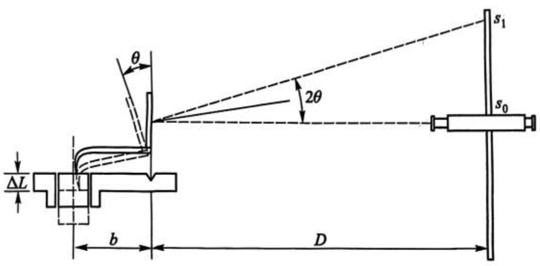
一、 预习报告

1. 实验综述

实验原理：1、杨氏模量是在弹性形变范围内，应力（单位面积上受到的垂直力）和应变（外力作用下的相对形变量）的比值。若取长为 L，截面积为 S 的均匀金属丝，在两端施加外力 F 作用下金属丝伸长了δL，那么此时金属丝的杨氏模量为：$E=\frac{F\cdot L}{S\cdot\delta L}$ N/m² 或 Pa.杨氏模量是材料的属性，与外力和形状无关。

2、光杆法测量原理：由于δL很小，因此可采用光放大对其进行测量。如图为其测量示意图，望远镜中十字叉丝线处在标尺上的刻度初始值记为 s_0。当 O_3 位置下降δL，望远镜中十字叉丝线处在标尺上的刻度变为s_1。$\Delta s=s_1-s_0$，由$\frac{\Delta s}{D}=tan2\theta\approx 2\theta$，$\frac{\delta L}{b}=\tan\theta\approx\theta$，可知$\Delta s=\frac{2D}{b}\delta L$，$\frac{2D}{b}$即为光杠杆常数，带入相关表达式得：$E=\frac{8DFL}{\pi d^2 b\cdot\Delta s}$

3、作图法处理实验数据：改写公式为$\Delta s'=\frac{8DL}{\pi d^2 bE}\cdot F$，$\Delta s'$为每增加 1kg 砝码钢丝的伸长量，用逐差法处理作图。拟合曲线可以算得杨氏模量。



实验方法：先对光杠杆镜和望远镜进行系统调节，再拉伸和收缩钢丝，测量每次的长度变化量，再测量光杠杆的 D,b,L,d 值。根据测量所得的实验数据进行杨氏模量计算，并分析不确定度，进行误差分析。

实验现象：压缩或者拉伸钢丝时，可以观察到尺读望远镜上 光线读数交叉点位置的变化

2.实验重点

（1）学习并了解杨氏模量的含义，学会推导杨氏模量计算表达式

（2）利用放大法将微小的形变转化为可见的刻度读数变化，间接分析物体的形变

（3）通过逐差法处理实验数据并拟合曲线，分析杨氏模量并计算不确定度

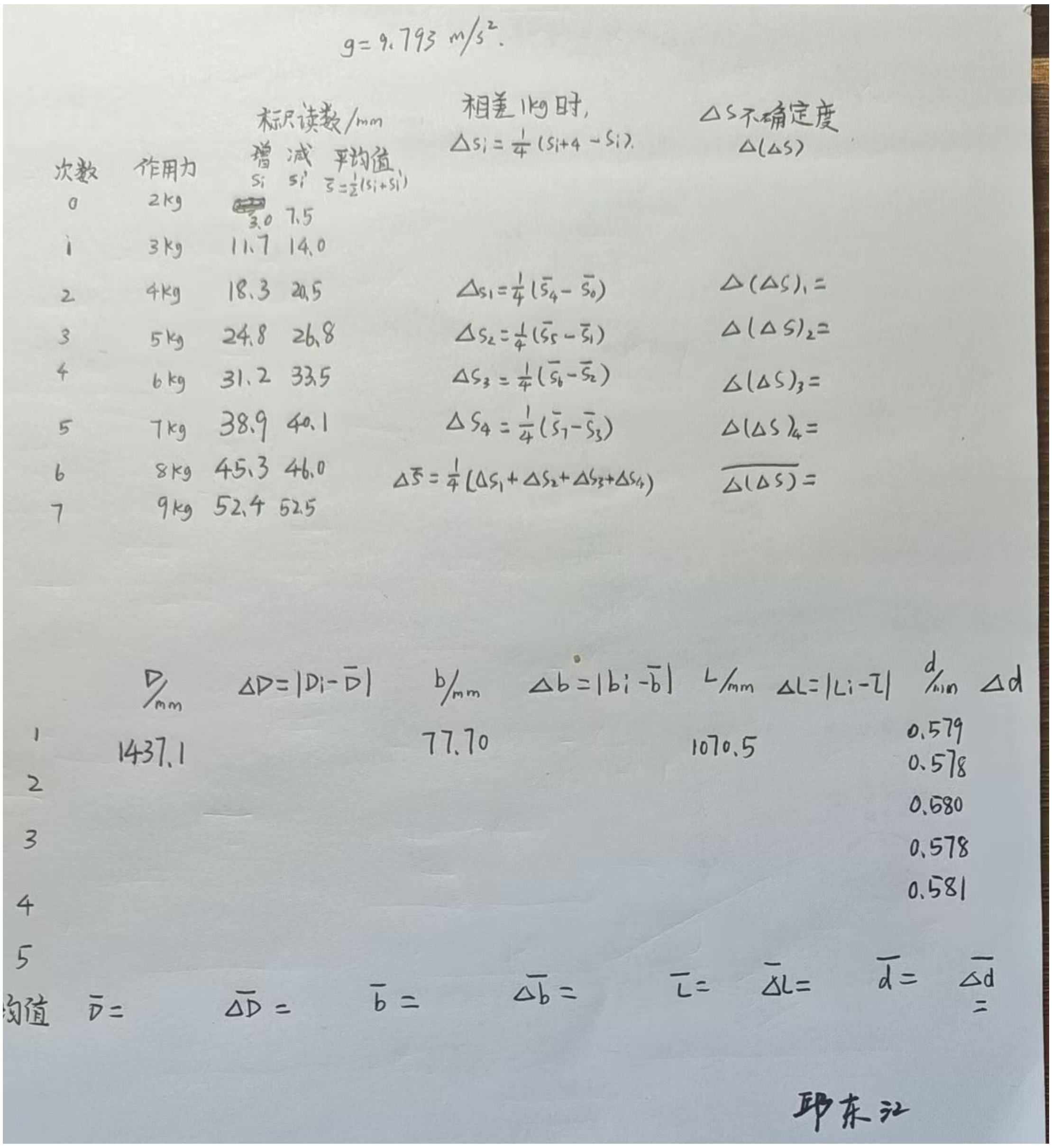
3.实验难点

（1）实验中利用光杠杆将物体微小的形变转化为光时，可能存在微小的误差也被放大而导致实验误差偏大

（2）调节光杠杆仪器时要保证镜面保持竖直，并且与望远镜处于同一高度，否则无法准确观察到标尺的像

（3）环境中的温度、振动等因素也会对实验结果产生影响。测量时应当尽量避免桌面的轻微震动

二、 原始数据



$g=9.793\ m/s^2$.

次数	作用力	标尺读数/mm 增 s_i	减 s_i'	平均值 $\bar{s}=\frac{1}{2}(s_i+s_i')$	相差1kg时, $\Delta s_i=\frac{1}{4}(s_{i+4}-s_i)$	Δs不确定度 $\Delta(\Delta s)$
0	2kg	3.0	7.5			
1	3kg	11.7	14.0			
2	4kg	18.3	20.5		$\Delta s_1=\frac{1}{4}(\bar{s}_4-\bar{s}_0)$	$\Delta(\Delta s)_1=$
3	5kg	24.8	26.8		$\Delta s_2=\frac{1}{4}(\bar{s}_5-\bar{s}_1)$	$\Delta(\Delta s)_2=$
4	6kg	31.2	33.5		$\Delta s_3=\frac{1}{4}(\bar{s}_6-\bar{s}_2)$	$\Delta(\Delta s)_3=$
5	7kg	38.9	40.1		$\Delta s_4=\frac{1}{4}(\bar{s}_7-\bar{s}_3)$	$\Delta(\Delta s)_4=$
6	8kg	45.3	46.0		$\Delta\bar{s}=\frac{1}{4}(\Delta s_1+\Delta s_2+\Delta s_3+\Delta s_4)$	$\overline{\Delta(\Delta s)}=$
7	9kg	52.4	52.5			

	D/mm	$\Delta D=\lvert D_i-\bar{D}\rvert$	b/mm	$\Delta b=\lvert b_i-\bar{b}\rvert$	L/mm	$\Delta L=\lvert L_i-\bar{L}\rvert$	d/mm	Δd
1	1437.1		77.70		1070.5		0.579	
2							0.578	
3							0.580	
4							0.578	
5							0.581	
均值	$\bar{D}=$	$\overline{\Delta D}=$	$\bar{b}=$	$\overline{\Delta b}=$	$\bar{L}=$	$\overline{\Delta L}=$	$\bar{d}=$	$\overline{\Delta d}=$

耶东江

三、结果与分析

1. 数据处理与结果

根据实验数据记录可以绘制数据表（表一）如下：

实验次数	作用力 $F_i = m_i g$	标尺读数/mm 增砝码时 s_i	减砝码时 s_i'	平均值	荷重砝码相差 1kg 时的读数差：$\Delta s_i = (s_{i+4} - s_i)/4$
0	2kg	3.0	7.5	5.25	$\Delta s_1 = \frac{s_4 - s_0}{4}$ =7.05
1	3kg	11.7	14.0	12.85	$\Delta s_2 = \frac{s_5 - s_1}{4}$ =6.80
2	4kg	18.3	20.5	19.40	$\Delta s_3 = \frac{s_6 - s_2}{4}$ =6.75
3	5kg	24.8	26.8	25.80	$\Delta s_4 = \frac{s_7 - s_3}{4}$ =6.90
4	6kg	31.2	33.5	32.35	$\overline{\Delta s} = (\Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3 + \Delta s_4)/4$ =6.88
5	7kg	38.9	40.1	39.50	
6	8kg	45.3	46.0	45.65	
7	9kg	52.4	52.5	52.45	

表一

根据测量结果可以计算 A 类不确定度为：$u_{A(\Delta_s)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{4}\left(\Delta_{s_i} - \overline{\Delta_s}\right)^2}{4\times 3}} = 0.0661mm$，B 类不确定度为$u_{B(\Delta_s)} = \frac{\Delta_{仪s}}{\sqrt{3}} = 0.12mm$，不确定度$u_{\Delta s} = \sqrt{u_{A(\Delta S)}^2 + u_{B(\Delta s)}^2} = 0.14mm$,因此$\Delta s =$ （6.88 ± 0.14）mm

根据 D,b,L，d 测量值记录，列出数据表（表二）。

组别	1	2	3	4	5
d/mm	0.579	0.578	0.580	0.578	0.581

表二

D=1437.1mm，b=77.70mm，L=1070.5mm，$\bar{d}$ =0.579mm

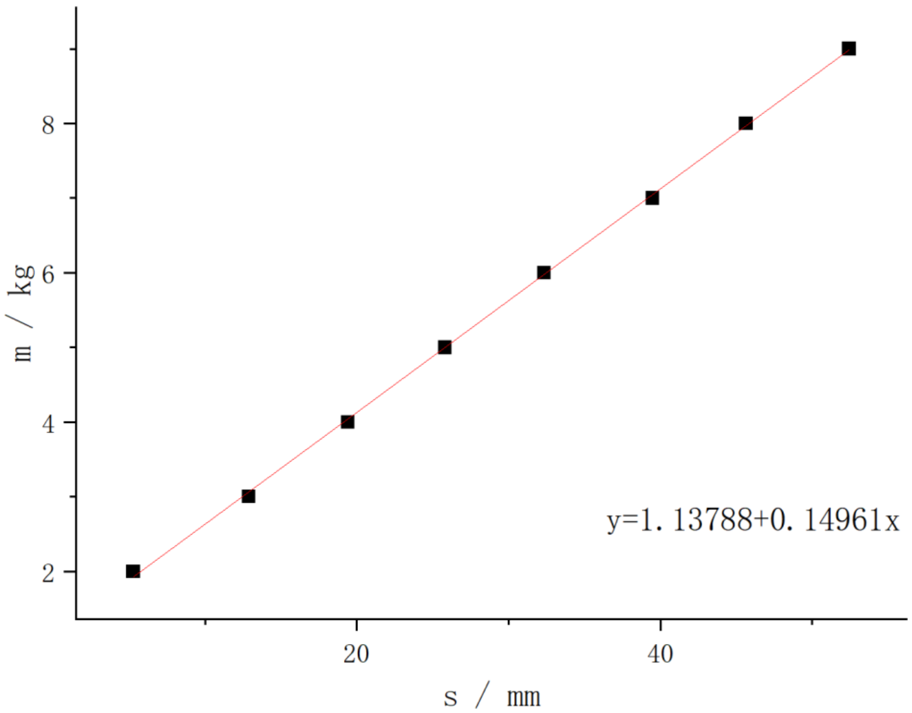
D 的不确定度$u_{B(\Delta_D)} = \frac{\Delta_{仪D}}{\sqrt{3}} = 0.3mm$，$D =$ （1437.1 ± 0.3）mm。b 的不确定度$u_{B(\Delta_b)} =$

$\frac{\Delta_{仪b}}{\sqrt{3}} = 0.01mm$，$b =$ （77.70 ± 0.01）mm。L 的不确定度$u_{B(\Delta_L)} = \frac{\Delta_{仪L}}{\sqrt{3}} = 0.3mm$，$L =$ （1070.5 ± 0.3）mm。

对于 d 有 A 类不确定度为：$u_{A(d)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(d_i - \bar{d})^2}{4\times5}} = 0.00058mm$，B 类不确定度为$u_{B(d)} = \frac{\Delta_{仪d}}{\sqrt{3}} = 0.002mm$，不确定度$u_d = \sqrt{u_{A(d)}^2 + u_{B(d)}^2} = 0.002mm$,因此$d =$ （0.579 ± 0.002）mm

由杨氏模量计算公式$E = \frac{8DFL}{\pi d^2 b\cdot\Delta s}$代入可算得：$E_1 = 2.14 \times 10^{11}Pa.$

此外，可以通过拟合逐差法作图像$m - \bar{S}$（图一）



图一

根据作图所得斜率代入计算式可算得$E_2 = \frac{8DgL}{\pi d^2 b}\cdot k = 2.20 \times 10^{11}Pa$

不确定度展开式：$\frac{u_E}{\bar{E}} = \sqrt{\left(\frac{u_m}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{u_L}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{\bar{D}}\right)^2 + \left(\frac{2u_d}{\bar{d}}\right)^2 + \left(\frac{u_b}{\bar{b}}\right)^2 + \left(\frac{u_{(\Delta s)}}{\overline{\Delta s}}\right)^2} = 0.02$

$u_{E1} = 0.04 \times 10^{11}Pa$，$u_{E2} = 0.05 \times 10^{11}Pa$

由此，$E_1 =$ （2.14 ± 0.04）$\times 10^{11}Pa$，$E_2 =$ （2.20 ± 0.05）$\times 10^{11}Pa$

2．误差分析

1） 实验中多次测量金属丝直径，存在不同部位读数视觉偏差而导致误差。

2） 实验中仅测量了一次金属丝长度、光杠杆镜和望远镜距离，且测量较为粗略。

3）　实验中单个砝码标重为 1kg，但观察到砝码老化磨损，实际重量不为 1kg。

4）　通过望远镜观察刻度读数时始终存在轻微的振动导致读数波动。

5）　实验过程中望远镜可能存在磕碰使其角度改变产生误差。

3．实验探讨

本次实验通过使用光杠杆和望远镜对金属丝杨氏模量进行计算，将实验中物体微小的形变转化为可观察的读数变化，这让我对物理中的等效替代法和放大法有了更加深刻的体会。同时实验误差多次分析计算不确定度也让我对误差来源、不确定度的应用有了更加熟练的掌握。

四、思考题

1. 伸长法测量钢丝的杨氏弹性模量中需要测量哪些物理量?分别用什么仪器测量?应估读到哪一位?

   答：金属丝初始长度 L 与光杠杆长臂 D 使用米尺测量，估读到 0.1mm；光杠杆短臂 b 使用游标卡尺测量，不估读；金属丝直径 d 使用螺旋测微器测量，估读到 0.001mm；放大后的伸长量Δs使用米尺测量，估读到 0.1mm.

2. 加减砝码测量钢丝伸长量的过程中,如何及时检查所测得的数据?

   答：应当及时观察读数，同时尽量使读数时的波动最小化。同时，加减砝码时相同砝码个数下的Δs应当相近，如果两者数据偏差过大则应检查砝码，实验装置等是否正常。

3. 从光杠杆的放大倍数考虑,增大 D 与减小 b 都可以增加放大倍数,那么它们有何不同?是否可以增大 D 从而无限制地增大放大倍数。光杠杆放大倍数增大有无限制?

   答：放大倍数为$\frac{2D}{b}$，理论上可以增大 D 与减小 b 来增加放大倍数。但是当增加 D 时，距离越远，微小误差也随光程被放大，导致实验误差更大。并且 D 增加后难以调整合适位置在望远镜中进行读数，光线也更暗，这些都让读数更加困难。减小 b 后使得θ变大，而使得$tan\theta$与θ的近似关系减小，误差偏大。因此光杠杆放大倍数增大有限制，不能无限增大。