物理竞赛实验试题

（力电实验）

竞赛时间：_2017_年_10_月_29_日；所需时间：__90__分钟

[本页为竞赛试题页，需要循环使用，请不要书写任何内容或做任何标记。]

[实验题目]　(60 分)

切变模量是表征材料抵抗切应变能力大小的物理量，是材料的力学性能指标之一。请利用提供的实验器材，设计制作电子秤，测量圆环的质量；测量金属丝的切变模量。

[实验器材]

1、100g 砝码 10 个
2、直流稳压电源 1 台（可输出±15V、0～12V 可调直流电压）
3、可调增益差动放大器 1 个
4、数字万用表Ⓥ1 个（仪器误差为 0.5%×测量值+2）
5、带托盘的差动全桥悬臂梁 1 个
6、九孔接线板 1 个，连接导线 5 根（含数字万用表的接线）
7、电子秒表 1 只（精度 0.01s）
8、卷尺 1 个（仪器误差取 0.5mm)
9、游标卡尺 1 个（仪器误差取 0.02mm ）
10、螺旋测微计 1 个（仪器误差取 0.004mm）
11、扭摆 1 个
12、待测圆环 1 个
13、待测金属丝 1 根

[实验要求]

1、 制作量程为 1000g，最小分度为 1g 的电子秤，并用其测量圆环的质量（30 分）.
（1）画出电路原理图（差动放大器供电电源是±15V，全桥悬臂梁供电电压不得超过 12V）
（2）组装电子秤，并对其量程进行标定，**简述**标定量程的步骤。
（3）验证电子秤的线性关系，确定其最大偏差。
（4）利用该电子秤测量圆环的质量，计算其不确定度。
2、利用扭摆测定金属丝的切变模量（30 分）
（1）给出测定金属丝切变模量的实验原理和计算公式。
（2）记录测量数据。
（3）计算测量结果，估算其不确定度。

[说明]

1、 **本题目中一共有三张提示卡，可以向监考老师申请使用，使用前两张各扣 8 分，第三张扣 12 分**
2、 **带托盘的差动全桥悬臂梁。**

导体或半导体材料受到外力作用而产生机械变形时，材料的电阻值会随之发生变化，利用这种现象工作的传感元件称为电阻应变片。在一定条件下，应变片的阻值变化与应变片的纵向长度变化量成正比，而在弹性限度内此纵向长度变化量又与所受外力成正比。因此，可以用来测量力的大小。

一中空的金属梁，上下两表面分别粘贴电阻应变片，便构成了图 1 所示的悬臂梁结构，它是常用的测力装置。使用时，一端固定于底座，另一端(可上下自由活动) 与托盘固连作为承重端。

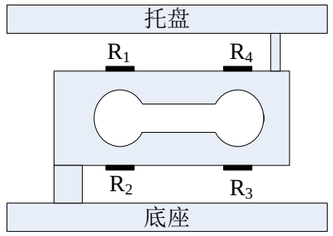


图 1

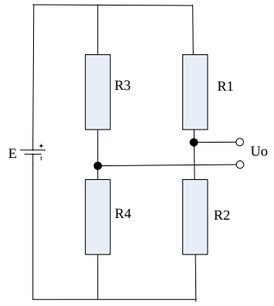


图 2

悬臂梁上的 4 个应变片已经连接成了图 2 所示电路，红线和黑线分别为电源正极和负极，其它两个颜色相同的导线为信号输出。

2、　扭摆

如图 3 所示，将一金属丝上端固定在一个夹具上，下端悬挂一带夹具的刚性金属圆盘,构成扭摆。

轻轻转动金属丝上端的夹具,使金属丝在外力矩作用下带动刚性金属圆盘扭转一角度 θ。撤去外力矩后，金属丝将在弹性恢复力矩的作用下带动刚性金属圆盘做周期性摆动，摆动周期为

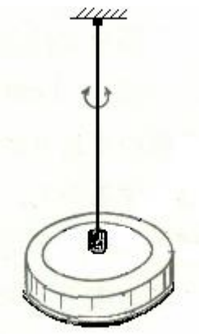
$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0}{D}} \qquad (1)$$

式中，I_0 为整个刚性金属圆盘对中心轴线的转动惯量。D 为金属丝的扭转系数，它与悬线长度 L 、悬线的半径 R 及悬线材料的切变模量 G 的关系为

$$G = \frac{2L}{\pi R^4} D \qquad (2)$$

若均质圆环的质量为 M , 外径为 $d_{外}$，内径为 $d_{内}$，则其绕中心转轴的转动惯量为

$$I = M\left(\frac{d_{外}^2 + d_{内}^2}{8}\right) \qquad (3)$$


图 3

3、 JD-1A 电子秒表的使用

1）按中间的“功能转换”键直至秒表显示。

2）按右边的“开始/停止”键开始计时。再按该键，停止计时（重复按该键，重复开始计时）。

3）停止计时后，按左边的“暂停/回零”键复位到零。

4、 可调增益差动放大器（最大放大倍数 100 左右）

可调增益差动放大器实物图见图 4，电原理图如图 5.

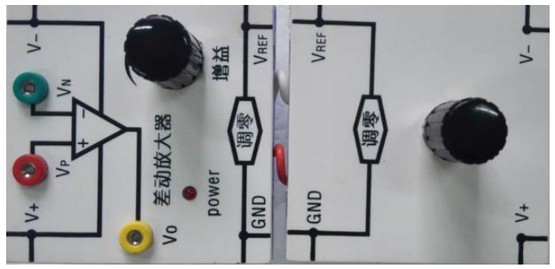


图 4

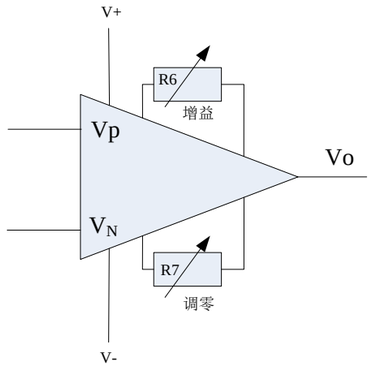


图 5

图中 V+和 V-分别为电源正（+15V）和电源负（-15V），Vp 和 V_N 分为差动信号输入端，Vo 为信号输出端，GND 为接地端，V_{REF} 悬空（不需另接电源）。两组 V+和 V-只需接一组即可。

5、 九孔板的使用

九孔板的面板结构如图 6 所示。田字型结构中每个插孔都已相互连通，但任意两个田字型结构之间是不连通的。我们可以用元器件、导线和连接器等连接成我们需要的电路。

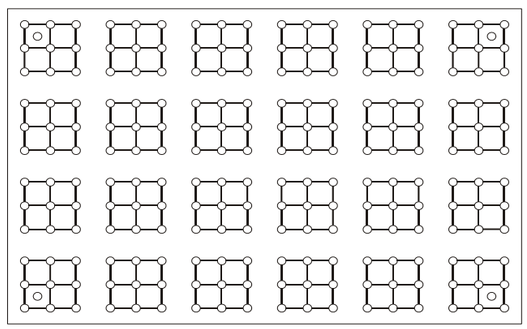


图 6

6、 试卷上的座标纸栏和草稿栏，根据实际需要使用。

物理竞赛实验试题

（光学实验）

竞赛时间：_2017_年_10_月_29_日；所需时间：__90__分钟

[本页为竞赛试题页，需要循环使用，请不要书写任何内容或做任何标记。]

[实验题目]　(60 分)

折射率是透明材料的重要光学常数，在生产和科学研究中经常会遇到折射率的测量问题。利用提供的实验器材测量未知溶液的折射率。

[实验器材]

1、分光计 1 台

2、读数显微镜 1 台

3、平板玻璃和平凸玻璃各 1 块

4、光栅 1 块（光栅常数为 600 线/mm）

5、光源 1 台（带有高度调节支架、电源）

6、未知溶液 1 试管（带有 1 个滴管）

7、单面镀膜的平面镜 1 块

8、酒精 1 瓶

9、脱脂棉 1 袋

10、升降台 1 个

11、黑纸 1 张

[注意事项]

1、光源需要预热十分钟左右才能正常发光；

2、光源关掉后，必须等灯管冷却之后，才可以重复点燃；

3、实验结束，必须用酒精清洗光学元件上的被测液体

[实验要求]

1、　（30 分）光源波长的测量

1）根据夫琅和费衍射理论，画出平行光垂直入射光栅时的测量光路图并写出光栅方程和方程中各个量的物理意义，用分光计测量时分光计和光栅的调节要求是什么？列表记录测量数据、处理数据并计算光源波长；（16 分）

2）根据夫琅和费衍射理论，平行光斜入射时的光栅方程和方程中各个量的物理意义是什么？方程中的角度如何测量？（2 分）

在平行光斜入射时，衍射光方向与入射光方向之间的夹角称为偏向角，以符号α表示，有$\alpha=\theta+\varphi$，其中θ、φ分别为光栅的入射角和衍射角。改变入射角使光栅进入斜入射状态，观察衍射光随转角的变化规律，能否找到一个特殊角度α，只要测出此角度α就能计算出光源波长？写出观察规律、测量光路图、计算公式、测量数据和计算结果。（12 分）

（此处有提示卡一，用者扣 8 分）

注意：以 1）垂直入射时计算的光源波长，进行未知溶液折射率的测量

2、（30 分）测量未知溶液的折射率

1）说明如何区分平板玻璃和平凸玻璃？并判断出平凸玻璃的凸面，用玻璃侧面的字母 A、B 表示；（4 分）

2）写出测量未知溶液折射率的原理和公式、光路图，说明公式中各个量的物理意义；（8 分）

（此处有提示卡二，用者扣 8 分）

3）画出实际测量时各仪器之间的的光路示意图（即钠光灯、读数显微镜、各个光学元件之间的光路示意图）；（4 分）

4）若空气的折射率 n_0=1.0003，测量平凸玻璃凸面的球面半径，列表记录实验数据并处理数据；（6 分）

5）测量未知溶液的折射率，列表记录实验数据，处理数据。（8 分）

[说明]

1、 本题目中一共有二张提示卡，可以向监考老师申请使用，使用则各扣 8 分；

2、 试卷上的草稿栏，根据实际需要使用。

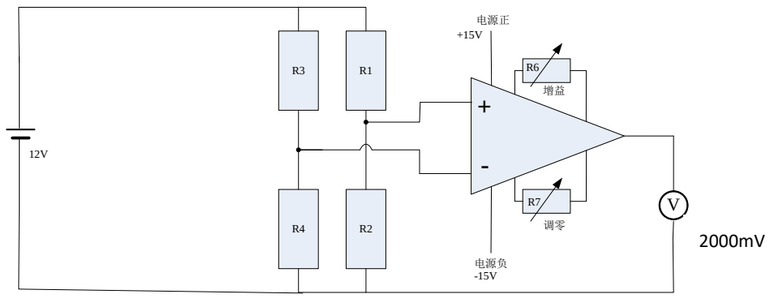
物理竞赛实验力电学评分标准

竞赛时间：_2017_年_10_月_29_日；所需时间：__90__分钟

一．设计制作量程为 1000g，最小分度为 1g 的电子秤，并用其测定圆环的质量（本部分 30 分）

圆环编号_____

1、给出**组装**电子**秤**的电**路**原理图，各电源要标注数值，要标注所用电压表的量程（8 分）：**（此处有提示卡一，用者扣 8 分）**



评分： 8 分 （若使用提示卡，扣完 8 分）

1、电路图连线不正确 每个扣 1 分，计 3 分

2、各电源未正确标注数值，每个扣 0.6 分，计 1.8 分

3、各电阻未正确标注符号，每个扣 0.2 分，计 1.2 分

4、未正确标注电压表量程，扣 2 分

2、**组装**电子**秤**，简述标定其量程的步骤（8 分）：（**此处有提示卡二，用者扣 8 分**）

1）按原理图连接线路，电压表选择 2000mV 挡。

2）托盘上空载时，调节差动放大器调零旋钮 R7，使万用表示数为 0。

3）托盘上放置 1000g 砝码，调节差动放大器增益调节旋钮 R6，使万用表示数为 1000mV。

4）重复 2）和 3），直至托盘空载时稳定显示为 0，荷重 1000g 时稳定显示为 1000mV。

评分（8 分）

1、未正确连线和选择万用表 扣 3 分

2、未正确进行调零和满量程标定，每个扣 2 分，计扣 4 分

3、未反复标定， 扣 1 分

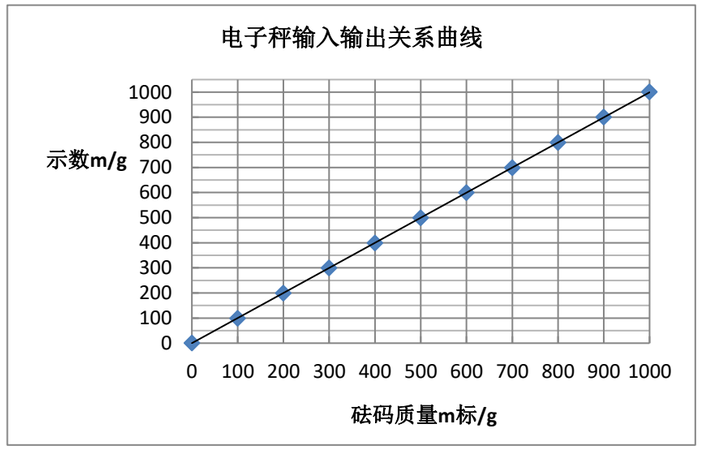
3、 验证电子秤的线性关系，并确定其最大偏差（6 分）

数据记录：

电子天平示数 m/g	0	99	199	299	399	499	599	699	799	900	1001
砝码 $m_{标}$/g	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
差值△m/g	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1

数据处理：

方法一：作图法



由上图计算可知，电子秤的输入输出近似于线性关系，直线斜率约为 1.00，其最大偏差为 1g。

方法二：最小二乘直线拟合

记砝码质量为 x，电子秤示数为 y，二者之间满足 $y=ax+b$ 线性关系，则由最小二乘直线拟合可得

$$a=\frac{\bar{x}\cdot\bar{y}-\overline{xy}}{\bar{x}^2-\overline{x^2}}\approx 1.00$$

$$b=\bar{y}-a\bar{x}=-0.64g$$

相关系数 $\gamma=\dfrac{\overline{xy}-\bar{x}\cdot\bar{y}}{\sqrt{\left(\overline{x^2}-\bar{x}^2\right)\left(\overline{y^2}-\bar{y}^2\right)}}\approx 1.00$

拟合方程为 y=1.00x-0.64

因此电子秤的输入输出近似于线性关系，其最大偏差为 1g

评分：6 分

1、数据记录 2 分

数据表中无物理量扣 0.2 分，
无单位扣 0.2 分，
最小分度不在个位扣 0.4 分；
数据点数没有零点和满量程点扣 0.2 分
数据点数为 8 或 9 组扣 0.2 分，
5-7 组扣 0.4 分，
3-4 组扣 0.6 分
2 组扣 0.8 分
少于 2 组扣 1 分

2、数据处理 3 分

作图法：（3 分）

缺坐标轴或轴上无等间距标数值扣 0.4 分，
轴上缺物理量符号扣 0.5 分，
轴上无单位扣 0.5 分，
无图名称扣 0.2 分，
数据点符号标记不明显扣 0.4 分，
数据点未合理分布在拟合的直线两侧扣 0.4 分，
从图上求直线斜率的数值不正确扣 0.4 分，
单位不正确扣 0.2 分。

用最小二乘法作线性拟合：（3 分）

无拟合方程式，每个扣 0.6 分，计 1.2 分
对变量 *X*、*Y* 代表的物理量没有交代清楚，各扣 0.2 分，计 0.4 分
给出拟合直线斜率的数值不正确扣 0.8 分、单位不正确扣 0.2 分，
线性相关系数公式和结果不正确，各扣 0.2 分，计 0.4 分。
使用其他方法，只要原理正确、描述详细、结果正确都给分。

3、最大偏差 1 分

没单位或单位不正确扣 0. 4 分

4、 测量圆环的质量并计算其不确定度（8 分）

数据记录：（参考）

次数	1	2	3	4	5	6	7	81	9	10
圆环质量 m/g	618	619	620	619	619	620	620	620	619	619

数据处理：

$$\overline{m}=\frac{1}{10}\sum_{i=1}^{10}m_i=619g$$

标准不确定度：

$$\sigma_A(\overline{m})=\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{10}(m_i-\overline{m})^2}{n(n-1)}}=0.3g$$

综合不确定度：

$$\sigma(\overline{L})=\sqrt{0.3^2+\frac{1^2}{3}}=1g$$

$$m=(619\pm1)g$$

若考虑数字万用表的仪器误差，则：

$$\Delta_{仪}=0.5\%\times619+2=5.1\text{g}$$

$$\sigma(\overline{L})=\sqrt{0.3^2+\frac{1^2}{3}+\frac{5.1^2}{3}}=3g$$

$$m=(619\pm3)g$$

评分：

1、 数据记录（2 分）

数据表中无物理量扣 0.2 分，
无单位扣 0.2 分，
最小分度不在个位扣 0.4 分；
数据数目大于 4 组小于 6 组扣 0.2 分，小于 4 组扣 0.4 分

2、 数据处理（5 分）

A 类不确定度和极限最大偏差引起的 B 类不确定度错误，各扣 1 分，计 2 分；
数字万用表仪器误差引起的不确定度错误，扣 0.4 分；
综合不确定度错误，扣 0.6 分；
结果：与附 1 的标准值相比，偏差大于 2g，扣 1.2 分；大于 1g 扣 0.4 分，小于等于 1g 给 2 分；
不确定度有效数字多于 2 位扣 0.4 分（不重复扣分）
没有单位或单位不正确扣 0.4 分（不重复扣分）

3、 结果表示（1 分）

无不确定度或单位，各扣 0.4 分
无完整表达式，扣 1 分

二．利用扭摆测定金属丝的切变模量（30 分）

1、给出测定金属丝切变模量的实验原理和计算公式

1、测定金属丝切变模量的实验原理（12 分）：**（此处有提示卡三，用者扣 12 分）**

设未放置圆环时，扭摆刚性金属支架对中心轴线的转动惯量为 I_1，扭摆转动周期为 T_1，金属丝的扭转系数为

$$D=\frac{4\pi^2}{T_1^2}I_1 \qquad (1)$$

设圆环的转动惯量为 I_2，则放置圆环后，组合体对中心轴线的转动惯量为 I_1+I_2，若扭摆转动周期为 T_2，则金属丝的扭转系数为

$$D=\frac{4\pi^2}{T_2^2}(I_1+I_2) \qquad (2)$$

（1） 和（2）联立得

$$D=\frac{4\pi^2}{T_2^2-T_1^2}I_2 \qquad (3)$$

质量为 M，外直径为 $d_{外}$，内直径为 $d_{内}$ 的圆环绕轴（钢丝）的转动惯量为

$$I_2=M\left(\frac{d_{外}^2+d_{内}^2}{8}\right) \qquad (4)$$

对长度为 L、直径为 φ 的悬线，其切变模量 G 为

$$G=\frac{32L}{\pi\phi^4}D \qquad (5)$$

联立（3）（4）（5）可得

$$G=\frac{16\pi LM(d_{外}^2+d_{内}^2)}{\phi^4(T_2^2-T_1^2)} \qquad (6)$$

评分：

公式（3） 8 分

公式（6） 4 分

各物理量（D、T_1、T_2、I_1、I_2、M、L、$d_{外}$、$d_{内}$、 ϕ）说明不清楚，每个扣 0.2 分

2、数据记录（**6 分**：（参考）

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L/mm	210.5	211.0	210.5	210.5	210.5	210.5	210.5	210.5	210.5	211.0
φ/mm	0.306	0.307	0.307	0.311	0.307	0.308	0.308	0.308	0.307	0.309
$d_{外}$/mm	113.50	113.70	113.18	113.26	113.32	113.06	113.32	113.32	113.20	113.06
$d_{内}$/mm	84.28	84.20	84.36	84.30	84.22	84.82	84.74	84.82	84.80	84.42
$40T_1$/s	64.53	64.53	64.37	64.41	64.56					
$20T_2$/s	104.00	104.07	103.66	103.90	103.69					

螺旋测微计零位误差 φ0: -0.192mm

评分：

未考虑螺旋测微计的零位误差扣 0.5 分；

数据表中无物理量扣 0.2 分，无单位扣 0.2 分

数据的有效数字错误，每个量扣 0.1 分

T1 和 T2 的数目分别为 8-39 次和 6-11 次，各扣 0.5 分；

T1 和 T2 的数目分别少于 8 次和 6 次，各扣 1 分；

金属丝直径、圆环内外直径的数据组数小于 6 组各扣 0.2 分，小于 4 组各扣 0.4 分

（3）计算测量结果，估算其不确定度。（6 分）

1、 悬线长 L： $\bar{L}=\frac{1}{10}\sum_{i=1}^{10}L_i=210.6mm$

2、 圆环外径： $\overline{d_{外}}=113.29mm$

3、 圆环内径： $\overline{d_{内}}=84.50mm$

4、 悬线直径

$$\bar{\varphi}=(\frac{1}{10}\sum_{i=1}^{10}\varphi_i)\text{-}(-0.192)=0.500mm$$

$$\sigma_A(\bar{\varphi})=0.0005mm$$

$$\sigma(\overline{\phi_{外}})=\sqrt{\sigma_A(\bar{\phi})^2+\frac{0.005^2}{3}}=0.003mm$$

5、 周期 T1： $\overline{T_1}=\frac{\sum T_1}{40\times5}=1.61s$

6、周期 T2： $\overline{T_2}=\frac{\sum T_2}{20\times5}=5.19s$

7、 切变模量

$$G=\frac{16\pi LM(d_{外}^2+d_{内}^2)}{\varphi^4(T_2^2-T_1^2)}=\frac{16\times3.14\times210.6\times10^{-3}\times0.619\times\left(113.29^2+84.50^2\right)\times10^{-6}}{0.500^4\times10^{-12}\times(5.19^2\text{-}1.61^2)}=8.60\times10^{10}Nm^{-2}$$

直径对测量结果影响最大，可根据直径估算 G 的不确定度

$$\Delta G=\bar{G}\times\frac{\Delta G}{G}\approx\bar{G}\times(4\frac{\sigma_\varphi}{\varphi})=8.60\times4\times\frac{0.003}{0.500}=0.21\times10^{10}\,\mathrm{N}m^{-2}$$

$$G=(8.60\pm0.21)\times10^{10}\,Nm^{-2}$$

评分

1、 G 的数值 7 分

G 的标准值为 $8.53\times10^{10}Nm^{-2}$，与标准值相比

偏差绝对值大于 $0.20\times10^{10}Nm^{-2}$、小于等于 $0.25\times10^{10}Nm^{-2}$，扣 2 分

偏差绝对值大于 $0.25\times10^{10}Nm^{-2}$，扣 4 分

2、直径不确定度计算， 2 分

只考虑 A 类不确定度或 B 类不确定度扣 1 分

不确定度有效数字多于 2 位扣 0.4 分

无单位或单位错误扣 0.4 分

3、G 的不确定度 2 分

未利用直径估算 G 的不确定度 扣 1 分

4、G 表达式正确 1 分

无不确定度或单位，各扣 0.4 分

无完整表达式，扣 1 分

附 1：电子天平测圆环质量数据

编号	标准质量(g)	编号	标准质量(g)	编号	标准质量(g)
1	618	21	618	41	620
2	622	22	620	42	618
3	621	23	618	43	619
4	617	24	621	44	620
5	619	25	617	45	619
6	621	26	618	46	618
7	618	27	618	47	621
8	619	28	620	48	619
9	618	29	619	49	619
10	621	30	620	50	619
11	618	31	621	51	614
12	618	32	621	52	619
13	618	33	619	53	620
14	620	34	619	54	621
15	622	35	621	55	622
16	619	36	621	56	620
17	621	37	618	57	618
18	621	38	620	58	621
19	621	39	622	59	622
20	619	40	620	60	621

物理竞赛实验光学评分标准

竞赛时间：_2017_年_10_月_29_日；所需时间：__90__分钟

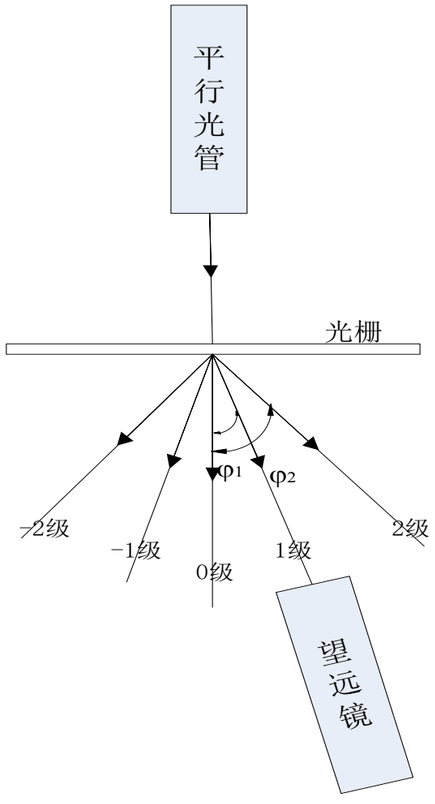
成绩评定表

一．光源波长的测量（本部分 30 分）

1、（16 分）垂直入射测光源波长的测量

（1） 根据夫琅和费衍射理论，画出平行光垂直入射光栅时的测量光路图并写出光栅方程和方程中各个量的物理意义？（4 分）

光路图：



评分： 2 分

平行光管、光栅、望远镜、衍射级数和衍射角度的标注各 0.4 分

光栅方程：

$$d\sin\varphi_k = k\lambda \qquad (1)$$

k：衍射级数（$k = 0、\pm 1……$）；φ_k：第 k 级衍射光的衍射角；d：光栅常数；λ：入射光的波长

评分： 2 分

方程和各个字母的说明各 0.4 分

（2） 在分光计上进行测量时，分光计和光栅的调节要求是什么？（4 分）

分光计的调节要求是：平行光管产生平行光；望远镜接受平行光；平行光管和望远镜的光轴都垂直仪器转轴，光栅平面与平行光管光轴垂直；光栅的刻痕与仪器转轴平行。

评分： 4 分， 每点各 1 分

（3） 测量光源的光谱波长，列表记录、处理数据并计算光源波长。（8 分）

数据记录：（参考）

级数	Ⅱ级				Ⅰ级			
谱线	黄 1		黄 2		黄 1		黄 2	
游标	游标 1	游标 2	游标 1	游标 2	游标 1	游标 2	游标 1	游标 2
Φ左（负级）	239°45′	59°45′	239°42′	59°41′	215°27′	35°25′	215°26′	35°22′
Φ右（正级）	149°43′	329°40′	149°48′	329°43′	174°02′	353°58′	174°03′	353°59′
$2\varphi=\lvert$Φ左-Φ右$\rvert$	90°02′	90°05′	89°54′	89°58′	41°25′	41°27′	41°23′	41°23′
2φ	90°03′		89°56′		41°26′		41°23′	
λ (nm)	589.51		588.91		589.58		588.90	

数据处理：（参考）

将衍射角φ代入（1）式得

光源黄 1 的波长： $\lambda = \left(d\sin\varphi_1 + {d\sin\varphi_2}/{2}\right)/2 = 589.55\text{nm}$

光源黄 2 的波长： $\lambda = （d\sin\varphi_1 + {d\sin\varphi_2}/{2}）/2 = 588.90\text{nm}$

评分：8 分

1、数据记录 2 分

考试时学生不一定测两级光谱，只要数据正确，只有一级或只有二级都可；

若只测一条黄光，扣 0.5 分；

若只测 正级或负级和零级扣 0.5 分；

最小分度不在分位扣 0.4 分；

2、数据处理 6 分

标准值：

Ⅱ级：黄 1 的 2φ 值为 90° 04′ ，波长 589.61nm；黄 2 的 2φ 值为 89°57′，波长 589.00nm；

Ⅰ级：黄 1 的 2φ 值为 41°26′，波长 589.58nm；黄 2 的 2φ 值为 41°23′，波长 588.90nm。

评分标准：

1） 黄 1

2φ 的误差绝对值： 小于等于 3′ 2 分

大于 3′ 小于等于 5′ 1 分

超出上述范围 0 分

波长： Ⅱ级： 589.34～589.86nm 1 分

589.17～590.03nm 0.5 分

或：

Ⅰ级： 588.90～590.26nm 1 分

588.44～590.71nm 0.5 分

超出上述范围 0 分

2） 黄 2

2φ 的误差绝对值： 小于等于 3′ 2 分

大于 3′ 小于等于 5′　　1 分
超出上述范围　　0 分

波长：　Ⅱ级：　588.74～589.26nm　1 分
588.56～589.43nm　0.5 分

或：

Ⅰ级：　588.22～589.58nm　1 分
587.76～~590.03nm　0.5 分
超出上述范围　0 分

注：
波长要和 2φ 对应，详见附表正入射；
若只测正级或负级和零级数据处理扣 0.5 分；
若波长计算错误扣 0.2 分；
波长有效数字不是 4-5 位扣　0.2 分；
无单位或单位错误扣 0.4 分。

2、（14 分）斜入射测光源波长的测量

（1）根据夫琅和费衍射理论，平行光斜入射时的光栅方程和方程中各个量的物理意义是什么？方程中的角度如何测量？（2 分）：

光栅方程和方程中各个量的物理意义：

$d(\sin\theta+\sin\varphi_k)=k\lambda$ $(k=0、\pm1……)$　（2）

θ为入射角；φ_k为衍射角；当入射光线和衍射光线在光栅法线的同侧时，φ_k取“+”，异侧时φ_k取“-”；λ：入射光的波长；k：衍射级数（$k=0、\pm1……$）；

评分：　1 分
方程 0.5 分；方程中各个物理量的意义各 0.1 分

方程中角度的测量：

入射角 θ 指的是入射光线和光栅法线之间的夹角；衍射角 φ_k 指的是第 k 级衍射光与光栅法线之间的夹角；光栅反射的绿色“+”和目镜纵叉丝重合时为光栅法线的角位置；0 级光谱和目镜纵叉丝重合时为入射光线的角位置；再测各级衍射光和目镜纵叉丝重合时的角位置；测出三者角位置即可测得 θ 和 φk。

评分：　1 分，　5 点各 0.2 分

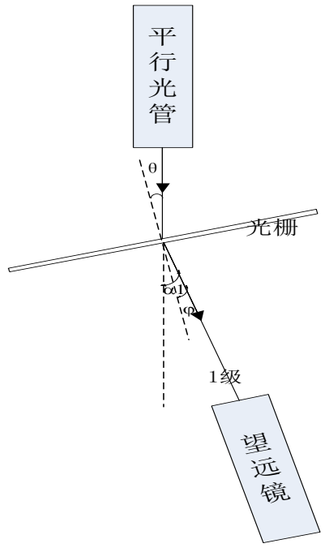
（2）在平行光斜入射时，衍射光方向与入射光方向之间的夹角称为偏向角，以符号α表示，有$\alpha=\theta+\varphi$，其中θ、φ分别为光栅的入射角和衍射角。改变入射角使光栅进入斜入射状态，观察衍射光随转角的变化规律，能否找到一个特殊角度α，只要测出此角度α就能计算出光源波长？写出观察规律、测量光路图、计算公式、测量数据和计算结果。（12 分）

（此处有提示卡一，用者扣 8 分）

观察规律：

改变光栅的入射角，衍射光随入射角的改变而移动，这个过程中会出现衍射光线有一个转折现象。即入射角改变到某一位置再继续改变时，视场内衍射光不再沿原来方向移动，而开始向相反方向移动，即有一个最小偏向角 α_{min}。偏向角与入射角和衍射角有关系，最小偏向角是极限角度，找到特殊角度 αmin，测出此角度 αmin，光栅常数已知就能计算出光源波长。

评分：　2 分
1、正确对转折现象进行描述 1 分；
2、由转折现象提出现象对应的极值偏向角 1 分



光路图：

图 2

评分：　2 分
平行光管、光栅、望远镜和衍射级数的标注各 0.2 分，三个角度的标注各 0.4 分

计算公式：

提示：由斜入射公式$d(\sin\theta+\sin\varphi)=k\lambda$ $(k=0、\pm1……)$可得：

2dsin[(θ+φ)/2]cos[(θ-φ)/2]=kλ，当$\theta=\varphi$ 时，cos 值最大为 1，因而偏向角α最小，以符号α_m表示，有

$\theta=\varphi=\frac{\alpha_m}{2}$，斜入射公式为

$2d\sin(\alpha_m/2)=k\lambda$ $(\mathbf{k=0、1、2……})$　（3）

其中α_m为第 k 级衍射光的最小偏向角。

评分：　2 分
推导过程 1 分；公式 1 分，k 的范围错误或没说明扣 0.5 分；

数据记录：（参考）

级数	Ⅰ级				Ⅱ级			
谱线	黄 1		黄 2		黄 1		黄 2	
游标	游标 1	游标 2	游标 1	游标 2	游标 1	游标 2	游标 1	游标 2
φ出	204°59′	24°55′	204°38′	24°33′	215°22′	35°18′	215°39′	35°34′
φ入	184°37′	4°31′	184°17′	4°11′	173°56′	353°52′	174°15′	354°11′
$\alpha_m=\lvert\varphi_{出}-\varphi_{入}\rvert$	20°22′	20°24′	20°21′	20°22′	41°26′	41°26′	41°24′	41°23′
α_m	20°23′		20°22′		41°26′		41°23′	
λ(nm)	589.81		589.33		589.58		588.90	

数据处理：（参考）

将 αm 代入（3）式得黄 1 的波长：$\lambda=\left(2d\sin\left(\frac{\alpha_{1m}}{2}\right)+d\sin\left(\frac{\alpha_{2m}}{2}\right)\right)/2=589.70nm$

黄 2 的波长：$\lambda=\left(2d\sin\left(\frac{\alpha_{1m}}{2}\right)+d\sin\left(\frac{\alpha_{2m}}{2}\right)\right)/2=589.12nm$

评分：6 分

1、数据记录 2 分

不一定测两级光谱，只要数据正确只有一级或只有二级都可通过；

若只测一条黄光，扣 0.5 分；

同级黄 1 和黄 2 的入射角位置相同扣 0.4 分；

最小分度不在分位扣 0.4 分；

说明：使用提示卡一，观察规律、光路图、计算公式和数据记录得分为 0 分。

2、数据处理 4 分

标准值：

Ⅱ级：黄 1 的 α_m 值为 41° 26′ ，波长 589.58nm；

黄 2 的 α_m 值为 41° 23′ ，波长 588.90nm；

Ⅰ级：黄 1 的 α_m 值为 20° 23′ ，波长 589.81nm；

黄 2 的 α_m 值为 20° 21′ ，波长 588.85nm。

评分标准：

1）黄 1

α_m 的误差绝对值：		小于等于 3′	1 分
		大于 3′ 小于等于 5′	0.5 分
		超出上述范围	0 分
波长：	Ⅱ级：	588.90~590.26 nm	1 分
		588.44～590.71nm	0.5 分
或：			
	Ⅰ级：	588.37~591.24nm	1 分
		587.42～592.19nm	0.5 分
		超出上述范围	0 分

2）黄 2

α_m 的误差绝对值：		小于等于 3′	1 分
		大于 3′ 小于等于 5′	0.5 分
		超出上述范围	0 分
波长：	Ⅱ级：	588.22~589.58nm	1 分
		587.76～590.03nm	0.5 分
或：			
	Ⅰ级：	587.42~590.28nm	1 分
		586.46～591.24nm	0.5 分
		超出上述范围	0 分

波长要和 α_m 对应，详见附表斜入射；

若同级黄 1 和黄 2 的入射角位置相同的，扣 0.4 分；

波长计算错误扣 0.2 分；

波长有效数字不是 4-5 位扣 0.2 分；

无单位或单位错误扣 **0.4** 分。

注意：以垂直入射计算的光源波长（取光源谱线的均值），进行未知溶液折射率的测量.

二．测量未知溶液的折射率（30 分）

1、（4 分）说明如何区分平板玻璃和平凸玻璃？并判断出平凸玻璃的凸面，用玻璃侧面的字母 A、B 表示；

（1）说明区分平板玻璃和平凸玻璃的方法；（2 分）

只有平凸玻璃的凸面和平板玻璃的平面紧贴，才会有明暗相间的圆环。把两块玻璃的两个面贴在一起用眼睛直接或通过显微镜观察，如果没有圆环，更换两紧贴面的其中一个面，直至观察到明暗相间的圆环，则两个面中有一个面为凸面；转换上面玻璃的另一面后再贴在一起观察，如果仍有圆环，则上面玻璃为平板玻璃，下面玻璃为平凸玻璃且其上面为凸面，否则上面玻璃为平凸玻璃且翻转后的上面为凸面，下面玻璃为平板玻璃。

评分： 2 分

（2）判断出平凸玻璃的凸面，用玻璃侧面的字母 A、B 表示。（2 分）

平凸玻璃的侧面字母标号：B ↓

（在标号右侧画出箭头符号，以箭头指向表示平凸玻璃的凸面，例如 D↓表示 D 玻璃的下面为凸面 ）

评分： 2 分

2、（8 分）写出测量未知溶液折射率的原理和公式、光路图，说明公式中各个量的物理意义；

（此处有提示卡二，用者扣 8 分）

光路图：

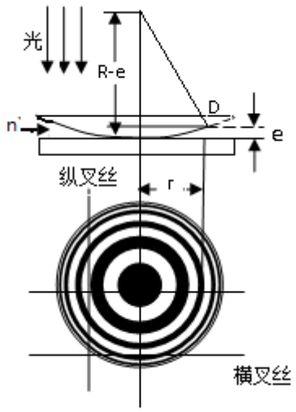


图 3

原理和公式：

设平凸透镜凸面的球面半径为 R，第 k 级暗纹的半径为 r，而该环纹处对应的介质膜(折射率为 n′)厚度为 e。则由牛顿环等厚干涉条件可得到干涉暗纹条件：

$$2n'e+\lambda/2=(2k+1)\lambda/2 \qquad (k=0,1,2,3,\cdots)$$ （4）

k 为暗纹级数

图 3 中几何关系看出：

$$R^2=r^2+(R-e)^2=r^2+R^2-2Re+e^2 \qquad (5)$$

因 $R>>e$，上式的 e^2 项可忽略，因此得：

$$e=r^2/2R$$

将 e 值代入干涉暗纹条件化简得：

$$n'r^2=k\lambda R \qquad (6)$$

中心暗环的级数用 m_0 表示，半径用直径代替，上式为：

$$n'D_m^{\ 2} = 4\lambda R(m+m_0) \qquad (7)$$

由上式可以推导出未知溶液折射率的公式为：

$$n_{未} = n' = \frac{4\lambda R(m-n)}{(D_m^2 - D_n^2)} \qquad (8)$$

说明公式中各个量的物理意义：

$n_{未}$:未知溶液折射率；R：平凸透镜凸面的球面半径；m、n：相对中心暗斑的暗环级数；$D_m^{\ 2}$、$D_n^{\ 2}$分别是第 m 级与第 n 级暗环的直径的平方；λ：光源波长。

评分： 8 分

1、正确画出光路图 2 分（暗纹的半径为r、环纹处对应的介质膜(折射率为 n′)、介质膜对应厚度为e、光线的方向、R 未标出各扣 0.2 分）

2、原理和公式（公式（4）、(5)、(6)、(7）或者（8)）4 分
（4 个公式和原理各 1 分）

3、说明 2 分（各 0.4 分）

4、使用提示卡二不得分

3、(4 分）画出实际测量时各仪器的光路示意图；(即光源、读数显微镜、各个光学元件之间的光路示意图)；

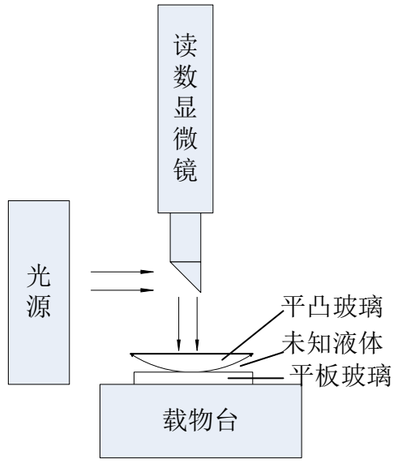


图 4

评分：4 分

需要标出各个仪器和元件名称，位置和元件名称各 0.8 分（载物台包含在读数显微镜里）

4、(6 分）若空气的折射率 n_0=1.0003，测量平凸玻璃凸面的球面半径，列表记录实验数据并处理数据；

数据记录：（参考）

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
D 左（mm）	21.682	21.553	21.419	21.273	21.129	20.987	20.824	20.652	20.477	20.283	20.092	19.872
D 右（mm）	13.475	13.609	13.749	13.882	14.026	14.173	14.328	14.496	14.669	14.858	15.051	15.270
D（mm）	8.207	7.944	7.670	7.391	7.103	6.814	6.496	6.156	5.808	5.425	5.041	4.602
D_m^2（mm²）	67.35	63.11	58.83	54.63	50.45	46.43	42.20	37.90	33.73	29.43	25.41	21.18

评分：2 分

1、测量级数>10 级满分、9 级扣 0.2 分、8 级扣 0.4 分、7 级扣 0.6 分、6 级扣 0.8 分、5 级扣 1 分、4 级或小于 4 级扣 1.2 分

2、数据有效数字错误扣 0.4 分

3、无单位或单位错误扣 0.4 分

数据处理：

逐差法：

i	10	9	8	7	6	5	平均值
$D_{i+6}^2 - D_i^2$（mm²）	25.16	25.21	25.10	25.20	25.04	25.25	25.16

$$R = \frac{n_0(D_m^{\ 2} - D_n^{\ 2})}{4\lambda(m-n)} = 1779.7\text{mm}$$

最小二乘法：

公式(7)中，设 x=m，y= D_m^2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均值
m	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	10.5
m^2	256	225	196	169	144	121	100	81	64	49	36	25	122.17
D_m^2（mm²）	67.35	63.11	58.83	54.63	50.45	46.43	42.20	37.90	33.73	29.43	25.41	21.18	44.22
mD_m^2（mm²）	1077.7	946.6	823.6	710.1	605.4	510.7	422.0	341.1	269.9	206.0	152.5	105.89	514.3

$$\frac{4\lambda R}{n_0} = \frac{\bar{x} * \bar{y} - \overline{xy}}{(\bar{x})^2 - \overline{x^2}}$$

R=1780mm

评分： 4 分

1、测量值在标准值 1791㎜

标准值	1791㎜
4 分 ±28 ㎜	1763 ~1819 ㎜
2.8 分 ±56 ㎜	1735 ~1762 ㎜ 1820 ~1847 ㎜
1.4 分 ±84 ㎜	1707 ~1734㎜ 1848 ~1875 ㎜
0 分	其它

2、公式错误扣 0.4 分

3、有效数字为 4-5 位，否则扣 0.4 分

4、数量级与单位不符或无单位扣 0.4 分

5、（8 分）测量未知溶液的折射率，列表记录实验数据，处理数据和结果。

数据记录：（参考）

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
D 左（mm）	29.246	29.123	29.019	28.896	28.763	28.629	28.493	28.344	28.188	28.018	27.839	27.637
D 右（mm）	22.274	22.391	22.509	22.629	22.759	22.892	23.032	23.174	23.327	23.492	23.66	23.867
D（mm）	6.972	6.732	6.510	6.267	6.004	5.737	5.461	5.170	4.861	4.526	4.179	3.770
D_m^2（mm^2）	48.61	45.32	42.38	39.28	36.05	32.91	29.82	26.73	23.63	20.48	17.46	14.21

评分：2 分

1、测量级数>10 级满分、9 级扣 0.2 分、8 级扣 0.4 分、7 级扣 0.6 分、6 级扣 0.8 分、5 级扣 1 分、4 级或小于 4 级扣 1.2 分

2、数据有效数字错误扣 0.4 分

3、无单位或单位错误扣 0.4 分

数据处理：

逐差法：

i	10	9	8	7	6	5	平均值
$D_{i+6}^2 - D_i^2$（mm^2）	18.79	18.59	18.75	18.79	18.58	18.70	18.70

结合上表 $n_{未} = n' = \frac{4\lambda R（m-n）}{(D_m^2 - D_n^2)} = 1.346$

或者比较法

$$n_{未} = \frac{（D_m^2 - D_n^2）_{0}}{（D_m^2 - D_n^2）_{未}} n_0 = \frac{25.16}{18.70} * 1.0003 = 1.346$$

最小二乘法：公式(7)中，设 x=m，y= D_m^2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均值
m	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	10.5
m^2	256	225	196	169	144	121	100	81	64	49	36	25	122.17
D_m^2（mm^2）	48.61	45.32	42.38	39.28	36.05	32.91	29.82	26.73	23.63	20.48	17.46	14.21	31.41
mD_m^2（mm^2）	777.7	679.8	593.3	510.6	432.6	362.0	298.2	240.6	189.0	143.4	104.8	71.06	366.9

则：

$$\frac{4\lambda R}{n'} = \frac{\bar{x} * \bar{y} - \overline{xy}}{(\bar{x})^2 - \overline{x^2}}$$

$$n_{未} = n' = 1.346$$

评分： 6 分

1、测量值在标准值 1.356

标准值	1.356
6 分 ±0.014	1.342~1.370
4 分 ±0.027	1.329~1.341 1.371~1.383
2 分 ±0.041	1.315~1.328 1.384~1.397
0 分	其它

2、公式错误扣 0.4 分，

3、有效数字取 4 位，否则扣 0.4 分

4、加单位扣 0.4 分