

11 класс

Задача 1. Формула Эйлера

Используя предложенное оборудование, определите для разных углов φ отношение натяжения нити T справа от скрепки к натяжению T_0 слева от неё (рис. 3). Обозначьте это отношение символом y ($y = T/T_0$). Проведите серию измерений и постройте график зависимости $y(\varphi)$, выразив φ в радианах. Подумайте, в каких координатах график будет наиболее удобен для определения коэффициента трения μ между нитью и скрепкой. Найдите μ . Оцените погрешность измерения.

Теоретическая подсказка: при «охвате» скрепки (круглой проволоки) нитью на угол φ силы натяжения нити по разные стороны скрепки отличаются в $e^{\mu\varphi}$ раз (формула Эйлера), где μ – коэффициент трения.

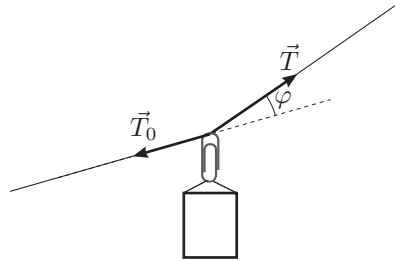


Рис. 3

Экспериментальная подсказка: К краю стола прикрепите лист формата А3 так, чтобы он принял вертикальное положение. Груз можно привязать к скрепке с помощью другой нити. На краю стола вблизи углов листа прикрепите скотчем выступающие за край стола большие скрепки (или толстые куски проволоки или трубки, например, для коктейлей). На них крепится нить такой длины, чтобы скрепка, висящая на ней, оставалась «в пределах листа». Нить впоследствии можно укорачивать, наматывая ее на скрепки (трубочки/проволочки). Для данной длины нити существует два устойчивых положения подвижной скрепки (слева и справа). Измерения для этих положений можно усреднить. Возможны и другие способы проведения эксперимента. Например, можно прикрепить нить к одной скрепке, а положение другого конца нити регулировать рукой.

Оборудование. Нить длиной 1,5 – 2 м, одна маленькая скрепка, две большие скрепки или толстые куски проволоки или трубки, например, для коктейлей, шоколадка «Алёнка» массой 15 г (грузик), скотч и ножницы (*по требованию*), транспортер с делениями в 1° , лист А3, миллиметровая бумага для построения графиков.

11 класс

Задача 2. Частично упругий удар

Изучите столкновение монет, одна из которых до удара покоилась (мишень). Предложите способ, в результате которого монете-ядру каждый раз сообщается примерно одинаковая кинетическая энергия. Опишите его. В последующем, этим способом запускайте монету-ядро.

1. Найдите долю энергии, которая теряется при центральном ударе (удар частично упругий). Для этого выведите теоретическую формулу для $\Delta E/E_0$, где E_0 – энергия налетающей монеты, ΔE – потеря энергии при ударе.

Примечание: Удар монет называется центральным, если после него монеты движутся вдоль прямой, по которой двигалась монета-ядро.

Занесите ваши экспериментальные данные в таблицу 1 (должно быть исследовано не менее 10 столкновений).

2. Найдите отношение кинетических энергий монет после нецентрального удара. Заполните таблицу 2.

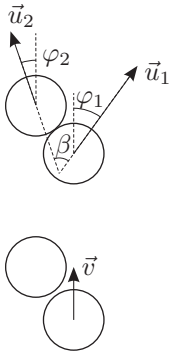


Рис. 4

Таблица 2					
№	φ_1	φ_2	E_1	E_2	F
1					
2					
...

Здесь E_1 и E_2 – кинетические энергии монеты-ядра и монеты-мишени в относительных единицах, $F = \frac{E_1 \sin^2 \varphi_1}{E_2 \sin^2 \varphi_2}$.

3. Найдите угол β «разлета» монет при условии, что после удара им достаются примерно одинаковые доли первоначальной кинетической энергии (рис. 4). Проведите не менее 10 измерений. Запишите полученные значения углов β . Результат усредните.

Оборудование. Две одинаковые монеты (желательно большого диаметра, например, 50 копеек), лист бумаги А3, скотч и ножницы (*по требованию*), деревянная линейка 30 - 40 см, транспортер, кусок ткани (ловушка для монет).

Линейка выполняет две функции: она используется для «щелчков» по монете, лежащей на краю стола и немного выступающей за край стола, и для измерений расстояний.

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				
№	θ	α_1	α_2	μ
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 μ через коэффициент углового наклона графика $\ln(y)$ от θ	1
Описание метода измерений	1
Проведено $14 \div 20$ измерениями	4
<i>Проведено $10 \div 14$ измерениями — 3 балла</i>	
Построен график	1
Выбраны оси $\ln(y)$ и φ	2

Получено верное значение коэффициента трения μ 2
 Оценены погрешности 2
 Предложен альтернативный метод для нахождения коэффициента трения для проверки значения μ (нить сильно натянута, при этом $\mu = \tan \alpha$) 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:

$$\Delta E = mv_1 v_2. \quad (3)$$

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: $E_1 = \mu mg L_1$, где μ — 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.	φ_1	φ_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 β 1