



利用 NTC 热敏电阻设计制作数字体温计 试题

一、实验说明

NTC (负温度系数) 热敏电阻是一种用半导体材料制成的体积小巧的电阻, 其阻值随温度变化比金属电阻要灵敏得多, 因此被广泛用于温度测量、温度控制以及电路中的温度补偿、时间延迟等。

本实验要求测定 NTC 热敏电阻阻值与温度的关系, 并设计制作一个数字体温计。(温度范围: 36~40°C)

二、实验装置与器材

1. NTC 热敏电阻 1 个 (为避免热敏电阻自身发热对实验的影响, 流过热敏电阻的电流不能超过 $700\mu\text{A}$) (电源电压勿超 3V)
2. 3 个水杯: 1 个空杯、1 杯热水、1 杯冷水; 1 个标准温度计;
3. 直流稳压电源 1 台:
输出电压 $0\sim 20\text{V}$, 显示分辨率 0.01V 。使用恒压工作模式 (CV 灯亮), 将电流 (CURRENT) 粗调旋钮顺时针拧 90° , 再用电压 (VOLTAGE) 粗调和细调旋钮调节输出电压;
4. 3 位半数字万用表 1 台:
电压挡: 量程自动变换, 最小量程 200mV , 显示分辨率 0.1mV , 不确定度限值 $0.5\%+3$; 欧姆挡: 量程自动变换, 最小量程 200Ω , 显示分辨率 0.1Ω , 不确定度限值 $0.8\%+3$;
5. 电阻箱 2 个: 0.1 级, $0.0\sim 99999.9\Omega$;
6. 导线 6 根, 30cm 钢尺 1 把 (作图用), $20\text{cm}\times 25\text{cm}$ 作图纸 1 张。

三、实验内容

1. 测量不同温度 T 下 NTC 热敏电阻的阻值 R ;

- (1) 设计实验方案, 画出实验电路图, 标明各元件的参数;
- (2) 测量 R 和 T 的数据记录 (自行列表);

2. 求出 R 与 T^{-1} 之间的关系;

3. 设计数字体温计的电路:

- (1) 利用提供的仪器设备, 设计数字体温计的电路;
- (2) 计算出各元件的参数值;

要求: 数字电压表的 mV 示数即为温度示值。如电压表显示 38.5mV , 即表示此时数字体温计测到的温度为 38.5°C 。

4. 根据设计的电路图搭建数字温度计, 并进行调试:

- (1) 测量不同温度时, 数字体温计的电压示数, 并绘制校准曲线;
- (2) 根据校准曲线, 对设计的电路进行改进, 要求使数字体温计的误差不超过 0.1°C 。

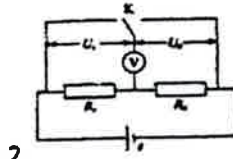
注意: 接好电路后, 只有在监考老师允许的情况下, 才能接通电源 (老师只检查电路的安全性, 不检查电路是否正确)。



利用 NTC 热敏电阻设计制作数字体温计

参考答案

1. (1)先用数字万用表的欧姆挡粗测热敏电阻的阻值: 25℃时, $R_x = 4.6k\Omega$. 实验电路图如图 43 所示:



2. 图 43

取 $R_0 = 5000\Omega$, $\epsilon = 2V$.

(2)测量 R 和 T 的数据记录见表 4.

实验条件: $R_0 = 5000\Omega$, $\epsilon = 2V$.

(具体数据视热敏电阻不同而不同)

表 4

$T/^\circ\text{C}$	$T^{-1}/^\circ\text{C}^{-1}$	U_0/V	U_x/V	R_x/Ω
34.4	0.02907	1.2808	0.7471	2916
35.2	0.02840	1.2960	0.7323	2825
36	0.02777	1.3130	0.7140	2718
36.8	0.02717	1.3247	0.7033	2654
37.6	0.02659	1.3363	0.6917	2588
38.4	0.02604	1.3485	0.6791	2517
39.2	0.02551	1.3597	0.6678	2455
40	0.02510	1.3690	0.6593	2407
40.8	0.02451	1.3809	0.6472	2343

表 5

$T^{-1}/^\circ\text{C}^{-1}$	R_x/Ω
0.02907	2916
0.02840	2825
0.02777	2718
0.02717	2654
0.02659	2588
0.02604	2517
0.02551	2455
0.02510	2407
0.02451	2343

由表 5, 用计算器拟合函数关系:

$$R_x = -693\Omega + \frac{1.24 \times 10^5 \Omega \cdot ^\circ\text{C}}{T}$$



3.(1)设计的数字体温计电路图如图 44 所示:

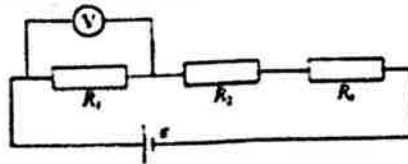


图 44

$$(2) \text{ 因 } R_x = -693\Omega + \frac{1.24 \times 10^5 \Omega \cdot ^\circ\text{C}}{T} \Rightarrow T = \frac{1.24 \times 10^5 \Omega \cdot ^\circ\text{C}}{R_x + 693\Omega}$$

由设计的电路可得: $V = \frac{\varepsilon \cdot R_1}{R_x + R_1 + R_2}$.

故有: $\varepsilon \cdot R_1 = 1.24 \times 10^5 \text{ mV} \cdot \Omega$; $R_1 + R_2 = 693\Omega$.

选取电源电压 2.00V, 则 $R_1 = 62\Omega$, $R_2 = 631\Omega$.

4.(1)不同温度时, 数字温度计的电压示数如表 6 所示, 校准曲线如图 45 所示.

实验条件: 电源电压 1.998V, 则 $R_1 = 62.0\Omega$, $R_2 = 631\Omega$.

表 6

$T / ^\circ\text{C}$	U / mV
35.6	35.5
36.9	36.8
38.1	37.9
39.6	39.4
40.9	40.6
42.0	41.5

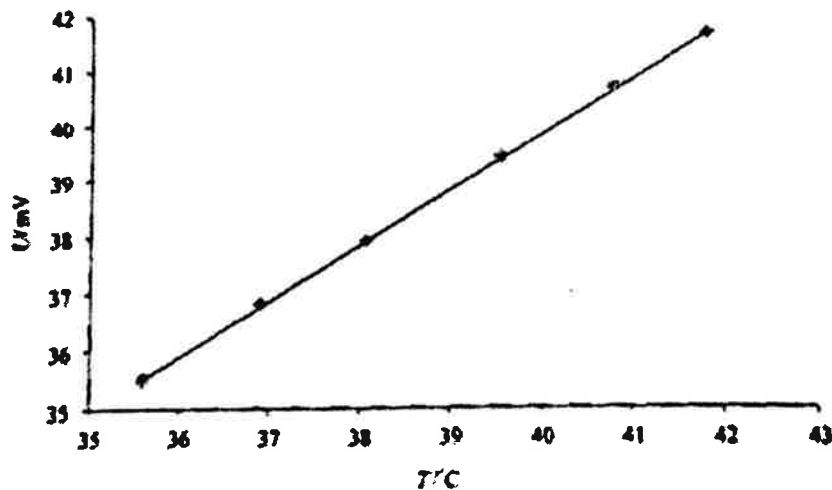


图 45

(2)对数据作线性拟合, 结果为: $U = 0.944 \text{ mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot T + 1.96 \text{ mV}$.

发现当斜率偏小 5%左右, 截距偏大 1.96mV. 因此, 在不改变电源电压的前提下, R_1 应增大 5%, 即改为 65.1 Ω ; R_2 应减小为 629.3 Ω (具体数值应在某个温度, 如 38.0 $^\circ\text{C}$ 时, 进行实际调节, 使电压表示数为 38.0mV).



2 研究小灯泡的发光问题 试题

一、概述

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 (单位为 K)， R 为灯丝电阻 (单位为 Ω)， a 为常数 (单位为 $K/\Omega^{0.83}$)。

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。在光照强度不太时，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同，称之为本底电流。

二、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。

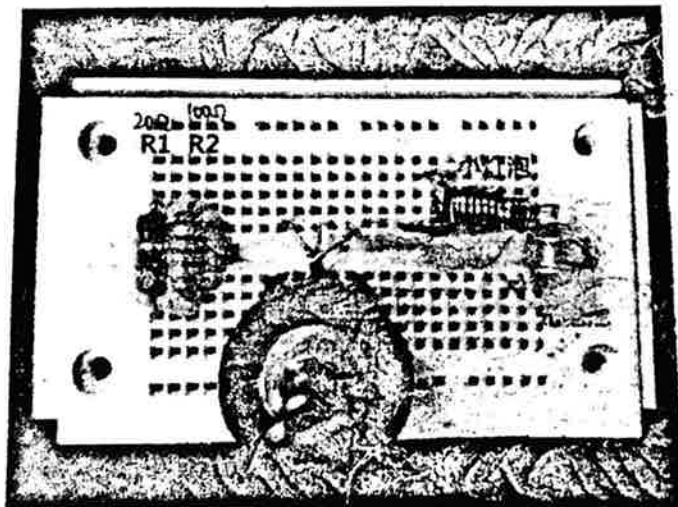
三、实验器材介绍

1. 电源：输出电压可调的直流稳压电源 1 台；

主要参数：单路输出，输出电压 $0 \sim 20V$ ，电流 $0 \sim 5A$ 。

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° ，此时“CC”（稳流）指示灯熄灭，“CV”（稳压）指示灯亮，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. 实验面包板



多圈电位器

多圈电位器 1 个 (圈数 10 圈，阻值 500Ω ，额定功率 $2W$)。阻值 20.0Ω 的电阻 1 只 (R_1)，额定功率 $1/4W$ 。阻值 100Ω 的电阻 1 只 (R_2)，额定功率 $1/4W$ 。已固定好的待测小灯泡 1 只 (额定参数 $12V, 0.11A$)。光电池 1 只。

3. 三位半数字万用表 2 块 (只能用电压档)。

4. 连接线若干。

5. 长度为 $30cm$ 的直尺 1 把。



四、实验内容

【问题 1】确定灯泡灯丝温度与其电阻的关系。

1. 设计出测量在室温下灯泡灯丝电阻 R_0 的线路图。

寻求帮助可用提示卡 1 (内有电路图和原理简述), 申请使用会扣 6 分。

2. 简述测量原理及步骤。

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。

【问题 2】研究灯泡发光强度与灯丝温度的关系, 并求出在灯泡额定电压下的灯丝温度。

1. 画出实验用的线路图、简述测量原理及步骤。

寻求帮助可用提示卡 2 (内有电路图和原理简述), 申请使用会扣 9 分。

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。

3. 求出在灯泡额定电压下的灯丝温度。

五、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. 接通电源前应举手示意指导老师检查电路的安全性。
3. 所有电学参数必须经由电压测量获取。
4. 只能使用本实验提供的实验器材进行测量。
5. 实验中注意保护仪器, 因操作不当导致仪器损坏须相应赔偿。



研究小灯泡的发光问题

参考答案

【问题 1】

1.

测量原理电路图如图 1 所示,

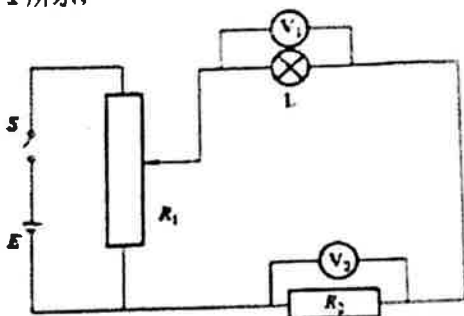


图 1 测量灯丝环境温度下电阻的线路图

2. (1) 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.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环境温度下的电阻,该测量线路如图 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,画出它的关系曲线,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环境温度下的电阻,该测量线路如图 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,画出它的关系曲线,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环境温度下的电阻,该测量线路如图 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,画出它们的关系曲线,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.

(2) 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,具体测量数据见表 1.

3. (1) 直流稳压电源的输出电压为 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 $t_0 = 17.9^\circ\text{C}$. (3) 标准电阻阻值为 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/ μW
1	21.12	30.60	1.530	13.80	32.3
2	31.24	45.13	2.256	13.84	70.4
3	42.83	61.37	3.068	13.95	131.
4	54.43	77.64	3.882	14.02	211.
5	66.46	94.24	4.712	14.10	313.
6	81.76	114.89	5.744	14.23	469.
7	96.02	133.51	6.675	14.38	640.
8	115.46	158.04	7.902	14.61	912.
9	128.12	173.38	8.669	14.77	111.

答案 1: 测量电阻与功率的关系, 实验数据如图 2 所示.

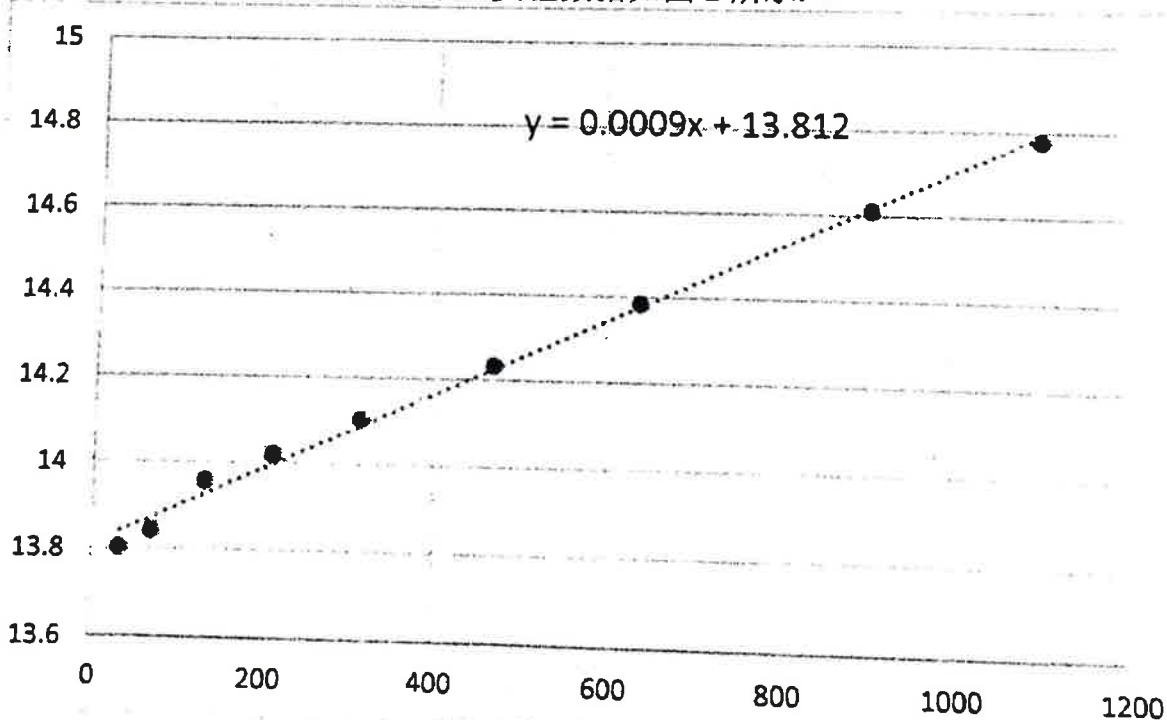


图 2 灯丝电阻与灯丝电功率的关系

答案 2: 测量电阻与电流的关系, 实验数据如图 3 所示.

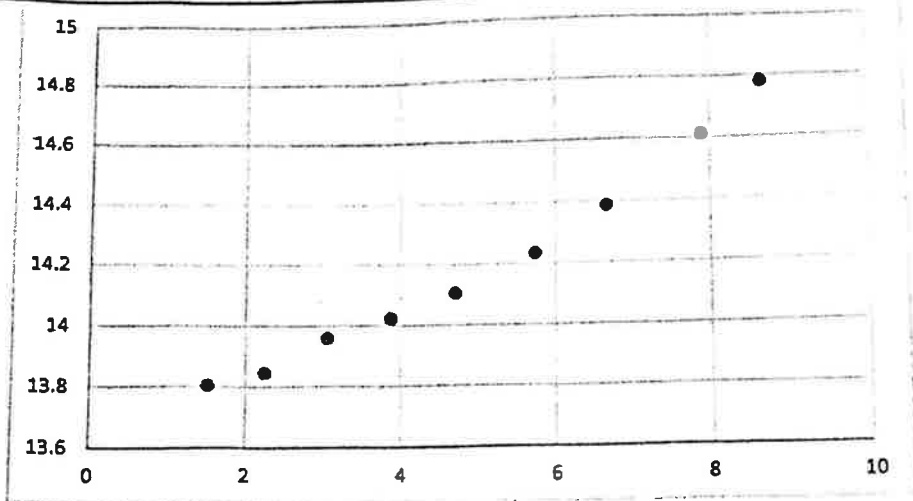


图3 灯丝电阻与灯丝电流的关系

答案3: 测量电阻与电压的关系, 实验数据如图4所示.

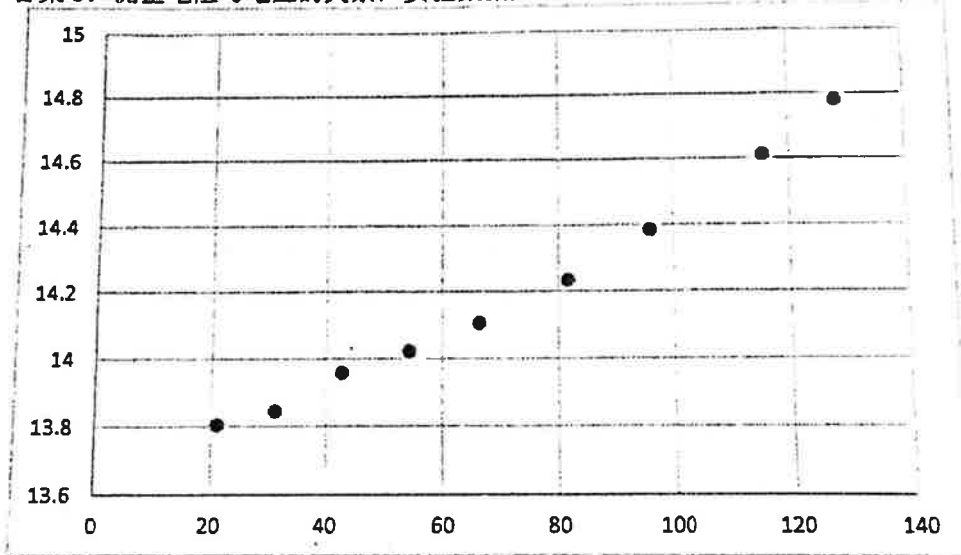


图4 灯丝电阻与灯丝电压的关系

$R_0 = 13.81\Omega$ (由灯丝电阻与电功率关系外推得出).

室内温度为 25.3°C , 由 $298.4 = a13.81^{0.83}$, 计算可得 $a = 33.76$, 故而小灯泡温度与电阻的关系为 $T = 33.76 \cdot R^{0.83}$, 当我们测得小灯泡的电阻即可获得其温度值.

【问题2】

1. 线路图如图5所示.

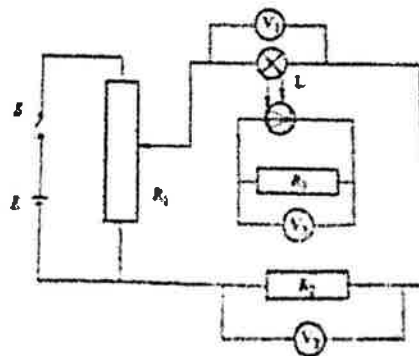




图 5 测量灯泡发光强度与灯丝温度关系的线路图

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) 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) 在未闭合开关之前, 记录下 V_3 , 并在计算中扣除本底电流。
- (2) 调节电位器增大标阻电压, 从灯泡发光开始测量。
- (3) 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. 相关参数

直流电源电压值为 15.0V。

标阻阻值为 20.0Ω。

光电池并联定值电阻为 100Ω。(注: 以上两只电阻不能换位)

灯泡的本底电流电压很小, 近似为零, 可以忽略。

记录测量数据如表 2 所示。

表 2

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	1.3162	0.5631	46.75	821	0.17	0.002
2	1.7404	0.6431	54.13	927	0.36	0.004
3	2.231	0.7269	61.38	1029	1.01	0.010
4	2.798	0.8192	68.31	1125	2.36	0.024
5	3.307	0.8953	73.87	1200	4.34	0.043
6	3.882	0.9771	79.46	1275	7.66	0.077
7	4.462	1.0562	84.49	1342	12.49	0.125
8	5.101	1.1394	89.54	1408	19.51	0.195
9	5.913	1.2388	95.46	1485	31.4	0.314
10	6.647	1.3227	100.51	1550	45.26	0.453
11	7.347	1.4011	104.87	1605	61.25	0.613
12	8.186	1.4882	110.01	1670	84.01	0.840
13	9.172	1.5876	115.55	1740	115.86	1.159
14	9.931	1.6611	119.57	1790	143.31	1.433
15	10.855	1.7468	124.28	1848	178.75	1.788
16	11.998	1.8482	129.83	1917	221.1	2.211

利用表 2 中灯丝温度与光电流的数据绘出图 6。

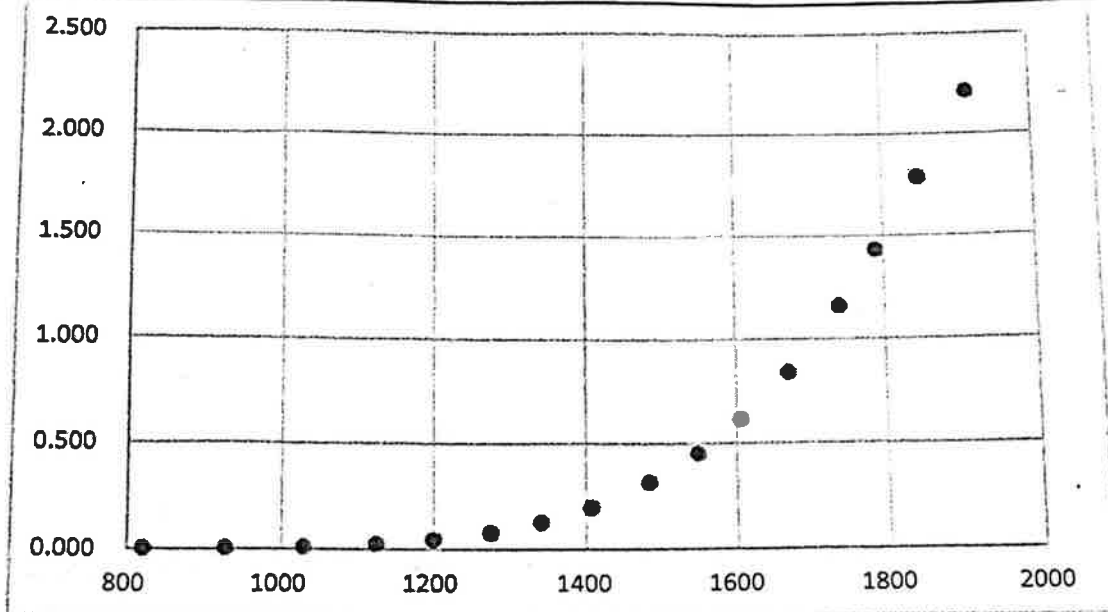


图6 发光强度与灯丝温度的关系

3. 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 $T=1917K$.



3 地磁场水平分量的测量 试题

一、实验介绍

本实验的目的是利用一个圆柱形小磁铁棒的小幅振动来测定地磁场磁感应强度的水平分量 B_H 。在本实验中，小磁棒在由地磁场和正方形线圈的磁场叠加而成的静磁场中振动。

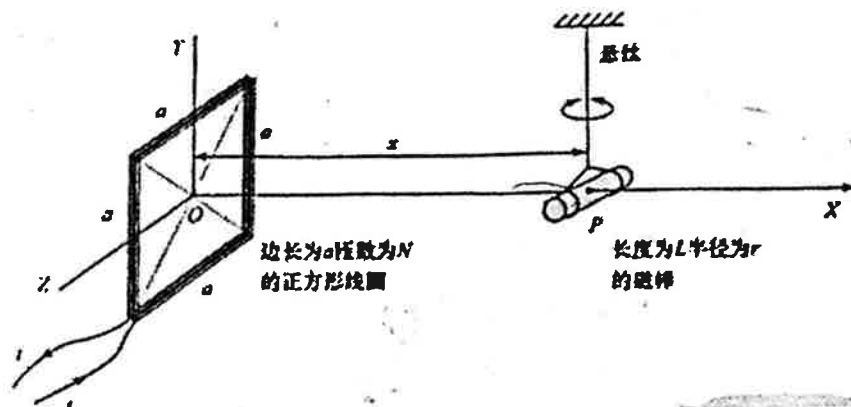


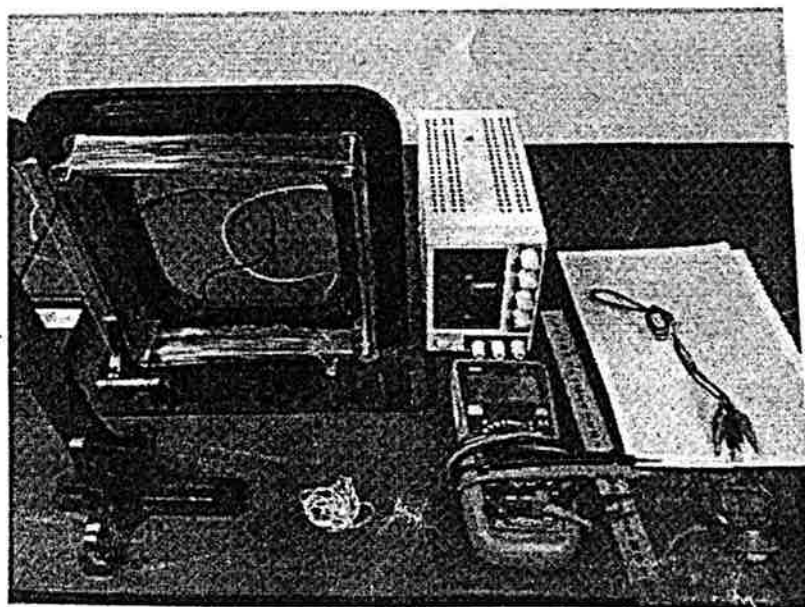
图 1

本实验试题包括三个部分。在第一部分中需推导出用于第三部分的公式。

二、装置

实验装置如右图所示，其中：

1. 匝数为 110 的正方形线圈；
2. 一个拴有尼龙悬线的圆柱形小磁铁棒，在后续的计算之中，磁铁与悬线质量和用 $M = 10.0g$ 计算，计算中认为黑色悬线的质量均匀分布在磁铁的质量中；
3. 一个万用表用来测量线圈电流，线圈电流不要超过 1.6A；
4. 一个电源；
5. 一个塑料支架；
6. 一块秒表；
7. 一把直尺；
8. 铺在平台上的白标记纸（可在其上写、画，可以用做图纸正面或背面代替）；
9. 绘图纸；
10. 电线。





三、理论部分

1. 推导一个直电流元 ia 在其中垂线上距离 l 处产生的磁场的磁感应强度 B_p 的表达式 (可申请提示卡 1, 扣 5 分);
2. 推导图 1 中正方形线圈在 P 点产生的磁场的磁感应强度为 B_{Px} ;
3. 推导磁铁棒在磁感应强度为 B 的磁场中作小幅振动的周期的表达式 (可申请提示卡 2, 扣 5 分), 用 m 表示磁铁棒的磁矩, 磁铁棒的质量表示为 M , I 表示磁铁棒相对于过其质心的转轴的转动惯量:

$$I = M \left(\frac{L^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right).$$

四、悬线的长度

在第三部分的实验测量中, 磁铁棒位置应按图 1 示意的方式悬挂, 如果悬线长度过短, 则悬线的扭矩对磁铁棒振动的影响不能忽略。作适当的测量 (譬如, 测量仅有地磁场时磁铁棒的振动), 用得到的测量结果来证明悬线的扭矩对后面实验的影响可被忽略。这一部分不用画图。

五、测量地磁场的水平分量

在下面的实验步骤中, 磁铁棒位置应按图 1 示意的方式悬挂, 直流电源输出大小应保持一致。测量并记下磁铁棒中心到线圈的距离 (线圈可以从绕线中间开始测量)。

1. 线圈磁场与地磁场水平分量方向相同的情形

注意: 将线圈连接到电源后需至少等候 10 分钟后再开始测量。

使线圈产生的磁场与地磁场的方向一致。测量不同的总磁场强度下磁铁的振动周期。作一条直线图, 根据此直线的参数计算出 B_H 和磁矩 m 的值 (可申请提示卡 3, 扣 5 分)。

2. 仅有地磁场的情形

用步骤 1 得到的小磁棒磁矩值 m 和第二部分得到的不加线圈磁场时小磁棒的振动周期, 再次计算地磁场磁感应强度水平分量 B_H 的值。

3. 线圈磁场与地磁场水平分量反向的情形

改变电源端接线柱处的接线极性, 沿 X 轴寻找地磁场与反向的线圈磁场在 X 轴方向抵消的位置 x_0 。再次根据 x_0 计算 B_H 的值。

地磁场水平分量的测量 参考答案

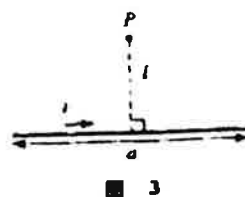
一、悬线的长度

通过改变悬挂磁铁的绳子长度可以发现,当绳子长度在10cm以上时,振动周期与绳子长度无关(表格略)

二、理论部分

这里给出一个直电流元 ia 在其中垂线上距离 l 处产生的磁场的磁感应强度 B_p 的表达式

$$B_p = \frac{\mu_0 i}{2\pi l} \frac{(a/2)}{\sqrt{l^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}}, \quad (i)$$



其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, 为真空磁导率.

利用上式证明图 1 中正方形线圈在 P 点产生的磁场的磁感应强度为:

$$B_{px} = \left(\frac{\mu_0 a^2 i N}{2\pi} \right) \frac{1}{\left[\left(x^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right) \sqrt{x^2 + 2 \left(\frac{a}{2} \right)^2} \right]} \quad (ii)$$

这里同样给出磁铁棒在磁感应强度为 B 的磁场中作小幅振动的周期的表达式:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mB}}, \quad (iii)$$

其中 m 为磁铁棒的磁矩, 磁铁棒的质量为 M , I 为磁铁棒相对于过其质心的转轴的转动惯量

$$I = M \left(\frac{L^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right). \quad (iv)$$

三、测量地磁场的水平分量

1. 线圈磁场与地磁场水平分量方向相同的情形

x/cm	T_{20}/s			T/s	$B_{px}/10^{-4}\text{T}$	$\frac{1}{T^2}/\text{s}^{-2}$
10.50	13.72	13.62	13.60	0.4549	1.8711	4.8327
11.50	14.41	14.21	14.13	0.4750	1.6495	4.4321
12.50	15.06	15.16	15.16	0.5042	1.4541	3.9333
13.50	15.93	15.90	15.87	0.5300	1.2827	3.5600
14.50	16.91	16.81	16.91	0.5626	1.1330	3.1599
15.50	17.75	17.75	17.78	0.5920	1.0026	2.8534
16.50	18.63	18.63	18.62	0.6209	0.8891	2.5940
17.50	19.75	19.59	19.71	0.6561	0.7903	2.3230
18.50	20.57	20.63	20.53	0.6859	0.7043	2.1257
19.50	21.43	21.35	21.41	0.7132	0.6292	1.9658
20.50	22.00	21.87	21.90	0.7308	0.5636	1.8725

改写上述表达式得到

$$\frac{4\pi^2 I}{mT^2} = B_{px} + B_H$$

$$B_{px} = \frac{4\pi^2 I}{mT^2} - B_H$$

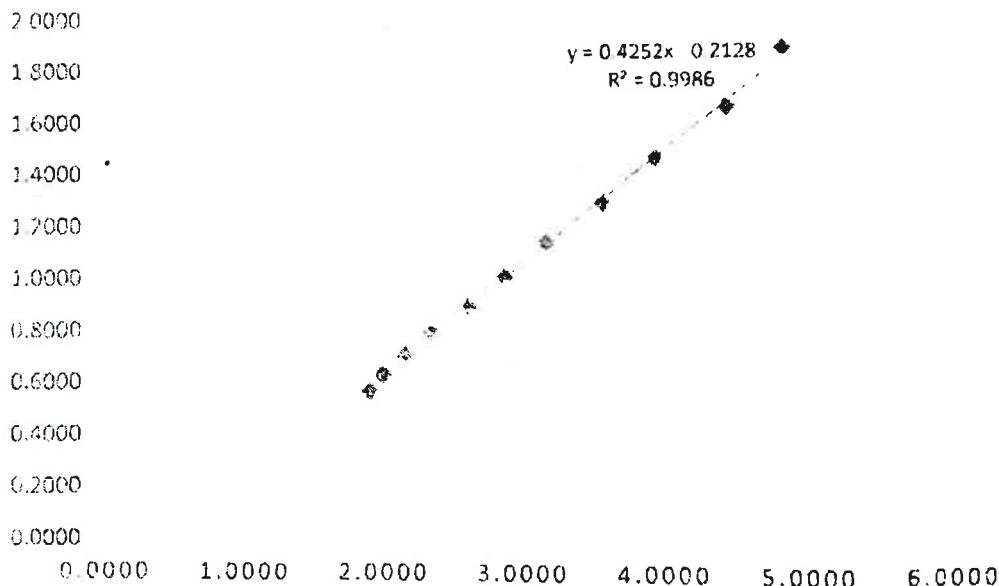
测量不同位置处的振动周期，并且计算线圈磁场大小，拟合处理数据得到

$$B_H = 2.13 \times 10^{-5} \text{T}$$

$$\frac{4\pi^2 I}{mT^2} = 4.25 \times 10^{-5} \text{T} \cdot \text{s}^2$$

$$I = M \left(\frac{L^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right) = 1.40 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

(其中 $L = 4.06\text{cm}$ 为磁铁长度， $r = 0.316\text{cm}$ 为磁铁半径， $M = 10.0\text{g}$ 为磁铁质量与悬挂用黑色线质量和) 所以得到磁铁的磁矩为 $m = 1.30\text{A} \cdot \text{m}^2$ ，地磁场大小为 $B_H = 2.13 \times 10^{-5}\text{T}$



2. 仅有地磁场的情形

测得磁铁在地磁场中小震动的周期为 1.291s

$$B_H = \frac{4\pi^2 I}{mT^2} = 2.55 \times 10^{-5} \text{T}$$

3. 线圈磁场与地磁场水平分量反向的情形

地磁场与反向磁场抵消的位置为 28.5cm

$$B_H = \left(\frac{\mu_0 a^2 i N}{2\pi} \right) \left[x^2 + \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-1} \left[x^2 + 2 \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-1/2} = 2.56 \times 10^{-5} \text{T}$$



光的速度 试题

4

注意：所有的测量和计算结果都必须采用国际单位制，注意有效数字的位数要合适，不要太多也不要太少，题目中要求计算出不确定度的地方必须明确写出。

一、引言

激光测距仪 (LDM) 实验

激光测距仪包含一个发射器和一个接收器。发射器是一个发射激光束的二极管激光器。当激光器射到物体上，光点处的激光向各个方向(漫)反射，一些光返回到测距仪上紧邻发射器的接收器。接收器前端有一个望远镜系统，它接受并聚焦从光点反射回来的光，激光测距仪的电路部分用来测量计算得规范机器信号从发射到接收的时间差，也就是光从发射器到接收器所需要的时间延迟 t 。通过测量到的时间，用下式可以计算出距离的值

$$y = \frac{1}{2}ct + k.$$

这个数值 y 显示在激光测距仪的显示屏上。这里， $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 是光速。常数 k 依赖于仪器的设置方式：你可以设置激光测距仪是从头还是从尾部进行测量。当打开激光测距仪时，默认设置是从尾部开始测量即测量显示的数据包括测距仪本身的长度。

激光测距仪的使用

1. 激光测距仪的面板如右图所示，按“开机”键可开机。测量时，先按一次开机键，此时激光器发光，再按一次测量键即进行测量。
2. “切换”按钮可以切换测量的起点（即从测距仪的头部还是尾部开始测量）。
3. 长按“关机”键即可关机，激光测距仪在不使用时应当及时关机。



LDM 不能够测量 5cm 以内的距离。激光测距仪尾部的边和头部的边都与激光束垂直。当仪器放在桌子上时，偏振是竖直的（垂直于显示屏），二极管激光器的功率 $< 1\text{mW}$ ，波长为 635nm，属于 2 类激光，其不确定度为 $\pm 2\text{mm}$ 。

上述距离 y 的计算是假设光以光速 c 传播的，因为在常压和常温下，干燥的空气中的折射率为 $1.00029 \approx 1.000$ ，因此在本实验的精度范围内，不需要考虑在真空中和空气中光速的区别。

警告：激光测距仪中的激光能伤害眼睛，不要直视激光也不要把激光射向他人的眼睛！

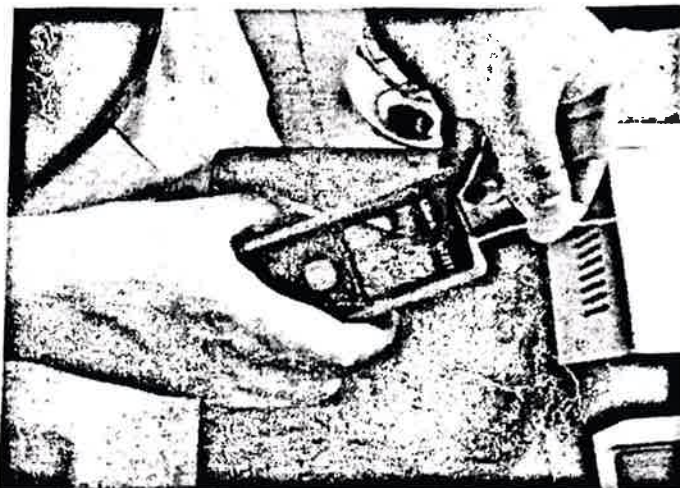
二、实验要求

1. 利用激光测距仪测量

利用 LDM 测量桌面到地面的距离 H ，答案中要求写出不确定度 ΔH 。画出你进行测量的示意图。

2. 利用光纤进行实验

给你五根直径约为 2mm 的光纤。光纤由两种光学材料组成芯（直径约为 1mm）由高折射率的塑料制成芯外包裹一层包层，包层由比芯的折射率稍低一点的塑料制成。芯和包层构成一个导光的波导，由于芯和包层的边界能够引起全反射，只要光的入射角大于临界角就能防止光离开光纤的芯。即使光纤弯折，只要光纤弯折得不是很厉害，光都能沿光纤传输。



在这一步骤中使用前端贴有胶带的测距仪。光纤的另一端穿过胶带上的小孔(如上图),使其接触发射器上的镜片。从显示屏上读出测量值 y 。记光纤长度为 x 。

(1) 测量每根光纤相应的 x 和 y 值。设置一个测量表格并将测量结果填入。作图,显示 y 是 x 的函数。

(2) 利用所作的图推导计算出纤芯材料的折射率 n_{co} , 计算纤芯中的光速 v_{co} 。

3. 与竖直方向倾斜一定角度的激光测距仪

在这一步中,使用捆绑在支架上的另一台测距仪。当开启后,激光束与竖直方向成 θ_1 的角度,在本实验中这个角度一定要保持不变,如果实验仪器不小心移动位置,就要重新测量。我们现在来测量这个角度,这个时候不需要透光容器,可以先把它放置在一边。

(1) 测量距离 y_1 , 即照射在桌面上的激光点到激光测距仪的距离。接着,轻轻地水平移动固定着激光测距仪的架子,直到激光束照射到地面。测量距离 y_2 , 即照射在地面上的激光点到激光测距仪的距离。测量的距离要求给出带不确定度的数值。

(2) 仅用测量到的 y_1 , y_2 和 H (第1步中测量到的桌面高度) 来计算 θ_1 , 可画出测量示意图,并计算不确定度 $\Delta\theta_1$ 。(要求给出不确定度计算过程)

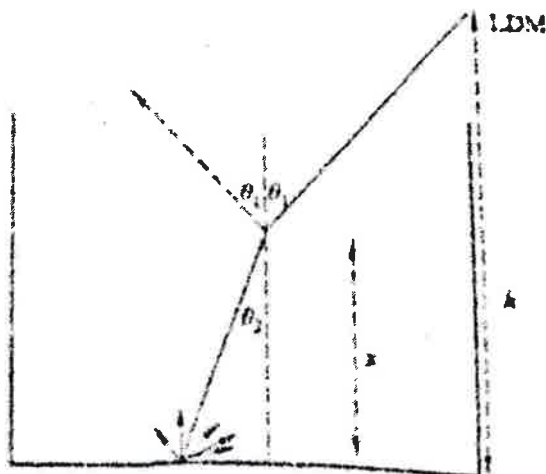
4. 利用透光容器进行实验

把透光容器放置在激光测距仪下面,如右图所示。向容器中加入一些水,水的深度为 x , 在激光测距仪的显示屏上读出 y 值。

(1) 在容器中注入不同深度 x 的水,测量相应的 y , 列一个表格,把测量的数据填入。把 y 作为 x 的函数画图。

(2) 利用理论公式和适当推导,解释说明上图的测量数据和拟合线是正确的。

(3) 利用所画图得到的直线的斜率的数值计算出水的折射率 n_w 。





光的速度 答题卡

1.(0.4分)

$$H = 0.846 \pm 0.002\text{m}$$

2.(1.8分)

1)

L/cm	nL/2/m
19.3	0.146
45.5	0.315
61.1	0.457
80.5	0.641
101	0.761

2)折射率是上问斜率的两倍,得

$$n = 1.561$$

3.(0.2分)

1)

$$y_1 = 0.235 \pm 0.002\text{m}, y_2 = 1.122 \pm 0.002\text{m}$$

2)

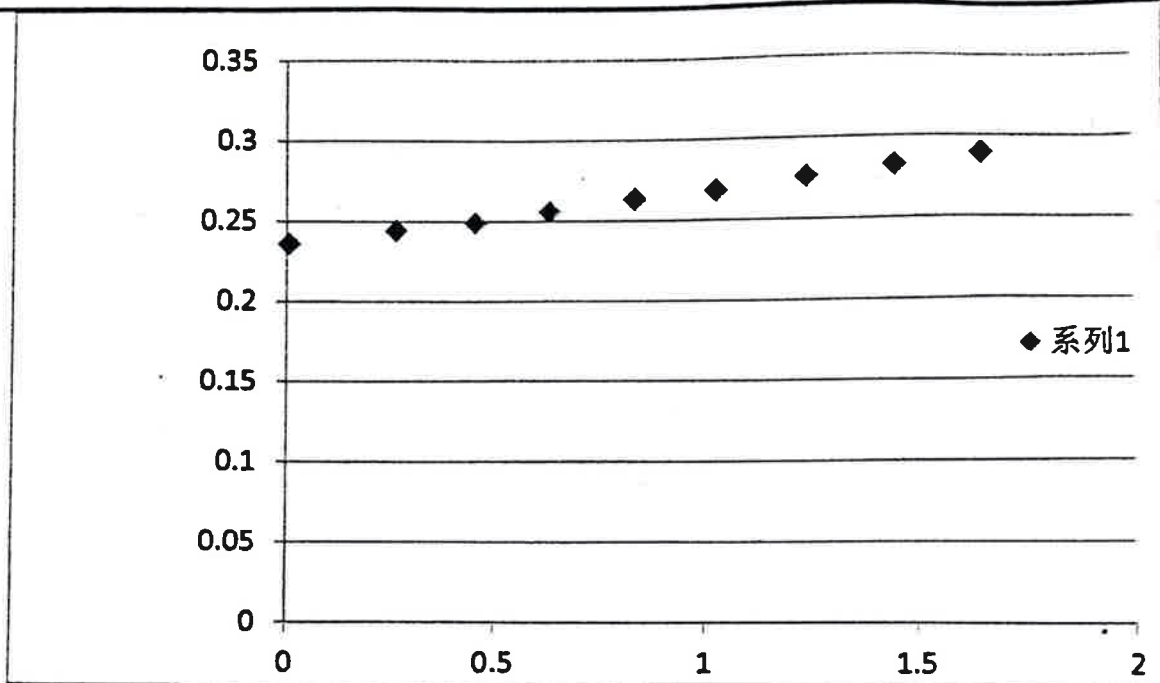
$$\theta = \cos^{-1} \frac{H}{y_2 - y_1} = 17.489 \text{ deg}$$

$$\Delta\theta = \frac{1}{\tan \theta} \sqrt{\left(\frac{\delta}{H}\right)^2 + 2\left(\frac{\delta}{y_2 - y_1}\right)^2} = 0.7 \text{ deg}$$

4.(1.6分)

1)

h/dm	L/m
0.0055	0.236
0.265	0.244
0.455	0.249
0.635	0.256
0.835	0.263
1.03	0.268
1.24	0.276
1.445	0.282
1.645	0.289



测得 $\alpha = 0.3240$

2)(1.2分)

$$t = 2 \frac{(h-x)/\cos \theta_1}{c} + 2 \frac{x/\cos \theta_1}{v} = 2 \frac{h-x}{c \cos \theta} + 2 \frac{nx}{c \cos \theta_2}$$

$$y = \frac{1}{2} ct + k = \left(\frac{n}{\cos \theta_2} - \frac{1}{\cos \theta_1} \right) x + \frac{h}{\cos \theta_1} + k$$

$$= \left(\frac{n^2}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1}} - \frac{1}{\cos \theta_1} \right) x + \frac{h}{\cos \theta_1} + k$$

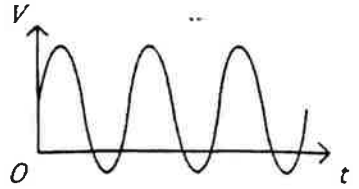
3)(1.2分)

$$n_v = \frac{\alpha + \frac{1}{\cos \theta_1}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2 \sin \theta_1}{\alpha + \frac{1}{\cos \theta_1}} \right)^2}} \approx 1.337$$

交直流黑盒子 试题

一、题目

利用黑盒子的元器件和含有交、直流成分的电源 E (输出电压的波形如右图所示, 内阻为 50Ω) 设计一电路, 使发光二极管 (LED) 正常发光不闪烁, 并要求电源 E 的极性交换后发光二极管仍能正常发光。



二、仪器

1. 黑盒子: 内涵的元器件是二极管、电容、一个发光二极管 (LED) 和一个多圈电位器, 且已知元器件间互不相连, 一个接线插孔最多只和一个元件的一端相连。
2. 含有交、直流成分的电源 E 。
3. 数字式万用表 1 台。
4. 导线若干。

三、要求

1. 用万用表判别黑盒子中各元器件, 并用元件符号把判别出的元器件画在答题卡的图 1 中。
2. 测出开路时电源 E 的直流电压值和交流电压值 (提示: 可以借用黑盒子中的电学元件), 把测得的直流电压值和交流电压值填在答题卡中。
3. 用电源 E 和黑盒子中的元器件连接一电路, 使发光二极管正常发光且不闪烁。
 - (1) 将电路原理图画在答题卡的图 2 中。
 - (2) 根据电路原理图, 将电路的实际连接图 (包括黑盒子中的元件) 画在答题卡的图 3 中。
 - (3) 对实物连线, 调节多圈电位器使发光二极管正常发光, 并测量此时通过发光二极管的电流值。
 - (4) 交换电源极性, 再次测量通过发光二极管的电流值。

注意: 接好电路后, 只有在监考老师允许的情况下, 才能接通电源 (老师只检查电路的安全性, 不检查电路是否正确)。可申请提示卡, 提示卡 1 的内容为黑盒子中的元器件的分布图 (扣 10 分), 提示卡 2 的内容为使发光二极管正常发光的电路的原理图 (扣 5 分), 提示卡只能按顺序申请。





交直流黑盒子

参考答案

一、黑盒子内的元器件及判定方法

黑盒子中的元器件如右图所示，可使用万用表的二极管档快速判定所有元件，各元件的特征如下：

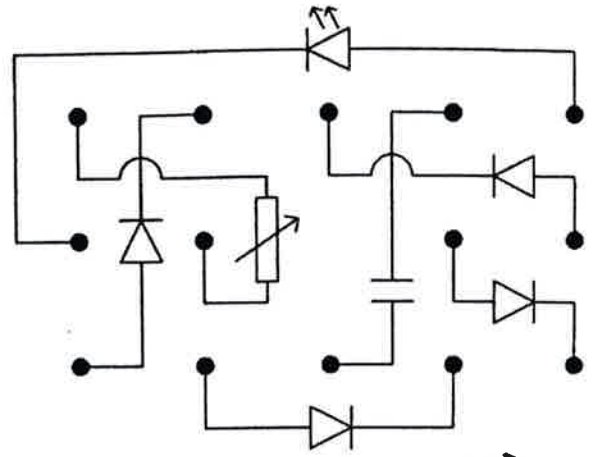
开路：双向接入均爆表；

二极管：正向显示导通电压，0.5V左右，反向爆表；

发光二极管：正向接入时发光二极管会微微发亮；

电容：接入时示数逐步增大，直到爆表，再反接，示数从负值开始逐步增大，直到爆表；

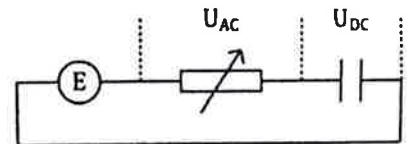
多圈电位器：双向接入示数相同，均不爆表。



一个元件2分，→14分

二、测量开路时电源E的交、直流电压值

测量电路如右图所示。先将多圈电位器拧到最大阻值，并测出该阻值，再接入电路进行测量。测量时应注意电源E内阻对交流成分的分压。

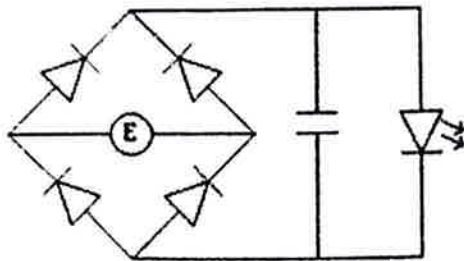


电源E的直流成分为2V，交流成分为6V_{P-P}。各3分。

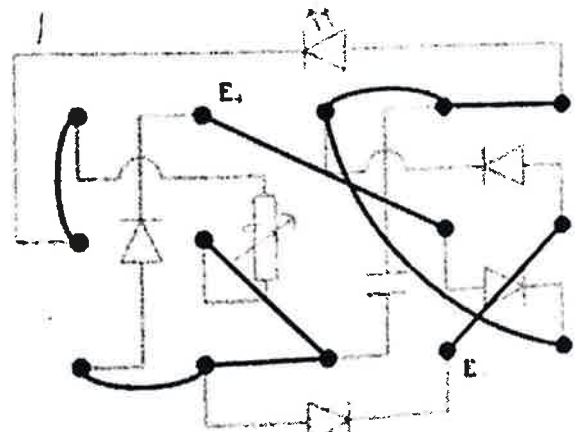
三、使发光二极管正常发光且不闪烁的电路

电路的原理图：

电路的实际连接图：



4分



3分

灯亮不闪3分。



充水容器的振动 试题

6

一、实验概述

本实验的目的是采用非破坏性方法测量一个充满水的铝质容器的侧壁厚度 l 。实验中所用的铝质容器由一个圆柱形空筒和两个端盖组成。圆柱形空筒的长度为 L ，外半径为 R 。容器的总长度为 h 。两个端盖的厚度均为 0.60cm (见图 1)。端盖厚度的误差可以忽略。请使用 cm 作为长度的单位， g 作为质量的单位。

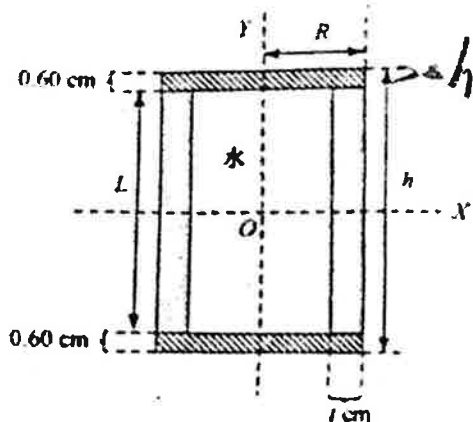


图 1

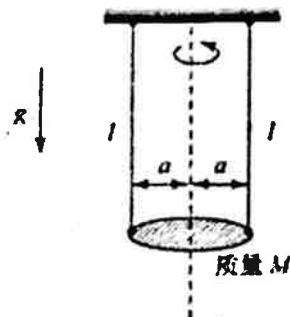


图 2

图 2 显示的是一个质量为 M 的物体的所谓双丝悬挂。双丝的长度均为 l 。 M 作小幅度振动的周期 T 由下式给出：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{g} \frac{I}{Ma^2}} \quad \frac{I}{M} = 3.7664 \quad (1)$$

其中 I 为物体相对通过其质心的竖直轴的转动惯量， $g = 980\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ 为在北京的重力加速度。

本实验试题包括两个部分，第一部分为公式推导，第二部分为实验操作。

二、实验装置

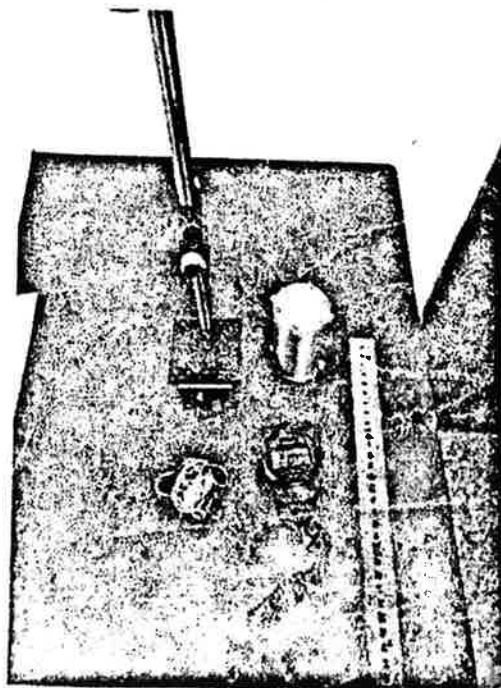
每套实验装置包括：

1. 一个充满水的铝质容器；
2. 一个支架；
3. 一块秒表；
4. 一把直尺；
5. 一根尼龙悬丝；
6. 一个量角器；
7. 一把剪刀 (图中未画出)。

三、理论部分

首先请推导出下列各量的表达式，结果用 R, L, l 和铝的密度 ρ 表达 (见图 1)：

1. 圆柱形空筒的质量 m_1 ；
2. 每个端盖的质量 m_2 ；
3. 充满于容器中的水的质量 m_3 ；



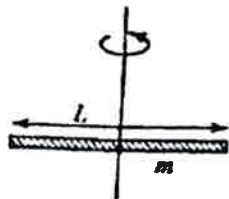


4. 容器充满水后的总质量 M ;

5. 充满水的容器相对 Y 轴 (见图 1) 的有效转动惯量 I_y , 假设水为理想流体。

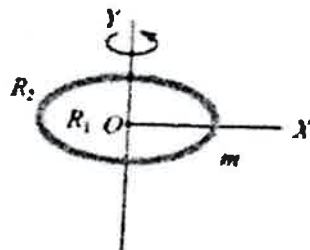
然后测量 R, h, L , 并代入所导出的各表达式中, 进而得到以上各量的以 t 为参数的数值表达式。已知铝的密度为 $\rho = 2.70\text{g/cm}^3$, 水的密度为 1.00g/cm^3 。

提示:



$$I = m \frac{L^2}{12}$$

长度为 L 的细杆



$$I_y = \frac{1}{2} m (R_1^2 + R_2^2)$$

$$I_x = \frac{1}{4} m (R_1^2 + R_2^2)$$

内半径为 R_1 、外半径为 R_2 的圆筒

图 3

四、实验部分

1. 相对于对称轴的角振动

将容器竖直的用细线挂起, 对一固定的悬丝长度 l , 精确地测量小幅振动的周期 T_y , 然后计算圆筒壁厚度 t 的值。并用得到的 t 值计算 m_1, m_2, m_3 和 M 的值 (可申请提示卡, 提示卡 1 内容为 m_1, m_2, m_3 和 M 的表达式; 提示卡 2 内容为 I_y 的表达式, 每使用一张提示卡扣 6 分)。

2. 相对于过容器中心且垂直于对称轴的转轴的角振动

再将容器水平的用细线挂起, 进行与步骤 1 类似的测量。

用这里测得的振动周期值和步骤 1 所得的 t, m_1, m_3, M , 计算充满水的容器相对 X 轴 (即这一步中的转轴) 的有效转动惯量 I_x^{Exp} 。

假设容器中的水全部都与容器同步振动。采用步骤 1 中得到的 t 值, 计算转动惯量的理论值 I_x^{Theo} 。

3. 转动惯量的实验值与理论值的比较

I_x^{Theo} 和 I_x^{Exp} 的差 ΔI_x 是多少?

提示:

$$I_x^{\text{Theo}} = m_1 \left[\frac{L^2}{12} + \frac{R^2 + (R-t)^2}{4} \right] + 2m_2 \left[\frac{(0.6\text{cm})^2}{12} + \frac{R^2}{4} + \left(\frac{L}{2} + \frac{0.6\text{cm}}{2} \right)^2 \right] + m_3 \left[\frac{L^2}{12} + \frac{(R-t)^2}{4} \right]$$

1. 2775936x10⁻⁷



充水容器的振动 参考答案

1. 相对于对称轴的角振动

$$m_1 = \rho L \pi (R^2 - (R-t)^2) = \rho L \pi (-t^2 + 2tR)$$

$$m_2 = 0.6\pi R^2 \rho$$

$$m_3 = \pi L (R-t)^2$$

$$M = m_1 + 2m_2 + m_3 = (\pi L - \pi \rho L)t^2 + 2\pi RL(\rho - 1)t + (1.2\pi \rho R^2 + \pi LR^2)$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{1}{2} m_2 R^2 + \frac{1}{2} m_1 (R^2 + (R-t)^2)$$

$$= 0.6\pi \rho R^4 + \frac{1}{2} \pi \rho L (-t^4 + 4Rt^3 - 6R^2t^2 + 4R^3t)$$

h / cm	9.37	9.36	9.37	9.39	9.36	9.35	9.37
2R / cm	5.08	5.10	5.09	5.07	5.07	5.08	5.08

$$h = 9.37 \text{ cm}$$

$$R = 2.54 \text{ cm}$$

$$L = 8.17 \text{ cm} \quad 2.00 \text{ cm (设计)}$$

铝的密度为

$$\rho = 2.78 \text{ kg/m}^3$$

计算可得:

$$m_1 = -71.35t^2 + 362.5t$$

$$m_2 = 33.81$$

$$m_3 = 25.67(2.54 - t)^2$$

$$M = -45.69t^2 + 232.1t + 233.2$$

$$I_y = 218.1 + 35.68(-t^4 + 10.16t^3 - 38.71t^2 + 65.54t)$$

T_{30} / s	18.28	18.19	18.25	18.22	18.09	18.28
---------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$T = 0.6072 \text{ s}$$

$$l = 18.70 \text{ cm}$$

取 $g = 980 \text{ cm/s}^2$



$$\frac{I}{M} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \frac{g}{l} R^2 = 3.158$$

得到:

$$l = 0.5298 \text{ cm} \quad 0.7074 \text{ s} \quad (24.10 \text{ cm})$$

带回可以得到:

$$\begin{cases} m_1 = 172.0 \text{ g} \\ m_2 = 33.81 \text{ g} \\ m_3 = 103.7 \text{ g} \\ M = 343.3 \text{ g} \quad 372.24 \text{ (天平)} \end{cases}$$

2. 相对于过容器中心且垂直于对称轴的转轴的角振动

$$I_x^{\text{Exp}} = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \frac{gMa^2}{l} = 3.88 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$$

其中 $T = 0.7074 \text{ s}$ 为振动周期, $l = 24.10 \text{ cm}$ 为悬线长度。

3. 转动惯量的实验值与理论值的比较

$$\begin{aligned} I_x^{\text{Theo}} &= m_1 \left[\frac{L^2}{12} + \frac{R^2 + (R-t)^2}{4} \right] + 2m_2 \left[\frac{(0.6 \text{ cm})^2}{12} + \frac{R^2}{4} + \left(\frac{L}{2} + \frac{0.6 \text{ cm}}{2} \right)^2 \right] \\ &\quad + m_3 \left[\frac{L^2}{12} + \frac{(R-t)^2}{4} \right] \\ &= 3.50 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 = 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

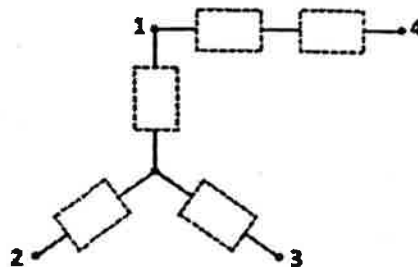


示波器测黑盒子 试题

7

一、题目

- 有 A、B 两个黑盒子，利用示波器测量内部的元件、电路以及各元件的值。已知：
1. A 盒子共有 3 个元件，电阻、电容、电感各 1 个，不排除有回路或者节点；
 2. B 盒子的各元件连接情况如下图：（可能含有二极管、电容、电感、电阻、电池）



二、仪器

1. 黑盒子 2 个；内含的元器件可能有二极管、电容、电感、电阻、电池；
2. 信号发生器 1 台；
3. 示波器 1 台；
4. 电阻箱 1 个；
5. 导线若干。

三、要求

1. 利用信号发生器、示波器判别黑盒子中各元器件，并用元件符号把判别出的元器件画在答题卡的图 1（A 盒子）中、图 2（B 盒子）中，B 盒子中 1、4 节点之间的 3 个元件的顺序随意；
2. 测出黑盒子中电阻、电容、电感（电感的内阻也需测量）的具体数值，并在图 3、图 4 中标出。

注意：可申请提示卡，提示卡 1 的内容为黑盒子 A 中的元器件的分布图（扣 5 分），提示卡 2 的内容为 B 中的元器件的分布图（扣 10 分），提示卡申请无需按顺序。



示波器测黑盒子

参考答案

1、分布图 (无需标明具体数值)

A 盒子

除了基本测量, 常用的另一些判断方法有 (仅供参考): 1、利用手边电阻箱或导线构造电路 (或用导线直接短路掉某两点), 研究输出特性 (振幅、相位差等),

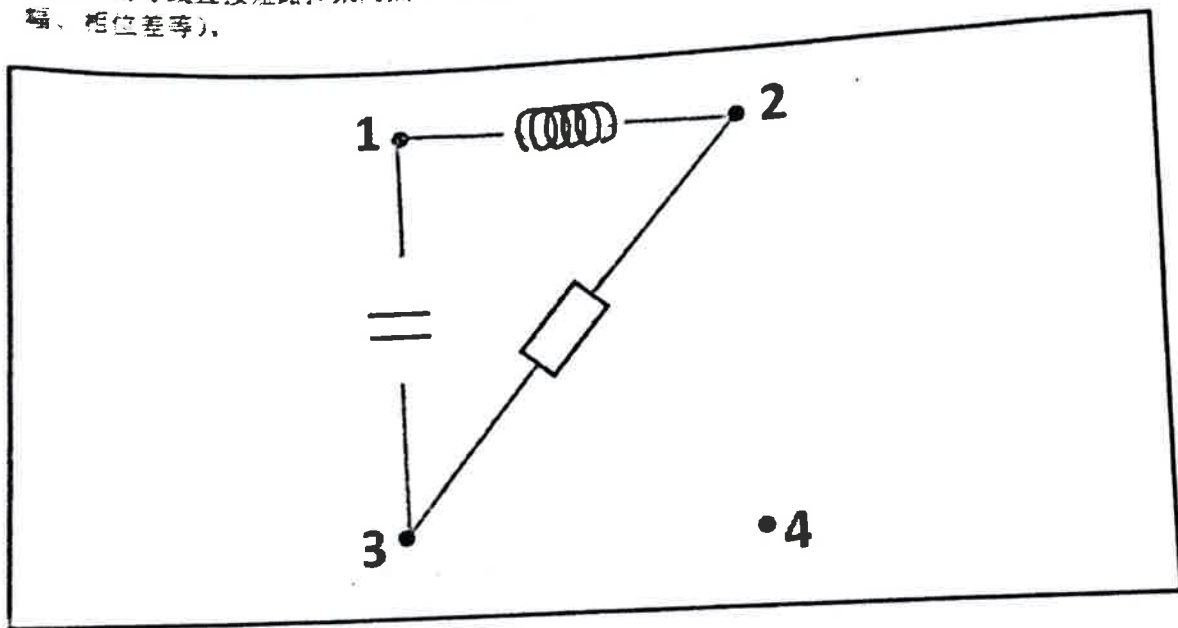
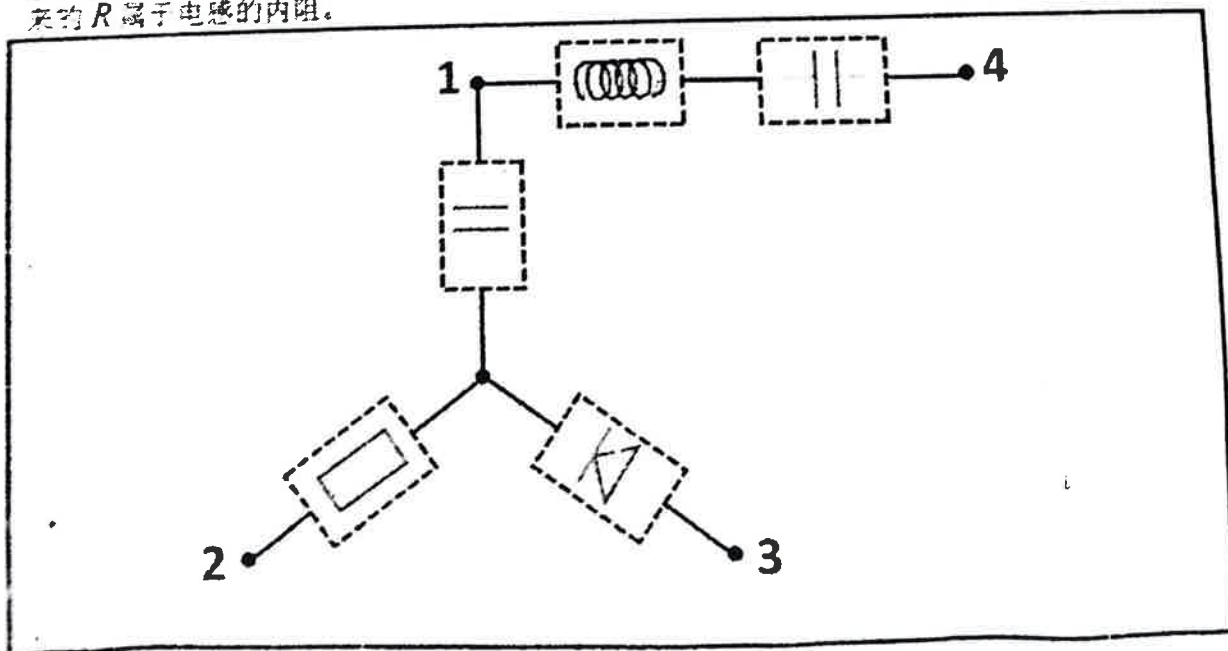


图 1

B 盒子

1、4 同判断: 1、4 两点再串联一个电阻箱, 接入交流信号, 示波器两个通道一个测电阻箱两端电压一个测总电压, 改变信号发生器频率, 发现两者相位差哪个超前哪个落后均有可能, 且谐振时电阻箱两端电压小于总电压, 所以是 RLC 电路, 但因为只有 2 个元件, 所以测出来的 R 属于电感的内阻。





2、具体数值（先将1中的分布图再画一遍，然后在每个元件旁边标出其数值即可。若有二极管，无需标数值）

A 盒子
测量数值的方法有很多，比如测1、2间电感，可以先测出2、3间电阻的值，然后在1、3两点加交流信号源，双踪示波器一个通道测量1、3两端电压，一个通道测量1、2两端电压，利用相位差即可计算出1、2间电感的值。

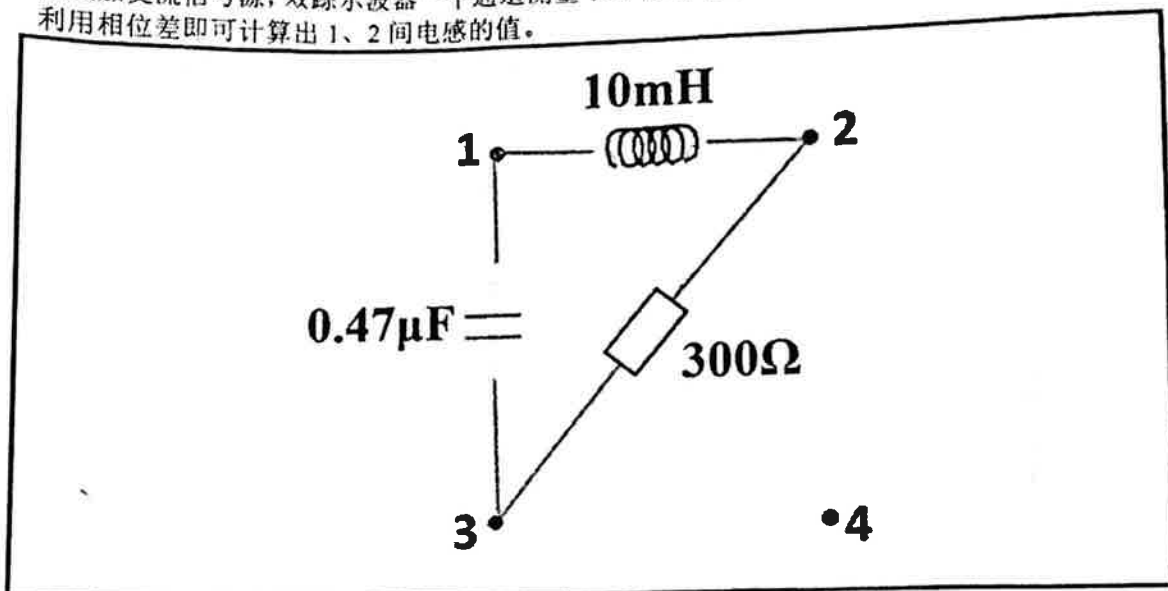


图3

B 盒子

测量数值的方法有很多，1、4间可利用谐振测出电感电容值的乘积，串联一个电阻后再改变交流电频率，通过解方程可以分别得到电容、电感和电感内阻的值。

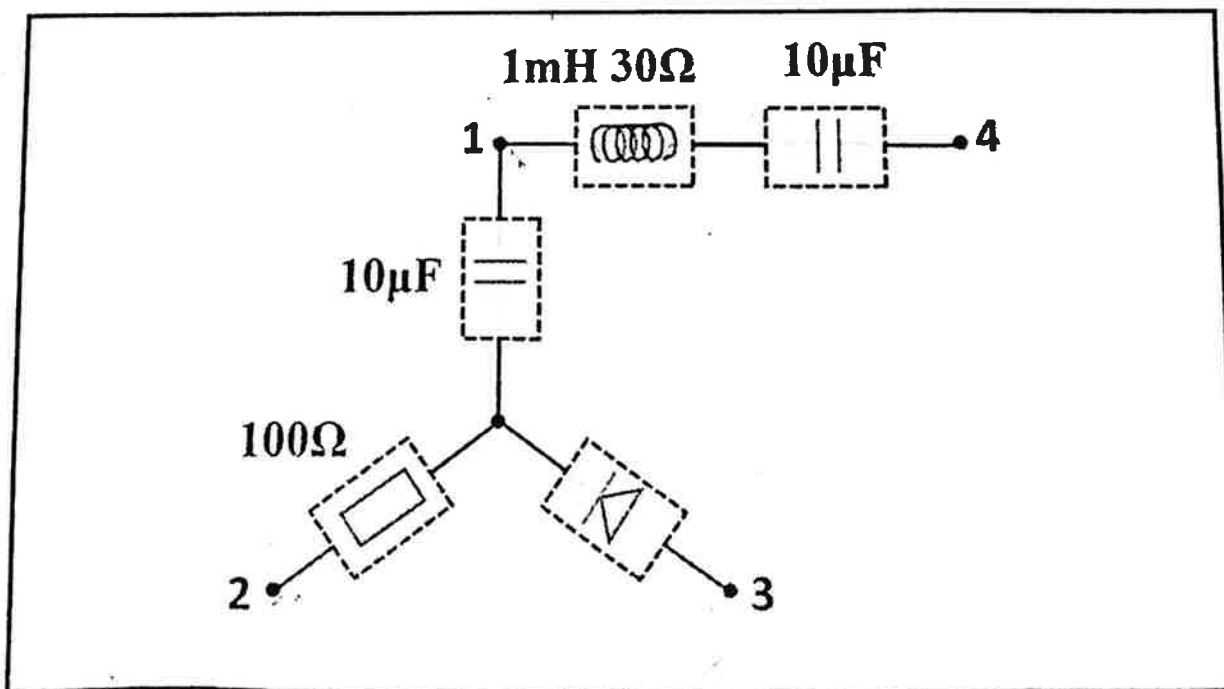


图4

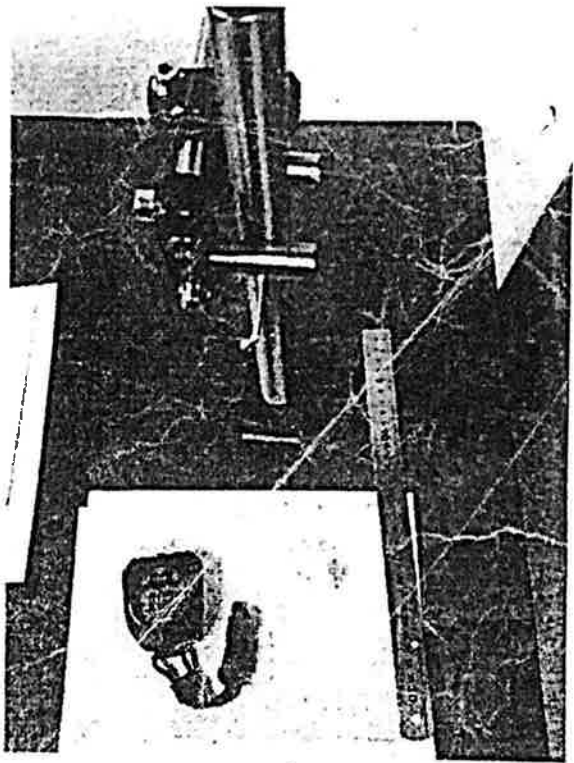
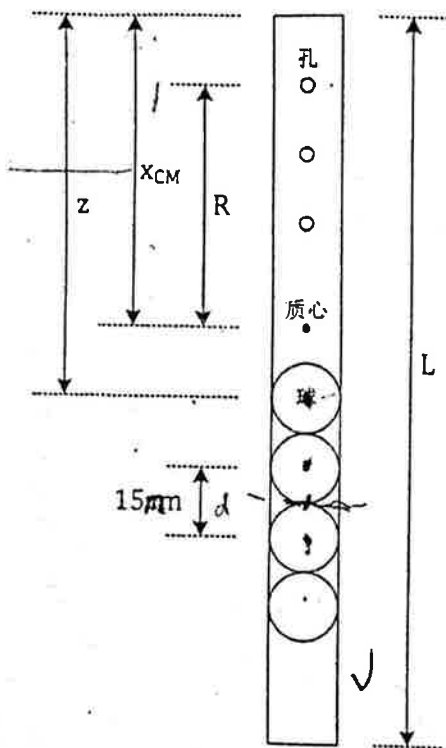
8

一个中空圆柱，质量为 M ，内含 4 个质量为 m 的小球，最上方的球固定在距离圆柱顶端为 z 的位置。沿垂直于圆柱中轴线的方向钻有一系列小孔。这些孔用来使圆柱在竖直平面内绕其摆动，小球之间的距离相等，均为 15.0mm 。

要求学生进行必要的无损测量，以确定下列各量的数值：

1. 上述含球中空圆柱的质心位置。并给出用于测量质心的实验方法示意图。
2. 距离 z 。
3. 比值 m/M 。
4. 重力加速度 g 。

装置：一个上述含小球的中空圆柱，一个用来悬挂圆柱的支架，一把直尺，一个停表，一根细钢轴，一张坐标纸，~~一根细钢轴~~



有用的信息：

1. 对于这样的物理摆（即复摆）， $\{(M+4m)R^2 + I_{CM}\} \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -g(M+4m)R\theta$ ，这里 I_{CM} 是上述带球中空圆柱相对质心的转动惯量， θ 是角位移， R 是悬挂点到质心的距离。
2. 长为 L 、质量为 M 的中空圆柱，绕经过质心且垂直于圆柱中轴线的转轴旋转，其转动惯量可近似表为 $ML^2/12$ 。
3. 平行轴定理： $I = I_{CM} + Mx^2$ ，这里 x 是转轴到质心的距离， M 是物体的总质量。
4. 球可当作质点处理，位于圆柱中轴线上。
5. 中空圆柱的圆筒部分质量分布均匀，端帽的质量忽略不计。
6. 可申请提示卡，提示卡 1 内容为实验数据的处理方法，申请使用会扣 8 分；提示卡 2 内容为转动惯量的表达式，申请使用扣 4 分。



力学黑盒子：一个内含小球的中空圆柱

参考答案

用悬挂的方法可以测出平衡时质心位置 $x_c = 14.52\text{cm}$ ，本题解答中长度测量均从圆柱体上端算起，也就是从打有圆孔的那一端算起。

圆柱体摆动周期的公式为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{(M + 4m)R^2 + I_c}{(M + 4m)Rg}}$ ，其中 R 为悬挂点到质心的距离，

I_c 为圆柱体绕质心旋转的转动惯量， M 为圆柱体质量， m 为每个小球的质量。

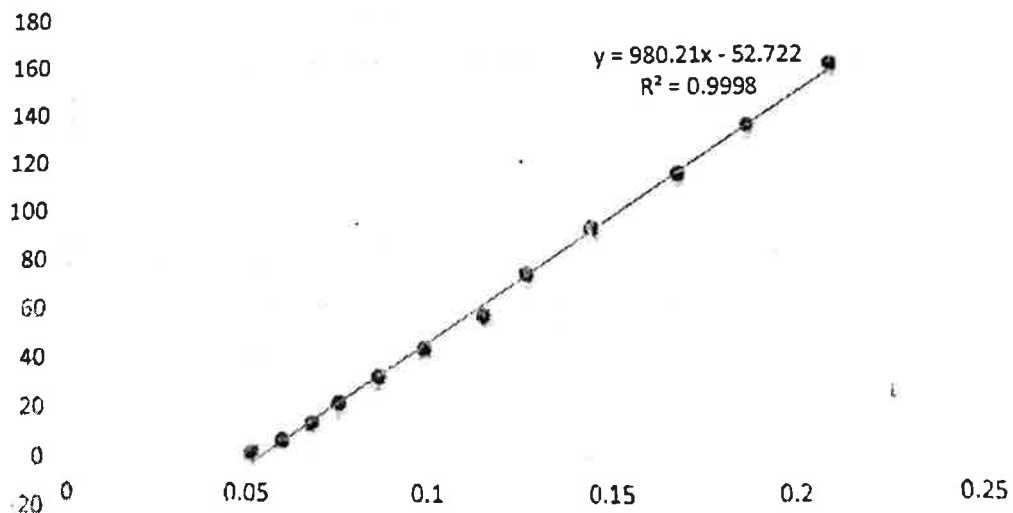
将上述公式整理得到 $R^2 = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 gR - \frac{I_c}{M + 4m}$ ， R^2 和 $\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 R$ 成线性关系，可以

直线拟合。

测量数据：

x_c / cm	T_{20} / s			T / s	R^2 / cm^2	$\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 R / \text{s}^2 \cdot \text{cm}$
1.95	16.40	16.36	16.30	0.8177	158.0	0.2129
2.98	16.16	16.07	16.06	0.8048	133.2	0.1893
3.90	15.90	15.90	15.89	0.7948	112.8	0.1699
4.97	15.48	15.55	15.51	0.7757	91.20	0.1456
6.00	15.35	15.38	15.40	0.7688	72.59	0.1276
7.02	15.24	15.39	15.35	0.7663	56.25	0.1156
7.98	15.55	15.49	15.37	0.7735	42.77	0.0991
8.91	15.61	15.63	15.55	0.7798	31.47	0.0864
9.93	16.11	16.10	16.11	0.8053	21.07	0.0754
10.92	17.33	17.21	17.31	0.8642	12.96	0.0681
11.95	19.29	19.08	19.29	0.9605	6.605	0.0601
13.01	23.01	23.29	23.40	1.1617	2.280	0.0516

$R^2 \sim \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 R$ 图





拟合得到 $y = 980.21x - 52.722$ ，由此可知：

$$g = 980.2\text{cm/s}^2, \quad \frac{I_c}{M + 4m} = 52.72\text{cm}^2$$

下面列方程计算得到大球小球质量比和小球的位置：

$$I_c = \frac{ML^2}{12} + M\left(x_c - \frac{L}{2}\right)^2 + \sum_{n=0}^3 m(z + nD - x_c)^2$$

$$(M + 4m)x_c = \frac{ML}{2} + \sum_{n=0}^3 m(z + nD)$$

其中 $D = 1.5\text{cm}$ 为小球间距， z 为第一个小球质心到圆柱顶端的距离， $L = 25.15\text{cm}$ 为圆柱长度， $x_c = 14.52\text{cm}$ 为质心位置。解上述方程组得到：

$$\frac{m}{M} = 0.0789, \quad z = 18.43\text{cm}$$

一、题目

一直流待测电源 E_x ，开路电压小于 $4V$ ，短路电流小于 $200mA$ 。

1. 利用所给仪器，自组电压表，并测量待测电源 E_x 的开路电压；
2. 利用所给仪器，自组电流表，并测量待测电源 E_x 的短路电流。

二、仪器

1. 直流待测电源 E_x ；
2. 六位电阻箱 R_1 、 R_2 2 台，分辨率分别为 0.1Ω 和 0.01Ω ；
3. 标称值 200Ω 的滑线变阻器 W 1 台；
4. 标称值 $5V$ 直流电压源 E 1 台；
5. 准确度等级 0.5 级指针式电流表 A_1 、 A_2 2 台，量程分别为 $50\mu A$ 和 $100:1000mA$ ；
6. 直流检流计 G 1 台；
7. 开关、导线若干。

三、说明

1. 待测电源 E_x 具有非线性内阻，不适合用 $U-I$ 曲线外推法测量；
2. 测量中需要的电压表须用直流电流表 A_1 及电阻箱自组；
3. 标称值 $5V$ 的直流电压源 E 的短路电流约为 $250mA$ ；
4. 所画测量电路中的待测电源 E_x 、 $5V$ 直流电压源 E 、电流表 A_1 、 A_2 需用“+”和“-”标明其正、负极性。
5. 直流检流计 G 内含直流有源放大电路，使用前须打开自身电源预热至少 10 分钟。在测量前，还须对仪器调零。在连接好实验电路，接通电源之前，将灵敏度旋钮逆时针拧到最小，再用调零旋钮调零。在测量时，灵敏度旋钮应逐步、缓慢的增大，切忌快速拧动，否则可能会产生零点漂移。当电路发生改变时，须重新调零。

四、要求

1. 利用所给器材测量电流表 A_1 的内阻，并将其改成 $4.00V$ 量程的电压表，要求画出测量内阻的电路图，简述测量原理，给出测量结果；画出自组电压表的示意图，并标明元件的数值。
2. 测量待测电源 E_x 的开路电压。
 - (1) 画出测量待测电源 E_x 的开路电压的电路图，简述测量待测电源 E_x 开路电压的原理和步骤。
 - (2) 连接电路、测量并记录必要的的数据；标明待测电源 E_x 开路电压的测量值。
3. 测量待测电源 E_x 的短路电流。
 - (1) 画出测量待测电源 E_x 的短路电流的电路图，简述测量待测电源 E_x 短路电流的原理和步骤。
 - (2) 连接电路、测量并记录必要的的数据，标明待测电源 E_x 短路电流的测量值。

注意：接好电路后，只有在监考老师允许的情况下，才能接通电源（老师只检查电路的安全性，不检查电路是否正确）。可申请提示卡，提示卡 1 的内容为测量电流表内阻的电路原理图（扣 3 分），提示卡 2 的内容为测量待测电源 E_x 的开路电压的电路原理图（扣 6 分），提示卡 3 的内容为测量待测电源 E_x 的短路电流的电路原理图（扣 6 分），提示卡可按需申请，无需按顺序。



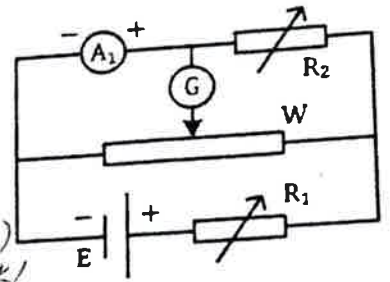
直流电源特性的研究

参考答案

一、测量电流表 A_1 的内阻

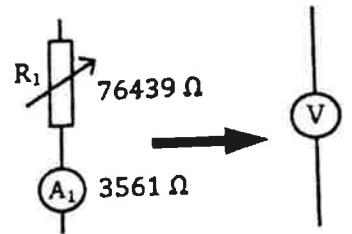
利用如右图的直流电桥测量电流表的内阻，其中 R_1 作为保护电阻限制总电流。需保持滑线变阻器 W 的位置不变并交换 A_1 和 R_2 的位置共测量 2 次，设 2 次测量电桥平衡时 R_2 的示数分别为 r_1 和 r_2 ，则 A_1 的内阻即为 $\sqrt{r_1 r_2}$ 。测量参考值为 3561Ω (表)

3510Ω (表)
标准值 1218Ω



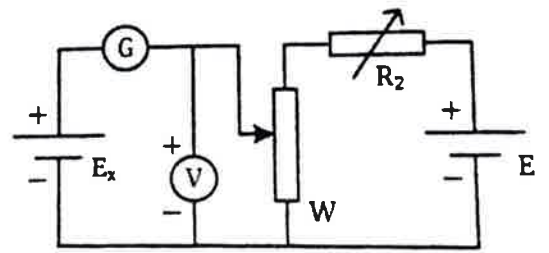
二、改装电流表 A_1 为电压表 V

将量程为 $50\mu A$ 的电流表改装为 $4.00V$ 的电压表，则电压表的内阻应为 $80k\Omega$ ，因此将 A_1 与 $R_1 = 76439\Omega$ 串联即可。



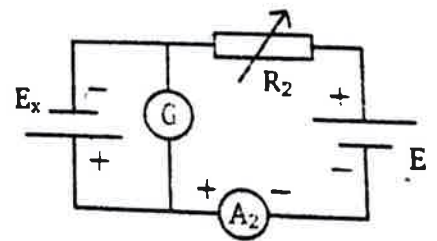
三、测量 E_x 的开路电压

使用如右图所示的电压补偿法测量，滑线变阻器 W 和 R_2 共同组成分压电路，其中 R_2 用于细调电路平衡。当检流计 G 示数为零时，分压电路的输出电压与 E_x 的电动势平衡，电压表 V 所示即为 E_x 的开路电压。测量参考值为 $3.60V$ 。



四、测量 E_x 的短路电流

使用如右图所示的电流补偿法测量， R_2 作为限流电阻调节干路电流。当检流计 G 示数为零时，电源 E 所提供的电流与 E_x 的短路电流平衡，电流表 A_2 所示即为 E_x 的短路电流。测量参考值为 $198mA$ 。



由于电源 E_x 的高度非线性特性，在接近短路时内阻很低（约为 20Ω ），电源中的元件因发热而引起的电阻改变对短路电流有较大影响， $198mA$ 是等待了较长时间，系统大致达到热平衡之后的测量结果。对于短时间的测量，结果大于 $185mA$ 即算正确。

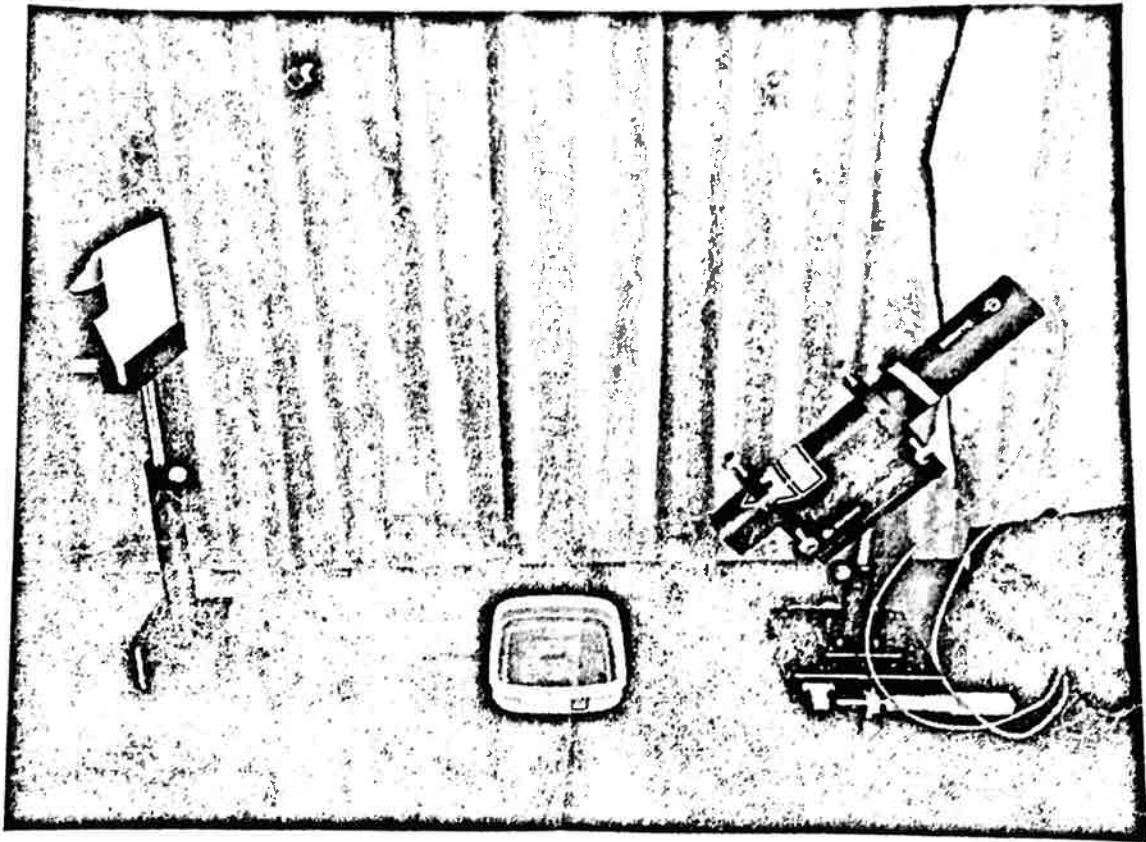


测量水的磁导率 试题

一、背景介绍

磁场对除铁磁体外的大多数材料的作用都很弱。其原因是，相对磁导率为 μ 的介质中，磁场的能量密度为 $w = B^2 / 2\mu\mu_0$ ，而大多数材料的 μ 非常接近1。利用适当的实验技术是可以观察到磁场对产非常接近1的材料的作用效果的。在本题中，我们研究钕永久磁铁产生的磁场对水的作用效果，并且利用实验结果计算水的磁导率。在此题中不要求计算不确定度，并且不需要考虑表面张力的影响。

实验装置包括支架，螺旋测微器，激光器，装有水的盒子，装在盒子里的永磁铁 螺旋测微器固定在支架上，螺旋测微器容许激光笔水平移动。磁铁上面水深的合理值应在1mm左右（如果再浅的话，水面会过于弯曲而导致难于从屏幕上读数）。盛有水的水杯和滴管可以用来调整水面高度。坐标纸 2（被用来当做“屏幕”）固定在垂直板上。如果屏上的光点变得模糊，请检查水面是否有灰尘（如有请吹走）。



计算时用到的数据：

磁铁上表面上方1mm 轴线上的磁感应强度为 $B_0 = 0.41\text{T}$ ，水的密度为 $\rho_w = 1000\text{kg/m}^3$ ，自由落体加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$ ，真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$ 。

注意：

1. 激光的方向是事先调整好的，不要动！
2. 不要直视激光束或它的反射线！
3. 不要移动钕磁铁！
4. 不要将磁性材料靠近磁铁！

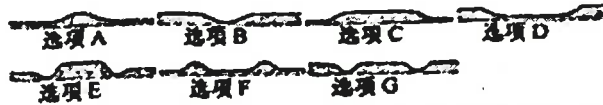
10



二、实验要求

1. 定性判断水面的形状

当圆柱状磁铁被置于水面下时，水面会变弯曲。观察磁铁上方水面的形状，通过观察确定水是抗磁体 ($\mu < 1$) 还是顺磁体 ($\mu > 1$)。



参照上图，在答题纸上写下与观察到的水面形状相对应的选项字母，及相对应的不等式 $\mu > 1$ 或 $\mu < 1$ 。此部分不需要解释你的答案。

2. 水面的准确形状

可以通过测量激光束在水面上的反射来精确地测量水面的弯曲形状。我们用该实验来计算磁铁上方的水深在水平方向上的变化情况。

- (1) 测量屏上激光点的高度 y 对平移台读数 x 的依赖关系。应该覆盖平移台的整个行程。将测量数据填到答题纸的表格中。
- (2) 画出上述所得依赖关系的图线。
- (3) 利用得到的图线，确定光束与水平面的夹角 α_0 。

计算不同位置处水面斜率，将计算得到的这些斜率值填入答题纸的表格中。请注意，如果斜率公式中用到的一些项直接由前面所画的图中读出，可以简化计算。

- (4) 以远离磁铁的水面高度作为高度零点，算出不同平移台读数 x 下的水面高度值，并填入答题纸上的表中。
- (5) 根据第 (4) 步中的依赖关系作图，并在图上标出激光束打在磁体正上方水面的区域。

注意：如果你不知道如何计算斜率，可以要求一个写有从光点位置推出水面形状信息的提示卡。

3. 磁导率

利用第 2 部分的结果，计算 $\mu - 1$ 的数值 (所谓的磁化系数)，这里 μ 是水的相对磁导率。将你的最终公式和数值结果写在答题纸上。

~~30-1~~



测量水的磁导率

参考答案

1.(1分)相对磁导率小于1。B或D均给全分。正确做法是观察一个物体，特别是一个直线的反射像(比如观察坐标纸的倒影)

$$\tan\beta = \beta = \frac{\cos^2\alpha}{2} \cdot \frac{y-y_0 - (x-x_0)\tan\alpha}{L+x-x_0}$$

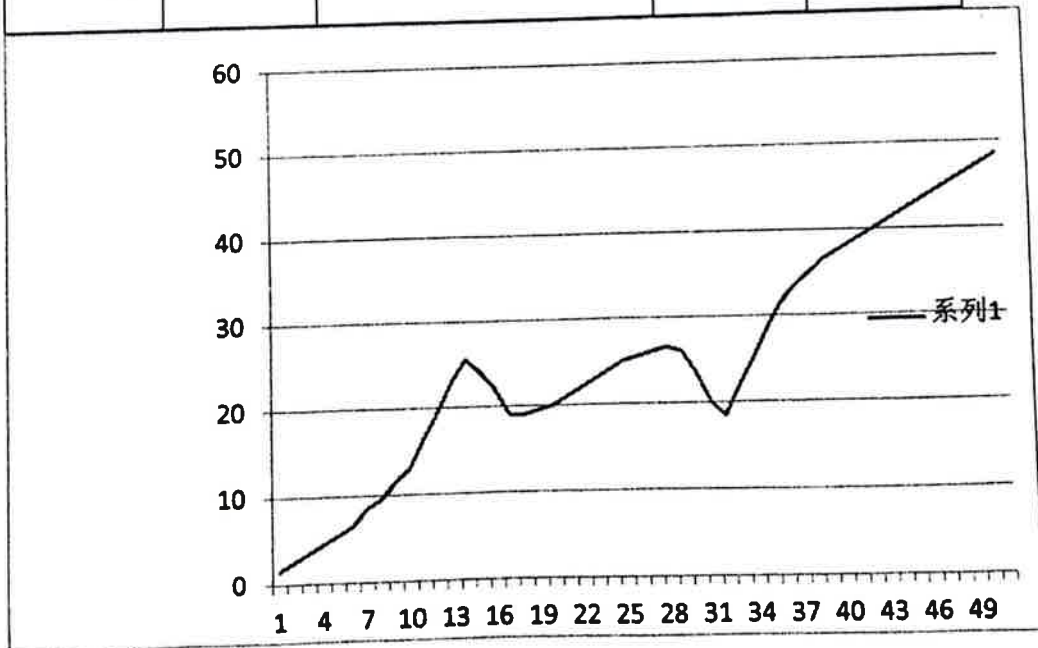
2.(7分)

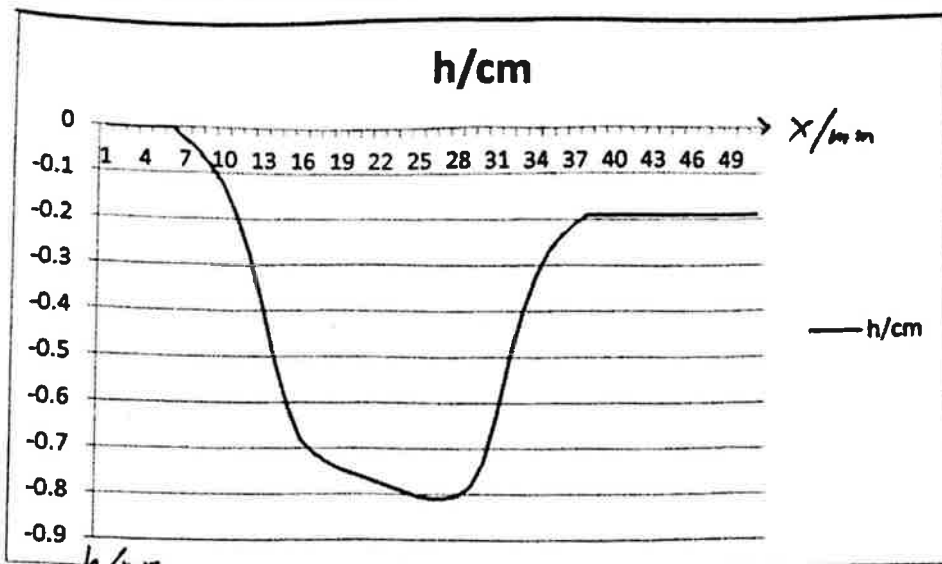
y/mm	x/cm	(y-y ₀ -(x-x ₀)tanα)/cm	tanβ	h/cm
1.5	0	0	0	0
2.5	0.1	0	0	0
3.5	0.2	0	0	0
4.5	0.3	0	0	0
5.5	0.4	0	0	0
6.5	0.5	0	0	0
8.5	0.6	0.25	0.002224	-0.025
9.5	0.7	0.25	0.002216	-0.05
11.5	0.8	0.35	0.003092	-0.085
13	0.9	0.4	0.003521	-0.125
16.5	1	0.65	0.005702	-0.19
19.5	1.1	0.85	0.00743	-0.275
23	1.2	1.1	0.009582	-0.385
25.5	1.3	1.25	0.010851	-0.51
24	1.4	1	0.008651	-0.61
22	1.5	0.7	0.006034	-0.68
19	1.6	0.3	0.002577	-0.71
19	1.7	0.2	0.001712	-0.73
19.5	1.8	0.15	0.00128	-0.745
20	1.9	0.1	0.00085	-0.755
21	2	0.1	0.000847	-0.765
22	2.1	0.1	0.000845	-0.775
23	2.2	0.1	0.000842	-0.785
24	2.3	0.1	0.000839	-0.795
25	2.4	0.1	0.000836	-0.805
25.5	2.5	0.05	0.000417	-0.81
26	2.6	0	0	-0.81
26.5	2.7	-0.05	-0.00041	-0.805
26	2.8	-0.2	-0.00165	-0.785
23.5	2.9	-0.55	-0.00452	-0.73
20	3	-1	-0.0082	-0.63
18.5	3.1	-1.25	-0.01021	-0.505
22	3.2	-1	-0.00814	-0.405
25	3.3	-0.8	-0.00649	-0.325
28.5	3.4	-0.55	-0.00445	-0.27



31.5	3.5	-0.35	-0.00282	-0.235
33.5	3.6	-0.25	-0.00201	-0.21
35	3.7	-0.2	-0.0016	-0.19
36.5	3.8	0	0	-0.19
37.5	3.9	0	0	-0.19
38.5	4	0	0	-0.19
39.5	4.1	0	0	-0.19
40.5	4.2	0	0	-0.19
41.5	4.3	0	0	-0.19
42.5	4.4	0	0	-0.19
43.5	4.5	0	0	-0.19
44.5	4.6	0	0	-0.19
45.5	4.7	0	0	-0.19
46.5	4.8	0	0	-0.19
47.5	4.9	0	0	-0.19
48.5	5	0	0	-0.19
				0.715

70.3 μm





平均两边高度计算得到 ~~5.1 mm~~

3.(2分)水的磁导率 $\mu = 0.0703 \text{ mm}$

公式推导:

用磁荷观点计算:

$$\text{空气中: } H_0 = \frac{\sigma}{\mu_0} \quad \text{水中: 总场强 } H = \frac{H_0}{\mu_r}$$

$$\text{磁化电荷场强: } H' = H_0 - H = \left(1 - \frac{1}{\mu_r}\right) H_0 \quad \text{磁化电荷面密度 } \sigma' = \mu_0 H'$$

$$\text{水面: } H_s = \frac{\sigma'}{2\mu_0} - \frac{\sigma}{\mu_0} = \frac{H'}{2} - H_0 = H_0 \left(\frac{1 - \frac{1}{\mu_r}}{2} - 1\right)$$

h 深度水块受力平衡:

$$\rho g h = H_s \sigma' = \frac{1}{2} \mu_0 H_0^2 \left(\frac{1}{\mu_r^2} - 1\right) = \frac{1}{2\mu_0} B_0^2 \left(\frac{1}{\mu_r^2} - 1\right)$$

由于水的磁化率远小于 1, 相对磁导率近似为 1, 故

$$\mu_r = \sqrt{1 + \frac{2\mu_0 \rho g h}{B_0^2}} \approx 1 - \frac{\mu_0 \rho g h}{B_0^2}$$

$$\chi = \mu_r - 1 = -\frac{\mu_0 \rho g h}{B_0^2} = -5.1 \times 10^{-6}$$

(Tips: 用虚功原理, 容易漏掉磁化能, 会导致以下错误解法:
平衡状态水的深度应为能量的局部稳定点:



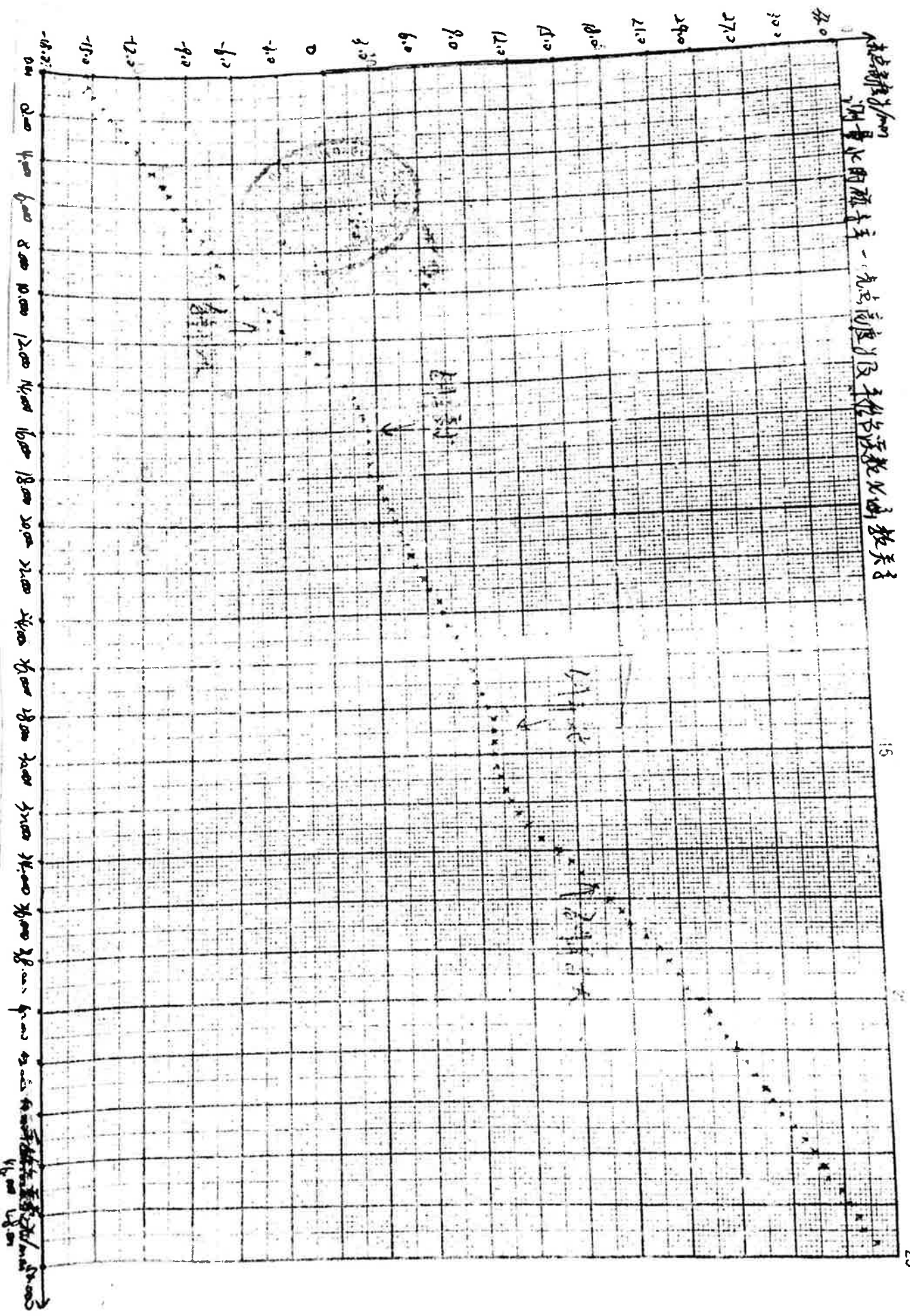
$$\delta E = -\rho gh \delta h + \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) \frac{1}{2\mu_0} B^2 \delta h$$

$$\left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) \frac{1}{2\mu_0} B^2 = \rho gh$$

$$-\frac{\chi}{\mu} = \frac{1}{\mu} - 1 = \frac{2\mu_0 \rho gh}{B^2}$$

$$\chi \cong -\frac{2\mu_0 \rho gh}{B^2}$$

比正确答案多了一个系数 2)

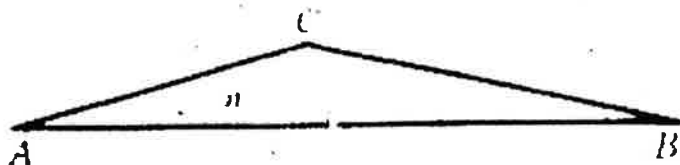


一、仪器用具

分光计、双棱镜、钠光灯、读数显微镜、平面反射镜

二、测量双棱镜的顶角

1. 调节分光计到正常工作状态（平行光管除外）；
2. 用分光计测定双棱镜的两个锐角 A 和 B 。双棱镜 ABC 如下图所示：



- (1) 在望远镜中观察到几个像斑？试画图并说明各个反射像是如何产生的。
 - (2) 说明测定锐角 A 和 B 的方法，各利用哪几个反射像来测？
 - (3) 记录原始数据及计算结果。
3. 用分光计测定双棱镜的折射率 n ：
 - (1) 简要说明测量原理，给出公式，画出原理图；
 - (2) 记录原始数据（标明用哪几个反射像）及计算结果。

三、测量钠黄光的波长

1. 调节分光计

- (1) 调节望远镜聚焦于无穷远。调望远镜光轴垂直分光计转轴。
- (2) 调节平行光管产生平行光。调平行光管光轴垂直分光计转轴。

2. 调节双棱镜

令望远镜和平行光管在一直线上，固定望远镜。把双棱镜放置在载物平台上，它的放置方法如同光栅，即令双棱镜位于螺丝 $b_1 b_2$ 连线的中垂面内，而螺丝 b_3 应在双棱镜面内。用自准直法调节双棱镜平面垂直于望远镜光轴（此刻只能调节载物平台下的螺丝 b_1, b_2 ），固定双棱镜（载物平台及游标盘），以使平行光能垂直入射到双棱镜上。

3. 用分光计测量两束平行光的夹角 θ

用钠黄光照明平行光管狭缝，经双棱镜折射后，在望远镜中能看到两个缝光源的像（两条平行的细亮线）。转动望远镜测量这两个狭缝像的夹角 θ 。

4. 用读数显微镜测量干涉条纹间距 Δx 。

- (1) 这时不需要用望远镜了，把它移到光路外面去。把读数显微镜置于干涉区内，令它和平行光管等高，并调节它的左右位置，使读数显微镜的视场中找到双棱镜的干涉场。
- (2) 重要的问题是要调出清晰的干涉条纹，这也是本实验的难点。为此，应调节平行光管的狭缝宽度，使其变窄，并细致调节平行光管的狭缝取向，以及载物平台下的螺丝 b_3 ，使平行光管的狭缝和双棱镜的棱脊严格平行，直到出现清晰的干涉条纹。

- (3) 用读数显微镜测量干涉条纹的间距 Δx 。



利用分光计测量双棱镜折射率和钠黄光波长

参考答案

一、测量双棱镜的顶角

学生在分光计上曾测量过三棱镜的顶角，他们明白测量棱角只要测出两个平面的法线方向即可。

1. 本题的难点之一是：由于双棱镜的两个锐角很小（约 0.5° ），后表面反射像的同时出现将产生明显的干扰作用，学生将看到三个或四个反射像。这些反射像是如何产生的？学生首先必须设法判断、正确分析出各像的来源。

1) 当平面 AB 对着自准望远镜时，可以看见三个反射像①②③，见示意图 3-18-2：

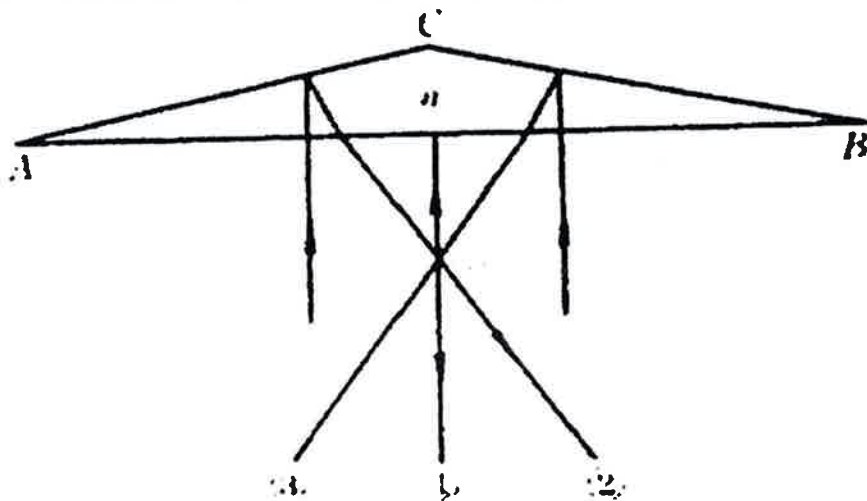


图 3-18-2

像①是直接由 AB 面反射产生。

像②是由 AB 面折射， AC 面反射，再由 AB 面折射产生。

像③是由 AB 面折射， BC 面反射，再由 AB 面折射产生。

2) 当望远镜对着角 C 观察时，可以看到四个反射像④⑤⑥⑦，见示意图 3-18-3：

像④是由 BC 面反射产生。

像⑤是由 AC 面反射产生。

像⑥是由 BC 面折射， AB 面反射，再由 BC 面折射产生。

像⑦是由 AC 面折射， AB 面反射，再由 AC 面折射产生。

3) 经过上述的分析和判断，我们知道：图中反射像①④⑤是由前表面产生的，而像②③⑥⑦则是由后表面产生的。

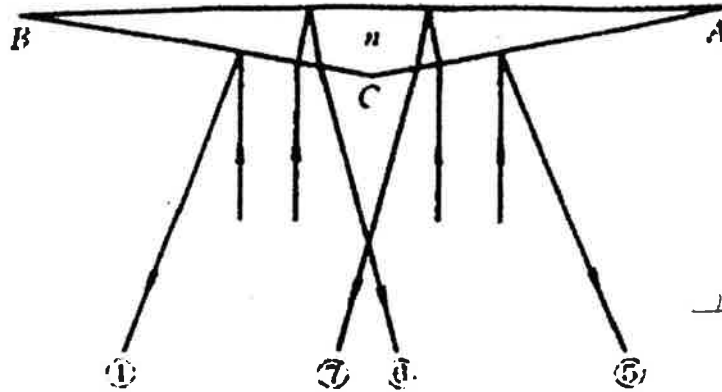


图 3-18-3

其中反射像④⑥与⑤⑦较难判别, 学生经常搞错. 我们不妨用一小黑纸片, 先挡住 BC 面, 观察会发生什么情况? 我们将看到像④和⑥消失, 只留下像⑤和⑦, 而像⑤和⑦的相对位置, 我们从图 3-18-3 中并不难判断. 同样, 当小黑纸片挡住 AC 面时, 我们将看到像⑤和⑦消失, 只留下像④和⑥, 而像④和⑥的相对位置可由图 3-18-3 得知.

2. 本题的另一难点是: 为测定折射率 n , 应使望远镜与后表面反射像达到自准直, 见图 3-18-4. 此时有

$$n = \sin i / \sin A,$$

式中 A 为双棱镜的锐角, i 为后表面反射像自准直方向与前表面法线方向之间的夹角.

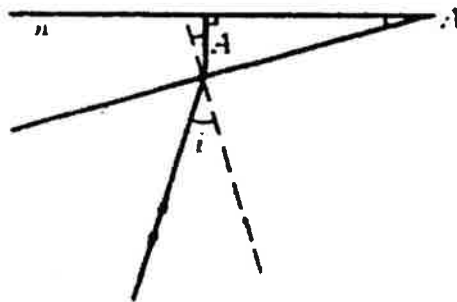


图 3-18-4

3. 根据以上分析, 可知:

利用反射像①和⑤, 测定角 A . 利用反射像①和④, 测定角 B .

为测量折射率 n , 可用反射像⑤和⑦, 或用反射像①和②, 此时有关系式

$$n = \sin i / \sin A. \tag{3.18-1}$$

测定折射率 n , 也可用反射像④和⑥, 或用反射像①和③, 此时有关系式

$$n = \sin i / \sin B. \tag{3.18.2}$$

【实验内容】

1. 调节分光计, 调节双棱镜
 - 1) 调节望远镜, 使它聚焦无穷远.
 - 2) 调望远镜光轴垂直分光计转轴.
 - 3) 调节双棱镜的主截面与分光计转轴垂直 (尽可能).



2.测锐角 A

1) 利用望远镜自身产生平行光, 用灯光照亮叉丝. 先使望远镜对准像①, 表明望远镜光轴垂直双棱镜 AB 面, 记下读数 θ_1' 和 θ_1'' .

2) 然后再使望远镜对准像⑤, 表明望远镜光轴垂直棱镜 AC 面, 记下读数 θ_5' 和 θ_5'' .

两次读数相减, 便得锐角 A 的补角 φ , 即

$$A = 180^\circ - \varphi,$$

其中

$$\varphi = [(\theta_5' - \theta_1') + (\theta_5'' - \theta_1'')]/2.$$

3) 重复做 1), 2) 两步, 测量三次, 取平均.

3.测锐角 B

1) 先使望远镜对准像①, 记下读数 θ_1' 和 θ_1'' . 再使望远镜对准像④, 记下读数 θ_4' 和 θ_4'' .

两次读数相减, 便得锐角 B 的补角 φ , 即

$$B = 180^\circ - \varphi,$$

而

$$\varphi = \frac{1}{2}[(\theta_1' - \theta_4') + (\theta_1'' - \theta_4'')].$$

2) 重复测量三次, 取平均.

4.测折射率 n

选用反射像①和②, 用望远镜自准直法测量 n.

1) 利用望远镜自身产生平行光, 用灯光照亮叉丝. 先使望远镜对准像①, 记下读数 θ_1' 和 θ_1'' . 再使望远镜对准像②, 记下读数 θ_2' 和 θ_2'' . 两次读数相减, 就是角 i.

2) 重复测量三次. 取平均. 根据公式 (3.18.1), 计算出折射率 n.

【参考数据】

1.测锐角 A. 用反射像①和⑤, 测量数据列在表 3-18-1 中.

表 3-18-1

左游标			右游标			$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi' + \varphi'')$	$A = 180^\circ - \varphi$
θ_1'	θ_5'	φ'	θ_1''	θ_5''	φ''		
119°48'	299°1'	179°13'	299°48'	360°+119°1'	179°13'	179°13'	47'

2.测锐角 B. 用反射像①和④, 测量数据列在表 3-18-2 中.

表 3-18-2

左游标		右游标		$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi' + \varphi'')$	$B = 180^\circ - \varphi$
θ_1'	θ_4'	θ_1''	θ_4''		

θ_1'	θ_1''	φ'	θ_1''	θ_1''	φ''		
$360^\circ + 119^\circ 48'$	$300^\circ 28'$	$179^\circ 20'$	$299^\circ 48'$	$120^\circ 27'$	$179^\circ 21'$	$179^\circ 20.5'$	$39.5'$

3.测折射率 n .用反射像①和②, 测量数据列在表 3-18-3 中.

表 3-18-3

左游标			右游标			$i = \frac{1}{2}(i' + i'')$	n
θ_1'	θ_2'	i'	θ_1''	θ_2''	i''		
$119^\circ 48'$	$118^\circ 36'$	$1^\circ 12'$	$299^\circ 48'$	$298^\circ 36'$	$1^\circ 12'$	$1^\circ 12'$	1.53

二、测量钠黄光的波长

见图 3-20-1, 单色平行光垂直入射到双棱镜上, 经双棱镜折射产生两束相干的平行光,

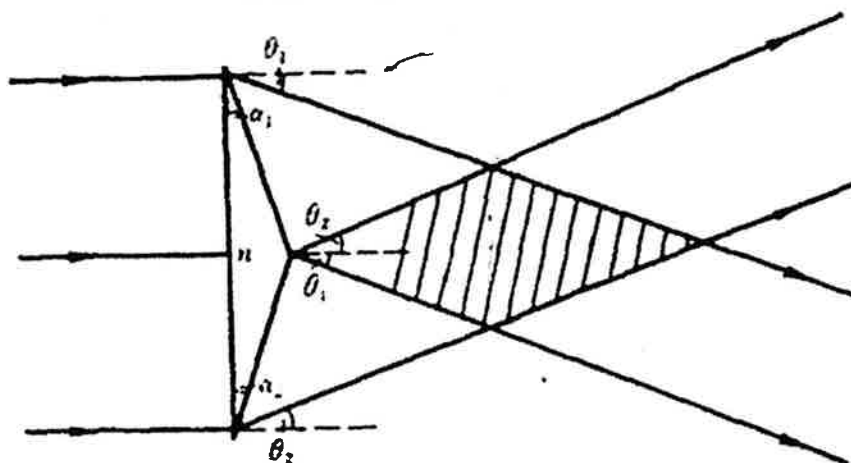


图 3-20-1

它们的夹角为 $(\theta_1 + \theta_2)$. 这两束平行光在空间相遇的区域中 (图中画有斜线的区域) 将发生干涉. 在干涉场中垂直入射光方向放置一接收屏, 结果在接收屏上形成明暗交替的直线条纹. 接收屏上的干涉条纹间距 Δx 为

$$\Delta x = \lambda / (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$$

当 θ_1 和 θ_2 很小时, 有

$$\Delta x \approx \lambda / (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) = \lambda / \theta, \quad (3.20.1)$$

其中 $\theta = \theta_1 + \theta_2$.

若测出干涉条纹的间距 Δx 和两束平行光的夹角 θ , 则可算出钠黄光的波长 λ .

【实验内容】

1. 调节分光计



- 1) 调节望远镜聚焦于无穷远.调望远镜光轴垂直分光计转轴.
 - 2) 调节平行光管产生平行光.调平行光管光轴垂直分光计转轴.
- 2.调节双棱镜

令望远镜和平行光管在一直线上, 固定望远镜.把双棱镜放置在载物平台上, 它的放置方法如同光栅, 即令双棱镜位于螺丝 b_1b_2 连线的中垂面内, 而螺丝 b_3 应在双棱镜面内.用自准直法调节双棱镜平面垂直于望远镜光轴 (此刻只能调节载物平台下的螺丝 b_1, b_2), 固定双棱镜 (载物平台及游标盘), 以使平行光能垂直入射到双棱镜上.

3.用分光计测量两束平行光的夹角 θ

用钠黄光照明平行光管狭缝, 经双棱镜折射后, 在望远镜中能看到两个缝光源的像 (两条平行的细亮线).转动望远镜测量这两个狭缝像的夹角 θ .

4.用读数显微镜测量干涉条纹间距 Δx .

1) 这时不需要用望远镜了, 把它移到光路外面去.把读数显微镜置于干涉区内, 令它和平行光管等高, 并调节它的左右位置, 使读数显微镜的视场中找到双棱镜的干涉场.

2) 重要的问题是要调出清晰的干涉条纹, 这也是本实验的难点.为此, 应调节平行光管的狭缝宽度, 使其变窄, 并细致调节平行光管的狭缝取向, 以及载物平台下的螺丝 b_3 , 使平行光管的狭缝和双棱镜的棱脊严格平行, 直到出现清晰的干涉条纹.

3) 用读数显微镜测量干涉条纹的间距 Δx .

【参考数据】

1. 分光计测得两束平行光的夹角: $\theta = 49'$.

表格如下:

左游标			右游标			$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi' + \varphi'')$
θ_1'	θ_2'	θ'	θ_1''	θ_3''	φ''	
$61^\circ 39'$	$60^\circ 50'$	$49'$	$241^\circ 41'$	$240^\circ 52'$	$49'$	$49'$

2.测量干涉条纹间距 Δx , 测量数据如下.

数了六条条纹间隔, $X_1=23.680\text{mm}$, $X_2=23.931\text{mm}$, 计算出 $\Delta x = 41.8\mu\text{m}$

3.根据公式 (3.20.1), 计算出钠黄光的波长

$$\lambda = 0.593\mu\text{m}.$$



12

测定金属丝材料的杨氏模量 试题

注意：当你拿到实验仪器后基本位置已经调好，杨氏模量支架只允许调整平面镜角度，以及增减砝码，光具座位置和激光位置勿动！因为擅自调整上述器件其他旋钮或位置造成的影响自行解决！同时，在本实验中，你没有直尺，你也不能用自带的直尺测量长度！

一、概述

长度为 L ，截面积为 S 的均匀金属丝，在受到拉力 F 时伸长 ΔL ，金属丝单位长度的伸长量 $\Delta L/L$ 叫做应变，金属丝单位截面积所受的外力 F/S 叫做胁强，胡克定律指出：在弹性限度内，应变与胁强成正比，其比例系数 E 叫做杨氏模量，即

$$E = \frac{FL}{S\Delta L}$$

二、实验器材

1. 杨氏模量测量仪及其附件

杨氏模量测量仪 1 台；砝码 8 个；与光杠杆 b 连接的平面反射镜 1 个（角度已调整为与光轴成近似 45° ，平面反射镜下面配有小铅坠以确定平面反射镜在光导轨上的位置）。

注意：待测金属丝 L_2 已固定在杨氏模量仪的铁架上，不要移动或转动铁架。

2. 光具座及可用的光学附件

光具座 1 个（已调好水平，位置固定在实验台面上，请勿移动）；滑块 5 个（其中可横向微调的二维滑块 3 个）；凸透镜 1 个；平面反射镜 1 个（角度已调整为与光轴成近似竖直）；孔屏 1 个；测微目镜 1 个（量程为 8mm ）；氦氖激光器 1 台（固定在光具座顶端，高度已固定，方位和俯仰角可微调）。

各光学元件均需在光具座上调节共轴（参见图 1），除激光器和光杠杆平面反射镜的位置不变外，其他光学元件位置依测量需要摆放。

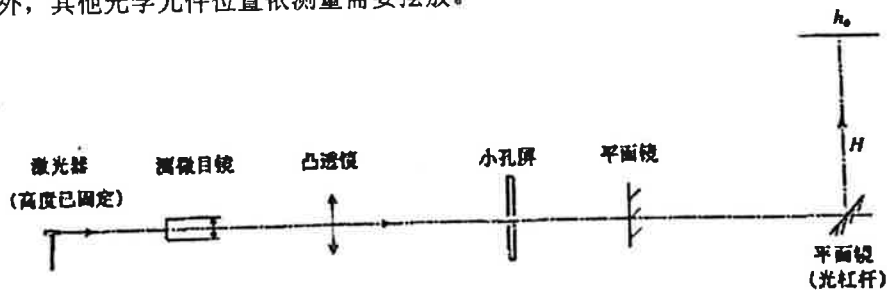


图 1 各光学元件需调节共轴

3. 顶棚上画有“工”字型刻线的纸

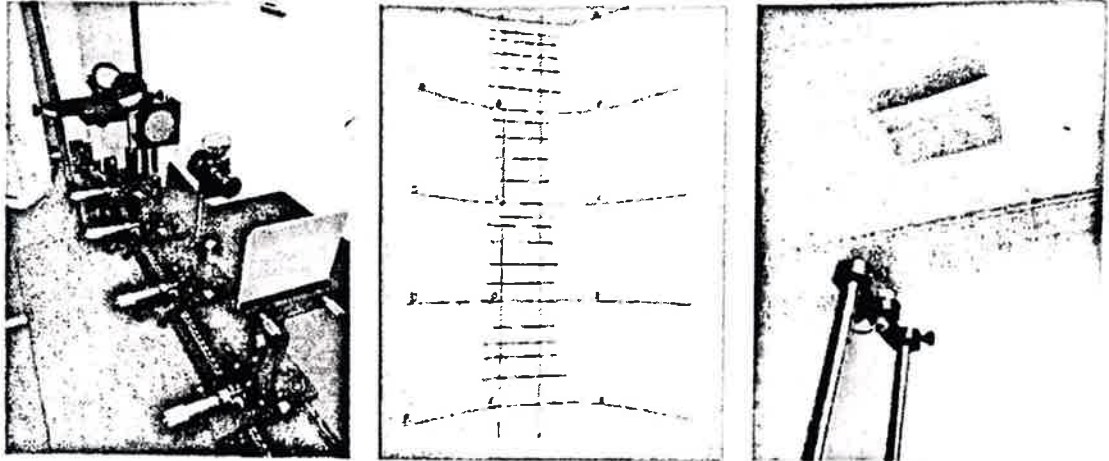
作为镜尺组的“标尺”，平行于导轨方向的刻线可用于光路调整，垂直于导轨方向的刻线 A, B, C, D, E 的间距值已知。

三、注意事项

1. 眼睛不要直视激光。
2. 激光束的平行性很好，其宽度忽略不计。
3. 不要把光学器件从滑块或支架上拆下，不要用手触摸光学器件表面。
4. 拆装滑块时，必须双手拿住滑块底部并置于光导轨里侧，以免滑落或不小心坠地造成伤害。
5. 调整光杠杆的 b 值时，注意不要把反射镜从架子上解下来，要轻拿轻放，防止摔坏。
6. 增减砝码时要轻拿轻放，防止弄断金属丝或金属丝颤动造成读数困难。



7. 只能采用实验室提供的器材进行测量。
8. 在解答每个问题时，需写明原理和方法，给出必要的测量光路示意图以及测量公式。
9. 写出必要的实验操作步骤和调节方法。



四、可能用到的数据

1. 重力加速度 $g = 9.8048 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。
2. 每个砝码质量 $m = 1.000 \text{kg}$ 。
3. 顶棚上标尺刻线 A, B, C, D, E 的间距值为 $AB = BC = CD = DE = 60.00 \text{mm}$ ，其余短线间距值未知。
4. 光杠杆的后足至两前足连线的距离为 $b = 72.28 \text{mm}$ 不动
5. 小孔屏到滑块中心的距离为 6mm ，平面镜的位置与滑块一端的位置相同 \times
6. 杨氏模量金属丝长度为 1010mm 高-约 15mm

五、实验内容

1. 用光学方法测量待测金属丝 L_2 的伸长量 ΔL

- (1) 利用光杠杆原理，导出待测金属丝 L_2 的伸长量 ΔL 与其他可测量量的关系式。
- (2) 测量透镜焦距 f (可申请提示卡 1，内有 f 值，但扣 5 分)。
- (3) 测量光轴到顶棚的距离 H 。

提示：由凸透镜成像规律可知，当物距远大于透镜的焦距 f 时，物距的较大改变而引起的像距改变很小。所以，通过测量像距去计算物距，会有很大的误差 (可申请提示卡，内有 H 值，但扣 5 分)。

(4) 测量待测金属丝 L_2 在改变 2 个砝码时的伸长量 ΔL 。

从 7 个砝码开始，先减少 2 个砝码，再增加 2 个砝码，测出标尺的相关读数。

提示：因标尺上刻线 A, B, C, D, E 的间距值很大，故不能直接在标尺上读数。

2. 测量金属丝 L_2 的杨氏模量 E

改变金属丝 L_2 下端悬挂的砝码数量。从 $m = m_0 + 7 \text{kg}$ 开始 (m_0 是托盘的质量)，先逐个减少砝码，直至 $m = m_0 + 2 \text{kg}$ ；再从 $m_0 + 2 \text{kg}$ 开始，逐个增加砝码，直至 $m = m_0 + 7 \text{kg}$ ；测出相关读数。

提示：因标尺上刻线 A, B, C, D, E 的间距值很大，故不能直接在标尺上读数。

用逐差法计算出每增减 1kg 砝码时，待测金属丝 L_2 的伸长量 ΔL ，并计算待测金属丝 L_2 的杨氏模量 E 。



测定金属丝材料的杨氏模量

参考答案

用光学方法测量待测金属丝 L_2 的伸长量 ΔL

(1) 利用光杠杆原理导出待测金属丝 L_2 的伸长量 ΔL 与其他可测量量的关系式。

① 光杠杆光路图及公式。

ΔL 的量值很小, 需用光杠杆法测量。如图 2 所示, 当金属丝在重力作用下伸长 ΔL 时, 光杠杆的后足也随之下降 ΔL , 平面反射镜旋转 θ 角。当 $\Delta L \ll b$ 时, 有

$$\theta = \frac{\Delta L}{b}, \quad (6)$$

其中 b 是光杠杆的后足至两前足连线的距离。

② 利用顶棚上的标记作为镜尺组的“尺”, 导出待测金属丝 L_2 的伸长量 ΔL 与其他可测量量的关系式。

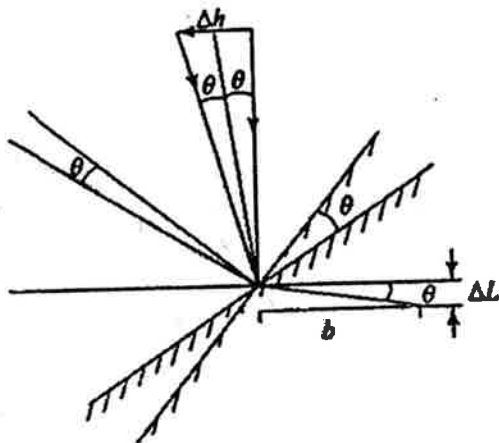


图 2 光杠杆示意图

由凸透镜和测微目镜组成望远镜。测微目镜叉丝原来对准顶棚标记上的位置为 h_0 , 平面反射镜转动 θ 角后, 根据光的反射定律, 反射线将旋转 2θ 角, 这时叉丝对准的新位置为 h_1 , $\Delta h = h_1 - h_0$ 。当 $\Delta h \ll H$ 时, 有

$$2\theta = \frac{\Delta h}{H}. \quad (7)$$

其中 H 是光轴至顶棚上的标尺的距离。

由(6), (7)两式, 有伸长量

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H}, \quad (8)$$

其中 $\Delta h = h_1 - h_0$, 是不能直接测量的量, 但 Δh 通过透镜在测微目镜上成的像 $\Delta h'$ 是可测的, 并可导出 Δh 的公式。



③测量 Δh 的原理、光路图及公式.

如图 3 所示, 在光学系统满足准直条件下, 微调 45° 平面反射镜, 使激光经其反射后, 投射到顶棚标线 h_0 位置. 凸透镜与测微目镜组成望远测量系统, 即测微目镜的叉丝对准 h_0 位置. 在测微目镜上读出 h_0 的像的位置读数 h_1' .

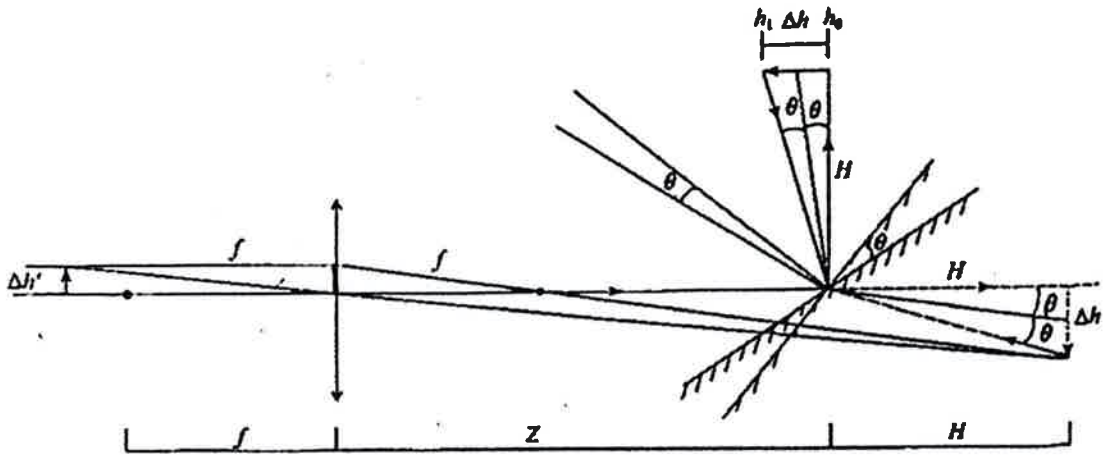


图 3

因金属丝所受拉力改变而使杨氏模量仪上的 45° 平面反射镜改变 θ 角度, 测微目镜的叉丝则对准顶棚标线 h_1 位置. 拧动测微目镜鼓轮, 使叉丝对准 h_0 的像, 读数 h_2' , 则 $\Delta h' = h_2' - h_1'$. 由图 3 中几何关系, 有

$$\Delta h = \frac{(Z + H - f) \Delta h'}{f}, \quad (9)$$

其中 Z 是透镜至 45° 平面反射镜的距离, f 是透镜的焦距. 将(9)式代入(8)式, 得伸长量

$$\Delta L = \frac{b \Delta h}{2H} = \frac{b(Z + H - f) \Delta h'}{2Hf}, \quad (10)$$

可见, 要测出 ΔL 还需测出 f 和 H .

(2) 测量透镜焦距 f

①测量 f 的光路图如图 4 所示.

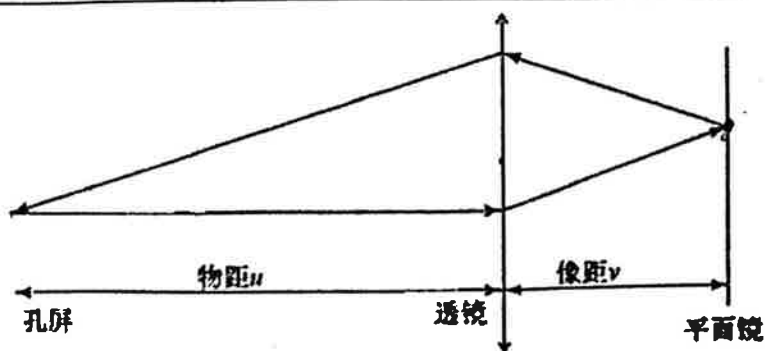


图 4 透镜焦距 f 测量光路示意图

在透镜共轴情况下, 首先使透镜横向移动离轴, 光线经透镜折射后由位于其后的平面反射镜反射, 再次经透镜回到孔屏上. 通过调整透镜、孔屏和平面反射镜彼此之间距离, 使光线回到孔屏的小孔中形成闭合的光线. 孔屏上小孔与平面反射镜上的光点可视为等效的物、像. 利用透镜成像公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}, \quad (11)$$

测量出物距、像距, 则可计算出透镜焦距 f .

②测量 f 的实验步骤如下:

- i. 在光导轨放置激光器、孔屏、透镜、竖直反射镜, 调节共轴.
- ii. 微调滑块的水平方向, 使透镜水平方向离轴一段距离, 在保证实验现象明显、观察方便基础上, 注意离轴距离大小适当, 使其满足近轴成像条件.
- iii. 考虑到焦距测量准确性要求, 实验测量时采用孔屏和透镜位置固定, 只调整平面反射镜位置, 使从孔屏的小孔中射出的激光经透镜折射后再经平面反射镜反射后, 又再次经透镜折射回到孔屏上的小孔中, 形成闭合的光线.
- iv. 从光导轨的标尺上读出孔屏位置、透镜位置和平面反射镜位置, 记录于表 3.
- v. 为较好满足近轴成像条件, 采用物距 u 大于像距 v 的条件.

③ f 的测量数据及计算结果见表 3.

表 3 透镜焦距 f 的测量数据及计算结果

单位: mm

次数	孔屏位置	透镜位置	平面镜位置	等效物距 u	等效像距 v	焦距 f
1	301.2	723.1	959.3	421.9	236.2	151.4
2	301.2	723.1	959.6	421.9	236.5	151.5
3	301.2	723.1	959.8	421.9	236.7	151.6
4	301.2	723.1	959.0	421.9	235.9	151.3
5	301.2	723.1	958.9	421.9	235.8	151.3
均值						151.4



凸透镜焦距 $f=151.4\text{mm}$

(3) 测量光轴到顶棚的距离 H

① 图 5 为测量 H 的光路图

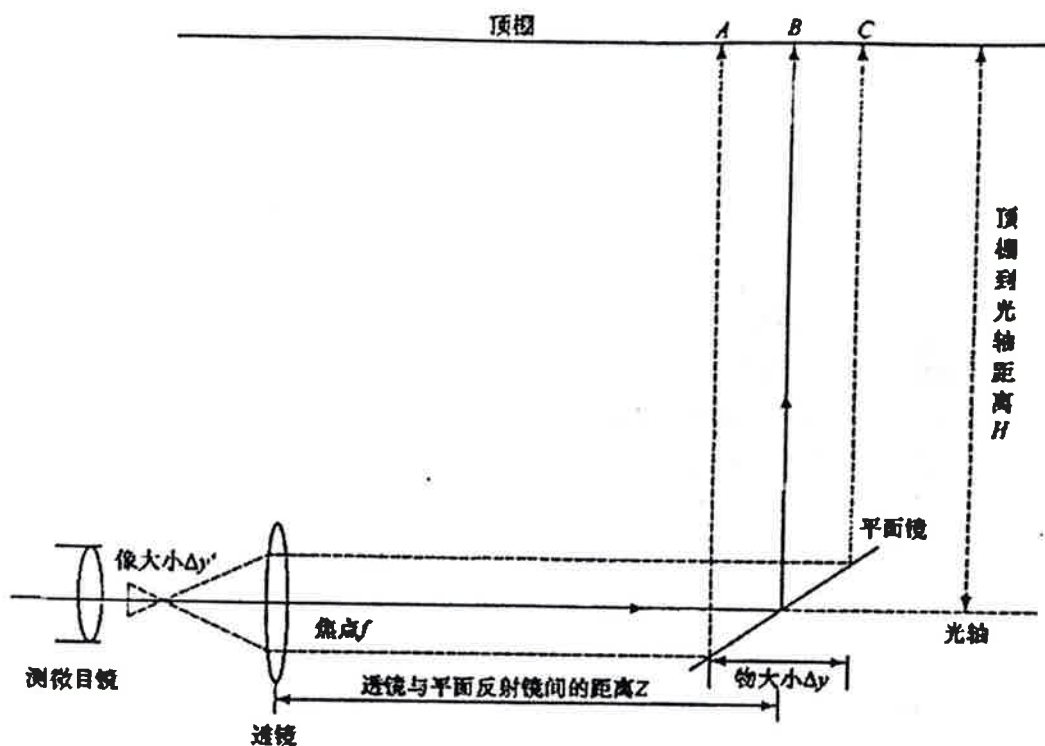


图 5 测量 H 光路图

用测微目镜和凸透镜组成望远镜系统，利用杨氏模量仪上与光轴成 45° 的平面反射镜，观测天花板顶棚上目标 A, C 刻线(刻线间距 120mm ，即物高 $\Delta y = 120\text{mm}$)，通过测量刻线目标物 Δy 在测微目镜里像的大小 $\Delta y'$ ，以及透镜与平面反射镜距离 Z ，最后计算出距离 H 。

由横向放大率公式，有

$$\frac{H+Z-f}{\Delta y} = \frac{f}{\Delta y'}, \quad (12)$$

可得

$$H = \frac{f\Delta y}{\Delta y'} - Z + f, \quad (13)$$

其中 H 为光轴到顶棚的距离， Z 为透镜与平面反射镜间的距离。

② 具体实验步骤如下：

- i. 调整测微目镜共轴，调整方法与透镜共轴调节相同。
- ii. 调整测微目镜与透镜间距离，使顶棚刻线成像清晰，与叉丝无视差。
- iii. 记录透镜和平面反射镜在导轨上的位置，得到透镜与平面反射镜距离 Z 。



iv.以顶棚 C, D 刻线作为物(即物高为 60mm), 在测微目镜中测量 $\Delta y'$ 所成像 $\Delta y'$ 的大小, 记录在表 4 中.

表 4 顶棚 A, C 刻线的像 $\Delta y'$ 测量数据 单位: mm

次数	像初值 $\Delta y'_1$	像末值 $\Delta y'_2$	像大小 $\Delta y'$
1	7.113	1.064	6.049
2	7.158	1.111	6.047
3	7.109	1.074	6.035
4	7.122	1.084	6.038
5	7.116	1.042	6.074
均值			6.049

③测量数据及实验结果:

选取顶棚上 A, C 刻线作为物, 物高 $\Delta y = 60\text{mm}$.

按表 5,

$$H = \frac{f\Delta y}{\Delta y'} - Z + f = \left(\frac{151.4 \times 60}{6.049} - 129.5 + 151.4 \right) \text{mm} = 1523.7\text{mm}$$

表 5 计算顶棚到光轴距离 H 单位: mm

透镜位置 Z_1	平面镜位置 Z_2	透镜与平面镜距离 Z	物大小 Δy	像大小 $\Delta y'$	透镜焦距 f	顶棚到光轴距离 H
1345.5	1475.0	129.5	60	6.049	151.4	1523.7

(4)测量待测金属丝 L_2 改变 2 个砝码的伸长量 ΔL .

①方法一:

$$\text{由(10)式, 得待测金属丝 } L_2 \text{ 伸长量 } \Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b(Z+H-f)\Delta h'}{2Hf}.$$

方法二(在不改变透镜位置 Z_1 、平面反射镜位置 Z_2 前提下):

由“H 的测量”中已知此望远镜系统的放大倍数是 $(\Delta y / \Delta y')$, 因而

$$\Delta h = (\Delta y / \Delta y') \Delta h' = (60 / 6.049) \Delta h' = 9.919 \Delta h', \quad (9.919)$$

得待测金属丝 L_2 伸长量

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b \times 9.919 \times \Delta h'}{2H}. \quad (14)$$



一长度为 L / 横截面积为 S 的均匀金属丝, 受到沿长度方向上的外力 F 作用时, 伸长量为 ΔL , 在弹性形变的限度内, 根据胡克定律, 其受到的拉伸应力 F/S 与伸长的应变 $\Delta L/L$ 成正比, 即

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}, \quad L=1010\text{mm} \quad (15)$$

其中 E 为杨氏模量,

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} \quad (16)$$

(2) 从 $m = m_0 + 7\text{kg}$ 开始, 调整平面反射镜, 使激光经平面反射镜反射后, 对准顶棚标线位置 h_0 . 用测微目镜叉丝对准 h_0 成像位置, 读数为 h'_{11} ; 以后每减少 1 个砝码均记录顶棚标线位置 h_0 的像位置 h'_i , 直至 $m = m_0 + 2\text{kg}$; 以后开始逐个增加砝码, 均记录顶棚标线位置 h_0 的像位置 h'_i , 直至 $m = m_0 + 7\text{kg}$. 数据记录于表 7 中.

表 7 标线位置 h_0 的像位移量 $\Delta h'$ 的测量

测量次数 i	砝码质量	减砝码标线 h_0 的像位置 h'_{1i} / mm	增砝码标线 h_0 的像位置 h'_{2i} / mm	$h'_i = (h'_{1i} + h'_{2i}) / 2$ /mm	每增减 1kg 砝码标线位置 h_0 的像位移量 $\Delta h'$
1	$m = m_0 + 7\text{kg}$	0.393	0.380	0.387	逐差法 $\Delta h' = \sum_{i=1}^3 (h'_{i+3} - h'_i) / 9$ $= 1.2095\text{mm}$
2	$m = m_0 + 6\text{kg}$	1.603	1.595	1.599	
3	$m = m_0 + 5\text{kg}$	2.792	2.810	2.801	
4	$m = m_0 + 4\text{kg}$	4.002	4.028	4.015	
5	$m = m_0 + 3\text{kg}$	5.227	5.231	5.229	
6	$m = m_0 + 2\text{kg}$	6.442	6.428	6.435	

用逐差法计算每增减 1kg 砝码标线位置 h_0 的像位置位移 $\Delta h'$, 写出所用的公式, 代入



②测量改变 2 个砝码时标线位置 h_0 像的位移量 $\Delta h'$ 。

从质量为 $m_0 + 7\text{kg}$ 开始, 调整 45° 平面反射镜, 使激光经其反射后, 对准顶棚标线位置 h_0 。用测微目镜叉丝对准 h_0 成像位置, 读数为 h'_{11} ; 减少 2 个砝码, 记录顶棚标线位置 h_0 的像位置 $h'_{12} (= h'_{22})$; 再增加 2 个砝码至 $m_0 + 7\text{kg}$, 记录顶棚标线位置 h_0 的像位置 h'_{21} 。数据记录于表 6 中。

表 6 标线位置 h_0 的像位移量 $\Delta h'$ 的测量

测量次数 i	砝码质量	减砝码标线 h_0 的像位置 h'_{1i} / mm	增砝码标线 h_0 的像位置 h'_{2i} / mm	$h'_i = (h'_{1i} + h'_{2i}) / 2$ /mm	每增减 2 个砝码标线位置 h_0 的像位移量 Δh
1	$m_0 + 7\text{kg}$	4.533	4.587	5.560	$\Delta h' = (6.979 - 5.560)\text{mm}$ $= 2.419\text{mm}$
2	$m_0 + 5\text{kg}$	6.962	6.995	6.979	

每改变 2 个砝码时标线位置 h_0 的像位置位移:

$$\Delta h' = (6.979 - 5.560)\text{mm} = 2.419\text{mm}$$

③计算待测金属丝 L_2 改变 2 个砝码的伸长量 ΔL

方法一:

由(10)式得

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b(Z+H-f)\Delta h'}{2Hf} = 0.5180\text{mm}$$

方法二(在不改变透镜位置 Z_1 、平面反射镜位置 Z_2 前提下):

由(14)式得

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b \times 9.919 \times \Delta h'}{2H} = 0.5180\text{mm}$$

3.测量金属丝 L_2 的杨氏模量 E 。

(1)杨氏模量测量原理



数据, 算出结果:

$$\Delta h' = \sum_{i=1}^8 (h'_{i+3} - h'_i) / 9$$

$$= 1.2095 \text{ mm}$$

(3) 计算伸长量 ΔL , 写出所用的公式, 代入数据, 算出结果.

方法一: 由式(10),

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b(Z+H-f)\Delta h'}{2Hf} = 0.2590 \text{ mm}$$

方法二(在不改变透镜位置 Z_1 、平面反射镜位置 Z_2 前提下):

由(14)式:

$$\Delta L = \frac{b\Delta h}{2H} = \frac{b \times 19.4208 \times \Delta h'}{2H} = 0.2590 \text{ (mm)}$$

(4) 计算 L_2 的杨氏模量 E , 写出所用的公式, 代入数据, 算出结果.

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} = \frac{1 \times 9.8408 \times 1010 \times 4}{3.14159 \times 0.497^2 \times 0.2590} (\text{N/mm})^2 = 1.97 \times 10^5 \text{ N/mm}^2.$$



确定激光的工作波长 试题

一、实验材料

1. 激光 (标记为 A);
2. 扩束透镜 (标记为 B);
3. 透镜 (标记为 C);
4. 安装在底座上的刀片 (标记为 D);
5. 安装在可以读数底座上的光屏 (标记为 E);
6. 一个放大镜 (标记为 F);
7. 一把卷尺 (标记为 G)。

二、实验描述

实验要求你测量激光的波长。这个测量的特点是没有任何微米标尺 (例如没有事先刻好的衍射光栅) 可用。最小测量长度是毫米数量级。这里的波长需要用光在锋利的刀片边缘的衍射来测量。

激光经过扩束透镜后, 又通过一个凸透镜, 可以假设激光经过凸透镜后焦点是一个点光源, 球面波从该点发出。激光束经过透镜后在其光路上受到锋利刀片的边缘阻碍。刀片边缘可以当作一个发出柱面波的光源。上述球面波和柱面波在前方相互干涉, 形成能在屏上被观测到的衍射图像。参见图 2 中的典型图像的照片。

有两种重要的光路配置的情形, 分别由图 3 和 4 示意。

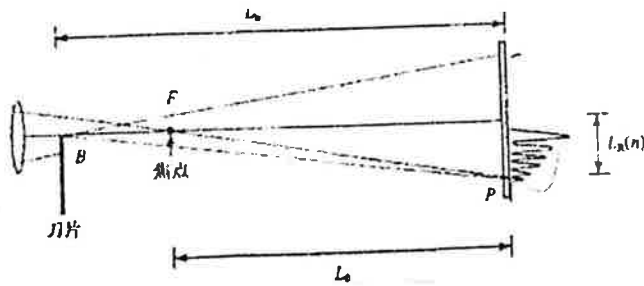


图 3 情形 1: 刀片在透镜的焦点之前

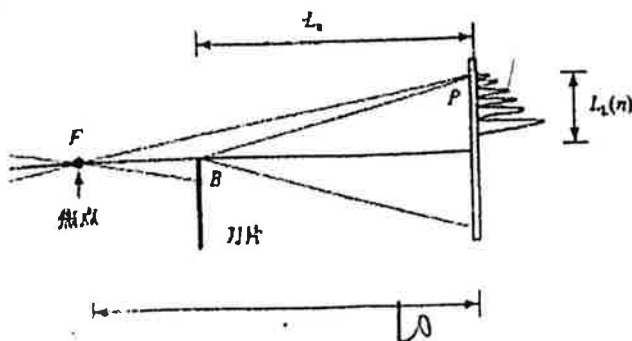


图 4 情形 2: 刀片在透镜的焦点之后



图 1 实验器材

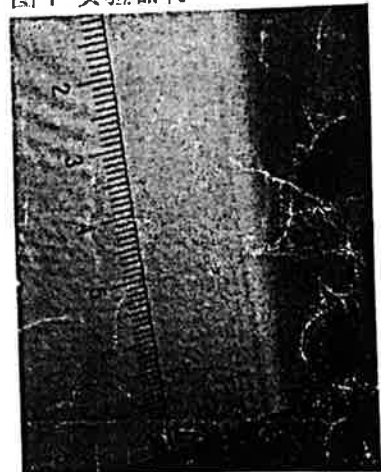


图 2 衍射图像

三、实验装置

任务一：搭建实验装置

设计一套光路，以获得前面所述的干涉图像，要保证焦点与屏的距离 L_0 远大于焦距。

(1) 绘出你的实验装置的草图，标出不同设备的标记符，还可以在此基础上加画一些简单内容以使你的设计更清楚。

(2) 你可以用一张白卡片来跟踪光束的路线，以帮助调节激光束的方向。

注意：忽略可能出现的较大的圆形图斑，这是由激光本身导致的结果。

用一些时间来熟悉你的上述实验装置。你应该能在屏上看到 10 来条竖直的线状条纹。你要读的是暗纹的位置。你可以用放大镜更清楚地看到条纹的位置。如果光路正确。只需简单滑滑块使刀片前后移动，你就能分别看到情形 1 和情形 2 对应的两种衍射条纹花样。

四、理论考虑

由前述图 3 和 4 知，有 5 个基本长度。

L_0 ：从焦点到屏的距离；

L_b ：从刀片到屏的距离，情形 1；

L_a ：从刀片到屏的距离，情形 2；

$L_R(n)$ ： n 级暗纹的位置，情形 1；

$L_L(n)$ ： n 级暗纹的位置，情形 2；

无论是情形 1 还是情形 2，第一个暗纹都是最宽的一个，对应 $n=0$ 。

你的实验装置必须满足：对情形 1， $L_R(n) \ll L_0, L_b$ ；对情形 2， $L_L(n) \ll L_0, L_a$ 。

光波的干涉现象是由于同一点发出的光波的光程差造成的。根据相位差的不同，波可以相消（相消干涉）形成暗纹；波也可以相长（相长干涉）形成亮纹。

详细分析这些波的干涉。可给出如下产生暗纹的条件。对情形 1：

$$\Delta_I(n) = \left(n + \frac{5}{8} \right) \lambda, \text{ 当 } n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

对情形 2：

$$\Delta_{II}(n) = \left(n + \frac{7}{8} \right) \lambda, \text{ 当 } n = 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

这里 λ 是激光束的波长， Δ_I 和 Δ_{II} 分别是两种情形光程差。

情形 1 中的光程差是：

$$\Delta_I(n) = (BF + FP) - BP, \text{ 当 } n = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

而对情形 2 是：

$$\Delta_{II}(n) = (FB + BP) - FP, \text{ 当 } n = 0, 1, 2, \dots, \quad (4)$$

任务二：光程差的表达式（可申请提示卡 1：光程差的表达式，扣 5 分）

假设公式(3)和(4)分别满足：情形 1， $L_R(n) \ll L_0, L_b$ ；情形 2， $L_L(n) \ll L_0, L_a$ （需要确认你的装置的确满足这些条件），求出 $\Delta_I(n)$ 和 $\Delta_{II}(n)$ 的近似表达式，结果用 $L_0, L_b, L_a, L_R(n)$ 和 $L_L(n)$ 表示出来。当 $|x| \ll 1$ 时，你可以用近似公式 $(1+x)^r \approx 1+rx$ 。

使用上述公式的实验困难是 $L_0, L_R(n)$ 和 $L_L(n)$ 不能精确测量。 L_0 测不准的原因是不容易找到透镜焦点的位置；后两个量测不准的原因是它们的零点位置非常难以确定。

为解决 $L_R(n)$ 和 $L_L(n)$ 的测量困难，可以选择屏（标记为 E）上标尺的固定点作为你测

信我的,没错
信他的,没错



量所有条纹位置的参考点。令 L_{OR} 和 L_{OL} 分别为定义 $L_R(n)$ 和 $L_L(n)$ 时所用的零点位置。此时，它们实际上是未知的。再令 $l_R(n)$ 和 $l_L(n)$ 为条纹到你选取的原点的距离。因此，

$$L_R(n) = l_R(n) - l_{OR} \text{ 和 } L_L(n) = l_L(n) - l_{OL} \quad (5)$$

五、实验操作和数据分析处理

任务三：测量暗条纹的位置和刀片的位置

- (1) 对情形 1 和情形 2，分别测量不同条纹编号 n 下暗条纹的位置 $l_R(n)$ 和 $l_L(n)$ 。将测量结果记入表 1 中。对每种情形，测量的条纹数要尽可能达到或超过 8。
- (2) 还要报告测得的刀片位置 L_b 和 L_a ，为分析简单和结果精确起见，不要由 L_b 和 L_a 计算得到 $d = L_b - L_a$ 。

你的测量结果必须要包括不确定度。

任务四：数据分析处理（可申请提示卡 2：数据处理方法，扣 5 分）

由现有的信息你已经可以得出 l_{OR} 和 l_{OL} ，当然也包括波长 λ 的值。

- (1) 设计一个方案来得到这些值，并写出所需的表达式或方程。
- (2) 用所给的图纸选用适当变量画图得到所需要。
- (3) 分别写出 l_{OR} 和 l_{OL} 的值。

任务五：计算 λ （可申请提示卡 3：波长的最终表达式，扣 5 分）

写出 λ 值的计算结果。其中包括不确定度和得到它的过程。建议：在计算 λ 时，凡出现 $(L_b - L_a)$ 之处，均可以用 d 代替，并使用 d 的测量值来作计算。





确定激光的工作波长

参考答案

写出光程差的表达式并化简,

$$\begin{aligned} \Delta_{1n} &= (BF + FP) - BP \\ &= BF + \sqrt{L_0^2 + L_{R(n)}^2} - \sqrt{L_b^2 + L_{R(n)}^2} \\ &= \frac{L_{R(n)}^2}{2} \left(\frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{2n} &= (FB + BP) - FP \\ &= FB + \sqrt{L_a^2 + L_{L(n)}^2} - \sqrt{L_0^2 + L_{L(n)}^2} \\ &= \frac{L_{L(n)}^2}{2} \left(\frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0} \right) \end{aligned}$$

在光具座上读出光屏和两次刀片的位置, 从而计算出 L_a , L_b 和 d 的大小

$$L_b = 97.10\text{cm}$$

$$L_a = 80.57\text{cm}$$

$$d = L_b - L_a = 16.53\text{cm}$$

将题目中给出的暗纹表达式带入得到,

$$A_{R(n)} = \frac{2\lambda}{\frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b}} \cdot \sqrt{n + \frac{5}{8}} + l_{0R}, \quad y = m_1x + b_1$$

$$A_{L(n)} = \frac{2\lambda}{\frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0}} \cdot \sqrt{n + \frac{7}{8}} + l_{0L}, \quad y = m_2x + b_2$$

从光屏上读出两种情况下暗条纹的位置, 并在表格中记录数据, 得到
因为直线拟合得到的截距对求得的波长无关, 因此可以取任意基准点作为暗纹位置的起始点, 不妨直接在光屏滑块的尺子上读数

n	l_R / mm	l_L / mm	$\sqrt{n + \frac{5}{8}}$	$\sqrt{n + \frac{7}{8}}$
0	2.604	18.988	0.7906	0.9354
1	4.614	17.674	1.2748	1.3693
2	5.823	16.66	1.6202	1.6956



3	6.902	15.985	1.9039	1.9685
4	7.857	15.086	2.1506	2.2079
5	8.718	14.343	2.3717	2.4238
6	9.493	13.811	2.5739	2.6220
7	10.211	13.242	2.7613	2.8062

直线拟合, 得到 $m_1 = 3.832, m_2 = 3.087$

联立 m_1, m_2 的表达式得到

$$\begin{cases} \frac{2\lambda}{\frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b}} = m_1^2 \\ \frac{2\lambda}{\frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0}} = m_2^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{2\lambda}{m_1^2} = \frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b} \\ \frac{2\lambda}{m_2^2} = \frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0} \end{cases}$$

从而得到波长的表达式, 并计算出波长的数值,

$$\lambda = \frac{d}{2L_a L_b} \cdot \frac{1}{\frac{1}{m_1^2} + \frac{1}{m_2^2}} = 610.5 \times 10^{-7} \text{ m} = 610.5 \text{ nm}$$



用超声光栅测定超声波在水中的声速 试题

一、背景介绍

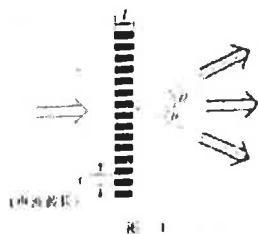
超声波作为一种纵波在介质中传播时,其声压使介质密度产生周期性变化,形成疏密波,致使其折射率也呈周期性改变。当一束光射入这种介质时,就会因这种折射率的周期性变化而发生衍射,即产生声光效应。

现有一准直光束沿垂直与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。广义的说,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,统称为光栅。

本实验利用超声波发生器输出高频震荡信号,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。



二、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。

三、实验器材

1. 超声波发生器

技术指标:输入电压为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扎带固定,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) 实验完毕后及时关闭电源。

2. 声光器件

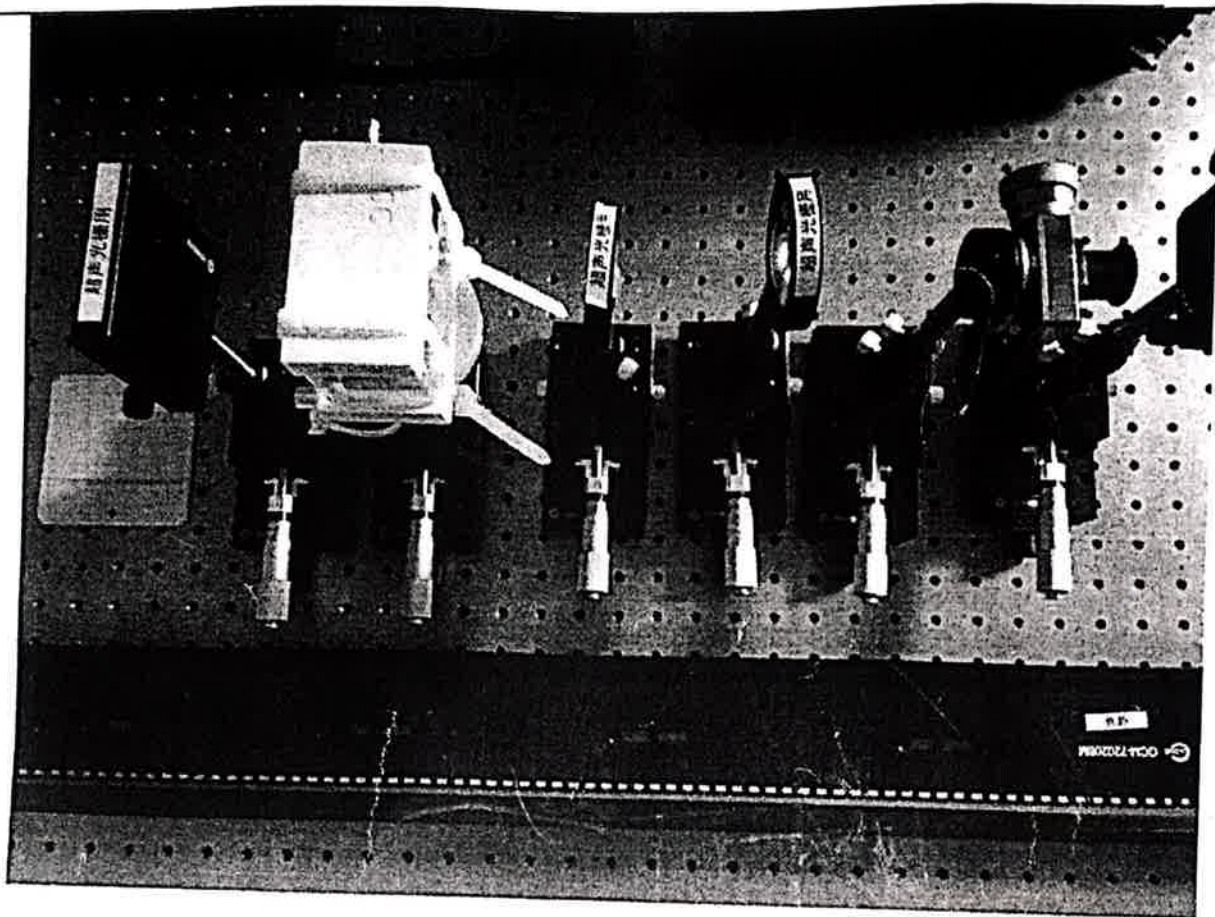
压电换能器和液体槽,技术指标:工作频率约8-12MHz。

注意事项:

- (1) 如果透光部位已污染,请报告指导老师处理,不要擅自清洁。提取液体槽时应拿下方支杆,不要触碰两侧面表面的透光部位,以免污染。
- (2) 待测蒸馏水已装入液体槽中,实验过程中应避免震动。

3. 光学系统

- (1) 钠灯(包括支架),波长 $\lambda=589.3\text{nm}$ 。
- (2) 机械狭缝(缝宽0.06mm,已调整完毕,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) 调微目镜(测量范围0~8mm,分辨率0.01mm)。
- (5) 导轮及滑块。
- (6) 自准和平面镜各一块。



四、实验内容

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 (提示卡 1, 申请使用扣 7 分)。
- (2) 搭建并调节光路, 说明实验步骤和条件要求, 观察超声光栅衍射现象。
- (3) 调整衍射系统, 得到至少三级 ($k = \pm 3$) 对称的衍射条纹; 改变超声波频率时, 描述并解释测微目镜市场中条纹的变化规律, 记录最佳状态的超声波频率。

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 (提示卡 2, 3, 申请使用每张扣 4 分, 两卡只能按顺序提供。)
- (2) 测量至少三级 ($k = \pm 3$) 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。

用超声光栅测定超声波在水中的声速 答案

【问题1】1. (见图1和表1)

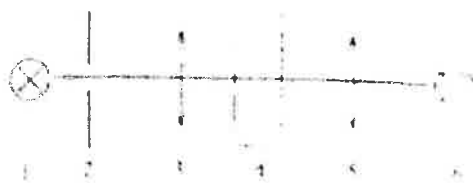


图1 实验光路图

表1 各元件的作用

序号	名称	作用
1	钠光灯	提供波长589.3nm的光源
2	狭缝	钠灯光经狭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. 实验步骤和调节要求:

(1) 调钠光灯 (元件1) 与狭缝 (元件2) 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 (元件3) 进行粗调和细调使之与狭缝等高共轴, 并通过自准直法产生平行光.

(4) 安装透镜 L_2 及测微目镜 (元件6), 调节使之与狭缝等高共轴, 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 (元件4), 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 (即不测元件5的焦距, 只测元件3) 也可以.

3.

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】1.

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 $L_k \ll f$, 则

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

即

$$\sin \theta = \frac{L_k}{f}.$$

由上可知

$$d = \frac{k\lambda f}{L_k} = \frac{\lambda f}{\Delta L_k},$$

光栅常数 d 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 为钠光波长, ΔL_k 为衍射条纹间距.

逐差法——去掉 L_0 分组逐差.

k	X_k/mm	$(X_k - X_{k-4})/\text{mm}$	$\Delta L_k/\text{mm}$
-3	4.229	1.571	0.393
-2	3.842	1.587	0.397
-1	3.447	1.597	0.399
0	3.062		
1	2.657		
2	2.255		
3	1.849		

$$\overline{\Delta L_k} = 0.3963\text{mm}.$$

3.

透镜焦距

$$f = 100.0\text{mm},$$

超声波频率

$$\nu = 10.201\text{MHz}, \text{ 室温 } 23.5^\circ\text{C};$$

超声光栅常数

$$d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 100.00}{0.3963 \times 10^{-3}} \text{mm} = 0.1487\text{mm}$$

超声声速

$$V = d\nu = 0.1487 \times 10.201 \times 10^6 \text{ m/s} = 1517 \text{ m/s}$$



弹性薄板的杨氏模量 试题

一、实验介绍

弹簧是用弹性材料制成的可以储存机械能的弹性体。在一定的限度内，它们满足胡克定律 $F = -k\Delta x$ 。然而，在较大形变发生时实际的弹簧会偏离这一性质，使得胡克定律不再满足。这一题当中我们要探究性质的弹簧由一块弹性板制成，其大概构造如图 1 (b)：

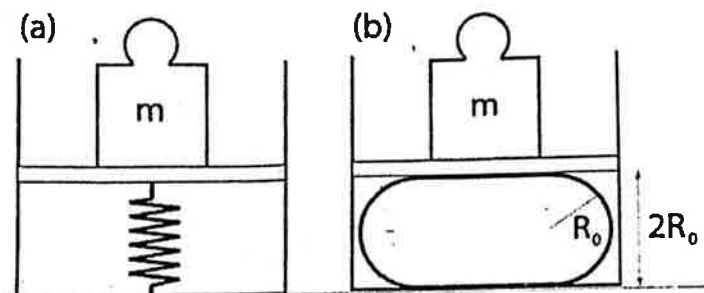


图 1

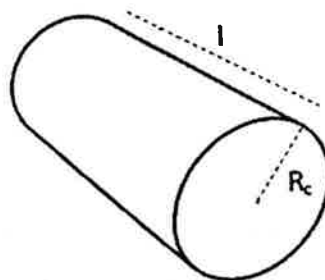


图 2

假设我们将一块弹性材料弯曲。我们弯曲的越多，弹性板储存的能量越大。弹性板的弹性势能取决于弹性板的曲率半径（一块平的弹性板不储存能量因为它的曲率为零）。一个圆柱面所储存的弹性势能为 $E_{el} = \kappa A / 2R_c^2$ （见图 2）。其中 A 为圆柱面的表面积（不含上下底面积）， R_c 表示曲率半径， κ 表征弯曲刚性，由材料本身和弹性板的厚度决定。这里我们忽略弹性板的延展形变。

假设这样一个圆柱面薄板像图 1 中那样被压住。对于给定的外加压力 F ，水平薄板的位移取决于圆柱面的弹性。在外加压力的某些区间内，被压住的薄板的形状为饼状，即横截面为两条平行直线和两个半径均为 R_0 的半圆。由虚功原理不难得出：

$$R_0^2 = \frac{l\kappa\pi}{2F}$$

二、实验仪器

你要用到的东西有用于压紧圆柱状弹性薄片的机械滑台装置、电子秤（量程为 2kg），弹性薄板、螺旋测微仪、两把刻度尺（其中一把已经粘在机械装置上）、一个方形毛玻璃板（用于方便读数）

三、实验要求

1. 测量 CT 照片的杨氏模量

- (1) 将做好的 CT 照片圆筒横放在电子秤上，用滑台压缩，记录电子秤示数和弹性板被压缩后上下面之间高度的关系；
- (2) 在适当的坐标下作图。用直尺和肉眼估计题目中所给公式满足的区间，并计算这个区间的弯曲刚性系数 κ 。标记出满足公式的区间。

2. 用类似的方法，测量不锈钢薄片的杨氏模量

3. 弯曲刚性系数 κ 依赖于材料的杨氏模量 Y 和薄板的厚度 d ：

$$\kappa = \frac{Yd^3}{12(1-\nu^2)}$$

其中 ν 称为泊松比，对绝大多数材料，它的值约等于 1/3。由前面的测量，定出两种材料的杨氏模量。

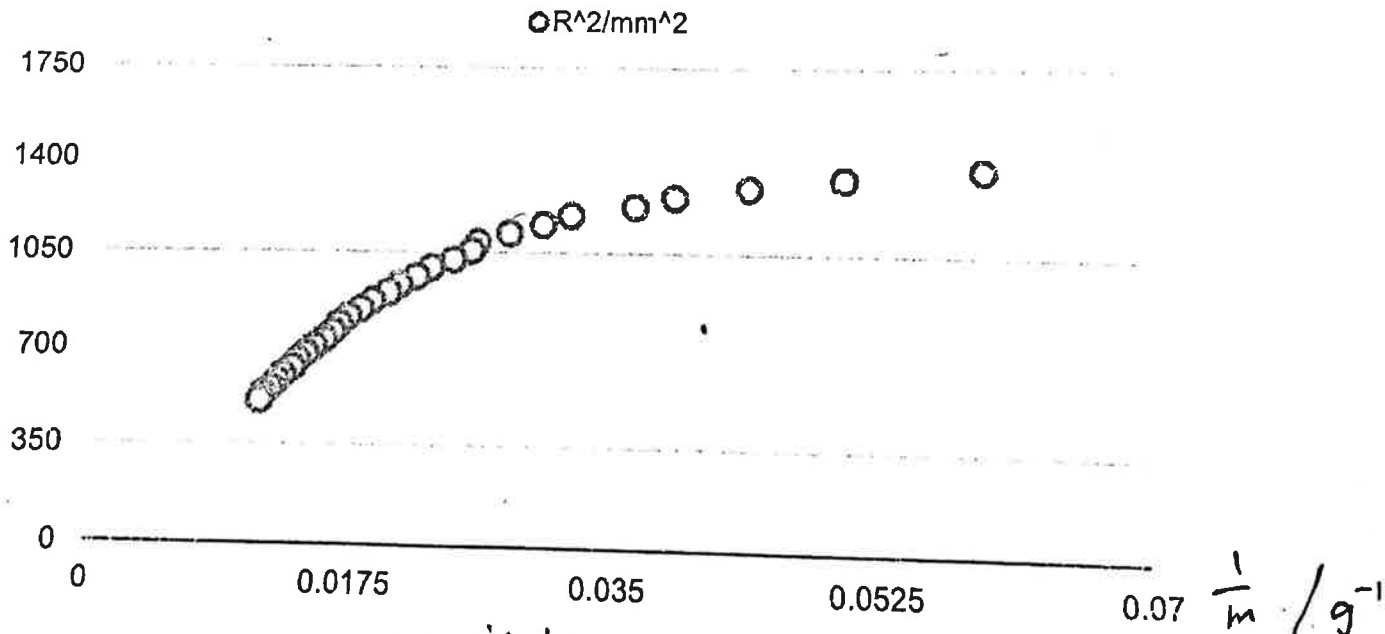


弹性薄板的杨氏模量

参考答案

一、测量 CT 照片的杨氏模量

m/g	h/mm	R/mm	m^{-1}/g^{-1}	R^2/mm^2	m/g	h/mm	R/mm	m^{-1}/g^{-1}	R^2/mm^2
16.64	127	37	6.01E-02	1369	53.58	112	29.5	1.87E-02	870.25
19.71	126	36.5	5.07E-02	1332.25	55.9	111	29	1.79E-02	841
22.58	125	36	4.43E-02	1296	58.61	110	28.5	1.71E-02	812.25
25.5	124	35.5	3.92E-02	1260.25	60.78	109	28	1.65E-02	784
27.36	123	35	3.65E-02	1225	62.36	108	27.5	1.60E-02	756.25
31.12	122	34.5	3.21E-02	1190.25	64.57	107	27	1.55E-02	729
33.09	121	34	3.02E-02	1156	67.53	106	26.5	1.48E-02	702.25
35.78	120	33.5	2.79E-02	1122.25	70.09	105	26	1.43E-02	676
38.86	119	33	2.57E-02	1089	72.75	104	25.5	1.37E-02	650.25
39.42	118	32.5	2.54E-02	1056.25	74.38	103	25	1.34E-02	625
41.53	117	32	2.41E-02	1024	78.27	102	24.5	1.28E-02	600.25
44.3	116	31.5	2.26E-02	992.25	80.39	101	24	1.24E-02	576
46.26	115	31	2.16E-02	961	83.54	100	23.5	1.20E-02	552.25
48.91	114	30.5	2.04E-02	930.25	86.83	99	23	1.15E-02	529
50.71	113	30	1.97E-02	900	88.57	98	22.5	1.13E-02	506.25



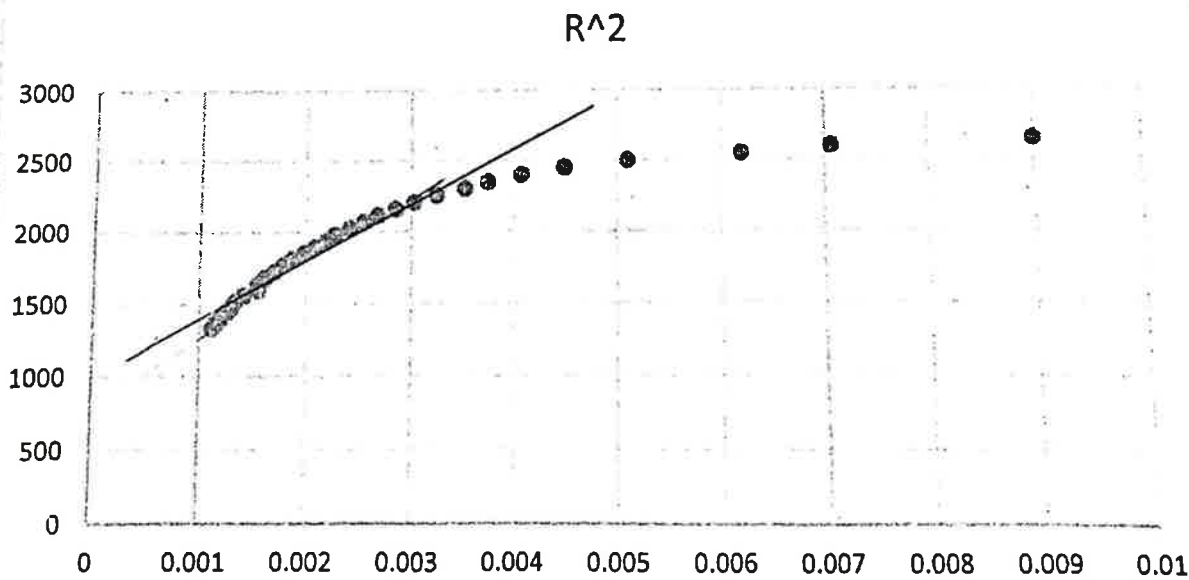
计算可得 $\kappa = 47423 \text{ N/m}^2$ (曲线斜率), 另测得 $l = 12.5 \text{ cm}$, $d = 0.19 \text{ mm}$, 代入即得

$$Y = 12\kappa(1-\nu^2)/d^3 = 3.68 \text{ GPa}$$



二、测量不锈钢薄板的杨氏模量

m/g	h/mm	R/mm	m ⁻¹ /g ⁻¹	R ² /mm ²	m/g	h/mm	R/mm	m ⁻¹ /g ⁻¹	R ² /mm ²
111.18	155	51.5	8.99E-03	2652.25	457.6	140	44	2.19E-03	1936
141.58	154	51	7.06E-03	2601	481.3	139	43.5	2.08E-03	1892.25
161.36	153	50.5	6.20E-03	2550.25	506.1	138	43	1.98E-03	1849
196.1	152	50	5.10E-03	2500	538.1	137	42.5	1.86E-03	1806.25
222.7	151	49.5	4.49E-03	2450.25	566.2	136	42	1.77E-03	1764
245.2	150	49	4.08E-03	2401	589.2	135	41.5	1.70E-03	1722.25
266.8	149	48.5	3.75E-03	2352.25	620.6	134	41	1.61E-03	1681
284.1	148	48	3.52E-03	2304	647.3	133	40.5	1.54E-03	1640.25
308.1	147	47.5	3.25E-03	2256.25	647.3	132	40	1.54E-03	1600
330	146	47	3.03E-03	2209	708	131	39.5	1.41E-03	1560.25
350.8	145	46.5	2.85E-03	2162.25	746	130	39	1.34E-03	1521
373.6	144	46	2.68E-03	2116	770	129	38.5	1.30E-03	1482.25
391.8	143	45.5	2.55E-03	2070.25	797.6	128	38	1.25E-03	1444
413.6	142	45	2.42E-03	2025	831.6	127	37.5	1.20E-03	1406.25
439.5	141	44.5	2.28E-03	1980.25	868	126	37	1.15E-03	1369



计算可得 $\kappa = 1191831 \frac{g \cdot mm^2}{m^2}$, 另测得 $l = 11.0cm$, $d = 0.17mm$, 代入即得

$$Y = 12\kappa(1-\nu^2)/d^3 = 155 \text{ GPa}$$