

ПОЛЯРИСКОП

Н. Б. Баранова, Б. Я. Зельдович

УДК 535.511

Обсуждается возможность создания устройства, позволяющего визуально или фотографически определить состояние произвольной эллиптической поляризации света. Устройство не содержит движущихся элементов типа компенсаторов и поэтому применимо для анализа поляризации сколь угодно коротких импульсов света.

Для описания состояния поляризации излучения (интегральных характеристик — для импульсного или средних по времени характеристик — для непрерывного) обычно используются 4 параметра Стокса. Из них нулевой параметр  $I_0$  характеризует полную энергию или интенсивность, а три остальных параметра после деления на нулевой образуют так называемый приведенный вектор Стокса  $\xi = (\xi_1, \xi_2, \xi_3)$  из некоторого формально вводимого трехмерного пространства (пространства Пуанкаре). Модуль этого вектора

$$P = \sqrt{\xi^2} = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2} \quad (1)$$

дает степень поляризации  $P$ , которая в общем случае частично поляризованного излучения меньше единицы и обращается в единицу только для полностью поляризованного излучения. Формальное определение этих параметров таково. Если знаком  $\langle \rangle$  обозначить интегрирование за время импульса (или, для непрерывного излучения — усреднение по времени), и направление распространения выбрать вдоль оси  $z$ , то матрица корреляции, составленная из комплексных амплитуд  $E_x, E_y$ , равна

$$\begin{pmatrix} \langle E_x^* E_x \rangle & \langle E_x^* E_y \rangle \\ \langle E_y^* E_x \rangle & \langle E_y^* E_y \rangle \end{pmatrix} = \\ = \frac{1}{2} I_0 \left[ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + \xi_1 \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} + \xi_2 \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} + \xi_3 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \right]. \quad (2)$$

Как известно, для определения четырех параметров  $I_0$ ,  $\xi_1$ ,  $\xi_2$ ,  $\xi_3$  достаточно результатов четырех измерений, например, следующих: полной энергии  $V_0$ ; энергии  $V_1$ , пропущенной поляризатором под углом  $45^\circ$  к осям  $x$  и  $y$ ; энергии  $V_2$ , пропущенной правым круговым поляризатором, и энергии  $V_3$ , пропущенной поляризатором вдоль оси  $x$ :

$$\begin{aligned} V_0 &= I_0, \quad V_1 = 0,5 I_0(1 + \xi_1), \quad V_2 = 0,5 I_0(1 + \xi_2), \\ V_3 &= 0,5 I_0(1 + \xi_3). \end{aligned} \quad (3)$$

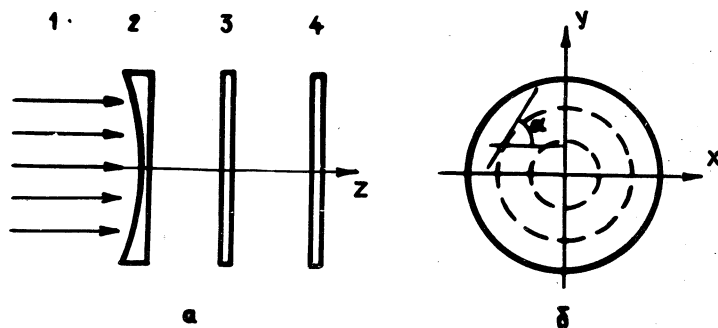
Нахождение состояния поляризации (вектора  $\xi$ ) требует решения системы (3), однако из-за необходимости проведения вычислений (в особенности нелинейной операции - деления на  $V_0$ ) этот метод теряет в наглядности, а в случае фотографической регистрации - и в точности.

В настоящем сообщении обсуждается возможность создания чисто оптического устройства (без вычислительных элементов), позволяющего непосредственно регистрировать ориентацию вектора Стокса  $\xi$ . С этой целью представим себе (см. рис. 1) плоский поляризатор 3, лежащий в плоскости  $(x, y)$  и пропускающий свет с электрическим вектором вдоль  $x$ . Пусть коллимированный световой пучок  $I$ , распространяющийся от источника к прибору в направлении оси  $z$ , перед попаданием на поляризатор проходит через тонкий слой двуупреомляющего вещества 2. Предположим также, что ось двуупреомления лежит в плоскости  $x, y$ , а угол  $\alpha$ , составляемый осью с направлением  $x$  (пропускаемым поляризатором), непрерывно и по определенному закону зависит от положения точки в плоскости  $x, y$ , т.е.  $\alpha = \alpha(x, y)$ . На рисунке 1б пунктирными линиями показана возможная картина переменного (в плоскости  $x, y$ ) направления оси двуупреомления. Пусть к тому же вносимая веществом разность фаз  $2\Delta$  для двух ортогональных поляризаций тоже непрерывно и по определенному закону зависит от положения точки:  $\Delta = \Delta(x, y)$ , (см. рис. 1а). Тогда, при падении на такое устройство светового пучка с одной и той же по всему поперечному сечению интенсивностью и вектором Стокса  $\xi$  прошедшая интенсивность дается выражением

$$V(x, y) = (1/2)I_0 [1 + (\vec{\eta}(x, y)\xi)], \quad (4a)$$

где зависящий от  $(x, y)$  единичный трехмерный вектор  $\vec{\eta}$  имеет компоненты

$$\begin{aligned}\eta_1(x, y) &= 2 \sin^2 \Delta \sin 2\alpha \cos 2\alpha \\ \eta_2(x, y) &= 2 \cos \Delta \sin \Delta \sin 2\alpha \\ \eta_3(x, y) &= 1 - 2 \sin^2 \Delta \sin^2 2\alpha.\end{aligned}\quad (4б)$$



Р и с. I. Схема полярископа: а) вид сбоку; б) вид со стороны источника

из (4а) следует, что максимум и минимум пропущенной интенсивности достигается там, где вектор  $\vec{\eta}(x, y)$  соответственно параллелен или антипараллелен направлению вектора Стокса  $\vec{\xi}$  исследуемого излучения. Визуальное или фотографическое определение положения этого максимума (или минимума) однозначно указывает на направление вектора Стокса.

На поверхность прибора можно нанести отсчетную сетку в плоскости  $x, y$ . Градуировочные измерения для нанесения такой сетки могут быть основаны на следующем обстоятельстве. Единичный вектор  $\vec{\eta}(x, y)$  просто связан с вектором Стокса  $\vec{v}(x, y)$ , характеризующим состояние поляризации света, пропускаемого системой в обратном направлении — от поляризатора через двупреломляющий слой:

$$\eta_1(x, y) = v_1(x, y), \quad \eta_2(x, y) = -v_2(x, y), \quad \eta_3(x, y) = v_3(x, y). \quad (4в)$$

Отметим, что определение глазом или прибором положения максимум-

ма интенсивности есть процедура, нелинейная по интенсивности излучения. Таким образом, в смысле формальной теории когерентности нам не удалось избежать использования высших по интенсивности моментов. Грубая визуальная или точная фотографическая регистрация контраста картины позволяет определить и степень поляризации P:

$$P = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}). \quad (5)$$

В частности, как обычно, полностью поляризованному свету соответствует погасание интенсивности до нуля в некоторой точке плоскости  $x, y$ .

Мы хотим обратить внимание в настоящей заметке на то, что существует достаточно реалистичная возможность создания двуупреомляющих слоев с требуемыми свойствами. Именно, жидкие кристаллы являются средами с переменным в пространстве направлением оптической оси. Более того, как известно, это направление можно (на не слишком большом удалении,  $\leq 20$  мкм от поверхности) задать с помощью предварительного натирания этой поверхности определенным способом. Наконец, величина двуупреомления в типичных жидких кристаллах весьма велика:  $|n_o - n_e| \sim 0,2$ , так что для видимого света достаточно весьма умеренных ( $\sim 2$  мкм) вариаций толщины слоя.

Существуют, по-видимому, и другие способы создания двуупреомляющего слоя, которые мы здесь не обсуждаем.

Предполагаемый способ соответствует регистрации большого количества избыточной информации: вместо четырех независимых величин  $V_0, V_1, V_2, V_3$  измеряется функция  $V(x, y)$  двух непрерывных параметров  $x, y$ . В этой связи практическая чувствительность такого способа должна быть ниже, чем у четырехточечного. Мы надеемся, тем не менее, что в некоторых случаях преимущество, связанное с наглядностью, может оказаться решающим.

Поступила в редакцию  
7 февраля 1977 г.