

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)

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\\_nganh.html](http://www.mientayvn.com/dich_tiang_anh_chuyen_nganh.html)

**'Nonlinear'** optical phenomena are not part of our everyday experience. Their discovery and development were possible only after the invention of the laser.

Các hiện tượng quang phi tuyến không phải là một phần trong kinh nghiệm hàng ngày của chúng ta. Những hiện tượng này chỉ được phát hiện và nghiên cứu từ sau khi phát minh ra laser.

In **optics** we are concerned with the interaction **of** light with matter. At the relatively low light intensities that normally occur in nature, the optical properties **of** materials are quite independent **of** the intensity **of** illumination. If light waves are able to penetrate and pass through a medium, this occurs without any interaction between the waves. These are the optical properties **of** matter that are familiar to us through our visual sense. However, if the illumination is made sufficiently intense, the optical properties begin to depend on the intensity and other characteristics **of** the light. The light waves may then interact with each other as well as with the medium. This is the realm **of nonlinear optics**. The intensities necessary to observe these effects can be obtained by using the output from a coherent light source such as a laser. Such behaviour provides insight into the structure and properties **of** matter. It is also utilised to great effect in **nonlinear**-optical devices and techniques which have important applications in many branches **of** science and engineering.

Quang học nghiên cứu tương tác của ánh sáng với môi trường vật chất. Với các nguồn ánh sáng trong tự nhiên có cường độ tương đối thấp, tính chất quang học của vật liệu không phụ thuộc vào cường độ ánh sáng. Nếu sóng ánh sáng xuyên sâu và đi qua môi trường, chúng sẽ không tương tác với nhau. Tuy nhiên, nếu cường độ ánh sáng mạnh đến một mức độ thích hợp, tính chất quang học bắt đầu phụ thuộc vào cường độ và các đặc tính khác của ánh sáng. Thế thì sóng ánh sáng có thể tương tác với nhau và tương tác với môi trường. Đây là phạm vi nghiên cứu của quang phi tuyến. Ánh sáng có cường độ cần thiết để quan sát những hiệu ứng là chính là các nguồn ánh sáng kết hợp chẳng hạn như laser. Những hiệu ứng này giúp chúng ta hiểu sâu hơn cấu trúc và các tính chất của vật chất. Cũng có thể dùng những hiệu ứng này trong các thiết bị và kỹ thuật quang phi tuyến có những ứng dụng quan trọng trong nhiều ngành khoa học và kỹ thuật.

Another effect **of** light on matter can sometimes be to induce changes in the chemical composition; such 'photochemical' processes lie outside the subject **of** this book.

Một tác động khác của ánh sáng đối với vật chất là thay đổi thành phần hóa học; chẳng hạn như các quá trình “quang hóa” nằm ngoài phạm vi của sách này.

## 1.1 Origins of optical nonlinearity

We now consider in a simple way how nonlinear-optical behaviour might arise. The materials which concern us in optics can be thought of as a collection of charged particles: electrons and ion cores. When an electric field is applied the charges move; the positive charges tend to move in the direction of the field, whilst negative ones move the opposite way. In conductors, some of the charged particles are free to move through the material for as long as the electric field is applied, giving rise to a flow of electric current. In dielectric materials, on the other hand, the charged

### 1.1 Nguồn gốc của sự phi tuyến quang học

Bây giờ chúng ta xét sơ lược về nguồn gốc nảy sinh các đặc tính phi tuyến. Những vật liệu mà chúng ta xét trong quang học có thể được xem là một tập hợp các hạt mang điện: các electron và lõi ion. Dưới tác dụng của điện trường các điện tích sẽ di chuyển; các điện tích dương có khuynh hướng di chuyển theo chiều điện trường, trong khi đó các điện tích âm có khuynh hướng di chuyển ngược chiều điện trường. Trong các vật dẫn, khi có điện trường đặt vào, các điện tích sẽ tự do di chuyển trong vật liệu làm nảy sinh dòng điện. Mặt khác, trong vật liệu điện môi,

particles are bound together, although the bonds do have a certain 'elasticity'. Therefore, the motion of the charges is *transitory* when the field is first applied; they are displaced slightly from their usual positions. This small movement—positive charges in one direction and negative ones in the other—results in a collection of induced electric-dipole moments. In other words, the effect of the field on a dielectric medium is to induce a polarisation.

Các hạt mang điện liên kết với nhau, mặc dù các liên kết có sự “co giãn” nhất định. Do đó, sự di chuyển của các điện tích có tính tạm thời khi trường áp vào lần đầu tiên; chúng bị dịch chuyển khỏi vị trí thông thường. Sự dịch chuyển nhỏ này ( các điện tích dương di chuyển theo chiều điện trường và các điện tích âm di chuyển theo chiều ngược lại) dẫn đến sự hình thành một tập hợp các moment lưỡng cực điện cảm ứng. Nói cách khác, tác động của trường đến môi trường điện môi là gây ra độ phân cực.

A light wave consists of electric and magnetic fields which vary sinusoidally at 'optical' frequencies ( $\sim 10^{13} - 10^{17}$  Hz). The motion of the charged particles in a dielectric medium in response to an optical electric field is therefore oscillatory; they form oscillating dipoles. The effect of the optical magnetic field on the particles is much weaker and we neglect it here. The positively-charged particles—the ion cores—have much greater mass than electrons and so, for high optical frequencies (in the ultraviolet and visible regions of the spectrum), it is the motion of the electrons that is most significant. The response of an electron to the optical electric field is that of a particle in an anharmonic potential well. We can think of this in terms of a simple mechanical analogy. Suppose the electron, of mass  $m$  and charge  $-e$ , is attached to the mother ion by a spring, as shown in Fig. 1.1. For simplicity we consider the case shown where the electric dipoles are all oriented in the same way, in the direction of the field. The position of the electron varies in response to the electric field  $E(t)$  in a manner governed by the equation of motion for an oscillator:

Ánh sáng bao gồm các trường điện và từ biến đổi theo dạng hình sin ở tần số “quang học” ( $\sim 10^{13} - 10^{17} \text{ Hz}$ ). Sự chuyển động của các hạt mang điện trong điện môi dưới tác động của trường điện quang học do đó là dao động; chúng hình thành các lưỡng cực dao động. Tác động của trường từ quang học đến các hạt nhỏ hơn nhiều và vì vậy chúng ta có thể bỏ qua. Các hạt mang điện dương—các lõi ion—có khối lượng lớn hơn nhiều so với các electron và vì vậy, đối với các tần số quang học cao (trong các vùng phổ hồng ngoại và khả kiến), chuyển động của các electron đóng vai trò quan trọng. Đáp ứng của một electron với trường điện quang học là đáp ứng của một hạt trong giếng thế phi điều hòa. Giả sử electron có khối lượng  $m$  và điện tích  $-e$  gắn với ion mẹ qua lò xo (H 1.1). Để đơn giản, chúng ta xét trường hợp các lưỡng cực điện có định hướng giống nhau, theo hướng của trường. Vị trí của electron thay đổi dưới tác động của trường điện  $E(t)$  tuân theo phương trình chuyển động của dao động tử:

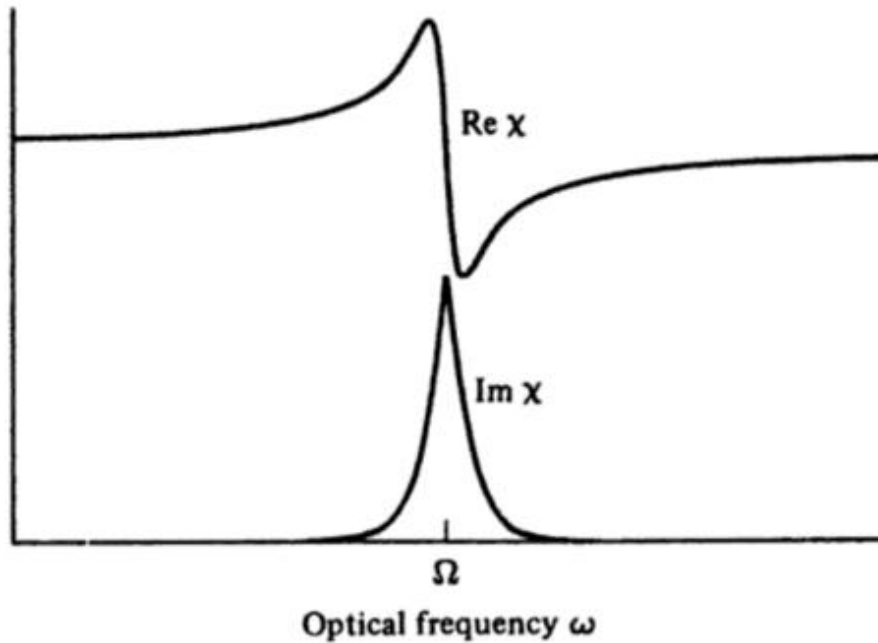


Fig. 1.2 Variation of the real and imaginary parts of the susceptibility  $\chi$  with frequency in the region of a resonant frequency  $\Omega$ .

$$m \left[ \frac{d^2x}{dt^2} + 2\Gamma \frac{dx}{dt} + \Omega^2 x - (\xi^{(2)}x^2 + \xi^{(3)}x^3 + \dots) \right] = -eE(t), \quad (1.1)$$

where  $x$  is the displacement from the mean position,  $\Omega$  is the resonance frequency, and  $\Gamma$  is a damping constant. The term on the right-hand side of (1.1) represents the force exerted on the electron by the applied field which drives the oscillations. We ignore the anharmonic terms  $\xi^{(2)}x^2 + \xi^{(3)}x^3 + \dots$  for the moment, and consider the harmonic response to an applied electric field of the form:

$$E(t) = E_0 \cos(\omega t) = \frac{1}{2}E_0[\exp(-i\omega t) + \exp(i\omega t)], \quad (1.2)$$

where  $\omega$  is the optical frequency. Substituting (1.2) into (1.1) gives a linear equation whose solution is

$$x = \frac{-eE_0}{2m} \frac{\exp(-i\omega t)}{\Omega^2 - 2i\Gamma\omega - \omega^2} + \text{c.c.}, \quad (1.3)$$

Trong đó  $x$  là độ dịch chuyển vị trí trung bình,  $\Omega$  là tần số cộng hưởng, và  $\Gamma$  là hệ số tắt dần. Số hạng ở vế phải của (1.1) biểu diễn lực tác dụng của trường lên electron điều khiển dao động. Chúng ta bỏ qua các số hạng phi điều hòa.....và lúc này, và xếp đáp ứng với trường ngoài có dạng:

Trong đó  $\omega$  là tần số quang học. Thế (1.2) và (1.1) ta được phương trình tuyến tính có nghiệm là

where c.c. denotes the complex conjugate. If there are  $N$  electric dipoles per unit volume, the polarisation induced in the medium is  $P = -Nex$ . We can express this linear dependence of the polarisation  $P$  on the field  $E$  in terms of the susceptibility  $\chi$  as

$$P = \frac{1}{2} \epsilon_0 \chi E_0 \exp(-i\omega t) + \text{c.c.}, \quad (1.4)$$

where

$$\chi = \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m} \frac{1}{\Omega^2 - 2i\Gamma\omega - \omega^2}, \quad (1.5)$$

Trong đó c.c chỉ liên hợp phức. Nếu  $N$  là số lưỡng cực điện trên một đơn vị thể tích. Độ phân cực cảm ứng của môi trường là  $P = -Nex$ . Chúng ta có thể biểu diễn sự phụ thuộc của độ phân cực  $P$  vào trường  $E$  theo độ cảm  $\chi$  là

and  $\epsilon_0$  is the free-space permittivity. The electric dipoles (and the

polarisation) therefore oscillate at the same frequency as the incident optical field. They radiate into the medium and modify the way in which the wave propagates. Since the electric displacement  $D = \epsilon_0 E + P$ , we see that the dielectric constant is  $1 + \chi$  and the refractive index is  $\text{Re}\sqrt{1 + \chi}$ . Losses in the medium are allowed for by the imaginary part of  $\chi$ , which takes into account the component of  $P$  in quadrature with the field. The real and imaginary parts of (1.5) are sketched in Fig. 1.2. These describe the familiar 'linear' optical properties of a medium.

Và  $\epsilon_0$  là hằng số điện môi chân không. Do đó, các lưỡng cực điện (và độ phân cực) dao động với tần số tương tự như tần số của trường quang học tới. Chúng phát xạ vào môi trường và thay đổi quá trình lan truyền sóng. Bởi vì vector cảm ứng điện  $D = \epsilon_0 E + P$ , chúng ta thấy hằng số điện môi là  $1 + \chi$  và chiết suất là  $\text{Re}\sqrt{1 + \chi}$ . Độ tổn hao của môi trường được biểu diễn qua phần ảo của  $\chi$ , xét đến thành phần  $P$  lệch pha  $90^\circ$  so với trường. Phần thực và phần ảo của (1.5) được biểu diễn trong H.1.2. Những đường cong này mô tả tính chất quang học “tuyến tính” quen thuộc của môi trường.

In physics the linear dependence of one physical quantity on another is almost always an approximation, which is valid over only a limited range of values. In our case, the motion of the charged particles in a dielectric medium can be considered to be linear with the applied field only if the displacement  $x$  is small. For larger displacements the restoring force is significantly nonlinear in  $x$ ; in terms of the mechanical analogy, the spring becomes distorted when the extension or compression is large. This nonlinearity is accounted for in (1.1) by including the terms which represent an additional anharmonic restoring force  $m(\xi^{(2)}x^2 + \xi^{(3)}x^3 + \dots)$ , where  $\xi^{(2)}$ ,  $\xi^{(3)}$ , ... are constants. In Fig. 1.3 we show how an anharmonic response gives rise to an induced polarisation which can be considered to be either linear (to a good approximation) or significantly nonlinear, depending on the magnitude of the applied field. Spectral analysis of the polarisation wave in case (b) shows that, in addition to the major component oscillating at the input frequency  $\omega$ , it

Trong vật lý, sự phụ thuộc tuyến tính của một đại lượng vật lý vào một đại lượng khác gần như luôn luôn là một gần đúng, và chỉ có thể áp dụng được trong một khoảng giới hạn. Trong trường hợp đang xét, chuyển động của các hạt mang điện trong môi trường điện môi chỉ có thể xem là phụ thuộc tuyến tính với trường ngoài nếu độ dịch chuyển  $x$  nhỏ. Đối với những độ dịch chuyển lớn, lực phục hồi phi tuyến theo  $x$ ; tương tự như cơ học, lò xo bị biến dạng khi lực kéo hoặc nén quá lớn. Để xét đến đặc tính phi tuyến này, trong (1.1) chúng ta xét đến cả những số hạng biểu diễn lực phục hồi phi điều hòa  $m(\xi^{(2)}x^2 + \xi^{(3)}x^3 + \dots)$ , trong đó  $\xi^{(2)}$ ,  $\xi^{(3)}$  là các hằng số. Trong hình 13, chúng tôi biểu diễn đáp ứng phi điều hòa nảy sinh độ phân cực cảm ứng có thể xem là tuyến tính (gần đúng) hoặc phi tuyến tùy thuộc vào độ lớn của trường ngoài. Phân tích phổ sóng phân cực trong trường hợp (b) chúng ta thấy rằng, cùng với thành phần chính dao động ở tần số  $\omega$ ,

contains significant components oscillating at the harmonic frequencies  $2\omega$ ,  $3\omega$ , ..., and a d.c. component (at zero frequency). This is analogous to the well-known harmonic distortion of signals in an electrical circuit whose response is not perfectly linear. Now, an important fact in electromagnetic theory is that an oscillating electric dipole emits a radiation field at the frequency of oscillation. This is also true of a collection of dipoles. (We made use of this fact in the previous discussion of linear-optical properties.) Therefore the component of the polarisation that oscillates at the second-harmonic frequency  $2\omega$  can radiate a field at  $2\omega$ . This is the process of second-harmonic generation.

Nó còn có các thành phần khác dao động ở các tần số hài  $2\omega, 3\omega, \dots$ , và thành phần một chiều (ở tần số không). Hiện tượng này tương tự như sự méo hài tín hiệu thường gặp trong một mạch điện có đáp ứng không hoàn toàn tuyến tính. Bây giờ, một tính chất quan trọng trong lý thuyết sóng điện từ là lưỡng cực điện dao động phát trường bức xạ ở tần số dao động. Điều này cũng đúng đối với tập hợp các lưỡng cực. (Chúng ta đã sử dụng tính chất này trong phần trước khi phân tích về các tính chất quang học tuyến tính). Do đó, thành phần của độ phân cực dao động ở tần số hài bậc hai  $2\omega$  có thể bức xạ trường  $2\omega$ . Đây là quá trình phát sóng hài bậc hai.

**When the anharmonic terms are included, there is no longer an exact solution for the equation of motion (1.1). However, provided the anharmonic terms are small compared with the harmonic one, we can solve (1.1) to successive orders of approximation by expressing  $x$  as a power series in  $E$ . Equivalently, we can expand the polarisation  $P$  in the form:**

$$P = \epsilon_0 (\chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \dots). \quad (1.6)$$

Khi xét đến các số hạng phi điều hòa, không thể tìm được nghiệm chính xác của phương trình (1.1). Tuy nhiên, nếu các số hạng phi điều hòa nhỏ so với số hạng điều hòa, chúng ta có thể giải (1.1) đến các bậc gần đúng liên tiếp bằng cách biểu diễn  $x$  theo chuỗi lũy thừa của  $E$ . Hoặc tương đương, chúng ta có thể biểu diễn độ phân cực  $P$  dưới dạng:

**Here  $\chi^{(1)}$  denotes the linear susceptibility discussed previously, and the quantities  $\chi^{(2)}, \chi^{(3)}, \dots$  are called the nonlinear susceptibilities of the medium.**

Trong đó  $\chi^{(1)}$  chỉ độ cảm tuyến tính đã đề cập ở trên, và các đại lượng  $\chi^{(2)}, \chi^{(3)}, \dots$  được gọi là các độ cảm phi tuyến của môi trường.



Shortly we shall review some of the many nonlinear-optical phenomena that can occur. First, however, we consider how large the incident optical field must be to allow atoms and molecules to reveal their nonlinear properties. From the above discussion it is apparent that, for significant nonlinearity arising from the anharmonic motion of electrons, we require an incident field which is not entirely negligible in comparison with the internal field  $E_a$  which binds together the electrons and ions; typically  $E_a \sim 3 \times 10^{10} \text{ V m}^{-1}$ . To obtain an optical field of such a magnitude, an incident intensity of  $\sim 10^{14} \text{ W cm}^{-2}$  is required. Intensities of this magnitude can be achieved by focusing the powerful picosecond-duration pulses that are obtainable from mode-locked lasers. However, such high intensities are not in fact necessary for the observation of many nonlinear-optical effects. One reason is that, provided the assembly of induced dipoles oscillates coherently (*i.e.*, with a definite phase relationship between them), the field that they radiate individually can, in certain circumstances, add together constructively to produce a much larger total intensity. In nonlinear optics this condition of constructive interference is known as 'phase matching'. For example, the characteristic length for significant second-harmonic generation under phase-matched conditions is  $L \sim \lambda E_a / E$ , where  $E$  is the incident optical field and  $\lambda$  is its wavelength.

Ngay sau đây, chúng ta sẽ điếm lại một số hiện tượng quang phi tuyến có thể xảy ra. Tuy nhiên, trước hết chúng ta xét trường quang học tới phải có độ lớn như thế nào để các nguyên tử và phân tử thể hiện các tính chất quang phi tuyến. Từ phân tích ở trên, rõ ràng chúng ta thấy rằng, để mức độ phi tuyến nảy sinh từ chuyển động phi điều hòa của các electron lớn, trường tới phải vào khoảng trường nội nguyên tử  $E_a$  (trường liên kết các electron và ion với nhau); điển hình khoảng  $E_a \sim 3 \times 10^{10} \text{ V m}^{-1}$ . Trường quang học có độ lớn như thế tương ứng với cường độ tới  $\sim 10^{14} \text{ W cm}^{-2}$ . Để đạt được cường độ có độ lớn như thế chúng ta có thể hội tụ các xung laser pico giây mạnh từ các laser khóa mode. Tuy nhiên, để kích thích nhiều hiệu ứng quang phi tuyến chúng ta không cần các cường độ cao như thế. Bởi vì, khi tập hợp các lưỡng cực cảm ứng dao động kết hợp (tức là mỗi quan hệ pha giữa chúng xác định), trường do từng phân tử bức xạ ra, trong một số trường hợp nhất định có thể tăng cường lẫn nhau để hình thành tổng cường độ lớn hơn nhiều. Trong quang phi tuyến, điều kiện giao thoa tăng cường này được gọi là "hợp pha". Chẳng hạn, chiều dài đặc trưng để hiệu suất phát sóng hài bậc hai lớn trong các điều kiện hợp pha là  $L \sim \lambda E_a / E$ , trong đó  $E$  là trường quang học tới và  $\lambda$  là bước sóng của nó.