实验题目二：研究小灯泡的发光问题

（请勿在试题上写字，请勿带出考场）

灯泡灯丝的材质是金属钨，在本实验的温度范围内，其温度与电阻满足以下经验公式

$$T = aR^{0.83}$$

式中 T 为灯丝温度**(K)**，R 为灯丝电阻**(Ω)**，a 为常数**($K/\Omega^{0.83}$)**。

光电池是把光信号转换成电信号的光电器件，是一种特殊的半导体二极管，其输出短路电流与接收到的光信号强度成正比，可视为理想的电流源。在光照强度不大时，如光电池外接一个阻值不大的电阻，仍可保持光电流与光照强度有很好的线性关系。由于实验室环境下背景光的存在，即便小灯泡不发光，光电池仍有短路电流，称之为本底电流。

一、 实验目的

1. 确定灯泡灯丝温度与其电阻的关系

2. 研究灯泡发光强度与灯丝温度的关系

二、 实验器材介绍

1. 电源

输出电压可调的直流稳压电源 1 台，请根据所用稳压电源的型号参看下面的使用说明。

a) 型号：HY1791-10S

主要参数：单路输出。输出电压 0～30V，电流 0～10A。

操作说明：电源开关位于前面板左下角，按下即可为设备通电。将“CURRENT”旋钮从起始处顺时针旋转 90 度，此时“CC”(稳流)指示灯熄灭，“CV”(稳压)指示灯点亮。顺时针转动“VOLTAGE”旋钮增大电压。标记“+”和“-”的接线端为电源输出端。

b) 型号：HY1711-5S

主要参数：双路输出。输出电压 0～30V，电流 0～5A。

操作说明：①电源开关位于前面板左下角，按下即可为设备通电。将“调流”旋钮从起始处顺时针旋转 90 度，此时“稳流”指示灯熄灭，“稳压”指示灯点亮。顺时针转动“调压”旋钮增大电压。标记“+”和“-”的接线端为电源输出端。

②前面板的数码显示器依次显示两路输出的电流或电压(由两侧分别标记“V”“A”的按键，选择显示内容)。

③两路输出应处于各自独立工作状态，中间的按键应为弹出，即“独立”状态。

c) 型号：MPS-3303

主要参数：三路输出，两路可调，一路固定。两路可调的输出电压 0～30V，电流 0～3A。

操作说明：①电源开关位于前面板左下角，按下即可为设备通电。将“CURRENT”旋钮从起始处顺时针旋转 90 度，此时“CC”(稳流)指示灯熄灭，“CV”(稳压)指示灯点亮。顺时针转动“VOLTAGE”旋钮增大电压。标记“+”和“-”的接线端为电源输出端。

②前面板的数码显示器依次显示两路输出的电流和电压。

③两路输出应处于各自独立工作状态，中间的两个按键都应为弹出，为“INDEP.”位置，即独立工作状态。

2. 电位器板

多圈电位器 1 个（圈数：10 圈，阻值：500Ω，额定功率：2W）。板上有 1 个红色接线柱，2 个黑色接线柱，分别与电位器的三个接线端连通，中间的接线柱为电位器的滑动端。顺时针调整电位器旋钮，滑动端向红色接线柱靠近。

3. 精密电阻

1）阻值 20.0Ω的电阻 1 只，阻值精度 0.1%，额定功率 1/4W。由 2 只 40.0Ω的电阻并联组成。两端有叉形接线端子。

2）阻值 100Ω的电阻 1 只，阻值精度 0.1%，额定功率 1/4W。两端有叉形接线端子。

4. 样品板

已固定好的待测小灯泡 1 只（额定参数：12V,0.11A）。板上有两个接线

柱，分别与灯丝的两端连通。

5. 光电池板

光电池 1 只。板上有两个接线柱，红色接线柱为光电池的正极，黑色为负极。

6. 开关板

板上装有船型开关 1 只，将标有“I”的一侧按下为接通，标有“0”的一侧按下为断开。板上有两个接线柱，分别与开关的两端连通。

7. 三位半数字万用表 3 块（只能用电压档）

8. 可续接双香蕉插头连接线 12 根（红黑各 6 根）

9. 数字显示电子温湿度计 1 台（温度测量的分辨率 0.1℃，精度±1℃）

10. 文具夹子 2 个

11. 长度 30cm 直尺 1 把

三、 注意事项

1、直流稳压电源的输出电压可根据电路需要来设定，“问题 1”和“问题 2”的最大设定电压均不能超过 15.0V。

2、灯泡顶端与光电池外端面之间的距离应不小于 1mm。

3、数字万用表有自动关机功能，可再次开机即可。

4、部分数字万用表有“HOLD”键，请勿按此键。误按后，可再按此键即可恢复测量。

5、所有电学参数必须经由电压测量获取。

6、只能使用本实验提供的实验器材进行测量。

7、实验中注意保护仪器，因操作不当导致仪器损坏，扣 2 分。

四、 实验内容：

【问题 1】确定灯泡灯丝温度与其电阻的关系。(18 分)

1. 设计出测量灯泡在室温下灯丝电阻 R_0 的线路图。（3 分）

可寻求帮助，提示卡 1，申请使用扣除 6 分。（内有电路图和原理简述）

2.简述测量原理及步骤。（6 分）

3. 自行设计表格，在坐标纸上用作图法确定室温下的电阻 R_0，计算出 a 值，确定灯泡灯丝温度与其电阻的关系式（9 分）。

【问题 2】研究灯泡发光强度与灯丝温度的关系,并求出灯泡额定电压下的灯丝的温度。(12 分)

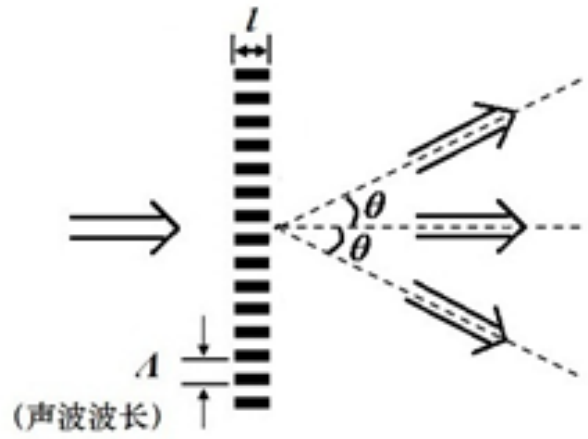
1. 画出实验用的线路图、简述测量原理及步骤。（5 分）
   可寻求帮助，提示卡二，扣 6 分。（内有电路图和原理简述）
2. 用作图法研究发光强度与灯丝温度的关系，给出你的结论。（6 分）
3. 求出灯泡额定电压下的灯丝温度。(1 分)

实验题目一：用超声光栅测定水中的声速

背景知识介绍：

超声波作为一种纵波在介质中传播时，其声压使介质密度产生周期性变化，形成疏密波，致使其折射率也呈周期性改变。当一束光射入这种介质时，就会因这种折射率的周期性变化而发生衍射，即产生声光效应。

现有一准直光束沿垂直于超声波传播方向通过声场，设光波波长为λ，光束直径为D，超声波波长为Λ，声束宽度（光在具有声波场介质中的传播距离，即声光相互作用范围）为l，当$D>\Lambda$，且$\lambda l<\Lambda^2$时，光束将发生 Ramann-Nath 衍射，该现象相当于一个相位型光栅引起的光束衍射（见图 1），故称这一作用为超声光栅。



光栅是一种应用广泛的光学元件。广义地说，具有周期性的空间结构或光学性能（如透射率、折射率）的衍射屏，统称光栅。

本实验利用超声波发生器输出高频振荡信号，去驱动一个压电换能器，将该压电换能器放在盛有去离子水（介质）的水槽中，并且满足 Ramann-Nath 衍射条件，因而在水中形成超声光栅。

一、 实验目的：

观察液体中的声光效应并通过超声光栅测量液体中的声速。

二、 实验器材

1．超声波发生器：

技术指标：输入电压：220V　50Hz，输出信号频率范围大约为 9.6~12.6MHz。

注意事项：

（1） 压电换能器已放入盛水的液体槽并用胶带固定，严禁取出，只能整体移动。

（2） 调节频率时务必要**轻旋、慢旋**，并注意等待**频率稳定**后再进行测量。

（3） 超声波发生器连续使用时间不得超过 60 分钟，若要继续使用，请在关闭电源 5 分钟后再开启。

（4） 高频信号源输出端与换能器连接的两根导线之间有分布电容，对输出频率有影响，测量时尽可能不要触碰两根导线，否则会导致输出频率不稳定。两根导线如果有固定胶带缠绕，请勿拆开。

（5） 实验完毕，及时关闭电源。

2．声光器件：

压电换能器和液体槽（长 80mm，宽 40mm，高 59mm）

技术指标：工作频率约 10.2~12.5 MHz ；

注意事项：

（1）如果通光部位已污染，请用脱脂棉沾酒精擦拭液体槽表面，提取液体槽应拿两端面，不要触摸两侧表面的通光部位，以免污染。

（2）待测去离子水已装入液体槽中，实验时将液体槽平稳置于载物台上并固定好，在实验过程中应避免震动。

3．光学系统：

（1）钠灯（包括支架），波长 λ=589.3nm；

（2）机械狭缝（缝宽 0.06mm 已经调整完毕，实验过程中无需调节）；

注意：狭缝平面与支柱轴心有 9.0mm 距离）；

（3）焦距相同但焦距未知的凸透镜两块；

（4）测微目镜（测量范围 0—8mm，分辨率 0.01mm）；

（5）导轨及滑块 ；

(6)白屏和平面镜各一块。

4．其他：

（1）脱脂棉、酒精。

（2）实验答卷纸（印有要求和必要的提示）、草稿纸。

三、 实验内容

【问题 1】搭建光路观察声光效应。

1.画出光路布置示意图，简要说明各元件的作用。（4 分）（提示卡 1，申请使用扣除 2.5 分）

2. 搭建并调节光路，说明实验步骤和调节要求，观察超声光栅衍射现象。（9 分）

3.调整衍射系统，得到至少三级（k=±3）对称的衍射条纹；改变超声波频率时，描述并解释测微目镜视场中条纹的变化规律，记录最佳状态的超声波频率。（3 分）

【问题 2】测定超声光栅的光栅常数和超声波在水中传播的声速。

1. 给出所用公式，说明公式中各个量的物理意义。（5 分）（提示卡 2，申请使用扣除 1 分；提示卡 3，申请使用扣除 3 分。两卡只能按顺序提供。）

2. 测量至少三级（k=±3）对称的衍射条纹，记录并处理数据（4 分）

3.计算超声光栅的光栅常数和超声波在水中的声速。 （5 分）

实验题目二　“研究小灯泡的发光问题”题解与评分标准

【问题 1】确定灯泡灯丝温度与其电阻的关系

1．1 设计出确定环境温度下灯泡灯丝电阻 R0 的线路图（3 分）（若申请了提示卡 1，扣除 6 分）

测量原理电路图如图 1 所示。

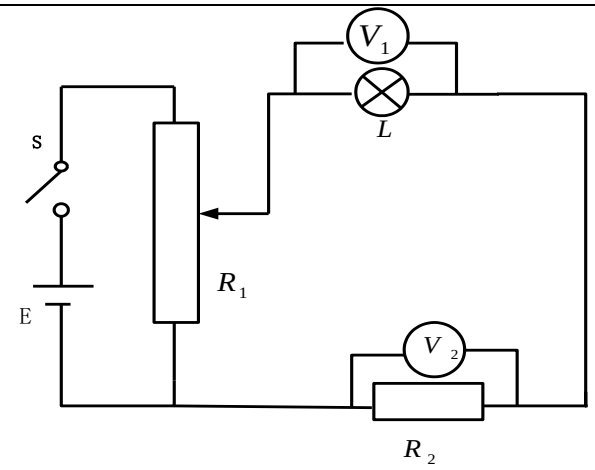


图 1 测量灯丝环境温度下电阻的线路图

线路图评分标准：

(1)．电路原理正确

(2)．元件符号使用正确，连线无断点。

1．2 简述测量原理及步骤

测量原理：

通过测量在环境温度（室温）下灯泡的灯丝电阻，由公式 $T=aR^{0.83}$ 计算得出 a，即可确定灯泡的灯丝温度与其电阻的关系。小灯泡由于其通电之后的热效应，其环境温度下的电阻不能直接测量。（在原理部分，可能出现以下三种答案）

答案 1：

利用小功率下的灯丝电阻与电功率关系外推到零功率的情况下获得，此部分测量线路如图 1 所示。图中 R_1 为电位器，R_2 为标准电阻，L 是小灯泡。记录灯丝电压及标阻电压，从而获得灯丝电阻与其电功率的关系，画出他们的关系曲线，外推到功率为零即可获得环境温度下的电阻。

为测出环境温度下的灯丝电阻，可不必进行大功率范围的测量，只测量小功率下的即可。

答案 2.

利用低电流下的灯丝电阻与电流关系外推到零电流的情况下获得，此部分测量线路如图 1 所示。图中 R_1 为电位器，R_2 为标准电阻，L 是小灯泡。记录灯丝电压及标阻电压，从而获得灯丝电阻与其电流的关系，画出他们的关系曲线，外推到电流为零即可获得环境温度下的电阻。

为测出环境温度下的灯丝电阻，可不必进行大电流范围的测量，只测量小电流下的即可。

答案 3.

利用低电压下的灯丝电阻与电压关系外推到零电压的情况下获得，此部分测量线路如图 1 所示。图中 R_1 为电位器，R_2 为标准电阻，L 是小灯泡。记录灯丝电压及标阻电压，从

而获得灯丝电阻与其电压的关系，画出他们的关系曲线，外推到电压为零即可获得环境温度下的电阻。

为测出环境温度下的灯丝电阻，可不必进行大电压范围的测量，只测量低电压下的即可。

原理部分评分标准：

(1) 明确需要测量室温下的电阻，利用测量到的室内温度和电阻来确定 a，

(2) ①由于小灯泡的热效应直接与其电功率相对应，因此用功率为零来获得室温下的电阻较为合理。

②当功率为零时，电流或者电压也会为零，因此解法 2 和 3 也有道理。但鉴于灯丝电阻与电流、电压呈现明显的非线性；受测量仪器精度限制，小电流（或低电压）区域的数值误差大。因此利用电流（或电压）外推方法不可取。

(3) 此部分只测量小功率范围（电压、电流）。

实验步骤：

(1)连接线路，将电位器 R_1 滑到图 1 中的下端，使与灯泡部分并联的电阻较小。

(2)检查无误后，按下开关。

(3)记录灯泡电压与标值电阻的电压。

1．3 自行设计表格，将所获得的数据列入表格，并用作图法给出 R_0

1） 直流稳压电源的输出电压=1.0V（可自行设定固定电压的数值，但应能够满足测量要求）。

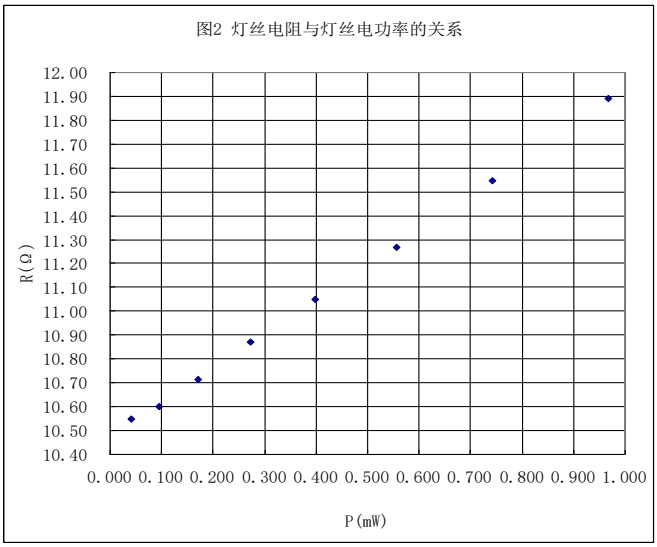
2） 室温 t_0=17.9℃

3） 标准电阻阻值=20.0Ω(或 100Ω，此时标阻电压是下面列表的 5 倍)

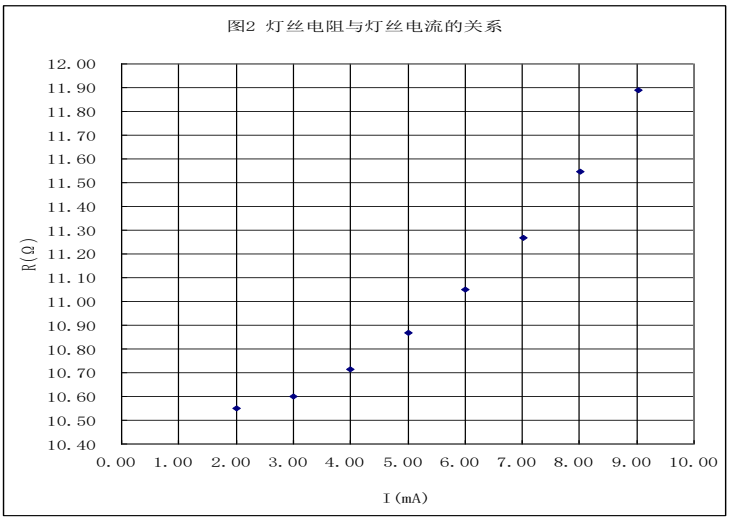
表 1　测量环境温度下电阻 R_0

序号	测量数据		计算所得数据		
	灯丝电压(mV)	标阻电压(mV)	灯丝电流(mA)	灯丝电阻(Ω)	灯丝电功率(mW)
1	21.1	40.0	2.00	10.55	0.042
2	31.8	60.0	3.00	10.60	0.095
3	42.8	79.9	4.00	10.71	0.171
4	54.4	100.1	5.01	10.87	0.272
5	66.3	120.0	6.00	11.05	0.398
6	79.1	140.4	7.02	11.27	0.555
7	92.6	160.4	8.02	11.55	0.743
8	107.3	180.5	9.03	11.89	0.968
9					
10					

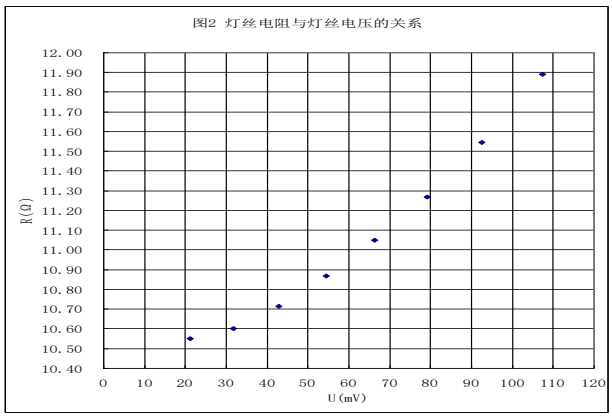
解答一： 测量电阻与功率的关系



解答二： 测量电阻与电流的关系



解答三： 测量电阻与电压的关系



$\boldsymbol{R_0}$=10.45Ω（由灯丝电阻与电功率关系外推得出）。

室内温度为 17.9℃，由 $290.9=a\cdot 10.45^{0.83}$，可计算得 $a=41.48$，故而有小灯泡温度与电阻的关系为 $T=41.48\cdot R^{0.83}$，当我们测得小灯泡的电阻即可获得其温度值。

【问题 2】研究灯泡发光强度与灯丝温度的关系

2.1 画出你实验用的线路图、简述其工作原理及实验步骤

线路图如下

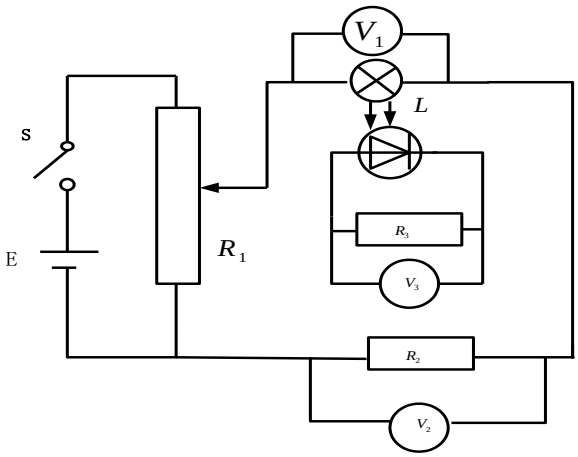


图 3 测量灯泡发光强度与灯丝温度关系的线路图

工作原理：（1）由V_3和R_3可得出光电流，虽然光电池不能接收到灯泡发出的所有光线，但光电流仍可以线性地反映出灯泡发光强度；（2）而由V_2和R_2可知通过小灯泡的电流，利用V_1的测量值可进而得出此时的灯泡电阻，由$T = aR^{0.83}$可求出灯泡的温度，最终可获得灯泡的温度与其发光强度的关系。

步骤：

(1)用文具夹子将样品板与光电池板固定好，保持两者之间位置不变。

(2)在未闭合开关之前，记录下 V_3，并在计算中扣除本底电流。

(3)调节电位器增大标阻电压，从灯泡发光开始测量。

(4)调节电位器，记录灯泡灯丝的电压、标准电阻的电压、光电池的电压。

2.2 用作图法研究灯泡发光强度与灯丝温度的关系，给出你的结论。

相关参数：

直流电源电压值=15.0V

标阻阻值=20.0Ω

光电池并联定值电阻=100Ω（注：此两只电阻不能换位）

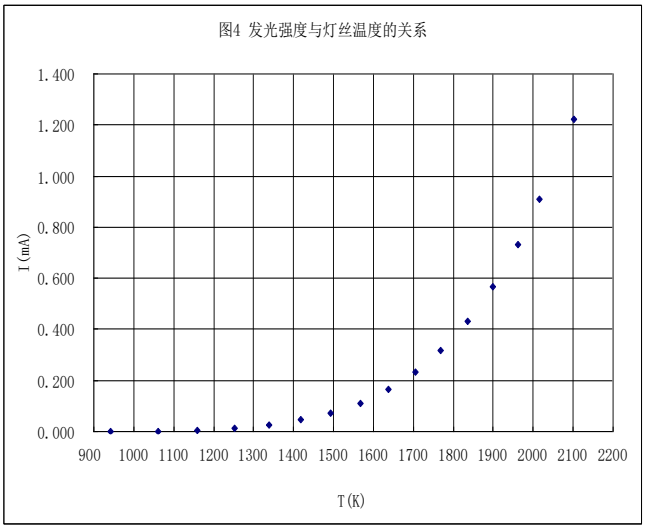
灯泡的本底电流电压很小，近似为零，可以忽略

记录测量数据如下表

序号	灯丝电压(V)	标阻电压(V)	灯丝电阻(Ω)	灯丝温度(K)	光电池电压(mV)	光电流(mA)
1	1.290	0.600	43.00	941	0.1	0.001
2	1.740	0.701	49.64	1060	0.2	0.002
3	2.21	0.800	55.25	1159	0.6	0.006
4	2.73	0.900	60.67	1252	1.4	0.014
5	3.29	1.001	65.73	1338	2.6	0.026
6	3.88	1.101	70.48	1418	4.5	0.045

7	4.50	1.201	74.94	1492	7.2	0.072
8	5.17	1.301	79.48	1567	11.1	0.111
9	5.87	1.401	83.80	1637	16.4	0.164
10	6.60	1.501	87.94	1704	23.2	0.232
11	7.36	1.601	91.94	1768	31.9	0.319
12	8.19	1.703	96.18	1836	43.2	0.432
13	9.03	1.803	100.17	1899	56.8	0.568
14	9.91	1.903	104.15	1961	73.3	0.733
15	10.74	1.995	107.67	2016	91.0	0.910
16	12.00	2.12	113.21	2102	122.3	1.223

图4 发光强度与灯丝温度的关系



利用表 2 中灯丝温度与光电流的数据绘出图 4。

2.3 求出灯泡额定电压下的灯丝温度

当我们测得小灯泡的电阻即可获得其温度值。当小灯泡电压 U=12.0V 时，小灯泡温度 T=2102K

姓名_____

考号_____

省份_____

第 30 届全国中学生物理竞赛决赛实验试卷

实验题目二：研究小灯泡的发光问题

	一			二			总分
	1	2	3	1	2	3	
得　分							

【问题 1】确定灯泡灯丝温度与其电阻的关系（18 分）

1. 设计出确定环境温度下灯泡灯丝电阻的线路图（3 分）。

（提示卡 1：含电路图和原理简述，申请使用扣除 6 分）

图 1 测量灯丝环境温度下电阻的线路图

2. 简述测量原理及步骤（6 分）

原理：

步骤：

3. 自行设计表格，在坐标纸上用作图法确定室温下的电阻 R_0，计算出 a 值，确定灯泡灯丝温度与其电阻的关系式（9 分）。

自行设计表格

R_0 =_____Ω， a =_____，所以有_____。

【问题 2】研究灯泡发光强度与灯丝温度的关系,并求出灯泡额定电压下的灯丝温度 (12 分)

1. 画图实验的线路图、简述测量原理及步骤（5 分）

（提示卡 2，含电路图和原理简述，扣除 6 分）

图 2 测量灯泡发光强度与灯丝温度关系的电路图

2. 用作图法研究灯泡发光强度与灯丝温度的关系，给出你的结论。（6 分）

自小灯泡开始发光至其额定电压为止，将数据填入自行设计的表格。

结论：

3. 求出灯泡额定电压下的灯丝温度（1 分）

实验题目一　用超声光栅测定水中的声速题解

【问题 1】搭建光路观察声光效应。

1. 画出光路布置示意图，简要说明各元件的作用。

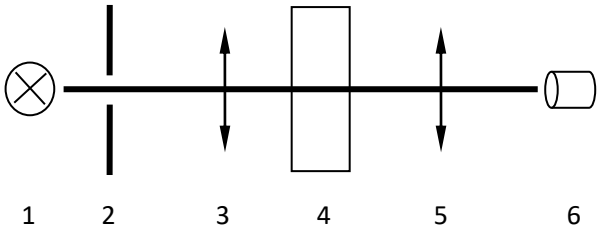


图 1 实验光路图

序号	名称	作用
1	钠光灯	提供波长 589.3 nm 的光源
2	单缝	钠灯光经单缝可视其为发光物体
3	薄透镜	使单缝光源处于透镜的焦平面上，形成平行光
4	超声池	形成超声光栅
5	薄透镜	超声光栅出射的平行光经过此透镜汇聚，将成像在其焦平面上
6	测微目镜	用于观察和测量衍射条纹间距

2. 搭建并调节光路，说明实验步骤和调节要求，观察超声光栅衍射现象。

（1） 调钠光灯与狭缝等高。

（2） 透镜 L_2(元件 5)与狭缝的等高共轴粗调及两次成像法细调。即物与像大于 4 倍的焦距时，固定物屏和像屏，调节透镜位置会呈现一大一小的两个像，调整中心重合即可。并通过自准直法测其焦距后连同滑块一起从导轨上取下。

（3） 同理对透镜 L_1 进行粗调和细调等高共轴并通过自准直法产生平行光。

（4） 安装透镜 L_2 及测微目镜，调节等高共轴，调清晰测微目镜分划板，并使测微目镜看到清晰的狭缝像。

（5） 安装超声池，调整合适高度并使光线垂直入射。

（6） 观察到衍射条纹。

注：如果只用一块透镜自准直调焦、测焦距，而认为两个透镜焦距一致（即不测 5 的焦距，只测 3 也可以）

3. 调整衍射系统，得到至少三级（k=±3）对称的衍射条纹；改变超声波频率时，描述并解释测微目镜视场中条纹的变化规律，记录最佳状态的超声波频率。

当超声波频率增大时，光衍射条纹间距增大；反之频率减小时，条纹间距随之减小。这是因为当超声频率变大时，超声波长变小，即光栅常数 d 变小，由 $d\sin\theta = k\lambda$ 知 $\sin\theta$ 会变大，而在小角度下 $\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{S}{f}$，条纹间距 S 变大；反之条纹间距变小。

记录最佳状态的超声频率。

【问题 2】测定超声光栅的光栅常数和超声波在水中传播的声速。

1. 给出所用公式，说明公式中各个量的物理意义。

光栅方程 $d\sin\theta = k\lambda$

式中 d 为光栅常数，θ为衍射角

若 L_k 为 k 级条纹至零级条纹的距离，f 为透镜焦距，由于 $L_k << f$，

$$\sin\theta \approx \theta \approx \tan\theta = \frac{L_k}{f}$$

则 $\sin\theta = \frac{L_k}{f}$

所以有 $d = \frac{k\lambda f}{L_k} = \frac{\lambda f}{\Delta L_k}$，光栅常数即为超声波长

因此超声波声速

$$V = d\nu$$

其中ν为超声波频率，f为透镜焦距，λ为钠光波波长，ΔL_k 为衍射条纹间距。

2. 测量至少三级（k=±3）对称的衍射条纹，记录并处理数据

3. 计算超声光栅的光栅常数和超声波在水中的声速。

k	X_k（mm）	$X_{k+4}-X_k$（mm）	ΔL_k（mm）
-3	2.053	2.602	0.6505
-2	2.71**0**	2.595	0.6487
-1	3.36**0**	2.579	0.6448
0	4.012		
1	4.655		
2	5.305		
3	5.939		

数据处理参考示例

测量至少三级（k=±3）对称的衍射条纹，记录并处理数据

方法一：逐差法——去掉 L_0 分组逐差

$\overline{L}_k$ =0.6480mm

方法二：

$$\overline{\Delta L_k} = \frac{1}{3}(\frac{3.866}{6} + \frac{2.595}{4} + \frac{1.295}{2}) = 0.6469 \text{（mm）}$$

计算超声光栅的光栅常数和超声波在水中的声速。

方法一：

透镜焦距： f =149.80mm，

超声波频率为 ν =10.718 MHz ，室温 17.5^{0}C

超声光栅常数

$$d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3\times10^{-9}\times149}{0.6480\times10^{-3}}$$

k	X_k（mm）	$X_{+3} - X_{-3}$（mm）	$X_{+2} - X_{-2}$（mm）	$X_{+1} - X_{-1}$（mm）
-3	2.053	3.886	2.595	1.295
-2	2.71**0**			
-1	3.36**0**			
0	4.012			
1	4.655			
2	5.305			
3	5.939			

超声声速

$$V = d\nu = 0.1362\times10.718\times1$$

m/s

方法二

透镜焦距为 f =149.80mm

超声波频率为 ν =10.718 MHz 室温 17.5^{0}C

超声光栅常数 $$d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3\times10^{-9}\times149.80}{0.6469\times10^{-3}} = 0.1365mm$$

超声声速

$$V = \frac{\lambda f \nu}{\Delta L_k} = d\nu = 0.1365 \times 10.718 \times 10^6 = 1463 \quad \text{m/s}$$