

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 弗兰克赫兹实验

实验桌号:

指导教师: 韩益航

班级:

姓名:

学号:

实验日期: 2025 年 10 月 14 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告（10 分）

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，不超过 300 字，5 分）

实验原理：

1. 波尔原子理论：

1. 定态假设：原子只能较长久地停留在不连续的稳定状态，简称定态。
2. 频率定则：原子从一个定态跃迁到另一个定态时，要吸收或辐射一定频率的电磁波，其频率满足： $h\nu = E_n - E_m$ 其中 $h = 6.626 \times 10^{-34} J \cdot S$ 为普朗克常数
3. 第一激发电势：用电子轰击原子可以使原子跃迁，通过改变加速电压 U 来改变电子能量，当 U 增加到使电子与原子实现能量交换使原子由基态跃迁到第一激发态， U_0 为第一激发电势，满足：

$$eU_0 = E_2 - E_1$$

2. 弗兰克赫兹实验原理

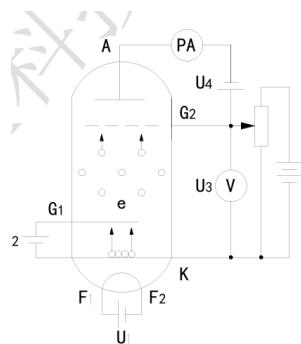


图 1-1 弗兰克-赫兹实验原理图

弗兰克-赫兹管是一只充有氩原子气体的四极管。

灯丝电压 $U_{F1F2}(U_1)$ ：加热灯丝使其发射热电子。

栅极电压 $U_{G1K}(U_2)$ ：抵消阴极附近电子云形成的负电势的影响。

加速电压 $U_{G2K}(U_3)$ ：对电子进行加速

拒斥电压 $U_{G2A}(U_4)$ ：对不同能量的电子起到筛选的作用，加速后电子的能量大于等于 $U_{G2A}(U_4)$ ，将到达板极 A，由微电流放大器 PA 测出。

实验现象：

随加速电压 $U_{G2K}(U_3)$ 的增加，板流 I_A 与加速电压 U_{G2K} 的关系曲线如图 1-3 所示。

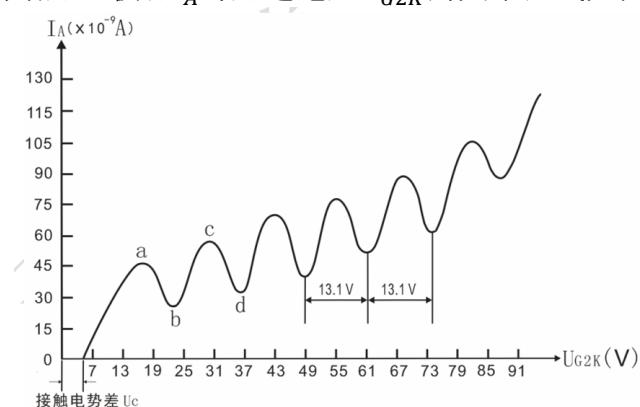


图 1-3 充氩弗兰克-赫兹管的 I_A-U_{G2K} 曲线

- (1) 板流随加 U_{G2K} 的增加出现一系列峰值和谷值;
 (2) 相邻的峰值之间对应的加速电势差均为 11.6V 左右。

原因：当电子的能量增加达到或超过氩原子的临界能量，电子与氩原子将发生非弹性碰撞，实现能量交换，电子能量减小。

实验方法：

按图连线：

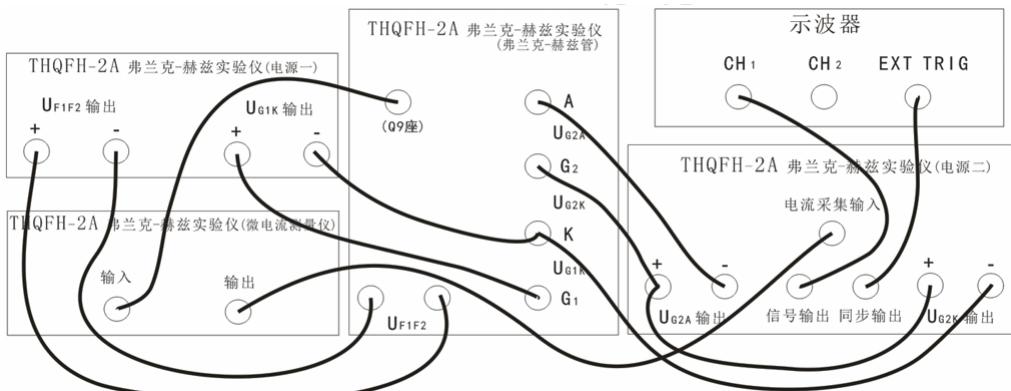


图 1-6 实验连线示意图一（前面板）

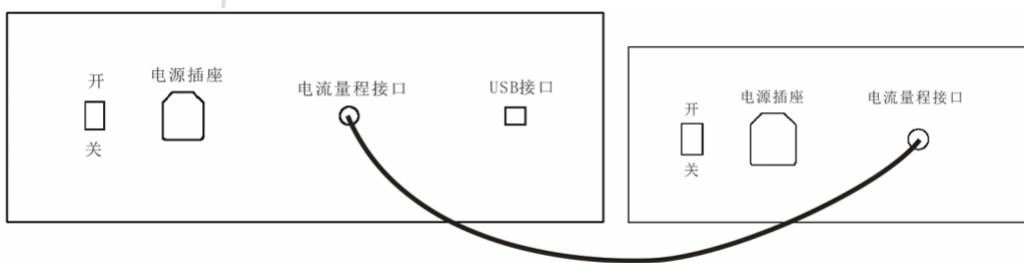


图 1-7 实验连线示意图二（后面板）

根据操作手册进行自动和手动测量并记录数据。

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点，不超过 100 字，3 分)

- 理解原子碰撞激发原理与测量方法：理解电子如何与原子碰撞，导致原子激发。
- 原子能级的证实：通过测量氢原子的第一激发电势，间接证明原子能级的存在。
- 曲线分析与数据处理：学会绘制 I_A-U_{G2K} 曲线，并利用逐差法计算激发电势。

3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点，不超过 100 字，2 分)

- 精确电压控制：手动操作时需要细致调节灯丝、栅极和拒斥电压，以获得清晰的电流-电压曲线。
- 曲线解读：正确识别 I_A-U_{G2K} 曲线上的峰谷，并准确计算激发电势，要求对实验原理有深刻理解。
- 管件保护：弗兰克-赫兹管昂贵且易损，需避免过压或操作不当造成的损坏。

二、原始数据 (20 分)

(将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓

名, 学号, 教师签字和日期。)

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

仪器参数 $U_{F1F2} = 3.44V$ $U_{G1K} = 0.85V$ $U_{G2A} = 1.79V$

微电流测量量程选择: $\times 10^{-9}A$

1. 自动测量

将 6 组自动测量数据记录到表 1, 对其分别进行线性拟合 (图 2), 拟合直线的斜率即为第一激发电势, 记录在表 2 中。

图 2 六次自动测量数据的线性拟合

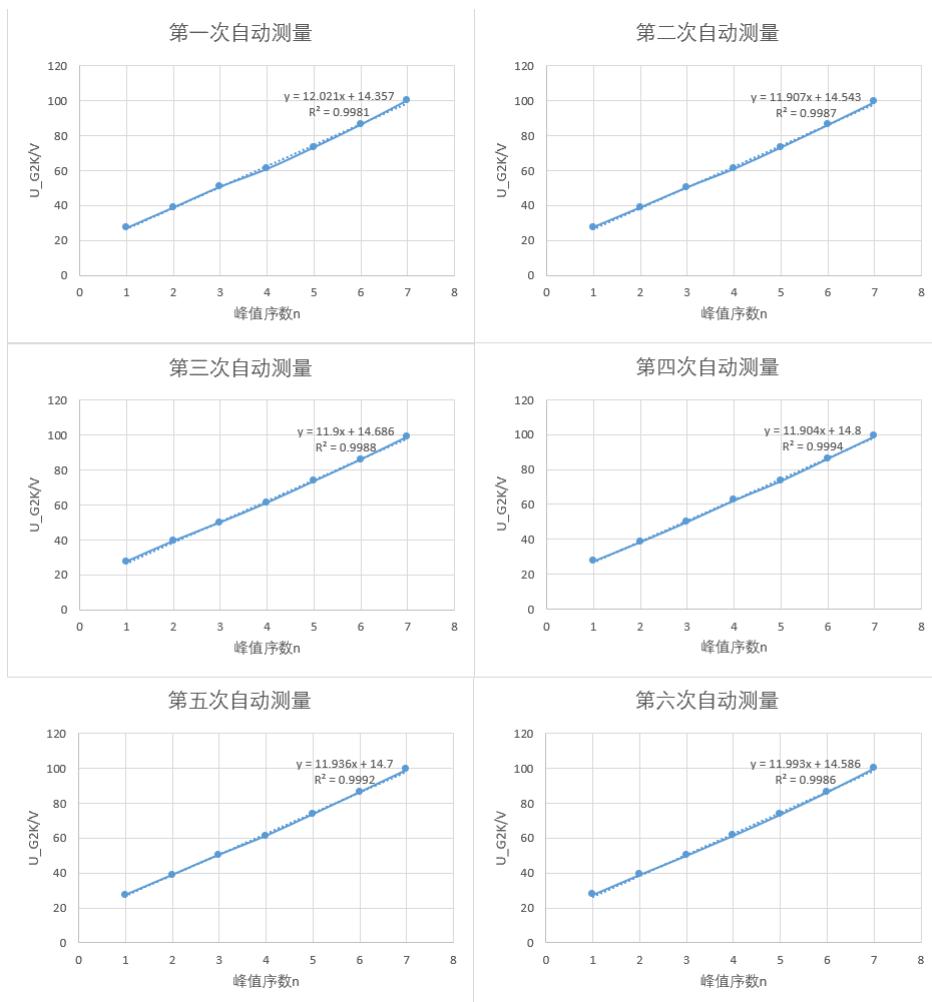


表 1 六次自动测量数据

第一次自动测量							
峰值序数 n	1	2	3	4	5	6	7
U_{G2K} (V)	27.1	38.8	50.7	60.9	73.2	86.2	100.2
第二次自动测量							
峰值序数 n	1	2	3	4	5	6	7
U_{G2K} (V)	27.3	38.6	50.2	60.8	73.1	86.0	99.2

第三次自动测量							
峰值序数 n	1	2	3	4	5	6	7
U_{G2K} (V)	27.3	39.1	49.8	61.1	73.5	86.0	99.2
第四次自动测量							
峰值序数 n	1	2	3	4	5	6	7
U_{G2K} (V)	27.5	38.5	50.0	62.3	73.4	86.2	99.0
第五次自动测量							
峰值序数 n	1	2	3	4	5	6	7
U_{G2K} (V)	27.3	38.8	50.4	61.3	73.7	86.4	99.2
第六次自动测量							
峰值序数 n	1	2	3	4	5	6	7
U_{G2K} (V)	27.5	39.0	50.0	61.5	73.5	86.4	100.0

表 2 自动测量拟合结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	平均值
U_{G2K} 拟合结果 (V)	12.02	11.91	11.90	11.90	11.94	11.99	11.94

2. 手动测量

以 1V 为梯度, 采 100 个数据点记录在表 3 中, 画出散点图 (图 3), 读出峰值处的电压, 记录在表 4 中, 并进行线性拟合, 拟合斜率即为得到的第一激发电势。

图 3 手动测量曲线

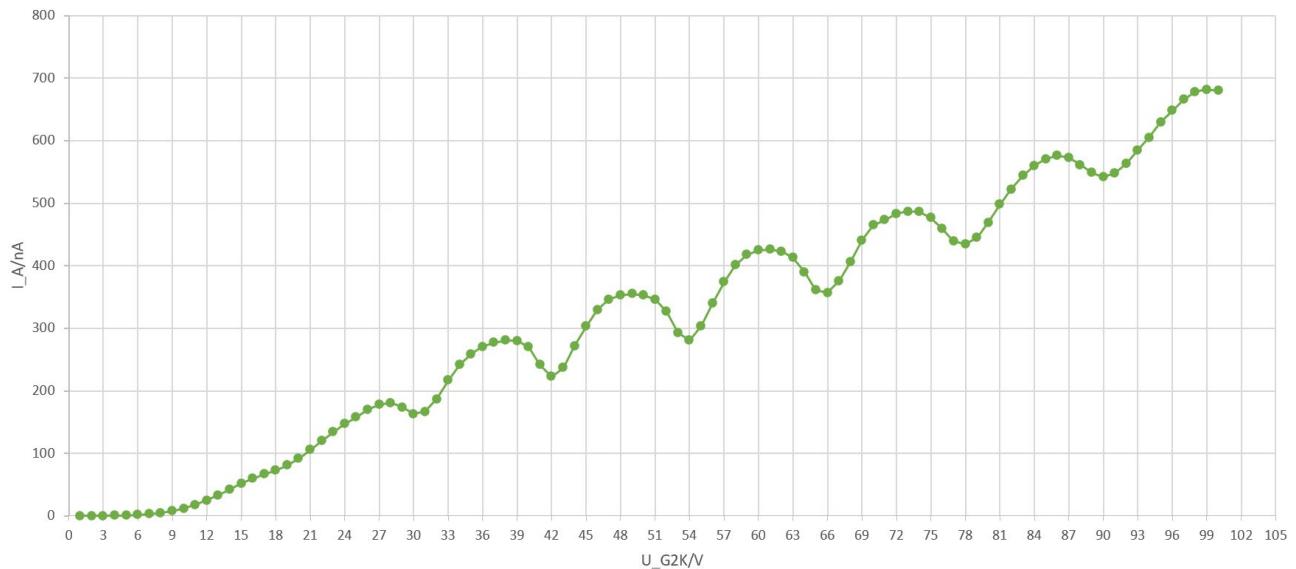


表 3 手动测量实验数据

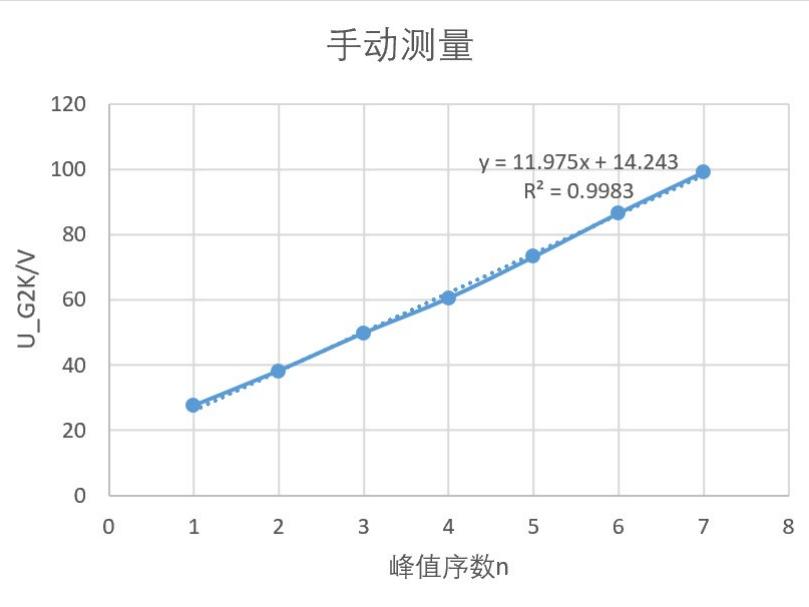
U_{G2K}/V	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
I_A/nA	0	0	0	1	1	2	3	5	8	12
U_{G2K}/V	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
I_A/nA	18	25	33	42	52	60	67	73	81	92
U_{G2K}/V	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
I_A/nA	106	120	134	147	158	170	178	181	174	163

U_{G2K}/V	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0
I_A/nA	167	187	217	242	259	271	277	281	280	270
U_{G2K}/V	41.0	42.0	43.0	44.0	45.0	46.0	47.0	48.0	49.0	50.0
I_A/nA	242	223	237	272	303	330	346	353	355	353
U_{G2K}/V	51.0	52.0	53.0	54.0	55.0	56.0	57.0	58.0	59.0	60.0
I_A/nA	346	327	293	281	304	340	374	401	418	425
U_{G2K}/V	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	68.0	69.0	70.0
I_A/nA	426	423	413	390	361	357	376	406	441	465
U_{G2K}/V	71.0	72.0	73.0	74.0	75.0	76.0	77.0	78.0	79.0	80.0
I_A/nA	473	483	487	486	477	459	439	435	445	469
U_{G2K}/V	81.0	82.0	83.0	84.0	85.0	86.0	87.0	88.0	89.0	90.0
I_A/nA	498	522	544	560	571	576	573	561	549	542
U_{G2K}/V	91.0	92.0	93.0	94.0	95.0	96.0	97.0	98.0	99.0	100.0
I_A/nA	548	563	585	605	630	648	666	678	682	680

表 4 手动测量电压峰值

峰值序数 n	1	2	3	4	5	6	7
U_{G2K} (V)	27.5	38.2	49.8	60.5	73.2	86.6	99.2

图 4 手动测量拟合曲线



得到手动测量 $U_{G2K} = 11.98V$

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果，写出完整的结果表达式，并分析误差原因。)

查表得氩原子第一激发电势为 11.61V

1. 自动测量

自动测量得到 $\overline{U_{G2K}} = 11.94V$

相对误差 $\frac{|11.94 - 11.61|}{11.61} \times 100\% = 2.9\%$

计算 A 类不确定度：

$$s(U) = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^6 (U_i - \bar{U})^2} = 0.0508V$$

$$u_A = \frac{s(U)}{\sqrt{5}} = 0.02V$$

所以最终结果为：

$$U_0 = 11.94 \pm 0.02V$$

2. 手动测量

手动测量 $U_{G2K} = 11.98V$

$$\text{相对误差 } \frac{|11.98 - 11.61|}{11.61} \times 100\% = 3.2\%$$

分析：

自动测量与手动测量所得结果都偏大，相对误差为 2.9% 和 3.2%，可能原因：

氩气纯度及压力：弗兰克-赫兹管内氩气可能含有微量杂质，或者氩气的实际压强与理论设计值存在偏差，这些因素都可能影响电子与氩原子碰撞的效率和激发电势的精确性。

电压表和电流表的系统误差：实验所用电压表和电流表可能存在一定的系统误差，导致读数不准确，从而影响最终激发电势的计算。

弗兰克-赫兹管状态：长时间使用或老化可能导致弗兰克-赫兹管内部特性发生变化，例如阴极发射效率、栅极漏电流等，这些都可能影响实验结果。

手动测量相对误差更大，原因可能是：手动测量时，需要肉眼判断电流-电压曲线上的峰值点。这过程中容易受到操作者主观判断的影响，导致峰值电压读数不够精确。同时，手动调节电压和记录数据时，很难保证每一次测量都达到最佳精度。手动测量通常采集的数据点密度不如自动测量，尤其是在峰值附近，可能无法捕捉到最精确的峰值位置，从而引入更大的随机误差。例如，本次手动测量以 1V 为梯度，在峰值变化较快的区域，1V 的间隔可能过大。此外，手动测量耗时更长，实验过程中环境温度、湿度或电磁干扰的变化可能对手动读数产生更大的影响。

另外，观察到手动测量曲线在第一个主要峰值出现之前有一个小小的峰值，这可能是由于氩原子存在较低的亚稳态能级。当电子能量达到或略高于这些亚稳态的激发电势时，电子与氩原子发生非弹性碰撞，使其跃迁到亚稳态，导致板流出现微小的变化，从而形成一个不明显的“小峰值”。这表明氩原子的能级结构比简单的两能级模型更为复杂。

3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本次实验通过弗兰克-赫兹管，观察电子轰击氩原子时板流随加速电压变化的曲线。实验现象显示板流呈现周期性峰谷，通过计算相邻峰值电压差，证实了原子的量子化能级和第一激发电势。通过自动和手动测量，计算出氩原子的第一激发电势，与理论值 11.61V 基本符合，验证了波尔原子理论的正确性。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

1. 第一激发电位的物理含义是什么？

用电子轰击原子可以使原子跃迁，通过改变加速电压 U 来改变电子能量，当 U 增加到使电子

与原子实现能量交换使原子由基态跃迁到第一激发态， U_0 为第一激发电势，满足：

$$eU_0 = E_2 - E_1$$

当电子的动能达到或超过这个电压值时，电子与原子发生非弹性碰撞，将自身一部分能量传递给原子，使原子内部的电子从基态跃迁到第一个不稳定的激发态。这个电势差对应着原子基态与第一激发态之间的能量差，是原子能级量子化存在的直接证据之一。

弗兰克-赫兹实验中测得的氩原子第一激发电势应为基态与两个亚稳态的电势差，介于 11.55V 和 11.72V 之间，公认值为 11.61V

2. 温度对F-H管的 $I_P - U_{G_2K}$ 曲线有什么影响？

气体压强会升高：压强升高会影响电子在管内的平均自由程和碰撞行为，尽管数密度不变，但碰撞频率会因原子热运动速度加快而增加。更高的原子热运动速度可能意味着电子在经历非弹性碰撞前，需要积累略多的能量来克服原子快速移动的影响，从而可能导致峰值间距略微增大。

影响电子发射效率：F-H 管的阴极（灯丝）通过加热发射热电子。提高阴极温度会增加发射的电子数量，从而提高板极电流的整体强度。

影响电子的初始动能：较高的阴极温度意味着发射电子的热运动能量分布范围更广，平均初动能也会略微增加。这可能会导致曲线的整体向低电压方向略微平移，或者使第一个峰值出现得更早。

影响曲线清晰度：如果管子温度过高导致气体压强大过，电子与原子之间碰撞过于频繁，可能会使得非弹性碰撞和弹性碰撞的界限变得模糊，从而导致 U-I 曲线上的峰谷不够尖锐和清晰。反之，温度过低可能导致气体密度过小，使碰撞机会减少，板流过小，峰谷也不易观察。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制