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 и актуальность

Цели

1. Исследовать магнитооптические свойства теллуритных стёкол (Определить постоянную Верде)
2. Обработать результаты и сделать оценку длины образца для поля и длины волны

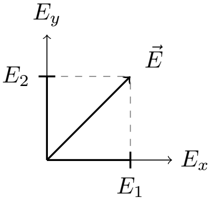
Актуальность

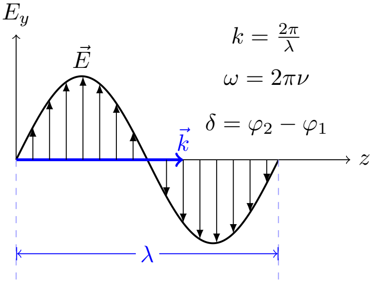
1. Теллуритные стекла обладают оптической активностью и могут быть использованы в качестве магнитооптического материала в изоляторах и вращателях Фарадея
2. Теллуритные стекла обладают широким спектром пропускания (0.4–5.5 мкм)
3. Из этого материала возможно изготовление образцов с большой апертурой
4. Из теллуритных стекол возможно изготовление волокон
5. Теллулитные стекла позволяют изменять постоянную Верде вариацией состава

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**

$$\begin{cases} E_x = E_1 \cos\left(-kz + \omega t + \varphi_1\right) \\ E_y = E_2 \cos\left(-kz + \omega t + \varphi_2\right) \\ E_z = 0 \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_xE_y}{E_1E_2}\cos\delta + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2\delta$$





$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = 2\pi\nu$$

$$\delta = \varphi_2 - \varphi_1$$

1 Если $\delta = 0, \pi$, то

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

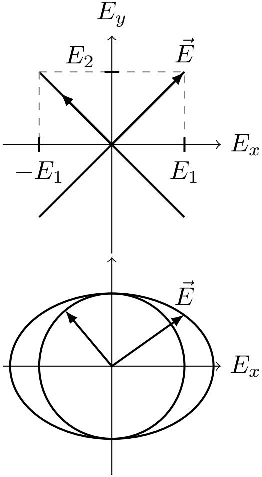
– **линейная** поляризация.

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**:

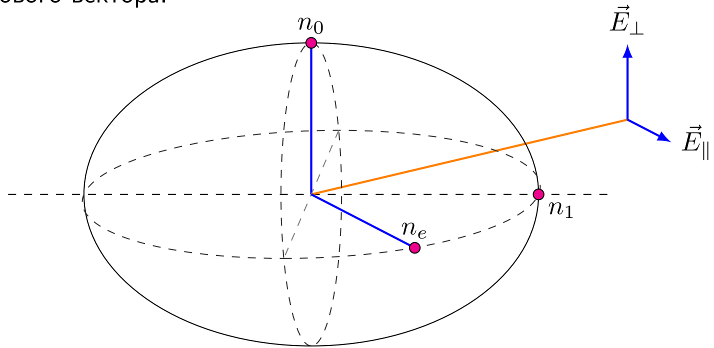
$$E_x^2 + E_y^2 = E'^2$$



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 **особого двулучепреломления – кругового**. 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

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

откуда выражается

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

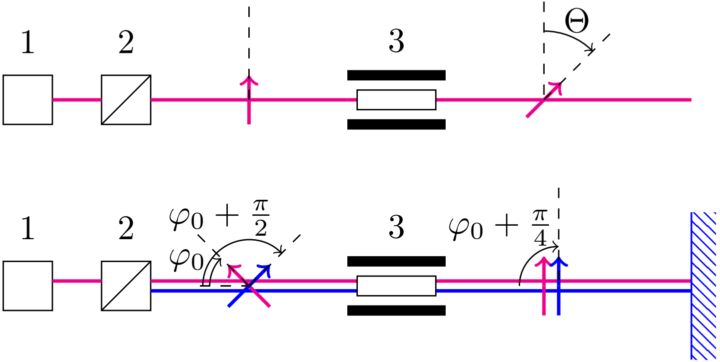
2 В магнитном поле у вещества существуют **собственные частоты** $(\omega_0 \pm \Omega)$, и по Френелю это и есть причина поворота поляризации: сложение двух таких циркулярно поляризованных волн даст волну с повернутой линейной поляризацией

$$\Theta = \frac{\pi L}{\lambda}(n_- - n_+)$$

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

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

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

$$\Theta = \varphi_2 - \varphi_1 = V \int B(z)dz \tag{1}$$

где Θ – угол, на который поворачивается плоскость поляризации.

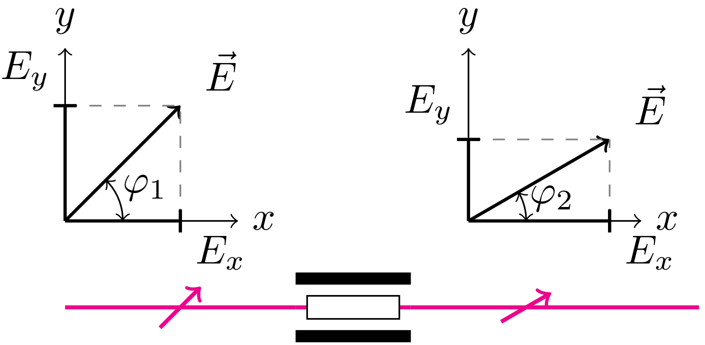
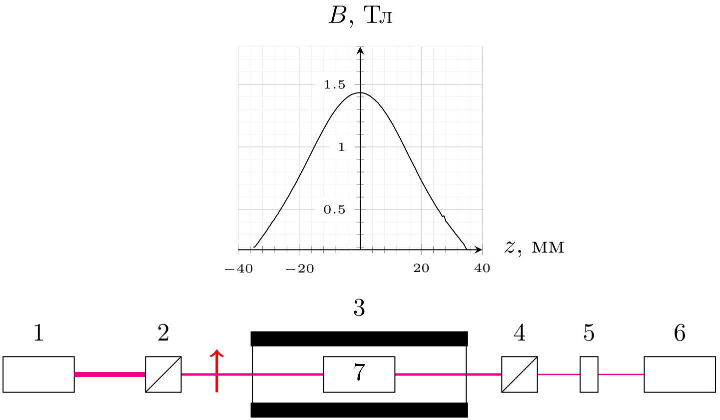


Схема установки

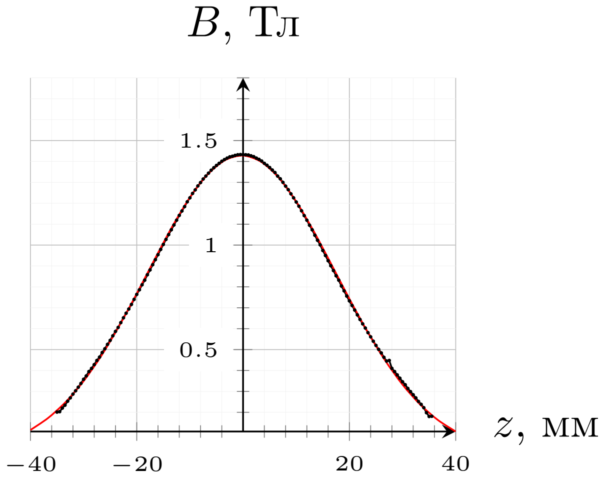


1 – диодный лазер
$\lambda_1 = 531$ нм,
$\lambda_2 = 658$ нм,
$\lambda_3 = 1064$ нм
2 – поляризатор

3 – магнит
4 – призма Глана
5 – фильтр
6 – камера
7 – образец

Аппроксимация распределения магнитного поля

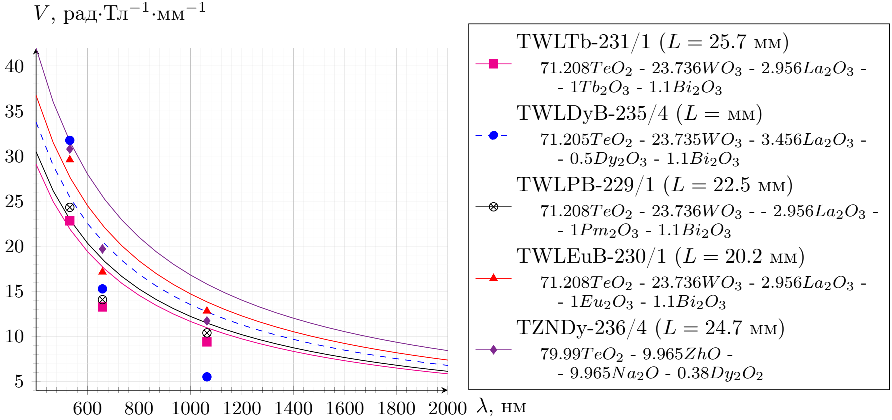
Мы аппроксимировали полученное распределение $B(z)$ с помощью кривой Гаусса:



$$B = B_0 \exp\left[-(x-\mu)^2 \cdot B_0^2 \pi\right],$$

где $B_0 = 1.433$ Тл, а $\mu = -0.2581$ мм.

Результаты эксперимента



Оценка образца TZNDy-236/4: Для поворота на $\Theta = \frac{\pi}{4}$ при $B = 3.5$ Тл и длине волны $\lambda = 1800$ нм нужен образец длиной 2 см.

Выводы

В этой работе

1. исследовали магнитооптические свойства теллуритных стекол (определили постоянную Верде)
2. оценили длину образца, при которой теллуритное стекло вместе с магнитной системой стали бы изолятором Фарадея

Спасибо за внимание!

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

Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний

Рассмотрим уравнение волны:

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

Исключим из них время. Для этого

1. $\frac{E_x}{E_1} = \cos(-kz + \omega t)\cos\varphi_1 - \sin(-kz + \omega t)\sin\varphi_1$
   $\frac{E_y}{E_2} = \cos(-kz + \omega t)\cos\varphi_2 - \sin(-kz + \omega t)\sin\varphi_2$
2. $\frac{E_x}{E_1}\cos\varphi_2 - \frac{E_y}{E_2}\cos\varphi_1 = \sin(-kz + \omega t)\sin(\varphi_2 - \varphi_1)$
3. $\frac{E_x}{E_1}\sin\varphi_2 - \frac{E_y}{E_2}\sin\varphi_1 = \sin(-kz + \omega t)\sin(\varphi_2 - \varphi_1)$
4. $\frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_xE_y}{E_1E_2}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin(\varphi_2 - \varphi_1)$, $\varphi_2 - \varphi_1 = \delta$
5. $\frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_xE_y}{E_1E_2}\cos\delta + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \sin^2\delta$

Поворот поляризации

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

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

2. Предположим, что поворот поляризации линейно зависит от z:

$$\xi = -\alpha z$$

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

3.

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

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

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

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

5 Тогда выразим скорости и показатели преломления этих волн:

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

откуда

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

6

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