

## ДВОЙНОЕ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ $LiNbO_3$

Оптически одноосный кристалл:

$$\bar{D} = \bar{D}_{\parallel} + \bar{D}_{\perp} = \varepsilon_{\parallel} \bar{E}_{\parallel} + \varepsilon_{\perp} \bar{E}_{\perp}.$$

1.  $\bar{D} \perp$  главному сечению: **обыкновенная волна (о)**  $n_o = \sqrt{\varepsilon_{\perp}}$ ,
2.  $\bar{D}$  лежит в главном сечении: **необыкновенная волна (е)**  $\frac{1}{n_e^2} = \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2}$ , где  $n_e = \sqrt{\varepsilon_{\parallel}}$ .

Разность фаз между **о** и **е** волнами после прохождения кристалла с длиной  $l$ :  $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}(n_1 - n_2)$ , где  $n_1 = n_o$ ,  $n_2 = n$  (зависит от  $\theta$  - угла м/у направлением луча и оптической осью кристалла). Разлагая по малости:  $n_2 \approx n_o - (n_o - n_e)\theta^2$ , тогда:  $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}(n_o - n_e)\theta^2$ .

## НАХОЖДЕНИЕ $n_o - n_e$ ДЛЯ $LiNbO_3$

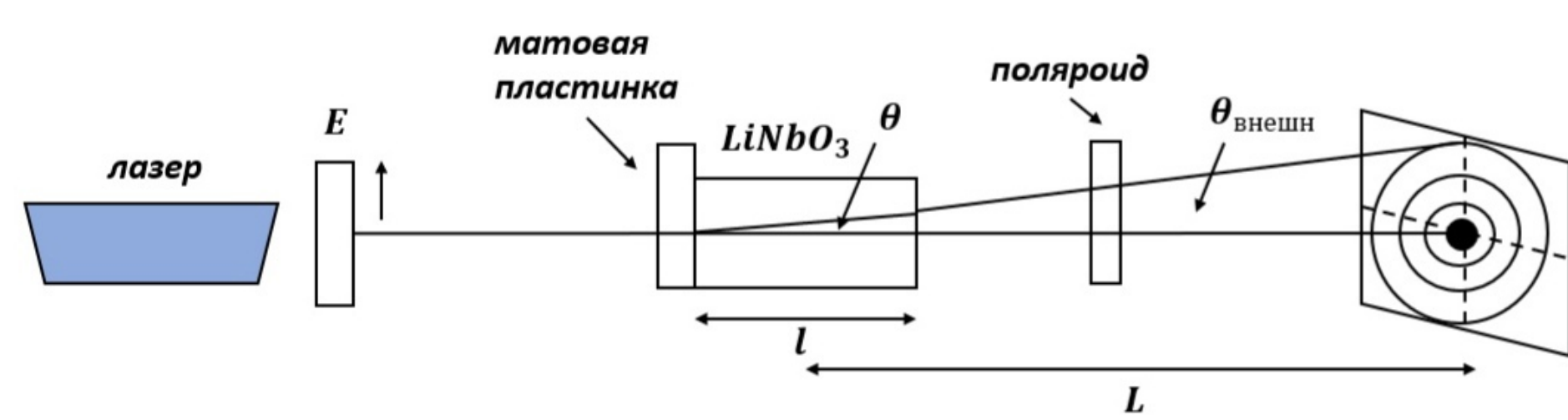


Рис.1: Схема для наблюдения интерференционной картины

минимум в скрещенных поляризациях:  
 $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}(n_o - n_e)\theta^2 = 2\pi m$ ,

$$\theta_{внешн} = n_o \theta \Rightarrow r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{(n_o - n_e)} m.$$

Зависимость квадратов радиусов темных колец от номера m

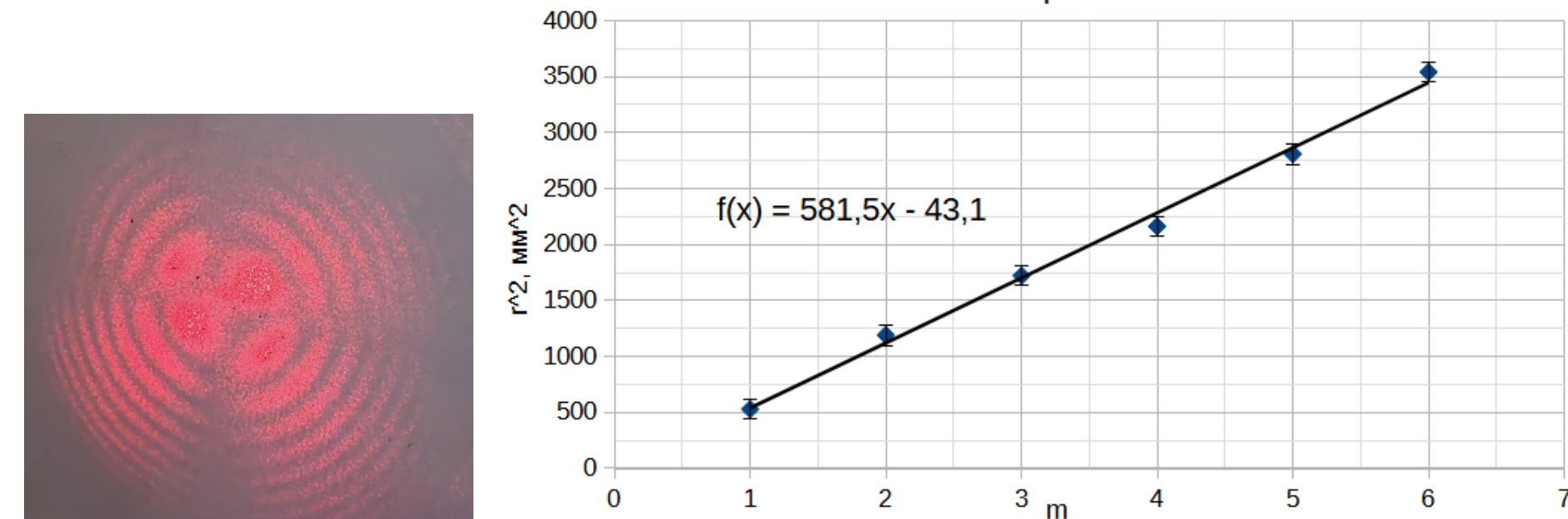


Рис.2: Экспериментальная зависимость  $r_m^2(m)$ . Аппроксимация  $y = kx + b$ , из МНК  $k = 581,5 \pm 47,1$  мм<sup>2</sup>. Тогда  $n_o - n_e = 0,12 \pm 0,01$ .

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.В. Максимычев и Д.А. Александров. Лабораторный практикум по общей физике. Оптика. 2014.
- [2] VM Zhabitskij, AM Kaminskaya, and VK Makoveev. Use of Pokkels effect for measuring accelerations field in linear induction accelerators. Technical report, 1989.

## ЭФФЕКТ ПОККЕЛЬСА ДЛЯ $LiNbO_3$

После приложения поля  $E_{эл}$  вдоль оси  $X \perp$  оптической оси  $Z$ :

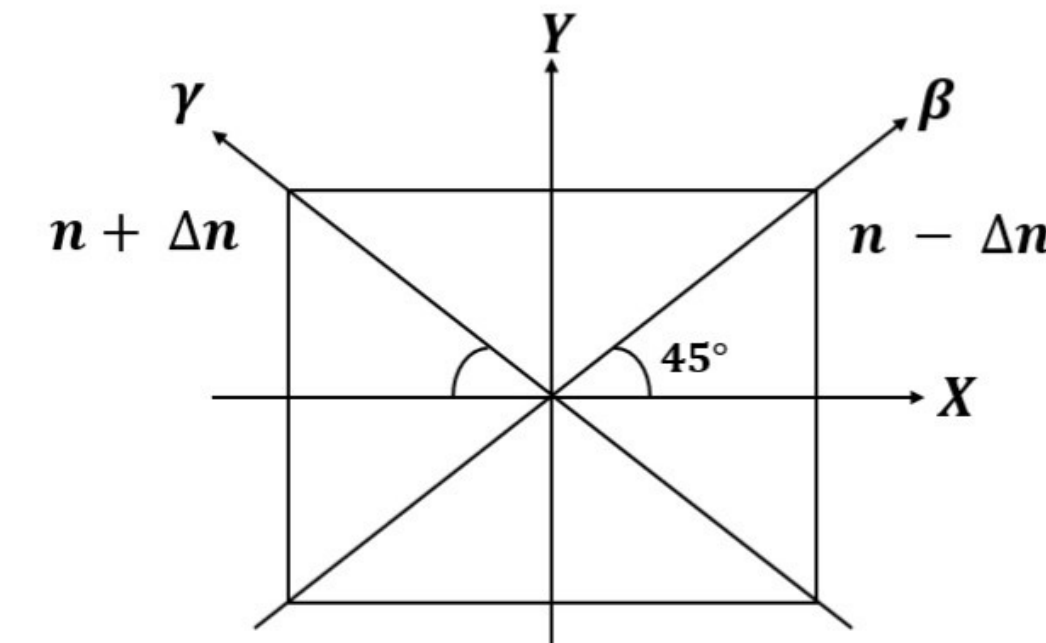


Рис.3: Появление новых главных направлений при наложении эл.поля

– появление *быстрой* и *медленной* осей,  $\Delta n = A \cdot E_{эл}$ , где  $A$  зависит только от типа кристалла. Тогда  $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda} 2\Delta n = \frac{4\pi l}{\lambda} A E_{эл} = \frac{4\pi l}{\lambda} d A U$  ( $U = E_{эл} d$ ), а интенсивность на выходе  $I_{вых} = I_0 \sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2}) = I_0 \sin^2(\frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}})$  (скрещенные поляризации), где  $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}$  – *полуволновое напряжение*, соответствующее  $\Delta\varphi = \pi$ .

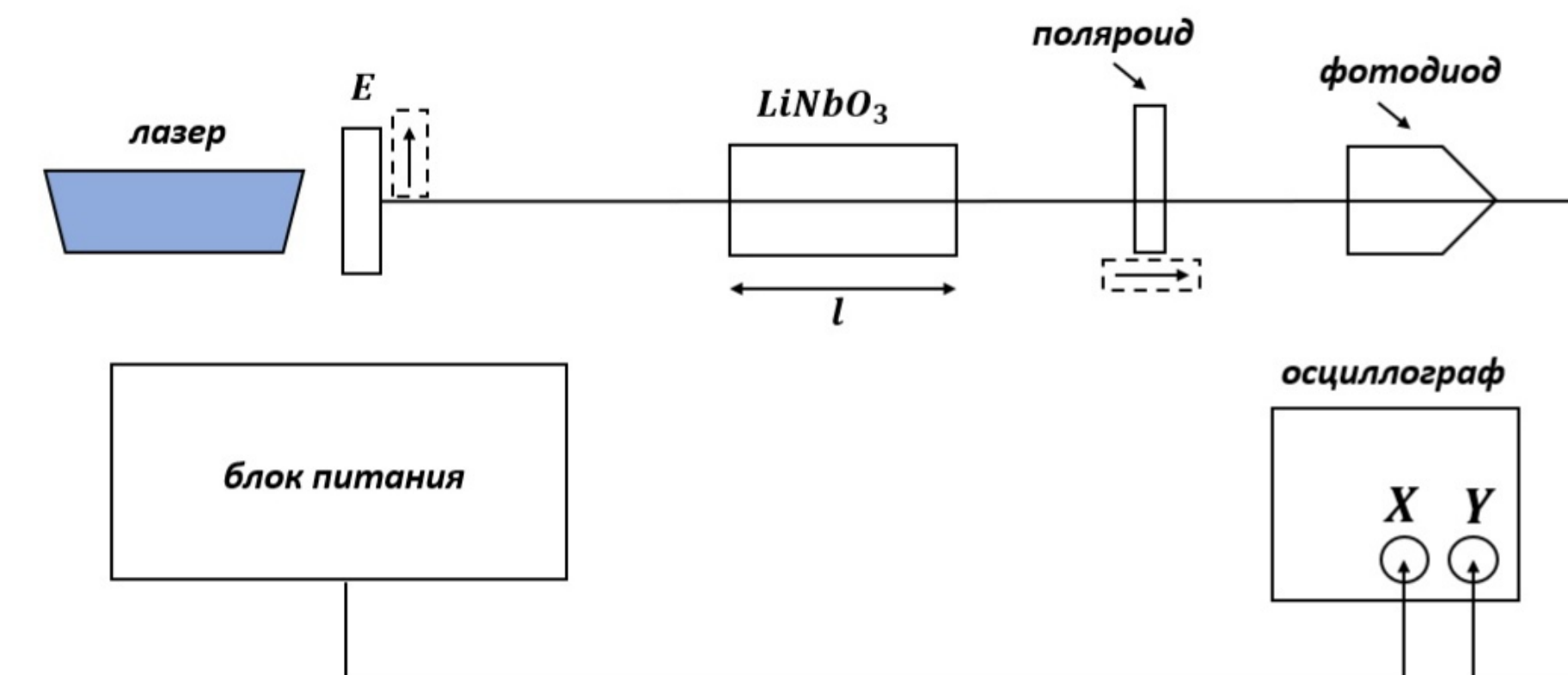


Рис. 4: Схема для изучения двойного лучепреломления в эл.поле

Экспериментальное значение  $U_{\lambda/2} = 480 \pm 8$  В.  
 $U_{\lambda/2}$  через *фигуры Лиссажу*:  $U_{\lambda/2} = 465 \pm 21$  В.

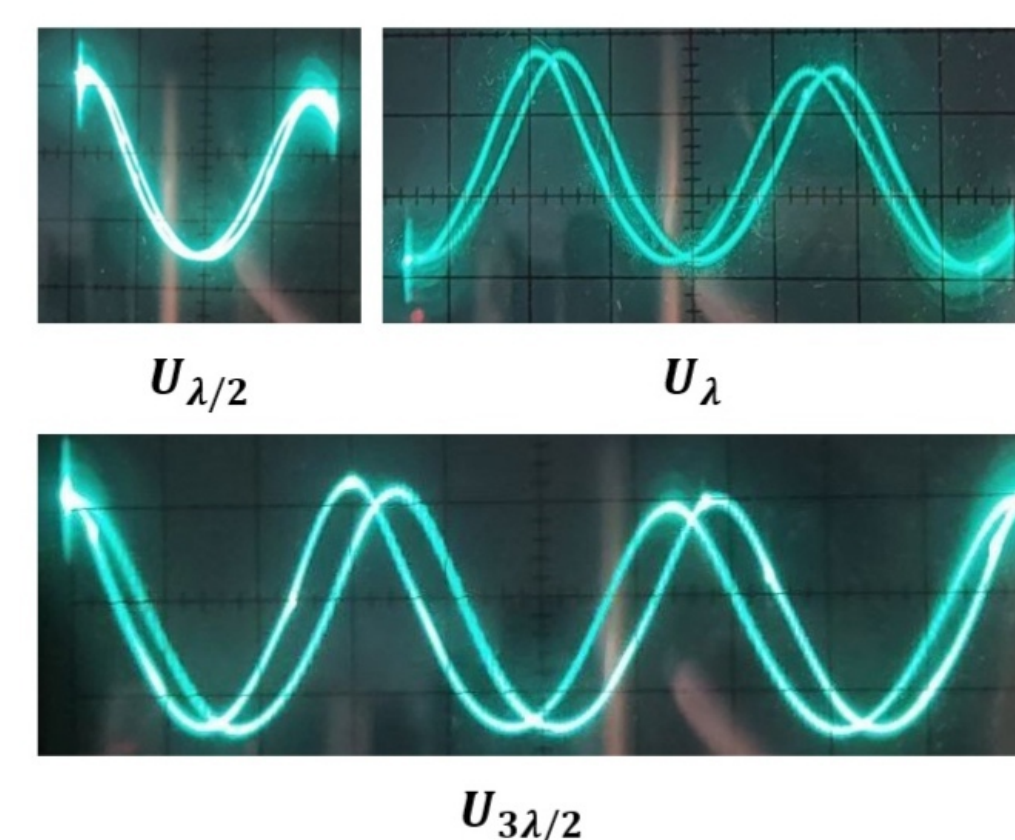


Рис.5: Фигуры Лиссажу, соответствующие напряжениям  $U_{\lambda/2}$ ,  $U_{\lambda}$ ,  $U_{3\lambda/2}$

## ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЯЮЩЕГО ПОЛЯ В ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ

В измерительной технике весьма важным является измерение параметров ускоряющего электрического поля.

**Идея:** измерение поля с помощью эффекта Поккельса.

**Цель работы:** анализ и экспериментальная проверка пригодности эффекта Поккельса для измерения параметров ускоряющих полей в линейных индукционных ускорителях, где характерные напряженности поля не превышают 100 кВ/м, а длительности импульсов напряжений составляют десятки наносекунд.

Рассмотрим кристалл с кубической системой симметрии и приложим внешнее поле вдоль его оси  $z$ :

$$n_z \approx n_o \text{ без изменения,}$$

$$n'_x \approx n_o + \frac{1}{2} n_o^3 r E_i,$$

$$n'_y \approx n_o - \frac{1}{2} n_o^3 r E_i,$$

где  $r$  – электрооптический коэффициент,  $E_i$  – поле внутри кристалла.

Пусть вдоль  $z$  распространяется луч света. Сдвиг фаз после прохождения кристалла в линейном приближении:  $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}(n'_x - n'_y) \approx \frac{2\pi l}{\lambda} n_o^3 r E_i$ , где  $l$  – оптический путь света в кристалле.

Преобразуем полученную фазовую модуляцию полем в амплитудную с помощью скрещенных поляризаторов:

$$I_{вых} = I_0 \sin^2(\frac{\Delta\varphi}{2}) = I_0 \sin^2(\frac{\pi}{\lambda} r n_o^3 E_i l).$$

$$\begin{cases} \frac{\partial I_{вых}}{\partial \Delta\varphi} \rightarrow \max \text{ при } \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}, \\ \frac{I_{вых}}{I_0} = 0,5 + 0,5(\Delta\varphi - \frac{\pi}{2}) = 0,5 + \alpha E_o. \end{cases}$$

– эта совокупность условий в точке  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$  дает лучшую чувствительность системы и максимально широкую область линейной аппроксимации.

## СХЕМА ДАТЧИКА

В датчике используется кристалл  $Bi_{12}SiO_{20}$  с показателем преломления  $n_o = 2,49$  для длины волны света  $\lambda = 0,85$  мкм, электрооптический коэффициент  $r \approx 3,7 \cdot 10^{-12}$  м/В. Кристалл вырезан вдоль оси  $z$  в форме цилиндра  $1,5 \times 8$  мм.

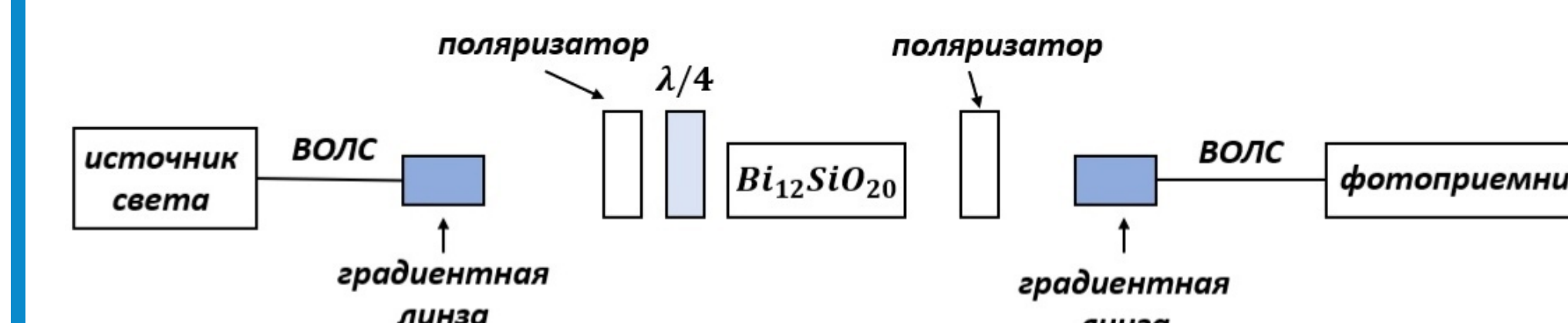


Рис. 6: Схема датчика на кристалле силико-силленита

Расчетная функция отклика:

$$S^{th} = 1 - 8,16 \cdot 10^{-4} E_o,$$

где  $E_o$  – измеряемое поле в кВ/м.

Калибровка датчика:

$$S^{ex} = (0,764 \pm 0,014) - (8,3 \pm 1,2) \cdot 10^{-4} E$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Проверка работы датчика проводилась на стенде модели ускоряющей секции СИЛУНД. Среднее значение напряженности поля около 200 кВ/м, длительность импульса на полувысоте  $\approx 50$  нс.

Таким образом, электрооптические датчики на основе эффекта Поккельса пригодны для измерения ускоряющих электрических полей.

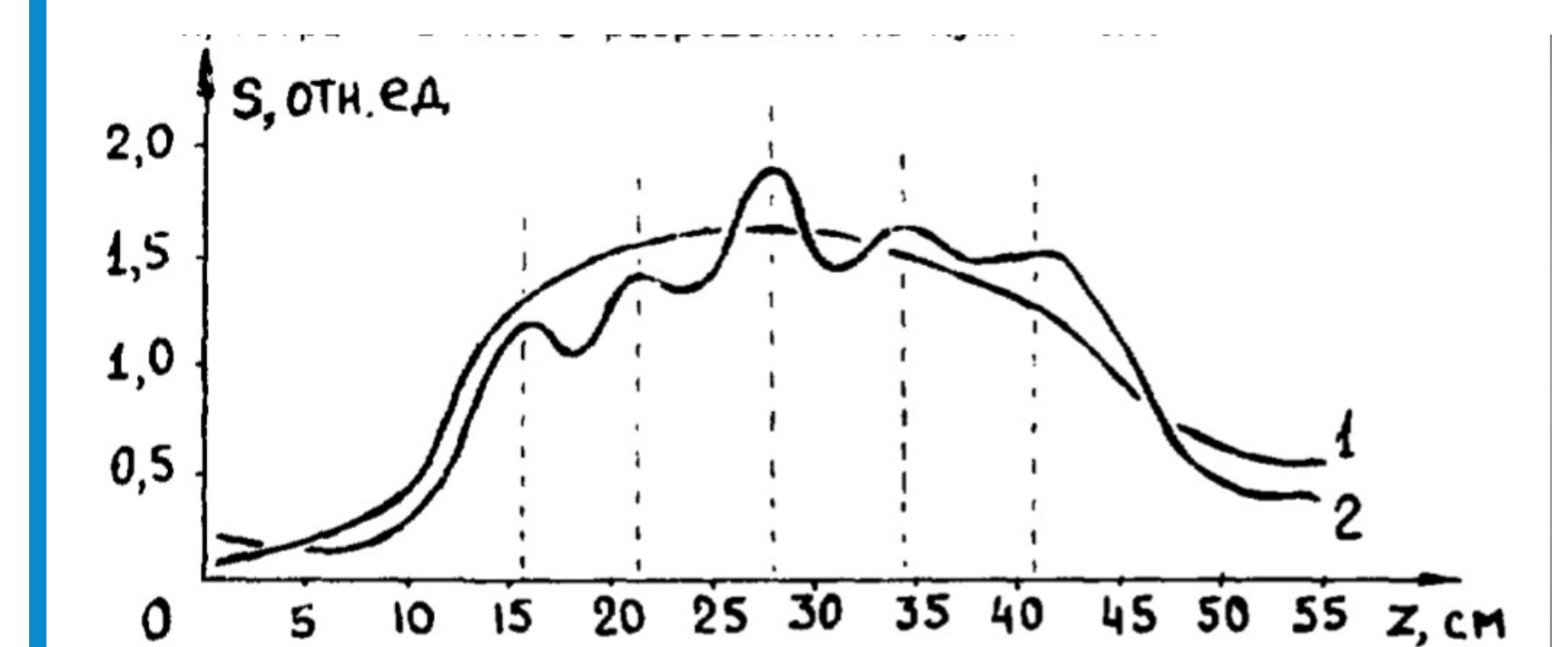
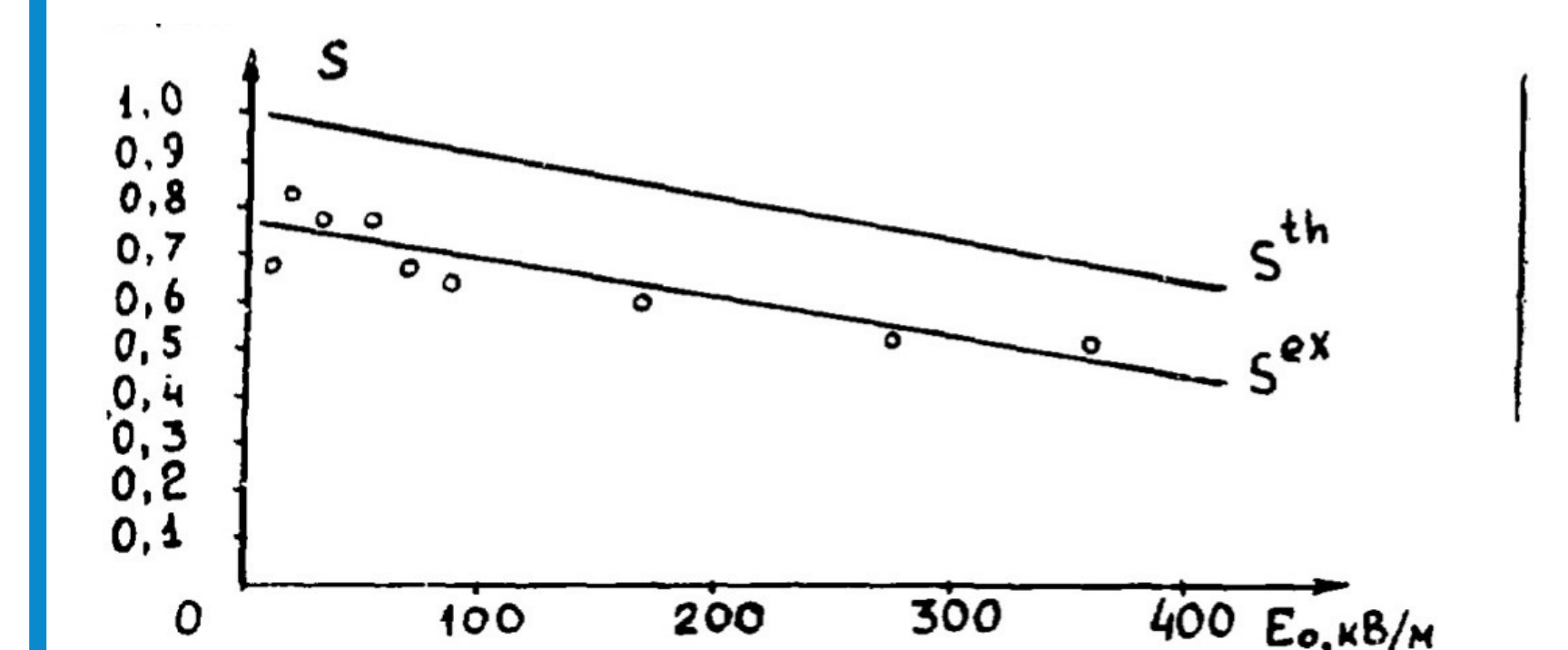


Рис. 7,8: Калибровка датчика и распределение поля вдоль оси секции в центре (1) и на периферии (2)