



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 إشعاع و طاقة

من إعداد:

الزهرة حمادي- صبرينة خليفة

الموضوع

دراسة كفاءة الليزر الشمسي بواسطة الضخ الجانبي لـ:  
**Nd:YAG**

نوقشت يوم: 2018/06/09

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيسا  
مناقشا  
مؤطرا  
مساعد مؤطر

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

باقي محمد  
رحومة فرحات  
محلو السعيد  
بوراس ليلي

الموسم الجامعي: 2018/2017

مخبر استغلال وتنمين المصادر الطاقوية الصحراوية

# شكراً واحترافاً

بعد الحمد لله وشكره جلّ وعلا

تتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى أساتذتنا الأفاضل محلو

السعيد ويلي بوراس .

الذي تفضلاً بالإشراف على هذا البحث، حيث قدمولنا كل

النصح والإرشاد طيلة فترة الإعداد فلهم منا كل الشكر والتقدير .

كما تتقدم بجزيل الشكر إلى مخبر استغلال وتثمين مصادر الطاقة

الصحراوية .

كما نشكر أعضاء لجنة المناقشة على قبولهم ومراجعة هذا العمل

وتصويبه .

# إهداء

الحمد لله الذي أنار لي درب العلم والمعرفة ووقفني إلى انجائز هذا العمل .

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة . . . ونصح الأمة . . . إلى نبي الرحمة ونور العالمين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم .  
إلى من أثقلت الجفون سهرا . . . وحملت الفؤاد هما . . . وجاهدت الأيام صبرا . . . وشغلت البال فكرا . . . ورفعت  
الأيادي دعاء . . . وأيقنت بالله أملا . . . حفظها الله وأطال في عمرها "أمي المحببة" .

إلى من كلفه الله بالهيبه والوقار . . . إلى من علمني العطاء بدون انتظار . . . إلى من أحمل اسمه بكل اقتخار . . . أرجو من  
الله أن يمد في عمرك "أبي الغالي" أدامه الله لي

كما أهدي هذا العمل . . . . .

إلى من لم تبخل عليا بنصحها وإرشادها، تعمدتها الله بواسع رحمته وأسكنها الفردوس الأعلى جدتي "مباركة" .  
إلى من عشت معهم وتقاسمتنا أحلى الأيام وأمرها إلى من هم أثن وأجمل ما في هذه الدنيا:

أخواتي مليكة وجهينة ورحمة وأمال وتوأم روحي أختي دليلة .

وإخوتي : محمد يوسف وعبد النور أنار الله لهم درب العلم في مشوارهم الدراسي .

ولؤلؤ البيت سيف الدين وإلى كل الأقارب كبيراً وصغيراً .

وإلى رفيقة دربي التي تذوقت معها أجمل اللحظات إلى صديقة عمري "الزهره"

إلى أساتذتي الكرام . . . الذين مرافقوني طيلة مشواري الدراسي لكم كل التبجيل والتوقير، يا من صنعت لي

المجد، فأنتم لم تعلموني حرفاً واحداً، بل علمتموني كل شيء، فلكم أسمى وأرقى عبارات التحية .

إلى أصدقاء الذين تسكن صومرهم وأصواتهم بأجمل اللحظات والأيام التي عشتها

إلى كل من نسيهم قلبي ولم يساهم قلبي

صبرنت

# إهداء

إلى مروح أمي الطاهرة ، التي غرست فيا حب العلم منذ الصغر  
إلى من جرع الكأس فامرغا ليستقيني قطرة حب إلى حب إلى من كات أنامله ليقدم لنا لحظة سعادة إلى حصد الأشواك

عن دربي ليمهد لي طريق العلم

والدي العزيز

إلى من عشت معهم وتقاسمنا أحلى الأيام وأمرها إلى من هم أثنى وأجمل ما في هذه الدنيا :

إخوتي فاتح الأمين مصباح عمر الهادي شرف الدين عبد الرحمان

وأخواتي سمرة حكيمة سعاد

وأبنائهم

إلى كل الأقارب صغيرا وكبيرا .

إلى توأم مروحي ورفيقة دربي . . . إلى صاحبة القلب الطيب والنوايا الصادقة

إلى من مرافقتني منذ ان حملنا حقائب صغيرة ومعك سرت الدرب خطوة بخطوة وما تزال ترافقتني حتى الآن

صبرينة

إلى الأخوات اللواتي لم تلدهن أمي . . إلى من تحلوا بالأخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء إلى يتابع الصدق الصافي إلى من معهم

سعدت وبرفتهم في دروب الحياة الحلوة والحزينة سرت إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير

إلى من عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم صديقاتي

فطومة، عطوفة، حلومة نسرين نرينب سكيمة سعية صباح عائشة مارييا وسيلة زهرة مزينة زهرة زينة سهيلة

حليمة صفاء

إلى من عشت معهم لحظات أخوة الصديقات الكرميات دفعة سنة 2018

والى من نسيهم قلبي ولم ينسأهم قلبي

إلى كل هؤلاء أهدي ثمرة جهدي وعصاره فكري

الزهرة

# فهرس المحتويات

فهرس المحتويات

| الصفحة  | العنوان                                   |
|---|---|
| I   | الإهداء.....                              |
| III   | شكر و عرفان.....                          |
| V   | فهرس المحتويات.....                       |
| IX  | فهرس الاشكال.....                         |
| XII   | فهرس الجداول.....                         |
| XIV   | قائمة الرموز.....                         |
| 01  | مقدمة عامة.....                           |
| <b>الفصل الأول: الإشعاع الشمسي</b>                |   |
| 04  | 1-1 مقدمة.....                            |
| 04  | 2-1 الإشعاع الشمسي.....                   |
| 04  | 1-2-1 تعريفه.....                         |
| 04  | 2-2-1 طيف الإشعاع الشمسي.....             |
| 05  | 3-1 الثابت الشمسي.....                    |
| 07  | 4-1 الزوايا الشمسية.....                  |
| 07  | 1-4-1 زاوية دائرة العرض $\varphi$ .....   |
| 07  | 2-4-1 زاوية خط الطول L.....               |
| 07  | 3-4-1 زاوية ميل الشمس $\delta$ .....      |
| 08  | 4-4-1 زاوية الارتفاع الشمسي h.....        |
| 08  | 5-4-1 زاوية سمت الشمسي a.....             |
| 09  | 6-4-1 زاوية الساعة الشمسية $\omega$ ..... |
| 09  | 1-6-4-1 الأوقات الشمسية المختلفة.....     |
| 09  | 2-6-4-1 توقيت الشروق وغروب الشمس.....     |
| 10  | 5-1 أنواع الإشعاع الشمسي.....             |
| 10  | 6-1 الإشعاع الشمسي في الجزائر.....        |
| 12  | 7-1 خاتمة.....                            |
| <b>الفصل الثاني : تركيز وتوجيه الأشعة الشمسية</b> |   |
| 14  | 1-2 مقدمة.....                            |
| 14  | 2-2 تحويل الطاقة الشمسية.....             |
| 14  | 1-2-2 التحويل الكهروضوئي.....             |
| 14  | 2-2-2 التحويل الحراري.....                |
| 15  | 3-2-2 الليزر الشمسي.....                  |
| 15  | 3-2-2 المركزات الشمسية.....               |
| 15  | 1-3-2 تعريف.....                          |
| 15  | 2-3-2 أنواع المركزات الشمسية.....         |
| 15  | 1-2-3-2 المركزات الاسطوانية المقعرة.....  |
| 16  | 2-2-3-2 البرج المركزي.....                |
| 17  | 3-2-3-2 عدسات فرينل.....                  |
| 17  | 1-3-2-3-2 تعريفها.....                    |
| 17  | 2-3-2-3-2 مركز فرينل.....                 |

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 17                                | .....  |
| 17                                | 4-2-3-2 المراكز الشمسية ذات القطع المكافئ.....                             |
| 18                                | 4-2 الدراسة النظرية للمراكز الشمسية ذات القطع المكافئ.....                 |
| 19                                | 1-4-2 قانون سنال ديكرات.....   |
| 19                                | 2-4-2 هندسة القطع المكافئ.....   |
| 19                                | 1-2-4-2 تعريف.....   |
| 20                                | 2-2-4-2 زاوية الفتحة للقطع المكافئ.....                                    |
| 21                                | 3-2-4-2 الارتفاع h.....  |
| 21                                | 4-2-4-2 سطح القطع المكافئ $A_S$ .....                                      |
| 21                                | 5-2-4-2 نصف قطر القطع المكافئ $r_r$ .....                                  |
| 21                                | 6-2-4-2 طول قوس القطع المكافئ S.....                                       |
| 21                                | 5-2 خصائص المركز الشمسي ذو القطع المكافئ.....                              |
| 21                                | 1-5-2 نسبة التركيز.....  |
| 21                                | 1-1-5-2 نسبة التركيز الهندسي $C_g$ .....                                   |
| 22                                | 2-1-5-2 نسبة التركيز الضوئي $C_0$ .....                                    |
| 22                                | 6-2 توجيه الأشعة الضوئية.....  |
| 22                                | 1-6-2 تعريف الموجات الضوئية.....   |
| 23                                | 2-6-2 انتشار الضوء في الموجات المستوية العازلة ذات قرينة انكسار ثابتة..... |
| 24                                | 3-6-2 معادلات ماكسويل.....   |
| 25                                | 4-6-2 انتشار الضوء في الموجه الضوئي.....                                   |
| 26                                | 7-2 خاتمة.....   |
| <b>الفصل الثالث: نظرية الليزر</b> |  |
| 28                                | 1-3 مقدمة.....   |
| 28                                | 2-3 الليزر.....  |
| 28                                | 1-2-3 نبذة تاريخية.....  |
| 28                                | 2-2-3 تعريف الليزر.....  |
| 28                                | 3-3 خواص شعاع الليزر.....  |
| 28                                | 1-3-3 أحادية اللون.....  |
| 29                                | 2-3-3 الاتجاهية (نفس الطور).....   |
| 29                                | 3-3-3 الترابط.....   |
| 30                                | 4-3-3 الشدة الضوئية.....   |
| 30                                | 4-3 المكونات الأساسية لجهاز الليزر.....                                    |
| 30                                | 1-4-3 الوسط الفعال.....  |
| 31                                | 2-4-3 الضخ.....  |
| 31                                | 1-2-4-3 الضخ الكهربائي.....  |
| 31                                | 2-2-4-3 الضخ الضوئي.....   |
| 31                                | 3-2-4-3 المرنان.....   |
| 32                                | 5-3 آلية تفاعل مادة - إشعاع.....   |
| 32                                | 1-5-3 الامتصاص.....  |
| 33                                | 2-5-3 الانبعاث التلقائي.....   |
| 33                                | 3-5-3 الانبعاث المحفز.....   |
| 34                                | 6-3 آلية توليد الليزر.....   |
| 35                                | 7-3 الليزر الشمسي.....   |

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 35                                    | ..... 1-7-3 نبذة تاريخية   |
| 36                                    | ..... 2-7-3 تعريفه   |
| 36                                    | ..... 3-7-3 الضخ الشمسي  |
| 37                                    | ..... 1-3-7-3 أنواع الضخ المباشر لليزر الشمسي                        |
| 38                                    | ..... 8-3 خاتمة  |
| <b>الفصل الرابع: المحاكاة العددية</b> |  |
| 40                                    | ..... 1-4 مقدمة  |
| 40                                    | ..... 2-4 برنامج ZEMAX   |
| 41                                    | ..... 3-4 منظومة الليزر الشمسي                                       |
| 42                                    | ..... 1-3-4 المركز ذو القطع المكافئ                                  |
| 43                                    | ..... 2-3-4 الدليل الموجي  |
| 43                                    | ..... 3-3-4 المركز الثانوي   |
| 44                                    | ..... 4-3-4 التجويف البصري   |
| 44                                    | ..... 5-3-4 الوسط الفعال Nd:YAG                                      |
| 44                                    | ..... 6-3-4 التجويف الرنيني  |
| 45                                    | ..... 7-3-4 حوض التبريد  |
| 45                                    | ..... 4-4 المنظومة الميكانيكية                                       |
| 45                                    | ..... 5-4 نتائج المحاكاة باستعمال برنامج ZEMAX                       |
| 45                                    | ..... 1-5-4 الاستطاعة الضوئية عند بؤرة التركيز (الكاشف الأول)        |
| 46                                    | ..... 2-5-4 الاستطاعة الضوئية عند مخرج الدليل الموجي (الكاشف الثاني) |
| 47                                    | ..... 3-5-4 الاستطاعة الضوئية عند الوسط الفعال (الكاشف الثالث)       |
| 48                                    | ..... 6-4 خاتمة  |
| 50                                    | ..... خاتمة عامة   |
| 52                                    | ..... قائمة المراجع  |

# فہر س الأشکال

فهرس الأشكال

| الصفحة              | عنوان الشكل<br>الفصل الأول   | ترتيب الشكل  |
|---------------------|--|--------------|
| 04.....             | توزيع طيف الإشعاع الشمسي.....  | الشكل (1-1)  |
| 05.....             | محاكاة إشعاع الجسم الأسود لطيف الإشعاع الشمسي.....                   | الشكل (2-1)  |
| 06.....             | المسافة بين الشمس إلى الأرض.....                                     | الشكل (3-1)  |
| 06.....             | الثابت الشمسي I بدلالة اليوم من السنة.....                           | الشكل (4-1)  |
| 07.....             | زوايا تحديد الموقع (زاوية دائرة العرض $\phi$ وزاوية خط الطول L)..... | الشكل (5-1)  |
| 08.....             | زاوية السمات الشمسي والارتفاع الشمسي.....                            | الشكل (6-1)  |
| 10.....             | أنواع الإشعاع الشمسي.....  | الشكل (7-1)  |
| 11.....             | خريطة الإشعاع الإجمالي الشمسي اليومي لشهر جويلية.....                | الشكل (8-1)  |
| <b>الفصل الثاني</b> |  |              |
| 14.....             | تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء.....                                 | الشكل (1-2)  |
| 15.....             | رسم تخطيطي للمركزات الاسطوانية المقعرة.....                          | الشكل (2-2)  |
| 16.....             | سلسلة من المركزات الاسطوانية المقعرة.....                            | الشكل (3-2)  |
| 16.....             | البرج المركزي.....   | الشكل (4-2)  |
| 17.....             | يوضح رسم تخطيطي لعدسات فرينل.....                                    | الشكل (5-2)  |
| 17.....             | مركز فرينل.....  | الشكل (6-2)  |
| 18.....             | المركز الشمسي ذو القطع المكافئ.....                                  | الشكل (7-2)  |
| 18.....             | محرك ستيرلينغ.....   | الشكل (8-2)  |
| 19.....             | انعكاس وانكسار الأشعة الضوئية.....                                   | الشكل (9-2)  |
| 20.....             | هندسة القطع المكافئ.....   | الشكل (10-2) |
| 20.....             | العلاقة بين زاوية الفتحة وموضع البؤرة.....                           | الشكل (11-2) |
| 22.....             | صورة للألياف البصرية.....  | الشكل (12-2) |
| 23.....             | أنواع قناة الموجه الضوئي.....  | الشكل (13-2) |
| 24.....             | الموجه الضوئي المستوي العازل المدمج.....                             | الشكل (14-2) |
| 25.....             | مبدأ الانعكاس الكلي للضوء داخل الدليل الموجي المستوي.....            | الشكل (15-2) |
| 26.....             | اهتزاز الموجه داخل الموجه الضوئي لثلاث الصيغ الأولى.....             | الشكل (16-2) |
| <b>الفصل الثالث</b> |  |              |
| 29.....             | الموجات الضوئية لليزر والضوء العادي.....                             | الشكل (1-3)  |
| 29.....             | اتجاهية ضوء الليزر.....  | الشكل (2-3)  |
| 29.....             | فرق الترابط بين الضوء الليزري والضوء العادي.....                     | الشكل (3-3)  |
| 30.....             | مكونات جهاز الليزر.....  | الشكل (4-3)  |
| 31.....             | رسم يوضح مستوي الطاقة لـ Nd: YAG.....                                | الشكل (5-3)  |
| 32.....             | ظاهرة الإمتصاص.....  | الشكل (6-3)  |
| 33.....             | ظاهرة الانبعاث التلقائي.....   | الشكل (7-3)  |
| 33.....             | ظاهرة الانبعاث المحفز.....   | الشكل (8-3)  |

- الشكل (9-3) مخطط عملية توليد الليزر من خلال تجويف رنيني.....35
- الشكل (10-3) مخطط توليد الليزر الشمسي بمادة Nd: YAG.....35
- الشكل (11-3) مخطط تسليط الأشعة على Nd:YAG.....36
- الشكل (12-3) (a) مركز مزدوج (2D-CPC،3D-CPC)، (b) مرآة أساسية.....36
- الشكل (13-3) تصميم تخطيطي لتقنية الضخ الجانبي.....37
- الشكل (14-3) تصميم تخطيطي لتقنية الضخ عند الأطراف.....38
- الشكل (15-3) تقنية ترشيح الأشعة الشمسية.....38

#### الفصل الرابع

- الشكل (1-4) صورة لنافذة برنامج ZEMAX.....42
- الشكل (2-4) رسم تخطيطي يوضح منظومة الليزر الشمسي.....43
- الشكل (3-4) رسم تخطيطي يوضح تركيز الأشعة بواسطة المركز ذو القطع المكافئ.....43
- الشكل (4-4) رسم تخطيطي يوضح أبعاد الدليل الموجي.....44
- الشكل (5-4) رسم تخطيطي يوضح المركز الثانوي.....44
- الشكل (6-4) رسم تخطيطي يوضح التجويف البصري.....45
- الشكل (7-4) رسم تخطيطي يوضح أبعاد القضيب.....45
- الشكل (8-4) رسم تخطيطي يوضح التجويف الرنيني.....46
- الشكل (9-4) صورة توضح توزيع الأشعة الشمسية عند البؤرة.....47
- الشكل (10-4) صورة توضح توزيع الأشعة عند مخرج الدليل الموجي.....47
- الشكل (11-4) صورة توضح توزيع الاستطاعة الممتصة من طرف القضيب.....48
- الشكل (12-4) صورة توضح نتيجة الاستطاعة الممتصة باستعمال Excel.....48

# فہر س الجلد اول

## فهرس الجدول

| الصفحة  | عنوان الجدول<br>الفصل الأول         | ترتيب الجدول |
|---------|-------------------------------------|--------------|
| 11..... | الإشعاع الشمسي في مختلف مناطق الوطن | الجدول(1-1)  |

# قائمة الرموز

الرموز المستعملة

| الوحدة الدولية      | الرمز                 | المقادير الفيزيائية                |
|---------------------|-----------------------|------------------------------------|
| [J]                 | E                     | الطاقة                             |
| [m]                 | $\lambda$             | طول الموجة                         |
| [Hz]                | $\nu$                 | تردد الموجة                        |
| [m/s]               | c                     | سرعة الضوء في الفراغ               |
| [j.s]               | h                     | ثابت بلانك                         |
| [C°]                | T                     | درجة الحرارة                       |
| [w/m <sup>2</sup> ] | I <sub>0</sub>        | الثابت الشمسي                      |
| [°]                 | $\varphi$             | زاوية دائرة العرض                  |
| [°]                 | L                     | زاوية خط الطول                     |
| [°]                 | $\delta$              | زاوية ميل الشمس                    |
| [°]                 | h                     | زاوية الارتفاع الشمسي              |
| [°]                 | $\omega$              | زاوية الساعة الشمسية               |
| [°]                 | a                     | زاوية السميت الشمسي                |
| [h]                 | TSV                   | التوقيت الشمسي الحقيقي             |
| [h]                 | TSM                   | متوسط التوقيت الشمسي               |
| [h]                 | TSV <sub>lever</sub>  | التوقيت الشمسي للشروق              |
| [h]                 | TSV <sub>couche</sub> | التوقيت الشمسي للغروب              |
| [°]                 | $\theta_1$            | زاوية السقوط                       |
| [°]                 | $\theta'_1$           | زاوية الانعكاس                     |
| [m]                 | f                     | البعد البؤري                       |
| [°]                 | $\Psi$                | زاوية الفتحة                       |
| [m]                 | a                     | قطر فتحة القطع المكافئ             |
| [m]                 | h                     | ارتفاع القطع المكافئ               |
| [m <sup>2</sup> ]   | A <sub>S</sub>        | سطح القطع المكافئ                  |
| [m]                 | r <sub>r</sub>        | نصف قطر القطع المكافئ              |
| [m]                 | S                     | طول شريط القطع المكافئ             |
|                     | C <sub>g</sub>        | نسبة التركيز الهندسي               |
|                     | C <sub>o</sub>        | نسبة التركيز الضوئي                |
| [m <sup>2</sup> ]   | A <sub>abs</sub>      | مساحة سطح المستقبل                 |
| [m <sup>2</sup> ]   | A <sub>ref</sub>      | مساحة الفتحة لسطح العاكس           |
| [W/m <sup>2</sup> ] | I <sub>abs</sub>      | شدة تدفق الإشعاع على سطح المستقبل  |
| [W/m <sup>2</sup> ] | I <sub>ref</sub>      | شدة تدفق الإشعاع على سطح العاكس    |
|                     | n <sub>a</sub>        | قرينة انكسار الطبقة العازلة العليا |
|                     | n <sub>g</sub>        | قرينة انكسار الطبقة الموجهة        |

## قائمة الرموز

|   |               |   |
|---|---------------|---|
|   | $n_s$         | قرينة انكسار الطبقة العازلة الدنيا (الشريحة). |
|   | $\vec{E}$     | شعاع الحقل الكهربائي                          |
|   | $\vec{H}$     | شعاع الحقل المغناطيسي                         |
|   | $\vec{D}$     | شعاع التحريض الكهربائي                        |
|   | $\vec{B}$     | شعاع التحريض المغناطيسي                       |
| [F/m]   | $\epsilon$    | السماحية                                      |
| [H/m]   | $\mu$         | النفاذية                                      |
| [C/m]   | $\rho$        | كثافة الشحنة في الفراغ                        |
| [A/m <sup>2</sup> ]                                 | $j$           | كثافة التيار                                  |
|   | $e_0$         | سعة الحقل الكهربائي                           |
|   | $\vec{r}$     | شعاع الموضع                                   |
| [Hz]  | $w$           | النبض   |
|   | $\vec{k}$     | شعاع الموجة                                   |
|   | $\vec{k}_i$   | الشعاع الموجي الوارد                          |
|   | $\vec{k}_r$   | الشعاع الموجي المنعكس                         |
|   | $\vec{k}_t$   | الشعاع الموجي النافذ                          |
| [°]   | $\theta$      | زاوية تباعد الأشعة                            |
| [m]   | $L/2$         | قطر شعاع الليزر                               |
|   | $\Delta E$    | الفرق بين مستويين                             |
|   | $N_2$ و $N_1$ | عدد الذرات في مستويات الطاقة $E_2$ و $E_1$    |
| [J/s]   | $K_B$         | ثابت بولتزمان                                 |
|   | $g$           | توالد المستوي                                 |
|   | $w_{12}$      | احتمال الإثارة لوحدة الزمن                    |
| [m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup> .J <sup>-1</sup> ] | $B_{12}$      | معامل اينشتاين للامتصاص المحثوث               |
| [J.s.m <sup>-3</sup> ]                              | $\rho_v$      | كثافة الطاقة للإشعاع الوارد                   |
| [s <sup>-1</sup> ]                                  | $A_{12}$      | معامل اينشتاين للإصدار التلقائي               |
| [s]   | $\tau_{rad}$  | مدة حياة إشعاع الحالة المثارة                 |
| [m <sup>3</sup> .s <sup>-2</sup> .J <sup>-1</sup> ] | $B_{21}$      | معامل اينشتاين للإصدار المحثوث                |
|   | $w_{21}$      | احتمالية الإصدار المحثوث لوحدة الزمن          |
| [W]   | $P$           | الاستطاعة                                     |

# مقدمت عامت

## مقدمة عامة :

تعتبر الطاقة الشمسية من الطاقات النظيفة والمتجددة التي يمكن للإنسان استخدامها والاستفادة منها. فهي من أفضل الطاقات المستخدمة حالياً وبكثرة نسبة للتناقص المستمر للطاقات التقليدية وتأثيرها السلبي على البيئة [1][2].

الليزر أحد اكتشافات الكبرى في النصف الثاني من القرن العشرين، وهو عبارة عن أشعة أحادية اللون على نحو متماسك وموجه ذات تركيز عالي، بدأ تاريخها في عام 1917م عندما بين ألبرت أينشتاين وجود عملية الانبعاث المستحث، فتوالت تطورات البحث العلمي في مجال الليزر إلى غاية عام 1960م حيث تم تصميم أول جهاز ليزر من قبل العالم ميمان [38].

سعى العلماء لخفض تكلفة إنتاج الليزر من خلال توليده من مصدر متجدد ودائم وغير مكلف باستخدام تقنية الضخ بالطاقة الشمسية [26][38].

إن تحويل إشعاع الشمس إلى ضوء الليزر عن طريق الضخ له أهمية متزايدة باستمرار لأن الطاقة الشمسية هي الأكثر وفرة من أنواع الطاقات المتجددة الأخرى، يمكن تحويلها إلى إشعاع متماسك ومتوازن وضيق النطاق. بالمقارنة مع أشعة الليزر التي تضخ بالطاقة الكهربائية، فإن الليزر الشمسي يوفر إمكانية تخفيض تكلفة المصادر الضوئية الأخرى، مما يؤدي إلى العديد من الفوائد البيئية والاقتصادية في السنوات القادمة [26].

تم تحقيق أول ليزر شمسي سنة 1966م ذو استطاعة  $1W$  من قبل العالم يونغ (Young) بكفاءة تجميع تقدر بـ  $3.4 W/m^2$  باستعماله مركز أساسي قطره  $61m$  ومساحته  $0.29m^2$  مع مادة Nd:YAG، بعد إنجازه هذا لم يكن هناك تقدم كبير في مجال أبحاث الليزر الشمسي حتى عام 1984م، تحصل آراشي (Arashi) وزملائه على ليزر باستطاعة  $18W$  وكفاءة تجميع  $0.023 W/m^2$  باستعماله مركز أساسي مساحته  $78.5m^2$  وباستخدامه نفس المادة، ثم توالت بعدها الأبحاث من قبل العلماء في هذا المجال من أجل تحسين استطاعة الليزر، ففي عام 2003م توصل لندو (Lando) وزملائه إلى استطاعة تقدر بالتقريب  $1 W$  بكفاءة  $6.7W/m^2$  باستعماله مركز أساسي مجزأ إلى  $61$  قطعة سداسية مساحته  $6.75 m^2$  أما عام 2007م حقق ياب (Yabe) وزملائه استطاعة قدرها  $24.4W$  وكفاءة جمع الليزر  $18.7 W/m^2$  باستعماله عدسة Fresnel بمثابة مركز شمسي أولي تقدر مساحتها  $1.3 m^2$ ، أما في عام 2017م توصلت ألميدا (Almeida) وزملائها إلى استطاعة تقدر بـ  $56 W$  بكفاءة تجميع  $21.1 W/m^2$  مستخدمة مركز أساسي عبارة على قطع مكافئ مساحته  $2.88 m^2$  وفي نفس السنة توصل ليانغ (Liang) وزملائه باستعماله نفس مركز إلى استطاعة  $37.2 W$  تتوافق مع كفاءة تجميع  $31.5 W/m^2$  [44].

ترتبط فعالية الليزر بالاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال، لكن ليست كل قيمة استطاعة ممتصة عالية تعطي استطاعة ليزر عالية لأنه يوجد مقادير فيزيائية يجب مراعاتها كارتفاع درجة الحرارة التي تؤثر سلباً على مردود الوسط الفعال. توجد طريقتان لضخ هذا الأخير ضخ جانبي وضخ على الأطراف.

اخترنا في دراستنا مادة Nd:YAG لتوليد الليزر الشمسي لكونها أحد أفضل الأوساط الفعالة المستعملة في حالة الضخ الشمسي بسبب تداخل شعاع طيف امتصاص Nd:YAG مع طيف الشمس. الهدف من هذه الدراسة هو الوصول إلى أكبر استطاعة ممتصة من طرف القضيب (Nd:YAG) مع توزيع منتظم للأشعة عليه بواسطة الضخ الجانبي بالمحاكاة العددية باستعمال برنامج ZEMAX. ومن قيمة هذه الاستطاعة يتم تحديد كفاءة الليزر الشمسي الناتج، عملنا في هذه المذكرة مقسماً إلى أربعة فصول وهي على النحو التالي :

- ✓ في الفصل الأول سنقدم فكرة عامة على الإشعاع الشمسي وانتشاره على سطح الأرض وأهم معادلات الزوايا الشمسية الساقطة على سطح الأرض .
- ✓ في الفصل الثاني سنتطرق إلى تركيز وتوجيه الأشعة الشمسية التي ستستعمل كمصدر لضخ للوسط الفعال.
- ✓ في الثالث سنقوم بعرض المبادئ الأساسية لليزر، والتعرف على تقنيات الضخ توليد الليزر الشمسي.
- ✓ في الفصل الرابع سنقوم بمحاكاة عددية لحساب الاستطاعة الممتصة من طرف القضيب (Nd:YAG) بتقنية الضخ الجانبي .

الفصل الأول

الإشعاع الشمسي

## 1-1 مقدمة

تعتبر الشمس المصدر الأساسي لحرارة الكرة الأرضية، ويطلق على الأشعة الصادرة منها والمتجهة نحو الأرض بالإشعاع الشمسي، وقد تطور استعمالها عبر العصور بتطور العلوم والتكنولوجيا . أوضحت الدراسات أن الشمس عبارة عن نجم سماوي ملتهبا مكونا من غازات أهمها الهيدروجين والهيليوم حيث يبلغ قطرها  $1.39 \times 10^9$  m، وتفصلها الأرض مسافة تقدر بـ  $1.496 \times 10^{11}$  m، وتعتبر كمصدر للطاقة اللازمة للحياة على سطح الأرض، وتتولد الطاقة الشمسية نتيجة التحول المستمر لكل أربع ذرات من الهيدروجين إلى ذرة واحدة من الهيليوم في التفاعل اندماجي نووي، حيث يتحول 564.106 مليون طن من الهيدروجين إلى 560.106 مليون طن من الهيليوم في الثانية الواحدة بنقص في الكتلة قدره 4 مليون طن في الثانية، وهي توافق تدفق إشعاعي شدته  $236102 \text{ kwh/m}^2$ ، يخترق هذا الإشعاع الغلاف و مكوناته، بسبب حدوث علميات ضوئية (امتصاص، انعكاس.....).

تتباين شدة الإشعاع الشمسي وطول فترة سطوعه زمانيا ومكانيا تبعا لاختلاف زاوية سقوط الأشعة الشمسية على سطح الأرض، وإلى اختلاف طول النهار على مدار العام بسبب اختلاف وضع الأرض بالنسبة للشمس خلال دورة الأرض السنوية حول الشمس، سنتناول خلال هذا الفصل مفاهيم حول طيف إشعاع الشمسي وأهم الزوايا الشمسية.

## 2-1 الإشعاع الشمسي

### 1-2-1 تعريف:

ترسل الشمس أشعتها على شكل فوتونات تنطلق بسرعة الضوء (c) على شكل موجات مستعرضة حيث لكل فوتون طول موجي ( $\lambda$ ) وكمية من الطاقة (E) تتناسب عكسيا مع الطول الموجي وحسب نظرية بلانك [1]، كما توضح بالمعادلة الآتية :

$$E = h \nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (1-1)$$

حيث:

$\nu = c/\lambda$  : هي التردد الموجة [Hz].

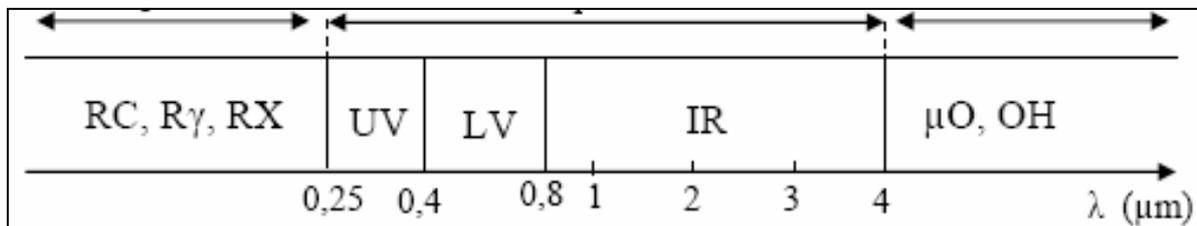
$\lambda$  : طول الموجة [m].

c: سرعة الضوء في الفراغ  $c=3.10^8$  [m/s].

h: ثابت بلانك  $h=6.62.10^{-34}$  [j.s].

### 2-2-1 طيف الإشعاع الشمسي:

إن الإشعاع الشمسي الصادر عن الشمس بموجات ذات أطوال مختلفة، مجملها على شكل أمواج كهرومغناطيسية تتوزع طاقتها على طيف الإشعاع بنسبة 98% في مجال  $\lambda \in [0.25, 4] \mu\text{m}$  ، بينما نجد 1% من الطاقات تحت هذا المجال و 1% فوق هذا المجال [2]، كما هو مبين في الشكل (1-1):



الشكل (1-1): توزيع طيف الإشعاع الشمسي [3].

-  $\lambda \in [0.25, 0.4] \mu m$  المجال فوق بنفسجي (UV) يمثل 7% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

-  $\lambda \in [0.4, 0.8] \mu m$  المجال المرئي (LV) يمثل 47% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

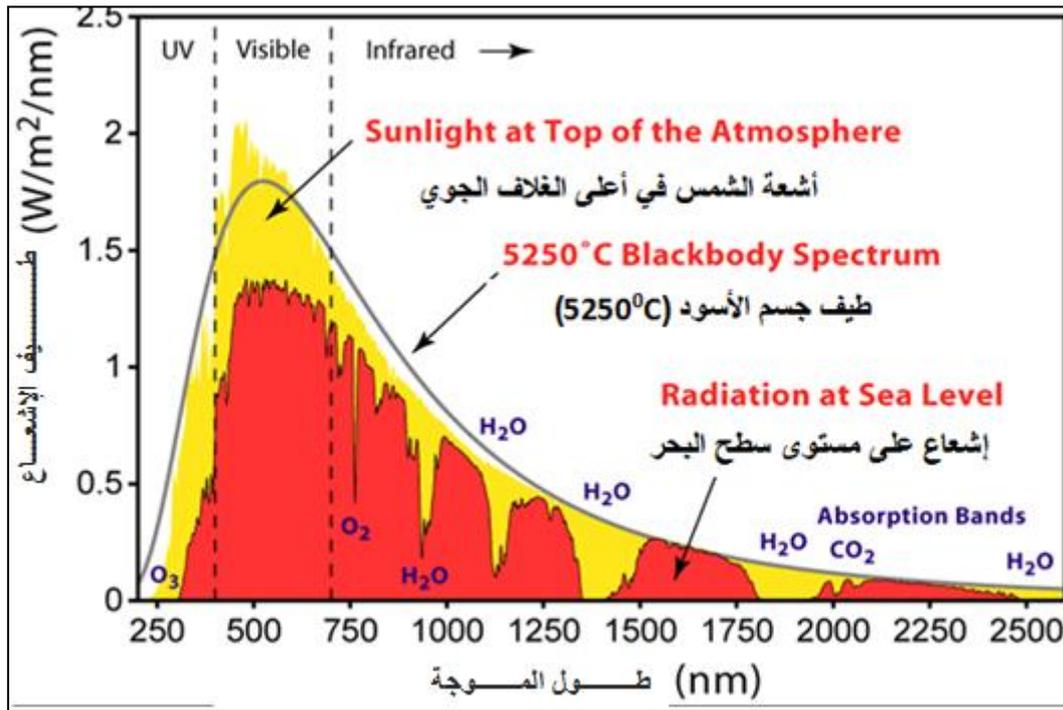
-  $\lambda \in [0.8, 4] \mu m$  المجال تحت الأحمر (IR) يمثل 45.5% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

حيث:

RX: الأشعة السينية؛ R $\gamma$ : الأشعة غاما؛ RC: الأشعة الكونية.

$\mu O$ : أشعة الميكروويف؛ OH: أشعة الراديو.

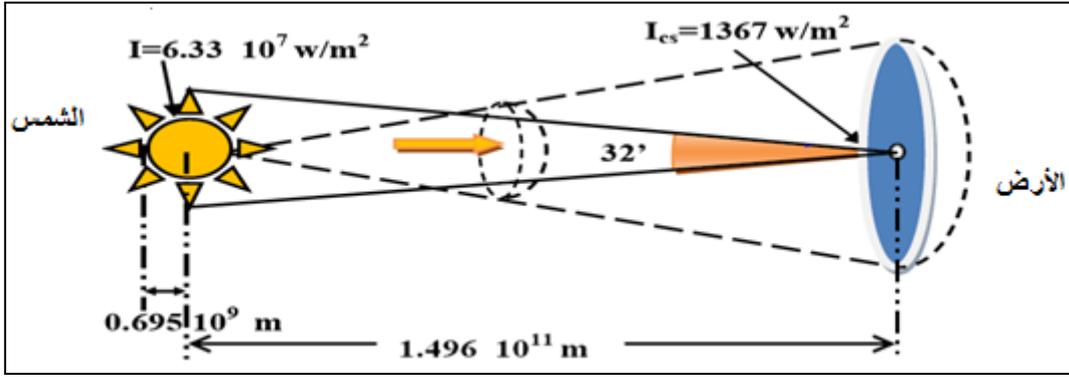
إن الإشعاع الشمسي يحاكي إشعاع الجسم الأسود في درجة الحرارة  $T=5600k$  في مجال الطيف  $\lambda \in [0.25, 4] \mu m$ ، بينما يصل إلى سطح الأرض بعد بعض الامتصاصات من قبل مختلف الغازات وبخار الماء داخل الغلاف الجوي [2]، كما هو مبين في الشكل (2-1):



الشكل(2-1): محاكاة إشعاع الجسم الأسود لطيف الإشعاع الشمسي [4].

### 3-1 الثابت الشمسي:

هو تدفق الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح مساحته ( $1m^2$ ) مثبت في نهاية الغلاف الجوي الأرضي في وضع يكون فيه عمودي على أشعة الشمس، وذلك باعتبار المسافة بين الشمس والأرض على قيمتها المتوسطة خلال السنة والمقدرة بـ ( $1.496.10^{11} km$ ) وتقدر القيمة المتوسطة للثابت الشمسي بـ ( $I_0=1367 W/m^2$ ) [5]، كما يوضح الشكل (3-1):



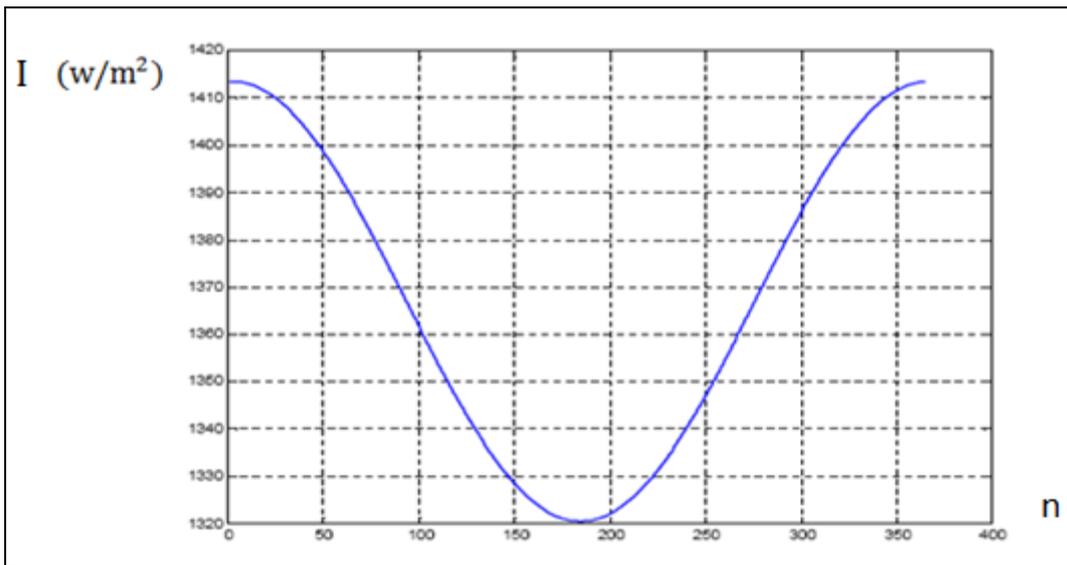
الشكل(3-1): المسافة بين الشمس إلى الأرض [6].

وتعطي علاقة الثابت الشمسي خلال أيام السنة بالمعادلة (2-1) والموضحة بالمنحى البياني في الشكل (4-1) التالي [7]:

$$I = I_0 \left[ 1 + 0.034 \left[ (n - 2) \cos \frac{360}{356} \right] \right] \quad (2-1)$$

$I_0$ : الثابت الشمسي الواصل إلى طبقة الجو المحيط بالأرض، وهي متغيرة نوعا ما ومتوسط قيمته  $1367 \text{ W/m}^2$ .

$n$ : رقم اليوم من السنة ابتداء من 1 جانفي (1.....365).



الشكل(4-1): الثابت الشمسي I بدلالة اليوم من السنة [5].

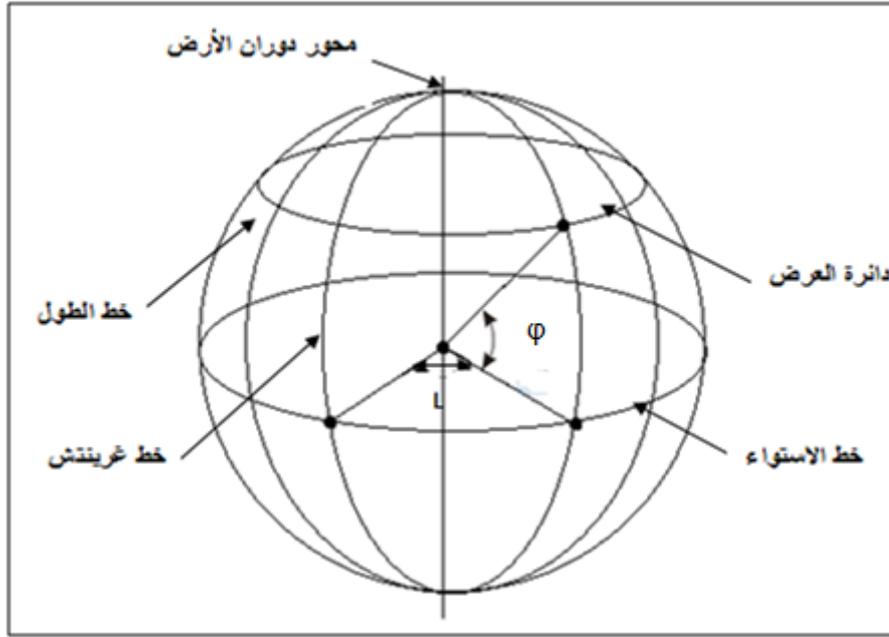
## 4-1 الزوايا الشمسية

### 1-4-1 زاوية دائرة العرض $\varphi$ :

هي الزاوية المحصورة بين المتجه المار بنقطة على سطح الأرض ومركز الأرض ومسقطه على خط الاستواء، ويتراوح مجال قيمتها  $\varphi \in [-90^0, +90^0]$ ، كما هو موضح في الشكل (5-1):

حيث:  $\varphi > 0$  : شمال خط الاستواء.

$\varphi < 0$  : جنوب خط الاستواء.



الشكل (5-1): زوايا تحديد الموقع (زاوية دائرة العرض  $\varphi$  وزاوية خط الطول  $L$ ) (6).

### 1-4-2 زاوية خط الطول $L$ :

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار ببلدة غرينتش الذي نعتبره خط الصفر، تقرأ الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا، وتنحصر قيمتها ما بين  $L \in [-180^0, +180^0]$ ، كما يوضح الشكل (5-1).

### 1-4-3 زاوية ميل الشمس $\delta$ :

هي زاوية موقع الشمس بالنسبة لخط الاستواء، وتقع بين الخط الواصل بين مركز الشمس إلى مركز الأرض ومسقط هذا الخط على مستوى خط الاستواء، ويمكن حسابها من العلاقة التالية [5][8]:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} (284 + n)\right) \quad (3-1)$$

حيث  $n$ : تمثل رقم اليوم من السنة من 1 إلى 365.

وتتغير هذه الزاوية على مدار السنة حيث تنعدم في الإعتدالين الربيعي (21 مارس) والخريفي (23 سبتمبر) بينما تكون أعظمية عند الانقلاب الصيفي "+23.45" والانقلاب الشتوي "-23.45" [5][8].

### 1-4-4 زاوية الارتفاع الشمسي h:

هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض ومركز الشمس الأفقي الذي تمر فيه النقطة على الأرض هذه الزاوية تساوي الصفر عند شروق وغروب الشمس و تأخذ القيمة العظمى عند وقت الزوال الشمسي هذه الزاوية مهمة في تحديد كمية الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض المبينة في الشكل (1-6)، وتكتب بالعلاقة التالية [2][5]:

$$\sin(h) = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (4-1)$$

حيث:

$\omega$ : زاوية الساعة الشمسية .

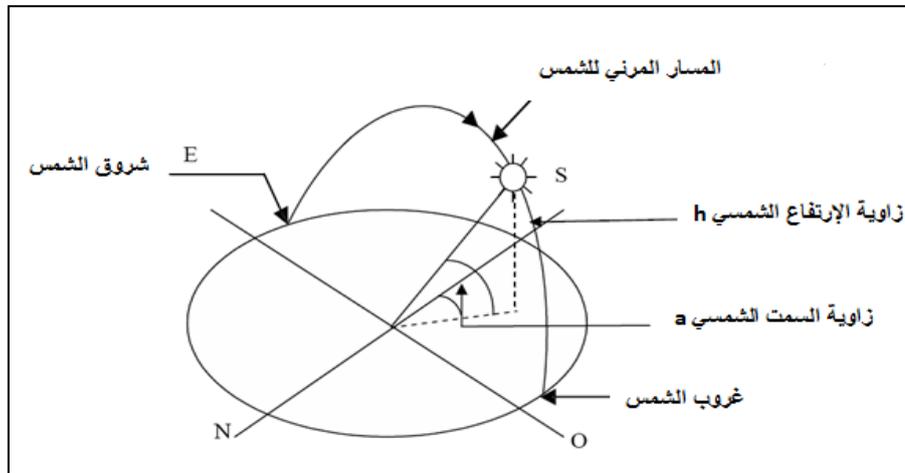
$\varphi$ : زاوية العرض.

$\delta$ : زاوية ميل الشمس.

$h=0$ : عند شروق وغروب الشمس.

$h<0$ : في الليل.

$h>0$ : في النهار.



الشكل (1-6): زاوية السمات الشمسي والارتفاع الشمسي [10].

### 1-4-5 زاوية السمات الشمسي a:

هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الأرض والمتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي للخط الواصل بين النقطة والشمس، هذه الزاوية تكون موجبة إذا كانت متجه نحو الغرب ومحصورة ما بين  $a \in [-180^0, +180^0]$  كما يوضح الشكل (1-6)، وتكتب بالعلاقة التالية [2][5]:

$$\sin a = \frac{\sin \delta \cdot \sin \omega}{\cos h} \quad (5-1)$$

$a=0$ : مسقط الشعاع الشمسي منطبق على المحور جنوب.

$a>0$ : مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الغرب.

$a<0$ : مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الشرق.

### 6-4-1 زاوية الساعة الشمسية $\omega$ :

يتم تحديد زاوية الساعة الشمسية عن طريق الدوران الأرض حول محورها القطبي، لذلك ترتبط مباشرة بالتوقيت الشمسي الحقيقي  $TSV$  وهو المعلم الأساسي الذي يسمح بالحساب الدقيق لإحداثيات الزاوية الشمسية [5].

$$\omega = \frac{360}{24} (TSV - 12) \quad (6-1)$$

$TSV$ : الوقت الشمسي الحقيقي.

#### 1-6-4-1 الأوقات الشمسية المختلفة:

1. التوقيت الشمسي الحقيقي ( $TSV$ ): يرتبط مباشرة بدوران الأرض حول نفسها، والمعرفة بزاوية الساعة  $\omega$ ، [5].

$$TSV = 12 + \omega/15 \quad (7-1)$$

2. متوسط التوقيت الشمسي  $TSM$ : و هو الوقت الذي يوافق دوران الأرض حول الشمس. يختلف قليلاً عن  $TSV$  (الفرق الأقصى  $ET = 16 \text{ min}$ ) [5]:

$$TSM = TSV + ET \quad (8-1)$$

حيث تعطى معادلة الوقت ( $ET$ ) بالعلاقة التالية:

$$ET = 0.0072 \cos n - 0.0528 \cos 2n - 0.0012 \cos 3n - \quad (9-1)$$

$$0.1229 \sin n - 0.1565 \sin 2n - 0.0014 \sin 3n$$

حيث  $n$ : تمثل رقم اليوم من السنة من 1 إلى 365.

#### 2-6-4-1 توقيت شروق وغروب الشمس :

يُمر اليوم بلحظتين مهمتين هما شروق وغروب الشمس، تعطى معادلاتهما بالشكل التالي [5]:

1- التوقيت الشمسي للشروق ( $lever$ ):

$$(TSV)_{lever} = 12 - \frac{\omega_s}{15} \quad (10-1)$$

2- التوقيت الشمسي للغروب ( $coucher$ ):

$$(TSV)_{coucher} = 12 + \frac{\omega_s}{15} \quad (11-1)$$

تعطى الزاوية الشمسية للشروق ( $-\omega_s$ ) والغروب ( $\omega_s$ )، لما تنعدم زاوية ارتفاع الشمس في العلاقة (4-1) [5]:

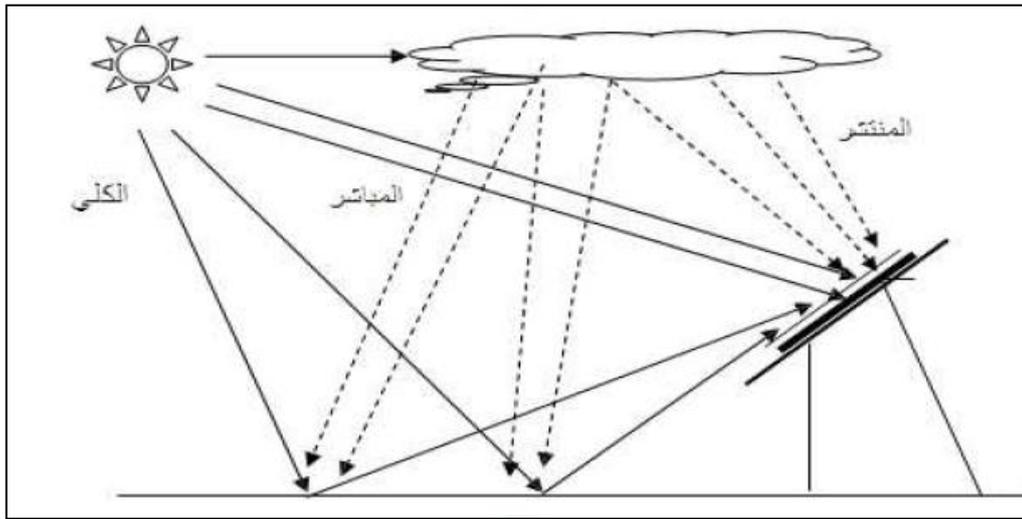
$$(h = 0 \Rightarrow \sin(h) = 0) \quad (12-1)$$

ومنه تصبح :

$$\cos \omega_s = -\text{tg}\delta \cdot \text{tg}\varphi \Rightarrow \omega_s = -\text{arc cos}(-\text{tg}\delta \cdot \text{tg}\varphi) \quad (13-1)$$

## 5-1 أنواع الإشعاع الشمسي

يوجد نوعان من الإشعاع الشمسي، المباشر والمنتشر ومجموعهما يسمى الكلي [11]، الموضح في الشكل (7-1):



الشكل (7-1): أنواع الإشعاع الشمسي [12].

- الإشعاع المباشر: Direct or Beam Radiation وهو جزء من الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض، حيث أنه لا يتأثر بعوامل الامتصاص والانتشار.
- الإشعاع المنتشر: Diffuse Radiation وهو جزء من الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض بعد تعرضه لعوامل الانعكاس والانكسار.
- الإشعاع الكلي: Global Radiation يكون الإشعاع الكلي الواصل إلى سطح الأرض مجموع الإشعاعين المباشر والمنتشر.

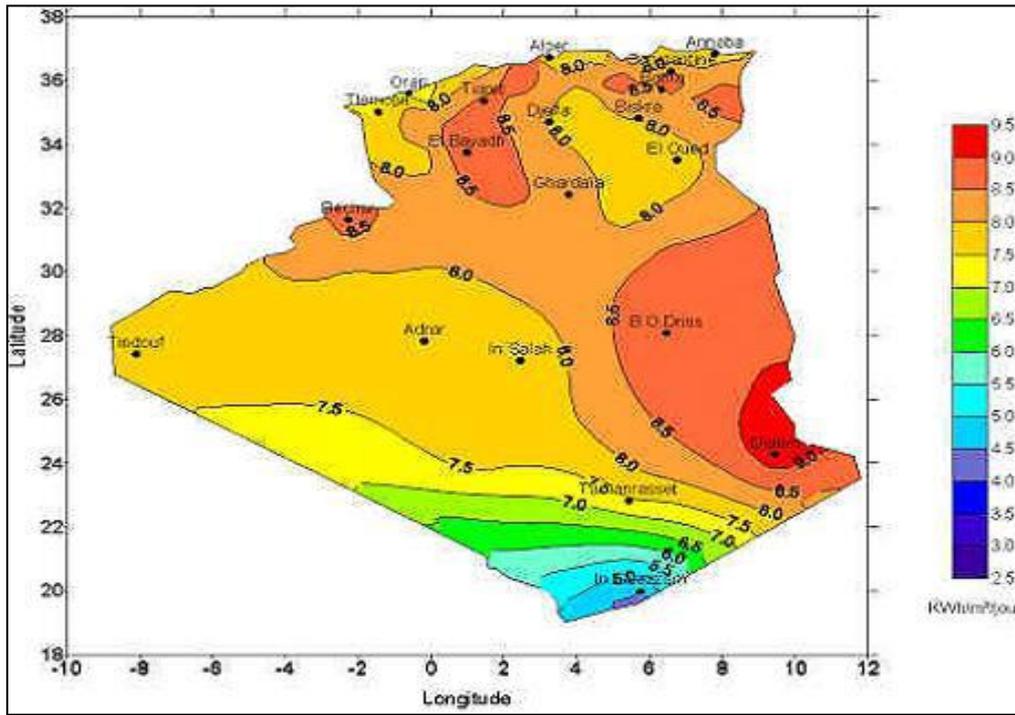
## 6-1 الإشعاع الشمسي في الجزائر:

تتربع الجزائر على مساحة  $2381745 \text{ km}^2$ ، تحظى المناطق الصحراوية والشبه الصحراوية بنسبة تقدر بـ 86% من المساحة الكلية، ويصل زمن تعرضها للإشعاع الشمسي إلى 3500 ساعة في السنة، أما المدن الساحلية فتقدر الفترة الإشعاعية بحوالي 2650 ساعة في السنة [7]، كما موضح في الجدول (1-1):

الجدول (1-1): الإشعاع الشمسي في مختلف مناطق الوطن [7].

| المناطق<br>الصحراوية | الهضاب العليا | المدن الساحلية |   |
|----------------------|---------------|----------------|---|
| 86                   | 10            | 4              | المساحة (%) بالنسبة للمساحة الكلية      |
| 3500                 | 3000          | 2650           | زمن الإشعاع السنوي (h/an)               |
| 2650                 | 1900          | 1700           | الطاقة الناتجة (kwh/m <sup>2</sup> .an) |

كما أنها مثل عموم الوطن العربي في مناطق الحزام الشمسي نظرا لموقعها الجغرافي أين تفوق شدة الإشعاع الشمسي المباشر في السنة بـ 2000 kwh/m<sup>2</sup>، كما يوضح الشكل (8-1) شدة تدفق الإشعاع الشمسي المباشر في اليوم لمختلف مناطق الوطن في شهر جويلية يتراوح ما بين 3 و 9.5 kwh/m<sup>2</sup> [7].



الشكل (8-1): خريطة الإشعاع الإجمالي الشمسي اليومي لشهر جويلية [7].

تتراوح شدة تدفق الإشعاع الشمسي في منطقة الوادي الواقعة في الجنوب الشرقي للجزائر في مجال  $7.5-8.5 \text{ kwh/m}^2$  خلال فترة الصيف كما تتراوح  $5.5-5 \text{ kwh/m}^2$  في فترة الشتاء، وهذا يفتح آفاق مهمة لتطبيق مشاريع في الطاقات المتجددة والبديلة [7].

يوافق خط الطول للوادي شرق "64°52'03" وتوافق دائرة عرض شمال "33°22'6" [13].

**7-1 خاتمة:**

تطرقنا في هذا الفصل الدراسة النظرية لأهم المفاهيم حول الإشعاع الشمسي وخاصة الزوايا الشمسية ومعادلاتها، التي تمكننا من تقدير شدة الإشعاع الشمسي في مكان ما على سطح الأرض، والذي يمكن تحويله أو استغلاله في كل الميادين التطبيقية سواء كهربائيا الخلايا الشمسية، أو حراريا من خلال تركيزه بالمركزات الشمسية ولكل تطبيقاتها والتي سنتطرق إليها في الفصل الثاني.

# الفصل الثاني

توكيز وتوجيه الأشعة

الشمسية

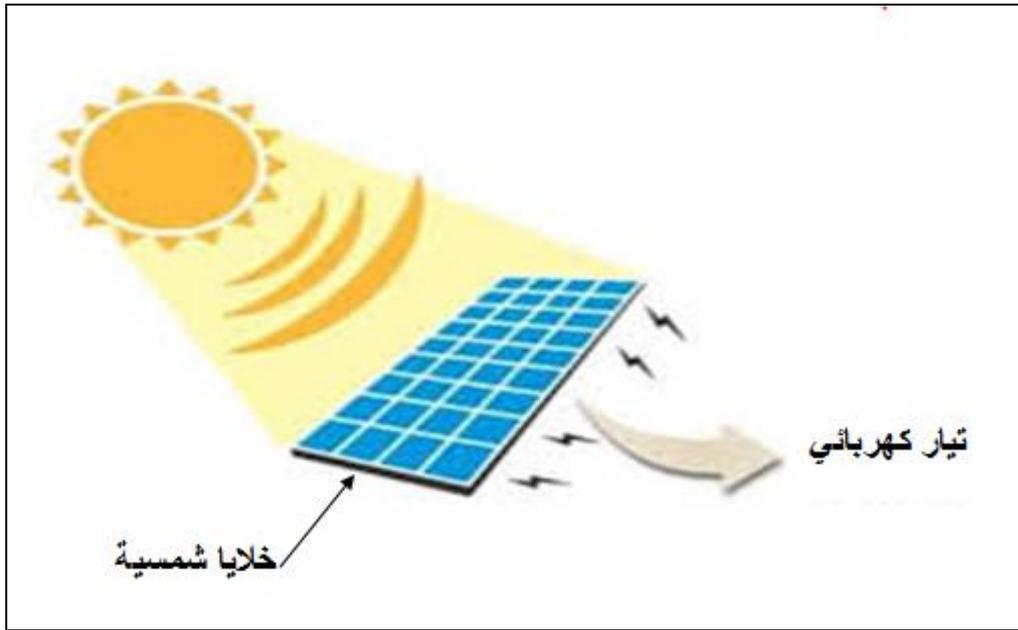
## 1-2 مقدمة

استفاد الإنسان منذ القدم من طاقة الإشعاع الشمسي مباشرة في تطبيقات عديدة نذكر منها تجفيف المحاصيل الزراعية والتدفئة وإنارة المنازل وغيرها، كما تم استخدامها في مجالات أخرى كالحروب حيث ورد في كتب العلوم التاريخية، فقد احرق ارخميدس الأسطول الحربي الروماني في الحرب عام 212 ق م عن طريق تركيز أشعة الشمس على سفن الأعداء بواسطة المئات من الدروع المعدنية، وفي العصر البابلي كانت نساء الكهنة يستعملن أنية ذهبية مصقولة كالمرايا لتركيز الإشعاع الشمسي للحصول على النار [14]. تصل قيمة الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض إلى  $1367\text{W/m}^2$  أو ما يعرف بالثابت الشمسي، لهذا بقي الإنسان يحاول منذ فترة بعيدة الاستفادة من هاته الطاقة ولكن بقدر قليل ومحدود، ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الإنسان فتحت أفقا علمية جديدة في استغلال الطاقة الإشعاع الشمسي سواء كانت حرارية أو كهربائية وحديثا استعملت في منظومة ضخ الليزر الشمسي، كذلك في الإنارة.

## 2-2 تحويل الطاقة الشمسية

### 1-2-2 التحويل الكهروضوئي:

تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية، وذلك باستعمال مواد كالسيليسيوم والجرمانيوم التي تدعى أشباه موصلات [14][15].



الشكل (1-2): تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء [16].

### 2-2-2 التحويل الحراري:

يعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المركبات والمجمعات الشمسية. وتستعمل هذه العملية في تسخين المياه لمختلف الأغراض المنزلية والصناعية، والتدفئة والتبريد وتجفيف المحاصيل الزراعية [14][15].

### 2-2-3 الليزر الشمسي:

يتم توليد الليزر الشمسي من خلال تحويل أشعة الشمس إلى ليزر وذلك باستعمال الأشعة الشمسية المركزة كوسيلة ضخ الليزر [26]، و يعتبر هذا مشروع بحث علمي جديد في منظومة الليزر الشمسي. يستعمل كذلك هذا الضوء المركز في عملية الإنارة بواسطة الألياف البصرية [22].

### 2-3-2 المركزات الشمسية

#### 2-3-2-1 تعريف:

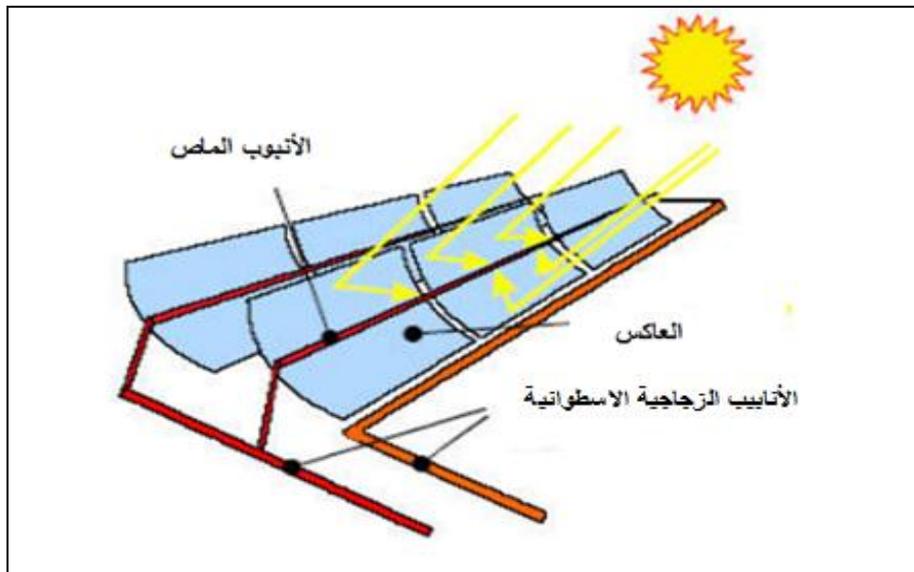
يسمح المركز الشمسي بجمع أشعة الشمس من مساحة كبيرة وتركيزها على اصغر استقبال أو خروج [17].

#### 2-3-2-2 أنواع المركزات الشمسية:

تصنف المركزات الشمسية إلى صنفين الخطية والنقطية حيث تتركز الأشعة الساقطة على العاكس في نقطة وتسمى البؤرة أو في خط ويسمى المحور البؤري وتتراوح درجة حرارة ما بين  $400^{\circ}\text{C}$  إلى  $1500^{\circ}\text{C}$  أو أكثر، وهذا الإرتفاع في درجات الحرارة بسبب تركيز الأشعة الساقطة على السطح أي كلما زاد التركيز ازدادت درجات الحرارة وتستغل هذه الأشعة المركزة في تطبيقات حرارية وكهربائية عديدة [7][18]. للمركزات الشمسية عدة أنواع نذكر منها:

#### 2-3-2-1-2 المركزات الاسطوانية المقعرة:

تتكون من سطح عاكس اسطواني ذي مقطع مقعر يقوم بتجميع الإشعاع الشمسي الوارد على السطح العاكس نحو المحور البؤري الذي يثبت به أنبوب المستقبل للإشعاع المركز و هاته التقنية هي الأكثر انتشارا في الوقت الحاضر [18][20]. كما هو موضح في الشكل (2-2):



الشكل (2-2): رسم تخطيطي للمركزات الاسطوانية المقعرة [7].

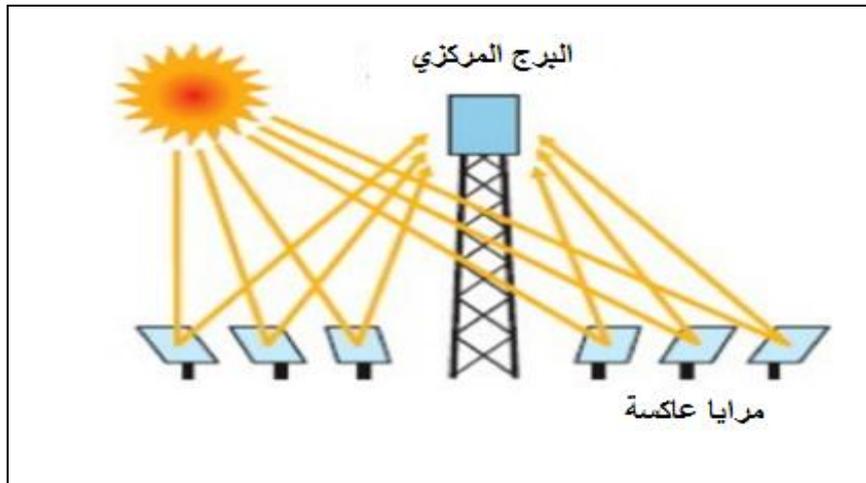
في المراكز الاسطوانية المقعرة تركز أشعة الشمس على أنبوب الماص (المستقبل) الذي يقع على طول الخط البؤري للعاكس (المجمع) و تسمى مراكز خطية، ويمكن أن يستقبل الأشعة الشمسية التي تصل درجة حرارتها  $400^{\circ}\text{C}$  [19]. ولزيادة المردود الحراري تستعمل سلسلة من المراكز الشمسية الاسطوانية المقعرة (ذي قطع مكافئ)، كما هو موضح في الشكل (2-3):



الشكل (2-3): سلسلة من المراكز الاسطوانية المقعرة [19].

### 2-2-3-2 البرج المركزي:

يتكون من مجموعة أسطح عاكسة مستوية تغطي مساحات كبيرة، والفكرة الرئيسة لعمل هذه التقنية والتي تعتمد على استخدام عواكس مستقلة مركبة على نظام تتبع لحركة الشمس، مع توجيه الإشعاع الشمسي المباشر الساقط عليها نحو مستقبل كبير مثبت في البرج، وبتركيز أشعة الشمس من  $800^{\circ}\text{C}$  إلى  $1000^{\circ}\text{C}$  [6][18]، كما هو موضح في الشكل (2-4).

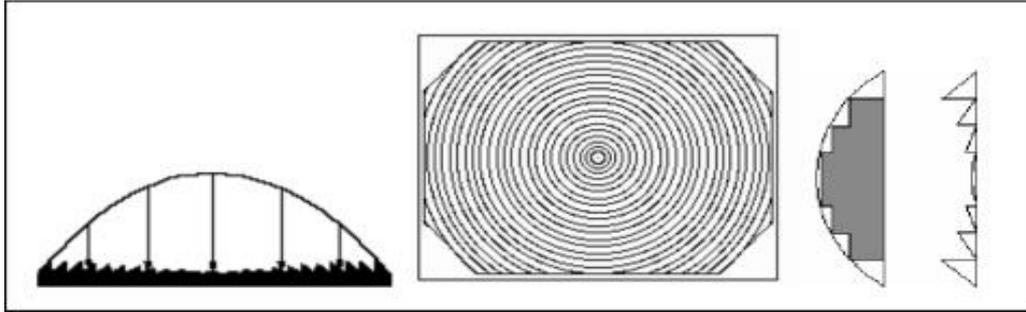


الشكل (2-4): البرج المركزي [20].

### 2-3-2-3 عدسات فرينل

#### 2-3-2-3-1 تعريفها:

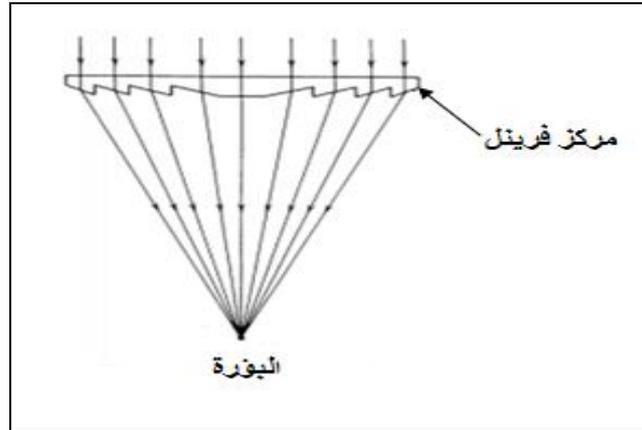
عدسات فرينل هي عدسات محدبة السطح أو مقعرة ،مقطعة إلى دوائر أو أقراص رقيقة مسطحة، إذا كانت هذه الدرجات رقيقة يصبح سطح العدسة مخروطي وليس كروي. ويمكن أن تكون في شكل تركيبات زجاجية كالمنارات أو الأضواء الكاشفة أو إشارات المرور، أو صحنون بشكل قوالب بلاستيكية بدرجات رقيقة [26]. الشكل (10-2) يوضح رسم تخطيطي لعدسات فرينل .



الشكل (10-2): يوضح رسم تخطيطي لعدسات فرينل [26]

#### 2-3-2-3-2 مركز فرينل:

وظيفة عدسة فرينل تشبه العدسة التقليدية، عن طريق عكس الأشعة وتركيزها في نقطة محورية واحدة. عموماً لها قسمين سطح علوي مسطح و سطح خلفي مخدد [17] كما هو مبين في الشكل (11-2):

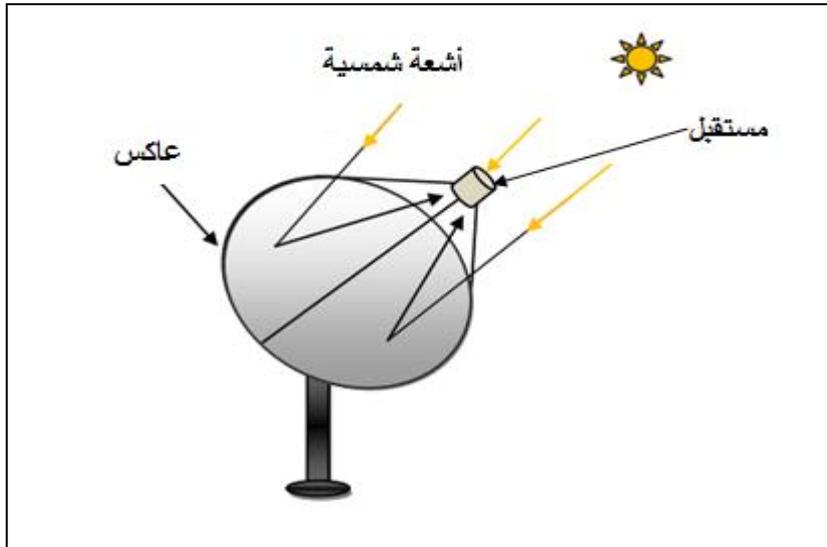


الشكل (11-2): مركز فرينل [17].

#### 2-3-2-4 المركزات الشمسية ذات القطع المكافئ:

تتكون هذه المركزات من سطوح عاكسة مقعرة ذات القطع المكافئ، من أجل تركيز الأشعة الشمسية في نقطة وهي البؤرة وتسمى مركزات نقطية حيث يوجد الماص (المستقبل) في مكان البؤرة، الذي يلتقط حرارة الشمس كما هو موضح في الشكل ويمكن للأنظمة العاكسة المقعرة أن تصل درجات حرارتها عند

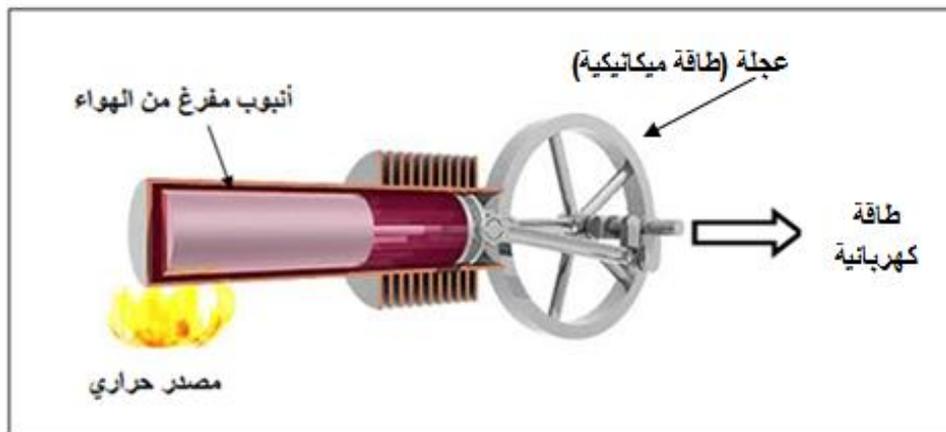
العاكس من 250°C إلى 1500°C [18][20]، وتستخدم هذه المركبات في محطات توليد الطاقة الحرارية الشمسية والطاقة الكهربائية مثل محرك ستيرلينغ. كما يبينه الشكل (2-5):



الشكل (2-5): المركز الشمسي ذو القطع المكافئ [6].

#### - محرك ستيرلينغ:

هو محرك حراري خارجي يعمل بمبدأ تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، ثم إلى طاقة كهربائية وذلك بواسطة ضغط وتمدد الهواء أو غاز آخر عند درجات الحرارة المختلفة عند درجات الحرارة المختلفة في الغرفة الاسطوانية المعرضة للحرارة الشمسية مركزة في البؤرة. وهو أحد أجهزة استغلال الطاقة الشمسية [15]. كما هو موضح في الشكل (2-6):



الشكل (2-6): محرك ستيرلينغ [21].

#### 4-2 الدراسة النظرية للمركبات الشمسية ذات القطع المكافئ:

المبدأ الأساسي للمركز الشمسي ذو القطع المكافئ هو قانون انعكاس الأشعة على سطح العاكس حسب قانون الانعكاس لسنال ديكارت [6][20].

## 1-4-2 قانون سنال ديكارت:

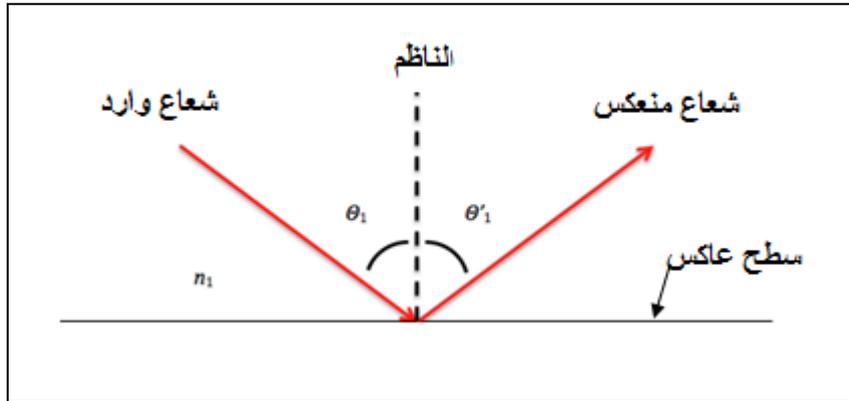
تعتبر قوانين سنال ديكارت من القوانين الأساسية في علم البصريات، التي تعطي علاقة بين الشعاع الوارد والشعاع المنعكس والشعاع المنكسر [22]، وهو صيغة رياضية تصف العلاقة ما بين زوايا السقوط وزاوية الانعكاس لانتقال الضوء في وسط متجانس، وفق خطوط مستقيمة لنموذج الضوء الهندسي [6]، كما يوضحه الشكل (7-2)، وتكتب علاقته بالشكل:

$$\theta_1 = \theta'_1 \quad (1-2)$$

حيث:

$\theta_1$ : زاوية السقوط.

$\theta'_1$ : زاوية الانعكاس.



الشكل (7-2): انعكاس وانكسار الأشعة الضوئية [20].

## 2-4-2 هندسة القطع المكافئ

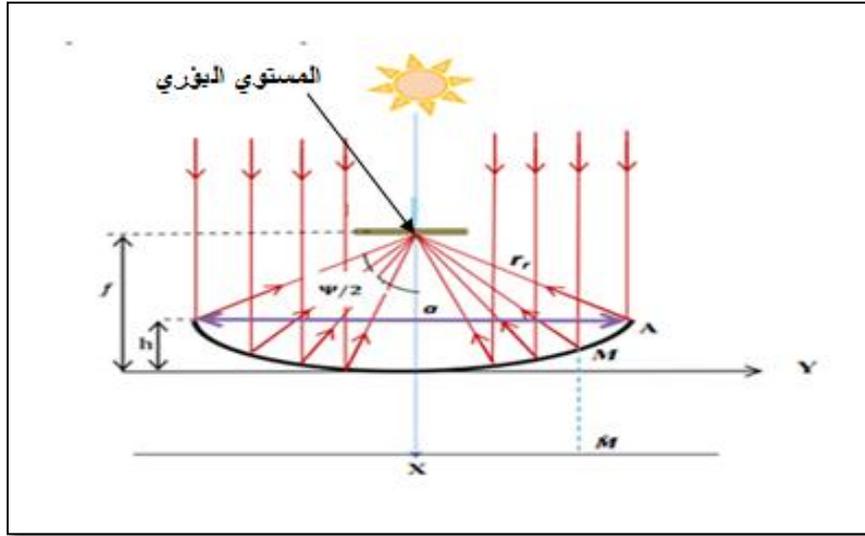
### 1-2-4-2 تعريف:

القطع المكافئ هو مجموعة من النقاط التي تقع على مسافة متساوية في مستقيم واحد ثابت (M)، حيث يسمى الدليل المكافئ ونقطة ثابتة (f) تسمى البؤرة (المحرق) وتقاطع القطر (a) للقطع المكافئ ومحورها الارتفاع (h) [23]، وتعطى معادلة القطع المكافئ كالتالي:

$$X^2 = 4. f. Y \quad (2-2)$$

حيث: f هو البعد البؤري.

كل الأشعة الشمسية الواردة على السطح العاكس للقطع المكافئ المقعر والموازية للمحور ستنعكس في نقطة واحدة تسمى البؤرة وبعدها البؤري f، تميزها زاوية الفتحة  $\Psi$  و قطر فتحة القطع المكافئ a [23]، كما هو موضح في الشكل (8-2):



الشكل (8-2): هندسة القطع المكافئ [6].

#### 2-2-4-2 زاوية الفتحة للقطع المكافئ:

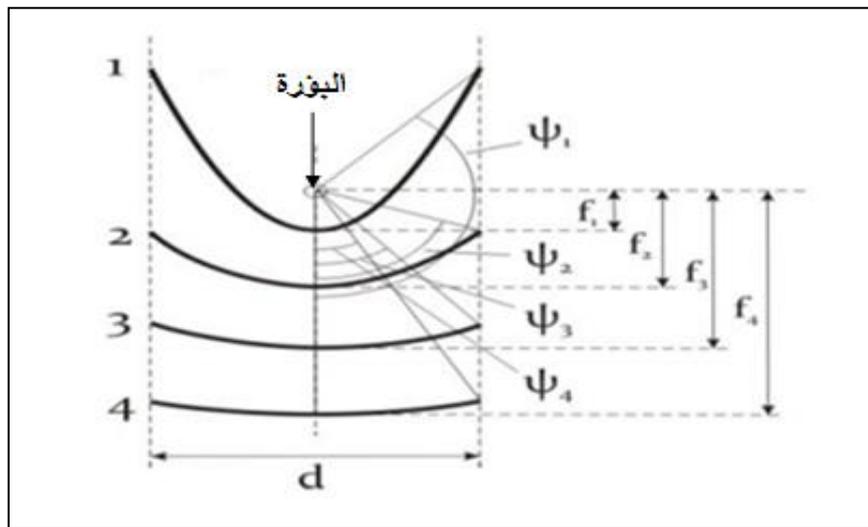
يميز المركز الشمسي بزاوية الفتحة  $\Psi$  كما موضحة في الشكل (8-2) حيث تعطى بالمعادلة التالية [23]:

$$\tan \Psi = \frac{(f/a)}{2(f/a)^2 - \frac{1}{8}} \quad (3-2)$$

a: قطر فتحة القطع المكافئ .

f: البعد البؤري.

يتضح من العلاقة (2-3) أن زاوية الفتحة تكون صغيرة كلما كان البعد البؤري كبير [23]، وهذا عند نفس قطر القطع المكافئ كما موضح في الشكل (9-2):



الشكل (9-2): العلاقة بين زاوية الفتحة وموضع البؤرة [24].

### 3-2-4-2 الارتفاع h:

يرمز لارتفاع القطع المكافئ بـ  $h$ ، يمكن تعريفه بأنه المسافة بين الرأس للقطع المكافئ  $A$  ونقطة تقاطع المحور مع قطر فتحة قطع المكافئ [6][23]، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$h = \frac{a^2}{16f} \quad (4-2)$$

### 4-2-4-2 سطح القطع المكافئ $A_S$ :

هو الحيز أو المساحة الذي يشغل فتحة القطع المكافئ [20][23] الذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$A_S = \frac{2}{3} a \cdot h = \frac{\pi \cdot a^2}{4} \quad (5-2)$$

### 5-2-4-2 نصف قطر القطع المكافئ $r_r$ :

يعرف على انه المسافة بين نقطة  $M$  من سطح القطع المكافئ والبؤرة  $F$  [6][25] ويعطى بالعلاقة التالية:

$$r_r = \frac{2f}{1 + \cos \Psi} \quad (6-2)$$

### 6-2-4-2 طول قوس القطع المكافئ $S$ :

يمثل طول قوس من القطع المكافئ من تفاضل السطح الفاصل [23] لهذا المنحنى كما توضحه المعادلة التالية:

$$S = \left[ \frac{a}{2} \sqrt{(4h/a)^2 + 1} \right] + 2f \cdot \ln \left[ \frac{4h}{a} \sqrt{(4h/a)^2 + 1} \right] \quad (7-2)$$

حيث:  $S$  هو طول القوس ويقاس بـ [m].

## 5-2 خصائص المركز الشمسي ذو القطع المكافئ

### 1-5-2 نسبة التركيز:

تتميز المراكز الشمسية بنسبة تركيز الإشعاع الشمسي الوارد على سطح فتحة الدخول نحو البؤرة (سطح العاكس) وتعتبر من أهم المعايير التي تقيم من خلالها عمل المراكز وتعرف بطريقتين [6][24]:

### 1-1-5-2 نسبة التركيز الهندسي $C_g$ :

هي النسبة بين مساحة فتحة سطح المستقبل على مساحة فتحة العاكس [6]، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$C_g = \frac{A_{abs}}{A_{ref}} \quad (8-2)$$

$A_{abs}$ : مساحة سطح المستقبل [ $m^2$ ].

$A_{ref}$ : مساحة الفتحة لسطح العاكس [ $m^2$ ].

### 2-1-5-2 نسبة التركيز الضوئي $C_0$ :

هي النسبة بين شدة تدفق الإشعاع الشمسي على سطح المستقبل (فتحة الخروج) إلى شدة الإشعاع الشمسي على سطح العاكس (فتحة الدخول) [6]، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$C_0 = \frac{I_{abs}}{I_{ref}} \quad (9-2)$$

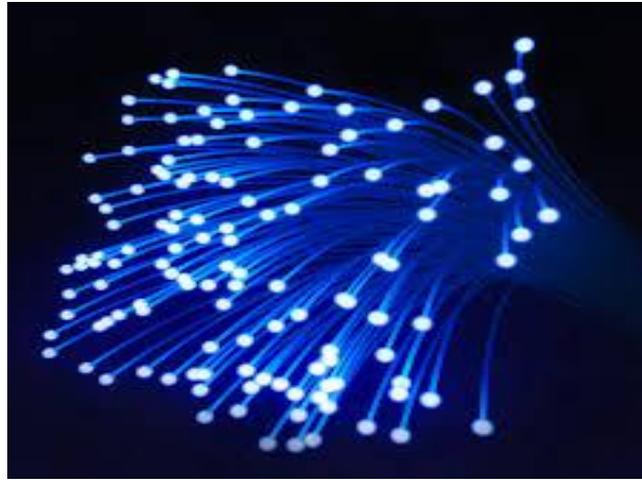
$I_{abs}$ : هو شدة تدفق الإشعاع على سطح المستقبل  $[W/m^2]$ .

$I_{ref}$ : هو شدة تدفق الإشعاع على سطح العاكس  $[W/m^2]$ .

2

### 2-7-7 توجيه الأشعة الضوئية:

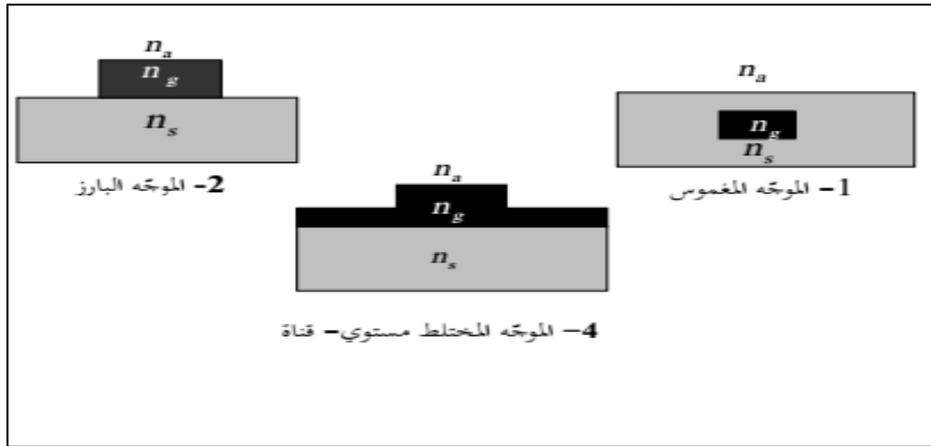
بعد تركيز الأشعة الشمسية باستعمال مركزات أو عدسات يتم نقلها وتوجيهها وذلك بواسطة موجهات خاصة كالأدلة الموجية والألياف البصرية، كما هي موضحة في الشكل (2-12):



الشكل (2-12): صورة للألياف البصرية [27].

### 2-7-1 تعريف الموجهات الضوئية:

الموجهات الضوئية هي عبارة على أنظمة عازلة كهربائياً تستعمل لاحتباس الموجة الضوئية وتحديد مسارها ومنها الموجهات المستوية والموجهات ذات ثلاث أبعاد (قناة موجه) [28]، وبعض أنواع هذه الأخيرة مبينة بالشكل (2-13).



الشكل (2-13): أنواع قناة الموجه الضوئي [28].

تنقسم الموجهات الضوئية من حيث قرينة انكسارها إلى نوعين:

- موجهات ذات قرينة انكسار ثابتة: تكون قرينة الانكسار في هذا النوع ثابتة بالنسبة إلى الاتجاه العرضي لانتشار الضوء، حيث تنتقل الموجة بداخله بمبدأ الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين متخذة في ذلك مساراً منكسراً [28].

- موجهات ذات قرينة انكسار متدرجة: تنتشر الموجة في الوسط الذي تكون خواصه متغيرة من نقطة إلى أخرى، أين يكون منحنى قرينة الانكسار متغير بالنسبة إلى الاتجاه العرضي للانتشار، حيث تتخذ الموجة في هذا النوع من الموجهات مساراً منحنياً [28].

## 2-7-2 انتشار الضوء في الموجهات المستوية العازلة ذو قرينة انكسار ثابتة:

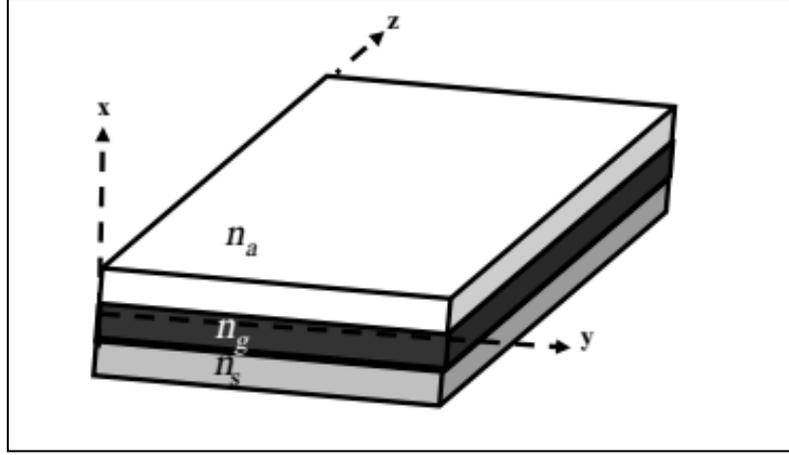
للموجه الضوئي المستوي العازل بنية هندسية على شكل متوازي سطوح، تسمح باحتباس الضوء في اتجاه واحد وطبقته الموجهة محشوة بين عازلين كما هو مبين في الشكل (2-14)، يكتب شرط التوجيه للضوء داخل هذا الموجه [28][29] كما يلي:

$$n_g > n_s \geq n_a \quad (10-2)$$

حيث:  $n_a$ : قرينة انكسار الطبقة العازلة العليا.

$n_g$ : قرينة انكسار الطبقة الموجهة.

$n_s$ : قرينة انكسار الطبقة العازلة الدنيا (الشريحة).



الشكل (2-14): الموجه الضوئي المستوي العازل المدمج [28].

### 3-7-2 معادلات ماكسويل:

تعرف خصائص الحقول الكهربائية والمغناطيسية في الكهرومغناطيسية بأربع معادلات لماكسويل [20]، وتكتب كما يلي:

$$\text{div } \vec{D} = \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (11-2)$$

$$\text{div } \vec{B} = \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (12-2)$$

$$\text{rot } \vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (13-2)$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (14-2)$$

حيث :

$$\vec{D} : \text{يمثل شعاع التحريض الكهربائي ويكتب : } \vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{B} : \text{يمثل شعاع التحريض المغناطيسي ويكتب : } \vec{B} = \mu \vec{H}$$

$\epsilon$  : السماحية [F/m].

$\mu$  : النفاذية [H/m].

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

في غياب الشحنة الكهربائية  $\rho$  وكثافة التيار  $\vec{j}$  تصبح المعادلات (20-2) و(23-2) كما يلي:

$$\text{div } \vec{D} = 0 \quad (15-2)$$

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (16-2)$$

بالتأثير على طرفي المعادلة (22-2) بمؤثر الدوران (rot)، وباستخدام العلاقة الشعاعية نجد:

$$\text{rot}(\text{rot } \vec{E}) = \text{grad}(\text{div } \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$$

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

بالإجراء نفسه على المعادلة (25-2) ينتج:

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

$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  : تمثل سرعة انتشار الضوء في الفراغ  $3.10^8$  [m/s].

تعرف المعادلتان (17-2) و (18-2) بمعادلة الموجة الكهرومغناطيسية. الشكل العام لحل (17-2) [19]، يكتب كما يلي:

$$\vec{E}(r, t) = \vec{e}_0 \exp i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) + \vec{e}_0 \exp i(\omega t + \vec{k} \cdot \vec{r}) \quad (19-2)$$

$e_0$ : تمثل سعة الحقل الكهربائي.

$\vec{r}$ : شعاع الموضع.

$w$ : النبض [Hz].

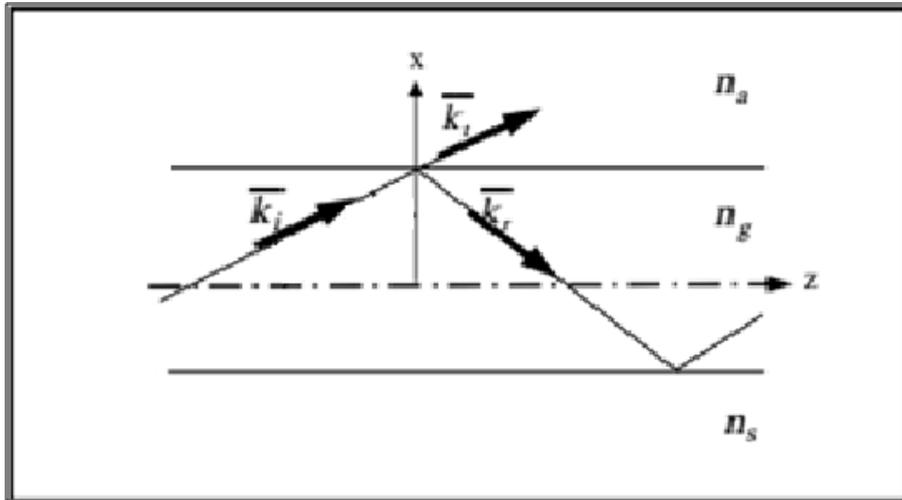
$\vec{k}$ : شعاع الموجة ويكتب:  $k = \frac{w}{v}$

للمعادلة (18-2) نفس شكل الحل (17-2)، ويكتب بالشكل:

$$\vec{B}(r, t) = \vec{e}_0 \exp i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) + \vec{e}_0 \exp i(\omega t + \vec{k} \cdot \vec{r}) \quad (20-2)$$

#### 4-7-2 انتشار الضوء في الدليل الموجي:

يخضع انتشار الضوء داخل الدليل الموجي إلى مبدأ الانعكاس الكلي عند الحد الفاصل للوسطين الموجه-الطبقة العليا والموجه شريحة، متخذاً في ذلك مسار منكسراً [30]، ويوصف الانتشار للشعاع الضوئي بثلاث مركبات الأشعة الموجة على المحور x و z، كما هو مبين في الشكل (2-15):



الشكل (2-15): مبدأ الانعكاس الكلي للضوء داخل الموجه الضوئي المستوي [28].

$\vec{k}_i$ : الشعاع الموجي الوارد.

$\vec{k}_r$ : الشعاع الموجي المنعكس.

$\vec{k}_t$ : الشعاع الموجي النافذ.

لدينا  $n_i$  تمثل قرينة انكسار الأوساط الثلاثة كما يلي:  $n_a, n_g, n_s$

في كل وسط نضع:

$$\gamma_a^2 = k_0^2 n_a^2 - \beta^2 < 0 \quad \text{الطبقة العليا:}$$

$$k_x^2 = k_0^2 n_g^2 - \beta^2 > 0 \quad \text{الطبقة الموجهة:}$$

$$\gamma_s^2 = k_0^2 n_s^2 - \beta^2 < 0 \quad \text{الشريحة:}$$

حيث:

$\beta$ : ثابت الانتشار.

وتعطى الدالة الموجية للحقل الكهربائي داخل الموجه الضوئي وخارجه بالصيغة الرياضية التالية [28]:

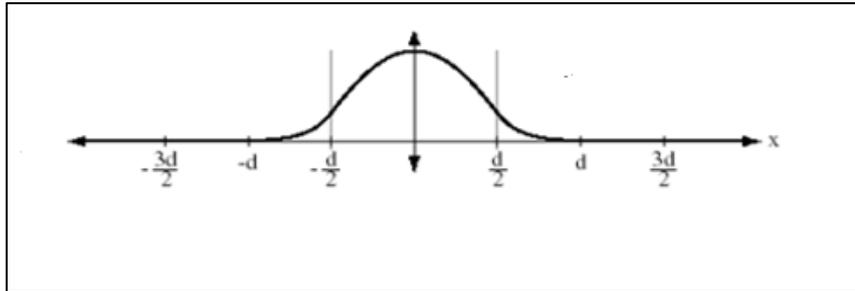
$$E_y(x, z) = \begin{cases} A_a \exp(-\gamma_a \cdot x) & x > d/2 \\ A_g \cos(k_x x + \Psi) & x \leq d/2 \\ A_s \exp(-\gamma_a \cdot x) & x < d/2 \end{cases} \exp(-i\beta z) \quad (21-2)$$

وتعطى الدالة الموجية للحقل المغناطيسي داخل الموجه الضوئي وخارجه بالشكل [28]:

$$H_y(x, z) = \begin{cases} \gamma_a A_a \exp(-\gamma_a \cdot x) & x > d/2 \\ k_x A_g \sin(k_x x + \Psi) & x \leq d/2 \\ \gamma_s A_s \exp(-\gamma_a \cdot x) & x < d/2 \end{cases} \exp(-i\beta z) \quad (22-2)$$

تحدد الثوابت  $\psi, A_s, A_g, A_a$  باستعمال الشروط الحدية عند الحد الفاصل.

الشكل (16-2) يوضح اهتزاز الموجة للصيغ الثلاث الأولى.



الشكل (16-2): اهتزاز الموجة داخل الموجه الضوئي لثلاث الصيغ الأولى [28].

## 8-2 خاتمة:

لاستغلال الطاقة الشمسية نستعمل مراكز أو مجمعات شمسية، وفي هذا الفصل ركزنا على المراكز الشمسية بنوعها النقطية والخطية، وسلطنا الدراسة على المراكز النقطية المتمثلة في المركز الشمسي ذو القطع المكافئ، وذلك من أجل الحصول على أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية المركزة بواسطتها. ولتوجيه هذه الأشعة المركزة نستخدم دليل موجي، وذلك لنقلها واستعمالها في منظومة ضخ الليزر الشمسي، وهذا ما سنراه لاحقاً.

# الفصل الثالث

## الليزر والليزر

### الشمسي

## 1-3 مقدمة

الليزر هو ضوء يمتلك العديد من المميزات جعلته منذ اكتشافه سنة 1960م يحدث ثورة كبيرة في علم التكنولوجيا. كما توجد عدة أنواع من أجهزة الليزر المتاحة اليوم و تعمل على أطوال موجية مختلفة وتستخدم في العديد من المجالات، مثل نقل المعلومات (الاتصالات عبر الألياف الضوئية...)، والطب (طب العيون والأسنان ..)، والصناعة (لحام وقطع المواد ...)، وبما أن الطاقة الشمسية تعد هي المصدر الرئيسي المجاني و الوفير و المتجدد، الذي يمكن استغلالها في عملية الضخ لتوليد أشعة الليزر كبديل للضوء العادي. لذلك سنقدم في هذا الفصل فكرة عامة على شعاع الليزر و مكونات جهازه و أهم المعادلات الرياضية لتفاعل مادة-إشعاع و آلية توليده، كما سنتعرف على طريقتين للضخ من أجل توليد الليزر الشمسي.

## 2-3 الليزر

## 1-2-3 نبذة تاريخية:

في عام 1917م أعطى أينشتاين الأساس النظري للانبعاث المحفز للإشعاع، وفي عام 1960م أنتج أول ليزر من قبل العالم ميمان (Maiman's) بالضخ الضوئي لبلورات الياقوت الاصطناعي باستعمال مصباح فلاش مولداً إشعاع ليزر أحمر نابض بطول موجي (694 nm) [31]، وفي عام 1963م لحقها ابتكار ليزرات سائلة وليزرات كيميائية [32].

فتوالت تطورات البحث العلمي في مجال الليزر وأصبح تركيز على الأقل تكلفة والأسرع فتم استخدام الطاقة الشمسية كوسيلة ضخ لتوليد الليزر الشمسي، فتم تحقيق أول ليزر شمسي سنة 1966م [26].

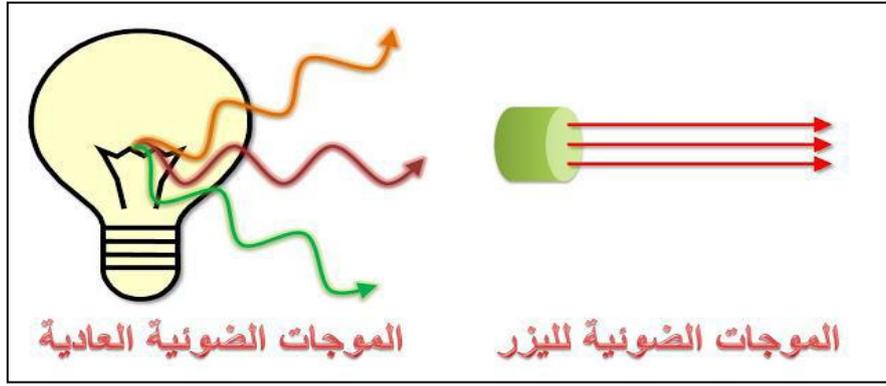
## 2-2-3 تعريف الليزر:

المصطلح الانجليزي لليزر: "light amplification by stimulated emission of radiation"، ويعني "تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز"، وهو عبارة عن حزمة ضوئية مركزة ومنتظمة ذات فوتونات تشترك في ترددتها وتتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة التداخل البناء بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية [33].

## 3-3 خواص شعاع الليزر:

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

**1-3-3 أحادية اللون:** إن ضوء الليزر هو ضوء أحادي اللون لأن موجاته لها تواتر و طول موجي نفسه تقريباً ضمن مجال طيفي ضيق جداً مما يسبب إصدار إشعاع على درجة عالية من النقاء الطيفي وهذا يعطي لون محدد لضوء الليزر [33] كما يوضح الشكل (1-3):



الشكل (1-3): الموجات الضوئية لليزر والضوء العادي [34].

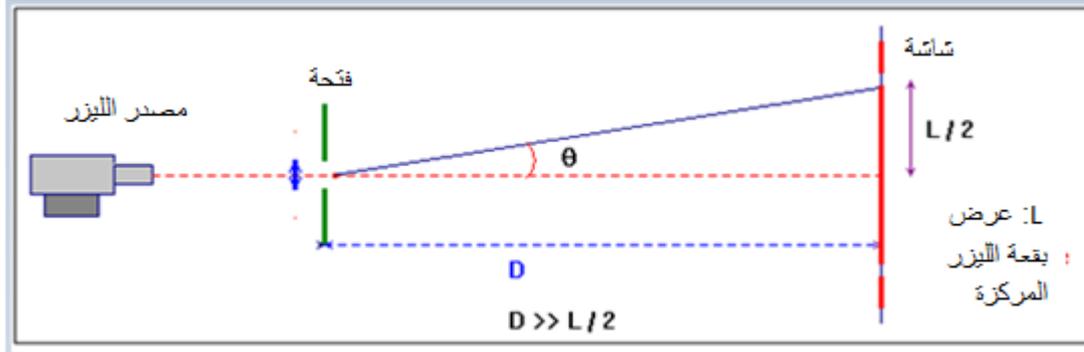
**3-3-2 الاتجاهية (نفس الطور):** يملك الليزر حزم ضوئية متوازية تنتشر جميعها في اتجاه واحد، مما يجعلها تنتقل لمسافات بعيدة جدا مقارنة بالضوء العادي، ويعبر على زاوية تباعده حسب نظرية الانعراج بالمعادلة التالية [35]، والموضحة في الشكل (2-3):

$$\tan \theta = \frac{L/2}{D} \quad (1-3)$$

$\theta$ : زاوية تباعد الأشعة.

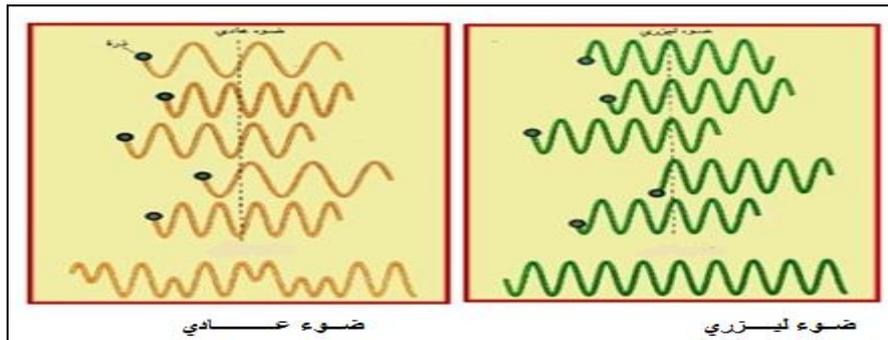
$L/2$ : قطر شعاع الليزر.

$D$ : المسافة بين الفتحة والشاشة.



الشكل (2-3): اتجاهية ضوء الليزر [36].

**3-3-3 الترابط:** الترابط بين موجات الحزمة الواحدة عالي جدا ومتزامن وهذا يساعد الموجات الضوئية أو الفوتونات في تقوية بعضها البعض لتعطي طاقة وقدرة عالية للحزمة على عكس الضوء العادي [33]، كما موضح في الشكل (3-3):



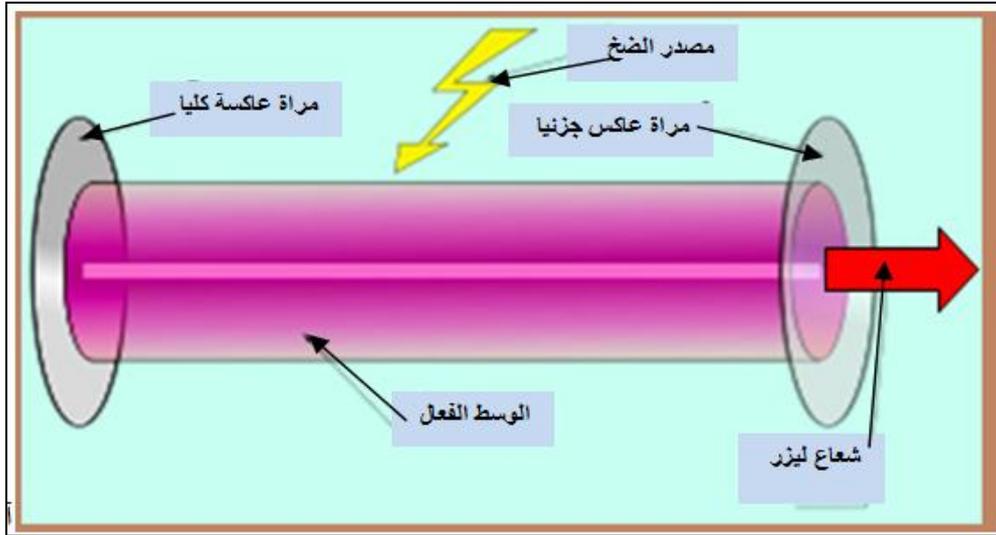
الشكل (3-3): فرق الترابط بين الضوء الليزري والضوء العادي [37].

### 3-3-4 الشدة الضوئية:

يتميز شعاع الليزر بشدة عالية ومركزة في حزمة ذات قطر ضيق، يمكن تعريضها أو تركيزها في بقعة صغيرة جدا باستخدام بعض الأجهزة البصرية (العدسات) [33].

### 3-4 المكونات الأساسية لجهاز الليزر:

تتكون منظومة الليزر من (وسط فعال - وسيلة الضخ - المرنان) كما يوضح الشكل (3-4):



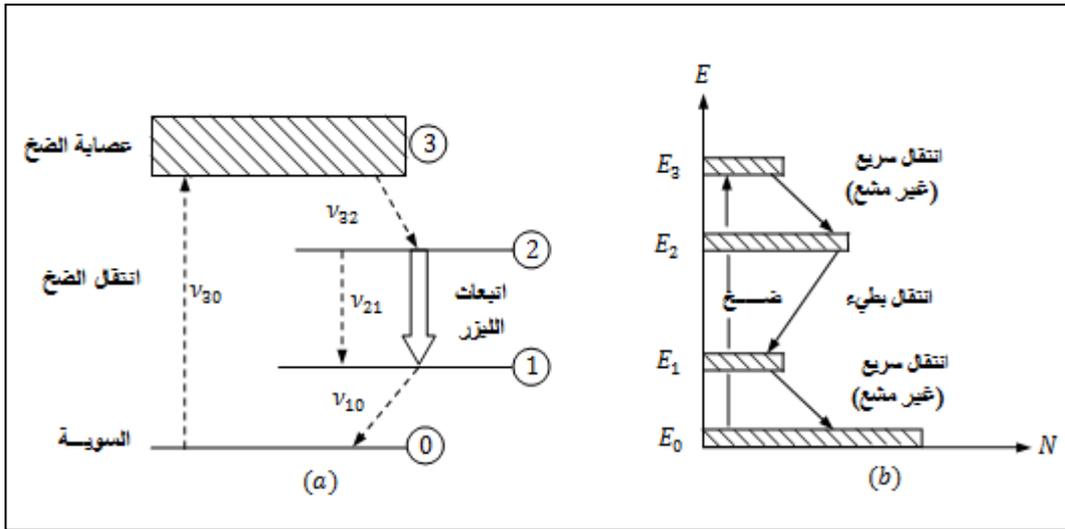
الشكل (3-4): مكونات جهاز الليزر [33].

### 3-4-1 الوسط الفعال:

وهو المادة التي تستخدم لتوليد الليزر، وتكون في ثلاث حالات هي:

■ **في الحالة الصلبة:** تتكون من زجاج أو من مادة بلورية تطعم بأيونات مثل: أيونات النوديوم (Nd) ومعظم المواد التي يتم تطعيم البلورات بها هي مواد من العناصر الترابية النادرة، فجد البلورات الصلبة مثل الياقوت الصناعي [33][34].

\*ليزر Nd : YAG هو نظام من أربع مستويات، يمثله رسم تخطيطي لمستوى الطاقة في الشكل (3-5). يتم انتقال الذرات عن طريق الضخ من السوية الأساسية  $E_0$  إلى السوية  $E_3$ ، ثم تنتقل بسرعة إلى سوية  $E_2$  عن طريق استرخاء الذرات المثارة فيكون انتقال غير مشع، ثم تمر إلى السوية  $E_1$  وهي أعلى من السوية الأساسية فيكون انتقال مشع بطول موجة ( $\lambda = 106.4nm$ ). وبعد ذلك تمر إلى السوية الأساسية  $E_0$  بانتقال سريع وغير مشع باسترخاء الذرات. في هذا النظام مدة حياة السوية  $E_2$  أكبر من  $E_1$ ، ومنه يمكن الحصول على الانقلاب السكاني بسهولة وباستمرار [35][38].



الشكل (3-5): رسم يوضح مستوي الطاقة لـ Nd: YAG [39].

- في الحالة السائلة: وهو عبارة على صبغات كيميائية عضوية مختلفة مذابة في الماء، مثل الرودمين (rhodamine 6G) [32].
- في الحالة الغازية: مثل He-Ne، و CO<sub>2</sub>.
- في حالة مواد نصف ناقلة: مثل أرسنيك الجاليوم GaAs [33].

### 3-4-2 الضخ:

وهو عملية نقل الطاقة من مصدر الطاقة إلى الوسط الفعال المولد لليزر، سنوضح نوعين من الضخ هما [40]:

#### 3-4-2-1 الضخ الكهربائي:

وتستخدم هذه التقنية في ضخ الليزر الغازية وهي التفريغ الكهربائي، من خلال وضعها داخل أنبوب زجاجي (أنبوبة تفريغ كهربائي) يطبق عليها فرق جهد عالي على الأقطاب الكهربائية على جانبي الأنبوب [35][41][42].

#### 3-4-2-1 الضخ الضوئي:

ويتم استخدام المصابيح العادية أو شعاع ليزر معين ليقوم بضخ الوسط الفعال لتحقيق الانقلاب السكاني، والأنواع الأكثر شيوعاً للمصابيح المستخدمة لضخ الليزر هي أنابيب الكوارتز، مملوءة بأنواع غازية مثل الزينون الذي يعمل كمادة مشعة داخل المصباح الضوئي [41]، كما يمكن استغلال و التثمين الطاقة الشمسية لعملية الضخ لليزر الشمسي وهذا عن طريق المركبات التي تعمل على تركيز أشعة الشمس لتوليد الليزر [26].

### 3-4-3 المرنان:

يعتبر المرنان من المكونات الرئيسية لأجهزة الليزر وهو منظومة من مرآتين على محور بصري مشترك حيث تنتقل الفوتونات بين المرآتين ذهاباً وإياباً من أجل تضخيمها، تكون إحدى هاتين المرآتين ذات انعكاسية تامة (الخلفية) (100%)، والمرآة الأخرى تكون ذات انعكاسية جزئية (الأمامية) [40].

### 3-5 آلية تفاعل مادة- إشعاع:

عندما تتفاعل موجة كهرومغناطيسية مع المادة، تحدث ثلاث ظواهر أساسية وهي: عملية الامتصاص وعملية الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز [43]. عند انتقال إلكترون في الذرة بين حالات الطاقة أو المستويات، يكون مصحوبا بانبعاث أو امتصاص فوتون الذي يوصف بالتردد الموجي [26]:

$$\nu = \Delta E/h \quad (2-3)$$

$\Delta E$ : هي الفرق بين المستويين المعنيين.

$h$ : ثابت بلانك  $[6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}]$ .

عندما تكون مجموعة كبيرة من الذرات المتماثلة في حالة توازن حراري عند درجة الحرارة  $T$ ، فإن المجموعات السكانية لأي مستويين من مستويات الطاقة  $E_1$  و  $E_2$ ، تكون مرتبطة بنسبة بولتزمان [44]:

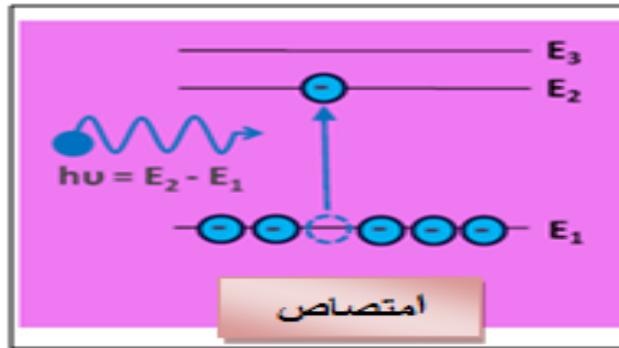
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp\left(\frac{-(E_2-E_1)}{K_B T}\right) \quad (3-3)$$

حيث  $N_1$  و  $N_2$ : عدد الذرات في مستويات الطاقة  $E_1$  و  $E_2$ .

$g_1$  و  $g_2$ : توالت المستويات.

$K_B$ : ثابت بولتزمان  $[1.38065 \times 10^{-24} \text{ J/s}]$ .

### 3-5-1 الامتصاص:



الشكل (3-6): ظاهرة الامتصاص [44].

نعتبر انتقالات إلكترون قد تحدث بين مستويين طاقيين في نظام ذري مفترض، كما يبينه الشكل (3-6) لانتقال إلكترون من مستوي الأساسي  $E_1$  إلى المستوى  $E_2$  لا بد من إمتصاصه لفوتون، ويجب أن يحمل هذا الفوتون كمية الطاقة  $h\nu = E_2 - E_1$ ، ويكون تواتر الإشعاع اللازم  $\nu = (E_2 - E_1)/h$ . ويدعى هذا الانتقال بالامتصاص المحثوث واحتمال حدوثه هو [40][43]:

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} = -w_{12} \cdot N_1 = -N_1 \rho_\nu B_{12} \quad (4-3)$$

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

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

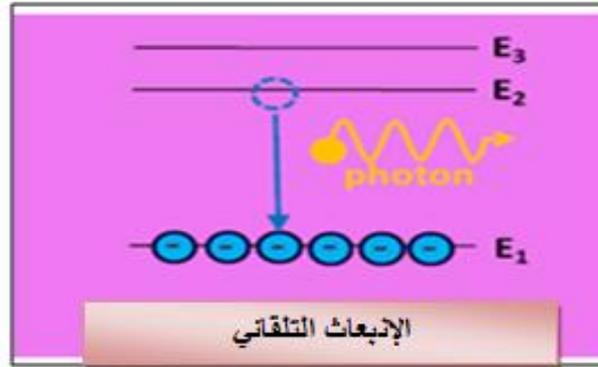
$\rho_\nu$ : كثافة الطاقة للإشعاع الوارد  $[J \cdot s \cdot m^{-3}]$ .

$N_1$ : عدد الذرات المستوى  $E_1$ .

من أجل نظام مكون من مستويين، وبفرض وجود الإثارة المشعة فقط للمساهمة في انتقال الإلكترونات بين المستويين، يكون:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -\frac{\partial N_1}{\partial t} \quad (5-3)$$

### 2-5-3 الانبعاث التلقائي:



الشكل (7-3): ظاهرة الانبعاث التلقائي [44].

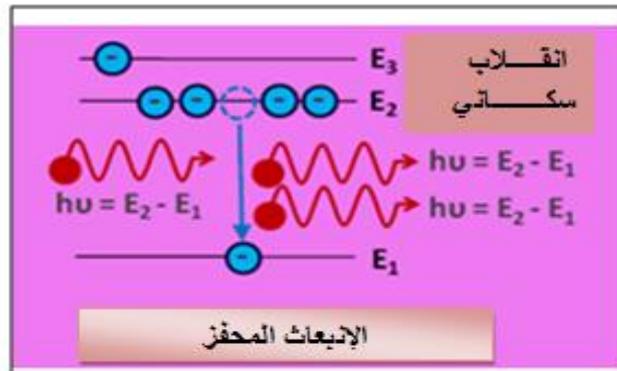
بعد انتقال الإلكترون إلى المستوى الأعلى عن طريق الامتصاص، ينتقل من المستوى العلوي بشكل تلقائي إلى المستوى الأساسي [44]، فأقدا جزء من طاقته على شكل فوتون عشوائي يعتمد تواتره على فرق الطاقة بين المستويين ( $h\nu = E_2 - E_1$ ) كما يوضحه الشكل (7-3). واحتمال حدوث هذا الانتقال هو [43،40]:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -A_{12}N_2 = -\frac{1}{\tau_{\text{rad}}} \cdot N_2 \quad (6-3)$$

$A_{12}$ : معامل اينشتاين للإصدار التلقائي (احتمال الإثارة التلقائية لوحدة الزمن)  $s^{-1}$ .  
 $\tau_{\text{rad}}$ : مدة حياة إشعاع الحالة المثارة (فترة عمر مستوى الإثارة).

$$\tau_{\text{rad}} = \frac{1}{A_{12}}$$

### 2-5-3 الانبعاث المحفز:



الشكل (8-3): ظاهرة الانبعاث المحفز [44].

في الانبعاث المحفز يجب أن يكون مستوى الطاقة الأعلى أكثر إلكترونات من المستوى الأساسي الموضوع في الشكل (8-3)، لتحقيق الانقلاب السكاني من خلال مصدر خارجي للطاقة اللازم لنقل

الإلكترونات من مستوى طاقة أساسي إلى مستوى أعلى، وبعودة الإلكترونات إلى المستوى الأساسي فإنه يصدر طاقة على شكل فوتونات، لها نفس خصائص الفوتونات المحفزة .  
 واحتمال حدوث هذا الانتقال هو [40][44][43]:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -N_2 \rho_\nu B_{21} = -w_{21} \cdot N_2 \quad (7-3)$$

حيث:

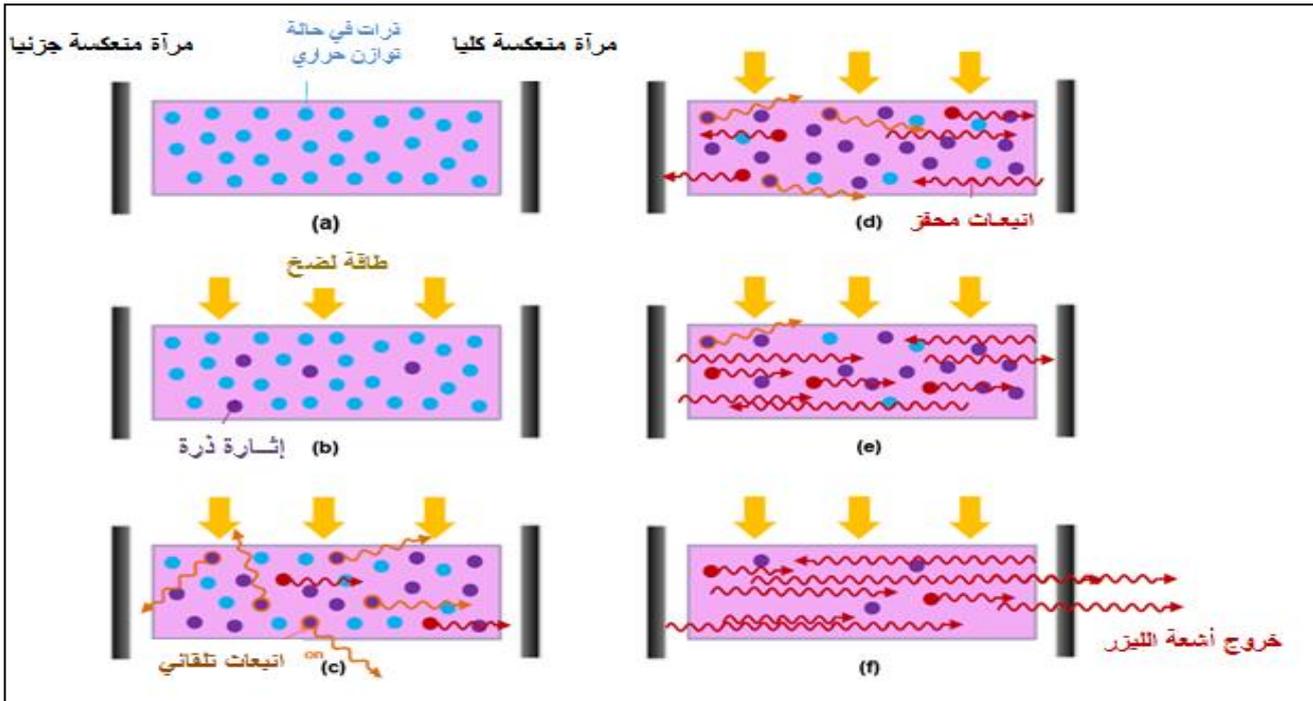
$B_{21}$ : معامل اينشتاين للإصدار المحثوث  $J^{-1} \cdot s^{-3} \cdot m^3$  .

$\rho_\nu$ : كثافة الطاقة للإشعاع الوارد  $J \cdot s \cdot m^{-3}$  .

$w_{21}$ : احتمالية الإصدار المحثوث لوحدة الزمن .

### 3-6 آلية توليد الليزر:

يبين الشكل (3-9) مراحل توليد الليزر، توضح المرحلة (a) الذرات مستقرة وفي حالة اتزان حراري و بإعطاء طاقة خارجية (وسيلة الضخ)، يحدث لعدد قليل من الذرات إثارة كما تبينه المرحلة (b). تعود الذرات لحالة استقرار من خلال انبعاث فوتون فتحدث عملية انبعاث تلقائي الموضحة في المرحلة (c) وبوجود تجويف الرنين فإن الأشعة الموازية للمحور البصري ستعاني انعكاس على المرآتين (المرآة الجزئية والمرآة الكلية) وبالتالي فتساهم في عملية التضخيم كما هي موضحة في المرحلة (d)، نلاحظ أن عملية التضخيم بدأت تتزايد فتكون أغلبية الذرات تقريبا مثارة المرحلة (e)، فيحدث الانقلاب السكاني (الانبعاث المحفز) ونتيجة لعملية التضخيم يتم انبعاث شعاع الليزر الذي يملك خصائص معينة، المبينة في الحالة (f) [44][35].



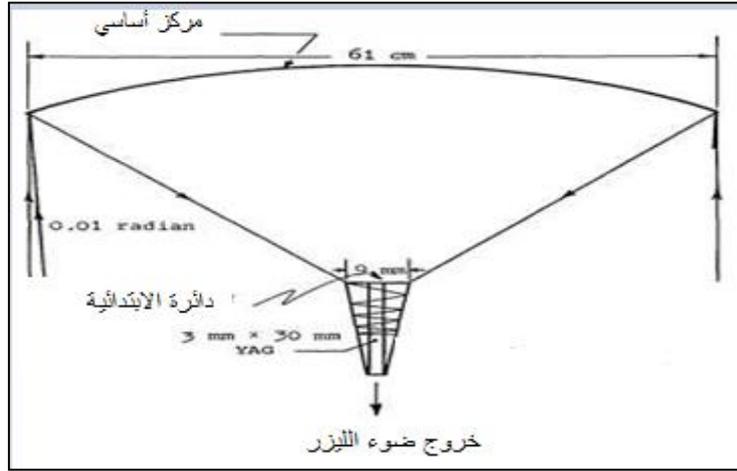
الشكل(3-9): مخطط عملية توليد الليزر من خلال تجويف رنيني [44].

### 3-7 الليزر الشمسي:

إن منظومة الليزر الشمسي لا تختلف عن منظومة الليزر العادية إلا في مصدر الضخ.

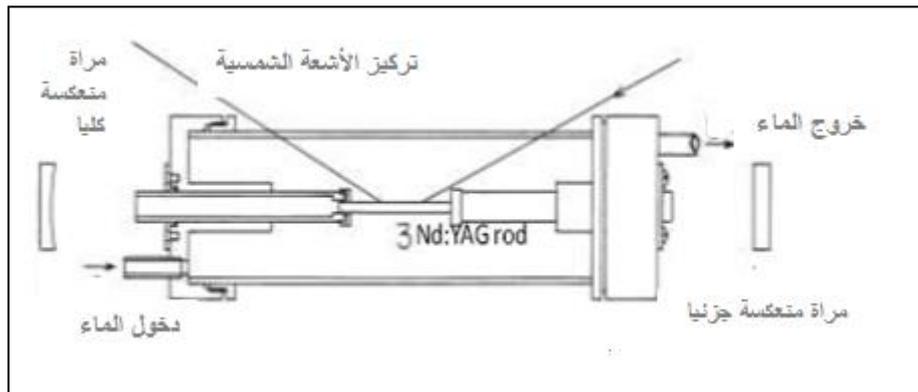
### 1-7-3 نبذة تاريخية:

\* في عام 1966م تم تحقيق أول ليزر شمسي باستطاعة  $1W$  من قبل العالم يونغ (Young)، باستعماله مادة Nd:YAG و تلسكوب معدل Cassegrain Suntracking يتكون من مركز أساسي قطره  $61cm$ ، كما يوضح الشكل (10-3) [44]:



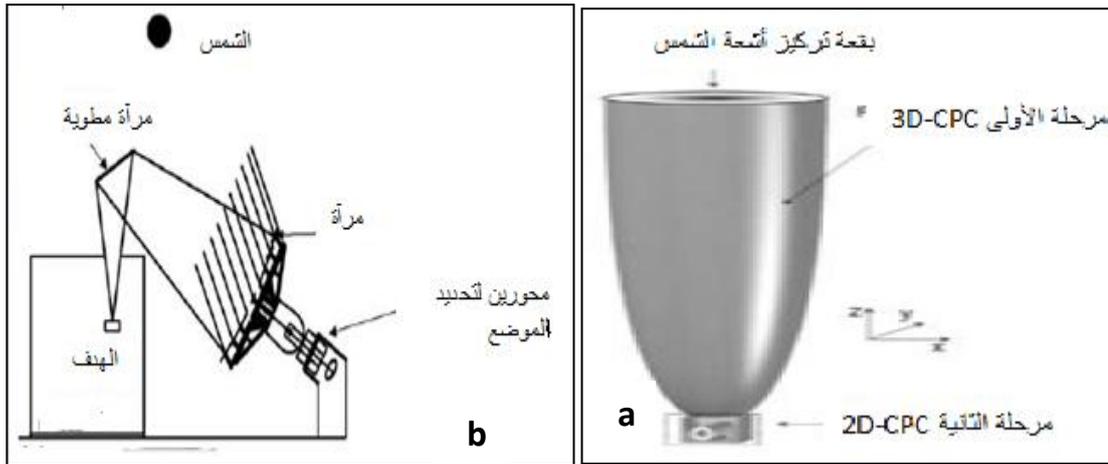
الشكل(10-3): مخطط توليد الليزر الشمسي بمادة Nd:YAG.

\* بعد عمل يونغ لم يكن هناك تقدم كبير في مجال أبحاث الليزر الشمسي حتى عام 1984، تحصل آراشي (Arashi) وزملائه على ليزر باستطاعة  $18W$  باستخدام Nd: YAG أحادي البلورة ذو قطر  $4 mm$  وطول  $75mm$  داخل أنبوب التدفق المبرد بالماء بقطر  $50mm$  في بؤرة مركز مكافئ مساحته  $78.5m^2$  فتم تحقيق كفاءة جمع الليزر الشمسي  $0.023 W/m^2$ ، كما يوضح الشكل (11-3) [44]:



الشكل(11-3): مخطط تسليط الأشعة على Nd:YAG.

\* في عام 2003م، حسن لندو (Lando) وزملائه كفاءة جمع الليزر الشمسي Nd: YAG إلى  $6.7W/m^2$ ، باستخدام مراة أساسية مجزأة إلى  $61$  قطعة سداسية مساحته  $6.75 m^2$  مثبتة في وضع التتبع المباشر ومركز ثانوي 3D-CPC مترافقة مع مركز 2D-CPC، كما تم الحصول على استطاعة ليزر شمسي تقدر بالتقريب  $1W$ ، كما يوضح الشكل (12-3) [44][45]:



الشكل (3-12): (a) مركز مزدوج (2D-CPC، 3D-CPC)، (b) مرآة أساسية.

\* في عام 2017م تمت دراسة خاصية التضخيم من سيراميك Nd / Cr: YAG تحت ضخ أشعة الشمس و لمحاكاة مصدر الضخ الشمسي تم استخدام مصباح فلاش Xe. تم تضخيم ليزر بطول موجة 1064nm بواسطة مرآة من السيراميك متعددة المراحل Nd / Cr: YAG. عند استطاعة ضخ الليزر بـ  $2340 \text{ w/m}^2$  كانت درجة حرارة قرص السيراميك  $100\text{C}^0$ ، وتم تحقيق استطاعة الليزر الناتجة بصيغة نبضية بـ 1.6KW وتم تقييم كفاءة التحويل الضوئي لحجم السيراميك التي مر بها الليزر بـ 63% [44].

### 2-7-3 تعريفه :

تعتمد فكرة الليزر الشمسي على تركيز الإشعاع الشمسي من أجل الحصول على كثافة ضخ أكبر من مستوى العتبة لتوليد الليزر، وذلك استخدام أجهزة التركيز الشمسي مثل المركز المكافئ (3D-PC)، المركز الكروي (SC)، عدسة فريزل (FL)، الأبراج الشمسية..... الخ، لزيادة مستوى التركيز إلى مستوى أعلى [26].

عند إنتاج الطاقة الليزرية يجب تحقيق مايلي:

- 1- إنتاج انقلاب السكاني بطريقة بسيطة ورخيصة.
- 2- يكون وسط الليزري بسيط وفعال.
- 3- تكون طاقة الليزر ذات كفاءة عالية .

### 3-7-3 الضخ الشمسي:

يعد الإشعاع الشمسي أحد مصادر الطاقة الرئيسي المتجدد على سطح الأرض، فيمكن استغلاله كوسيلة ضخ لتوليد الليزر الشمسي، إما بشكل مباشر أو غير مباشر. في الضخ غير المباشر، يُمكن تسليط ضوء الشمس على الخلايا الشمسية وإنتاج الكهرباء أي قوة ديود الليزر (تكنولوجية فوتوفولطي).

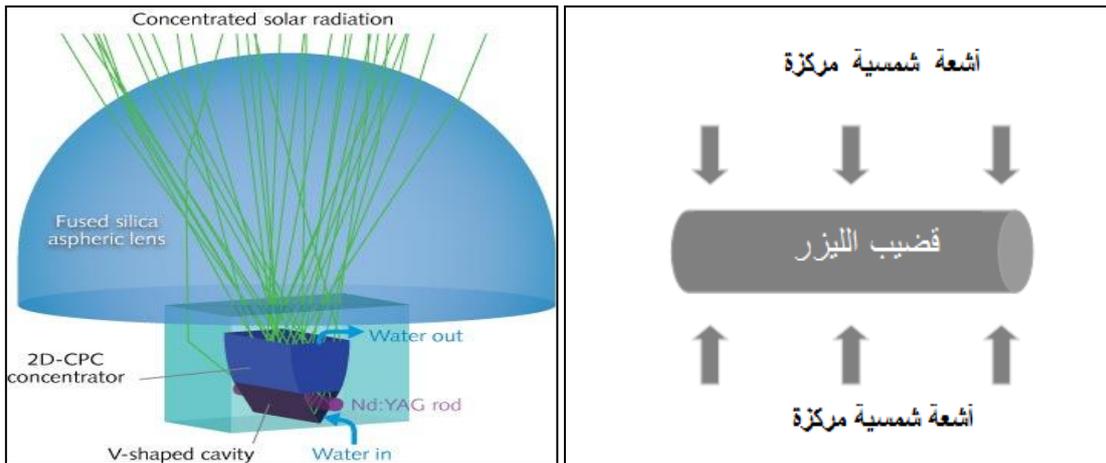
يوفر الضخ المباشر بالشمس لليزر الحالة الصلبة عدد قليل من الخطوات لتحويل الطاقة، وبالتالي يكون أقل تكلفة [26].

### 1-3-7-3 أنواع الضخ المباشر لليزر الشمسي:

توجد تقنيتين أساسيتين لضخ الليزر الحالة الصلبة بالإشعاع الشمسي هما:

#### ■ الضخ الجانبي:

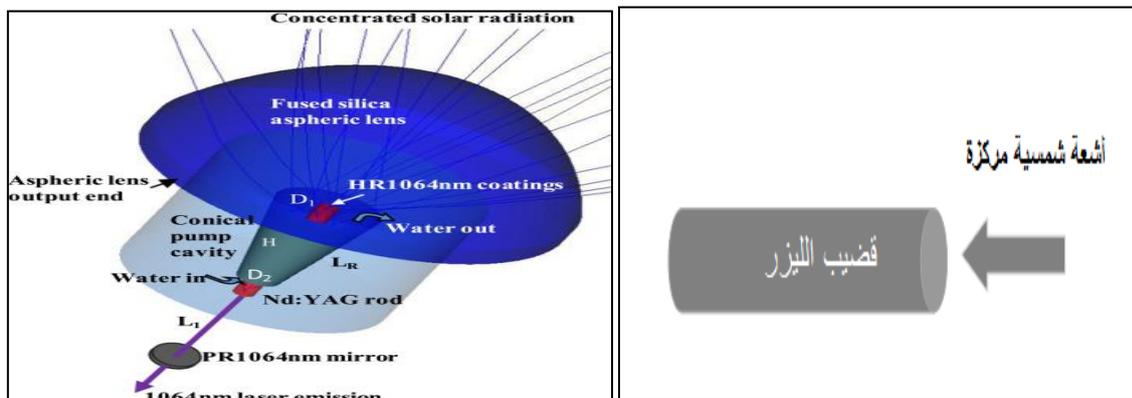
في تقنية الضخ الجانبي، يتم تركيز الإشعاع الشمسي على جوانب قضيب الليزر الاسطواني يمكن استخدام مركز رئيسي من نوع قطع مكافئ أو كروي أو عدسة فريزل، بينما الثانوي من نوع مركز مكافئ مركب (CPC) أو مركز منخفض، يمكن لهذا النظام تجميع وتركيز الإشعاع على جوانب قضيب الليزر، يتم وضعه كمتص لمركز الثانوي والذي هو بدوره المثبت في بؤرة المركز الرئيسي ليتم الضخ لتنتبع أشعة الليزر [26]، كما يوضح الشكل (3-13):



الشكل (3-13): تصميم تخطيطي لتقنية الضخ الجانبي [44].

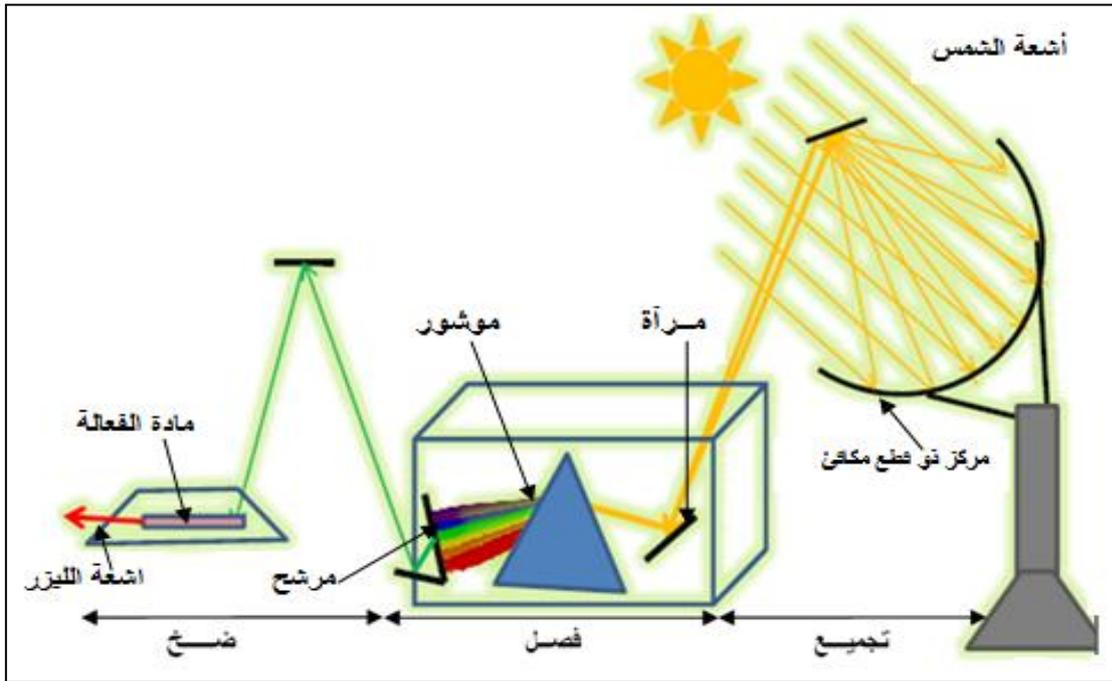
#### ■ الضخ عند الأطراف:

تقنية الضخ عند الأطراف، يتم تركيز الإشعاع الشمسي المركز على نهاية واحدة من قضيب الليزر. باستخدام مركز رئيسي من نوع قطع مكافئ أو مركز الكروي أو عدسة فريزل، و آخر ثانوي من نوع مركز مخروطي أو مركز المكافئ المركب (3D-CPC)، يجمع النظام الأشعة ويركزها على نهاية قضيب واحدة التي يتم وضعه كمتص من المركز الثانوي المثبت في تركيز المركز الرئيسي لكي يتم الضخ لتنتبع أشعة الليزر [26]، كما يوضح الشكل (3-13):



الشكل (3-14): تصميم تخطيطي لتقنية الضخ عند الأطراف [44].

كما يمكن ترشيح الأشعة الشمسية باستعمال مرشح (filter) الذي يرشح الطاقة الشمسية المطلوبة فقط لاستعمالها في عملية الضخ عن طريق عملية (تجميع - فصل - ضخ) [38]، كما يوضحه الشكل (3-15):



الشكل (3-15): تقنية ترشيح الأشعة الشمسية [39].

### 8-3 خاتمة:

الليزر ضوء مميز وفريد بخواصه على الضوء العادي حيث يتم توليده في ظروف معينة ومحددة من خلال آليات تفاعل مادة-إشعاع التي تكسبه الطاقة العالية، كما أن جهازه يحول بعض أنواع الطاقات إلى طاقة ليزيرية تُكسب الليزر هذه الخواص التي حققت ثورة في معظم التطبيقات. تطورت فكرة توليد الليزر من خلال الحصول عليه من مصدر متجدد ودائم وغير مكلف وهي الطاقة الشمسية بطريقة مباشرة عن طريق تركيز الأشعة وضخها بتقنيتين الجانبية وعند الأطراف من أجل الحصول على عتبة توليد الليزر الشمسي، لهذا سنتطرق في فصلنا القادم إلى دراسة العدديّة بالمحاكاة لكفاءة الليزر عن طريق تقنية الضخ الجانبي.

# الفصل الرابع

## الحكاية العذبية

#### 1-4 مقدمة:

يعتمد مبدأ الليزر الشمسي على تحويل أشعة الشمس إلى ليزر، من خلال تركيز هذه الأشعة للحصول على الطاقة اللازمة لتوليد الليزر، وذلك باستخدام أجهزة التركيز الشمسي (المركز ذو القطع المكافئ، عدسات فرينل ...)، وتسلب هذه الإشعاعات المركزة على الوسط الفعال ليتم توليد الليزر، ومن أشهر الأوساط الفعالة مادة Nd:YAG.

عند ضخ الوسط الفعال تتم عملية امتصاص الأشعة التي تعتبر أحد العوامل الأساسية في تحديد فعالية الليزر الشمسي، حيث تتعلق استطاعة هذا الأخير بالاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال. يؤدي هذا الامتصاص إلى ارتفاع درجة حرارة الوسط الفعال مما يؤثر سلباً على الليزر الناتج. توجد طريقتان لضخ الوسط الفعال لتوليد الليزر الشمسي، ضخ جانبي وضخ على الأطراف، وفي دراستنا اخترنا الضخ الجانبي لأنه يمكن من توزيع الأشعة الشمسية المركزة على كامل الوسط الفعال بانتظام مما يقلل من ارتفاع درجة حرارته، على عكس الضخ على الأطراف الذي يركز الأشعة على أحد الأطراف مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الوسط الفعال واحتمال تلفه.

لذلك سنقوم في هذا الفصل بالمحاكاة العددية باستعمال برنامج ZEMAX لمنظومة الليزر الشمسي ومحاولة الحصول على أكبر استطاعة ممتصة من طرف الوسط الفعال.

#### 2-4 برنامج ZEMAX:

زيماكس هو برنامج تصميم بصري ذو استخدام واسع، يستعمل لتصميم الأنظمة البصرية وتحليلها، حيث تم تصميم واجهة ZEMAX لتكون سهلة الاستخدام، ومع القليل من التدريب العملي يُمكن من التصميم التفاعلي السريع للغاية [39].

يحتوي البرنامج على مكتبة ضخمة من العدسات والمواد المصنعة لها، و يضم طرائق عديدة لتقييم أداء التصميم عن طريق توزيع الإضاءة ودوال الانتشار البصري واستخدام الكواشف [4]. يمكن الوصول إلى معظم ميزات هذا البرنامج عن طريق تحديد الخيارات في نوافذ الحوار أو القوائم المندرجة، حيث يتم توفير اختصارات للتنقل بسرعة بين القوائم.

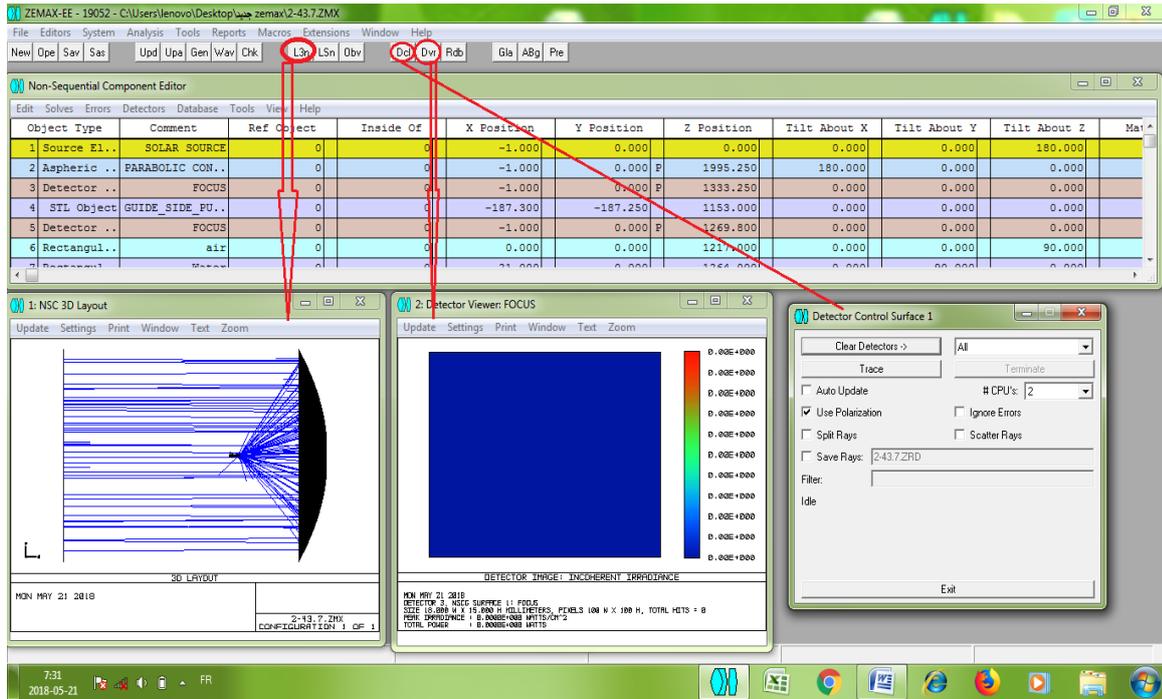
يحتوي ZEMAX على أنواع مختلفة من النوافذ، كل منها يخدم غرضاً محدداً أهمها [39]:

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

يمكن نقل جميع النوافذ أو تغيير حجمها (باستثناء نوافذ الحوار) باستخدام الأمر القياسي للماوس أو لوحة المفاتيح.

وقد استخدمنا في هذه المحاكاة نسخة البرنامج (ZEMAX 2009). يوضح الشكل (1-4) نافذة

برنامج ZEMAX:



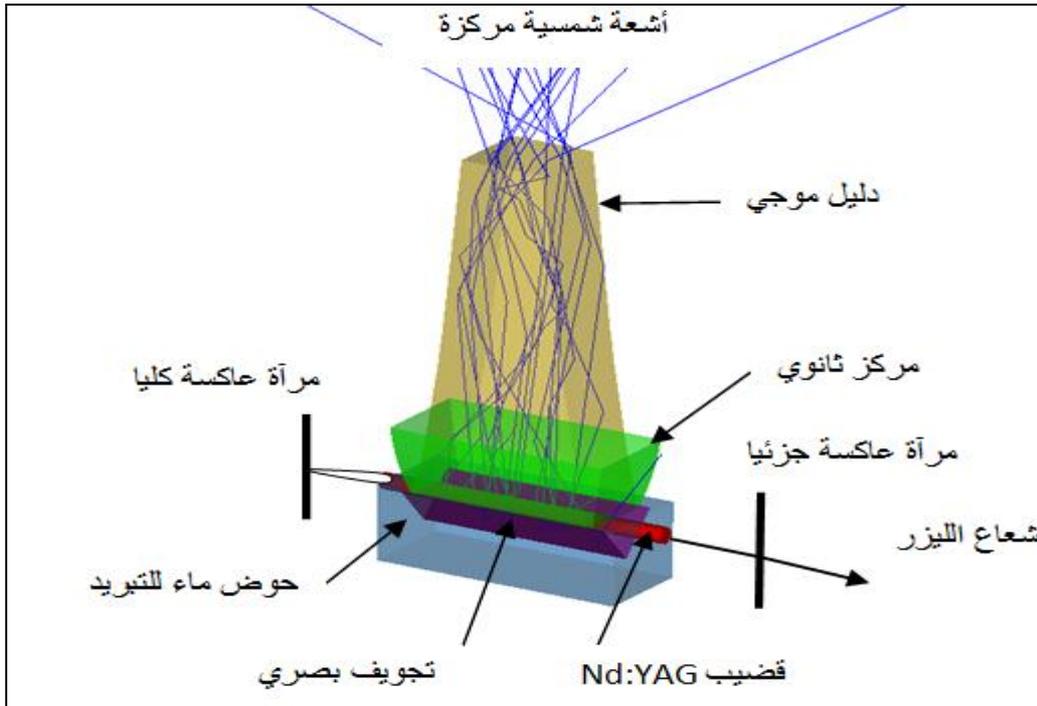
الشكل (1-4): صورة لنافذة برنامج ZEMAX.

يملك كل عنصر من نافذة المحرر في البرنامج إحداثيات على المحاور (x,y,z) وزوايا دوران حول هذه المحاور، أما الخانات الأخرى تختلف من عنصر إلى آخر، حيث تسجل فيها خصائص ومميزات كل عنصر.

### 3-4 منظومة الليزر الشمسي:

تتكون المنظومة التي سنقوم بمحاكاتها ببرنامج ZEMAX من المكونات التالية والموضحة في الشكل(2-4):

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

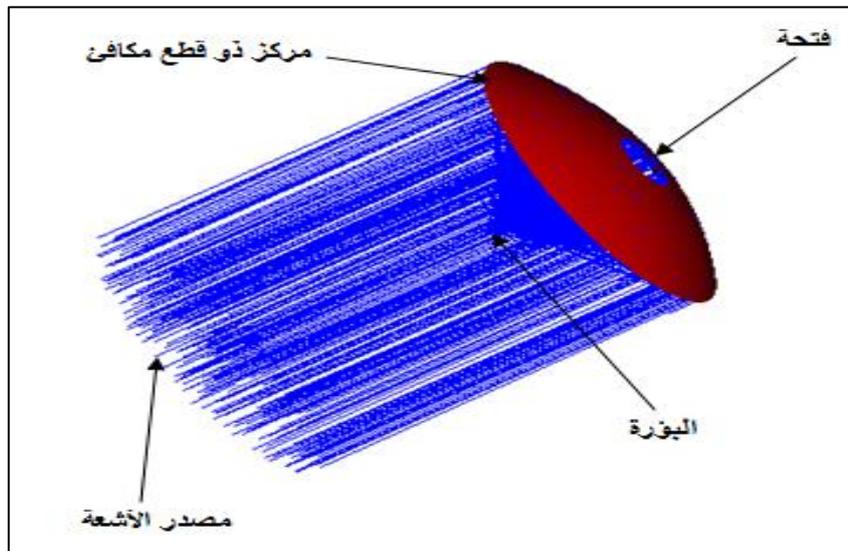


الشكل (4-2): رسم تخطيطي يوضح منظومة الليزر الشمسي.

#### 1-3-4 المركز ذو القطع المكافئ:

توجد عدة أنواع من المراكز الشمسية منها المركز ذو القطع المكافئ وعدسات فرينل والمراكز الاسطوانية وأبراج الطاقة...، وفي هذه الدراسة نستعمل المركز ذو القطع المكافئ الذي يتميز ببساطة استعماله ونسبة تركيزه الكبيرة مقارنة بالمراكز الأخرى.

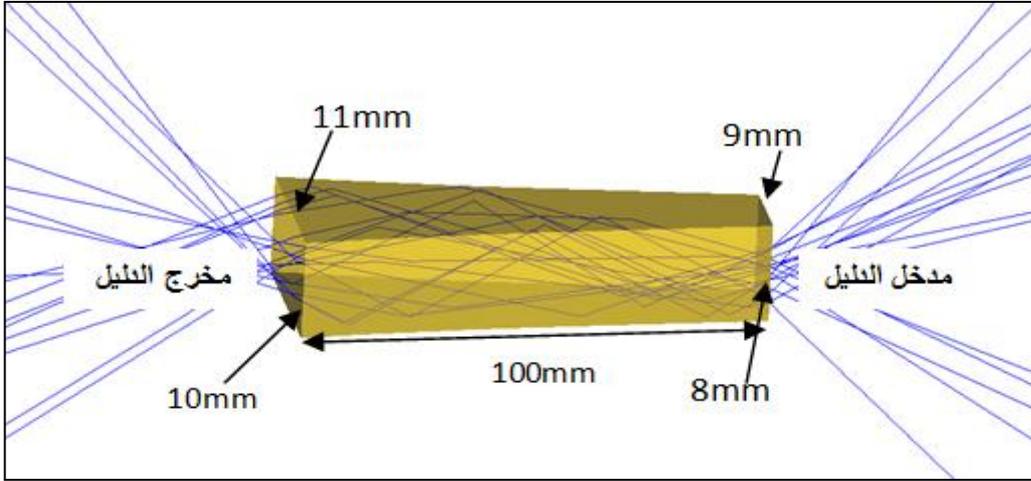
نصف قطر هذا المركز ( $D=750\text{mm}$ )، تتوسطه فتحة نصف قطرها ( $D'=150\text{mm}$ ) لتخفيف الضغط في حالة وجود رياح، والاستفادة منها بنقل الأشعة المركزة ليكون التركيز في الخلف، وذلك بوضع مرآة عاكسة عند البؤرة كما هو موضح في الشكل (4-3). تم اختيار هذه الأبعاد للحصول على نسبة تركيز عالية.



الشكل (4-3): رسم تخطيطي يوضح تركيز الأشعة بواسطة المركز ذو القطع المكافئ.

### 2-3-4 الدليل الموجي:

يستعمل الدليل الموجي لنقل الأشعة المركزة من نقطة التركيز إلى الوسط الفعال، حيث تخضع الأشعة داخله لمبدأ الانعكاس الكلي. يتم اختيار شكل الدليل على حسب نوع التركيز نقطي أو خطي وطريقة الضخ، وبما أن استعملنا المركز ذو القطع المكافئ فهو مركز نقطي، ودراستنا عن الضخ الجانبي لقضيب Nd:YAG لذا اخترنا دليل موجي يتناسب مدخله مع قطر البؤرة (14mm) ويتناسب مخرجه مع طول القضيب (30mm). كما هو موضح في الشكل (4-4):



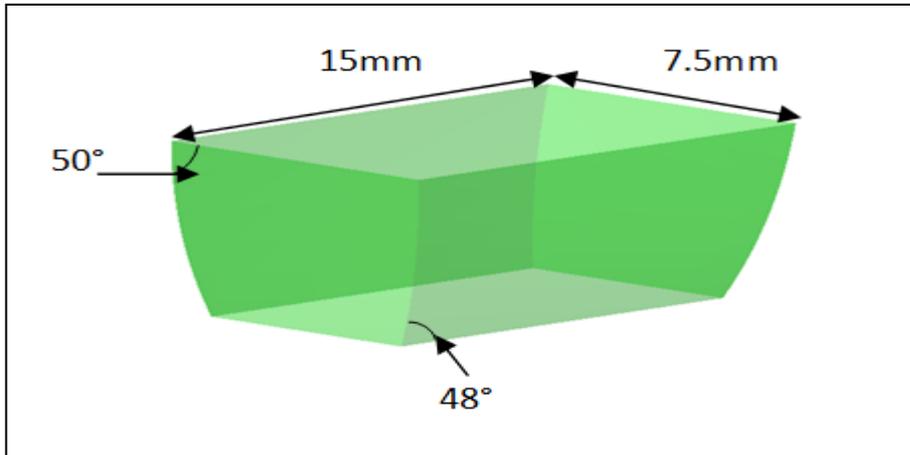
الشكل (4-4): رسم تخطيطي يوضح أبعاد الدليل الموجي.

### 3-3-4 المركز الثانوي:

يستعمل المركز الثانوي لإعادة تركيز الأشعة المشتتة النافذة من الدليل الموجي الذي يتناسب مدخله مع مخرج الدليل الموجي ومخرجه مع طريقة التحفيز يتميز هذا المركز بالأبعاد التالية كما هو موضح في الشكل (5-4):

الفتحة X (7.5mm)؛ الزاوية X (50°)

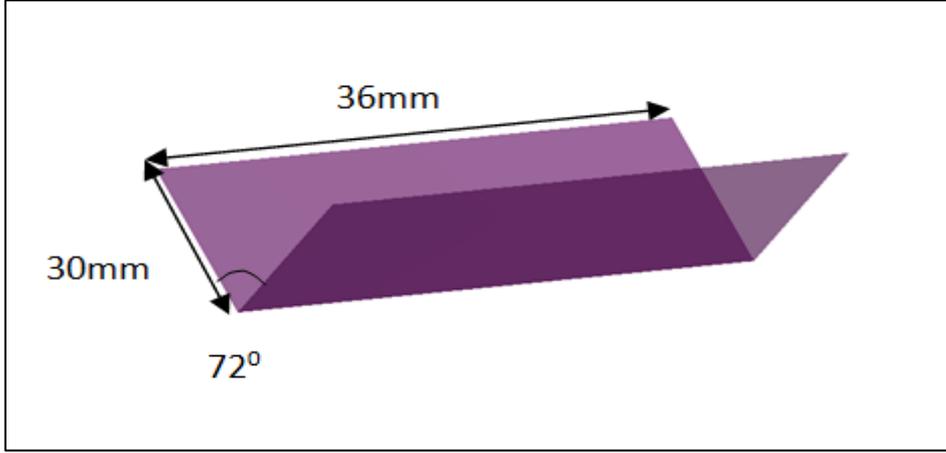
الفتحة Y (15mm)؛ الزاوية Y (48°)



الشكل (5-4): رسم تخطيطي يوضح المركز الثانوي.

#### 4-3-4 التجويف البصري:

لكي نضمن توزيع الأشعة على كامل جوانب القضيب نستعمل تجويف بصري على شكل حرف V وهو عبارة عن مرآتين عاكستين، أبعاد كل مرآة (30mm,36mm) والزاوية المحصورة بينهم  $72^\circ$ ، كما هو موضح في الشكل (6-4).



الشكل (6-4): رسم تخطيطي يوضح التجويف البصري.

#### 5-3-4 الوسط الفعال Nd:YAG:

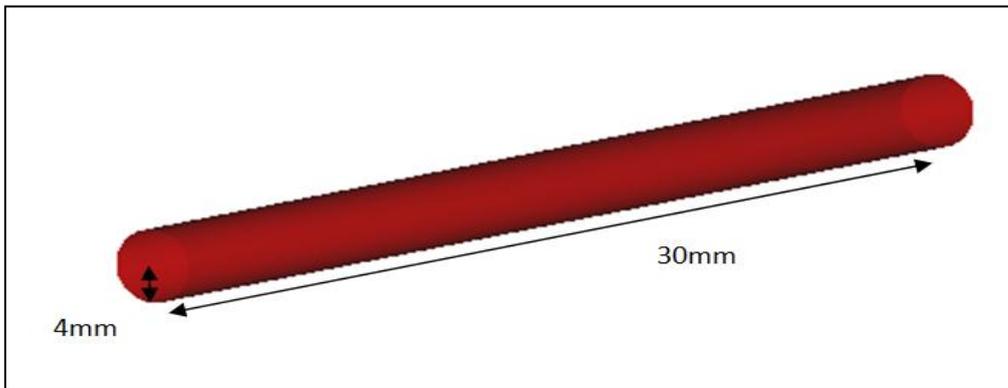
نستخدم قضيب Nd:YAG وهذا الأخير هو عبارة عن بلورة  $Y_3Al_5O_{12}$  (عادة يطلق عليها اسم YAG) وكلمة YAG هي الأحرف الأولى لـ (Yttrium Aluminum Garnet) عقيق الألمنيوم والايتريوم، المطعم بأيونات  $Nd^{+3}$  [3].

يتميز Nd:YAG :

\*بموصلية حرارية عالية نسبيا تصل إلى  $K = 14 \text{ W / m K}$ .

\*بنية مستقرة .

أبعاد القضيب المستخدم في هذه الدراسة  $D=4\text{mm}$  ،  $L=30\text{mm}$  كما يوضحها الشكل (7-4).

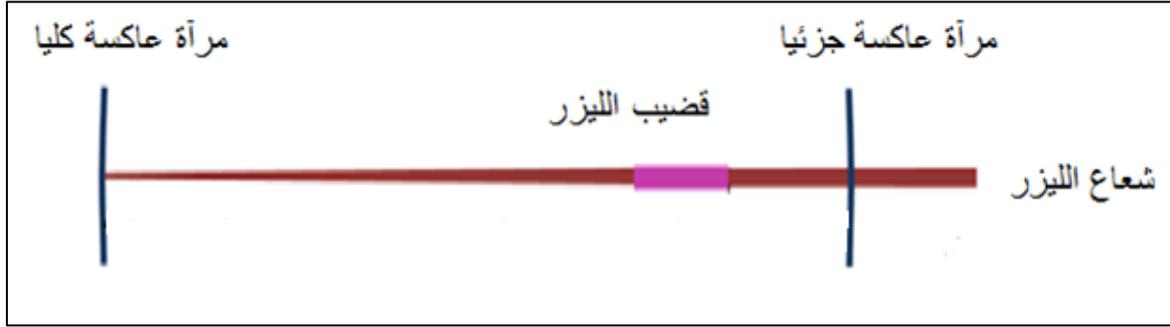


الشكل (7-4): رسم تخطيطي يوضح أبعاد القضيب.

#### 6-3-4 التجويف الرنيني :

التجويف الرنيني أو ما يسمى المرنان، من المكونات الرئيسية لجهاز الليزر وهو منظومة من مرآتين توضع على محور بصري مشترك مع الوسط الفعال حيث تنتقل الفوتونات بين المرآتين ذهابا وإيابا

مرورا بالوسط الفعال من أجل تضخيمها، تكون إحدى هاتين المرأتين ذات انعكاسية تامة (الخلفية) (100%)، والمرأة الأخرى تكون ذات انعكاسية جزئية (الأمامية) [40]، كما يوضحه الشكل (8-4).



الشكل (8-4): رسم تخطيطي يوضح التجويف الرنيني [44].

### 7-3-4 حوض التبريد:

للتقليل من مشكل الحرارة نستعمل حوض التبريد به فتحتان، واحدة لإدخال الماء والأخرى لإخراجه وهذا تحت ضغط معين مناسب.

### 4-4 المنظومة الميكانيكية:

لتنبيت منظومة الليزر الشمسي يجب وضع كل من عناصرها (الدليل الموجي، المركز الثانوي، التجويف البصري، الوسط الفعال) في منظومة ميكانيكية تحتوي على فتحتين ليتم انتقال الفوتونات عبرها ذهابا وإيابا للمرأتين العاكستين مرورا بالوسط الفعال قصد التضخيم، وفتحتين لإدخال وإخراج الماء المستعمل للتبريد.

### 5-4 نتائج المحاكاة باستعمال برنامج ZEMAX:

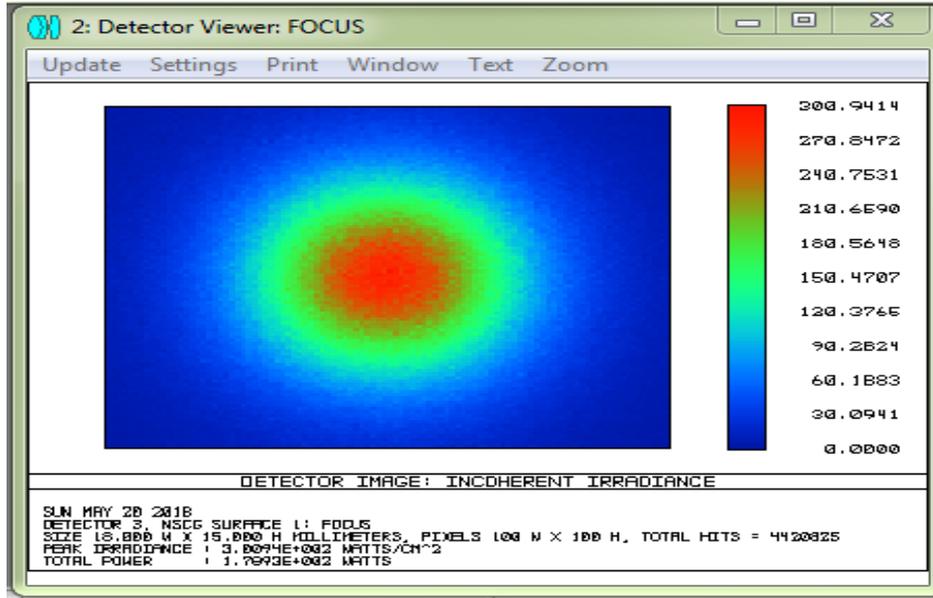
تم وضع العديد من الكواشف في أماكن محددة من النظام لتكون قادرة على قياس الاستطاعة الضوئية عند هذه النقاط:

- في بؤرة التركيز.
- عند مخرج الدليل الموجي.
- حول الوسط الفعال.

### 1-5-4 الاستطاعة الضوئية عند بؤرة التركيز (الكاشف الأول):

نتائج المحاكاة تشير إلى:

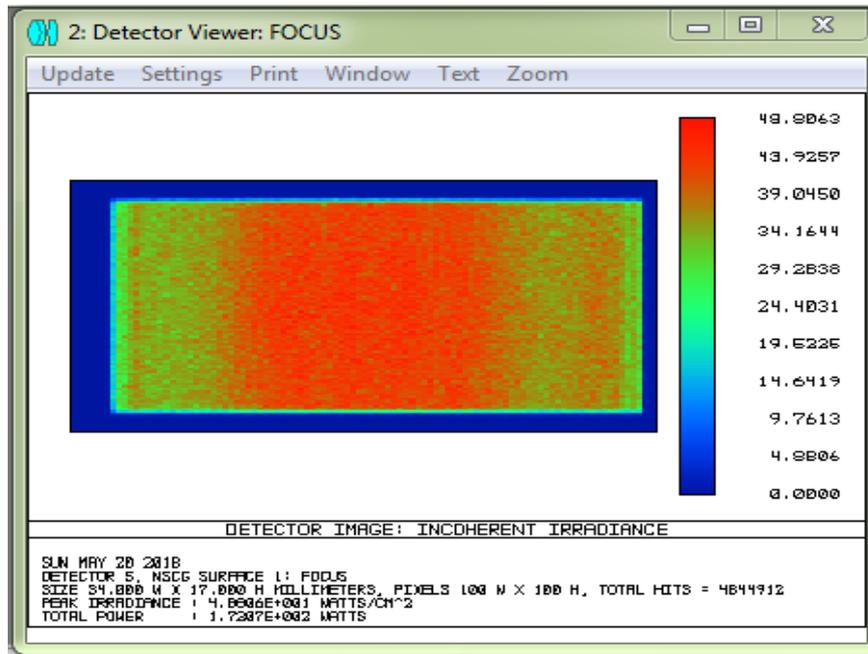
الاستطاعة الضوئية عند بؤرة التركيز للقطع المكافئ هي 178.93 W، والموضحة في الشكل (9-4).



الشكل (4-9): صورة توضح توزيع الأشعة الشمسية عند البؤرة.

#### 4-5-2 الاستطاعة الضوئية عند مخرج الدليل الموجي (الكاشف الثاني):

الاستطاعة الضوئية عند مخرج الدليل الموجي هي 172.07W، كما يوضحها الشكل (4-10).



الشكل (4-10): صورة توضح توزيع الأشعة عند مخرج الدليل الموجي.

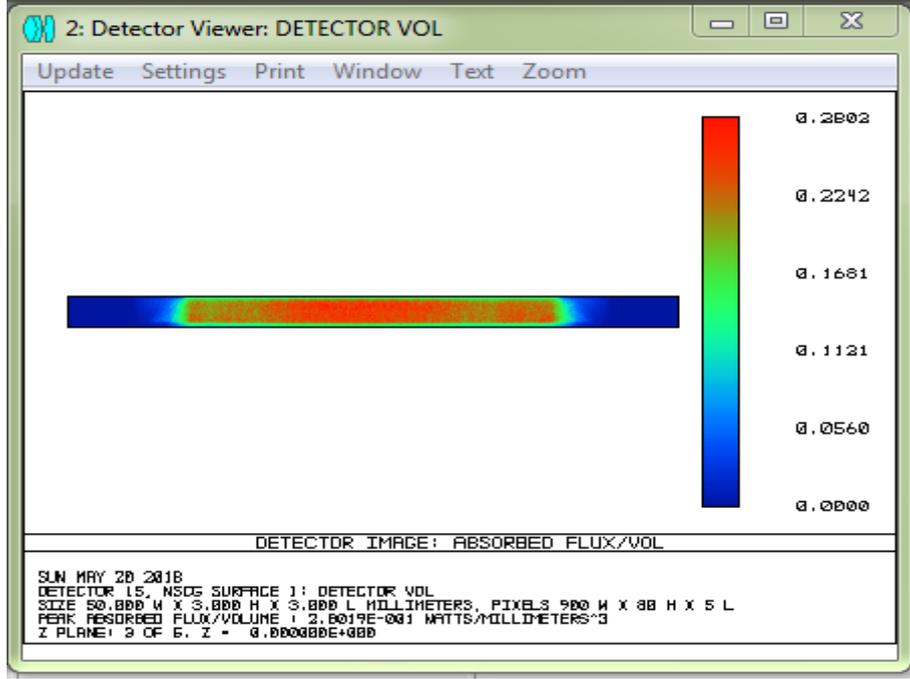
نلاحظ هنا تناقص في قيمة الاستطاعة من 178.93W إلى 172.07W، ومنه نستطيع حساب كفاءة نقل الدليل الموجي للأشعة بالعلاقة التالية:

$$172.07/178.93=96\%$$

يرجع هذا التناقص في قيمة الاستطاعة إلى الضياع داخل الدليل الموجي.

3-5-4 الاستطاعة الضوئية عند الوسط الفعال (الكاشف الثالث):

لمعرفة نسبة الاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال (قضيبي Nd:YAG) نقوم بوضع كاشف حوله، فتتوصل على النتيجة التالية الموضحة في الشكل (11-4):



الشكل (11-4): صورة توضح توزيع الاستطاعة الممتصة من طرف القضيبي.

من خلال الشكل لا نستطيع استخراج قيمة الاستطاعة الممتصة من طرف القضيبي وهذا يرجع لخصائص الكواشف، فالكواشف المسطحة تعطي نتيجة الاستطاعة مباشرة، أما الكاشف المستعمل في هذه الحالة على شكل ثلاثي الأبعاد فهو لا يعطي النتيجة مباشرة، لذا نستعمل برنامج Excel لحساب هذه القيمة، كما هو موضح في الشكل (12-4):

|          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
| 8.35E-09 | 1.04E-11 | 2.49E-05 | 1.20E+00 |
| 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.20E+00 |
| 8.13E-08 | 1.02E-10 | 4.89E-05 | 1.20E+00 |
| 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.20E+00 |
| 2.77E-08 | 3.47E-11 | 1.56E-05 | 1.20E+00 |
| 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.20E+00 |
| 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.20E+00 |
|          | 4.36E+01 |          |          |

الشكل (12-4): صورة توضح نتيجة الاستطاعة الممتصة باستعمال Excel.

قيمة الاستطاعة الممتصة من طرف القضيبي هي  $P=43.6W$

## 6-2 خاتمة:

من خلال المحاكاة العددية التي قمنا بها في هذا الفصل لدراسة كفاءة الليزر الشمسي بواسطة الضخ الجانبي لـ Nd:YAG، توصلنا إلى نسبة الاستطاعة الممتصة من طرف القضيب تقدر بـ 43.6W مع توزيع منتظم للأشعة على طول القضيب (الشكل 4-11) وهذه القيمة منخفضة نسبياً، إلا أن جودة شعاع الليزر الناتج ستكون جيدة مقارنة بالتقنية الأخرى (الضخ على الأطراف)، لأن طريقة الضخ الجانبي تقلل من مشكل الحرارة تقريبا التي تؤثر سلباً على كفاءة الليزر الناتج، وذلك بتوزيع الأشعة بانتظام على الوسط الفعال ومنه المحافظة على خصائصه [44].

خاتمة عامة

## خاتمة عامة :

ليزر الطاقة الشمسية أو ما يعرف بالليزر الشمسي هو أحد مجالات تكنولوجيا الطاقات المتجددة الحديثة. وهو عبارة عن مزيج من العلوم، الطاقة الشمسية وفيزياء الليزر. التفكير في هذا المجال يعطي اقتراحاً بأن الليزر الناتج الذي يستمد كل قوته من الشمس، يستخدم في الاتصالات الفضائية، والصناعات..... إلخ. حيث يعتمد مبدأ توليد الليزر الشمسي على تحويل الطاقة الشمسية إلى ليزر، من خلال تركيز الأشعة الشمسية على الوسط الفعال بغية الوصول إلى مستوى إشعاعي يسمح بتخطي حاجز الضخ اللازم لحدوث الفعل الليزري، كما تحدد استطاعة الليزر المولد وجودته بالاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال وتوزيع الأشعة عليه، إلا أن مشكل الحرارة الناتج من الانتقالات غير المشعة للالكترونات مقدار مؤثر على الليزر الناتج. فنقليل من هذا المشكل والحصول على أكبر استطاعة ممتصة ممكنة من طرف الوسط الفعال قمنا في هذا العمل بدراسة الضخ الجانبي لقضيب Nd:YAG الذي يضمن توزيع الأشعة المركزة على كامل جوانب القضيب على عكس الضخ على الأطراف الذي يركز على أحد أطراف القضيب .

من خلال محاكاة العددية باستعمال برنامج ZEMAX توصلنا إلى قيمة الاستطاعة الممتصة من طرف قضيب Nd:YAG تقدر بـ  $P=43.6W$  مع توزيع منتظم للأشعة على طول القضيب وهي منخفضة نسبياً، إلا أنها تعطي جودة في شعاع الليزر عكس تقنية الضخ على الأطراف تعطي امتصاص أكبر و جودة أقل تقريباً.

إن البحث العلمي مستمر في مجال الليزر الشمسي من قبل العلماء، لتحسين كفاءة الليزر التي تكون مجدية وصالحة لتطبيقات عديدة، و كنظرة مستقبلية في هذا الموضوع لتحسين قيمة الاستطاعة الممتصة بتقنية الضخ الجانبي وذلك من خلال :

- ✓ البحث على أوساط فعالة أخرى لها مجال امتصاص لأشعة الشمس أكبر من مجال Nd:YAG على غرار مادة Nd / Cr: YAG.
- ✓ إيجاد تصميم آخر لجميع عناصر المنظومة الليزرية بداية بالدليل الموجي وصولاً إلى التجويف البصري .

# قائمة المراجع

• المراجع باللغة العربية:

- [1] الطاقة الشمسية (ج1)، مجلة العلوم والتقنية، العدد الرابع والثلاثون، سبتمبر 1995.
- [2] محمد أحمد سيد خليل، الطاقة الشمسية واستخداماتها، دار الكتب العلمية للنشر وتوزيع القاهرة.
- [4] مريم ازهر علي غالب، تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات أخايد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيماكس، مذكرة ماجستير، جامعة بغداد 2010.
- [7] محمد البار سوداني، تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي، رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017-2018.
- [11] د.سعود يوسف عياش، تكنولوجيا الطاقة البديلة، عالم المعرفة، الكويت فبراير 1981.
- [14] المهندس علي ناجي حمودي، دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية جامعة تشرين. 2009
- [19] ليلي بوراس، دراسة تأثير معاملات شبكة براغ المنتظمة على تحسين الانتقائية الطيفية في الموجهات الضوئية المدمجة تطبيق تجويف رنين لليزر مدمج، مذكرة ماجستير جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2006/09/18.
- [22] منيرة ميمي، دراسة وتحسين توجيه الضوء الشمسي، مذكرة ماجستير جامعة الوادي 2013/12/19
- [32] صالح مصطفى الأتروشي ورياض وديع يوسف، "الليزر أسس واستخدامات"، جامعة دهوك، دار دجلة، الطبعة الأولى 1426 هـ - 2008.
- [33] د.سعود بن حميد اللحاني، " الليزر وتطبيقاته"، كلية العلوم، جامعة أم القرى
- [34] محمد يوسف الشيخ يوسف، دراسة اللوحات الفنية باستخدام تقنية أطياف البلازما المستحثة بالليزر، مذكرة ماجستير، جامعة السودان، أبريل 2017.
- [35] د.محمد كوسا، " فيزياء الليزر وتطبيقاته"، كلية العلوم، منشورات جامعة دمشق، 2005-2006.
- [38] يمينة كرمية، ضخ الأوساط الفعالة بالإشعاع الشمسي (حالة الليزر)، مذكرة ماجستير، جامعة الوادي، 19-12-2013.
- [40] عدي عطا حمادي، " أساسيات الليزر وتقنياته"، 1425 هـ - 2004 م.

• المراجع باللغة الأجنبية:

- [3] SAYIGHA.A, Characteristics Of Solar Radiation, Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario, 1979.
- [5] J A Duffie, w a Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, edited by John Wiley & Sons , 2013.
- [6] Rahmani Djelloul, Analyse d'un système de concentration solaire Pour La production d'hydrogène (cas de l'Algerie), Mémoire Magister ,Université Hassiba Benbouali-Chlef,2011- 2012.
- [8] Soteris Kalogirou Solar Energy Engineerin and system ,University of Technology, Limassol, Cyprus ,british library ,2009
- [9] A.A sfeir G. Guarracino,ingénieur des systèmes solaires ,application a l'habitat ,technique et documentation ,edition paris ,1981.
- [10] Yves Jannot, Thermique solaire, mars 2010
- [12] Hamani Nadjette, Modelisation Du Flux Solaire Incident Et De La Temperature De Sortie Dans Un Capteur Solaire A Eau Avec Effet De Concentration Du Rayonnement Solaire Incident, Memoire De Magister, Universite Mohamed Khider- Biskra,2005.
- [13] Mokhtar Ghodbane , Boussad Boumeddane, Estimating solar radiation according to semi empirical approach of perrin de brichambaut: application on several areas with different climate in Algeria, University of Saad Dahlab, Blida 1.
- [15] Mr Abdelmadjid Kaddour, Modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal, these docteur, Universite Abo-bekr belkkaid-Tlemcen, Janvier2013.
- [17] F. Muhammad-Sukki, R. Ramierez-Iniguez, S.G. Mc Meekin, B.G. Stewart & B. Clive, Solar Concentrators, International Journal of Applied Sciences (IJAS), Volume (1): Issue (1).
- [18] Michael Mouzouris, A High-Flux Solar Concentrating System, Mémoire de Master, Université of KwaZulu-Natal, July 2011.
- [19] Matthias Günther, Michae Joemann, Simon Csambor, Chapter 5 Parabolic Trough Technology, January 2011.
- [20] Garrett Dooley, Optimization of a parabolic reflector for use in a two-stage solar concentrator, Mémoire Master Dalhousie University Halifax, Nova Scotia May 2014.
- [23] M. Bensafi, S. Zegnoun, B. Draoui, Etude Expérimentale Et Modélisation D'un Concentrateur Parabolique Solaire Dans La Région De Béchar, Laboratoire ENERGARID, Université de Béchar, 10 July 2013.
- [24] Yaseen. H. Mahmood , Mayadah K h. Ghaffar, Design of Solar dish concentration by using MATLAB program and Calculation of geometrical concentration parameters and heat transfer, University of Tikrit , Tikrit , Iraq, 20/4/2015.
- [25] Vanita Thakkar, Ankush Doshi, Akshaykumar Rana, Performance Analysis Methodology for Parabolic Dish Solar Concentrators for Process Heating Using Thermic Fluid, Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Jan-

- Feb. 2015.
- [26] Yasser Abdel-Fattah Abdel-Hadi, Development of optical concentrator systems for directly solar pumped laser systems, Technical University of Berlin Institute of Optics 2005.
- [29] Katsunari Okamoto, Fundamentals of Optical Waveguides, Second Edition, Okamoto Laboratory Ltd Ibaraki, Japan 2006.
- [30] Pierre Lecoy, " Télécommunications optiques " ,© Hermès , paris **1992**
- [31] , Subhash Chandra Singh, Haibo Zeng, Chunlei Guo, and Weiping Cai, Nanomaterials: Processing and Characterization with Lasers,chapter 1, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.
- [39] Mehellou Said, Pompape optique des lasers par faisceau solaire, thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018
- [42] Peter W. milonni, Joseph h. eberly, ' Laser physics, ' edited John Wiley & Sons.
- [43] Beggas Azzeddine, Etat d'art des verres dopés aux ions terres rares :Application Amplificateur Optique , Mémoire Magister, Université El-oued ,2010.
- [44] Joana Isabel Lázaro Almeida, Advances in solar-pumped laser efficiency and brightness, thèse Doctorat, Université de Lisbonne, Septembre2017.
- [45] Mordechai Landoa, Jacob Kagana, Boris Linyekina, Vadim Dobrusinb, A solar-pumped Nd:YAG laser in the high collection efficiency regime 11 March 2003.

• مواقع الانترنت:

- [16] [https://ru.pngtree.com/freepng/cartoon-solar-panels\\_1982170.html](https://ru.pngtree.com/freepng/cartoon-solar-panels_1982170.html) 23/03/2018
- [21] [https://fabrica-tech.blogspot.com/2013/12/blog-post\\_31.html](https://fabrica-tech.blogspot.com/2013/12/blog-post_31.html) 15/04/2018
- [27] <https://icietla-magazine.com/fibre-optique-centre-bretagne-bientot-connecte> 20/04/2018
- [36] <http://guy.chaumeton.pagesperso-orange.fr/tstp03phc.htm> 05/05/2014
- [37] [http://www.moqatel.com/openshare/Behoth/MElmiah12/Lezr/fig08.jpg\\_cvt.htm](http://www.moqatel.com/openshare/Behoth/MElmiah12/Lezr/fig08.jpg_cvt.htm) 08/05/2018

## المخلص:

الليزر الشمسي هو تحويل أشعة الشمس إلى ليزر، حيث يتم توليده من خلال تركيز هذه الأشعة على وسط فعال. تحدد كفاءة الليزر الشمسي من خلال قيمة الاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال والتوزيع المنتظم للأشعة عليه. قصد تحسين هذه الكفاءة توجد طريقتان للضخ، ضخ جانبي وضخ على الأطراف. قمنا في هذا العمل بالمحاكاة العددية لدراسة الضخ الجانبي لقضيب في منظومة الليزر الشمسي المكونة من (مركز ذو قطع مكافئ، دليل موجي، مركز ثانوي، قضيب Nd:YAG، تجويف بصري، حوض تبريد ...) وذلك باستعمال برنامج ZEMAX فتوصلنا إلى استطاعة قدرها  $P = 43.6W$  مع توزيع منتظم للأشعة على كامل القضيب، فبالرغم من أن قيمة الاستطاعة منخفضة نسبيا إلا أن شعاع الليزر الناتج له جودة لأن الضخ الجانبي يعطي التوزيع المنتظم للأشعة على القضيب مما يقلل من درجة حرارته، ومنه التقليل من تأثيرها على خصائص حزمة الليزر الناتج .

**الكلمات المفتاحية:** أشعة الشمس، المركز، الليزر الشمسي، كفاءة الليزر، قضيب Nd:YAG.

## Résumé:

Le laser solaire est la conversion de la lumière du soleil en un laser, il est généré en focalisant le rayonnement sur un milieu actif, cette opération est appelée pompage. L'efficacité des lasers solaires est déterminée par la valeur de la puissance absorbée par le milieu actif et la régularité de la distribution du rayonnement absorbée le long du milieu actif. Il existe deux méthodes de pompage, le pompage latéral et le pompage par le bout. Dans ce travail, nous avons adopté la méthode de pompage latéral afin d'améliorer l'efficacité du laser solaire. Nous avons effectué une simulation numérique pour étudier le pompage latéral d'un barreau laser dans le système laser solaire composé de : (un concentrateur parabolique, un guide d'onde, un concentrateur secondaire, un barreau laser de Nd:YAG, une cavité optique, un bain de refroidissement....) , en utilisant le programme ZEMAX, nous avons atteint une puissance absorbée de  $P = 43.6W$  avec une distribution régulière du rayonnement solaire le long du barreau laser. Bien que la valeur de la puissance absorbée est relativement faible, le faisceau laser résultant est de bonne qualité grâce à la distribution régulière du rayonnement le long du barreau, ce qui réduit l'effet de la température.

**Mots-clés:** Rayonnement solaire, concentrateur solaire, laser solaire, efficacité du laser, barreau de Nd: YAG

## Abstract:

The solar-pumped laser is the conversion of sunlight into a laser, where it is generated by focusing the rays on an active medium. The efficiency of the solar lasers is determined through the value of the absorbed capacity by the active medium and the regular distribution of the radiation. In order to improve this efficiency, there are two pumping methods, side pumping and end pumping. In this work we performed numerical simulations to study the side pumping of the Nd: YAG rod in the solar laser system consisting of (concentrator, wave guide, secondary concentrator, Nd: YAG rod, optical cavity, cooling system ...) using the ZEMAX software. We have got an absorbed power of 43.6 W with a regular distribution of radiation on the rod, although the value of the absorbed power is relatively low, but the resulting laser beam has a good quality because the side pumping gives the regular distribution of radiation on the rod, which reduces the temperature effect.

**Keywords:** Solar radiation, solar concentrator, solar laser, laser efficiency, Nd: YAG rod.