

Н. А. ТОЛСТОЙ и П. П. ФЕОФИЛОВ

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ МОДУЛЯЦИИ В ЭФФЕКТЕ КЕРРА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 18 II 1948)

1. При измерении двойного лучепреломления, возникающего в веществе при наложении электрического поля (эффект Керра), обычно пользуются следующей схемой: плоский конденсатор, заполненный исследуемым веществом, помещается между двумя скрещенными николями таким образом, чтобы электрическое поле составляло угол в 45° с плоскостями поляризации николей. Выходящий из поляризатора линейно-поляризованный свет, проходя через конденсатор, становится эллиптически-поляризованным.

Оси эллипса лежат в плоскостях поляризации николя-поляризатора (P) и николя-анализатора (A). Отношение полуосей эллипса (b/a) связано с величиной двойного лучепреломления δ соотношением $b/a = \operatorname{tg} \delta$ и обращается в нуль при отсутствии двойного лучепреломления. При возникновении двойного лучепреломления анализатор пропускает составляющую светового вектора, равную b .

Измерение эффекта Керра состоит либо в том, что между николями вводится двоякопреломляющее устройство (компенсатор), либо в том, что после анализатора ставится объективный приемник света (фотоэлемент, термоэлемент), измеряющий количество света, пропущенного анализатором.

В последнем случае обычно пользуются переменным полем с тем, чтобы исключить влияние паразитного света, отраженного от стенок кюветы, рассеиваемого пылинками и т. д., и судят о величине эффекта Керра по амплитудам переменного света, пропускаемого анализатором. Как правило, эллипс, изображенный на рис. 1, оказывается очень сильно вытянутым вследствие того, что двойное преломление большинства жидкостей и всех газов мало.

Оставляя в стороне компенсационные методы, покажем, что с помощью чрезвычайно простого приема можно значительно повысить чувствительность объективного метода.

2. Вычислим интенсивность света, проходящего через анализатор. Будем считать, что разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей δ , выраженная в радианах, мала по сравнению с единицей, т. е.

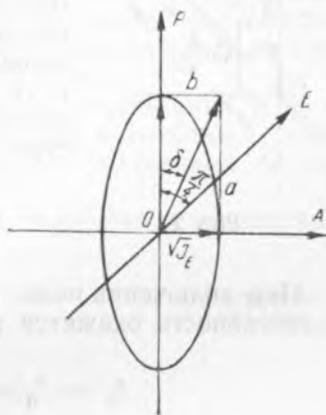


Рис. 1

что $b/a = \operatorname{tg} \delta \approx \delta$ (практически важный случай двойного лучепреломления). Тогда интенсивность света, проходящего через анализатор,

$$J_E = J_0 \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right) = J_0 \sin^2 \delta \approx J_0 \delta^2,$$

где J_0 — интенсивность света, которая доходила бы до приемника при параллельных николях и отсутствии двойного лучепреломления. Так как в отсутствие поля при скрещенных николях свет через анализатор не проходит ($J_{E=0} = 0$), то изменение интенсивности при включении поля равно

$$\Delta J = J_E \approx J_0 \delta^2.$$

Таким образом, при обычной схеме показания приемника не пропорциональны двойному лучепреломлению, и при уменьшении δ чувствительность метода, которую можно определить как $\partial \Delta J / \partial \delta = 2J_0 \delta$, падает вместе с величиной δ . Например, при двойном лучепреломлении, равном 1/1000, приемник регистрирует лишь одну миллионную долю J_0 .

Указанных недостатков можно, однако, избежать, если воспользоваться некоторым чисто оптическим видоизменением схемы. Введем между конденсатором Керра и анализатором „пластинку в четверть волны“, направив ее ось вдоль оси поляризатора. Тогда эллиптически-поляризованные световые колебания превратятся в линейно-поляризованные колебания, направление которых будет составлять с осью поляризатора угол, равный $\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{b}{a}$.

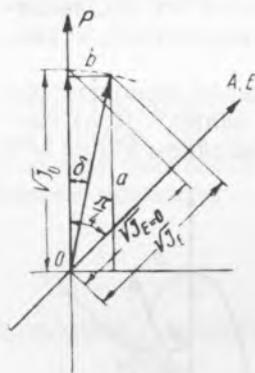


Рис. 2

Интенсивность света, пропущенного анализатором, остается при этом неизменной, так как введение пластинки меняет лишь фазовые соотношения между колебаниями вдоль направлений P и A . Повернем теперь анализатор на 45° . Тогда интенсивность света, пропускаемого им в отсутствие поля, будет равна (рис. 2):

$$J_{E=0} = J_0 \cos^2 \frac{\pi}{4} = \frac{J_0}{2}.$$

При включении поля, т. е. при наличии двойного лучепреломления, интенсивность окажется равной

$$J_E = J_0 \cos^2 \left(\frac{\pi}{4} - \delta \right) = \frac{J_0}{2} (1 + \sin 2\delta).$$

Считая попрежнему $\delta \ll 1$, получим

$$J_E \approx \frac{J_0}{2} (1 + 2\delta).$$

Изменение интенсивности при включении поля:

$$\Delta J = J_E - J_{E=0} = J_0 \delta.$$

Таким образом, в предлагаемом методе показания приемника оказываются пропорциональными двойному лучепреломлению, и чувствительность метода $\partial \Delta J / \partial \delta = J_0$ оказывается зависящей только от ярко-

сти источника света и светосилы установки. При двойном лучепреломлении, равном попержнему $1/1000$, приемник регистрирует одну тысячную долю J_0 , т. е. в 1000 раз больше, чем в обычном методе.

Легко показать, что в предлагаемом методе расположение николей под углом в 45° является оптимальным в отношении чувствительности. Пусть угол между николями равен φ . Тогда

$$\Delta J = J_E - J_{E=0} = J_0 (\cos^2(\varphi - \delta) - \cos^2 \varphi).$$

Чувствительность

$$\partial \Delta J / \partial \delta = J_0 \sin 2(\varphi - \delta)$$

достигает максимума при

$$\frac{\partial(\partial \Delta J / \partial \delta)}{\partial \varphi} = 2J_0 \cos 2(\varphi - \delta) = 0,$$

т. е., если δ мало, при $\varphi = 45^\circ$.

Эффект, достигаемый описанным методом, связан, по существу, с тем, что наибольшая крутизна кривой, изображающей закон Малюса, соответствует углу в 45° между направлением колебаний линейно-поляризованного света и плоскостью анализатора. Пользуясь вместо скрещенных николей николями, повернутыми друг относительно друга на 45° , мы перемещаем рабочую точку из области минимума кривой Малюса (области, единственно возможной при визуальных наблюдениях) в область наибольшей крутизны.

Это смещение рабочей точки могло бы быть достигнуто наложением на конденсатор Керра добавочного постоянного поля; однако последний способ, будучи применим в технических приложениях эффекта Керра (ячейка Керра с нитробензолом), не может быть использован при исследовании веществ с малыми значениями постоянной Керра и, что особенно существенно, при исследовании коллоидов, коагулирующих при наложении постоянного поля.

Описанная методика была испробована нами в сочетании с фотоэлектронным умножителем в качестве приемника и катодным осциллографом в качестве индикатора. Опыт вполне подтвердил ее преимущества.

Авторы сердечно благодарят акад. С. И. Вавилова за проявленный им интерес к работе.

Государственный оптический
институт

Поступило
17 I 1948