

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**имени М.В.ЛОМОНОСОВА**

---

**Физический факультет**  
**кафедра общей физики и физики конденсированного состояния**

**Методическая разработка**  
**по общему физическому практикуму**

**Лаб. работа № 5**

**ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ**  
**С ПОМОЩЬЮ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА**

**Работу поставили**  
**доцент Авксентьев Ю. И. и ст. преп. Овчинникова Т.Л.**

**МОСКВА 2011**

При составлении описания использовалось методическое пособие  
Г.Е.Пустовалова М. 2004 е «Изучение упругих колебаний».

## ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ.

**Принадлежности:** массивное основание со стойкой, блок с фотодатчиком и осветителем, две пружины, диск, четыре плоских груза, один вспомогательный груз в виде согнутого на конце стержня, платформа для размещения грузов, две вспомогательные пластинки из оргстекла, электронный секундомер со счетчиком числа колебаний, весы (все взвешивания проводятся на электронных весах).

**Цель работы.** В работе изучаются свойства собственных колебаний системы, представляющей собой подвешенный на пружине груз: находится зависимость частоты колебаний от жесткости пружины и массы груза. Для изучения затухающих колебаний используется диск большого диаметра, который колеблется вместе с грузом. В этом случае определяется декремент затухания и коэффициент силы трения, действующей на диск со стороны среды (воздуха).

**Устройство установки.** Общий вид установки представлен на рисунке 1. В верхней части *стойки* находится *держатель пружины*. К нему цепляется один из концов пружины. По всей длине стойки нанесена *шкала*. Во время измерений во втором и третьем упражнении к свободному концу пружины подвешивается *диск*. Во втором упражнении диск служит указателем при определении удлинения пружины, а в третьем упражнении при изучении затухающих колебаний - для создания силы трения. Снизу к диску подвешивается *платформа с нитью*, на которую в процессе выполнения работы укладывается то или иное количество грузов.

**Блок с фотодатчиком** используется для подсчета числа колебаний и времени. С помощью кабеля блок связан с электронным секундомером (рис. 2). Электронный секундомер управляется двумя кнопками. Кнопка «ПУСК» переводит прибор в режим измерения времени и числа колебаний. В этом режиме счетчик управляется *платформой с грузами*, совершающими колебательное движение. Периодический запуск счетчика происходит при движении платформы с грузами вниз в момент перекрытия платформой луча света от осветителя к фотодатчику. Кнопка «СТОП» останавливает, как процесс измерения времени, так и процесс подсчета числа колебаний. К нижней части блока с фотодатчиком прикреплена *пластинка* с небольшим отверстием, на которую перед началом измерений устанавливается платформа с грузами. Установка платформы, висящей на пружине, на пластинку производится с помощью *нити*, пропущенной через малое отверстие в пластинке. Блок с фотодатчиком фиксируется на стойке с помощью *стопорного винта 1* (рис. 3). Втулка со *стопорным винтом 2* позволяет при отпущенном стопорном винте 1 вращать блок с фотодатчиком вокруг стойки, не изменяя при этом его положения по высоте.

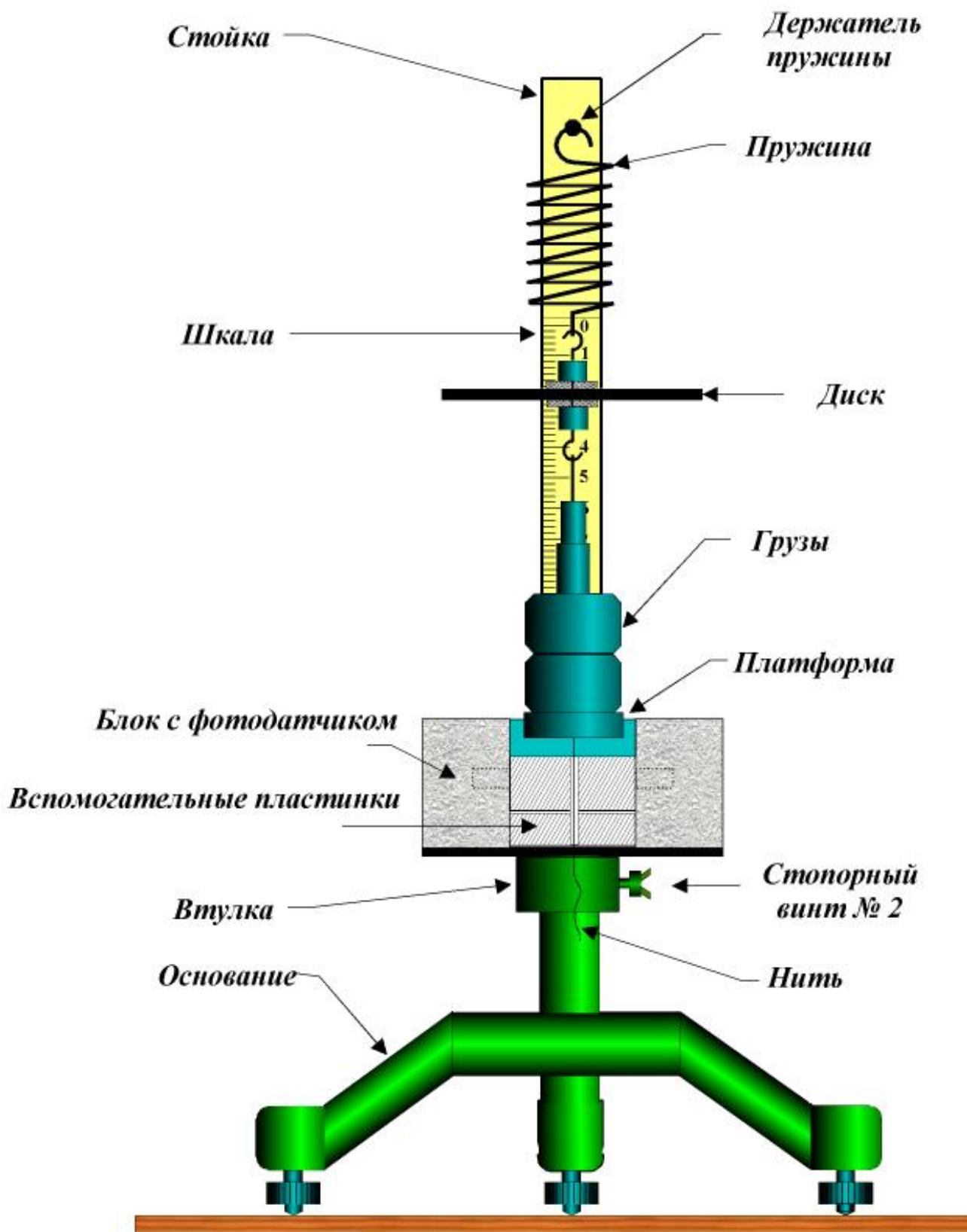


Рис. 1 Общий вид установки.

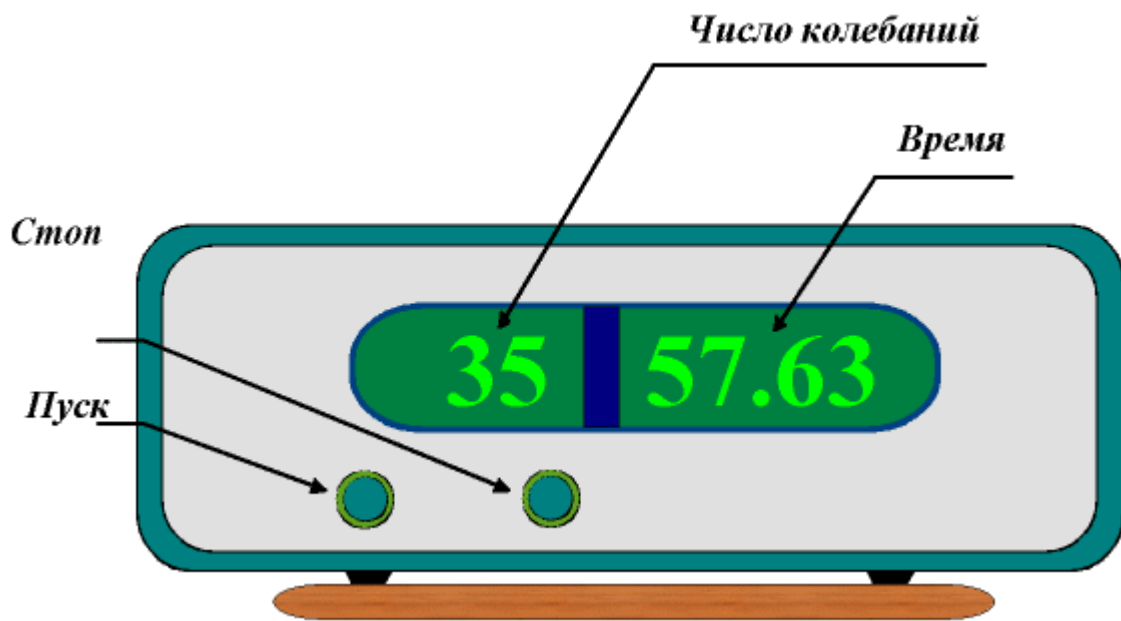


Рис. 2

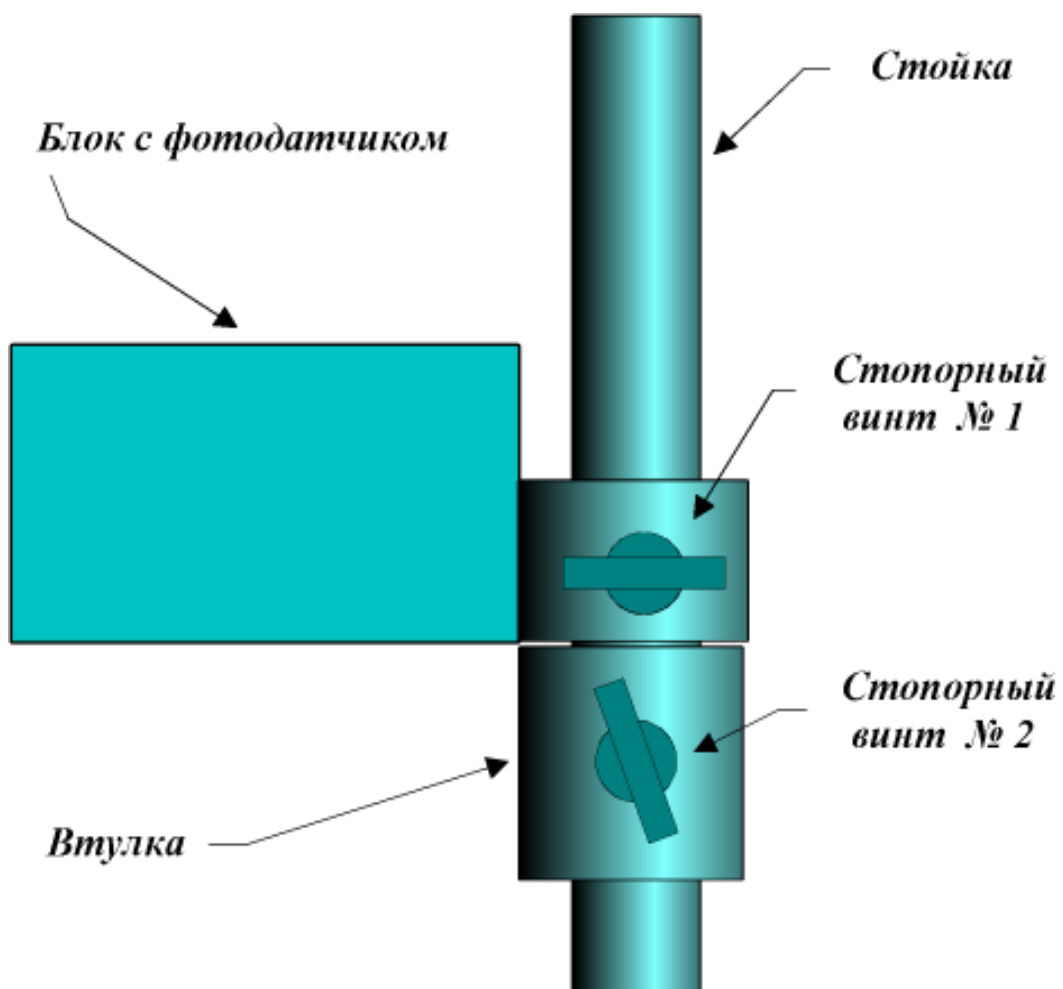


Рис. 3

**Вспомогательный груз**, продетый в петельку на конце нити, натягивает нить и позволяет установить блок с фотодатчиком так, чтобы нить проходила через центр отверстия (рис. 4). Такое положение нити достигается путем вращения блока вокруг стойки и обеспечивает вертикальное движение платформы во время колебаний.

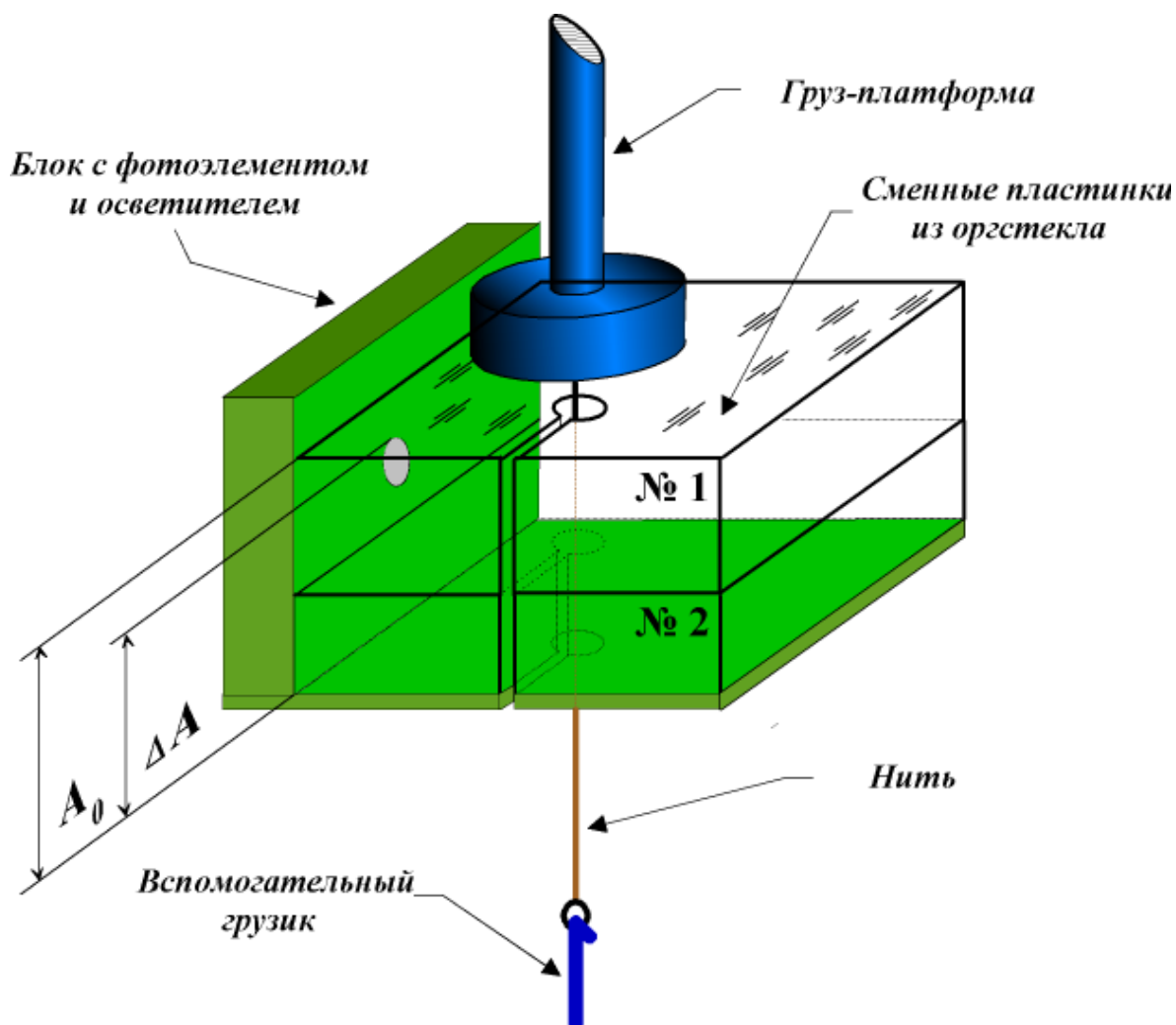


Рис. 4

Начальная амплитуда колебаний  $A_0$  устанавливается с помощью *вспомогательных пластинок* из оргстекла (№ 1 толщиной 14 мм. и № 2 толщиной 10 мм.). При использовании двух пластинок начальная амплитуда  $A_0$  становится равной суммарной толщине пластинок. Таким образом, автоматическая остановка подсчета числа колебаний и времени при изучении затухающих колебаний всегда происходит при уменьшении амплитуды

колебаний на одну и ту же величину  $\Delta A = 13,5 \text{ мм}$ , а именно, тогда, когда колеблющаяся платформа с грузами перестанет пересекать луч света фотодатчика.

## **ИЗУЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ НЕЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ.**

### **Упражнение 1.**

#### **Измерение частот колебаний грузов.**

**Подготовка к измерениям.** Измерение периода собственных колебаний грузов производится без диска. Платформа с грузом подвешивается к нижнему концу пружины, верхний конец которой закрепляется в *держателе пружины* (рис. 1) В качестве грузов используются стальные диски с круглым отверстием в центре. На каждом диске имеется номер, приближенно указывающий массу диска. Измерения частоты колебаний производят со следующими наборами стальных дисков: груз 1 – диск № 50+20+20, груз 2 – диски № 50 + № 20 + № 20 + № 10. Амплитуда колебаний устанавливается равной 14 мм. Для этого в блок с фотодатчиком вкладывается пластинка № 1 из оргстекла (рис. 4). Стопорный *винт 1* (рис.3) отпускается и перемещением блока вверх или вниз по стойке добиваются касания платформы с пластинкой из оргстекла. Если перемещению блока мешает втулка, то отпускают стопорный *винт 2* (рис. 3) и сдвигают ее вниз. Добившись касания, фиксируют блок с помощью винта 1 и удаляют пластинку № 1. После этого поджимают *блок* снизу втулкой и фиксируют ее в этом положении винтом 2. Затем в петельку на конце нити вставляют *вспомогательный грузик*, отпускают винт 1 и, поворачивая блок в ту или иную сторону, устанавливают его в такое положение, чтобы натянутая нить проходила через центр отверстия в *пластинке* (рис. 4). Винтом 1 фиксируют блок в этом положении и снимают вспомогательный грузик.

Далее. Включают электронный секундомер. Выключатель находится на задней панели слева, сверху. Для установки секундомера в исходное состояние нажимают кнопку «СТОП». Прибор готов к измерениям.

**Измерения.** Взявшись за нить, начинают плавно растягивать пружину. Пружину растягивают до тех пор, пока нижний край платформы не коснется пластинки с отверстием. Особое внимание следует обращать на то, чтобы в момент касания нить находилась бы в центре отверстия (рис. 4). После этого свободной рукой нажимают кнопку «ПУСК» на электронном секундомере и одновременно отпускают нить. Когда число колебаний на счетчике достигнет 50-и, кнопкой «СТОП» останавливают секундомер, но не прерывают колебаний груза. Результаты этих измерений не записывают. Так добиваются большей стабилизации колебаний в процессе дальнейших измерений. После останова секундомера вновь запускают его кнопкой «ПУСК» и измеряют время 20-и колебаний. Остановив секундомер, записывают число колебаний

$n$  и время  $t$  в таблицу 1. Не прерывая колебаний, снова нажимают кнопку «ПУСК» и измеряют время следующих 20-и колебаний. Такие измерения проводят пять раз для каждой пружины с грузами 1 и 2. Если с первого запуска не успевают провести пять измерений, запуск повторяют. На время выполнения работы целесообразно присвоить пружинам номера – № 1 и № 2. Номера присваиваются пружинам произвольно. Присвоенные пружинам номера сохраняются до конца работы.

Таблица 1

№	n	Пружина № 1				Пружина № 2			
		Груз 1 50+20+20		Груз 2 50+20+20+10		Груз 1 50+20+20		Груз 2 50+20+20+10	
		t, с	$\Delta t$ , с	t, с	$\Delta t$ , с	t, с	$\Delta t$ , с	t, с	$\Delta t$ , с
1									
2									
3									
4									
5									
$t_{cp}$									
$T_{cp}$									
$\nu$ , с ИЗМ.									
$\nu$ , с ВЫЧ.									

При обработке результатов измерений находят среднее время  $t_{cp}$  и полную погрешность измерения времени  $\Delta t$ . Затем, разделив  $t_{cp}$  на число колебаний  $n$ , находят период колебаний  $T$  и по формуле

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (1)$$

вычисляют частоту колебаний  $\nu$ . Результаты вычислений заносят в таблицу 1.



## Упражнение 2.

### а) Измерение коэффициентов жесткости пружин.

Коэффициент жесткости пружины – это величина, характеризующая упругие свойства пружины. Он равен отношению силы, растягивающей пружину, к изменению ее длины при растяжении. Коэффициент жесткости зависит от материала и толщины проволоки, из которой навита пружина, от диаметра витков пружины и их количества.

Если под действием груза массы  $m$ , висящего на пружине, удлинение пружины равно  $x$ , то коэффициент жесткости  $k$  вычисляется по формуле

$$k = \frac{mg}{x}, \quad (2)$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения.

В работе измеряются коэффициенты жесткости пружин № 1 и № 2 с грузами 1 и 2 каждая. Грузы 1 и 2 состоят из такого же набора дисков, как и в упражнении 1. Для нахождения удлинения  $x$  пружину подвешивают к держателю (рис. 1), а к свободному концу цепляют диск. К диску подвешивают пустую платформу и замечают деление шкалы  $x_2$ , оказавшееся напротив диска. Для повышения точности измерений глаз располагают так, чтобы при отсчете плоскость диска превратилась в прямую линию. Затем платформу снимают, помещают на нее груз 1 или 2 и вновь цепляют к пружине. После этого отмечают новое положение  $x_1$  диска на шкале. Результаты измерений записывают в таблицу 2.

Удлинение пружины  $x$  вычисляют по формуле

$$x = (x_1 - x_2) . \quad (3)$$

Коэффициент жесткости  $k$  вычисляют по формуле (2). Результаты вычислений записывают в таблицу 2. На электронных весах взвешивают диск, платформу и стальные диски № 10, № 20, № 50. Таблицу 2 заполняют для каждой пружины отдельно.

Пружина №

Таблица 2

№ груза	m, г	mg, Н	$x_1$ , мм	$x_2$ , мм	$x=(x_1 - x_2)$ , мм	k, Н/м	$k_{\text{ср}}$ , Н/м
Груз 1							
Груз 2							

**б) Вычисление частот колебаний грузов.** Частота колебаний груза, подвешенного на пружине, вычисляется по формуле

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (4)$$

(см. пособие Г.Е.Пустовалова «Введение к задачам на изучение колебаний» § 5). Здесь  $\omega$  круговая частота колебаний,  $M$  суммарная масса груза и платформы,  $k$  коэффициенты жесткости, взятые из таблицы 2 для первой и второй пружины. Значения частот колебаний нужно вычислить для каждой из пружин с каждым грузом. Результаты вычислений записать в таблицу 3 и последнюю строку таблицы 1.

Таблица 3

№ груза	М, г	Частота колебаний $\nu$ , с <sup>-1</sup>	
		Пружина № 1	Пружина № 2
Груз 1			
Груз 2			

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ.

### Упражнение 3.

Если на колеблющееся тело, помимо упругой силы, действует достаточно большая сила трения, то происходит заметное затухание колебаний: амплитуда каждого последующего колебания становится меньше амплитуды предыдущего. В случае жидкого трения, при котором сила пропорциональна скорости тела, величина затухания характеризуется *декрементом затухания*. Декремент затухания  $\Delta$  показывает, во сколько раз предыдущая амплитуда  $A_n$  больше последующей  $A_{n+1}$ , то есть

$$\Delta = \frac{A_n}{A_{n+1}}. \quad (5)$$

Часто также употребляется *логарифмический декремент затухания*.

$$\delta = \ln \Delta. \quad (6)$$

На практике часто удобно бывает измерять не две последовательные амплитуды  $A_n$  и  $A_{n+1}$ , а начальную амплитуду  $A_0$  и конечную амплитуду  $A_n$  через некоторое число колебаний  $n$ . В этом случае, так как отношение каждой предыдущей амплитуды к последующей в промежутке от  $A_0$  до  $A_n$  равно, имеем

$$\frac{A_0}{A_1} = \Delta, \quad \frac{A_1}{A_2} = \Delta, \dots, \frac{A_{n-1}}{A_n} = \Delta,$$

или

$$\frac{A_0}{A_n} = \frac{A_0}{A_1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \dots \frac{A_{n-2}}{A_{n-1}} \cdot \frac{A_{n-1}}{A_n} = \Delta^n.$$

Здесь все промежуточные значения амплитуд, начиная с  $A_1$  и кончая  $A_{n-1}$ , сокращаются. Следовательно,

$$\ln \frac{A_0}{A_n} = \ln \Delta^n = n \ln \Delta$$

Отсюда, принимая во внимание формулу (6), найдем

$$\delta = \ln \Delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_n}. \quad (7)$$

**а) Подготовка к измерениям.** Измерения проводятся только с одной пружиной. Из двух пружин выбирают пружину с наименьшим коэффициентом жесткости. К нижнему концу пружины цепляют диск. К нему подвешивают платформу с грузом 1 (диски №50 + №20 + №20).

Устанавливают начальную амплитуду колебаний  $A_0$  равную 24 мм. Для этого в блок фотодатчика помещают вначале пластинку из оргстекла № 2, а сверху нее пластинку № 1 (рис. 4). Отпустив стопорный винт 1 (рис. 3), перемещают блок с фотодатчиком по стойке до тех пор пока нижний край платформы не коснется пластинки из оргстекла, после чего винт 1 зажимают. Поджимают снизу блок втулкой и фиксируют ее стопорным винтом 2. Затем удаляют пластинки, а к нижнему концу нити подвешивают вспомогательный грузик. Отпускают винт 1 и путем вращения блока вокруг стойки устанавливают нить в центре малого отверстия в основании блока. После этого винт 1 зажимают и снимают вспомогательный грузик. Прибор готов к измерениям.

**Измерения.** Взявшись за нить, начинают плавно растягивать пружину. Пружину растягивают до тех пор, пока нижний край платформы не коснется пластинки с отверстием. Особое внимание обращают на то, чтобы в момент касания нить находилась бы в центре отверстия. После этого свободной рукой нажимают кнопку пуск на электронном секундомере и отпускают нить. После остановки секундомера записывают в таблицу 4 число колебаний  $n$  и время  $t$ . Процесс измерений повторяют пять раз. При колебаниях груза на диск действует сила сопротивления со стороны воздуха (сила жидкого трения). Счет времени прекращается в тот момент, когда амплитуда колебаний уменьшается настолько, что платформа при своем движении вниз перестает перекрывать луч света от источника к фотодатчику.

В данной установке это происходит при уменьшении амплитуды  $A_0$  на величину  $\Delta A = 13,5 \text{ мм}$ .

Согласно формуле (7)  $\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_0 - \Delta A}$ , где  $n$  – число колебаний, которое

совершил груз за время  $t$ , в течение которого амплитуда уменьшилась на величину  $\Delta A$ . Используя результаты измерений  $n$  и  $t$  вычисляют среднее значение периода  $T$  и среднее значение логарифмического декремента затуханий  $\delta_{cp}$  и заносят результаты вычислений в таблицу 4.

Таблица 4

№	n	t, с	T, с	$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_0 - \Delta A}$
1				
2				
3				
4				
5				
			$T, \text{с} - \text{среднее}$	
			$\delta - \text{средний}$	
			$b, \text{кг/с}$	

Логарифмический декремент затухания  $\delta$ , вообще говоря, связан с коэффициентом трения  $b$  соотношением

$$b = \frac{2M\delta}{T}, \quad (7)$$

где  $M$  – масса колеблющегося тела,  $T$  – период колебаний. В нашем случае масса колеблющегося тела  $M$  складывается из массы диска, массы платформы и массы груза 1 (стальных дисков № 50 + № 20 + № 20), а период колебаний равен среднему значению  $T$  из таблицы 4. Приняв это во внимание, вычисляют коэффициент трения по формуле.

$$b = \frac{2M\delta}{T_{cp}} . \quad (8)$$

Результат вычисления записывают в таблицу 4.

## ЛИТЕРАТУРА.

- 1). Д.В.Белов. «Механика», изд. «Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова», 1998 г., глава 8,  
§ 34 Общее представление о колебаниях.  
§ 36 Свободные гармонические колебания.  
§ 37 Затухающие колебания.
- 2). И.В.Савельев. «Курс физики», т. 2, изд. «Наука», 1989 г., часть 2 ,  
глава 10,  
§ 64 Гармонические колебания.  
§ 65 Маятник.
- 3.) Савельев И. В. «Курс общей физики» в 5-и книгах.  
Книга I «Механика», 1998 г.,  
гл. 8, Колебательное движение,  
§ 8.1 Общие сведения о колебаниях,  
§ 8.4 Гармонические колебания.  
§ 8.9 Затухающие колебания.
- 4). Г.Е.Пустовалов. Настоящий сборник. Механика. Текст лаб. работ.  
Работа 3-Введение к задачам на изучение колебаний. Разделы  
1,2,3,5,8.