

目的: 验证原子具有分立能级

测量氢原子的第一激发电位

了解电子与原子碰撞及能量交换的微观过程

实验报告

(14)

课程名称:

实验名称: 弗兰克-赫兹实验

实验日期: 2023 年 10 月 10 日 上午

班级:

教学班级: 苏文勇老师班

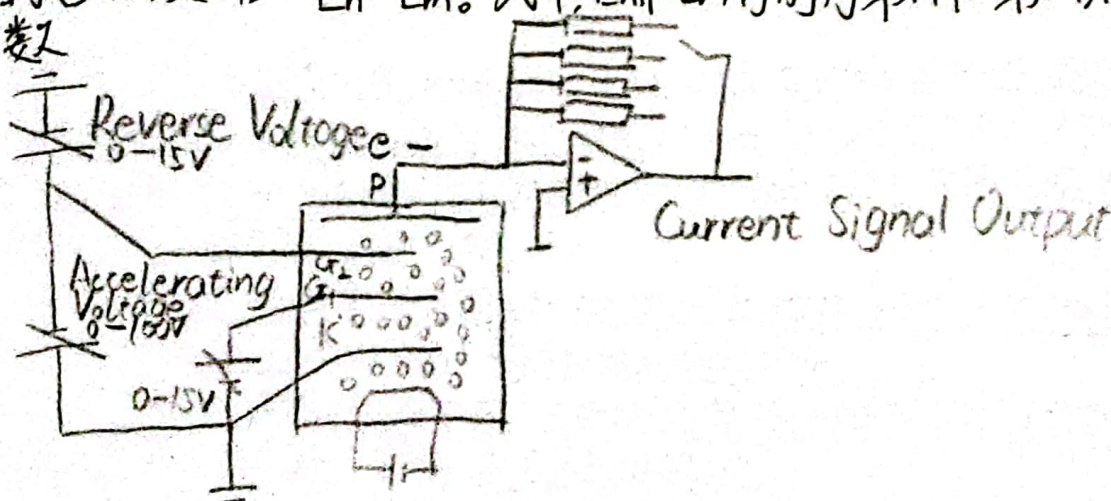
学号:

一. 实验目的

通过弗兰克-赫兹实验证明原子能级(分立态)的存在

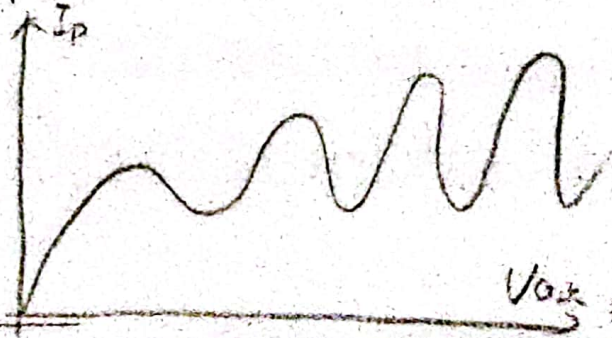
二. 实验原理

当原子受外界作用而从一个稳定态过渡到另一个稳定态时, 就吸收或放出一定频率的电磁波: $h\nu = E_n - E_m$ 。式中, E_n 和 E_m 分别为第 n 和第 m 激发态, h 为普朗克常数



实验原理由图所示。弗兰克-赫兹管是一种四极管, 内部充满氩气。本实验是用慢电子碰撞氩原子来证明原子能级的。电子从热阴极发出, 阴极 K 和第二栅极 G_2 之间的加速电压 U_{G_2K} 使电子加速, 并能穿过第二栅极的栅网。在板极 P 和第二栅极 G_2 之间加有减速电压 U_{G_2P} 。如果电子的能量较大, 能够克服 U_{G_2P} 到达板极, 形成板极电流 I_p 。实验的主要工作就是观察在一定的加速电压控制下, 板流的变化情况。

当 U_{G_2K} 电压逐渐增加时, 如果原子能级确实存在, 能够观察到如下图所示的 $U_{G_2K} - I_p$ 规律变化曲线。该曲线反映了氩原子 $K - G_2$ 空间与电子进行能量交换的情形。当 $U_{G_2K} = nU_0$ 时, 板流都会出现极小值。相邻的两个极小值对应的 U_{G_2K} 的差就等于原子的第一激发电位 U_0 。



联系方式:

指导教师签字:



实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

三、实验内容与步骤

1. 预热

实验前将量程置于 10^6 挡,所有电位器都逆时针旋转到头,使得各挡电压与频率低到最小值。然后开电源,将电压选择开关置于 V_{gk} 挡并适当调节(一般为1.5V左右),再拨到 V_{ap} 挡并调节(一般7.5V左右)。预热F-H管3min后开始观测。

2. 观测

(1) 将示波器置于X-Y工作方式。X轴的放大倍率旋钮 V/div 置于 $0.2V/div$ 。Y轴的放大倍率 V/div 可置于 $20mV/div$ 或 $50mV/div$ 。然后把X轴和Y轴放大倍率定标,即微调旋钮置于CAL(校准)处,这时,X轴和Y轴的实际放大倍率才准确等于旋钮指示值。X和Y轴的"AC/DC"选择开关置于DC处。

(2) 将F-H实验仪的输出端与示波器的对应输入端连接。调节后面板上的增益调节旋钮,使屏上的水平扫描线"痕迹"正好为10格,相当于100V。

(3) 将"选择"开关置于示波器挡将电压"选择开关置于 V_f 挡并缓慢调节。一旦发现几波峰增长较快时,再微微减小 V_f 值,直到波形稳定。

(4) 分别读出6(或5)个波谷对应的电压值。然后用逐差法求第一激发电位。示波器的Y轴代表板极电流,读数时记录格数即可。

3. 手动方式观测

先用示波器方式观测F-H曲线,调出最佳的灯丝电压 V_f 。然后将选择开关置于手动,电压选择开关拨到加速位置,缓慢调节加速电压旋钮。调出第一个峰值时,记录 I_p 和 V_{gk} ,再次调该点附近的 $V_{gk} \pm 2V$ 的两个点,然后增大 V_{gk} ,调出第二个谷值,记录F-H实验仪上的电流和电压值。

作出F-H实验曲线,并求出第一激发电位。

4. 加速电压波形

观察示波器方式下F-H管第二栅极上加速电压的波形,测量其幅度和频率。注意此示波器应改用Y-t方式。

注意:实验结束后将灯丝电压 V_f 逆时针调到最小,再关电源。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

(14)

课程名称: 实验名称: 实验日期: 2023 年 10 月 10 日 上午

班 级: 教学班级: 学 号: [REDACTED]

示波器方式

原始数据

某

波峰	1	2	3	4	5	6
$I_p(\mu A)$	0.8	0.4	0.3	0.4	0.6	1.4
$V_{GK}(V)$	23	36	48	61	73	87

2. 手动方式

	左	峰 ₁	右	左	谷 ₁	右
$I(\mu A)$	111	127	95	90	43	107
$V_{GK}(V)$	15.2	17.2	19.2	19.6	21.6	23.6

	左	峰 ₂	右	左	谷 ₂	右
$I(\mu A)$	167	185	148	106	30	85
$V_{GK}(V)$	25.5	27.5	29.5	30.4	32.4	34.4

	左	峰 ₃	右	左	谷 ₃	右
$I(\mu A)$	191	217	179	85	14	97
$V_{GK}(V)$	36.9	38.9	40.9	42.6	44.6	46.6

	左	峰 ₄	右	左	谷 ₄	右
$I(\mu A)$	213	243	193	105	28	92
$V_{GK}(V)$	44.2	51.2	53.2	54.7	56.7	58.7

	左	峰 ₅	右	左	谷 ₅	右
$I(\mu A)$	226	264	216	116	71	116
$V_{GK}(V)$	61.8	63.8	65.8	67.6	69.6	71.6

	左	峰 ₆	右	左	谷 ₆	右
$I(\mu A)$	254	283	239	176	132	158
$V_{GK}(V)$	75.0	77.0	79.0	82.6	82.6	84.6

指导教师签字: _____

实验二十五 弗兰克—赫兹实验

(原始数据可以用空白纸记录)

1. 示波器方式: (测连续 6 个波谷加速电压值)

表 1

波谷	1	2	3	4	5	6
I_p (小格)	0.8	0.4	0.3	0.4	0.6	1.4
V_{G2K} (V)	23	36	48	61	73	87

$\Delta V_{G2K} = 1 \text{ V}$, 包含因子 $k = 1.645$. 用逐差法计算第一激发电位, 并正确表达结果:

2. 手动记录: (连续 6 个波峰和波谷、及峰谷两侧 $\pm 2 \text{ V}$ 的加速电压和板级电流值)

表 2

	左	峰 1	右	左	谷 1	右
I (μA)	111	127	95	90	43	107
V_{G2K} (V)	15.2	17.2	19.2	19.6	24.6	23.6
	左	峰 2	右	左	谷 2	右
I (μA)	167	185	148	106	30	85
V_{G2K} (V)	25.5	27.5	29.5	30.4	32.4	34.4
	左	峰 3	右	左	谷 3	右
I (μA)	191	217	179	85	14	97
V_{G2K} (V)	36.9	38.9	40.9	42.6	44.6	46.6
	左	峰 4	右	左	谷 4	右
I (μA)	213	243	193	105	28	92
V_{G2K} (V)	49.2	51.2	53.2	54.7	56.7	58.7
	左	峰 5	右	左	谷 5	右
I (μA)	226	264	216	116	71	116
V_{G2K} (V)	61.8	63.8	65.8	67.6	69.6	71.6
	左	峰 6	右	左	谷 6	右
I (μA)	254	283	239	176	132	158
V_{G2K} (V)	75.0	77.0	79.0	80.6	82.6	84.6

$\Delta V_{G2K} = 0.1 \text{ V}$, 包含因子 $k = 1.645$.

用坐标纸作图; 用逐差法计算第一激发电位; 写出主要计算过程; 正确表达结果;

思考题: 第 3 题。

图1

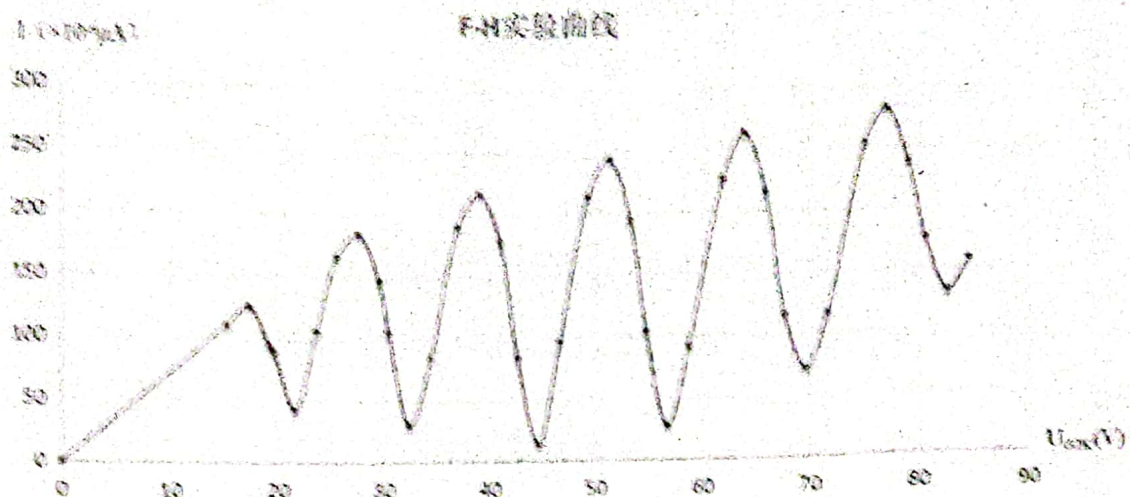
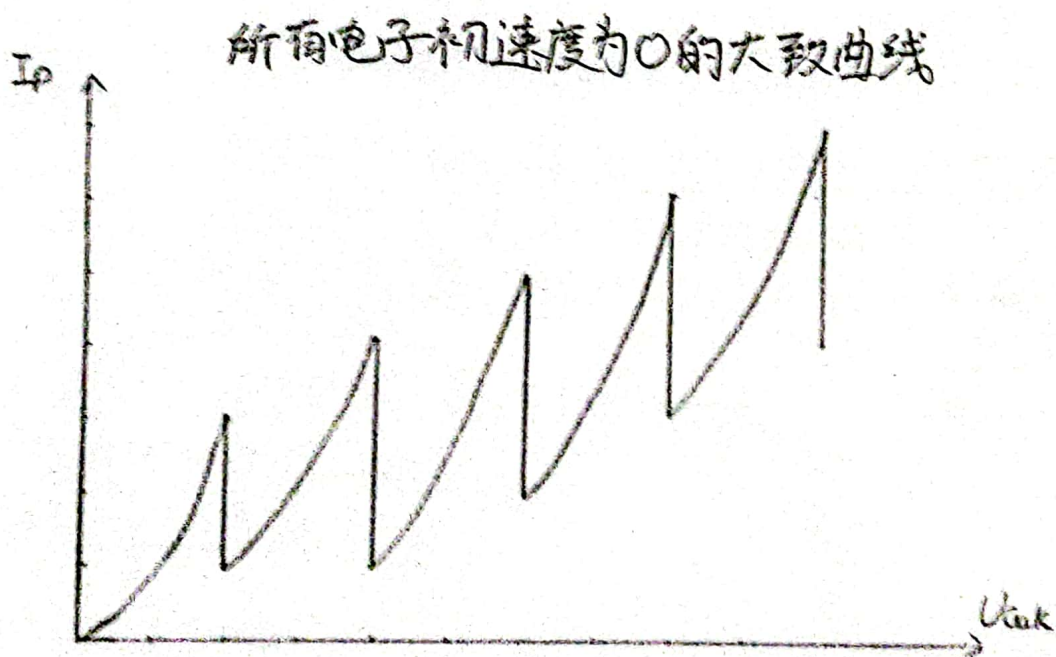


图2



实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

数据处理

1. 示波器观测

按要求连接并调试好示波器, 弗兰克-赫兹实验仪, V_{G1K} 调节为 1.5V, V_{G2P} 调节为 7.5V, 预热 3min, 调节 V_F 使示波器上波形稳定。读出 6 个波谷对应的电压、电流, 结果如表 1 所示。

下面用逐差法求氩原子的第一激发电位:

$$U = \frac{\frac{1}{3} \sum (U_{i+3} - U_i)}{3} = \frac{(61-23) + (73-36) + (87-48)}{9} V = 12.89 V$$

$$U \text{ 的不确定度 } u(U) = \frac{\Delta V}{K} = \frac{1}{1.645} = 0.6 V$$

则氩原子的第一激发电位的测量结果为 $U = 12.9(0.6) V$

2. 用手动方式观测

按实验要求调节好示波器和弗兰克-赫兹实验仪, 利用示波器上的图像, 调出最适合测量和观测的灯丝电压 V_F 。切换测量方式为手动, 调节加速电压旋钮, 测得 6 组峰值, 6 组谷值和对应的电压和电流, 以及峰谷两侧 $\pm 2V$ 对应的电流值如表 2 所示。

根据表 2 中数据, 用 Excel 绘制 $I-U$ 曲线如图 1 所示。

下面用逐差法求氩原子的第一激发电位

$$U = \frac{1}{2} \left[\frac{\frac{1}{3} \sum (U_{\text{峰}i+3} - U_{\text{峰}i})}{3} + \frac{\frac{1}{3} \sum (U_{\text{谷}i+3} - U_{\text{谷}i})}{3} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{9} [(51.2 - 17.2) + (63.8 - 27.5) + (77.0 - 38.9)] + \frac{1}{9} [(56.7 - 24.6) + (69.6 - 32.4) + (82.6 - 44.6)] \right\}$$

$$= 12.15 (V)$$

$$U \text{ 的不确定度为 } u(U) = \frac{\Delta V}{K} = \frac{0.1}{1.645} = 0.06 V$$

则氩原子第一激发电位的测量结果为 $U = 12.15(0.06) V$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

3. 实验结果分析

通过手动测量方式得到的图3所示 I - U 曲线可知, 随着 U_{GK} 电压逐渐增大, 电流呈现出峰谷交替出现的变化规律, 可证明原子能级(分立态)的存在。查阅资料可知, 氢原子第一激发态电位为 $13.08V$, 若取 $U_0 = 13.08V$ 作为理论值, 则用示波器测量和手动测量结果的相对误差分别为:

$$E_1 = \frac{|U_1 - U_0|}{U_0} \times 100\% = 1.38\%$$

$$E_2 = \frac{|U_2 - U_0|}{U_0} \times 100\% = 7.11\% \quad \text{手动测量结果误差较大}$$

进一步查阅资料可知: 氢原子还有电位为 $11.55V$ 和 $11.72V$ 的亚稳态。这时实验中手动测量的数据结果可能是某一亚稳态的电位。

若选取 $U'_0 = 11.72V$ 作为理论值, 则手动测量结果的误差 E'_2

$$E'_2 = \frac{|U_2 - U'_0|}{U'_0} \times 100\% = 3.67\%, \quad \text{误差较小, 说明手动时测量的可能是 } 11.72V \text{ 的亚稳态电位。}$$

思考题

根据阴极发射电子的速度分布来解释 I_p 峰顶的形状? 若假设所有电子的初速度都为 0, 那么 I_p 在下降时是否会垂直下降? 并画此时 I - U 曲线。

答: ① I_p 峰顶的形状: 电子从阴极发射的速度不一致, 分布在一个速度区间内, 此时电子具有初动能 $E_{k0} = \frac{1}{2}mv^2$, 经过 U_{GK} 电压, 电子具有的总能量 $E = E_{k0} + eU_{GK}$, 当 E 达到能使氢原子跃迁的值时, 电子便会把能量传递给氢原子, 而此时电子能量减少, 无法到达极板, 导致电流下降。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

而是由于每个电子的初速度不一致,初动能也不一致,使达到能量 E_0 (能使氢原子跃迁的能量)所需的 U_{GK} 电压值也不一致。速度小的电子需要较大的 U_{GK} 才能到达 E_0 ,而速度大的电子则需要较小的 U_{GK} 即可到达 E_0 的能量,从而使得氢原子跃迁。这样就会导致一部分电子到达 E_0 ,将能量传氢原子使其发生跃迁时,另一部分电子能量小于 E_0 ,不会与氢原子发生能量交换,其有足够的动能达到极板,形成电流。故 I_p 峰顶的形状是较为平缓的,并不是突然之间的电流减小。

电子在发射出时,在某一速度 V_0 附近分布最多。当速度为 V_0 的电子经过 V_{GK} 加速达到 E_0 时使氢原子跃迁,会导致电流宏观上的减小,但此时仍有速度不为 V_0 的电子没有达到能量 E_0 ,不与氢原子交换能量而打到极板上,故电流不会突然减小,而是由较平缓,逐渐减小,对应到 I_p 峰顶的较为平滑的形状。

②会垂直下降。通过①中分析,当所有电子初速度均为0时,每个电子达到 E_0 所需的 U_{GK} 均一致,当 U_{GK} 达到特定值时,所有电子恰好能与氢原子交换能量,而在 U_{GK} 左右没有符合条件的电子,就会造成电流骤降,即垂直下降。但由于并不是所有电子均会与氢原子碰撞并交换能量,故电流不会降为0。

③此时 $F-H$ 曲线大致如图2所示。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088