



信箱号: 

# 天津大学物理实验报告

机械学院大二年级 

成绩 9.0

实验日期: 2021.11.11

同组实验者 无

## 实验题目: 弗兰克-赫兹实验

### 一. 实验目的:

1. 利用弗兰克-赫兹管测量氩体原子的第一激发电位.
2. 由弗兰克-赫兹实验理解玻尔的原子里论.

### 二. 实验仪器

LB-FH型弗兰克-赫兹实验仪, 示波器.

### 三. 实验原理

根据玻尔的原子里论理论, 原子是由原子核和以核为中心沿不同轨道运动的一些电子构成的. 对于不同的原子, 这些轨道上的电子数分布各不相同. 一定轨道上的电子具有一定的能量, 当同一原子的电子从低能量的轨道跃迁到较高能量的轨道时, 原子就处于受激状态. 若轨道I为正常状态, 则较高能量的II、III状态依次称为第一受激态、第二受激态, 等等. 但原子所处的能量状态并不是任意的, 而是受到玻尔理论两个假设的限制:

- ① 原子只能处于一些不连续的能量状态,  $E_1, E_2$  称为定态. 原子的能量不论通过什么方式发生改变, 只能是从一个定态跃迁到另一个定态.
- ② 原子从一个定态跃迁到另一个定态, 它将发射或吸收辐射的频率是一定的, 且有  $h\nu = |E_m - E_n|$

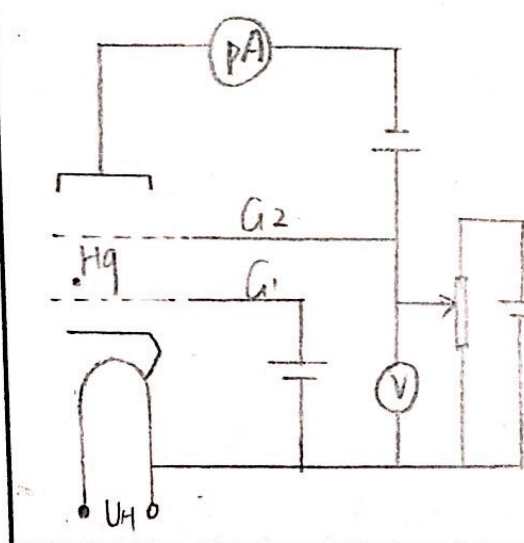


# 天津大学物理实验报告

级

附 页

原子从低能向高能级跃迁,也可以通过具有一定能量的电子与原子相碰撞进行能量交换来实现.本实验即让电子在真空中与氩原子蒸气相碰撞.设氩原子的基态能量为 $E_1$ ,第一激发态的能量为 $E_2$ .从基态跃迁到第一激发态所需的能量为 $E_2 - E_1$ .初速度为零的电子在电位差 $U$ 的加速电场作用下,具有能量 $eU$ .若 $eU < E_2 - E_1$ ,则电子与氩原子只发生弹性碰撞,二者之间几乎没有能量转移.当电子的能量 $eU \geq E_2 - E_1$ ,电子与氩原子就会发生非弹性碰撞,氩原子将从电子的能量中吸收相当于 $E_2 - E_1$ 的那份,使电子从基态跃迁到第一激发态,而多余的部分仍留给电子.设使电子具有 $E_2 - E_1$ 所需要的加速电场电位差为 $U_0$ ,则 $eU_0 = E_2 - E_1$ .式中 $U_0$ 为氩原子的第一激发电位,是普朗克物理量.(汞原子的第一激发电位为4.9V,氩原子的第一激发电位为11.5V).



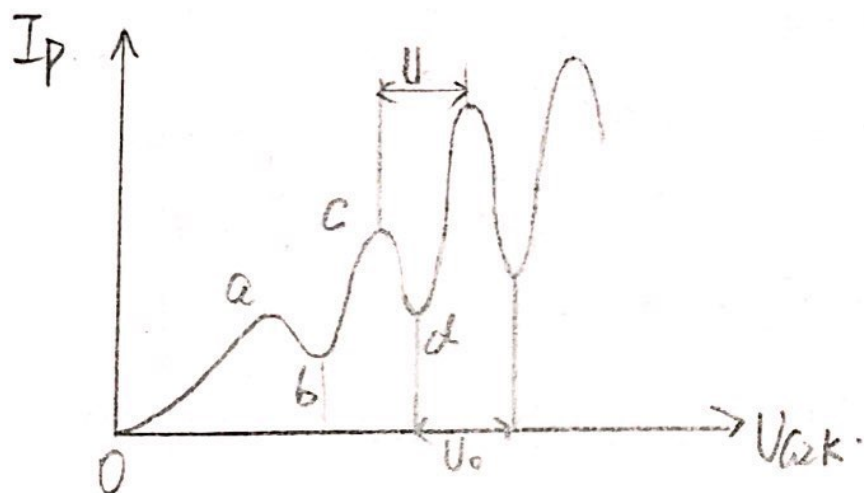
弗兰克-赫兹实验原理可用左图来表明.在充氩的F-H管中.电源 $U_H$ 加热灯丝,阴极受热,发出电子,阴极K和第一栅极 $G_1$ 之间的加速电压 $U_{G1K}$ 使电子加速.第一栅极对电子加速起缓冲作用,避免加速电压过高

李瑞娟  
2017.3.2



### 实验题目：

时损伤阴极，第一栅极与阴极K间的电位差 $U_{G1K}$ 提供。在板极A和 $G_2$ 间加反向拒斥电压 $U_{G2A}$ ，当电子通过 $KG_2$ 间时，如果具有较大的能量( $> eU_{G2A}$ )就能克服反向拒斥电场而达到极板形成板极电流，被微电流计检测出来。如果电子在 $KG_2$ 空间与氩原子碰撞，部分能量给了氩原子使其激发，本身所剩能量太小，以致通过栅极后不足以克服拒斥电场而折回，通过微电流计的电流就将显著减小。



实验时，使栅极电压 $U_{G2K}$ 由零逐渐增加，观测电流表的板极电流指示，就会得出如上图所示曲线。它反映了氩原子在 $KG_2$ 空间与电子进行能量交换的情况，当 $U_{G2K}$ 逐渐增加时，电子在加速过程中能量也逐渐增大，但电压在初升阶段大部分电子还不到激发氩原子的动能，与氩原子只是发生弹性碰撞，基本上不损失能量，于是穿过栅



# 天津大学物理实验报告

附 页

极到达板极,也会因不能克服反向拒斥,形成的板极电流 $I_p$ 随 $U_{G2K}$ 的增加而增大,如曲线 $Oa$ 段,当 $U_{G2K}$ 接近和达到氩原子的第一激发电位 $U_0$ 时,电子在栅极附近与氩原子相碰撞,碰撞的电子损失了大部分动能,即使穿过栅极,也会因不能克服反向拒斥电场而折回栅极,所以 $I_p$ 显著减小,如曲线 $ab$ 段.同理,凡 $U_{G2K} = nU_0$ ,  $n=1, 2, 3$ 处, $I_p$ 都会下跌,形成规则起伏变化的 $I_p - U_{G2K}$ 曲线.而相邻两次板极电流 $I_p$ 下降所对应的栅极电压之差,就是氩原子的第一激发电位 $U_0$ .

本实验通过实际测量来证明原子能级的存在,并测出氩原子的第一激发电位.

原子处于激发态是不稳定的,在实验中被慢电子轰击到第一激发态电位的原子经历极短时间又会跃迁至基态,这时应有 $eU_0$ 的能量以电磁波的形式辐射出来.

可有:  $eU_0 = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ , 对于氩原子

$$\lambda = \frac{hc}{eU_0} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^8}{1.61 \times 10^{-19} \times 11.5} = 108 \text{ nm}.$$

## 四. 实验步骤

1. 用示波器测量氩原子的第一激发电位

(1) 检查示波器与弗兰克-赫兹实验仪器的连接情况.

并打开各自电源开关预热10分钟.



### 实验题目:

(2) 将弗兰克-赫兹实验仪的“手动/自动”切换开关置于“自动”状态, 将灯丝电压  $U_H$ 、控制栅(第一栅极)电压  $U_{G1K}$ 、拒斥电压  $U_{G2A}$  缓慢调节到实验给出的参量, 示波器上显示出弗兰克-赫兹实验曲线, 调节示波器的“Y增益”, 使曲线的幅值适合观测的高度。

(3) 调节示波器的“时基微调”旋钮, 使一个扫描周期正好布满示波器的10格; 扫描电压最大为120V, 量出各峰值对应的  $U_{G2K}$  值(峰间距), 可用逐差法求出氩原子的第一激发电位的值, 可多测几组算出平均值。

### 2. 测绘弗兰克-赫兹实验曲线

(1) 选择“手动”测量状态, 手动调节  $U_{G2K}$  旋钮使电压表示数字零, 微电流倍率栏选择“ $10^{-9}$ ”挡位。

(2) 旋转第二栅极电压调节旋钮, 测定曲线  $I_p - U_{G2K}$ , 使第二栅极电压  $U_{G2K}$  缓慢增加, 使每增加1V, 记录相应的电压  $U_{G2K}$ 、板极电流  $I_p$  的值, 测至第六个谷值即可。实验完毕, 请长时间将  $U_{G2K}$  置于最大值, 应将其旋转至最小值并计算其辐射波长。

(3) 根据所测数据, 列表作图, 以第二栅极电压  $U_{G2K}$  为

# 天津大学物理实验报告

附 页

横坐标, 板极电流  $I_p$  为纵坐标, 作出  $U_{GK}-I_p$  曲线. 读取电流峰值对应的电压值. 用逐差法计算出原子的第一激发电位.

4) 实验完毕后, 请勿长时间将  $U_{GK}$  置于最大值. 应将其旋至较小值.

## 五. 实验数据, 数据处理.

### 1. 示波器测量.

#### 第一激发电位测量数据

序号	1	2	3	4	5	6
波峰格数	3.0	3.82	4.6	5.51	6.4	7.3.
$U_{GK}(V)$	36	45.84	55.2	66.12	76.8	87.6

波谷格数	3.41	4.2	5.0	5.9	6.8	7.7
$U_{GK}(V)$	40.92	50.4	60.0	70.8	81.6	92.4

用逐差法求氩原子的第一激发电位的值.

$$\text{波峰: } U_0' = \frac{1}{9} [(66.12 - 36) + (76.8 - 45.84) + (87.6 - 55.2)] = 10.4V.$$

$$\text{波谷: } U_0'' = \frac{1}{9} [(70.8 - 40.92) + (81.6 - 50.4) + (92.4 - 60.0)] = 10.4V$$

$$\therefore U_0 = \frac{1}{2} (U_0' + U_0'') = 10.4V.$$

可知氩原子的第一激发电位为 11.5V. 相对误差  $E_r = \frac{1.1}{11.5} \times 100\% = 9.57\%$ .

### 2. 手动测量.

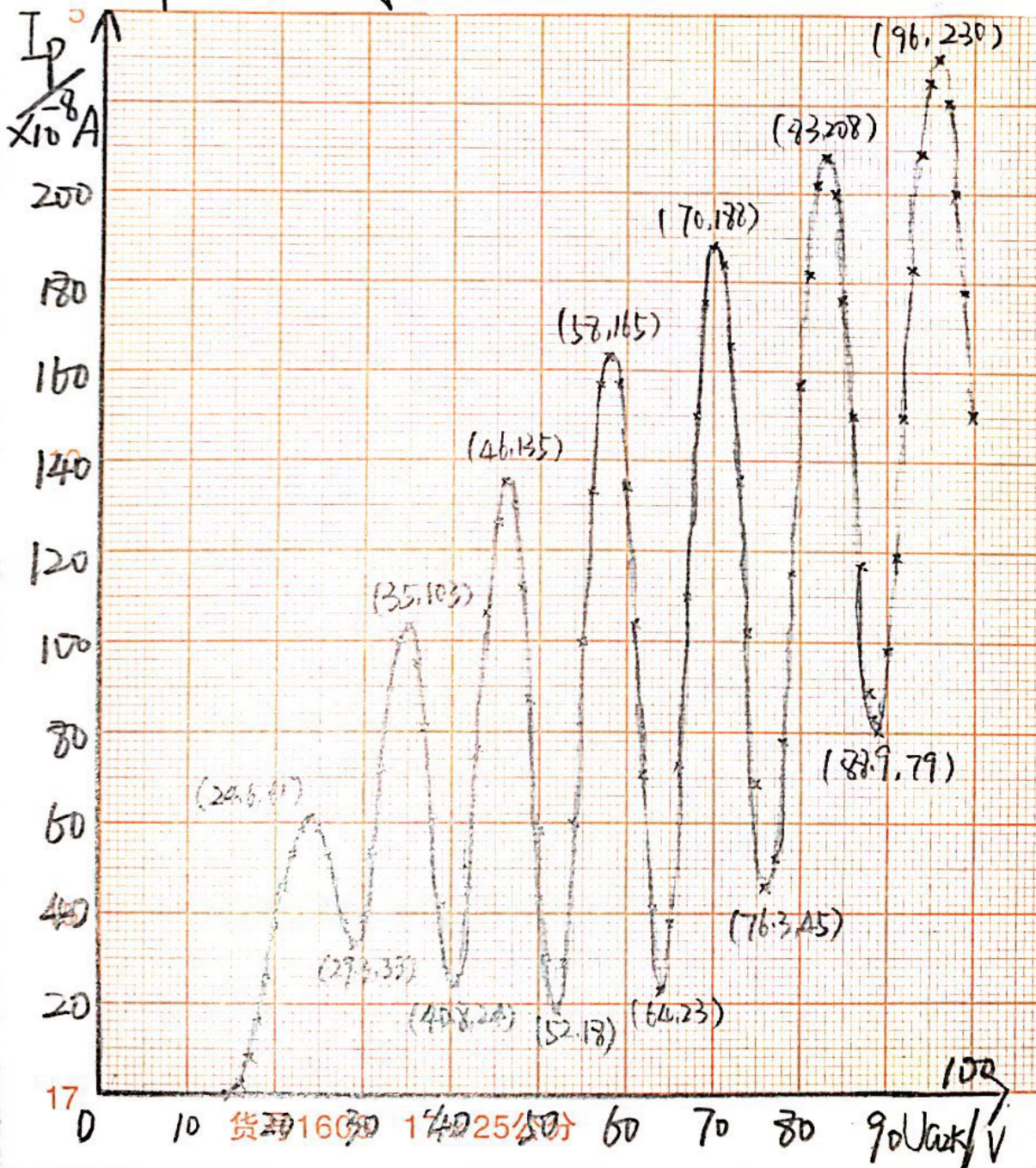
108nm  $\sim 1.15 \times 10^8$



实验题目：  
手动数据记录

N	1	2	3	4	5	6
峰值 $U_{GK}^{(V)}$	24.6	35.1	46	58	70	83
谷值 $U_{GK}^{(V)}$	29.3	40.8	52	64	76.3	88.9

$I_p - U_{GK}$  曲线





# 天津大学物理实验报告

附 页

波峰  $U_0' = \frac{1}{9} [(58-24.6) + (70-35.1) + (83-46)] = 11.7 \text{ V}$

波谷  $U_0'' = \frac{1}{9} [(64-29.3) + (76.3-40.8) + (88.9-52)] = 11.9 \text{ V}$

$$\bar{U}_0 = \frac{1}{2}(U_0' + U_0'') = 11.8 \text{ V}$$

$$S_{\bar{U}_0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (U_i - \bar{U}_0)^2}{10(10-1)}} = \sqrt{\frac{1.3^2 + 0.9^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 1.2^2 + 0.3^2 + 0.6^2 + 0.2^2 + 0.5^2 + 0.3^2}{90}} = 0.25$$

$$\therefore U_0 = (11.8 \pm 0.25) \text{ V}$$

相对误差  $\Delta U = |U_0 - U_{\text{真}}| = 0.3 \text{ V}$

$$\frac{0.3 \text{ V}}{11.5 \text{ V}} \times 100\% = 2.6\%$$

## 六. 误差分析.

① 由于预热不足, 测量可能产生误差.

② 实验时, 由于电压的步差不可能连续, 故测量的峰值可能存在误差.

③ 仪器本身存在一定误差.

本次实验第2、3、4个波谷电流值明显偏低, 可能由以上因素引起.

## 七. 计算辐射波长.

由公式  $eU_0 = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$  代入实验数据 (标准  $\lambda_0 = 108 \text{ nm}$ )

$$\lambda_0 = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 11.8} = 105.3 \text{ nm}, \text{ 存在误差 } \Delta \lambda = 2.7 \text{ nm}$$

$$\frac{2.7 \text{ nm}}{108 \text{ nm}} \times 100\% = 2.5\%$$



一. 用示波器测量氦原子的第一激发电位.

波峰	3.0	3.82	4.6	5.51	6.4	7.3
波谷	3.41	4.2	5.0	5.9	6.8	7.7.

41#

李滋润  
2017.3.2

二. 手动测量.

VG <sub>2k</sub>	I	VG <sub>2k</sub>	I	VG <sub>2k</sub>	I	VG <sub>2k</sub>	I
15.0	001	33.0	039	51.0	030	72.0	166
16.0	002	34.0	100	52.0	018	73.0	136
17.0	008	35.0	103	53.0	029	74.0	102
18.0	016	35.1	103	54.0	060	75.0	069
19.0	026	36.0	095	55.0	100	76.0	046
20.0	037	37.0	081	56.0	133	76.3	045
21.0	046	38.0	061	57.0	157	77.0	052
22.0	053	39.0	042	58.0	165	78.0	078
23.0	058	40.0	026	59.0	157	79.0	115
24.0	061	40.8	024	60.0	134	80.0	157
24.6	061	41.0	026	61.0	104	81.0	182
25.0	059	42.0	045	62.0	071	82.0	202
26.0	054	43.0	076	63.0	041	83.0	208
27.0	047	44.0	106	64.0	023	84.0	200
28.0	038	45.0	126	65.0	038	85.0	176
29.0	033	46.0	135	66.0	073	86.0	150
29.3	033	47.0	130	67.0	110	87.0	117
30.0	039	48.0	112	68.0	150	88.0	089
31.0	054	49.0	087	69.0	175	88.9	079
32.0	072	50.0	058	70.0	188	89.0	080
				71.0	184	90.0	098
						91.0	119
						92.0	150



VG<sub>2K</sub> I

93.0 183

94.0 209

95.0 227

96.0 230 波峰.

97.0 220

98.0 200

99.0 178

100.0 150.