

РАСЩЕПЛЕНИЕ ПУЧКА ПРИ ПОЛНОМ ОТРАЖЕНИИ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ОГРАНИЧЕННОСТЬЮ СРЕДЫ

Н.Н.Пуныко, В.В.Филиппов

Сообщается об экспериментальном наблюдении двулучеотражения – расщепления падающего в условиях полного отражения пучка на два пучка эллиптической поляризации.

В работе ¹ обсуждались эффекты, связанные с отличием группы симметрии ограниченно-кристалла от его точечной группы симметрии, в частности, поверхностная анизотропия, макроскопическое проявление которой находится на грани возможностей экспериментального обнаружения. Поскольку перпендикуляр к границе является выделенным направлением, то при наклонном падении волны возможно появление анизотропных эффектов, не связанных с поверхностным изменением структуры кристалла, а обусловленных только ограниченностью среды. Ниже приводятся результаты прямого экспериментального наблюдения эффекта двулучеотражения – расщепления электромагнитного пучка при отражении в условиях полного отражения (ПО) от границы изотропных сред на два пучка эллиптической поляризации, смещенных симметрично относительно плоскости падения.

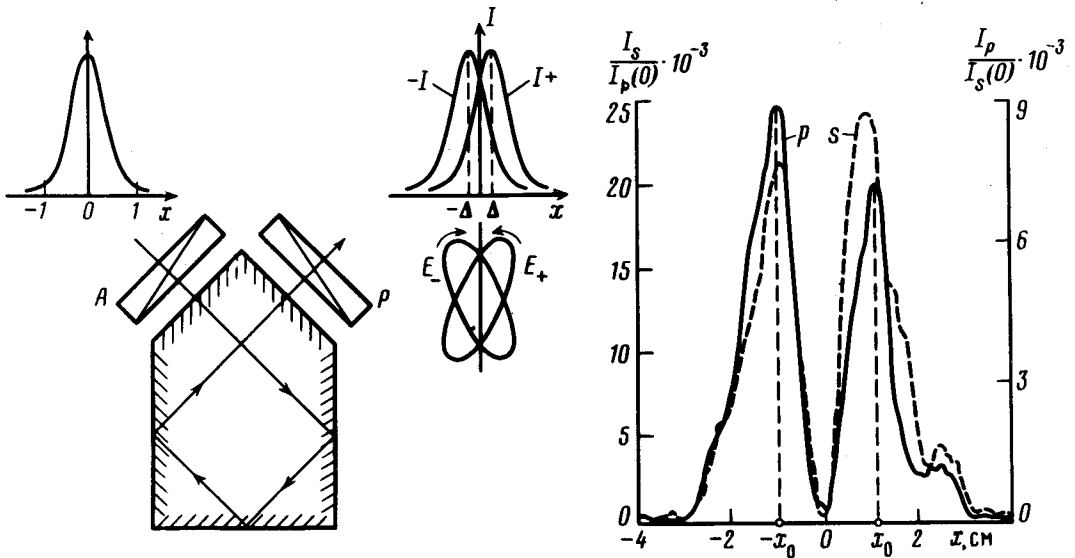
Эксперимент был поставлен на квазиоптической установке в миллиметровом диапазоне длин волн. Падающий под углом 45° линейно поляризованный в плоскости падения (p) или перпендикулярно ей (s) пучок с распределением интенсивности близким к гауссовому испытывал тоекратное ПО на боковых границах фторопластовой призмы с показателем преломления $n = 1,432$ (рисунк *а*). Поляризатором и анализатором служили металлические решетки, обеспечивающие степень линейности поляризации пучка $\sim 10^{-4}$. Исследовалось распределение интенсивности отраженного пучка в направлении, перпендикулярном плоскости падения (ось x). Приемником служил кристаллический детектор, помещенный в металлический волновод сечением $1,6 \times 0,8$ мм². В отраженном пучке при скрещенных поляризаторе и анализаторе вместо полного гашения наблюдались хорошо разрешаемые всплески, расположенные симметрично относительно плоскости падения (рисунк *б*). Для пучка

p-поляризации величина максимума всплесков почти в 4 раза больше, чем для *s*-поляризации. Изменение формы профиля падающего пучка (за счет изменения расходимости) не влияло на характер наблюдаемой картины. В параллельных поляризаторе и анализаторе всплески исчезали.

Обнаруженные особенности прямо указывают на наличие двух отраженных пучков эллиптической поляризации, распространяющихся параллельно друг другу¹⁾. В каждом из пучков описываемые векторами поля эллипсы одинаковы, расположены симметрично относительно плоскости падения, а направления обхода в них противоположны. Расчет распределения интенсивности по оси *x* суммы двух гауссовых пучков, смещенных на $\pm \Delta$ относительно плоскости падения, векторы электрического поля которых представим в виде $E_{\pm} = (E_s \pm ikE_p) \exp[-(x \pm \Delta)^2 / 2a^2]$ (*a* – полуширина пучков по интенсивности, *k* – параметр, характеризующий поляризацию) дает в случае *p*-поляризации падающего пучка

$$\frac{I_s(x)}{I_p(0)} = |\kappa|^2 \text{sh}^2 \frac{x\Delta}{a^2} \exp\left(-\frac{x^2}{a^2}\right), \quad (1)$$

где $I_p(0)$ – интенсивность *p*-компоненты отраженного пучка в плоскости падения. Для *s*-поляризации интересующее нас отношение $I_p(x) / I_s(0)$ отличается от (1) множителем $|\kappa|^{-4}$. Полученными выражениями описываются кривые рисунка б; подставляя в них экспериментально измеренные значения величин $x_0, I_s(x_0) / I_p(0), I_p(x_0) / I_s(0)$ (см. рисунок б), и *a* (в эксперименте $a = 9$ мм), находим значение $|\kappa|^2 = 2$ и величину расщепления $2\Delta = 1,1\lambda$ (λ – длина волны в призме).



a – Схема эксперимента; *б* – распределение интенсивности по оси *x* при скрещенных поляризаторе и анализаторе

Физическая причина обнаруженного расщепления пучка связана с появлением на границе в условиях ПО неоднородной волны. Поле такой волны имеет составляющую импульса, перпендикулярную плоскости падения, а отраженный пучок должен испытывать боковое смещение². Величину его можно оценить из соображений, основанных на законе сохранения

1) Вклад дифракционного расплывания в появление дополнительной составляющей поляризации, отсутствующей в первоначальном пучке, почти на два порядка меньше наблюдаемого эффекта.

ния энергии³. Для право (+) и лево (-) — циркулярно поляризованных составляющих неоднородной волны боковое смещение экстремально. Соответствующие им поляризации отраженной волны с параметрами эллиптичности $\kappa = \kappa_{\pm}$ находятся из формул Френеля. После простых вычислений получаем (ϕ — угол падения).

$$\Delta_{\pm} = \pm \frac{\lambda}{\pi} \frac{2n^3 \operatorname{ctg} \phi}{n^4 - 1}, \quad (2)$$

$$\kappa_{\pm} = \pm \frac{n(2n^2 \sin^2 \phi - 1)^{1/2}}{n^2 \sin^2 \phi + i(n^2 \sin^2 \phi - 1)^{1/2}},$$

откуда для критического угла ПО следует $\Delta_{\pm} = \pm 0,6\lambda$, $|\kappa_{\pm}|^2 = n^2 = 2,05$, что хорошо согласуется с полученными выше экспериментальными значениями этих величин.

В дополнительных экспериментах плоскость поляризации в падающем пучке составляла угол с плоскостью падения. При этом наблюдалось перераспределение интенсивности по боковым всплескам без изменения величины расщепления 2Δ . Таким образом, при ПО поле неоднородной волны расщепляется в две собственные циркулярные поляризации (аналогично круговому двулучепреломлению), а отраженной — в две собственные эллиптические поляризации с параметрами κ_{+} и κ_{-} , зависящими от относительного показателя преломления n и угла падения ϕ . С каждой из циркулярных поляризаций связано боковое смещение в ту или другую сторону относительно плоскости падения, приводящее к обнаруженному расщеплению отраженного пучка²⁾.

Литература

1. Леванюк А.И., Гладкий В.В. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 651.
2. Федоров Ф.И. ДАН СССР, 1955, 105, 465; Труды Института физики и математики АН БССР, 1956, 1, 11.
3. Кристофель Н.Н. Уч. зап. Тартусского университета, 1956, № 42, 95.

Белорусский политехнический институт

Институт физики
Академии наук Белорусской ССР

Поступила в редакцию
20 апреля 1983 г.

После переработки
2 сентября 1983 г.

²⁾ Отметим, что ранее подчеркивалась особая, выделенная роль циркулярной поляризации неоднородной волны в отношении поведения векторов поля и вектора плотности потока энергии со временем².