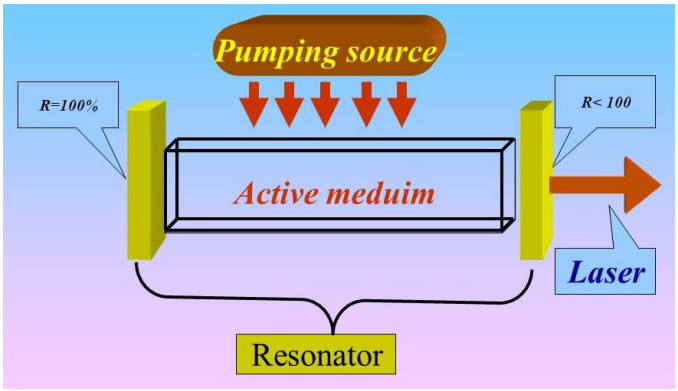
الفصل الثالث:المرنان

٣-١) تعريف المرنان Resonator Definition

هو المنظومة المتكونة من مرآتين على محور بصري مشترك حيث تنتقل فوتونات الليزر بين المرآتين ذهابا وإيابا من أجل تضخيمها. ويعد المصدر الرئيس للتغذية العكسية حيث يعمل عند وضع المادة الفعالة كمذبذب رنيني مناسب مكوناً ما يسمى بالموجات الواقفة. ويسمى المرنان ايضاً بالفجوة البصرية Optical Cavity، وهو عنصر ضروري كونه:

- يدعم التكبير(التضخيم) الحاصل في الوسط الفعال نتيجة الانبعاث المحفز (المسؤول عن التغذية العكسية).
- يعمل على توجيه الأشعة (منح الليزر خاصية الاتجاهية العالية).
- المحافظة على صيغة التذبذب الطولية والمستعرضة لانبعاث الليزر.



شكل (٣-١): رسم تخطيطي يوضح المكونات الاساسية لجهاز الليزر

العامل المهم في انتاج الليزر هو المرايا المثبتة على جانبي مادة انتاج الليزر. تكون انعكاسية المرآة الخلفية (100%) بينما تتراوح نفاذية المرآة الامامية بين (5% - 1%)، وتصنع المرايا الخلفية عادة من الالمنيوم او الفضة او النحاس ويتم اختيار مادة الطلاء اعتماداً على الطول الموجي لليزر. تساعد المرايا على عكس بعض الفوتونات إلى داخل مادة الليزر عدة مرات لتعمل هذه الفوتونات على تحفيز الكترونات مثارة أخرى لتطلق مزيداً من الفوتونات بنفس الطول الموجي ونفس الطور، وهذه هي عملية التكبير للضوء، حيث يعمل المرنان على تضخيم كمية الاشعاع الضوئي لوحدة الزمن مما يؤدي الى زيادة الكسب وبالتالي توليد الليزر. تحسب انعكاسية R المرايا المعدنية اعتماداً على الطول الموجي لليزر λ و ρ تمثل كثافة المعدن وكما يأتي:

$$R = 100 - 3.65\sqrt{\frac{\rho}{\lambda}} \quad \text{..... (3-1)}$$

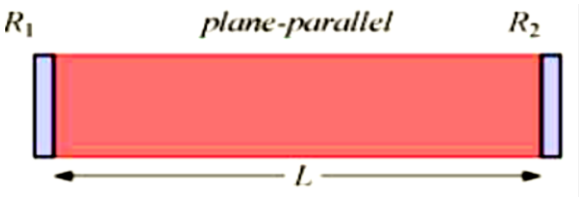
ولكي تعمل منظومة الليزر بصورة صحيحة يجب مراعاة والحفاظ على الترصيف البصري للمنظومة وهو عملية وضع المرآتين على استقامة واحدة تماماً بحيث يكون المحور البصري مستقيم. وتعتمد هذه العملية على نوع الوسط الفعال وحجم المنظومة ودرجة التعقيد في المنظومة.

٣-٢) انواع المرنان Resonator Types

تتعدد انواع المرنان تبعاً لطبيعة التطبيق المستخدم فيه الليزر، والانواع الرئيسية للمرنان هي كما يأتي:

١) مرنان المرأتين المستويتين المتوازيتين Plane Parallel Mirrors Resonator:

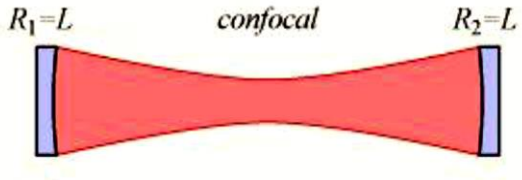
يسمى مرنان فابري- بيرو، ويمتاز هذا النوع من المرنان بكبر حجم شعاع الليزر الخارج منه وقلة تلف المرايا وكفاءة عالية في تهيج الوسط الفعال وصعوبة السيطرة على نوعية النمط المستعرض الخارج. اما قيمتي نصفي قطري المرآتين فهي $(R_1 = R_2 = \infty)$.



شكل (٣-٢): مرنان المرآتين المستويتين المتوازيتين

٢) مرنان المرايا متحدة البؤرة Confocal Mirrors Resonator:

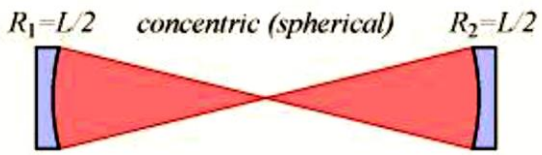
في هذا النوع تكون بؤرة المرآة الأولى منطبقة على بؤرة المرآة الثانية ويصبح حجم شعاع الليزر أقل تحت الشرط الآتي: $(R_1 = R_2 = L \rightarrow R_1 + R_2 = 2L)$. يمتاز هذا النوع بسهولة الترصيف البصري وأن خسارة الأنماط المستعرضة العالية (غير الكاوسية) تكون كبيرة وأن النمط الكاوسي يكون أكبر بحوالي 25 مرة من بقية الأنماط لشعاع الليزر نفسه.



شكل (٣-٣): مرنان المرايا متحدة البؤرة

٣) مرنان متحد المركز Concentric Resonator:

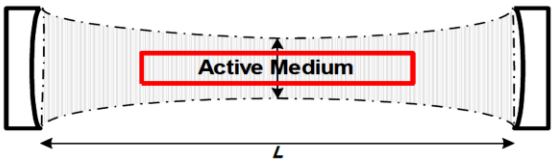
يتكون هذا المرنان من مرآتين يكون مجموع نصفي قطري تكورهما مساوياً لطول المسافة بينهما $(R_1 + R_2 = L)$. واذا كان $(R_1 = R_2 = R \rightarrow L = 2R)$ فإن هذا المرنان يسمى بالمرنان الكروي Spherical Resonator. يمتاز هذا النوع بصعوبة الترصيف البصري وأن النمط المستعرض الخارج منه يكون كبيراً.



شكل (٣-٤): مرنان متحد المركز

٤) المرنان ذو الاقطار الكبيرة Large-Radii Resonator:

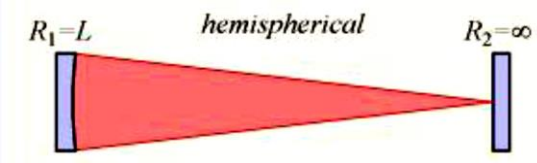
في هذا النوع تكون أنصاف أقطار تكور المرايا أكبر بكثير من طول المرنان. يمتاز هذا النوع بسهولة عملية الترصيف البصري وأن أصغر نصف قطر لحزمة الليزر يكون عند منطقة التخصر Waist.



شكل (٣-٥): المرنان ذو الاقطار الكبيرة

٥) المرنان نصف الكروي Hemispherical Resonator:

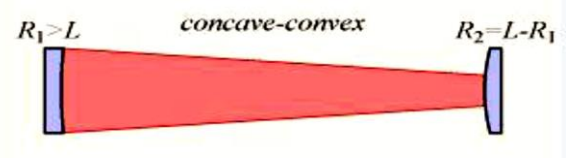
يتكون هذا النوع من مرآة مستوية وأخرى مقعرة لذلك يكون حجم النمط المستعرض عند المرآة المقعرة أكبر ما يمكن وعند المرآة المستوية أصغر ما يمكن. اما قيمتي نصفي قطري المرآتين فهي ($R_1 = L,\quad R_2 = \infty$).



شكل (٣-٦): المرنان نصف الكروي

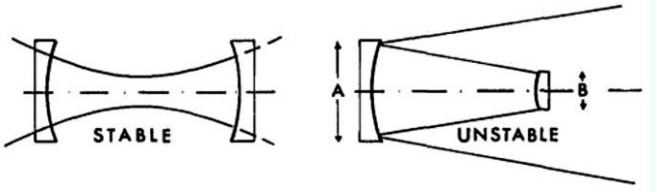
٦) المرنان غير المستقر Unstable Resonator:

ويتكون هذا المرنان من مرآتين احداهما مقعرة والاخرى محدبة ويستخدم عند القدرات العالية لمنظومة الليزر.



شكل (٣-٧): المرنان غير المستقر

بصورة عامة يمكن تصنيف اشكال المرنان الناتجة الى صنفين هما المرنان المستقر وهو المرنان المصمم بحيث تحصر مراياه الأشعة داخل فجوة الليزر وتتذبذب باتجاه المحور البصري ذهاباً وإياباً ولا تدعه يخرج، والمرنان غير المستقر والذي يحيد فيه الشعاع بعد انعكاسات متكررة باتجاه يبتعد عن محور المرنان.



شكل (٣-٨): المرنان المستقر والمرنان غير المستقر