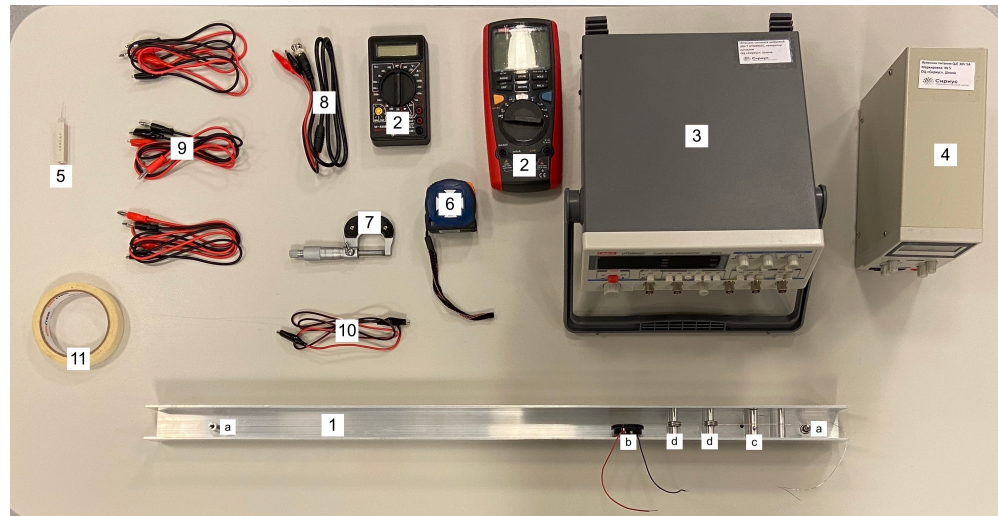




Гитарная струна изготавливается из специальной закаленной высокоуглеродистой стали (иногда называемой «музыкальной проволокой»), чтобы обеспечить требуемую высокую прочность на растяжение. Данная работа посвящена изучению свойств такой струны и их изменений, связанных с изменением её температуры.



#### Оборудование:

1. Установка с натянутой струной и электромагнитным датчиком (а. крепления струны, б. электромагнитный датчик, с. цилиндр-натяжитель, d. подшипники)
2. Мультиметр — 2 шт (красный, черный)
3. Генератор переменного тока
4. Источник постоянного тока
5. Резистор 1 Ом
6. Рулетка
7. Микрометр
8. Провод BNC-крокодил — 1 шт
9. Провод банан-крокодил — 6 шт
10. Провод крокодил-крокодил — 1 шт
11. Малярный скотч

Длину струны, а значит её натяжение, можно изменять с помощью металлического винта, находящегося снизу корпуса установки. При его вращении металлический цилиндр, закрепленный на нём, движется вертикально, дополнительно растягивая струну. Далее считается, что струна **в исходном состоянии**, если цилиндр не касается струны. В исходном состоянии струна **уже натянута**. Дополнительное натяжение, которое будет создаваться при выполнении работы, связано с **добавочным удлинением струны**.

Следующие величины могут быть использованы во всех частях задачи:

- Длина струны между точками крепления в исходном состоянии  $L = (68.0 \pm 0.2)$  см;
- Шаг винта, растягивающего струну - 0.70 мм/оборот;
- Линейная плотность струны  $\Lambda = 0.778$  г/м;
- Температурный коэффициент сопротивления  $\beta = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

Далее, если не указано иного, когда речь идёт о длине струны, имеется в виду часть струны, находящаяся между точками крепления.

#### Часть А. Измерение модуля Юнга

Первый шаг к нахождению модуля Юнга — связать высоту подъема цилиндра-натяжителя с добавочным удлинением струны.

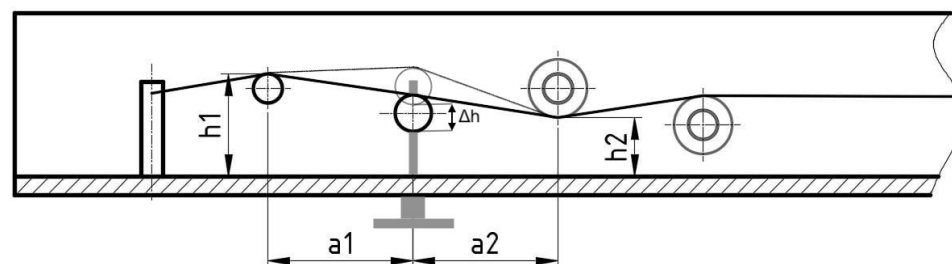


Рис. 1. Схематичное изображение установки (вид сбоку)

**A1** <sup>0.50</sup> Пусть вертикальное смещение точки струны, находящейся над цилиндром, составило  $\Delta h$ . Используя обозначения рисунка выше, получите приближенное выражение для добавочного удлинения струны  $\Delta L$ , считая

$$\Delta h^2, (h_1 - h_2)^2 \ll a_1^2, a_2^2.$$

Далее для расчетов можно использовать следующие значения:

$$\begin{aligned} h_1 &= 28 \text{ мм;} \\ h_2 &= 16 \text{ мм;} \\ a_1 &= a_2 = 40 \text{ мм.} \end{aligned}$$

**A2** <sup>0.40</sup> С помощью микрометра измерьте диаметр  $d$  натянутой струны. Оцените погрешность полученной величины.

**A3<sup>0.20</sup>** Измерьте длину  $L_{\text{к}}$  рабочей части струны (между левым креплением и левым подшипником, согласно рисунку с оборудованием). Оцените погрешность полученной величины.

Пусть  $E$  — модуль Юнга материала струны,  $l$  — длина части струны, находящейся между **точками крепления**, в нерастянutom состоянии,  $L'$  — длина этой же части в натянутом состоянии (например, в исходном состоянии  $L' = L$ ).

**A4<sup>0.50</sup>** Получите выражение для частоты гармоник с номером  $n$  для струны, выразив ее через  $E, L', l, L_{\text{к}}, d, \Lambda, n$ .

Включите звуковой генератор. Установите на нем амплитуду напряжения 20 В. Далее при необходимости амплитуду можно уменьшать. Проверьте, что на генераторе выбран синусоидальный тип сигнала. Подключите выводы генератора к выводам датчика на установке.

**Приведите струну в исходное состояние.**

**A5<sup>0.30</sup>** Меняя частоту сигналов генератора, добейтесь резонанса струны на первой гармонике. Запишите найденную частоту в лист ответов. Оцените погрешность полученной величины.

Вращением винта добейтесь того, что цилиндр касается струны, но не растягивает ее.

**A6<sup>1.20</sup>** Вращая винт, постепенно растягивайте струну. Проведите измерения частоты первой гармоник при различных положениях винта (не менее 8 точек).

*Примечания:*

1. Следите за тем, чтобы цилиндр не сошел с оси винта. Для этого рекомендуется сделать не более 10 оборотов.
2. При необходимости можно клеить малярный скотч на установку и наносить на него пометки.

**A7<sup>1.30</sup>** Используя результаты пункта **A4**, постройте линеаризованный график зависимости частоты  $f$  первой гармоник от дополнительного удлинения струны  $\Delta L$ . Найдите модуль Юнга материала струны  $E$  и относительное удлинение струны в исходном состоянии  $\varepsilon_0 = \frac{L-l}{l}$ . Оцените погрешности полученных величин.

**Часть В. Тепловое расширение**

Известно, что металлам свойственно изменять свое сопротивление и размеры с изменением температуры. Пусть  $l$  — длина струны в нерастянutom состоянии,  $d$  — её диаметр,  $R$  — сопротивление,  $l_0, d_0, R_0$  — соответствующие величины при комнатной температуре  $T_0$ . При относительно небольших изменениях температур (которые рассматриваются в данной задаче) зависимости  $l(T), d(T), R(T)$  могут быть заданы формулами:

$$\begin{aligned}l(T) &= l_0(1 + \alpha(T - T_0)); \\d(T) &= d_0(1 + \alpha(T - T_0)); \\R(T) &= R_0(1 + \beta(T - T_0)).\end{aligned}$$

Величина  $\alpha$  называется коэффициентом линейного теплового расширения,  $\beta$  — температурным коэффициентом сопротивления. Значение  $\beta$  известно и указано в начале задачи. В данной части необходимо определить  $\alpha$ .

Для нагрева струны через нее нужно будет пропускать постоянный ток. Подключать струну к цепи следует, используя вертикальные металлические стержни, на которых она закреплена. При таком соединении ток не будет проходить через металлический корпус.

*Примечания:*

1. В течение всего эксперимента напряжение на струне не должно превышать 3 В.
2. Показания источника могут быть неточными, что может значительно повлиять на полученные результаты.
3. Мультиметры **не разрешается** использовать в режиме амперметра.
4. Резистор при токах  $\sim 1$  А значительно нагревается. Будьте осторожны при измерениях.

**Приведите струну в исходное состояние.**

**B1<sup>0.70</sup>** Придумайте и опишите схему, которая позволит вам измерять сопротивление струны при пропускании через нее тока.

**B2<sup>2.50</sup>** Постепенно увеличивая ток через струну, снимите зависимость частоты первой гармоник  $f$  от сопротивления струны  $R$  (не менее 10 точек).

*Примечание: чтобы избежать слишком «широкого» резонанса, можно попробовать изменить амплитуду генератора.*

**B3<sup>0.50</sup>** Найдите  $R_0$  — сопротивление струны при комнатной температуре. Оцените погрешность полученной величины.

**B4<sup>0.70</sup>** Получите теоретическую зависимость  $f(R)$ .

**B5<sup>1.20</sup>** Постройте линеаризованный график зависимости  $f$  от  $R$ . По графику определите значение  $\alpha$ . Оцените погрешность полученной величины.