1: الميزر والليزر:

الميزر هي تسمية مكونة من الأحرف الأولى للعبارة الأنكليزية:

“Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

وتعني تضخيم الموجات الدقيقة (المايكروية) بالانبعاث المحفز للأشعاع وتتألف من 1- وسط مثل الامونيا (جزيئي) 2- مصدر لاستثارة جزيئات غاز الامونيا 3- وسائل تضخيم لزيادة استيطان الجزيئات المستثارة للحصول على الانبعاث التلقائي. ونظراً للطبيعة الجزيئية للوسط المستعمل في توليد الميزر فقد تم تبني تسمية شاملة ودقيقة وهي:

“Molecular Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

أي التضخيم الجزيئي بالأنبعاث المحفز.

 أول ميزر كان من قبل تاونس وطلابه في جامعة كولومبيا عام (1954) تعمل على أشعة طولها الموجي (1.25 cm) وتستخدم في الرادار.

 أما الليزر فهو الأحرف الأولى من التعبير باللغة الأنكليزية:

“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

وتعني تكبير الضوء بواسطة الأنبعاث المحفز للأشعة، وهي عبارة عن جهاز يحول الطاقة من مصادر مختلفة إلى صورة اشعاع كهرومغناطيسي متشاكه.

وضع أينشتاين (1917) الأساس النظري لعملية الأنبعاث المحفز وتم تصميم أول جهاز ليزر في (1960) من قبل T.H.Maiman باستخدام بلورة الياقوت وعرف بليزر الياقوت Ruby Laser.

2-2: أساسيات عمل الليزر:

لكي تعمل أجهزة الليزر يجب أن تتوفر لها ثلاثة شروط:

 **أولا- الوسط الفعال:** وهو نظام ذو عدد كبير من الذرات أو الجزيئات أو الأيونات لوسط مادي بحالته (الصلبة أو السائلة أو الغازية)

 **ثانيا- التأهيل العكسي:** ويتحقق باستخدام طرق ضخ معينة تنفذ وفق مخططات خاصة تناسب مستويات الطاقة لذرات الوسط الفعال.

 **ثالثا- التغذية العكسية:** للحصول على عملية تضخيم الأشعة، أي العمل كمكبر للحزمة الضوئية وكذلك الحصول على صفة الأتجاهية، ويتم ذلك باستخدام تجويف رنيني ذي تصميم مناسب يدعى بامرنان.

 إن أول تصميم للمرنان في المدى المرئي هو مقياس التداخل لفابري – بيروت، ويتألف من مرآتين مستويتين متقابلتين بشكل متوازي يوضع الوسط الفعال بينهما وتكون إحدى المرآتين شفافة جزئيا لكي يخرج جزءا من الأشعاع بشكل موازي لمحور المرآتين يمثل نتاج الليزر.

2-3: التأهيل العكسي وشرط العتبة:

إن أجهزة الليزر كأية أجهزة عملية غير مثالية تتضمن مسببات الخسارة الكثير، وهي ذات أجهرة ذات كفاءة واطئة، وللأطلاع على هذه المسببات لابد من الدخول في حسابات مقدار الربح والخسارة في الوسط الفعال وتصميم المرنان.

2-4: أسباب الخسائر في جهاز الليزر:

1. **الخسائر في الوسط الفعال**: نتيجة امتصاص الوسط لنطاق عريض من طاقة الضخ فتحدث انتقالات لاعلاقة لها بانتقال الليزر، اضافة الى الخسائر الناتجة عن الأستطارة (scattering) بسبب فقدان الوسط الفعال التجانس البصري (هذا في ليزرات الحالة الصلبة).
2. **النفاذية في مرايا المرنان:** ان نفاذية أحداهما ضروري لأنه يمثل نافذة نتاج الليزر، بالأضافة الى خسائر الأمتصاص والأستطارة والحيود.

ولتقليص خسائر الأمتصاص في المرايا تستخدم عادة طلاءات عازلة ذات قدرة انعكاس عالية لأكساء المرايا وبطبقات عديدة بدلاً من الطلاء المعدني. إن هذه الطبقات لها معاملات انكسار متعاقبة (معامل انكسار عالي ثم معامل انكسار واطئ) ذات سمك ربع الطول الموجي (λ/4)، والذي يحدث عند تلامس أية طبقتين تكون جميع الأشعة المنعكسة بطور واحد وتتداخل بشكل بناء، تستخدم عادةً أكثر من عشرين طبقة للحصول على انعكاسية تقرب من 99.9% ولأنعكاسية أقل يكون عدد الطبقات أقل.

2-5: شرط العتبة:

نفرض أن Γ تمثل الخسائر الكلية التي تعمل على تقليل معامل الربح G إلى المقدار (G - Γ)، لذا فان العلاقة (41) يمكن اعادة كتابتها بالشكل التالي:

G ═ - α ═ σ (N2 – N1) ………..(53)

وباضافة الخسائر Γ تكون بالشكل:

G - Γ ═ - α ═ σ (N2 – N1) ………..(54)

 ولحساب الربح عند العتبة، فيجب حساب مقدار التغير في شدة الأشعاع نتيجة دورة واحدة داخل المرنان.

نفرض أن الوسط الليزري يملأ المسافة ( l ) بين المرآتين M1&M2 ذات الأنعكاسية R1&R2 على التوالي

وبعد انعكاسها عن المرآة M2 ستصبح الشدة I

ومقدار الربح G بعد الدورة الكاملة:

1. إذا كان الربح أكبر من واحد، فأن الشعاع يتذبذب وينمو (نحصل على التضخيم)
2. في حالة كون الربح أقل من واحد فأن التذبذب لايستمر ويتلاشى ولا نحصل على التضخيم (لايوجد شعاع ليزر)
3. إذا كان الربح مساوياً للواحد عندها يدعى بمعامل ربح العتبة، العلاقة (55) تصبح:

لجهاز ليزر يعمل بموجة مستمرة (cw) فأن قيمة معامل الربح عند العتبة Gth تساوي القيمة نفسها في حالة الأستقرار، Γ يمثل الخسارة في الوسط الفعال، والحد الثاني يمثل الخسارة في تصميم المرنان، وهذه الخسارة تتضمن التسرب النافع لنتاج الليزر.

وبدلالة التـأهيل العكسي وبالرجوع الى العلاقة (53):

G ═ σ (N2 – N1) ………..(53)

عند العتبة يكون للتأهيل قيمة حرجة:

مثال: في جهاز ليزر النديميوم- ياك، أحسب التأهيل العكسي اللازم للحصول على معامل كسب G=1m-1؟

τ2=230μsec, λ=1.06μm, Δν=3×1012Hz, n=1.82.

الحل:

A21=1/τ2 =4347.826

ν = c/λ=2.83×1014 Hz

B21=3.113×1017m3W-1s-1

N=8×1022 m-3

تعلمنا مما سبق أن عملية الأمتصاص تقلل من شدة الأشعة النافذة، بينما كل من عمليتي الأنبعاث المحفز والتلقائي تزيد من شدة الأشعة، وللحصول على الليزر يجب أن تكون عملية الأنبعاث أكبر من عملية الأمتصاص للحصول على الليزر.

نفرض وجود وسط مادي (نظام ذري) له انتقال مشع مفرد بين مستويين طاقيين E1&E2 حيث أن (E2>E1) وأن هناك شعاع يمر خلال ذلك الوسط المادي باتجاه (z) وأن هذا الشعاع أحادي الطول الموجي حيث أن:

أن أي شعاع ضوئي يمكن وصفه بالأشعاعية (الطاقة لوحدة المساحة لوحدة الزمن)

Iν هي الأشعاعية ، c سرعة الضوء m/sec ، Ρν كثافة الطاقة J/m3

أن مقدار التكبير (Iν) عند تفاعله مع الذرات على امتداد الوسط المادي باتجاه z يعطى كالأتي:

ويمكن كتابة المعادلة أعلاه بالشكل:

إن عملية الأنبعاث التلقائي تحدث بوجود أو عدم وجود فوتونات ساقطة على المادة أي أنها لاتعتمد على (I) لذا يمكن إهمال الحد الثاني من المعتدلة أعلاه.

نلاحظ ان قيمة التغير في شدة الأشعة بالنسبة للمسافة z تكون سالبة أذا كان N2<N1 وهنا لانحصل على التكبير، وللحصول على تكبير للأشعة وبالتالي الحصول على ليزر فأنه من الضروري أن تكون N2>N1 وهذا مايعرف بالتوزيع المعكوس.

وباستخدام معادلتي آينشتاين:

وبالتعويض عن B21 باستخدام معادلات آينشتاين ينتج:

نلاحظ أن الثوابت في المعادلة لها وحدة (cm-1) ولهذا تعرف باسم معامل ربح الأشارة الصغيرة (small signal gain coefficient) وقد سميت بذلك لأننا اعتبرنا أن (Iν) صغيرة بحيث لاتؤثر على (N2) أي ان (N2) ستبقى ثابتة. والحال مختلف إذا كانت الشدة (Iν) كبيرة فأن المعادلة لاتصلح لأن (N2) ستتغير مع الشدة.

حيث أن:

بتكامل طرفي المعادلة (dz تتغير من 0 الى L )

عندما يكون معامل ربح الأشارة الصغيرة كبيرا فأن الشدة تزداد بسرعة الى حد الأشباع.

في معادلة التكبير (59) نلاحظ إن وحدة الكميات الفيزيائية:

وهي وحدة مساحة فأنها تعرف بأسم مساحة المقطع العرضي للأنبعاث المحفز (stimulated emission cross section) وهي تعبر عن احتمالية حدوث الأنبعاث المحفز، فكلما زادت مساحة المقطع العرضي، كلما زادت احتمالية الأنبعاث المحفز.

وبهذا يمكن كتابة معادلة التكبير على النحو التالي:

حيث ΔN تعطي مقدار فارق التعداد بين المستويين E1&E2 وفي حالة الليزر يجب ان يكون فارق التعداد موجبا:

فالدالة G تعرف باسم التكبير (الربح) Gain والدالة γ(ν) تعرف باسم معامل التكبير Gain coefficient

2-6: التغذية العكسية في الضوء : Optical Feedback

يعمل الليزر مثل أي مذبذب الكتروني، والمذبذب هو جهاز ينتج ذبذبات بدون وجود مؤثر خارجي، (مثال اللاقطة والسماعة بينهما مكبر عندما تعمل بدائرة مغلقة). وبنفس الفكرة يعمل مذبذب الليزر، حيث يتم أعادة جزء من الفوتونات المكبرة بواسطة عملية الأنبعاث المحفز باستخدام مرنان ليتم تكبيرها.



شكل (16) يوضح فكرة عمل الليزر

عندما تسقط فوتونات ذات شدة Io على مادة مكبر (الوسط الفعال) فأنها تكبر بمقدار G وتصبح الشدة IoG وباستخدام مرآة R2 فأن جزء من الأشعة ينعكس بمقدار R2 وتصبح الشدة IoGR2 تعمل المرآة على إعادة الأشعة إلى المكبر مرة أخرى لتكبر الأشعة بمقدار G مرة أخرى وتخرج IoGR2G لتسقط على المرآة الأخرى R1 وتكون شدة الأشعة عند انعكاسها IoGR2GR1 وهذا للأشعة عند دخولها للمكبر خلال دورة تكبير واحدة ويكون التكبير المكتسب في المقدار GG والفقدان في الأشعة ناتج عن R1R2.



شكل(17) مراحل شدة ضوء الليزر لدورة واحدة

والشرط الأساس ليصبح الذبذب يعمل كمكبر للأشارة هو أن يكون الناتج النهائي بعد دورة واحدة أكبر من الأشارة الأصلية Io أي أن:

أي أنه يكون الربح لدورة واحدة ، وبما أنه الربح يعطى بالدالة:

الطرف الأيسر من العلاقة السابقة التي تمثل الربح لوحدة الطول (معامل الربح) والطرف الأيمن من العلاقة يمثل الخسارة لوحدة الطول (معامل الخسارة)

نلاحظ أن الخسارة لاتعتمد على التردد وفي هذه الحالة يمكن تمثيل الخسارة على منحني كدالة للتردد بخط مستقيم كما في الشكل (18).



شكل (18) منحني الربح مع الخسارة كدالة للتردد

نلاحظ أنه ليس كل الترددات تحت منحني الربح Gain يمكن أن تنتج ليزر ولكن فقط تلك الترددات التي تحقق الشرط الذي ينص على ان الربح يجب ان يكون اكبر من الخسارة وهذا يتحقق في المدى الترددي (ν2-ν1).

بما أن الربح يمكن التعبير عنه بثابت (c) مضروبا في دالة شكل الخط الطيفي (line shape function g(ν))

وحيث أن أكبر قيمة للربح عند التردد المركزي (νo)

بقسمة المعادلتين (70) & (69) ينتج:

وعند الأتساع المتجانس فأن g(ν) تعطى بالعلاقة (72):

وقيمة الدالة عند القمة (عند الموضع ν=νo)

نعوض (73) & (72) في (71)

وهذه المعادلة تعطي الربح عند أي تردد γ(ν) بدلالة الربح عند التردد المركزي γ(νo)..

* لأيجاد المدى الترددي (Laser Bandwidth) الذي يتحقق فيه شرط الحصول على الليزر وعلاقته باتساع منحني الربح

حيث N>1



من الشكل (18) نلاحظ ان

الأستنتاجات:

1. كلما كبرت N كلما كان الربح اكبر من الخسارة
2. عندما تكون (N=2) يكون المدى الترددي لليزر مساويا لاتساع منحني الربح، وعندها يكون الربح ضعف الخسارة ν2-ν1=Δν
3. عندما تكون (N=1) يكون الربح مساويا للخسارة ويكون المدى الترددي في هذه الحالة مساويا للصفر ν2-ν1=0

عندما تكون (N<1) فأن المقدار تحت الجذر يصبح سالباً وهذا ليس له معنى فيزيائي ولايمكن على الأطلاق الحصول على ليزر في هذه الحالة لأن الخسارة أكبر من الربح.