第 37 届全国中学生物理竞赛决赛实验试题

实验题一 单摆法测定重力加速度和待测金属球材料的电导率

竞赛日期：2020 年 10 月 25 日　　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任何标记】

【实验题目】（60 分）

根据下列给定的实验器材和内容，设计单摆实验，测定当地的重力加速度和待测金属球材料的电导率。

【实验器材】

1. 单摆装置一套：包括一个半径为 90cm 的测角仪，量程为-5.5°~+5.5°，分度值为 0.1°。

2. 带摆线的铝球一个（质量 m=11.346g、电导率σ=3.767×10^7 S/m）；带摆线的待测金属球一个（质量 m=35.112g）。

3. 螺旋测微器一把、卷尺一个，多通道计时秒表一个（使用方法详见“秒表使用说明书”）。

4. 钕铁硼永磁铁一块。**注意：磁铁为易碎物品，使用中请勿掉落地面。**

5. 秒表盒一个、泡沫板几块和扑克一副（可用于垫高磁铁）。

6. 一次性口罩一个。

【实验注意事项】

1、摆球的悬线较细，测量过程中不能用力拉扯摆线。

2、摆球与悬线使用胶粘合，使用过程中不能人为拉扯，轻拿轻放，人为情况导致的球线分离不能更换摆球。

3、不得在摆线等仪器上做任何标记。

4、使用钕铁硼永磁铁时，请小心轻放，以免损坏，影响后续实验测量。

5、实验结束，必须将仪器设备整理为初始状态。

6、实验过程中全程高清视频监控，任何恶意损坏实验仪器等不当行为将每次扣 15 分。

7、测量过程中请佩戴口罩，空气的流动对测量结果有影响。

【基础知识】

1、 线性阻尼振动

把一个金属小球拴在一根细长的线上，当细线质量远小于小球质量，小球的直径远小于细线的长度时，此装置可以看作是一单摆。略去空气的浮力以及摆线的伸长量，且当摆角较小时（小于等于 5°），可以认为单摆的运动是简谐振动。较长时间观察单摆的运动就会发现，单摆的摆幅随着时间衰减，这是空气阻力在起作用。当小球摆动的速度很小时，空气阻力近似与摆动速度成线性关系，小球的运动称为线性阻尼振动，它的运动方程为$\ddot{\theta}+2\beta\dot{\theta}+\omega_0^2\theta=0$，且有一般解$\theta=\theta_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t+\varphi)$，其中$\theta$为摆角，β为阻尼系数，$\omega_0$为无阻尼简谐振动的固有角频率。线性阻尼振动的角频率ω与简谐振动的角频率ω_0之间满足 $\omega=\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}$。

2、 运动金属球在梯度磁场中受到的阻尼力

梯度磁场指的是空间变化率（梯度）不为零的磁场。金属球在这样的磁场中运动时会在其内部产生涡旋电流，因此会受到外磁场的作用。这个作用总是与金属球的运动方向相反，称之为磁阻尼力。金属球在梯

度磁场中运动时受到的磁阻尼力与金属球的电导率有关。如果金属球在一个梯度为 G（常数）的磁场中运动，磁阻尼力可以表达成：$F=\frac{2\pi\sigma}{15}G^2r^5\nu$, 其中 r 是金属球的半径，ν为金属球的运动速度，σ为金属球材料的电导率。

【实验内容及要求】

实验内容：

1、使用铝球做为单摆摆球，准确测量长沙的重力加速度 g。（19 分）

（1）选择合适的测量工具，多次测量铝球的直径 d、单摆摆线的长度 l_1，列出实验数据，求出平均值，并计算各物理量的不确定度。

（2）设计合理的实验方案，观测铝球在线性空气阻尼作用下，摆幅随时间的变化，记录实验数据，计算周期 T；根据线性阻尼振动方程一般解的形式，拟合计算空气阻尼系数β_1，分别估算两者的不确定度。

（3）根据测量结果，利用阻尼振动周期的公式计算重力加速度 g，并估算其不确定度。

2、测定铝球在磁阻尼作用下做单摆运动的阻尼系数。（9 分）

（1）在摆球静止时，钕铁硼磁铁应放置在摆球质心的正下方 2.5cm-3.0cm 处，观测铝球在磁阻尼作用下，摆幅随时间的变化，记录实验数据。

（2）根据实验数据拟合计算出此条件下单摆的阻尼系数β_2，并估算其不确定度。

3、测量待测金属球材料的电导率（32 分）

（1）选择合适的摆长，分别在有、无磁铁条件下，观测待测金属球单摆摆幅随时间的变化，并记录实验数据。

（2）根据上述测量结果分别计算出未知金属球在有、无磁铁时的阻尼系数β_3和β_4，并估算这两个阻尼系数的不确定度。

（3）根据上述实验测量结果以及磁阻尼力公式：$F=\frac{2\pi\sigma}{15}G^2r^5\nu$，推导出待测金属球材料电导率的计算公式，根据实验数据求出待测金属球材料的电导率σ，并估算其不确定度。

实验要求：

1、请学生自行调整测角仪（半径为 90cm）到合适的位置进行实验数据的测量。

2、写出实验原理、操作要点，列出实验数据，根据实验内容保留必要的数据处理过程。

实验题一 评分标准

1、使用铝球做单摆摆球，准确测量当地的重力加速度 g（19 分）

（1） 8 分

实验操作要点： 1 分

①让铝球做小角度（小于 5°）摆动，当摆球摆动到最低点时，使用多通道计时器记录摆球摆动 30 次的所有的时间 30T。

②铝球拉至摆角大于 5°时释放，当摆球角度达到 5°时开始记录实验数据。

实验数据记录 6 分

螺旋测微器零点误差：d_0=0.002mm

次数	1	2	3	4	5	6	平均
30T 时间(s)	59.03	59.1	59.07	59.06	59.08	59.03	59.06
摆线 l_1（mm）	950.1	950.2	950.0	949.9	949.8	950.0	950.0
铝球直径 d-d_0（mm）	20.002	20.000	19.999	20.004	19.998	19.998	20.000

实验数据处理 1 分

根据算术平均值的不确定度公式$\delta_{\overline{N}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(N_i-\overline{N})^2}{n(n-1)}}$ 求解各测量物理量的不确定度得：

$\delta_{\overline{30T}}=0.014\mathrm{s}$；

$\delta_{\overline{l_1}}=0.1mm$；

$\delta_{\overline{d}}$=0.001mm；

$$\delta_{\overline{l}}=\sqrt{\delta_{\overline{l_1}}{}^2+\left(\frac{\delta_{\overline{d}}}{2}\right)^2}=0.1mm$$

$$l=l_1+\frac{d}{2}=96.00cm$$

则摆长为：$l=(96.00\pm0.01)cm$

评分：

1）实验操作要点 1 分：每一点各占 0.5 分；

2）数据记录 6 分：周期、摆线、小球直径各占 2 分。6 组以上数据 6 分；3-5 组计 3 分；少于 3 组计 1.5 分；没有螺旋测微器的零点误差扣 1 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；

3）不确定度的计算 1 分：计算结果无单位扣 1 分。只有实验结果，无对应的实验数据或者实验数据与结果不相关的计零分。

（2） 8 分

实验数据记录和处理

铝球在空气阻尼作用下，摆幅随时间的变化数据 6 分

周期数	时间(s)	角度(°)	角度(°)	角度(°)	角度(°)	角度(°)
0	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
10	19.67	4.66	4.67	4.66	4.68	4.67
20	39.34	4.34	4.35	4.33	4.36	4.33
30	59.03	4.03	4.05	4.04	4.05	4.03

40	78.71	3.78	3.79	3.79	3.79	3.78
50	98.41	3.57	3.56	3.55	3.56	3.57
60	118.13	3.33	3.33	3.34	3.35	3.33
70	137.79	3.14	3.15	3.14	3.16	3.14
80	157.42	2.98	2.99	2.99	2.99	2.98
90	177.20	2.78	2.81	2.79	2.82	2.78
100	196.84	2.66	2.67	2.65	2.68	2.66
110	216.57	2.49	2.51	2.50	2.51	2.49
120	236.23	2.38	2.39	2.39	2.4	2.38
130	255.95	2.24	2.25	2.25	2.25	2.24
140	275.65	2.14	2.13	2.13	2.13	2.14
150	295.31	2.00	2.01	2.01	2.01	2.00
160	314.97	1.93	1.93	1.92	1.93	1.93
170	334.69	1.82	1.83	1.82	1.82	1.82
180	354.30	1.74	1.73	1.74	1.74	1.74
190	374.03	1.66	1.65	1.65	1.65	1.66
200	393.80	1.59	1.58	1.59	1.59	1.59
210	413.41	1.50	1.50	1.51	1.50	1.50

阻尼系数求解：　　2 分

方法一：多组数据拟合

使用公式$\theta = \theta_0 e^{-\beta t}$进行拟合得到阻尼系数$\beta_1$如下：

铝球	1	2	3	4	5	平均
拟合β_1 (s^{-1})	0.004116	0.004024	0.004088	0.004001	0.004123	0.004070

不确定度：$\delta_{\overline{\beta_1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(\beta_i - \overline{\beta})^2}{5(5-1)}} = 2.46 \times 10^{-5} s^{-1}$

β_1=(4.07±0.03) ×10^{-3} s^{-1}

方法二：单组数据拟合

使用公式 $ln\theta = ln\theta_0 - \beta t$ 拟合可以得到阻尼系数：β_1=0.00287 s^{-1}

不确定度$\sigma_{\beta_1} = \beta_1 \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2}-1}{n-2}}$ =4×10^{-5} s^{-1}

β_1=(2.87±0.04) ×10^{-3} s^{-1}

评分：

1）实验数据 6 分：

三组及以上实验数据并且单组实验数据大于等于 11 个数据点计 6 分，少于 3 组数据或者单组只有 8-10 个数据点计 3 分，单组数据少于 8 个数据点计 0 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；（多组数据线性拟合评分标准一致）

或者单组实验数据测量角度衰减范围大于 3 度并且单组实验数据大于等于 11 个数据点计 6 分，单组及实验数据测量角度衰减角度范围在 2-3 度或者单组只有 8-10 个数据点计 3 分，单组数据少于 8 个数据点计 0 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；

2）拟合出阻尼系数β_1 1 分：

拟合出三组及以上阻尼系数β_1、求出平均值并计算出不确定度计 2 分，少于三组拟合结果的减半计分；或者满足单组实验数据测量要求拟合出阻尼系数β_1并计算出其不确定度计 2 分，计算结果无单位扣 1 分。只有实验结果，无对应的实验数据或者实验数据与结果不相关的计零分。

（3）求重力加速度　　3 分

根据 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}$；　$\omega_0^2=\frac{g_0}{l}$

可得$g_0=l\left(\frac{4\pi^2}{T^2}+\beta^2\right)$　　1 分

根据测量和计算结果，将数值代入公式

$g_0=9.7782m/s$

由不确定度传递公式得：

$$\frac{\delta_{g_0}}{g_0}=\sqrt{\left(\frac{\delta_l}{l}\right)^2+\left(\frac{2\delta_{30T}}{30T}\right)^2+\left(\frac{2\delta_{\beta_1}}{\beta_1}\right)^2}=0.001$$　（或者$\delta_{g_0}=g_0\times\frac{\delta_{g_0}}{g_0}=0.01\mathrm{m/s^2}$）

得：　g_0=(9.78±0.01)m/s²　　2 分

评分：

1）重力加速度的公式 1 分；

2）实验结果 2 分：重力加速度为 9. 78 m/s - 9.80 m/s（含不确定度的结果）　2 分；9.69 m/s - 9. 77 m/s 或者　9.81 m/s - 9.89 m/s （含不确定度的结果）　1 分；实验结果无单位扣 1 分；计算过程无不确定度的求解公式扣 1 分。只有实验结果，无对应的实验数据或者实验数据与结果不相关的计零分。

2、测定铝球在磁阻尼作用下做单摆运动的阻尼系数。（9 分）

（1）　　7 分

操作要点：　　1 分

①不改变第一问铝球做单摆运动的条件，待铝球静止时，将钕铁硼方形磁铁放置于铝球质心正下方 2.5cm-3.0cm 处。

②将铝球拉至摆角大于 5°时释放，使得摆球正好从磁铁的正中心摆过，当摆球角度达到 5°时开始记录实验数据。

实验数据：　　6 分

铝球在空气阻尼和磁阻尼的作用下，摆幅随时间的变化数据

周期数	时间（s）	角度(°)	角度(°)	角度(°)	角度(°)	角度(°)
0	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
5	9.83	4.58	4.60	4.58	4.58	4.60
10	19.68	4.18	4.19	4.19	4.18	4.18
15	29.52	3.79	3.82	3.81	3.82	3.81
20	39.36	3.49	3.48	3.49	3.48	3.49
25	49.16	3.11	3.14	3.10	3.12	3.10
30	58.97	2.79	2.81	2.80	2.81	2.80
35	68.88	2.49	2.51	2.49	2.5	2.49
40	78.71	2.11	2.12	2.11	2.12	2.11
45	88.48	1.95	1.98	1.96	1.98	1.95
50	98.35	1.70	1.72	1.70	1.72	1.70
55	108.23	1.49	1.50	1.50	1.50	1.49

评分：

1）实验操作要点 1 分；

2）实验数据 6 分：

三组及以上实验数据并且单组实验数据大于等于 11 个数据点计 6 分，少于 3 组数据或者单组只有 8-10 个数据点计 3 分，单组数据少于 8 个数据点计 0 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；

或者单组实验数据测量角度衰减范围大于 3 度并且单组实验数据大于等于 11 个数据点计 6 分，单组及实验数据测量角度衰减角度范围在 2-3 度或者单组只有 8-10 个数据点计 3 分，单组数据少于 8 个数据点计 0 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分

（2）阻尼系数求解： 2 分

方法一：多组实验数据拟合 2 分

同理使用公式$\theta = \theta_0 e^{-\beta t}$进行拟合，得铝球在磁场中摆动的磁阻阻尼系数$\beta_2$：

铝球	1	2	3	4	5	平均
拟合β_2(s^{-1})	0.006207	0.006048	0.006224	0.006145	0.006202	0.006165

不确定度：$\delta_{\overline{\beta_2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(\beta_i - \overline{\beta})^2}{5(5-1)}} = 3 \times 10^{-5} s^{-1}$

β_2=(6.165±0.03) $\times 10^{-3}$ s^{-1}

方法二：单组实验数据拟合 2 分

使用公式 $ln\theta = ln\theta_0 - \beta t$ 拟合可以得到阻尼系数：β_1=0.0111 s^{-1}

不确定度$\sigma_{\beta_2} = \beta_2 \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2}-1}{n-2}}$ =3×10^{-4} s^{-1}

β_2=(1.11±0.03) $\times 10^{-2}$ s^{-1}

评分：

拟合出三组及以上阻尼系数β_2求出平均值并给出相应的不确定度计算公式求出相应的不确定度 2 分，少于三组拟合结果或者不给出不确定度求解公式减半计分；或者满足单组实验数据测量要求拟合出阻尼系数β_2并给出相应的不确定度计算公式求出相应的不确定度计 2 分，计算结果无单位扣 1 分；只有实验结果，无对应的实验数据或者实验数据与结果不相关的计零分。拟合出来的磁阻作用下的阻尼系数要大于空阻作用下的阻尼系数，趋势不对则拟合结果记零分。

3、测定待测金属球材料的电导率。（32 分）

（1） 12 分

操作要点： 2.0 分

①取下铝球，保持磁铁位置不变。

②将待测金属球挂上，调整摆线的长度使得摆线的长度与原铝球摆线长度一致（球心到磁铁距离与铝球一致）。

③将待测金属球拉至摆角大于 5°时释放，使得摆球正好从磁铁的正中心的竖直平面摆过，当摆球角度达到 5°时开始记录实验数据（记录待测金属球在磁场中摆动时，摆角随时间的衰减规律）。

④当待测金属球在磁场中摆动的数据记录完毕后，将磁铁取下，同样将待测金属球拉至摆角大于 5°时释放，当摆球角度达到 5°时开始记录实验数据（记录待测金属球在空气中摆动时，摆角随时间的衰减规律）。

实验数据： 10 分

待测金属球在磁阻尼和空气阻尼作用下，摆幅随时间的变化数据 （6 分）

周期数	时间（s）	角度(°)	角度(°)	角度(°)	角度(°)	角度(°)
0	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
20	39.38	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63
40	78.77	4.30	4.29	4.29	4.28	4.28
60	118.13	3.98	3.98	3.98	3.97	3.96
80	157.51	3.66	3.65	3.65	3.67	3.67
100	196.94	3.38	3.39	3.39	3.38	3.38
120	236.23	3.10	3.11	3.10	3.09	3.10
140	275.66	2.87	2.86	2.87	2.89	2.89
160	315.06	2.62	2.61	2.62	2.59	2.59
180	354.45	2.40	2.39	2.38	2.39	2.40
200	393.84	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
220	433.23	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99

待测金属球在空气阻尼作用下，摆幅随时间的变化数据 （3 分）

周期数	时间（s）	角度(°)
0	0.00	5.00
30	59.10	4.65
60	118.27	4.31
90	177.31	4.02
120	236.42	3.76
150	295.55	3.51
180	354.66	3.30
210	413.70	3.10
240	472.81	2.93
270	531.88	2.79
300	591.03	2.61
330	650.14	2.48

360	709.30	2.32
390	768.37	2.20
420	827.45	2.09
450	886.51	1.98

待测金属球直径实验数据记录　　（1 分）

螺旋测微器零点误差：d_0=0.002mm

次数	1	2	3	4	5	6	平均
待测金属球球直径 d-d_0（mm）	20.002	20.001	19.999	20.003	19.998	19.998	20.000

评分：

1）操作要点 2 分：

2）待测金属球在磁阻尼和空气阻尼共同作用下的实验数据 6 分：

三组及以上实验数据并且单组实验数据大于等于 11 个数据点计 6 分，少于 3 组数据或者单组只有 8-10 个数据点计 3 分，单组数据少于 8 个数据点计 0 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；（线性拟合多组数据评分标准一致）

或者单组实验数据测量角度衰减范围大于 3 度并且单组实验数据大于等于 11 个数据点计 6 分，单组及实验数据测量角度衰减角度范围在 2-3 度或者单组只有 8-10 个数据点计 3 分，单组数据少于 8 个数据点计 0 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；

3）待测金属球在空气阻尼作用下的实验数据 3 分：单组实验数据测量角度衰减范围大于 3 度并且单组实验数据大于等于 11 个数据点计 3 分，单组及实验数据测量角度衰减角度范围在 2-3 度或者单组只有 8-10 个数据点计 1.5 分，单组数据少于 8 个数据点计 0 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；或者说明在摆长、球的直径、摆幅相同的情况下两球的空气阻尼阻尼系数一致并解释其原因，实验数据部分计 3 分

4）待测金属球直径数据 1 分：6 组以上数据 1 分；少于 6 组计 0.5 分；没有螺旋测微器的零点误差扣 0.5 分。实验数据或结果无单位扣 1 分，有一处有效数字不正确扣 1 分，超过两处有效数字错误则数据部分计 0 分；

（2）　　2 分

待测金属球在空气阻尼和磁阻阻尼作用下的阻尼系数：　　1.5 分

方法一：多组实验数据拟合

使用公式$\theta = \theta_0 e^{-\beta t}$拟合可得出

待测金属球在磁阻阻尼系数β_3

未知金属球	1	2	3	4	5	平均
拟合β_3 (s^{-1})	0.001557	0.001555	0.001551	0.001562	0.001561	0.001557

不确定度：$\delta_{\overline{\beta_3}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(\beta_i - \overline{\beta})^2}{5(5-1)}} = 1.9 \times 10^{-5} s^{-1}$

β_3=(1.557±0.019) ×10^{-3} s^{-1}

方法二：单组实验数据拟合　　使用公式 $ln\theta = ln\theta_0 - \beta t$ 拟合可以得到阻尼系数：β_1=0.00212 s^{-1}

不确定度$\delta_{\beta_3} = \beta_3 \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2}-1}{n-2}}$ =2×10^{-5} s^{-1}

β_3=(2.12±0.02) ×10^{-3} s^{-1}

待测金属球空气阻尼系数　　0.5 分

方法一：指数拟合得β_4=0.001506 s^{-1}　　不确定度：$\delta_{\beta_4}=1.3\times10^{-6}s^{-1}$

β_4=(1.506±0.0013) ×10^{-3} s^{-1}

方法二：线性拟合得β_4=0.00103 s^{-1}　　不确定度：$\delta_{\beta_4}=\beta_4\sqrt{\frac{\frac{1}{r^2}-1}{n-2}}=1.4\times10^{-5}s^{-1}$

β_4=(1.03±0.014) ×10^{-3} s^{-1}

评分：2 分

1）拟合出待测金属球的磁阻阻尼系数β_3 并利用公式求解出不确定度计 1.5 分；拟合出三组数据及以上的阻尼系数求出平均值并利用不确定度计算公式求出不确定度计 1.5 分，少于 3 组或者无不确定度计算公式计 1 分；或者满足单组实验数据测量要求的拟合出阻尼系数β_3 并利用不确定度计算公式求出不确定度计 1.5 分；无不确定度计算公式扣 1 分；

2）拟合出待测金属球的空气阻尼系数β_4 0.5 分，无不确定度计算公式扣 1 分；

所有的计算结果无单位扣 1 分，只有实验结果，无对应的实验数据或者实验数据与结果不相关的计零分。拟合出来的磁阻作用下的阻尼系数要大于空阻作用下的阻尼系数，铝球的阻尼大于相同条件下的铜球的阻尼，趋势不对则拟合结果记零分。

（3）导出电导率的求解公式和实验结果处理　　18 分

电导率公式的推导　　10 分

因为阻力：　$F=F_{空}+F_{磁}$；　$F=K\frac{dx}{dt}=Kl\frac{d\theta}{dt}=Kv$

所以　$F_{磁}=F-F_{空}=(K-K_{空})v$

又因为　$F_{磁}=\frac{2\pi\sigma}{15}G^2vr^5$；　$K=2m\beta$

所以　$\frac{F_{1磁}}{F_{2磁}}=\frac{\sigma_1 r_1^5}{\sigma_2 r_2^5}=\frac{K_1-K_{1空}}{K_2-K_{2空}}=\frac{\beta_3-\beta_4}{\beta_2-\beta_1}\cdot\frac{m_1}{m_2}$

$\sigma_1=\frac{\beta_3-\beta_4}{\beta_2-\beta_1}\cdot\frac{m_1}{m_2}\frac{r_2^5}{r_1^5}\sigma_2$

其中式中σ_1、σ_2为待测金属球和铝球的电导率，m_1、m_2为待测金属球和铝球的质量，r_1、r_2为待测金属球和铝球的半径。

实验结果处理　　8 分

将已知量代入公式求解待测金属球的电导率得：σ_1=2.86×10^6 S/m

不确定度：$\delta_{(\beta_3-\beta_4)}=\sqrt{\delta_{\beta_3}^2+\delta_4^2}=6\times10^{-5}s^{-1}$

$\delta_{(\beta_2-\beta_1)}=\sqrt{\delta_{\beta_1}^2+\delta_{\beta_2}^2}=7\times10^{-4}s^{-1}$

$\frac{\delta_{\sigma_1}}{\sigma_1}=\sqrt{\left(\frac{\delta_{(\beta_3-\beta_4)}}{\beta_3-\beta_4}\right)^2+\left(\frac{\delta_{(\beta_2-\beta_1)}}{\beta_2-\beta_1}\right)^2}=0.05$

则：$\delta_{\sigma_1}=0.05\times\sigma_1=0.14\times10^6 S/m$

故σ_1=（2.86±0.14）×10^6 S/m

评分：

1）电导率公式推导 10 分：$F=K\frac{dx}{dt}=Kl\frac{d\theta}{dt}=Kv$、$F_{磁}=F-F_{空}=(K-K_{空})v$、$K=2m\beta$ 各 2 分 $\sigma_1=\frac{\beta_4-\beta_3}{\beta_2-\beta_1}\cdot\frac{m_1}{m_2}\frac{r_2^5}{r_1^5}\sigma_2$ 4 分；

2）待测金属球电导率结果 6 分：2×10^{6}~2×10^{7} S/m　6 分；1×10^{6}~2×10^{6} S/m 或者 2×10^{7}~3×10^{7} S/m　3 分；其余结果计 0 分；实验结果无单位扣 2 分；只有实验结果，无对应的实验数据或者实验数据与结果不相关的计零分。

3）实验结果的不确定度分析 2 分。无不确定度计算公式扣 1 分。

第 37 届全国中学生物理竞赛决赛实验试题

实验题二 研究玻璃材料折射率与入射光波长间的色散关系

竞赛日期：2020 年 10 月 25 日　　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任何标记】

【实验题目】(60 分)

折射率是表征介质光学性质的重要参数，其随入射光波长而变的性质，被称为色散。在作光学系统设计时，需要知道折射率与波长间的函数关系——色散关系。因此，色散的研究对于了解玻璃材料的性质意义重大。介质的折射率 n 与入射光波长λ的变化关系常用柯西色散公式来描述，它可以用一个级数来表示：$n(\lambda) = A + \frac{B_1}{\lambda^2} + \frac{B_2}{\lambda^4}$，其中 A、$B_1$、$B_2$ 为三个柯西色散系数。

测量所给激光器输出激光的波长和所给玻璃（三棱镜）对不同波长入射光的折射率，并用柯西公式拟合该玻璃的折射率与入射光波长间的色散关系式。

本题目不要求计算被测量的不确定度。

【实验器材】

1、线光源激光器 6 个（线形激光束的粗细可调，且可锁止；6 个激光器的电源可以通用；带固定支架）

2、光栅（600L/mm）1 个

3、三棱镜（顶角：60°）1 个

4、直尺（量程：50cm，分度 0.1cm）1 把

5、三角尺 1 把

6、A3 白纸

【注意事项】

★1、激光光强未经减弱，不得直视，也不能照射到其他考生的眼睛。

★2、实验完毕将测量用的 A3 纸用订书机装订好，并在首页标记分组编号后与答题纸一起上交，否则实验数据作无效处理。

3、光栅、三棱镜等光学元件轻拿轻放，防止不慎摔坏（损坏不予更换）。

4、不要用手触摸光栅和三棱镜的光学面。

5、实验结束，必须将仪器设备整理为初始状态。

6、实验过程中全程高清视频监控，任何恶意损坏实验仪器等不当行为将每次扣 15 分。

【实验内容及要求】

1、（24 分）用光栅（600L/mm）测量 6 个激光器输出激光的波长

实验要求：

（1）画出实验光路示意图，简要写出测量激光波长的原理及公式。

（2）写出实验步骤，进行实验测量，并列出实验数据。

（3）计算激光波长。

2、（27 分）测量玻璃材料（三棱镜，顶角：60°）对 6 个激光器输出激光的折射率

实验要求：

（1）画出实验光路示意图，简要写出测量玻璃材料折射率的原理及公式。

（2）写出实验步骤，进行实验测量，并列出实验数据。

（3）计算玻璃材料的折射率。

3、（9 分）用柯西公式拟合所给玻璃材料（三棱镜）的色散曲线（**忽略 $1/\lambda^4$ 次项**）

（1）简要写出色散曲线的拟合方法。

（2）列出所给玻璃材料的色散曲线拟合用数据。

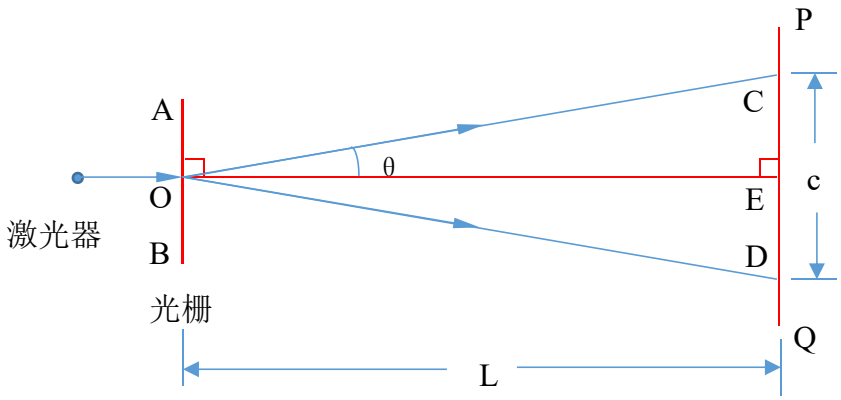
（3）给出所给玻璃材料的色散曲线的拟合关系式。

第 37 届全国中学生物理竞赛决赛实验题二评分标准

一. 测量激光波长（24 分）

1、画出实验光路示意图，简要写出测量激光波长的原理及公式（7 分）

（1）实验光路示意图



评分：

正确画出实验光路图 5 分（原理图 2 分，标注激光器、光栅、距离 c、距离 L、一级衍射角 θ 、垂直符号各 0.5 分）

（2）测量激光波长的原理及公式

激光通过光栅时发生衍射，其一级衍射线与直线 PQ 相交，在直线 PQ 上±1 级衍射线之间的距离为 c，直线 AB（光栅放置位置）与直线 PQ 之间的距离为 L，则

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{c/2}{L}$$

其中 θ 为一级衍射角。

$$\theta = \mathrm{arctg}\frac{c/2}{L} \qquad (1)$$

根据光栅方程

$$d\sin\theta = n\lambda$$

其中 n 为衍射级次，取 $n = 1$，可得入射激光波长

$$\lambda = d\sin\theta \qquad (2)$$

其中 d 为光栅常数。

评分：

式（1）和式（2）各 1 分

2、写出实验步骤，并列出实验数据（11 分）

（1）实验步骤

1）如图所示，在一张 A3 白纸上画出直线 AB、直线 PQ、直线 OE，使 OE⊥AB，OE⊥PQ。

2）调节激光器输出的线形激光束宽度，使其尽可能窄。

3）调节激光器输出的线形激光束方向，使其沿竖直方向。

4）将光栅平面沿直线 AB 放置，将激光器放置在直线 AB 的左侧，并使激光束沿 OE 方向，此时在直线 AB 右侧将看到激光光源的各级衍射线，将一级衍射线与直线 CD 的交点标记为 C 和 D。

5）用直尺测出线段 CD 和线段 OE 的长度，分别记为 c 和 L。

评分：

实验步骤 5 分（每 1 步各计 1 分）

（2）数据记录

评分：

数据记录 6 分（测量用的 A3 纸如未与答题纸一起上交，实验数据记录部分计 0 分；每个激光器测量数据各 1 分；对单个激光器的测量数据，测量次数少于 6 次扣除 0.5 分，测量 c 时仅测出 0 级与 1 级之间的距离扣除 0.5 分，c 的测量数据不足四位有效数字扣除 0.5 分，L 的测量数据不足四位有效数字扣除 0.5 分，单位未写出（或写错）每处扣除 0.5 分，直至全部扣除该项分为止。）

3、计算激光波长（6 分）

利用已测得的线段 CD 的长度 c 和线段 OE 的长度 L 可得

$$\theta = \operatorname{arctg}\frac{c/2}{L}$$

再根据

$$\lambda = d\sin\theta$$

可计算得出激光波长。

评分：

激光波长测量结果 6 分（每个激光器输出波长的结果各 1 分，结果在满分区间计 1 分，结果在半分区间计 0.5 分，其他结果不计分；只有实验结果，无对应实验数据或者实验数据与结果不相关的计 0 分。）

激光器 1					激光器 2				
编号	满分上限 (nm)	满分下限 (nm)	半分上限 (nm)	半分下限 (nm)	编号	满分上限 (nm)	满分下限 (nm)	半分上限 (nm)	半分下限 (nm)
1	410.0	406.0	412.1	403.9	1	486.2	481.4	488.6	479.0
2	407.5	403.5	409.6	401.4	2	487.4	482.6	489.9	480.2
3	410.1	406.0	412.1	403.9	3	488.7	483.8	491.1	481.4
4	410.1	406.0	412.1	403.9	4	487.4	482.6	489.9	480.2

5	410.1	406.0	412.1	403.9	5	487.4	482.6	489.9	480.2
6	407.5	403.5	409.5	401.4	6	486.7	481.9	489.1	479.4
7	407.5	403.5	409.5	401.4	7	486.2	481.4	488.6	479.0
8	407.5	403.5	409.5	401.4	8	486.2	481.4	488.6	479.0
9	405.0	400.9	407.0	398.9	9	486.2	481.4	488.6	479.0
10	410.1	406.0	412.1	403.9	10	488.7	483.8	491.1	481.4
11	406.2	402.2	408.3	400.2	11	487.7	482.8	490.1	480.4
12	410.1	406.0	412.1	403.9	12	489.9	485.0	492.3	482.6
13	410.1	406.0	412.1	403.9	13	485.0	480.2	487.4	477.7
14	408.8	404.7	410.8	402.7	14	485.0	480.2	487.4	477.7
15	407.5	403.5	409.5	401.4	15	486.2	481.4	488.6	479.0
16	408.8	404.7	410.8	402.7	16	485.0	480.2	487.4	477.7
17	407.5	403.5	409.5	401.4	17	488.7	483.8	491.1	481.4
18	407.5	403.5	409.5	401.4	18	487.9	483.1	490.3	480.6
19	407.5	403.5	409.5	401.4	19	489.9	485.0	492.3	482.6
20	406.2	402.2	408.3	400.2	20	488.7	483.8	491.1	481.4
21	407.5	403.5	409.5	401.4	21	483.8	478.9	486.2	476.5
22	407.5	403.5	409.5	401.4	22	485.0	480.2	487.4	477.7
23	405.0	400.9	407.0	398.9	23	488.7	483.8	491.1	481.4
24	407.5	403.5	409.5	401.4	24	491.1	486.2	493.5	483.8
25	410.1	406.0	412.1	403.9	25	486.2	481.4	488.6	479.0
26	407.5	403.5	409.5	401.4	26	489.9	485.0	492.3	482.6
27	410.1	406.0	412.1	403.9	27	487.4	482.6	489.9	480.2
28	405.0	400.9	407.0	398.9	28	488.7	483.8	491.1	481.4
29	410.1	406.0	412.1	403.9	29	489.9	485.0	492.3	482.6
30	410.1	406.0	412.1	403.9	30	491.1	486.2	493.5	483.8
31	406.2	402.2	408.3	400.2	31	492.3	487.4	494.8	485.0
32	407.5	403.5	409.5	401.4	32	485.5	480.6	487.9	478.2
33	410.1	406.0	412.1	403.9	33	489.9	485.0	492.3	482.6
34	406.2	402.2	408.3	400.2	34	489.9	485.0	492.3	482.6
35	410.1	406.0	412.1	403.9	35	492.3	487.4	494.8	485.0
36	411.3	407.2	413.4	405.2	36	487.4	482.6	489.9	480.2
37	411.8	407.7	413.9	405.7	37	492.3	487.4	494.8	485.0
38	410.8	406.7	412.9	404.7	38	489.1	484.3	491.6	481.8

39	406.2	402.2	408.3	400.2	39	486.2	481.4	488.6	479.0
40	407.5	403.5	409.5	401.4	40	485.7	480.9	488.1	478.5
41	411.3	407.2	413.4	405.2	41	487.4	482.6	489.9	480.2
42	410.1	406.0	412.1	403.9	42	482.5	477.7	484.9	475.3
43	407.5	403.5	409.5	401.4	43	486.2	481.4	488.6	479.0
44	407.5	403.5	409.5	401.4	44	486.2	481.4	488.6	479.0
45	410.1	406.0	412.1	403.9	45	492.3	487.4	494.8	485.0
46	407.5	403.5	409.5	401.4	46	493.5	488.6	496.0	486.2
47	410.1	406.0	412.1	403.9	47	485.0	480.2	487.4	477.7
48	405.0	400.9	407.0	398.9	48	488.7	483.8	491.1	481.4
49	407.5	403.5	409.5	401.4	49	491.1	486.2	493.5	483.8
50	407.5	403.5	409.5	401.4	50	488.7	483.8	491.1	481.4
51	412.6	408.5	414.7	406.5	51	488.7	483.8	491.1	481.4
52	410.1	406.0	412.1	403.9	52	486.9	482.1	489.4	479.7
53	407.5	403.5	409.5	401.4	53	490.4	485.5	492.8	483.0
54	411.3	407.2	413.4	405.2	54	486.2	481.4	488.6	479.0
55	410.1	406.0	412.1	403.9	55	488.7	483.8	491.1	481.4
56	411.3	407.2	413.4	405.2	56	485.0	480.2	487.4	477.7
57	410.1	406.0	412.1	403.9	57	487.4	482.6	489.9	480.2
58	407.5	403.5	409.5	401.4	58	486.2	481.4	488.6	479.0
59	410.1	406.0	412.1	403.9	59	486.2	481.4	488.6	479.0
60	410.1	406.0	412.1	403.9	60	486.2	481.4	488.6	479.0
61	407.5	403.5	409.5	401.4	61	492.3	487.4	494.8	485.0

激光器 3					**激光器 4**				
编号	**满分上限 (nm)**	**满分下限 (nm)**	**半分上限 (nm)**	**半分下限 (nm)**	**编号**	**满分上限 (nm)**	**满分下限 (nm)**	**半分上限 (nm)**	**半分下限 (nm)**
1	455.4	450.8	457.6	448.6	1	522.5	517.3	525.1	514.7
2	454.4	449.8	456.6	447.6	2	526.8	521.6	529.4	519.0
3	452.9	448.4	455.1	446.1	3	526.1	520.9	528.7	518.2
4	462.8	458.2	465.1	455.9	4	524.4	519.2	527.0	516.6
5	459.1	454.5	461.4	452.2	5	523.7	518.5	526.3	515.9
6	451.4	446.9	453.6	444.6	6	525.4	520.2	528.0	517.5
7	452.1	447.6	454.4	445.4	7	527.3	522.0	529.9	519.4

8	456.6	452.1	458.9	449.8	8	525.6	520.4	528.2	517.8
9	452.6	448.1	454.9	445.9	9	526.1	520.9	528.7	518.2
10	454.9	450.3	457.1	448.1	10	522.8	517.6	525.4	515.0
11	453.9	449.4	456.1	447.1	11	527.1	521.8	529.7	519.2
12	456.6	452.1	458.9	449.8	12	524.9	519.7	527.5	517.1
13	457.9	453.3	460.1	451.0	13	525.1	519.9	527.8	517.3
14	454.1	449.6	456.4	447.3	14	527.3	522.0	529.9	519.4
15	458.8	454.3	461.1	452.0	15	522.3	517.1	524.9	514.5
16	456.1	451.6	458.4	449.3	16	526.8	521.6	529.4	519.0
17	459.1	454.5	461.4	452.2	17	525.9	520.6	528.5	518.0
18	461.1	456.5	463.4	454.2	18	525.1	519.9	527.8	517.3
19	462.8	458.2	465.1	455.9	19	523.0	517.8	525.6	515.2
20	459.1	454.5	461.4	452.2	20	522.8	517.6	525.4	515.0
21	454.4	449.8	456.6	447.6	21	523.0	517.8	525.6	515.2
22	459.1	454.5	461.4	452.2	22	522.5	517.3	525.1	514.7
23	461.1	456.5	463.4	454.2	23	524.4	519.2	527.0	516.6
24	454.6	450.1	456.9	447.8	24	522.8	517.6	525.4	515.0
25	459.1	454.5	461.4	452.2	25	523.7	518.5	526.3	515.9
26	454.4	449.8	456.6	447.6	26	523.0	517.8	525.6	515.2
27	457.1	452.6	459.4	450.3	27	523.0	517.8	525.6	515.2
28	454.1	449.6	456.4	447.3	28	525.4	520.2	528.0	517.5
29	461.6	457.0	463.9	454.7	29	524.9	519.7	527.5	517.1
30	456.1	451.6	458.4	449.3	30	522.5	517.3	525.1	514.7
31	461.6	457.0	463.9	454.7	31	526.1	520.9	528.7	518.2
32	451.6	447.1	453.9	444.9	32	523.7	518.5	526.3	515.9
33	459.6	455.0	461.9	452.7	33	525.4	520.2	528.0	517.5
34	459.1	454.5	461.4	452.2	34	524.9	519.7	527.5	517.1
35	457.9	453.3	460.1	451.0	35	524.9	519.7	527.5	517.1
36	452.1	447.6	454.4	445.4	36	524.4	519.2	527.0	516.6
37	460.3	455.8	462.6	453.5	37	522.0	516.8	524.6	514.2
38	457.4	452.8	459.6	450.5	38	525.4	520.2	528.0	517.5
39	456.6	452.1	458.9	449.8	39	525.6	520.4	528.2	517.8
40	457.4	452.8	459.6	450.5	40	524.7	519.4	527.3	516.8
41	454.4	449.8	456.6	447.6	41	524.9	519.7	527.5	517.1

42	457.1	452.6	459.4	450.3	42	523.0	517.8	525.6	515.2
43	461.6	457.0	463.9	454.7	43	524.0	518.7	526.6	516.1
44	453.9	449.4	456.1	447.1	44	522.5	517.3	525.1	514.7
45	454.9	450.3	457.1	448.1	45	524.7	519.4	527.3	516.8
46	462.8	458.2	465.1	455.9	46	525.1	519.9	527.8	517.3
47	455.4	450.8	457.6	448.6	47	525.4	520.2	528.0	517.5
48	454.1	449.6	456.4	447.3	48	524.9	519.7	527.5	517.1
49	456.4	451.8	458.6	449.5	49	524.9	519.7	527.5	517.1
50	454.1	449.6	456.4	447.3	50	523.7	518.5	526.3	515.9
51	451.6	447.1	453.9	444.9	51	524.2	519.0	526.8	516.4
52	459.1	454.5	461.4	452.2	52	526.1	520.9	528.7	518.2
53	451.6	447.1	453.9	444.9	53	524.9	519.7	527.5	517.1
54	455.4	450.8	457.6	448.6	54	524.9	519.7	527.5	517.1
55	455.9	451.3	458.1	449.1	55	523.0	517.8	525.6	515.2
56	454.9	450.3	457.1	448.1	56	522.5	517.3	525.1	514.7
57	460.3	455.8	462.6	453.5	57	524.9	519.7	527.5	517.1
58	451.4	446.9	453.6	444.6	58	524.9	519.7	527.5	517.1
59	459.1	454.5	461.4	452.2	59	524.9	519.7	527.5	517.1
60	462.8	458.2	465.1	455.9	60	525.4	520.2	528.0	517.5
61	461.1	456.5	463.4	454.2	61	525.6	520.4	528.2	517.8

激光器 5					**激光器 6**				
编号	**满分上限 (nm)**	**满分下限 (nm)**	**半分上限 (nm)**	**半分下限 (nm)**	**编号**	**满分上限 (nm)**	**满分下限 (nm)**	**半分上限 (nm)**	**半分下限 (nm)**
1	664.9	658.3	668.2	655.0	1	643.1	636.7	646.3	633.5
2	663.8	657.2	667.1	653.9	2	644.2	637.8	647.4	634.6
3	663.4	656.8	666.7	653.5	3	642.0	635.6	645.2	632.5
4	663.8	657.2	667.1	653.9	4	642.0	635.6	645.2	632.5
5	664.7	658.1	668.0	654.8	5	644.2	637.8	647.4	634.6
6	661.7	655.1	665.0	651.8	6	644.2	637.8	647.4	634.6
7	663.8	657.2	667.1	653.9	7	643.1	636.7	646.3	633.5
8	664.3	657.7	667.6	654.4	8	643.1	636.7	646.3	633.5
9	667.7	661.1	671.0	657.8	9	642.0	635.6	645.2	632.5
10	663.4	656.8	666.7	653.5	10	642.7	636.3	645.9	633.1

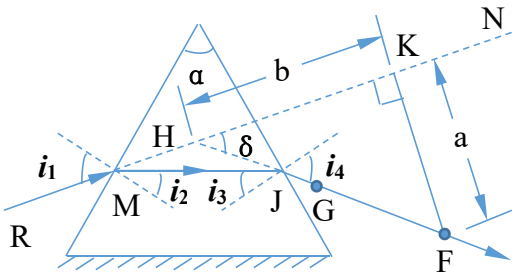
11	661.7	655.1	665.0	651.8	11	641.8	635.4	645.0	632.2
12	662.8	656.2	666.1	652.9	12	644.2	637.8	647.4	634.6
13	667.1	660.4	670.4	657.1	13	643.1	636.7	646.3	633.5
14	666.0	659.4	669.3	656.1	14	640.9	634.6	644.1	631.4
15	661.7	655.1	665.0	651.8	15	644.2	637.8	647.4	634.6
16	663.8	657.2	667.1	653.9	16	645.3	638.9	648.5	635.7
17	665.6	658.9	668.9	655.6	17-1	645.3	638.9	648.5	635.7
18	664.3	657.7	667.6	654.4	18	644.2	637.8	647.4	634.6
19	665.3	658.7	668.7	655.4	19	644.2	637.8	647.4	634.6
20	665.8	659.2	669.1	655.8	20	647.5	641.1	650.7	637.9
21	664.9	658.3	668.2	655.0	21	643.1	636.7	646.3	633.5
22	664.7	658.1	668.0	654.8	22	643.1	636.7	646.3	633.5
23	663.8	657.2	667.1	653.9	23	644.9	638.5	648.1	635.3
24	664.3	657.7	667.6	654.4	24	644.2	637.8	647.4	634.6
25	663.2	656.6	666.5	653.3	25	647.5	641.1	650.7	637.9
26	666.0	659.4	669.3	656.1	26	641.2	634.8	644.3	631.6
27	665.6	658.9	668.9	655.6	27	644.2	637.8	647.4	634.6
28	664.5	657.9	667.8	654.6	28	644.2	637.8	647.4	634.6
29	665.6	658.9	668.9	655.6	29	647.5	641.1	650.7	637.9
30	664.5	657.9	667.8	654.6	30	643.1	636.7	646.3	633.5
31	669.7	663.0	673.0	659.7	31	645.3	638.9	648.5	635.7
32	668.6	661.9	671.9	658.6	32	642.0	635.6	645.2	632.5
33	665.8	659.2	669.1	655.8	33	644.2	637.8	647.4	634.6
34	664.0	657.4	667.4	654.1	34	643.1	636.7	646.3	633.5
35	667.1	660.4	670.4	657.1	35	643.1	636.7	646.3	633.5
36	668.1	661.5	671.5	658.2	36	644.2	637.8	647.4	634.6
37	667.7	661.1	671.0	657.8	37	640.9	634.6	644.1	631.4
38	664.5	657.9	667.8	654.6	38	645.3	638.9	648.5	635.7
39	669.2	662.6	672.6	659.2	39	643.1	636.7	646.3	633.5
40	665.8	659.2	669.1	655.8	40	643.1	636.7	646.3	633.5
41	669.7	663.0	673.0	659.7	41	640.9	634.6	644.1	631.4
42	667.5	660.9	670.8	657.5	42	643.1	636.7	646.3	633.5
43	669.2	662.6	672.6	659.2	43	644.2	637.8	647.4	634.6
44	669.0	662.4	672.3	659.0	44	646.4	640.0	649.6	636.8

45	667.7	661.1	671.0	657.8	45	643.1	636.7	646.3	633.5
46	667.1	660.4	670.4	657.1	46	644.2	637.8	647.4	634.6
47	665.8	659.2	669.1	655.8	47	643.1	636.7	646.3	633.5
48	666.0	659.4	669.3	656.1	48	645.3	638.9	648.5	635.7
49	667.7	661.1	671.0	657.8	49	644.2	637.8	647.4	634.6
50	667.1	660.4	670.4	657.1	50	644.2	637.8	647.4	634.6
51	665.6	658.9	668.9	655.6	51	644.2	637.8	647.4	634.6
52	665.8	659.2	669.1	655.8	52	642.7	636.3	645.9	633.1
53	666.6	660.0	670.0	656.7	53	643.1	636.7	646.3	633.5
54	665.6	658.9	668.9	655.6	54	642.0	635.6	645.2	632.5
55	667.7	661.1	671.0	657.8	55	644.2	637.8	647.4	634.6
56	668.6	661.9	671.9	658.6	56	643.1	636.7	646.3	633.5
57	666.4	659.8	669.7	656.5	57	642.0	635.6	645.2	632.5
58	667.1	660.4	670.4	657.1	58	643.1	636.7	646.3	633.5
59	666.6	660.0	670.0	656.7	59	645.3	638.9	648.5	635.7
60	663.4	656.8	666.7	653.5	60	646.4	640.0	649.6	636.8
61	666.9	660.2	670.2	656.9	61	643.1	636.7	646.3	633.5

二. 测量玻璃材料的折射率（27 分）

1. 画出实验光路示意图，简要写出测量玻璃材料折射率的原理及公式（8 分）

（1）实验光路示意图



评分：

正确画出实验光路图 6 分（原理图 2 分，标注线段 FK 的长度 a、线段 HK 的长度 b、偏向角 δ、三棱镜顶角 α、垂直符号、光线 RM 方向、光线 MJ 方向、光线 JF 方向各 0.5 分）

（2）测量玻璃材料折射率的原理及公式

激光沿 RM 方向入射到三棱镜上，在通过三棱镜的过程中将发生两次折射，使通过三棱镜后的出射光线向底边方向发生偏转，激光通过三棱镜前后的偏向角为 δ 。F、G 为激光通过三棱镜后出射方向上的两点，从点 F 向激光入射线 RM 方向作垂线，垂足为 K。激光入射线 RM 方向和出射线 GF 方向的交点为 H，若线段 FK 的长度为 a，线段 HK 的长度为 b，则

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{a}{b}$$

由上式可得偏向角

$$\delta = \mathrm{arctg}\frac{a}{b} \qquad (3)$$

对于给定的三棱镜来说，偏向角 δ 随激光入射角 i_1 发生变化，当 $i_1 = i_4$ 时，偏向角 δ 最小。若用 δ_{min} 表示最小偏向角，则可得三棱镜的折射率 n 与三棱镜顶角 α 、最小偏向角 δ_{min} 之间的关系为

$$n = \frac{Sin\frac{\delta_{min}+\alpha}{2}}{Sin\frac{\alpha}{2}} \qquad (4)$$

评分：

式（3）和式（4）各 1 分

2、写出实验步骤，并列出实验数据**（13 分）**

（1）实验步骤

1）如图所示，在一张 A3 白纸上画出直线 MN。

2）调节激光光源的线形激光束宽度，使其尽可能窄。

3）调节激光光源的线形激光束方向，使其沿竖直方向。

4）将激光光源的线形激光束方向沿直线 MN 方向。

5）将三棱镜如图放置，在保持激光光源的线形激光束方向始终沿直线 MN 方向的前提下，转动三棱镜，改变入射角，找到激光光源经过三棱镜后折射光束的最小偏向位置，此时在出射光束上标出两点 F、G（F 点和 G 点之间的距离尽可能大一些）。

6）连接 F 点和 G 点，并延长至与直线 MN 相交于 H 点。过 F 点作直线 MN 的垂线，垂足为 K。

7）用直尺测出线段 FK 和线段 HK 的长度，分别记为 a 和 b。

评分：

实验步骤 4 分（ 第 5）步计 1 分，其余各计 0.5 分 ）

（2）数据记录

评分：

数据记录 9 分（测量用的 A3 纸如未与答题纸一起上交，实验数据记录部分计 0 分；每个激光器测量数据各 1.5 分；对单个激光器的测量数据，测量次数少于 6 次扣除 0.5 分，a 的测量数据不足四位有效数字扣除 0.5 分，b 的测量数据不足四位有效数字扣除 0.5 分，单位未写出（或写错）每处扣除 0.5 分，直至全部扣除该项分为止。）

（3）计算玻璃材料的折射率（6 分）

利用已测得的线段 FK 的长度 a 和线段 HK 的长度 b 可得

$$\delta_{min} = \mathrm{arctg}\frac{a}{b}$$

再根据

$$\mathrm{n} = \frac{Sin\frac{\delta_{min}+\alpha}{2}}{Sin\frac{\alpha}{2}}$$

可计算得出玻璃材料的折射率。

评分：

玻璃材料的折射率测量结果 6 分（玻璃材料对每个激光的折射率结果各 1 分，结果在满分区间计 1 分，结果在半分区间计 0.5 分，其他结果不计分；只有实验结果，无对应实验数据或者实验数据与结果不相关的计 0 分。）

光源	满分上限	满分下限	半分上限	半分下限
1	1.6844	1.6796	1.6868	1.6772
2	1.6640	1.6600	1.6660	1.6580
3	1.6716	1.6664	1.6742	1.6638
4	1.6548	1.6532	1.6556	1.6524
5	1.6426	1.6414	1.6432	1.6408
6	1.6445	1.6435	1.6450	1.6430

三. 用柯西公式拟合所给玻璃材料（三棱镜）的色散曲线（9 分）

1、写出色散曲线的拟合方法（3 分）

介质的折射率 n 与入射光波长λ的变化关系常用柯西色散公式来描述，它可以用一个级数来表示：$\mathrm{n}(\lambda) = \mathrm{A} + \frac{B_1}{\lambda^2} + \frac{B_2}{\lambda^4}$，其中 A、$B_1$、$B_2$ 为三个柯西色散系数。若忽略 $1/\lambda^4$ 次项，则色散关系变为

$$\mathrm{n}(\lambda) = \mathrm{A} + \frac{B_1}{\lambda^2}$$

若将 $\frac{1}{\lambda^2}$ 视为自变量，则可对色散关系进行线性拟合，从而确定柯西色散系数 A 和 B_1。

评分：

色散曲线的拟合方法 3 分

2、列出色散曲线拟合用数据（3 分）

光　源	1	2	3	4	5	6
n	1.682	1.662	1.669	1.654	1.642	1.644
λ (nm)	406.8	485.0	454.3	522.8	662.7	641.0
$1/\lambda^2$ ($\times 10^{-6}/\mathrm{nm}^2$)	6.043	4.251	4.845	3.659	2.277	2.434

评分：

色散曲线的拟合数据 3 分（每个激光光源的 $1/\lambda^2$ 值各计 0.5 分）

3、色散曲线的拟合结果**（3 分）**

进行线性拟合后所给玻璃材料（三棱镜）的色散关系式为：$\mathrm{n}(\lambda) = 1.617 + \frac{1.063\times10^4}{\lambda^2}$。

评分：

色散关系式结果 3 分（柯西色散系数 A 和 B_1 的结果各 1.5 分，结果在满分区间计 1.5 分，结果在计 0.5 分区间计 0.5 分，其他结果不计分。）

柯西色散系数	满分上限	满分下限	计 0.5 分上限	计 0.5 分下限
A	1.666	1.568	1.746	1.488
B_1	1.095	1.031	1.148	0.978