В задаче не требуется оценка погрешностей!

Внимание! Не направляйте свет стробоскопа в глаза!

Теоретическая справка

В этой задаче вам предстоит изучить механизм работы детской игрушки «Дятел», состоящей из деревянной фигурки дятла, с помощью пружинки прикрепленной к деревянной шайбе, сквозь которую продет металлический стержень. Если поднять дятла вверх по стержню, а потом отпустить, слегка подтолкнув его в горизонтальной плоскости, то достаточно быстро средняя скорость его движения v станет постоянной.

На скорость движения дятла влияет то, как быстро он колеблется на пружинке. При описании колебаний (повторяющихся процессов) удобно говорить о периоде T — минимальном времени повторения процесса. Величину, обратную периоду, называют частота: $\nu = \dfrac{1}{T}$. Измеряется частота в герцах [Гц]=с$^{-1}$. Также для измерения частоты часто используют размерность RPM (от англ. «оборотов в минуту»). Очевидно, что 60 $RPM = 1$ Гц. Если период механического процесса мал (а частота велика), то невооруженным глазом уловить повторения очень сложно (картинка «расплывается»). Тогда для определения частоты процесса можно воспользоваться *стробоскопическим эффектом*, возникающим, когда процесс освещается периодическими вспышками света. При определенных условиях связи частоты вспышек и частоты процесса (например при их равенстве) в потоке света процесс «застывает».

Для описания движения дятла вам предлагаются две физические модели: «падение» и «перешагивание». В модели «падение» предполагается, что в течение определенной неизменной доли $1 - k$ половины периода $\dfrac{T}{2}$ колебаний дятла «заклинивает» и он не движется по стержню, а в оставшуюся долю половины периода k он свободно падает в поле силы тяжести (см. рисунок 1). В этом случае средняя скорость его движения v_1 будет выражаться уравнением:

$$v_1 = \frac{\dfrac{g(kT/2)^2}{2}}{T/2} = \frac{k^2 gT}{4}. \tag{1}$$

В модели «перешагивание» предполагается, что временем свободного падения в течение периода колебаний можно пренебречь, а дятел только «шагает» вниз по стержню между неподвижными положениями (см. рисунок 2). Вертикальное смещение Δx при каждом «шаге» зависит только от геометрических параметров дятла и стержня и неизменно в течение всей задачи. В этом случае средняя скорость движения дятла v_2 будет выражаться уравнением:

$$v_2 = \frac{2\Delta x}{T}. \tag{2}$$

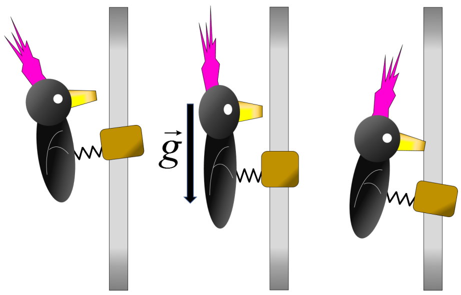


Рис. 1. Модель «падение».

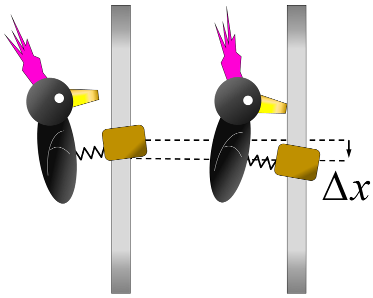


Рис. 2. Модель «перешагивание».

Задание.

1. Используя уравнения из теоретического введения, получите теоретические зависимости $v_1(\nu), v_2(\nu)$ средних скоростей от частоты колебания дятла согласно предложенным моделям.

2. Соберите установку, показанную на рисунке 3. Измерьте среднюю скорость падения дятла. Измерьте частоту колебаний дятла, поиск частоты ведите в диапазоне 500 – 600 RPM.

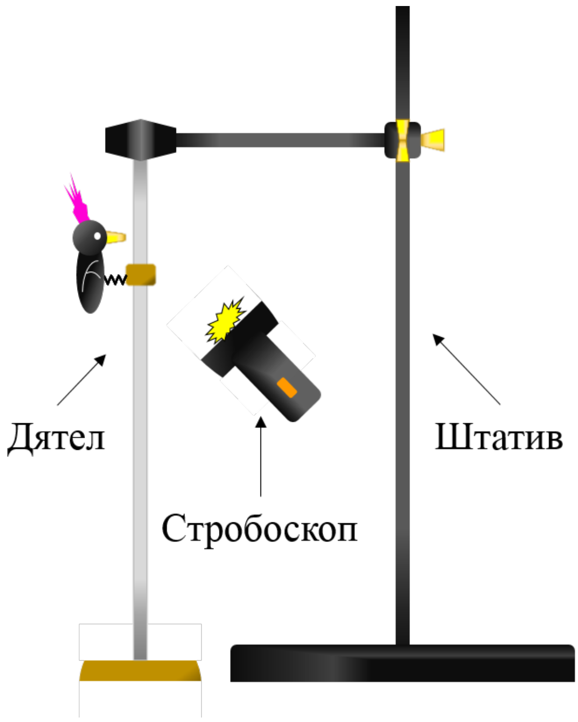


Рис. 3. Схема установки.

Для того, чтобы изменять частоту колебаний дятла, а вследствие этого и скорость движения, необходимо изменять его массу. Для этого можно прикреплять к дятлу пластилин, как показано на рисунках 4 и 5. Очень важно закреплять пластилин на одном уровне с креплением дятла к пружине!

Измерьте среднюю скорость v и частоту колебаний дятла ν при пяти различных ненулевых массах пластилинового довеска. Для этого используйте массы пластилина от 0 г до 8 г. На стержне можно оставлять отметки выданным вам корректором (замазкой).

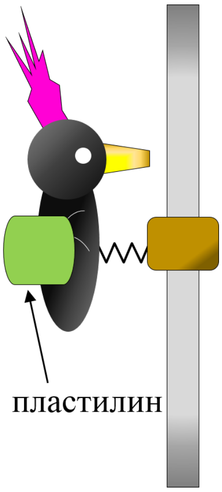


Рис. 4. Вид сбоку.

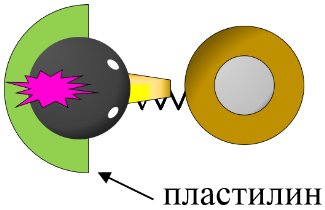


Рис. 5. Вид сверху.

3. Можно ли из полученной зависимости сделать *однозначный* вывод об ошибочности какой-либо из моделей движения дятла? Если да, то какой?

   Для тех моделей, которые однозначно признать неверными нельзя, постройте графики зависимостей $v(\nu)$ так, чтобы графики зависимостей получились линейными.

   Можно ли, исходя из полученных графиков сделать *однозначный* вывод о правильности какой-либо из моделей? Если да, то какой?

Указания.

1. Для включения стробоскопа в течение $2-3$ с удерживайте нажатой кнопку «READ».
2. Для увеличения частоты нажмите кнопку «UP», для уменьшения — «DOWN». Если вам нужно значительно поменять частоту, зажимайте вышеуказанные кнопки для быстрого изменения частоты.
3. В используемом в задаче диапазоне частот при однократном нажатии на кнопки «UP», «DOWN» частота изменяется на 10 RPM. Для более точных измерений нажмите на кнопку «FINE ADJUST», это переключит стробоскоп в режим точной настройки. Для выхода из этого режима еще раз нажмите «FINE ADJUST».

Оборудование.

Игрушка «Дятел», секундомер, стробоскоп, штатив, линейка, электронные весы, пластилин, корректор.

Решение.

Пункт 1.

Воспользуемся формулами 1 и 2 и определением частоты из условия:

$$v_1 = \frac{k^2 g}{4}\,\frac{1}{\nu}, \tag{3}$$

$$v_2 = 2\Delta x\ \nu. \tag{4}$$

Пункт 2.

Для вычисления средней скорости отметим на стержне две точки на расстоянии 250 мм друг от друга. Верхняя отмеченная точка должна отступать от точки запуска дятла на пару сантиметров, так как постоянная средняя скорость устанавливается не сразу после запуска. При движении дятла удобно измерять время от момента достижения шайбой верхней отметки до момента достижения нижней. Для большей точности измерим время при каждой массе довеска трижды.

При вычислении частоты удобно следовать следующему алгоритму: сначала в режиме «грубой» настройки необходимо получить не очень быстро смещающееся между вспышками изображение. Для определения смещения удобно смотреть на контрастные области дятла, колеблющиеся с большой амплитудой (к примеру, кончик клюва). Затем в режиме «тонкой» настройки в процессе движения дятла необходимо поймать частоту, при которой картинка практически неподвижна.

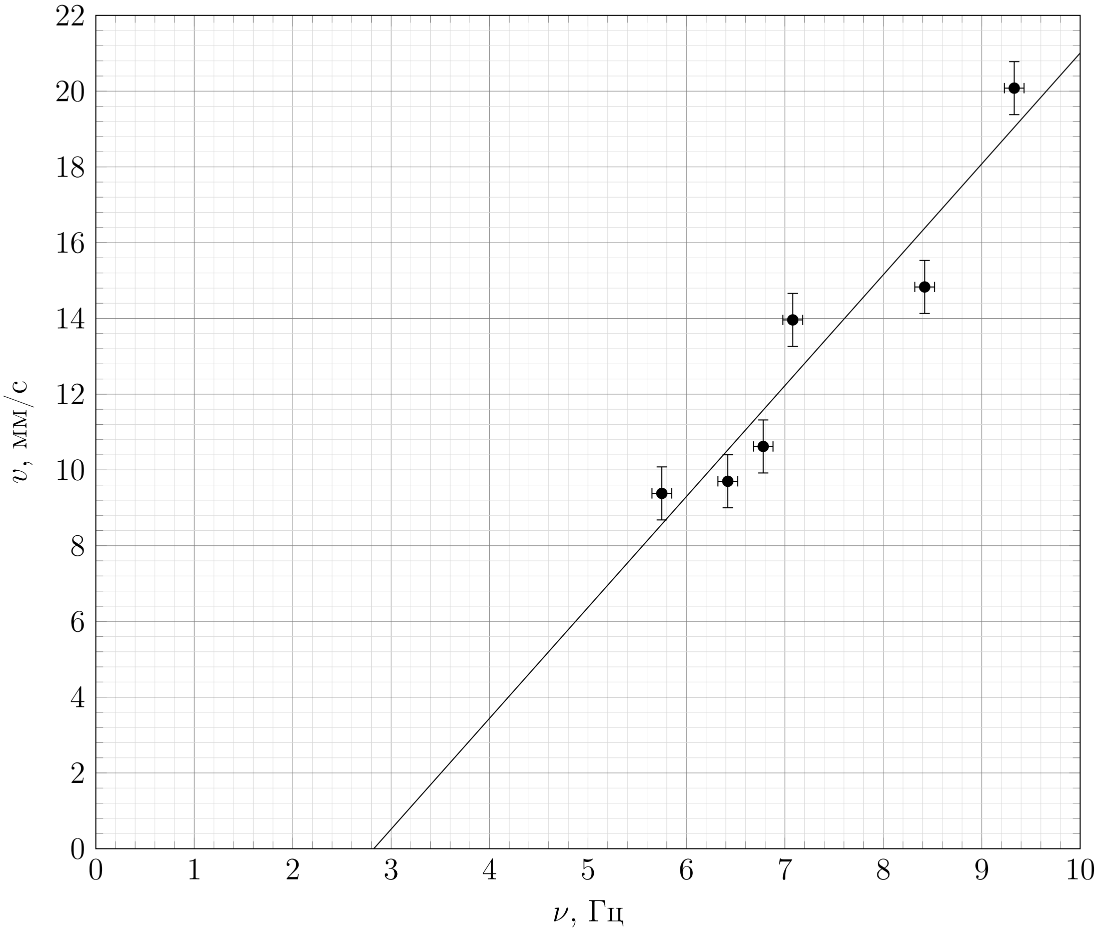
Рис. 6. Результаты измерений и вычислений.

m, г	t_1, с	t_2, с	t_3, с	v, мм/с	ν, Гц
0	12.65	12.66	12.06	20.08	9.33
1.08	15.9	17.6	17.16	14.83	8.42
3.51	18.19	17.18	18.41	13.96	7.08
4.6	23.41	23.34	23.91	10.62	6.78
5.61	26.91	24.56	25.93	9.7	6.42
8.08	27.03	26.59	26.34	9.38	5.75

Пункт 3.

На основании полученных данных можно утверждать, что первая модель однозначно не выполняется, так как при росте частоты монотонно растет скорость, что противоречит первой модели. Для подтверждения или опровержения второй модели построим график зависимости $v(\nu)$: если он получится линейным и будет проходить близко к началу координат, то можно будет рассуждать о корректности модели.

Рис. 7. График зависимости v от ν.



Из полученного графика можно сделать вывод, что вторая модель *однозначно* не подтверждается, ведь зависимость, хоть и относительно хорошо аппроксимируется прямой, но не проходит через начало координат. Таким образом, обе модели нельзя назвать верными.