



В данной задаче требуется оценка погрешностей.

Теоретическая справка

Коэффициентом теплового расширения называется величина равная отношению относительного изменения длины объекта к изменению его температуры:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta T}. \quad (1)$$

Задание

1. Положите иголку тонкой цилиндрической частью на бумагу, постеленную на деревянную подложку (линейку 15 см). Металлический кожух от термометра положите сверху. Начните двигать стержень вдоль поверхности бумаги так, чтобы иголка вращалась. Определите с помощью таких действий и некоторых измерений диаметр иголки.
2. Рассчитайте на сколько перемещается иголка по поверхности бумаги при ее повороте на 1° . На сколько при этом смещается стержень относительно бумаги?
3. Используя результат предыдущего пункта, измерьте коэффициент теплового расширения пластиковой линейки α (см. формулу (1)). Подробно опишите методику измерений.

Оборудование. Термометр без кожуха, металлический кожух от термометра, транспортир, иголка, две пластиковые линейки, двухсторонний скотч, мерный цилиндр на 250 мл для горячей воды, тряпка, термопаста, две деревянных линейки 15 см, два грузика, ножницы, горячая вода по требованию.

Примечание. Термопаста - вязкая жидкость обеспечивающая хороший тепловой контакт между поверхностями. От дисплея термометра идут два провода к чувствительному элементу. Намажьте чувствительный элемент и выбранную для измерения температуры поверхность термопастой и прижмите их друг к другу для достаточно точного измерения температуры.

Внимание!

Запрещается измерять температуру воды термометром без кожуха! В случае, если вы хотите измерить температуру воды наденьте кожух на термометр.

Деревянные линейки не должны контактировать с водой.

Будьте аккуратны! При порче термометра или утере иголки, дополнительные вам выдаваться не будут!



Решение

При прокатывании иголки по поверхности бумаги она поворачивается. Полный оборот иголка сделает при смещении ее центра по бумаге на расстояние равное длине ее окружности πd . Сделаем из двойного скотча для иголки флажок, чтобы удобнее было отсчитывать угол ее поворота. Прокатим иголку на такое расстояние, при котором она совершит $N = 20$ оборотов. При этом ее перемещение составит $x = 20 \pm 0.5$ мм. Тогда диаметр окружности иголки составит:

$$d = \frac{x}{\pi N} = 0.318 \pm 0.008 \text{ мм.} \quad (2)$$

Смещение иголки по бумаге при ее повороте на 1° в 360 раз меньше длины ее окружности:

$$y = \frac{\pi d}{360} = (2.78 \pm 0.07) \cdot 10^{-3} \text{ мм/}^\circ. \quad (3)$$

Смещение же стержня будет в два раза больше. Это легко показать перейдя мысленно в систему отсчета центра окружности иголки. В этом случае бумага и стержень смещаются на одинаковые расстояния в разные стороны. При этом это расстояние равно смещению центра окружности иголки в лабораторной системе отсчета. Делая обратный переход в лабораторную систему отсчета, достаточно прибавить к смещению стержня в системе отсчета центра окружности такой же вклад смещения центра окружности в лабораторной системе. Таким образом, измерение угла поворота иголки с точностью до 1° , позволяет измерять смещение верхнего стержня с точностью $2y \approx 0.005$ мм. На этом факте и будет построен принцип измерения теплового расширения линейки.

Нальем в мерный цилиндр горячую воду. Скрепим две линейки по краям двусторонним скотчем. Погрузим получившуюся сдвоенную линейку в воду. Стоит отметить, что полностью погрузить линейки в воду не получается, их длина превышает длину цилиндра. Также заметим, что край линейек, не погруженный в воду, практически не меняет своей температуры. Его тепловым расширением будем пренебрегать в расчетах. Или будем собирать установку так, чтобы эта часть линейки не влияла на измерения. Вынем линейки из воды, протрем их тряпочкой, поместим между ними чувствительный элемент термометра, предварительно смазанный термопастой. Один край линейки поместим на одну из предварительно закрепленных на столе подложек и прижмем грузом. Второй конец сдвоенной линейки положим на иголку, лежащую на второй подложке, и также прижмем грузом. Для измерения угла поворота иголки предварительно приклеим двухсторонним скотчем на край стола транспортир так, чтобы его центральное отверстие находилось на одном и том же горизонтальном уровне, что и поверхность подложки, лежащей на столе (см. рисунок 1).

Так как, по мере охлаждения длина линейки будет уменьшаться, конец, лежащий на иголке будет двигаться, вращая иголку, а второй конец линейки окажется практически

неподвижным из-за наличия сухого трения.

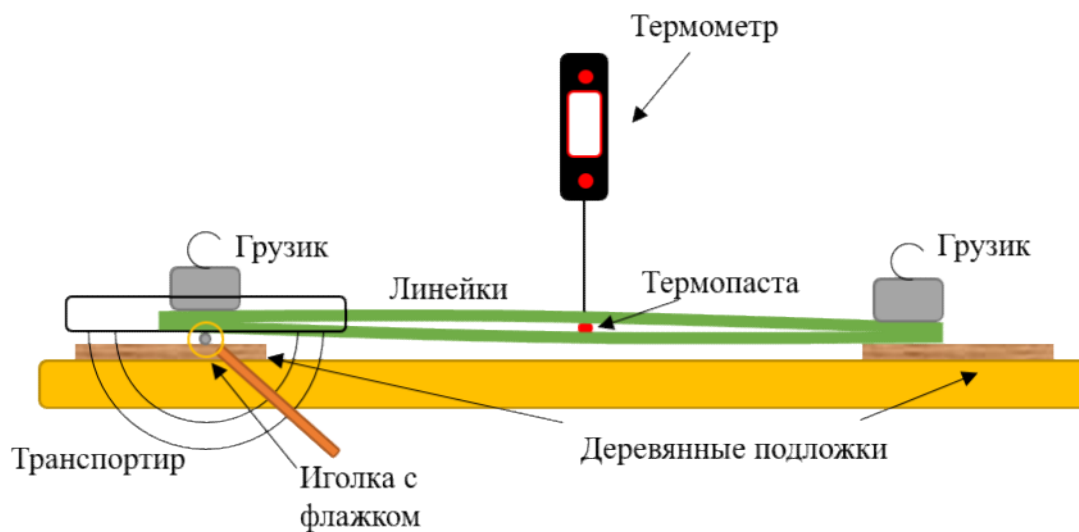
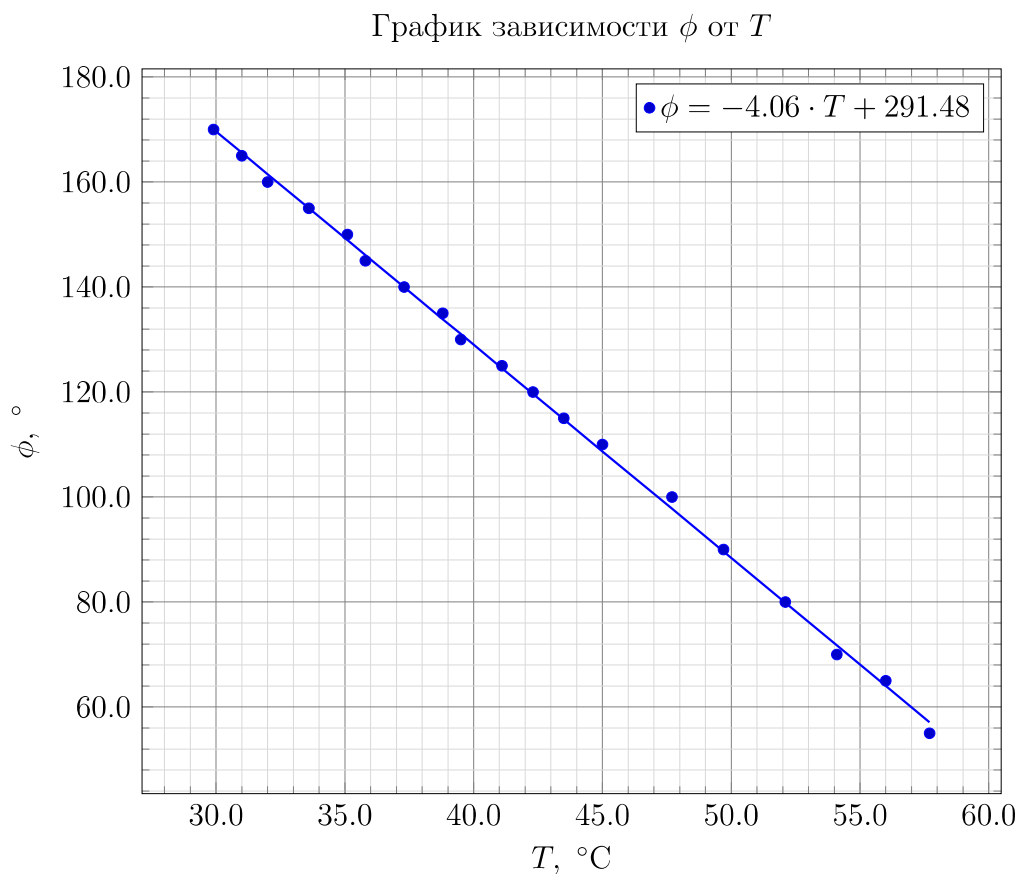


Рис. 1. Установка

Измерим зависимость угла поворота иголки от температуры линейки. Занесем данные в таблицу и построим график полученной зависимости.

$T, ^\circ\text{C}$	$\phi, ^\circ$
57.7	55
56.0	65
54.1	70
52.1	80
49.7	90
47.7	100
45.0	110
43.5	115
42.3	120
41.1	125
39.5	130
38.8	135
37.3	140
35.8	145
35.1	150
33.6	155
32.0	160
31.0	165
29.9	170





Видно, что полученный график хорошо описывается линейной функцией с угловым коэффициентом $k = (4.06 \pm 0.03) \text{ } ^\circ/\text{ } ^\circ\text{C}$. Эффективной длиной линейки $l = 290 \pm 1$ мм будем считать расстояние от крайней точки, лежащей на стекле, до противоположного конца линейки за вычетом ненагретой части, попадающей в это расстояние. Тогда окончательно для коэффициента теплового расширения получаем:

$$\alpha = \frac{2ky}{l} = 78 \pm 3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}. \quad (4)$$

Предложенная установка обладает рядом недостатков, которые приводят к тому, что измеряемое значение коэффициента теплового расширения в разных экспериментах может несколько отличаться. Для учета этого факта необходимо провести несколько экспериментов и усреднить полученные результаты. Характерный разброс получаемых значений составляет приблизительно 10-20 %. Таким образом, окончательно для измеренной величины запишем:

$$\alpha = \frac{2ky}{l} = 8 \pm 1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}. \quad (5)$$