

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЗАДАЧА**Теоретична част**

С промяна на температурата съпротивлението на материалите се променя, като за проводниците то е пропорционално на температурата. В случай на волфрамова нагреваема жичка от електрическа крушка връзката между температурата и съпротивлението е:

$$T / 300 = (R(T) / R(300))^b, \quad (1)$$

където T е абсолютната температура в K , стайната температура е приета за $300 K$, $R(T)$ е съпротивлението на жичката при температура T , $R(300)$ е съпротивлението ѝ при стайна температура, а b е константа.

В работно състояние входната електрическа мощност е равна на мощността, отделена от жичката чрез топлопроводност и излъчване:

$$P = K(T - T_0) + \sigma AT^4, \quad (2)$$

където T_0 е стайната температура, σ - константа на Стефан-Болцман, A - площта на жичката, K е константа, чиято големина зависи от топлообмена чрез топлопроводност през крачетата на жичката.

При високи температури (над около $1000 K$) доминира топлообменът чрез излъчване, при което изразът (2) се свежда до познатия закон на Стефан-Болцман:

$$P = \sigma AT^4. \quad (3)$$

Уреди и материали

- Схема с цокъл за лампа и потенциометър 1 бр.
- Лампа с нагреваема жичка 1 бр.
- Мултицет 2 бр.
- Батерия 9 V 1 бр.
- Линия 1 бр.
- Електронно-микроскопска снимка на жичката 1 бр.
- Милиметрова хартия. 1 л.

Указания

- Когато сте включили мултицета в режим на волтметър, при превключване между обхватите НЕ минавайте през тези за измерване на ток.
- Изключвайте мултицетите и батерията, когато не ги използвате продължително време.
- Не подавайте на лампата напрежение по-голямо от 6V.

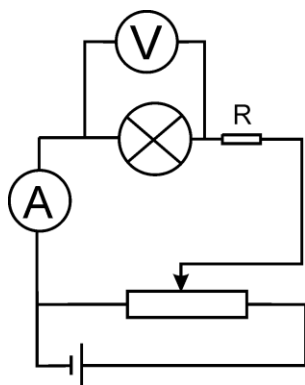
Необходими константи:

- Специфично съпротивление на волфрам – $\rho = (5.4 \pm 0.1) \times 10^{-8} \Omega m$
- Температура на топене на волфрам – $T = (3695 \pm 10) K$

Задачи

1. Да се изследва волт-амперната характеристика на лампа с нагреваема жичка.

- 1.1. Начертайте схема, по която ще направите измерванията, като обозначите мястото и начина на свързване на измерителните прибори. Отбележете обхвата на уредите, при който ще работите.



На фигурата е дадена примерна схема на свързване на лампата [1.5 т.]

Обхват на уредите [0.5 т.]:

Волтметър – 20 V

Амперметър – 200 mA

- 1.2. Получете експериментално волт-амперната характеристика на електрическата лампа. Представете данните таблично и оценете грешката на единичното измерване.

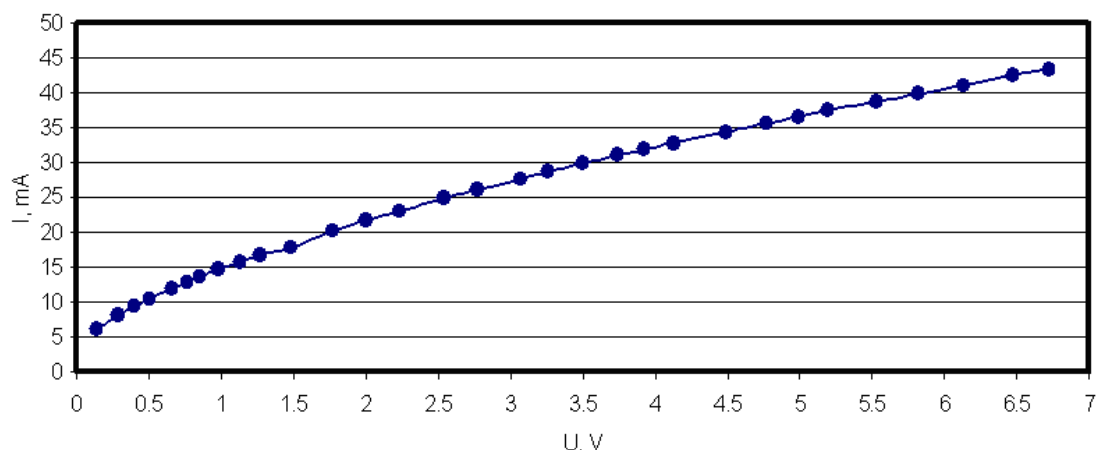
U, V	I, mA	I, A
6.72	43.4	0.0434
6.47	42.5	0.0425
6.13	41.1	0.0411
5.82	39.9	0.0399
5.53	38.8	0.0388
5.19	37.5	0.0375
4.99	36.6	0.0366
4.77	35.7	0.0357
4.49	34.4	0.0344
4.13	32.8	0.0328
3.92	31.9	0.0319
3.74	31.1	0.0311
3.50	29.9	0.0299
3.26	28.7	0.0287
3.07	27.7	0.0277
2.77	26.1	0.0261

U, V	I, mA	I, A
2.54	24.9	0.0249
2.23	23.1	0.0231
2.00	21.8	0.0218
1.77	20.3	0.0203
1.48	17.85	0.01785
1.27	16.83	0.01683
1.13	15.8	0.0158
0.98	14.71	0.01471
0.85	13.65	0.01365
0.76	12.85	0.01285
0.66	11.98	0.01198
0.50	10.44	0.01044
0.40	9.48	0.00948
0.28	8.16	0.00816
0.14	6.20	0.0062

Минимум 10 измервания [1.5 т.]

Абсолютни грешки на единичните измервания [0.5 т.]: $\Delta U = \pm 0.01 \text{ V}$;
 $\Delta I = \pm 0.1 \text{ mA}$.

- 1.3. Представете графично получените експериментални данни. [1.5 т.]



2. Определяне на температурната зависимост на съпротивлението на нагреваемата жичка.

2.1. Определете съпротивлението на лампата при стайна температура. Оценете абсолютната грешка на вашето измерване. [0.5 т.]

От директното измерване на съпротивлението с омметър се получава

$$R_{300} = (16.6 \pm 0.1) \Omega$$

2.2. Получете израз за зависимостта на излъчената мощност на жичката от съпротивлението. [0.5 т.]

При заместване на ур. (1) в (3) се получава

$$P = \sigma A [300(R(T)/R(300))^b]^4$$

2.3. Преобразувайте израза от т. 2.2, така че зависимостта между величините да е линейна. [2 т.]

$$\ln(P) = \ln(\sigma A) + 4 \ln(300(R(T)/R(300))^b) = \ln(\sigma A) + 4 \ln(300) + 4b \ln(R(T)/R(300))$$

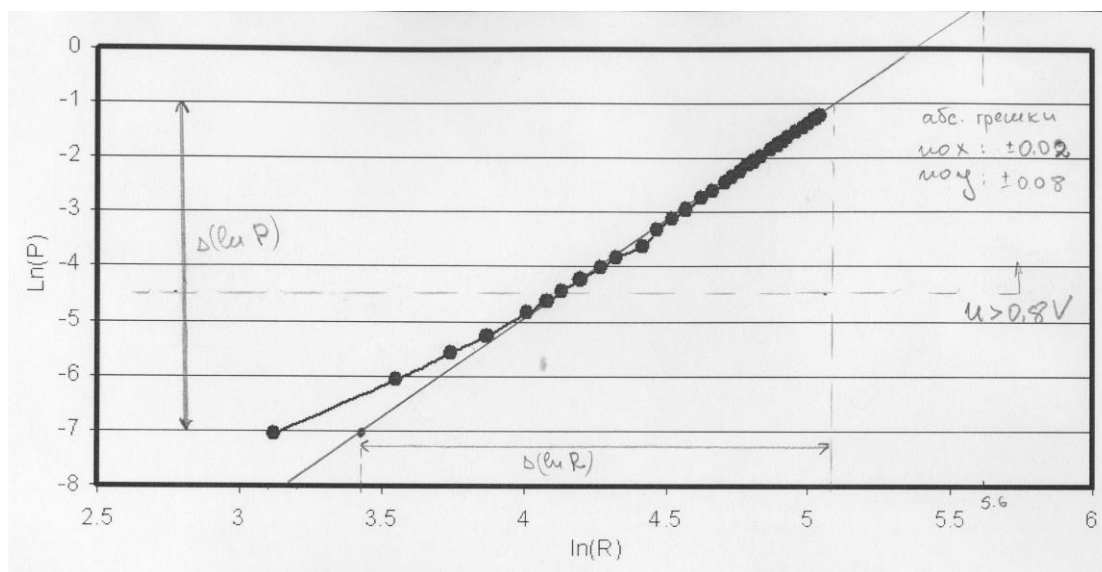
$$\ln(P) = M + 4b \ln(R(T)), \text{ където } M = \ln(\sigma A) + 4 \ln(300) - 4b \ln(R(300))$$

2.4. Представете зависимостта от т. 2.3 таблично и графично.

Използва се, че $P = U \cdot I$ и $R = U / I$ За таблицата [1 т.]

$\ln(P)$	$\ln(R)$
-1.23	5.04
-1.29	5.03
-1.38	5.01
-1.46	4.98
-1.54	4.96
-1.64	4.93
-1.70	4.92
-1.77	4.89
-1.87	4.87
-1.99	4.84
-2.08	4.81
-2.15	4.79
-2.26	4.76
-2.37	4.73
-2.46	4.71
-2.63	4.66

$\ln(P)$	$\ln(R)$
-2.76	4.63
-2.97	4.57
-3.13	4.52
-3.33	4.47
-3.63	4.42
-3.85	4.32
-4.03	4.27
-4.24	4.19
-4.46	4.13
-4.63	4.08
-4.84	4.01
-5.26	3.87
-5.57	3.74
-6.06	3.55
-7.05	3.117



За графиката [1 т.]

2.5. Направете оценка за диапазона по напрежение, в който е валиден изразът (3). [1 т.]

Изразът (3) е валиден в линейния участък на графиката, отговарящ на висока температура на жичката, т.е. когато доминира излъчването. За начало на този участък може да се приеме моментът, от който жичката започва да свети. Това се наблюдава при напрежения над 0.8V.

2.6. Определете параметрите на линейната зависимост и степенния показател b , участващ в ур. (1). Определете абсолютната и относителната грешки на величините.

Линейната зависимост може да се опише като $y = ax + B$, където $y = \ln(P)$,

$$x = \ln(R), \quad a = 4b = \frac{\Delta \ln(P)}{\Delta \ln(R)}, \quad B = M.$$

От графиката $a = \frac{6}{1.68} = 3.57$, откъдето $b = \frac{a}{4} = 0.89$ [1 т.]

Свободният член B се пресмята в дадена точка от графиката $B = y - ax = -7 - 3.57 \times 3.42 = -19.2$; [1 т.]

Относителна грешка [0.5 т.]:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta(\Delta \ln(P))}{\Delta \ln(P)} + \frac{\Delta(\Delta \ln(R))}{\Delta \ln(R)} = \frac{0.08}{6} + \frac{0.02}{1.68} = 0.03; \quad \frac{\Delta a}{a} = 3\%$$

$$\frac{\Delta b}{b} = 0.03; \quad \frac{\Delta b}{b} = 3\%$$

$$\Delta B = \Delta y + a\Delta x + x\Delta a = 0.08 + 3.57 \times 0.02 + 3.42 \times 0.1 = 0.5$$

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{0.5}{19.2} = 0.03; \quad \frac{\Delta B}{B} = 3\%$$

Абсолютна грешка [0.5 т.]:

$$a = 3.6 \pm 0.1$$

$$b = 0.89 \pm 0.03$$

$$B = -19.2 \pm 0.5$$

2.7. Използвайки приложената снимка от сканираща електронна микроскопия, определете площта на волфрамовата жичка. Определете абсолютната и относителната грешки.

От снимката може да се определи диаметърът на жичката, който е $d = (10.0 \pm 0.5) \mu m$, Абсолютна грешка $\frac{\Delta d}{d} = 5\%$ [0.5 т.]

Повърхността на жичката е $A = 2\pi r l$, където l е дължината, r е радиусът ѝ. Дължината се намира от израза $R = \rho \frac{l}{S}$, където ρ е специфичното съпротивление на волфрама, а S е напречното сечение на жичката.

$$A = \frac{2\pi^2 r^3 R}{\rho} = 7.5 \times 10^5 \mu m^2 [1 \text{ т.}]$$

Относителна грешка:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta \rho}{\rho} + 3 \frac{\Delta r}{r} = \frac{0.1}{16.6} + \frac{0.1}{5.4} + 3 \frac{0.2}{5} = 0.14, \frac{\Delta A}{A} = 14\% [0.5 \text{ т.}]$$

Абсолютна грешка: $\Delta A = \pm 1.10^5 \mu m^2$

$$A = (7.5 \pm 1) 10^5 \mu m^2$$

2.8. Определете константата на Стефан-Болцман. [1 т.]

Забележка: Поради геометрията на жичката и отклонението на излъчването ѝ от това на абсолютно черно тяло, за стойността на константата на Стефан-Болцман се получава 3.5 пъти по-ниска стойност.

Използвайки получения в т. 2.6 коефициент на линейната зависимост M , константата на Стефан-Болцман се определя от:

$$M = \ln(\sigma A) + 4 \ln(300) - 4b \ln(R(300))$$

$$\ln(\sigma A) = M - 4 \ln(300) + 4b \ln(R(300)) = -19.2 - 22.8 + 10 = -32$$

$$\sigma = \frac{1.26 \times 10^{-14}}{A} = 1.6 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$$

2.9. Определете напрежението, при което волфрамовата нишка ще се разтопи. Определете абсолютната и относителната грешки на резултата.

От ур.(1) и използвайки получената стойност на коефициента b може да се определи съпротивлението на нишката при температурата на топене

$$R_m = 276 \Omega [0.5 \text{ т.}]$$

От графиката се определя мощността, отговаряща на такова съпротивление $P_m = 1.82 W$ [1 т.]

Напрежението за достигане на температура на топене е:

$$U = \sqrt{R_m P_m} = 22 V [0.5 \text{ т.}]$$

Относителна и абсолютна грешки [0.5 т.]

Точността на определяне на съпротивлението R_m е от порядъка на

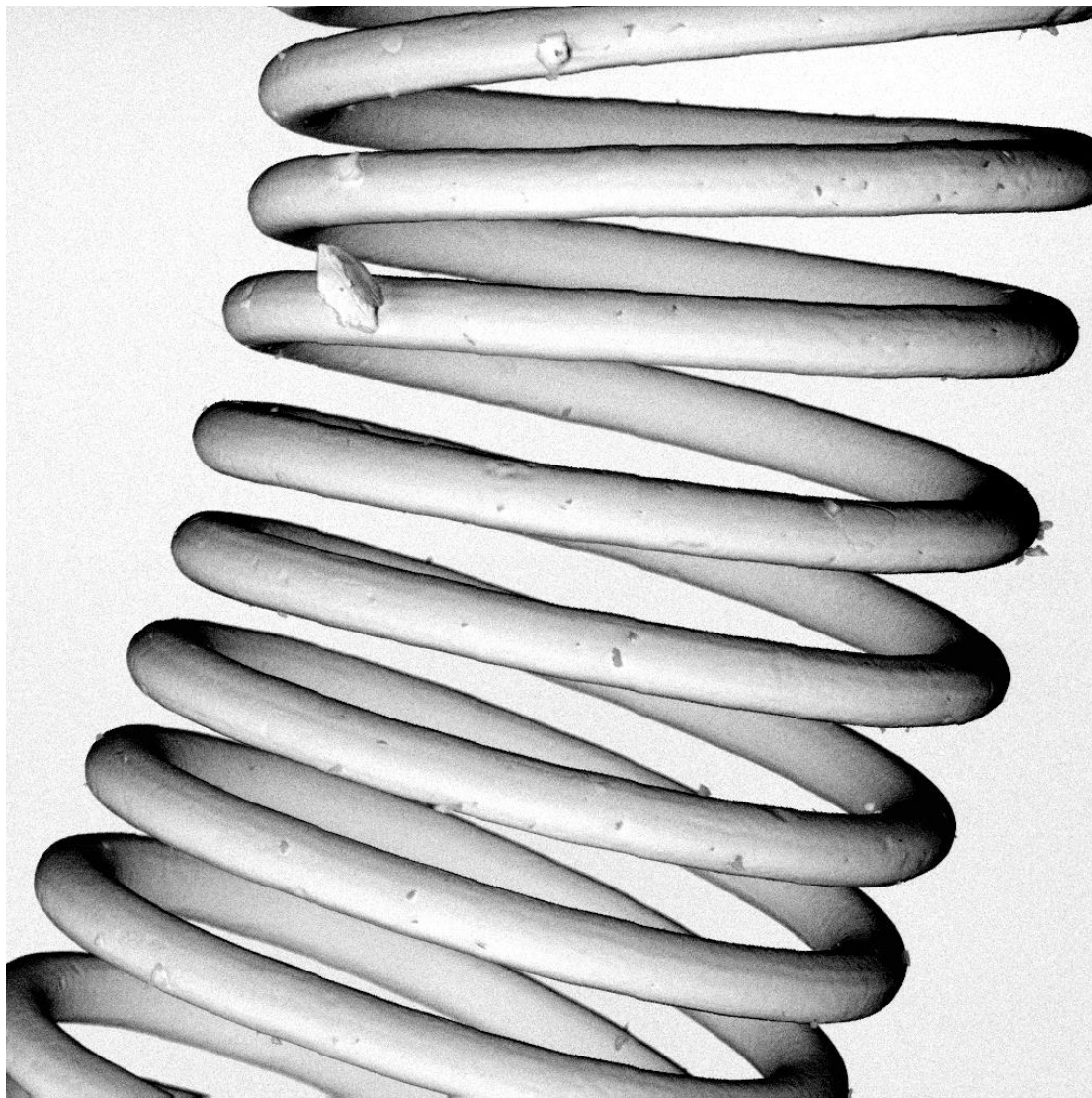
$$\Delta R_m = \pm 10 \Omega$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta P_m}{P_m} + \frac{\Delta R_m}{R_m} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{0.5}{1.82} + \frac{10}{276} \right) = 0.13; \quad \frac{\Delta U}{U} = 13\%$$

$$\Delta U = \pm 3V$$

$$U = (22 \pm 3)V$$

При липса на размерности на величините, включително в таблици, графики и др. се отнемат по ~ 0.25 т.



SU A204 10kV | x.6k | 30mm | SE DN |
EII Labs 03447 | 17.04.13 13:07

50 μ