفز بالطاقة الشمسية، التحفيز الجانبي، التحفيز على الأطراف، الوسط الفعال، الدليل الضوئي، استطاعة الليزر، جودة الليزر.

## Résumé

Pour les lasers pompés par énergie solaire, le milieu actif est pompé soit latéralement soit par le bout. Le pompage latéral conduit à une distribution uniforme de la lumière stimulante le long du milieu actif, ce qui réduit les dommages résultant de la concentration de la lumière sur une partie du milieu actif et à obtenir un faisceau laser de haute qualité, tandis que le pompage par le bout conduit à focaliser la lumière de pompage à l'extrémité du milieu actif ce qui se traduit par une génération de puissance laser élevée. Certaines applications industrielles nécessitent un faisceau laser de haute qualité, un pompage latéral est donc nécessaire. La forme du guide de lumière joue un rôle majeur dans la répartition de lumière sur le milieu actif. Le guide de lumière "Tapered light guide" a une large face de sortie par rapport à sa face d'entrée ce qui permet à la lumière d'être répartie uniformément sur tout le milieu actif. La lumière transmise par la sortie du guide de lumière a conduit à une puissance lumineuse absorbée uniformément répartie longitudinalement et transversalement par le milieu laser et estimée à: 55,1 watts, qui est un résultat record par rapport aux résultats précédents.

**Mots clé:** Lasers pompés par énergie solaire, pompage latéral, pompage par le bout, milieu actif, tapered light guide, puissance laser, qualité du laser.