

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТУР

17 января 2009 года

Сначала, пожалуйста, прочитайте следующее:

1. Экспериментальный тур состоит из одной задачи. Продолжительность тура 3 часа.
2. Пользуйтесь только той ручкой, которая Вам предоставлена.
3. Для расчетов Вы можете использовать свой непрограммируемый калькулятор. Если своего у вас нет, тогда Вы можете попросить его у организаторов олимпиады.
4. Вам предоставлены чистые листы бумаги и *Листы для записи (Writing sheets)*. Чистые листы бумаги предназначены для черновых записей, их Вы можете использовать по Вашему усмотрению, они не проверяются. На *Writing sheets* следует записывать решения задач, которые будут оценены при проверке работы. В решениях как можно меньше используйте словесные описания. В основном Вы должны использовать уравнения, числа, буквенные обозначения, рисунки и графики.
5. Используйте только лицевую сторону *Writing sheets*. При записи не выходите за пределы отмеченной рамки.
6. На каждом использованном *Writing sheets*, в отведенных для этого графах, необходимо указать Вашу страну (*Country*), Ваш код (*Student Code*), текущий номер каждого листа (*Page Number*) и полное количество листов, использованных при решении всех задач (*Total Number of Pages*). Если Вы не хотите, чтобы какие-нибудь использованные *Writing sheets* были включены в ответ, тогда перечеркните их большим крестом на весь лист и не включайте их в Ваш подсчет полного количества листов.
7. Когда Вы закончите тур, разложите все листы в следующем порядке:
 - Пронумерованные по порядку *Writing sheets*;
 - Черновые листы;
 - Неиспользованные листы;
 - Отпечатанные условия задачи

Положите все листы бумаги в конверт и оставьте на столе. Вам не разрешается выносить из аудитории *любые* листы бумаги, приборы, материалы и принадлежности.

Сила сопротивления воздуха

Сила сопротивления воздуха, действующая на движущееся тело, зависит от его скорости довольно сложным образом. Для её расчета часто используются приближенные формулы

$$F = \beta_1 v, \quad (1)$$

$$F = \beta_2 v^2, \quad (2)$$

где β_1 , β_2 — некоторые постоянные коэффициенты, зависящие от формы и размеров тела, v — скорость тела.

В данной работе необходимо экспериментально установить, какой из законов (1) или (2) точнее описывает зависимость силы сопротивления, действующей на шарик, от его скорости. Для этого предлагается исследовать затухание колебаний маятника, в котором в качестве грузов используются шарики.

Экспериментальная установка

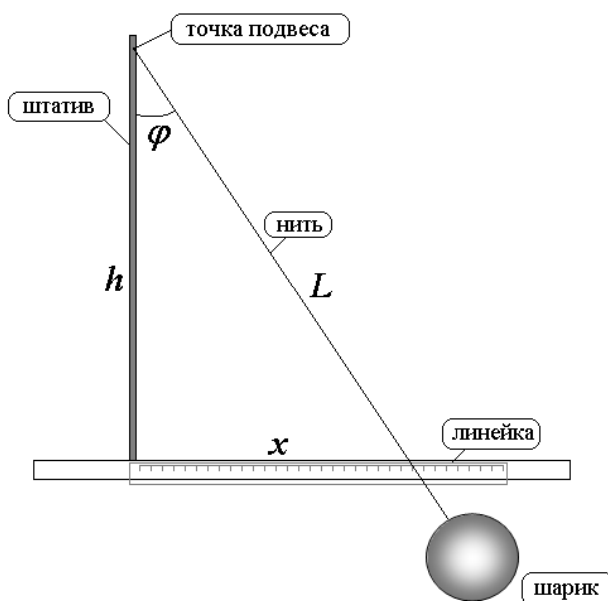
Оборудование: штатив с лапкой, нить, линейка, мерная лента, теннисный шарик, пластилин, скотч.

Закрепите нить с прикрепленным шариком в лапке штатива. Расположите штатив на краю стола, так чтобы нить с шариком свисала рядом с торцом стола, на котором с помощью скотча закрепите линейку. Точка подвеса маятника должна располагаться на высоте $h = 50 \text{ см}$ над линейкой, длина нити (от точки подвеса до шарика) должна быть $L = 60 \text{ см}$.

В качестве измеряемых величин используются:

x — отклонение нити, измеренное по линейке;

φ — угол отклонения.



Часть 1. Потеря энергии за один период (9 баллов)

В данной части работы используйте теннисный шарик.

1.1 (1 балл) Покажите, что если сила сопротивления воздуха зависит от скорости по закону

$$F = \beta v^n,$$

то потери механической энергии шарика за один период колебаний при слабом затухании равны

$$\Delta E = -CE_0^{\frac{n+1}{2}}, \quad (3)$$

где E_0 — начальная энергия шарика, C — постоянная.

1.2 (1 балл) Покажите, что механическая энергия шарика E в крайнем положении пропорциональна $(1 - \cos \varphi)$.

Далее следует измерять энергию шарика в относительных единицах, считая, что потенциальная энергия шарика определяется формулой

$$E = 1 - \cos \varphi. \quad (4)$$

1.3 (3 балла) Пусть начальное отклонение нити равно x_0 , а отклонение нити после одного колебания x_1 . Измерьте зависимость отклонения нити после одного колебания x_1 от начального отклонения x_0 . Измерения значений x_1 при каждом значении x_0 следует проводить не менее 3 раз.

Используя полученные данные, рассчитайте начальную энергию шарика и ее потерю за один период колебаний.

Результаты измерений и расчетов занесите в Таблицу 1. Постройте график зависимости потерь энергии за один период от начальной энергии шарика $\Delta E(E_0)$

Таблица 1. Зависимость потерь энергии от начальной энергии.

$x_0, \text{ см}$	$x_1, \text{ см}$	$x_1, \text{ см}$	$x_1, \text{ см}$	$\langle x_1 \rangle, \text{ см}$	$E_0, \text{ отн. ед.}$	$\Delta E, \text{ отн. ед.}$

.....

1.4 (3 балла) Используя формулу (3), линеаризуйте зависимость $\Delta E(E_0)$. То есть найдите такие преобразования переменных

$$\xi = f_1(\Delta E)$$

$$\eta = f_2(E_0),$$

чтобы зависимость $\xi(\eta)$ была линейной. Постройте график этой зависимости $\xi(\eta)$. Определите показатель степени n в формуле для силы сопротивления воздуха.

1.5 (1 балл) Укажите, какая из формул (1) или (2) точнее описывает полученные данные.

Часть 2. Затухание колебаний, теннисный шарик (6 баллов)

В данной части работы используйте теннисный шарик.

Можно показать, что при силе сопротивления, описываемой формулой (1), отклонения нити после k колебаний описывается формулой

$$x_k = x_0 \lambda^k, \quad (5)$$

где λ — постоянная величина.

При силе сопротивления, описываемой формулой (2), закон затухания имеет вид

$$x_k = \frac{x_0}{1 + Bx_0 k}, \quad (6)$$

где B — постоянная величина.

2.1 (2 балла) Измерьте зависимость отклонения нити x_k от числа совершенных колебаний, при фиксированном начальном отклонении $x_0 = 25$ см, от числа совершенных колебаний k . Результаты измерений занесите в Таблицу 2.

Таблица 2. Затухание колебаний теннисного шарика.

k	x_k , см	x_k , см	x_k , см	$\langle x_k \rangle$, см
0	25	25	25	
1				
2				
3				

....

2.2 (3 балла) Определите, какой из законов затухания (5) или (6), точнее описывает экспериментальные данные.

2.3 (1 балл) Укажите, какая из формул (1) или (2) точнее описывает полученные данные.

Часть 3. Затухание колебаний, пластилиновый шарик (5 баллов)

В данной части работы используйте шарик из пластилина.

Колебания маятника с пластилиновым шариком затухают значительно медленнее, поэтому провести измерения отклонений после каждого колебания затруднительно. Поэтому в данной части работы вам необходимо измерить число колебаний k , за которое отклонения уменьшаются до определенных значений x_k .

3.1 (2 балла) Проведите измерения числа колебаний k в течение которых отклонения маятника уменьшаются от $x_0 = 20\text{ см}$ до $x_k = 19, 18, \dots\text{см}$.

Результаты измерений занесите в Таблицу 3. Постройте график зависимости отклонения маятника x_k от числа совершенных колебаний.

Таблица 3. Затухание колебаний пластилинового шарика.

x_k , см	k	k	k	$\langle k \rangle$
20	0	0	0	
19				
18				
17				

....

3.2 (2 балла) Используя полученные экспериментальные данные, определите, какой из законов затухания (5) или (6), в данном случае точнее описывает экспериментальные данные.

3.3 (1 балл) Укажите, какая из формул (1) или (2) точнее описывает полученные данные.