



厦 门 大 学

XIAMEN UNIVERSITY

ADD: FULI JIAN XIA MEN

CABLE: 0633 P.C: 361005

实验二十六

夫兰克-赫兹实验

宋 瑶

22320182201366

E

海洋科学

2019年10月11日

一. 实验目的

1. 用实验的方法测定氩气体原子的第一激发电势, 证明原子能级的存在, 研究原子能量的量子化现象
2. 通过了解夫兰克-赫兹实验的设计思想和基本实验方法, 学习用实验检验物理假说和验证理论的方法, 体会设计新实验的物理构思和设计技巧。
3. 学会用最小二乘法处理实验数据的技巧。

二. 实验仪器

1. 仪器用具

夫兰克-赫兹实验仪、示波器

三. 实验原理

1. 玻尔的原子理论概要

原子只能处在一些不连续的稳定状态中, 每一状态对应于一定的能量值 E_i ($i=1, 2, 3, \dots$), 这些能量值是彼此分立的, 不连续的。

原子从一个定态过渡到另一个定态称为跃迁, 当原子从一个稳定状态跃迁到另一个稳定状态时, 就吸收或辐射出一定频率的电磁波, 辐射频率的大小取决于原子所处两定态之间的能量差, 辐射频率 ν 符合如下关系: $\Delta E = h\nu = E_m - E_n$, 其中 h 为普朗克常数, $h = 6.6260755 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ 。

2. 原子的跃迁、激发电势和能级差

原子在正常情况下处于最低能态, 即基态, 当原子吸收电磁辐射或受其他粒子碰撞发生能量交换时, 可由基态跃迁到能量较高的激发态。本实验就是利用具有一定能量的电子与氩原子相碰撞发生能量交换来实现氩原子状态的改变。

设初速度为零的电子在电位差为 V_0 加速电场的作用下, 获得能量 eV_0 。当具有这种能量的电子与稀薄气体的原子(如氩原子)发生碰撞时, 就会发生能量交换。设氩原子基态能量为 E_0 , 氩原子的第一激发态能量为 E_1 , 如果电子传递给基态氩原子的能量恰好为 $eV_0 = E_1 - E_0$, 则氩原子就会从基态跃迁到第一激发态, 其相应的电势差称为氩原子的第一激发电势, 测出这个电势差 V_0 , 根据式 $eV_0 = E_1 - E_0$ 就可以求出氩原子基态和第一激发态能量差, 亦称能级差。如果给予氩原子足够大的能量 eV_i , 可以使原子中的电子离壳, 这又叫电离, V_i 称为电离电势。具有能量 eV_n 的电子, 如果足以使原子跃迁到更高的第 n ($n=2, 3, \dots$) 激发态, 则相应的电势差 V_n 称为第 n 激发电势。其它气体的激发电势也可依此方法得出。

几种元素的第一激发电势

元素	钠(Na)	钾(K)	锂(Li)	镁(Mg)	氖(Ne)	氩(Ar)	汞(Hg)
V_0 (V)	2.12	1.63	1.84	3.2	18.6	13.1	4.9



扫描全能王 创建

3. 弗兰克—赫兹实验原理

如图3-26-4所示, 弗兰克—赫兹管是一个具有双栅极结构的柱面型充氩四极管, 第一栅极 G_1 的作用主要是消除空间电荷对阴极电子发射的影响, 提高发射效率, 第一栅极 G_1 与阴极 K 之间的电压由电源 V_{G_1K} 提供, 改变 V_{G_1K} 可控制阴极 K 发射电子流的强弱。灯丝电源 V_F 加热灯丝 F , 使阴极 K 被加热, 而发射电子, 控制灯丝电压 V_F 的大小可改变灯丝的温度, 从而控制发射电子的多少。阴极 K 和第二栅极 G_2 之间加一可变加速正电压 V_{G_2K} , 建立一个加速场, 使电子获得能量, 从而使得从阴极发出的电子被加速, 穿过管内氩蒸气朝栅极 G_2 运动。由于阴极和栅极 G_2 之间的距离比较大, 在适当的氩蒸汽压下, 这些电子与氩原子可以发生多次碰撞, 在阳极 A 与栅极 G_2 之间建立一个称为拒斥电压的负电压 V_{G_2A} , 它使到达 G_2 附近而能值大小反映了从阴极到达阳极的电子数。实验中保持 V_{G_1K} 和 V_{G_2A} 不变, 直接测量阳极电流 I_A 随加速电压 V_{G_2K} 变化的关系。调节 V_{G_2K} , 使加速电压从0.0V变化到80.0V, 阳极电流 I_A 随之升高, 当 V_{G_2K} 等于或稍大于氩原子的第一激发电势时, 在栅极 G_2 附近电子与氩原子发生非弹性碰撞, 把几乎全部的能量交给氩原子, 使氩原子激发。这些损失了能量的电子不能到达 G_2 , 使产生的到达阳极的电子数减少, 电流开始下降; 继续增加 V_{G_2K} , 电子在与氩原子碰撞后还能在到达 G_2 前被加速到足够的能量, 克服拒斥电压 V_{G_2A} 的阻力而到达阳极 A , 这时电流又开始上升; 直到 V_{G_2K} 的电压是两倍于氩原子的第一激发电势时, 电子在 G_2 附近又会因第二次非弹性碰撞而失去能量, 并且受到拒斥场的阻力而不能到达阳极 A , I_A 再度下降。同理, 随着 V_{G_2K} 的增加, 同样的情况还会发生, 逐渐增加加速电压 V_{G_2K} , 观测阳极电流 I_A 随 V_{G_2K} 的变化, 形成具有规则起伏的 I_A - V_{G_2K} 图, 每两峰之间的电势差等于氩原子的第一激发电势 V_0 , 如图3-26-5所示。

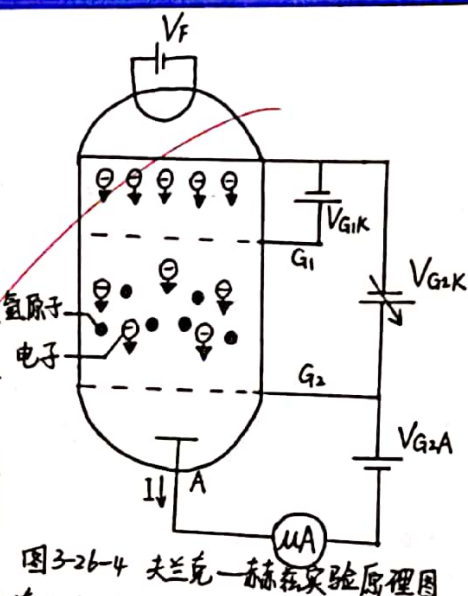


图3-26-4 弗兰克—赫兹实验原理图

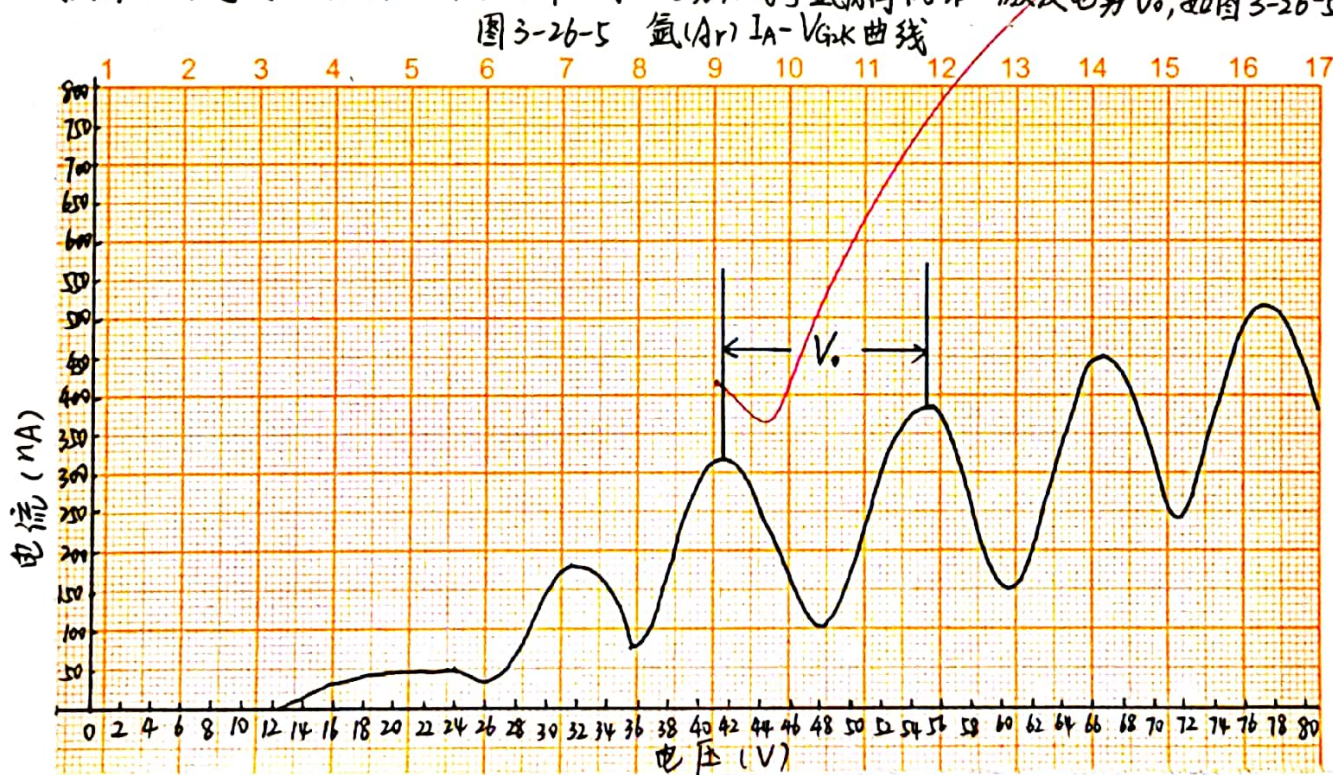


图3-26-5 氩(Ar) I_A - V_{G_2K} 曲线



四. 实验内容

1. 手动测试

(1) 认真阅读实验教程, 理解实验内容

(2) 连接面板上的连接线(按实验原理图3-26-4, 在仪器面板上连线跨接, 注意电源的正负极性, 务必反复检查, 切勿连错!)

(3) 检查连接无误后按下电源开关。

a. 初始值设定

b. 选择工作状态范围

因F-H管很容易因电压设置不合适而遭到损害, 所以, 一定要按照规定的实验步骤和适当的状态进行实验。

电流量程: 1mA 灯丝电压: 2.3~3.6V V_{G1K} 电压: 1.0~3.0V V_{G2A} 电压: 5.0~7.0V V_{G2K} 电压: $\leq 80.0V$

由于F-H管的离散性以及使用中的衰老过程, 每一只管的最佳工作状态是不同的, 对具体的管应在上述范围内找出其较理想的工作状态。

c. 重新启动

在手动测试的过程中, 按下区<7>中的启动按键, V_{G2K} 的电压值将被设置为零, 内部存储的测试数据将清除, 示波器上显示的波形被清除, 但 V_F 、 V_{G1K} 、 V_{G2A} 、电流量程等的状态不发生改变。这时, 操作者可以在该状态下重新进行测试, 或修改状态再进行测试。

2. 测试操作与数据记录

测试操作过程中每改变一次电压源 V_{G2K} 的电压值, F-H管的阳极电流值随之改变。此时记录下区<3>显示的电流值和区<4>显示的电压值数据, 以及环境条件, 待实验完成后, 进行实验数据分析。

3. 示波器显示输出

测试电流也可以通过示波器进行显示观测。本实验将夫兰克-赫兹实验仪与示波器连接。用夫兰克-赫兹实验仪配备的连接线将“信号输出”与示波器CH1或CH2端相连, “同步输出”与示波器EXT TRIG端相连, 用同步信号作为触发信号。

4. 调节好示波器的同步状态和显示幅度, 按上述的方法进行自动测试。进行自动测试时, 实验仪将按设定值自动产生 V_{G2K} 加速电压, 完成整个测试过程。如第一栅压 $V_{G1K}=1.5V$; 拒斥电压 $V_{G2A}=7.0V$; 灯丝电压依F-H管性能不同各有差异, 一般为2.3~3.6V, 并已标注在铭牌上; 加速电压 $V_{G2K}=80.0V$; 按下启动按键, 则加速电压从0.0V开始, 大约每0.4秒递增0.2V, 直到终止电压80.0V, 在示波器上可即时看到F-H管阳极电流 I_A 随 V_{G2K} 电压变化的波形。

5. 中断自动测试过程

在自动测试过程中, 只要按下手动按键, 手动测试指示灯亮, 实验仪就中断了自动测试过程, 回复到开机初始状态, 所有按键都被再次开启工作, 这时可进行下一次的测试准备工作。



本次测试的数据依然保留在实验仪主机的存储器中,直到下次测试开始时才被清除。所以示波器仍会观测到部分变形。

五 数据记录

1. 实验数据 (灯丝电源电压 2.3V, V_{G1K} 电压 2.0V, V_{G1A} 电压 50V)

表 3-26-2 阳极电流 I_A 与加速电压 V_{G2K} 的测试记录

$V_{G2K}(V)$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$V_{G2K}(V)$	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0028	0.0027	0.0046	0.0088
$V_{G2K}(V)$	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.0012	0.020	0.030	0.078	0.073	0.079	0.125	0.141	0.169	0.188
$V_{G2K}(V)$	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.201	0.201	0.208	0.207	0.202	0.199	0.190	0.173	0.150	0.125
$V_{G2K}(V)$	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.103	0.078	0.062	0.059	0.082	0.148	0.226	0.303	0.373	0.433
$V_{G2K}(V)$	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.479	0.520	0.550	0.566	0.583	0.586	0.587	0.575	0.550	0.505
$V_{G2K}(V)$	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	35.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.439	0.349	0.247	0.160	0.113	0.112	0.166	0.254	0.363	0.469
$V_{G2K}(V)$	36.0	36.5	37.0	37.5	38.0	38.5	39.0	39.5	40.0	40.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.566	0.653	0.762	0.827	0.859	0.911	0.948	0.972	0.985	0.988
$V_{G2K}(V)$	41.0	41.5	42.0	42.5	43.0	43.5	44.0	44.5	45.0	45.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.973	0.950	0.904	0.834	0.734	0.605	0.461	0.345	0.285	0.307
$V_{G2K}(V)$	46.0	46.5	47.0	47.5	48.0	48.5	49.0	49.5	50.0	50.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.389	0.518	0.683	0.800	0.909	1.008	1.098	1.170	1.240	1.299
$V_{G2K}(V)$	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5	55.0	55.5
$I_A(10^{-7}A)$	1.347	1.383	1.410	1.425	1.424	1.406	1.368	1.306	1.217	1.102
$V_{G2K}(V)$	56.0	56.5	57.0	57.5	58.0	58.5	59.0	59.5	60.0	60.5
$I_A(10^{-7}A)$	0.968	0.844	0.764	0.755	0.794	0.896	1.014	1.132	1.249	1.362
$V_{G2K}(V)$	61.0	61.5	62.0	62.5	63.0	63.5	64.0	64.5	65.0	65.5
$I_A(10^{-7}A)$	1.472	1.575	1.677	1.775	1.861	1.937	2.001	2.051	2.097	2.104
$V_{G2K}(V)$	66.0	66.5	67.0	67.5	68.0	68.5	69.0	69.5	70.0	70.5
$I_A(10^{-7}A)$	2.118	2.104	2.061	1.992	1.905	1.809	1.719	1.645	1.606	1.623



$V_{G2K}(V)$	71.0	71.5	72.0	72.5	73.0	73.5	74.0	74.5	75.0	75.5
$I_A(10^{-7}A)$	1.688	1.772	1.880	1.991	2.108	2.230	2.355	2.487	2.606	2.725
$V_{G2K}(V)$	76.0	76.5	77.0	77.5	78.0	78.5	79.0	79.5	80.0	
$I_A(10^{-7}A)$	2.840	2.947	3.042	3.126	3.195	3.250	3.285	3.317	3.315	

六. 注意事项

1. 灯丝电压 V_F 对 F-H 管的工作状态影响最大, 调节时以每次改变 0.1V 为宜。在测量过程中, 逐步增加加速电压时, 电压表指针应出现最大、最小的电流信号。若发现电流表指针突然超出量程 (电流表严重过载), 说明 F-H 管中有发生电离击穿, 可马上减少加速电压 V_{G2K} , 并将灯丝电压减少。
2. 测试时, A、G₁、G₂、K 及灯丝接线柱不要接错或短路, 以免损坏仪器。



七. 数据处理 (灯丝电压: 2.3V, $V_{G1K}=2.0V$, $V_{G2A}=5.0V$)

阳极电流 I_A 与加速电压 V_{G2K} 的测试记录										
$V_{G2K}(V)$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$V_{G2K}(V)$	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.008
$V_{G2K}(V)$	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.013	0.020	0.030	0.048	0.073	0.099	0.125	0.147	0.169	0.188
$V_{G2K}(V)$	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.201	0.207	0.208	0.207	0.202	0.199	0.190	0.173	0.150	0.125
$V_{G2K}(V)$	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.103	0.078	0.062	0.059	0.082	0.148	0.226	0.303	0.373	0.433
$V_{G2K}(V)$	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.479	0.520	0.550	0.566	0.583	0.586	0.587	0.575	0.550	0.505
$V_{G2K}(V)$	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	35.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.439	0.349	0.247	0.160	0.113	0.112	0.166	0.254	0.363	0.469
$V_{G2K}(V)$	36.0	36.5	37.0	37.5	38.0	38.5	39.0	39.5	40.0	40.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.566	0.653	0.762	0.827	0.859	0.911	0.948	0.948	0.985	0.988
$V_{G2K}(V)$	41.0	41.5	42.0	42.5	43.0	43.5	44.0	44.5	45.0	45.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.973	0.950	0.904	0.834	0.734	0.605	0.461	0.345	0.285	0.307
$V_{G2K}(V)$	46.0	46.5	47.0	47.5	48.0	48.5	49.0	49.5	50.0	50.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.389	0.518	0.683	0.800	0.909	1.008	1.098	1.170	1.240	1.299
$V_{G2K}(V)$	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5	55.0	55.5
$I_A(*10^{-7}A)$	1.347	1.383	1.410	1.425	1.424	1.406	1.368	1.306	1.217	1.102
$V_{G2K}(V)$	56.0	56.5	57.0	57.5	58.0	58.5	59.0	59.5	60.0	60.5
$I_A(*10^{-7}A)$	0.968	0.844	0.764	0.755	0.794	0.896	1.014	1.132	1.249	1.362
$V_{G2K}(V)$	61.0	61.5	62.0	62.5	63.0	63.5	64.0	64.5	65.0	65.5
$I_A(*10^{-7}A)$	1.472	1.575	1.677	1.775	1.861	1.937	2.001	2.051	2.097	2.104
$V_{G2K}(V)$	66.0	66.5	67.0	67.5	68.0	68.5	69.0	69.5	70.0	70.5
$I_A(*10^{-7}A)$	2.118	2.104	2.061	1.992	1.905	1.809	1.719	1.645	1.606	1.623
$V_{G2K}(V)$	71.0	71.5	72.0	72.5	73.0	73.5	74.0	74.5	75.0	75.5
$I_A(*10^{-7}A)$	1.688	1.772	1.880	1.991	2.108	2.230	2.355	2.481	2.606	2.725
$V_{G2K}(V)$	76.0	76.5	77.0	77.5	78.0	78.5	79.0	79.5	80.0	80.5
$I_A(*10^{-7}A)$	2.840	2.947	3.042	3.126	3.195	3.250	3.285	3.317	3.315	





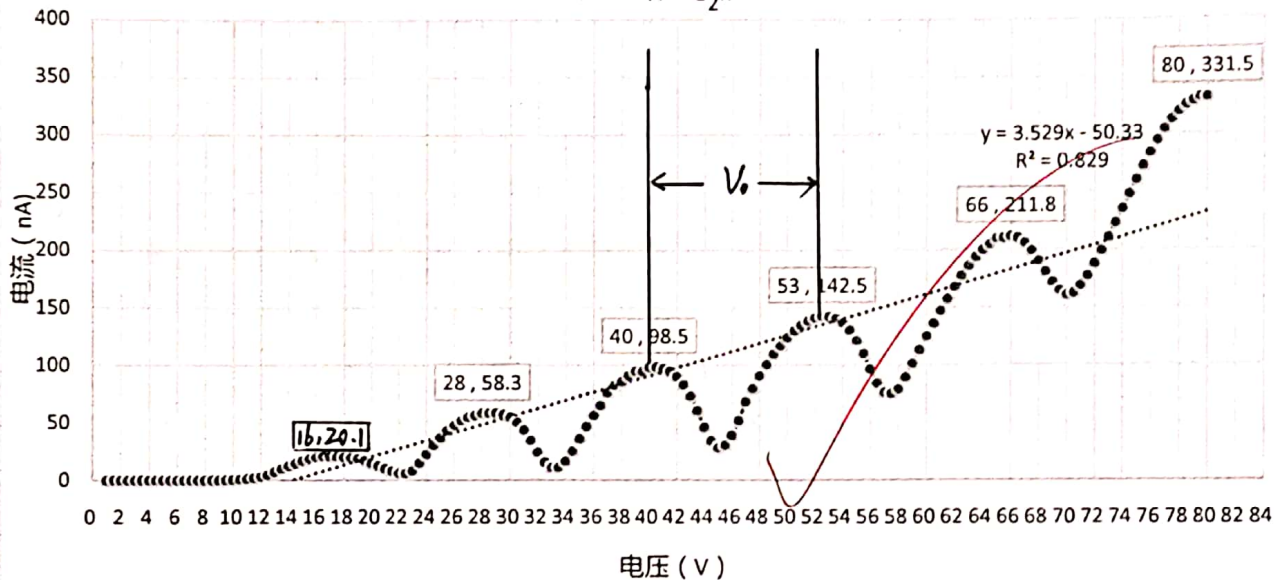
厦 门 大 学

XIAMEN UNIVERSITY

ADD: ZULFAN XIAMEN CABLE:0633 P.C:361005

(灯丝电压: 2.3V, 第一栅压: 2.0V 拒斥电压: 5.0V)

氩 (Ar) $I_A - V_{G_2K}$ 曲线



峰点位置与对应扫描电压 V_{G_2K} - 列表

峰点位置	1	2	3	4	5	6
加速电压 $V_{G_2K}(V)$	17.0	29.0	40.5	52.5	66.0	79.5

$$V_0 = \frac{79.5 - 17.0}{5} = 12.5 (V)$$

$$\textcircled{1} 17.0 = V_c + V_0$$

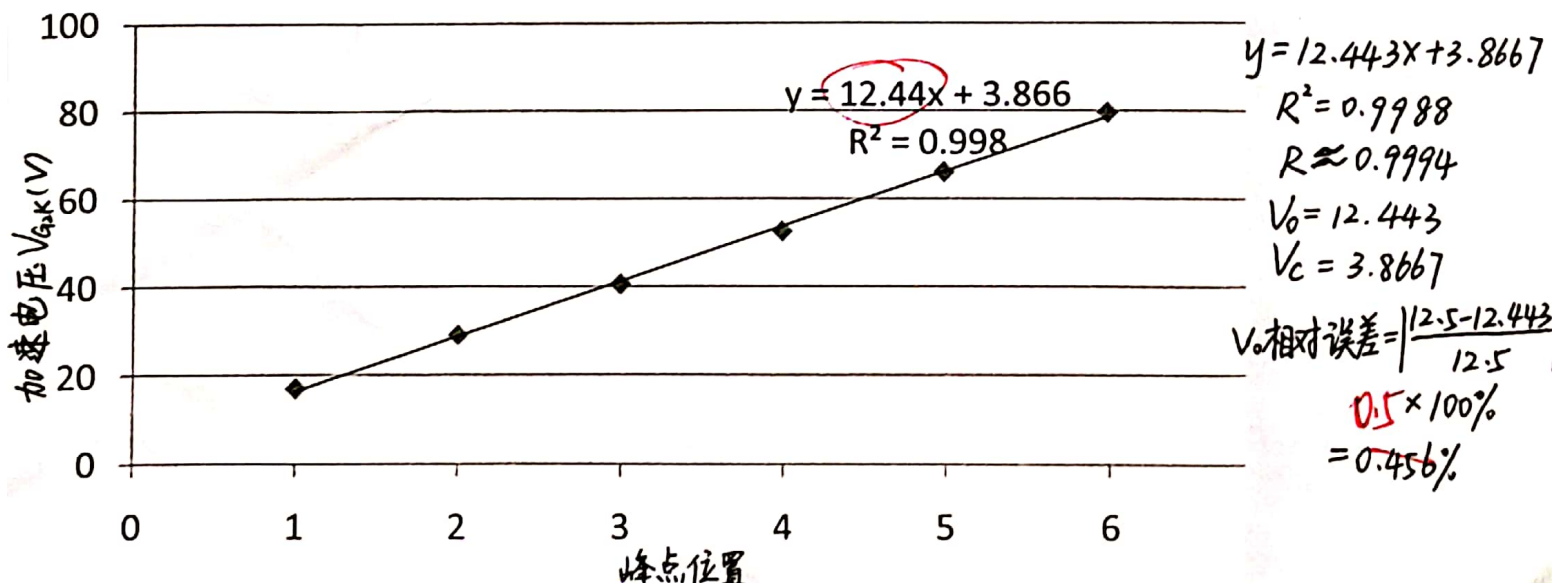
$$\textcircled{2} 29.0 = V_c + 2V_0$$

$$\textcircled{3} 40.5 = V_c + 3V_0$$

$$\textcircled{4} 52.5 = V_c + 4V_0$$

$$\textcircled{5} 66.0 = V_c + 5V_0$$

$$\textcircled{6} 79.5 = V_c + 6V_0$$



$$y = 12.443x + 3.8667$$

$$R^2 = 0.9988$$

$$R \approx 0.9994$$

$$V_0 = 12.443$$

$$V_c = 3.8667$$

$$V_0 \text{ 相对误差} = \left| \frac{12.5 - 12.443}{12.5} \right|$$

$$= 0.5\%$$

$$= 0.456\%$$



扫描全能王 创建