

Резиновый маятник

Условие

Задание 2. «Резиновый маятник»

В данной задаче Вам предлагается исследовать колебания груза известной массы m , подвешенного при помощи штатива на резиновом рыболовном шнуре. В рамках школьного курса физики Вы изучали колебания груза на нерастяжимой нити (математического маятника), однако в рассматриваемом случае шнур может растягиваться и менять свою длину непосредственно в процессе колебаний. При этом траектория движения центра масс груза может заметно отличаться от дуги окружности.

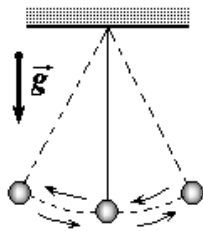
Приборы и оборудование: штатив с лапкой, двойной резиновый жгут, нитки, набор грузов 6×100 г, гирька весом 20 г, мерная лента 1,5 м, линейка 40 см, секундомер, скотч.

Часть 1. «Удлинение» Закрепив резиновый шнур в лапке штатива, изучите его абсолютную деформацию Δl в зависимости от массы m подвешенного груза. Используйте для этого набор грузов стандартной массы и мерную ленту. Постройте график полученной зависимости $\Delta l(m)$.

Часть 2. «Математический маятник» Если слегка отклонить груз в сторону и отпустить, то система придет в колебательное движение, подобное движению математического маятника. Напомним, что период колебаний математического маятника вычисляется по формуле Гюйгенса

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

где l — расстояние от точки подвеса до центра масс груза.

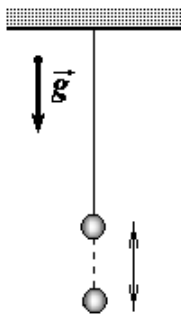


Используя набор грузов и секундомер, исследуйте зависимость периода колебаний T системы от массы m подвешенного груза. При выполнении данного задания не забудьте учесть размер каждого грузика. Постройте график полученной зависимости $T(m)$. Сравните полученные данные с теоретическими значениями, рассчитанными по формуле (1). Укажите, какую величину вы использовали в качестве длины маятника l .

Часть 3. «Пружинный маятник» Если слегка потянуть за груз вниз и отпустить, то в системе также возникнут колебания, при которых груз будет периодически подниматься и опускаться. Напомним, что период колебаний пружинного маятника вычисляется по формуле

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m — масса груза, k — коэффициент упругости пружины.



3.1 Измерьте зависимость периода T этих колебаний от массы m подвешенного груза $T(m)$. При выполнении задания данного пункта следует помнить, что коэффициент упругости k системы зависит от ее абсолютного удлинения Δl . Покажите, что значение k системы может быть найдено как

$$k = \frac{\Delta mg}{\Delta l},$$

где Δm — масса небольшого дополнительного груза (гирьки), подвешенного к резинке при некотором значении m (значение m меняйте при помощи набора грузов), Δl — небольшое удлинение шнура под действием силы тяжести груза Δm .

3.2 Для определения значений коэффициента упругости k резинового шнура при различных деформациях измерьте дополнительное удлинение пружинки Δl при подвешивании к ней дополнительного груза Δm (поочередно для шести грузов).

Вычислите значение k по формуле при различных удлинениях резинового шнура

3.3 По полученным экспериментальным данным рассчитайте $T_{\text{теор}}$ и постройте график полученной зависимости $T_{\text{теор}}(m)$. Сравните полученную зависимость с экспериментальной зависимостью $T(m)$, полученной в пункте 3.1. Укажите возможные причины несоответствия экспериментальных данных и теоретической зависимости.

Решение

Задание 2. «Резиновый маятник»

Часть 1. «Удлинение резинки»

Таблица 1. Зависимость длины резинки от количества грузов

N	l , см
0	21,0
1	24,0
2	28,0
3	35,0
4	43,0
5	51,0
6	60,0
5	56,3
4	50,0
3	40,5
2	32,0
1	26,0
0	21,0

В Таблице 1 приведены измеренные значения длины резинки l в зависимости от количества N подвешенных к ней грузов. Масса каждого подвешенного груза имеет стандартное значение

$m = 100$ г.

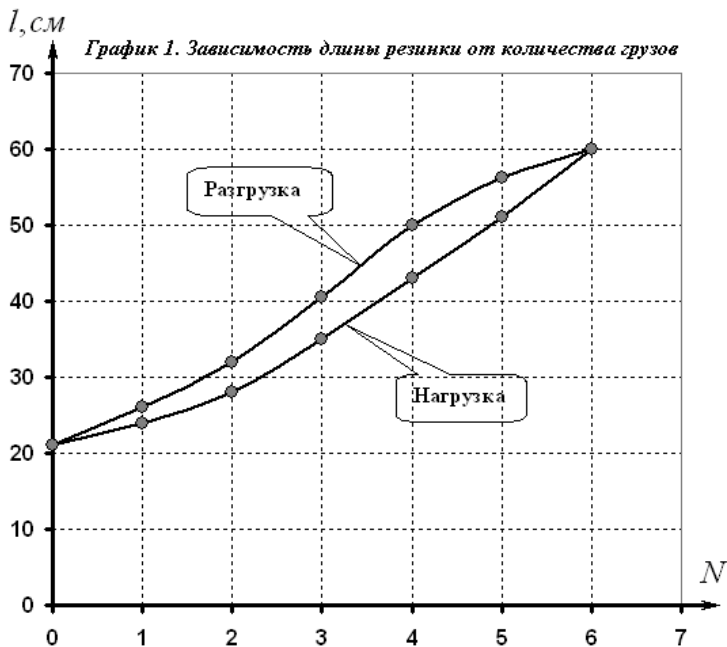
При выполнении данного пункта следует последовательно нагружать, а затем разгружать резинку, поскольку ее деформация при этом оказывается различной.

По результатам измерений строим График 1. зависимости длины резинки от количества (массы) подвешенных грузов.

Из анализа полученной зависимости видим, что резинка имеет характерную «петлю гистерезиса», обусловленную различным поведением ее удлиненных молекул при увеличении и уменьшении нагрузки.

Наклон различных участков графика, характеризующий дифференциальную жесткость (коэффициент упругости при малых деформациях) системы также имеет различные значения даже в пределах одной ветви графика.

Строго говоря, для получения зависимости деформации резинки от массы, следует поднять ось абсцисс на отметку $l_0 = 21$ см, однако характер кривой это не изменит.



Часть 2. «Математический маятник»

При подвешивании различного количества грузов в данном случае следует учесть, что помимо удлинения резинки под действием силы тяжести грузов, происходит увеличение расстояния до центра масс за счет размеров самих грузов.

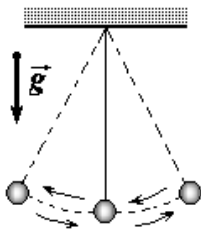


Таблица 2. Измерение периода колебаний математического маятника

N	$l, \text{см}$	$l + \Delta l, \text{см}$	$T_1, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$T_3, \text{с}$	$T_{\text{эксп}}, \text{с}$	$T_{\text{теор}}, \text{с}$
1	26,0	28,0	5,28	5,41	5,36	1,07	1,06
2	30,0	34,0	6,04	6,07	5,91	1,20	1,17
3	38,0	44,0	6,84	6,90	6,78	1,37	1,33
4	48,4	56,4	7,71	7,72	7,66	1,54	1,51
5	56,6	66,6	8,44	8,29	8,39	1,67	1,64
6	64,1	76,1	9,14	9,15	9,18	1,83	1,75

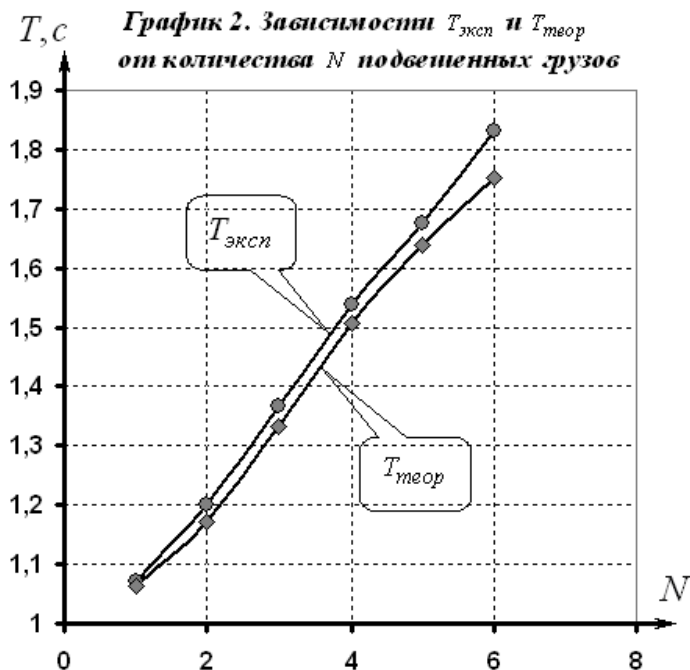
Вследствие этого к длине резинки l в деформированном состоянии следует добавить поправку Δl , равную половине длины цепочки грузов. Напомним, что высота одного грузика (от крючка до крючка) составляет $h = 4,0$ см.

В Таблице 2 приведены данные измерений для количества грузов от одного до шести. Для увеличения точности измерений проводилось по три измерения для пяти колебаний (T_1, T_2, T_3) системы при данном количестве грузов, после чего полученные результаты усреднялись. Результат усреднения представлен в таблице как $T_{\text{эксп}}$.

Для проверки соответствия эксперимента и теории в последнем столбце таблицы 2 проведено вычисление периода колебаний $T_{\text{теор}}$ по формуле Гюйгенса.

График 2. зависимости $T_{\text{эксп}}$ и $T_{\text{теор}}$ от количества N подвешенных грузов (массы) представлен ниже.

Как видно из графика, экспериментальные точки «ложатся» несколько выше теоретических, что обусловлено влиянием сил сопротивления, «неточечностью» системы грузиков, изменением длины резинки при колебаниях и др.



Часть 3. «Пружинный маятник»

3.1 Измерение периода колебаний $T_{\text{эксп}}$ системы в зависимости от числа грузов проводим по стандартной методике, измеряя длительность пяти полных колебаний. Измерения производим три раза, усредняя полученные результаты, находим $T_{\text{эксп}}$. Данные измерений приведены в таблице 3.

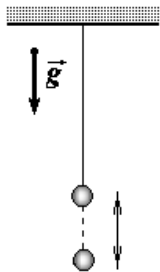


Таблица 3. Измерение периода вертикальных колебаний с T_1 , с T_2 , с T_3 , с $T_{\text{эксп}}$, с

N	$T_1, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$T_3, \text{с}$	$T_{\text{эксп}}, \text{с}$
1	1,66	1,68	1,72	0,34
2	3,12	2,89	2,88	0,59
3	4,49	4,55	4,70	0,92
4	5,08	5,12	5,02	1,01
5	4,81	4,69	4,81	0,95
6	4,20	4,26	4,19	0,84

Как следует из таблицы, период колебаний пружинного маятника сначала возрастает, а потом убывает. Это может быть объяснено соответствующим изменением коэффициента упругости резинки в процессе ее деформации.

3-2. Для определения значения дифференциального коэффициента упругости k будем подвешивать небольшой дополнительный груз $\Delta m = 20 \text{ г}$ при каждом значении N . Измеряя удлинение Δl под действием силы тяжести дополнительного груза, найдем искомое значение по формуле $k = \frac{\Delta mg}{\Delta l}$. Данные измерений представлены в Таблице 4.

Таблица 4. Нахождение коэффициента упругости k

N	$\Delta l, \text{мм}$	$k, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$T_{\text{теор}}, \text{с}$
1	0,7	28,6	0,37
2	1,0	20,0	0,63
3	1,7	11,8	1,00
4	1,6	12,5	1,12
5	1,0	20,0	0,99
6	0,8	25,0	0,97

Как следует из Таблицы 4, наше предположение получило экспериментальное подтверждение — изменение коэффициента упругости соответствует изменениям периода колебаний в пункте 3.1.

Для сравнения полученных зависимостей рассчитаем период колебаний $T_{\text{теор}}$ пружинного маятника по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Результаты расчетов представлены в Таблице 4.

На графике 3 представлены полученные зависимости для $T_{\text{эксп}}$ и $T_{\text{теор}}$.

Интересно, что в данном случае «сверху» находится теоретическая зависимость, тогда как при выполнении части 2 задания все было наоборот.

Среди возможных причин этого следует отметить внутреннее трение в резине, которое приводит к достаточно быстрому затуханию вертикальных колебаний по сравнению с колебаниями математического маятника.

Примечание: Представленные измерения для всех пунктов задачи проведены для «Резинки рыболовной (диаметр 1 мм)» производства «Белучтехприбор».

