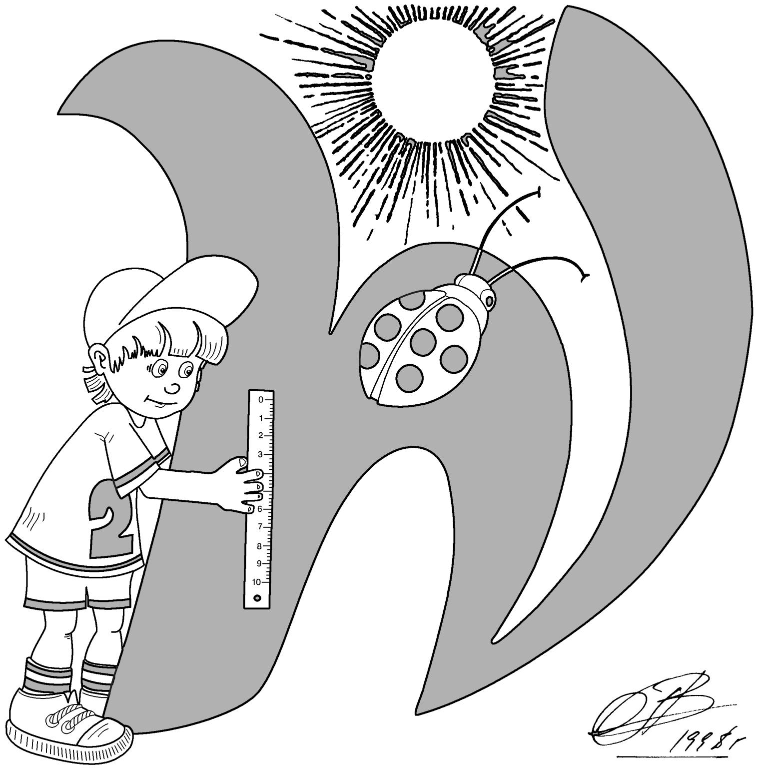
Методическая комиссия по физике
при центральном оргкомитете
Всероссийских олимпиад школьников

XLVI Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2011/2012 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике
при центральном оргкомитете Всероссийских олимпиад школьников
Телефоны: (495) 408-80-77, 408-86-95.
E-mail: **physolymp@gmail.com**

Авторы задач

9 класс	10 класс	11 класс
1. Замятнин М.	1. Замятнин М.	1. Воробьёв И.
2. Фольклор	2. Меняйлов М., Слободсков И.	2. Фольклор

Общая редакция — Слободянин В.

При подготовке оригинал-макета
использовалась издательская система $\LaTeX\,2_\varepsilon$.

Подписано в печать 22 января 2013 г. в 03:18.

141700, Московская область, г. Долгопрудный
Московский физико-технический институт

9 класс

Задача 1. Звезда в сером ящике

Определите значения сопротивлений каждого из резисторов, находящихся в «сером» ящике. Поясните ход ваших измерений, приведите электрические схемы этих измерений и расчетные формулы. Результаты измерений занесите в таблицу.

Внимание! Вскрывать серые ящики запрещается.

Оборудование. Мультиметр, «серый» ящик с электрической цепью из резисторов, соединённых звездой с шестью лучами (рис. 1). От каждого из резисторов наружу из ящика сделан вывод тонким проводом (выводы пронумерованы).

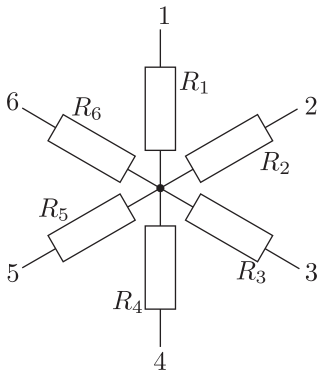


Рис. 1

Задача 2. Муаровы полосы

Лист бумаги с нанесённой на нём периодической структурой с периодом d_1 (чёрные полосы) аккуратно за уголки прикрепите скотчем к столешнице. На него наложите другой такой же лист, который находится в файле/мультифоре, так, чтобы чёрные полосы на обоих листах были параллельными. Период d_1 (ширина черной полосы + ширина белой полосы) одного рисунка несколько отличается от периода d_2 второго рисунка. Рассмотрите внимательно листы, сложенные вплотную. На них вы увидите муаровы полосы с периодом λ. Малый сдвиг верхнего листа по отношению к нижнему приводит к большому перемещению муаровых полос.

а) Определите отношение λ/d_1.

б) Определите отношение d_2/d_1.

в) Получите теоретическую формулу для разности периодов d_2 и d_1, выразив её через λ и d_1, и определите её значение в единицах d_1.

г) Если сложенные вплотную листы с периодической структурой повернуть один относительно другого на некоторый малый угол α, то муаровы полосы повернутся на значительно больший угол φ. Для 8–10 значений угла α определите угол φ. Результаты занесите в таблицу. Постройте график зависимости $\operatorname{tg}\varphi$ от α. Определите угловой коэффициент C этого графика.

д) Получите теоретическую формулу, связывающую углы α и φ.

Оборудование. Булавка, два листа формата А4 с нанесенной на них периодической структурой. Один из этих листов находится в файле/мультифоре. На обратных сторонах этого листа изображен транспортир.

Рекомендации организаторам.

Желательно один лист с периодической структурой напечатать на тонкой бумаге (плотность меньше, чем 80 г на квадратный метр) или на кальке или на прозрачной бумаге. В этом случае не требуется дополнительный источник света т.к. будет достаточно естественного освещения аудитории.

10 класс

Задача 1. Шестиугольник в сером ящике

Определите значения сопротивлений каждого из резисторов, содержащихся в «сером» ящике. Поясните ход ваших измерений, приведите электрические схемы этих измерений и расчетные формулы. Результаты измерений занесите в таблицу.

Внимание! Вскрывать серые ящики запрещается.

Оборудование. Мультиметр, «серый» ящик с электрической цепью из резисторов, соединённых в многоугольник с шестью углами (рис. 2). От каждого из углов наружу из ящика сделан вывод тонким проводом (выводы пронумерованы).

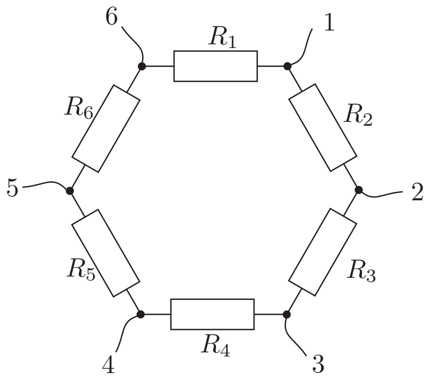


Рис. 2

Задача 2. Воздухоплавание

Надуйте воздушный шарик так, чтобы его «периметр» P стал примерно равен указанному организаторами. Отпустите шарик без начальной скорости с высоты $H \approx 2$ м (H – расстояние от зажима шарика до пола). Измерьте время падения и «периметр» P шарика. «Периметр» P шарика измеряйте лентой вдоль границ максимального сечения, перпендикулярного направлению движения шарика при его падении. Повторите опыт не менее трёх раз. Результаты усредните и занесите в таблицу 1. Проделайте аналогичные опыты для разных P (не менее 10 значений). Время падения шарика зависит от «периметра»: $t \sim P^{\alpha}$, где α может принимать одно из двух значений: 1; 2.

Найдите α. Для этого постройте 2 графика зависимости времени падения t шарика от его «периметра» P: $t \sim P$, $t \sim P^2$. Выбор α делайте анализируя графики.

Таблица 1

№	P, см	P^2, см^2	t, с
1			
2			
...	...	...	...
10			

Оборудование. Резиновый воздушный шарик, три канцелярские скрепки, измерительная лента длиной 1 м, нить длиной 2,5 м, секундомер, миллиметровая бумага для постороения графиков.

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 коэффициент 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.

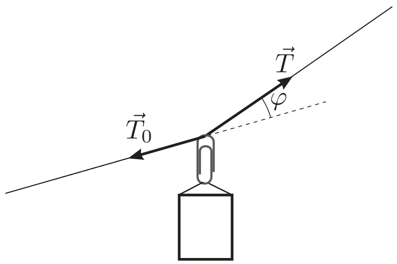


Рис. 3

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*), транспортир с делениями в 1°, лист А3, миллиметровая бумага для построения графиков.

Задача 2. Частично упругий удар

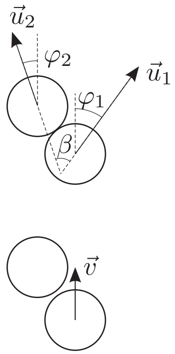


Рис. 4

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.

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 еденицах, $F = \dfrac{E_1 \sin^2 \varphi_1}{E_2 \sin^2 \varphi_2}$.

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, транспортир, 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.

Возможные решения
9 класс

Задача 1. Звезда в сером ящике

Решение 1.

В данной задаче достаточно просто перебрать все попарно возможные выходы омметром или, по крайней мере, шесть различных комбинаций. Так как количество независимых уравнений равно или больше количества неизвестных, и система уравнений линейна, то она разрешима. При таком варианте решения, результаты прямых измерений должны выглядеть примерно так

Сопротивление между выводами i и j	1	2	3	4	5	6
1	—	500	500	1000	1500	1000
2		—	1000	1500	2000	1500
3			—	1500	2000	1500
4				—	2500	2000
5					—	2500
6						—

Здесь на пересечение, например, 3 строки и 4 столбца записано сопротивление между выводами 3 и 4, измеренное омметром, выраженное в оммах.

Можно также заметить, что система из шести уравнений разбивается на две независимые подсистемы по три уравнения — сопротивления между выводами: 1) 1 и 2, 2 и 3, 1 и 3; 2) 4 и 5, 5 и 6, 6 и 4.

Таким образом, достаточно было провести измерения, соответствующие таблице

Сопротивление между выводами i и j	1	2	3	4	5	6
1	—	500	500			
2		—	1000			
3			—	1500	2000	1500
4				—	2500	2000
5					—	2500
6						—

Решив первую, получим

$$R_1 = 0 \text{ Ом}, \qquad R_2 = R_3 = 500 \text{ Ом}.$$

Аналогично решив вторую, получим

$$R_4 = R_6 = 1000 \text{ Ом}, \qquad R_5 = 1500 \text{ Ом}.$$

Решение 2. Второе решение состоит в том, что по комбинации выводов 1–2 и 2–3 можно сделать вывод, что $R_2 = R_3$. А из комбинации 2–3 и того факта, что $R_{12} + R_{13} = R_{23}$ следует, что $R_1 = 0$. Далее, померив все остальные выводы в комбинации с выводом один, получаем все значения сопротивлений.

Рекомендации организаторам

Для того, чтобы второе решение можно было легко увидеть, сопротивления К2 и К3 действительно должны быт При оценке работ следует исходить из тех установок, которые собраны у вас — имеет смысл составить таблицу с номером установки и значением всех сопротивлений.

Критерии оценивания

Каждое прямое измерение пары выводов (не более 5 баллов) 0,5

Решение в виде линейной системы уравнений, или же измерение всех остальных через вывод номер 1 (решения 1 и 2 сответственно) 4

Каждое полученное сопротивление, с погрешностью не более 5% (всего 6 баллов) 1

Каждое полученное сопротивление, с погрешностью большей, чем 5%, но не более 10% 0,5

Примечание. Школьник может замкнуть некоторые провода при измерении, но это не принесет особой пользы. Тем не менее, при оценке стоит исходить из тех же соображений — за каждое независимое измерение — 1 балл, за систему *независимых* уравнений (какие бы они ни были) — 3 балла, и те же баллы за численные результаты.

Задача 2. Муаровы полосы

Периоды решеток должны быть 1,94 мм и 2,04 мм соответственно, а разница 0,1 мм.

1. Для определения λ/d_1 достаточно просто посчитать количество маленьких белых полос (или черных) от одного минимума яркости до другого. Если посчитать это число для трех-четырех больших максимумов, то можно получить довольно точное значение $\lambda/d_1 \approx 20{,}5$.

2. Период интенсивности сетки Муара, вычисляется по формуле

$$\lambda = d_1 \frac{d_2}{\Delta d},$$

которая может быть получена из того соображения, что каждый раз толстая полоса наслаивается на Δd на следующую маленькую полосу. Таким образом, минимум яркости будет тогда, когда большая полоса закроет маленькую точно также, то есть через $d_1/\Delta d$ толстых полос. Ширина толстой полосы, в свою очередь, d_2, откуда и получаем формулу для периода. Считая $\Delta d = d_2 - d_1$, получим

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{1 - \dfrac{d_1}{\lambda}} \approx \left(1 + \frac{d_1}{\lambda}\right).$$

Отношение это, однако, может быть получено путем простого совмещения тонких и толстых полос, и подсчетом их количества на одну и ту же единицу длины. Реальное значение $\approx 1{,}05$.

3. Чтобы найти Δd, можно воспользоваться формулами

$$\frac{\Delta d}{d_1} = \frac{d_2}{d_1} - 1$$

и

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\lambda}{\lambda - d_1},$$

откуда

$$\frac{\Delta d}{d_1} = \frac{\lambda}{\lambda - d_1} - 1.$$

Численное значение $\approx 0{,}05$.

4. Выстроим листы ровно, так, чтобы сетка Муара была перпендикулярна длинам листов. Сдвинем их вдоль так, чтобы край полосы (или центр) приходился на нашу точку, которую мы проткнем булавкой. Таким образом, при повороте, сдвигая 0 транспортира ЗА приклеенный лист, с одной стороны, можно померить малый угол α по границе листа, а с другой - большой угол φ, по границе(или центру) выбранной полосы. Отметим, что на самом деле, так как лист с мультифорой двигался — а значит, двигался и транспортир, то угол, который мы получаем при прямых измерениях — $\varphi - \alpha$. Снимаем данные и строим график, значение углового коэффициента которого $C = 14$ рад$^{-1}$.

Отметим, что из теории

$$\operatorname{tg}\varphi = (\lambda\, a)/d. \qquad (1)$$

Примечание. Значения d_1, d_2, получаемые экспериментально, могут быть объективно меньше заявленных, так как при печати большинство принтеров оставляют поля, сжимая при этом изображение.

Критерии оценивания

Метод определения λ/d_1 1
Численное значение λ/d_1 1
Метод определения d_2/d_1 (любой из предложенных) 1
Численное значение d_2/d_1 1
Формула для пункта в) 1
Численный результат в пункте в) 1
Описан метод измерения углов φ и α 1
Учтён сдвиг $\varphi - \alpha$ 1
Прямые измерения в количестве от 8 до 10 2
Прямые измерения в количестве от 5 до 8 1
График $\operatorname{tg}\varphi(\alpha)$ 2
Числовое значение коэффициента наклона 1
Теоретическая формула (1) 2

10 класс

Задача 1. Шестиугольник в сером ящике

Измерив омметром сопротивления между соседними выходами (R_{12} между выводами 1–2, …, R_{61} между выводами 6–1), можно заметить, что сопротивление $R_{12} \ll R_{23},\ldots,R_{61}$, значит, можно пренебречь влиянием остальной схемы и считть, что $R_{12} = R_2 = 0$ (с точностью в несколько Ом).

Зная сопротивления $R_{12},\ldots,R_{61}$ можно рассчитать все искомые сопротивления $R_1,\ldots,R_6$, однако, для этого придётся численно решать систему из шести уравнений. Рациональнее упростить схему, соединив некоторые выводы между собой. Например, можно действовать таким образом:

1. Соединим выводы 1 и 4 и будем исследовать треугольник из резисторов R_1, R_5, R_6.
2. Соединим выводы 1 и 6 (рис. 5), и измерим сопротивление между выводами 5 и 6 $r_a = \left(R_6^{-1} + R_5^{-1}\right)^{-1}$.
3. Аналогично измерим сопротивление $r_b = \left(R_5^{-1} + R_1^{-1}\right)^{-1}$ (рис. 6) и сопротивление $r_c = \left(R_1^{-1} + R_6^{-1}\right)^{-1}$ (рис. 7).

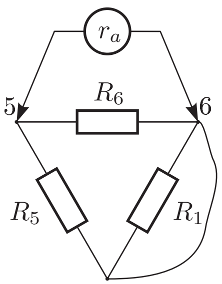


Рис. 5

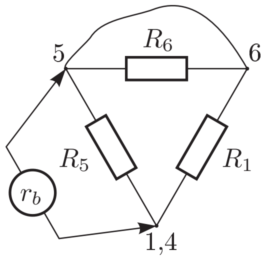


Рис. 6

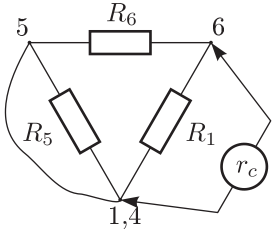


Рис. 7

4. Выразим неизвестные значения R_1, R_5 и R_6 через известные r_a, r_b и r_c:

$$\begin{cases} R_6^{-1} + R_5^{-1} = r_a^{-1} = a, \\ R_5^{-1} + R_1^{-1} = r_b^{-1} = b, \\ R_1^{-1} + R_6^{-1} = r_c^{-1} = c; \end{cases} \qquad \text{откуда,} \qquad \begin{cases} R_1 = \dfrac{2}{b+c-a}, \\ R_5 = \dfrac{2}{a+b-c}, \\ R_6 = \dfrac{2}{c+a-b}. \end{cases}$$

Осталось найти сопротивления R_3 и R_4, что можно легко сделать, соединив каждое из них параллельно с резистором известного ненулевого сопротивления. Полученные значения сопротивлений находятся в следующем отношении:

$$R_1 : R_2 : R_3 : R_4 : R_5 : R_6 = 1 : 0 : 1 : 2 : 1 : 2.$$

Примечание. Приведённое решение является лишь одним из многих возможных.

Критерии оценивания

Показано, что $R_2 = 0$ (с точностью в несколько Ом) 2,5

Предложен метод, принципиально позволяющий определить искомые величины (даже если метод предполагает решение системы из 6 уравнений и сама система не решена, но записана, метод всё же оценивается) 4

Приведены результаты измерений, требующихся для выбранного метода (измерений не меньше, чем искомых величин) 6

Найдены значения сопротивлений R_1, $R_3,\ldots,R_6$ (по 1,5 баллу за каждое верное значение) 7,5

Задача 2. Воздухоплавание

Привязываем к одному концу нити скрепку и от неё отмеряем вдоль нити 2 м. К другому концу нити привязываем скрепку. Мы получили эталон длины. Надуваем шарик до $P_{\max}$. Проводим точное измерение периметра. Проводим три броска, измеряя соответствующее время падения. Бросаем без начальной скорости. Результаты усредняем и заносим в таблицу.

Немного сдуваем шарик и повторяем эксперимент три раза. Вновь усредняем полученные значения и заносим их в таблицу. Проводим ещё восемь серий измерений при разных значениях P.

Строим два графика: $t(P)$ и $t(P^2)$.

Результаты наших измерений:

Таблица 2

№	P, см	P^2, см^2	t, с
1	97,5	9506	2,06
2	86	7396	1,82
3	75	5625	1,52
4	71	5054	1,39
5	52	2704	1,26
6	45	2025	1,03
7	30	900	0,92
8	24	576	0,72

Критерии оценивания

Заполнена таблица 2 (не менее 8 измерений) 5

от 6 до 7 измерений 3

меньше 6 измерений 1

Построен график $t(P)$ 2

Построен график $t(P^2)$ 2

Вывод 1

Примечание 1. При построении графика в логарифмическом масштабе $\alpha = 1{,}3$, то есть ближе к 1 чем к 2, но результат может зависеть от формы шарика. Мы рекомендуем провести самостоятельные измерения.

Примечание 2. Спрямлённые графики должны пересекать ось времени в окрестности точки $t_0 = \sqrt{2H/g} \approx 0{,}6$ с. При отклонении от этой точки больше, чем на 30%, оценка уменьшается вдвое.

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

Проведено $10 \div 14$ *измерениями — 3 балла*

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 $\mu = \operatorname{tg}\alpha$) 1

Задача 2. Частично упругий удар

1. Закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + \Delta E, \tag{2}$$

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:

$$\Delta E = mv_1v_2. \tag{3}$$

Введём обозначение:

$$k = v_1/v_2 = \sqrt{E_1/E_2}. \tag{4}$$

Из (2), (3) и (4) находим:

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

После соударения монет их кинетические энергии будут уменьшаться за счёт сил трения. В результате: $E_1 = \mu mgL_1$, 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: $\dfrac{\Delta E}{E_0} = 0{,}26 \pm 0{,}03$.

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 экпериментальной 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 $7 \div 9$ измерений — 1 балл Проведено менее 7 измерений — 0 баллов

Вторая часть

Проведено 10 и более измерений 2

Проведено $7 \div 9$ измерений — 1 балл Проведено менее 7 измерений — 0 баллов

Приведены выражения для E_1 и E_2 в относительых 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