

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

Лабораторная работа 4.7.2  
**Эффект Поккельса**

---

**Цель работы:** исследовать интерференцию рассеянного света, прошедшего кристалл; наблюдать изменение характера поляризации света при наложении на кристалл электрического поля.

**В работе используются:** гелий-неоновый лазер, поляризатор, кристалл ниобата лития, матовая пластина, экран, источник высоковольтного переменного и постоянного напряжения, фотодиод, осциллограф, линейка.

## 1 Теоретическое введение

Эффект Поккельса – изменение показателя преломления света в кристалле под действием электрического поля.

Рассмотрим кристалл ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  с центральноосевой симметрией вдоль оси  $Z$ . Для световой волны с  $\mathbf{E}$  перпендикулярно  $Z$  показатель преломления будет  $n_o$ , а для волны с  $\mathbf{E}$  вдоль  $Z$  –  $n_e$ . В случае, когда луч света идёт под углом  $\theta$  к оси, есть два значения показателя преломления  $n_1$  и  $n_2$ :  $n_1 = n_o$  для волны с  $\mathbf{E}$  перпендикулярным плоскости  $(\mathbf{k}, \mathbf{Z})$  (обыкновенная волна) и  $n_2$  для волны с  $\mathbf{E}$  в этой плоскости (необыкновенная волна). В последнем случае

$$\frac{1}{n_2^2} = \frac{\cos^2 \theta}{n_0^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2}. \quad (1)$$

Если перед кристаллом, помещённым между поляроидами, расположить линзу или матовую пластиинку, то на экране за поляроидом мы увидим тёмные концентрические окружности – результат интерференции обыкновенной и необыкновенной волн. При повороте выходного поляроида на  $90^\circ$  картина меняется с позитива на негатив (на месте светлых пятен тёмные и наоборот). В случае, когда разрешённое направление анализатора перпендикулярно поляризации лазерного излучения, радиус тёмного кольца с номером  $m$  равен

$$r_m^2 = \frac{\lambda}{l} \frac{(n_o L)^2}{n_0 - n_e} m, \quad (2)$$

где  $L$  – расстояние от центра кристалла до экрана,  $l$  – длина кристалла.

Теперь поместим кристалл в постоянное электрическое поле  $E_{\text{эл}}$ , направленное вдоль оси  $X$ , перпендикулярной  $Z$ . Показатель преломления для луча, распространяющегося вдоль  $Z$ , всегда  $n_o$ . В плоскости  $(X, Y)$  возникают два главных направления под углами  $45^\circ$  к  $X$  и  $Y$  с показателями преломления  $n_0 - \Delta n$  и  $n_o + \Delta n$  (быстрая и медленная ось), причём  $\Delta n = AE_{\text{эл}}$ . Для поляризованного вертикально света и анализатора, пропускающего горизонтальную поляризацию, на выходе интенсивность на выходе будет иметь вид

$$I_{\text{вых}} = I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{U}{U_{\lambda/2}} \right), \quad (3)$$

где  $U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{4A} \frac{d}{l}$  – полуволновое напряжение,  $d$  – поперечный размер кристалла. При напряжении

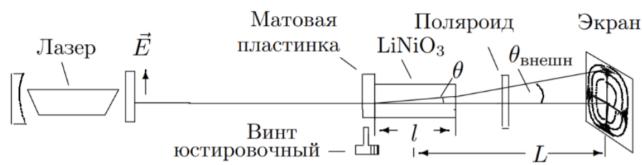


Рис. 1: Схема для наблюдения интерференционной картины.

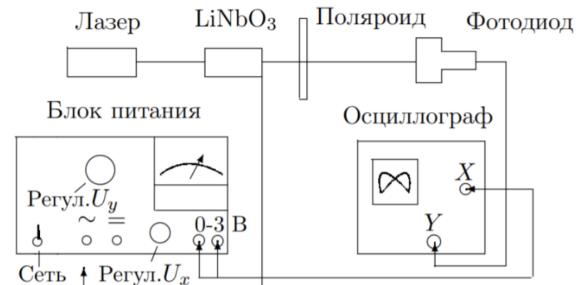


Рис. 2: Схема установки.

$U = E_{\text{эл}}d$  равном полуволновому сдвиг фаз между двумя волнами равен  $\pi$ , а интенсивность света на выходе максимальна.

На Рис. 2 представлена схема всей установки (оптическая часть изображена на Рис. 1). Свет лазера, проходя через сквозь пластину, рассеивается и падает на двоякотрепломляющий кристалл. На экране за поляризатором видна интерференционная картина. Убрав рассеивающую пластину и подавая на кристалл постоянное напряжение, можно величиной напряжения влиять на поляризацию луча, вышедшего из кристалла. Заменив экран фотодиодом и подав на кристалл переменное напряжение, можно исследовать поляризацию с помощью осциллографа.

## 2 Ход работы:

### Определение разности показателей преломления

Выполним юстировку системы, получим интерференционную картину.

Измерим радиусы  $r(m)$  тёмных колец при расстоянии  $L = 84 \pm 1$  см от середины кристалла до экрана. Результаты занесем в Таблицу 1. На Рис 3 построим график  $r^2 = f(m)$ .

$m$	1	2	3	4	5	6
$r_m, \text{ см}$	2.9	4.3	5.3	6.1	6.7	7.2

Таблица 1: Радиусы тёмных колец.

[]

Получим  $k = 8,6 \pm 0.1 \text{ см}^2$ .

Отсюда для значений  $n_0 = 2.29$ ,  $\lambda = 0.63 \text{ мкм}$ ,  $l = 26 \text{ мм}$  получаем из формулы (2)

$$n_0 - n_e = 0.1 \pm 0.01$$

### Определение полу волнового напряжения ниобата лития

Убедимся ещё раз, что направление лазерного луча совпадает с направлением на центр интерференционной картины и уберём матовую пластиинку. Подключим разъём блока питания на постоянно напряжение, установим регулятор напряжения на минимум и включим блок питания в сеть.

Увеличивая напряжение на кристалле определим полу волновое напряжение по максимальной яркости пятна на экране:

$$U_{\lambda/2} = 435 \text{ В} \quad (4)$$

И по положению следующего минимума - волновое напряжение

$$U_\lambda = 2U_{\lambda/2} = 960 \text{ В}$$

Проделаем всё то же самое для параллельной поляризации лазера и анализатора:

$$U_{\lambda/2} = 900 \text{ В}$$

$$U_\lambda = 2U_{\lambda/2} = 1440 \text{ В}$$

Вращая анализатор и наблюдая за яркостью пятна на экране, убеждаемся, что поляризация круговая.

Дальнейшие измерения проводим при помощи осциллографа. Установим вместо экрана фотодиод и поставим на переменное напряжение. С трёхвольтового выхода БП подадим сигнал на  $X$ -канал осциллографа. Таким образом, отклонение луча осциллографа по оси  $X$  будет пропорционально напряжению  $U$  на кристалле, а по оси  $Y$  - интенсивности прошедшего через анализатор сигнала  $I_{out}$

Постепенно повышая напряжение на кристалле, будем наблюдать на экране фигуры Лиссажу, соответствующие зависимости  $I_{out}$  для скрещенных поляризаций лазера и анализатора. Объясняясь от фигуры Лиссажу симметричности.

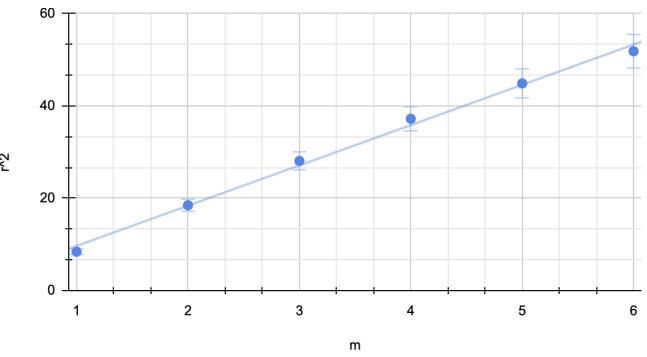


Рис. 3:  $r^2 = f(m)$

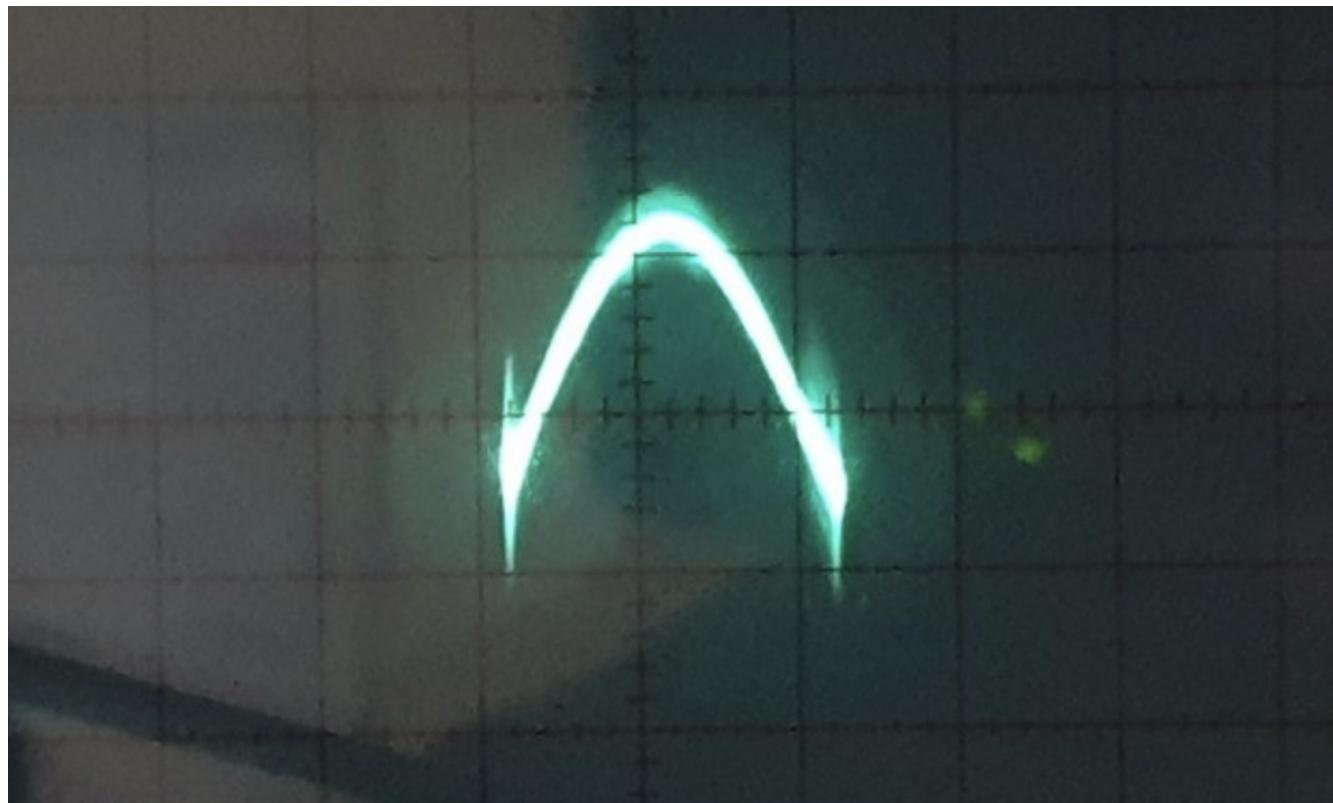


Рис. 4: Фигура Лиссажу

Наблюдая за фигурой Лиссажу, определим (по вольтметру на источнике питания) полуволновое напряжение  $U_{\lambda/2}$  как  $\Delta U$ , соответствующее переходу от максимума к минимуму на осциллограмме.

$$U_{\lambda/2} = \Delta U = 480\text{В}$$

Это значение довольно точно совпадает со значением  $U_{\lambda/2}$  для поперечной поляризации, полученным ранее.

Фигуры Лиссажу для различных напряжений

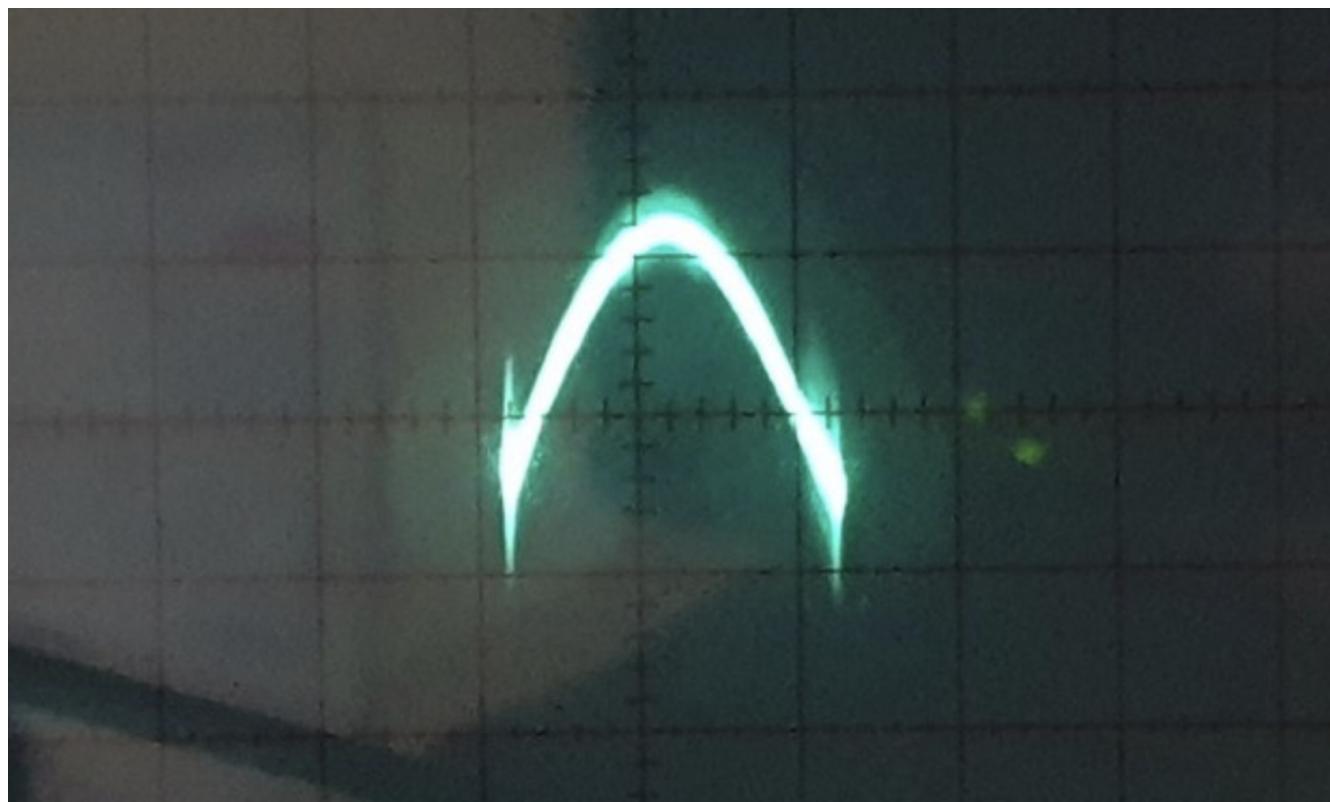


Рис. 5: Фигура Лиссажу при  $U = U_{\lambda/2}$

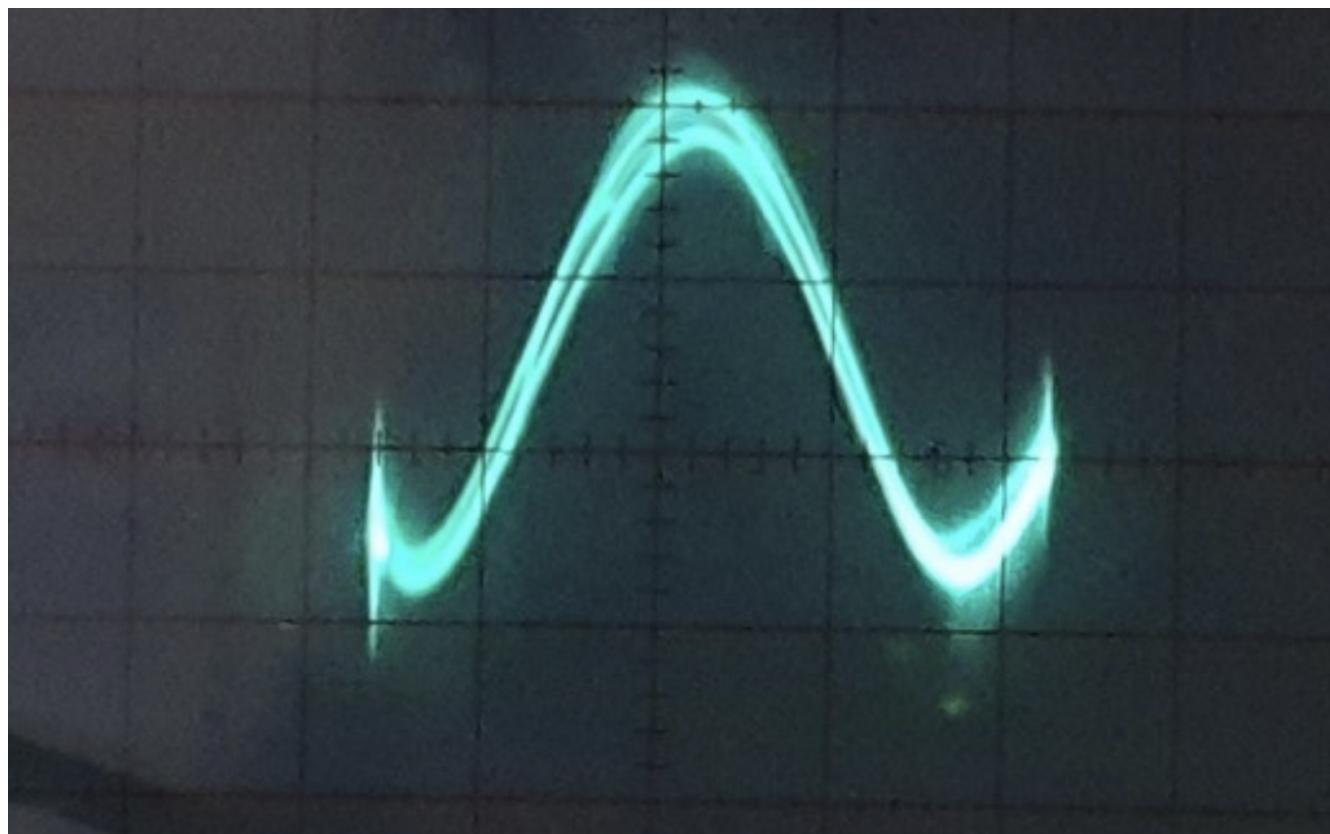
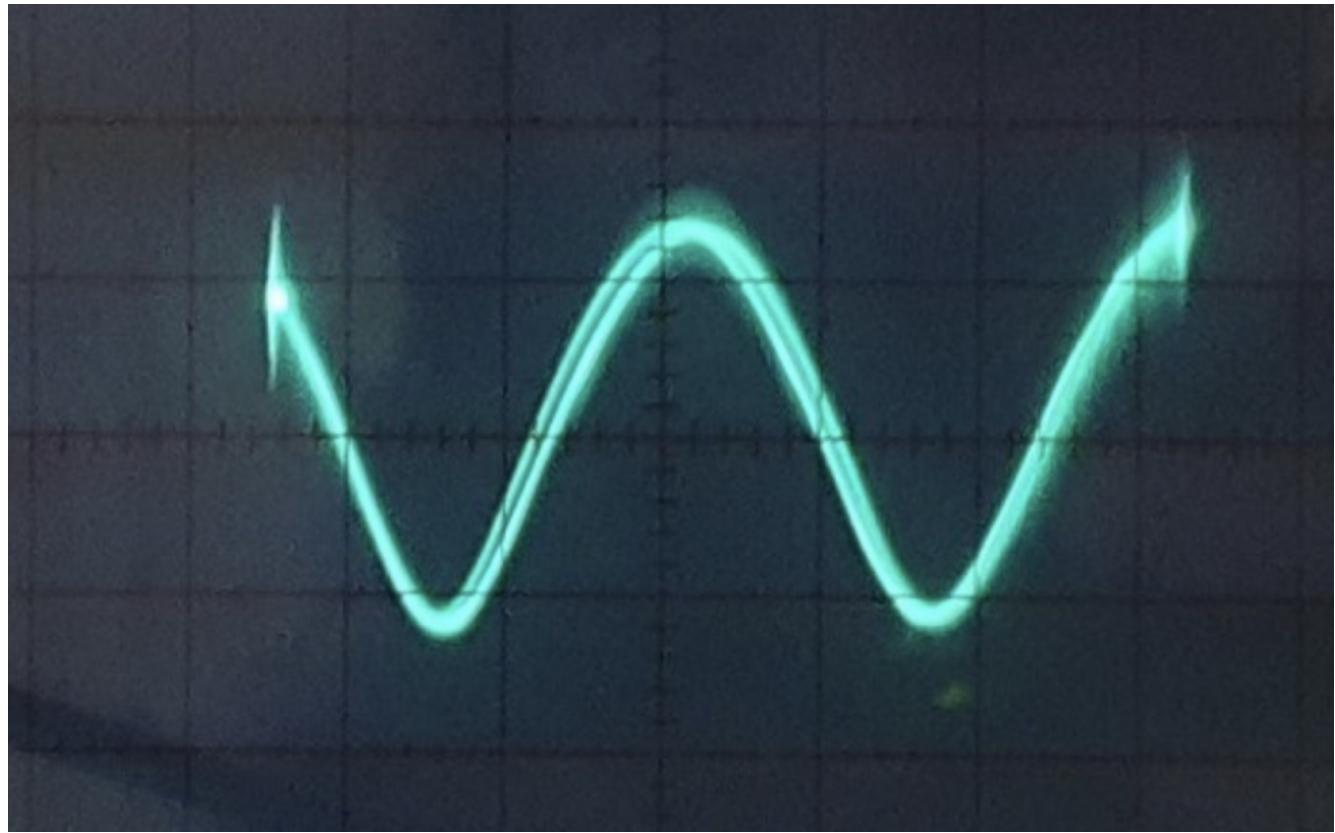


Рис. 6: Фигура Лиссажу при  $U = U_\lambda$

Рис. 7: Фигура Лиссажу при  $U = U_{3\lambda/2}$ 

## Обсуждение результатов и выводы

- Было проведено измерение радиусов тёмных колец  $r(m)$  на расстоянии  $L = 84 \pm 1$  см от середины кристалла до экрана. Результаты приведены в Таблице 1. Из зависимости  $r^2$  от порядкового номера кольца (График 1) аппроксимацией получили угловой коэффициент  $k = 8.6 \pm 0.1$  см<sup>2</sup>. Отсюда для указанных на установке значений  $n_0 = 2.29$ ,  $\lambda = 0.63$  мкм,  $l = 26$  мм для двулучепреломления ниобата лития получили

$$n_0 - n_e = 0.1 \pm 0.01$$

Табличное значение для двулучепреломления ниобата лития:  $n_0 - n_e = 0.09$ . Видим, что в пределах погрешности оно совпадает с полученным.

- Было измерено полуполновое напряжение кристалла на длине волны  $\lambda = 0.63$  мкм при постоянном и переменном напряжениях. Первое определяем из условия максимума интенсивности, второе – при помощи осциллографа по разности напряжений при максимуме и минимуме у фигуры Лиссажу. Получили

$$U_{\lambda/2}^{\text{AC}} = 435 \pm 15 \text{ В}, \quad U_{\lambda/2}^{\text{DC}} = 480 \pm 15 \text{ В}$$

Видим, что значения достаточно похожи.

- Подав на кристалл четвертьволновое напряжение, вращая анализатор убедились в том, что поляризация на выходе из кристалла круговая.

Основной вклад в ошибку в ходе выполнения работы могла внести неточность при определении диаметра колец на экране и выходного напряжения при помощи источника питания.