# الفصل الرابع

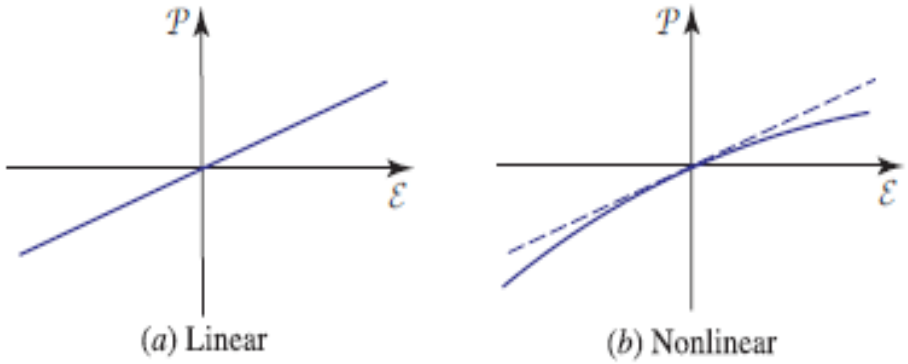
# البصريات اللاخطية Nonlinear optics

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

$$\boldsymbol{P} = \in_{\boldsymbol{0}} \boldsymbol{x}\, \boldsymbol{E}$$

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

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

المعاملات $a_3, a_2, a_1$ تمثل ثوابت مميزة للوسط .

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

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

$$P = \in_0 x_1 E + 2x_2 E^2 + 4x_3 E^3 + \cdots ,$$

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

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)

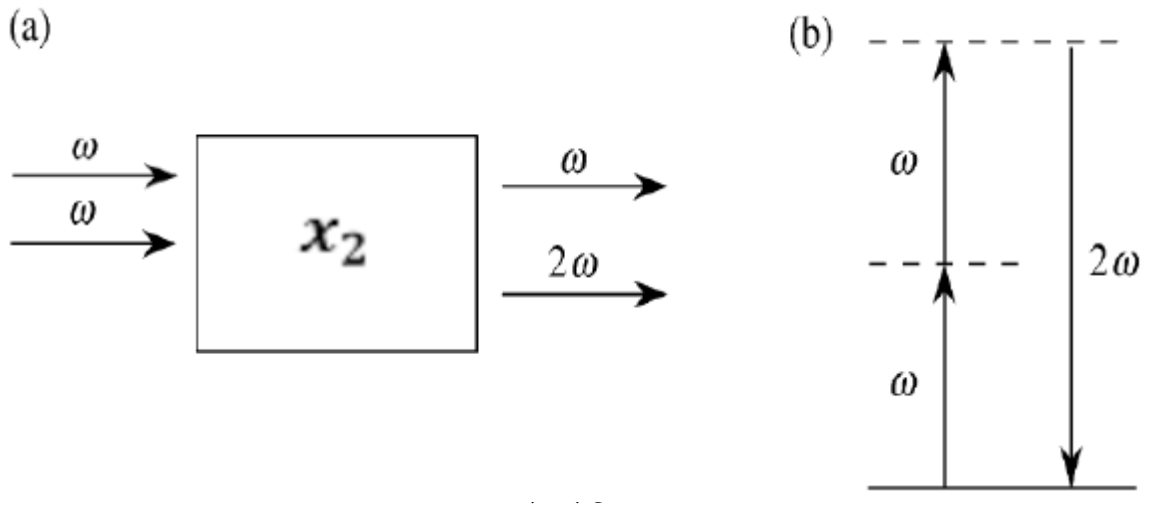
هو عملية بصرية غير خطية تتفاعل فيها عدد معين من الفوتونات n ذات تردد واحد مع مادة غير خطية لتكوين فوتون جديد ذات طاقة مضاعفة ( nE ) وتردد ( nw ) بينما الطول الموجي يكون $\left(\frac{\lambda}{n}\right)$ ويحدث عند شدة بصرية تصل إلى $10^{14}$ واط / سم $^2$ أو أعلى. غالبًا ما يستخدم هذا الإجراء في فيزياء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

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

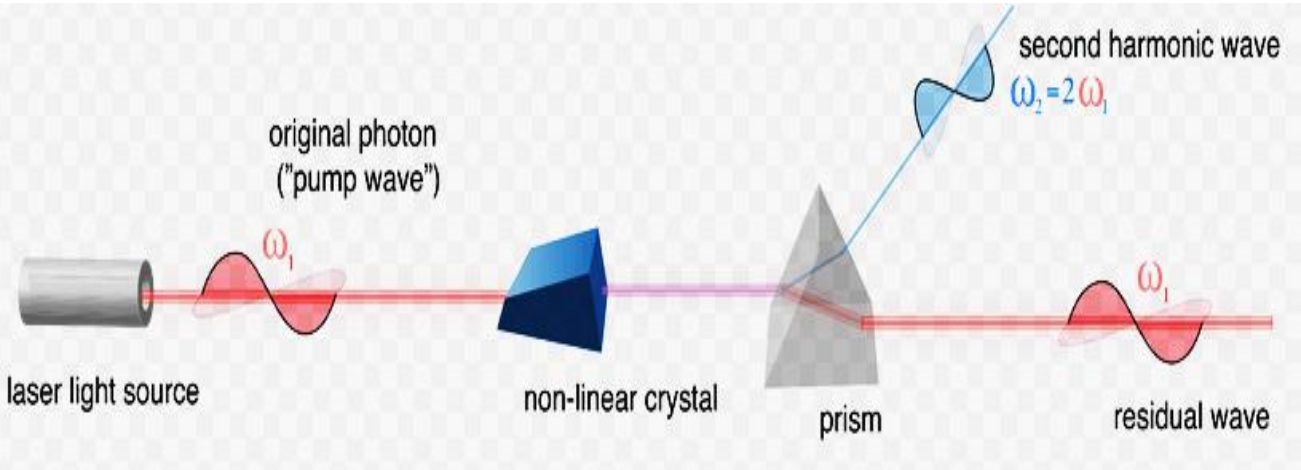
هي عملية بصرية لاخطية تكون فيها عدد الفوتونات المتفاعلة (n=2) وتسمى بالتردد المزدوج وفيها تتأثر الفوتونات التي تمتلك نفس التردد (w) اثناء مرورها خلال بلورة لاخطية لتكوين فوتونات جديدة ذات طاقة مضاعفة ( 2E ) لذلك تكون مضاعفة التردد ( 2w ) وطولها الموجي يساوي نصف الطول الموجي للفوتونات الاصلية $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$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

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




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

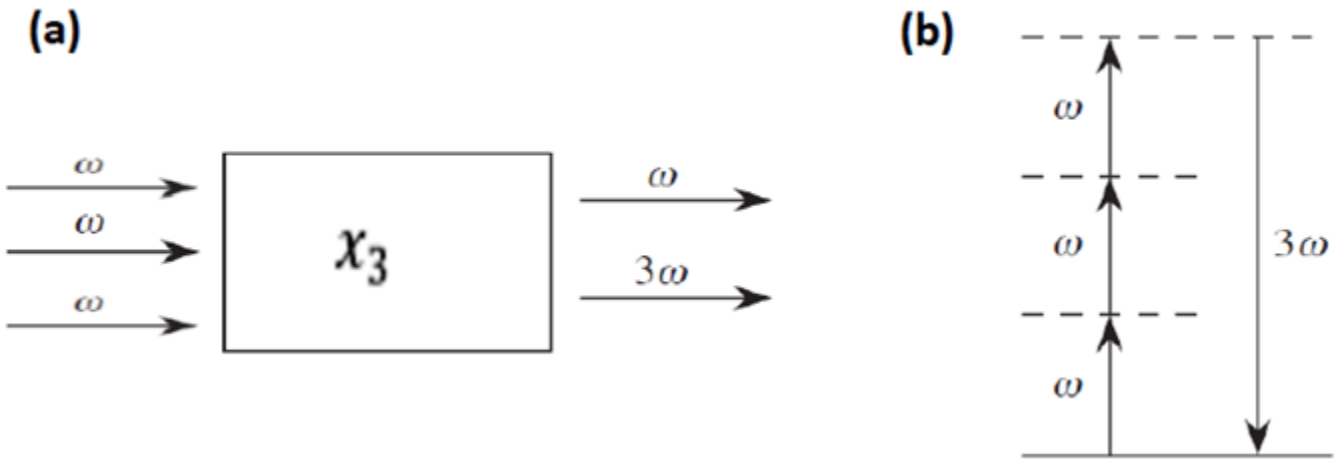



الشكل (4-3)

## 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 بورات 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 الرابعة 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 الرابعة بعض بلورات بورات 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.

## ملحق

# نماذج أسئلة شاملة ف3+ف4 وحلولها

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| س1/ اختر الاجابة الصحيحة؟ | | | | | | 20 درجة | |
| 1 | عند توليد التوافقية الثالثة تصبح الطاقة للفوتونات الناتجة | | | | | | |
| أ | $0.33E$ | ب | $0.5\ E$ | ج | $0.25\ E$ | د | $3E$ |
| 2 | الحد الذي يمثل العلاقة الخطية بين المجال الكهربائي والاستقطاب في المعادلة $\boldsymbol{P = \epsilon_0\ x_1\ E + 2x_2E^2 + 4x_3\ E^3 + \cdots}$ | | | | | | |
| أ | الحد الأول والثاني | ب | الحد الأول | ج | الحد الثاني | د | الحد الثاني والثالث |
| 3 | ليزر احمر اللون يمر من خلال بلورة لا خطية لتوليد التوافقية الرابعه تصبح طاقة فوتوناته | | | | | | |
| أ | 3.62 ev | ب | 2 ev | ج | 7.098 ev | د | 10.74 ev |
| 4 | لليزر الازرق يكون طول المرنان له يساوي..... بافتراض ان $n = 10^6$ | | | | | | |
| أ | 0.665 m | ب | 0.235 m | ج | 0.47 m | د | 0.94 m |
| 5 | عندما يكون طول المرنان يساوي 2 m وقيمة Z تساوي 1 متر تصبح قيمة تكور جبهة الموجة $\boldsymbol{R(z)}$ | | | | | | |
| أ | ∞ | ب | 4 m | ج | 3 m | د | 0 |
| 6 | تكون الفاصلة الترددية $\boldsymbol{\Delta\nu_n}$ بين صيغتين طوليتين متعاقبتين مساوية الى ..... لمرنان طوله 1m | | | | | | |
| أ | 0.5 G Hz | ب | 2 M Hz | ج | 3 G Hz | د | 150 M Hz |
| 7 | مقدار الاستقرارية $\boldsymbol{g_1g_2}$ لمرنان كروي فيه ( L= 1 m) ( $r_1$= 0.5 m ) ( $r_2$ = 2 m ) | | | | | | |
| أ | 1 | ب | -1 | ج | -0.5 | د | 0 |
| 8 | اذا كان طول المرنان الكروي 10 cm وقدر حزمته (حجم البقعة )عند مركز المرنان يساوي $\mu m$ 86.5 فان لون الليزر | | | | | | |
| أ | احمر | ب | اصفر | ج | اخضر | د | ازرق |
| 9 | في المرنان الكروي المتحد البؤرة ، المرآتان الكرويتان المقعرتان ذات انصاف اقطارها R متساوية و المسافة بينهما تساوي | | | | | | |
| أ | *3R* | ب | *R* | ج | *0.5 R* | د | *2R* |
| 10 | ان المفتاح الذي يضيف خسائر على الوسط نتيجة امتصاصه للإشعاع مما يجعل نتاج الليزر اقل يتمثل في ..... | | | | | | |
| أ | مفتاح عامل النوعية الإيجابي | ب | مفتاح عامل النوعية السلبي | ج | مفتاح عامل النوعية المختلط | د | غير ذلك |

س1/ الجواب

1- د
2- ب
3- ج
4- ب
5- ب
6- د
7- ج
8- د
9- ب
10- ب

| س2/ جهاز ليزري يدعم صيغة التذبذب المستعرضة *TEM00* وذات مواصفات كما في الجدول | | | 20 درجة |
|---|---|---|---|
| احسب : | | الجدول : مواصفات الجهاز الليزري | |
| 1. اللون والطول الموجي لليزر الناتج | | طول مرنان فابري –بيرو | *1 m* |
| 2. حجم البقعة في مركز المرنان | | حجم البقعة عند المرايا | $3.569 \times 10^{-4}\ m$ |
| 3. عامل النوعية $Q$ وهل المرنان يخزن الطاقة جيدا | | عرض الخط الطيفي | *2 MHz* |
| 4. الاستقطاب الخطي لحزمة الليزر $P$ | | المجال الكهربائي للحزمة | *E= 1M V/m* |
| 5. ارسم *TEM00* | | القابلية الكهربائية | $x = 0.0001$ |

س2/

1-

$$\omega = \left[\frac{L\lambda}{\pi}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$3.569 \times 10^{-4}\ m = \left[\frac{1 \times \lambda}{3.14}\right]^{1/2}$$

$$\lambda = 400 \times 10^{-9}\ \text{m}$$ بنفسجي

**2 -**

$$\omega_0 = \left[\frac{L\lambda}{2\pi}\right]^{1/2} = \left[\frac{1 \times 400 \times 10^{-9}}{2 \times 3.14}\right]^{1/2} = 2.523 \times 10^{-4}\ m$$

3-

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{400 \times 10^{-9}} = 750 \times 10^{12}\ Hz$$

$$Q = \frac{v}{\Delta v} = \frac{750 \times 10^{12}}{2 \times 10^6} = 3.75 \times 10^8$$

4 $P = \epsilon_0\ x\ E = 8.85 \times 10^{-12} \times 0.0001 \times 1 \times 10^6 = 885 \times 10^{-12}\ Coulomb/m^2$

5