



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي  
كلية العلوم الدقيقة

: الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

**ماستر أكاديمي**

:

: فيزياء

:

سويد ابتهال- عازب الشيخ ليلي

**دراسة مميزات نظام الليزر الشمسي وحيد النمط TEM<sub>00</sub> ذي التحفيز**

نوقشت يوم: 2022/06/14.

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا

مناقشا

مؤطرا

أستاذ محاضر ب

أستاذ

أستاذ محاضر أ

تيوه بلخير

رحومة فرحات

محلو السعيد

2022/2021:

أنجزت هذه المذكرة بمخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوية LEVRES

## إهداء:

"وأخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين"

بعد الحمد و الشكر لله الذي ما تم جُهد ولا خُتم سعيّ إلا بفضل  
وما تخطى العبد العقبات والصعوبات إلا بتوفيقه ومعونته عز وجل  
إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة النبي الأمي المختار- عليه أفضل الصلاة والسلام-  
أهدي ثمرة جهدي في عملي هذا:

لمن عندما يُذكر إنجاز الأبناء لا بد من ذكر تلك الشمعة التي كانت تتوهج لتحقيق هذا الإنجاز  
نعم للتي ضحت وسعت وتعبت وأضاءت الحياة والدرب بنورها  
إلى أمي حبيبتي وقرّة عيني أطال الله وبارك لي في عمرها.  
إلى من أحمل اسمه وكل طبعه بفخر، إلى من ربّي وعلم وأسند وساند  
إلى من أفتخر أن أكون ابنته، إلى والدي أدامه الله لي.  
إلى من كتب الله لي أن أتقاسم معه مر الحياة قبل حلوها  
وبكل الحب والوفاء وكلمات الشكر والثناء، إلى نصفي الثاني الذي أزرني وساندني.  
إلى أفراد أسرتي الصغيرة(إخوتي) وعائلتي الكبيرة التي كسبتها من كلية العلوم الدقيقة  
التي تركت في قلبي البصمة الجميلة التي لا تنسى.  
إلى أخواتي التي من تلدهن أمي  
إلى القلوب الطاهرة التي جمعتني بهن الحياة وكن نبع الإخاء والوفاء والإخلاص  
إلى صديقاتي اللاتي أشرف بصحبتهن وأسعد برفقتهن عسى الله أن يمد بصدقتنا للجنة.  
إلى زميلتي وصديقتي التي تقاسمت معها أجمل اللحظات لإنجاز هذا العمل.  
إلى من بهم تبنى الأجيال وتنهض الأمم،  
إلى كل من علمني حرفاً أسانذتي الأفاضل الذين رافقوني في مسيرتي العلمية  
وإلى من ساندنا في هذا العمل أستاذنا المؤطر "محلو السعيد".  
إلى كل من نسيهم قلبي ولم ينسأهم قلبي.

: "عازب الشيخ ليلي"

## الإهداء:

الحمد لله الذي بتوفيق منه وبفضل منه تمكنا من إنجاز هذه المذكرة

اهدي هذا العمل إلي:

كل طالب علم يسعى لكسب المعرفة وتزويد رصيده المعرفي العلمي والثقافي.

إلى من ساندتني في صلاتها ودعائها إلى من سهرت الليالي تنير دربي إلى:

أمي الغالية.

إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة إلى من سعى لأجل راحتي:

أبي العزيز.

إلى الذين ظفرت بهم هدية من الأقدار إخوتي وأخواتي:

وفاء، حسام، ربيعة، خولة، محمد اقبال وإلى براعم العائلة.

إلى كافة زملاء وزميلات الدراسة

واخص بالذكر زميلات المخبر: ليلى، عائشة، ابتسام، هاجر ومنال

كما أتقدم بجزيل الشكر للأستاذ (محمود السعيد) على الجهد المبذول.

إلى كل من كان لي خير عون في إنجاز هذا العمل.

الطالبة: سويد ابتهاج

## شكر وعرفان

الحمد لله الذي أعاننا على إتمام هذا العمل، فلولا توفيقه لما تحقق من ذلك شيء، وندعو الله أن ينفع به ويكون خالصاً لوجهه الكريم، وانطلاقاً من هديه - صلى الله عليه وسلم -

"من لا يشكر الناس لا يشكر الله"

فإنه لا يسعنا في المقام هذا إلا أن نتقدم بالشكر الجزيل لكليتنا التي حضنتنا هاته السنين، "كلية العلوم الدقيقة" بجامعة "الشهيد حمه نخضر" وكل القائمين عليها.

كما يطيب لنا أن نتقدم بخالص الشكر والتقدير للمشرف على هذه المذكرة الأستاذ الكريم "محلو السعيد" على ما حضينا به من مجهوداته وتوجيهاته ونصائحه في إثراء وإتمام هذا العمل على أكمل وجه ممكن، إذ لم يخل علينا بوقته وعلمه خلال فترة الإعداد لهذه الدراسة المتواضعة، فجزاه الله عنا خير الجزاء.

كما نشكر أعضاء اللجنة لمناقشتها هذه المذكرة بداية بالرئيس الأستاذ "تيوه بلخير"، والأستاذ "مرحومة فرحات" مناقشا، والأستاذ "محلو السعيد" مؤطرا.

ولا ننسى نصيب محبر استغلال وتمين المصادر الطاقوية الصحراوية وكل من قدم العون في إنجاز هذا العمل من الشكر.

وختاماً، يطيب لنا أن توجه بالشكر الجزيل لزملائنا الكرام، ونسأل الله أن يوفقنا وإياهم لما يحب ويرضاه، ويجعل عملنا هذا خالصاً لوجهه الكريم ونافعاً لكل من يطلب العلم والمعرفة.

## فهرس المحتويات

		الإهداء
i		
ii		فهرس المحتويات
iii		فهرس الأشكال
iv		
v		
2		
	: الطاقة الشمسية، المركزات و الموجهات	
5		1
5		2 الطاقة الشمسية
5		1.2 مفهوم الإشعاع الشمسي
5		2.2 التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي
6		3.2
7		4.2
7		1.4.2 المسافة الواصلة بين الأرض والشمس
7		2.4.2
7		3.4.2 زوايا سقوط الأشعة الشمسية
7		5.2 الزوايا الشمسية
7		1.5.2 زوايا خط العرض
7		2.5.2 زوايا الارتفاع الشمسية
8		3.5.2 زوايا الانحراف
8		4.5.2 زوايا سمت الشمسي
9		5.5.2 زوايا الساعة الشمسية
9		6.2
10		7.2
10		1.7.2
10		2.7.2
10		3.7.2
11		3
11		1.3 مفهوم المركزات الشمسية
11		2.3 طرق التركيز الشمسي
11		1.2.3 التركيز الخطي
11		2.2.3 التركيز النقطي
11		3.3 أنواع المركزات الشمسية
12		1.3.3
12		2.3.3 ( )
12		3.3.3 عدسات فرينل
13		4 الموجهات الضوئية
13		1.4 مفهوم الموجهات الضوئية
13		2.4 تصنيف الموجهات
13		1.2.4 موجهات ذات قرينة انكسار ثابتة
13		2.2.4 موجهات ذات قرينة انكسار متدرجة
13		3.2.4 موجهات مستوية
13		4.2.4 موجهات متوازية المستطيلات
13		5.2.4 موجهات اسطوانية
14		1.5.2.4 الألياف البصرية
14		2.5.2.4 الدليل الموجي
14		3.4 معادلات ماكسويل
15		5

: الليزر و الليزر الشمسي	
17	1
17	2 الليزر
17	1.2 تعريفه
17	2.2 خصائص الليزر
17	1.2.2 أحادية اللون
17	2.2.2
17	3.2.2 الاتجاهية
18	4.2.2
18	3.2 أهم متغيرات الليزر
18	1.3.2 استطاعة الليزر الشمسي
18	2.3.2 كفاءة التجميع
18	3.3.2 لمعان حزمة الليزر الشمسي
18	4.3.2
18	4.2 منظومة الليزر
18	1.4.2
18	1.1.4.2
19	2.1.4.2
19	3.1.4.2 حالة غازية
19	4.1.4.2 شبه موصل
19	2.4.2
19	3.4.2
19	5.2 آلية تفاعل-
20	1.5.2
20	2.5.2
21	3.5.2
21	6.2 مبدأ توليد الليزر
22	1.6.2
22	2.6.2 نظام ذو سويتين
22	3.6.2 نظام ذو ثلاث سويات
22	4.6.2 نظام ذو أربع سويات
23	3 الليزر الشمسي
23	1.3 تعريف الليزر الشمسي
23	2.3 اكتشاف و تطوير الليزر الشمسي
27	3.3 منظومة الليزر الشمسي
27	1.3.3 منظومة التركيز الأولية
27	1.1.3.3
27	2.1.3.3 منظومة التركيز الثانوية
27	2.3.3
28	1.2.3.3 نظام التبريد
28	2.2.3.3 التجويف البصري
28	3.3.3 التجويف الرنيني
28	4.3 طرق ضخ الليزر الشمسي
28	1.4.3 غير المباشر
28	2.4.3
28	1.2.4.3
28	2.2.4.3
29	5.3 أنماط الأشعة الكهرومغناطيسية في الليزر

29	1.5.3 الأنماط الطولية
29	2.5.3 الأنماط العرضية
30	TEM <sub>00</sub> 1.2.5.3
30	4
	: الليزر الشمسي،
33	1
33	2 الهدف
33	1.2 الإشكالية
33	3
33	1.3
34	2.3 لدليل الموجي
34	3.3
34	4.3
34	5.3 التجويف البصري
34	6.3 التبريد
34	4 المحاكاة العددية
34	ZEMAX تصميم منظومة الليزر الشمسي 1.4
35	(Sources) 1.1.4
35	2.1.4 العناصر البصرية الهندسية
36	(detectors) 3.1.4
36	4.1.4 تحليل طاقة الضخ الممتصة
36	LASCAD محاكاة التجويف الرنان لليزر الشمسي 2.4
36	1.2.4 تحليل العناصر المتناهية (FEA)
37	5 منظومة الليزر
37	1.5 منظومة التركيز الأولية
37	2.5 رأس الليزر
38	1.2.5 الدليل الموجي
38	2.2.5
39	3.2.5
39	4.3.5 التجويف البصري
40	5.2.5 التبريد
40	6.2.5
40	3.5 التحليل العددي لأداء منظومة الليزر الشمسي
40	ZEMAX 1.3.5
41	1.1.3.5 قياس طاقة الضخ
42	2.1.3.5 قياس الطاقة الممتصة من طرف الوسط الليزري وتوزعها
43	LASCAD 4.5
44	6
44	7
46	
48	

فهرس

6	التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي	(1.1)
6	طيف الإشعاع الشمسي	(2.1)
7	مدار الأرض حول الشمس	(3.1)
8	زاوية العرض وزاوية $(\alpha)$ الارتفاع الشمسي $(\beta)$	(4.1)
9	(أ) زاوية الانحراف، (ب) زاوية السميت	(5.1)
10	الزاوية الساعية الشمسية	(6.1)
11	أنواع الإشعاع الشمسي	(7.1)
12	طرق التركيز الشمسي	(8.1)
13	برج الطاقة الشمسية	(9.1)
13	(أ) مركز الصحن، (ب) مخطط لمركز الصحن	(10.1)
14	(أ) مخطط تركيز الأشعة الشمسية باستخدام عدسة فريزل، (ب) عدسة فريزل	(11.1)
15	أشكال الموجهات	(12.1)
18	خاصية الاتجاهية بين الضوء العادي والليزر	(1.2)
19	شكل توضيحي لمنظومة الليزر	(2.2)
20	أمثلة عن منظومة المرنان المكونة من مرأتان	(3.2)
21	آلية الامتصاص	(4.2)
22	آلية الانبعاث التلقائي	(5.2)
22	آلية الانتقال أو الانبعاث المحفز	(6.2)
24	رسم تخطيطي لنظام ذو ثلاث سويات	(7.2)
24	رسم تخطيطي لنظام ذو أربع سويات	(8.2)
25	(أ) رسم تخطيطي لجهاز الليزر الياقوتي، (ب) صورة أول ليزر ياقوتي لميمان	(9.2)
26	متتبع شمسي به مرآة كروية بقطر 61cm	(10.2)
26	مخطط لرأس الليزر أثناء تسليط الأشعة	(11.2)
27	مخطط لنظام التركيز الشمسي	(12.2)
27	تصميم رأس لليزر Nd:YAG	(13.2)
28	نظام الليزر الشمسي لاستخراج طاقة الليزر المستقرة $TEM_{00}$	(14.2)
28	مكونات رأس الليزر الشمسي	(15.2)
29	منظر أمامي وجانبي لرأس الليزر الشمسي مع مرآة حماية مع دليل ضوئي عبارة عن عدسة من السيليكا وتجويف الضخ المخروطي	(16.2)
30	رسم تخطيطي يوضح عملية الضخ على الطرف	(17.2)
31	رسم تخطيطي يوضح عملية الضخ الجانبي	(18.2)

31	انعكاسات الموجة داخل المرنان	(19.2)
32	أنواع الوضع الكهرومغناطيسي المستعرض TEM	(20.2)
35	واجهة برنامج ZEMAX	(1.3)
37	عناصر منظومة الليزر الشمسي	(2.3)
38	(أ) أبعاد المركز الأولي، (ب) تركيز الأشعة بواسطة مركز شمسي	(3.3)
39	رسم تخطيطي لرأس الليزر	(4.3)
39	رسم تخطيطي يوضح شكل الدليل الموجي	(5.3)
40	رسم تخطيطي للمركز الثاني	(6.3)
40	رسم تخطيطي للوسط الفعال	(7.3)
41	رسم تخطيطي للتجويف البصري	(8.3)
41	رسم تخطيطي لحوض التبريد	(9.3)
42	مقطع عرضي يوضح الأشعة الشمسية المركزة عند البؤرة	(10.3)
43	مقطع عرضي يوضح الأشعة عند مخرج الدليل	(11.3)
44	توزيع طاقة الضخ الممتصة من طرف الوسط الفعال	(12.3)
44	نتيجة الاستطاعة الممتصة الكلية باستخدام برنامج EXCEL	(13.3)
45	تمثيل المرنان الذي يمكن من تحديد خصائص الليزر وحيد النمط (النمط الأساسي)	(14.3)
45	شكل حزمة الليزر المنبعثة	(15.3)

المقادير الفيزيائية		
[eV]	E	
[1/s]		
[m]	$\lambda$	
[ J.s ]	h	
[m/s]	c	
[W/m <sup>2</sup> ]	I	
[Jour]	N	رقم اليوم من السنة
[m]	D	الواصلة بين
[°]	$\alpha$	زاوية خط العرض
[°]	d	زاوية الانحراف (ميل الشمس)
[°]	$\omega$	زاوية الساعية
[°]	$\gamma$	زاوية سمت الشمسي
[h]	ST	
[ W/m <sup>2</sup> ]	I <sub>h</sub>	
[ W/m <sup>2</sup> ]	D <sub>h</sub>	
[ W/m <sup>2</sup> ]	G <sub>h</sub>	
[A/m <sup>3</sup> ]	J	كثافة التيار الكهربائي في الفراغ
[ C/m <sup>3</sup> ]		الكهربائية في الفراغ
/	E <sub>1</sub> ,E <sub>2</sub>	مستويات الذرة
/	N <sub>1</sub> ,N <sub>2</sub>	يات 1 2
/	W <sub>12</sub>	
[m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> .j]	B <sub>12</sub>	معامل اينشتاين للامتصاص المحثوث
[j.s/m <sup>3</sup> ]	$\rho_v$	
[ 1/s <sup>2</sup> ]	A <sub>12</sub>	معامل ايند اين للإصدار التلقائي
[m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> .j]	B <sub>21</sub>	معامل اينشتاين للإصدار المحفز
/	W <sub>21</sub>	
[J/K]	k	
[K]	T	
	r	السعة المنعكسة على المرآتين
/	$\phi$	طور الأمواج الطولية داخل المرنان

الإنجليزية	العربية
Solar Energy	الطاقة الشمسية
Solar Radiation	
Large_Scale	
Frequence	
Wavelength	
Speed of light	
Spectrum allocations	التوزيع الطيفي
Ultraviolet Domain	
Visible Domain	
Infra_red Domain	
The solar constant	
Earth's atmosphere	
Intens solar radiation	
Angle of incidence	زاوية السقوط
Latitude angle	زاوية خط العرض
Altitude angle	زاوية الارتفاع الشمسي
The angle of deviation(inclination)	زاوية الانحراف أو الميل الشمسي
Azimuth angle	زاوية السمات الشمسي
Hour angle	الزاوية الساعية
Local time	
Solar time	
Direct radiation	
Diffuse radiation(Reflex)	( )
General Radiation( Incoming)	( )
Absorption	
Diffusion the radiation	
Solar concentrators	المركزات الشمسية

Linear concentration	التركيز الخطي
Dot concentration	التركيز
Photographic concentrations	المركزات التصويرية
Non_Photographic concentrations	المركزات غير التصويرية
Power Pylons	
Solar Dish Center	( )
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	
Collect Sunlight	تجميع الأشعة الشمسية
Redirects Sunlight	توجيه الأشعة
LASER	الليزر
Monochrome Light	أحادية اللون
Time and Spatial Coherence	
Directionality	الاتجاهية
Narrow Scale	ضيق النطاق
Brightness	( )
Possibility	
Assembly Efficiency	كفاءة التجميع

Shape transaction	
Effective medium	
Resonator	
Pumping	
Spontaneous emission	
Stimulated emission (catalyst)	( )
Potential to confuse	
Einstein's coefficient of absorption	أنشتاين لـ
Level Housing	
Incoming radiation energy density	
Einstein's spontaneous emission factor	أنشتاين للانبعث التلقائي
Einstein's stimulated emission factor	معامل أنشتاين للانبعث المستحث
Probability of induced release	
Laser generation	توليد الليزر
Population inversion	
Excited State	
Steady State	
Solar Laser	الليزر الشمسي
Primary Focus system	منظومة التركيز الأولية
Tracking System	
Single Axis Tracker	
Dual Axis Tracker	
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	
Terminal Pumping	
Lateral Pumping	
Electromagnetic patterns	الأنماط الكهرومغناطيسية
Longitudinal patterns	الأنماط الطولية
Reflective Amplitude	
Transverse patterns	( ) الأنماط العرضية
Multi Mode	
Basic Mode (Gaussian)	( )
Amplification	التضخيم
Finite Element Analysis (FEA)	تحليل العناصر المتناهية
Reflectivity	الانعكاسية
Bend Radius	
Diffraction	
Saturation gain	
Laser head	الليزر
Focus	
Reflective mirror	
Concentrated energy	
Surface Detector	
Volumetric Detector	
Volumetric Dot(Voxel)	حجمية (فوكسيل)
Absorbed energy	
Emitted energy	
Yield	
Damage	
Numerical Simulation	المحاكاة العددية

# المقدمة العامة

:

تعتبر الطاقة الشمسية المتجدد غير النفوذ الذي استغله منذ القدم في نشاطه اليومي كالتسخين، التدفئة، التجفيف وغيرها من احتياجاته اليومية، لكونها دائمة، نظيفة، صديقة للبيئة. مع تطور و تقدم التكنولوجيا عبر العصور أصبحت الشمسية الخيار لتوفير الاحتياجات الطاقوية المتزايدة للعالم سواء كانت طاقة كهربائية عن طريق الخلايا الكهروضوئية، أو طاقة حرارية بواسطة المجمعات الشمسية، ... و في الآونة الأخيرة هاته الطاقة بتقنيات تسمح بإنتاج ضوء الليزر استخدامه مهما في العديد من المجالات الطبية، العسكرية، الصناعية، ... .

الليزر 1917 لعالم ألبرت إنشتاين عندما أثبت إمكانية  
( ) ه أول أساس لإيجاد نوع جديد من  
لي غاية عام 1960 حيث  
جهاز ليزر من طرف العالم ثيودور ميمان في مختبرات بحوث هيوز، يُ وسطه الفعال  
المصابي . إنتاج الليزر  
للضخ في جهاز الليزر لكونه مصدر طاقة متوفر و رخيص الثمن  
1966 تم الإعلان على أول ليزر شمسي Nd:YAG  
1W ن على تحسين الليزر 18 W [1] 1984 .

يعتمد ضخ الوسط الفعال في الليزر الشمسي على طريقتين أساسيتين :  
، حيث باستخدام هاتين الآليتين زيادة  
كفاءة الليزر الشمسي أين شدة سطوعه ( الليزر )  
6.5 W 2017 كفاءة تجميعه ( ي )  
32.1W/m<sup>2</sup> 2018 . تكون أشعة الليزر المنبعثة داخل التجويف الرنيني للمنظومة  
ذات نمط وحيد و في السنوات الأخيرة  
أشعة ليزر أحادية النمط ( TEM<sub>00</sub> ) لتمييزها بالشكل الغاوسي و استحواذه  
كبر نسبة من الاستطاعة الكلية لليزر المنبعث [2].

لهدف في هذ دراسة منظومة ليزر شمسي وحيد النمط TEM<sub>00</sub> ذي التحفيز الذي يتميز ب توزيع للاستطاعة الشمسية المركزة على طول الوسط الفعال حيث تمكن هذه الريقة من تفادي ارتفاع درجة حرارته و التي قد تؤدي إلى تلف هذا الأخير تمكن هذه الطريقة أيضا من الحصول على شعاع ليزر أحادي النمط ذو جودة عالية)  
(. تحتوي هذه المذكرة على ثلاث فصول :

: فيه دراسة عامة حول الطاقة الشمسية، تركيزها و توجيهها.

: فيه المبادئ العامة لليزر و الليزر الشمسي)  
الأنماط المنبعثة منه).

---

: صص للمحاكاة العددية باستخدام برنامج ZEMAX  
الوسط الفعال بتقنية الضخ الجانبي  
LASCAD حساب استطاعة الليزر و كذا تحديد شكل الحزمة .

# الفصل الأول:

الطاقة الشمسية، المركبات  
والموجهات

## 1 المقدمة:

في رحلة بحث الإنسان عن طاقات جديدة بديلة للطاقات التقليدية المعروفة بضررها العالي للبيئة وكميتها المحدودة، وجد العديد من الطاقات المتجددة وأهمها الطاقة الشمسية، الناتجة من النجم الأقرب للأرض. تتكون الشمس من غاز الهيدروجين وغاز الهليوم وعناصر أخرى بنسب ضئيلة . حيث عند حدوث تفاعل الاندماج النووي لأربع ذرات من الهيدروجين لتصبح ذرة هليوم تولد لدينا الطاقة الشمسية المنبعثة في جميع الاتجاهات لتخترق الغلاف الجوي و تُمتص من طرف سطح الأرض بنسب مختلفة قصد الاستفادة أكثر من هذه الطاقة استعملت مركزات وموجهات للأشعة الشمسية لتجميعها وتحويلها إلى طاقات بديلة .

## 2. الطاقة الشمسية

### 1.2 مفهوم الإشعاع الشمسي:

هو إشعاع كهرومغناطيسي مكون من تدفق فوتونات ذات محتوى طاقي مختلف تبثه الشمس في جميع الاتجاهات. تعطى عبارة طاقة الفوتون بدلالة توتره أو طوله الموجي كالآتي [3]:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1)$$

حيث :

h: ثابت بلانك وتقدر قيمته بـ  $6.626 \times 10^{-34}$  J.s.

v : التوتر ووحدته 1/s.

$\lambda$ : الطول الموجي ووحدته m.

c : سرعة الضوء تقدر بـ  $3 \times 10^8$  m/s.

### 2.2 التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي:

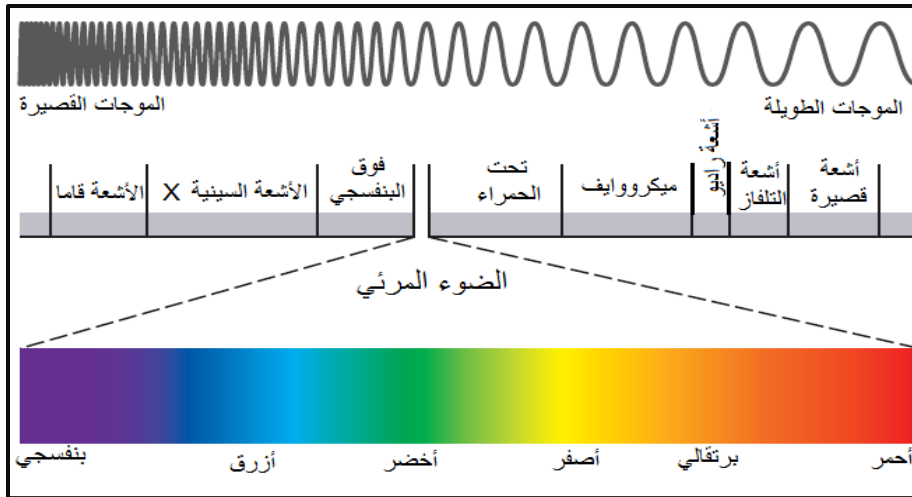
يكون الإشعاع الصادر من الشمس عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية تصنف حسب الطول الموجي، تكون معظم الأطوال الموجية في المجال  $[0.25, 4]$   $\mu\text{m}$ ، [3]. حيث أن الإشعاع الشمسي يحاكي إشعاع الجسم الأسود في درجة الحرارة 5800 K [4] .

إذ ينقسم توزيع الطاقة إلى [5]:

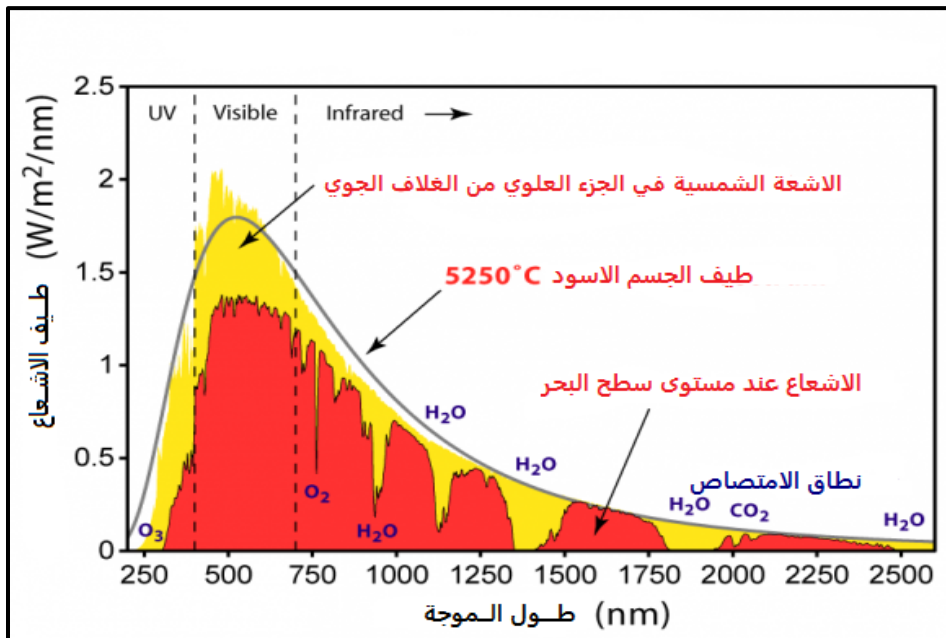
المجال فوق البنفسجي  $[0.25, 0.4]$   $\mu\text{m}$  بـ 6.4%.

المجال المرئي  $[0.4, 0.8]$   $\mu\text{m}$  بـ 48%.

المجال تحت الأحمر  $[0.8, 4]$   $\mu\text{m}$  بـ 45.6%.



الشكل (1.1): التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي [6].



الشكل (2.1): طيف الإشعاع الشمسي [6].

### 3.2 الثابت الشمسي:

هو شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على المستوى العمودي لاتجاه الأشعة، موجود خارج الغلاف الجوي للأرض، ويتغير الثابت بتغير الوقت من السنة بسبب تغير المسافة بين الأرض والشمس، إذ أن القيمة المستعملة في معظم المصادر للثابت الشمسي هي  $1367 \text{ W/m}^2$ ، ويحسب خلال أي وقت من السنة كالتالي [7]:

$$I = 1367 \left( 1 + 0.033 \times \cos\left(\frac{360}{365} \times N\right) \right) \quad (2.1)$$

حيث:

N : رقم اليوم من السنة .

I: شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي.

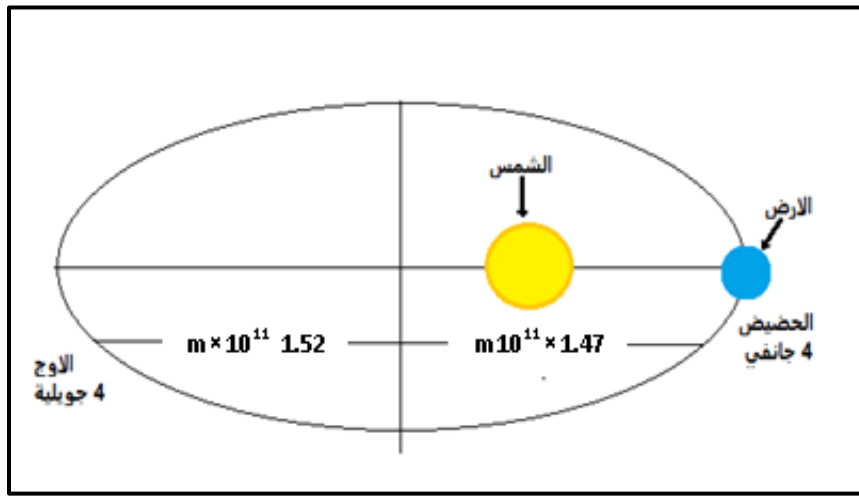
## 4.2 العوامل المؤثرة على الإشعاع الشمسي:

للإشعاع الشمسي الساقط على الأرض شدة تتأثر بعدة عوامل أهمها:

### 1.4.2 المسافة الواصلة بين الأرض والشمس:

تختلف شدة الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض حسب اقتراب أو ابتعاد الأرض من الشمس وذلك حسب اليوم من السنة من خلال العبارة التالية [8]:

$$D = 1 - 0.017 \cos\left(\frac{360(N-2)}{365}\right) \quad (3.1)$$



الشكل (3.1): مدار الأرض حول الشمس [6].

### 2.4.2 الغلاف الجوي:

للغلاف الجوي عدة طبقات لكل طبقة سمك ومكونات مختلفة عن الأخرى، وهذا ما يغير في مسار وشدة الإشعاع الشمسي المخترق للغلاف الجوي من خلال ظاهرتي الانعكاس والامتصاص [4].

### 3.4.2 زاوية سقوط الأشعة الشمسية:

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الأرض بحركة دوران الأرض اليومية حول محورها، و حركتها الدورانية السنوية حول الشمس حيث أن هاتين الحركتين تحددان الزاوية التي يسقط بها الإشعاع الشمسي على موقع ما من الأرض حيث [9]:

- تبلغ شدة الإشعاع الواصل أقصاها عندما تسقط بزاوية عمودية فوق سطح الأرض [4].
- كلما زادت زاوية سقوط الأشعة انخفضت نسبة الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض.

## 5.2 الزوايا الشمسية:

1.5.2 زاوية خط العرض  $\alpha$ : وهي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بنقطة من سطح الأرض ومركزها وإسقاطه على مستوى الاستواء، تنحصر قيمتها في المجال  $[\pi/2; \pi/2]$  [7].

2.5.2 زاوية الارتفاع الشمسي  $\beta$ : تعرف زاوية الارتفاع الشمسي على أنها الزاوية في المستوى العمودي بين أشعة الشمس ومسقط تلك الأشعة على سطح الأرض. يمكن حسابها من المعادلة التالية [7]:

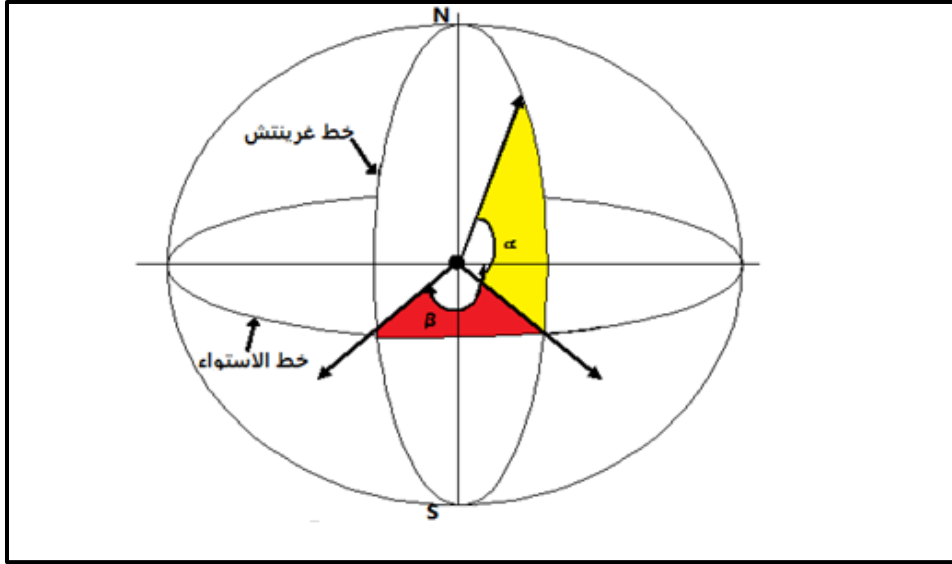
$$\beta = \sin^{-1}(\cos(d) \times \cos(\alpha) \times \cos(\omega) + \sin(d) \times \sin(\alpha)) \quad (4.1)$$

حيث:

الزاوية الساعية  $\omega$

زاوية الانحراف  $d$

زاوية العرض  $\alpha$



الشكل (4.1): زاوية العرض ( $\alpha$ ) وزاوية الارتفاع الشمسي ( $\beta$ ).

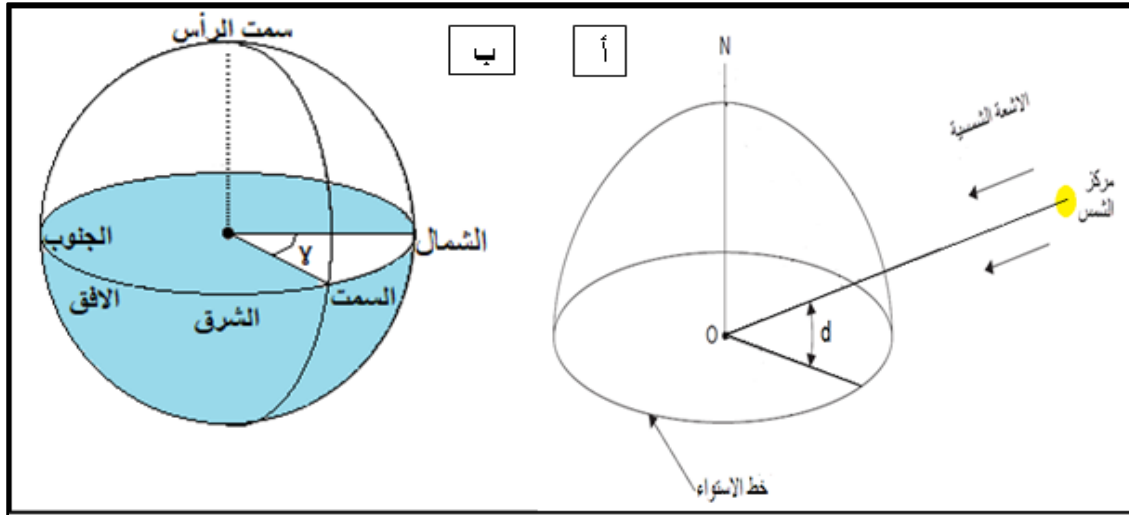
3.5.2 زاوية الانحراف أو ميل الشمس  $d$ : تمثل الزاوية بين أشعة الشمس و المستوى المار بخط الاستواء. وهي مقياس لتغير موقع الشمس بالنسبة للفصول خلال السنة وتحسب قيمها بدقة وفق المعادلة الآتية [7]:

$$d = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{370}(N - 80)\right] \quad (5.1)$$

$N$ : رقم اليوم في السنة.

4.5.2 زاوية سمت الشمس  $\gamma$ : وهي الزاوية الواقعة بين الجنوب ومسقط الخط الواصل بين مركز الشمس ونقطة معينة من الأرض على المستوى الأفقي. يمكن حساب قيمتها بالمعادلة التالية [7]:

$$\tan \gamma = \frac{\sin(h)}{\sin(\alpha) \times \cos(h) - \cos(\alpha) \times \tan(d)} \quad (6.1)$$



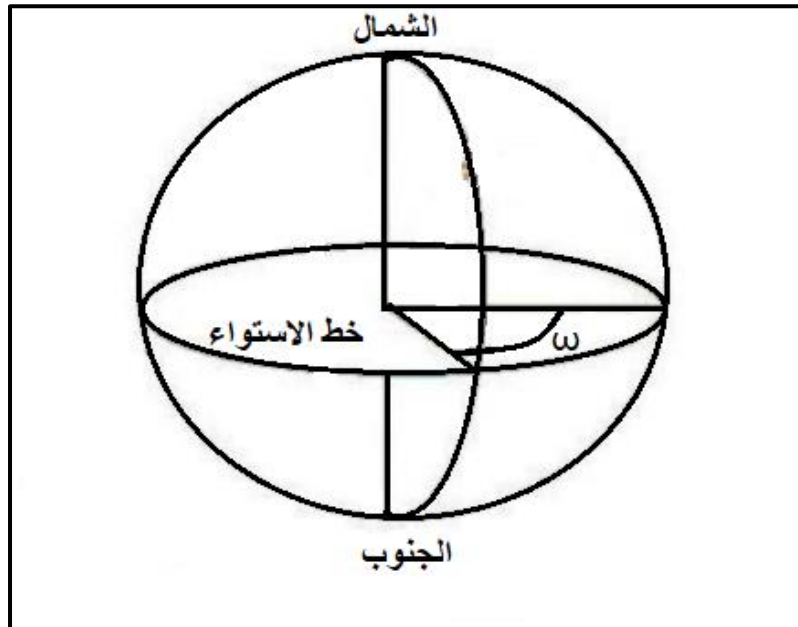
الشكل (5.1): (أ) زاوية الانحراف، (ب) زاوية سمت [6].

5.5.2 زاوية الساعة الشمسية  $\omega$ : تسمى أيضا بالزاوية الساعية، وهي الزاوية المحصورة بين مسقط الخط الواصل بين مركز الأرض و مركز الشمس، وتمثل مقياس الوقت في اليوم خلال السنة. تستخرج قيمة الزاوية الساعية بالمعادلة الآتية [7]:

$$\omega = \frac{360}{24} [ST - 12] \quad (7.1)$$

حيث:

ST: الوقت الشمسي.



الشكل (6.1): الزاوية الساعية الشمسية.

## 6.2 الوقت الشمسي والوقت المحلي:

خط غرينتش هو خط الطول الذي قيمته صفر حيث عند منتصف الليل هي الساعة الصفر 0 وعند منتصف النهار الساعة الثانية عشر 12، حيث يُحدد الوقت المدني المحلي بخط الطول للمنطقة وبعده عن خط غرينتش والفرق هو أربع دقائق، اليوم المدني المحلي هو 24 ساعة بالضبط أما التوقيت الشمسي ليس كذلك لأن محور دوران الأرض نحو الشمس ليس دائري مضبوط [7].

معادلة الوقت = التوقيت الشمسي- التوقيت المدني المحلي

## 7.2 أنواع الإشعاع الشمسي:

**1.7.2 الإشعاع المباشر:** وهو ما يصل إلى سطح الأرض من الإشعاع الشمسي دون تأثره بعوامل الامتصاص و الانتشار [10]، يرمز له بـ:  $I_h$

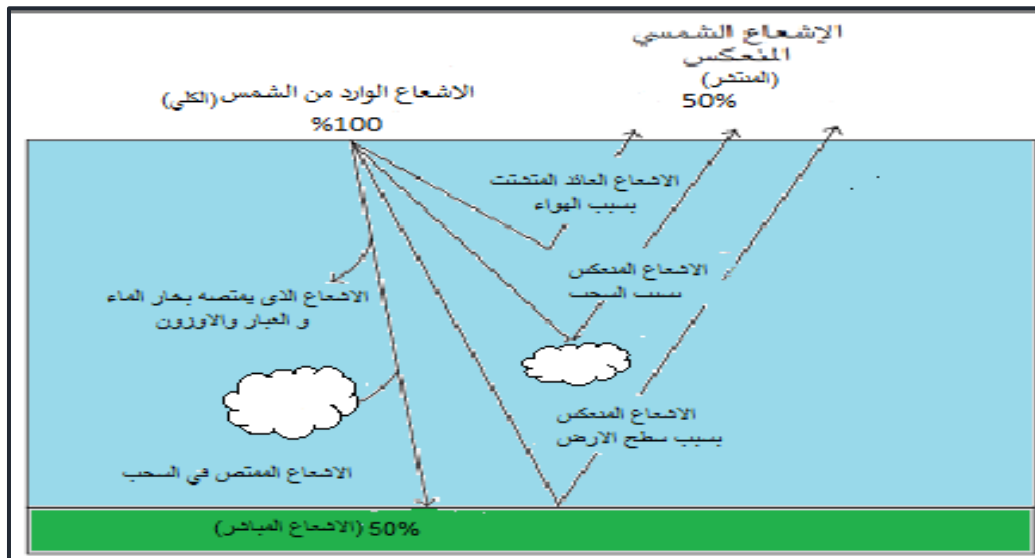
**2.7.2 الإشعاع المنتشر:** هو الجزء الذي يصل إلى سطح الأرض من الإشعاع الشمسي بعد تأثره بعوامل الامتصاص والانتشار كالسحب، بخار الماء، الهواء والغبار في الجو [10]. يرمز له بـ:  $D_h$

**3.7.2 الإشعاع الكلي:** هو مجموع الإشعاع المباشر والمنتشر مهما كان اتجاهه [10]. يرمز له بـ:  $G_h$ . تعطى عبارة الإشعاع الكلي كالتالي (7.1):

$$G_h = I_h \cdot \sin \beta + D_h \quad (8.1)$$

حيث:

$\beta$ : زاوية الارتفاع الشمسي.



الشكل (7.1): أنواع الإشعاع الشمسي.

وصول الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض يكون في مجال واسع ومشتت وهذا ما أدى إلى استخدام المركزات الشمسية لتضييق مجال سقوط الإشعاع على الوسط المستقبل له.

## 3. المركزات الشمسية

### 1.3 مفهوم المركزات الشمسية:

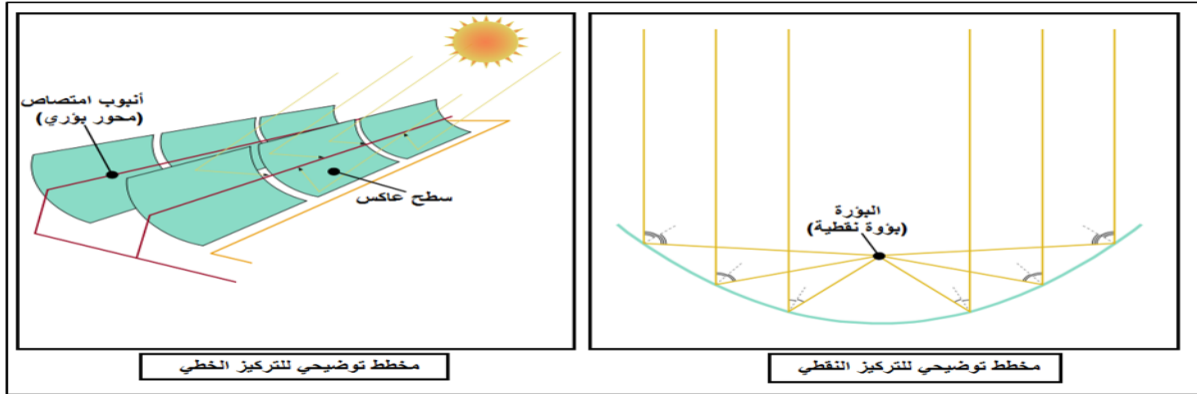
هي أجهزة تُجمع وتُركز الإشعاع الشمسي لتحويلها إلى طاقات مختلفة، وذلك لزيادة شدة الطاقة الشمسية الواردة [6].

### 2.3 طرق التركيز الشمسي:

يُركز الإشعاع الشمسي الوارد إلى بطريقتين تتمثل في:

**1.2.3 التركيز الخطي:** حيث يتم تركيز الإشعاع الشمسي المباشر خطيا بواسطة عاكس على سطح أنبوب خاص مثبت في محور بؤري، و يستخدم هذا التركيز عادة في أوساط واسعة الأبعاد نوعا ما [11].

**2.2.3 التركيز النقطي:** يتم فيه تركيز الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح عاكس في نقطة تسمى البؤرة. عموما يُستعمل في وسط تركيز ذو أبعاد قصيرة [11].



الشكل (8.1): طرق التركيز الشمسي [12].

### 3.3 أنواع المركزات الشمسية:

هناك صنفين للمركزات، التصويرية وغير التصويرية [6]:

**التصويرية:** يهتم هذا النوع من المركزات بالصورة المشكلة على المستقبل من طرف المركز، يكون المستقبل صغيرا لتحقيق تجانس معين في التركيز ومنه يكون معدل التركيز عالي.

**غير تصويرية:** لا تهتم هاته المركزات بالصورة المشكلة على المستقبل الذي يمكن أن يكون كبيرا ومتجانس، يكون معدل التركيز أقل من معدل تركيز المركزات التصويرية.

تتيح العديد من أنواع المركزات الضوئية زيادة تدفق الإشعاع إلى المستقبلات، بالنسبة للمركزات

التصويرية، يمكن أن تكون "اسطوانية" لتركيز الأشعة في "خط"، أو دائرية لتركيزها في "نقطة" [6].

بينما بالنسبة لغير التصويرية، قد تكون مجوفة في شكل الامتصاص الطويل أو مخروطية في شكل الامتصاص الدائري [6].

بما أن أبعاد الوسط المستعمل في هذه الدراسة صغيرة لهذا سيتم استعمال المركزات النقطية ونذكر منها:

### 1.3.3 أبراج الطاقة :

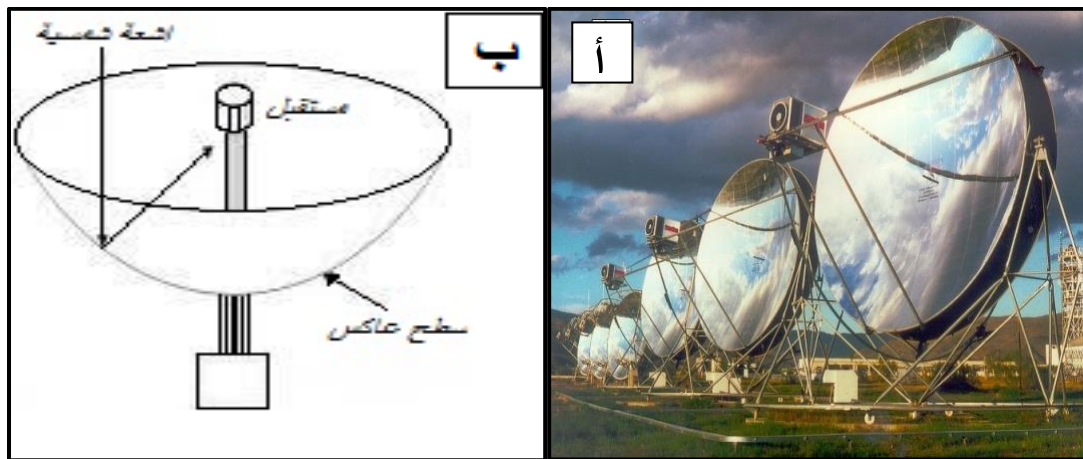
تتكون منظومة أبراج الطاقة من حقل به أجهزة التقاط أشعة الشمس، تعمل على تركيز الإشعاع الشمسي إلى المستقبل في قمة البرج، حيث تكون أجهزة الالتقاط عبارة على مجموعة كبيرة من المرايا [9] كما يوضح الشكل (9.1):



الشكل (9.1): برج الطاقة الشمسية [13].

### 2.3.3 مركز الصحن الشمسي (ذو القطع المكافئ):

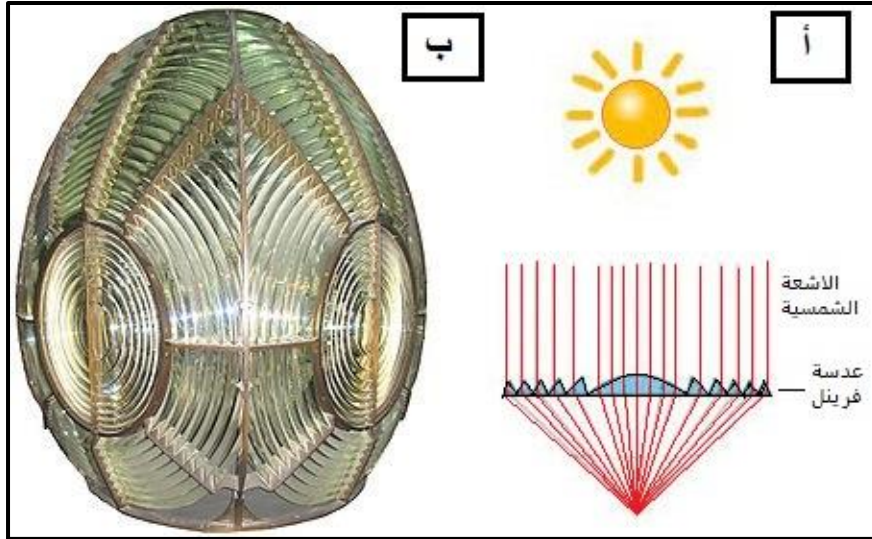
يتكون بشكل عام من سطح عاكس و سطح مستقبل، حيث أن السطح العاكس عبارة على مجموعة مرايا تقوم بتركيز أشعة الشمس على نقطة بؤرية [14]، كما يوضح الشكل (10.1):



الشكل (10.1): (أ) مركز الصحن [13]، (ب) مخطط لمركز الصحن.

### 3.3.3 عدسات فريزل:

عدسات مستوية تجمع الأشعة الشمسية وتركزها باتجاه السطح المستقبل. تكون هذه العدسات ذات بعد بؤري قصير [7]، كما يوضح الشكل (11.1):



الشكل (11.1): (أ) مخطط تركيز الأشعة الشمسية باستخدام عدسة، (ب) فرينل عدسة فرينل [15].

الوسط المستقبل للأشعة الشمسية أحيانا يكون مباشرة بعد المركز الشمسي أو يكون على بعد معين منه، في هذه الحالة يجب توجيه هاته الأشعة لإيصالها للوسط المستقبل بواسطة ما يسمى بالموجهات الضوئية.

#### 4. الموجهات الضوئية

##### 1.4 مفهوم الموجهات الضوئية:

تتمثل الموجهات الضوئية في الأنظمة العازلة كهربائيا المستعملة في احتباس الموجة الضوئية وتحديد مسارها، منها موجهات مستوية وأخرى ذات ثلاث أبعاد (قناة موجه) [16].

##### 2.4 تصنيف الموجهات:

تصنف الموجهات الضوئية حسب قرينة الانكسار إلى:

**1.2.4 موجهات ذات قرينة انكسار ثابتة:** إذ تكون قرينة الانكسار في هذا النوع ثابتة بالنسبة إلى الاتجاه العرضي لانتشار الضوء، حيث تنتقل الموجة الضوئية داخلها بمبدأ الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسط متخذة في ذلك مسارا منكسرا [16].

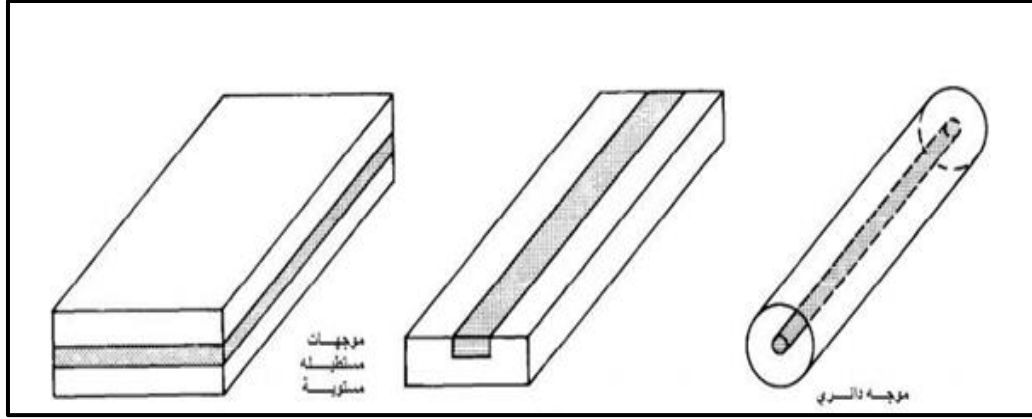
**2.2.4 موجهات ذات قرينة انكسار متدرجة:** إذ تنتشر الموجة في هذا الوسط الذي تكون خواصه متغيرة من نقطة إلى أخرى، حيث منحني قرينة الانكسار يكون متغير بالنسبة إلى الاتجاه العرضي للانتشار، حيث تتخذ الموجة في هذا النوع من الموجهات مسارا منحنيا [16].

كما تصنف الموجهات أيضا على حسب الشكل إلى :

**3.2.4 موجهات مستوية:** هي عبارة عن مادة من الزجاج ذات شكل مستوي حيث تنتشر الأضواء بداخله (دليل موجي) [17].

**4.2.4 موجهات متوازية المستطيلات:** وهي عبارة على نواقل ذات مقطع مستطيل [17].

**5.2.4 موجهات أسطوانية:** هي عبارة عن نواقل ذات مقطع دائري، وتعتبر الألياف البصرية أحد هذه الموجهات [17].



الشكل (12.1): أشكال الموجهات [17].

**1.5.2.4 الألياف البصرية:** تتركب من مادة الزجاج غير مطعم ، يستخدم لنقل الإشارة الضوئية (الليزر) من نقطة إلى أخرى دون فقدانها أو إتلافها [17].

#### 2.5.2.4 الدليل الموجي:

يكون الدليل من زجاج السيليكا الذي يمتاز بنقاوة بصرية عالية جدا وشفافيته للطول الموجي، يتمثل دور الدليل الموجي في نقل الأشعة المركزة من البؤرة إلى الوسط الفعال.

يخضع انتشار الأضواء داخل الموجهات (الأدلة الضوئية) لمعادلات ماكسويل

#### 3.4 معادلات ماكسويل:

معادلات ماكسويل هي معادلات تحدد خصائص الحقول الكهربائية والمغناطيسية في الأوساط المادية وهي أربع معادلات وتكتب كالتالي [16]:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (9.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (10.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (11.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = \vec{j} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (12.1)$$

$\vec{D}$ ،  $\vec{E}$  يمثلان شعاع الحقل الكهربائي والتحريض الكهربائي.

$\vec{B}$ ،  $\vec{H}$  يمثلان شعاع الحقل المغناطيسي والتحريض المغناطيسي.

$\vec{j}$  كثافة التيار الكهربائي في الفراغ.

$\vec{\rho}$  كثافة الشحنة الكهربائية في الفراغ.

حيث تعطى معادلة الموجة في الفراغ:

$$\Delta \vec{E}(r, t) = -\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (13.1)$$

$$\Delta \vec{B}(r, t) = -\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{B}(r, t)}{\partial t^2} = 0 \quad (14.1)$$

## 5. الخاتمة:

بدا استغلال الطاقة الشمسية مهما و ضروريا لإنتاج طاقة بديلة وجديدة تنفع العالم وتطوره. وهذا ما تم توضيحه في هذا الفصل، إذ تم شرح المفاهيم الأساسية للإشعاع الشمسي و كيفية استثمار الأشعة الواردة لسطح الأرض عن طريق استخدام المركبات و الموجهات الشمسية التي تعمل على تجميع هذه الأشعة وتوجيهها نحو المستقبل ليتم استغلالها بأشكال مختلفة منها إنتاج الليزر، وهذا ما سيتم التطرق إليه في الفصل القادم.

# الفصل الثاني:

الليزر و الليزر الشمسي

## 1 المقدمة:

الليزر نوع من أنواع الأضواء له خصائص فريدة تميزه عن غيره من الأضواء، و هذه الخصائص التي يملكها شعاع الليزر هي التي جعلته يدخل في كثير من المجالات المختلفة كالطبية، العسكرية، الصناعية والفنية. يحتاج الليزر لطاقة ضخ، إذ أستخدمت العديد من الطاقات للضخ كالتقوية الكهربائية، الكيميائية، الحرارية والضوئية و هي طاقات كمياتها و مصادرها محدودة كما أنها مكلفة ، لهذا سعى العلماء للبحث عن مصادر اقل تكلفة و أكثر توفر، فوجدوا أن الشمس مصدر رئيسي للطاقات، متوفر، متجدد ومجاني، فيمكن استخدامه كوسيلة ضخ. وهذا ما سيتم دراسته في هذا الفصل وما سيتم التطرق إليه حول الليزر والليزر الشمسي.

## 2 الليزر

### 1.2 تعريفه:

(Laser) هو اختصار (Radiation by Stimulated Emission of Light Amplification) ويعني تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع، وهو منظومة بصرية يتم تنشيطها بواسطة مصدر طاقة خارجي ، تُنتج شعاعاً أحادي اللون متكون من موجات مترابطة ومتوازية في اتجاه معين لتشكل حزمة ذات نطاق ضيق [6].

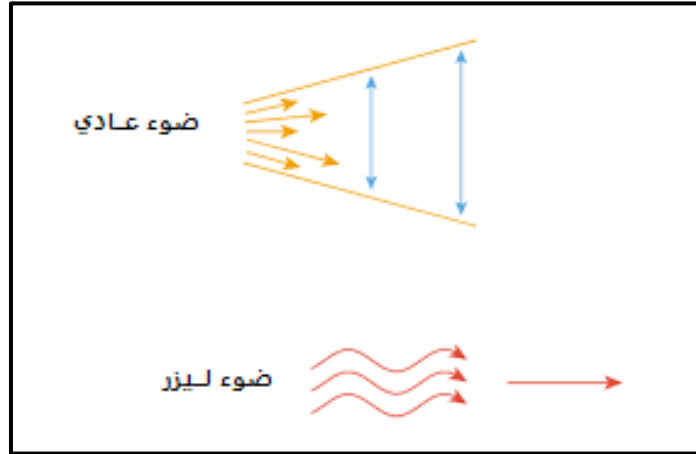
### 2.2 خصائص الليزر:

لليزر خواص تميزه عن بقية الأضواء تتمثل في:

**1.2.2 أحادية اللون:** لضوء الليزر مجال طيفي ضيق يمكن اعتباره كطول موجي واحد ينتج عنه تردد مفرد ونقي [18].

**2.2.2 الترابط:** الضوء المنبعث من الليزر مترامن أي أن الفوتونات المنبعثة لها فرق طور محدد ومتوافق مع بعضها، ويكون هذا الترابط زماني ومكاني. حيث الليزر هو المصدر الضوئي الوحيد الذي يمتلك هذه صفة من الترابط [14].

**3.2.2 الاتجاهية:** هي انتشار حزم ضوئية متوازية باتجاه واحد ولمسافات طويلة ضمن نطاق ضيق حيث يكاد التشتت والتفرق معدوماً في حزمة ضوء الليزر [14]، الشكل (1.2).



الشكل(1.2): خاصية الاتجاهية بين الضوء العادي والليزر.

**4.2.2 السطوع:** هو شدة ضوئية عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق يمكن تعريضها حسب الحاجة بواسطة البصريات المناسبة ويمكن تركيزها في بقعة صغيرة جدا تملك قدرة كثافة هائلة. يمكن تعريف الشدة أيضا بكثافة قدرة شعاع الليزر في وحدة المساحة [14].

### 3.2 أهم متغيرات الليزر:

لليزر عدة متغيرات تتمثل أهمها في الاستطاعة، كفاءة التجميع، شدة سطوعه و معاملات الشكل لحزمة ، المعرفة كالتالي[6]:

#### 1.3.2 استطاعة الليزر الشمسي: وتعطى بوحدة الواط W.

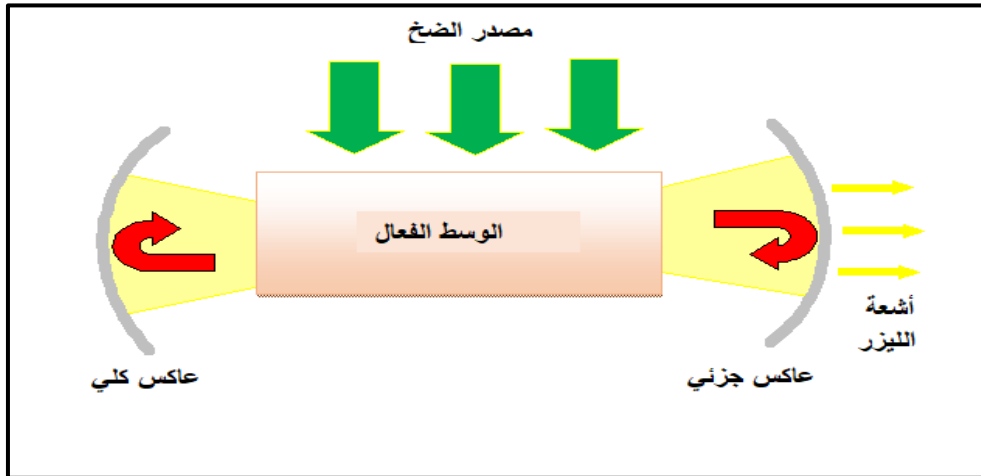
**2.3.2 كفاءة التجميع:** تعرف على أنها طاقة الليزر المنبعثة لكل وحدة مساحة من المركز الأولي، وهي تعبر عن كفاءة منظومة الليزر و تعطى بوحدة  $W/m^2$ .

**3.3.2 لمعان حزمة الليزر الشمسي:** يعطى بحساب النسبة بين طاقة الليزر الصادر وجراء معاملات شكل الشعاع  $M_x^2$  ،  $M_y^2$  بالنسبة لحزمة غير متناظرة، و على مربع  $M^2$  بالنسبة لحزمة ليزر متناظرة. وتعطى بوحدة الواط W.

**4.3.2 معاملات الشكل:** تعرف بحاصل القسمة بين الشكل المتحصل عليه والشكل المثالي، حيث كلما كانت هذه النسبة قريبة من 1 كان الشكل أقرب للشكل المثالي.

### 4.2 منظومة الليزر:

المنظومة الليزرية تتكون من ثلاث عناصر أساسية وهي الوسط الفعال، المرنان ومصدر طاقة الضخ كما يوضح الشكل التالي(2.2).



الشكل (2.2): شكل توضيحي لمنظومة الليزر.

**1.4.2 الوسط الفعال:** هو مادة نشطة تُثار إلكترونات ذراتها بواسطة مصدر طاقة خارجي ويمكن أن تكون بثلاث حالات [19]:

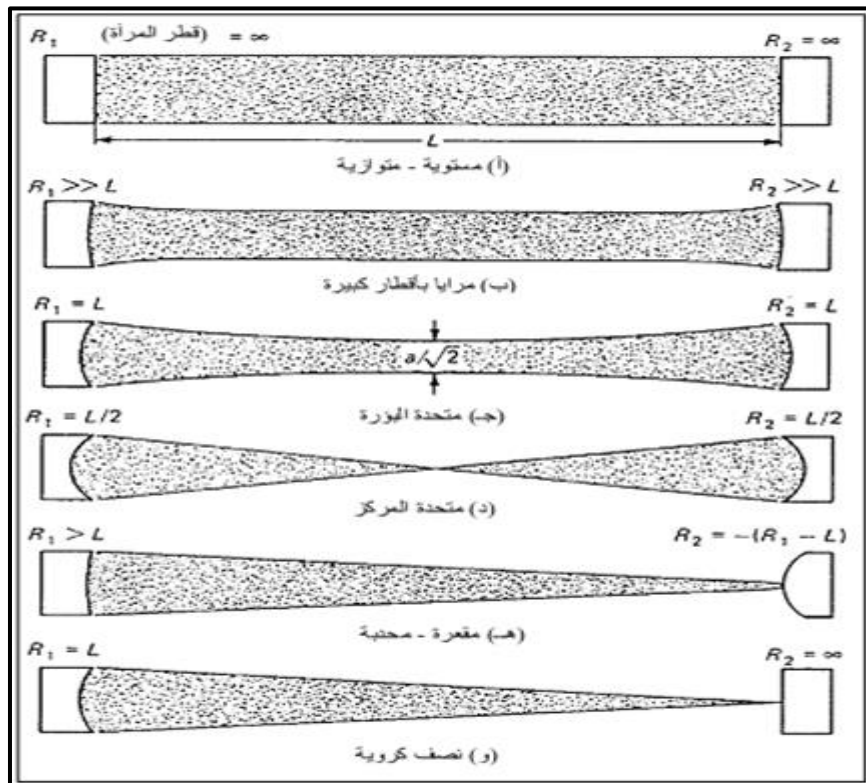
**1.1.4.2 حالة صلبة:** تتكون من زجاج أو مادة بلورية مثل الياقوت الصناعي و YAG وتطعم بأيونات النيوديميوم Nd .

**2.1.4.2 حالة سائلة:** هي صبغات كيميائية عضوية مختلفة مذابة في الماء.

**3.1.4.2 حالة غازية:** تكون عبارة على غازات مثل ( $CO_2$ )

**4.1.4.2 حالة شبه الموصل:** مثل أرسينك الجاليوم

**2.4.2 المرنان:** هو الوعاء الحاوي والمنشط لعملية التضخيم، حيث تكون أبسط حالة له عبارة عن مرآتين (مقعرة، محدبة، مستوية، نص كروية...) على محور بصري مشترك، حيث تكون المرآة الخلفية عاكسة بالكامل 100% والأمامية شبه عاكسة. وتتمثل وظيفة المرنان في تضخيم وتعزيز قوة الحزمة التي تم إنشاؤها من انتقال الفوتونات ذهاباً وإياباً، كما يمكن أن تُستخدم منظومات مكونة من أكثر من مرآتين [20]. من حالات المرنان المكون من مرآتان نجد الأمثلة الموضحة في الشكل أدناه (الشكل 3.2).



الشكل (3.2): أمثلة عن منظومة المرنان المكونة من مرآتان [6].

**3.4.2 الضخ:** وهو توفير الطاقة اللازمة لإثارة إلكترونات الوسط الفعال، إذ تتنوع مصادر الطاقة المستخدمة مثل :

الطاقة الكهربائية، الطاقة الحرارية، الطاقة الكيميائية و الطاقة الضوئية.

### 5.2 آلية تفاعل مادة - إشعاع:

عند تفاعل موجة كهرومغناطيسية مع المادة تحدث ثلاث ظواهر أساسية والمتمثلة في الامتصاص، الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز.

**1.5.2 الامتصاص:** هو انتقال إلكترونات الذرة من المستوى الأدنى (الأساسي)  $E_1$  إلى مستوى أعلى  $E_2$  وذلك بتطبيق طاقة عليها تمتصها الذرة لثثار، شرط أن تكون هذه الطاقة تساوي الفرق الطاقوي بين السويتين  $E_2 - E_1$  كما هو موضح في الشكل (4.2) [21].

نسبة الانتقال بين السويتين تعرّف بـ [6]:

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = -w_{12} \cdot N_1 = -N_1 \rho_\nu B_{12} \quad (1.2)$$

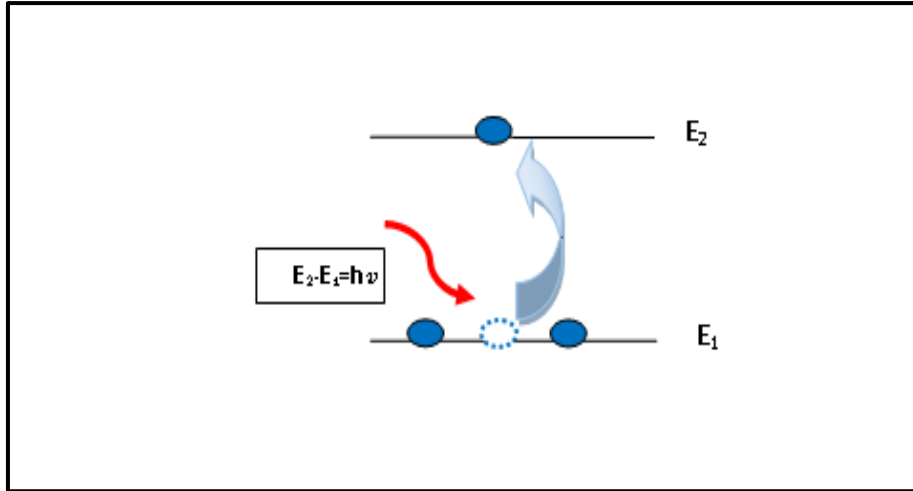
حيث:

$w_{12}$ : احتمال الإثارة لوحدة الزمن.

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

$N_1$ : إسكان المستوى  $E_1$ .

$\rho_\nu$  : كثافة طاقة الإشعاع الوارد  $[j.s.m^{-3}]$ .

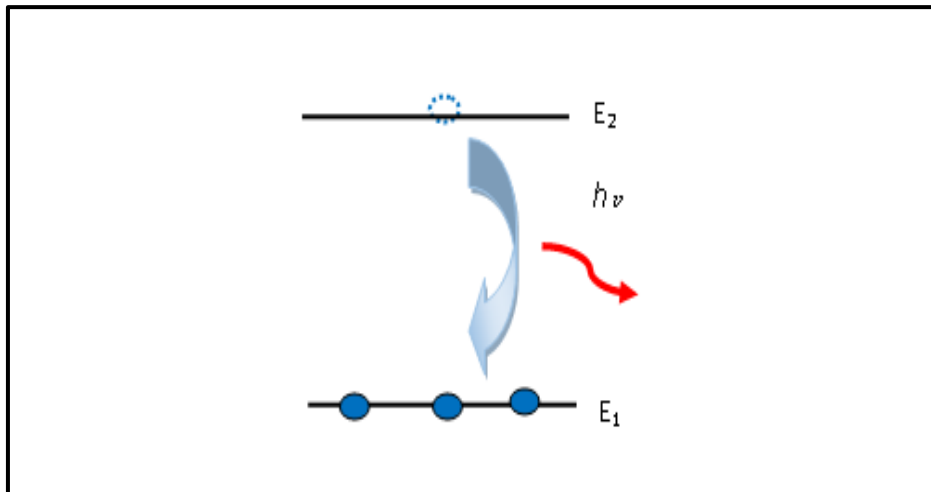


الشكل(4.2): آلية الامتصاص.

**2.5.2 الانبعاث التلقائي:** بعد عملية الامتصاص تكون الذرة في المستوى  $E_2$  غير مستقرة فتعود إلى المستوى الأساسي  $E_1$  بدون أي تدخل خارجي وتحرر طاقة قيمتها  $h\nu = E_2 - E_1$ . كما يوضح الشكل (5.2). احتمال حدوث هذا الانبعاث يعرف بـ [22]:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -A_{21} \cdot N_2 \quad (2.2)$$

$A_{21}$  : معامل اينشتاين للإصدار التلقائي  $[s^{-2}]$



الشكل(5.2): آلية الانبعاث التلقائي.

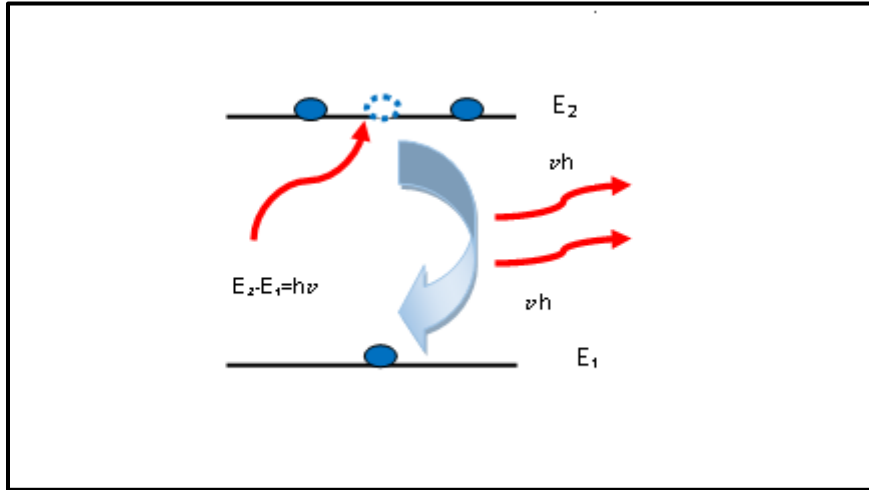
**3.5.2 الانبعاث المحفز:** تكون الذرة في المستوى  $E_2$  فيتم إثارت إلكتروناتها بواسطة فوتون للخضوع لعملية الانتقال للمستوى  $E_1$  ، فتحرر فوتونين متماثلين طاقة كل منها  $h\nu = E_2 - E_1$ . الشكل (6.2). احتمال حدوث هذا الانتقال يعرف بـ [21]:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -w_{21} \cdot N_2 = -N_2 \rho_\nu B_{21} \quad (3.2)$$

حيث:

$$B_{21}: \text{معامل اينشتاين للإصدار المحثوث } m^3 \cdot s^{-2} \cdot j^{-1}$$

$w_{21}$ : احتمال الإصدار المحفز لوحدة الزمن.



الشكل(6.2): آلية الانتقال أو الانبعاث المحفز.

**6.2 مبدأ توليد الليزر:** إن المبدأ الرئيسي لتوليد الليزر هو ظاهرة الانبعاث المحفز، لذلك إذا أردنا أن تزداد شدة الحزمة عند مرورها في الوسط الفعال فإن الإصدار المحفز يجب أن يطغى على الامتصاص وعليه لكي يزداد الإصدار المحفز يجب أن يكون عدد الإلكترونات في المستوى  $E_2$  أكبر من عددها في المستوى  $E_1$  وهو ما يسمى بشرط الانقلاب السكاني [21].

**1.6.2 الانقلاب السكاني:** وهو أن يكون عدد الإلكترونات في الحالة المثارة أعلى من الحالة المستقرة ويتم ذلك بتسليط إشعاع ضوئي على الوسط، أي عكس الحالة الطبيعية للمادة. و من الممكن تحقيق هذا الشرط في أنظمة ذات عدد سويات مختلف حيث [18]:

**1.6.2 نظام ذو سويتين:** في نظام ذو مستويين و في حالة التوازن الحراري تكون  $E_1 < E_2$  يحدد إسكان السويات  $N_i$  بتوزيع بولتزمان [6] الموضح في المعادلة (4.2).

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp \left[ \frac{E_2 - E_1}{KT} \right] \quad (4.2)$$

حيث:

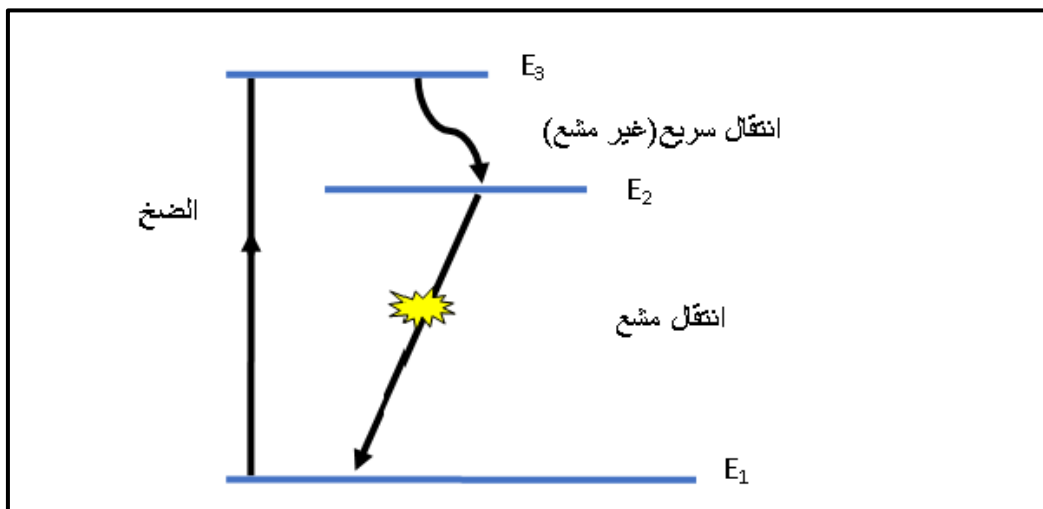
$K$ : ثابت بولتزمان.

$T$ : درجة الحرارة المادة.

تكون النسبة  $\frac{N_2}{N_1}$  دائما أقل من الوحدة من أجل  $E_1 < E_2$ ، حيث كلما زاد عدد الإلكترونات في المستوى الأعلى  $E_2$  فإن الإشعاع نفسه الذي يقوم بدور إثارة و زيادة هذه الإلكترونات ينقل عدد من هذه الإلكترونات إلى المستوى الأدنى  $E_1$  بفعل الإصدار المحفز، لذا فإنه يستحيل تحقيق الانقلاب السكاني في نظام ذو

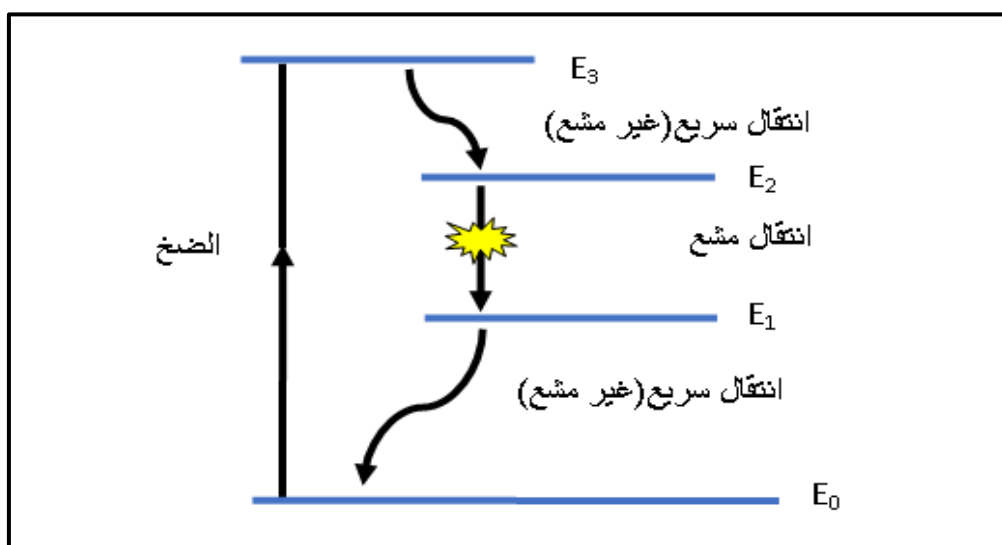
سويتين، لأنه في حالة التوازن الحراري تعمل المادة كجسم ماص للفوتونات بينما تعمل في حالة عدم التوازن الحراري كمضخم [6].

**2.6.2 نظام ذو ثلاث سويات:** تثار الذرة بواسطة الضخ من السوية  $E_1$  إلى السوية  $E_3$ ، لتنتقل الذرات إلى المستوى  $E_2$  بسرعة كبيرة ويسمى هذا بالانتقال السريع وهو انتقال غير مشع حيث يطبق شرط الانقلاب السكاني بين السويتين  $E_2$  و  $E_1$ ، إذ تنتقل الإلكترونات الذرات إلى السوية  $E_1$  ويكون هذا الانتقال مشع [6][5]. وهذا ما يوضحه الشكل (7.2):



الشكل (7.2): رسم تخطيطي لنظام ذو ثلاث سويات.

**3.6.2 نظام ذو أربع سويات:** تثار الذرات لتنتقل الإلكترونات من المستوى  $E_0$  إلى المستوى  $E_3$ ، فإذا حدث الانتقال السريع (انتقال غير مشع) بين المستوى  $E_3$  والمستوى  $E_2$  فيحصل انقلاب سكاني بين المستوى  $E_2$  والمستوى  $E_1$  فتنتقل الإلكترونات للمستوى  $E_1$  محدثة انتقال مشع، ثم تعود الإلكترونات للمستوى الأساسي  $E_0$  سريعاً (انتقال غير مشع) للتعويض واستمرار العملية [6]. يوضح الشكل التالي (8.2) هذا النظام:



الشكل (8.2): رسم تخطيطي لنظام ذو أربع سويات.

بعد اكتشاف الليزر وتطويره سعى العلماء للبحث عن طاقة غير نفوذة و أكثر توفر لتوليد الليزر، ومنه تمت دراسة الإشعاع الشمسي كوسيلة لضخ الليزر وسمي بالليزر الشمسي.

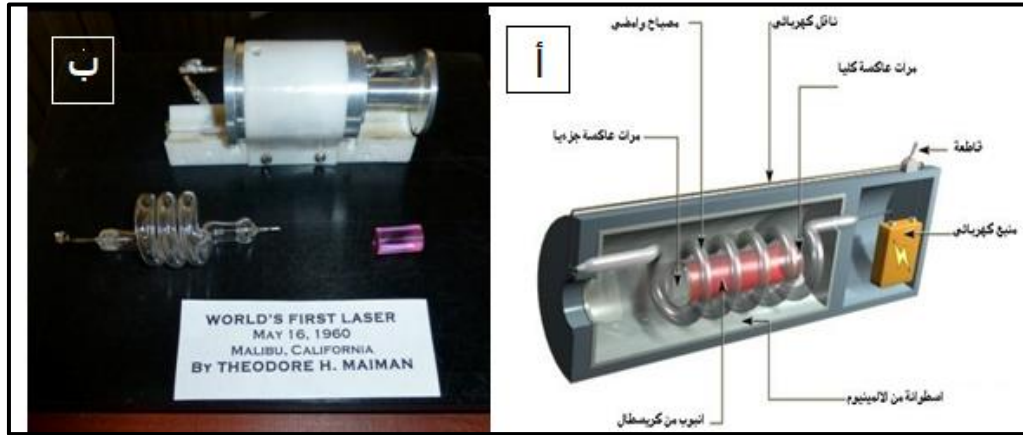
### 3 الليزر الشمسي:

#### 1.3 تعريف الليزر الشمسي:

هو عبارة عن ليزر يستخدم الطاقة الشمسية كوسيلة للضخ ، له نفس خصائص الليزر الذي يضخ بواسطة الطاقات الأخرى . إذ يعتمد على مبدأ تركيز الإشعاع الشمسي عريض النطاق وتحويله إلى إشعاع ليزري ضيق النطاق متماسك ومتوازي [23،24].

#### 2.3 اكتشاف وتطوير الليزر الشمسي:

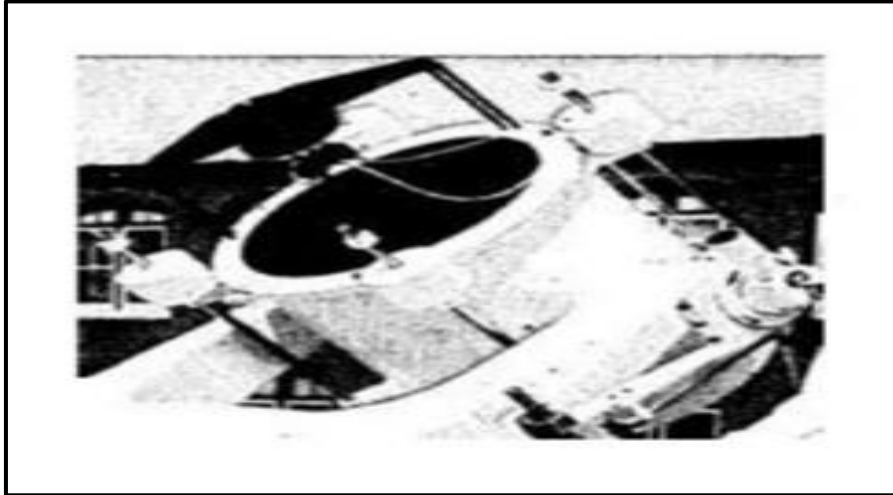
الليزر الشمسي فكرة بدأت منذ أكثر من خمسين سنة بعد ظهور الليزر بوقت قصير الذي تم تصميمه في 1960 من قبل Maiman، حيث خلال هذه السنين حدثت تغيرات وتطورات عديدة [6]. الشكل (9.2).



الشكل(9.2): (أ) رسم تخطيطي لجهاز الليزر الياقوتي، (ب) صورة أول ليزر ياقوتي لميمان.

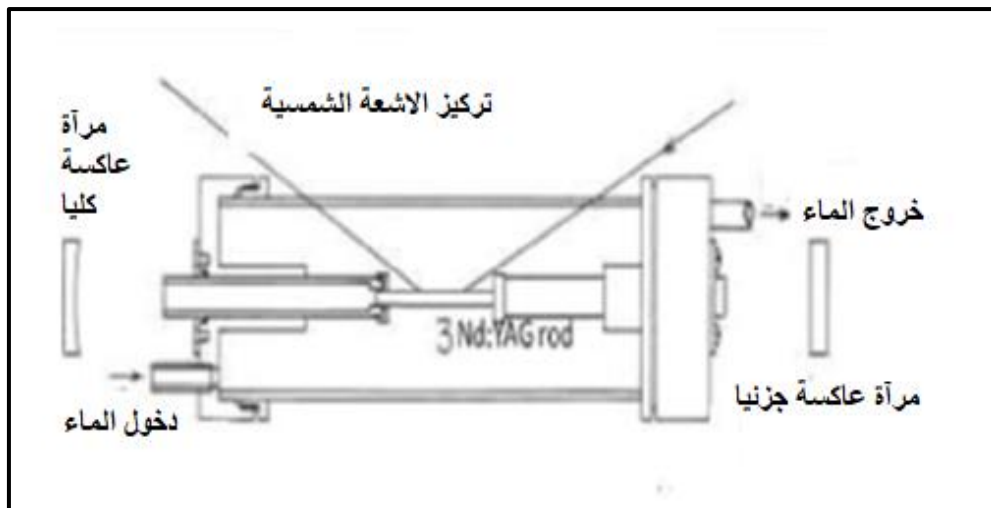
كانت البداية لأول ليزر شمسي للحالة الصلبة في عام 1963 تم الإعلان عليه من قبل كيس Kiss ومن معه وكان هذا الليزر عن طريق الضخ الجانبي واستخدم  $CaF_2$  المطعم ب  $Dy^{+2}$  مع النيون السائل بواسطة مرآة كروية بفتحة 35.5 cm [6].

في عام 1966م قام يونغ Young بإبلاغ عن أول ليزر شمسي باستعمال Nd:YAG باستطاعة قدرها W1 وباستعمال تلسكوب معدل Cassegrain suntracking به مركز أساسي قطره 61 cm. [25] الشكل(10.2).



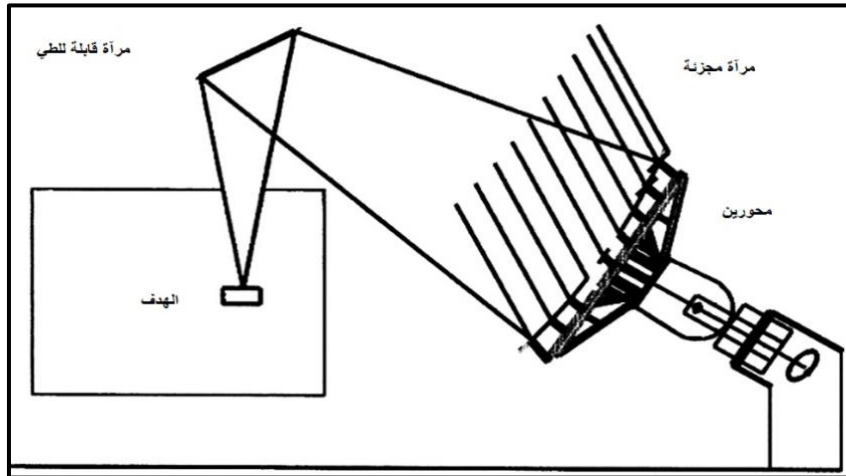
الشكل(10.2):منتبع شمسي به مرآة كروية بقطر 61cm [25].

بعد هذا العمل لم يكن هناك تطور كبير في هذه الأبحاث، إلى أن قام أراشي Arashi وزملائه في 1984 بالإعلان عن ليزر باستطاعة قدرها W18 باستخدام YAG:Nd، تم تحقيق كفاءة تجميع الليزر الشمسي  $0.23 \text{ W}^2/\text{m}$  [25].



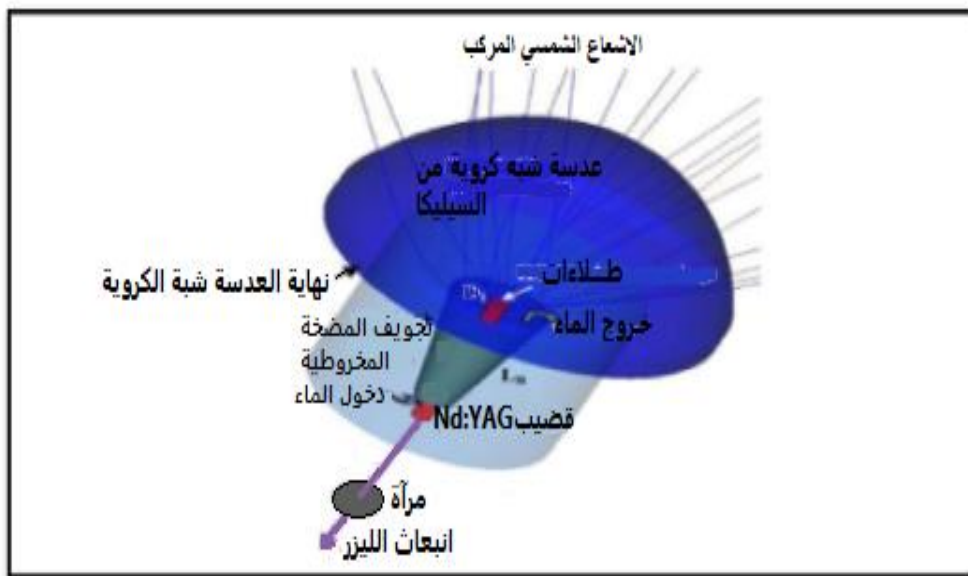
الشكل(11.2): مخطط لرأس الليزر أثناء تسليط الأشعة [25].

كانت هذه البحوث تسعى لزيادة طاقة الليزر مع إهمال أن كفاءة التجميع كانت منخفضة، إلى أن صمم Jenkins وزملائه في 1996 ليزر شمسي YAG:Nd بكفاءة  $4.7 \text{ m}^2/\text{W}$  ليتم تحسينه في 2003 من قبل Lando ومن معه إلى  $6.7 \text{ m}^2/\text{W}$ ، كما حقق سطوع قدره  $0.032 \text{ W}$  [6].



الشكل(12.2): مخطط لنظام التركيز الشمسي [6].

زادت الدراسات و الأبحاث حول الليزر الشمسي وطرق تحسين كفاءته، سطوعه واستقرار حزمه إلى أن سجل ليانغ Liang ومن معه سنة 2017 أقصى طاقة ليزر شمسي متعدد الأوضاع تبلغ  $37.2 \text{ W}$  ليوافق أقصى قيمة لكفاءة التجميع تبلغ  $31.5 \text{ m}^2/\text{W}$ . تم تسجيل طاقة موجة مستمرة (cw) لليزر الشمسي من نمط  $\text{TEM}_{00}$  قدرت بـ  $9.3 \text{ W}$  حيث تعتبر هذه القيمة الأعلى إلى يومنا هذا وبالتالي  $7.9 \text{ W/m}^2$  كفاءة تجميع ليزر  $\text{TEM}_{00}$ ، في نفس العام قام محلو Mehello ومن معه بتحقيق ليزر شمسي مستقر جدا بنمط  $\text{TEM}_{00}$ . الشكل(13.2).

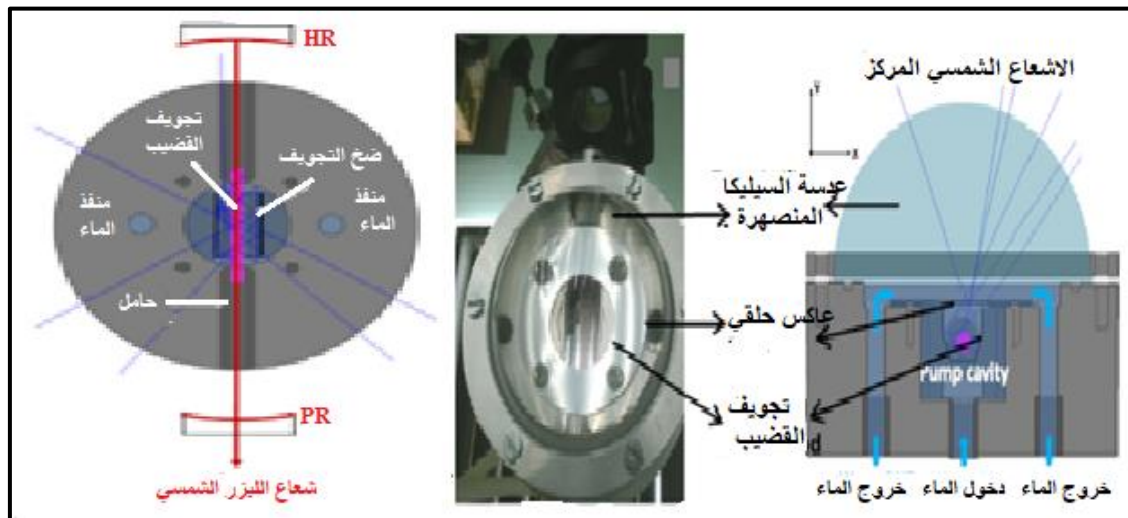


الشكل(13.2): تصميم رأس لليزر Nd:YAG [26].



الشكل(14.2): نظام الليزر الشمسي لاستخراج طاقة الليزر المستقرة TEM<sub>00</sub> [27].

في سنة 2018 حققت Almeida وزملائها استطاعة قدرت بـ 2W من نمط TEM<sub>00</sub>. في نفس السنة حقق Liang ومن معه رقم قياسي جديد في كفاءة تجميع الليزر الشمسي عن طريق ضخ جانبي لوسط ليزر من السيراميك YAG: Nd: Cr قدرت بـ 32.5W/m<sup>2</sup> وتعتبر الأعلى إلى الآن، كما تم تحقيق أعلى لمعان لحزمة الليزر الشمسي قدر بـ 6.5W [28]. الشكل(15.2).



الشكل(15.2): مكونات رأس الليزر الشمسي [28].

قام Liang ومن معه سنة 2019 بتحقيق طاقة ليزر شمسي من نمط TEM<sub>00</sub> قدرها 2.8W بواسطة الضخ الجانبي. في نفس العام حققت Vistas ومن معها طاقة ليزر شمسي وحيد النمط TEM<sub>00</sub> قدرها 3W بالضخ على الطرف [29،30].



الشكل(16.2): منظر أمامي و جانبي لرأس الليزر الشمسي مع مرآة حماية مع دليل ضوئي عبارة عن عدسة من السيليكا وتجويف الضخ المخروطي[30].

### 3.3 منظومة الليزر الشمسي:

تتكون منظومة الليزر الشمسي من عدة أجهزة أهمها:

منظومة التتبع، منظومة التركيز الأولية والثانوية، الوسط الفعال، منظومة التبريد، التجويف البصري والتجويف الرنيني.

**1.3.3 منظومة التركيز الأولية:** هي عبارة عن جهاز لتجميع أشعة الشمس وتركيزها على الوسط الفعال لأن ضوء الشمس الطبيعي لا يوفر تدفقا كافيا لإثارة وسط التضخيم لليزر الشمسي، تكون هذه المركبات من نوع عدسات فريزل أو المرايا القطعية المكافئة أو غيرها، وذلك لتحقيق تركيز محكم للإشعاع الوارد. كما يمكن أن تكون للمنظومة الليزرية منظومات تركيز ثانوية [6].

**1.1.3.3 منظومة التتبع:** جهاز يتكون من دوائر تحكم إلكترونية وعناصر ميكانيكية توجه المركز نحو الشمس في جميع الأوقات، حيث تستعمل المتتبعات لزيادة كفاءة منظومة الليزر الشمسي وتكون في فئتان [6]:

**متتبع أحادي المحور:** لديه درجة واحدة من حرية الدوران حول محور موازي تقريبا لمحور الأرض الذي يسمح له بمتابعة حركة الشمس من الشرق إلى الغرب خلال النهار لكنه غير دقيق في تتبع الشمس بسبب الاختلاف الموسمي.

**متتبع ثنائي المحور:** له درجتين من حرية الدوران، قادر على محاذاة مثالية في جميع الأوقات.

**2.1.3.3 منظومة التركيز الثانوية:** وهي جهاز تجميع الأشعة المركزة من منظومة التركيز الأولية لزيادة التركيز ورفع شدة الإشعاع، وذلك لصغر قطر المستقبل [6].  
تحتاج المركبات لأنظمة للتحكم بها وتوجيهها نحو الشمس.

**2.3.3 الوسط الفعال:** هو مادة تكتسب ذراتها طاقة من خلال عملية ضخ الأشعة الشمسية لإثارتها، تكون عادة حالة المادة الأكثر استعمالا هي الحالة الصلبة [6].

**1.2.3.3 نظام التبريد:** هو مسار دوراني ضمن التجويف البصري لتدفق كاف للسائل المستخدم في التبريد ويكون عادة أما الماء أو طلاء ابيض ممزوج، وذلك لتبريد قضيب الليزر من درجات الحرارة العالية الناتجة من الانتقالات غير الليزرية(غير المشعة) والاختلاف بين طاقة ضخ الفوتونات وطاقة فوتونات الليزر [6].

**2.2.3.3 التجويف البصري:** تحتوي هذه المنظومة على عدة مرايا تعمل على إعادة الفوتونات المشتتة و الأشعة الضائعة إلى الوسط الفعال وتلعب دور التجويف الذي يجتازه ماء التبريد.

**3.3.3 التجويف الرنيني:** كما اشرنا سابقا في منظومة الليزر هو عبارة عن مرآتين أو أكثر ذات نسب مختلفة في الانعكاس تعمل على تضخيم الأشعة.

### 4.3 طرق ضخ الليزر الشمسي:

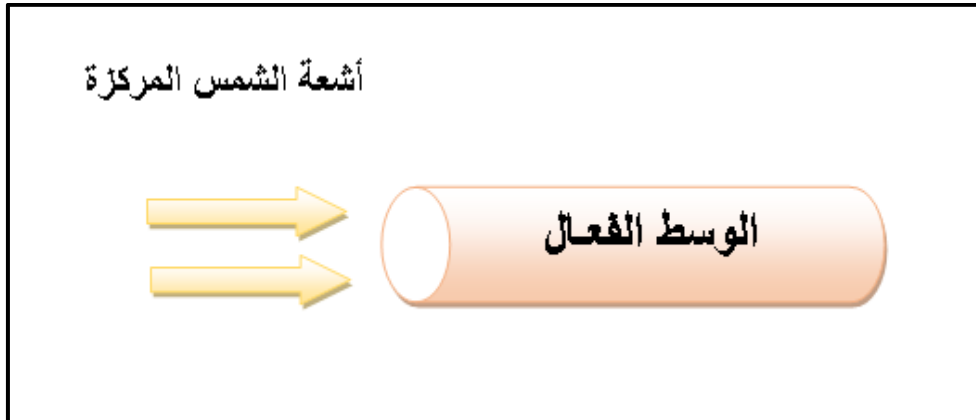
يستخدم الليزر الشمسي الطاقة الشمسية كمصدر للضخ وذلك بشكلين:

**1.4.3 غير المباشر:** هو عبارة عن إنتاج الكهرباء بواسطة الإشعاع الشمسي وذلك لإنتاج الليزر، حيث تعتبر هذه الطريقة مكلفة وذات كفاءة منخفضة [6].

**2.4.3 المباشر:** هو ضخ الليزر بضوء الشمس وذلك بوضعين إما بوضع الوسط الفعال في البقعة البؤرية لمركز شمسي أو وضعها بعيدة عن البقعة ، حيث تعتبر هذه الطريقة الأكثر كفاءة من السابقة [6].

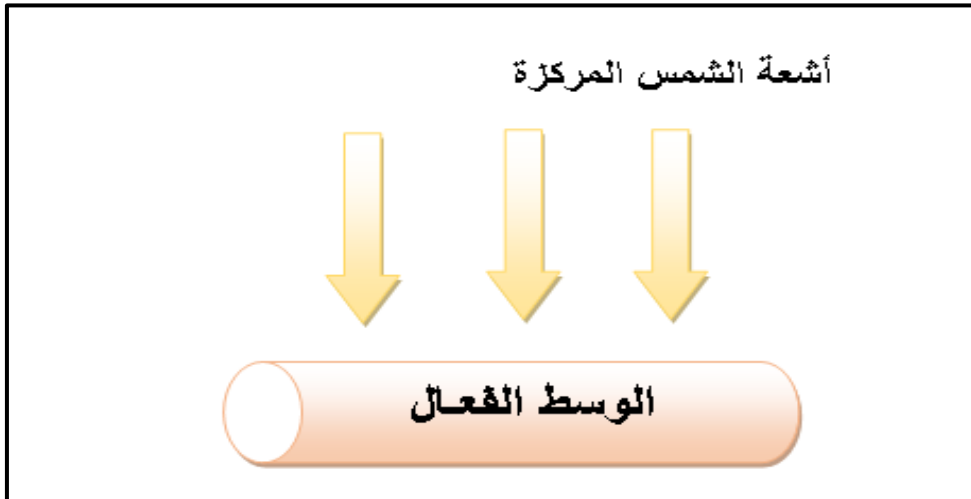
حيث هناك تقنيتين للضخ المباشر لليزر الشمسي وهما الضخ على الطرف والضخ الجانبي.

**1.2.4.3 الضخ على الطرف:** في هذه الطريقة يتم تركيز وتوجيه أشعة الشمس على أحد أطراف الوسط الفعال من منظومة الليزر [6]، كما يوضح الشكل (17.2).



الشكل (17.2): رسم تخطيطي يوضح عملية الضخ على الطرف.

**2.2.4.3 الضخ الجانبي:** في هذه الطريقة يتم تركيز وتوجيه أشعة الشمس على السطح الجانبي للوسط الفعال من منظومة الليزر [6]، كما يوضح الشكل التالي (18.2).

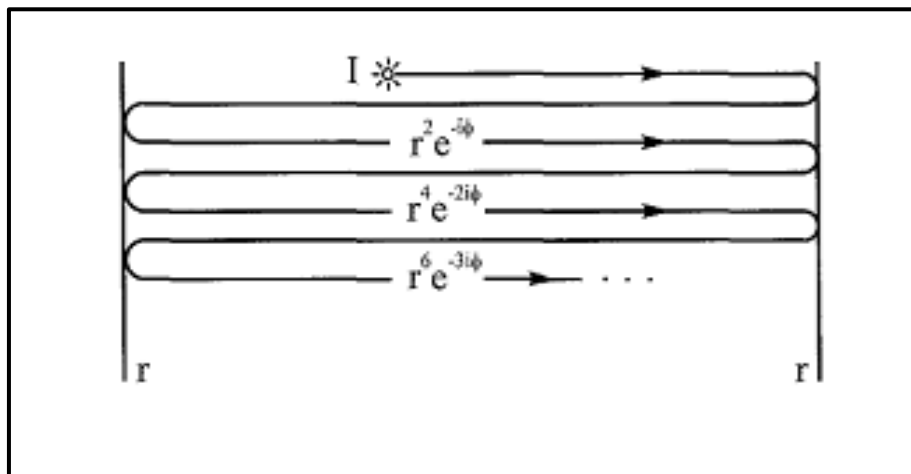


الشكل(18.2): رسم تخطيطي يوضح عملية الضخ الجانبي.

بعد ضخ الوسط الفعال بالأشعة المركزة تثار ذراته وعند رجوعها لحالة الاستقرار تصدر انبعاثات يتم تضخيمها في تجويف رنيني. وجد أن الأشعة الكهرومغناطيسية تأخذ أنماط مختلفة تتأثر بموضع مرايا تجويف الرنين عُرفت بالأنماط الطولية و العرضية.

### 5.3 أنماط الأشعة الكهرومغناطيسية في الليزر:

1.5.3 الأنماط الطولية: تعرف أيضا بالأنماط المحورية، تتشكل عن طريق أمواج مستوية تنشأ داخل المرنان حيث تتحرك هذه الأمواج محوريا داخل التجويف الرنيني بعد عدد كبير من الانعكاسات[6]، الشكل (19.2).



الشكل(19.2):انعكاسات الموجة داخل المرنان [6].

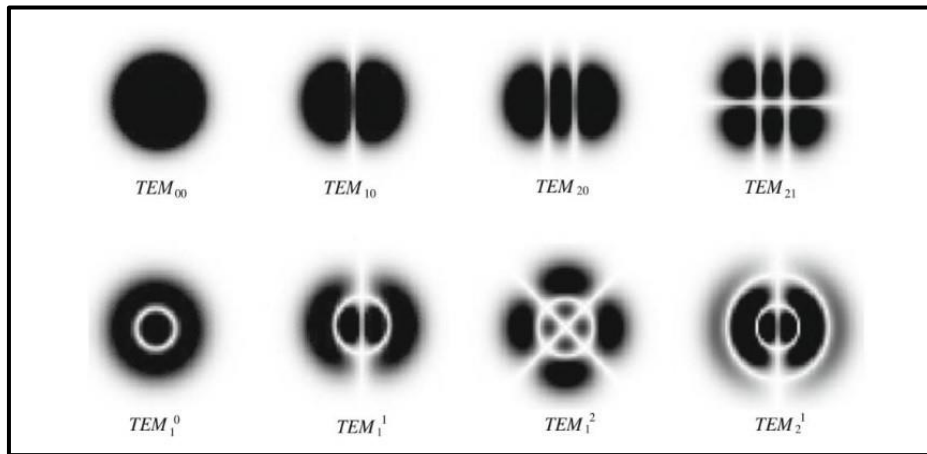
حيث:

$r$  هو السعة المنعكسة على المرآتين.

$\phi = 2kd$  تغير الطور المرتبط برحلة واحدة ذهابا وإيابا.

2.5.3 الأنماط العرضية: TEM حيث هي اختصار لـ Transverse Electromagnetic Mode ويعني النمط الكهرومغناطيسي المستعرض، يتم وصف TEM من خلال توزيع كثافة الطاقة على مقطع عرضي

لحزمة الليزر بشكل طبيعي بالنسبة لمحور انتشارها، تكون الأنماط المثالية نوعا ما ضبابية عند الحواف في الليزر حيث أن  $TEM_{00}$  التوزيع العرضي الأكثر رواج [31].



الشكل (20.2): أنواع الوضع الكهرومغناطيسي المستعرض  $TEM$  [29].

**1.2.5.3 النمط  $TEM_{00}$ :** يسمى بالنمط الأساسي أو الغاوسي (Gaussian)، ويحتوي على حوالي 85% من طاقة شعاع الليزر، تشير الرموز الفرعية 00 على كثافة طاقة عالية في مركز الحزمة وتتنخفض تدريجيا عند الحواف، حيث يتميز الوضع الأساسي أيضا بحجم بقعة صغير نسبيا وشكلها الدائري وله اصغر تباعد في الحزمة و أعلى درجة سطوع [31].

#### 4 الخاتمة:

بداية بدراسة الليزر والتطرق لخواصه وأنواعه في هذا الفصل وصولا إلى الليزر الشمسي الذي مازال قيد البحث والتطور، حيث تميز هذا الليزر باستغلاله للطاقة الشمسية كوسيلة ضخ. على الرغم من وجود العديد من الأنماط المستعرضة لليزر إلا أن أهمها هو النمط الأساسي  $TEM_{00}$  لاحتوائه على طاقة عالية وشكل غاوسي. سيتم التطرق في الفصل القادم إلى دراسة عددية ومحاكاة لليزر الشمسي وحيد النمط  $TEM_{00}$  بطريقة الضخ الجانبي.

# الفصل الثالث:

الليزر الشمسي، المحاكاة،  
النتائج و المناقشة.

## 1 :

يعتبر الليزر الشمسي من الحديثة التي تعمل أساسا على استغلال الطاقة الشمسية باعتبارها طاقة متجددة و متوفرة لإنتاج أشعة ليزرية ، و ذلك من خلال تركيز وتوجيه هاته الأشعة لمنظومة الليزر الشمسي. يمكن أن تتم عملية ضخ الأشعة بطريقتين مختلفتين وهما ه، حيث عند تحفيز وانبعاث أشعة الليزر وتضخيمها وتهتز هذه الأخيرة الغاوسي هو النمط . و هذا ما سيتم العمل عليه في هذه الدراسة باستعمال طريقة الضخ الجانبي والذي يجب يكون فيه توزيع الأشعة المركزة على كل الوسط الفعال بشكل منتظم حتى يؤدي ذلك للتقليل من تأثير ارتفاع درجة حرارته. سيكون هذا الفصل عبارة عن محاكاة منظومة الليزر الشمسي بواسطة برنامج ZEMAX الذي يعمل على حساب الاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال وإظهار شكل توزيعها عليه LASCAD لتحديد شكل حزمة الليزر و حساب استطاعته.

## 2 الهدف:

هدف في هذا العمل لحصول على شعاع ليزر شمسي ذو يحمل وله شكل .

### 1.2 الإشكالية:

للحصول على شعاع ليزر وحيد النمط ( ) الذي يتحدد ظهوره بموضع مرايا المرنان (البعد بين المرايا و الوسط الفعال مختلف) يجب تحقيق منظومة ليزر شمسي تعمل على تركيز الشمسية وتوجيهها بواسطة دليل موجي نحو الوسط الفعال والحصول على أكبر امتصاص ممكن لها من طرف هذا الأخير الذي بدوره يصدر انبعاثات عمل على تضخيمها وسط التجويف الرنيني.

## 3 :

تتكون منظومة الليزر الشمسي التي سيعمل عليها في هذه الدراسة من العناصر الآتية :

- ) ( ) .
- ) الدليل الموجي ( زجاج سيليكات).
- ) (مرايا 2D-CPC).
- ) (ND: YAG).
- ) التجويف البصري ( مرايا عاكسة).
- ) التبريد ( ) .

## 1.3 :

عمل في هذه الدراسة بالمركز ذو القطع المكافئ لقدرته العالية على التركيز مقارنة ببقية قياسية التي حققت باستخدامه الأخيرة في كفاءة التجميع و سطوع الليزر و الذي يتميز عن غيره من المركبات بأنه :

التركيز.  
إمكانية التجميع والتركيز في آن واحد.

### 2.3 الدليل الموجي :

يتمثل دور الدليل الموجي في نقل الأشعة المركزة من زجاج السيليكا الذي يمتاز بنقاوة بصرية عالية جدا وشفافيته للطول الموجي الذي يمتصه النيوديميوم حيث تخضع الأشعة داخله لمبدأ الانعكاس الكلي. يتم اختيار شكل الدليل على حسب طريقتي التركيز و تين نه طريقة دليل موجي يتناسب مدخله مع قطر البؤرة و مخرجه

### 3.3 :

لتضييق مجال الدليل الموجي يستخدم مركز ثانوي يعمل على إعادة تركيز هاته يتناسب مدخل المركز الثانوي مع مخرج الدليل الموجي المستخدم و مخرجه مع ويكون المركز الثانوي عبارة على مرايا 2D-CPC التي تتميز بإعادة الانتشار الجيد للإشعاعات المشتتة على الوسط الفعال.

### 4.3 :

كثير استعمالا في منظومة الليزر الشمسي هو Nd:YAG (Yttrium Aluminium Garnet) المتميز بموصلية حرارية عالية تلفه النيوديميوم الذي يتميز ه للطول 808 m من طيف الأشعة المسلطة عليه.

### 5.3 التجويف البصري:

فادي ضياعها ي

تجويف بصري م ن من مرايا عاكسة تعمل على إعادة توجيه الأشعة المشتتة نحو ا

### 6.3 التبريد:

غير المشعة يجب القيام

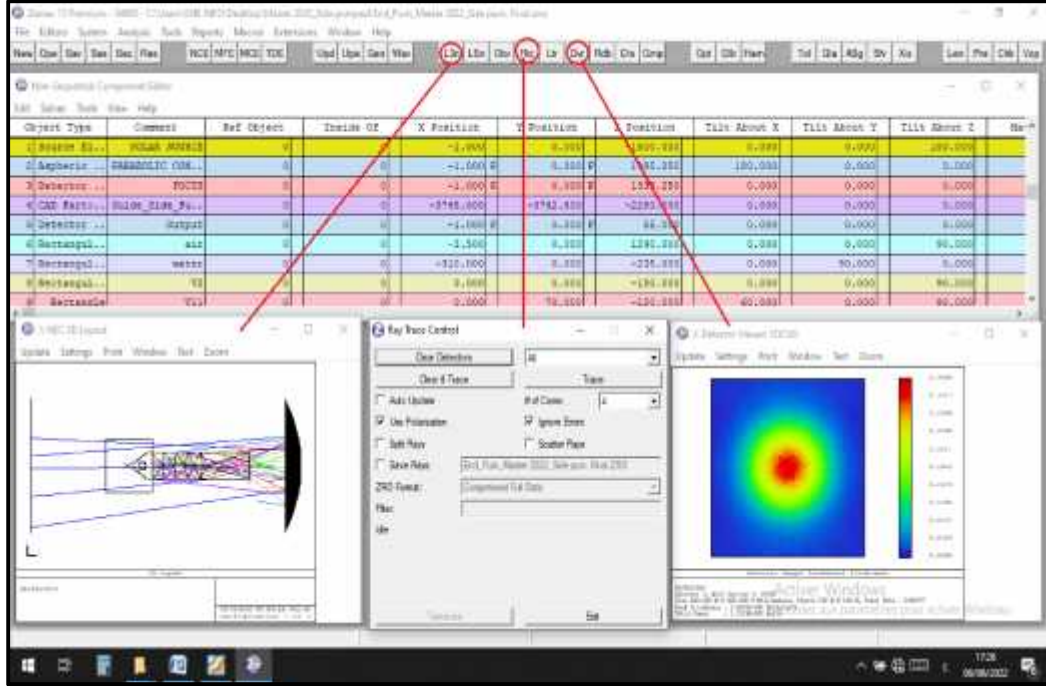
بعملية التبريد و ذلك با أنابيب تحتوي على كوسيلة لخفض درجة حرارته ، أحدهما يسخن الماء نحو الوسط الفعال، والآخر يدفعه خارج المنظومة.

### 4 المحاكاة العددية:

#### 1.4 ZEMAX<sup>®</sup> تصميم منظومة الليزر الشمسي:

ZEMAX هو برنامج تصميم بصري يمتاز بسهولة استخدامه يعمل أساس هذا البرنامج على تتبع الأشعة و الحزم الضوئية و نمذجة الأشعة من خلال نظام بصري. حيث تم تصميم م التشغيل Windows 1990 Max و الذي تم تغييره لاحقا اسمه الحالي ZEMAX . كما يمكننا

هذا البرنامج من تصميم عناصر بصرية مختلفة مثل العدسات العادية و العدسات شبه الكروية و المرايا و اصر البصرية التفاضلية. يعمل أيضا إنتاج رسوم بيانية تحليلية قياسية مثل الرسوم البيانية النقطية والأشعة السينية الجزئية. ZEMAX له القدرة على نمذجة تأثير الطلاءات الخفيفة على سطح المكونات. يمكن لهذا البرنامج إجراء تتبع رقمي متسلسل مستمر بين العناصر الضوئية تتبع البصري غير التسلسلي لتحليل الضوء. يملك ZEMAX مكتبة للأنظمة الضوئية المختلفة كما يتيح هذا البرنامج ضوئية مكتبته. تبين الصد (1.3) جهة برنامج ZEMAX. [6 31].



(1.3): واجهة برنامج ZEMAX.

يحتوي ZEMAX على أنواع مختلفة من النوافذ كل منها يخدم غرضا محدد أهمها:

**النافذة الرئيسية :** يحتوي شريط النافذة الرئيسي على العديد من رؤوس القوائم منها :

File ; Editors ; System ; Analysis ; Tools ; Reports ; Macros ; Extensions ; Peer Help ; Help.

: نوافذ المحرر تستخدم أساسا لإدخال البيانات

: يتم استخدام نوافذ النص لإظهار بيانات نصية مثل بيانات التعليمات والزوايا والبيانات الرقمية.

: معظم الحوارات صريحة عادة ، توجد أزرار " " " " " "

Windows يمكن نقل جميع النوافذ أو تغيير حجمها ( ) القياسي للفاة أو لوحة المفاتيح

#### 1.1.4 (Sources):

هي الكائنات المستخدمة لإصدار أشعة المحاكاة، و بالتالي تمثل مصادر الضخ. وهي عبارة عن الليزر الشمسي.

**2.1.4 العناصر البصرية الهندسية:**

هي العناصر التي تحدد المكونات الضوئية التي يتم فيها امتصاص الأشعة المنبعثة، انكسارها، انعكاسها، انحرافها، و تشتتها. الكائنات في هذه الحالة مكونات نظام تجميع و تركيز الطاقة الشمسية .

**3.1.4 (detectors):**

النوعية و كمية للأ بواسطة هذه ،هما نوعان كاشف مستطيل

**4.1.4 تحليل طاقة الضخ :**

أو الممتصة يجب استخدام كائنات الكاشف في ZEMAX  
لمعلومات العددية في بؤرة المركز

عادة ما يستخدم الكاشف المستطيل حيث يسمح بتسجيل قدر أكبر من البيانات، مثل ملف تعريف وتوزيع الطاقة ثنائي . له وظيفة  
عدم وجود أي تأثير على . يتم تحديد شكل الكاشف على سطح مستطيل بيكسل.

يتم أيضا استخدام لتحليل طاقة الضخ الواردة أو حيث  
إضافة بُعد جديد للحصول على معلومات الطاقة لأنه يحتوي على شكل متوازي السطوح،  
يتم تحديد أبعاده من قبل المستخدم، وكذلك عدد وحدات الفوكسل(نقاط حجمية).

**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) وبالتالي من الممكن نمذجة تجاويف الرنين  
من خلال تحليل تأثيرات العدسة الحرارية (التي تعد واحدة من المشاكل الرئيسية في ليزر الحالة الصلبة)  
طاقة الليزر متعدد الأنماط و TEM00 وكفاءة الليزر، جودة ومظهر شعاع الليزر، وكذلك انتشار شعاع  
الليزر خارج تجويف الليزر، مع مراعاة العديد من ثوابت الليزر، مثل الانعكاسية ونصف قطر الا  
والمسافة بين مكونات التجويف وخسائر [6].

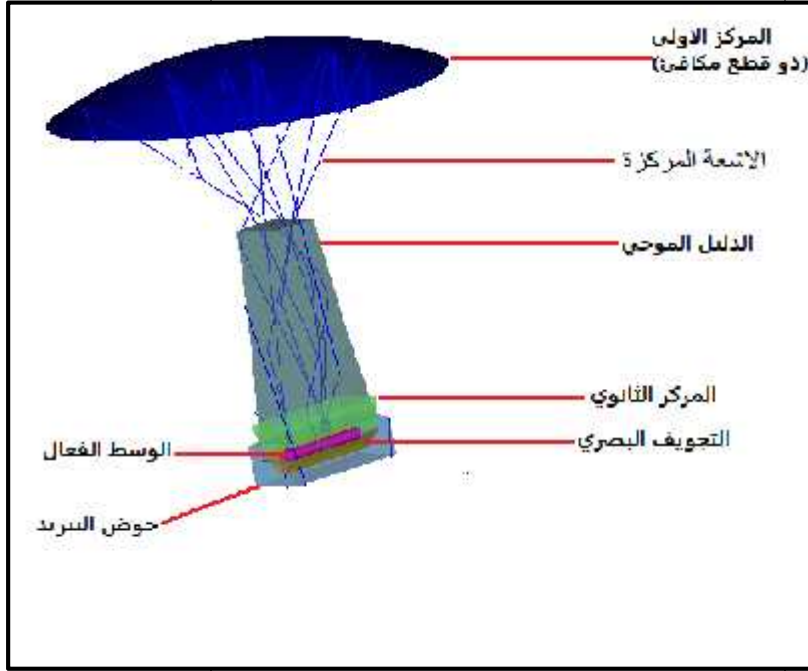
**1.2.4 تحليل العنصر المتناهية (FEA) للتأثيرات الحرارية:**

يحسب تحليل العناصر المتناهية - (FEA) المتغيرات الناتجة عن الحرارة والضغط في بلورة  
الليزر، مع مراعاة متغيرات مادة الليزر وتكوين ا وهندسة التبريد. يوفر LASCAD  
للتصاميم النمذجية، ومع ذلك قد يكون لخطة الضخ خصائص خاصة جدًا، والتي لم يتم تحديدها  
LASCAD ، كما في حالة الليزر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية.  
لنمذجة أنظمة الليزر الشمسية بدقة، من الممكن استيراد الملفات من برنامج المحاكاة ZEMAX ذي يمثل  
محتواه التوزيع ثلاثي الأ [6].ZEMAX

## الليزر الشمسي:

5

تتكون منظومة الليزر في هذه المذكرة من العناصر الموضحة في الصورة التالية (2.3):

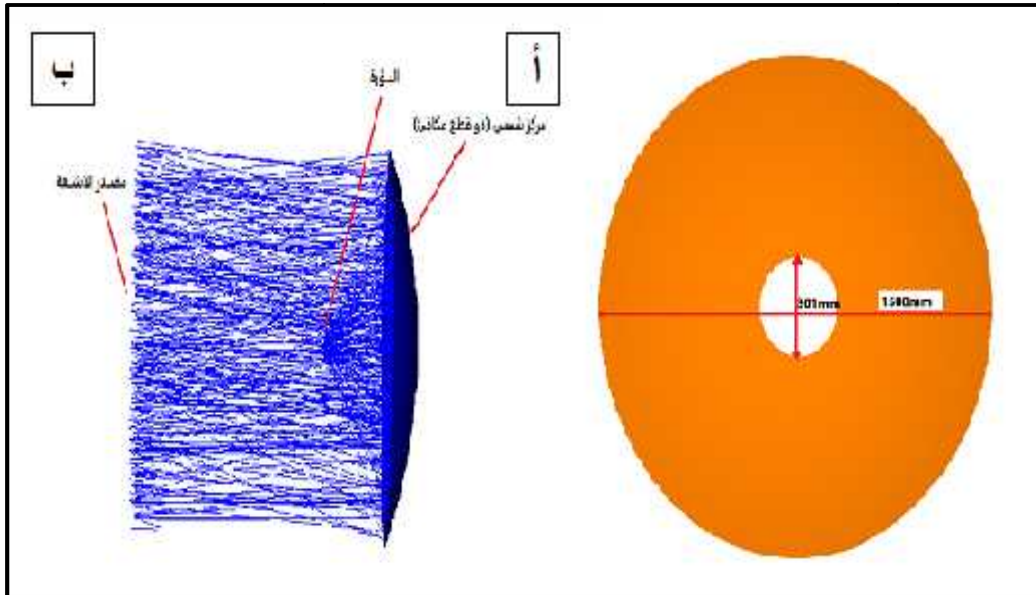


(2.3): عناصر منظومة الليزر الشمسي.

## 1.5 منظومة التركيز الأولية:

ما يبين الشكل (3.3)، حيث قطر هذا المركز 1500mm، تتوسطه

فتحة قطرها 301mm.

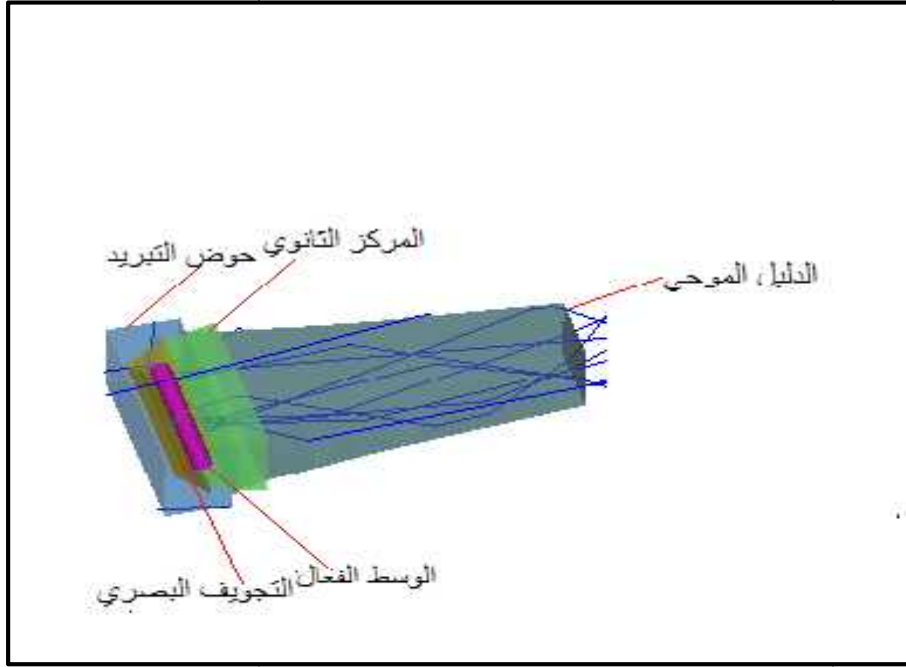


( ) تركيز الاشعة بواسطة مركز شمسي.

(3.3): ( )

## 2.5 الليزر:

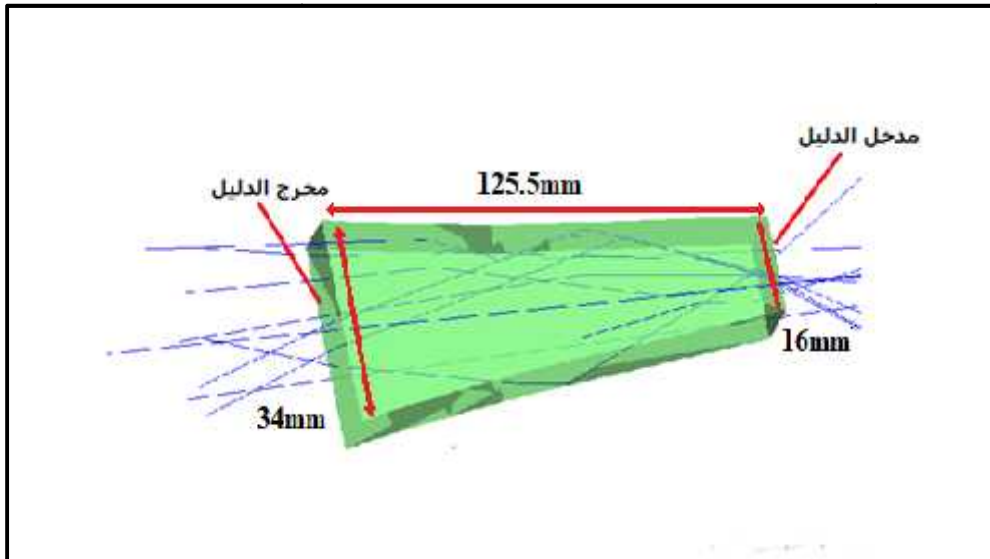
يتكون رأس الليزر من عدة عناصر (4.3).



(4.3): رسم تخطيطي رأس الليزر.

### 1.2.5 الدليل الموجي:

تم اختيار دليل موجي يتناسب مدخله مع قطر البؤرة ويتناسب مخرجه مع ول القضيب كما هو (5.3):

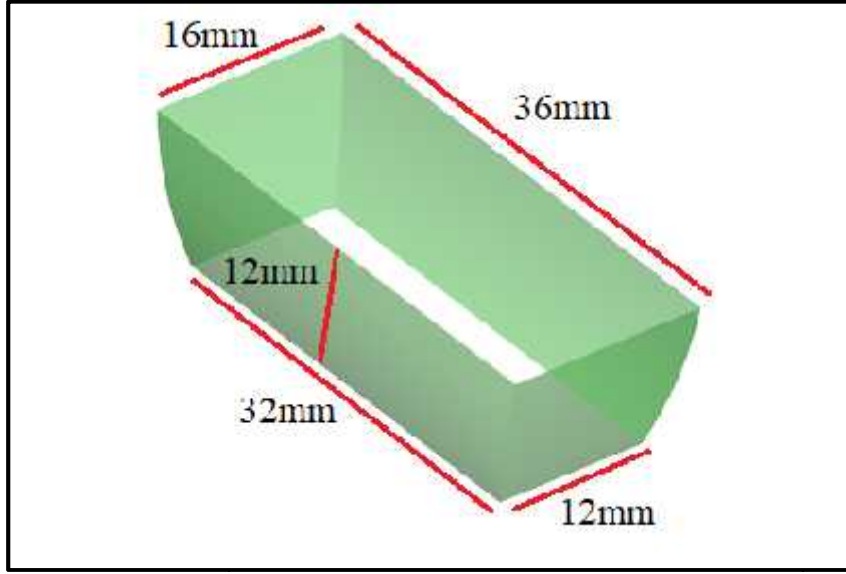


(5.3): رسم تخطيطي يوضح شكل الدليل الموجي.

:

### 2.2.5

يكون بعد مدخل المركز الثانوي يتناسب مع بعد مخرج الدليل الموجي ومخرجه مع طول الوسط  
(6.3).

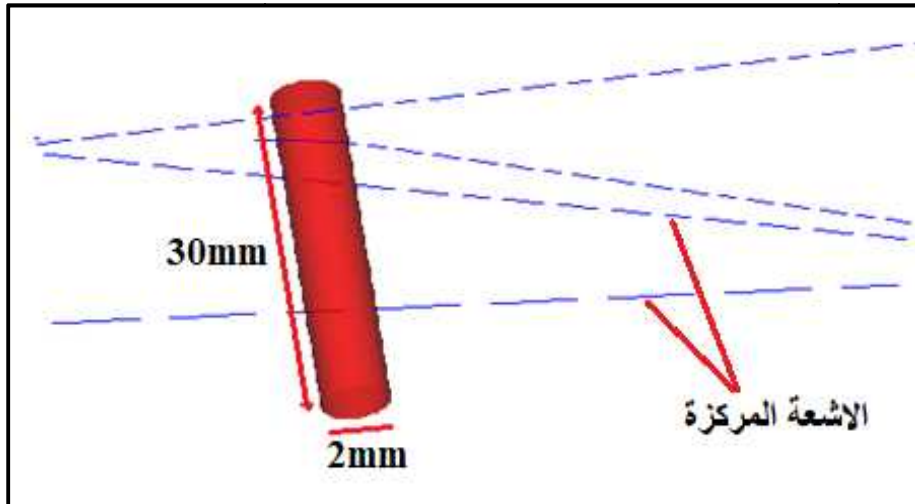


(6.3): رسم تخطيطي للمركز الثاني.

:

### 3.2.5

القضيب المستخدم في هذه الدراسة  $D=2\text{mm}$   $L=30\text{mm}$  كما يوضحها الشكل (7.3).

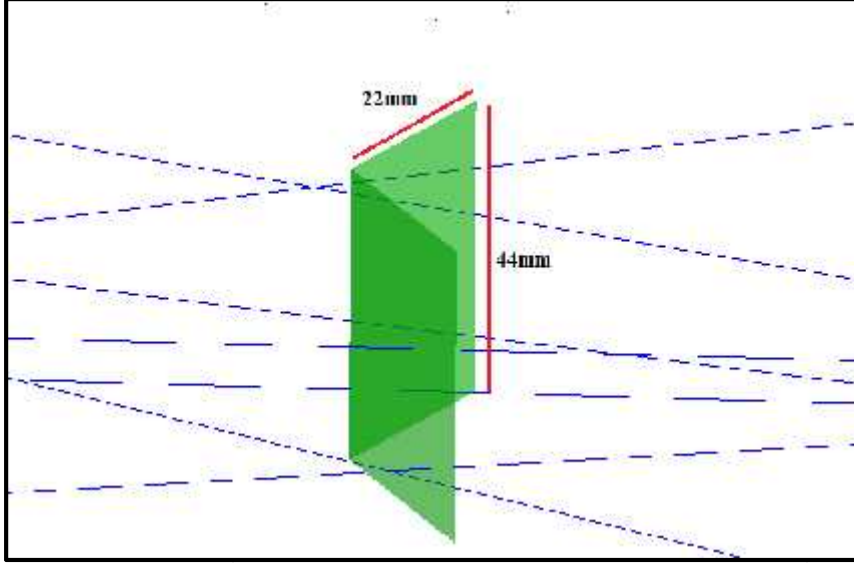


(7.3): رسم تخطيطي للوسط الفعال.

### 4.3.5 التجويف البصري:

22mm)

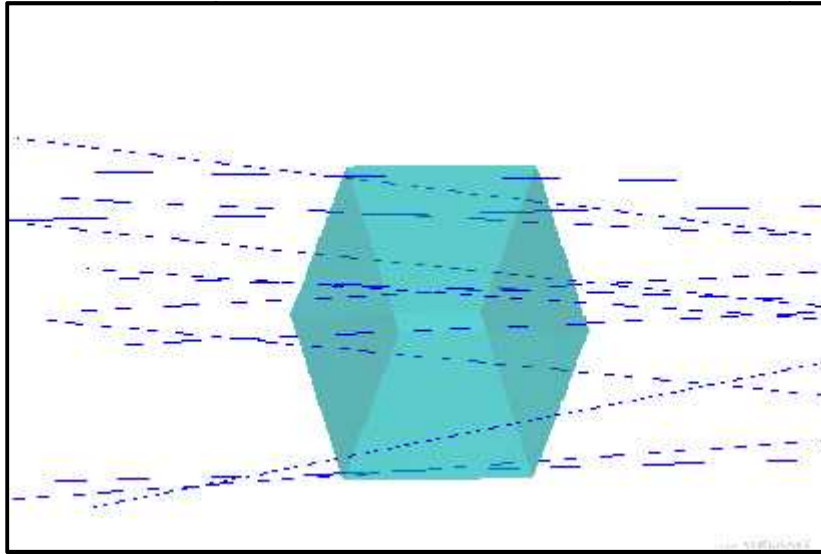
يستعمل تجويف بصري على شكل حرف V مكون من مرآتين عاكستين  
(44mm)، كما يوضح الشكل (8.3).



(8.3): رسم تخطيطي للتجويف البصري.

### 5.2.5 لتبريد :

يستعمل حوض التبريد به فتحتان، واحدة خراجه.



(9.3): رسم تخطيطي لحوض التبريد.

### 6.2.5 :

عبارة عن مرآتين أو أكثر ذات نسب مختلفة في الانعكاس تعمل على زيادة شدة الشعاع وتضخيمها يد ظهور وضع مرايا المرنان

### 3.5 التحليل العددي لأداء منظومة الليزر الشمسي:

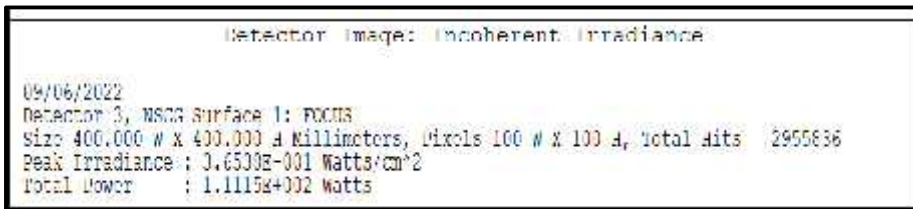
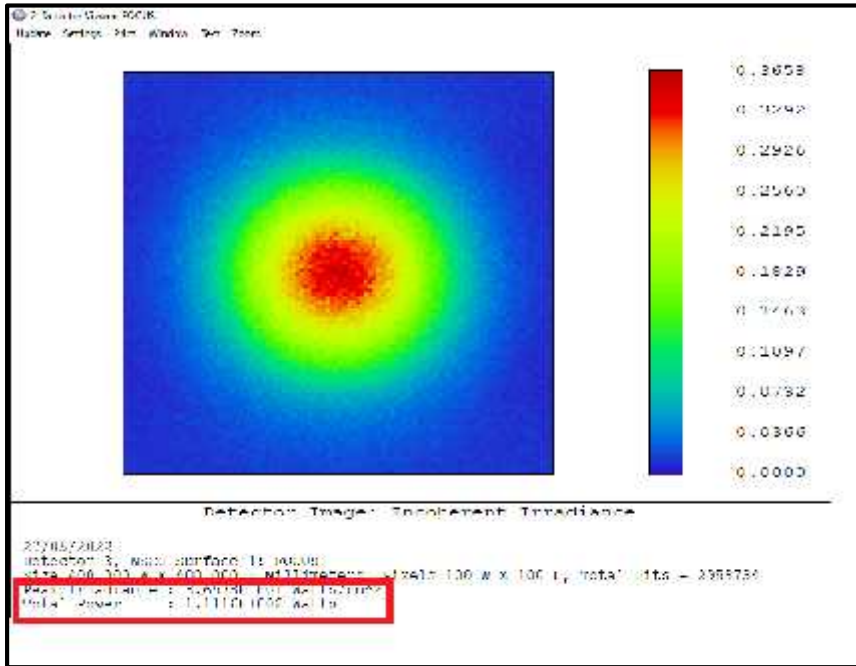
:ZEMAX<sup>©</sup>

1.3.5

نتائج المحاكاة العددية القياسات التالية:

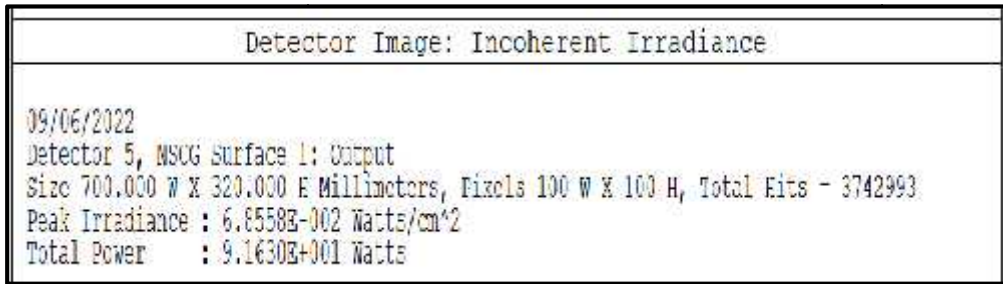
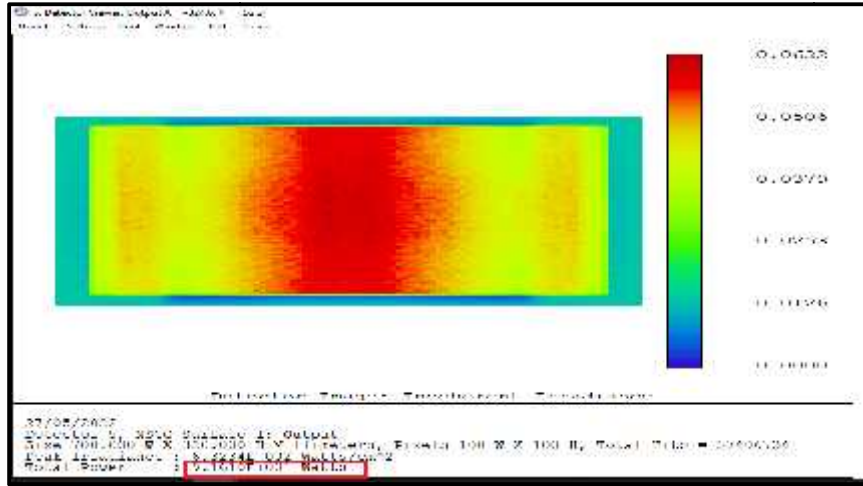
### 1.1.3.5 قياس طاقة الضخ:

- ) تم محاكاة الطاقة الشمسية الواردة من المنبع بواسطة برنامج ZEMAX ( الذي يعمل على تركيزها في البؤرة التي تقع على بعد 66.6mm .  
 قياس الطاقة المركزة في البؤرة (مدخل الدليل الموجي) : 111W :  
 كما يوضح الشكل (10.3) في مخرج الدليل تم قياسها بكاشف سطحي ثاني وكانت 91.6W كما يوضح (11.3) هي الطاقة التي توجه بالدليل الموجي نحو المركز الثانوي الذي يعيد توجيهها نحو



يوضح الاشعة الشمسية

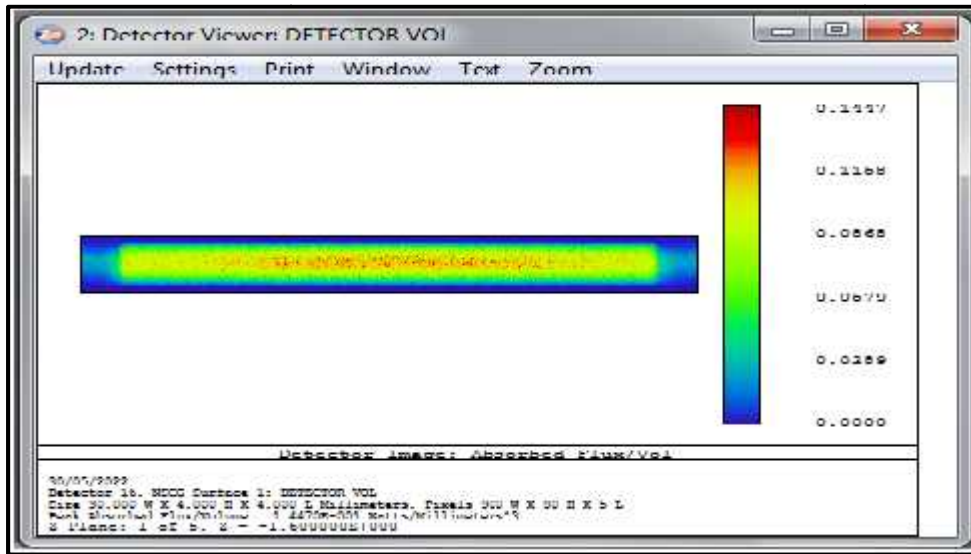
(10.3)



(11.3): مقطع عرضي يوضح الاشعة عند مخرج الدليل.

### 2.1.3.5 قياس الطاقة الممتصة وسط الليزر وتوزيعها:

لقياس استطاعة ال  
 يمكننا ZEMAX  
 الاستطاعة الممتصة في نقاط حجمية من الوسط الفعال، كما يوضح الشكل (12.3).  
 وسط الليزر و كيفية توزعها على طول الوسط الفعال  
 يغطي جميع نقاط  
 الذي يقيس قيمة



(12.3): توزيع طاقة الضخ الممتصة من طرف

لمعرفة قيم الاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال في كل نقاطه الحجمية تحول صورة الكاشف إلى نص يعرض في صفحة من صفحات برنامج EXCEL لإيجاد الاستطاعة الممتصة الكلية من طرف جمع كل القيم المتحصل عليها وإعطاء القيمة النهائية لهاته الطاقة، الشكل (13.3).

Voxel	X	Center	Y	Center	Z	Center	Incident	Flux	Absorbed	Flux	Absorbed/vox
1	-1.25E+01	-1.90E+00	-1.60E+00	6.53E-03	4.52E-07	4.43E-04					
2	-1.25E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	7.55E-03	3.85E-07	3.46E-04					
3	-1.24E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	7.77E-03	4.52E-07	4.17E-04					
4	-1.24E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	8.09E-03	3.64E-07	3.27E-04					
5	-1.24E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	7.98E-03	3.78E-07	3.38E-04					
6	-1.23E+01	-1.90E+00	-1.60E+00	7.42E-03	3.64E-07	3.27E-04					
7	-1.23E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	7.55E-03	3.73E-07	3.34E-04					
8	-1.23E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	7.52E-03	3.59E-07	3.25E-04					
9	-1.23E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	7.34E-03	3.64E-07	3.46E-04					
10	-1.22E+01	-1.98E+00	-1.60E+00	7.37E-03	3.66E-07	3.48E-04					
359990	1.22E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.85E-02	7.63E-07	6.86E-04					
359991	1.22E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.33E-02	7.57E-07	7.17E-04					
359992	1.23E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.55E-02	8.24E-07	7.42E-04					
359993	1.23E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.92E-02	9.42E-07	8.39E-04					
359994	1.23E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.39E-02	8.44E-07	7.60E-04					
359995	1.23E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.99E-02	8.21E-07	7.38E-04					
359996	1.24E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.87E-02	8.46E-07	7.61E-04					
359997	1.24E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.33E-02	7.45E-07	6.71E-04					
359998	1.24E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.84E-02	7.35E-07	7.06E-04					
359999	1.25E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.79E-02	7.74E-07	6.97E-04					
800000	1.25E+01	1.98E+00	1.60E+00	1.77E-02	7.25E-07	6.55E-04					
											2.67E+01

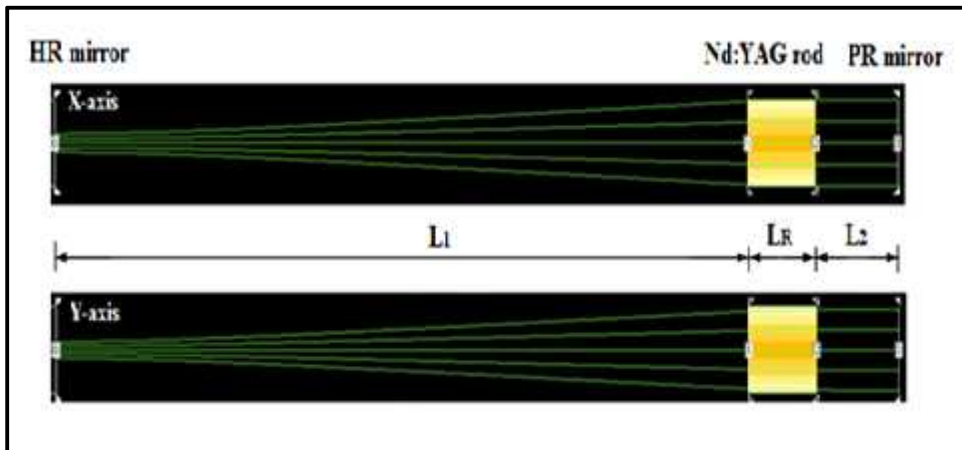
(13.3): نتيجة الاستطاعة الممتصة الكلية .Excel

## LASCAD®

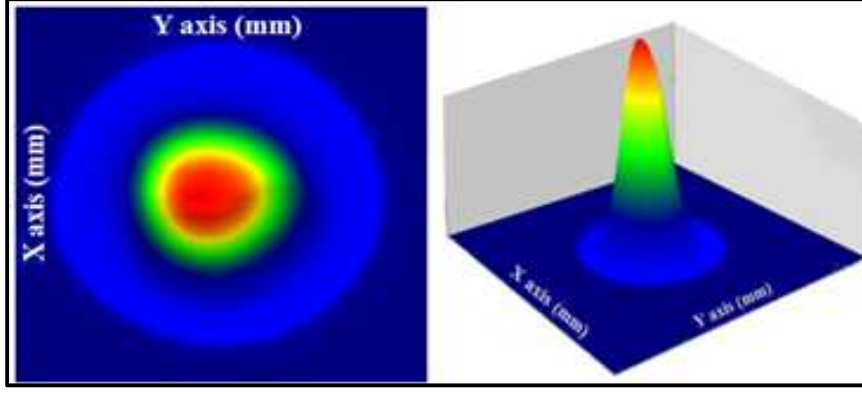
## 4.5

بعد تحديد قيمة الطاقة الممتصة من طرف الوسط الفعال بواسطة ZEMAX هذه النتيجة LASCAD الذي يمكن تحديد قياسات المرنان(نصف قطر انحناء المرايا، الأبعاد بين المرايا والوسط الفعال) (14.3) قياس استطاعة الليزر المنبعث وتحديد

الليزر. بلغت قيمة استطاعة الليزر الشمسي وحيد النمط 2.24W  $M_x^2 = 1.2 M_y^2 = 1.2$  (15.3)



(14.3): مثل الذي يمكن من تحديد خصائص الليزر وحيد ( ) .



(15.3): شكل حزمة الليزر المنبعثة.

:

6

بعد محاكاة المنظومة المقترحة في هذه الدراسة ت

الفعال قدرها 36.7W المساوية 214W يمثل الفرق بين الاستطاعتين  
مجمل الضياعات في: المركز الاول، الدليل الموجي، المركز الثانوي والتجويف البصري، بالإضافة للنسبة  
التي يمتصها سائل التبريد ( ).  
وهو ما ساهم في التقليل من ارتفاع درجة حرارته، وأدى كل ذلك ل  
ليزر وحيد ( ) (2.24W) وهي قيمة  
قريب

:

7

نظرا لأهمية تطبيقات الليزر الشمسي وحيد النمط في هذا الفصل اقترح منظومة ليزرية تعمل  
بغية الحصول على ليزر شمسي  
يمكن الضخ الجانبي من الحصول على توزيع  
التخفيض من ارتفاع درجة حرارته الذي يؤثر سلبا على مردوده (استطاعة الليزر المنبع).  
حيث لاستطاعة ممتصة قيمتها 36.7W وذات توزيع منتظم باستعمال برنامج ZEMAX.  
استطاعة ليزر شمسي LASCAD  
وحيد النمط قدرت بـ 2.24W 1.2 تقريبا غاوسي.

الخاتمة العامة

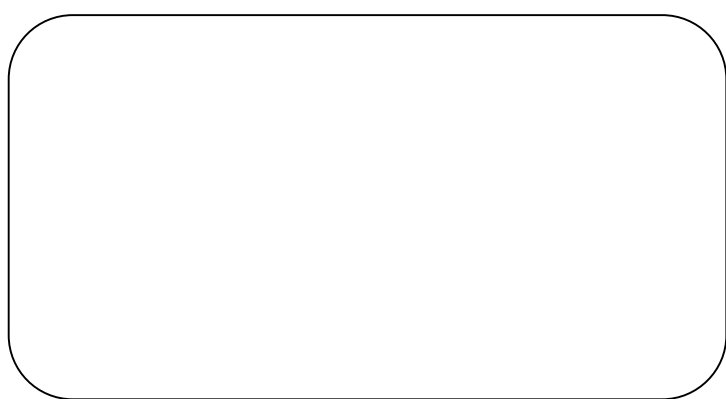
:

يُ الليزر الشمسي من الإنجازات الحديثة المهمة التي ساهمت  
المجالات خاصة الصناعية منها، إذ يعتمد مبدأ عمله  
( يها عن طريق  
الطاقة الشمسي تحفيز الوسط الليزري )  
توجه بواسطة الأدلة الموجية  
لجهاز الليزر الشمسي.

من خلال هذه الدراسة المقدمة تم العمل على تحسين منظومة اللي  
التي تمكن من التوزيع المنتظم للأشعة الممتصة على طول الوسط الفعال  
بدورها إمكانية تلفه بغية شعة ليزر ذات النمط  
و يستحوذ على أكبر نسبة من الطاقة الكلية لليزر المولد مقارنة  
ببقية الأنماط. لتحقيق هذا قمنا بـ العددية للمنظومة المقترحة بـ  
استطاعة الطاقة الممتصة من طرف الوسط الفعال لجهاز الليزر الشمسي وتحديد الأعلى منها التي بها تكون  
استطاعة الليزر الصادر عالية.

بعد عملية المحاكاة  
36.7W:  
قيمة استطاعة الليزر وتحديد شكله.  
2.24 W:  
حزمته على المحورين x y  
قيمة الطاقة الممتصة  
LASCAD لقيام بـ عددية لقياس  
ليزر وحيد النمط (TEM<sub>00</sub>)  
: M<sub>x</sub><sup>2</sup>= 1.2 M<sub>y</sub><sup>2</sup>=1.2

تحسين منظومة الليزر الشمسي  
ليزرية  
التي تحتاج الدقة لتنفيذها.  
مستقبلا في التطبيقات  
ها



- [1] A. Singh, "Solar Laser: Another Dimension in Renewable Energy Applications", DOI:10.13140/RG.2.2.12529.12644, University of Munich, (2016).
- [2] R. Boutaka et al, "numerical study of a ring-array-concentrator for Nd:YAG solar laser pumping", Journal of physics: Conference Series, P:1, 012057,2021.
- [3] J. Widén ,J. Munkhammar and K. Omar Kassem, translation to Arabic by Khalafallah Omar Kassem, "Solar Radiation Theory", Uppsala University, Sweden12-30,(2021).
- [4] أحمد خليل، " الطاقة الشمسية واستخداماتها"، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة 10-21 (2012).
- [5] يمينه كرمية، " (حالة الليزر)"، مذكرة ماجستير، جامعة هـ (2013).
- [6] نور الدين حمروني، "ضخ الليزر الشمسي من كلا الطرفين"، مذكرة دكتوراه، جامعة حمه لخضر (2021).
- [7] عمر خليل احمد الجبوري واحمد حسن احمد الجبوري، " المعهد التقني الحويجة العراق،(2010)
- [8] N. Hamani, "Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident", Mémoire magister, Université Mohamed Khider, Biskra,(2015).
- [9] محمد بن يسلم محفوظة، " والتقنية(الطاقة الشمسية الجزء الاول)" 34 (1995).
- [10] سعود يوسف عياش، " تكنولوجيا الطاقة البديلة"، عالم المعرفة، الكويت،(2009)
- [11] "تحقيق عملي لمركز شمسي اسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي" (2018).
- [12] I. Afgan, "Advancements in Civil Engineering &Technology", University of Manchester,(2019)
- [13] محمد مصطفى محمد الخياط، " محطات مراكز الطاقة الشمسية"، مجلة الكهرباء العربية، العدد 2010/01/99
- [14] سعود بن حميد اللحياني، "الليزر وتطبيقاته" السعودية، 2004.

- 
- [15] محمد يوسف الشيخ يوسف، "دراسة اللوحات الفنية باستخدام تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر" مذكرة ماجستير، جامعة السودان، (2017).
- [16] ليلي بوراس، "دراسة تأثير شبكة براغ المنتظمة على تحسين الانتقائية الطيفية في الموجات الضوئية تطبيق: تجويف رنين لليزر مدمج"، مذكرة ماجستير، جامعة ورقلة (2006).
- [17] منيرة ممي، "دراسة وتحسين توجيه الضوء الشمسي"، مذكرة ماجستير، جامعة الوادي، (2013).
- [18] "فيزياء الليزر وتطبيقاته"، منشورات جامعة دمشق، سوريا، (2006/2005).
- [19] J. Shan and C. K. Toth, "TOPOGRAPHIC LASER RANGING AND SCANNING(Principles and Processing)", CRC Press Taylor & Francis Group, America, 3-19, (2009).
- [20] D. H. Titterton, "MILIARY LASER TECHNOLOGY AND SYSTEMS", Artech House, London, 2-36, (2015).
- [21] "أساسيات الليزر و تقنياته"، دار الكندي للنشر والتوزيع، (2009).
- [22] O. Svelto, translated by D. C. Hanna, "PRINCIPLES OF LASERS", Plenum press, New York, 4-14, (1976).
- [23] Y. Abdel-Fattah Abdel-Hadi, "Development of optical concentrator systems for directly solar pumped laser systems", Dissertation for the Doctoral Degree, Berlin, (2005).
- [24] J. Almeida, "Advances in solar-pumped laser efficiency and brightness", Dissertation for the Doctoral Degree in Physical Engineering, Nova University of Lisbon, (2017).
- [25] S. Mehellou et al, "Thermal loading effects on Nd:YAG solar-laser performance in end-pumping and side-pumping configuration: A review", Opt.Eng, 57, 5-12, (2018).
- [26] D. Liang, J. Almeida, C. R. Vistas, and E. Guillot, "Solar-pumped Nd:YAG laser with  $31.5 \text{ W/m}^2$  multimode and  $7.9 \text{ W/m}^2$  TEM<sub>00</sub>-mode collection efficiencies", Sol. Energy Mat. Sol. Cells 159, 435-439 (2017).
- [27] S. Mehellou et al., "Stable solar-pumped TEM<sub>00</sub> mode 1064nm laser emission by a monolithic fused silica twisted light guide", Solar Energy 155, 1059-1071, (2017).
- [28] J. Almeida, D. Liang, and C.R. Vistas, "A doughnut-shaped Nd:YAG solar-laser beam," Optics and Laser Technology, 106, 1-6 (2018).

---

[29] 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).

[30] 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/m<sup>2</sup> collection efficiency", *Solar Energy*, 182, 42–47 (2019).

[31] S. M. Shapshay, "Endoscopic Laser Surgery Handbook", CRC Press, New York, 75-79, (2020).

[32] مريم أزهر علي "تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات أحادييد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيماكس"، مذكرة ماجستير، جامعة بغداد، (2016).

:

الطاقة الشمسية مصدر يمكن استغلاله في العديد جالات منها توليد يزر وذلك من خلال تجميعها تركيزها وتوجيهها نحو الوسط اليزري بطريقتين يصدر ليزري هتز متعددة أهمها النمط  $TEM_{00}$  الذي يملك اكبر استطاعة الليزر الكلية ويد نظرا لأهمية هذا النمط الليزري ميم منظومة ليزر شمسي وحيد النمط ( $TEM_{00}$ ) ذات كفاءة عالية باستعمال طريقة الضخ الجانبي في هذه الدراسة بمحاكاة عددية بواسطة برنامجي LASCAD ZEMAX حزمة ليزر وحيد النمط باستطاعة عالية وشكل غاوسي .

تسليط  
قدرها 36.7W  
منظم على هذا الأخير  
نتيجة  $TEM_{00}$  قيمتها 2.24W  
ليزر ذو  
1.2  
الكلمات المفتاحية :  
شمسي وحيد النمط ( $TEM_{00}$ ) .

## Résumé:

L'énergie solaire est une source qui peut être exploitée dans de nom creux domaines, parmi lesquels on trouve la production du laser, cela se passe par les étapes de collection/concentration et le guidage vers le milieu laser. La lumière solaire concentrée peut frapper le milieu laser de deux manières, par le bouton latéralement. Le milieu effectivement des émissions laser qui vibrent à l'intérieur du résonateur selon plusieurs modes, dont le plus important est le mode fondamental  $TEM_{00}$ , qui a la plus grand partie de la puissance laser totale, de plus sa forme est Gaussienne. Vu l'importance de ce mode laser et dans le but de concevoir un système laser solaire monomode efficace ( $TEM_{00}$ ) en utilisant la méthode de pompage latéral, dans cette étude, nous avons effectué des simulations numériques par les programmes ZEMAX et LASCAD pour obtenir un faisceau laser monomode de haute puissance et de forme gaussienne.

Après avoir injecter la lumière solaire focalisée latéralement sur milieu actif (Nd:YAG), nous avons obtenu une puissance absorbante de 36,7 W uniformément répartie le long ce dernier, tout cela a conduit à un faisceau laser en mode fondamental,  $TEM_{00}$ , de 2,24 W et déforme Gaussienne avec des facteurs de forme de 1.2.

Mots clés : lumière solaire concentrée, pompage par le bout, pompage latéral, milieu actif, laser solaire monomode, facteur de forme .