



به نام خدا

موضوع سمینار: بررسی و تحلیل رفتار نور در عبور از کریستال های غیر خطی

استاد مربوطه: پروفسور محمد نژاد

دی ماه ۹۷

# فهرست:

1 مقدمه

2 واسط اپتیکی غیرخطی

3 معادله موج غیرخطی

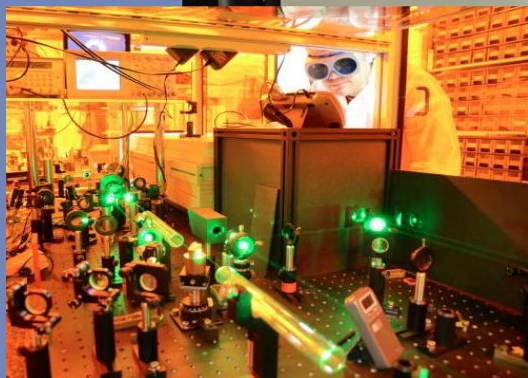
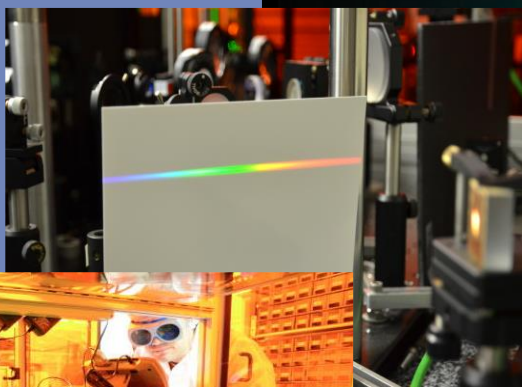
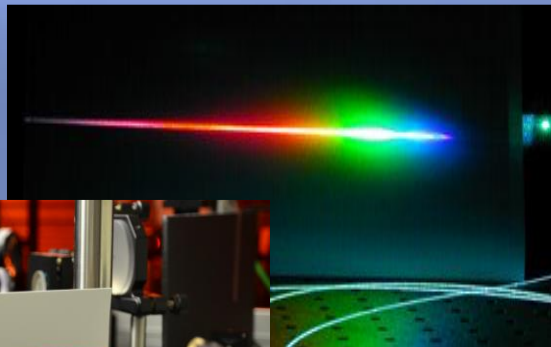
4 تقریب بورن

5 تولید هارمونیک دوم (SHG)

6 کیب سه موج

7 تطبیق فاز و فرکانس

8 نتیجه گیری





میدان الکتریکی با قطبش دارای رابطه ی غیر خطی است

ایجاد فرکانس های جدید

تغییر در فرکانس پرتو نور

ترکیب پالس های لیزری مختلف

ایجاد پالس های لیزری فوق کوتاه

یک غیر خطی به شدت و میدان الکتریکی بسیار بالا نیاز دارد.

واسط های غیر خطی باید دارای شرایط تقارن خاصی باشند.

شدت نور بسیار ضعیف است.

منبع نور ناهمدوس است.

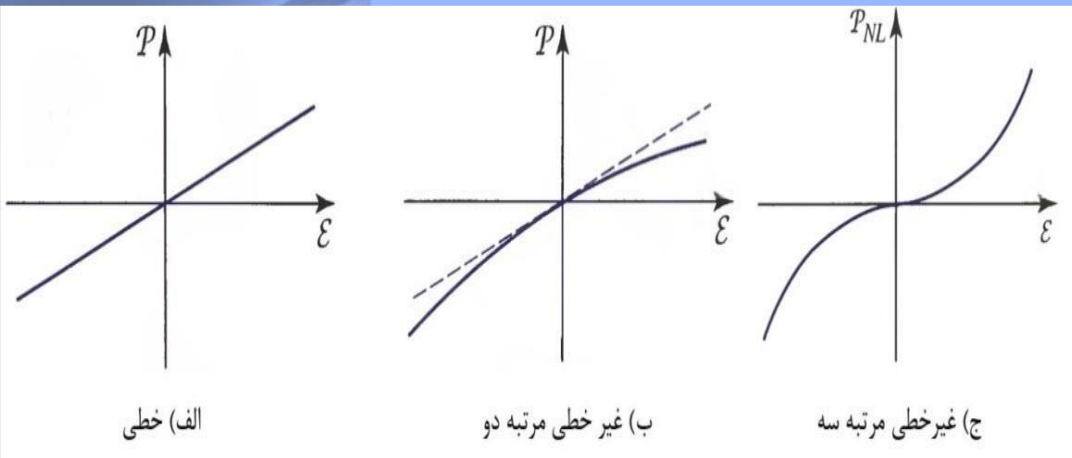
| اپتیک خطی                                                                                       | اپتیک غیرخطی                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ویژگی های اپتیکی مواد مستقل از شدت هستند                                                        | ویژگی های اپتیکی مواد وابسته به شدت هستند                                                       |
| اصل برهم نهی بکار می رود                                                                        | اصل برهم نهی کاربرد ندارد                                                                       |
| شدت نور با عبور از این محیط تغییر نمیکند                                                        | شدت نور با عبور از این محیط تغییر میکند                                                         |
| پرتو نور در یک منطقه از یک محیط هیچ تاثیری بر روی یکدیگر ندارند و نور نمیتواند نور را کنترل کند | پرتو نور در یک منطقه از یک محیط هیچ تاثیری بر روی یکدیگر ندارند و نور نمیتواند نور را کنترل کند |

جدول (۱) تفاوت بین اپتیک خطی و غیر خطی

# واسط اپتیکی غیر خطی:

در واسط خطی رابطه ی خطی بین چگالی پلاریزاسیون و میدان الکتریکی است

$$\mathcal{P} = \epsilon_0 \chi \mathcal{E}$$



در واسط غیر خطی رابطه غیر خطی بین  $\mathcal{P}$  و  $\mathcal{E}$  است

$$\mathcal{P} = Np \quad \leftarrow \text{چگالی پلاریزاسیون}$$

$\mathcal{E}$  کوچک  $\leftarrow$  رابطه خطی

$\mathcal{E}$  بزرگ  $\leftarrow$  رابطه غیر خطی

شکل ۱- رابطه ی بین  $\mathcal{E}$  و  $\mathcal{P}$  (در حالت خطی b) در حالت غیر خطی

رابطه ی بین  $\mathcal{P}$  و  $\epsilon$  به شکل زیر است :

$$\mathcal{P} = a_1 \epsilon + \left(\frac{1}{2}\right) a_2 \epsilon^2 + \left(\frac{1}{6}\right) a_3 \epsilon^3 + \quad (1)$$

اولین قسمت خطی است که در میدان های کوچک غالب است

$$a_1 = \epsilon_0 \chi$$

ثابت دی الکتریک  
 $\chi$   
ضریب شکست

رابطه نهایی به شکل زیر میشود :

$$\mathcal{P} = \epsilon_0 \chi \epsilon + 2d \epsilon^2 + 4\chi^3 \epsilon^3 + \quad (2)$$

تقارن وارونگی وجود دارد

ویژگی های محیط با تغییر ۲ به ۲- تغییر نمی کند

$\mathcal{P} - \epsilon$  باید دارای تقارن فرد باشد نتیجه وارون کردن  $\epsilon$  وارون شدن  $\mathcal{P}$  بدون هیچ تغییری است

ضریب مرتبه دوم غیر خطی باید وجود نداشته باشد و پایین ترین مرتبه غیر خطی سازی مرتبه سوم است

اگر ضریب مرتبه دوم غیر خطی صفر باشد در همتنیدگی نمیتواند اتفاق بیافتد

مقدار نمونه ضرایب غیر خطی مرتبه دوم  $\leftarrow d = 10^{-24} - 10^{-21}$

مقدار نمونه ضریب  $\chi^3$   $\leftarrow 10^{-34} - 10^{-21}$

# معادله موج غیر خطی

$$\nabla \cdot \epsilon - \left( \frac{1}{c^2} \right) \frac{d^2 \epsilon}{dt^2} = -s \quad (3)$$

$$s = - \frac{\mu_0 d^2 p_{NI}}{dt^2} \quad (4)$$

↓  
منبع

حل معادله موج غیر خطی  
تقریب  
بورن  
نظریه کوپل موج



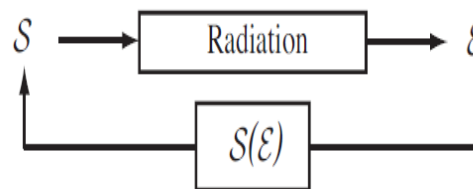
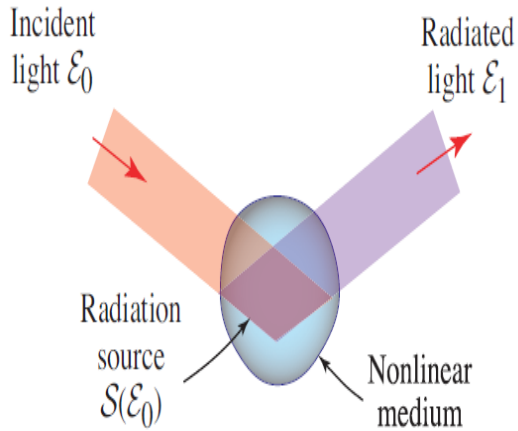
# تقریب بورن:

میدان نوری  $\mathcal{E}_0$  در یک محیط غیرخطی

یک منبع تابش  $S(\mathcal{E}_0)$  ایجاد میکند

یک میدان  $\mathcal{E}_1$  را منتشر میکند

⋮

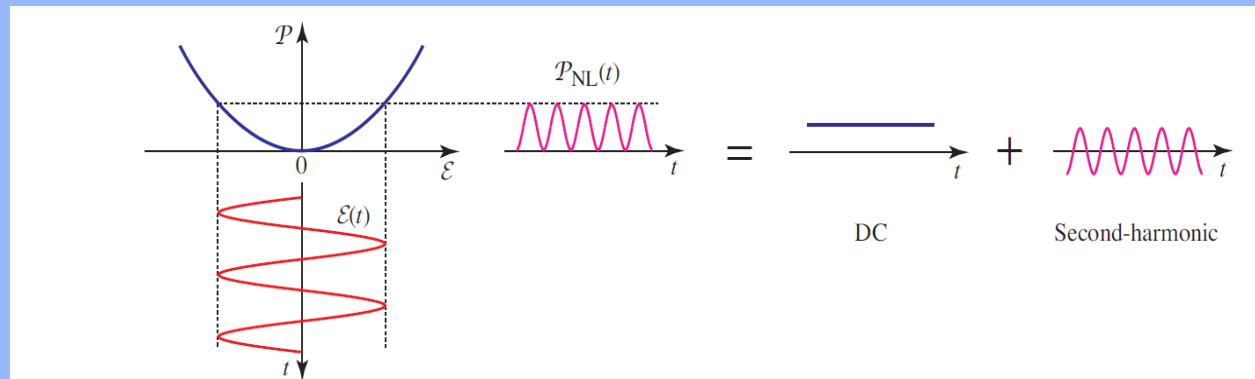


شکل ۲) اولین تقریب بورن میدان ورودی  $\mathcal{E}_0$  یک منبع  $S(\mathcal{E}_0)$  ایجاد میکند که میدان را منتشر میکند

# تولید هارمونیک دوم (SHG) یا یکسوسازی :

غیرخطی بودن مرتبه بالاتر از حالت دوم چشم پوشی شده است  $p_{NL} = 2d\varepsilon^2$

$$\mathcal{P}_{NL}(t) = P_{NL}(0) + \text{Re}\{P_{NL}(2\omega) \exp(j2\omega t)\}$$



شکل ۳) میدان الکتریکی سینوسی با فرکانس زاویه ای  $2\omega$  در واسط غیرخطی یک قطبش با مولفه  $2\omega$  و یک مقدار  $DC$  تولید میکند

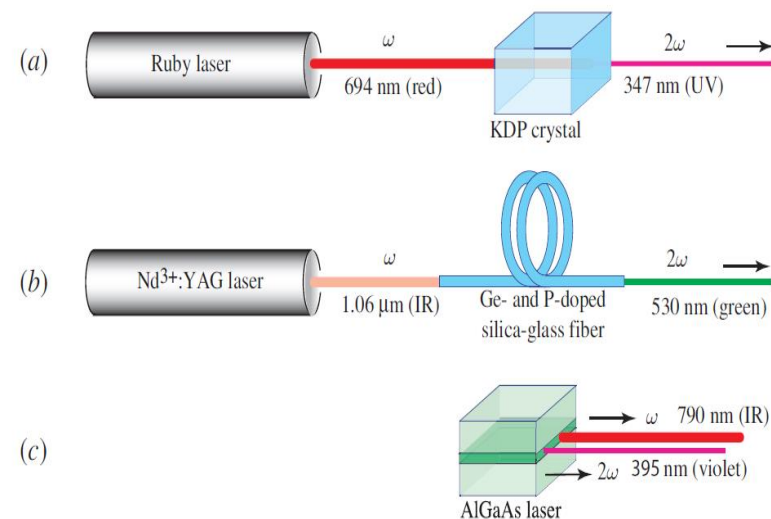
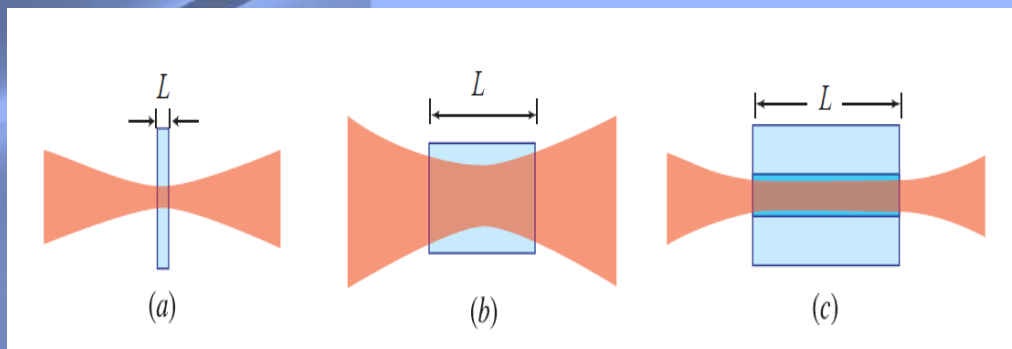
$$\eta_{SHG} = \frac{C^2 L^2 P}{A}$$

با استفاده از روابط به رابطه ی روبرو می رسد

موج ورودی بزرگترین قدرت ممکن را داشته باشد با استفاده از

لیزرهای پالسی  
 برای به حداکثر رساندن بازده SHG به حداکثر رساندن نسبت  $L^2$  به  $A$

برای کریستال نامحدود حداکثر مقدار  $L$  بوسیله ضریب شکست نور محدود میشود



کل (۴) حجم تعاملی (a) کریستال نازک (b) کریستال ضخیم (c) waveguide

شکل (۵) تولید هارمونیک دوم



## ترکیب سه موج:

مولفه های پلاریزاسیون  $p_{NL} = 2d\varepsilon^2$  شامل مولفه هایی در  $\omega$  فرکانس  $0, 2\omega_1, 2\omega_2, \omega_+ = \omega_1 + \omega_2, \omega_- = \omega_1 - \omega_2$  با دامنه های

$$p_{NL}(0) = d[E(\omega_1)^2 + E(\omega_2)^2] \quad (10)$$

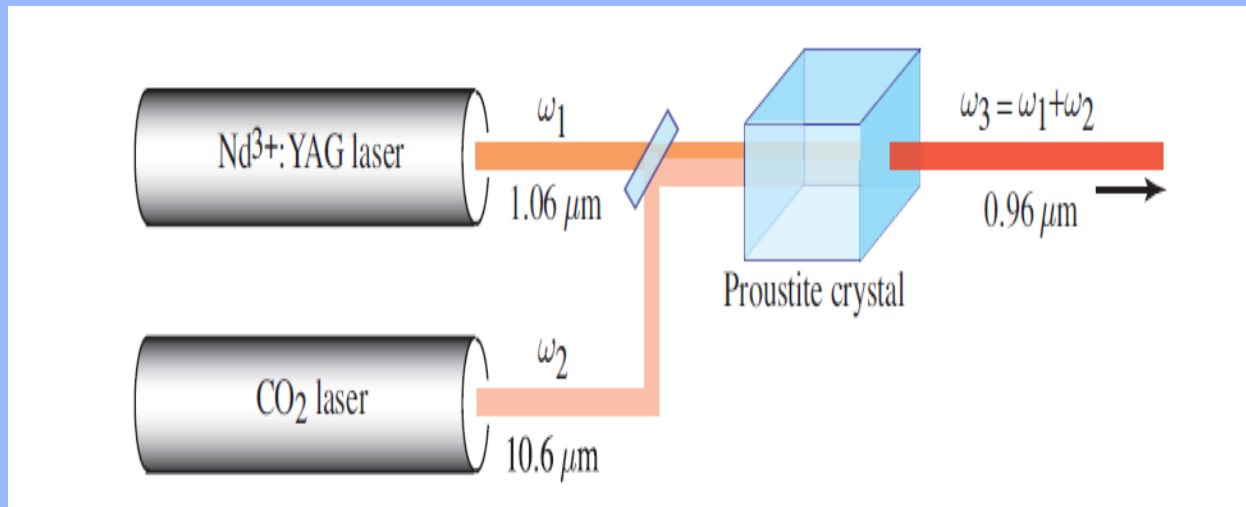
$$p_{NL}(2\omega_1) = dE(\omega_1)E(\omega_1) \quad (11)$$

$$p_{NL}(2\omega_2) = dE(\omega_2)E(\omega_2) \quad (12)$$

$$p_{NL}(2\omega_+) = 2dE(\omega_1)E(\omega_2) \quad (13)$$

$$p_{NL}(2\omega_-) = 2dE(\omega_1)E^*(\omega_2) \quad (14)$$

بنابراین جمله دوم واسط غیرخطی می تواند برای ترکیب دوموج نوری با فرکانس های مختلف استفاده شود وموج سوم با فرکانس تفاضل این دو یا مجموع فرکانس ها تولید میکند



شکل ۷) تولید فرکانس مجموع (SFG)

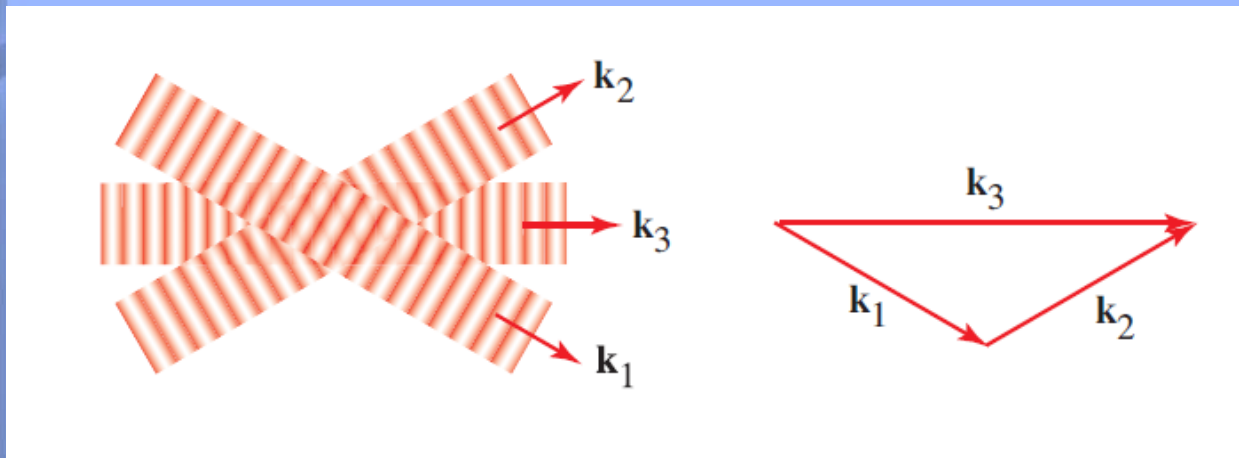
# تطبیق فاز و فرکانس:

$$\omega_3 = \omega_1 + \omega_2 \quad (14)$$

شرط تطبیق فرکانس:

$$k_3 = k_1 + k_2 \quad (15)$$

شرط تطبیق فاز:



شکل ۸) شرط تطبیق فاز



# قوانین ترکیب سه موج:

(۱) تبدیل فرکانس نوری (OFC):

به عنوان ترکیب کننده های نوری در سیستم های مخابرات نوری استفاده میشود

(۲) تقویت کننده ی پارامتری نور (OPA):

برای تشخیص نور در طول موج هایی که در آن ها آشکارسازهای حساس موجود نیست استفاده میشود

(۳) نوسانگر پارامتری نور (OPO):

برای تولید نور همدوس و پالس ساعت در طیف پیوسته از فرکانس ها مورد استفاده قرار میگیرد

(۴) تبدیل پارامتر خودبه خودی (SPDC):

نور تبدیل شده پایین به صورت مخروطی از چند نور طیفی شکل می گیرد.

مقدمه

واسط  
غیر خطی

معادله  
موج  
غیر خطی

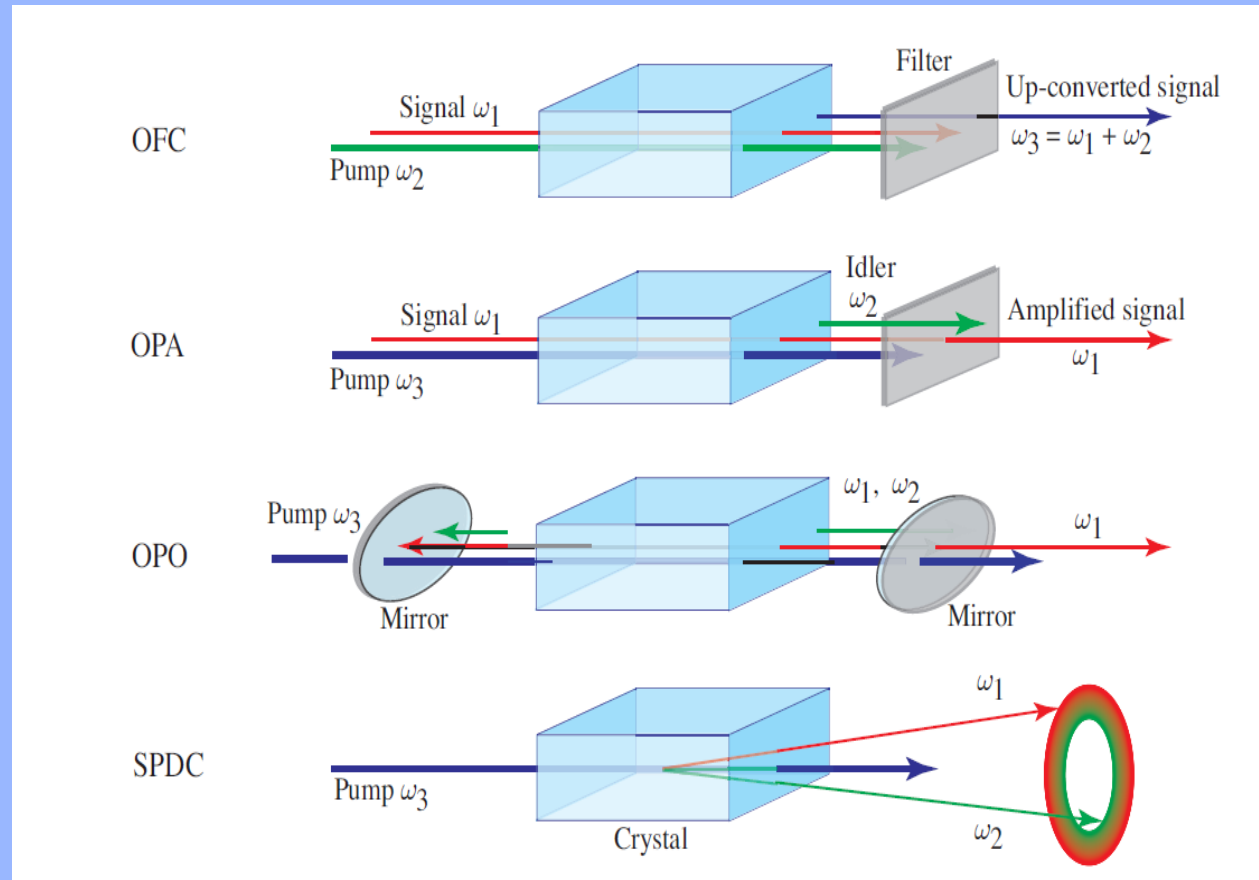
تقریب  
بورن

SHG

تطبیق فاز

نتیجه  
گیری

۱۴/۲۲



شکل ۹) تبدیل فرکانس نوری، تقویت کننده پارامتری نور، نوسانگر پارامتری نور، تبدیل پارامتر خودبه خودی

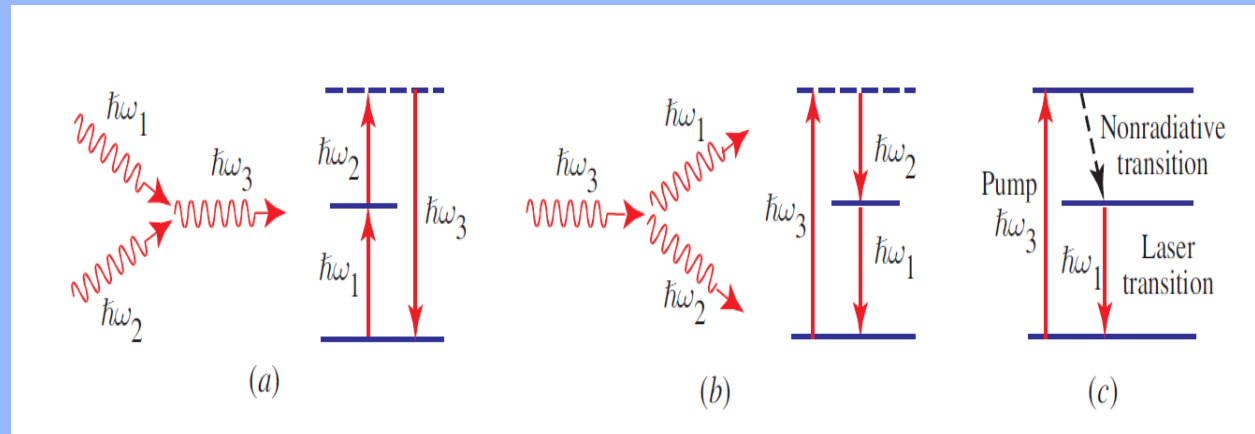


# ترکیب موج به عنوان یک فرآیند تعامل فوتون :

دو فوتون فرکانس پایین  $\omega_1$  و  $\omega_2$  از بین میروند و یک فوتون با فرکانس بالاتر  $\omega_3$  ایجاد میشود  
از بین رفتن فوتون فرکانس بالا  $\omega_3$  با ایجاد دو فوتون فرکانس پایین  $\omega_1$  و  $\omega_2$  همراه است

$$\hbar\omega_1 + \hbar\omega_2 = \hbar\omega_3$$

$$\hbar k_1 + \hbar k_2 = \hbar k_3$$



شکل ۱۰) مقایسه فرآیندهای پارامتری در مرتبه دوم محیط غیر خطی (a). از بین رفتن دو فوتون فرکانس پایین و ایجاد یک فوتون فرکانس بالا. (b) از بین رفتن یک فوتون فرکانس بالا و ایجاد دو فوتون فرکانس پایین. (c) لیزر ۳ سطحی، یک فرآیند غیر پارامتری که در آن واسطه در انتقال انرژی شرکت می کند.

## تطبیق فاز:

اگر ترکیب سه موج در یک جهت حرکت کنند و اگر واسط پراکنده کننده باشد شرط تطبیق فاز معادله  $\frac{n\omega_1}{c_0} + \frac{n\omega_2}{c_0} = \frac{n\omega_3}{c_0}$  را تولید میکند

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 \quad \omega_1 n_1 + \omega_2 n_2 = \omega_3 n_3 \quad \text{شرط تطبیق}$$

کنترل دقیق شاخص های شکست در سه فرکانس اغلب با انتخاب مناسب قطبش، جهت بلور در برخی موارد با کنترل دما بدست می آید

$$n(\omega) = n(\theta, \omega) \quad \leftarrow \text{برای موج e} \quad n(\omega) = n_o(\omega) \quad \leftarrow \text{برای موج o}$$

$\theta$  زاویه ی امتداد موج با محور اپتیکی در کریستال است

$$\frac{1}{n^2(\theta, \omega)} = \frac{\cos(\theta)^2}{n_o(\omega)^2} + \frac{\sin(\theta)^2}{n_e(\omega)^2}$$

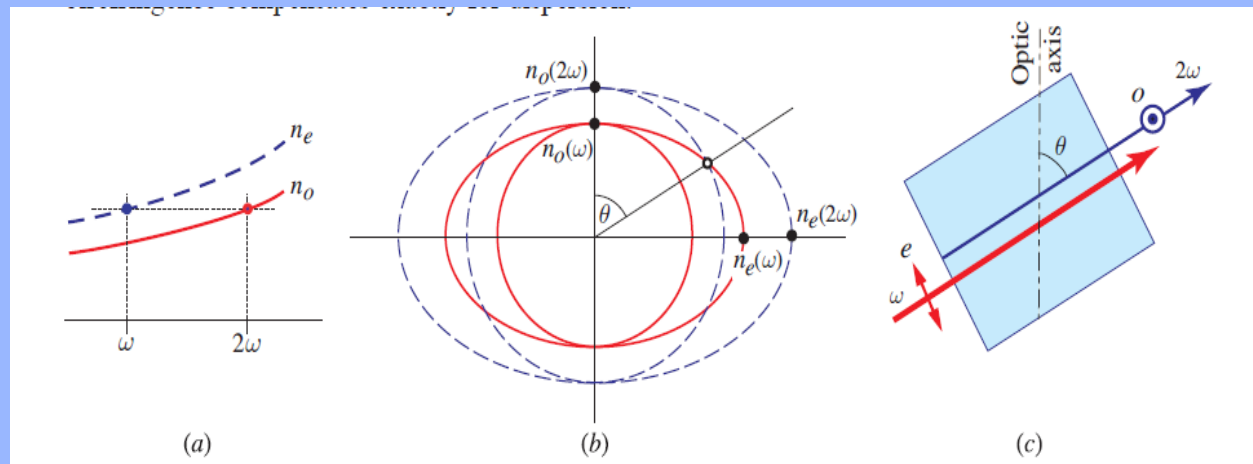
اگر قطبش موج سیگنال و بیکار یکسان باشد ترکیب موج ها نوع I و اگر برهم عمود باشد نوع II است

برای  $SHG$  موج ۲ فرکانس یکسانی دارند ( $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ ) و  $\omega_3 = 2\omega$  برای ترکیب نوع ۱ موج ۲ دارای قطبش یکسان هستند بنابراین  $n_1 = n_2$

از روی شرط تطبیق گفته شده در بالا شرط تطبیق فاز این است که  $n_1 = n_3$  باشد

جهت موج ورودی باید به گونه ای تنظیم شود که  $n_1 = n_3$  باشد به عبارت دیگر دوشکستی باید پراکندگی را جبران کند

پس شرط تطبیق  $n_o(2\omega) = n(\theta, \omega)$



شکل (۱۱) تطبیق فاز  $e-e-o$   $SHG$  (a، تطبیق موج  $e$  در  $\omega$  و تطبیق موج  $o$  در  $2\omega$ ، ضریب سطح در  $\omega$  و  $2\omega$  در کریستال تک محوره، c) موجی که برای انتقال انتخاب شده است باید زاویه  $\theta$  را با محور درست کند

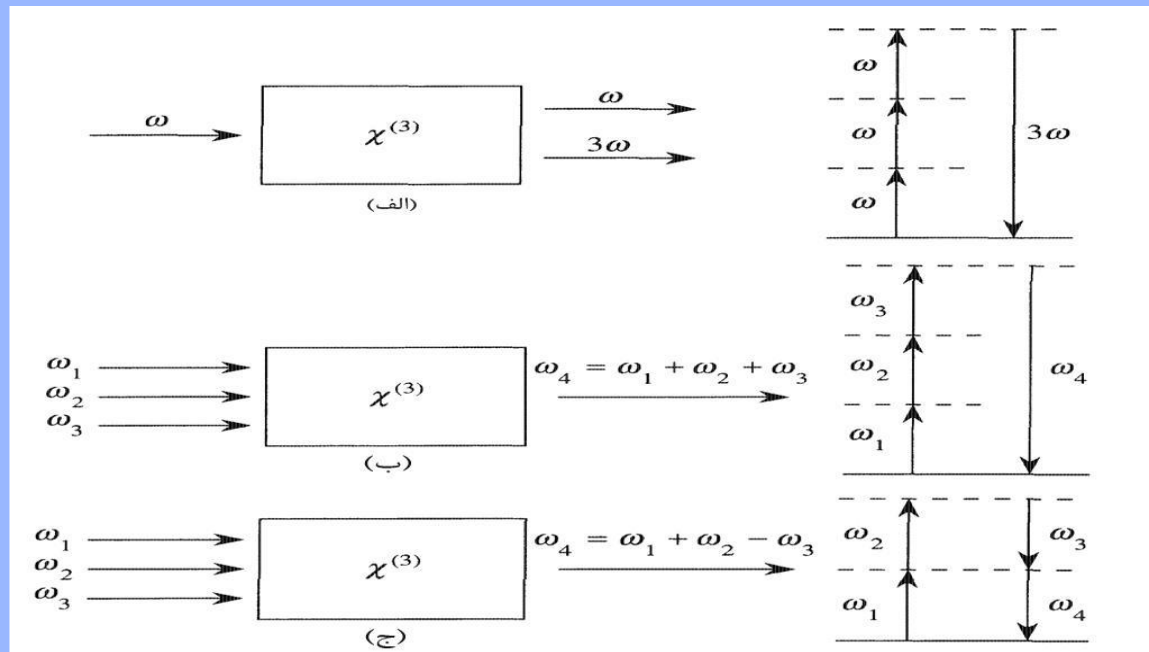
# تئیک غیر خطی مرتبه سوم:

در محیط های متقارن مرکزی جمله ی غیر خطی مرتبه دوم قطبش حذف میشود ومهم ترین جمله ی غیر خطی جمله ی مرتبه سوم است:

$$\mathcal{P} = 4\chi^3 \varepsilon^3$$

به این محیط، محیط کرنوری گفته میشود

بسامد  $3\omega$  که همان هماهنگ سوم است تولید میکند شدت وبازده آن در مقابل بسامد  $\omega$  خیلی کم است



شکل ۱۲) تولید هارمونیک سوم ، بسامد مجموع وبسامد تفاضل در محیط غیر خطی



سایر فرآیندهای غیرخطی :

- خودکانونی
- قفل شدگی مدل لنز کر (KLM)
- خود مدولاسیون فازی (SPM)
- سالیتون های نوری
- مدولاسیون عرضی موج (XPM)
- ترکیب چهارموج (FWM)
- تولید موج با قطبش عرضی (XPW)
- مزدوج فاز نوری تحریک پراکندگی بریلیون
- فوتو یونیزاسیون



## نتیجه گیری :

این مواد میتوانند دامنه های طول موجی که لیزرهای نیمه رسانا قادر به تولید آن ها نیستند را تولید کنند

تبدیل فرکانس نوری (OFC) عنوان ترکیب کننده های نوری در سیستم های مخابرات نوری استفاده میشود

تقویت کننده ی نور (OPA) برای تشخیص نور در طول موج هایی که آشکارسازهای حساس موجود نیست استفاده میشود

نوسانگر پارامتری نور (OPO) برای تولید نور همدوس و پالس ساعت در طیف پیوسته از فرکانس ها مورد استفاده قرار میگیرد

جمله دوم واسط غیرخطی می تواند برای ترکیب دوموج نوری با فرکانس های مختلف استفاده می شود



مراجع:

- [1] N. Bloembergen and Y.-R. Shen, "Quantum-theoretical comparison of nonlinear susceptibilities in parametric media, lasers, and Raman lasers," *Physical Review*, vol. 133, no. 1A, p. A37, 1964.
- [2] R. Boyd, *Contemporary nonlinear optics*. Academic press, 2012.



با تشکر از توجه شما