



وزارة التعليم العالي  
والبحث العلمي  
جامعة الانبار  
كلية العلوم / قسم الفيزياء

اسم المادة: الليزر/2

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة الخامسة عشر

عنوان المحاضرة: المرنان البصري

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيق العبيدي

## المرنان البصري Optical Resonator

المرنان هو تجويف رنيني , يشكل مصدر التغذية الاسترجاعية في أجهزة الميزر والليزر وهو تصميم ضروري لدعم التكبير الحادث في الوسط الفعال نتيجة الانبعاث المحفز وكذلك توجيهه والمحافظة على صيغة أحادية الموجة لانبعاثه . يجب أن يصمم هذا المرنان بأبعاد معينة تعتمد على الطول الموجي لشعاع الليزر الناتج بحيث يكون طول المسار البصري مساوياً لأعداد صحيحة من أنصاف الطول الموجي فيحدث التداخل البناء ونحصل على حزمه من أشعة الليزر المتوازية .

أنواع المرنانات :

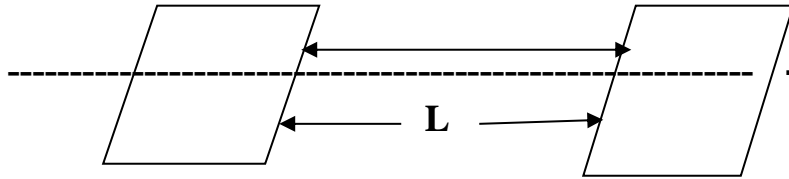
### 1- مرنان المرآتين المستويتين – المتوازيين (مرنان فابري-بيرو) :

يتألف من مرآتين مستويتين متقابلتين بشكل توازي أحدهما الأخرى وان طول المرنان يساوي عدد صحيح من أنصاف الطول الموجي :

$$L = n \lambda / 2 \dots\dots\dots(1)$$

اذ ان  $\lambda$ : طول موجة الليزر،  $L$ : طول المرنان،  $n$ : عدد صحيح  
أما الترددات الرنينية فتكون:

$$v = n (c/2L) \dots\dots\dots(2)$$



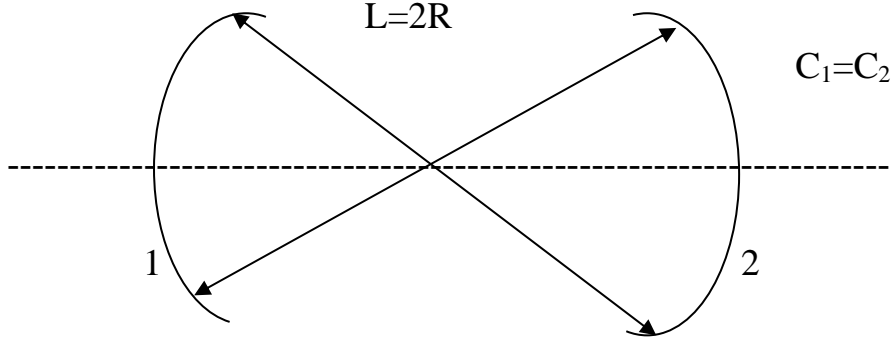
الشكل (1) مرنان المرآتين المستويتين – المتوازيين

### 2- المرنان الكروي :

للتغلب على خسارة حيود الأشعة في مرنان فابري – بيرو , تحذب المرآتين قليلاً ونحو الخارج , ويكون على هيئة أشكال مختلفة :

### أ- المرنان الكروي – المتحد في المركز :

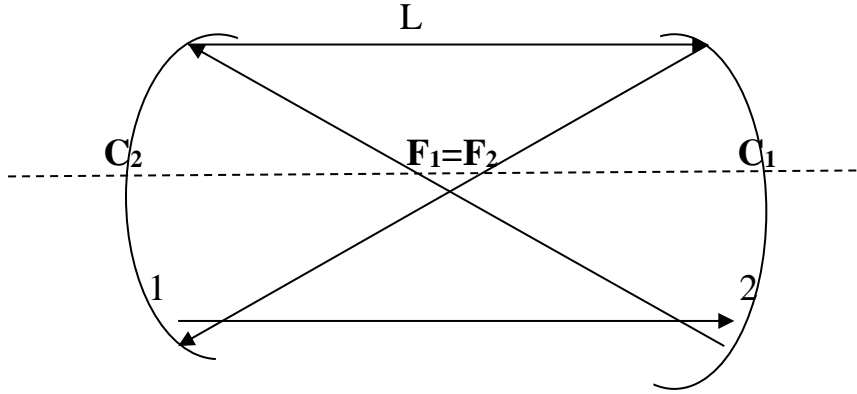
وفيه تكون المرآتان الكرويتان المقعرتان متساويتان في التكور بحيث ينطبق مركز تكور الأولى على الثانية و المسافة بينهما تساوي قطر أحدهما  $2R$ .



الشكل (2) المرنان الكروي – المتحد في المركز

### ب- المرنان الكروي – المتحد في البؤرة :

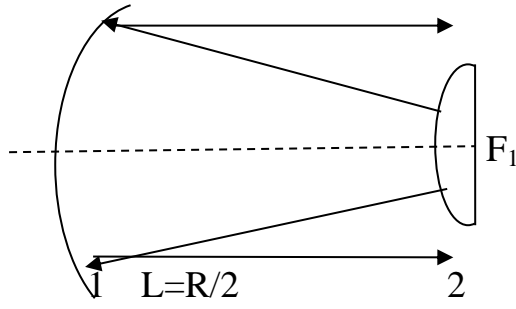
ويتألف أيضاً من مرآتين مقعرتين متساويتان في التكور وان المسافة الفاصلة بين المرآتين تساوي  $R$  اي ان بؤرة المرآة الأولى  $F_1$  تقع على بؤرة المرآة الثانية  $F_2$  وهذا يعني ان مركز تكور احدهما يقع على قطب المرآة الأخرى كما يوضحه الشكل (3)



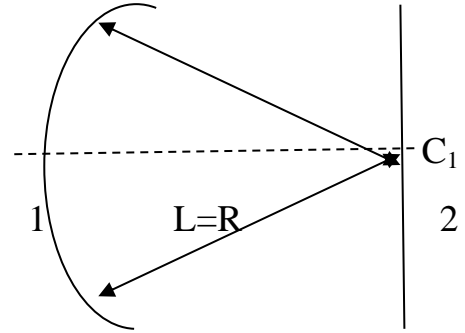
الشكل (3) المرنان الكروي – المتحد في البؤرة

### 3- المرنان الكروي – المستوي :

ويتألف هذا المرنان من مرآة كروية مقعرة واخرى مستوية ويدعى بالمرنان نصف الكروي او مرآة كروية مقعرة واخرى محدبة ويسمى بالمرنان نصف البؤري كما يوضحه الشكلين 4 و 5 على التوالي :



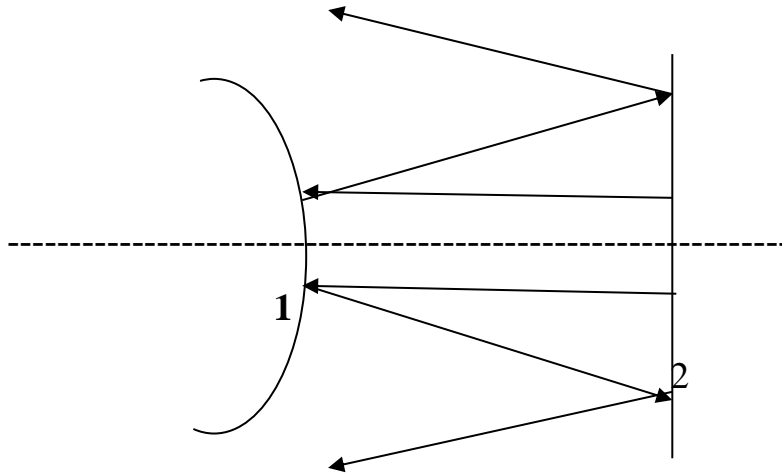
الشكل (5) مرنان نصف بؤري



الشكل (4) مرنان نصف كروي

### استقرارية المرنان :

ان المرنان الكروي بصورة عامة يحوي مرأتين كرويتين اما ان تكون R نصف قطر تكور المرآة موجباً للمرآة المقعرة وسالباً للمحدبة ومالانهاية للمستوية وهذا ما يؤثر على خسارة الحيود وعدد صيغ التذبذب وترددها وسعتها وبذلك يكون المرنان أما مستقر والذي يكون فيه تقع المرأتين بشكل يحفظ فيه الضوء متمركزاً بالقرب من محور المرنان , أما المرنان غير المستقر ففيه تكون أشعة الضوء تواصل حركتها بعيداً عن محور المرنان فينتج عنها خسارة والشكل ادناه لمرنان غير مستقر .



ان استقراريه المرنان تخضع للأوصاف الهندسية للمرنان (  $R_1, R_2, L$  ) وشرط الاستقرار هو:

$$0 \leq g_1 g_2 \leq 1 \quad \dots \dots \dots (3)$$

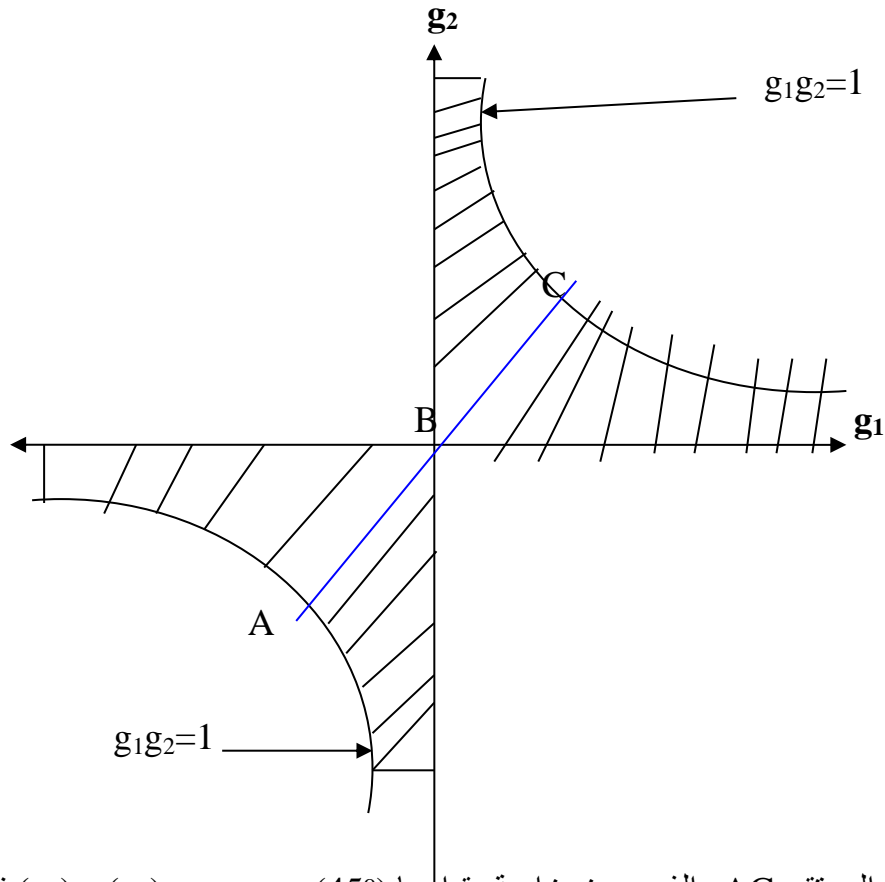
$$g_1 = 1 - (L / R_1) \quad \dots \dots \dots (4)$$

اذان

$$g_2 = 1 - (L / R_2) \quad \dots \dots \dots (5)$$

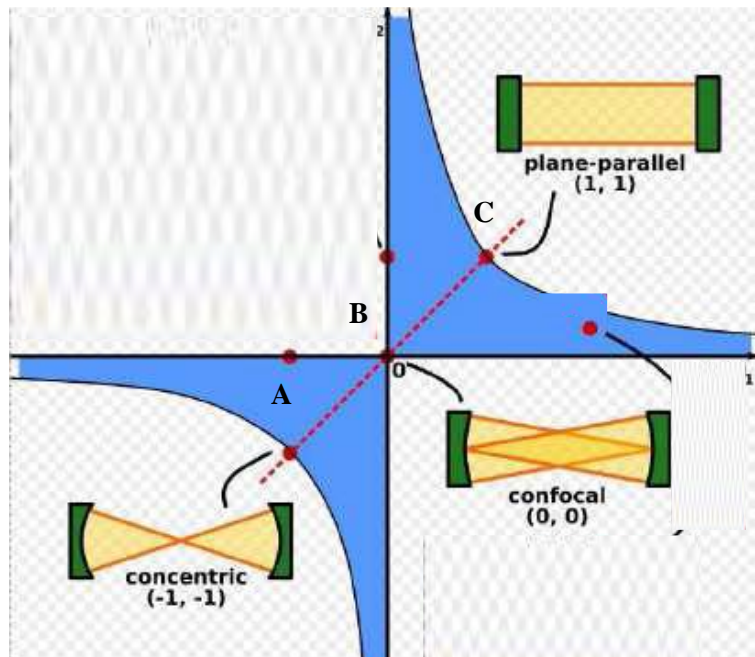
ويمكن تمثيل شرط الاستقرار بمخطط يعرف بمخطط الاستقرار كما يوضحه الشكل (7) , تكون فيه  $g_1$  على محور السينات و  $g_2$  على محور الصادات , ثم نرسم منحنى الحدود ( $g_1 g_2$

1) = فالمناطق المظللة تحقق الشرط (تخضع لمرنان مستقر) وخارج المنطقة المظللة تخضع لمرنان غير مستقر



أما الخط المستقيم AC والذي يصنع زاوية مقدارها  $(45^\circ)$  مع محوري  $(g_1)$  و  $(g_2)$  فتمثل النقاط الواقعة عليه مواصفات المرنان التي تملك مرآتيه نصف قطر تكور متساوي , اذ ان (A) تمثل مرنان متحد في المركز و (B) متحد في البؤرة و (C) ذو المرآتين المستويتين .

ان هذه الاشكال الثلاثة للمرنان تقع على الخط الفاصل بين منطقة الاستقرار ومنطقة عدم الاستقرار وكما موضح في الشكل ادناه.



### مثال :

ابحث استقرارية مرنان كروي ذو مرأتين بنصف قطر تكور ذاته (R) احدهما مقعرة والأخرى محدبة , اذا كانت المسافة بينهما (L) كالآتي :

1.  $L=2R$

2.  $L=R$

3.  $L=R/2$

### الحل:

1.

$$g_1g_2 = (1-L/R_1)(1+L/R_2) = (1-2R/R)(1+2R/R) = (-1)(3) = -3$$

اذن : المرنان غير مستقر ( $g_1g_2 < 0$ )

2.

$$g_1g_2 = (1-L/R_1)(1+L/R_2) = (1-R/R)(1+R/R) = (0)(2) = 0$$

اذن: المرنان مستقر حدياً

3.

$$g_1g_2 = (1-R/2R)(1+R/2R) = (1/2)(3/2) = 3/4$$

اذن: المرنان مستقر

## ملاحظات عامة

1- مركز التكور (R) Center of curvature

هو مركز الكرة التي تكون المرآة جزء منها

2- قطب المرآة (v) vertex

هو مركز المرآة نفسها.

3- نصف قطر التكور (R) Radius of curvature

وهو المسافة بين مركز التكور C واي نقطة على سطحها ( قطب المرآة V ).

4- المحور الأصلي Principle axis

هو المحور الذي يصل بين مركز التكور وقطب المرآة.

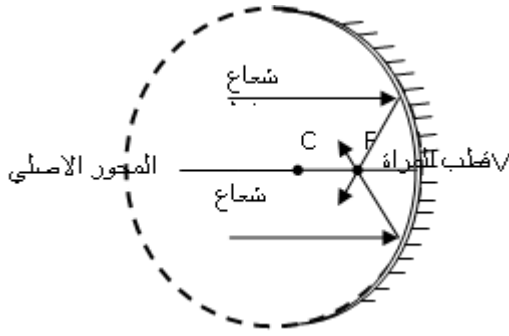
5- البعد البؤري: وهو المسافة بين البؤرة وقطب المرآة وهو يساوي نصف تكور المرآة.

6- البؤرة (F) Focus: هي النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الموازية للمحور الأصلي ، وتسمى في هذه الحالة بؤرة حقيقية ( في المرآة المقعرة). أو هي النقطة التي تبدو وكأن الأشعة الموازية للمحور الأصلي تنفرق منها ، وتسمى في هذه الحالة بؤرة تقديرية ( في المرآة المحدبة). وتكون البؤرة في منتصف المسافة بين مركز التكور C وقطب المرآة V .

## H.W

1) مرنان يتألف من مرآة محدبة نصف قطرها R1 يساوي متر ومرآة مقعرة نصف قطرها R2 يساوي 1.5 m , ما هو مدى القيم التي يمكن أن تتخذها المسافة بين المرآتين ليبقى هذا المرنان مستقراً ؟

2) أعطيت لك مرآتين بنصفي قطري تكور  $r_1=50\text{cm}$  و  $r_2=100\text{cm}$  , احسب المسافات بين المرآتين والتي تعطي استقراراً حدياً للمرنان، وما هو مدى المسافة بين المرآتين لكي يكون المرنان مستقراً؟



## المصادر:

1- فيزياء الليزر – سهام عفيف قندلا

2- Introduction to Laser Physics 1<sup>st</sup> Edition- K. Shimoda

3- Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering.  
(Graduate Texts in Physics) 2<sup>nd</sup> Edition.