

УДК 681.785.3 : 535.55

А. И. Пеньковский

(Казань)

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЦИФРОВОЙ ПОЛЯРИМЕТР  
ДЛЯ АНАЛИЗА ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ,  
ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ И ДИХРОИЗМА**

Описывается простой высокоточный цифровой поляриметр, предназначенный для экспрессных измерений процентного содержания сахара, глюкозы или других оптически активных веществ в растворах, двойного лучепреломления в стеклах, жидкостях (эффекты Коттона — Мутона или Керра) и дихроизма.

Существующие фотоэлектрические поляриметры для измерения угла поворота плоскости поляризации света оптически активными средами, автоматические поляриметры для измерения двойного лучепреломления и дихроизма содержат, как правило, сложные углоизмерительные устройства, компенсаторы и следящие системы с приводами [1], поэтому они трудоемкие, громоздкие и дорогие.

Предлагается простой фотоэлектрический цифровой поляриметр [2], с помощью которого можно измерять угол поворота плоскости поляризации  $\alpha$ , концентрацию  $C$  сахара, глюкозы, фруктозы и других оптически активных сред в растворах, направление главных осей  $\varphi$  и разность фаз  $\delta$  между  $p$ - и  $s$ -компонентами поляризованного света при анализе наведенного двойного лучепреломления в стеклах, жидкостях (эффекты Коттона — Мутона, Керра) и дихроизм. Он содержит: источник света 1, коллимирующую линзу 2, интерференционный фильтр 3, телескопическую систему, состоящую из линз 4, 7 и линзы 13, фокусирующей свет на фотоприемник 14. В фокусе линзы 4 на плоских параллельных пружинах 6 укреплен составной поляризационный фильтр 5 (рис. 1).

Между линзами 7 и 13 в зависимости от режима измерений могут устанавливаться: либо кювета 10 с исследуемой жидкостью 11 и поляризатор 12

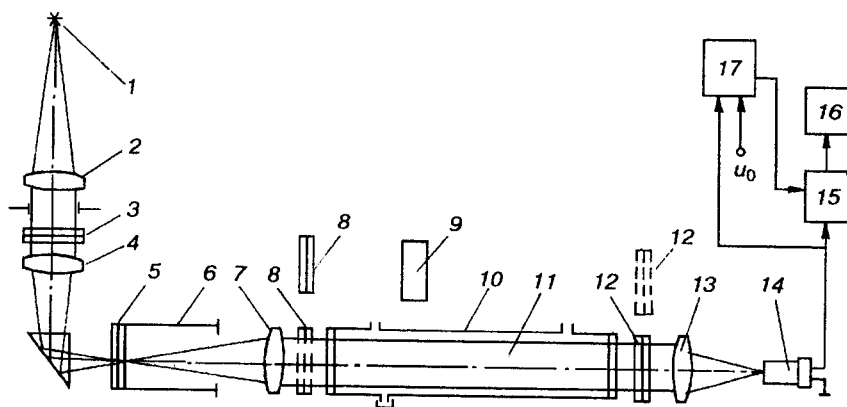


Рис. 1. Структурная схема поляриметра

(при измерении оптической активности), либо четвертьволновая пластинка 8 и кювета 10 (при измерении кругового дихроизма), либо четвертьволновая пластинка 8, исследуемый образец 9 и поляризатор 12 (при измерении двойного лучепреломления). Составной поляризационный фильтр 5 выполнен в виде примыкающих по линии друг к другу встык двух частей поляризационных фильтров, плоскости пропускания которых составляют углы  $-45^\circ$  и  $+45^\circ$  по отношению к линии стыка, и установлен в фокусе линзы 4 так, что в состоянии покоя вибратора средняя линия изображения нити накала источника света 1 совпадает с линией стыка частей поляризатора 5. Оправа поляризатора 12 позволяет производить разворот его по азимуту или удалить с рабочего пучка света. Непосредственно после линзы 7 имеется место для точной установки четвертьволновой пластинки 8 так, что ее «быстрая» ось всегда совпадает с линией стыка частей поляризатора 5.

Если четвертьволновая пластинка 8 не введена, а плоскость пропускания поляризатора 12 совпадает с линией стыка частей поляризатора 5 и, например, вертикальна (рис. 2, точка 1), то поляриметр работает в режиме измерения угла  $\alpha$  или концентрации  $C$ , т. е. как сахариметр. При этом неполяризованный монохроматический свет периодически с частотой сети  $\omega$  падает то на левую, то на правую часть составного поляризатора 5. После прохождения поляризатора свет становится линейно поляризованным, его плоскость поляризации периодически скачкообразно меняется на  $90^\circ$ , т. е. от  $-45^\circ$  до  $+45^\circ$ , что на рис. 2 отображено точками экватора 2 и 3. Если исследуемая среда 11 не обладает оптической активностью, то после каждой смены азимута падающего на среду 11 света сохраняется симметрия точек 2, 3 (см. рис. 2) относительно точки 1 и интенсивность света  $I$ , воспринимаемая фотоприемником 14, остается постоянной и равной примерно половине интенсивности  $I_0$  падающего на кювету 10 света. Если исследуемая среда оптически активна (например, сахар, растворенный в воде), то в зависимости от концентрации сахара  $C$  на выходе кюветы 10 азимуты линейно поляризованного света изменяются в одну и ту же сторону на величину  $\Delta\alpha = 0,01CL[\alpha]_d^{20}$ , где  $[\alpha]_d^{20}$  — величина удельного вращения плоскости поляризации сахара для длины волны  $\lambda$ ;  $L$  — длина кюветы (в дм). На сфере Пуанкаре (см. рис. 2) такие изменения можно отобразить соответственно точками 4 и 5. Этим нарушается симметрия точек 4, 5 относительно точки 1, и на выходе поляризационного фильтра 12 (см. рис. 1) интенсивность света будет различной, т. е. в первый полупериод уменьшается на величину  $\Delta I = I_0 \sin 2\alpha$ , а во второй — увеличивается на ту же величину. Величина переменной составляющей сигнала фотоприемника 14 пропорциональна  $\Delta I$  и измеряется с помощью усилителя 15, амплитудно-цифрового преобразователя 17 и индикатора 16. Показания индикатора 16 соответствуют закону Био:  $C_{\%} = 100\Delta\alpha([\alpha]_d^{20})^{-1}L^{-1}$ .

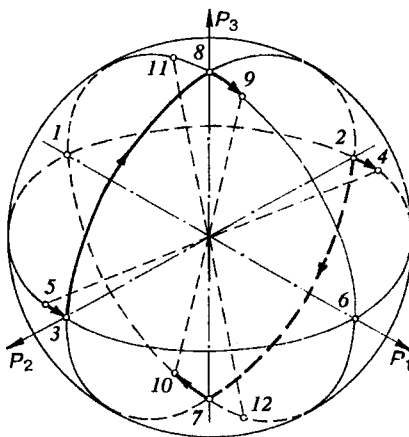


Рис. 2. Сфера Пуанкаре

Если четвертьволновая пластинка 8 введена, а поляризатор 12 удален из пучка света, то поляриметр работает в режиме дихрографа. При этом периодически изменяющийся по азимуту линейно поляризованный свет преобразуется четвертьволновой пластинкой соответственно в право- и левоциркулярный, что на рис. 2 соответствует повороту точек 2 и 3 по часовой стрелке вокруг направления 1—6 в точки 7 и 8. Если среда 11 (см. рис. 1) не обладает круговым дихроизмом, то после каждой смены циркуляции поляризованного света фотоприемник 14 будет воспринимать свет одинаковой интенсивности  $I \approx I_0$ . Если среда 11 обладает дихроизмом, то в спектре сигнала фотоприемника 14 будет присутствовать переменная составляющая

$$U_{\pm} = S_{\lambda} I_0 0,5 \left[ \exp(-2\nu d \kappa_{л}) - \exp(-2\nu d \kappa_{п}) \right],$$

где  $S_{\lambda}$  — спектральная чувствительность фотоприемника;  $\nu = 2\pi/\lambda$  — волновое число;  $\kappa_{л}$ ,  $\kappa_{п}$  — показатели поглощения лево- и правополяризованного света.

Если вместо кюветы 10 установлен образец 9 и в пучок света введен поляризационный фильтр 12, то поляриметр работает в режиме измерения двойного лучепреломления, наведенного небольшими деформациями, эффектами Коттона — Мутона или Керра.

При этом если направление  $\varphi$  главных осей образца 9 заранее неизвестно, то сначала удаляют из пучка четвертьволновую пластинку 8, плоскость пропускания поляризатора устанавливают под углом  $\pm 45^\circ$  (например, точка 2 на рис. 2), а образец 9 разворачивают до положения  $\varphi = \pm 45^\circ$  (точки 2, 3 на рис. 2), при котором он как фазовая пластинка проявить себя не может при любых значениях  $\delta$  (точки 2, 3 преобразуются сами в себя). После этого в пучок вводится четвертьволновая пластинка 8, а поляризатор 12 устанавливается в положение 90 или  $0^\circ$ , что, например, соответствует снова точке 1 (см. рис. 2). Циркулярно поляризованный свет (точки 7, 8 на рис. 2) в зависимости от направления действия силы преобразуется образцом 9 в эллиптически поляризованный (например, точки 9, 10 большого меридиана, рис. 2), а в спектре сигнала фотоприемника 14 появится переменная составляющая, пропорциональная разности фаз  $\delta$  между  $p$ - и  $s$ -компонентами, что будет отображено на индикаторе 16. Если  $\varphi$  заранее известно, например, при действии вертикальных и горизонтальных сил на образец 9 или известно направление воздействия магнитного или электрического поля на кювету 10 с органическим веществом 11, то пластинку 8 и поляризатор 12 не трогают и процесс измерения  $\delta$  упрощается.

Описанная методика измерения  $\delta$  отличается от известной в практике фотоупругого анализа [3] тем, что можно измерять малые значения  $\delta$  с высокой точностью ( $\pm 0,002^\circ$  по Сенармону), что необходимо при исследованиях, например, органических веществ методами Коттона — Мутона, Керра либо при отборе оптических элементов, в которых недопустимо присутствие двойного лучепреломления.

Конструкция поляриметра выполнена в виде модулей осветительной и фотоприемной частей для удобства размещения между ними кювет различной длины, магнитных систем или образцов различных размеров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ванюрихин А. И., Герчановская В. П. Оптико-электронные поляризационные устройства. Киев: Техника, 1984. С. 150.
2. Пат. 2029258 РФ. Поляриметр для измерения концентрации сахара в растворах /А. И. Пеньковский. Заявл. 04.06.91; Опубл. 20.02.95, Бюл. № 5.
3. Хесин Г. Л., Жаворонок И. В., Омельченко Д. И. и др. Метод фотоупругости. М.: Стройиздат, 1975.

Поступила в редакцию 11 ноября 1996 г.