

# **Исследование магнитооптических свойств высокочистых теллуритных стёкол**

**Работу выполнили:**

Геликонова В.Г., Платонова М.В., Сарафанов Ф.Г.

**Научный руководитель:**

Яковлев А.И.

Нижний Новгород – 2017

## Цели

- 1 Ознакомиться с некоторыми понятиями оптики
- 2 Исследовать магнитооптические свойства высокочистых теллуритных стёкол (Определить постоянную Верде)
- 3 Обработать экспериментальные результаты и сделать оценку длины образца, пригодного для использования в изоляторах Фарадея при характерных длине волны и напряженности магнитного поля

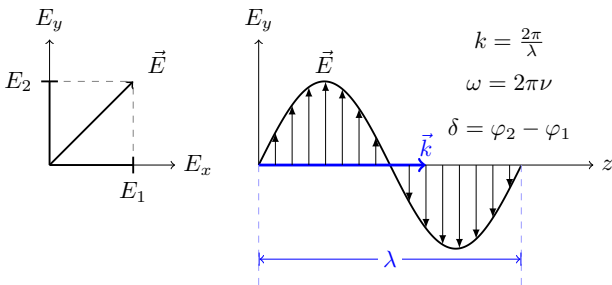
## Актуальность

- 1 Теллуритные стекла обладают магнитооптической активностью и могут быть использованы в изоляторах и вращателях Фарадея
- 2 Теллуритные стекла обладают широким спектром пропускания (0.4–5.5 мкм)
- 3 Возможно изготовление образцов с большой апертурой (до 10 см)
- 4 Вариация состава теллуритного стекла позволяет изменять постоянную Верде

# Понятие поляризации

- 1 Поляризация света** – свойство световой волны, заключающееся в ориентации векторов напряженности электрического и магнитного полей в плоскости, перпендикулярной волновому вектору  $\vec{k}$
- 2** Плоскость, образованную векторами  $\vec{E}$  и  $\vec{k}$ , называют **плоскостью поляризации**

$$\begin{cases} E_x = E_1 \cos(-kz + \omega t + \varphi_1) \\ E_y = E_2 \cos(-kz + \omega t + \varphi_2) \\ E_z = 0 \end{cases} \Rightarrow \frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_x E_y}{E_1 E_2} \cos \delta + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2 \delta$$



**1** Если  $\delta = 0, \pi$ , то

$$\frac{E_x}{E_1} \pm \frac{E_y}{E_2} = 0$$

– **линейная** поляризация.

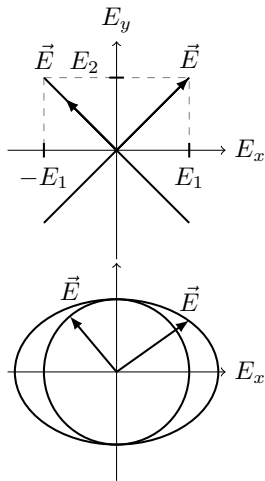
**2** Если  $\delta = \frac{\pi}{2}$ , то

$$\frac{E_x^2}{E_1^2} + \frac{E_y^2}{E_2^2} = 1$$

– **эллиптическая** поляризация, которая при  $E_1 = E_2 \equiv E'$  переходит в **круговую**:

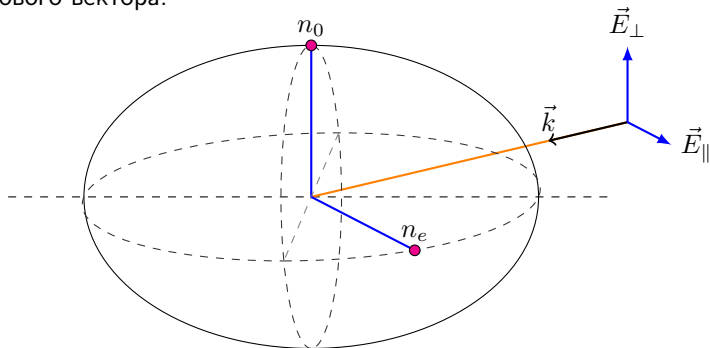
$$E_x^2 + E_y^2 = E'^2$$

С понятием поляризации тесно связано явление **двойного лучепреломления**.



# Понятие двулучепреломления

- 1** **Двойное лучепреломление** — раздвоение светового луча при прохождении через анизотропную среду, обусловленное зависимостью показателя преломления от поляризации волны и ориентации волнового вектора.



- 2** Вращение плоскости поляризации есть проявление **кругового двулучепреломления**. В этом случае обыкновенная и необыкновенная волны будут поляризованы циркулярно.

**1** **Круговое двулучепреломление.** Предположим, что угол поворота поляризации зависит от  $z$  как  $\Theta = -\alpha z$ . Тогда можно показать, что волну с повернувшейся поляризацией можно представить как суперпозицию поляризованных по левому ( $L$ ) и правому ( $R$ ) кругу волн, и для них

$$v_L = \frac{\omega}{k - \alpha}, \quad v_R = \frac{\omega}{k + \alpha}, \quad n_L = \frac{c}{v_L}, \quad n_R = \frac{c}{v_R}$$

откуда выражается

$$\alpha = \frac{\omega}{2c}(n_L - n_R)$$

**2** В магнитном поле у вещества существуют **собственные частоты** ( $\omega_0 \pm \Omega$ ), и это и есть причина поворота поляризации: сложение двух таких циркулярно поляризованных волн даст волну с повернутой линейной поляризацией

$$\Theta = \frac{\pi L}{\lambda}(n_L - n_R)$$

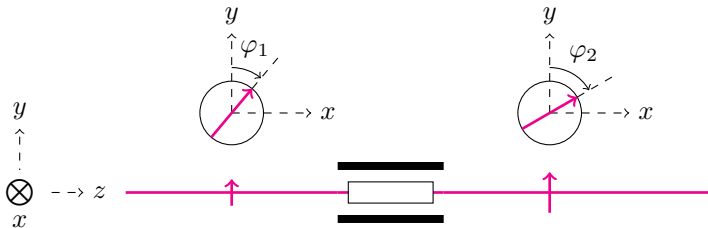
**3** **Эффект Фарадея** заключается в возникновении кругового двулучепреломления в изначально изотропных средах при помещении их в магнитное поле.

# Материальная константа: постоянная Верде

$V$  – **постоянная Верде** – физическая величина, характеризующая угол, на который повернется плоскость поляризации при данных длине образца и магнитном поле:

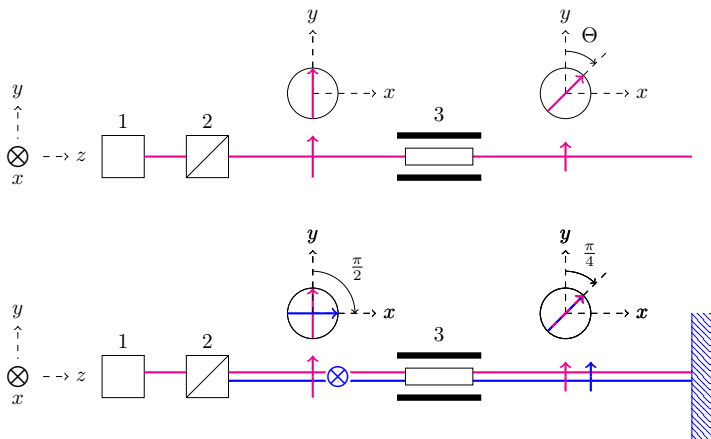
$$\Theta = \varphi_2 - \varphi_1 = V \int B(z) dz$$

где  $\Theta$  – угол, на который поворачивается плоскость поляризации.



# Вращатель и изолятор Фарадея

**Вращатель Фарадея** - устройство, способное вращать плоскость поляризации в магнитном поле. **Изолятор Фарадея** - устройство, поворачивающее плоскость поляризации на  $\frac{\pi}{4}$ .

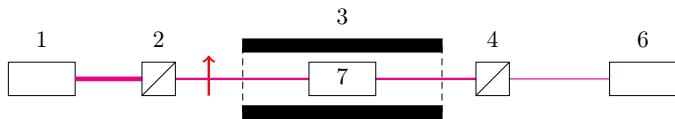
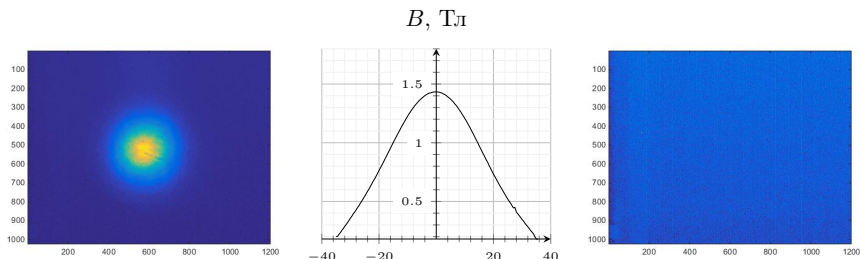


1 – источник  
2 – поляризатор

3 – вращатель  
или изолятор Фарадея



# Схема установки



**1** – диодный лазер

$\lambda_1 = 531 \text{ нм},$

$\lambda_2 = 658 \text{ нм},$

$\lambda_3 = 1064 \text{ нм}$

**2** – поляризатор

**3** – магнит

**4** – призма Глана

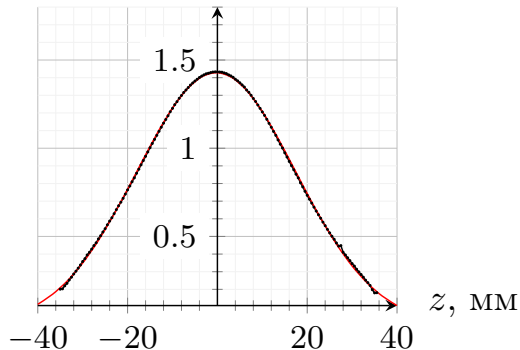
**5** – камера

**6** – образец

# Аппроксимация распределения магнитного поля

Аппроксимация распределение  $B_z(z)$  с помощью кривой Гаусса:

$B$ , Тл



$$B = B_0 \exp \left[ - \left( \frac{z - z_0}{c} \right)^2 \right],$$

где

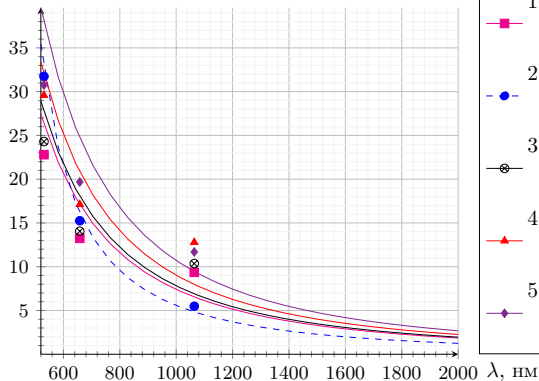
$$B_0 = 1.43 \text{ Тл},$$

$$z_0 = -0.25 \text{ мм},$$

$$c = 25 \text{ мм}.$$

# Результаты эксперимента

$V$ , рад·Тл<sup>-1</sup>·мм<sup>-1</sup> · 10<sup>3</sup>



1. TWLTb ( $L = 25.8$  mm)

71.208TeO<sub>2</sub> - 23.736WO<sub>3</sub> - 2.956La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -  
- 1Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1.1Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

2. TWLDyB ( $L = 15.2$  mm)

71.205TeO<sub>2</sub> - 23.735WO<sub>3</sub> - 3.456La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -  
- 0.5Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1.1Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

3. TWLPB ( $L = 22.5$  mm)

71.208TeO<sub>2</sub> - 23.736WO<sub>3</sub> - 2.956La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -  
- 1Pm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1.1Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

4. TWLEuB ( $L = 20.2$  mm)

71.208TeO<sub>2</sub> - 23.736WO<sub>3</sub> - 2.956La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -  
- 1Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1.1Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

5. TZNDy ( $L = 24.7$  mm)

79.99TeO<sub>2</sub> - 9.965ZhO -  
- 9.965Na<sub>2</sub>O - 0.38Dy<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

$$V = \frac{A}{\lambda^2 - \lambda_0^2}$$

**Оценка** образца TZNDy-236/4: Для поворота на  $\Theta = \frac{\pi}{4}$  при  $B = 3.5$  Тл и длине волны  $\lambda = 2000$  нм нужен образец длиной 5 см.

- 1 Ознакомились с принципом работы вращателей и изоляторов Фарадея
- 2 Исследовали магнитооптические свойства теллуритных стекол (определили постоянную Верде)
- 3 Оценили длину образца, который можно использовать в качестве магнитооптического материала в изоляторах Фарадея, работающих в ближнем ИК-диапазоне.

Спасибо за внимание!

Презентация подготовлена в издательской  
системе LaTeX с использованием пакетов  
PGF/TikZ и Beamer

# Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний

Рассмотрим уравнение волны:

$$\begin{cases} E_x = E_1 \cos(-kz + \omega t + \varphi_1) \\ E_y = E_2 \cos(-kz + \omega t + \varphi_2) \\ E_z = 0 \end{cases}$$

Исключим из них время. Для этого

$$\mathbf{1} \quad \frac{E_x}{E_1} = \cos(-kz + \omega t) \cos \varphi_1 - \sin(-kz + \omega t) \sin \varphi_1$$

$$\frac{E_y}{E_2} = \cos(-kz + \omega t) \cos \varphi_2 - \sin(-kz + \omega t) \sin \varphi_2$$

$$\mathbf{2} \quad \frac{E_x}{E_1} \cos \varphi_2 - \frac{E_y}{E_2} \cos \varphi_1 = \sin(-kz + \omega t) \sin(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\mathbf{3} \quad \frac{E_x}{E_1} \sin \varphi_2 - \frac{E_y}{E_2} \sin \varphi_1 = \sin(-kz + \omega t) \sin(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$\mathbf{4} \quad \frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_x E_y}{E_1 E_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1), \quad \varphi_2 - \varphi_1 = \delta$$

$$\mathbf{5} \quad \frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_x E_y}{E_1 E_2} \cos \delta + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2 \delta$$

# Поворот поляризации

**1** Для простоты предположим, что начальная фаза волны равна нулю.

$$\begin{cases} E_x = A \cos(\xi) \cos(-kz + \omega t) \\ E_y = A \sin(\xi) \cos(-kz + \omega t) \end{cases}$$

**2** Предположим, что поворот поляризации линейно зависит от  $z$ :

$$\xi = -\alpha z$$

$$\begin{cases} E_x = \frac{A}{2} [\cos(\xi + kz - \omega t) + \cos(\xi - kz + \omega t)] \\ E_y = \frac{A}{2} [\sin(\xi - kz + \omega t) + \sin(\xi + kz - \omega t)] \end{cases}$$

**3**

$$\begin{cases} E_x = \frac{A}{2} [\cos(-z(k - \alpha) + \omega t) + \cos(-z(k + \alpha) + \omega t)] \\ E_y = \frac{A}{2} [\cos(-z(k - \alpha) + \omega t + \frac{\pi}{2}) + \cos(-z(k + \alpha) + \omega t - \frac{\pi}{2})] \end{cases}$$

4 Представим через суперпозицию, где  $k^R = k - \alpha$ ,  $k^L = k + \alpha$ :

$$\left\{ \begin{cases} E_x^R = \frac{A}{2} \cos(\omega t - k^R z) \\ E_y^R = \frac{A}{2} \cos(\omega t - k^R z + \frac{\pi}{2}) \end{cases} \right. \\ \left\{ \begin{cases} E_x^L = \frac{A}{2} \cos(\omega t - k^L z) \\ E_y^L = \frac{A}{2} \cos(\omega t - k^L z - \frac{\pi}{2}) \end{cases} \right.$$

$$\omega = 2\pi\nu, \quad \lambda = \frac{2\pi}{k}, \quad \Rightarrow \quad v = \lambda\nu = \frac{\omega}{k}$$

5 Тогда выразим скорости и показатели преломления этих волн:

$$v_L = \frac{\omega}{k - \alpha}, \quad v_R = \frac{\omega}{k + \alpha}, \quad n_L = \frac{c}{v_L}, \quad n_R = \frac{c}{v_R}$$

откуда

$$n_L - n_R = \frac{2c}{\omega} \alpha$$

6

$$\alpha = \frac{\omega}{2c} (n_L - n_R)$$