

Группа М3304 К работе допущен _____
Студент Васильков Д.А, Лавренов Д.А. Работа выполнена _____
Преподаватель Шоев В.И. Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №5.08 “Дифракция электронов на кристалле графита”

1) Цель работы

1. Экспериментально получить дифракционную картину
2. Рассчитать межплоскостные расстояния в поликристаллической решетке графита
3. Рассчитать постоянную Планка

2) Задачи, решаемые при выполнении работы

1. Измерение диаметров дифракционных колец
2. Определение зависимости диаметров колец от ускоряющего напряжения электронов
3. Экспериментальное определение межплоскостных расстояний в графите и определение постоянной Планка

3) Объект исследования

Дифракция электронов на кристалле графита

4) Метод экспериментального исследования

Измерение дифракционной картины электронов.

5) Рабочие формулы и исходные данные

1. Формула Планка:

$$E = h\nu$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

2. Длина волны де-Бройля электрона:

$$\lambda_{\text{дб}} = \frac{h}{p} = \frac{h\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{mv}$$

3. Угол скольжения:

$$\sin \vartheta_{1/2} = \sin \left(\frac{1}{2} \cdot \arctan \frac{D_{1/2}}{2L} \right)$$

4. Экспериментальная длина волны электронов:

$$2d_{1/2} \cdot \sin \vartheta_{1/2} = n\lambda$$

6) Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Штангенциркуль	Электронный	0–50 мм	0,1 мм

7) Схема установки.

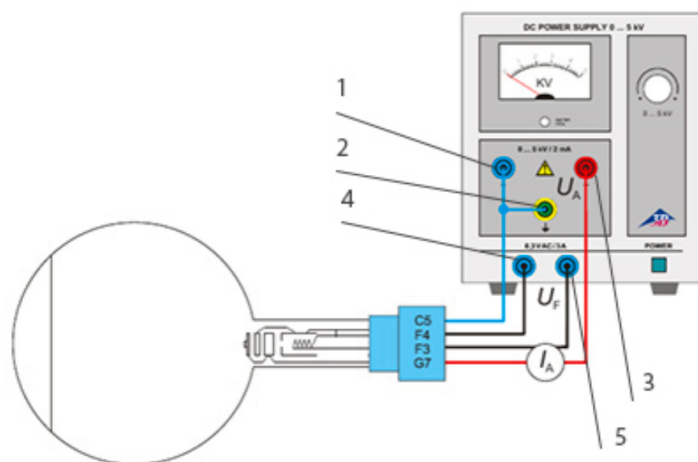


Рис. 1. Схема рабочей установки

Установка состоит из источника высокого напряжения 0÷5 кВ и электронного дифракционного прибора (трубка).

8) Результаты прямых измерений и их обработки.

Таблица 1: Измерение диаметра дифракционных колец штангенциркулем

$U, \text{кВ}$	$D_{11}, \text{мм}$	$D_{12}, \text{мм}$	$D_1, \text{мм}$	$D_{21}, \text{мм}$	$D_{22}, \text{мм}$	$D_2, \text{мм}$	$\lambda, \text{пм}$
5	18,60	23,40	21,00	5,20	8,70	6,95	17,25
4,5	19,50	24,20	21,85	5,40	9,20	7,30	18,19
4	19,50	25,50	22,50	6,00	10,00	8,00	19,29
3,5	21,60	26,20	23,90	6,60	10,50	8,55	20,62
3	21,60	27,00	24,30	6,80	10,70	8,75	22,27
2,5	22,20	30,20	26,20	7,00	11,00	9,00	24,40

$$D_1 = \frac{D_{11} + D_{12}}{2} = 21 \text{ мм}$$

$$D_2 = \frac{D_{21} + D_{22}}{2} = 6,95 \text{ мм}$$

$$\lambda = \left(\frac{1,22}{\sqrt{U \cdot 10^3}} \cdot 10^{-9} \right) \cdot 10^{12} = 17,25 \text{ пм}$$

9) Расчёт косвенных измерений.

Таблица 2: Измерение межплоскостного расстояния, длины волны Де-Бройля и импульса электрона по первому кольцу

$U, \text{кВ}$	$\sin\vartheta_1$	$d_1, \text{пм}$	$\lambda_1, \text{пм}$	$\log \lambda_1$	$p_1, \text{кг} \cdot \text{м/с}$	$\log p_1$	$h, \text{Дж} \cdot \text{с}$
5	0,040	214,135	9,910	0,996	$382,03 \cdot 10^{-25}$	2,582	$3,786 \cdot 10^{-37}$
4,5	0,042	216,981	10,309	1,013	$362,425 \cdot 10^{-25}$	2,559	$3,736 \cdot 10^{-37}$
4	0,043	223,530	10,614	1,026	$341,698 \cdot 10^{-25}$	2,534	$3,627 \cdot 10^{-37}$
3,5	0,046	225,046	11,271	1,052	$319,629 \cdot 10^{-25}$	2,505	$3,603 \cdot 10^{-37}$
3	0,047	239,102	11,458	1,059	$295,919 \cdot 10^{-25}$	2,471	$3,391 \cdot 10^{-37}$
2,5	0,050	243,057	12,348	1,092	$270,136 \cdot 10^{-25}$	2,432	$3,336 \cdot 10^{-37}$

$$d_1 = \frac{\lambda}{2\sin\vartheta_1} = 214,135 \text{ пм}$$

$$\lambda_1 = d_{1 \text{ теор}} \cdot 2\sin\vartheta_1 = 9,910 \text{ пм}$$

$$p_1 = \sqrt{2U} \cdot \sqrt{m_e e} = 382,03 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

$$h = \lambda_1 \cdot p_1 = 3,786 \cdot 10^{-37} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Таблица 3: Измерение межплоскостного расстояния, длины волны Де-Бройля и импульса электрона по второму кольцу

$U, \text{кВ}$	$\sin\vartheta_2$	$d_2, \text{пм}$	$\lambda_2, \text{пм}$	$\log \lambda_2$	$p_2, \text{кг} \cdot \text{м/с}$	$\log p_2$	$h, \text{Дж} \cdot \text{с}$
5	0,013	645,624	5,692	0,755	$382,030 \cdot 10^{-25}$	2,582	$2,175 \cdot 10^{-37}$
4,5	0,014	647,936	5,979	0,777	$362,425 \cdot 10^{-25}$	2,559	$2,167 \cdot 10^{-37}$
4	0,015	627,144	6,552	0,816	$341,698 \cdot 10^{-25}$	2,534	$2,239 \cdot 10^{-37}$
3,5	0,016	627,349	7,002	0,845	$319,629 \cdot 10^{-25}$	2,505	$2,238 \cdot 10^{-37}$
3	0,017	662,139	7,165	0,855	$295,919 \cdot 10^{-25}$	2,471	$2,120 \cdot 10^{-37}$
2,5	0,017	705,206	7,370	0,867	$270,136 \cdot 10^{-25}$	2,432	$1,991 \cdot 10^{-37}$

$$d_2 = \frac{\lambda}{2\sin\vartheta_2} = 645,624 \text{ пм}$$

$$\lambda_2 = d_{2 \text{ теор}} \cdot 2\sin\vartheta_2 = 5,692 \text{ пм}$$

$$p_2 = \sqrt{2U} \cdot \sqrt{m_e e} = 382,03 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

$$h = \lambda_2 \cdot p_2 = 2,175 \cdot 10^{-37} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

10)Графики.

График 1. График зависимости $\log \lambda(\log p)$

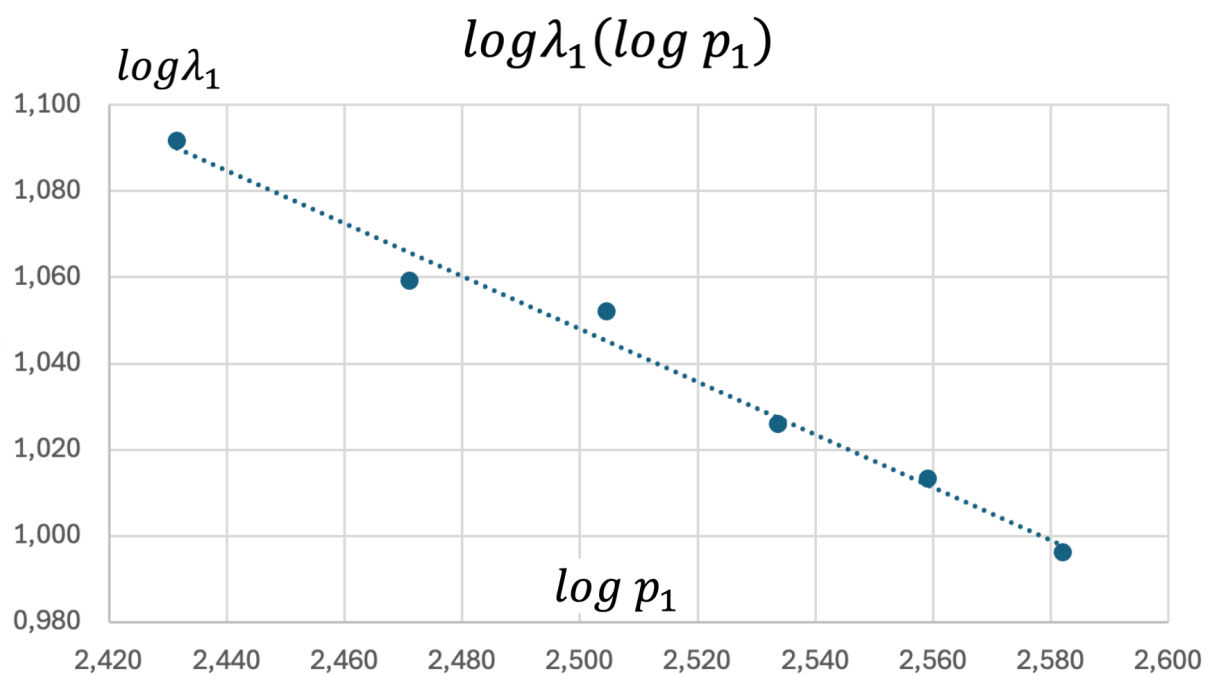


График 2. График зависимости $\log \lambda(\log p)$ продленный до пересечения с осями

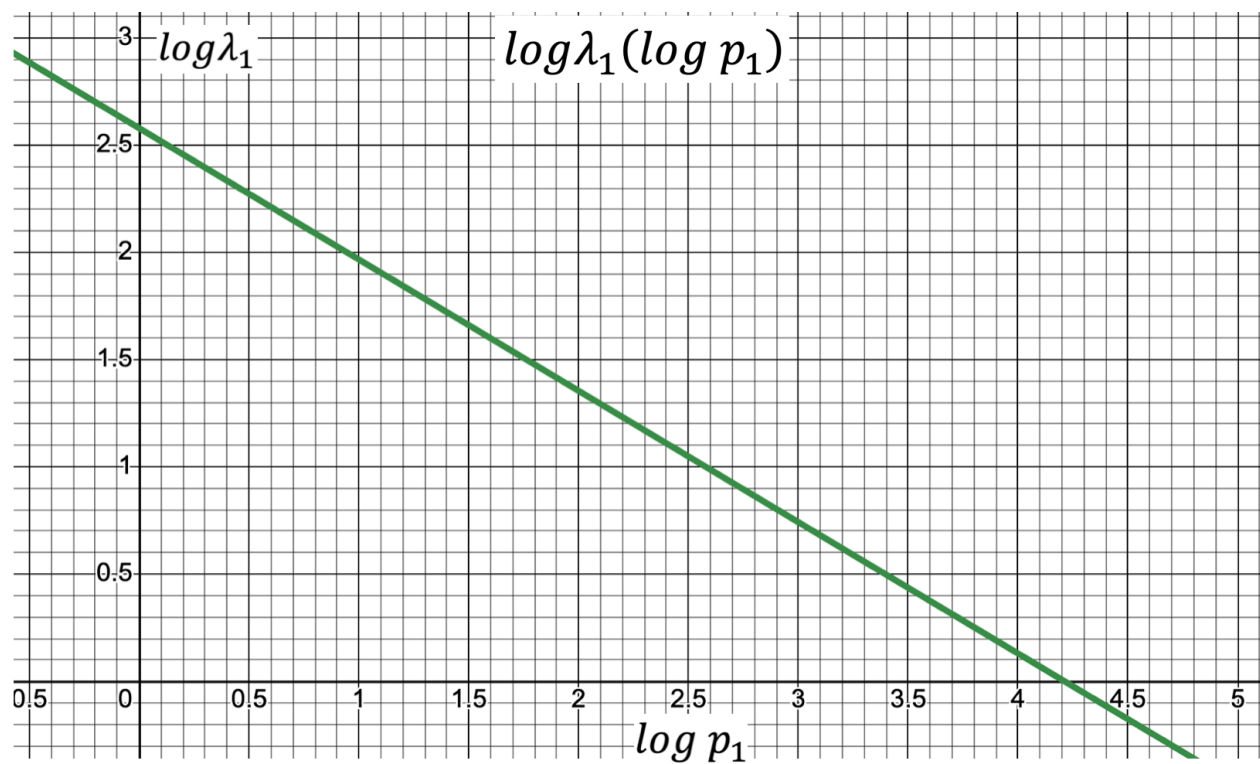
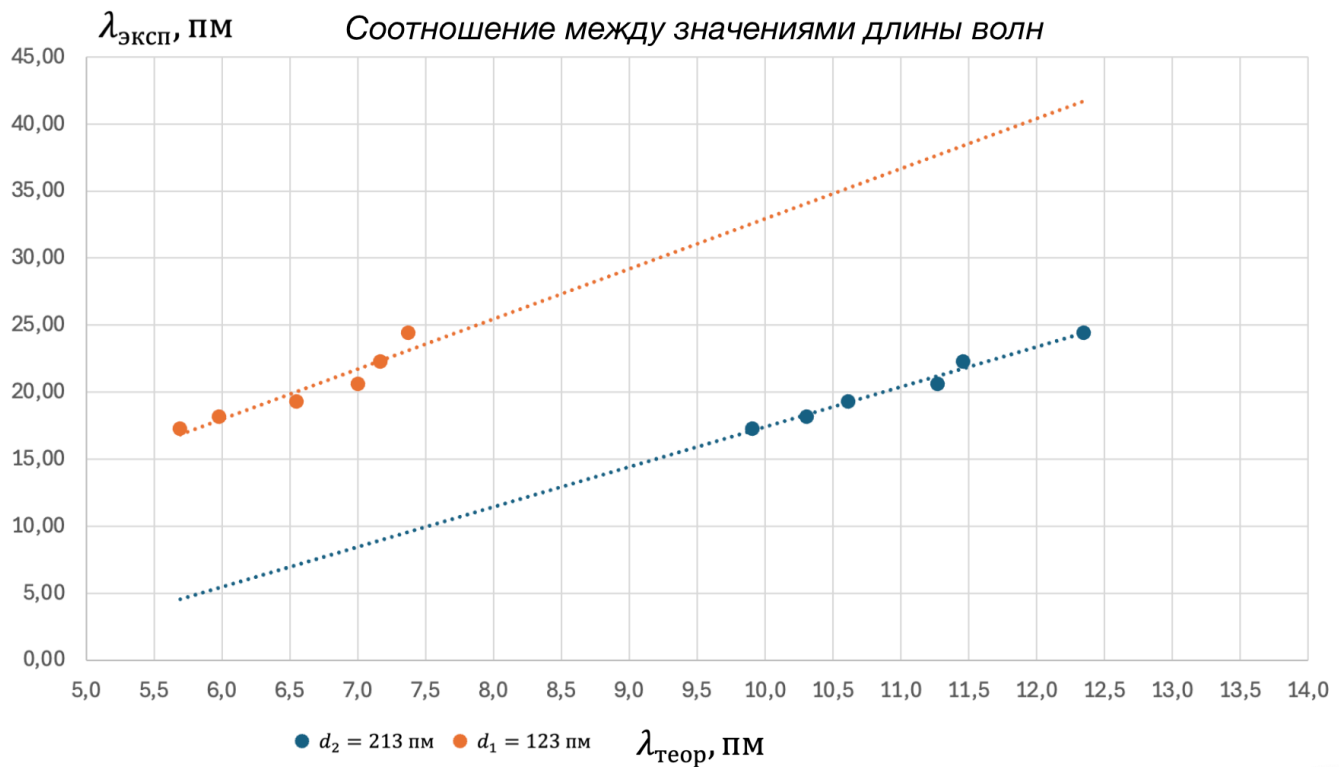


График 3. Соотношение между значениями длины волн



Постоянная Планка $h = 4,212 \cdot 10^{-37} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

11) Расчет погрешностей

Для $U = 5 \text{ кВ}$:

$$\varepsilon_d = \sqrt{\varepsilon^2 \lambda + (-\varepsilon \sin v)^2} = \sqrt{\varepsilon^2 + \left(-(\varepsilon_\Delta^2 + (-\varepsilon_L)^2) \right)^2} = \sqrt{0,03^2 + \left(-(0,04^2 + (-0,02)^2) \right)^2} = 0,03$$

$$\Delta d = \varepsilon_d d_1 = 214,135 \cdot 0,08 = 16,34 \text{ пм}$$

$S_h = 1,934 \cdot 10^{-36} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – среднеквадратическое отклонение

$t_{a,n}$ – коэффициент Стьюдента для $n = 12, a = 2,2$

$$\Delta h = t_{a,n} \cdot S_h = 1,934 \cdot 10^{-36} \cdot 2,2 = 4,25 \cdot 10^{-36} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

12) Окончательные результаты

Межплоскостные расстояния в поликристаллической решётке графита:

- $d_1 = 214,13 \pm 16,34 \text{ пм}$
- $d_2 = 323,21 \pm 16,34 \text{ пм}$

Постоянная Планка $h = 4,212 \pm 0,425 \cdot 10^{-37} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

13) Выводы и анализ результатов работы.

В ходе эксперимента мы получили дифракционные картины электронов на кристалле графита и рассчитали межплоскостные расстояния и постоянную Планка.

Итоговые значения постоянной Планка и второго межплоскостного расстояния совпали с теоретическими данными, что подтверждает точность эксперимента. Это видно на графиках, где наши данные близки к теоретическим линиям.

Однако, измеренное значение первого межплоскостного расстояния отличается от теоретического. Это расхождение, скорее всего, связано с погрешностями в измерениях.