
Обработка результатов измерений лабораторной работы №36

“Определение тепловых свойств материалов методом регулярного режима”

Примечание: Калориметр 1 -водяная камера, калориметры 2 и 3 -воздушная камера

Данные эксперимента:

τ -время опыта

t1 - t8 показания термодатчиков в калориметрах и камерах: 1-2-калориметр 1; 3-4 -калориметр 2; 5-6 калориметр 3; 7-воздушная камера; 8 - водяная камера.

```
In[1]:=  $\tau = \text{Quantity}[\text{Table}[25 + 50 * i, \{i, 0, 34\}], \text{"Seconds"}]$   
[размерна... [таблица значений]
```

```
Out[1]= { 25 s , 75 s , 125 s , 175 s , 225 s , 275 s , 325 s , 375 s , 425 s ,  
475 s , 525 s , 575 s , 625 s , 675 s , 725 s , 775 s , 825 s , 875 s ,  
925 s , 975 s , 1025 s , 1075 s , 1125 s , 1175 s , 1225 s , 1275 s , 1325 s ,  
1375 s , 1425 s , 1475 s , 1525 s , 1575 s , 1625 s , 1675 s , 1725 s }
```

```

In[2]:= t1 = Quantity[{25.1, 28.8, 31.2, 33.0, 34.4, 35.3, 36.4, 37.1, 37.4, 37.8, 38.1, 38.5,
размерная величина
38.9, 39.0, 39.0, 39.5, 39.6, 39.7, 40.1, 40.3, 40.5, 40.5, 40.8, 41.0, 41.7,
41.1, 41.3, 41.6, 41.6, 41.9, 41.9, 41.9, 42.3, 42.3, 42.4}, "DegreesCelsius"];
t2 = Quantity[{22.1, 22.1, 22.2, 23.1, 24.1, 25.4, 26.9, 28.1, 28.8, 29.4, 30.0, 30.8,
размерная величина
31.4, 32.0, 33.0, 33.2, 33.6, 33.8, 34.7, 35.0, 35.5, 35.9, 36.4, 36.9, 37.2,
37.6, 38.0, 38.2, 38.4, 38.7, 39.1, 39.4, 39.7, 39.9, 40.0}, "DegreesCelsius"];
t3 = Quantity[{22.7, 23.1, 23.5, 23.8, 24.2, 24.6, 25.1, 25.5, 25.7, 25.8, 26.2, 26.2,
размерная величина
26.3, 26.6, 26.8, 26.8, 27.0, 27.2, 27.5, 27.5, 27.7, 27.9, 28.0, 28.3, 28.4,
28.5, 28.6, 28.8, 29.0, 29.1, 29.4, 29.4, 29.4, 29.6, 29.6}, "DegreesCelsius"];
t4 = Quantity[{22.2, 22.1, 22.1, 22.2, 22.3, 22.6, 22.9, 23.2, 23.4, 23.6, 23.8, 24.0,
размерная величина
24.0, 24.3, 24.4, 24.5, 24.7, 25.0, 25.0, 25.3, 25.4, 25.5, 25.7, 26.0, 26.1,
26.2, 26.5, 26.6, 26.7, 27.0, 27.1, 27.2, 27.5, 27.6, 27.6}, "DegreesCelsius"];
t5 = Quantity[{22.6, 23.2, 23.6, 23.9, 24.4, 24.9, 25.4, 25.8, 26.0, 26.3, 26.6, 26.7,
размерная величина
26.9, 27.1, 27.3, 27.5, 27.7, 27.7, 28.1, 28.3, 28.3, 28.6, 28.8, 28.9, 29.1,
29.4, 29.6, 29.7, 29.9, 30.2, 30.2, 30.3, 30.5, 30.7, 30.9}, "DegreesCelsius"];
t6 = Quantity[{22.7, 23.2, 23.7, 24.0, 24.7, 25.0, 25.5, 26.0, 26.2, 26.4, 26.6, 27.0,
размерная величина
27.1, 27.2, 27.3, 27.7, 27.8, 27.9, 28.2, 28.4, 28.6, 28.8, 28.9, 29.0, 29.3,
29.5, 29.7, 29.8, 30.0, 30.1, 30.3, 30.6, 30.8, 30.9, 31.0}, "DegreesCelsius"];
t7 = Quantity[{40.8, 40.5, 40.3, 40.1, 40.1, 40.0, 40.0, 40.1, 40.1, 40.1, 40.2, 40.1,
размерная величина
40.2, 40.1, 40.1, 40.1, 40.1, 40.1, 40.1, 40.2, 40.1, 40.2, 40.3, 40.2, 40.3,
40.5, 40.5, 40.3, 40.5, 40.5, 40.5, 40.5, 40.6, 40.6, 40.6}, "DegreesCelsius"];
t8 = Quantity[{44.3, 44.0, 44.0, 43.9, 44.0, 44.0, 44.0, 44.0, 44.2, 44.3, 44.2, 44.3,
размерная величина
44.0, 44.2, 44.1, 44.0, 44.0, 44.0, 44.2, 44.2, 44.2, 44.2, 44.2, 44.2, 44.3,
44.3, 44.2, 44.2, 44.2, 44.2, 44.2, 44.2, 44.3, 44.4, 44.3}, "DegreesCelsius"];

```

θ -разность температур какой-либо точки тела и среды. Учитывая что К1-водяная камера, а К2 КЗ- воздушная, найдем $\ln(\theta_{1-6})$, где $\theta_{1,2}$ для калориметра в водяной камере а остальные для калориметров воздушных камерах

```

In[10]:= ln01 = Log[QuantityMagnitude[t8 - t1]]
на... модуль размерной величины

```

```

Out[10]=
{2.9549103, 2.7212954, 2.5494452, 2.3887628, 2.2617631, 2.163323, 2.0281482, 1.9315214,
1.9169226, 1.8718022, 1.8082888, 1.7578579, 1.6292405, 1.6486586, 1.6292405,
1.5040774, 1.4816045, 1.458615, 1.410987, 1.3609766, 1.3083328, 1.3083328,
1.2237754, 1.1631508, 0.95551145, 1.1631508, 1.0647107, 0.95551145, 0.95551145,
0.83290912, 0.83290912, 0.83290912, 0.69314718, 0.74193734, 0.64185389}

```

In[11]:= **ln02 = Log[QuantityMagnitude[t8 - t2]]**
 [на... [модуль размерной величины]

Out[11]=
 {3.1000923, 3.0864866, 3.08191, 3.034953, 2.9907197, 2.9231616, 2.8390785,
 2.7663191, 2.7343675, 2.7013612, 2.653242, 2.6026897, 2.5336968, 2.501436,
 2.4069451, 2.3795461, 2.3418058, 2.3223877, 2.2512918, 2.2192035, 2.163323,
 2.1162555, 2.0541237, 1.9878743, 1.9600948, 1.9021075, 1.8245493, 1.7917595,
 1.7578579, 1.7047481, 1.6292405, 1.5686159, 1.5260563, 1.5040774, 1.458615}

In[12]:= **ln03 = Log[QuantityMagnitude[t7 - t3]]**
 [на... [модуль размерной величины]

Out[12]=
 {2.8959119, 2.8564702, 2.8213789, 2.7911651, 2.7663191, 2.7343675, 2.7013612,
 2.6810215, 2.6672282, 2.6602595, 2.6390573, 2.6318888, 2.6318888, 2.6026897,
 2.587764, 2.587764, 2.5726122, 2.5572273, 2.5336968, 2.541602, 2.5176965,
 2.5095993, 2.5095993, 2.4765384, 2.4765384, 2.4849066, 2.4765384, 2.442347,
 2.442347, 2.4336134, 2.4069451, 2.4069451, 2.4159138, 2.3978953, 2.3978953}

In[13]:= **ln04 = Log[QuantityMagnitude[t7 - t4]]**
 [на... [модуль размерной величины]

Out[13]=
 {2.9231616, 2.9123507, 2.9014216, 2.8848007, 2.8791985, 2.8564702, 2.8390785,
 2.8273136, 2.8154087, 2.8033604, 2.7972813, 2.7788193, 2.7850112, 2.7600099,
 2.7536607, 2.7472709, 2.7343675, 2.7146947, 2.7146947, 2.7013612, 2.6878475,
 2.6878475, 2.6810215, 2.653242, 2.653242, 2.6602595, 2.6390573, 2.6173958,
 2.6246686, 2.6026897, 2.5952547, 2.587764, 2.5726122, 2.5649494, 2.5649494}

In[14]:= **ln05 = Log[QuantityMagnitude[t7 - t5]]**
 [на... [модуль размерной величины]

Out[14]=
 {2.9014216, 2.8507065, 2.8154087, 2.7850112, 2.7536607, 2.7146947, 2.6810215,
 2.6602595, 2.6461748, 2.6246686, 2.6100698, 2.5952547, 2.587764, 2.5649494,
 2.5494452, 2.5336968, 2.5176965, 2.5176965, 2.4849066, 2.4765384, 2.4680995,
 2.4510051, 2.442347, 2.4248027, 2.4159138, 2.4069451, 2.3887628, 2.360854,
 2.360854, 2.3321439, 2.3321439, 2.3223877, 2.3125354, 2.2925348, 2.2721259}

In[15]:= **ln06 = Log[QuantityMagnitude[t7 - t6]]**
 [на... [модуль размерной величины]

Out[15]=
 {2.8959119, 2.8507065, 2.8094027, 2.7788193, 2.7343675, 2.7080502, 2.6741486,
 2.6461748, 2.6318888, 2.6173958, 2.6100698, 2.5726122, 2.5726122, 2.5572273,
 2.5494452, 2.5176965, 2.5095993, 2.501436, 2.4765384, 2.4680995, 2.442347,
 2.4336134, 2.4336134, 2.4159138, 2.3978953, 2.3978953, 2.3795461, 2.3513753,
 2.3513753, 2.3418058, 2.3223877, 2.2925348, 2.2823824, 2.2721259, 2.2617631}

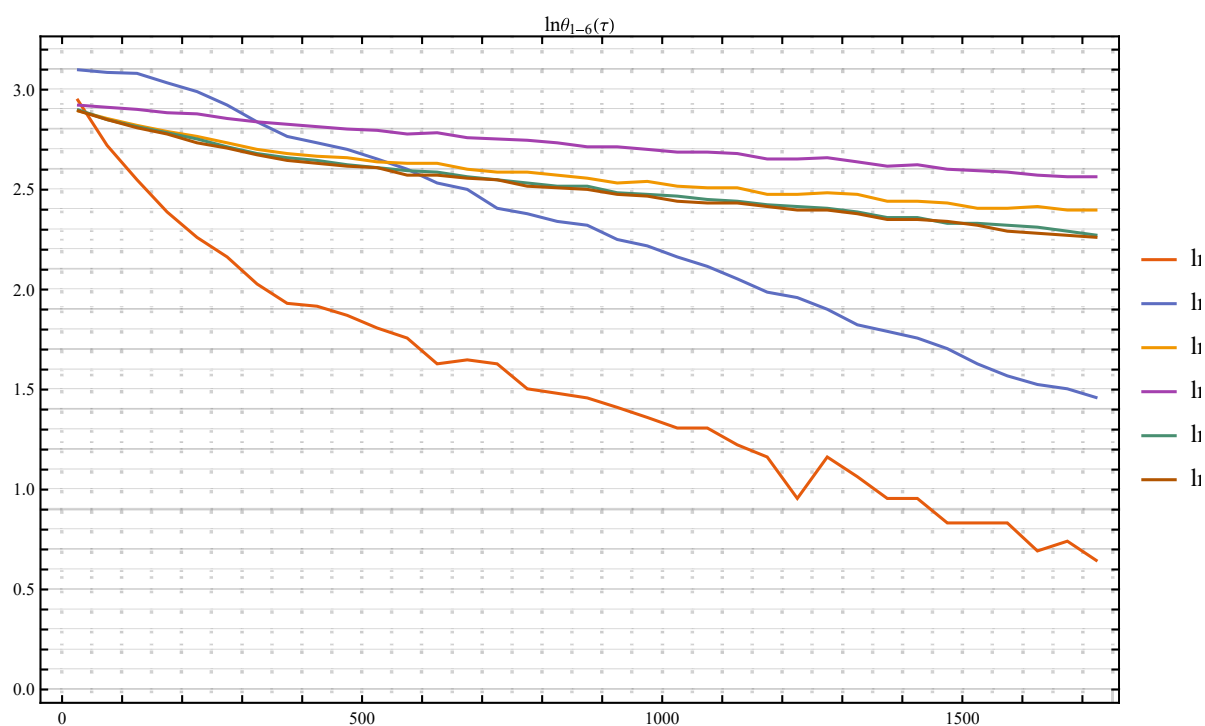
Изобразим зависимости $\ln \theta_{1-6}(\tau)$

```

In[16]:= bufferIn[ $i_{-}$ ] := Table[{QuantityMagnitude[ $\tau$ [[ $j$ ]]],
    |таблиц... |модуль размерной величины
    Evaluate[ToExpression["ln" <> ToString[ $i$ ]][[ $j$ ]]], { $j$ , 1, Length[ $\tau$ ]}];
    |вычислить |создать выражение |преобразовать в строку |длина
ListLinePlot[Map[bufferIn[ $i_{-}$ ], Range[1, 6]],
    |линейный гра... |преобразовать |диапазон
    GridLines -> {Range[0, 1750, 50], Range[0, 4, 0.1]},
    |линии координат |диапазон |диапазон
    PlotLabel -> "ln $\theta_{1-6}(\tau)$ ", PlotTheme -> "Scientific",
    |пометка графика |тематический стиль графика
    PlotLegends -> {"ln $\theta_1$ ", "ln $\theta_2$ ", "ln $\theta_3$ ", "ln $\theta_4$ ", "ln $\theta_5$ ", "ln $\theta_6$ "}, ImageSize -> Large]
    |легенды графика |размер изобра... |крупный

```

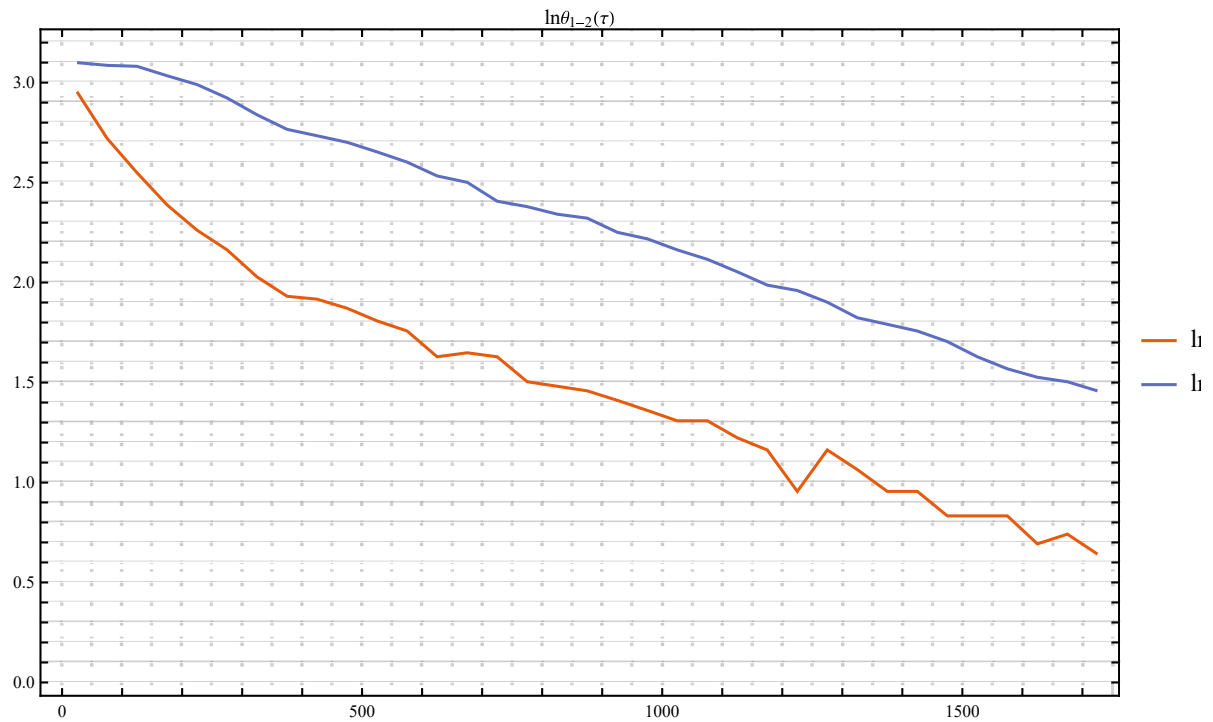
Out[17]=



Изобразим отдельно графики для каждого калориметра для поиска участков линейной зависимости:

```
In[18]:= ListLinePlot[Map[buffers, Range[1, 2]],
  GridLines -> {Range[0, 1750, 50], Range[0, 4, 0.1]}, PlotLabel -> "lnθ1-2(τ)",
  PlotTheme -> "Scientific", PlotLegends -> {"lnθ1", "lnθ2"}, ImageSize -> Large]
```

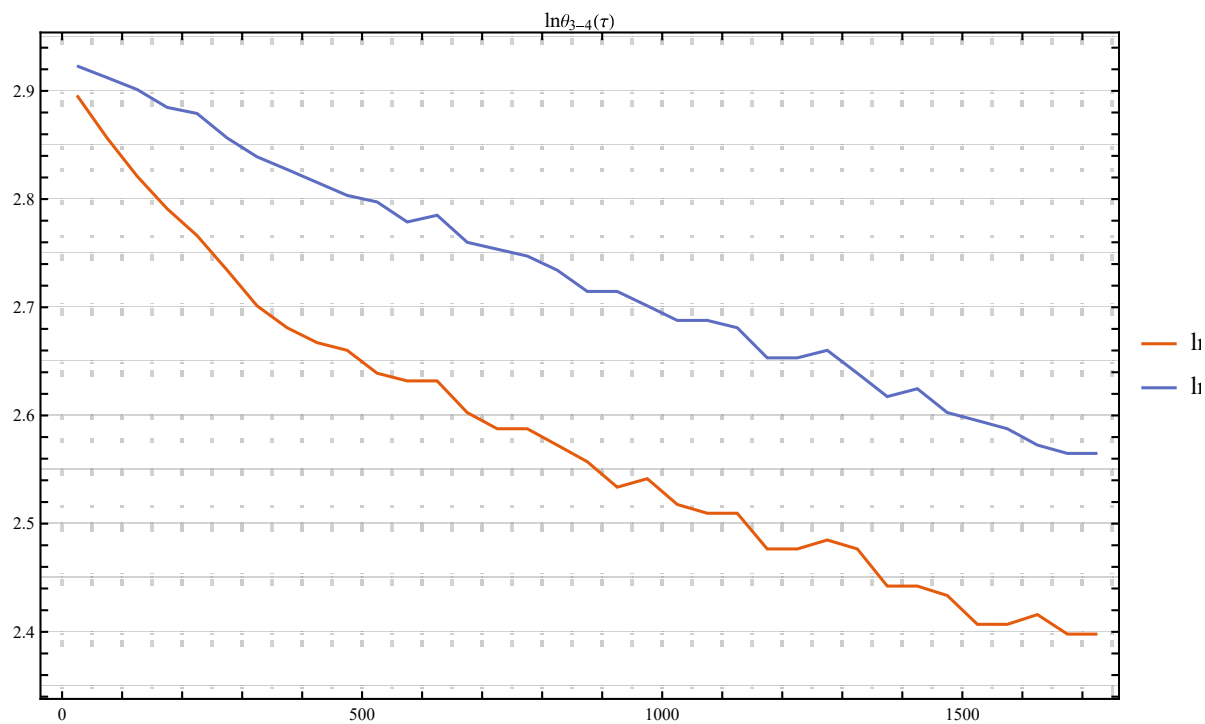
Out[18]=



Линейный участок :325-1750 s (τ_7 - τ_{35}) для первого калориметра

```
In[19]:= ListLinePlot[Map[bufferIn0, Range[3, 4]],
  |линейный гра... |преобразовать |диапазон
  GridLines -> {Range[0, 1750, 50], Range[0, 3, 0.05]}, PlotLabel -> "ln03-4( $\tau$ )",
  |линии коорди... |диапазон |диапазон |пометка графика
  PlotTheme -> "Scientific", PlotLegends -> {"ln03", "ln04"}, ImageSize -> Large]
  |тематический стиль графика |легенды графика |размер изоб... |крупный

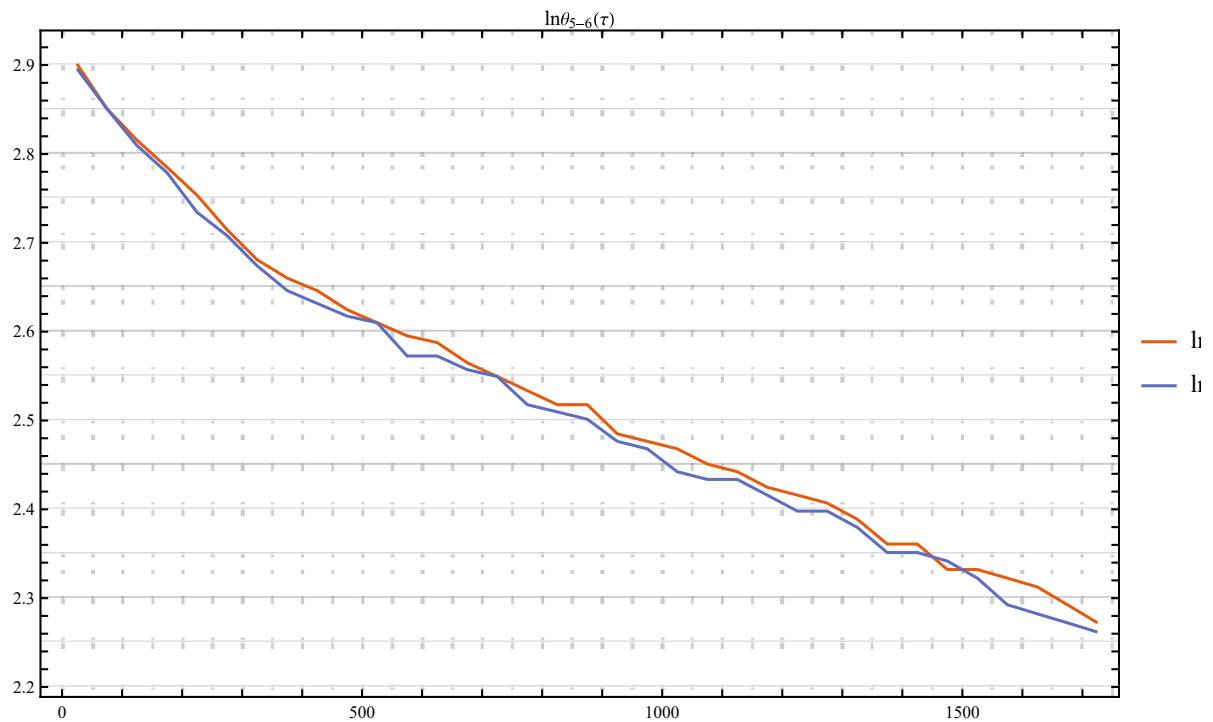
Out[19]=
```



Линейный участок : 625-1750 s (τ_{13} - τ_{35}) для второго калориметра

```
In[20]:= ListLinePlot[Map[bufferIn6, Range[5, 6]],
  |линейный гра... |преобразовать |диапазон
  GridLines -> {Range[0, 1750, 50], Range[0, 4, 0.05]}, PlotLabel -> "ln $\theta_{5-6}(\tau)$ ",
  |линии коорди... |диапазон |диапазон |пометка графика
  PlotTheme -> "Scientific", PlotLegends -> {"ln6", "ln5"}, ImageSize -> Large]
  |тематический стиль графика |легенды графика |размер изоб... |крупный
```

Out[20]=



Линейный участок: 525-1250 s (τ_{11} - τ_{25}) для третьего калориметра

Введем данные о калориметрах:

M_{cuprum} -масса медного (эталонного)калориметра (kg)

c_{cuprum} - удельная теплоемкость меди ($\frac{J}{kg \cdot K}$)

M_{ob} - масса медной оболочки калориметра №2 (kg)

D_i - диаметр i -го калориметра (m)

Z_i -высота i -го калориметра(m)

D_{2inner} -внутренний диаметр калориметра №2 (m)

Z_{2inner} -внутренний диаметр калориметра №2(m)

```
In[21]:= Mcuprum = Quantity[0.23, "Kilograms"];
           |размерная величина

           ccuprum = Quantity[390,  $\frac{\text{"Joules"}}{\text{"Kilograms" * "Kelvins"}}$ ];
           |размерная величина

           Mob = Quantity[0.073, "Kilograms"];
           |размерная величина

           D1 = Quantity[0.04, "Meters"];
           |размерная величина

           Z1 = Quantity[0.06, "Meters"];
           |размерная величина

           D2 = Quantity[0.0294, "Meters"];
           |размерная величина

           Z2 = Quantity[0.054, "Meters"];
           |размерная величина

           D2inner = Quantity[0.0286, "Meters"];
           |размерная величина

           Z2inner = Quantity[0.0532, "Meters"];
           |размерная величина

           D3 = Quantity[0.0294, "Meters"];
           |размерная величина

           Z3 = Quantity[0.054, "Meters"];
           |размерная величина
```

Найдем темп нагрева калориметров

$m1$ -относится к первому калориметру, $m11$ - по значениям с первой термопары, $m12$ по значениям со второй термопары и т.д.

```
In[32]:= m11 =  $\frac{\ln \theta 1[7] - \ln \theta 1[35]}{\text{QuantityMagnitude}[\tau[35] - \tau[7]]}$ 

Out[32]= 0.00099021026

In[33]:= m12 =  $\frac{\ln \theta 2[7] - \ln \theta 2[35]}{\text{QuantityMagnitude}[\tau[35] - \tau[7]]}$ 

Out[33]= 0.00098604531
```


$$\text{In[34]:= } m21 = \frac{\ln \tau_{[13]} - \ln \tau_{[35]}}{\text{QuantityMagnitude}[\tau_{[35]} - \tau_{[13]}]}$$

Out[34]=
0.00021272142

$$\text{In[35]:= } m22 = \frac{\ln \tau_{[13]} - \ln \tau_{[35]}}{\text{QuantityMagnitude}[\tau_{[35]} - \tau_{[13]}]}$$

Out[35]=
0.00020005626

$$\text{In[36]:= } m31 = \frac{\ln \tau_{[11]} - \ln \tau_{[35]}}{\text{QuantityMagnitude}[\tau_{[35]} - \tau_{[11]}]}$$

Out[36]=
0.00028161992

$$\text{In[37]:= } m32 = \frac{\ln \tau_{[11]} - \ln \tau_{[35]}}{\text{QuantityMagnitude}[\tau_{[35]} - \tau_{[11]}]}$$

Out[37]=
0.00029025558

Найдем коэффициенты формы калориметров 1 и 2

$$\text{In[38]:= } K1 = \left(\frac{5.783}{(D1/2)^2} + \frac{9.87}{Z1^2} \right)^{-1}$$

Out[38]=
0.000058142352 m²

$$\text{In[39]:= } K2 = \left(\frac{5.783}{(D2_{inner}/2)^2} + \frac{9.87}{Z2_{inner}^2} \right)^{-1}$$

Out[39]=
0.000031478764 m²

Найдем коэффициент температуропроводности исследуемого материала для калориметра №1, используя темп нагрева $m_{\infty} = m1$ и число Фурье (при $\tau = \tau_{35}$)

$$\text{In[40]:= } a1 = \text{Quantity} \left[\text{QuantityMagnitude}[K1 * m11], \frac{\text{"Meters"}^2}{\text{"Seconds"}} \right]$$

Out[40]=
 $5.7573153 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\text{In[41]:= } Fo = a1 * \frac{\tau_{[35]}}{(D1/2)^2}$$

Out[41]=
0.24828422

Определим значения коэффициента неравномерности температурного распределения ψ_2 для калориметра № 2

Для этого найдем M и воспользуемся таблицей зависимости $\psi(M)$:

```
In[42]:= M2 = QuantityMagnitude[m21 *  $\frac{K2}{a1}$ ]
```

[модуль размерной величины]

Out[42]=

0.11630781

```
In[43]:= M21 = 0.110;  $\psi$ 21 = 0.918; M22 = 0.123;  $\psi$ 22 = 0.905;
```

Проинтерполируем и найдем наше значение ψ_2 :

```
In[44]:= M $\psi$  = Interpolation[{{0.110, 0.918}, {0.123, 0.905}}, InterpolationOrder -> 1]
```

[интерполировать]

[порядок интерполяции]

Out[44]=

InterpolatingFunction[ Domain: {{0.11, 0.123}}
Output: scalar]

```
In[45]:=  $\psi$ 2 = M $\psi$ [M2]
```

Out[45]=

0.91169219

Полная теплоемкость калориметра №2 равна сумме теплоемкостей исследуемого материала и оболочки калориметра с учетом коэффициента неравномерности температурного поля, т.е. $C_2 = C_{2,и} + \psi_2 C_{2,об}$, при этом площади внешних поверхностей калориметров № 2 и № 3 и коэффициенты теплоотдачи с наружных поверхностей равны.

Найдем теплоемкость исследуемого материала:

```
In[46]:= C2i = (ccuprum * Mcuprum *  $\frac{m31}{m21}$  - ccuprum * Mob) *  $\psi$ 2
```

Out[46]=

82.310305 J/K

Найдем теплоемкость оболочки калориметра:

```
In[47]:= C2ob = ccuprum * Mob *  $\psi$ 2
```

Out[47]=

25.955877 J/K

Найдем полную теплоемкость калориметра № 2: (можно так же просто сложить теплоемкость исследуемого материала и оболочки калориметра № 2)

```
In[48]:= C2 = ccuprum * Mcuprum *  $\frac{m31}{m21}$  *  $\psi2$ 
Out[48]= 108.26618 J/K
```

Рассчитаем коэффициент теплопроводности

$\lambda = a * c_{2,и} * \rho_{2,и} = | C_{2,и} = c_{2,и} * M_{2,и} | = a * \frac{C_{2,u}}{V_{2,u}}$, где a -коэффициент

температуропроводности исследуемого материала, определенный в эксперименте с калориметром №1 ($a=a1$) (m^2 / s);

$\rho_{2,и}$ - плотность исследуемого материала (kg / m^3); $V_{2,и}$ -объем исследуемого материала, определяемый по внутренним размерам калориметра № 2 (m^3);

Сначала найдем объем исследуемого материала:

```
In[49]:= V2i =  $\pi * \left( \frac{D2inner}{2} \right)^2 * Z2inner$ 
Out[49]= 0.000034176972 m^3
```

Теперь найдем коэффициент теплопроводности λ (с учетом оболочки):

```
In[60]:=  $\lambda_{withBoundryLayerIncluded} = \text{UnitConvert} \left[ a1 * \frac{C2i}{V2i}, \frac{\text{"Watts"}}{\text{"Meters"} * \text{"Kelvins"}} \right]$ 
Out[60]= 0.13865663 W/ (mK)
```

Теперь найдем коэффициент теплопроводности λ (без учета оболочки):

```
In[59]:= V2 =  $\pi * \left( \frac{D2}{2} \right)^2 * Z2;$ 
 $\lambda_{withBoundryLayerNotIncluded} = \text{UnitConvert} \left[ a1 * \frac{C2}{V2}, \frac{\text{"Watts"}}{\text{"Meters"} * \text{"Kelvins"}} \right]$ 
Out[59]= 0.17003351 W/ (mK)
```

Проверим выполнение условия о стремлении числа Био к бесконечности ($Bi \rightarrow \infty$) для калориметра № 1. Для этого решим для точки $r=0$ уравнение (1) относительно μ_1

Уравнение (1): $\theta = \frac{t_{\text{ж}} - t_{r=0}}{t_{\text{ж}} - t_0} = \frac{2 J_1(\mu_1)}{\mu_1 (J_0^2(\mu_1) + J_1^2(\mu_1))} * e^{-\mu_1^2 * Fo}$, где J_0, J_1 – функции

Бесселя первого рода нулевого и первого порядка соответственно.

$t_{\text{ж}}$ – температура водяной камеры в τ_0 , $t_{r=0}$ – температура t_2 в τ_0 ,

t_0 – температура t_1 в τ_0

```
In[61]:=  $\theta = \frac{44.3 - 25.1}{44.3 - 22.1}$ 
Out[61]= 0.86486486
```

Решим уравнение (1) численно относительно μ_1 :

```
In[85]:= FindRoot[ $\theta == \frac{2 * \text{BesselJ}[1, \mu_1]}{\mu_1 * ((\text{BesselJ}[0, \mu_1])^2 + (\text{BesselJ}[1, \mu_1])^2)} * \text{Exp}[-\mu_1^2 * Fo]$ , { $\mu_1$ , 3}];  $\mu_1$ 
|найти корень |показательная функция
Out[85]= 3.24246
```

Имеем $\mu_1 = 3.24246$. При $\mu_1 > 2.405$ $Bi \rightarrow \infty$. Условие выполнено.

Определим температуру отнесения для a и λ по формуле (2)

Формула (2): $t_{\text{отн}} = \frac{t_{k,2} + t_{\text{ж}}}{2}$, где $t_{\text{ж}}$ – температура среды в термостате (°C); $t_{k,2}$ – температура калориметра № 2 в начале эксперимента (°C)

```
In[87]:= tRelative = UnitConvert[ $\frac{t8[[1]] + t2[[1]]}{2}$ , "DegreesCelsius"]
|преобразовать единицы измерения
Out[87]= 33.2 °C
```

Построим распределение температуры по сечению калориметра № 1 на стадии регулярного режима. Выбираем $\tau[7], \tau[15], \tau[25]$ как три момента времени при наступлении регулярного режима.

```
In[100]:= t1 $\tau$  = {t8[[7]], t1[[7]], t2[[7]], t1[[7]], t2[[7]]};
t2 $\tau$  = {t8[[15]], t1[[15]], t2[[15]], t1[[15]], t8[[15]]};
t3 $\tau$  = {t8[[25]], t1[[25]], t2[[25]], t1[[25]], t8[[25]]};
r = {-0.02, -0.02 * 0.707, 0, 0.02 * 0.707, 0.02};
```

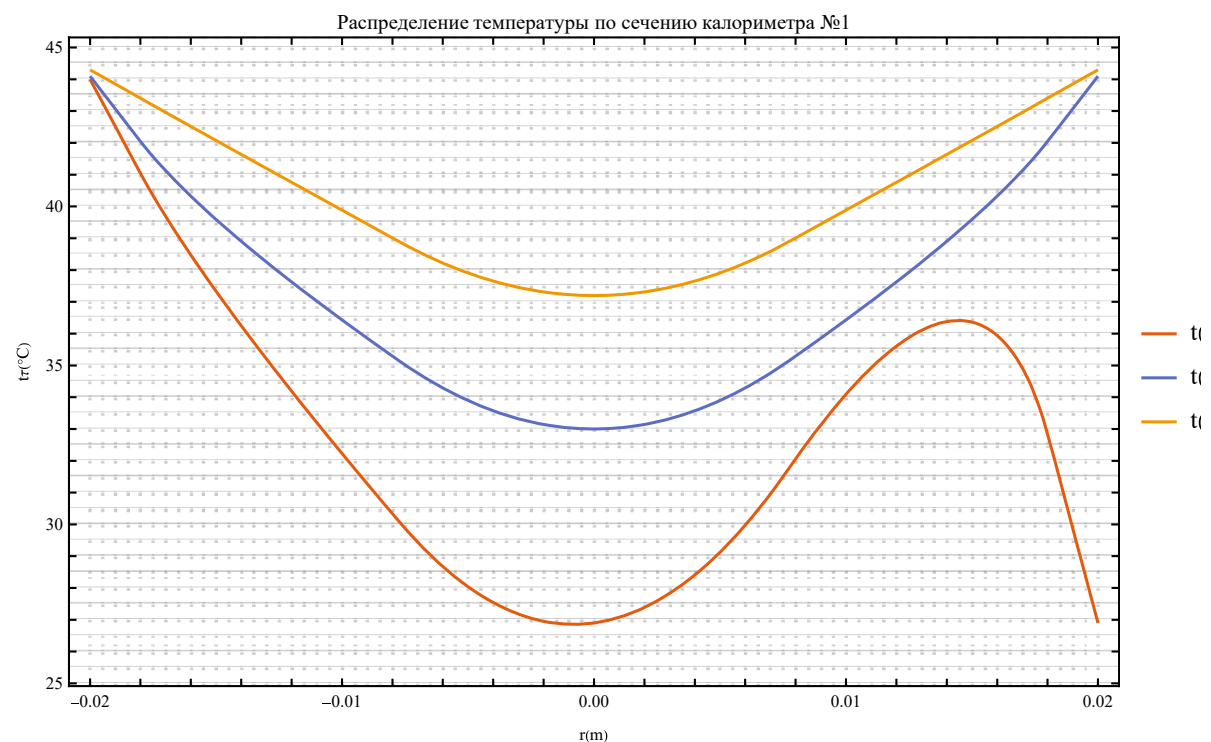
In[134]:=

```

ListLinePlot[{Table[{r[[i]], t1[[i]]}, {i, 1, Length[t1]}],
  линейный графич... | таблица значений | длина
  Table[{r[[i]], t2[[i]]}, {i, 1, Length[t2]}],
  таблица значений | длина
  Table[{r[[i]], t3[[i]]}, {i, 1, Length[t3]}]}, InterpolationOrder → Automatic,
  таблица значений | длина | порядок интерполяции | автоматический
  PlotLabel → "Распределение температуры по сечению калориметра №1",
  пометка графика
  PlotTheme → "Scientific", PlotLegends → {"t (τ=τ7)", "t (τ=τ15)", "t (τ=τ25)"},
  тематический стиль графика | легенды графика
  ImageSize → Large, GridLines → {Range[-0.02, 0.02, 0.0005], Range[25, 45, 0.5]},
  размер изоб... | круп... | линии координат... | диапазон | диапазон
  Frame → True, FrameLabel → {"r(m)", "t(°C)"}]
  рамка | ист... | пометка для обрамления

```

Out[134]=



Определим погрешности измерения тепловых свойств материала(λ и a)

In[162]:=

```

Δt = Quantity[0.1, "DegreesCelsius"];
  размерная величина
Δt1 = Quantity[QuantityMagnitude[t8[[7]] - t1[[7]]], "DegreesCelsius"]
  размерна... | модуль размерной величины

```

Out[162]=

7.6 °C

In[163]:=

```

Δt2 = Quantity[QuantityMagnitude[t8[[35]] - t1[[35]]], "DegreesCelsius"]
  размерна... | модуль размерной величины

```

Out[163]=

1.9 °C

In[140]:=

$$\Delta\theta_1 = \frac{\Delta\Delta t}{\Delta t_1}$$

Out[140]=

0.013157895

In[141]:=

$$\Delta\theta_2 = \frac{\Delta\Delta t}{\Delta t_2}$$

Out[141]=

0.052631579

In[142]:=

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2$$

Out[142]=

0.065789474

In[144]:=

$$\Delta\Delta\tau = 1;$$

$$\Delta m_1 =$$

$$\sqrt{\left(\frac{\Delta\theta}{\text{QuantityMagnitude}[\tau[35] - \tau[7]]}\right)^2 + \left(\frac{\text{Exp}[\ln\theta_1[7]] - \text{Exp}[\ln\theta_1[35]]}{(\text{QuantityMagnitude}[\tau[35] - \tau[7]])^2} * \Delta\Delta\tau\right)^2}$$

Out[144]=

0.000047082382

Определим погрешность вычисления коэффициента температуропроводности:

In[145]:=

$$\delta a = \frac{\Delta m_1}{m_{11}}$$

Out[145]=

0.047547863

Табличное значение коэффициента теплопроводности

In[148]:=

$$\lambda_{\text{Standard}} = \text{Quantity}\left[0.18, \frac{\text{"Watts"}}{\text{"Meters"} * \text{"Kelvins"}}\right]$$

[размерная величина]

Out[148]=

0.18 W / (m K)

Разница если не учитывать оболочку:

In[156]:=

$$\Delta\lambda_{\text{withBoundryLayerNotIncluded}} = \text{Abs}[\lambda_{\text{Standard}} - \lambda_{\text{withBoundryLayerNotIncluded}}]$$

[абсолютное значение]

Out[156]=

0.0099664853 W / (m K)

Найдем погрешность коэффициента теплопроводности в случае если оболочка не учитывается:

```
In[157]:=

$$\delta\lambda_{\text{withBoundaryLayerNotIncluded}} = \frac{\Delta\lambda_{\text{withBoundaryLayerNotIncluded}}}{\lambda_{\text{withBoundaryLayerNotIncluded}}}$$

Out[157]=
0.058614828
```

Найдем погрешность коэффициента теплопроводности в случае если оболочка учитывается:

```
In[158]:=

$$\Delta\lambda_{\text{withBoundaryLayerIncluded}} = \text{Abs}[\lambda_{\text{Standard}} - \lambda_{\text{withBoundaryLayerIncluded}}]$$

Out[158]=
0.041343369 W/(m K)
In[159]:=

$$\delta\lambda_{\text{withBoundaryLayerIncluded}} = \frac{\Delta\lambda_{\text{withBoundaryLayerIncluded}}}{\lambda_{\text{withBoundaryLayerIncluded}}}$$

Out[159]=
0.29817087
```

Вывод:

- 1) Углублены знания о процессе нестационарной теплопроводности в твердых телах. Изучено влияние начального теплового состояния и условий теплообмена тела с окружающей средой на вид распределения температуры в теле.
- 2) Произведено ознакомление с нестационарными методами экспериментального определения теплофизических свойств материалов.
- 3) Освоен метод регулярного теплового режима, его экспериментальная реализация при определении коэффициентов теплопроводности и температуропроводности в условиях нагревания/охлаждения тела.
- 4) Произведен анализ полученных результатов и их сравнение со справочными данными.