

小灯泡伏安特性曲线形状产生原因的探讨

陈日繁 陈日辉

(惠州市博罗中学 广东 惠州 516100)

(收稿日期:2020-01-10)

摘要:对小灯泡伏安特性曲线形状的产生原因进行了定量分析,提出了小灯泡伏安特性曲线的理论公式,并通过实验数据对理论公式进行对比.

关键词:小灯泡 伏安特性曲线 电阻率温度系数 牛顿冷却定律

1 问题由来

描绘小灯泡伏安特性曲线是高中物理课程中重要的内容之一,此实验主要让学生了解非线性元件的特征,并定性分析出小灯泡(钨丝)电阻随温度变化的规律.目前已经有不少关于该曲线的定性分析和应用的研究,但关于曲线形状产生原因的定量研究则较少.为了更深入了解小灯泡伏安特性曲线形成的原因,笔者结合定量计算和实验验证,给出了该曲线的函数表达式.希望能为研究中学物理的教师提供一点参考.

2 假设与推导

小灯泡灯丝是用钨丝制成,钨丝电阻率随温度的升高而变大,而随着电压的升高,小灯泡功率变大导致温度升高,从而钨丝的电阻变大,这是小灯泡伏安特性曲线形状产生的基本原因.金属材料的电阻率 ρ 随温度 t 的变化规律如下

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

其中 α 是金属的电阻率温度系数, t 的单位取 $^{\circ}\text{C}$, ρ_0 为金属在 0°C 时的电阻率^[1].考虑到钨丝随着温度升高,形状大小的变化可以忽略,即长度 l 和横截面积 S 近似认为是常数,根据电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$,易得钨丝电阻随温度变化规律为

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad (2)$$

其中 R_0 为 0°C 时钨丝的电阻.钨丝是纯电阻,满足

欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$,结合焦耳定律 $P = I^2 R$,钨丝的发热功率为

$$P_1 = \frac{U^2}{R} \quad (3)$$

钨丝在发热的同时,也在不停的向外散热,物体散热时满足牛顿冷却定律,即物体损失热量的快慢与物体和周围环境间的温度差是成正比的.根据牛顿冷却定律,用数学式子表示钨丝散热的快慢如下

$$P_2 = k(t - t_0) \quad (4)$$

其中 k 为比例常数,与钨丝的形状等因素有关, t 为钨丝的温度, t_0 为钨丝所处环境的温度^[2].当钨丝发热功率和散热功率相等时,小灯泡发光处于稳定状态,此时

$$P_1 = P_2 \quad (5)$$

联立式(2)~(5),解得

$$I = \frac{2U}{R_0 \left[(1 + \alpha t_0) + \sqrt{(1 - \alpha t_0)^2 + 4\alpha \left(t_0 + \frac{U^2}{kR_0} \right)} \right]} \quad (6)$$

钨丝的温度达到 $3\ 000^{\circ}\text{C}$ 左右,而钨丝所处的环境为灯泡内的惰性气体,其温度远小于钨丝温度,做近似处理的时候,不妨令 $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$,此时电流与电压的关系为

$$I = \frac{2U}{R_0 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4\alpha U^2}{kR_0}} \right)} \quad (7)$$

利用画图软件,可以得到小灯泡伏安特性曲线的大致形状如图1所示.

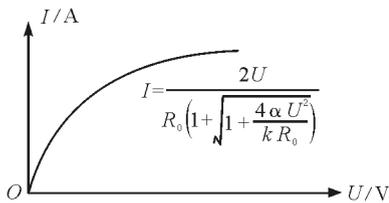


图1 小灯泡伏安特性的理论曲线

3 实验数据对比

通过实验得出小灯泡的电压与电流的变化关系如表1所示. 根据表中数据和式(7), 用 Matlab 拟合得到

$$R_0 = 0.83 \Omega \quad \frac{\alpha}{k} = 4.1 \Omega \cdot V^{-2}$$

表1 实验测得小灯泡的电流与电压的数值

U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A
0.02	0.03	0.20	0.21	0.78	0.39
0.04	0.06	0.24	0.24	1.06	0.42
0.07	0.09	0.29	0.27	1.42	0.45
0.10	0.12	0.36	0.30	1.94	0.48
0.12	0.15	0.45	0.33	2.31	0.51
0.16	0.18	0.61	0.36	3.00	0.54

再用 Excel 将实验值和通过式(7) 计算得到的理论值绘制成图像, 如图2所示. 通过图像对比, 可以发现理论值曲线与实验值曲线能够较好地吻合,

但在电压较大后偏离稍大. 由此可知, 式(7) 能较好地定量解释小灯泡伏安特性曲线形状的产生原因.

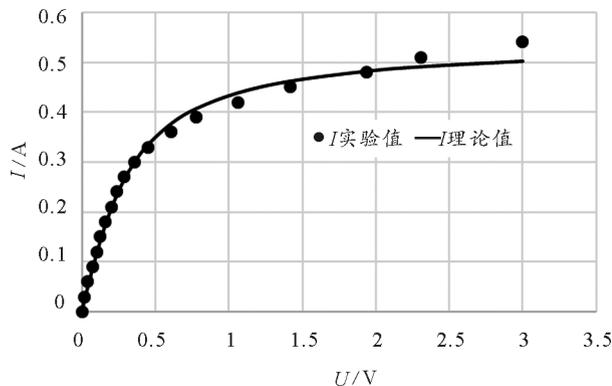


图2 小灯泡伏安特性曲线

4 总结与讨论

本文从电阻随温度变化和散热规律的角度分析了曲线成因, 虽能讲清楚小灯泡伏安特性曲线形状的产生原因, 却也存在一定不足. 首先, 在 3000°C 范围内, 钨丝的电阻与温度之间可能并不严格满足线性关系; 其次, 牛顿冷却定律也不一定严格成立, 或许存在一定的运用范围和使用条件. 对小灯泡伏安特性曲线形状的产生原因进行更准确的分析, 还有待进一步的研究.

参考文献

- 张三慧. 电磁学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 165 ~ 166
- 张三慧. 热学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999. 18

(上接第72页)

Discussion on Oscilloscope Teaching of University Physics Experiment for Engineering University

Tang Yanmei

(College of Physics and Technology, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004)

Li Xiang

(School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004)

Abstract: The main problems in the teaching of oscilloscope in college physics experiments are discussed with consideration of the engineering majors' characteristics. Then a new scheme for the teaching is proposed, which focuses on the task of waveform observation. The proposed teaching scheme is intuitive, goal-oriented, and practical. It can help to develop the practical operation ability of engineering students.

Key words: oscilloscope; college physics experiments; engineering majors