الفصل الرابع

نتاج الليزر وتحويراته

في هذا الفصل سوف ندرس كيفية تاثير الشروط الاساسية لليزر (وجود الوسط الفعال,التاهيل العكسي,التغذية الاسترجاعية)وطرق الضخ وخطط الضخ على نتاج الليزر وكما نتعرف على الطرق والوسائل التي تمكننا من تحوير خصائص هذا النتاج الزمنية والمكانية وغيرها بما يناسب التطبيقات العملية. ومن هذه الطرق:

1-التشغيل بموجة مستمرة(CW) الغير معتمد على الزمن:

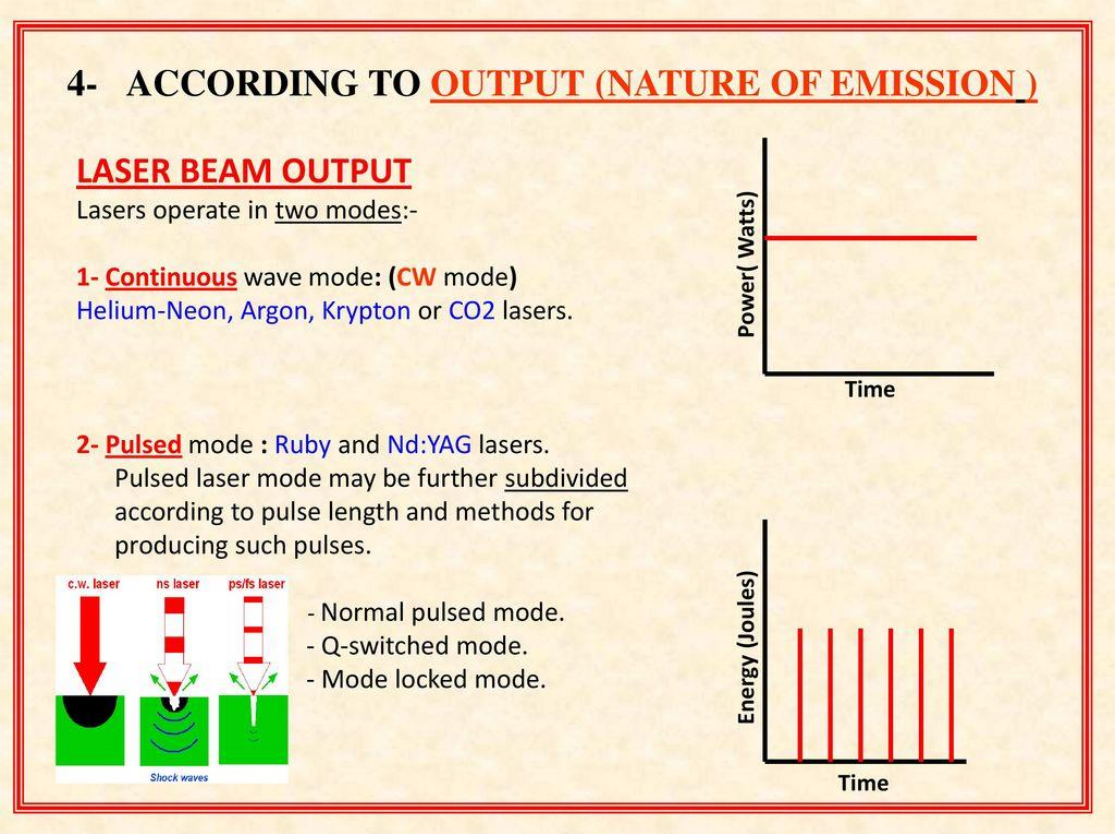
هو التشغيل الذي يعطي وضع الاستقرار لنتاج الليزر ويحدد صفة الموجة المستمرة(CW) ويتميز هذا التشغيل بمعدل ضخ ثابت وقيمة معينة لنفوذية مراة مسرب الليزر لكي تعطي اعلى قيمة لقدرة النتاج.

وان سبب هذه القيمة المحددة لنفوذية المراة هو بسبب الظرفان المتعاكسان اللذين يحدثان نتيجة زيادة قيمة النفوذية وهما:

اولا:قدرة النتاج قد تميل الى الزيادة نتيجة زيادة النفوذية

ثانيا: قدرة النتاج قد تميل الى النقصان بسبب الخسارة داخل المرنان.

اما التشغيل النبضي(المعتمد على الزمن) وهوالتشغيل الذي يحدث فيه ضخ يتغير مع الزمن بالشكل الذي نرغب فيه ان يكون النتاج دالة للزمن.



2-انتخاب خطوط الطيف لانبعاث الليزر:

في كثير من اجهزة الليزر تحدث انتقالات ليزر عديدة وباطوال موجية مختلفة في ان واحد.وبالرغم من كون هذه الانتقالات مجتمعة تعطي نتاج قدرته عالية الا اننا في كثير من الاحيان نحتاج الى اشعة ليزر ذي درجة عالية من النقاوة الطيفية(صفة احادية الموجة) يمكن تحقيق هذه الغاية ببساطة عن طريق استخدام وحدة بصرية يعتمد عملها على طول الموجة وتوضع هذه الوحدة البصرية داخل مرنان الليزر فتعمل مثلا على تفريق الاشعة او امتصاصها حسب اطوالها الموجية,كمثال على هذه الوحدة البصرية هو الموشور او المحزز او المرشح.

3-التشغيل بصيغة مفردة:

نحتاج في كثيرمن التطبيقات العملية في الفيزياءوالكيمياء الى نتاج ليزر ذو نقاوة طيفية عالية بهذا هو تشغيل الليزر بصيغة مستعرضة واحدة وبصيغة طولية فقط.

للحصول على ليزر يعمل بصيغة مستعرضة واحدة مثل صيغة التذبذب TEM_{00} فيستخدم في مرنان الليزر حاجز ذو فتحة يعمل على حجب جميع الصيغ المستعرضةوالابقاء على صيغة التذبذب المستعرضة الاوطا ترددا وهي الصيغة TEM_{00} .اما تقليص عدد صيغ التذبذب الطولية والابقاء على واحدة منها فقط فيتم باحد الطرق الثلاثة التالية:

1- تقليص طول المرنان(L) وهذه الطريقة تحدد من قدرة نتاج الليزر

2-ادخال عوامل خسارة الى جهاز الليزر تعمل على اضعاف صيغ التذبذب الطولية باستثناء صيغة واحدة منها.ويمكن تنفيذ هذه الفكرة بالاستعانة بمرنان فابري-بيرو والذي يمكن وضعه داخل اوخارج مرنان الليزر.

3- استخدام مراة ثالثة او استخدام ماص داخل مرنان الليزر.

4-تقنية اقفال الصيغة:

وهي تقنية تعتمد على زيادة قدرة نتاج الليزر حيث ان الغاية منها هو الحصول على اشعة ليزر ذي نبضات عالية القدرة وبامد شديد القصر(يتراوح امدالنبضة بضع بيكو ثانية وقدرتها بضع كيكاواط).حيث ان التقنية تعمل على اضطرار صيغ التذبذب للمحافظة على طور نسبي ثابت فيمابينها(اقفال في الطور).

يتميز نتاج الليزر في هذه التقنية بنوع من التكرار المنتظم اي سيكون نتاج ذو شكل نبضي منتظم الفاصلة بين نبضة واخرى وذات قدرة ذروة نبضة عالية.نتاج ليزر بمثل هذا الترتيب يدعى بليزر الصيغة المقفلة)

ان الزمن اللازم للوصول الى القمة اي الزمن بين النهاية العظمى للشدة ونهايتها هو:

$$t = \frac{1}{q}\ \frac{2L}{C} = \Delta\tau_P$$

ويدعى هذا الامد من الزمن بعرض النبضة $\Delta\tau_P$ وهو يساوي تقريبا مقلوب عرض الخط الطيفي لنتاج الليزر $\Delta\nu_0$

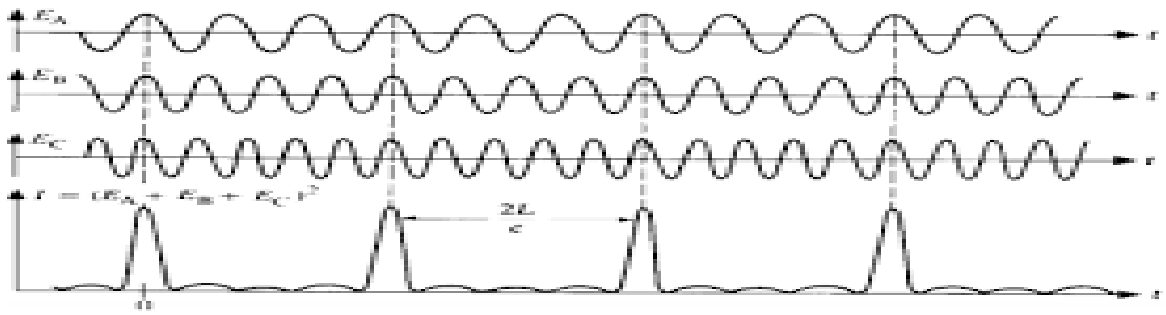
$$\Delta\tau_P \approx 1/\ \Delta\nu_0$$

اذن نتاج ليزر الصيغة المقفلة يتالف من نبضات متعاقبة زمن تكرارها $\frac{2L}{C}$ وهو يساوي الفاصلة الزمنية(ΔT) كما تبلغ القدرة لذروة النبضة عدد (q) من المرات اكبر من قدرة الليزر قبل اقفال صيغة التذبذب له.اما النسبة بين الفاصلة الزمنية لنبضة واخرى وعرض النبضة الواحدة فيساوي تقريبا عدد صيغ التذبذب اي:

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} \qquad = \frac{2L}{C} / \frac{2L}{C}\left(\frac{1}{q}\right) = q$$

ونستنتج مماسبق للحصول على قدرة عالية ونبضات قصيرة الامد يجب توفر شرطان اساسيان :

1- توفر عدد كبير من صيغ التذبذب داخل المرنان وهذا يعتمد على تعريض الخط الطيفي لانتقال الليزر وعلى طول المرنان
2- اضطرار صيغ التذبذب للمحافظة على علاقة طور ثابتة فيمابينها وهذا يتحقق عن طريق اقفال الصيغة الفعال او عن طريق اقفال الصيغة المعترض.



طرق اقفال الصيغة:

أ- اقفال الصيغة الفعال:

يتم اقفال الصيغة في مرنان الليزرباضطرار صيغ التذبذب الطولية ان تتخذ من بعضها البعض طور نسبي ثابت مع الزمن.ويمكن تحقيق هذا عن طريق تضين الخسارة او الربح لمرنان الليزر بمقدار يساوي الفاصلة الترددية بين هذه الصيغ.

تتم هذه الطريقة عن طريق وجود بوابة توضع بجوار احدى مراتي المرنان وتفتح هذه البوابة لمدة قصيرة من الزمن وبتعاقب زمني امده(2L/C) ثانية وتبقى مسدودة ماتبقى من الوقت.ويمكن استخدام المضمنات الكهروضوئية والسمعية الضوئية كبوابات لاقفال الصيغة.

ب_ اقفال الصيغة المعترض:
تتم هذه الطريقة باستخدام وسط ماص لانجاز عملية اقفال صيغةالتذبذب ,مثل استخدام صبغة معينة حيثيقل الامتصاص لمحلول الصبغة بزيادة شدة الضوء الساقط عليه .ويتم اختيار نوع الصبغة بحيث يقع تردد انبعاث الليزر قيد العمل ضمن نطاق امتصاصها.
فعند مستوى ضوءواطئ الشدة تعمل الصبغة على امتصاص الضوء بحدة نظرا لكون عدد كبير من الجزيئات غير محفز ولكن كلما زادت شدة الضوء فان عددا اكثر فاكثر من مستويات الطاقة المحفزة سيتاهل الى ان تصبح جميعها مملوءة(مشبعة) لذا فان محلول الصبغة سيصبح شفافا ويقال ان الصبغة قد قصرت وتمر حينئذ نبضة عالية القدرة وقصيرة الامد.

5- **تقنية احكام عامل النوعية:**

وهي تقنية اخرى للحصول على نبضات قصيرة مكثفة (بامد نانوثانية وبقدرة بضع ميكاواط).فمثلا لانواع الليزر التي يكون نتاجها عادة نبضي يمكن توليد نبضة مفردة ذي قدرة عالية جدا وبامد اقصر.اما لانواع الليزر ذي موجة مستمرة(CW) فيمكن الحصول على سلسلة من النبضات.وتستخدم في كثير من التطبيقات مثل التثقيب واللحام والتصوير السريع والرادار البصري .
ان العلاقة التي تربط بين القدرة والطاقة هي كالاتي:

القدرة الخارجة(واط)= طاقة النبضة(جول) / زمن النبضة(ثانية)

$$P = \frac{E}{\Delta\tau}$$

طرق احكام عامل النوعية(Q):
أ- طريقة استخدام المراة الدوارة:
وهي طريقة تتضمن استخدام مراة (او موشور) قابلة للدوران حول محورها بسرعة فائقة توضع محل احدى مراتي المرنان الثابتتين .فعند دوران هذه المراة بسرعة عالية تكون الخسارة كبيرة(قيمة Q تكون صغيرة)باستثناء فترة زمنية محددة في عندما تكون المراتين متقابلتين ومتوازيتين تقريبا فقبل الوصول الى هذا الموضع الذي تكون فيه المراتين متقابلتين ومتوازيتين يشغل المصباح الوميضي بواسطة ميكانيكية قدح للمصباح مرتبطة بدوران المراة ,فيعمل تشغيل المصباح على ضخ وسط الليزر لهذه الفترة ولغاية ان تصبح المراتين متوازيتين تماما وفي هذا الوقت يتم تحقيق التاهيل العكسي في الوسط دون ان تبدا عملية انبعاث الليزر فيه وعندما تصبح المراتين في وضع التوازي التام(Q كبيرة) تحصل عملية احكام –Q وبهذا تسمح لنبضة هذا الاحكام ان تنمو.

ب-طريقة استخدام المضمن الكهروضوئي:
تستخدم المضمنات الكهروضوئية والمضمنات المغناطيسية-الضوئية وكذلك المضمنات السمعية-الضوئية كمفاتيح لاحكام –Q . مثل خلية بوكل او خلية كير ,حيث تربط الخلية الكهروضوئية مثل خلية بوكل بجهد كهربائي فتعمل كلوح ربع موجي لتحول الضوءالساقط عليها والمستقطب خطيا الى ضوءمستقطب دائريا.وعند انعكاس هذه الاشعة عن مراة الليزرسيعكس اتجاه الدوران للاستقطاب وعند عبور الاشعة خلال الخلية مرة ثانية سنحصل على ضوء باستقطاب خطي ولكن بمستوي عمودي على اتجاه استقطابه الاول. لهذا فان هذه الاشعة سوف لاتنفذ لتنعكس عن مراة المرنان الاخرى وبهذا يعطل عمل المرنان,ولكن عندما ينقص قيمة الجهد المسلط على الخلية الى الصفر فلايحصل دوران لمستوى الاستقطاب فيحدث
احكام –Q .

ج- احكام –Q المعترض:
يستخدم في هذه الطريقة ماص قابل للتشبع (صبغة قابلة للقصر) داخل مرنان الليزر .ففي بداية عملية الضخ يكون محلول الصبغة ماصا جيدا وبهذا يمنع حدوث عمل الليزر ويوفر تاهيلا عكسي جيد وعند زيادة الضخ في الوسط الفعال فان محلول الصبغة يصل الى حد الاشباع فيقصر اي انه يصبح غير قادر على الامتصاص عندها تحدث عملية احكام –Q .
وهذه الطريقة ملائمة جدا لعملية احكام –Q حيث تكمن اهميتها في كونها لاتحتاج الى ميكانيكية التزامن مع عملية الضخ ولكن تحتاج فقط الى خلية شفافة صغيرة بزاوية بروستر لتحوي طبقة رقيقة من محلول الصبغة.

6- **تضمين نتاج الليزر:**

يمثل تضمين السعة لنتاج الليزر موضوع مهم في الاتصالات وبذلت جهود كبيرة لايجاد طرق للحصول على التردد العالي واثبتت الطرق التالية نجاحها في التضمين .

أ- التضمين الداخلي:
وهو من اسهل الطرق واوضحها لتضمين نتاج الليزر وهو تضمين قدرة الضخ

ب-المضمنات الميكانيكية:
وهي طريقة تضمين خارجية يمكن تحقيقها عن طريق توجيه نتاج الليزر الى مقياس تداخل مايكلسون فاذا تغير طول المسار لاحد ذراعي المقياس فانه يؤدي الى تضمين نتاج الليزر .

ج-التضمين السمعي:
يحدث لبعض المواد عندما تكون تحت تاثير تضاغط موجة سمعية تغير دوري في معامل الانكسار لها.وتتصرف المادة في هذه الحالة كمحزز حيود للموجات الضوئية بحيثلو سقطت حزمة ضوء من الليزر مثلا عليها فان

هذه الحزمة ستتجزء الى عدد من المراتب وتعرف هذه الظاهرة في السوائل بتاثير ديباي-سيرس وفي ا لمواد الصلبة بتاثير رامان-ناث.

د- مضمنات الامتصاص:

ان نفوذية مواد صلبة عديدة تتغير مع طول الموجة للضوءالساقط وقد تحدث تغيرات حادة في نفوذية الوسط مع طول الموجة وتعرف هذه بحافات الامتصاص.وقد وجد بان موضع هذه الحافات بالنسبة لطول الموجة تتغير ايضا مع مقدار الجهد المستخدم وعند ما تسقط على المادة حزمة ليزرلها طول تناظر تلك الحافة للمادة فيغدو بالامكان تغيير نفوذية الوسط بتغيير الجهد المسلط عليه لذا فالضوء النافذ يمكن تضمينه.

ولهذه الطريقة ماخذ حادة ناتجة عن الموصلية الضوئية التي يستدثها الضوءومن ترابط هذه الموصلية مع المجالات الشديدة فانها تحدث تبدد ذو قدرة عالية وتدخل هنا مشكلة تبريد الجهاز.

هـ - التضمين الكهروضوئي:

الطرق السابقة للتضمين عدا التضمين الداخلي تكون خارجية ,اما طريقة التضمين الكهروضوئي فيمكن استخدامها داخليا او خارجيا.

في هذه الطريقة يكون التضمين داخليا وذلك بوضع خلية بوكل داخل المرنان وتربط بجهد كهربائي . الخلية سوف تعمل على تدوير مستوى الاستقطاب للضوءالمنعكس عندتسليط جهد كهربائي عليها لذا فان الضوءالمار خلال الخلية من اليسار الى اليمين وبعد ان يعاني انعكاسا عن مراة الليزر سيدور مستوى الاستقطاب له اذا مااعاود مروره ثانية خلال الخلية .وعند دوران مستوى الاستقطاب بمقدار 90 درجة فيمكن حينئذ استخدام جهاز استقطاب مناسب يجعل هذا الضوء ينعكس بزاوية الى خارج المرنان .في ليزر الغاز يكون جهاز الاستقطاب هذا نافذة بروستر نفسها.

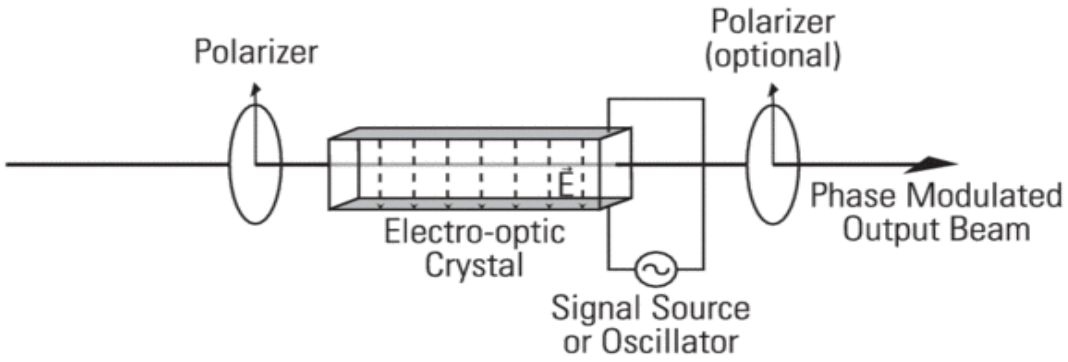
بهذا الترتيب يمكن ان تكون نسبة التضمين وكفاءته علية وخطية كما يمكن الحصول على تضمين نطاق عريض.

اما التضمين الخارجي وباستعمال الظاهرة الكهروضوئية باستخدام خلية بوكل المثارة طوليا وتعتبر الطريقة الاكثر استخداما حيث يوضع مستقطبان يوضعان بصورة متقابلة خارج المرنان وبينهما خلية بوكل.ترتب الخلية بحيث يصنع محوريها البصريين زاوية مقدارها 45درجة مع اتجاه استقطاب حزمة الليزر التي تدخل للخلية .لذا يمكن اعتبار الضوء الذي يترك الخلية مؤلفا من اربع مركبات , زوج منها مستقطب بصورة عمودية على مستوى الاستقطاب للمستقطب الثاني والزوج الاخر مستقطب بنفس الاتجاه.ان الزوج الاول لمركبات الضوءسوف لاينفذ بينما تنفذ المركبتين الاخريتين ,لذا سوف يحصل تداخل بين هاتين المركبتين النافذتين وتعتمد محصلة الشدة الناتجة على فرق الطور النسبي الحاصل بينهما نتيجة عبورهما بالخلية.

فاذا كانت قيمة فرق الطور هي π ,3π , 5 π ,....فسيحدث تداخل اتلافي بينهما وتهبط محصلة الشدة الى الصفر,

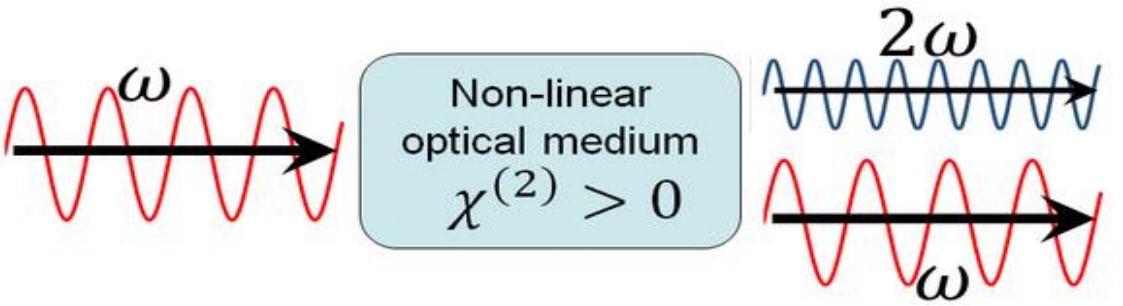
واذا كان قيمة فرق الطور هي صفر, π 2,π 4,...فسيكون لمحصلة الشدة قيمتها العظمى

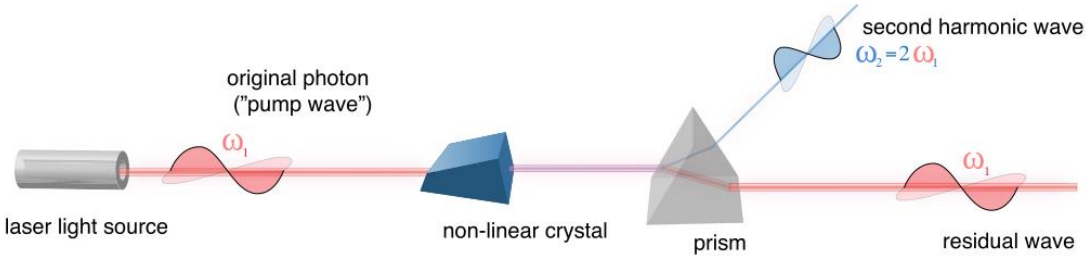
ويمكن تغيير شدة النتاج بتغيير قيمة الفولتية المسلطة على الخلية.



7-تقنية مضاعفة التردد:

وهي عبارة عن ظاهرة لاخطية يتم فيها مضاعفة التردد للاشعاع الساقط والتي فيها يمكن من اشعاع ذوتردد معين ν وبسبب عبوره من خلال نوع من المواد البلورية الحصول على اشعاع مؤلف من مزيج من ترددين (التردد الاصلي ν وتردد جديد يساوي ضعف التردد الاصلي 2ν





ان مركبة الاشعاع التي تحمل صفة مضاعفة التردد يكون لها طول موجة يساوينصف طول موجة الاشعاع الساقط وبهذه الطريقة يمكن توسيع مدى الطول الموجي للانبعاث المحفز كلانتقال مثلا الى طول موجي في مدى الاشعة فوق البنفسجية او حتى الاقصر منها.

ان وصف مثل هذا التاثير اللاخطي يكمن في الطريقة التي تسير بها حزمة الضوء خلال المادة الصلبة.ان المادة الصلبة تتكون من ذرات نوياتها والكتروناتها المرافقة تشكل مجموعة من ثنائي القطب الالكتروني ,والاشعاع الكهرومغناطيسي هو على شكل حزمة ضوئية فعند سقوط هذا الاشعاع على المادة الصلبة سيتسبب في تذبذبها ,وعند تذبذبها حسب قوانين الميكانيك الكلاسيكي فان مجاميع ثنائيات الاقطاب سوف تصدر اشعاعا كهرومغناطيسيا .وتوجدهنا حالتين مهمتين:

1-فاذا كانت سعة التذبذب لثنائي القطب صغيرة فان الاشعاع الصادر عنه سيكون مماثلا في التذبذب للاشعاع الساقط(التردد ذاته) اي تكون العلاقة خطية .

2-عندما تزداد شدة الاشعاع الساقط فان سعة التذبذب تزداد .هنا تظهر العلاقات اللاخطية. هذا يحدث في تردد التذبذب لثنائي القطب الذي يكون له ماسمى بالتوافقيات. ان اقوى هذه التوافقيات هي الثانية والتي يكون لها تردد يساوي ضعف تردد الاشعاع الساقط ولهذا السبب غاليا مايطلق عليها ضاهرة مضاعفة التردد او ظاهرة توليد التوافيات الثانوية.

اذا كانت الشدة لمجموعة ثنائي القطب للبلورة هي P وهو يمثل عزم ثنائي القطب لوحدة الحجم وE تمثل شدة المجال الكهربائي فيمكن كتابة P كمايلي:

$$P= \chi_1 E+\chi_2 E^2 +\chi_3 E^3+-----etc \ ---(*)$$

تدعى(χ) بقابلية الاستقطاب .

فاذا كانت $E =E_0 \sin\omega t$ ونعوضه بالمعادلة (*) فينتج:

$$P=\chi_1 E_0 \sin\omega t+1/2\ \chi_2(1-\cos 2\omega t)+--------etc.$$

حيث تحوي هذه المعادلة على حد 2ω والذي يناظر الموجة الكهرومغناطيسية التي لها ترددا مضاعفا لتردد الموجة الساقطة.