

Отчет по лабораторной работе МодЭ–04

ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ  
В КУЛОНОВСКОМ ПОЛЕ

Студент(ка) \_\_\_\_\_ гр. \_\_\_\_\_  
Фамилия И.О.

ДОПУСК	ДАННЫЕ	РЕЗУЛЬТАТЫ
дата, подпись преподавателя	дата, подпись преподавателя	дата, подпись преподавателя

**Цель работы:** изучение поведения одной заряженной частицы в поле другой заряженной частицы. Выявление взаимосвязи геометрических параметров траектории налетающей частицы с ее полной механической энергией и моментом импульса.

**Краткое теоретическое содержание работы**

Сила, действующая на материальную точку, называется *центральной*, если \_\_\_\_\_

Сила Кулона это \_\_\_\_\_

Константа кулоновского взаимодействия  $\alpha =$  \_\_\_\_\_

где  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $q_1, q_2 =$  \_\_\_\_\_

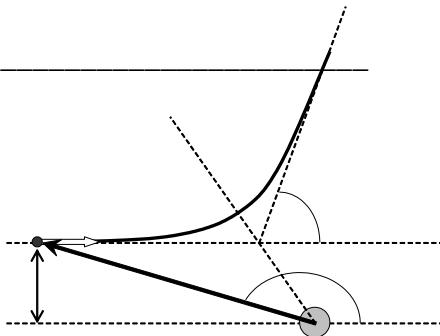
На рисунке:

$m_1 =$  \_\_\_\_\_

$m_2 =$  \_\_\_\_\_

$b =$  \_\_\_\_\_

$\theta =$  \_\_\_\_\_



$v_0$  — \_\_\_\_\_

$r_0$  — \_\_\_\_\_  $\varphi_0$  — \_\_\_\_\_

$r_{\min}$  — \_\_\_\_\_

$\varphi_{\min}$  — \_\_\_\_\_

$M =$  \_\_\_\_\_ — \_\_\_\_\_

*Законы сохранения энергии  $E$  и момента импульса  $L$  в полярных координатах:*

*Эффективная потенциальная энергия тела приведенной массы:*

$\Phi(r) =$  \_\_\_\_\_

где  $\frac{L^2}{2Mr^2}$  — \_\_\_\_\_

$U = \frac{\alpha}{r}$  — \_\_\_\_\_

*Уравнение траектории движения тела в полярных координатах:*

где  $p =$  \_\_\_\_\_ — \_\_\_\_\_

$\varepsilon =$  \_\_\_\_\_ — \_\_\_\_\_

Частица движется по незамкнутой траектории (*гиперболе* или *параболе*), если \_\_\_\_\_

### Рабочие формулы

#### Геометрические параметры траектории:

Полярный угол, соответствующий точке траектории, расстояние от которой до рассеивающего центра минимально

$\varphi_{\min} =$  \_\_\_\_\_

где  $\varphi_1, \varphi_2$  — \_\_\_\_\_

Фокальный параметр  $p =$  \_\_\_\_\_

эксцентриситет  $\varepsilon =$  \_\_\_\_\_

где  $R$  — \_\_\_\_\_

$r_{\min}$  — \_\_\_\_\_

Угол рассеяния  $\theta =$  \_\_\_\_\_

**Физические параметры взаимодействия** (из геометрических параметров траектории):

Константа кулоновского взаимодействия  $\alpha =$  \_\_\_\_\_

Полная механическая энергия  $E =$  \_\_\_\_\_

Момент импульса  $L =$  \_\_\_\_\_

### Эксперимент

В данной работе с помощью средств компьютерной графики моделируется движение альфа-частицы в кулоновском поле рассеивающего центра.

**Начальные данные**

Вариант № \_\_\_\_\_

Тяжелая частица: \_\_\_\_\_

Тяжелая частица		Альфа-частица		Приведенная масса	$\alpha$
Заряд	Масса	Заряд	Масса		
$q$ , Кл	$m$ , кг	$q$ , Кл	$m$ , кг	$M, 10^{-27}$ кг	$10^{-27}$ Нм <sup>2</sup> /Кл <sup>2</sup>

Радиус транспорта: \_\_\_\_\_ Å

Начальное положение альфа-частицы:

расстояние по горизонтали до центра рассеяния: \_\_\_\_\_ Å

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}$$

**поле от прицельного расстояния** (при фиксированном значении начальной скорости)

																					Прицельное расстояние b, Å
																					Начальная скорость v <sub>0</sub> , 10 <sup>5</sup> м/с
																					«Начальный» угол φ <sub>1</sub>
																					«Конечный» угол φ <sub>2</sub>
																					x <sub>min</sub> , Å
																					y <sub>min</sub> , Å
																					*r <sub>min</sub> , Å
																					**Угол φ <sub>min</sub>
																					***Угол рассеяния θ
																					****Фокальный параметр p, Å
																					*****
																					Эксцентриситет ε
																					Константа ку- лоновского взаимодействия α, 10 <sup>-27</sup> кг·м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>
																					Момент импульса L, 10 <sup>-32</sup> кг·м <sup>2</sup> /с
																					Полная энергия E, 10 <sup>-17</sup> кг·м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>
																					L <sup>2</sup> /(2M), 10 <sup>-37</sup> кг·м <sup>4</sup> /с <sup>2</sup>

Прицельное расстояние $b$ , Å	Начальная скорость $v_0$ , $10^5$ м/с	«Начальный» угол $\varphi_1$	«Конечный» угол $\varphi_2$	$x_{\min}$ , Å	$y_{\min}$ , Å	$*r_{\min}$ , Å	**Угол $\varphi_{\min}$	***Угол рассеяния $\theta$	****Фокальный параметр $p$ , Å	***** Эксцентриситет $\varepsilon$	Константа ку- лоновского взаимодействия $\alpha$ , $10^{-27}$ кг·м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>	Момент импульса $L$ , $10^{-32}$ кг·м <sup>2</sup> /с	Полная энергия $E$ , $10^{-17}$ кг·м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	$L^2/(2M)$ , $10^{-37}$ кг·м <sup>4</sup> /с <sup>2</sup>

$$*r_{\min} = \sqrt{x_{\min}^2 + y_{\min}^2}; \quad **\varphi_{\min} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}; \quad ***\theta = 2|\varphi_{\min}| - \pi;$$

$$****p = r_{\min} \left( \frac{R - r_{\min}}{R \cos(\varphi_{\min} - \varphi_2) - r_{\min}} - 1 \right) \text{ или } p = r_{\min}(\varepsilon - 1); \quad *****\varepsilon = \frac{R - r_{\min}}{R \cos(\varphi_{\min} - \varphi_2) - r_{\min}}.$$

$$\alpha = \frac{Mv_0^2 b^2}{p}; \quad E = \frac{\alpha(\varepsilon^2 - 1)}{2p}; \quad L = \pm \sqrt{\alpha M p}.$$

**Упражнение 2. Изучение зависимости параметров движения заряженной частицы в кулоновском поле от начальной скорости налетающей частицы** (при фиксированном значении прицельного расстояния)

Наибольшее и наименьшее значение начальной скорости

$$v_{\max} = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 10^5 \text{ м/с} \quad v_{\min} = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 10^5 \text{ м/с} \quad \Delta = \left( \frac{v_{\min}}{v_{\max}} \right)^{1/10} =$$

Расчет для  $v_0$ :  $v_i = \Delta \cdot v_{i-1}$ . То есть,  $v_1 = v_{\max}$ ;  $v_2 = \Delta \cdot v_1$ ;  $v_3 = \Delta \cdot v_2$ ;  $v_4 = \Delta \cdot v_3$ ; и т.д.

Прицельное расстояние $b$ , Å	Начальная скорость $v_0$ , $10^5$ м/с	«Начальный» угол $\varphi_1$	«Конечный» угол $\varphi_2$	$x_{\min}$ , Å	$y_{\min}$ , Å	$r_{\min}$ , Å	Угол $\varphi_{\min}$	Угол рассеяния $\theta$	Фокальный параметр $p$ , Å	Эксцентриситет $\varepsilon$	Константа ку- лоновского взаимодей- ствия $\alpha$ , $10^{-27}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^3/\text{с}^2$	Момент импуль- са $L$ , $10^{-32}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$	Полная энергия $E$ , $10^{-17}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$	$L^2/(2M)$ , $10^{-37}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^4/\text{с}^2$

Величины  $r_{\min}$ ,  $\varphi_{\min}$ ,  $\theta$ ,  $p$ ,  $\varepsilon$ ,  $\alpha$ ,  $E$ ,  $L$  рассчитываются как в упражнении 1.

[illegible]

---

---

---

---

---

[illegible]

---

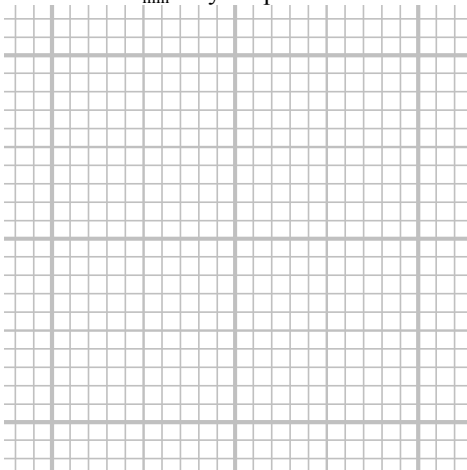
---

---

---

---



<p>Зависимость угла рассеяния <math>\theta</math> от полной энергии <math>E</math></p>  <p>для упражнения 2</p>	<p>Зависимость угла рассеяния <math>\theta</math> от момента импульса <math>L</math></p>  <p>для упражнений 1 и 2</p>	<p>Зависимость минимального расстояния до источника поля <math>r_{\min}</math> от угла рассеяния <math>\theta</math></p>  <p>для упражнений 1 и 2</p>
---	---	--

**Выводы** (анализ графических зависимостей  $\theta = \theta(E)$ ,  $\theta = \theta(L)$ ,  $r_{\min} = r_{\min}(\theta)$ ):

---



---



---



---



---

График зависимости эффективной потенциальной энергии  
кулоновского взаимодействия от расстояния до рассеивающего центра

$U, \Phi, E, 10^{-17} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$

$r, \text{Å}$

## Константа кулоновского взаимодействия:

среднее значение по результатам двух упражнений

$$\alpha = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / \text{с}^2$$

теоретическое значение  $\alpha = kq_1q_2 = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / \text{с}^2$

## Расчеты для построения графика эффективной потенциальной энергии $\Phi(r)$

Среднее значение для двух упражнений	Из упражнения 2		
$\alpha$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
$10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / \text{с}^2$	$10^{-17} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$	$10^{-17} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$	$10^{-17} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$
	$L^2/2M$	$L^2/2M$	$L^2/2M$
	$10^{-37} \text{ кг} \cdot \text{м}^4 / \text{с}^2$	$10^{-37} \text{ кг} \cdot \text{м}^4 / \text{с}^2$	$10^{-37} \text{ кг} \cdot \text{м}^4 / \text{с}^2$

$r$	$*U(r)$	$**\Phi_1(r)$	$**\Phi_2(r)$	$**\Phi_3(r)$
Å	$10^{-17} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$			
0,01				
0,5				
1				
1,5				
2				
2,5				
3				
3,5				
4				
4,5				
5				
5,5				
6				
6,5				
7				
7,5				
8				
8,5				
9				
9,5				

$r$	$*U(r)$	$**\Phi_1(r)$	$**\Phi_2(r)$	$**\Phi_3(r)$
10				
10,5				
11				

$$*U(r) = \alpha/r;$$

$$**\Phi(r) = \frac{L^2}{2Mr^2} + U(r)$$

$**\Phi_1$  рассчитывается для значения  $L^2/2M$ , соответствующего энергии  $E_1$ ;  $\Phi_2$  рассчитывается для значения  $L^2/2M$ , соответствующего энергии  $E_2$ ;  $\Phi_3$  рассчитывается для значения  $L^2/2M$ , соответствующего энергии  $E_3$ .

Минимальное расстояние до источника поля, полученное  
 из расчетов и из графиков:

№ опыта	$r_{\min}, \text{\AA}$ (из расчета)	$r_{\min}, \text{\AA}$ (из графика)
<b>1</b> (для $E_1 = \_\_\_\_\_\cdot 10^{-17} \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$ )		
<b>2</b> (для $E_2 = \_\_\_\_\_\cdot 10^{-17} \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$ )		
<b>3</b> (для $E_3 = \_\_\_\_\_\cdot 10^{-17} \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2$ )		

Выводы: