

**В задаче не требуется оценка погрешностей!****Задание**

Деформация растяжения-сжатия характеризуется изменением не только продольных, но и поперечных размеров тел. При этом объем тела может также меняться. В качестве исследуемого тела в задаче будет использоваться резиновый шнур.

1. Подвесьте резиновый шнур, зажав его верхнюю часть в лапке штатива. Измерьте зависимость длины шнура  $l$  от количества подвешенных грузиков. Рассчитайте относительную длину шнура  $l/l_0$ , то есть отношение длины шнура под нагрузкой к его длине  $l_0$  без нагрузки, в каждом случае.
2. Измерьте плотность выданных грузиков.
3. Придумайте и опишите способ измерения площади поперечного сечения шнура под нагрузкой и без нагрузки, использующий законы гидростатики. Измерьте площадь поперечного сечения шнура  $s_0$  без нагрузки. Измерьте зависимость площади поперечного сечения шнура  $s$  под нагрузкой от силы, растягивающей шнур. Рассчитайте относительную площадь шнура  $s/s_0$ , то есть отношение площади поперечного сечения шнура под нагрузкой к площади его сечения без нагрузки, при каждом значении растягивающей силы.
4. Постройте **на одном и том же графике** измеренную в первом пункте зависимость относительной длины шнура от растягивающей силы и измеренную в третьем пункте зависимость относительной площади шнура от растягивающей силы. Нарисуйте сглаживающие кривые.
5. По полученным графикам рассчитайте относительный объем шнура  $V/V_0$ , то есть отношение объема шнура  $V$  под нагрузкой к его объему  $V_0$  без нагрузки при нескольких значениях растягивающей силы. Нанесите полученные точки на график, построенный в четвертом пункте. Проведите сглаживающую кривую.

**Внимание!** Общая масса грузов, находящихся на весах, не должна превышать 300 г.

**Оборудование.** Резиновый шнур, штатив, линейка 50 см, мерный цилиндр 250 мл, 5 грузиков, весы, стакан с водой.

**Примечание.** Примите ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

*Решение*

1. Измерим зависимость длины шнура от количества подвешенных грузиков. Рассчитаем силу, растягивающую шнур, как произведение массы грузика, количества подвешенных грузиков и ускорения свободного падения:  $F = nmg$ .

$n$	$F$ , Н	$l$ , см	$\frac{l}{l_0}$
0	0.0	25.5	1.00
1	0.5	26.5	1.04
2	1.0	29.0	1.14
3	1.5	32.0	1.25
4	2.0	35.7	1.40
5	2.5	41.7	1.64

2. Измерим точно массу 5 грузиков  $m_5 = 251.3$  г. Подвесим грузики к резинке. Поставим на весы мерный цилиндр и нальем в него 200-250 мл воды. Обнулим показания весов и погрузим грузики в воду так, чтобы, с одной стороны, грузики не касались дна цилиндра и были полностью погружены в воду, а с другой место крепления верхнего крючка грузика к резинке в воду не погружалось. Показания весов будут равны отношению силы Архимеда, действующей на воду со стороны грузиков, к ускорению свободного падения, то есть объему грузиков, умноженному на плотность воды в цилиндре:  $F_A/g = \rho_v V_5$ . Плотность воды составляет  $1 \text{ г/см}^3$ . Таким образом, показания весов равны объему погруженных в нее грузиков  $V_5 = 32.0$  мл. Отсюда плотность материала грузиков:

$$\rho = \frac{m_5}{V_5} = 7.85 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \quad (1)$$

3. Измерение площади сечения может быть сделано несколькими методами. Самый простой из них — метод рядов. В нем шнур наматывается на любой цилиндрический объект виток к витку. По линейке определяется толщина намотки, откуда можно сделать вывод о диаметре шнура. Такой метод обладает большой систематической ошибкой в сторону завышения результата для диаметра, ведь при намотке шнура на цилиндрический объект в нем возникают упругие напряжения вдоль оси шнура и вдоль радиальной оси цилиндрического объекта, которые приводят к изменению геометрических размеров шнура (см. рисунок 1). Это дает существенную ошибку в измерениях диаметра, особенно заметную в случае измерения при больших силах растяжения. Эффект этот тем больше, чем меньше радиус кривизны цилиндрической поверхности. Особенно наглядно его можно наблюдать, если вместо цилиндрической поверхности наматывать шнур на линейку. В этом случае отчетливо видно, что толщина шнура в местах перегиба существенно больше, чем на прямых участках.

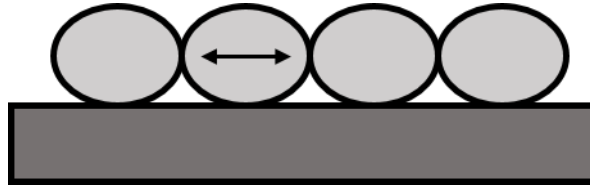


Рис. 1. Измерение сечения шнура методом рядов.

Второй, более удачный, способ измерения — метод определения сечения через силу Архимеда. Аналогично предыдущему пункту будем погружать в мерный цилиндр грузики, но уже вместе с растянутым шнуром. Изменение глубины погружения будет изменять объем погруженной в воду части шнура, тем самым изменяя силу Архимеда. Тогда, показания весов будут фиксировать изменение объема части шнура, погруженной в воду. Если снять график зависимости показаний весов от глубины погружения, то его угловой коэффициент и будет являться площадью сечения шнура. Глубину погружения удобно фиксировать по шкале мерного цилиндра. Введем коэффициент пересчета шкалы на мерном цилиндре в сантиметры. Для этого измерим длину шкалы цилиндра  $H_{\text{шк}} = 16.2$  см, соответствующую  $V_{\text{шк}} = 200$  мл. Тогда коэффициент пересчета составит:

$$\alpha = \frac{H_{\text{шк}}}{V_{\text{шк}}} = 0.081 \frac{\text{см}}{\text{мл}} \quad (2)$$

Ненагруженный шнур может не иметь большого прямого участка. Поэтому его для измерения длины его погруженной части удобно нанести на шнур сантиметровые отметки. Из сосудов для погружения удобнее выбрать стакан. В нем не задеть стенки концом шнура гораздо легче.

Важно отметить, что общий объем шнура не превышает нескольких миллилитров, что дает основания утверждать, что изменение силы Архимеда при погружении шнура в воду практически не меняет растягивающую его силу.

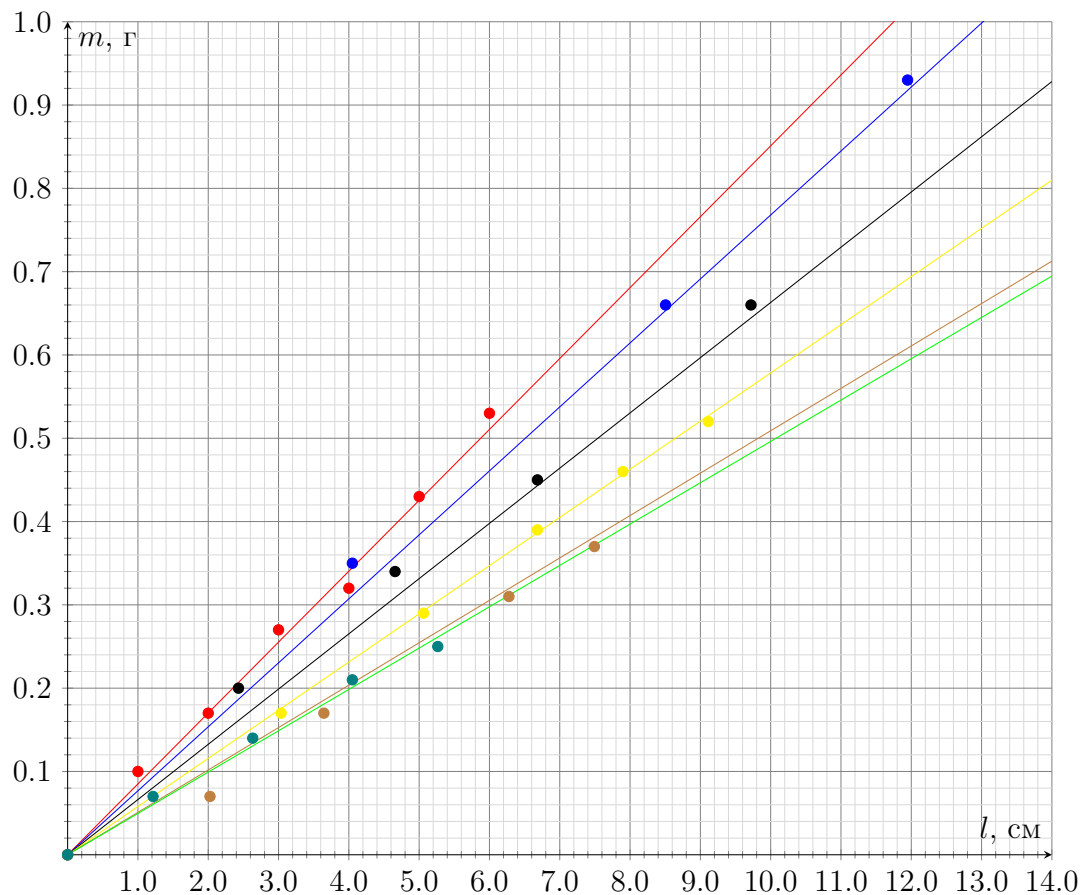
Измерим соответствующие зависимости показаний весов от длины погруженной в воду части шнура.

$l_0$ , см	$m_0$ , г	$V_1$ , мл	$l_1$ , см	$m_1$ , г	$V_2$ , мл	$l_2$ , см	$m_2$ , г
1.0	0.10	35.0	0.0	0.00	60.0	0.0	0.00
2.0	0.17	85.0	4.1	0.35	90.0	2.4	0.20
3.0	0.27	140.0	8.5	0.66	117.5	4.7	0.34
4.0	0.32	182.5	11.9	0.93	142.5	6.7	0.45
5.0	0.43				180.0	9.7	0.66
6.0	0.53						

$V_3$ , мл	$l_3$ , см	$m_3$ , г	$V_4$ , мл	$l_4$ , см	$m_4$ , г	$V_5$ , мл	$l_5$ , см	$m_5$ , г
80.0	0.0	0.00	102.5	0.0	0.00	135.0	0.0	0.00
117.5	3.0	0.17	127.5	2.0	0.07	150.0	1.2	0.07
142.5	5.1	0.29	147.5	3.6	0.17	167.5	2.6	0.14
162.5	6.7	0.39	180.0	6.3	0.31	185.0	4.1	0.21
177.5	7.9	0.46	195.0	7.5	0.37	200.0	5.3	0.25
192.5	9.1	0.52						

Построим графики полученных зависимостей.

График зависимости  $m$  от  $l$

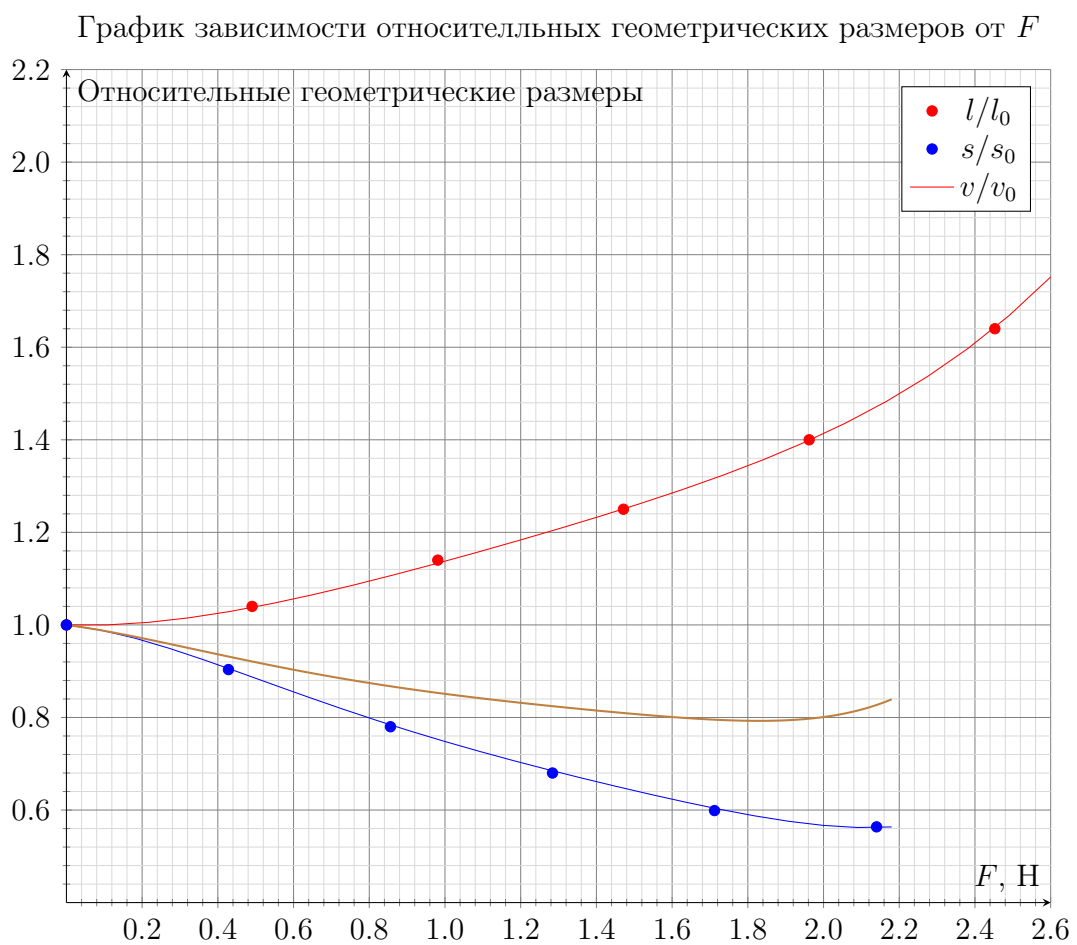


Составим таблицу зависимости площади от силы, растягивающей шнур. Силу будем рассчитывать как разность силы тяжести грузиков и силы Архимеда, действующей на них:

$$F' = nmg \frac{\rho - \rho_0}{\rho} \quad (3)$$

$n$	$F'$ , Н	$s$ , см <sup>2</sup>	$\frac{s}{s_0}$
0	0.00	0.0850	1.000
1	0.43	0.0768	0.904
2	0.86	0.0663	0.780
3	1.28	0.0578	0.680
4	1.71	0.0509	0.599
5	2.14	0.0479	0.564

4. Построим графики относительной длины и площади от нагрузки.



5. Для определения зависимости относительного объема от растягивающей силы перемножим полученные в предыдущем упражнении графики.