

С 3426
Б-269

3/III-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2185



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.Г. Барышевский, В.Л. Любошиц, М.И. Подгорецкий

СПОНТАННЫЕ ПЕРЕХОДЫ
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ СВЕТА
ЧЕРЕЗ АНИЗОТРОПНЫЕ СРЕДЫ

ж.ЭТФ, 1965, т.49, в.5, с.1556-57

1965

P-2195

В.Г. Барышевский, В.Л. Любошиц, М.И. Подгорецкий

СПОНТАННЫЕ ПЕРЕХОДЫ
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ СВЕТА
ЧЕРЕЗ АНИЗОТРОПНЫЕ СРЕДЫ

Направлено в ЖЭТФ



3388/2 ч.

В анизотропной среде различным поляризациям света соответствуют различные показатели преломления. Это равносильно наличию разности энергий ΔE между двумя состояниями поляризации при одной и той же длине волны^{/1/}. Как было показано в работе^{/1/}, это обстоятельство приводит к тому, что под действием высокочастотного электрического или магнитного поля поляризация света, проходящего через анизотропную среду, может испытывать резонансные изменения, сопровождающиеся изменением частоты при фиксированной длине волны. При этом имеет место поглощение или вынужденное испускание фотонов соответствующей энергии. В связи с известным соотношением Эйнштейна отсюда следует, что должно существовать и спонтанное излучение фотонов, связанное с самопроизвольным изменением поляризации света в анизотропной среде^{/1/}.

Для определения вероятности спонтанного перехода нужно найти оператор взаимодействия проходящего света со средой, находящейся в электрическом и магнитном полях. Величина, играющая роль взаимодействия со средой, имеет вид^{/1/}

$$V_{ik} = \frac{1}{\hbar} \frac{\omega}{n_0} \left(\frac{b \epsilon_{ikl} H_l}{2n_0} + a \frac{E_i E_k}{2n_0} \right), \quad (1)$$

где ϵ_{ikl} - антисимметричный тензор третьего ранга, H и E - напряженности полей, n_0 - изотропная часть показателя преломления, а величины a и b связаны с константами Керн a и Верде.

По аналогии с обычной теорией излучения взаимодействие (1) должно привести к спонтанным электромагнитным переходам. Ясно при этом, что в отсутствие внешних полей первый член связан с излучением одного фотона, второй - с излучением двух фотонов^{х)}.

Пусть свет проходит через двоякопреломляющий кристалл в направлении, перпендикулярном оптической оси. Переходя к вторичному квантованию, нетрудно записать для матричного элемента следующее выражение

$$M = \frac{2\pi R_C}{n_0} \left(\vec{n} \left[\frac{\vec{k}}{k} \times \vec{e} \right] \right) \sqrt{\frac{2\pi\hbar\omega}{v}} \delta(\Omega - \omega), \quad (2)$$

где $R = \frac{\omega b}{2cn_0}$ - постоянная Верде^{/2/}, $\vec{n} = [\vec{e}_1 \times \vec{e}_2]$, ω - частота падающего света, \vec{e}_1 и \vec{e}_2 - векторы поляризации обыкновенного и необыкновенного лучей, \vec{e} - вектор

х) При наложении внешнего электрического поля второй член выражения (1) может привести также к однофотонным переходам.

поляризации излучаемого фотона, \vec{k} - его волновой вектор, $\Omega = \frac{\Delta E}{\hbar} = \frac{\omega \Delta n}{n_0}$, V - нормировочный объем, c - скорость света в вакууме.

Отсюда видно, что угловое распределение определяется величиной $\sin^2 \theta$, где θ - угол между направлением падения первичного пучка и импульсом излученного фотона.

С помощью (2) для полной вероятности излучения в единицу времени получаем выражение

$$P = \frac{4}{3} \frac{\hbar \Omega^3}{c} \left(\frac{R}{n_0} \right)^2. \quad (3)$$

Интенсивность излучения фотонов при спонтанном изменении поляризации

$$J(\Omega) = J(\omega) P \frac{\ell n_0}{c} \frac{\Omega}{\omega}, \quad (4)$$

где ℓ - длина образца, $J(\omega)$ - интенсивность падающего света.

Полученные соотношения справедливы при условии $\frac{\ell \Omega}{c} \gg 1$. Если это условие не выполнено, излучаемые фотоны не являются монохроматическими. Распределение по частоте ω' имеет вид:

$$dP_{\omega'} = \frac{8}{3} \hbar \omega'^3 \left(\frac{R}{n_0} \right)^2 \frac{\sin^2 n_0 \ell \left(\frac{\omega' - \Omega}{2c} \right)}{\pi n_0 \ell (\omega' - \Omega)^2} d\omega'. \quad (5)$$

При этом полная вероятность переходов по-прежнему описывается формулой (3).

Отношение $\frac{J(\Omega)}{J(\omega)}$, вообще говоря, очень мало. Однако есть надежда, что спонтанное излучение указанного типа можно обнаружить экспериментально, если использовать световые пучки, образованные лазерами.

При $\Omega = 10^{14} \text{ сек}^{-1}$, что для видимого света соответствует $\Delta n = 0,1$, $R = 10 \frac{\text{рад}}{\text{см.гаусс}}$ (такими параметрами обладает, например, гваякол $C_6H_4(OCH_3)OH$) и $\ell = 10 \text{ см}$ отношение интенсивностей

$$\frac{J(\Omega)}{J(\omega)} = 10^{-15} - 10^{-16}.$$

Аналогичные переходы имеют место и при искусственной анизотропии, которая может быть создана при помощи постоянного электрического или магнитного поля. Величина расщепления в этом случае существенно меньше и частота электромагнитного излучения лежит в радиодиапазоне. Вследствие малости расщепления интенсивность эффекта очень мала.

Л и т е р а т у р а

1. В.Г.Барышевский, В.Л.Любошиц, М.И.Подгорецкий. Ядерная физика, 1, 27 (1985).
2. М.В.Волькенштейн. Молекулярная оптика. ГИТТЛ, 1951 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 мая 1985 г.