

**11 класс**

**Задача 1. Формула Эйлера**

Из условия равновесия (равенства проекций сил на горизонтальную ось  $x$ ) получим:

$$T_1 \cos \alpha_1 = T_2 \cos \alpha_2.$$

И используя формулу Эйлера  $T_1 = T_2 e^{\mu \theta}$ . Объединив эти формулы, получим связь коэффициента трения и углов:

$$\mu = \ln \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} \cdot \theta^{-1}.$$

Экспериментальные данные:

Таблица №1				
№	$\theta$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\mu$
1	89	53	37	0,18
2	88	52	36	0,18
3	83	50	33	0,18
4	83	53	30	0,25
5	76	48	28	0,21
6	77	50	27	0,24
7	68	44	24	0,2
8	69	46	23	0,23
9	61	43	18	0,25
10	62	43	19	0,24
11	49	36	13	0,22
12	50	38	12	0,25
13	34	29	5	0,22
14	39	35	4	0,29
среднее				0,22

Получившееся значение  $\mu = 0,22 \pm 0,01$ .

Выполним контрольный эксперимент: натянем нить так, что она под весом скрепки с грузом практически не будет провисать. Тогда  $\mu \approx \tan \alpha$ .

*Критерии оценивания*

Указано, что $y = \cos \alpha / \cos \beta$ .....	1
Выражен коэффициент трения $\mu$ через коэффициент углового наклона графика $\ln(y)$ от $\theta$ .....	1
Описание метода измерений .....	1
Проведено $14 \div 20$ измерениями .....	4
<i>Проведено <math>10 \div 14</math> измерениями — 3 балла</i>	
Построен график .....	1
Выбраны оси $\ln(y)$ и $\varphi$ .....	2

Получено верное значение коэффициента трения  $\mu$  ..... 2  
 Оценены погрешности ..... 2  
 Предложен альтернативный метод для нахождения коэффициента трения для проверки значения  $\mu$  (нить сильно натянута, при этом  $\mu = \operatorname{tg} \alpha$ ) ..... 1

**Задача 2. Частично упругий удар**

1. Закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + \Delta E, \quad (2)$$

где  $v_0$  — скорость налетающей монеты,  $v_1$  — её скорость после столкновения,  $v_2$  — скорость монеты-мишени.

Закон сохранения импульса:  $mv_0 = mv_1 + mv_2$ .

Их совместное решение даёт:

$$\Delta E = mv_1v_2. \quad (3)$$

Введём обозначение:

$$k = v_1/v_2 = \sqrt{E_1/E_2}. \quad (4)$$

Из (2), (3) и (4) находим:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{2k}{1 + 2k + k^2}. \quad (5)$$

После соударения монет их кинетические энергии будут уменьшаться за счёт сил трения. В результате:  $E_1 = \mu \operatorname{tg} L_1$ , где  $\mu$  — коэффициент трения,  $L_1$  — длина тормозного пути первой монеты. Аналогичное выражение справедливо и для второй монеты. Отсюда  $k = \sqrt{L_1/L_2}$ .

Таблица №1			
№	$L_1$ , мм	$L_2$ , см	$L_1/L_2, 10^{-3}$
1	2,75	12,1	22,7
2	4,75	19,3	24,6
3	3,75	13,0	28,8
4	8,75	32,5	26,9
5	6,00	24,0	25,0
6	3,75	11,2	33,5
7	9,00	20,5	43,9
8	8,50	21,0	40,5
9	17,0	32,5	52,3
10	4,00	18,0	22,2
Среднее			32,0

Получим значение  $L_1/L_2 = (32,0 \pm 3,0) \cdot 10^{-3}$ .

Окончательно:  $\frac{\Delta E}{E_0} = 0,26 \pm 0,03$ .

2. Если записать закон сохранения импульса (при столкновении) и воспользоваться теоремой синусов, то получится:

$$F = \frac{E_1 \sin^2 \varphi_1}{E_2 \sin^2 \varphi_2} = 1.$$

Таблица №2						
№ п.п.	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$E_1$ (относит. единицы)	$E_2$ (относит. единицы)	$E_1/E_2$	$F$
1	20	65	1,8	17,7	0,102	1,4
2	23	57	1,7	8,8	0,193	1,12
3	25	56	4	15,2	0,263	0,99
4	30	49	4,1	12,1	0,339	1,29
5	35	40	14,8	8	0,822	0,97
6	35	41	19,7	25	0,788	0,97
7	38	9	32,5	2,7	12,04	1,29
8	39	32	22,2	19,7	1,127	1,25
9	40	35	4	5,5	0,727	1,73

(Отличие экспериментальных результатов от 1, на наш взгляд, объясняется вращением монет после столкновения.)

*Критерии оценивания*

**Первая часть**

Приведены описания экспериментальной установки и метода запуска монет . 2  
 Запись закона сохранения энергии ..... 1  
 Запись закона сохранения импульса ..... 1  
 Получение выражение для  $\Delta E/E_0$  ..... 2  
 Проведено 10 и более измерений ..... 2  
*Проведено 7 ÷ 9 измерений — 1 балл Проведено менее 7 измерений — 0 баллов*

**Вторая часть**

Проведено 10 и более измерений ..... 2  
*Проведено 7 ÷ 9 измерений — 1 балл Проведено менее 7 измерений — 0 баллов*  
 Приведены выражения для  $E_1$  и  $E_2$  в относительных единицах (по 1 баллу) . 2  
 Вычислены значения  $F$  и занесены в таблицу (учитываются только значения  $F$  в интервале  $(0,8 < F < 2)$ ) ..... 2

**Третья часть**

Найдено среднее значение угла  $\beta$  ..... 1