

Дополнительные указания к лабораторной работе 41.

Определение ускорения свободного падения при помощи обратного маятника Катера.

Главная задача этой лабораторной работы — не уронить тяжелый маятник на ногу. Будьте внимательны и осторожны!

Маятник Катера представляет собой вертикальную штангу и две перпендикулярные ей оси, вокруг которых он может совершать колебания. Оси маятника можно перемещать вдоль штанги, изменяя расстояние от оси колебаний до центра масс маятника. Во время колебаний маятник перекачивается на двух шарах ($d = 8\text{мм}$) по небольшой горизонтальной площадке — столику, укрепленному на стене на уровне головы. Ось маятника проходит через точки касания стола этой парой шаров. В работе нужно неоднократно измерять период колебаний относительно каждой из двух осей. Перед измерениями периодов нужно принять меры к тому, чтобы оси были параллельны друг другу, и маятник не проскальзывал в точках опоры во время колебаний. Для контроля параллельности осей вдоль штанги маятника проведена риска. Шары, вокруг которых происходит колебание маятника нужно поставить напротив риски.

Чтобы маятник не проскальзывал во время колебаний нужно выполнить несколько условий.

Во-первых, выставить линию, проходящую через нижние точки шаров, перпендикулярно штанге маятника (эту часть настройки маятника выполняют лаборанты).

Во-вторых, с помощью уровня выставить горизонтально стол, на котором совершает колебания маятник.

В-третьих, перемещая вдоль винта с резьбой массивный диск маятника, обеспечить положение центра масс маятника на вертикальной линии, проходящей между двумя шарами, через которые проходит горизонтальная ось вращения маятника. Для выполнения последнего условия маятник вертикально подвешивают на штыре и горизонтальным перемещением массивного диска добиваются параллельности штанги маятника и вертикальной линии отвеса.

В-четвертых, чем меньше амплитуда колебаний маятника, тем меньше вероятность проскальзывания шаров во время колебаний. Колебания затухают очень медленно, поэтому можно выбрать амплитуду достаточно малой величины. Я советую выбрать размах колебаний (удвоенную амплитуду) не больше одного сантиметра, но выбор за Вами. Заметим, что в работе используется формула для периода малых колебаний маятника, когда можно пренебречь отличием синуса от угла, от которого берут синус.

Первая часть работы состоит в том, чтобы найти положение осей, при котором периоды колебаний вокруг двух осей маятника примерно одинаковы. Дальнюю от центра тяжести ось будем называть первой осью, ближнюю — второй. Измеряйте период по времени, за которое маятник совершает 10 колебаний.

Чтобы найти нужное положение осей следует построить график зависимости разности периодов от положения второй (ближней к центру тяжести) оси маятника. Дальнюю (первую) ось нужно поставить близко к концу штанги маятника (на расстоянии 5 — 7 см) и менять положение (второй) ближней к центру масс оси, каждый раз измеряя периоды колебаний относительно каждой из двух осей. В этой части работы безразлично относительно чего вы будете измерять положение второй оси.

График нужен только для того, чтобы найти положение второй оси, при котором периоды примерно равны, а разность периодов близка к нулю. Хорошо бы сначала найти таких два положения второй оси, что в одном положении разность периодов положительная, а в другом — отрицательная. Следите за знаком разности $T_1 - T_2$. Не путайте, к какой оси, какой период относится.

Найдите по графику точку пересечения с осью абсцисс (ось X). Поставьте ближнюю (вторую) ось в рассчитанную точку. Больше график не понадобится.

Измерьте большим штангенциркулем расстояние (a) между осями (между ближними краями двух пар шаров).

Измерьте положение первой (дальней) оси относительно центра масс a_1 . Чтобы определить положение центра масс нужно положить маятник на приготовленное специально для этого ребро прямого угла и добиться равновесия. Центр масс при равновесии находится точно над ребром.

Результаты этих измерений нужны для формулы, по которой рассчитывают ускорение свободного падения. Формулу можно найти не только в описании работы, но и на стене в лабораторной комнате.

Формула содержит такие величины, как:

$$T = (T_1 + T_2)/2,$$

$$\tau = T_1 - T_2 \text{ (не путайте периоды относительно первой и второй осей),}$$

a — измеренное расстояние между осями маятника,

$b = a_1 - a_2$, где a_1 — расстояние от первой (дальней) оси до центра масс, a_2 — расстояние от второй оси до центра масс, a_2 определяется из равенства $a = a_1 + a_2$, где a и a_1 — измеренные величины,

$d = 8 \text{ мм}$ — диаметр шаров.

В последней части работы нужно измерить периоды колебаний T_1 и T_2 с возможно большей точностью, не изменяя больше положения осей. Погрешность определения промежутка времени определяется секундомером и равна примерно 0.2 секунды. Чем дольше Вы измеряете время колебаний, ведя счет числу колебаний, тем выше точность определения периода колебаний. Сначала измерьте оба периода по 50 колебаниям.

Теперь можно увеличить точность измерения периода, не утруждая себя счетом числа колебаний. Для этого можно примерно удвоить время, за которое произошло 50 колебаний, и измерить время около этого удвоенного значения, за которое произошло целое число колебаний. Если ошибка в измерении промежутка времени 50-и колебаний составила примерно 0.2 секунды, то при удвоении времени — 0.4 секунды. Период колебаний примерно 1.8 секунды. Следовательно, измеряя время целого числа колебаний и рассчитывая число колебаний совершенных за это время по величине периода колебаний определенного по предыдущим измерениям, вы не можете ошибиться в числе колебаний намного больше, чем на 0.22 колебания. Поэтому можно определить, сколько было колебаний, не ведя счета, а измеряя только время до целого числа колебаний. Затем можно еще раз примерно удвоить время и, соответственно, вдвое уменьшить погрешность измерения периода и т.д.

На самом деле лучше этого не делать. Если во время колебаний шары начнут проскальзывать по столику, а Вы этого не заметите, то период может заметно измениться. При удвоении времени колебаний и расчете их количества Вы можете ошибиться на одно колебание. Эта систематическая ошибка при дальнейшем удвоении времени уменьшаться не будет, и Ваши представления о точности определения периода колебаний не будут соответствовать действительности.

Я советую не удваивать время, а просто посчитать колебания за большое время один раз для каждой из осей. Окончательный выбор за Вами.