

Первичная обработка данных эксперимента в CAS Wolfram Mathematica 14

Входные данные(результаты эксперимента)

Un-падение напряжения на нормальном сопротивлении(mV)

Ut-падение напряжения на нити(V)

T2-температура блока(°C)- и сразу переведем T2 в Кельвины(Kelvins)

```
In[36]:= Un = Quantity[{38.7, 63.4, 85.7, 102.8, 127.5, 140.3, 148.8, 162.9, 174.4, 181.3}, "Millivolts"];
           |размерная величина
Ut = Quantity[{0.12, 0.19, 0.31, 0.38, 0.51, 0.62, 0.7, 0.82, 0.98, 1.03}, "Volts"];
           |размерная величина
T2 = Quantity[{19.7, 19.7, 19.7, 19.8, 19.9, 20.2, 20.5, 20.9, 21.4, 22.}, "DegreesCelsius"];
           |размерная величина
T2 = UnitConvert[T2, "Kelvins"]
           |преобразовать единицы измерений

Out[39]= { 292.85 K , 292.85 K , 292.85 K , 292.95 K , 293.05 K , 293.35 K , 293.65 K , 294.05 K , 294.55 K , 295.15 K }
```

Нормальное сопротивление(нагрузка)

```
In[40]:= Rn = Quantity[0.1, "Ohms"];
           |размерная величина
```

Найдем силу тока через нить:

```
In[41]:= i = UnitConvert[ $\frac{Un}{Rn}$ , "Amperes"]
           |преобразовать единицы измерений

Out[41]= { 0.387 A , 0.634 A , 0.857 A , 1.028 A , 1.275 A , 1.403 A , 1.488 A , 1.629 A , 1.744 A , 1.813 A }
```

Найдем сопротивление нити:

```
In[42]:= Rt = UnitConvert[ $\frac{Ut}{i}$ , "Ohms"]
           |преобразовать единицы измерения

Out[42]= { 0.31007752 Ω , 0.29968454 Ω , 0.36172695 Ω , 0.36964981 Ω ,
           0.4 Ω , 0.44191019 Ω , 0.47043011 Ω , 0.5033763 Ω , 0.56192661 Ω , 0.56811914 Ω }
```

Rzero-сопротивление платиновой нити при 0°C(Ohms)

Найдем Rttilda-изменение сопротивления нити относительно Rzero;

$R_{ttilda} = \frac{R_t - R_{zero}}{R_{zero}}$, безразмерная величина

```
In[43]:= Rzero = Quantity[0.28736, "Ohms"];
           |размерная величина

Rttilda =  $\frac{R_t}{R_{zero}} - 1$ 

Out[44]= { 0.079055956, 0.042888859, 0.25879369, 0.28636486,
           0.39198218, 0.53782779, 0.63707582, 0.75172712, 0.95547956, 0.9770293 }
```

Найдем температуру нити T1 по градуировочной зависимости для платинового термометра сопротивления, сначала в Цельсиях(°C)

```
In[45]:= T1 = Quantity[252 * Rttilda *  $\frac{2}{1 + \sqrt{1 - 0.1485 * Rttilda}}$ , "DegreesCelsius"]
```

размерная величина

```
Out[45]= { 19.980917 °C , 10.825257 °C , 65.854924 °C , 72.9479 °C , 100.26041 °C ,  
138.35254 °C , 164.53117 °C , 195.03939 °C , 249.98752 °C , 255.85533 °C }
```

Перевод T1 из °C(Degrees Celsius) в Кельвины(Kelvins)

```
In[46]:= T1 = UnitConvert[T1, "Kelvins"]
```

преобразовать единицы измерений

```
Out[46]= { 293.13092 K , 283.97526 K , 339.00492 K , 346.0979 K , 373.41041 K ,  
411.50254 K , 437.68117 K , 468.18939 K , 523.13752 K , 529.00533 K }
```

Обозначим длину нити за l(mm)

```
In[47]:= l = Quantity[81.5, "Millimeters"];
```

размерная величина

Вычислим линейную плотность теплового потока ql(W/m)

```
In[48]:= ql = UnitConvert[ $\frac{i * Ut}{l}$ , "Watts"  
"Meters"]
```

преобразовать единицы измерений

```
Out[48]= { 0.56981595 W/m , 1.4780368 W/m , 3.2597546 W/m , 4.7931288 W/m , 7.9785276 W/m ,  
10.673129 W/m , 12.780368 W/m , 16.389939 W/m , 20.970798 W/m , 22.912761 W/m }
```

Вычислим радиационную составляющую теплового потока qlr(W/m)

Для этого введем константы:

c0-константа Стефана – Больцмана($W / (m^2 * K^4)$)

eps-степень черноты платиновой нити(безразмерная величина)

d1-диаметр нити(mm)

```
In[49]:= c0 = Quantity[5.67 * 10^-8,  $\frac{\text{"Watts"}}{(\text{"Meters"})^2 * (\text{"Kelvins"})^4}$ ];
```

размерная величина

```
eps = (Quantity[0.00013,  $\frac{1}{\text{"Kelvins"}}$ ] * T1 - 0.0025);
```

размерная величина

```
d1 = Quantity[0.189, "Millimeters"];
```

размерная величина

```
qlr = UnitConvert[Abs[eps * c0 * (T1^4 - T2^4) * pi * d1],  $\frac{\text{"Watts"}}{\text{"Meters"}}$ ]
```

преобразовать абсолютное значение

```
Out[52]= { 0.000033878864 W/m , 0.00098702106 W/m , 0.0081909216 W/m , 0.0099898571 W/m , 0.018705341 W/m ,  
0.036514718 W/m , 0.053589202 W/m , 0.079722512 W/m , 0.1485772 W/m , 0.15779437 W/m }
```

Найдем кондуктивную(теплопроводностную) составляющую плотности теплового потока(W/m) как разность всей плотности теплового потока и плотного его

радиационной составляющей

```
In[53]:= qlambda = q1 - q1r
```

```
Out[53]= { 0.56978207 W/m , 1.4770498 W/m , 3.2515637 W/m , 4.783139 W/m , 7.9598223 W/m ,  
10.636614 W/m , 12.726779 W/m , 16.310216 W/m , 20.82222 W/m , 22.754966 W/m }
```

```
In[54]:= T1
```

```
Out[54]= { 293.13092 K , 283.97526 K , 339.00492 K , 346.0979 K , 373.41041 K ,  
411.50254 K , 437.68117 K , 468.18939 K , 523.13752 K , 529.00533 K }
```

Покажем зависимость кондуктивной части плотности теплового потока от температуры нити $q_{\text{lambda}}(T_1)$ в виде таблицы

```
In[55]:= qlambdaT1 = Range[Length[T1]];
```

диап... длина

```
For[i = 1, i ≤ Length[T1], i++, qlambdaT1[[i]] = {T1[[i]], qlambda[[i]]}]
```

цикл ДЛЯ

длина

```
MatrixForm[qlambdaT1]
```

матричная форма

```
Out[56]//MatrixForm=
```

293.13092 K	0.56978207 W/m
283.97526 K	1.4770498 W/m
339.00492 K	3.2515637 W/m
346.0979 K	4.783139 W/m
373.41041 K	7.9598223 W/m
411.50254 K	10.636614 W/m
437.68117 K	12.726779 W/m
468.18939 K	16.310216 W/m
523.13752 K	20.82222 W/m
529.00533 K	22.754966 W/m

В CAS Origin проведем линейную регрессию данной зависимости

в форме $q_{\text{lambda}}(T_1) = \text{Intercept} + B_1 * T_1 + B_2 * T_1^2$,

где {Intercept, B1, B2} коэффициенты регрессии.

CAS Origin также выдает погрешности определения коэффициентов регрессии ({InterceptERR, B1ERR, B2ERR}) (см. приложение)

```
In[57]:= Intercept = -2.56339; B1 = -0.03593; B2 = 1.60074 * 10-4;
```

```
InterceptERR = 10.03729; B1ERR = 0.04936; B2ERR = 5.87001 * 10-5;
```

Используя коэффициенты B1 , B2 регрессии получим примерную аналитическую зависимость коэффициента теплопроводности λ от температуры нити T1
d2-внешний диаметр цилиндрического слоя воздуха(m)

*Техническая справка:

QuantityMagnitude убирает размерность величины-это упрощает вычисления и не захламляет файл обработки, иначе пришлось бы явно присваивать размерность каждому коэффициенту регрессии , например $B1(\frac{W}{M \cdot K})$, $B2(\frac{W^2}{m^2 \cdot K^2})$ и прочие

```
In[58]:= d2 = Quantity[0.0025, "Meters"]; A =  $\frac{1}{2 * \pi}$  * Log[ $\frac{d2}{d1}$ ]; B = B1 ; Unprotect[C]; C = 2 * B2;
```

```
 $\lambda[T1] = \text{Quantity}[A (B + C * \text{QuantityMagnitude}[T1]), \frac{\text{"Watts"}}{\text{"Meters" * "Kelvins"}}];$ 
```

```
In[60]:= T1
```

```
Out[60]=
```

```
{ 293.13092 K , 283.97526 K , 339.00492 K , 346.0979 K , 373.41041 K ,  
411.50254 K , 437.68117 K , 468.18939 K , 523.13752 K , 529.00533 K }
```

```
In[61]:=  $\lambda[T1]$ 
```

```
Out[61]=
```

```
{ 0.023802348 W/ (mK) , 0.02259768 W/ (mK) , 0.029838277 W/ (mK) , 0.030771544 W/ (mK) , 0.034365221 W/ (mK) ,  
0.039377241 W/ (mK) , 0.042821726 W/ (mK) , 0.046835883 W/ (mK) , 0.05406575 W/ (mK) , 0.054837815 W/ (mK) }
```

Составим таблицу зависимости коэффициента теплопроводности воздуха λ от температуры нити T1

```
In[62]:= T1 $\lambda$  = Range[Length[T1]]; For[i = 1, i <= Length[T1], i++, T1 $\lambda$ [[i]] = {T1[[i]],  $\lambda$ [T1][[i]]}]
```

```
In[63]:= MatrixForm[T1 $\lambda$ ]
```

```
Out[63]//MatrixForm=
```

```
( 293.13092 K  0.023802348 W/ (mK)  
283.97526 K  0.02259768 W/ (mK)  
339.00492 K  0.029838277 W/ (mK)  
346.0979 K   0.030771544 W/ (mK)  
373.41041 K  0.034365221 W/ (mK)  
411.50254 K  0.039377241 W/ (mK)  
437.68117 K  0.042821726 W/ (mK)  
468.18939 K  0.046835883 W/ (mK)  
523.13752 K  0.05406575 W/ (mK)  
529.00533 K  0.054837815 W/ (mK) )
```

Посчитаем погрешность определения коэффициента теплопроводности воздуха
 σ_i -абсолютная погрешность определения величины i

```
In[64]:=  $\sigma_B = B1ERR$ ;  $\sigma_C = 2 * B2ERR$ ;  $\sigma_\lambda = A * \sqrt{\sigma_B^2 + \text{QuantityMagnitude}[T1]^2 * \sigma_C^2}$ ;
```

```
In[65]:= T1λσλ = Range[Length[T1]];
```

|диап... |длина

```
For[i = 1, i ≤ Length[T1], i++, T1λσλ[[i]] = {T1[[i]], λ[T1][[i]],  $\frac{\sigma\lambda[[i]]}{\text{QuantityMagnitude}[\lambda[T1][[i]]]}$ }];
```

|цикл ДЛЯ |длина

Составим таблицу $T1$, λ , σ_λ

```
In[66]:= MatrixForm[T1λσλ]
```

|матричная форма

```
Out[66]//MatrixForm=
```

293.13092 K	0.023802348 W/(mK)	1.0389714
283.97526 K	0.02259768 W/(mK)	1.0832966
339.00492 K	0.029838277 W/(mK)	0.87334732
346.0979 K	0.030771544 W/(mK)	0.85388451
373.41041 K	0.034365221 W/(mK)	0.7895181
411.50254 K	0.039377241 W/(mK)	0.72086639
437.68117 K	0.042821726 W/(mK)	0.68383872
468.18939 K	0.046835883 W/(mK)	0.64826049
523.13752 K	0.05406575 W/(mK)	0.59895462
529.00533 K	0.054837815 W/(mK)	0.59455496

Сравним значения λ из эксперимента со значениями из справочников(см. приложения)
Для экономии пространства приведем лишь несколько значений λ в форме таблицы

```
In[67]:= TableLambda = Quantity[{26.2, 30, 33.8, 37.3, 40.7, 43.9} * 10-3,  $\frac{\text{"Watts"}}{\text{"Meters"} * \text{"Kelvins"}}$ ];
```

|размерная величина

```
TableT1 = Quantity[{300, 350, 400, 450, 500, 550}, "Kelvins"];
```

|размерная величина

```
In[69]:= T1Lambda = Range[6]; For[i = 1, i ≤ 6, i++, T1Lambda[[i]] = {TableT1[[i]], TableLambda[[i]]}];
```

|диапазон |цикл ДЛЯ

```
In[70]:= MatrixForm[T1Lambda] // N
```

|матричная форма |численное приближение

```
Out[70]//MatrixForm=
```

300. K	0.0262 W/(mK)
350. K	0.03 W/(mK)
400. K	0.0338 W/(mK)
450. K	0.0373 W/(mK)
500. K	0.0407 W/(mK)
550. K	0.0439 W/(mK)

Зависимость $\lambda(T)$ построим в CAS OriginPro, там же сравним с табличными значениями, см. приложение