

-2 Упругий маятник. Приборы и материалы

Условие

Задача 11-2 Упругий маятник.

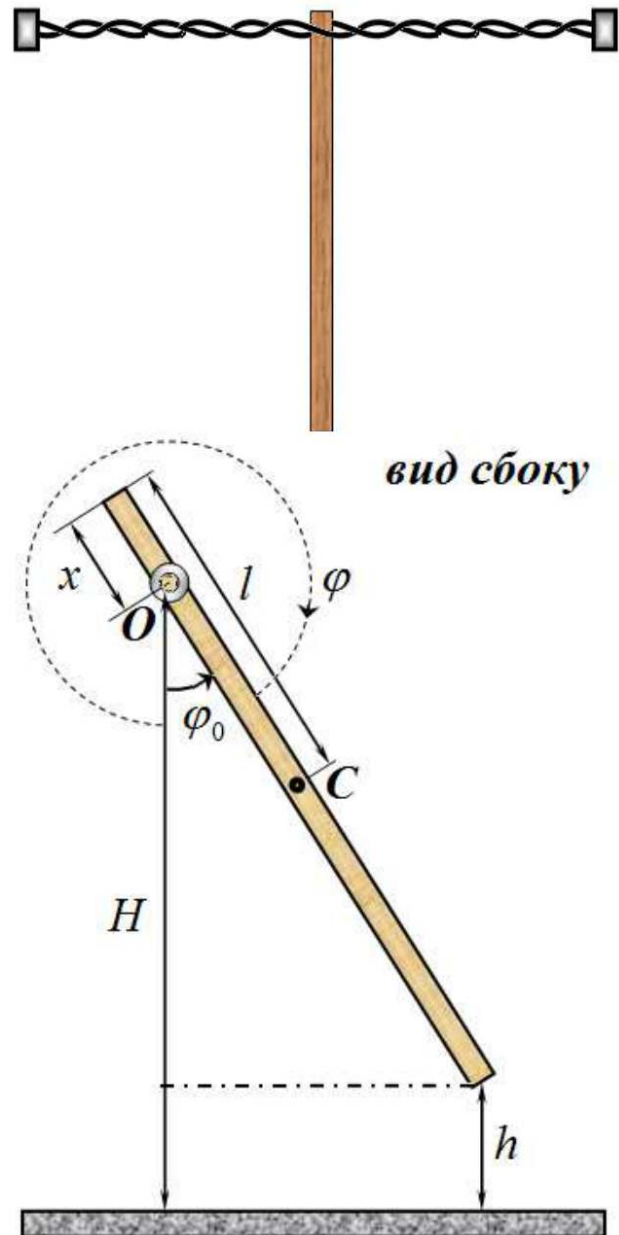
Приборы и материалы: двойной резиновый шнур, на подставке (в качестве которой используются ножки стула) линейка деревянная 40 см, линейка измерительная 40 см, секундомер.

Натяни двойной резиновый шнур между ногами перевернутого стула. Между шнурами ровно посередине помести деревянную линейку. Если закрутить шнур, вращая линейку, то силы трения смогут удерживать линейку в подвешенном состоянии, под некоторым углом к вертикали.

Для единообразия введём следующие обозначения: O - ось вращения линейки (совпадает с местом крепления между резиновыми шнурами); C - центр масс линейки; φ - угол закручивания резинового шнура (угол поворота линейки, для определенности всегда будем отсчитывать от вертикали по часовой стрелке), может составлять несколько оборотов (более 10); n - число полных оборотов закручивания шнура φ_0 - угол отклонения линейки от вертикали (меньше, чем $\frac{\pi}{2}$), отсчитывается против часовой стрелки; очевидно, что $\varphi = 2\pi n - \varphi_0$; l - расстояние от конца линейки до её центра масс (следовательно, длина линейки - $2l$); x - расстояние от конца линейки до оси вращения; H - высота оси вращения (резинового шнура) над поверхностью стола (или любого другого нулевого уровня); h - высота нижнего конца линейки над поверхностью стола. Условимся считать единицей измерения моментов сил величину $M_0 = mgl$. То есть все моменты сил (в системе СИ) следует делить на эту величину.

Часть 1. Положения равновесия.

1.1 Теоретический. Предположим, что момент сил упругости двойного резинового шнура M_1 пропорционален углу закручивания (закон



Гука)

$$M_1 = -k\varphi, \quad (1)$$

где k - коэффициент кручения. *Заметим, что углы измеряются в радианах (то есть, безразмерны), если моменты сил измеряются в единицах M_0 , то коэффициент k также является безразмерным.*

Запишите уравнение, позволяющее найти все возможные положения равновесия линейки (при произвольном числе оборотов закручивания n). Дайте графическую иллюстрацию возможных решений этого уравнения. Укажите, какие из этих значений могут быть реализованы в эксперименте. Оцените максимальное число возможных положений равновесия (при известных параметрах l, x, k).

1.2 Измерительный.

Измерьте все значения углов $\bar{\varphi}_{0n}$, при которых линейка находится в положении равновесия. Измерения проведите для $x \approx 100$ мм.

1.3 Расчетный.

1.3.1 Используя полученные экспериментальные данные, постройте графики зависимости момента сил упругости двойного шнура M_1 от угла закручивания φ для $x \approx 100$ мм. 1.3.2 Проверьте применимость закона Гука (1) для двойного резинового шнура. При необходимости измените приведенную формулу. Определите коэффициент кручения шнура k (не забудьте о погрешностях). **Не стремитесь точно описать полученную зависимость – выделите линейный участок и работайте с ним!** 1.3.3 Проверьте справедливость полученной вами оценки для числа возможных положений равновесия. Укажите причины возможных расхождений расчетного и измеренного числа возможных положений равновесия. Дайте улучшенную формулу этой оценки.

Часть 2. Колебания.

Если линейку вывести из положения равновесия, то она начнет колебаться. Сейчас вам необходимо исследовать эти колебания. Все измерения проводите при $x \approx 110$ мм и для $n > 5$. **В этой части рассчитывать погрешности не требуется!**

2.1 Теоретический. 2.1.1 Покажите⁸, что периоды колебаний возле разных положений равновесия $\bar{\varphi}_{0n}$ описываются формулой

$$T_n = \frac{T_0}{\sqrt{\cos \bar{\varphi}_{0n} - \gamma}} \quad (2)$$

— ⁸ Не тратьте много времени на вывод этой формулы, если не получается быстро, то переходите к измерениям!

2.1.2 Укажите физический смысл параметра T_0 (получать явное выражение для него не нужно).

2.1.3 Получите аналитическое выражение для параметра γ .

2.2 Измерительный.

2.2.1 Проведите измерения периодов малых колебаний T_n при различных значениях числа оборотов закручивания шнура.

2.2.2 Постройте график полученной зависимости.

2.3 Расчетный.

2.3.1 Проанализируйте применимость формулы (2).

2.3.2 Определите значения параметров T_0 и γ в формуле (2).

³, Очевидно что каждому положительному корню этого уравнения соответствует равный ему по модулю отрицательный корень. Физический смысл этого – можно закручивать в обе стороны, от этого ничего не изменяется! ⁴ ! А положение линейки близко к горизонтальному