

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ТУР

15 января 2017 года

**Сначала, пожалуйста, прочитайте следующее:**

1. Экспериментальный тур состоит из одной задачи. Продолжительность тура 3 часа.
2. Пользуйтесь только той ручкой, которая Вам предоставлена.
3. Для расчетов Вы можете использовать свой непрограммируемый калькулятор. Если своего у вас нет, тогда Вы можете попросить его у организаторов олимпиады.
4. Вам предоставлены чистые листы бумаги и *Листы для записи (Writing sheets)*. Чистые листы бумаги предназначены для черновых записей, их Вы можете использовать по Вашему усмотрению, они не проверяются. На *Writing sheets* следует записывать решения задач, которые будут оценены при проверке работы. В решениях как можно меньше используйте словесные описания. В основном Вы должны использовать уравнения, числа, буквенные обозначения, рисунки и графики.
5. Используйте только лицевую сторону *Writing sheets*. При записи не выходите за пределы отмеченной рамки.
6. На каждом использованном *Writing sheets*, в отведенных для этого графах, необходимо указать Вашу страну (*Country*), Ваш код (*Student Code*), текущий номер каждого листа (*Page Number*) и полное количество листов, использованных при решении всех задач (*Total Number of Pages*). Если Вы не хотите, чтобы какие-нибудь использованные *Writing sheets* были включены в ответ, тогда перечеркните их большим крестом на весь лист и не включайте их в Ваш подсчет полного количества листов.
7. Когда Вы закончите тур, разложите все листы в следующем порядке:
  - Пронумерованные по порядку *Writing sheets*;
  - Черновые листы;
  - Неиспользованные листы;
  - Отпечатанные условия задачи

Положите все листы бумаги в конверт и оставьте на столе. Вам не разрешается выносить из аудитории *любые* листы бумаги, приборы, материалы и принадлежности.

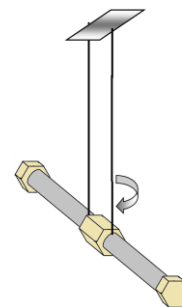
## Крутильный маятник (15,0 балла)

**Приборы и оборудование:** два болта и соединительная гайка, штатив с двумя лапками или кольцевыми держателями, шнур, 2 деревянных линейки длиной по 40 см, секундомер, груз массой 100 г, пластилин.

Крутильный маятник представляет собой подвешенные на двух нитях два болта, соединенных гайкой. Следите за тем, чтобы маятник совершал только крутильные колебания в горизонтальной плоскости. Ускорение свободного падения равно  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

### Часть 1. Свободные малые колебания (5,0 балла)

- 1.1 Измерьте зависимость периода малых крутильных колебаний маятника от длины нитей подвеса в диапазоне длин от 10 до 50 см.
- 1.2 Получите теоретическую формулу для периода малых крутильных колебаний.
- 1.3 Графически докажите, что выведенная формула правильно описывает экспериментальные данные.
- 1.4 Рассчитайте радиус инерции маятника и определите его погрешность.

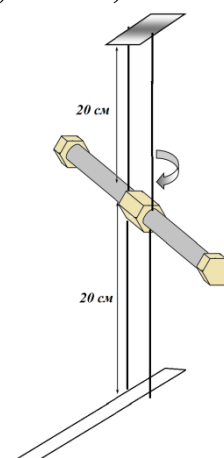


*Подсказка: Момент инерции любого тела относительно некоторой оси может быть представлен в виде  $I = mR^2$ , где  $m$  — масса тела,  $R$  — радиус инерции.*

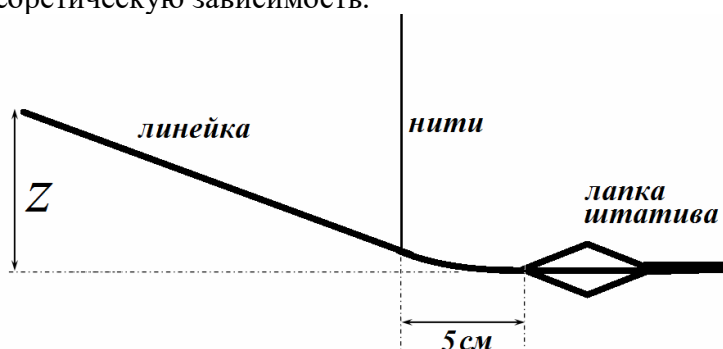
**Во всех следующих частях задачи оценка погрешностей не требуется!**

### Часть 2. Малые колебания с дополнительным натяжением (5,0 балла)

Привяжите к болтам еще две нити снизу. Они также должны быть параллельны и расположены на том же самом расстоянии, что и верхние нити. Снизу привяжите их к деревянной линейке длиной 40 см. Для этого линейку крепко зажмите в лапке штатива. Можно также расположить линейку под платформой штатива. Нити должны быть привязаны к линейке на расстоянии 4-5 см от зажима лапки. Длины нитей сверху и снизу от болтов должны быть одинаковыми и примерно равными 20 см. Поднимая или опуская верхнюю лапку штатива, вы можете изменять натяжение нитей. Мерой натяжения нитей может служить величина изгиба линейки  $z$ , показанная на рисунке внизу.



- 2.1 Измерьте зависимость периода малых крутильных колебаний от натяжения нитей, то есть от деформации линейки  $z$ .
- 2.2 Получите теоретический вид зависимости периода колебаний от силы натяжения нитей.
- 2.3 Представьте полученные экспериментальные данные на графике в таком виде, чтобы он подтверждал теоретическую зависимость.



**Часть 3. Закручивание на большие углы (5,0 балла)**

В данной части работы маятник следует закручивать на большие углы, измеряемые числом полуоборотов  $N < 20$ . Измерения следует проводить при выбранном вами среднем значении деформации линейки, которое вы должны указать.

3.1 Исследуйте зависимость времени раскрутки маятника от начального угла закручивания  $N_0$ . Постройте график полученной зависимости.

3.2 Приближенно можно считать, что потенциальная энергия упругих деформаций зависит от угла закручивания как

$$U = CN^\gamma.$$

где  $C$  — некоторая постоянная. На основании экспериментальных данных ответьте, в каком диапазоне лежит показатель степени  $\gamma$ : а)  $\gamma < 2$ ; б)  $\gamma = 2$ ; в)  $\gamma > 2$ .

Если первоначально закрутить маятник на некоторый угол  $N_0$ , то маятник раскрутится (нити станут параллельны), а потом по инерции снова закрутится на некоторый меньший угол  $N_1$ .

3.3 Исследуйте зависимость угла повторного закручивания  $N_1$  от начального угла закручивания  $N_0$ . Измерения проведите при двух значениях натяжения нитей (укажите их). Постройте графики полученных зависимостей. Предложите простую формулу, описывающую полученную зависимость. Определите численные значения параметров ваших зависимостей.

Регулируя натяжение нитей в процессе крутильных колебаний, маятнику можно сообщать дополнительную энергию. Расположите штатив с маятником на краю стола. Снизу нить должна охватывать линейку, расположенную в лапке или под платформой штатива. Ниже линейки подвесьте к нити груз массой 100 г.

3.4 Исследуйте зависимость угла повторного закручивания  $N_1$  от начального угла закручивания  $N_0$  в этом случае. Постройте график полученной зависимости. Предложите простую формулу, описывающую полученную зависимость. Определите численные значения параметров этой зависимости.

3.5 Повторите эксперимент п. 3.4, только приподнимайте подвешенный груз рукой на этапе закручивания, когда нити раскручиваются груз не трогайте. Исследуйте зависимость угла повторного закручивания  $N_1$  от начального угла закручивания  $N_0$  в этом случае. Постройте график полученной зависимости на том же листе, что и график п.3.4. Предложите простую формулу, описывающую полученную зависимость. Определите численные значения параметров этой зависимости.