

## 11 класс

### Задача 1. Цепная линия

Цепной линией называют кривую, образуемую подвешенной за концы однородной массивной нитью. Пусть погонная плотность нити (масса единицы длины нити)  $\mu$ , а её натяжение в нижней точке  $T_0$ . Величина  $\lambda = T_0/\mu g$  является параметром, определяющим форму цепной линии. Если начало координат поместить в нижней точке цепной линии, то её можно задать уравнением:

$$y = \lambda \operatorname{ch}\left(\frac{x}{\lambda}\right) = \lambda \left[ \frac{1}{2} \left( e^{x/\lambda} + e^{-x/\lambda} \right) - 1 \right].$$

От Вас не требуется вывод зависимости вертикальной координаты  $y$  точки нити от горизонтальной координаты  $x$ . Вам следует разобраться в связи  $y$  и  $s$ , где  $s$  — длина отрезка нити, отсчитываемая от нижней точки. Теоретическую зависимость Вы должны проверить, проведя измерения с цепочкой из скрепок.

#### Теоретическая часть:

1. Пусть натяжение нити в нижней точке равно  $T_0$ . Для малого отрезка нити длиной  $\Delta s$  получите выражение для разницы сил натяжения  $\Delta T$  на его концах, выразив его через  $\mu$ , и разность высот  $\Delta y$  концов отрезка.
2. Получите выражение для натяжения  $T$  нити на высоте  $y$  относительно нижней точки при заданном  $T_0$ ?
3. Докажите, что если верхняя точка нити длины  $s$  возвышается над нижней точкой на высоту  $y$  (рис. 3), то

$$\lambda = \frac{T_0}{\mu g} = \frac{s^2 - y^2}{2y}.$$

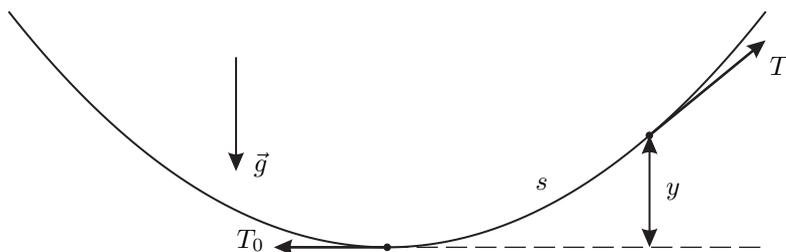


Рис. 3

#### Экспериментальная часть:

4. Соберите из выданных вам скрепок цепочку. Подвесьте склеенный лист бумаги и цепочку на бруске так, чтобы максимальный провис  $H$  составлял  $(0,3 \div 0,5)L$ , где  $L$  — расстояние между точками подвеса цепочки. Укажите выбранное вами значение  $H/L$ , число скрепок  $n$  и длину  $l$  скрепки (расстояние между точками соприкосновения её с соседними скрепками).

5. Отметьте фломастером на листе бумаги положения последовательных точек соприкосновения скрепок, начав с низшей точки (считайте её нулевой). Определите высоты этих точек, и результаты измерений занесите в таблицу.
6. Для *каждой* точки рассчитайте по измеренным высотам  $y_i$  и номеру  $n_i$  значения параметра  $\lambda$ .
7. Укажите номера скрепок, для которых проявляется заметное отличие реальной цепочки от идеальной (заметное отличие параметра  $\lambda$  от его среднего значения).
8. Вычислите среднее значение  $\lambda$ .
9. Вычислите среднее отклонение от среднего значения  $\lambda$ .
10. Найдите отношение натяжения в нижней точке к весу одной скрепки:

$$\tau = \frac{T_0}{mg}.$$

**Указание:** на выданном вам листе отметьте и пронумеруйте точки сцепления скрепок, подпишите рядом их высоты, а результаты измерений и их обработки представьте в таблице. Лист подпишите. По окончании тура вложите его в тетрадь с отчетом о проделанной работе и сдайте вместе с нею.

**Оборудование.** 30–40 скрепок, лист бумаги формата А2, пенополиуретановый плитус или деревянный брусок длиной 70–100 см (для крепления бумаги и цепочки: он кладётся на край стола, а цепочка и бумага свисают ниже столешницы), фломастер, 4 «силовые» металлопластиковые кнопки, линейка длиной 40 см.

11 класс

Задача 2. Закон деформации кольца. Скорость звука

Необходимые сведения

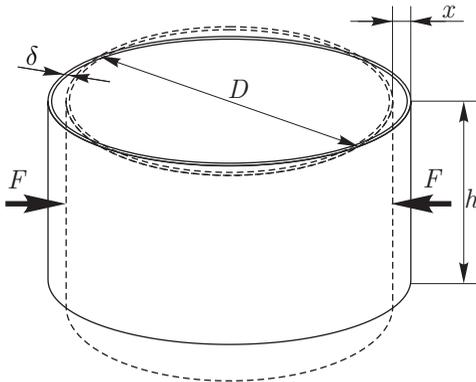


Рис. 4

Скорость звука в твёрдом теле можно рассчитать по формуле  $c = \sqrt{E/\rho}$ , где  $E$  — модуль Юнга,  $\rho$  — плотность вещества. Модуль Юнга характеризует упругие свойства вещества, определяя жесткость различных систем и конструкций. Например, относительная деформация  $\varepsilon$  стержня сечением  $S$  под действием растягивающей (или сжимающей) силы  $F$  равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{SE}.$$

Эту формулу можно принять в качестве определения модуля Юнга.

Относительное изменение диаметра  $D$  кольца шириной  $h$  и толщиной стенки  $\delta$  под действием двух сосредоточенных сил  $F$ , действующих вдоль диаметра (рис. 4), при небольших деформациях  $x$  можно найти по формуле:

$$\varepsilon = \frac{x}{D} = \beta F^m E^n D^p h^q \delta^i, \quad (1)$$

где  $m, n, p, q, i$  — некоторые целые числа, а  $\beta$  — безразмерный коэффициент.

Задание

1. Руководствуясь соображениями размерностей, известными физическими законами и проведя необходимые измерения, определите показатели степеней  $m, n, p, q, i$  в законе деформации кольца (1). Запишите полученный закон деформации кольца.
2. По известной скорости звука  $c_0 = 5240$  м/с в алюминии (плотность  $\rho_{\text{Al}} = 2,70$  г/см<sup>3</sup>) определите скорость звука  $c$  в полиэтилентерефталате ( $\rho_{\text{ПЭТ}} = 1,39$  г/см<sup>3</sup>).

**Оборудование.** Тонкостенное алюминиевое кольцо известной массы (указана на внутренней стороне кольца), два тонкостенных кольца из полиэтилентерефталата (ПЭТ) одинаковой ширины и разных диаметров (масса колец также указана на их внутренней стороне), нить, линейка, миллиметровая бумага, скотч и ножницы (по требованию).

Решения теоретического и экспериментального тура будут выложены на сайте