

## Работа 3.03

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

*М. Ю. Липовская  
Ю. П. Яшин*

### ЗАДАЧА

1. Исследование влияния электрического поля на показатель преломления вещества.
2. Определение постоянной Керра для PLZT-керамики.

### ВВЕДЕНИЕ

Электрооптическим эффектом называется изменение показателя преломления вещества под действием внешнего электрического поля. Если показатель преломления изменяется линейно с изменением напряженности электрического поля, то такой эффект носит название линейного электрооптического эффекта, или эффекта Поккельса. В случае квадратичной зависимости показателя преломления от напряженности приложенного электрического поля явление называется эффектом Керра. Эффект Поккельса наблюдается только в кристаллах, у которых отсутствует центр симметрии. Квадратичный электрооптический эффект наблюдается, как правило, в кристаллах с центром симметрии и в изотропных веществах.

Электрооптический эффект Керра можно рассматривать как возникновение двойного лучепреломления в оптически изотропных веществах под действием внешнего однородного электрического поля. Оптически изотропная среда, помещенная в однородное электрическое поле, становится анизотропной и приобретает свойства одноосного кристалла, оптическая ось которого направлена вдоль поля. Это значит, что разным состояниям линейной поляризации (вдоль и поперек электрического поля) соответствуют необыкновенный и обыкновенный лучи.

Наибольшим квадратичным электрооптическим эффектом среди жидкостей обладают нитробензол и сероуглерод. Эти среды изотропны (жидкости) и электрооптический эффект для них не зависит от направления. К твердым изотропным веществам, демонстрирующим значительный (на два порядка больший, чем у жидкостей) электрооптический эффект, относится сегнетоэлектрическая PLZT-керамика. Электрооптические эффекты широко используются при конструировании модуляторов света.

Рассмотрим процесс распространения линейно поляризованной световой волны через изотропную среду (рис.1а), в которой показатель преломления  $n$  одинаков для волн, поляризованных вдоль оси  $x$  и вдоль оси  $y$ . При этом вектор напряженности  $E$  электрического поля падающей на образец линейно поляризованной волны раскладывается на две составляющих  $E_x$  и  $E_y$ , которые в изотропной среде распространяются с одинаковыми скоростями  $v=c/n$ , где  $c$ -скорость света в вакууме. Так как скорости распространения одинаковы, обе составляющие достигают границы образца одновременно, разности фаз между ними не возникает и при их сложении поляризация опять будет линейной. То есть, для изотропного вещества в отсутствии поля причин для изменения состояния поляризации света нет (причем это касается любой, а не только линейной поляризации).

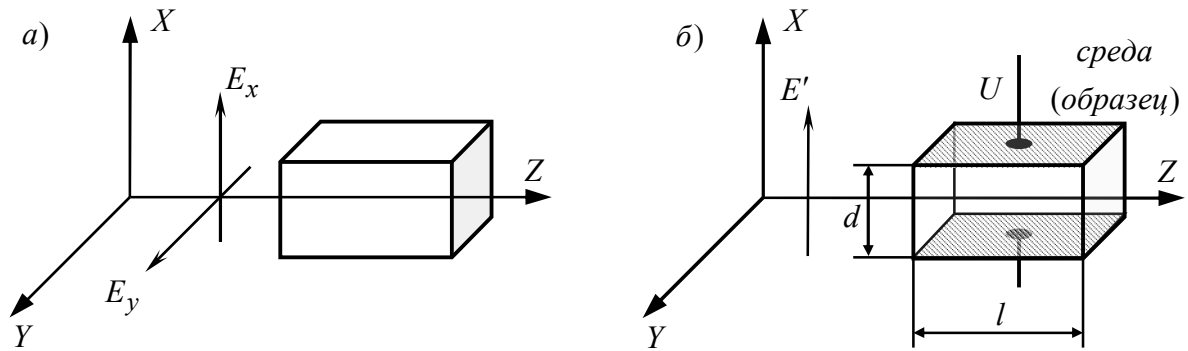


Рис. 1

Пусть вдоль оси  $x$  приложено электрическое поле  $E$  (рис. 1б), приводящее к изменению показателя преломления  $\Delta n$  для световой волны с поляризацией, направленной вдоль оси  $x$ . При этом показатель преломления для световой волны, поляризованной вдоль  $y$ , останется прежним. Это означает возникновение двойного лучепреломления под действием поля и скорости распространения для волн с разной поляризацией ( $E_x$  и  $E_y$ ) становятся разными и могут быть записаны следующим образом:

$$V_x = \frac{c}{n - \Delta n} \quad - \quad \text{для поляризации вдоль } x$$

$$V_y = \frac{c}{n} \quad - \quad \text{для поляризации вдоль } y$$

В этом случае между векторами  $E_x$  и  $E_y$  возникает фазовый сдвиг  $\delta$ , равный:

$$\delta = \frac{2\pi l}{\lambda} [n - (n - \Delta n)] = \frac{2\pi l}{\lambda} \Delta n \quad (1)$$

где  $l$  - длина среды,  $\lambda$  - длина волны света в вакууме,  $\Delta n$  - изменение показателя преломления.

Сложение двух одночастотных ортогональных колебаний, сдвинутых по фазе, может теперь давать не прямую линию (линейная поляризация), а эллипс (эллиптическая поляризация). Это означает, что при распространении света через оптическую среду, в которой показатели преломления различны для разных поляризаций, в результате фазового сдвига происходит преобразование линейной поляризации света в эллиптическую. Если разность фаз  $\delta$  между ортогонально поляризованными составляющими волны  $E_x$  и  $E_y$  становится равной  $\pi$ , на выходе будет опять линейно поляризованная волна, плоскость поляризации которой повернута на  $90^\circ$  относительно падающей волны. Напряжение, при котором это достигается, называется полуволновым.

В небольших по величине электрических полях величина фазового сдвига  $\delta$  для квадратичного электрооптического эффекта пропорциональна квадрату напряженности поля:

$$\delta = 2\pi \cdot K \cdot l \cdot E^2, \quad (2)$$

где  $K$  - постоянная Керра, которая зависит от вещества, длины волны, температуры, агрегатного состояния.

Напряженность внешнего электрического поля  $E$  можно определить, зная прикладываемое напряжение  $U$  и расстояние между пластинами конденсатора  $d$ :

$$E = \frac{U}{d} \quad (3)$$

Для измерения разности фаз между ортогональными поляризациями после образца используется анализатор в скрещенном состоянии. Если  $I_0$  - интенсивность света после анализатора при параллельном положении анализатора и поляризатора, а  $I$  - интенсивность света после анализатора в скрещенном состоянии, то для прошедшего через анализатор света можно записать следующее выражение:

$$I = I_0 \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (4)$$

Подставляя (2) и (3) в (4), получим:

$$I = I_0 \cdot \sin^2 \frac{\pi \cdot K \cdot l \cdot U^2}{d^2} \quad (5)$$

Для расчета постоянной Керра  $K$  удобно формулу (5) преобразовать к виду

$$\arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}} = \frac{\pi \cdot K \cdot l \cdot U^2}{d^2}$$

В этом случае зависимость  $\arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}} = m U^2$  является уравнением прямой с коэффициентом наклона  $m$ , причем

$$m = \frac{\pi \cdot K \cdot l}{d^2} \quad (6)$$

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Если на среду, схематически изображенную на рис.1, направить линейно поляризованный свет, азимут поляризации которого составляет  $45^\circ$  с направлением оси  $x$  (это значит, что амплитуды напряженности полей  $E_x$  и  $E_y$  равны), то в случае отсутствия поля свет на выходе сохранит свою поляризацию (поглощение и рассеяние света отсутствуют). При наложении поля между составляющими поляризации появляется разность фаз  $\delta$  и свет на выходе среды изменяет свою поляризацию. Разность фаз в соответствии с (1) при заданной длине волны определяется длиной среды  $l$  и изменением показателя преломления для одной из поляризаций  $\Delta n$ .

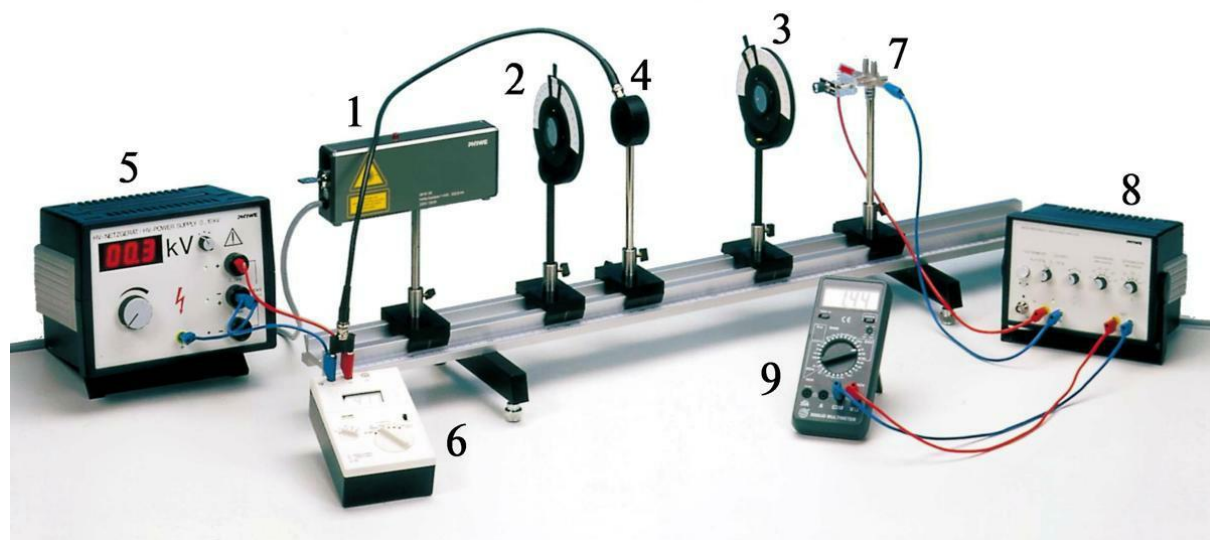


Рис. 2

Эффект Керра исследуется на образце состава  $\text{Pb}_{0,9125}\text{La}_{0,0875}\text{Zr}_{0,65}\text{Ti}_{0,3503}$  (PLZT). Это вещество имеет величину постоянной Керра на два порядка больше, чем у других веществ, которые используются для демонстрации эффекта Керра. Вещество прозрачно для электромагнитных волн диапазона 0,4 – 5,6 мкм. Образцы такого состава проявляют сегнетоэлектрические свойства, они имеют доменную структуру, то есть, разбиты на поляризованные области. Домены меняют направление поляризации при включении электрического поля. Зависимость поляризации образца от внешнего электрического поля нелинейная, свойства вещества определяются предысторией (гистерезис). Вещество часто используется в электрооптических модуляторах.

Установка для исследования квадратичного электрооптического эффекта представлена на рис.2. В работе в качестве источника когерентного излучения используется He-Ne газовый лазер 1 мощностью 1 мВт с длиной волны 0.63 мкм. Лазер необходимо включать за 1 час до начала эксперимента, чтобы стабилизировать его излучение! Свет лазера 1 через поляризатор 2 попадает на ячейку Керра 4 (конденсатор с образцом PLZT внутри). Линейная поляризация света после поляризатора направлена под углом  $45^\circ$  к линиям электростатического поля в конденсаторе. После анализатора 3 находится фотоприемник 7 со щелевой диафрагмой на входе. Сигнал с фотоприемника, пропорциональный интенсивности света, после усилителя 8 измеряется вольтметром 9. Ячейка Керра соединена с источником высокого напряжения 5, параллельно подключен цифровой вольтметр 6. Во время эксперимента **нельзя** подавать на ячейку напряжение больше **1000В**, иначе произойдет разрушение PLZT! После каждого изменения величины подаваемого на ячейку Керра напряжения необходимо выдерживать **около 5 минут** и затем проводить измерения!

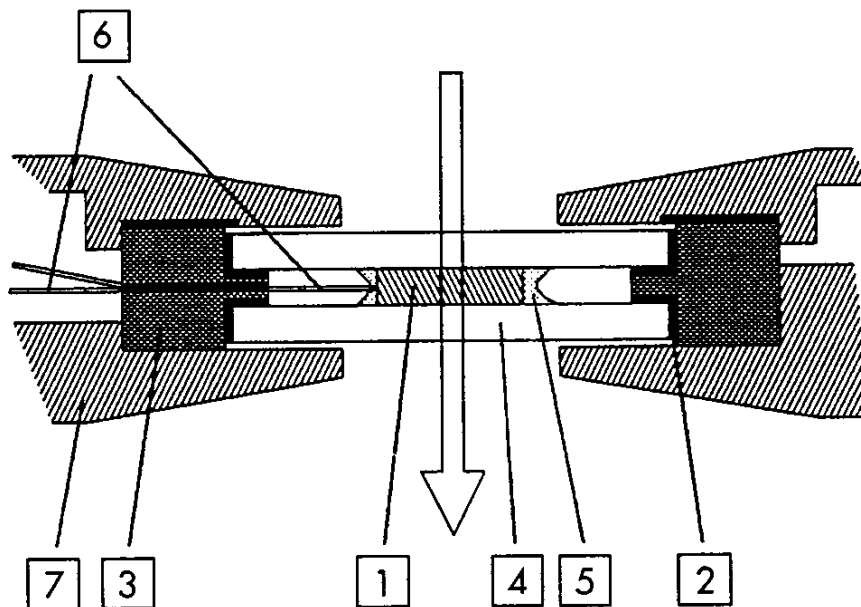


Рис. 3

Устройство ячейки Керра представлено на рис. 3, где 1 - образец PLZT; 2 - силиконовая прокладка; 3 - изолятор; 4 - стеклянная пластина; 5 - канадский бальзам; 6 - провод; 7 - оправа. Длина образца 1,5мм - это также длина пути  $l$  луча света в веществе. Ширина образца - 1,4 мм - это также расстояние  $d$  между пластинами конденсатора.

Необходимо помнить, что предыстория поляризации образца и небольшое количество неполяризованного света (фон) могут исказить результаты.

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Включить высоковольтный блок питания 5 и усилитель фотоприемника 8.
2. При нулевом напряжении на высоковольтном блоке питания необходимо перекрыть луч лазера и ручкой «установка нуля» выставить на вольтметре 9 нулевые показания. Таким образом минимизируется влияние фонового излучения на результаты эксперимента.
3. Вращением анализатора 3 установить его ось пропускания параллельно оси пропускания входного поляризатора 2 (показания вольтметра 9 при этом максимальны). Записать значения фототока  $I_0$ , соответствующего параллельному положению осей поляризатора и анализатора.
4. Установить анализатор 3 в положение, скрещенное с поляризатором 2 (показания вольтметра 9 минимальны).
5. Изменяя напряжение на ячейке Керра от **300 В до 700 В** с шагом 20 В, проведите измерения интенсивности света, падающего на анализатор. Занесите полученные экспериментальные данные в таблицу. Следует учесть, что усилитель сигнала с фотоприемника имеет ограничение по выходному напряжению 10 В. Поэтому, при достижении напряжения 9.5 В следует переходить на более грубый диапазон и полученную величину напряжения умножать на соответствующий коэффициент (например  $\times 10$  или  $\times 100$ ).

Таблица

$U, \text{В}$	$I$	$\frac{I}{I_0}$	$U^2, \text{В}^2$	$\frac{\delta}{2} = \arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}}, \text{рад.}$

6. Сделайте расчет величин:  $\frac{I}{I_0}$  и  $\arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}}$ . Занесите полученные данные в таблицу.

7. Представьте данные графически в осях  $\frac{I}{I_0}$  и  $U$ . Соедините точки плавной кривой.

Определите по графику так называемое «полуволновое напряжение»: при этом напряжении внешнего электрического поля разность фаз обыкновенного и необыкновенного лучей, прошедших через данный образец, становится равной  $90^\circ$ . Следовательно, этому напряжению соответствует первый максимум на графике.

8. Представьте данные графически в осях  $\arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}}$  и  $U^2$ . Сделайте линейную аппроксимацию экспериментальных данных. Определите коэффициент наклона прямой  $m$  и его погрешность. Сосчитайте постоянную Керра (с погрешностью) по формуле (6).

**Контрольные вопросы.**

1. Что называется поляризацией света?
2. Что такое линейно поляризованная волна?
3. В чем состоит электрооптический эффект Керра?
4. Что общего у фазовой пластинки  $\lambda/4$  и ячейки Керра?
5. Что называют обыкновенным и необыкновенным лучами?
6. От чего зависит постоянная Керра?
7. Какие вещества называются сегнетоэлектриками?