

Отчет о выполнении работы №1.3.1
Определение модуля Юнга.

Воейко Андрей Александрович, Б01-109

Долгопрудный, 2021

1 Аннотация.

В работе экспериментально измеряется зависимость между напряжением и деформацией растяжения проволоки. По результатам измерений вычисляется модуль Юнга этой проволоки.

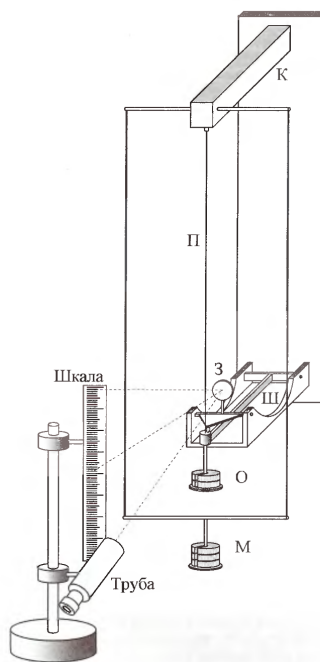
2 Теоретические сведения.

Растяжение проволоки соответствует случаю одноосного напряженного состояния, описываемого формулой 1.

$$\sigma = E\epsilon. \quad (1)$$

В работе используется т. н. прибор Лермонтова, изображенный на рисунке

Проволока П одним концом закрепляется в кронштейне К, а другим прикреплена к подвешенному через шарнир кронштейну Ш. К этому же кронштейну снизу вешаются грузы на площадке О. Сами грузы хранятся на площадке М, висящей непосредственно на кронштейне К, для исключения влияния на результаты эксперимента деформации кронштейна К. Также к кронштейну Ш прикреплено зеркальце, по изменению угла наклона которого можно измерить деформацию проволоки. Угол наклона же вычисляется по изменению отражаемой части шкалы при наблюдении за ней из трубы. Вычисляется он по формуле 2.



$$\alpha = \frac{\Delta n}{h}, \quad (2)$$

Рис. 1: Прибор Лермонтова.

где α – это угол наклона зеркальца, Δn – изменение показания шкалы, h – расстояние от зеркальца до шкалы. Формула для вычисления удлинения проволоки:

$$\Delta l = r \frac{\Delta n}{2h}, \quad (3)$$

где Δl – изменение длины проволоки, а r – длина рычажка зеркала.

3 Оборудование и экспериментальная установка.

В работе используются:

- Прибор Лермонтова.
- Набор грузов.
- Шкала. Значение – в сантиметрах, цена деления – 1 мм.
- Длина рычажка – $r = 20$ мм.
- Расстояние от шкалы до зеркальца – $h = 136,1 \pm 0,1$ см.
- Длина проволоки – $l = 173,2 \pm 0,1$ см.
- Диаметр проволоки – $d_{\text{пр}} = 0,51$ мм.

4 Результаты измерений и обработка данных.

4.1 Результаты измерений.

Проведем измерения отражения шкалы в зеркальце, сначала добавляя, а затем убирая грузы с площадки О. Повторим измерения трижды. Результаты занесем в таблицу 1.

4.2 Обработка данных.

4.2.1 Подготовка данных для построения графиков.

Составим таблицы 2, 3 и 4 изменения длины проволоки в первой, второй и третьей сериях измерения соответственно.

4.2.2 Графики зависимости изменения длины от веса грузов.

На основании данных из предыдущего пункта построим графики зависимости изменения длины от веса грузов для каждой серии измерений на рисунках 2, 3 и 4. Аппроксимируем данные всех трех серий измерений к прямой $\Delta l = \beta P_{\text{гр}}$, где $\beta = \frac{1}{k} = \frac{l}{ES}$.

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} = \frac{0,0818 - 0,0621}{157,5 - 117,4} = \frac{0,0197}{40,1} = \\ &= 4,91 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мм}}{\text{Н}} = 4,91 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}}{\text{Н}} \\ E &= \frac{l}{\frac{\pi}{4} d^2 \beta} = 1,72 \cdot 10^{11} \pm 0,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\end{aligned}$$

Серия измерений			I	II	III
Номер верхнего груза $N_{\text{гр}}$	Масса груза $m_{\text{гр}}, \text{г}$	Изменение веса груза $\Delta P_{\text{гр}}, \text{Н}$	$n_1, \text{мм}$	$n_2, \text{мм}$	$n_3, \text{мм}$
1	—	—	$8,3 \pm 0,1$	$8,1 \pm 0,1$	$8,3 \pm 0,1$
2	245,5	+2,41	$10,1 \pm 0,1$	$10,1 \pm 0,1$	$10,1 \pm 0,1$
3	245,6	+2,41	$11,9 \pm 0,1$	$11,9 \pm 0,1$	$12,0 \pm 0,1$
4	244,8	+2,40	$13,6 \pm 0,1$	$13,6 \pm 0,1$	$13,7 \pm 0,1$
5	245,8	+2,41	$15,1 \pm 0,1$	$15,3 \pm 0,1$	$15,2 \pm 0,1$
6	244,9	+2,40	$16,8 \pm 0,1$	$16,8 \pm 0,1$	$16,9 \pm 0,1$
7	245,8	+2,41	$18,3 \pm 0,1$	$18,4 \pm 0,1$	$18,5 \pm 0,1$
8	245,8	+2,41	$20,0 \pm 0,1$	$20,0 \pm 0,1$	$20,2 \pm 0,1$
9	245,7	+2,41	$21,6 \pm 0,1$	$21,6 \pm 0,1$	$21,7 \pm 0,1$
10	245,3	+2,41	$23,2 \pm 0,1$	$23,3 \pm 0,1$	$23,2 \pm 0,1$
9	245,7	-2,41	$21,6 \pm 0,1$	$21,8 \pm 0,1$	$21,6 \pm 0,1$
8	245,8	-2,41	$20,1 \pm 0,1$	$20,2 \pm 0,1$	$20,2 \pm 0,1$
7	245,8	-2,41	$18,6 \pm 0,1$	$18,7 \pm 0,1$	$18,6 \pm 0,1$
6	244,9	-2,41	$17,1 \pm 0,1$	$17,2 \pm 0,1$	$17,1 \pm 0,1$
5	245,8	-2,40	$15,3 \pm 0,1$	$15,5 \pm 0,1$	$15,5 \pm 0,1$
4	244,8	-2,41	$13,7 \pm 0,1$	$13,8 \pm 0,1$	$13,7 \pm 0,1$
3	245,6	-2,40	$12,0 \pm 0,1$	$12,1 \pm 0,1$	$12,0 \pm 0,1$
2	245,5	-2,41	$10,2 \pm 0,1$	$10,2 \pm 0,1$	$10,3 \pm 0,1$

Таблица 1: Результаты измерений.

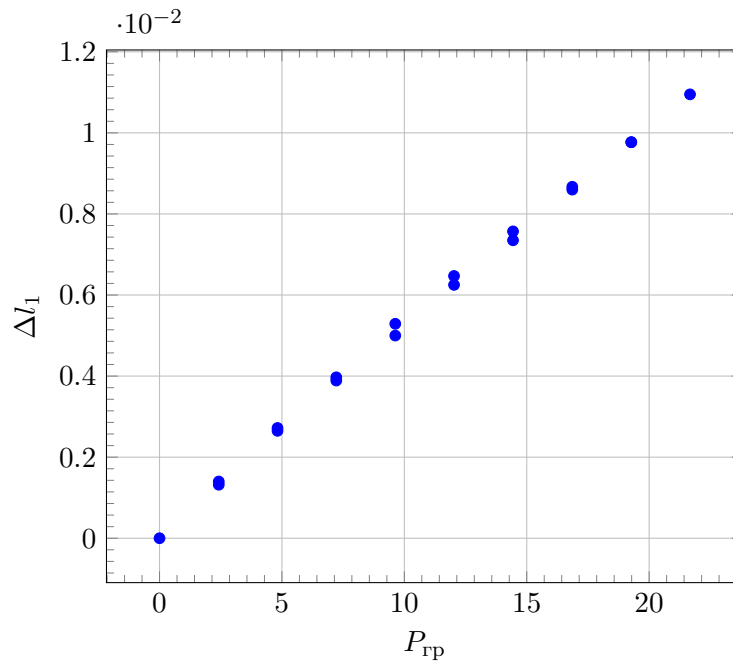


Рис. 2: График зависимости изменения длины от веса грузов в первой

Номер верхнего груза $N_{гр}$	Изменение веса груза $P_{гр}$, Н	Δn_1 , мм	Δl_1 , мм
1	0,0	$0,0 \pm 0,2$	$0,00 \pm 0,00015$
2	2,42	$1,8 \pm 0,2$	$0,00132 \pm 0,00015$
3	4,82	$3,6 \pm 0,2$	$0,00265 \pm 0,00015$
4	7,22	$5,3 \pm 0,2$	$0,00389 \pm 0,00015$
5	9,63	$6,8 \pm 0,2$	$0,00500 \pm 0,00015$
6	12,03	$8,5 \pm 0,2$	$0,00625 \pm 0,00015$
7	14,44	$10,0 \pm 0,2$	$0,00735 \pm 0,00015$
8	16,86	$11,7 \pm 0,2$	$0,00860 \pm 0,00015$
9	19,27	$13,3 \pm 0,2$	$0,00977 \pm 0,00015$
10	21,67	$14,9 \pm 0,2$	$0,01095 \pm 0,00015$
9	19,27	$13,3 \pm 0,2$	$0,00977 \pm 0,00015$
8	16,86	$11,8 \pm 0,2$	$0,00867 \pm 0,00015$
7	14,44	$10,3 \pm 0,2$	$0,00757 \pm 0,00015$
6	12,03	$8,8 \pm 0,2$	$0,00647 \pm 0,00015$
5	9,63	$7,0 \pm 0,2$	$0,00529 \pm 0,00015$
4	7,22	$5,4 \pm 0,2$	$0,00397 \pm 0,00015$
3	4,82	$3,7 \pm 0,2$	$0,00272 \pm 0,00015$
2	2,42	$1,9 \pm 0,2$	$0,00140 \pm 0,00015$

Таблица 2: Изменения длины проволоки в первой серии измерений.

серии измерений.

Номер верхнего груза $N_{гр}$	Изменение веса груза $P_{гр}$, Н	Δn_2 , мм	Δl_2 , мм
1	0,0	$0,0 \pm 0,2$	$0,00 \pm 0,00015$
2	2,42	$2,0 \pm 0,2$	$0,00147 \pm 0,00015$
3	4,82	$3,8 \pm 0,2$	$0,00279 \pm 0,00015$
4	7,22	$5,5 \pm 0,2$	$0,00404 \pm 0,00015$
5	9,63	$7,0 \pm 0,2$	$0,00514 \pm 0,00015$
6	12,03	$8,7 \pm 0,2$	$0,00639 \pm 0,00015$
7	14,44	$10,3 \pm 0,2$	$0,00757 \pm 0,00015$
8	16,86	$11,9 \pm 0,2$	$0,00874 \pm 0,00015$
9	19,27	$13,5 \pm 0,2$	$0,00992 \pm 0,00015$
10	21,67	$15,2 \pm 0,2$	$0,01168 \pm 0,00015$
9	19,27	$13,7 \pm 0,2$	$0,01007 \pm 0,00015$
8	16,86	$12,1 \pm 0,2$	$0,00889 \pm 0,00015$
7	14,44	$10,6 \pm 0,2$	$0,00779 \pm 0,00015$
6	12,03	$9,1 \pm 0,2$	$0,00669 \pm 0,00015$
5	9,63	$7,4 \pm 0,2$	$0,00544 \pm 0,00015$
4	7,22	$5,7 \pm 0,2$	$0,00419 \pm 0,00015$
3	4,82	$4,0 \pm 0,2$	$0,00294 \pm 0,00015$
2	2,42	$2,1 \pm 0,2$	$0,00154 \pm 0,00015$

Таблица 3: Изменения длины проволоки во второй серии измерений.

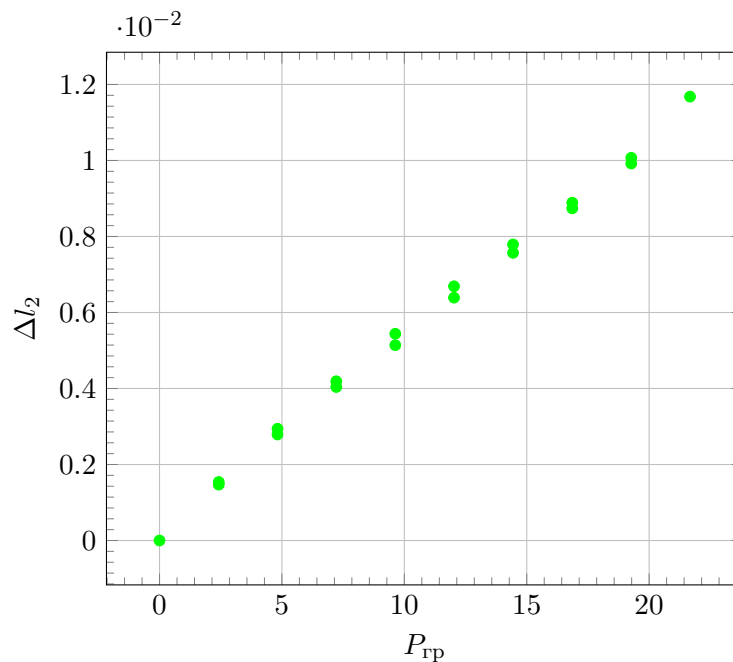


Рис. 3: График зависимости изменения длины от веса грузов во второй серии измерений.

Номер верхнего груза $N_{\text{гр}}$	Изменение веса груза $P_{\text{гр}}$, Н	Δn_3 , мм	Δl_3 , мм
1	0,0	$0,0 \pm 0,2$	$0,00 \pm 0,00015$
2	2,42	$2,0 \pm 0,2$	$0,00147 \pm 0,00015$
3	4,82	$3,7 \pm 0,2$	$0,00272 \pm 0,00015$
4	7,22	$5,4 \pm 0,2$	$0,00397 \pm 0,00015$
5	9,63	$6,9 \pm 0,2$	$0,00507 \pm 0,00015$
6	12,03	$8,6 \pm 0,2$	$0,00632 \pm 0,00015$
7	14,44	$10,2 \pm 0,2$	$0,00749 \pm 0,00015$
8	16,86	$11,9 \pm 0,2$	$0,00874 \pm 0,00015$
9	19,27	$13,4 \pm 0,2$	$0,00985 \pm 0,00015$
10	21,67	$14,9 \pm 0,2$	$0,01095 \pm 0,00015$
9	19,27	$13,3 \pm 0,2$	$0,00977 \pm 0,00015$
8	16,86	$11,9 \pm 0,2$	$0,00874 \pm 0,00015$
7	14,44	$10,3 \pm 0,2$	$0,00757 \pm 0,00015$
6	12,03	$8,8 \pm 0,2$	$0,00647 \pm 0,00015$
5	9,63	$7,2 \pm 0,2$	$0,00529 \pm 0,00015$
4	7,22	$5,4 \pm 0,2$	$0,00397 \pm 0,00015$
3	4,82	$3,7 \pm 0,2$	$0,00272 \pm 0,00015$
2	2,42	$2,0 \pm 0,2$	$0,00147 \pm 0,00015$

Таблица 4: Изменения длины проволоки в третьей серии измерений.

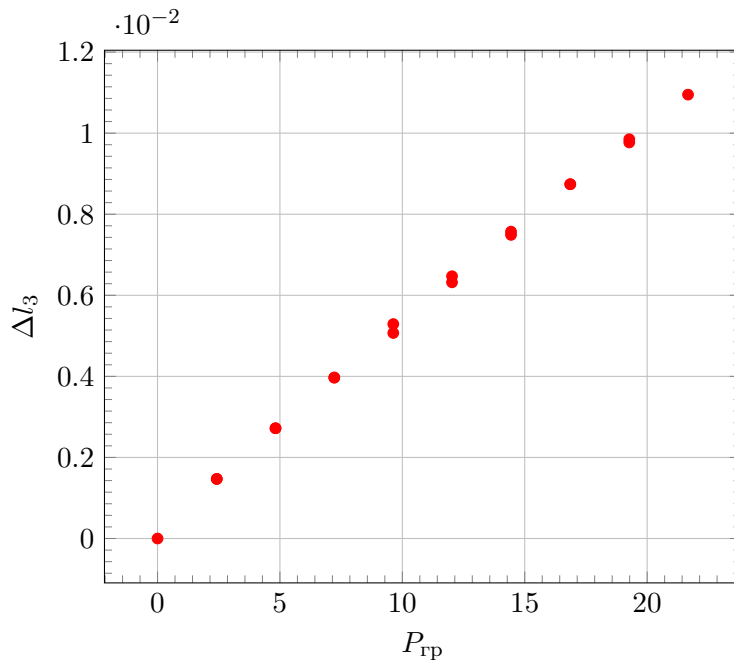


Рис. 4: График зависимости изменения длины от веса грузов в третьей серии измерений.

5 Выводы.

В ходе работы был найден модуль Юнга материала проволоки, составивший $1,72 \cdot 10^{11} \pm 0,03 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$. Он близок к модулю Юнга железа ($1,9 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$), но несколько ниже его. Скорее всего сказалось постепенное растяжение проволоки со временем, приведшее к ее истончению.