

功函数实验

胡谔崴 核 21 2022011139

摘要

功函数 (work function), 又称溢出功, 描述了电子溢出金属表面所需要的能量。本文通过研究真空玻璃管的热电子发射, 测量钨电极的发射电流以研究钨金属的功函数。实验使学生理解热电子的发射规律, 理解计算功函数的里查孙直线法。

1. 实验仪器

(1) 直热式二极管:

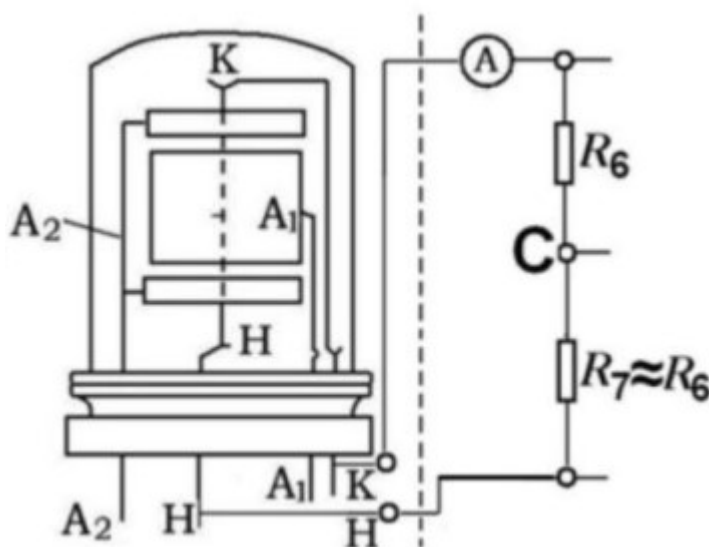
H 和 K 为灯丝的两端, A1 为阳极, A2 为环状匀场电极。

A1 与 HK 中心间的电势差是加速电压;

R6 与 R7 电阻相同, 故 C 点电压近似于 KH 中心电压;

H 与 K 之间的电势差提供加热电流;

A1 引出溢出电流。



(2) 电压源, 有三通道。

(3) 电压表*2, 一个四位半电压源, 一个五位半电压源。

2. 实验原理

(1) 热电子发射的里查孙-杜什曼公式

在量子统计理论中, 能量是量子化的, 能量分布满足费米-狄拉克公式。在一个能级仅能容纳自旋不同的两个电子的情形下, 总自由电子数 N_e 在能量间隔 dE 内的电子数为:

$$\frac{dN_e}{N_e} = c \left(\frac{4\pi}{h^3} (2m_e)^{3/2} \frac{E^{1/2}}{\exp((E - E_F)/kT) + 1} dE \right)$$

该公式描述了电子在一定温度下的分布状态, 由公式可知, 在 $T > 0$ 的条件下, 会存在一定的电子突破势垒, 从而溢出金属, 当 T 提高时, 溢出的电子会更多。

描述热电子发射电流密度 J_e 的里查孙-杜什曼公式为:

$$J_e = AT^2 \exp\left(-\frac{\Phi}{kT}\right)$$

虽然该公式没有考虑势垒对电子的平均反射因素, 但这种失误只会引入一个常量, 对问题整体没有影响。最终得到 $I_e = J_e S$ 。

(2) 里查孙直线法测量功函数

仅需对里查孙—杜什曼公式两侧取对数，即可去除一些难求的变量的影响，得到公式：

$$\lg \frac{I_e}{T^2} = \lg(A'S) - 5040\Phi \frac{1}{T}$$

(3) 发射电流 I_e 的测量

发出的电子会造成空间电荷积累，因此，需要加速电压来削弱空间电荷积累。外加电场直接增强热电子发射的现象称为肖特基效应。在加速电场作用下，阻碍电子逸出的势垒 W 的高度被减小，从而使发射电流增大。根据理论推导，有公式：

$$\lg(I'_e) = \lg I_e + \frac{0.1912}{T} \frac{1}{\sqrt{r_k \ln(r_a/r_k)}} \sqrt{V_a}$$

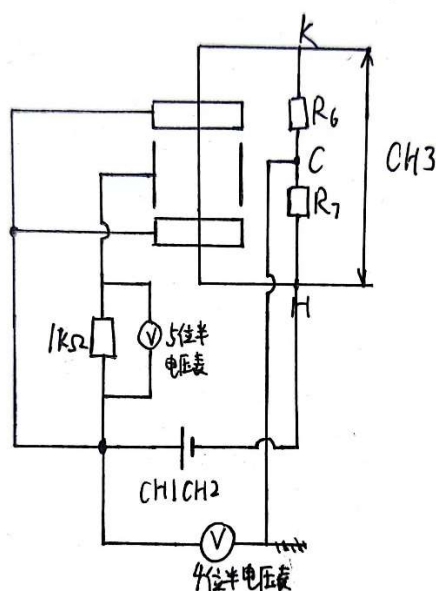
(4) 温度 T 的测量

采用间接测量法，根据流过灯丝的电流公式：

$$T = 1343.79 + 1168.884I_f + 291.6705 \ln(I_f)$$

3. 实验内容

(1) 连接电路如图



(2) 在不同的温度环境下测量发射电流

在加热电流从 0.5A 到 0.65A 中去 6 个数值，对每个温度求加速电压从 25V 到 120V 变化时发射电流的值，测 7 个点，记录数据。

4. 数据分析

(1) 用两轮最小二乘直线拟合的方法处理数据，求出 Φ 。并计算不同温度 T 下的 $\lg(I_e)$ 同时给出其标准差。

首先，依据加热电流，求出不同电流环境下的加热温度如下：

I_f	T
0.5	1726.061
0.53	1778.123
0.56	1829.249
0.59	1879.537
0.62	1929.069

0.65	1977.918
------	----------

依据肖特基效应，求出不同温度环境下理想发出电流的值：

T	lg(I _e)
1726.061	-6.41925
1778.123	-5.97149
1829.249	-5.55843
1879.537	-5.19086
1929.069	-4.83648
1977.918	-4.51489

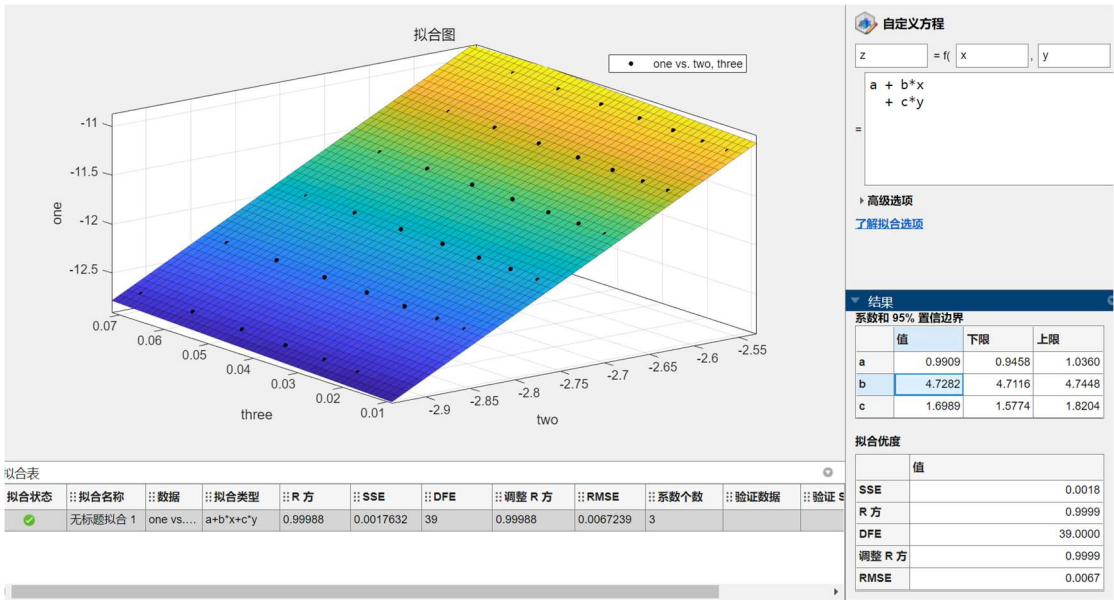
lg(I_e)的标准偏差为 0.649856824。

再根据里查孙直线法，线性回归得：

$$\Phi = 4.800909784$$

(2) 根据肖特基效应和查理孙直线法，得到多元回归方程，从而求解Φ
利用 MATLAB 进行多元拟合，得到Φ的值：

$$\Phi = 4.7282$$



可以看到，拟合效果很好，且Φ值与两次线性回归的结果相近。因此，两种方法均可行。

5. 原始数据

om					
Re	1001				
T	sqrt(Va)	Va	Ve(mV)	Ie'	lg(Ie')
1726.061	4.876474136	23.78	0.459	0.000000459	-6.33819
	5.897457079	34.78	0.486	0.000000486	-6.31336
	6.911584478	47.77	0.507	0.000000507	-6.29499
	7.920858539	62.74	0.529	0.000000529	-6.27654
	8.929165695	79.73	0.55	0.00000055	-6.25964
	9.934787366	98.7	0.57	0.00000057	-6.24413

		10.89403507	118.68	0.588	0.000000588	-6.23062
T		sqrt(Va)	Va	Ve(mV)	le'	lg(le')
1778.123		4.865182422	23.67	1.267	0.000001267	-5.89722
		5.887274412	34.66	1.326	0.000001326	-5.87746
		6.902173571	47.64	1.384	0.000001384	-5.85886
		7.913279977	62.62	1.438	0.000001438	-5.84224
		8.921883209	79.6	1.489	0.000001489	-5.82711
		9.928746144	98.58	1.538	0.000001538	-5.81304
		10.88806686	118.55	1.582	0.000001582	-5.80079
T		sqrt(Va)	Va	Ve(mV)	le'	lg(le')
1829.249		4.851803788	23.54	3.207	0.000003207	-5.4939
		5.876223277	34.53	3.349	0.000003349	-5.47508
		6.892749814	47.51	3.476	0.000003476	-5.45892
		7.90569415	62.5	3.598	0.000003598	-5.44394
		8.915155635	79.48	3.706	0.000003706	-5.43109
		9.922701245	98.46	3.812	0.000003812	-5.41885
		10.88255485	118.43	3.907	0.000003907	-5.40816
T		sqrt(Va)	Va	Ve(mV)	le'	lg(le')
1879.537		4.838388161	23.41	7.497	0.000007497	-5.12511
		5.865151319	34.4	7.82	0.00000782	-5.10679
		6.883313156	47.38	8.121	0.000008121	-5.09039
		7.896834809	62.36	8.405	0.000008405	-5.07546
		8.907300377	79.34	8.672	0.000008672	-5.06188
		9.915644205	98.32	8.923	0.000008923	-5.04949
		10.87658034	118.3	9.154	0.000009154	-5.03839
T		sqrt(Va)	Va	Ve(mV)	le'	lg(le')
1929.069		4.824935233	23.28	16.775	0.000016775	-4.77534
		5.853204251	34.26	17.382	0.000017382	-4.7599
		6.873863542	47.25	18	0.000018	-4.74473
		7.888599369	62.23	18.59	0.00001859	-4.73072
		8.9	79.21	19.139	0.000019139	-4.71808
		9.909086739	98.19	19.656	0.000019656	-4.7065
		10.87014259	118.16	20.133	0.000020133	-4.69609
T		sqrt(Va)	Va	Ve(mV)	le'	lg(le')
1977.918		4.810405388	23.14	35.092	0.000035092	-4.45479
		5.841232747	34.12	36.502	0.000036502	-4.43768
		6.863672486	47.11	37.8	0.0000378	-4.42251
		7.879720807	62.09	39.012	0.000039012	-4.4088
		8.892131353	79.07	40.145	0.000040145	-4.39637
		9.901515036	98.04	41.209	0.000041209	-4.38501
		10.86370103	118.02	42.218	0.000042218	-4.3745