

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА
ВЕЛИКОГО
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

Группа 3251401/00001

К работе допущен _____

Студент Князев С. А.

Работа выполнена _____

Преподаватель Савченко Г. М.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 2.01

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА

1. Цель работы:

Исследовать температурную зависимость диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика, вычислить постоянную Кюри-Вейса.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

- 1) Измерить емкость сегнетоэлектрического образца в диапазоне температур 60-120°C.
- 2) Найти температуру Кюри Θ_k .
- 3) Выделить область действия закона Кюри-Вейса.
- 4) Вычислить постоянную Кюри-Вейса.

3. Объект исследования:

Образец из титаната бария с примесью стронция

4. Метод экспериментального исследования:

Многократные измерения температурной зависимости диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика.

5. Рабочие формулы:

- 1) $\varepsilon = \frac{A}{T - \Theta_1}$ - диэлектрическая проницаемость; 3) $\Delta A = \Delta \left(\frac{1}{A} \right) \cdot A^2$ - погрешность
- 2) $C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$ - емкость; постоянная Кюри-Вейса;

6. Измерительные приборы:

1	23	296	3,00	16	93	366	7,30		
2	30	303	3,01	17	96	369	8,96		
3	40	313	3,08	18	99	372	11,87		
4	50	323	3,23	19	102	375	15,79		
5	60	333	3,47	20	105	378	17,45		
6	63	336	3,57	21	108	381	17,53		
7	66	339	3,69	22	111	384	16,80	1,43	
8	69	342	3,83	23	114	387	15,60	1,54	
9	72	345	4,00	24	117	390	14,37	1,68	
10	75	348	4,20	25	120	393	13,15	1,83	
11	78	351	4,45						
12	81	354	4,74						
13	84	357	5,11						
14	87	360	5,62						
15	90	363	6,35						

На основе полученных данных построен график зависимости $C = C(T)$. По нему нашел температуру Кюри $\theta_K = 380 K$ и соответствующее ей максимальное значение емкости $C_m(\theta_K) = 17,6 нФ$. По формуле (2) вычислил максимальное значение диэлектрической проницаемости ϵ_m :

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м};$$

$$C_m = \frac{\epsilon_m \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d} = \epsilon_m \cdot \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot S} = \frac{17,6 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 544 \cdot 10^{-6}} = 7311,4;$$

$$S = 544 \text{ мм}^2;$$

$$d = 2 \text{ мм};$$

9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов):

Для каждого значения выше точки Кюри по формуле (2) вычислил и занес в табл. 1 значение $\frac{1}{\epsilon}$. Затем построил график зависимости $\frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon}(T)$ и линейной экстраполяцией вычислил значение θ_1 равное 352 K. Методом парных точек вычислил и занес в табл.2 коэффициент $\frac{1}{A}$ зависимости $\frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{A} \cdot T - \frac{\theta_1}{A}$.

Таблица 2. Вычисление коэффициента 1/A методом парных точек

Пары точек $i-j$	$T_i - T_j, K$	$\frac{10^4}{\epsilon_i} - \frac{10^4}{\epsilon_j}$	$\left(\frac{10^4}{A}\right)_{ij}, K^{-1}$	$\left(\frac{10^4}{A}\right)_{ij} - \left(\frac{10^4}{A}\right), K^{-1}$	$\left(\left(\frac{10^4}{A}\right)_{ij} - \left(\frac{10^4}{A}\right)\right)^2 \cdot 10^5, K^{-2}$
22 - 24	-6	-0,24	0,0404	-0,0038	1,4184
23 - 25	-6	-0,29	0,0479	0,0038	1,4184

$$\left\langle \frac{1}{A} \right\rangle = 0,04415 \cdot 10^{-4} K^{-1}$$

$$\sum \left(\left(\frac{10^4}{A} \right)_{ij} - \left\langle \frac{10^4}{A} \right\rangle \right)^2 \cdot 10^5 = 2,837 \cdot 10^{-5} K^{-2}$$

Из полученного среднего значения коэффициента $\frac{1}{A}$ вычислил константу Кюри-Вейса A .

$$\langle A \rangle = 226503 K$$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений):

Погрешность определения температуры Кюри:

$$\Delta \Theta_K = \Delta T = 1 K;$$

Погрешность вычисления максимальной диэлектрической проницаемости:

$$\Delta \varepsilon_m = \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C} \right)^2} \cdot \varepsilon_m = \sqrt{\left(\frac{1}{380} \right)^2 + \left(\frac{0,01}{17,6} \right)^2} \cdot 7311,4 = 19,7;$$

Погрешность вычисления коэффициента $1/A$:

$$\Delta \frac{1}{A} = \sqrt{\frac{\sum \left(\left(\frac{10^4}{A} \right)_{ij} - \left\langle \frac{10^4}{A} \right\rangle \right)^2}{n(n-1)}} \cdot \left\langle \frac{1}{A} \right\rangle = \sqrt{\frac{2,837 \cdot 10^{-5}}{2}} \cdot 0,04415 \cdot 10^{-4} = 1,66 \cdot 10^{-8} K^{-1};$$

Погрешность вычисления константы Кюри-Вейса:

$$\Delta A = \Delta \left(\frac{1}{A} \right) \cdot A^2 = 1,66 \cdot 10^{-8} \cdot 226503^2 = 851,6 K$$

11. Графики (перечень графиков):

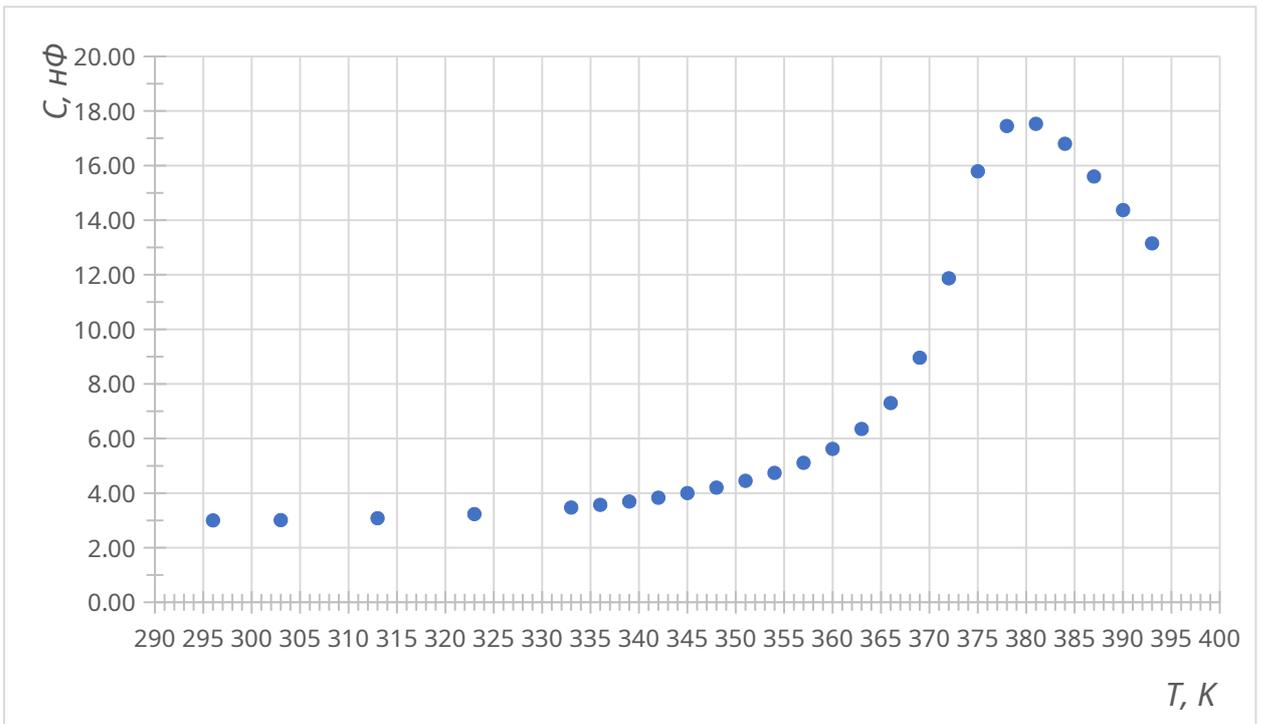


Рис. 1. График зависимости $C = C(T)$.

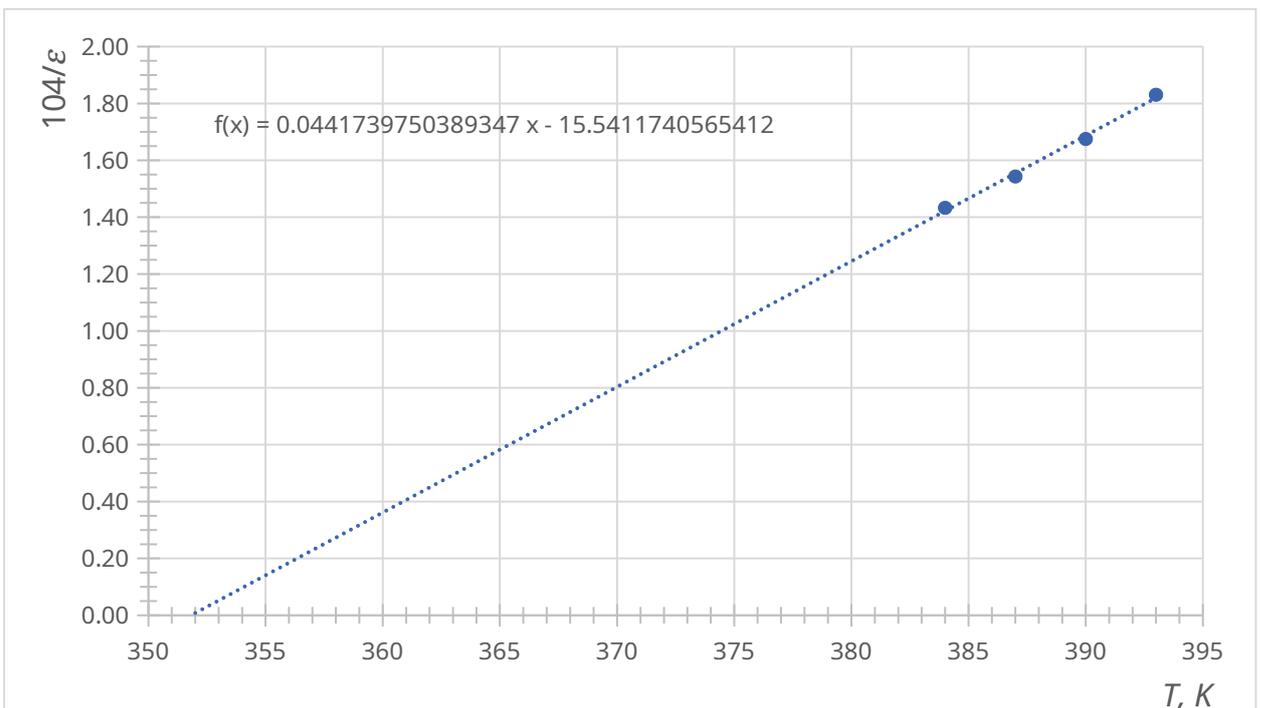


Рис. 2. График зависимости $\frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon}(T)$.

12. Окончательные результаты:

$$\theta_K = (380 \pm 1) K; \quad \varepsilon_m = (73,1 \pm 0,2) \cdot 10^2; \quad A = (22,65 \pm 0,08) \cdot 10^4 K;$$

13. Выводы и анализ результатов работы:

В ходе проделанной работы мне удалось выяснить, что температура Кюри для образца из титаната бария с примесью стронция равна 380 K. Полученное значение с учетом погрешности не соответствует табличному значению равному 393 K, т.к. при легировании сегнетоэлектрика редкоземельными металлами (в нашем случае – стронцием) температура фазового перехода II рода изменяется. Доверительный интервал максимальной диэлектрической проницаемости входит в табличный диапазон значений $10^3 \div 10^4$. Полученное значение константы Кюри-Вейса попадает в табличный диапазон значений для сегнетоэлектриков кислородно-октаэдрического типа, к которому относится *BaTiO₃*, от 10^5 K до $3 \cdot 10^5$ K. Результат проделанной работы свидетельствует о достоверности измерений и стабильной работе лабораторной установки.