

燈的效率

高中組物理第三名

省立台中女子高級中學

作者：羅香瓊等十名

指導老師：何珍淑

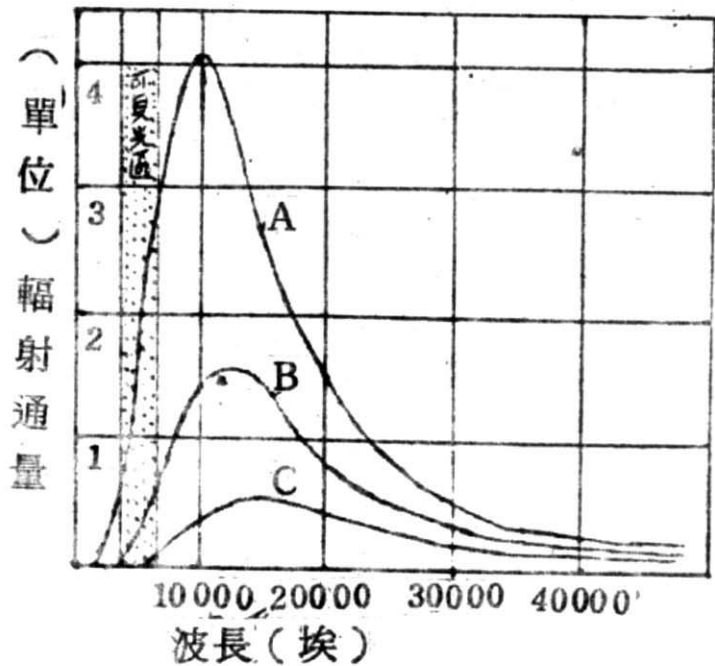
一、動機：

在能源缺乏的今日，電力公司加強宣導說“節約用電，請用日光燈”。但日光燈和電燈泡的效率差別究竟如何呢？在高中物理課本中，我們赫然發現了一句話“100 瓦特的燈泡，在可見光範圍內發射之功率為其總功率的 1%”原來電燈泡發光的效率竟是這麼小，換句話說輸入 100 焦耳之電能，只有 1 焦耳用來發出可見光，其他的都浪費了，而這引發了我們探討“燈的效率”問題。

二、原理：

白熾燈是利用燈絲通過電流發熱至白熾而發光，白熾物體輻射熱之特性是隨溫度而定，與其加熱之方法無關，這種輻射形式稱為熱輻射。熱輻射發出之輻射線是由許多不同之波長組長。輻射能量對不同之波長分配方式如圖(-)。曲線 A 代表

熔融的鐵在 2700°C 時能量的分配情形，曲線 B 則是碳弧燈在 2150°C 時能量之分配情形。曲線 C 是鎢絲燈在 1535°C 時能量之分配情形。由這些曲線我們可以看出以下三點：



1 鎢絲燈在可見光區的部分真是太小了。

2. 當溫度增加時，物體所輻射之總能量增加。

3. 當溫度增加，可見光區的比例也增加，這是本實驗之重點。

三、目的：

利用 Bunsen 光度計箱找出白熾燈在不同電壓下之效率，求出效率和電壓之關係，及各種不同型式之照明用具的相對效率。但因實驗所用之燈泡並非點光源，我們又懷疑照度是否與距離平方成反比，於是再利用光度計找出照度與距離之關係。（註：所謂發光效率乃指光源之輸出光通量與輸入之總電功率之比）

四、實驗步驟：

實驗 1：白熾燈在不同電壓下之效率：

- (1) 實驗儀器安排，將一標準燈接於一定電壓的電源上。
- (2) 試驗燈泡以一可變電阻改變其兩端之電壓。
- (3) 將標準燈及試驗燈均置於光具座上，標準燈在光具座刻度尺上之 0 公分處，試驗燈在 100 公分處。
- (4) 置 Bunsen 光度計箱於光具座上，調整試驗燈之電壓，記錄其電流 (A)，電壓 (V₂)。
- (5) 移動 Bunsen 光度計箱，測得照度相等之位置，記錄 Bunsen 光度計箱在光具座之位置 (d)。
- (6) 改變試驗燈之電壓，重覆實驗之。

實驗 2：各種類型燈泡及日光燈在同一電壓下之效率差別：

- (1) 實驗器材、裝置及步驟如實驗 1 之部分。
- (2) 固定試驗燈之電壓為 110 V，重覆試驗各燈並記錄其電流 (A)，電壓 (V)，及 Bunsen 光度計箱在光具座之位置 (d)：

實驗 3：以光度計找出照度與距離之關係：

- (1) 置一光源於桌上，接於固定之電壓，使其光度維持一定。
- (2) 選擇某一方向，以光度計測與光源不同距離處之照度，記錄其距離 (d) 與照度 (I)。
- (3) 變換光源，重覆作上述步驟。

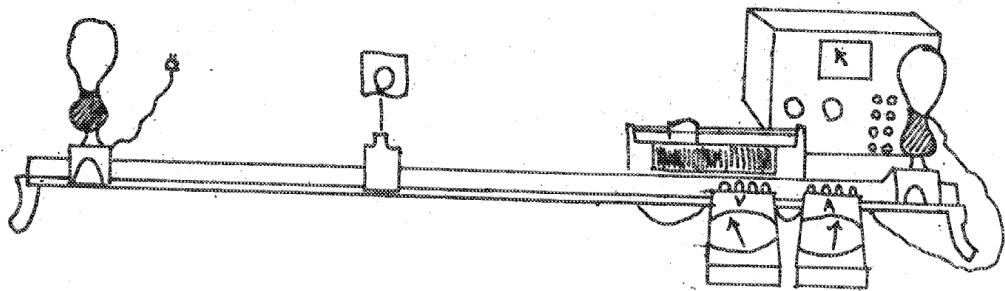
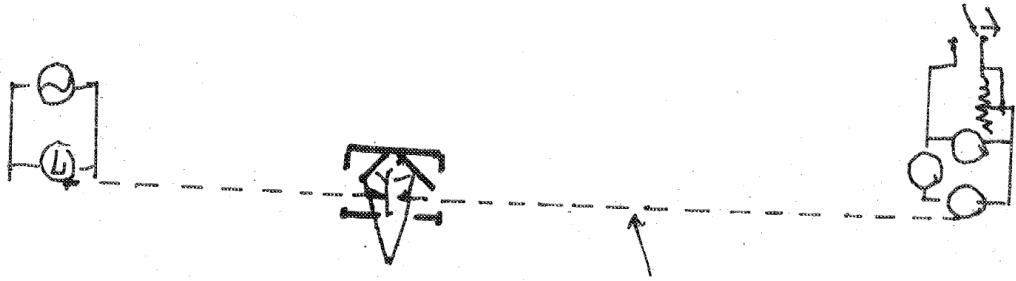
五、實驗數據與結果：

實驗 1 之結果與分析：

(1) 標準燈泡：110 V 20 W

試驗燈泡：110 V 20 W

標準電壓：115 V



表(一)

V_2 (volts)	A (amperes)	$P=V_2 A$ (watt)	d_1 (呎)	d_1^2	d_2 (呎)	d_2^2	$I_2 = \frac{d_1^2}{d_2^2}$	I_2/P (燭光/瓦特)
50	0.130	6.50	2.740	7.508	0.541	0.293	0.039	0.006
55	0.140	7.70	2.625	6.891	0.656	0.430	0.062	0.008
60	0.145	8.70	2.526	6.381	0.755	0.570	0.089	0.010
65	0.153	9.95	2.461	6.057	0.820	0.672	0.111	0.011
70	0.160	11.20	2.362	5.579	0.919	0.845	0.151	0.013
75	0.170	12.75	2.247	5.049	1.034	1.069	0.212	0.017
80	0.178	14.24	2.083	4.339	1.198	1.435	0.331	0.023
85	0.181	15.39	2.034	4.137	1.247	1.555	0.376	0.024
90	0.190	17.10	1.952	3.810	1.329	1.766	0.464	0.027
95	0.199	18.91	1.837	3.375	1.444	2.085	0.618	0.033
100	0.201	20.10	1.772	3.140	1.509	2.277	0.725	0.036
105	0.205	21.53	1.739	3.024	1.542	2.378	0.786	0.037
110	0.211	23.21	1.641	2.693	1.640	2.690	0.999	0.043
115	0.220	25.30	1.591	2.531	1.690	2.856	1.128	0.045
120	0.223	26.76	1.509	2.277	1.772	3.140	1.379	0.052
125	0.225	28.13	1.444	2.085	1.837	3.375	1.619	0.058

※註：當兩光源照度相等時，其中一光度若已知，則另一光源之光度可利用「照度與距離平方成反比」之關係求出，即 $\frac{I_1}{d_1^2} = \frac{I_2}{d_2^2}$ (I_1, I_2 為光度)；本實驗中令標準燈泡之光度 (I_1) $I_1 = 1$ ，故試驗燈之光度 $I_2 = \frac{d_1^2}{d_2^2}$ 。

(2)標準燈泡 110 V , 20 W

a. 試驗燈泡 110 V , 5 W

表(二)

V_2 (volts)	A (amperes)	P (watt)	I_2 / P (燭光 / 瓦特): 效率
70	0.040	2.80	0.174
80	0.042	3.36	0.332
90	0.047	4.23	0.352
100	0.050	5.00	0.373
110	0.052	5.72	0.479
120	0.055	6.60	0.598
130	0.059	7.67	0.654

註：表(二)~表(六)僅節錄部份

b. 試驗燈泡 110 V , 20 W

表(三)

V_2 (volts)	A (amperes)	P (watt)	I_2 / P (燭光 / 瓦特): 效率
50	0.103	5.150	0.118
55	0.110	6.050	0.142
60	0.120	7.200	0.199
65	0.123	7.995	0.247
70	0.130	9.100	0.265
75	0.138	10.350	0.303
80	0.140	11.200	0.338
85	0.145	12.325	0.415
90	0.150	13.500	0.452
95	0.157	14.915	0.474
100	0.161	16.100	0.545
105	0.165	17.325	0.643
110	0.168	18.480	0.692
115	0.172	19.780	0.702
120	0.178	21.360	0.776
125	0.183	22.875	0.836

c. 試驗燈：長燈絲燈泡

表(四)

V_2 (volts)	A (amperes)	P (watt)	I_2/P (燭光/瓦特): 效率
50	0.120	6.000	0.084
55	0.125	6.875	0.107
60	0.130	7.800	0.159
65	0.140	9.100	0.205
70	0.143	10.010	0.245
75	0.150	11.250	0.308
80	0.158	12.640	0.328
85	0.160	13.600	0.436
90	0.165	14.850	0.483
95	0.172	16.340	0.501
100	0.180	18.000	0.586
105	0.183	19.220	0.621
110	0.190	20.900	0.687
115	0.198	22.770	0.770
120	0.200	24.000	0.791
125	0.208	26.000	0.859

(3) 標準燈泡 110, 60 W

a. 試驗燈泡 100 V, 20 W

表(五)

V_2 (volts)	A (amperes)	P (watt)	I_2/P (燭光/瓦特): 效率
65	0.150	9.750	0.157
74	0.168	12.432	0.324
85	0.180	15.300	0.406
95	0.190	18.050	0.484
118	0.218	25.724	0.830

b. 試驗燈泡 110 V , 20 W

表(六)

V_2 (volts)	A (amperes)	P (watt)	I_2/P (燭光/瓦特): 效率
55	0.120	6.600	0.162
60	0.123	7.380	0.206
65	0.130	8.450	0.274
70	0.138	9.660	0.316
75	0.143	10.730	0.400
80	0.148	11.840	0.454
85	0.152	12.920	0.491
90	0.159	14.310	0.606
95	0.162	15.390	0.599
100	0.165	16.500	0.619
105	0.171	17.960	0.700
110	0.178	19.580	0.786
115	0.182	20.930	0.810
120	0.188	22.560	0.938
125	0.192	24.000	0.986

(4)分析：

由圖(一)利用線性最小平方差求效率 I_2/P 對電壓 V_2 之關係，其過程如下：

設 $Y = I_2/P$, $X = V_2$ 令 $Y = a_1 X + a_0$

利用 $[Y - (a_1 X + a_0)]^2$ 求最小值求出最接近之直線方程式，其展開式：

$$Y^2 + a_0^2 + a_1^2 X^2 - 2a_0 Y + 2a_0 a_1 X - 2a_1 XY$$

$$\text{對 } a_0 \text{ 微分：} 2a_0 + 2a_1 X - 2Y = 0$$

$$\text{對 } a_1 \text{ 微分：} 2a_1 X^2 + 2a_0 X - 2XY = 0$$

$$\text{即 } \begin{cases} XY = a_1 X^2 + a_0 X \\ Y = a_1 X + a_0 \end{cases}$$

因此，設方程式為：

$$\begin{cases} \sum_i X_i Y_i = a_1 \sum_i X_i^2 + a_0 \sum_i X_i \\ \sum_i Y_i = a_1 \sum_i X_i + n a_0 \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, 16 \quad n = (\text{實驗次數}) = 16$$

由實驗數據得：

$$\sum_i X_i = 1400$$

$$\sum_i X_i^2 = 131000$$

$$\sum_i X_i Y_i = 44.565$$

$$\sum_i Y_i = 0.443$$

$$n = 16$$

$$\begin{bmatrix} \sum_i X_i Y_i \\ \sum_i Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i X_i & \sum_i X_i^2 \\ n & \sum_i X_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_i X_i}{\Delta} & -\frac{\sum_i X_i^2}{\Delta} \\ -\frac{n}{\Delta} & \frac{\sum_i X_i}{\Delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix}$$

$$[\Delta = (\sum_i X_i)^2 - n \sum_i X_i^2]$$

$$\therefore \begin{bmatrix} 44.565 \\ 0.443 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1400 & 131000 \\ 16 & 1400 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = -136000$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -0.0103 & 0.963 \\ 1.176 \times 10^{-4} & -0.0103 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 44.565 \\ 0.443 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -0.0324 \\ 6.779 \times 10^{-4} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

由此得知一次項係數 $a_1 = 6.779 \times 10^{-4}$ 實在太小了，故推測 I_2 / P 與 V_2 之關係並非一次式。為確知二者關係，於是設 $I_2 / P = KV_2^n$ (K 為常數)，兩邊取對數 $\log I_2 / P = \log KV_2^n$
 $= \log K + n \log V_2$
 而 $n \log K$ 為一常數。

所以作 $\log I_2 / P - \log V_2$

實驗 2 之結果與分析：

(1) 數據：標準 110 伏特，20 瓦特

試驗燈之種類	V_2 (伏特)	A (安培)	$P = AV_2$ (瓦特)	d_2 (呎)	d_2^2 (呎)	I (燭光)	$I_2 = Id_2^2$	I_2 / P (燭光/瓦特:效率)	令 100 瓦特之燈泡效率為 1.000 %，其餘各燈之相對效率。
110V 5W	110V	0.047A	5.17	0.689	0.475	3.9	1.851	0.358	0.339 %
110V 5W 透明燈泡	110V	0.047A	5.17	0.820	0.673	3.8	2.556	0.494	0.468 %
110V 20W	110V	0.179A	19.69	1.542	2.378	6.5	15.455	0.785	0.743 %
100V 20V	110V	0.208A	22.88	1.625	2.640	6.5	17.160	0.750	0.710 %
120V 40W	110V	0.318A	34.98	1.665	2.772	7.5	20.792	0.594	0.562 %
110V 60W	110V	0.600A	66.00	2.084	4.343	13.9	60.368	0.915	0.866 %
110V 100W	110V	0.900A	99.20	2.316	5.364	19.5	104.598	1.057	1.000 %
110V 200W	110V	1.820A	200.20	2.661	7.081	45.0	318.645	1.592	1.506 %
長燈絲 燈泡	113V	0.150A	16.95	1.673	2.799	7.90	22.111	1.304	1.234 %
日光燈 110V 10W	112V	0.100A	11.20	1.984	3.936	12.1	47.626	4.252	4.022 %
日光燈 110V 20W	114V	0.210A	23.94	2.387	5.698	21.0	119.658	4.998	4.728 %

(2) 分析：

以 110V 100W 之燈泡發光效率 1% 為標準，求出各燈泡之效率，發現日光燈之效率皆比燈泡效率大，難怪電力公司大力鼓吹“節約用電，請用日光燈”。從本實驗中亦可看出功率愈大的燈泡，發光效率亦愈大。

實驗 3 之結果與分析：

(1)

d (距離)	I ₁ (照度)	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	照度平均值
7	60.0	58.0	60.0	58.0	57.0	55.0	58.00
8	45.0	45.0	45.0	42.0	41.5	41.5	43.30
9	36.5	35.0	35.0	34.0	32.5	34.0	34.63
10	30.0	29.0	29.0	28.0	26.5	27.3	28.40
11	25.0	24.0	24.0	24.0	22.0	23.0	23.66
12	21.0	20.5	19.8	20.0	18.0	19.3	19.76
13	18.0	17.5	17.0	17.5	15.0	16.7	16.95
14	16.0	15.2	15.0	15.3	13.8	14.7	15.00
15	14.0	13.3	13.5	14.0	12.0	13.3	13.35
16	12.2	12.0	11.1	11.9	10.5	12.0	11.62
17	10.8	11.0	10.5	11.1	9.9	11.2	10.75
18	9.6	10.0	9.2	10.1	9.3	10.0	9.70
19	9.0	9.2	8.5	9.8	8.5	9.1	9.02
20	8.2	8.0	8.0	8.8	7.8	8.6	8.23
21	7.5	7.5	7.3	8.0	7.1	7.9	7.50
22	7.1	7.2	7.0	7.5	6.8	7.0	7.10
23	6.8	6.2	6.5	6.9	6.3	6.7	6.57
24	5.9	5.8	6.0	6.2	5.9	6.0	5.97
25	5.3	5.0	5.5	5.8	5.4	5.2	5.40

(2)分析：

由 $I - d$ 圖觀察似有平方反比的關係，於是又由設 $I = K' d^n$ 取對數作 $\log I - \log d$ 圖求得其斜率為 -1.9 ，即表示 $I = K' \frac{1}{d^{1.9}}$ ，所以，平方反比之關係仍可適用。

六、結論：

1. 電燈泡之效率與電壓平方成正比。即 $I_2 / = KV^2$ 。(K 為常數)
2. 日光燈之發光效率大於電燈泡。且照明用具之瓦特數愈大，效率愈高。
3. 照度與距離平方成反比。

評語：利用現有簡單實驗裝置，具體比較各型燈具之效率，取材新穎實驗方法及數據處理嚴密，結果對日常生活有啟示性。