

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Исследование термических эффектов,
возникающих при упругих деформациях**

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2017 г.

1 Цель работы

1. исследование упругого деформирования резиновой пленки, в том числе при больших удлинениях, когда оно становится нелинейным
2. измерение нагревания пленки при большом адиабатическом растяжении и определение теплоемкости пленки

2 В работе используются:

- образец резины
- закрепленный в специальной установке
- набор грузов
- дифференциальная термopapa
- микровольтметр Ф-116/1

3 Теоретические положения

Деформация упругих тел, подобно расширению газов, сопровождается термическими эффектами: нагреванием или охлаждением. В предлагаемой работе исследуются термические эффекты, возникающие при адиабатическом растяжении резины. Это вещество остается упругим при больших деформациях, при которых оно нагревается. В то время как обычные упругие тела, в том числе и резина при малых деформациях, при адиабатическом растяжении охлаждаются.

Закон Гука:

$$f = E\sigma_0 \frac{\Delta l}{l} \quad (1)$$

Для каучуков и резины модуль Юнга зависит как от удлинения, так и от температуры. Связь между f, l и T может быть описана эмпирической формулой

$$f = \frac{E(T)\sigma_0}{3} \left[\lambda - \frac{1 + 3(T - T_0)}{\lambda^2} \right] \quad (2)$$

Для вычисления термического эффекта при растяжении резинового образца используется формула

$$\Delta T = T - T_0 = \frac{E\sigma_0 l_0}{6C_l} (\lambda - 1) \left[\lambda + 1 - \frac{2}{\lambda} (1 + 3\alpha T_0) \right] \quad (3)$$

4 Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис. 1. Исследуемый образец резины 1 расположен внутри кожуха из оргстекла 2 и закреплен по торцам в двух зажимах 3, 11. Верхний зажим неподвижен, а нижний может перемещаться вдоль двух вертикальных направляющих 4. Положение нижнего зажима определяется с помощью линейки 10, размещенной позади него. К подвижному зажиму 3 подвешена легкая платформа 5, расположенная снаружи кожуха. Резина растягивается грузом Р, помещаемым на платформу. Растяжение образца может быть ограничено положением упора 7, фиксируемого винтами 6, 9 на стойках 8.

Для измерения тепловых эффектов, возникающих при растяжении или сжатии резины, используется дифференциальная термopapa хромель-копель (рис. 2). Диаметр проволочек термopapы 0,14 мм. Рабочий спай 1 термopapы расположен внутри растягиваемого образца 3; компенсирующий спай 2 находится рядом с образцом под металлическим зажимом. Чувствительность термopapы составляет 64 мкВ/°С.

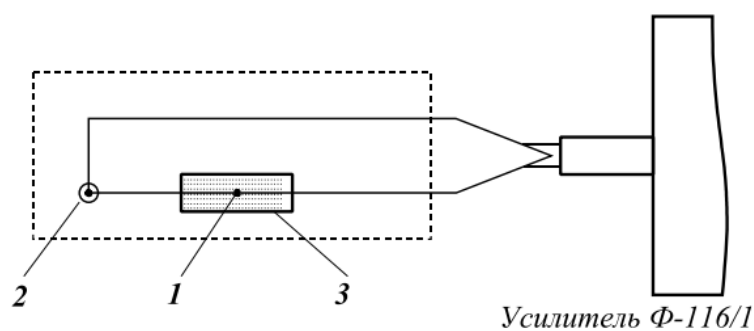
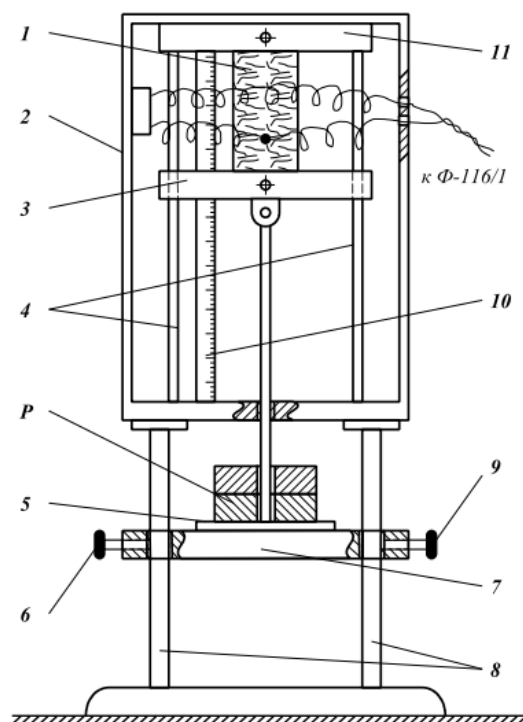


Рис. 2: Схема расположения спай термопары

5 Ход работы

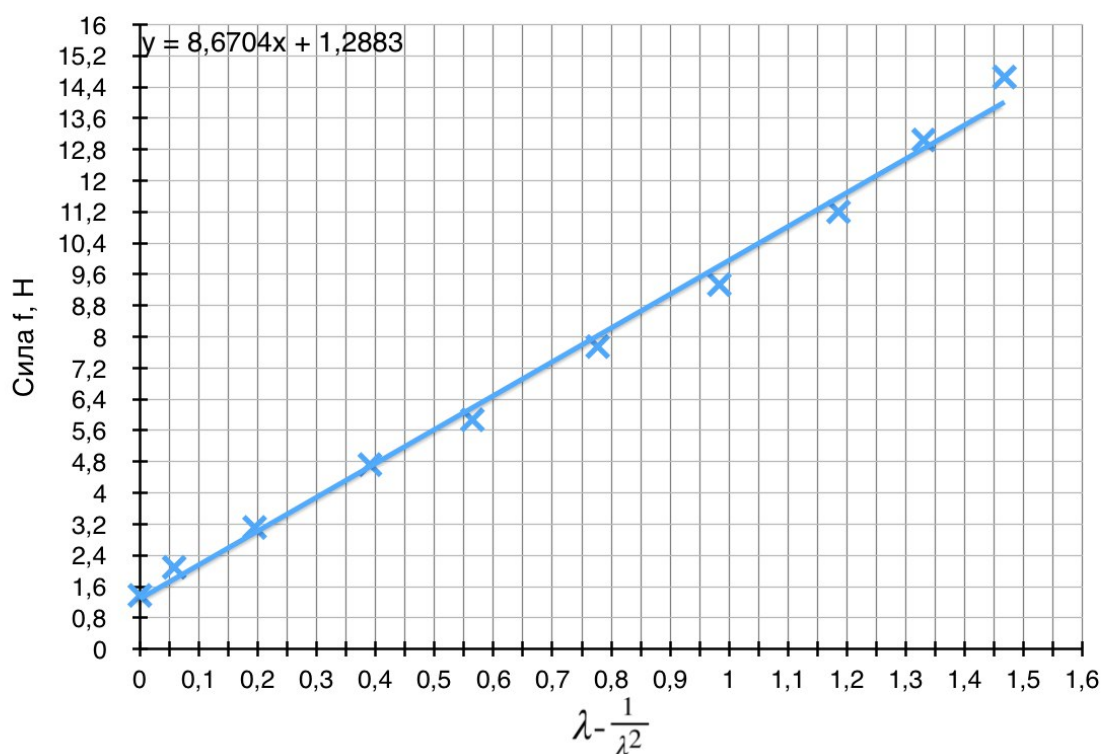
5.1 Исследование зависимости удлинения резины от величины груза, растягивающего резиновый образец

1. Исследуем растяжение резины, сняв 6-8 экспериментальных точек при разных нагрузках. Чтобы обеспечить изотермические условия опыта, выжидайте не менее двух минут после установки каждого нового груза. Начните измерения с самого большого груза. Результаты измерений занесём в таблицу 1.

Таблица 1. Исследование зависимости удлинения от растягивающей силы

Масса груза, г	Нагрузка, г	Длина, см	λ	$\lambda - \frac{1}{\lambda^2}$	Сила, Н
1353,6	1493,6	18	1,782	1,467	14,652
1189,3	1329,3	17	1,683	1,33	13,04
1001,8	1141,8	16	1,584	1,185	11,201
811,6	951,6	14,7	1,455	0,983	9,335
649,8	789,8	13,5	1,337	0,778	7,748
458,5	598,5	12,4	1,228	0,565	5,871
341,5	481,5	11,6	1,149	0,392	4,724
177,5	317,5	10,8	1,069	0,194	3,115
73,3	213,3	10,3	1,02	0,059	2,092
0	140	10,1	1	0	1,373

Рис. 3: График зависимости изменения длины резинового образца от приложенной силы



2. Построим график зависимости значения $\lambda - \frac{1}{\lambda^2}$ от растягивающей силы f (рисунок 2). График имеет прямолинейный вид. По углу наклона графика определим модуль Юнга резины, из которой изготовлен исследуемый образец - $k = \frac{E(T)\sigma_0}{3} = 8,6704$

Погрешность определения k рассчитаем по методу наименьших квадратов:

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - k^2} = 0,024$$

Зная площадь поперечного сечения исследуемого образца $\sigma_0 = 0,24 \text{ см}^2$, Определим модуль Юнга $E = \frac{3k}{\sigma_0} = 108,38 \text{ Н/см}^2$

Погрешность измерения вычислим по формуле

$$\sigma E = E \sqrt{\left(\frac{\sigma w}{w}\right)^2 + \left(\frac{\sigma d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma k}{k}\right)^2} = 5,5 \text{ Н/см}^2$$

Значение модуля Юнга для различных сортов резины составляет, по данным с сайта tehtab.ru, от 1 до 10 МПа. Наше значение составляет $1,08 \pm 0,06$ МПа. В таблице из "Лабораторного практикума" значение модуля упругости мягкой резины составляет от 1,5 до 5 МПа. С учётом погрешность полученное нами значение можно считать достоверным, так как по порядку величины оно совпадает с табличными, а точного значения для конкретно нашего образца мы не знаем.

5.2 Исследование термических эффектов, сопровождающих растяжение резины

1. Параметры установки:

Масса платформы с рамкой - 140 г
 Ширина - 1,2 см
 Толщина - 0,2 см
 Плотность - 1,2 г/см³
 Термопара Медь - Константан
 Чувствительность термопары: 39 мкВ/град
 Усилитель: К(усиления) = 5000
 Общая чувствительность - 39*5000 мкВ/град

- Настроим термопару и осциллограф. Поместим на платформу груз, растягивающий резину. На осциллографе наблюдаем изменение температуры образца в зависимости от времени до установления теплового равновесия (комнатной температуры). Результаты зафиксируем (зависимость показания ЭДС от времени). Полученные данные используем для построения графиков $\ln(\Delta T)$ от t .
- Касательной к начальным точкам аппроксимируем полученные графики к моменту $t = 0$ и определим величину ΔT_0 для каждого удлинения. Результаты занесём в таблицу 2.

Таблица 2. Исследование термических эффектов при растяжении резины

Номер опыта	Масса, г	Удлинение, см	λ	ΔT , °С	C_l , Дж/К	C_l , кал/К
1	1329,3	6,9	1,683	0,2329	1,866	0,446
2	951,6	4,6	1,455	0,3064	0,676	0,161
3	598,5	2,3	1,228	0,0945	0,589	0,141
4	1493,6	7,9	1,782	0,4167	1,33	0,318

На установке указано, что значение удельной теплоёмкости резины при постоянной длине может иметь значения от 0,27 до 0,5 кал/К. В эксперименте мы получили значения, совпавшие с данными. При расчётах была использована формула (3). Погрешность измерений определим по формуле

$$\frac{\sigma C}{C} = \sqrt{\left(\frac{\sigma w}{w}\right)^2 + \left(\frac{\sigma d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\sigma l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma T}{T}\right)^2} = 4,14\%$$

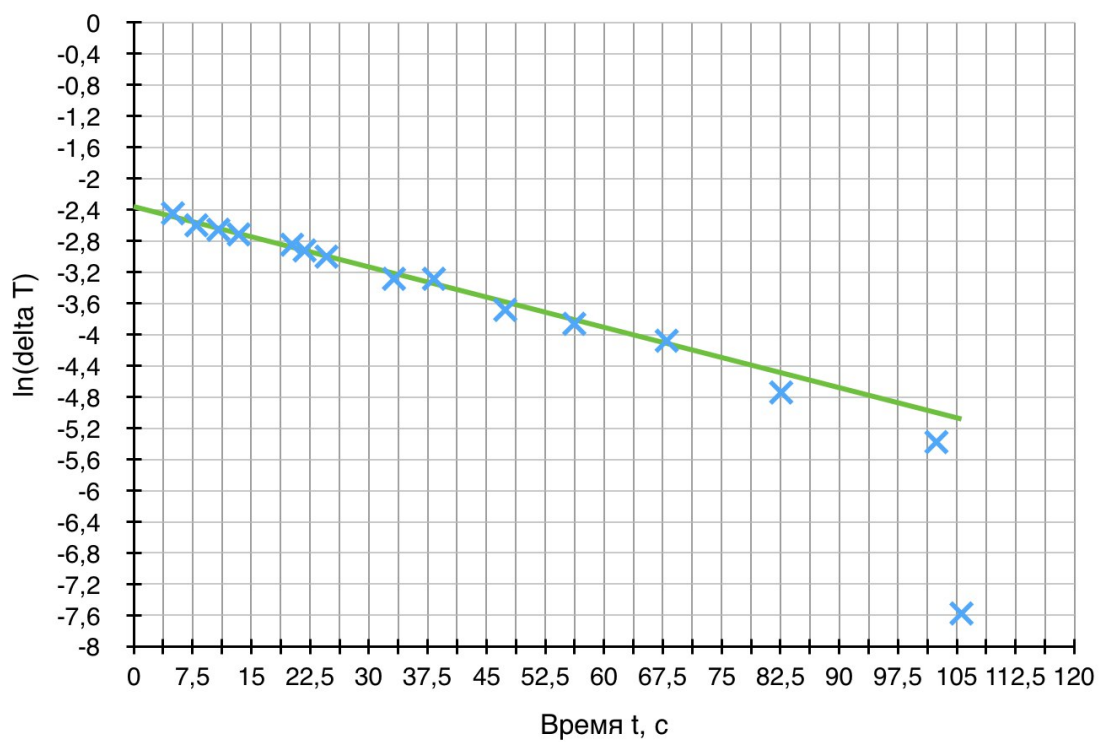


Рис. 4: Зависимость $\ln(\Delta T)$ от t , $m = 598,5$ г

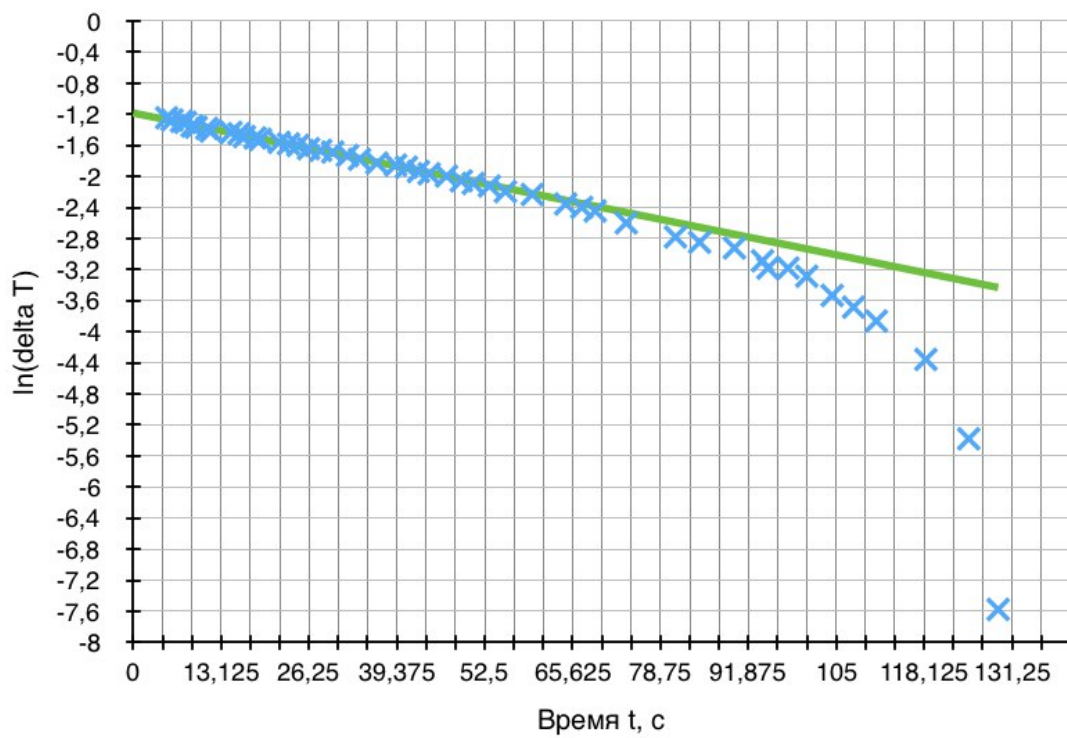


Рис. 5: Зависимость $\ln(\Delta T)$ от t , $m = 951,6$ г

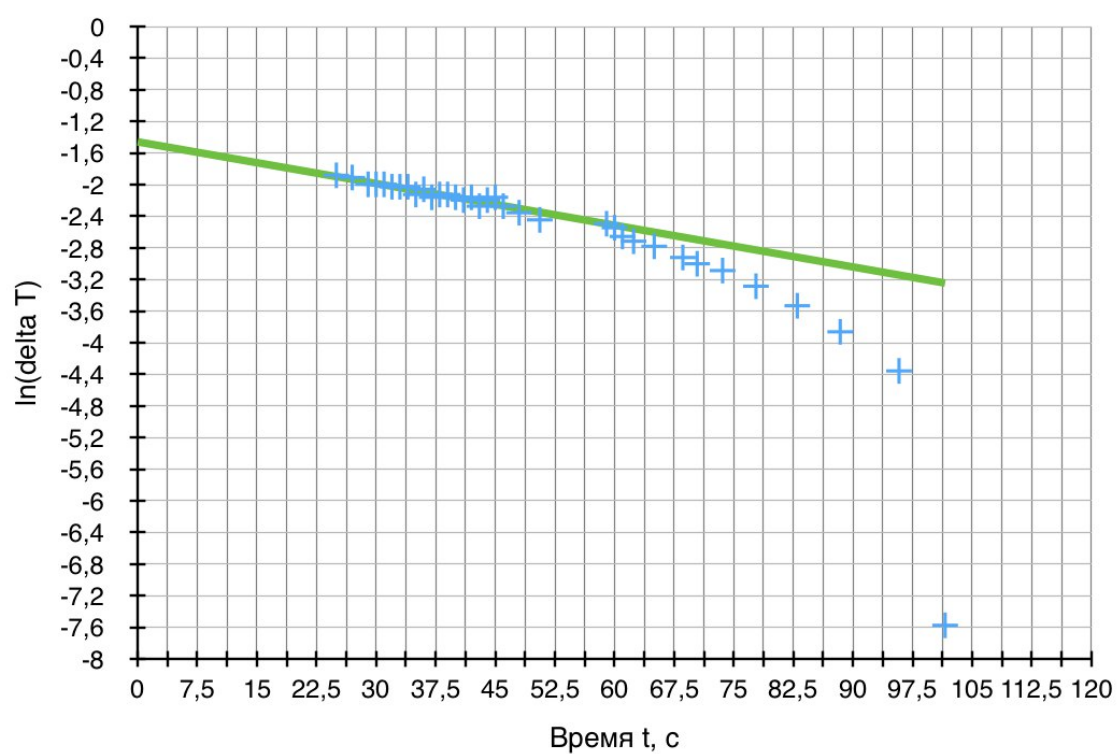


Рис. 6: Зависимость $\ln(\Delta T)$ от t , $m = 1329,3$ г

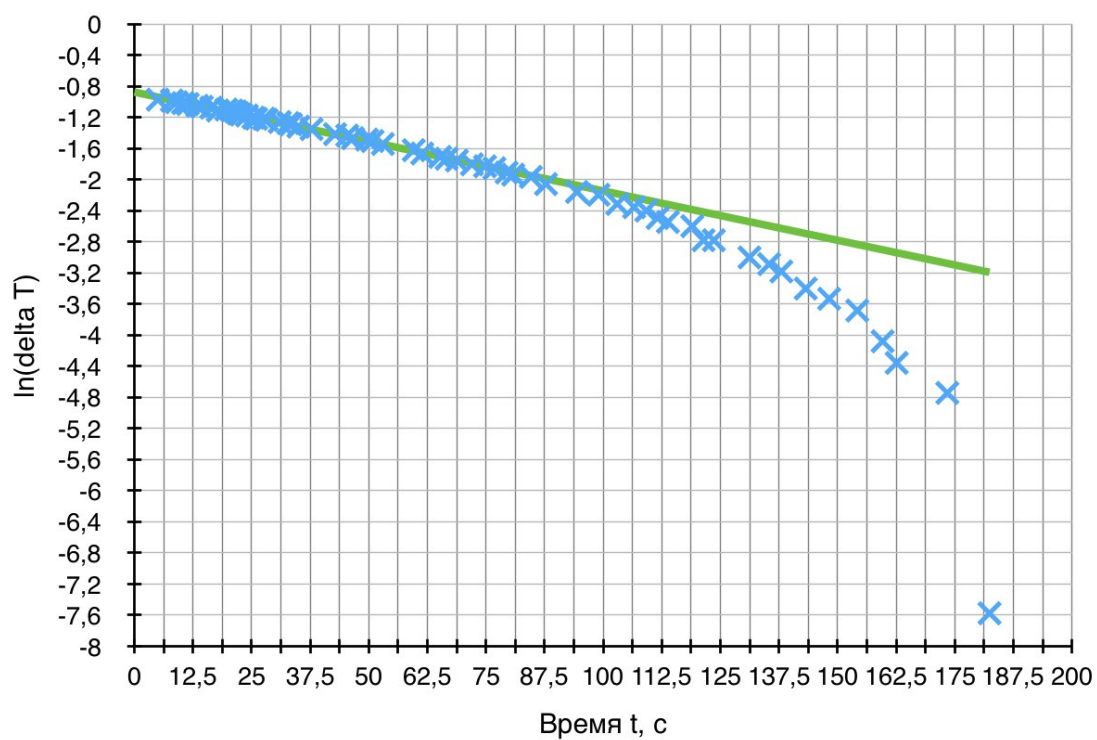


Рис. 7: Зависимость $\ln(\Delta T)$ от t , $m = 1496,3$ г

6 Вывод

В ходе работы были исследованы различные эффекты, возникающие при упругих деформациях резины. В первой части эксперимента был исследован процесс изотермического растяжения резины, проведены измерения зависимости удлинения резинового образца от растягивающей силы. Была установлена линейная зависимость и по коэффициенту угла наклона рассчитан модуль упругости (модуль Юнга) резины. Значение, определённое экспериментально, совпало с табличными значениями.

$$E_{ex} = 1,08 \pm 0,05 \text{ МПа} \quad E_{th} = 1 - 10 \text{ МПа}$$

Во второй части работы были исследованы термические эффекты, возникающие при адиабатическом расширении и сжатии резинового образца. При растяжении температура резины увеличивалась на несколько десятых градуса в зависимости от величины растягивающей силы, а затем остывала до комнатной температуры.

Непосредственно измерить температуру образца сразу после растяжения не удалось из-за колебаний, возникающих в резине при навешивании на каретку грузов и дальнейшем её быстром растяжении. При остывании образца на экране осциллографа можно было проследить экспоненциальную зависимость температуры от времени (эта зависимость описывается дифференциальным уравнением).

Исследуя полученные результаты зависимости температуры образца (разности ЭДС на термопаре) от времени, были построены и проанализированы графики, по которым мы смогли определить удельную теплоёмкость исследуемого образца резины при постоянной длине по формуле (3). Для разных значений растягивающей силы значения получились разными, но в целом они совпали с величиной, указанной на установке.

$$\begin{aligned} C_{598} &= 0,141 \pm 0,006 \text{ кал/К} \\ C_{951} &= 0,161 \pm 0,007 \text{ кал/К} \\ C_{1329} &= 0,446 \pm 0,018 \text{ кал/К} \\ C_{1493} &= 0,318 \pm 0,013 \text{ кал/К} \end{aligned}$$

В целом можно сказать, что значения, полученные в ходе эксперимента, достаточно точны. Большую роль сыграло использование современного осциллографа с возможностью точно записывать данные об изменении ЭДС термопары в зависимости от времени.