# الفصل الرابع

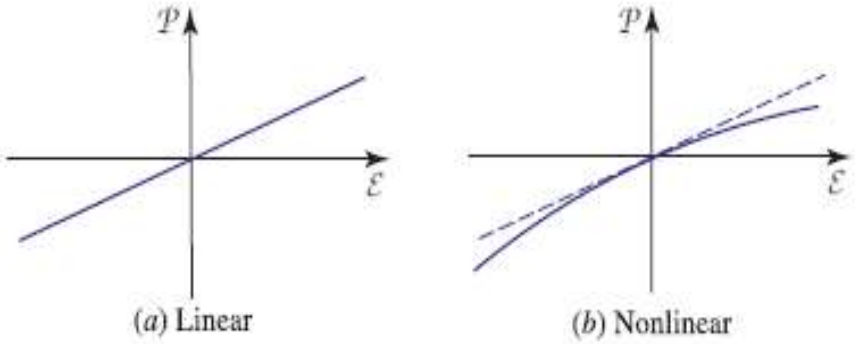
# البصريات اللاخطية Nonlinear optics

ان الأوســاط الخطية تتميز بعلاقة خطية بين الاســتقطاب P والمجال الكهربائي E وتكون العلاقة خطية عندما يكون المجال الكهربائي صغير وتخضع للعلاقة الأتية :

$$\boldsymbol{P = \in_0 x E}$$

حيث $\in_0$ سماحية الفراغ بينما x تمثل القابلية الكهربائية للوسط dielectric susceptibility

بينما الأوســاط اللاخطية تتميز بعلاقة لا خطية بين الاســتقطاب P والمجال الكهربائي E وكما موضح في الشــكل 4-1 ادناه . هذه الصفة اللاخطية تلاحظ فقط عند شدّات عالية للضوء مثل الليزر اي يكون المجال الكربائي بحدود $\frac{V}{m}10^8 - 10^5$




الشكل 4-1

وطبقا لشدة المجال الكهربائي E يمكن كتابة العلاقة بين الاستقطاب والمجال الكهربائي حسب سلسلة تايلور

$$\boldsymbol{P = a_1 E + \frac{1}{2} a_2 E^2 + \frac{1}{6} a_3 E^3 + \cdots ,}$$

المعاملات $\boldsymbol{a_3, a_2, a_1}$ تمثل ثوابت مميزة للوسط .

حيث يمثل الحد الاول $\boldsymbol{a_1 E}$ العلاقة الخطية عندما يكون المجال الكهربائي صغير ومن الواضح ان $\boldsymbol{a_1 = \in_0 x_1}$

بينما يمثل الحد الثاني $\frac{1}{2} a_2 E^2$ العلاقة اللاخطية من الدرجة الثانية والحد الثالث $\frac{1}{6} a_3 E^3$ يمثل العلاقة اللاخطية من الدرجة الثالثة وهكذا ....

ويمكن كتابة المعادلة بالصيغة الاتية

$$P = \in_0 x_1 \ E + \ 2x_2E^2 + 4x_3 \ E^3 \ + \cdots \ ,$$

$$\text{Where } x_2 = \frac{1}{4} \ a_2 \quad and \quad x_3 = \frac{1}{24} \ a_3$$

حيث ان

$x_1$ القابلية الكهربائية وتشير إلى سلوك البصريات الخطية التقليدية .

$x_2$ القابلية الكهربائية وتشير إلى سلوك البصريات اللاخطية NLO من الدرجة الثانية مثل توليد التو افقية الثانية (SHG) .

$x_3$ القابلية الكهربائية وتشير إلى سلوك البصريات اللاخطية NLO من الدرجة الثالثة مثل توليد التو افقية الثالثة (THG)

وبصورة عامة :

$x_n$ تمثل القابلية الكهربائية حيث n مرتبة القابلية المتعدد الفوتونات وعندما تكون n اكبر من 5 يصبح التأثير اللاخطي أضعف لأن الرتب الأعلى تمثل مشاركة المزيد من الفوتونات

## توليد التو افقية harmonic generation (HG)

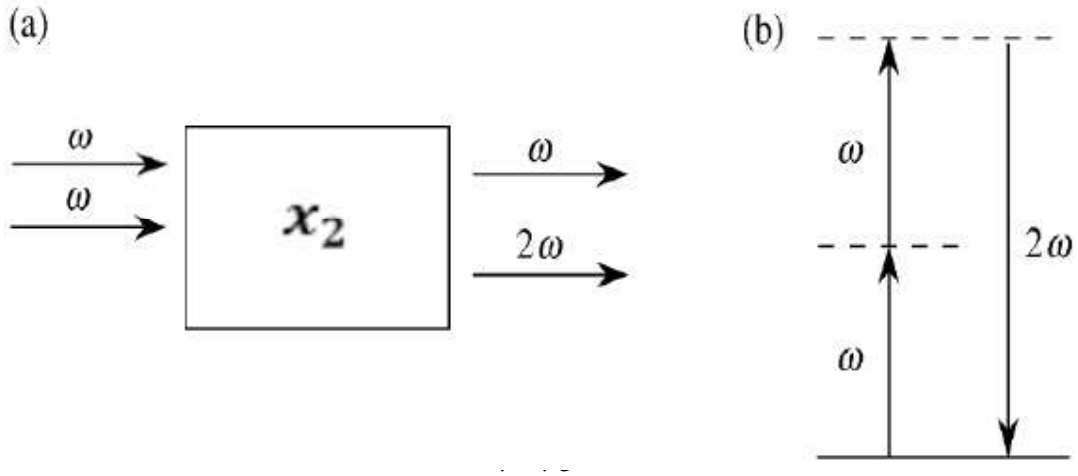
هو عملية بصرية غير خطية تتفاعل فيها عدد معين من الفوتونات n ذات تردد واحد مع مادة غير خطية لتكوين فوتون جديد ذات طاقة مضاعفة ( nE ) وتردد ( nw ) بينما الطول الموجي يكون $\left(\frac{\lambda}{n}\right)$ ويحدث عند شدة بصرية تصل إلى $10^{14}$ واط / سم $^2$ أو أعلى. غالبًا ما يستخدم هذا الإجراء في فيزياء الليزر للحصول على طول موجي جديد أقصر من إشعاع الليزر الأساسي.

## توليد التو افقية الثانية Second harmonic generation (SHG)

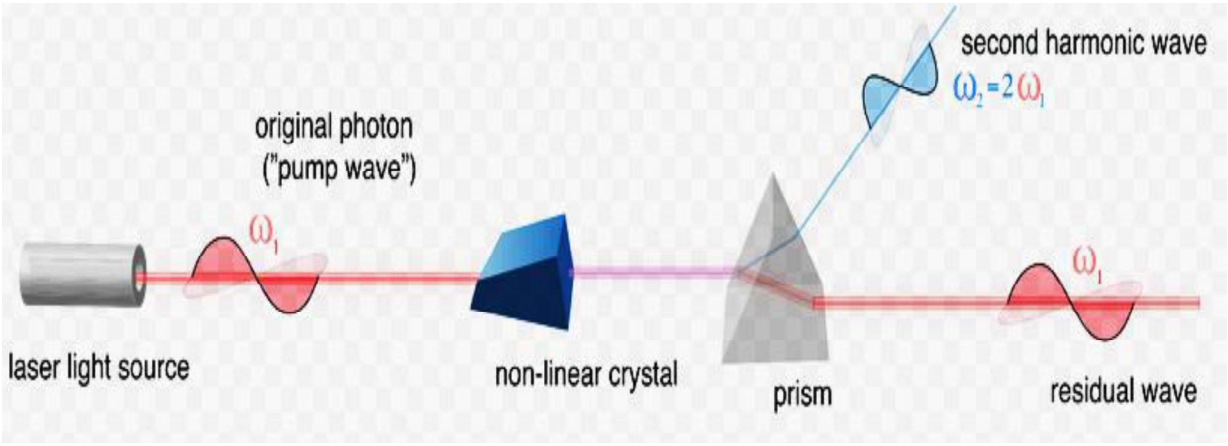
هي عملية بصرية لاخطية تكون فيها عدد الفوتونات المتفاعلة (n=2) وتسمى بالتردد المزدوج وفيها تتأثر الفوتونات التي تمتلك نفس التردد (w) اثناء مرورها خلال بلورة لاخطية لتكوين فوتونات جديدة ذات طاقة مضاعفة ( 2E ) لذلك تكون مضاعفة التردد ( 2w ) وطولها الموجي يساوي نصف الطول الموجي للفوتونات الاصلية $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ .

تطور فرع البصريات اللاخطية نتيجة اكتشاف مبدأ ازدواج التردد وذلك بعد اختراع الليزر. حيث استخدم بتغيير لون شعاع الضوء، وتغيير شكله مكانيا وزمانيا مثال: إرسال الأشعة تحت الحمراء عبر بلورة معينة للحصول على الضوء البنفسجي. وكذلك استخدم على نطاق واسع في الاتصالات . ومن اهم المواد غير الخطية للحصول على التو افقية الثانية بلورات البزموث (BIBO :BiB3O6)

الشكل (4-2) (a) يمثل تفاعل فوتونين لانتاج فوتون جديد ذات تردد ( 2w ) إضافة الى الفوتون الأصلي (w) ، بينما الشكل (4-2) (b) يمثل مخطط لمستويات الطاقة عند توليد التو افقية الثانية




بينما الشكل (4-3) يمثل رسم تخطيطي لعملية التوليد التو افقي الثاني.

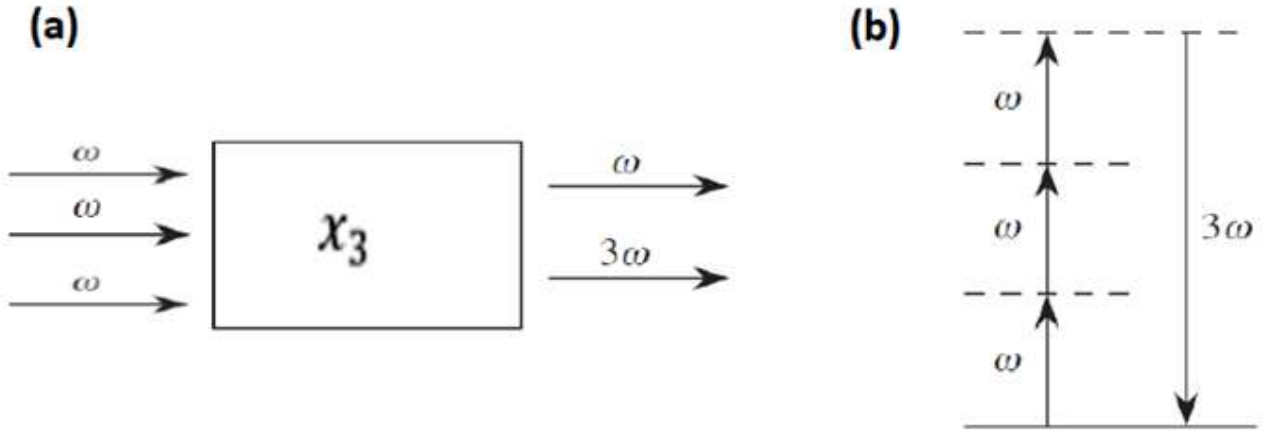



الشكل (4-3)

## توليد التو افقية الثالثة Third harmonic generation (THG)

هي عملية بصرية لاخطية تكون فيها عدد الفوتونات المتفاعلة (n=3) والتي تمتلك نفس التردد (w) وعند مرورها خلال بلورة لاخطية لتكوين فوتونات جديدة ذات طاقة ( 3E ) لذلك تكون ذات تردد ( 3 w ) وطولها الموجي يساوي ثلث الطول الموجي للفوتونات الاصلية $\left(\frac{\lambda}{3}\right)$ . ومن اهم المواد غير الخطية للحصول على التو افقية الثالثة بلورات بوراتِ الباريوم ((BBO (β-BaB2O4).

الشكل (3-4) (a) يمثل تفاعل فوتونين لانتاج فوتون جديد ذات تردد ( w3 ) إضافة الى الفوتون الأصلي (w) ، بينما الشكل (2-4) (b) يمثل مخطط لمستويات الطاقة عند توليد التو افقية الثالثة




## توليد التو افقية الر ابعة Forth harmonic generation (FHG)

هي عملية بصرية لاخطية تكون فيها عدد الفوتونات المتفاعلة (n=4) والتي تمتلك نفس التردد (w) وعند مرورها خلال بلورة لاخطية لتكوين فوتونات جديدة ذات طاقة ( 4E ) لذلك تكون ذات تردد ( 4 w ) وطولها الموجي يساوي ربع الطول الموجي للفوتونات الاصلية $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$ . ومن اهم المواد غير الخطية للحصول على التو افقية الر ابعة بعض بلورات بوراتِ الباريوم ((BBO (β-BaB2O4).

## توليد التو افقية عندما Harmonic generation for n>4

التوليد التو افقي لـ (5HG) n = 5 أو أكثر ممكن نظريًا ، لكن التفاعل يتطلب عددًا كبيرًا جدًا من الفوتونات للتفاعل وبالتالي يكون احتمال حدوثه منخفضًا ويتطلب إنتاج ليزر شديد الكثافة.