

Theo yêu cầu của khách hàng, trong một năm qua, chúng tôi đã dịch qua 16 môn học, 34 cuốn sách, 43 bài báo, 5 sổ tay (chưa tính các tài liệu từ năm 2010 trở về trước) Xem ở đây

**DỊCH VỤ  
DỊCH  
TIẾNG  
ANH  
CHUYÊN  
NGÀNH  
NHANH  
NHẤT VÀ  
CHÍNH  
XÁC  
NHẤT**

Chỉ sau một lần liên lạc, việc dịch được tiến hành

Giá cả: có thể giảm đến 10 nghìn/1 trang

Chất lượng: Tao dựng niềm tin cho khách hàng bằng công nghệ 1. Bạn thấy được toàn bộ bản dịch; 2. Bạn đánh giá chất lượng. 3. Bạn quyết định thanh toán.

Tài liệu này được dịch sang tiếng việt bởi:

**[www.mientayvn.com](http://www.mientayvn.com)**

Từ bản gốc:

<https://books.google.com.vn/books?id=Y3Wsv07TgdkC&printsec=frontcover&dq=Applied+Nonlinear+Optics&hl=vi&sa=X&ved=0ahUKEwi6vcuB3oPNAhUMTo8KHSjvCVsQ6AEIGjAA#v=onepage&q=Applied%20Nonlinear%20Optics&f=true>

Liên hệ dịch tài liệu :

[thanhlam1910\\_2006@yahoo.com](mailto:thanhlam1910_2006@yahoo.com) hoặc [frbwrthes@gmail.com](mailto:frbwrthes@gmail.com) hoặc số 0168 8557 403 (gặp Lâm)

Tìm hiểu về dịch vụ: [http://www.mientayvn.com/dich\\_tiang\\_anh\\_chuyen\\_nghanh.html](http://www.mientayvn.com/dich_tiang_anh_chuyen_nghanh.html)

Nonlinear Optics

## 2.1 INTRODUCTION

In the preceding chapter it was shown that the refractive index of a material results from the polarization of that material by the electric field of the transmitted radiation. This polarization was completely linear: for a field increase of a factor of 2, the polarization increased by the same factor. But we know from other areas of physics that the linear dependence of one physical quantity on another is almost always an approximation, having validity in a certain limited range only. Perhaps the most familiar example of this is Hooke's law and its breakdown for large enough stresses. So we expect that the polarization, also, will be linear only for limited values of the field strength. For example, the electrooptic effect, which we introduced as the change in refractive index due to the application of an electric field, is really observable only because the electric field is large enough for the nonlinearity of the polarization to show up.

## 2.1 GIỚI THIỆU

Trong chương trước, chúng ta đã chứng tỏ rằng chiết suất của vật liệu nảy sinh do độ phân cực của vật liệu dưới tác động của trường điện từ. Độ phân cực này hoàn toàn tuyến tính: Khi trường tăng gấp hai lần, độ phân cực cũng tăng một lượng tương tự. Nhưng từ những lĩnh vực vật lý khác chúng ta biết rằng sự phụ thuộc tuyến tính của một đại lượng vào một đại lượng khác luôn luôn là gần đúng, chỉ áp dụng được trong phạm vi giới hạn. Có lẽ ví dụ quen thuộc đối với chúng ta là định luật Hooke và sự vi phạm định luật này khi lực kéo quá lớn. Vì vậy, chúng ta có thể suy ra độ phân cực cũng chỉ tuyến tính đối với những giá trị giới hạn của cường độ trường. Chẳng hạn, hiệu ứng điện quang mà chúng ta đã trình bày do sự thay đổi của chiết suất dưới sự tác động của trường thực sự chỉ quan sát được do điện trường đủ lớn để tính phi tuyến của độ phân cực thể hiện rõ.

We chose to use a temporally uniform field before, but clearly an alternating field would have similar consequences. However, if the refractive index of a crystal is modulated by such a field, of frequency  $\omega_2$ , then a beam with frequency  $\omega_1$  passing through the crystal will be phase modulated, and this phase modulation will give rise to side bands at combination frequencies, such as the sum frequency and the difference frequency. Thus we can create different frequencies by modulating the parameters of the crystal. This is why these interactions are often called parametric frequency conversion.

Trước hết chúng ta sẽ xét trường một chiều, nhưng rõ ràng điện trường xoay chiều cũng gây ra những hệ quả tương tự. Tuy nhiên, nếu chiết suất của tinh thể thay đổi dưới tác dụng của trường tần số  $\omega_2$ , thì chùm có tần số  $\omega_1$  khi đi qua tinh thể sẽ thay đổi pha, và sự thay đổi pha này sẽ làm nảy sinh các

dải tần số phụ ở các tần số kết hợp, chẳng hạn như tạo tần số tổng và tạo tần số hiệu. Do đó, chúng ta có thể tạo ra các tần số khác bằng cách thay đổi các tham số của tinh thể. Đây là nguyên nhân dẫn đến các tương tác này được gọi là chuyển đổi tần số tham số.

**The alternating field at  $\omega_2$  also modulates the refractive index which it itself “sees,” giving rise to a side band, a harmonic overtone, at  $2\omega_2$ . The same thing happens for the beam at  $\omega_1$ , giving a side band at  $2\omega_1$ . However, as mentioned, the nonlinearities of the refractive index are so small that generally they can be detected only when the amplitude of the electric field is of the same order of magnitude as the interatomic fields. Thus the side band at  $2\omega_1$  is observable only if the beam at  $\omega_1$  has a high intensity. But, clearly, even if the beam at  $\omega_1$  is of low intensity, a sum frequency, at  $\omega_1 + \omega_2$ , or a difference frequency, at  $\omega_1 - \omega_2$ , may still be created, as long as the intensity of the beam at  $\omega_2$  is large.**

Trường xoay chiều ở tần số  $\omega_2$  cũng có thể làm thay đổi chiết suất mà nó “thấy”, làm nảy sinh một dải tần số phụ, sóng hài ở tần số  $\omega_2$ . Quá trình tương tự cũng xảy ra đối với chùm  $\omega_1$ , làm nảy sinh dải tần có tần số  $2\omega_1$ . Tuy nhiên, như đã nói, chiết suất phi tuyến quá nhỏ đến nỗi chúng chỉ phát hiện được khi biên độ điện trường cùng bậc độ lớn với các trường giữa các nguyên tử. Vì thế, dải tần phụ ở tần số  $2\omega_1$  chỉ có thể quan sát được nếu chùm ở tần số  $\omega_1$  có cường độ cao. Nhưng, rõ ràng, cho dù chùm ở tần số  $\omega_1$  có cường độ thấp, quá trình tạo tần số tổng, ở tần số  $\omega_1 + \omega_2$ , hoặc tần số hiệu, ở tần số  $\omega_1 - \omega_2$  vẫn có thể xuất hiện, miễn là cường độ của chùm ở tần số  $\omega_2$  lớn.

**Thus the nonlinearity of the polarization can be used to “detect” a weak signal, at a wavelength for which sensitive detectors do not exist, by transforming its frequency to the visible range, where it can be detected sensitively with a photomultiplier. This is called parametric up-conversion (see Chapter 6).**

Do đó, tính phi tuyến của độ phân cực có thể được dùng để phát hiện một tín hiệu “yếu” ở tần số không thể phát hiện được bằng các detector nhạy hiện đang có, bằng cách chuyển đổi tần số của nó sang vùng khả kiến để phát hiện bằng các ống nhân quang. Đây được gọi là quá trình nâng tần lên (xem Chương 6).

The energy balance in some of the possible interactions is such that the energy from one frequency (the “pump”) can be fed into two lower frequencies. If the pump is intense enough to overcome losses, neither of the lower frequency signals has to be provided from the outside, but they can be made to build up out of the noise. In this way a tunable source can be obtained. This is the parametric oscillator (see Chapter 7).

Sự cân bằng năng lượng trong một số tương tác khả dĩ có thể diễn ra theo chiều hướng một tần số (“bơm”) có thể chuyển thành hai tần số thấp hơn. Nếu sóng bơm đủ mạnh để khắc phục tổn hao, chúng ta không cần phải cung cấp các tín hiệu tần số thấp từ bên ngoài, chúng ta có thể tự hình thành từ nhiễu. Theo cách này, chúng ta có thể thu được nguồn có tần số thay đổi. Đây là bộ tạo dao động tham số (xem Chương 7).

Although these interactions are reminiscent of the parametric interactions that have been used for years in the microwave field, there is one significant difference: local nonlinearities, such as exist in junctions, are used in microwaves; in nonlinear optics the interaction takes place in the bulk.

In this chapter we introduce the nonlinearity of the polarization which is responsible for these interactions. To keep the discussion simple, we are at first concerned with the generation process only; what happens to the incident radiation is deferred until later. This is not a physically unrealistic situation, in many cases the amount of radiation generated is very small, and the influence of the interaction on the incident radiation is completely negligible.

Mặc dù những tương tác này làm chúng ta nhớ đến các tương tác tham số đã được sử dụng trong nhiều năm trong trường vi ba, có một sự khác biệt đáng kể: sự phi tuyến cục bộ (chẳng hạn như tồn tại ở các chỗ nối) được áp dụng trong sóng vi ba; trong quang phi tuyến, các tương tác xảy ra trong vật liệu khối.

Trong chương này, chúng tôi giới thiệu tính phi tuyến của độ phân cực gây ra những tương tác này. Để quá trình phân tích đơn giản, trước hết chúng ta chỉ quan tâm đến quá trình hình thành; những quá trình xảy ra đối với bức xạ tới sẽ được phân tích sau. Đây không phải là trường hợp phi thực tế về mặt vật lý, trong nhiều trường hợp lượng bức xạ hình thành rất nhỏ, và ảnh hưởng của tương tác đến trường tới hoàn toàn có thể bỏ qua.

The electrooptic effect, for example, can be seen as a frequency-mixing interaction between the incident radiation and a field caused by an externally applied voltage. This interaction produces a very weak beam,  $90^\circ$  out of phase with the incident radiation, which shows up as a phase shift in the transmitted radiation only because it has the same frequency as the incident beam. However, under ordinary circumstances, the influence of this interaction on the applied voltage is negligible.

Chẳng hạn như hiệu ứng điện quang có thể được xem là tương tác trộn tần số giữa bức xạ tới và trường dưới tác dụng của điện áp bên ngoài. Tương tác này tạo ra một chùm rất yếu, lệch pha  $90^\circ$  với trường tới, trường này dịch pha so với bức xạ truyền qua bởi vì nó có cùng tần số với chùm tới. Tuy nhiên, trong những điều kiện bình thường, tác động của tương tác này đối với điện áp ngoài không đáng kể.

## 2.2 Tính phi tuyến của độ phân cực

Rather than treating the interaction as a modulation of the refractive index, as we did previously, it is more convenient to consider it as a result of the nonlinearity of the polarization. Thus we include nonlinear terms in the polarization and write

$$P = \alpha E(1 + a_1 E + a_2 E^2 + a_3 E^3 + \dots)$$

Thay vì xét tương tác dưới dạng sự thay đổi chiết suất như đã làm trước đây, để thuận tiện, thông thường chúng ta xét dưới như hệ qua của độ phân cực phi tuyến. Vì thế chúng ta đưa các số hạng phi tuyến vào độ phân cực và viết

where  $\alpha$  is the linear polarizability and  $a_1, a_2$ , etc., are nonlinearities of increasingly high order. Again, as in the electrooptic effect, we see immediately that for crystals with a center of symmetry,  $a_1, a_3$ , etc., have to be identically equal to zero, since the symmetry requires that  $a_1 E = -a_1 E$ , etc. Concentrating only on the first nonlinearity (i.e.,  $a_1 E$ ), we can write

$$\mathcal{P} = 2d\mathcal{E}^2 \tag{2.1}$$

Trong đó  $\alpha$  là độ phân cực tuyến tính và  $a_1, a_2$ , v.v.... là bậc phi tuyến tăng dần. Một lần nữa, cũng như trong hiệu ứng điện quang, chúng ta thấy ngay rằng đối với các tinh thể có tâm đối xứng,  $a_1, a_3$ , v.v.... đều bằng không, bởi vì tính chất đối xứng đòi hỏi rằng  $a_1 E = -a_1 E$ , v.v.... Chỉ tập trung vào độ phi tuyến bậc nhất (tức là  $a_1 E$ ) chúng ta có thể viết

where  $\mathcal{P}$  is the nonlinear polarization due to this first nonlinearity only.\*

Now let us suppose that we want to examine the interaction in the crystal of two traveling waves†

$$\mathcal{E}_1(z, t) = \mathcal{E}_1 \cos(\omega_1 t + k_1 z)$$

and

$$\mathcal{E}_2(z, t) = \mathcal{E}_2 \cos(\omega_2 t + k_2 z)$$

To do this we substitute the superposition of these two waves for  $\mathcal{E}$  in equation 2.1. This gives

$$\begin{aligned} \mathcal{P} = & 2d[\mathcal{E}_1^2 \cos^2(\omega_1 t + k_1 z) + \mathcal{E}_2^2 \cos^2(\omega_2 t + k_2 z) \\ & + 2\mathcal{E}_1\mathcal{E}_2 \cos(\omega_1 t + k_1 z) \cos(\omega_2 t + k_2 z)] \end{aligned}$$

Trong đó ....là độ phân cực phi tuyến chỉ do số hạng phi tuyến bậc nhất này.

Bây giờ giả sử chúng ta muốn xét tương tác trong tinh thể của hai sóng

Để làm điều này, chúng ta thế tổng của hai sóng vào phương trình 2.1. Ta được:

By using the elementary trigonometric relations  $\cos^2 \alpha = (1 + \cos 2\alpha)/2$  and  $\cos \alpha \cos \beta = [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]/2$ , we next find that the polarization consists of a number of components with different frequencies; that is,

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{2\omega_1} &= d\mathcal{E}_1^2 \cos[2(\omega_1 t + k_1 z)] \\ \mathcal{P}_{2\omega_2} &= d\mathcal{E}_2^2 \cos[2(\omega_2 t + k_2 z)] \\ \mathcal{P}_{\omega_1+\omega_2} &= 2d\mathcal{E}_1\mathcal{E}_2 \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (k_1 + k_2)z] \\ \mathcal{P}_{\omega_1-\omega_2} &= 2d\mathcal{E}_1\mathcal{E}_2 \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (k_1 - k_2)z] \end{aligned} \quad (2.2)$$

and a steady term

$$\mathcal{P}_{\text{direct}} = d(\mathcal{E}_1^2 + \mathcal{E}_2^2) \quad (2.3)$$

Thông qua các hệ thức lượng giác cơ bản.....và.....tiếp đến chúng ta tìm được độ phân cực bao gồm một số thành phần tần số khác nhau:

Và một số hạng ổn định

Thus we see that the nonlinear polarization contains a steady term, a sum and a difference frequency, and the first overtone of both input frequencies. These overtones are normally called the second harmonics.

Note the factors of 2 in the expressions for the sum and difference frequencies.

Vì thế chúng ta thấy độ phân cực phi tuyến chứa một số hạng ổn định, tần số tổng và tần số hiệu, và thành phần hài bậc hai của cả hai tần số đầu vào. Những thành phần sóng hài này thường được gọi là sóng hài bậc hai.

Chú ý hệ số 2 ở các biểu thức của tần số tổng và tần số hiệu.

In the linear case we found that the polarization wave generated an electromagnetic wave of the same frequency as the incident wave, and that, providing there was no absorption, the fraction of the incident energy that caused the polarization wave was reradiated without any loss. Now we find that the different components of the nonlinear polarization similarly generate electromagnetic waves, but these electromagnetic waves have frequencies different from those of the incident waves. As a result, the fraction of the incident energy used to create the nonlinear polarization can be reradiated at one or more of a number of different frequencies.

Trong trường hợp tuyến tính, chúng ta thấy rằng sóng phân cực tạo ra sóng điện từ có cùng tần số như sóng tới, và khi không có hấp thụ, phần năng lượng ánh sáng tới tái bức xạ mà không có bất kỳ tổn hao nào. Tương tự, lúc này chúng ta thấy rằng các thành phần khác nhau của độ phân cực phi tuyến tạo ra các sóng điện từ, nhưng những sóng điện từ này có tần số khác với tần số của sóng tới. Do đó, phần năng lượng của ánh sáng tới được dùng để tạo ra độ phân cực phi tuyến có thể tái bức xạ ở một hoặc nhiều tần số khác nhau.

To find out which one of these frequencies will be radiated we have to examine the phases of the different waves involved. Again, in the linear case we found that the different radiating dipoles form a phased array of antennas, and that, because of this, they radiate a wave in the forward direction. However, the phase of the radiating dipole at any point in the nonlinear medium is not governed by the phase of a single wave at the same frequency, but by the relative phases at that point of two waves of differing frequencies. Moreover, the electromagnetic wave that is radiated by this dipole has a propagation velocity determined by its own frequency and by the refractive index of the material for that frequency.

Để tìm tần số trong số những tần số này sẽ bức xạ, chúng ta phải kiểm tra pha của các sóng tương ứng. Một lần nữa, trong trường hợp tuyến tính

chúng ta thấy rằng các lưỡng cực bức xạ khác nhau hình thành một mảng ăng ten điều pha, và do quá trình này, chúng bức xạ sóng theo hướng thuận. Tuy nhiên, pha của lưỡng cực bức xạ ở bất kỳ điểm nào trong môi trường phi tuyến không bị chi phối bởi pha của một sóng ở cùng tần số, mà bởi pha tương đối tại điểm hai sóng có tần số khác nhau. Hơn nữa, sóng điện từ bức xạ bởi lưỡng cực này có vận tốc lan truyền được xác định bởi tần số riêng của nó và bởi chiết suất của vật liệu đối với tần số đó.

**In general, because of normal dispersion, this propagation velocity is different from the velocity with which the polarization wave is propagated; the electromagnetic wave radiated by a dipole at one point no longer couples to the energy radiated by a similar dipole at some other point, and destructive interference will occur. In other words, the entire system of radiating dipoles does not necessarily form a correctly phased array of antennas any more, as it did in the linear case. For example, equation 2.2 shows that the sum frequency component of the nonlinear polarization has a propagation constant ( $k_1 + k_2$ ). Generally this propagation constant is not equal to  $k_3 = n_3\omega_3/c$ , the propagation constant at  $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ .**

Nói chung, do tán sắc thường, vận tốc lan truyền này khác với vận tốc lan truyền sóng phân cực; sóng điện từ bức xạ bởi một lưỡng cực tại một điểm không còn liên kết với năng lượng bức xạ của lưỡng cực đó tại một điểm khác, và giao thoa triệt tiêu sẽ xuất hiện. Nói cách khác, toàn bộ hệ lưỡng cực bức xạ không cần phải hình thành mảng ăng ten pha chính xác nữa như trong trường hợp tuyến tính. Chẳng hạn, phương trình 2.2 cho thấy rằng thành phần tần số tổng của độ phân cực phi tuyến có hằng số truyền....Nó chung, hằng số truyền này không bằng.....là hằng số truyền ở tần số....

**A technique, known as phase matching, exists for restoring the proper phasing of the dipole. It involves precise control of the indices at the three frequencies involved in the mixing process, to match the velocities of propagation of the polarization wave and the electromagnetic wave which it radiates. As a rule, it is possible to do this with only one of the frequency components of the polarization wave, and this is the frequency that will be generated efficiently (see Chapter 3).**

Người ta sử dụng kỹ thuật hợp pha để phục hồi pha của lưỡng cực. Quá trình này liên quan đến việc điều khiển chính xác chiết suất ở ba tần số liên quan đến quá trình trộn sóng để làm cho vận tốc lan truyền của sóng phân cực và sóng điện từ mà nó bức xạ phù hợp. Như một quy luật, chúng ta có thể thực hiện quá trình này chỉ với một trong những thành phần tần số của sóng phân cực, và đây là tần số có hiệu suất chuyển đổi lớn (xem Chương 3).



**Before beginning our discussion of the electromagnetic radiation generated by the nonlinear polarization, we first take a closer look at the origin of the nonlinear terms.**

Trước khi bắt đầu phân tích về quá trình hình thành sóng điện từ do độ phân cực phi tuyến, trước hết chúng ta xét kỹ hơn về nguồn gốc của các thuật ngữ phi tuyến.