

熱輻射

斯頌平

摘要

本實驗觀察鎢絲燈的熱輻射功率與其溫度的關係。實驗當中利用熱堆偵測器所測得的鎢絲燈熱輻射功率與其溫度的 4.39 次方成正比，而平均放射率 ϵ_T 的值為 0.11。另外利用能量守恆原理，也就是假設鎢絲燈熱輻射功率等於電源供應器所提供的電功率，所量測到的鎢絲燈熱輻射功率與其溫度的 3.70 次方成正比，而平均放射率的值為 0.14。

原理

當一物體表面溫度為 T 時，就會產生熱輻射，該物體單位面積所輻射出的功率 P 為

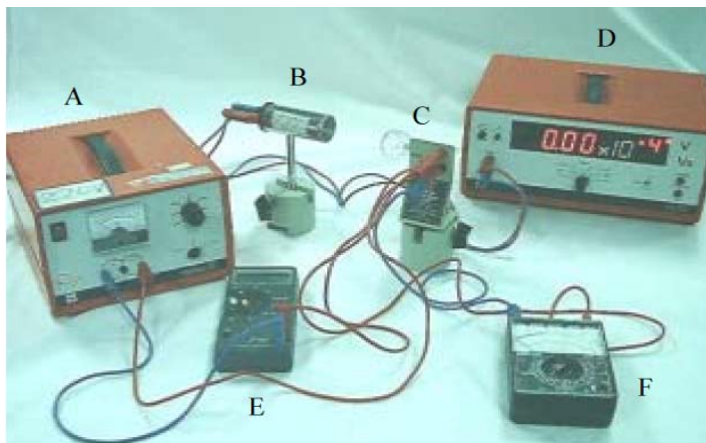
$$P = \epsilon_T \sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

其中 σ 為 Stefan-Boltzmann constant，其值為 $5.6703 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^2\text{)}$ 。而 ϵ_T 為平均放射率，其值介於 0 與 1 之間，依輻射體的表面性質而定。如果 $\epsilon_T=1$ ，稱為黑體輻射。

實驗

本次實驗的實驗裝置連接圖如圖一所示。圖一中 A 為電源供應器，提供電能用來供應鎢絲燈 C 加熱。實驗當中我們用電源供應器調整鎢絲燈的電壓，並用安培計 E 與伏特計 F 量測通過鎢絲燈的電流與兩端的電壓。由此我們可以計算出鎢絲燈在不同溫度下的電阻值與電功率。B 為熱堆輻射偵測器，可以偵測 $0.15 \sim 15 \mu\text{m}$ 波長範圍的熱輻射電磁波，熱堆偵測器面積 $7.854 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ，實驗時熱堆偵測器與鎢絲燈的距離為 6cm。

該實驗除了用熱堆直接偵測鎢絲燈的輻射的功率。我們也利用能量守恆原理來計算鎢絲燈的輻射的功率，也就是假設電源所提供的功率 I^2R ，應該和鎢燈絲



圖一：實驗儀器圖

A：電源供應器

B：熱堆輻射偵測器

C：鎢絲燈泡

D：微伏計

E：安培計

F：伏特計

以熱方式將能量散失在環境的功率相同。這個能量散失的方式包括熱傳導或熱對流以及熱輻射。我們可以得到方程式

$$I^2R = k(T - T_0) + \varepsilon_T \sigma A(T^4 - T_0^4) \quad (2)$$

其中 k 為一常數, A 為輻射體的表面積, 而 T_0 為室溫。當溫度 T 很高時 ($T > 1000\text{K}$) 時, (2) 式中除了 T^4 項外, 其餘可以忽略。因此(2)式變為

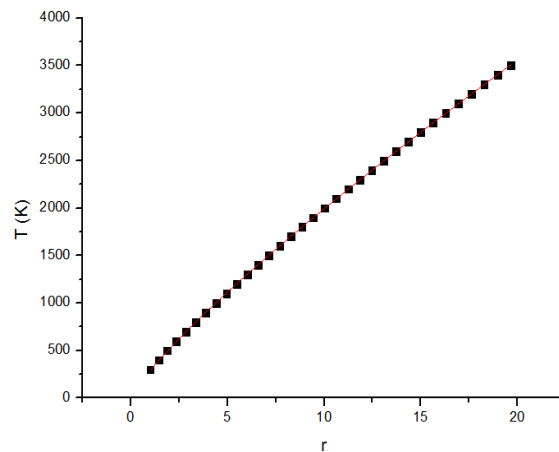
$$I^2R \approx \varepsilon_T \sigma AT^4 \quad (3)$$

結果與討論

鎢絲燈的溫度我們可由其電阻隨溫度而變化而間接得到。表一為講義提供鎢絲燈不同溫度的電阻與室溫時(300K)的電阻比值與溫度的關係。而圖二為溫度與此電阻比值 $r(=R/R_{300\text{K}})$ 的關係圖, 由擬合結果可得

$$T(r) = 290.9 r^{0.841} \quad (4)。$$

因此我們可利用(4)式來計算鎢絲燈在不同電功率下的溫度。此計算結果列在表二中。表二為鎢絲燈兩端的電壓、通過電流、電阻、溫度、電功率及熱堆偵測器量測得功率。最後一欄的功率已除上熱堆偵測器面積。



圖二: 電阻比值 $r(=R/R_{300\text{K}})$ 與溫度關係圖

r	$T(K)$	r	$T(K)$	r	$T(K)$	r	$T(K)$
1.00	300	4.95	1100	9.44	1900	14.34	2700
1.43	400	5.48	1200	10.03	2000	14.99	2800
1.87	500	6.03	1300	10.63	2100	15.63	2900
2.34	600	6.58	1400	11.24	2200	16.29	3000
2.85	700	7.14	1500	11.84	2300	16.95	3100
3.36	800	7.71	1600	12.46	2400	17.62	3200
3.88	900	8.28	1700	13.08	2500	18.28	3300
4.41	1000	8.86	1800	13.72	2600	18.97	3400

電壓 V (Volt)	電流 I (Amp)	電阻 $R=V/I$ (Ω)	溫度 $T(K)$	電功率 $P=IV(W)$	量測功率 $P(mW/m^2)$
2.020	1.02	1.980	766	2.060	1.250
2.510	1.11	2.261	856	2.786	2.186
2.977	1.22	2.443	913	3.636	3.270
3.518	1.3	2.708	995	4.576	4.699
4.095	1.41	2.908	1056	5.781	6.517
4.548	1.49	3.054	1100	6.780	8.050
5.090	1.57	3.242	1156	7.991	9.980
5.496	1.64	3.354	1190	9.020	11.60
6.008	1.71	3.515	1237	10.28	13.68
6.511	1.78	3.657	1279	11.59	15.91
7.058	1.85	3.816	1325	13.06	18.35
7.505	1.92	3.911	1353	14.42	20.58
8.033	1.99	4.035	1389	15.98	23.24
8.546	2.05	4.171	1427	17.53	25.92
9.027	2.11	4.280	1458	19.05	28.46
9.313	2.14	4.350	1479	19.92	30.08
9.582	2.17	4.415	1497	20.79	31.72
9.901	2.2	4.500	1521	21.78	33.62
10.201	2.25	4.533	1530	22.95	35.90
10.553	2.28	4.627	1557	24.05	37.62
10.825	2.31	4.688	1574	25.02	39.36
11.096	2.35	4.723	1584	26.09	41.08
11.407	2.38	4.794	1604	27.16	43.11
11.704	2.41	4.867	1624	28.27	45.13
11.965	2.44	4.906	1635	29.21	46.77

圖三為熱堆偵測器單位面積功率對鎢絲燈溫度的全對數圖。由圖三可得擬合方程式

$$\log P = -6.94 + 4.13 \log T \quad (4),$$

而(1)式兩邊取對數可得

$$\log(P) = \log(\epsilon_T) + \log(\sigma) + 4 \log(T) \quad (5),$$

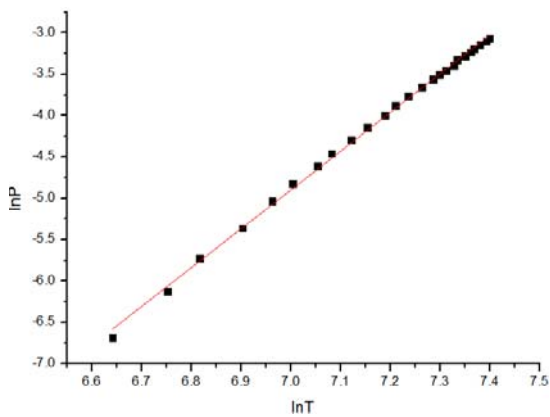
比較(4)與(5)，我們利用熱堆量的結果，功率與溫度的 4.13 次方成正比，與理論值 4 誤差 3.25%。計算之 $\epsilon_T = 0.74$ ，可證實空腔為灰體($\epsilon_T < 1$)。

圖四則為表二中電功率對鎢絲燈溫度的全對數圖。由圖四可得擬合方程式

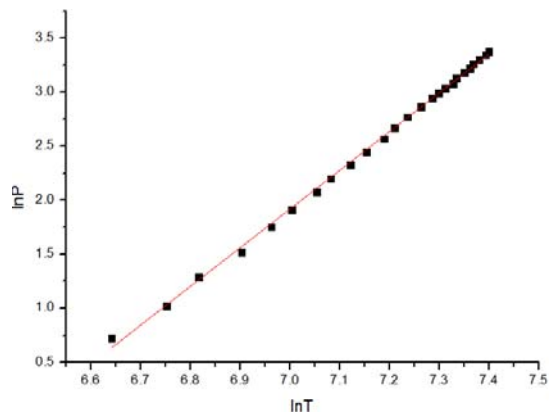
$$\ln(P) = -24.02 + 3.70 \ln(T) \quad (6)$$

因此功率與溫度的 3.70 次方成正比，與理論值 4 誤差 7.5%。計算之放射率 ϵ_T 為 0.14。

我們可利用熱堆偵測輻射的單位面積的功率乘以球面積，可以計算總功率。如以表二中溫度 766K 熱堆偵測單位面積輻射的功率所量得之值(1.250 mW/m^2)所積算的總功率為 $5.65 \times 10^{-5} \text{ W}$ 。這與所提供之電功率 2.06W 將比有 5 個級數的差別。這個差別可能是因熱堆偵測器所能偵測電磁波波長有一定範圍造成。另外提供給鎢絲燈的電能也不是全部會轉換成熱輻射。



圖三:熱堆偵測輻射功率與溫度的全對數圖



圖四:電功率與溫度的全對數圖

結論：

我們提供不同的電能來加熱鎢絲燈，並利用熱堆偵測器量測鎢絲燈的熱輻射功率。比較由熱堆偵測器所測得的鎢絲燈熱輻射功率與其溫度的關係，及由能量守恆原理所計算的鎢絲燈熱輻射功率與其溫度的關係，我們發現利用熱堆偵測器所測得的鎢絲燈熱輻射功率與其溫度的 4.39 次方成正比，而平均放射率為 0.11。另外利用能量守恆原理所量測到的鎢絲燈熱輻射功率與其溫度的 3.70 次方成正比，而平均放射率為 0.14。這兩種方法所測的熱輻射功率與其溫度的關係與理論值 4 有 3% 以上的誤差。而實驗所得的放射率分別為 0.11 與 0.14 皆小於 1，對於一般的輻射體而言為合理數值。

由於提供給鎢絲燈的電能不是全部轉換成熱輻射，同時熱堆偵測器所能偵測電磁波波長有一定範圍，因此造成由熱堆偵測器量測鎢絲燈的全部熱輻射功率比電功率少 5 個數量級。

參考資料：

- 放射率、黑體輻射：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2659>
- 基礎物理實驗室：<http://ezphysics.nchu.edu.tw/prophys/basicexp/index.htm>