

Chapter one

Phonons and lattice vibrations

The thermal, Optical and Electrical properties of the solid materials depend on lattice vibration . In this chapter we will take into account the lattice vibrations and their influence between atoms.

In any crystal every atom move with a simple harmonic motion without transferring from its position to another one in the crystal . this motion is called The force which give the simple harmonic motion is called the elastic force which know from Hook's law: $F = -kx$, and we know that:

$$F = m \ddot{x}$$

$$m \ddot{x} = -kx$$

Note : all the bonds or forces between atoms are electrical forces which work to put the atom or molecule in equilibrium state .

لأبد لنا ان نتعرف على الفرق بين مفهوم الفوتون ومفهوم الفونون:

الفوتون : هو شبه دقيقة (جسيم) كتلته الساكنة صفر وشحنته صفر وطاقته $h\nu$ وزخمه $h\vec{k}$ وان زخم الفوتون على الرغم من صغره فهو زخم حقيقي يظهر في تفاعلات الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المواد

الفونون : ان الازاحات الدورية عن مواضع الاتزان (موجات مرنة) يمكن وصف خصائصها بدلالة جسيم (دقيقة) تعد وحدة طاقة مكاملة (طاقة محددة) لاهتزاز ذرات البلورة تسمى بالفونون

يمتلك الفونون طاقة محددة ونسبة الزخم ويقصد بنسبة الزخم هي عندما تكون الكمية الاتجاهية صغيرة جدا فيطلق عليها نسبة الزخم .

$$V_g = \text{group velocity} = \frac{\varepsilon}{\partial \rho} = \frac{\partial \omega}{\partial k}$$

يمتلك الفونون ايضا سرعة مجموعة

$$v = \text{plase velocity} = \frac{\omega}{k} \quad \text{وسرعة الطور} \quad v = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{والتردد}$$

وفضلا فإن الفونون يخضع لقوانين حفظ الزخم و الطاقة وإن جميع الافكار المطبقة على الفونون كأزواج صفة الموجة وصفة الدقيقة وتكميمه الفوتون يمكن تطبيقها على الفونون

ان اهم الدلائل التي من خلالها نستدل على اهتزاز البلورة هي :

1. السعة الحرارية
2. التوصيل الحراري
3. الاستطارة غير المرنة للنيوترونات

Inelastic scattering of photon by phonons :

ن التشنت المرئي لفوتونات الاشعة السينية بواسطة البلورة يخضع لقانون حفظ متجه الموجة :

$$\bar{K} = K + G$$

حيث ان : G هو متجه الشبكة المقلوبة

K هو متجه موجة الفوتون الساقط

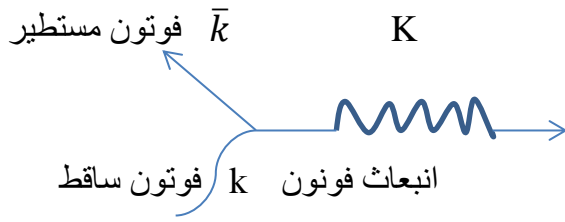
\bar{K} متجه موجة الفوتون المستطير

اذا كان تشنت الفوتون غير المرن مما يسبب انبعث او امتصاص فونون ذو متجه موجة \bar{K}

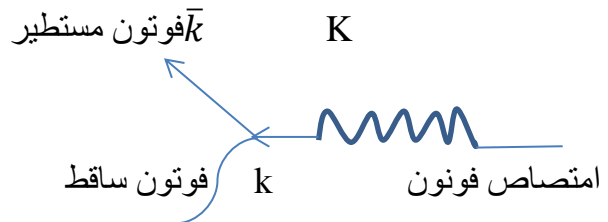
$$\bar{k} + k = G \pm K \quad \text{or} \quad \bar{k} + K = k + G \quad \text{انبعاث}$$

$$\bar{k} = k + K + G \quad \text{امتصاص}$$

ان الاشارة الموجبة تدل على تولد او انبعث فونون اما الاشارة السالبة فتدل على امتصاص فونون



creation of phonon



Absorbed of Phonon

عند التقاء الفوتون بالفونون (موجة صوتية) المنتشرة في البلورة فسوف يستطير الفوتون بواسطة الفونون وهذا التفاعل يحدث بسبب ان مجال الاجهاد المرن للموجة الصوتية يغير التركيز الموضعي لذرات البلورة ومن ثم يغير معامل الانكسار n وعلى هذا الاساس تغير الموجة الصوتية من الصفات الضوئية للوسط المادي والعكس صحيح. حيث ان المجال الكهربائي للفوتون الساقط على البلورة يولد اجهاداً ميكانيكياً دورياً داخل البلورة مما يسبب تغير الصفات المرنة للبلورة وفي مثل هكذا تفاعل يمكن للفوتون ان يولد او يمتص فونون وبذلك يتغير متجه موجة الفوتون من k الى k' وتردده الزاوي من ω الى ω' ان هذا التغير في قيمة واتجه متجه الموجة للفوتون وكذلك طاقته هو السبب في اعتبار عملية التفاعل على هذه هي استطارة غير مرنة.

ان تشتت الفوتون في توليد او امتصاص فونونات صوتيه يعرف بتشتت بريليون.

ان طاقة التغير في طاقة الفوتون يكون صغيراً جداً في تشتت بريليون بسبب الفرق الكبير بين سرعة الموجة الصوتية في البلورة V_s وسرعة الفوتون او الموجة الكهرومغناطيسية c (سرعة الضوء).

لإيجاد علاقة تقريبية لتردد فونونات متولدة في بلورة عند استطارة فوتونات استطارة غير مرنة عند زاوية θ بالنسبة لاتجاه السقوط.

نفرض انه نتيجة استطارة فوتون فسوف يتولد فونون متجه موجته K وتردده الزاوي ω . فعند تطبيق قانون حفظ الطاقة وقانون حفظ متجه الموجة او حفظ الزخم فنحصل على العلاقة (1) و(2):

$$\hbar\omega = \hbar\omega' + \hbar\omega_K \quad (1)$$

$$\hbar k = \hbar k' + \hbar K \quad (2)$$

في المعادلة (2) حذفنا المتجه G للسهولة اي اهملنا احتمالية حدوث استطارة مرنة ترافق عملية الاستطارة غير المرنة

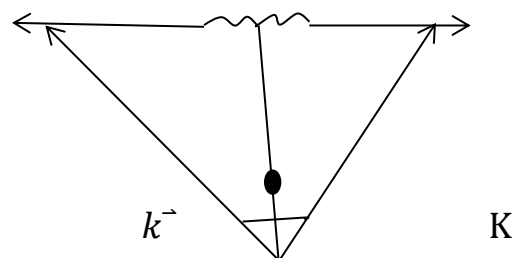
$$\omega_o = K v_s \quad (3)$$

$$\omega = kc \quad (4)$$

$$c \gg v_s \Rightarrow Kc \gg Kvs \text{ or } k \gg K$$

$$\text{from eq(1): } \omega \gg \omega_o \Rightarrow \omega = \omega' \Rightarrow k = k'$$

ومن الشكل الاتي نستطيع ان نجد قيمة K :
 ω_o



ω photon scattered

incident photon ω

$$K = 2k \sin \frac{\theta}{2} \quad (5)$$

$$n = \frac{c}{v_s} = \frac{c}{\frac{\omega}{K}} \quad (6)$$

ان معادلة (6) تشير الى معامل انكسار البلورة وهو النسبة بين سرعة الفوتون في الفراغ الى سرعته في البلورة.

$$k = \omega n c^{-1}$$