

ЧАСТОТНО-УГЛОВОЙ СПЕКТР ГИПЕРКОМБИНАЦИОННОГО РАСSEЯНИЯ СВЕТА НА ПОЛЯРИТОНАХ

Ю. Н. Поливанов, Р. Ш. Саяхов

• УДК 535.361

Представлен анализ некоторых вариантов частотно-угловых спектров гиперкомбинационного рассеяния света на фоновых и экситонных поляритонах.

В настоящее время комбинационное рассеяние света на поляритонах (КРП) становится эффективным методом спектроскопии твердого тела /1/. Однако этот метод применим лишь для кристаллов без центра симметрии. В связи с этим интересным представляется гиперкомбинационное рассеяние света на поляритонах (ГКРП), которое возможно также и в средах с центром симметрии. Экспериментальное наблюдение четырехфотонного рассеяния /2/ и гиперкомбинационного рассеяния света на оптических фононах /3/ свидетельствует о том, что современный уровень экспериментальной техники позволяет наблюдать также и ГКРП.

Настоящая работа посвящена анализу частотно-угловых спектров ГКРП (т.е. зависимости частоты рассеянного света ω_s от угла рассеяния φ или направления распространения возбуждающего излучения в анизотропном кристалле).

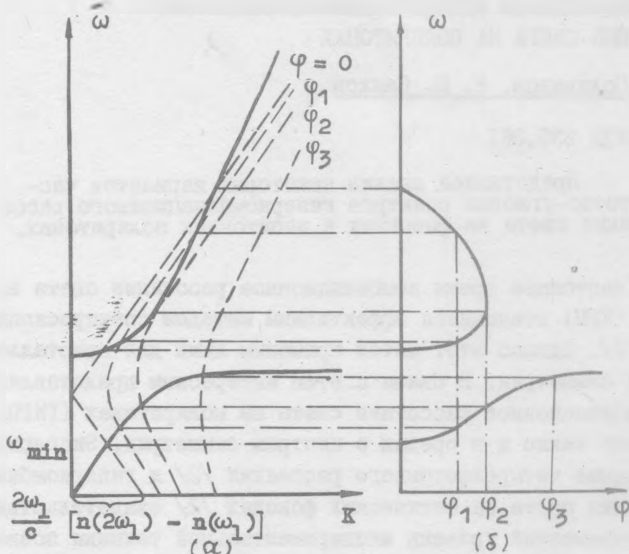
Законы сохранения энергии и импульса для элементарного акта ГКРП можно представить в виде

$$\begin{aligned} 2\omega_1 &= \omega_s + \omega, \\ 2\vec{k}_1 &= \vec{k}_s + \vec{k}, \end{aligned} \quad (I)$$

где \vec{k}_1 , \vec{k}_s , \vec{k} и ω_1 , ω_s , ω — волновые вектора и частоты возбуждающего и рассеянного излучения и поляритонов соответственно. Из законов сохранения (I) непосредственно следует уравнение, определяющее частотно-угловые спектры рассеяния ГКРП:

$$k^2 = (2k_k - k_s)^2 + 8k_s k_1 \sin^2 \varphi / 2, \quad (2)$$

где φ - угол между волновыми векторами \vec{k}_1 и \vec{k}_2 . Графическое решение уравнения (2) для случая двухатомного кубического кристалла представлено на рис. 1, из которого, в частности, видно,



Р и с. 1. Иллюстрация графического метода определения частотно-углового спектра ГКРП для кубического двухатомного кристалла:
 а) сплошные кривые - дисперсия поляритонов; пунктирные кривые - графики функции, описываемой правой частью уравнения (2);
 б) частотно-угловой спектр

что ГКРП невозможно на поляритонах низкочастотного участка нижней дисперсионной ветви. Минимальная частота ω_{\min} поляритонов, участвующих в ГКРП, согласно (1) и (2), определяется выражением

$$\omega_{\min} = 2\omega_1 [n(2\omega_1) - n(\omega_1)] / |n(2\omega_1) + 2\omega_1 \left(\frac{\partial n}{\partial \omega} \right)_{2\omega_1} - \sqrt{\epsilon_0}|, \quad (3)$$

где $n(\omega)$ - показатель преломления на частоте ω , ϵ_0 - статическая диэлектрическая проницаемость. Из рис. 1 также видно, что в ГКРП возможно наблюдение поляритонов верхней дисперсионной вет-

ви. Заметим, что наблюдение поляритонов верхней ветви в кубических (нецентросимметричных) кристаллах с помощью КРП невозможно, поэтому ГКРП может дать дополнительную информацию и при исследовании кристаллов без центра симметрии.

Характерной особенностью одноосных кристаллов является расщепление поляритонных ветвей на две, которые отвечают обыкновенным (о) и необыкновенным (е) поляритонам. Кроме этого, различные комбинации поляризаций возбуждающего и рассеянного излучения приводят к сравнительно большому числу вариантов частотно-угловых спектров. Ниже мы рассмотрим лишь один из наиболее интересных на наш взгляд вариантов, который, в частности, может быть реализован для кристалла кальцита.

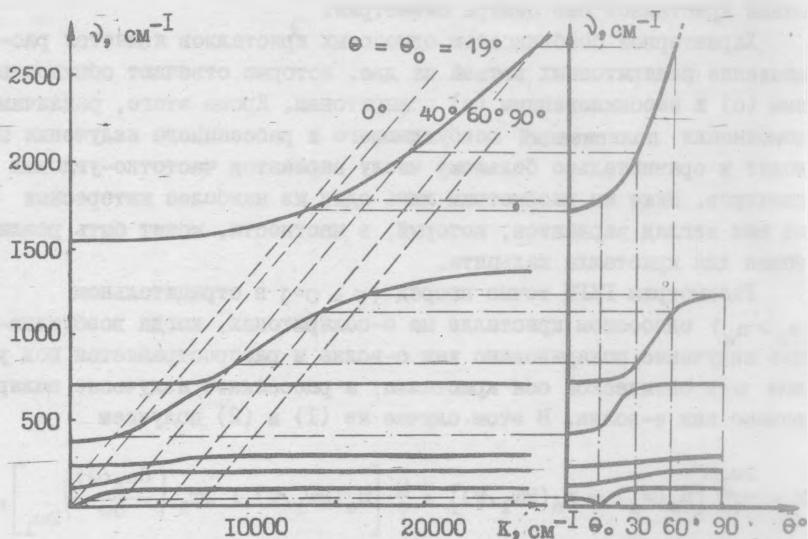
Рассмотрим ГКРП точно вперед ($\varphi = 0^\circ$) в отрицательном ($n_o > n_e$) одноосном кристалле на о-поляртонах, когда возбуждающее излучение поляризовано как о-волна и распространяется под углом θ к оптической оси кристалла, а рассеянное излучение поляризовано как е-волна. В этом случае из (1) и (2) получаем

$$k = \frac{2\omega_1}{c} [n_o(\omega_1) - n_e(2\omega_1, \theta)] + \frac{\omega}{c} \left[n_e(2\omega_1, \theta) + 2\omega_1 \left(\frac{\partial n_e(\theta)}{\partial \omega} \right)_{2\omega_1} \right], \quad (4)$$

где $n_e(\theta) = n_o n_e (n_o^2 \sin^2 \theta + n_e^2 \cos^2 \theta)^{-1/2}$. Графическое решение уравнения (4) при различных значениях θ для кристалла кальцита представлено на рис. 2. Параметры кальцита, необходимые для расчета, взяты из /4/. Интересной особенностью рассматриваемого варианта является возможность наблюдения всей нижней дисперсионной ветви (по методу наблюдения под малыми углами), которая реализуется при $\theta = \theta_0$. Причем значение θ_0 определяется, согласно (4), из условия $n_o(\omega_1) - n_e(2\omega_1, \theta) = 0$, которое может быть реализовано лишь в кристаллах с достаточно большим двулучепреломлением, т.е. у которых $n_o(\omega_1) \gg n_e(2\omega_1)$.

Еще одной интересной особенностью ГКР является возможность наблюдения экситонных поляритонов. При этом наиболее удобно, по-видимому, использовать возбуждающее излучение, частота ω_1 которого несколько меньше частоты экситона ω_{ex} , т.е. $\omega_{ex} - \omega_1 \ll \omega_1$. Тогда, как это следует из (1) и (2), в случае кубических кристал-

лов, например, с помощью ГКРП можно исследовать дисперсию экситонных поляритонов в области значений волновых векторов поляритонов от $k = k_1$ (при $\varphi = 0^\circ$) до $k \approx 3k_1$ (при $\varphi = 180^\circ$). Следует



Р и с. 2. Частотно-угловой спектр ГКРП для кристалла кальцита ($\nu = \omega/2\pi c$)

отметить, что экситонные поляритоны не удается наблюдать с помощью КР, так как возбуждающее излучение в этом случае попадает в область сильного поглощения кристалла. В рассмотренном же случае ГКР как возбуждающее, так и рассеянное излучение попадают в области прозрачности, и поэтому ГКР является более реальным методом для исследования экситонных поляритонов.

Таким образом, результаты рассмотрения некоторых вариантов частотно-угловых спектров ГКРП показывают, что с помощью ГКР можно исследовать энергетический спектр как фононных, так и экситонных поляритонов. Кроме этого, метод интересен не только тем, что позволяет исследовать фононные поляритоны в центросимметричных кристаллах, но и тем, что в силу особенностей частотно-угловых спектров позволяет также исследовать дисперсию поляритонов верх-

ней ветви в кубических кристаллах (как центросимметричных, так и нецентросимметричных), что делает этот метод полезным дополнением к КРП.

Поступила в редакцию
17 ноября 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. R. Claus, L. Merten, J. Brandmuler, Light Scattering by Photon-Polaritons, Springer tracts in modern physics, Springer-Verlag, 1975.
2. J. G. Meadors, W. T. Kavage, E. K. Damon, Appl. Phys. Lett., 14, 11 (1969).
3. C. M. Savage, P. D. Maker, Appl. Optics, 10, 965 (1971); H. Vogt, G. Neumann, Opt. Commun., 19, 108 (1976).
4. K. H. Hellwege, W. Lesch, M. Plihal, G. Schaack, Z. Physik, 232, 61 (1970).