

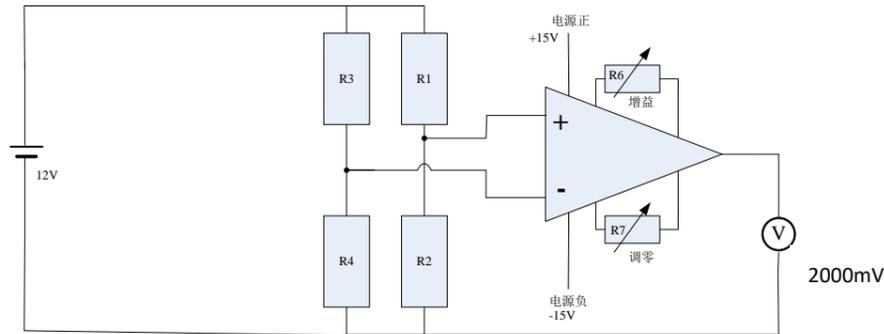
物理竞赛实验力电学评分标准

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

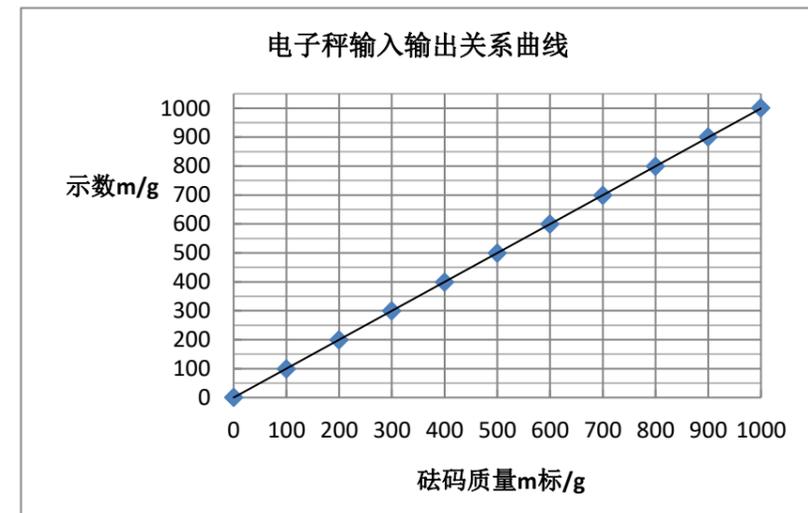
3、验证电子秤的线性关系，并确定其最大偏差（6分）

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 Δm/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

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

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

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

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	8	9	10
圆环质量 m/g	618	619	620	619	619	620	620	620	619	619

数据处理：

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

标准不确定度：

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

综合不确定度：

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

$$m = (619 \pm 1)g$$

若考虑数字万用表的仪器误差，则：

$$\Delta_{\text{仪}} = 0.5\% \times 619 + 2 = 5.1g$$

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

$$m = (619 \pm 3)g$$

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

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

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

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

(1) 和 (2) 联立得

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

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

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

对长度为 L 、直径为 ϕ 的悬线, 其切变模量 G 为

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

联立 (3) (4) (5) 可得

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

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 ϕ_0 : -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

T_1 和 T_2 的数目分别为 8-39 次和 6-11 次, 各扣 0.5 分;

T_1 和 T_2 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: $\bar{d}_{外} = 113.29mm$

3、 圆环内径: $\bar{d}_{内} = 84.50mm$

4、 悬线直径

$$\bar{\phi} = \left(\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \phi_i \right) - (-0.192) = 0.500mm$$

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

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

5、 周期 T_1 : $\bar{T}_1 = \frac{\sum T_1}{40 \times 5} = 1.61s$

6、 周期 T_2 : $\bar{T}_2 = \frac{\sum T_2}{20 \times 5} = 5.19s$

7、 切变模量

$$G = \frac{16\pi LM(d_{外}^2 + d_{内}^2)}{\phi^4(T_2^2 - T_1^2)} = \frac{16 \times 3.14 \times 210.6 \times 10^{-3} \times 0.619 \times (113.29^2 + 84.50^2) \times 10^{-6}}{0.500^4 \times 10^{-12} \times (5.19^2 - 1.61^2)} = 8.60 \times 10^{10} Nm^{-2}$$

直径对测量结果影响最大, 可根据直径估算 G 的不确定度

$$\Delta G = \bar{G} \times \frac{\Delta G}{G} \approx \bar{G} \times \left(4 \frac{\sigma_{\phi}}{\phi} \right) = 8.60 \times 4 \times \frac{0.003}{0.500} = 0.21 \times 10^{10} Nm^{-2}$$

$$G = (8.60 \pm 0.21) \times 10^{10} Nm^{-2}$$

评分

1、 G 的数值 7 分

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

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

偏差绝对值大于 $0.25 \times 10^{10} Nm^{-2}$, 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