# 大学物理实验 I 指导书

郭袁俊　于景侠　吴静　陈群宇　罗浩文　徐世珍　陈中钧
宁智华　李志杰　聂湧　李朝霞　崔海娟　许春青　高雅纯
李海龙　王焕文　周云刚　李念　聂锦兰　向霞

电子科技大学物理实验中心

2026 年 9 月

# 目　　录

第一章　大学物理实验学习须知 2
（一）《大学物理实验 I》2026–2027 年度教学管理细则 2
（二）2026–2027 学年第一学期《大学物理实验 I》实验课程表 4
第二章　大学物理实验内容提要 5
（一）“实验误差及数据处理”内容摘要 5
（二）基本实验方法和基本技能学习内容提要 10
第三章　物理实验 11
（一）偏振光实验 11
（二）用拉伸法测金属丝的杨氏模量 14
（三）激光全息照相 19
（四）霍耳效应法测量磁场 22
（五）示波器的使用 26
（六）伏安法测量非线性电阻 28
（七）等厚干涉实验—牛顿环和劈尖干涉 35
第四章　理论课考试模拟试题及参考解答 39
大学物理实验理论考试模拟试题 1 39
模拟试题 1 参考答案 41
大学物理实验理论考试模拟试题 2 43
模拟试题 2 参考答案 45
大学物理实验理论考试模拟试题 3 47
模拟试题 3 参考答案 49

# 注　意

本书仅为教材《结构化大学物理实验》（第二版）的实验补充，预习和做实验都必须携带、阅读教材。

有些实验要求下课前完成部分数据处理内容，请同学们上课时一定要带好铅笔、直尺、计算器和坐标纸！

# 第一章　大学物理实验学习须知

## （一）《大学物理实验 I》2026–2027 年度教学管理细则

**课程基本情况**

1. 《大学物理实验 I》是全校理学、工学和医学本科生的必修课或选修课，共 20 学时 1 学分，于每学年的第一学期开设。

2. 《大学物理实验 I》的教学内容分为理论课（6.8 学时）和实验课（4 个实验，每个实验 3.3 学时）两部分，其教学顺序是：理论课 2 次→做 4 个实验→考试。

**理论课安排**

1. 理论课安排在第 1 学期 1–2 周在教学楼上课，每次 3.4 学时，共 6.8 学时。

2. 理论课教学内容为《结构化大学物理实验》（第二版）（高等教育出版社，姚列明主编）第一章。

3. 为保证学生按时到课，老师要按名单点名并记录在册，未到课或迟到者将影响平时成绩。老师要在课后布置适量的作业。

4. 凡由于课程冲突等原因不能在规定时段上课的同学，可以换到其它时段、其他老师的课堂上课，要求必须在上课前向课堂老师说明情况，数据记录必须由课堂老师签字。

**实验课安排**

教学班分单、双周班，具体上课时间、地点详见第 3 页的“实验课程表”，该表未包含重修班上课安排，具体安排由任课老师通知。

**实验课准备**

1. 课前必须预习并按规定写好预习报告。

2. 每次实验都应带齐《大学物理实验》教材、实验指导书、实验报告纸、坐标纸、钢笔、绘图铅笔（最好是 0.3–0.5mm 的自动铅笔）、直尺、科学计算器。

**实验课考勤和上课纪律**

1. 学生上课应提前 5 分钟进入实验室，迟到者会被老师记录并影响课程成绩。迟到半小时及以上者不得参加本次实验。

2. 学生进入实验室应坐到规定编号的座位上做实验。老师鼓励学生课前对照仪器进一步预习实验、或完成部分操作内容，但前提是必须先认真预习过，知道该仪器的操作规程，并认真阅读了安全操作须知，否则可能带来危险或仪器损坏。**严禁野蛮操作和未经老师允许擅自调换仪器或调换座位**。凡不按规程操作造成仪器损坏的按学校有关规定进行赔偿。

3. 做完实验后，数据必须全部记录在实验报告纸上，经老师签字，整理好实验仪器、摆整齐实验凳后，才能离开实验室。

4. 如实验效果未达到规定要求，老师可要求学生补做实验。对补做实验的同学，指导老师应在数据上签字并注明操作的成绩或等级。

5. 老师应当堂向学生说明本实验的学时数，杜绝早退情况发生。**实验做得快的同学可在签字后继续在实验室进行数据处理，下课前半学时之内才能离开实验室**。

6. 无论任何原因请假的同学都必须补课，否则会影响成绩。尽量在自己任课老师的其他班补课，如果不能，也可以在其他老师的班补课，务必按时到课，数据记录请课堂老师签名。

**实验报告**

1. 实验报告包括预习、操作、数据处理三部分。学生必须在实验开始前写好预习内容，否则不允许做实验，按缺课处理。学生在做完实验后必须按照任课老师的要求交报告，未按时交报告的将影响平时成绩。

2. 预习部分（20 分）应完成以下七个内容：一、实验名称；二、实验室房间号（详见课表）；三、安全操作须知；四、实验原理；五、实验目的；六、实验内容；七、实验器材（设备、元器件）。**其中实验原理是重点，应参照教材认真完成，至少绘制一个原理图或接线图等，并包括必要的文字描述及结论性公式**。预习部分应工整地书写到实验报告纸第 1 页至第 2 页。

3. 操作部分（40 分）应完成实验步骤及操作内容，并完成：八、实验数据记录，按照要求记录实验规定的全部测量值和相关表格。实验数据必须经老师当堂签字认可后才算有效。学生完成额外的操作内容或有独创的有价值的实验方法可获得总共不超过 6 分的操作附加分。

4. 数据处理部分（40 分）应完成以下三个内容：九、实验数据处理；十、实验结论；十一、对本实验过程、方法及手段的改进意见。完成以上内容很认真或有独创的见解或完成了老师规定的额外数据处理内容可获得总共不超过 6 分的数据处理附加分。

**理论课考试**

1. 考试安排在第 18 周前后进行（具体时间、地点待定），为 90 分钟闭卷考试，实验缺课两次（包含两次）以上的同学没有考试资格。

2. 考题类型：填空题、选择题、作图题、计算题和简答题等。

3. 考试内容限于教材第一章的以下内容：

（1）以下内容要求全部掌握：测量与误差、不确定度、有效数字和数据处理法。

（2）作图法要求掌握作图法的作用与优点、作图规则、平滑曲线、直线拟合和校正曲线。

（3）最小二乘法要求能根据公式（1−4−9）和（1−4−10）求解斜率 $b$ 和截距 $a$，要求有求解过程和单位，并给出直线方程。最小二乘法公式不要求背，相关系数 $r$ 以及 $a$ 和 $b$ 的不确定度不要求掌握。

**成绩管理**

1. 课程成绩 = 百分制理论课成绩×40% + 百分制平时成绩×60%，满分为 100 分。

2. 平时成绩 = 百分制每次实验成绩的平均，迟到、缺课或迟交、不交实验报告将影响平时成绩。如果该成绩大于 100，记为 100 分。

3. 每次实验成绩（满分 100+12 分） = 预习成绩 + 操作成绩（包括操作附加分） + 实验报告成绩（包括数据处理附加分）。三项的满分分别是：20 分、40+6 分、40+6 分。

4. 重修：课程成绩不及格时或补考后仍不及格的，须重新学习。

（1）报到：在教务系统中查看自己的班级和时间信息。

（2）实验：必须认真预习和做实验，数据经任课老师签字并打分才有效，实验报告须认真完成并于考试前全部上交。

（3）考试：参加《大学物理实验 I》的理论考试。

# （二）2026–2027 学年第一学期《大学物理实验 I》实验课程表②

| 上课时间 | | A 循环 | B 循环 | C 循环 | D 循环 | E 循环 | F 循环 | G 循环 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 周一 | 4 段 (16:20–18:50) | 徐世珍 | 陈中均 | 李朝霞 | 聂锦兰 | 于景侠 | 周云刚 | 宁智华 |
| | 5 段 (19:30–22:00) | 徐世珍 | 陈中均 | 李朝霞 | 许春青 | 于景侠 | 周云刚 | 宁智华 |
| 周二 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | 4 段 (16:20–18:50) | 徐世珍 | 罗浩文（单）<br>陈中均（双） | 崔海娟 | 高雅纯 | 李海龙 | 周云刚 | 李志杰 |
| | 5 段 (19:30–22:00) | 徐世珍 | 罗浩文（单）<br>陈中均（双） | 崔海娟 | 高雅纯 | 李海龙 | 周云刚 | 李志杰 |
| 周三 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | 4 段 (16:20–18:50) | 聂湧 | 罗浩文 | 李朝霞 | 高雅纯 | 于景侠 | 王焕文 | 李志杰 |
| | 5 段 (19:30–22:00) | 聂湧 | 罗浩文 | 李朝霞 | 高雅纯 | 李念 | 王焕文 | 李志杰 |

| 上课日期 | 教学周次 | 房间号 | 104 | 108+109 | 116+118 | 119 | 121 | 204 | 206 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 实验号 | （一） | （二） | （三） | （四） | （五） | （六） | （七） |
| | | 实验名称<br>上课班级 | 偏振光实验 | 用拉伸法测杨氏模量 | 光学全息照相 | 霍耳效应测磁场 | 示波器的使用 | 伏安法测非线性电阻 | 牛顿环和劈尖干涉 |
| 9 月 5 日，9 月 12 日 | 1-2 | A-G | 两次理论课时间：9.5（周六）和 9.12（周六），每次 3.4 学时。<br>课程时间、地点详见教务处通知。① | | | | | | |
| 9 月 14 日-16 日 | 3 | 单周班 | A | B | C | D | E | F | G |
| 9 月 21 日-23 日 | 4 | 双周班 | A | B | C | D | E | F | G |
| 9 月 28 日-30 日 | 5 | 单周班 | G | A | B | C | D | E | F |
| 10 月 5 日-10 月 7 日② | 6 | 双周班 | G | A | B | C | D | E | F |
| 10 月 12 日-14 日 | 7 | 单周班 | F | G | A | B | C | D | E |
| 10 月 19 日-21 日 | 8 | 双周班 | F | G | A | B | C | D | E |
| 10 月 26 日-28 日 | 9 | 单周班 | E | F | G | A | B | C | D |
| 11 月 2 日-4 日 | 10 | 双周班 | E | F | G | A | B | C | D |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

**备注**：① 理论课考试安排在 18 周前后进行，具体时间以教务处安排为准。 ② 中间因为放假耽误课程，老师可以协调时间补课，应向教务备案。

# 第二章　大学物理实验内容提要

## （一）“实验误差及数据处理”内容摘要

### 一、测量与误差

1．测量

（1）测量的含义（强调测量是一个过程）、测量的读数（被测量与计量单位的比值）和测量的数据（强调单位）。

（2）测量的四要素：测量对象、测量单位、测量方法和测量准确度。

（3）测量的分类

A．按测量方法分：直接测量和间接测量。

B．按测量条件分：等精度测量与非等精度测量。

2．误差

（1）误差的表述

A．绝对误差（$\Delta'N$）：

$$\Delta'N = N_i\ （测量值）- N\ （真值），$$

它是误差的定义式，有大小、方向（符号）和单位。

偏差（$\Delta N$）：用算术平均值 $\overline{N}$（近真值）代替真值算出的误差称为偏差，表达式为

$$\Delta N = N_i - \overline{N}\ 。$$

B．相对误差 $E$（常表示为百分误差形式）：

$$E = \frac{\Delta'N}{N} \times 100\%\ ，$$

其中 $N$ 定义为真值，在实际计算时，一般多次测量用平均值 $\overline{N}$、单次测量用测量值 $N_i$ 代替。它的大小可反应测量精度（准确度）的高低。

C．修正值 $\Delta$：$\Delta = N$（真值）$- N_i$（测量值）。它与误差的绝对值相等，符号相反，单位相同。

（2）误差的来源（设备、方法、环境和人员）。

（3）误差的分类（按性质分）

A．系统误差：系统误差的含义，特征——确定性；已定系统误差和未定系统误差。

B．偶然误差：偶然误差的含义，特征——随机性；大多数偶然误差遵从正态分布。

正态分布的性质：单峰性、有界性和对称性。

◆ 系统误差与偶然误差的关系及如此分类法的不足。

◆ 粗大误差：明显歪曲测量结果的误差，完全是一种错误（测量结果中不允许粗差的存在）。

（4）精密度、正确度及准确度等名词的含义。

### 二、系统误差的处理

1．系统误差的发现（理论分析法、对比测量法、数据分析法）。

2．如何消除系统误差

（1）对已定系统误差的消除

A．消除产生系统误差的根源

B．找出修正值对测量值进行修正

真值＝测量值+修正值

（2）对未定系统误差的消除

A. 代替法；　　B. 交换法：　　C. 异号法；　　D. 半周期偶次观测法。

注意：多次测量既不能减小系统误差，更不能消除系统误差。

## 三、偶然误差的估算（不考虑系统误差）

1．用算术平均值（即近真值、最佳值）表示测量结果：

$$\overline{N}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}N_i$$

2．用算术平均值（$\overline{N}$ 对真值）的标准偏差表示偶然误差：

$$S_{\overline{N}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(N_i-\overline{N})^2}{n(n-1)}}=\frac{S}{\sqrt{n}}$$

其中 $S$ 是任一次测量值 $N_i$ 的标准偏差，常用于拉依达准则剔除坏值

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(N_i-\overline{N})^2}{n-1}}$$

偶然误差可通过多次测量减小之，但不能消除。

（2）置信概率

结果表达式表明真值以概率 $P$ 出现在区间$[\overline{N}-\Delta N,\ \overline{N}+\Delta N]$中。其中概率

$$P=\int_{-\Delta N}^{+\Delta N}f(\Delta N)d\Delta N$$

称为置信概率。当$\Delta N=3S$时，$P=99.7\%$。

（3）坏值的剔除

极限误差$3S$

拉依达准则

5．误差均分定理

## 四、实验不确定度（测量结果不确定度、不确定度）

1．不确定度（$\sigma$）的概念

它是表征被测量的真值或者误差在某个量值范围内的一个评定，其大小可反映测量结果可信赖程度的高低，用它来评定测量结果的质量比用误差来评定更合适。

2．不确定度（$\sigma$）的两个分量：

（1）A 类不确定度（统计不确定度）分量$u_{\mathrm{A}}$。

$$u_{\mathrm{A}}=\sqrt{u_{\mathrm{A}_1}^2+u_{\mathrm{A}_2}^2+\cdots+u_{\mathrm{A}_m}^2}$$

注意：在教学实验中，对同一物理量进行多次测量，$u_{\mathrm{A}}$只有一个分量。

（2）B 类不确定度（非统计不确定度）分量$u_{\mathrm{B}}$。

$$u_{\mathrm{B}}=\sqrt{u_{\mathrm{B}_1}^2+u_{\mathrm{B}_2}^2+\cdots+u_{\mathrm{B}_n}^2}$$

注意：不确定度分为A 类和B 类，与误差分为偶然误差与系统误差之间没有完全对应的关系。

3．直接测量不确定度的计算方法

（1）A 类（统计）不确定度分量的计算方法：

A 类不确定度计算方法与偶然误差的标准偏差估计相同。

$$u_{\mathrm{A}}=S_{\bar{N}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(N_i-\bar{N})^2}{n(n-1)}}$$

（2）B 类（非统计）不确定度分量的计算方法：

最常采用的是“近似标准差”估计的方法，如果误差是高斯分布，有

$$u_j=\Delta/3$$

如果误差是均分分布，有

$$u_j=\Delta/\sqrt{3}$$

式中Δ 是“误差极限值”。

B 类不确定度主要考虑仪器误差分量$u_{\Delta_{仪}}$和估读误差分量$u_{\Delta_{估}}$，分布全视为均分分布。即

$$u_{\Delta_{仪}}=\Delta_{仪}/\sqrt{3}$$

$$u_{\Delta_{估}}=\Delta_{估}/\sqrt{3}$$

A．仪器误差$\Delta_{仪}$的确定：

<1>．由仪器说明书指示计算。

<2>．指针式电表等：量程×$a$%，$a$为仪器的准确度等级。

<3>．数显电表等：$N\cdot m\%+n$，$N$为测量值，$m$%为相对误差系数，$n$是绝对误差项。

<4>．未知仪器误差的可估读的连续均匀分度的仪器：估计为最小分度值的一半。

<5>．未知仪器误差的不可估读的数字式仪表和游标尺等：估计为最小分度值。

<6>．若测量条件较差，可根据经验估计。

B．估读误差$\Delta_{估}$的确定：

<1>．满足仪器规定的测量条件时，

可连续读数仪器的估读误差取最小刻度的 1/5。

不可估读的数字式仪表和游标尺等不存在估读误差。

<2>．不满足仪器规定的测量条件时，

可连续读数仪器按经验放大估读误差。比如测杨氏模量实验中，镜尺距离 $D$ 取 $\Delta_{D估}$=2 mm。

不可估读的数字式仪表也要按经验取一定的估读误差。比如测杨氏模量实验中，卡尺测量光杠杆长度 $b$，因无法对准而存在估读误差 $\Delta_{b估}$=0.2 mm。

注意：对一个物理量进行多次测量，结果既存在 A 类不确定度分量又存在 B 类不确定度分量，而单次测量只考虑 B 类不确定度分量。即一个测量可以只考虑 B 类不确定度分量，但不能只考虑 A 类不确定度分量，换言之，没有 B 类不确定度的测量是不存在的。

4．合成不确定度（$\sigma$）

$\sigma=\sqrt{u_{\mathrm{A}}^2+u_{\Delta_{仪}}^2+u_{\Delta_{估}}^2}$；　$\sigma=\sqrt{u_{\Delta_{仪}}^2+u_{\Delta_{估}}^2}$（$u_{\mathrm{A}}$ 很小时）；　$\sigma=u_{\Delta_{仪}}$（$\Delta_{估}$ 也很小时）

5．总不确定度（$U$）：

$$U=C\sigma$$

$C$ 是置信因子，如果误差分布是高斯分布

$C=1$，即 $U=\sigma$，置信概率 $P=0.683$；

$C=2$，即 $U=2\sigma$，置信概率 $P=0.954$；

$C=3$，即 $U=3\sigma$，置信概率 $P=0.997$。

6．不确定度的传递（间接测量的不确定度的计算）

$$\sigma_{\overline{N}}=\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\sigma_{\bar{x}}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial y}\sigma_{\bar{y}}\right)^2+\left(\frac{\partial f}{\partial z}\sigma_{\bar{z}}\right)^2+\cdots}$$

$$\frac{\sigma_{\overline{N}}}{N}=\sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x}\sigma_{\bar{x}}\right)^2+\left(\frac{\partial \ln f}{\partial y}\sigma_{\bar{y}}\right)^2+\left(\frac{\partial \ln f}{\partial z}\sigma_{\bar{z}}\right)^2+\cdots}$$

注意：不确定度的传递是对间接测量而言的，即所有间接测量量的不确定度 $\sigma$，都要通过传递公式来计算；同时，传递是每个直接测量量的 $\sigma_i$ 的传递，不是 A 类不确定度分量 $S$ 或 B 类不确定度分量 $u$ 分别的传递，必须要把每个直接测量量的 $S$ 和 $u$ 合成为 $\sigma_i$ 后才能传递。

◆ 微小误差准则——简化误差计算

7．用总不确定度表示测量结果

$N=\overline{N}\pm U$（单位）　（置信度 $P=?$）

$N=\overline{N}\pm\sigma$（单位）　（$P=0.683$）

$N=\overline{N}\pm 2\sigma$（单位）　（$P=0.954$）

$N=\overline{N}\pm 3\sigma$（单位）　（$P=0.997$）

上面的表达式中的 P 都是针对误差分布是正态分布的，若不是正态分布 $P$ 值不尽相同；我们约定，总不确定度 $U=C\sigma$ 中的 C 都取 1，置信度 $P$ 也可不再书写了。

## 五、有效数字和数据处理

1．有效数字的概念

（1）有效数字的含义及科学记数法：

A．强调：测量值可表示为几位可靠加 1-2 位可疑数字，但可疑数字中只有最靠左的一位是有效数字。

B．牢记：误差决定有效数字，而不是有效数字决定误差。

C．记住：5.2 mm≠5.20 mm，末尾的 0 该添则添，不该添一定不能添。

D．注意；十进制单位换算与有效数字的位数无关。

E．应用：未定的误差、不确定度、相对不确定度都是可疑数字。

（2）科学表达式的有效数字规定。

（3）有效数字取位的一些规（约）定：

A．不知道仪器误差、不计算不确定度、有效数字算式中表示为若干可靠加 1 位可疑数字；

B．不确定度计算的中间过程，表示为若干位可靠数字加 1−2 位可疑数字；

C．不确定度结果表达式中，表示为若干可靠数字加 1−2 位可疑数字，可疑位必须对齐；

D．已定的绝对误差、相对误差的有效位数取决于测量值与公认值之差的有效位数。

E．自然数、常数、无理数的有效数字为无穷多位，运算时可根据所需取位。

（4）直接测量的有效数字——如何读数：

读至产生误差的那一位。读至下一位时须申明仪器误差、估读误差的大小。

（5）间接测量的有效数字——有效数字的计算：

A．根据有效数字定义的计算法则的计算（积、差、商、乘方、开方、对数、指数、三角函数的经验规则）。

B．根据不确定度的传递公式确定有效数字的计算方法。

2．数据处理

（1）列表法（作用与要求）

（2）作图法：

A．作图规则（注意：关系曲线与校准曲线作图时的区别）。

B．求直线的斜率与截距。

C．曲线改直的方法与应用。

D．作图法可用来进行直线似合和求经验公式。

（3）逐差法

（4）最小二乘法

A 估读误差．最小二乘法原理。

B．一元一次线性回归

数学模式：$y = bx + a$

则

$$b = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy}}{\bar{x}^2 - \overline{x^2}}$$

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

注意：实际应用中包括 $\bar{x}$ 、$\bar{y}$ 、$\overline{xy}$、$\overline{x^2}$ 共 6 个步骤缺一不可；所有计算步骤中不能按

有效位数规则计算，应保留尽可能多的位数；一般 $a$ 的有效位数同 $y$，$b$ 的有效位数用有效数字规则由下式算出

$$b \approx \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

C．相关系数为 $Y$。

D．最小二乘法可用来进行直线拟合和求经验公式。

E．实际应用时要注意数据间隔尽量选大一些。

## （二）基本实验方法和基本技能学习内容提要

1．基本的实验方法和测量方法

（1）比较法（典型实验是“电桥测电阻”）；

（2）模拟法（典型实验是“静电桥模拟”）；

（3）放大法（典型实验是“拉伸法测金属丝的杨氏模量”）；

（4）补偿法（典型实验是“用电势差计测电动势”）；

（5）干涉法（典型实验是“用牛顿环测平凸透镜曲率半径”）；

（6）转换测量法（典型实验是“超声声速的测定”）；

（7）示波法（典型实验是“示波器的调整与使用”中的“李萨如图形测频率”）。

2．基本实验仪器的结构、测量原理；技术性能；调整使用方法。应掌握的基本仪器；

（1）测长计时类：米尺（卷尺）、游标卡尺、螺旋测微计、移测显微镜（读数显微镜）；秒表。

（2）测温仪器类：酒精温度计、水银温度计、温差电偶。

（3）电学仪器类：稳压电源、电阻箱、滑线变阻器、电流表、电压表、多用表、惠斯登电桥、电势差计、检流计、平衡指示仪、标准电池、示波器、信号发生器等。

使用电学仪器的安全操作方法。

（4）光学仪器类：透镜、光具座、观测望远镜、移测显微镜、精密分光计、光源（白炽灯、钠光灯、汞灯、氦氖激光器）。

光学仪器的维护保养知识。

# 第三章　物理实验

## （一）偏振光实验

### 【安全操作须知】

（一）不得直视激光束，以免灼伤眼睛！

（二）偏振镜、波片不得从光具座上取下，玻砖应轻拿轻放！

（三）不得乱拿其它仪器配套的偏振镜、波片、光具座等。

（四）实验完成后，关闭电源，整理仪器，玻璃砖放回盒子里，所有光具座放在导轨上，光强传感器的遮光罩旋紧。凳子归位，与实验无关的杂物请带离实验室，保持室内清洁卫生。

### 【实验原理】

详见教材：《结构化大学物理实验》（第二版）实验 3.6（参考页码 P.111−120）。

### 【实验目的】

（一）理解光的各种偏振特性；

（二）学会鉴别圆偏振光、线偏振光、椭圆偏振光和部分偏振光；

（三）验证马吕斯定律；

（四）通过测布儒斯特角求材料的相对折射率。

### 【实验内容】

（一）观察起偏和消光现象；

（二）鉴别圆偏振光、线偏振光、椭圆偏振光和部分偏振光；

（三）了解 1/4 波片和 1/2 波片的作用；

（四）验证马吕斯定律；

（五）通过测布儒斯特角求材料的相对折射率。

### 【实验器材】

半导体激光器 1 个，具有测量垂直旋转角度功能的偏振片 2 个、1/4 波片 1 个和 1/2 波片 1 个，带底座玻片 1 个，布儒斯特角专用旋转工作台和转动支架 1 个，普通光具座若干，光学导轨（两组合用）1 条，光强传感器和相对光强测量仪 1 套。

### 【实验步骤及操作】

进行以下操作时，应保证激光束与光学导轨平行，且激光束垂直穿过所有镜片的圆心，到达传感器的中心。

（一）观察起偏和消光现象。

1．起偏：将激光投射到屏上，在激光束中插入一块偏振片，使偏振片在垂直于光束的平

面内转动，观察透过光强的变化，并据此判断激光束（光源）的偏振情况。

2．消光：在第一块偏振片和屏之间加入第二块偏振片，将第一块固定，转动第二块偏振片，观察现象，能否找到一个消光位置，此时两偏振片的位置关系怎样？

（二）验证马吕斯定律

数据记录表见表 1−1。首先在光源后放上 $P_1$，使激光束垂直通过 $P_1$ 中心，旋转 $P_1$ 使光强最强（光电流的读数应在 200−1500 之间），记下 $P_1$ 的角度坐标，再在 $P_1$ 之后加入 $P_2$，使光线垂直通过 $P_2$ 中心，旋转 $P_2$ 到透过之光最强，记下 $P_2$ 的度数，此时 $P_1$ 和 $P_2$ 的夹角为 $\theta$=0° 或 180°，保持 $P_1$ 不动，旋转 $P_2$，每隔 10°记录一次对应的光强值 $I_\theta$，直到旋转 180°。注意光强测试仪的读数与光强成线性关系，但没有定标，$I_\theta$ 单位为 a.u.。

（三）1/4 波片和 1/2 波片的作用

1．1/4 波片的作用：

数据记录及分析表见表 1−2。保持 $P_1$ 不动，记下 $P_1$ 的度数，旋转 $P_2$ 到看到消光现象，记下 $P_2$ 的度数，然后在 $P_1$、$P_2$ 之间插入 1/4 波片 $C_1$，并使 $C_1$ 转动到再次出现消光现象，记下此时 $C_1$ 的度数，然后使 $C_1$ 由消光位置分别再转过 15°、30°、45°、60°、75°、90°时，每次都将 $P_2$ 逐步旋转 360°，观察其间光强的变化情况，试问能看到几次光强极大和极小的现象？各次之间有无变化？为什么？并说明各次由 $C_1$ 透出光的偏振性质。

2．1/2 波片的作用

数据记录表见表 1−3。保持 $P_1$ 不动，记下 $P_1$ 的度数，旋转 $P_2$ 到看到消光现象。

（1）在 $P_1$ 和 $P_2$ 之间插入一个 1/2 波片，将此波片旋转 360°，能看到几次消光？

（2）将 1/2 波片任意转过一个角度，破坏消光现象，再将 $P_2$ 旋转 360°，能看到几次消光？

（3）改变 1/2 波片的光轴与激光通过 $P_1$ 后偏振方向之间夹角 $\theta$ 的数值，使其分别为 15°、30°、45°、60°、75°、90°，把 $P_2$ 旋转 360°寻找消光位置，记录相应的角度 $\theta_{p2}$，解释上面实验结果，并由此总结出 1/2 波片的作用。

（四）通过测布儒斯特角求材料的相对折射率

要测量玻璃的相对折射率，首先要测出空气中平面玻璃的布儒斯特角。为此，必须在光具座上安装旋转工作台和转动支架。参考图 1−1，具体步骤如下：

1．在光具座上装一个移动座，其后再放入专用移动座，并把旋转支架装到专用移动座上，再把旋转工作台装入到专用移动座上，把接收屏装入旋转支架的末端，把偏振片装在工作台与接收屏之间。

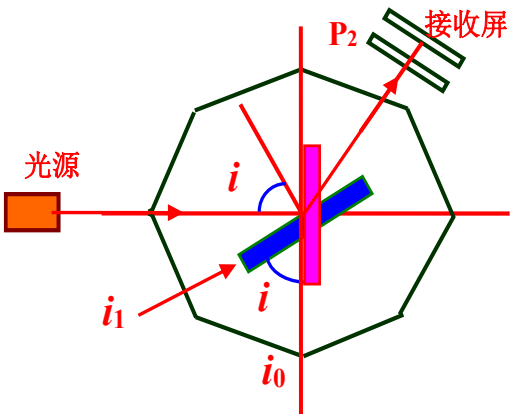


图 1−1. 测量布儒斯特角

2．在移动座上装上光源。并调整反射光、偏振片光轴、接收器光轴在同一平面内。

3．将平面玻璃样品置于旋转工作台中心，并使反射面通过旋转中心，并用压片把样品砖固定。使反射面垂直于入射光，读出此时工作台度数 $i_0$。

转动载物台以改变入射角，致使反射光为线偏振光，即旋转接收屏前的偏振片时会出现消光现象，读出此时旋转工作台的度数 $i_1$，记录到表 1−4。重复 3 次，取 $i_1$ 平均值。

4．$\bar{i}=\left|\bar{i}_l-\bar{i}_0\right|$，$\bar{i}$ 为所测得布儒斯特角。由此公式求出相对折射率：

$$\mathrm{tg}\,\bar{i}=n_2/n_1$$

$$n_2=n_1\cdot\mathrm{tg}\,\bar{i}$$

式中 $n_2$ 为要求的相对折射率， $n_1$ 为空气的折射率，值为 1。（$n_1$ 是多少位有效数字？）

（五）实验操作注意事项

1．半导体激光器功率较强，不要用眼睛直接观察激光，以免损坏眼睛。

2．测量时要使偏振系统的出射光射入探测器的中间部位。

3．不要触摸任何光学镜面。

## 【实验数据记录及数据处理和分析】

（一）验证马吕斯定律

1．表 1−1. 验证马吕斯定律数据记录表

$P_1$=_____， $P_2$=_____

| $P_1$ 和 $P_2$ 之间的夹角 $\theta$ | 0° | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 光强 $I_\theta$ / a.u. | | | | | | | | | | |
| $P_1$ 和 $P_2$ 之间的夹角 $\theta$ | 100° | 110° | 120° | 130° | 140° | 150° | 160° | 170° | 180° | |
| 光强 $I_\theta$ / a.u. | | | | | | | | | | |

2．绘制出 $I_\theta$—$\theta$ 和 $I_\theta$—$\cos^2\theta$ 曲线图。

3．分析 $I_\theta$—$\theta$ 和 $I_\theta$—$\cos^2\theta$ 曲线的含义（紧跟在图后回答）。

（二）1/4 波片的作用

1．表 1−2. 1/4 波片记录分析表

$P_1$=_____， $P_2$=_____， 1/4 波片 $C_1$=_____

| $C_1$ 由消光位置起转动的角度 | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_2$ 旋转 360°，光强有几次极大和极小 | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 极大和极小之间光强变化的程度 | | | | | | | |
| $C_1$ 透出光的偏振性质 | | | | | | | |

2．根据上表总结 1/4 波片的作用（紧跟在表 1−2 后回答）。

（三）1/2 波片的作用（**通过实验回答 1、2 问**）

1．在 $P_1$ 和 $P_2$ 之间插入一个 1/2 波片，将此波片旋转 360°，能看到几次消光？

2．将 1/2 波片任意转过一个角度，破坏消光现象，再将 $P_2$ 旋转 360°，又能看到几次消光？

3．改变 1/2 波片的光轴与激光通过 $P_1$ 后偏振方向之间夹角 $\theta$ 的数值（表 1−3）（注意记录 $P_2$ 旋转 $360^0$ 消光所对应的位置 $\theta_{P_2}$）。

表 1−3　1/2 波片数据记录表

$P_1$=_____，　$P_2$=_____，　1/2 波片 $C_2$=_____

| $\theta$ | 0° | 15° | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_2$ 所在的消光位置 $\theta_{P_2}$：(位置 1)/(位置 2) | | | | | | | |

4．依据上面实验结果，总结 1/2 波片的作用（紧跟在表 1−3 后回答）。

（四）通过测布儒斯特角求玻璃的折射率

1．　表 1−4　测量布儒斯特角实验数据表

| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
|---|---|---|---|---|
| $i_o$ | | | | |
| $i_1$ | | | | |
| $\bar{i}=\lvert\bar{i}_l-\bar{i}_0\rvert$ | | | | |

2．求玻璃的折射率。玻璃的折射率理论值是 1.45845，求其相对误差。（要求有公式和计算过程）

# （二）用拉伸法测金属丝的杨氏模量

## 【安全操作须知】

（一）不使用光杠杆时，应将其放在桌子上，以防摔落损坏！

（二）不得用力拧螺旋测微计的鼓轮，以免损坏仪器！正确方法是：将螺旋测微计旋紧时应该旋转其尾部（右侧）小手轮，直至听到“咔咔”声后即可读数。

（三）在望远镜物镜调焦时，不得用力旋转，否则会损坏望远镜！如果旋转有阻力，表

示调焦旋钮已旋到尽头，只能反向调节。

（四）实验完成后，关闭电源，整理仪器。凳子归位，与实验无关的杂物请带离实验室，保持室内清洁卫生。

## 【实验原理】

详见教材：《结构化大学物理实验》（第二版）实验 3.9（参考页码 P.132−134）。

## 【实验目的】

（一）熟练掌握直尺、游标卡尺、螺旋测微计的使用方法；

（二）学习用拉伸法测试金属丝的杨氏模量；

（三）学习光杠杆放大法法测量微小长度。

## 【实验内容】

测量金属丝的杨氏模量。

## 【实验器材】

拉伸法杨氏模量实验仪，直尺、游标卡尺、螺旋测微计，白炽台灯

## 【实验步骤及操作】

（一）测量前的调整

1．在杨氏模量仪的挂钩上先预置 2.00 kg 砝码，让其拉直金属丝。

2．通过底座螺钉的调节使平台保持水平（避免圆柱体与平台孔壁相碰而出现的摩擦）。

3．调整平台高低位置，让平台面与圆柱体的上柱面在一个水平面上。

4．把光杠杆放在平台上，让其前面的两足在平台的槽内，后足在与金属丝连接的圆柱体的上平面上，不要把后足放在圆柱体上柱面的孔中或圆柱体与平台孔壁的缝隙中，调节光杠杆镜面仰角，使镜面竖直。

（二）用望远镜找通过光杠杆镜面反射的标尺的像

1．升降望远镜的高度，通过目测，使望远镜镜筒的高度与光杠杆的反光镜面基本等高。

2．将望远镜旁的标尺调到竖直，目测其零刻度线近似与望远镜光轴等高，用台灯照亮标尺。

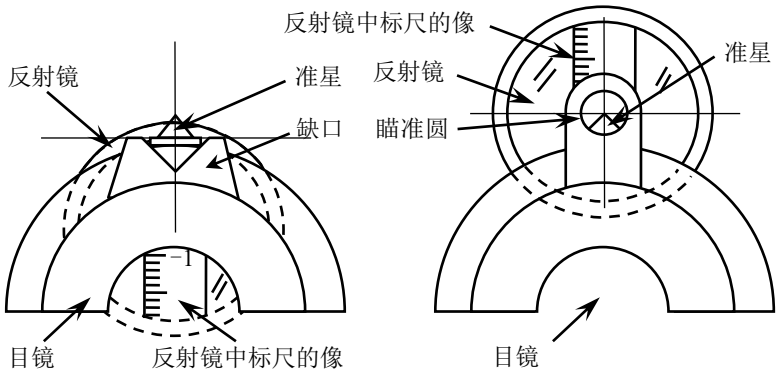
3．自己目测指挥，请同学帮忙调节光杠杆反光镜的仰角，使得望远镜与反光镜中望远镜的像等高。

4．调节望远镜仰角和水平偏向角。对于老式望远镜，使眼睛视线通过望远镜上的“缺口”顶部中心和“准星”的锥形底部平台中心瞄准时，正好对准光杠杆的反光镜顶部中心，如图 2−1（a）所示。对于新式望远镜，使眼睛视线通过望远镜上的“瞄准圆孔”中心和“准星”的

顶端平台中心瞄准时，正好对准光杠杆的反光镜圆心，如图 2−1（b）所示。

5．保持以上瞄准状态，将望远镜左右整体平移，直到标尺的像正好也落在反射镜的中间，形成眼睛、缺口、准星、反射镜、标尺像“五点一线”。

6．调节望远镜目镜焦距到叉丝最清晰，旋转目镜镜筒到叉丝其中的一条完全水平。




（a）老式望远镜　　（b）新式望远镜

图 2−1 望远镜瞄准示意图

7．改变望远镜物镜焦距，直至看清楚镜子的边框，微调调节望远镜仰角、水平偏向角，使镜子的中心与望远镜视场的中心重合。继续改变望远镜物镜焦距直至看到清晰的标尺像。如果标尺的“0”刻度偏离视场中心较远，需要对前面几步进行反复细致的调节。

8．如确认已对准等高仍看不到像，需要冷静思考，认真核对前面几部是否准确完成。

（三）测量

1．如果叉丝横线与标尺像的“0”刻度线很近，可通过望远镜的俯仰角的使其对准；如果不是很近，没必要对准“0”刻度，只要把读数记录下来即可。

2．在挂钩上加重量为 1.00 kg 的砝码（加减砝码一定要轻拿轻放，尽量不引起冲击和摇摆），每加一个 1.00 kg 砝码，通过望远镜的目镜读一次叉丝对准标尺的刻度（注意，要在砝码基本不摆动时读数），直到 9.00 kg；记录完标尺的刻度后，再增加 1.00 kg 砝码到 10.00 kg，不用记录刻度，再取下这个砝码，记录 9.00 kg 砝码的刻度（为什么？），然后每减一个砝码读一次标尺刻度，直到剩下起始的 2.00 kg 砝码，读出最后一个标尺刻度。

3．请同学帮忙用钢卷尺测量镜尺距离 $D$，同学牵到尺的刻度面，自己判断镜面位置并读数。（$D$ 和 $L$ 的测量误差是否就是钢卷尺的仪器误差？估读误差为多少较合适？）

4．将光杠杆从平台上取下，将光杠杆的三尖足压在铺平的实验报告纸 3−4 页中部空白处，压出三尖的位置痕迹，用三角板、0.5 mm 铅笔绘出前两足连线和后足到前两足连线的垂线，用游标卡尺测量垂线长度为光杠杆臂长 $b$。（本测量为何不直接测？测量误差能否达到游标卡尺的仪器误差？）测量后不带磁性的光杠杆必须放在桌的中间，以免跌落损坏。

5．用米尺测量金属丝原长 $L$。注意原长是上夹紧区的下部到光杠杆平台夹紧区的上部之间的长度，每台仪器各不相同，要认真观察，切不可一概认为是裸露部分金属丝的长度。

6．用螺旋测微计量金属丝的直径 $d$（在上、中、下三个部位不同的方向测 9 次）。记住：螺旋测微计不能直接拧紧读数，要记录下螺旋测微计的“零差”，测量后必须旋松后保存。

（四）注意事项

1．调平台水平时，以不发生摩擦（即圆柱体不与平台壁接触）为好，不一定要完全水平。

2．在测量 $\Delta n$ 的过程中，一定要让挂钩上的砝码静止下来才读数，否则误差较大。

## 【实验数据及分析】

（一）测量 $\overline{\Delta n}$ 数据记录表　　仪器误差 $\Delta_{米尺}$ 0.15 mm 、估读误差 $\Delta_{\Delta n估}$ 1 mm

| 砝码总质量 $M$ / Kg | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 8.00 | 9.00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 增加砝码标尺读数 $n_i'/mm$ | | | | | | | | |
| 减少砝码标尺读数 $n_i''/mm$ | | | | | | | | |
| 平均标尺读数 $n_i/mm$<br>$n_i=\frac{1}{2}(n_i'+n_i'')$ | | | | | | | | |

（二）其他直接测量数据记录表

$g_{本地}$= 9.79m/s² （成都）　　单位：mm

| 直径 $d_i$ | 零差 | | 仪器误差 $\Delta_{螺}$ | | | 0.004 | 估读误差 $\Delta_{d估}$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 测量次数 $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | 读数值 $d_i$' | | | | | | | | | |
| | $d_i$= $d_i$' - 零差 | | | | | | | | | |

| 钢卷尺的仪器误差 $\Delta_{卷尺}=(0.2\times 测量值/1000+0.3)$ | | | | 光杠杆长度测量 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 测量 $D$ 的原始读数 | | 测量 $L$ 的原始读数 | | 臂长 $b$ 卡尺原始读数 | |
| 仪器误差 $\Delta_{D卷尺}$ | | 仪器误差 $\Delta_{L卷尺}$ | | 仪器误差 $\Delta_{卡尺}$ | |
| 估读误差 $\Delta_{D估}$ | 5 | 估读误差 $\Delta_{L估}$ | 2 | 估读误差 $\Delta_{b估}$ | 0.2 |
| 镜尺距离 $D$ 测量值（有效数字） | | 金属丝原长 $L$ 测量值（有效数字） | | 臂长 $b$ 测量值（有效数字） | |

（二）数据处理：（以下内容预习时不写，仅供参考，必须有详细的带入计算过程）

1．分别计算 $(n_7-n_3)$、$(n_6-n_2)$、$(n_5-n_1)$、$(n_4-n_0)$，判断 $n-F$ 是否线性关系。

2．合理选择两组数据，计算：　$\frac{\Delta F}{\Delta n}=\frac{(M_j-M_i)\cdot g_{本地}}{n_j-n_i}$

3．计算 $\overline{d}$：　　$\overline{d}=\frac{1}{9}(d_1+d_2+\cdots+d_9)$

4．计算杨氏模量 $\overline{Y}$：　　$\overline{Y}=\frac{8LD}{\pi\overline{d}^2b}\cdot\frac{\Delta F}{\Delta n}$

5．计算 $Y$ 的不确定度。对于直接测量 $L$、$D$、$b$，因为是单次测量，不考虑 A 类不确定度，且仪器误差都小于估读误差的 1/3，所以：

$$\sigma_L=\sqrt{u_{\mathrm{A}_L}^2+u_{\Delta_{卷尺}}^2+u_{\Delta_{L估}}^2}\approx u_{\Delta_{L估}}=\frac{\Delta_{L估}}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_D=\sqrt{u_{\mathrm{A}_D}^2+u_{\Delta_{卷尺}}^2+u_{\Delta_{D估}}^2}\approx u_{\Delta_{D估}}=\frac{\Delta_{D估}}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_b=\sqrt{u_{\mathrm{A}_b}^2+u_{\Delta_{卡尺}}^2+u_{\Delta_{b估}}^2}\approx u_{\Delta_{b估}}=\frac{\Delta_{b估}}{\sqrt{3}}$$

对于直接测量 $d$：　　$u_{A_d}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{9}(d_i-\overline{d})^2}{9(9-1)}}$

$$u_{\Delta_{螺}}=\frac{\Delta_{螺}}{\sqrt{3}}$$

$$u_{\Delta_{d估}}=\frac{\Delta_{d估}}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_d=\sqrt{u_{\mathrm{A}_d}^2+u_{\Delta_{螺}}^2+u_{\Delta_{d估}}^2}\approx\sqrt{u_{\mathrm{A}_d}^2+u_{\Delta_{螺}}^2}$$

$\Delta n$ 可以当作单次直接测量（因读数始终轻微晃动，估读误差 $\Delta_{\Delta n估}$ 取经验值 1 mm）：

$$\sigma_{\Delta n}=\sqrt{u_{\mathrm{A}_{\Delta n}}^2+2u_{\Delta_{米尺}}^2+2u_{\Delta_{\Delta n估}}^2}\approx\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\Delta_{\Delta n估}$$

根据实验条件，$\frac{\sigma_{\Delta F}}{\Delta F}\ll\frac{\sigma_{\Delta n}}{\Delta n}$，可以忽略 $\frac{\sigma_{\Delta F}}{\Delta F}$，所以：

$$\sigma_Y=\overline{Y}\cdot\sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2+\left(\frac{\sigma_D}{D}\right)^2+\left(2\frac{\sigma_d}{d}\right)^2+\left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{\overline{\Delta n}}}{\overline{\Delta n}}\right)^2}$$

6．结果表达式：　　$Y=(\overline{Y}\pm\sigma_Y)N\cdot m^{-2}$

【选作 1】：用作图法或者求相关系数判断 $n-F$ 是否线性关系。

【选作 2】：合理选择 5 组数据，用最小二乘法计算 $\frac{\Delta F}{\Delta n}$。（6 个步骤写全）

【选作 3】：用最小二乘法计算 $\sigma_{\Delta F/\Delta n}$。（估读误差 $\Delta_{\Delta n估}$ 为 1 mm，步骤要写全）

【选作 4】：用最小二乘法计算 $\sigma_{\Delta F/\Delta n}$ 时，上式中 $\frac{\sigma_{\overline{\Delta n}}}{\overline{\Delta n}}$ 置换为 $\frac{\sigma_{\Delta F/\Delta n}}{\Delta F/\Delta n}$。

# （三）激光全息照相

## 【安全操作须知】

（一）不得直视激光束，以免灼伤眼睛！

（二）禁止用手触摸光学元件面！注意不要擦伤、损伤光学元器件和全息干板。

（三）全息干板要避光保存。

（四）激光器不得频繁开关！实验完成后再关激光器电源。

（五）曝光过程中切勿触及全息实验台，不要随意走动，以免引起振动或气流扰动，影响全息图质量。

（六）实验完成后，关闭电源，整理仪器。凳子归位，与实验无关的杂物请带离实验室，保持室内清洁卫生。

## 【实验目的】

（一）了解全息照相的基本原理和主要特点。

（二）学习由全息图再现物像的原理。

（三）学习并掌握全息照相的基本实验技术和技巧。

## 【实验原理】

详见教材：《结构化大学物理实验》（第二版）实验 10.4（参考页码 P.428−434）。

## 【实验仪器】

He-Ne 激光器（1—3mW），全息平台及其光学附件【分束板，全反射镜（2 个），扩束镜（2 个），有关光学元件调整架】，电磁快门，搪瓷盘，全息干板，洗相设备(显影、定影及漂白药水)，安全灯。

## 【实验内容与方法提示】

本实验的关键是如何拍到一张较高质量的全息图，理解并掌握拍摄的技术要点。

1．实验光路。拍摄全息图的光路如图 3-1 所示。

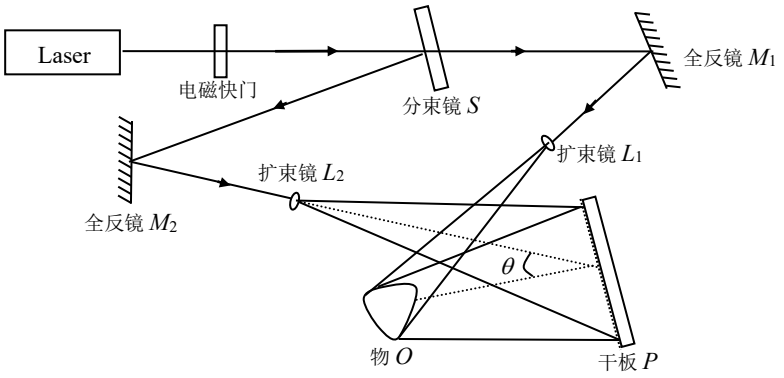



图 3-1 全息照相光路

2．光路调节

光路调节是本实验的重要内容，也是拍好全息图的关键。首先了解各仪器的结构与功能，熟练掌握其使用与调节方法。并在干板架上插入白屏（用以接收光），然后按图 4 在全息平台上布置光路。

光路调节要点：

（1）激光器发出的光线及经过全反镜、分束镜反射后的光线构成的平面应与平台平面平行。

具体作法是，在光具座上插入带有十字刻线的白屏（也可利用扩束镜的通光小孔），首先调节激光器的俯仰，使十字屏在平台上移动到不同位置时，细激光束始终照在十字中心，说明激光器出射的细光束与平台平行（这一步实验室已经调节好）。然后，按图 3-1 布置各元件（先不要放置扩束镜，且各元件合理分布在平台的较大范围，不要挤在一块。分束镜反射的光作为参考光，其透射光作物光）。调节分束镜、反射镜的高低、俯仰，使它们反射的细激光束均照在白屏的十字中心，这样，细激光束构成的平面与全息平台平行。调节物体的高低，使细激光束照在物的中心。

（2）参考光与物光中心线的夹角$\theta$ 约为 20°～30°左右。物离干板在 10～20cm 为宜，太远则物光太弱。$M_1$反射的细激光束尽量照在物的正面，且尽量使干板平面正对物的正面（如同一般照相时，灯光从人的正前方照射，照相机也在人的正面拍摄一样）。

（3）为了保证物光和参考光相干，用分束镜将一束光分为两束光，它们经过不同的路径在干板平面相遇干涉，但**必须保证物光光程与参考光光程相等**。物光与参考光的起点是分束镜，终点是干板平面。实验中用线绳测量判断两束光的光程是否相等。

（4）细激光束直射在物中心和白屏中心，最后加入扩束镜，$L_1$ 扩束的光把物均匀照亮，$L_2$扩束的光把白屏均匀照亮。然后去掉白屏，眼睛处于干板位置的后方观察，微微转动物（不可移动，否则改变光程）使看到的物形象最好，且反射的光最强。

（5）物光与参考光光强之比满足要求。具体做法是，关掉照明灯和电磁快门，在干板架上插好光电池，打开灵敏电流计，调节零点；再打开电磁快门，挡住物光测量参考光照射时灵敏电流计偏转的格数；然后挡住参考光测量物光照射时灵敏电流计偏转的格数，格数之比即为光强之比。如果不满足要求，可以调节 $L_1$ 到物或 $L_2$ 到干板的距离，再次测量。（注意：测量时不要碰任何元件，防止光路变化；测量完毕，把电流计旋置短路。）

**注意：**光路调节中严禁用手触摸所有的光学元件表面，也不允许用擦镜纸、干棉花、手帕擦拭。发现有污垢或灰尘，请教师处理。

本实验所用分束镜透过率为 70%左右，故选用透过光作为物光源，针对实际情况，可先调节物光。在调节激光器、分束镜、反射镜的高低、俯仰，使它们出射、反射的细激光束均照在白屏的十字中心的基础上，按图 4 放置分束镜 $S$、全反镜 $M_1$、被拍物及白屏。调节 $M_1$ 反射角度以及物的高低，使反射的点光束射在物体中部，旋转放置物体的底座或白屏的角度，使白屏接收到的被物体反射的光斑最强且在白屏中部，然后在 $M_1$ 及物体之间加入扩束镜 $L_1$，以将 $M_1$ 反射的点光束扩束并正好照亮整个物体，此时沿着被物体反射的光线方向在白屏中应看到清晰的物体轮廓像，至此物光调节完毕。然后按照物光、参考光等光程、夹角合适的要求，调整分束镜 $S$ 的反射角度以及全反镜 $M_2$ 的位置与反射角度，使参考光入射到白屏中部，再加扩束镜 $L_2$ 将点光束扩束合适。

3．干板曝光

一切准备工作就绪后，关掉电磁快门，在全暗或极暗绿灯下放置干板，乳胶面朝着物体（用干净的手指拿着干板的棱边，用手指在干板一角的两面轻轻一摸，粗糙者即为乳胶面）。曝光时间与光强大小、显影温度有关，视具体情况而定。

**注意**：一切准备就绪后，稳定几秒钟再打开电磁快门曝光；在曝光过程中严防震动，身体不要接触平台，不能说话和来回走动。

4．干板的冲洗

曝光后的干板在暗室冲洗，按显影－水洗－定影－水洗－晾干的程序处理。显影时间由实验室提供，显影过程中可在暗绿光下观察，防止显影不足和过度。显影时须注意：干板不能长时间置于绿灯下，以防干板二次曝光，影响衍射光的透过率。

**注意**：显影时干板不能长时间置于绿灯下，以防干板二次曝光，影响衍射光的透过率；显影液和定影液不要搞混；干板的乳胶面朝上；不要用手摸乳胶面，防止脱落；水洗后自然晾干；保持暗室的卫生整洁。

干板的冲洗详细操作流程是分别在暗室的操作台 1 和 2 上完成。

**操作台 1**（暗室进门左前方靠窗户处）：**极暗**绿灯辅助照明(绿光灯朝向墙壁).

**显影**(约 30 秒) ⟹ **水洗** ⟹ **定影**（3 分钟）

**操作台 2**（暗室进门右侧）：

**漂白**（黑色消失，观察到玻璃透明即可） ⟹ **水洗** ⟹ 冷风**吹干**

5．全息图再现

**虚像观察**：将晾干的全息图放回原位置，用原参考光照射，去掉物，在全息图的后方观察，即可看到位置、大小与原物一模一样的清晰逼真的三维立体像。

（1）改变参考光到物的距离，可以使再现像放大或缩小，此时，再现像的清晰程度有所改变。

（2）挡掉全息图的一部分，仍然可看到完整的物体像。

**实像观察**：去掉扩束镜，用细激光束照射（增大再现光的强度），在全息图的另一边用白屏可以接收到共轭实像。

## 【实验结果及分析】

1．全息照相是否成功？为什么？有哪几条成功的经验？

2．分析全息照相与普通照相的异同。

## 【分析与思考】

为什么用全息图的一部分也能再现整个物体的像？

全息照相的实验技术要求是什么？

为什么要求光路中的物光与参考光的光程尽量相等？

为什么个别光学元件安置不牢靠，将导致拍摄失败？

用两个激光器分别作为物光源和参考光源，能否记录全息图，为什么？

直接记录干涉图的底片在显影后形成一张全息负片，用此负片可复制全息图正片，试问正片和负片的重现像有何区别？重现像的反衬是否相反（如同普通照相的正负片），为什么？

若全息片不小心打碎，用其中一个块再现来观察其虚像，下面哪种说法是正确的？（　　）

(1) 再现原物的一部分。

(2) 完全不能再现虚像。

(3) 能再现完整的虚像，和没打碎的整块全息照片再现的虚像毫无差别。

(4) 能再现完整的虚像，但衍射效率降低。

(5) 能再现完整的开业像，但分辨率降低。

(6) 能再现完整的虚像，和整块全息片再现的虚像毫无差别，仅仅观察起来不太方便。

用投影仪和显微镜观察到的条纹是什么条纹？它们是不是同一性质的条纹？作了这一对比观察后你有什么体会？

做实验时，如何调整判断实验光路中各器件的共轴？

# （四）霍耳效应法测量磁场

## 【安全操作须知】

（一）改变霍尔元件位置时，不得拉扯导线，请推拉管状连杆。

（二）不要频繁拨动工作电流和励磁电流的换向开关！应测一组数据（即：改变霍尔元件的所有位置或改变励磁电流的全部大小）后才拨动一次换向开关。以免影响开关寿命和读数的稳定性。

（三）认真检查各插头和连线，确保连接正确后才能通电！常规仪器的电源开关在仪器背后右侧。

（四）如发现电路异常要果断断电！然后检查电路，排除故障。

（五）拔插头时不得拉电线，应另一只手压住模块或线圈。

（六）整理好模块、电线，凳子归位，清理杂物后才能离开实验室。

## 【实验原理】

详见教材：《结构化大学物理实验》（第二版）实验 5.3（参考页码 P.221−224）。

## 【实验目的】

（一）学习用霍耳效应法测量磁场的方法。

（二）掌握消除霍耳效应负效应（系统误差）的方法。

## 【实验内容】

（一）测量螺线管轴线上各点霍尔电压测量值。

（二）测量螺线管轴线上中点霍尔电压测量值随螺线管励磁电流的变化。

## 【实验器材】

（1）常规仪器：LV528 型测量磁场综合实验仪 1 台，霍尔传感器组件 1 套（霍尔灵敏度 $K$=171 mV/mA/T）；600 mm 双头香蕉插头硅胶线红色、黑色各 1 根。

## 【实验操作步骤】

1．操作常规仪器的同学按图 4−1 接好电路。霍尔传感器标尺杆的 1 脚（红色插头）、3 脚（黑色插头）为工作电流输入端，分别接仪器面板“$I_H$ 电源”的正、负端； 2 脚（黄色插头）和 4 脚（黄色插头）为霍尔电压输出端，分别接仪器面板“传感器输出电压 $V_H$”的两端。完成后跳到第 4 步。

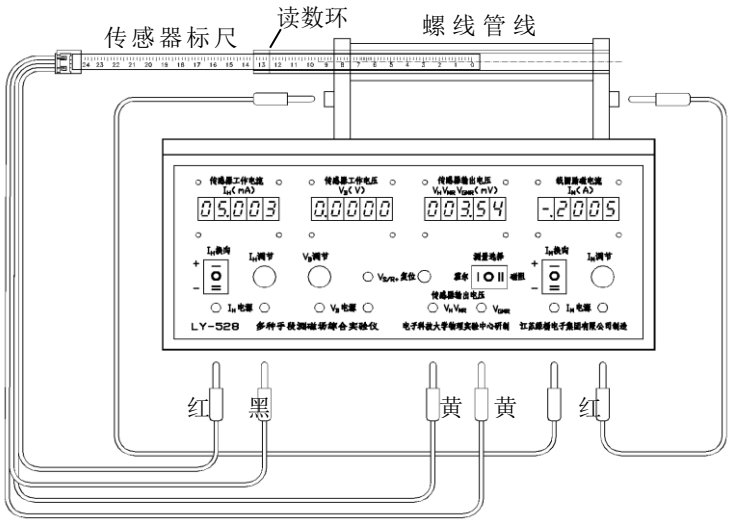



图 4−1 常规仪器做霍尔效应实验连线

2. $I_H$ 和 $I_M$ 的调节方法：通过调节常规仪器面板上或模块化仪器对应模块上的相应多圈电位器旋钮调节 $I_H$ 和 $I_M$。由于所有测量数显表精度等级为 0.1%，超出了 $I_H$、$I_M$ 电位器的调节分辨力，如果无法准确调节到 $I_H$=5.000mA、$I_M$=0.2000A 等，就调到附近的稳定数值，比如 4.992mA、5.003mA、0.1998A、0.2005A 等，并修改相应的数据表格即可。

3. $I_H$ 和 $I_M$ 换向开关都是三态开关，除了按 “一”接通“+”（“b”）、按“二”接通“-”（“a”）外，按向中间位置“O”则全断开。在 $I_M$ 换向开关按向中间位置“O”时，$I_M$=0，可以方便读取磁场为零时霍尔电压的零差读数。

4．霍尔传感器标尺杆坐标 $x'$ 如图 4-2 所示。标尺杆坐标与表 4-1 中位置坐标 $x$ 相差 50.0mm。所以，$x$=$x'$-50.0mm，即表中读数 $x$ 值为“标尺杆读数-50.0mm”；或 $x'$=$x$+50.0mm，即标尺杆读数为表中 $x$+50.0mm。例如：表中第一列 $x$=-30.0mm，就应该将标尺杆的 $x'$=-30.0+50.0=20.0mm 对准读数环。图 4−2 中“标尺杆读数”=125.0mm，则 $x$=125.0-50.0=75.0mm 为霍尔传感器在线圈轴线中点的位置（螺线管长度约 150mmm）。

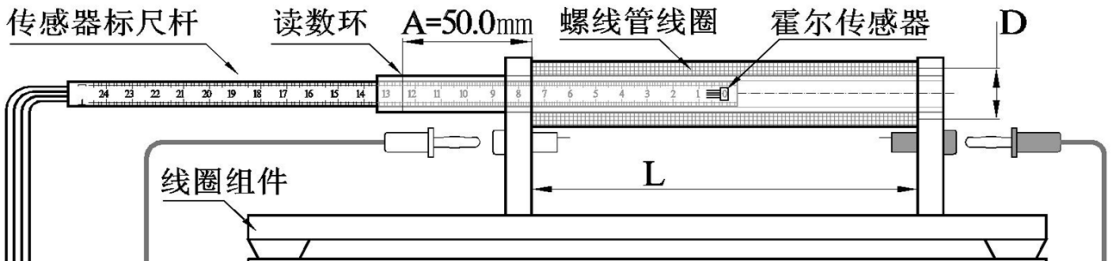



图 4−2 霍尔传感器在线圈轴线中点（$x$=75.0mm）时标尺杆读数（125.0mm）示意图

测量时在螺线管最左端附近应对称地多测几组数据，推荐的测量点详见表 4−1。测量结果记入表 4−1。

5．将霍耳元件往螺管线中间推动。读出霍耳元件在不同位置时毫伏表读数 $V_i$，对应的霍

耳电压就是$V_{Hi}=V_i-V_{0i}$。其中零差$V_{0i}$是未加磁场$I_H$调为5.000 mA时，将励磁电流换向开关置于“O”）测得的霍尔电压值。

6．为消除副效应，改变霍尔片的工作电流方向和磁场方向测量对应的霍耳电压。

7．将霍耳元件调距螺线管中部$x$=75.0mm处（$x'$=125.0mm），调节$I_M$旋钮，使$I_M$在0.0－220.0mA范围内变化，每改变20.0mA测一组霍耳电压记入表4-2。测量时要注意副效应的消除。

8．记下霍耳元件的霍耳灵敏度$K$=171 mV/mA/T和霍耳工作电流$I_H$。

9．将印在仪器上的螺线管参数包括编号、匝数$N$、长度$L$、平均半径$R$全部作为原始数据进行记录。注意每台仪器的螺线管参数不一样。螺线管线圈左右接线柱（即“红”、“黑”）分别接励磁电流，即仪器面板“$I_M$电源”的“正”、“负”端，这时磁场方向为左边N右边S。

10.【选作】：将“电压表量程”选择按键开关置于“20” mV挡，把霍尔传感器从线圈中取出，不断改变方向测量地磁场，能否大致判断地磁场S极方向？能否定量地测定水平分量方向（相对于实验桌前边）？霍尔传感器能否当指南针用？为什么？

## 【实验数据及分析】

1．数据记录参考表格

实验分组：第_____组，　实验采用 常规 _____仪器，　螺线管编号：No._____，

线圈匝数：$N$=_____，　线圈长度：$L$=_____，　线圈平均直径：$D$=_____，

励磁电流：$I_M$=_____，　霍尔灵敏度$K$=_____，　霍耳工作流：$I_H$=_____。

表4−1. 螺线管轴线上各点霍尔电压测量值和磁场强度计算值及误差

零差（$I_M$=0.0000A时）：$V_{01}$=_____，$V_{02}$=_____，$V_{03}$=_____，$V_{04}$=_____

| $x$ / mm 测量项目 | −30.0 | −20.0 | −12.0 | −7.0 | −3.0 | 0.0 | 3.0 | 7.0 | 12.0 | 20.0 | 40.0 | 75.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_1$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_1$- $V_{01}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_2$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_2$- $V_{02}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_3$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_3$- $V_{03}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_4$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_4$- $V_{04}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_H$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $B$ / mT | | | | | | | | | | | | |
| $B_{理}$ / mT | * | * | * | * | * | | * | * | * | * | * | |
| $B-B_{理}$ / mT | * | * | * | * | * | | * | * | * | * | * | |
| 相对误差 | * | * | * | * | * | | * | * | * | * | * | |

注：1、下课前计算出各点处霍尔电压值和螺线管中点处磁场强度的理论值后老师检查。

2、【选作】计算打*的内容。

表 4–2. 不同励磁电流下螺线管中点霍尔电压测量值和磁场强度计算值及误差

零差（$I_M$= 0.0000A 时）：$V_{01}$=_____，$V_{02}$=_____，$V_{03}$=_____，$V_{04}$=_____

| $I_M$ / A<br>测量项目 | 0.0000 | 0.0200 | 0.0400 | 0.0600 | 0.0800 | 0.1000 | 0.1200 | 0.1400 | 0.1600 | 0.1800 | 0.2000 | 0.2200 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_1$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_1$- $V_{01}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_2$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_2$- $V_{02}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_3$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_3$- $V_{03}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_4$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_4$- $V_{04}$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $V_H$ / mV | | | | | | | | | | | | |
| $B$ / mT | | | | | | | | | | | | |

2．数据处理

（1）计算各个 $V_H$ 和 $B$ 值（$B=\dfrac{V_H}{KI_H}$），填在表中。本实验不易按教材上的方法直接判断 $V_1$、$V_2$、$V_3$、$V_4$ 的顺序，可以先不管顺序，自行任意约定 $V_i$ 对应的 $I_H$ 和 $I_M$ 开关方向，测完后先减去零差 $V_{0i}$。在螺线管中部附近，减去零差 $V_{0i}$ 后为正值的两组 $V_i$ 规定为 $V_1$ 和 $V_3$，为负值的另外两组 $V_i$ 规定为 $V_2$ 和 $V_4$，再代入公式 $V_H$ =【（$V_1$- $V_{01}$ ）−（$V_2$- $V_{02}$）+ （$V_3$- $V_{03}$）−（$V_4$- $V_{04}$）】÷4 计算。

（2）由坐标纸绘制 $B-x$ 曲线。

（3）绘制 $B-I_M$ 曲线，说明磁感应强度和励磁电流的关系。

（4）如图 4-4，螺线管轴线上磁场的理论值按照公式 $B=\dfrac{\mu_0}{2}nI_M(\cos\beta_2-\cos\beta_1)$ 进行计算，式中真空的导磁率 $\mu_0$=4π×10$^{-7}$ N·A$^{-2}$，本实验已知线圈直径、长度和轴线上被测点坐标，计算公式变换为如下：

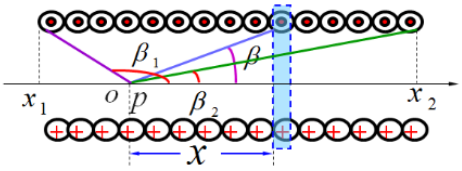


图 4-4 螺线管轴线上磁场的计算

螺线管轴线上中点（x=75.0mm）处：$B_{理}=\dfrac{\mu_0 NI_M}{\sqrt{L^2+D^2}}$；螺线管轴线上端点（x=0.0mm）处：$B_{理}=\dfrac{\mu_0 NI_M}{2\sqrt{L^2+(D/2)^2}}$，分析这两点 $B_{理论}$与实测不能吻合的原因。

（5）【选作】：在前面的 $B$~$x$ 图内绘出 $B_{理论}$~$x$ 曲线，两曲线进行比较。磁场的理论值为：

$$B_{理}=\frac{\mu_0 NI_M}{2L}\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+(D/2)^2}}+\frac{L-x}{\sqrt{(L-x)^2+(D/2)^2}}\right)$$

分析两曲线不能吻合的原因。

# （五）示波器的使用

## 【安全操作须知】

（一）不要旋转、插拔超声换能器测量架，以免损坏仪器。

（二）关闭数显型函数发生器A源的功率开关，不打开A源和B源的其他功能开关。

（三）实验完成后，关闭电源，整理仪器。凳子归位，与实验无关的杂物请带离实验室，保持室内清洁卫生。

## 【实验原理】

详见教材：《结构化大学物理实验》（第二版）实验 2.4（参考页码 P64−72）。

## 【实验目的】

（一）掌握用示波器观测波形和测量波形的方法。

（二）掌握用李萨如图形测量频率和相位的方法。

## 【实验内容】

（一）调整示波器，观察各种波形。

（二）测量正弦波的峰－峰电压 $V_{PP}$ 和周期。

（三）用李萨如图形测量正弦波的频率。

## 【实验器材】

双踪示波器一台，数显低频信号发生器一台（含 50.00 Hz 固定信号源），指针式低频信号发生器一台，电缆若干。

## 【实验步骤及操作】

（一）测正弦波的峰－峰值电压和周期

将模拟信号源（以下简称 B 源）的 50.00 Hz 市电（误差范围约±0.03 Hz）正弦波输出接口（也可以用数显信号源（以下简称 A 源）背面注有“∿”标记的 50.00 Hz 市电正弦波输出接口）与示波器的“CH2”通道相连，将示波器输入信号耦合开关置于“AC”，按下“CH2”键，适当调节 CH2 通道灵敏度和扫描频率，直至荧光屏上出现稳定的正弦波，测量其峰－峰值电压 $V_{PP}$ 和周期 $T$。（注：按厂家使用说明书提供的技术规范，绿杨 YB4320/20A 模拟示波器 CH1、CH2 的电压灵敏度和扫描时间的相对仪器误差都是±5%。）（以下仅供参考：鼎阳 SDS1000CML/CNL/DL 数字示波器 CH1、CH2 的灵敏度≤100 mV/div 时直流电压测量仪器误差为±（3%×|实际读数|+4%×|垂直位移读数|）+0.2 格+2 mV)；灵敏度>100 mV/div 时直流电压测量仪器误差为±（3%×|实际读数|+4%×|垂直位移读数|)+0.2 格+100 mV),时基相对仪器误差为±100 ppm,即±0.01%）

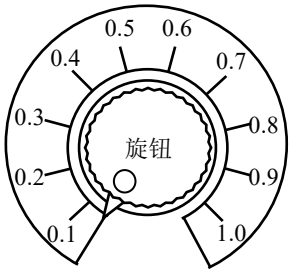


图 5.1 被校信号源（B源）频率调节旋钮和刻度结构

（二）用李萨如图形法校准指针式信号源

1. 保持 A 源的连接，示波器选择“X－Y”工作方式，模拟信号源（以下简称 B 源）信号源输出端与示波器的 CH1（X）通道相连，B 源信号输出选择正弦波，输出频率范围开关选择合适量程，旋转频率调节旋钮（如图 5-1）到 25 Hz 附近，改变 B 源频率，观察荧光屏上图形的变化，使得屏幕上出现尽可能稳定的李莎如图形，对照数据表中各李莎如图形，与屏幕符合时，将此时的信号源频率记入相应的 $f_x$ 表格中，已知“CH2”（Y）输入信号为标准源——市电频率 30 Hz，计算“CH1”（X）通道信号的频率，并与信号源的输出频率比较。计算出 B 源 15−100 Hz 几个测量点的频率修正值。

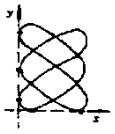
2. A 源信号输出也选择正弦波，改变 A 源频率为 300 Hz、3000 Hz，将 A 源作为标准源，用李萨如图形法对 B 源相应频段进行校准，测出 B 源频率的频率修正值。

## 【实验数据及分析】

1．测正弦波的峰－峰值电压和周期

| | 测量电压峰峰值 | | 测量周期 | |
|---|---|---|---|---|
| 倍率 | $V$ /(V/Div) | | $t$ /(ms/Div) | |
| 长度 | $H$ / Div | | $L$ / Div | |
| 测量结果 | $V_{pp}=V\cdot H$ / V | | $T=t\cdot L$ / ms | |

2．用李萨如图形法校准 B 源正弦波的频率（如果频段很宽，本表可以继续加行）

| 标准频率 $f_y$ | 李萨如图形 |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_x$ | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | $N_y$ | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| | $f_y : f_x$ | 1：1 | 1：2 | 1：3 | 2：3 | 2：1 |
| 30 Hz | $f_x'$ (被校频率) / Hz | | | | | |
| | $f_x=\frac{N_y}{N_x}f_y$ (标准值) / Hz | | | | | |
| | $f_{x修正}=f_x-f_x'$ / Hz | | | | | |
| 填 300 Hz 附近稳定值 | $f_x'$ /kHz | | | | | |
| | $f_x$ / kHz | | | | | |
| | $f_{x修正}$ / kHz | | | | | |
| 填 3000 Hz 附近稳定值 | $f_x'$ / kHz | | | | | |
| | $f_x$ / kHz | | | | | |
| | $f_{x修正}$ / kHz | | | | | |

1． 画出 B 源的校准曲线。（提示：由于频率、修正值跨度大、数据间隔不均匀，建议采取分段坐标。以被校频率和修正值分别作为 x-y 作图。）

## 【思考题】

1、为什么用市电频率而不是 A 源 50Hz 作为校准 B 源波段的标准频率？A 源、B 源频率测量值的有效数字位数如何确定？B 源频率调节旋钮位置如图 5.1，测量结果是几位有效数字？

2、简叙示波器的扫描电路和同步电路的工作原理，说明模拟示波器如何显示稳定的波形？你认为数字示波器的扫描、同步原理是否相同？为什么？

3、实验用示波器测量电压、周期的仪器误差分别应该是多少？测量结果的有效数字应该读几位？为什么？

4、如果示波器已连接电源且电源开关已经打开，已经在 CH1 通道接上待测外接交流电压信号，但屏幕上看不到波形，你认为是示波器的那些操作不正常造成的？为什么？

# （六）伏安法测量非线性电阻

## 【安全操作须知】

（一）按照图6-5至图6-8正确连接线路，禁止乱拿其它仪器和导线！

（二）确保稳压电源输出电压和限流值最小、变阻器中间抽头输出电压最小时才能通电！以免烧毁电表和电阻。

（三）通电后在监控各电表下缓慢增大输出电压，如有异常应果断关闭电源，检查并排除故障后再小心通电！

（四）测量时，电表应平放，选取合适的量程，以减小误差。

（五）实验完成后，关闭电源，整理仪器，将导线拆下整理好。

## 【实验原理】

参见教材：《结构化大学物理实验》（第二版）实验 11.1（参考页码 P449−451）。

### （一）用伏安法测固定电阻（要求相对不确定度不大于 1.0%）

1．伏安法测固定电阻的基本原理是欧姆定律

$$R=\frac{V}{I} \tag{6−1}$$

式中：$V$—电阻两端的电压（V）；$I$—流经电阻的电流（A）；$R$—待测电阻（Ω）。

2．电流表接法

（1）电流表外接，如图 6−1 所示

$R_x$ 两端电压为 $V_x$，$I=I_x+I_v$，由电流表和电压表读数计算的结果实际是 $R_x$ 与电压表内阻 $R_v$ 的并联电阻 $R_x'=\dfrac{R_xR_v}{R_x+R_v}$，所引入的方法误差用相对误差表示为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x}=\frac{R_x}{R_x+R_v} \tag{6−2}$$

由式（6-2）知，当 $R_x << R_v$ 时，即小电阻测量宜采用电流表外接线路，方法误差较小。

电流表外接法扣除电压表内阻 $R_v$ 的影响后，实际测量值为

$$R_x = \frac{R_v R'_x}{R_v - R'_x} \tag{6-3}$$

（2）电流表内接，如图 6-2 所示：

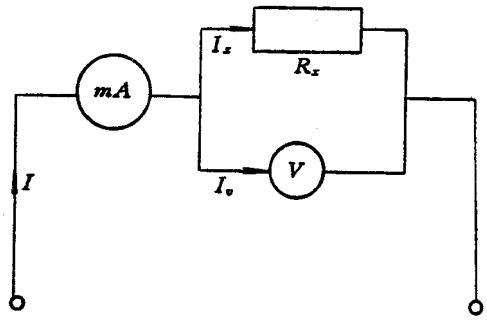



图 6-1 电流表外接法

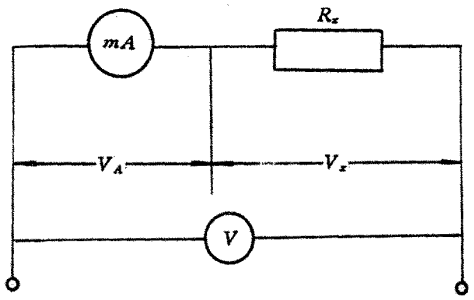



图 6-2 电流表内接法

$V = V_A + V_x$，$I = I_x$，则 $R'_x = \frac{V}{I} = \frac{V_A + V_x}{I_x} = R_A + R_x$，引入的方法误差用相对误差表示为

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x} \tag{6-4}$$

由式（6-4）知，当 $R_x >> R_A$ 时，即大电阻测量宜采用电流表内接线路，方法误差较小。

电流表内接法扣除电流表内阻 $R_A$ 的影响后，实际测量值为

$$R_x = R'_x - R_A \tag{6-5}$$

不管是那种接法，要准确地进行测量，都要按式（6-3）或（6-5）修正方法误差。

（3）电表的选择

本实验要求修正系统误差即电表的内阻影响，以下分析不考虑 A 类不确定度，且指针式电表的设计已经使得估读误差小于仪器误差的 1/3，所以只考虑仪器误差，即相对不确定度

$$\frac{\sigma_{Rx}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_I}{I}\right)^2} \approx \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{\Delta_{V仪}}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{I仪}}{I}\right)^2} \le 1.0\% \tag{6-6}$$

由误差均分原则有

$$\left(\frac{\Delta_{V仪}}{V}\right)^2 = \left(\frac{\Delta_{I仪}}{I}\right)^2 \le \frac{1}{2}\left(\sqrt{3} \times 1.0\%\right)^2, \quad \frac{\Delta_{V仪}}{V} = \frac{\Delta_{I仪}}{I} \le \sqrt{1.5} \times 1.0\% = 1.2\%$$

故应选 1 级电压表和 1 级电流表。实际测量时无法保证误差完全均分，所以选用 0.5 级电压表和电流表比较可靠。

（4）确定测量条件

量程的选择应根据 $R_x$ 的估值来定

①测量 $R_{x_1} \approx 51\Omega/1\text{W}$（电流表外接）

对 0.5 级电压表，采用 1.5V 量程档时

②$R_{x_2} \approx 1\text{K}\Omega/1\text{W}$（电流表内接）

还是 0.5 级电压表，采用 7.5V 量程档时

$$I_{\max}=\frac{V}{R_{x_1}}=\frac{1.5}{51}=29.4(mA)<30(mA)$$

故电压表选 1.5V 档，电流表选 30mA 档。

根据误差要求计算电压及电流的测量范围。

$\Delta_{V仪}=$量程$\times 0.5\%=1.5\text{V}\times 0.5\%=0.0075\text{V}$

又 $\dfrac{\Delta_{V仪}}{V}=\dfrac{0.0075}{V}\le 1.2\%$

所以 $V\ge\dfrac{0.0075}{1.2\%}\ge 0.63(\text{V})$

故选定电压测量范围 $0.63\text{V}\le V\le 1.5\text{V}$。

$\Delta_{I仪}=$量程$\times 0.5\%\le 30\text{mA}\times 0.5\%=0.15\text{mA}$

又 $\dfrac{\Delta_{I仪}}{I}=\dfrac{0.15}{I}\le 1.2\%$

所以 $I\ge\dfrac{0.15}{1.2\%}\ge 13(\text{mA})$

故电流测量范围 $13\text{mA}\le I\le 30\text{mA}$。

（5）确定工作电压

① $R_x=51\Omega$，$P=1\text{W}$，由 $P\ge\dfrac{V^2}{R}$，

有 $V\le\sqrt{PR}\le\sqrt{1\times 51}\le 7(\text{V})$

电压表量限 $E=1.5\text{V}$ 满足要求。

$$I_{\max}=\frac{V}{R_{x_1}}=\frac{7.5}{1000}=7.5(\text{mA})<15(\text{mA})$$

故电压表选 7.5V 档，电流表选 15mA 档。

$\Delta_{V仪}=$量程$\times 0.5\%=7.5\text{V}\times 0.5\%=0.038\text{V}$

又 $\dfrac{\Delta_{V仪}}{V}=\dfrac{0.038}{V}\le 1.2\%$

所以 $V\ge\dfrac{0.038}{1.2\%}\ge 3.2(\text{V})$

故选定电压测量范围 $3.2\text{V}\le V\le 7.5\text{V}$。

$\Delta_{I仪}=$量程$\times 0.5\%\le 15\text{mA}\times 0.5\%=0.075\text{mA}$

又 $\dfrac{\Delta_{I仪}}{I}=\dfrac{0.075}{I}\le 1.2\%$

所以 $I\ge\dfrac{0.075}{1.2\%}\ge 6.3(\text{mA})$

故电流测量范围 $6.3\text{mA}\le I\le 15\text{mA}$。

② $R_{x_2}=1\text{k}\Omega$，$P=1\text{W}$，由 $P\ge\dfrac{V^2}{R}$，

有 $V\le\sqrt{PR}\le\sqrt{1\times 1000}\le 32(\text{V})$

电压表量限 $E=7.5\text{V}$ 满足要求。

## （二）伏安法测非线性电阻

1．二极管的伏安特性

图 6-3 是二极管的符号，图 6-4 是二极管正、反方向的伏安特性曲线，其电阻为 $R=dV/dI$，可通过曲线上各点斜率求得。

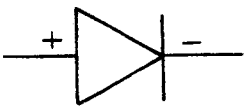



图 6-3 二极管符号

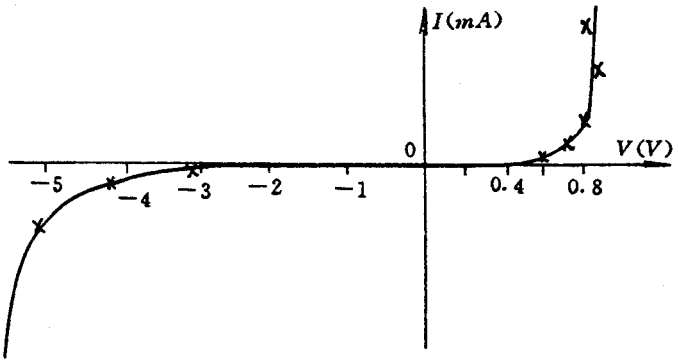



图 6-4 二极管的伏安特性曲线（每个二极管特性有差异，仅供参考）

2．测量线路图

电流 $I$ 由毫安表测定，单位为 mA；电压 $V$ 由伏特表测定，单位为 V。正向用外接法（见图 6−5），反向用内接法（见图 6−6）。

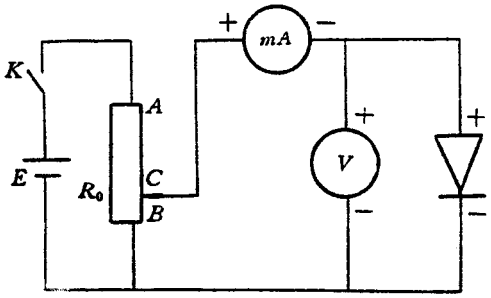



图 6−5 电流表外接法测量二极管正向特性

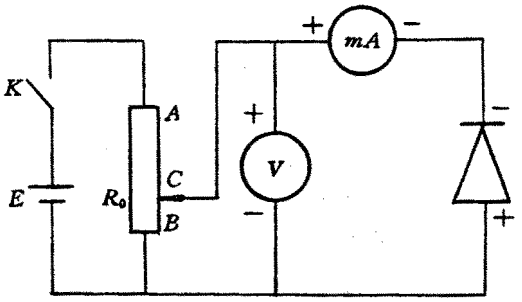



图 6−6 电流表内接法测量二极管反向特性

## 【实验目的】

（一）了解系统误差的分析方法，熟悉几种基本电学仪器的使用方法；

（二）掌握伏安法测量线性电阻和稳压二极管特性的方法。

## 【实验内容】

（一）设计伏安法分别测量两只不同阻值固定电阻的电路并进行测量和误差计算；

（二）用伏安法测稳压二极管的伏安特性；

（三）绘制稳压二极管的伏安特性曲线。

## 【实验器材】

（0—16V，1A）稳压电源、（49Ω/3A）滑线变阻器、51Ω和 1 kΩ1 W 固定电阻、1 W 稳压二极管接线板、$C_{21}$ 型直流电压表 0.5 级（1.5 V/3 V/7.5 V）相应内阻（300Ω/600Ω/1500Ω）、$C_{21}$ 直流电流表 0.5 级（15 mA/30 mA）相应内阻（3.7Ω/2.1Ω）各一个，导线若干。

## 【实验步骤及操作】

（一）测量前完成电压表、电流表全部量程对应的仪器误差 $\Delta_{仪}$ 的计算和内阻记录。（例如：电流表是 0.5 级表，对 15 mA 档，$\Delta_{仪}$=15×0.5%=0.075 mA 或 0.008 mA，如使用这一档读数一定读到以 mA 为单位的小数点后第 2 位，且只能读至这位，多了、少了都不正确；30 mA 档 $\Delta_{仪}$=30×0.5%=0.15 mA 或 0.2 mA，以 mA 为单位，这一档就只能读到小数后第 1 到 2 位了）

（二）测量固定电阻

1．$R_{x_1}=51\Omega$，采用电流表外接，测试线路如图 6−7 所示。

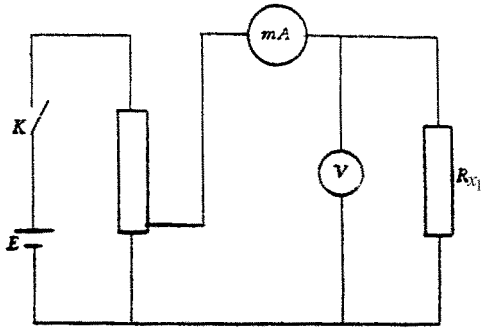



图 6−7　电流表外接法测量固定电阻

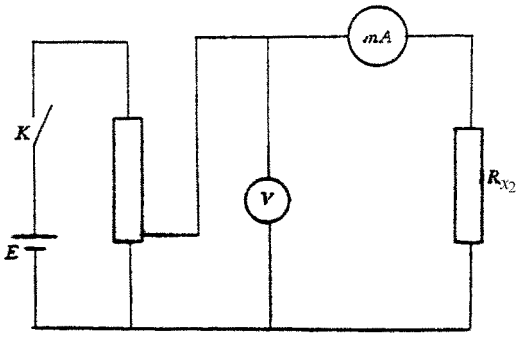



图 6−8　电流表内接法测量固定电阻

（1）在断电状态下照图 6−7 连接线路，将电源的电压调节旋钮、电压微调旋钮、滑线变阻器都调到使被测电阻两端电压最小的位置上；

（2）检查电压表，电流表的机械零点是否指零；

（3）经检查无误后开启电源缓慢调节电源电压和滑线变阻器，使电压表和电流表缓慢增加到合理位置，读取电压和电流，只测一组数据。

2．$R_{x_2}=1.0\text{k}\Omega$，采用电流表内接，测试线路如图 6−8 所示，操作同上，只测一组数据。

特别注意！如果发现电压表或电流表有超量程或反向偏转必须马上断电，认真检查、确认排除故障后才能再次通电测量。

（二）测二极管的正向特性

1．先将电源的四个旋钮全部反时针转到底，按图 6−5 所示电路连线，滑线变阻器滑动头置于固定端 B。（注意外接法：滑线变阻器是分压器不要连成限流器，它的三个接线柱都要用上，电源输出的电压一定要接在滑线变阻器固定端的接线柱上）。认真检查后再接通电源，电源电压不要超过 2V！

2．正向电压变化范围 0 – 1 V，电流变化 0 – 30 mA,所以电压表选 1.5 V 档，电流表选 30 mA 档。

【选作】：电流表换档测量，即开始用 1.5 mA 档，后换 7.5 mA 档，最后换成 30 mA 档测量。注意各量程内阻不同将造成数据不能吻合，必须将每个数据修正后才能绘伏安特性图。

3．滑动滑动头 C，缓缓地增加电压，记录电压和相应的电流值。实验要读取 10 组以上数据，测量要求是电流变化小的地方电压值少取几个点，电流变化大的地方多取几个点，最后一个点在电流为 30.0 mA 处。电流小于 5.0 mA 时改变电压测电流，电压按 0.100 V 等间隔增加，测量电流值；当电流达到 5.0 mA 后，需使用电源的恒流（CC）调节功能的“Fine”旋钮调节电流按 5.0 mA 等间隔增加，测量电压值。

4．电源恒流（CC）调节功能的使用方法：先将电源的四个旋钮都反时针转到底，将两个恒压（CV）旋钮都顺时针转动约 20 度，这时 CC 指示灯亮，CV 指示灯灭，表示电源处于恒流状态。很小心地将 CC 的 Fine 旋钮顺时针旋转，眼睛应时刻关注电流表的读数，以免电流太大烧表！直至调到希望的电流值。如果电流调不上去了，一般是电源限压点不够高，这

时 CC 指示灯灭，CV 指示灯亮，可再将 CV 旋钮顺时针转动少许即正常。

（三）测二极管的反向伏安特性

1．按图 6−6 所示电路连接，滑动头 C 置于 B 处，检查线路无误后方可接通电源，电源电压不超过 6 伏 ！

2．电压变化范围 0 − 6 V 左右（视不同型号稳压二极管而定），电流变化范围 0 – 30 mA，所以电压表选 7.5V 档，电流表选 30 mA 档。

【选作】：电流表和电压表换档测量。注意各量程内阻不同将造成数据不能吻合，必须将每个数据修正后才能绘伏安特性图。

3．逐步改变电压，记录电压和相应的电流值。实验要读取 10 组以上数据，测量要求是电流变化小的地方电压值少取几个点，电流变化大的地方多取几个点，最后一个点在电流为 30.0 mA 处。测量方法是电流小于 5.0 mA 时电压按 0.50 − 1.00V 等间隔增加，测量电流值；当电流达到 5.0 mA 后，需使用电源的恒流（CC）调节功能的“Fine”旋钮调节电流按 5.0 mA 等间隔增加（方法同正向伏安特性测量），测量电压值。如果电压小时电流表指针未动，记为 0.0 mA。

（四）注意事项

1．接线或拆线时，注意不要让电源短路。最好是接好再开启电源，断电后再拆线路，如共用电源而做不到断电操作也必须做到接线时后接电源端，拆线时先拆电源端，切忌把接电源的两根导线的另一端相碰而短路。

2．测量二级管正向伏安特性时，毫安表的读数不得超过二极管的最大正向电流（本实验不要超过 30 mA）。

3．测二极管反向特性时，加在二极管上的电压不得超过该管的最大允许电压（实验时，反向电流为 30 mA 对应的那个电压）。

4．使用电压（电流）表时要合理选择量程，量程太小可能烧坏电表；太大测量的误差会增大。

## 【实验数据及分析】

（一）电压表、电流表参数记录表

| 电表 | 电压表 | | | 电流表 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 精度等级 | | | | | |
| 量程 / 单位 | | | | | |
| 仪器误差 / 单位 | | | | | |
| 估读误差 / 单位 | | | | | |
| 内阻 / Ω | | | | | |

（二）固定电阻的测试数据表

| 被测电阻标称值 | 51 Ω | | | 1 kΩ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 测量接线方法 | | | | | | |
| 项目 | 量程 | 仪器误差 | 测量值 | 量程 | 仪器误差 | 测量值 |
| 电压表 / V | | | | | | |
| 电流表 / mA | | | | | | |

（三）二极管正向伏安特性测量数据

电流表_____接法；　$V$ 量程：_____，$\Delta_{V仪}$：_____；　$I$ 量程：_____，$\Delta_{I仪}$：_____

| $V$ / V | 0.000 | 0.100 | 0.200 | 0.300 | 0.400 | … | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I$ / mA | | | | | | … | 5.00 | 10.00 | 15.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 |

注：换量程测量的要自行设计表格。

（四）二极管反向伏安特性测量数据

电流表_____接法；　$V$ 量程：_____，$\Delta_{V仪}$：_____；　$I$ 量程：_____，$\Delta_{I仪}$：_____

| $V$ / V | 0.00 | 1.00 | 2.00 | 2.50 | | … | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I$ / mA | | | | | | … | 5.00 | 10.00 | 15.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 |

注：换量程测量的要自行设计表格。

（五）固定电阻的计算分析

1．应用公式（6-1）分别计算两固定电阻的粗略测量值 $R_x$。

2．分别用公式（6-3）、（6-5）计算两固定电阻修正后的测量值 $R_x^{'}$。

3．两测量值 $R_x^{'}$ 与电阻标称值（51 Ω 或 1 kΩ）比较计算相对误差，分析误差原因。

4．计算 51 Ω 电阻测量值 $R_x^{'}$ 的相对不确定度 $\dfrac{\sigma_{R_x^{'}}}{R_x^{'}}$（不考虑 A 类不确定度和估读误差），并写出 $R_x^{'}$ 的结果表达式。

5．51 Ω 电阻测量值的相对不确定度是否达到测量的设计要求（≤1.0%）？试讨论之。

（六）用一张坐标纸在同一坐标系内，绘制稳压二极管正、反方向的伏安特性曲线（由于正反向电压值相差较大，其坐标分度可选不同值）。

【选作 1】：计算 1 kΩ 电阻测量值 $R_x^{'}$ 的相对不确定度，并写出 $R_x^{'}$ 的结果表达式。

【选作 2】：1 kΩ 电阻测量值的相对不确定度是否达到测量的设计要求？试讨论之。

# （七）等厚干涉实验—牛顿环和劈尖干涉

## 【安全操作须知】

（一）牛顿环、劈尖应轻拿轻放，不得放在载物台和盒子以外的地方，以免打碎！严禁把目镜旋出放在桌子上！

（二）不得用手触摸或随意擦拭牛顿环、劈尖等光学面！

（三）严禁插拔钠灯插头，钠灯熄灭**5**分钟后才能再次启动，以免烧毁钠灯！实验完成后，不得关闭钠灯电源！

（四）实验完成后，整理仪器，将牛顿环、劈尖放入盒子内，凳子归位。与实验无关的杂物带离实验室，保持室内清洁卫生。

## 【实验目的】

（一）通过对等厚干涉图像观察和测量，加深对光的波动性的认识。

（二）掌握读数显微镜的基本调节和测量操作。

（三）掌握用牛顿环法测量透镜的曲率半径和劈尖干涉法测量微小厚度的实验方法。

## 【实验仪器】

读数显微镜，牛顿环，劈尖，钠光灯（λ=589.3nm），薄纸条。

## 【实验原理】

参见教材：《结构化大学物理实验》（第二版）实验 3.2 和 3.3（参考页码 P96−99 和 P99-100）。

## 【实验内容与步骤】

（一）实验装置的调整

⑴先用眼睛粗调

将牛顿环装置放在读数显微镜的工作台上，先不从显微镜里观察而用眼睛沿镜筒方向观察牛顿环装置，移动牛顿环装置，使牛顿环在显微镜筒的正下方。

⑵再用显微镜观察

*a*．调节目镜，使看到的分划板上十字叉丝清晰。

*b*．转动套在物镜头上的 45°透光反射镜，使透光反射镜正对光源，显微镜视场达到最亮。

*c*.旋转物镜调节手轮，使镜筒由最低位置，注意不要碰到牛顿环装置，缓缓上升，边升边观察，直至目镜中看到聚焦清晰的牛顿环。并适当移动牛顿环装置，使牛顿环圆心处在视场正中央。

> **注意：**读数显微镜在调节中应使镜筒由最低位置缓慢上升，以避免 45°透光反射镜与牛顿环相碰。

（二）牛顿环直径的测量

如图 7-1 所示，转动读数显微镜读数鼓轮，使显微镜自环心向一个方向移动，为了避免螺丝空转引起的误差，应使镜中叉丝先超过第 30 个暗环，即从牛顿环第一条暗环开始数到 35 个暗环，然后再缓缓退回到第 30 个暗环中央(因环纹有一定宽度)，记下显微镜读数即该暗环标度 $X_{30}$，再缓慢转动读数显微镜读数鼓轮，使叉丝交点依次对准第 25，20，15，10 和 5 个暗环的中央记下每次计数 $X_{25}$，$X_{20}$，$X_{15}$，$X_{10}$，$X_5$。并继续缓慢转动读数鼓轮，使目镜镜筒叉丝的交点经过牛顿环中心向另一方向记下第 5，10，15，20，25，30 暗环的读数 $X_5'$，$X_{10}'$，$X_{15}'$，$X_{20}'$，$X_{25}'$，$X_{30}'$。

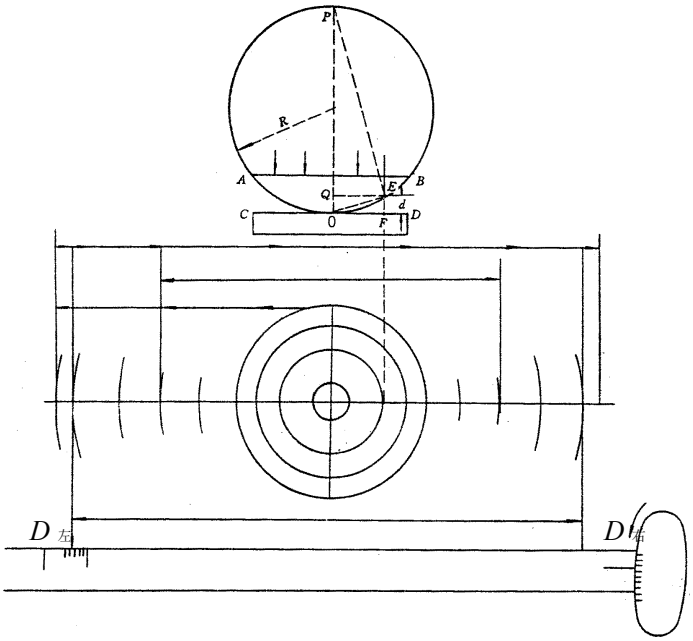



图 7−1

**注意：**为了避免测微鼓轮“空转”而引起的测量误差，在每次测量中，测微鼓轮只能向一个方向转动，中途不可倒转。

（三）用劈尖干涉法测量纸的微小厚度 $d$

如图 7-2 所示, 将牛顿环装置换成劈尖装置，为了测定条纹的垂直距离，应使条纹与镜筒的移动方向相垂直．为了避免螺旋空转引起测量误差，应先转动读数显微镜的测微鼓轮，使镜筒仅向一个方向移动，:

（1）测出相隔 $n=40$ 条干涉条纹的长度 $L_n=|x_{i+n}-x_i|$ 测三次，求其平均值；

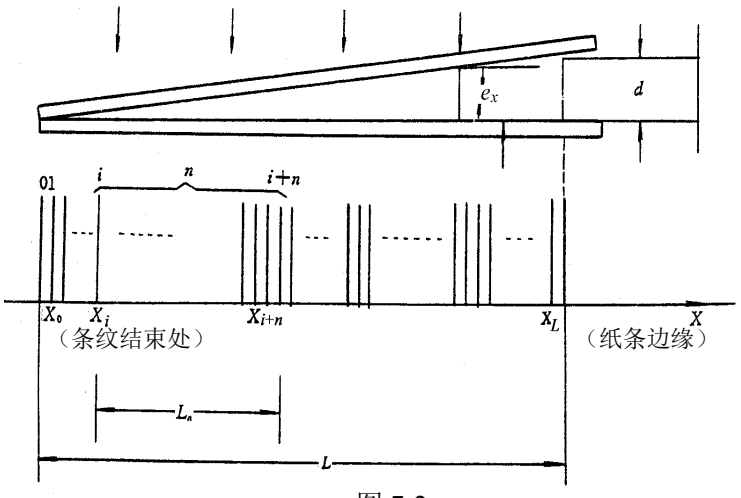



图 7-2

（2）测劈尖端头到夹纸处的总长度 $L$ 测三次，求平均值。

**注意：**拿取牛顿环、劈尖装置时，不要触摸光学面。如有尘埃时，应用专用擦镜纸轻轻擦拭。实验中要小心以免摔坏。

## 【实验数据记录及处理】

（一）用牛顿环法测定透镜的曲率半径 R

表 1 用牛顿环法测定平透镜的曲率半径 $R$ 数据表格

| 暗环序数 | | $m_{30}$ | $m_{25}$ | $m_{20}$ | $n_{15}$ | $n_{10}$ | $n_5$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 暗环读数 /mm | 左 $X_K$ | | | | | | |
| | 右 $X_K'$ | | | | | | |
| 暗环直径 $D_K=\lvert X_K-X_K'\rvert$ /mm | | | | | | | |
| $D_K^2$ /mm$^2$ | | | | | | | |
| $D_m^2-D_n^2$ /mm$^2$ $(m-n=15)$ | | | | | | | |
| $\overline{D_m^2-D_n^2}$ /mm$^2$ | | | | | | | |
| $\overline{R}$ /mm | | | | | | | |

（二）用劈尖干涉法测量纸的微小厚度 d

表 2 用劈尖干涉法测微小厚度的数据记录表 $n=40.0$，单位：mm

| | 测量值 | 测量值 | 测量值 | 测量值 | 计算值 | 计算值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 被测量 / 测量次数 | $x_o$ | $x_i$ | $x_{i+n}$ | $x_L$ | $x_L-x_o$ | $x_{i+n}-x_i$ |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 平均值 | | | | | | |

（三）计算平凸透镜的曲率半径（计算时必须有详细过程）

1. 用逐差法计算，将计算结果填入表 1

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

2. 用最小二乘法计算

$D_m^2$ 与 $m$ 是线性关系，线性方程是 $D_m^2=D_0^2+4R\lambda\cdot m$，式中 $D_0^2$ 是零差项，$4R\lambda$ 是斜率，取 $m$ = 20、25、30 环的 3 组数据计算（先分别计算 $\overline{m}$ 、$\overline{m^2}$ 、$\overline{D_m^2}$ 、$\overline{mD_m^2}$），由最小二乘法的斜率公式得到

$$R=\frac{1}{4\lambda}\cdot\frac{\overline{m}\cdot\overline{D_m^2}-\overline{mD_m^2}}{\overline{m}^2-\overline{m^2}}$$

（四）计算用劈尖干涉法测得微小厚度

$$\overline{L}=\overline{|x_L-x_0|};$$

$$\overline{L}_n=\overline{|x_{i+n}-x_i|};$$

$$\overline{d}=\frac{n}{\overline{L_n}}\frac{\lambda}{2}\overline{L}$$

【选作 1】用最小二乘法求不确定度的公式计算 $\sigma_R$，并写出测量结果其表达式 $R=\overline{R}\pm\sigma_{\overline{R}}$。提示：$\Delta_{m估}$ 取 0.2 环，$D_m$ 的估读误差 $\Delta_{D_m估}$=0.002 mm，小于 $\Delta_{移轴}$=0.01 mm 的 1/3，忽略不计，所以，把 $D_m^2$ 当成直接测量时，$\Delta_{D_m^2仪}=\left(D_m^2\right)'\cdot\Delta_{移轴}=2\cdot D_m\cdot\Delta_{移轴}$。当 $D_m$=5 mm 时，$\Delta_{D_m^2仪}=2\times5\times0.01=0.1\text{mm}^2$。

【选作 2】计算测得微小厚度的不确定度。

## 【实验操作测量注意事项】

（一）应尽量使叉丝对准干涉暗环中心读数。

（二）由于计算 $R$ 时，只需知道环数差 $m-n$，故以哪一环作为第一环（习惯就以第一环作为第一环）可以任意选择，但一经选定，在整个测量过程中就不能改变。

（三）注意不要数错环数，读数时测量显微镜始终向一个方向转动，防止空转误差，否则全部数据作废。

（四）在测量过程中，要防止实验台震动引起干涉环的变化。

（五）实验时要把移测显微镜载物台下的反射镜翻转过来，不要让光从窗口经反射镜把光反射到载物台上，以免影响对暗环的观测。

## 【问题讨论】

（一）实验中使用的是单色光，如果用白光源会是什么结果？

（二）如果牛顿环中心是一个亮斑，这是什么原因引起的?对测量有无影响?

（三）牛顿环实验中，如果平板玻璃上有微小的凸起，将导致牛顿环条纹发生畸变．试问该处的牛顿环将局部内凹还是局部外凸?

# 第四章　理论课考试模拟试题及参考解答

（每套题均为 90 分钟闭卷笔试）

## 大学物理实验理论考试模拟试题 1

### 一、填空题，每空 2 分，共 30 分

1．测量过程中产生误差的来源有_____误差、_____误差、_____误差、_____误差。

2．$N=\overline{N}\pm\sigma$ 的置信概率是_____；$N=\overline{N}\pm3\sigma$ 的置信概率为_____。

3．遵循有效数字的传递法则，计算 50÷0.100=_____×$10^2$，50÷0.100+8848.13= _____×$10^3$，。

4．在进行十进制单位换算时，有效数字的位数_____。

5．用 1.0 级 1V 档的电压表测电压，刚好满度时的测量值为_____ V。

6．用零差为 2mA 的电压表，测量某电压读数为 26 mA，则修正值是_____。

7．仪器误差 $\Delta_{仪}$ 是相应_____类不确定度分量的 $\sqrt{3}$ 倍。

8．凡是可以通过_____方法来计算不确定度的称为 A 类不确定度。

9．作图时，“◦”、“△”、“▫”、“ı” 等数据标记的_____应准确地落在数据坐标上。

10．最小二乘法的中间计算过程不宜用有效数字的运算法则，否则会引入较大的_____误差。

### 二、单选题，每题 2 分，共 20 分

1．校正曲线的各相邻校验点之间用（　　）连接起来

A．直线段　　B．曲线　　C．平滑曲线　　D．以上三种都对

2．对于最小二乘法，如果测量数据只有 3 组，（　　）

A．无法计算　　B．必须再测 3 组　　C．每组计算两次　　D．也可以计算

3．计算不确定度时，角度应该使用哪种单位？（　　）

A．弧度　　B．度、分、秒　　C．带小数的度　　D．以上三种都对

4．单摆法测周期时，摆长 $l=1000$mm，重力加速度 $g$ 取（　　）最合适。

A．10 m/s$^2$　　B．9.8m/s$^2$　　C．9.79 m/s$^2$　　D．9.792m/s$^2$

5．以下表达式正确的是（　　）

A．$S=(2560\pm100)$ mm　　B．$A=(8.32\pm0.02)$

C．$R=(82.3\pm0.3)\Omega$　　D．$f=(2.485\times104\pm0.09\times10)$ Hz

6．$100^2\times\sqrt{100}=$（　　）

A．　$10^5$，　　B．　$100\times10^3$　　C．　100000　　D．　$1.00000\times10^5$

7．多次测量可以（　　）

A．消除偶然误差　　B．消除系统误差

C．减小偶然误差　　D．减小系统误差

8．下列测量结果正确的表达式是（　　）

A．$T=$（12.5±0.07）s　　B．$Y=(1.6\pm7\times10^{-2})\times10^{11}$Pa

C．$V=23.68\pm0.09$　　D．$I=$（6.563±0.012）mA

9．对于间接测量 $N=\dfrac{x-y}{x+y}$，正确的不确定度传递关系是（　　）

A．$\sigma_N=\sqrt{\dfrac{4x^2\sigma_x^{\,2}}{x^2+y^2}+\dfrac{4y^2\sigma_y^{\,2}}{x^2+y^2}}$　　B．$\sigma_N=\sqrt{\dfrac{4y^2\sigma_x^{\,2}}{x^2+y^2}+\dfrac{4x^2\sigma_y^{\,2}}{x^2+y^2}}$

C．$\sigma_N=\dfrac{\sigma_x}{x-y}-\dfrac{\sigma_y}{x+y}$　　D．都不对

10．对于间接测量 $Z=\dfrac{1}{2}Y^3-X$，正确的不确定度传递关系是（　　）

A．$\sigma_Z=\dfrac{1}{2}Y^2\sigma_Y-\sigma_X$　　B．$\sigma_Z=\dfrac{3}{2}Y^2\sigma_Y+\sigma_X$

C．$\sigma_Z=\dfrac{3}{2}\sigma_Y+\sigma_X$　　D．以上三种表示都不对

## 三、应用题（3 个小题，共 50 分，要求步骤完整）

1．用最小刻度 1Ω、仪器误差 1Ω 的可估读惠斯登电桥测一电阻，共测 10 次，其测量值 $R_i=242.3$，242.2，242.3，242.0， 242.1，242.8，242.4，241.9，242.7，242.3（单位Ω）。求电阻的测量结果（仪器误差和估读误差视为均匀分布）。（15 分）

答：（1）计算电阻 $R$ 的平均值 $\overline{R}$（3 分）

（2）计算电阻 $R$ 的 A 类不确定度 $u_{A_R}$（4 分）

（3）计算电阻 $R$ 的 B 类不确定度 $u_{B_R}$（3 分）

（4）计算电阻 $R$ 的合成不确定度 $\sigma_R$（3 分）

（5）写出测量结果表达式（2 分）

2．给一电阻加上 220V 电压（电压用 1.0 级 500V 档测得，忽略估读误差），电阻发热，热稳定后测得电阻值为 $(244.9\pm0.8)\Omega$，求发热功率、不确定度和相对不确定度？（20 分）

答：（1）求发热功率 $P=\dfrac{V^2}{R}$（2 分）

（2）求电压表的仪器误差 $\Delta_V$（2 分）

（3）求 $\Delta_V$ 的 $B$ 类不确定度分量 $u_{\Delta_V}$（2 分）

（4）求电压测量值的不确定度 $\sigma_{\mathrm{V}}$（2 分）

（5）求功率的相对不确定度（3 分）

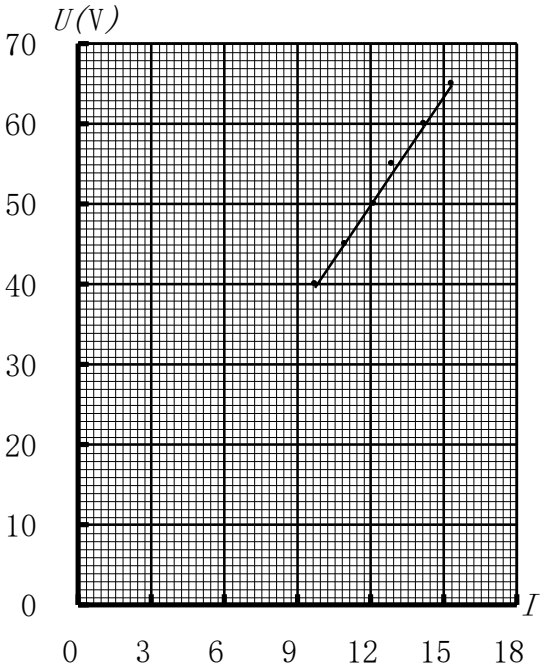
（6）求功率的不确定度 $\sigma_P$（2 分）

（7）写出结果表达式（2 分）

3．用伏安法测电阻数据如下表，绘出拟合直线如右图，指出图中不符合作图规则的地方，并用最小二乘法求出电阻值 $R$。（15 分）。

已知线性方程 $y=a+bx$ 的最小二乘法计算公式为 $a=\dfrac{\bar{x}\cdot\overline{xy}-\bar{y}\cdot\overline{x^2}}{\bar{x}^2-\overline{x^2}}$、$b=\dfrac{\bar{x}\cdot\bar{y}-\overline{xy}}{\bar{x}^2-\overline{x^2}}$

| 电压 $U$ / V | 40.00 | 45.00 | 50.00 | 55.00 | 60.00 | 65.00 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 电流 $I$ / mA | 9.72 | 10.95 | 12.14 | 12.88 | 14.20 | 15.33 |




答：（1）图中不符合作图规则的地方有：（每个 1 分，共 6 分）

（a）_____ （b）_____

（c）_____ （d）_____

（e）_____ （f）_____

（2）用最小二乘法求电阻值 $R$（共 9 分）

（a）计算斜率和截距，写出线性方程（2 分）

（b）分别求出 $\bar{I}$、$\bar{V}$、$\overline{I^2}$、$\overline{IV}$（共 4 分）

（c）求电阻值 $R$（3 分）

# 模拟试题 1 参考答案

**一、填空题，每空 2 分，共 30 分**

1．仪器、环境、方法、人员。 2．0.683(68.3%)；0.997(99.7%)。

3．5.0，9.35。 4．不变。 5．1.00。 6．−2mA。

7．B。 8．统计。 9．中心（重心）。 10．计算。

**二、单选题，每题 2 分，共 20 分**

1．（**A**）2．（**D**）3．（**A**）4．（**D**）5．（**C**）6．（**B**）7．（**C**）8．（**D**）9．（**D**）10．（**D**）

**三、应用题（3 个小题，共 50 分，要求步骤完整）**

1．答：（1）$\bar{R}=\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}R_i=\dfrac{1}{10}(242.3+242.2+242.3+242.0+242.1+242.8+242.4+241.9+242.7+242.3)=242.30(\Omega)$（3 分）

（2）$u_{A_R}=\sqrt{\dfrac{\sum(R_i-\bar{R})^2}{n(n-1)}}=\sqrt{\dfrac{0.0^2+0.1^2+0.0^2+0.3^2+0.2^2+0.5^2+0.1^2+0.4^2+0.4^2+0.0^2+}{10(10-1)}}=0.089(\Omega)$（4 分）

（3）因为 $\Delta_{R估}=$最小刻度$/5=1\Omega/5=0.2\Omega<1/3(\Delta_{电桥})=1/3\times1\Omega$，所以略去 $\Delta_{R估}$，

$$u_{B_R}=\frac{\Delta_{电桥}}{\sqrt{3}}=\frac{1}{\sqrt{3}}=0.58(\Omega)$$（3 分）（或 $0.6\Omega$ ）

（4） $\sigma_R=\sqrt{u_{A_R}^2+u_{B_R}^2}=\sqrt{0.089^2+0.58^2}=0.58(\Omega)$（3 分） （或 $0.6\Omega$ ）

（5） $R=(242.30\pm0.58)\Omega$ （2 分） （或 $R=(242.3\pm0.6)\Omega$ ）

2．答：（1） $P=\dfrac{V^2}{R}=\dfrac{220^2}{244.9}$=197.6(W) （2 分）（或 198W）

（2）$\Delta_{V仪}=$量程×精度等级$=500\times1.0\%=5.0$（V）（2 分）（或 5V）

（3）因忽略估读误差，所以 $u_{B_V}=\dfrac{\Delta_{V仪}}{\sqrt{3}}=\dfrac{5}{\sqrt{3}}=2.9(\mathrm{V})$ （2 分）（或 3V）

（4） $\sigma_V=\sqrt{u_{A_V}^2+u_{B_V}^2}=u_{B_V}=2.9(\mathrm{V})$（2 分）（或 3V）

（5） $\dfrac{\sigma_P}{P}=\sqrt{\left(\dfrac{2\sigma_V}{V}\right)^2+\left(\dfrac{\sigma_R}{R}\right)^2}=\sqrt{\left(\dfrac{2\times2.9}{220}\right)^2+\left(\dfrac{0.8}{244.9}\right)^2}=2.6\%$ （3 分）（或 3%）

（6） $\sigma_P=P\times\dfrac{\sigma_P}{P}=197.6\times0.026=5.2(\mathrm{W})$ （2 分）（或 5W）（或 6W）

（7） $P=(197.6\pm5.2)\mathrm{W}$ 或 $P=(198\pm5)\mathrm{W}$ 或 $P=(198\pm6)\mathrm{W}$ （2 分）

3．答：（1）图中不符合作图规则的地方有：（每个 1 分，共 6 分）

（a）无标题， （b）坐标范围不合理，

（c）横坐标无单位， （d）横坐标不应该用 3 倍放大，

（e）标点不应该用小圆点， （f）数据点不应该在直线一旁。

（2）（a）线性方程为 $U=U_0+R\cdot I$ （2 分）

（b） $\bar{I}=\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_i=\dfrac{1}{6}(9.72+10.95+12.14+12.88+14.20+15.33)=12.536667(\mathrm{mA})$（1 分）

$\bar{U}=\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}U_i=\dfrac{1}{6}(40.00+45.00+50.00+55.00+60.00+65.00)=52.50(\mathrm{V})$ （1 分）

$\overline{I^2}=\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_i^2=\dfrac{1}{6}(9.72^2+10.95^2+12.14^2+12.88^2+14.20^2+15.33^2)=160.7173(\mathrm{mA})$ （1 分）

$\overline{IU}=\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}I_iU_i=\dfrac{1}{6}(9.72\times40.00+10.95\times45.00+\cdots+15.33\times65.00)=674.2333(\mathrm{mW})$ （1 分）

（c） $R=\dfrac{\bar{I}\cdot\bar{U}-\overline{IU}}{\bar{I}^2-\overline{I^2}}=\dfrac{12.536667\times52.5-674.2333}{12.536667^2-160.7173}=4.52(\mathrm{k\Omega})$ （3 分）

# 大学物理实验理论考试模拟试题 2

## 一、填空题，每空 2 分，共 40 分

1．根据获得测量结果的不同方法，测量可分为_____测量和_____测量。

2．误差的来源主要有_____、_____、_____、和_____。

3．测得单色光波长为 593.2 nm，该量理论值为 589.3 nm，则该测量的相对误差为_____%，

修正值为_____。

4．遵循有效数字的运算法则，计算 10.0×0.020+48.13=_____，

$10^2/(114.3-14.2987)$=_____。

5．对某量进行多次等精度测量，用拉依达准则剔除坏值的依据是：误差大小超出_____的概率为 0.3%。

6．用量程 1.5mA，刻有 75 小格的 1.0 级毫安表测电流，指针指在 25 小格上，则测量值为_____，仪器误差为_____，估读误差为_____。

7．对某物理量进行多次等精度测量，其精密度反映_____误差的大小。

8．对同一物理量进行多次测量，测量次数越多，_____不确定度越小。

9．电阻测量值的平均值为 5.81447 KΩ，不确定度为 0.06 KΩ，则测量结果应表示为_____。

10．测量结果表达式 $N=\overline{N}\pm\sigma$ (单位)表示的物理意义是：_____。

11．校正曲线中相邻实验点之间用_____连接，因此校正曲线是_____图。

## 二、单选题，每题 2 分，共 20 分

1．单次测量中具有（　　）

A．A 类不确定度　B．最小误差　C．A 类和 B 类不确定度　D．　B 类不确定度

2．关于有效数字的说法，正确的是：（　　）。

A．有效数字的最后一位一定是误差所在位。D．“0”在数字末尾时不算作有效数字。

B．有效数字位数的多少只与仪器的准确度有关。C．单位换算会影响有效数字位数。

3．下列测量结果中，测量准确度最低的是（　　）。

A．(154.98±0.02)mm　B．(5.498±0.002)mm　C．(1.5498±0.0002)mm

D．(2.214±0.001)mm

4．对于作图法，下列说法正确的是：（　　）。

A．作图时不宜选用三、六、七等小格对应可靠数字的最后一位。

B．作图时纵坐标和横坐标的比例一定要相同。

C．坐标原点要与变量的零点一致。

D．连线的时候一定要使所有的数据点都落在曲线上。

5．下述测量长度的读数中，可能是用 50 分度游标卡尺读出的是（　　）；可能是用千分尺读出的是（　　）。

A．3.02mm　　B．2.25mm　　C．3.657mm　　D．2.75mm

6．下列测量结果正确的表达式是（　　）。

A．$R$=(5.21±0.007)Ω　　B．$\lambda$=(654±100)nm　　C．$L$=(15.2±0.61)cm

D．$Y$= (1.89±0.03)×$10^{11}$Pa

7．对于间接测量 $N=\dfrac{x-y}{x+y}$，正确的不确定度传递关系是（　　）

A．$\sigma_N=\dfrac{2}{(x+y)^2}\sqrt{x^2\sigma_x{}^2+y^2\sigma_y{}^2}$　　B．$\sigma_N=\dfrac{1}{(x+y)^2}\sqrt{x^2\sigma_x{}^2+y^2\sigma_y{}^2}$

C．$\sigma_N=\dfrac{2}{(x+y)^2}\sqrt{x^2\sigma_y{}^2+y^2\sigma_x{}^2}$　　D．$\sigma_N=\dfrac{1}{(x+y)^2}\sqrt{x^2\sigma_y{}^2+y^2\sigma_x{}^2}$

8．下列说法正确的是：（　　）。

A．仪器误差是 A 类不确定度。　　B．仪器误差等于 B 类不确定度。

C．估读误差是 A 类不确定度的分量之一。　　D．数显仪器一般不存在估读误差。

9．测量约 1.5 伏特的电压时要求其结果的相对误差小于 1.5%，如果不考虑估读误差，应选用下列哪种规格的伏特表？（　　）

A．0.5 级，量程 5 伏；　　B．1.0 级，量程 3 伏；

C．2.5 级，量程 1.5 伏；　　D．0.5 级，量程 3 伏。

## 三、应用题（2 个小题，共 40 分，**要求计算步骤完整**）

1．用 50 分度游标卡尺测某物理量 $L$（单位：mm），数据如下：

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $L_i$ / mm | 142.32 | 142.70 | 141.94 | 142.46 | 142.88 | 142.14 | 142.04 | 141.82 | 142.28 | 142.36 |

求物理量 $L$ 的测量结果（仪器误差视为均匀分布）。（16 分）

答：（1）计算物理量 $L$ 的平均值 $\overline{L}$（4 分）

（2）计算 $L$ 的 A 类不确定度 $u_{A_{\overline{L}}}$（4 分）

（3）计算 $L$ 的 B 类不确定度 $u_{B_{\overline{L}}}$（3 分）

（4）计算 $L$ 的合成不确定度 $\sigma_{\overline{L}}$（3 分）

（5）写出 $L$ 的结果表达式（2 分）

2．通过测周期 $T$ 和摆长 $l$ 来测定重力加速度 $g$ 的公式是 $g=\dfrac{4\pi^2 l}{T^2}$。现在用最小分度是 0.01 s 的电子秒表测量周期 $T$ 五次，其数据为 2.01，2.04，1.97，1.98，2.00（单位为 s）；用仪器误差为 $\Delta_{卷尺}=(0.2\cdot L+0.3)$ mm（式中 $L$ 是测量长度，单位为米）的钢卷尺测得摆长一次，$l=100.00cm$。试求重力加速度 $g$ 及合成不确定度 $\sigma_g$，并写出结果表达式。（24 分）

答：（1）求周期$T$的平均值$\overline{T}$（2 分）

（2）求重力加速度$g$的平均值$\overline{g}$（2 分）

（3）求摆长$l$的不确定度$\sigma_l$（2 分）

（4）求周期$T$的 A 类不确定度$u_{A_{\overline{T}}}$（3 分）

（5）求周期$T$的 B 类不确定度$u_{B_{\overline{T}}}$（2 分）

（6）求周期$T$的合成不确定度$\sigma_{\overline{T}}$（3 分）

（7）求重力加速度$g$的相对不确定度$\frac{\sigma_{\overline{g}}}{g}$（4 分）

（8）求重力加速度$g$的合成不确定度$\sigma_{\overline{g}}$（3 分）

（9）写出重力加速度的结果表达式。（3 分）

# 模拟试题 2 参考答案

一、 填空题，每空 2 分，共 40 分

1、 直接， 间接　2、 仪器（或设备）误差, 方法误差, 环境误差, 人为误差

3、 0.66（0.67）， −3.9nm　4、 48.33， 1.0　5、 3s

6、 0.50mA, 0.015（0.02）mA　0.004mA　7、 偶然　8、统计(或 A 类)

9、5.81±0.06（KΩ）　11、直线（线段）， 折线

10、真值（或测量值、结果）落在（$\overline{N}-\sigma$）~（$\overline{N}+\sigma$）范围内的概率是 0.683（或 68.3%）

二、单选题，每题 2 分，共 20 分

1，**D**　2，**A**　3，**D**　4，**A**　5，**A**　**C**　6，**D**　7，**C**　8，**D**　9，**D**

三、应用题（2 个小题，共 40 分，要求计算步骤完整）

**1**．(1) 物理量 $L$ 的平均值 $\overline{L}$（4 分）：$\overline{L}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}L_i=\frac{1}{10}(142.32+\cdots 142.36)=142.294mm$

(2) $L$ 的 A 类不确定度$u_{A_{\overline{L}}}$（4 分）：

$$u_{A_{\overline{L}}}=\sqrt{\frac{\sum(L_i-\overline{L})^2}{n(n-1)}}=\sqrt{\frac{0.026^2+\cdots+0.066^2}{10(10-1)}}=0.1\text{mm}(0.10\text{mm})$$

(3) $L$ 的 B 类不确定度$u_{B_{\overline{L}}}$（3 分）：$u_{B_{\overline{L}}}=\frac{\Delta_{\text{卡尺}}}{\sqrt{3}}=\frac{0.02}{\sqrt{3}}=0.01\text{mm}(0.012\text{mm})$

(4) $L$ 的合成不确定度$\sigma_{\overline{L}}$（3 分）：$\sigma_{\overline{L}}=\sqrt{u_{A_{\overline{L}}}^2+u_{B_{\overline{L}}}^2}=\sqrt{0.1^2+0.01^2}=0.1(0.10\text{mm})$

(5) L 的结果表达式（2 分）：$L=\overline{L}\pm\sigma_{\overline{L}}=142.29\pm0.10(mm)=142.3\pm0.1(\text{mm})$

**2**．(1) 周期$T$的平均值$\overline{T}$：$\overline{T}=\frac{2.01+2.04+1.97+1.98+2.00}{5}=2.000(s)$

(2) 重力加速度 $g$ 的平均值 $\bar{g}$ （2 分）：$\bar{g}=\dfrac{4\pi^2 l}{\bar{T}^2}=\dfrac{4\times 3.142^2\times 1.0000}{2.000^2}=9.872(m/s^2)$

(3) 摆长 $l$ 的不确定度 $\sigma_l$（2 分）：$\Delta_{卷尺}=(0.2\cdot L+0.3)\text{ mm}=(0.2\cdot 1+0.3)\text{ mm}=0.5\text{mm}$，估读误差 $\Delta_{l估}=$ 卷尺的最小刻度/5 $=1/5=0.2\text{mm}$，所以

$$\sigma_l=\sqrt{u_{\mathrm{B}_{\Delta卷尺}}^2+u_{\mathrm{B}_{\Delta l估}}^2}=\sqrt{\left(\frac{\Delta_{卷尺}}{\sqrt{3}}\right)^2+\left(\frac{\Delta_{l估}}{\sqrt{3}}\right)^2}=\sqrt{\frac{\Delta_{卷尺}^2+\Delta_{l估}^2}{3}}=\sqrt{\frac{0.5^2+0.2^2}{3}}=0.3\text{mm}(0.31\text{mm})$$

(4),周期 $T$ 的 A 类不确定度 $u_{\mathrm{A}_{\bar{T}}}$（3 分）：

$$u_{\mathrm{A}_{\bar{T}}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(T_i-\bar{T})^2}{5\times(5-1)}}=\sqrt{\frac{0.01^2+0.04^2+0.03^2+0.02^2+0.00^2}{20}}=0.01(\text{s})(0.012\text{s})$$

(5),周期 $T$ 的 B 类不确定度 $u_{\mathrm{B}_{\bar{T}}}$（2 分）：$u_{\mathrm{B}_{\bar{T}}}=\dfrac{\Delta_{秒表}}{\sqrt{3}}=\dfrac{0.01}{\sqrt{3}}=0.006\text{s}(0.0058\text{s})$

(6),周期 $T$ 的合成不确定度 $\sigma_{\bar{T}}$（3 分）：

$$\sigma_{\bar{T}}=\sqrt{u_{\mathrm{A}_{\bar{T}}}^2+u_{\mathrm{B}_{\bar{T}}}^2}=\sqrt{0.01^2+0.006^2}=0.01\text{s}(0.011\text{s})$$

(7),重力加速度 $g$ 的相对不确定度 $\dfrac{\sigma_{\bar{g}}}{g}$（4 分）：

$$\frac{\sigma_g}{g}=\sqrt{(\frac{\sigma_l}{l})^2+(2\frac{\sigma_T}{T})^2}=\sqrt{(\frac{0.3}{1000.0})^2+(2\times\frac{0.01}{2.000})^2}=0.01(\text{或}0.010)$$

(8),重力加速度 $g$ 的合成不确定度 $\sigma_{\bar{g}}$（3 分）：

$$\sigma_g=g\cdot\left(\frac{\sigma_g}{g}\right)=9.872\times 0.01=0.09\text{m/s}^2(\text{或}0.098\text{m/s}^2)$$

(9),写出重力加速度的结果表达式。（3 分）：$g=(9.872\pm 0.098)\text{m/s}^2$
或$(9.87\pm 0.09)\text{m/s}^2$

# 大学物理实验理论考试模拟试题 3

## 一、填空题，每空 2 分，共 40 分

1．测量的四要素为_____、_____、_____、和_____。

2．某测量值为 $1.72\times10^{11}$Pa，理论值为 $1.64\times10^{11}$Pa，则测量的相对误差为_____。

3．遵循有效数字的运算法则，计算 100÷0.0200=_____$\times10^3$，　10.0×0.02+48.13=_____。

4．温度的测量值为 23.45°C，已知绝对误差为 0.06°C，则修正值为_____，测量结果为_____。

5．0.5 级毫安表 100mA 档的仪器误差为_____，如果不考虑估读误差，指针刚好指在满度的四分之一时测量值为_____。

6．测量数据重复性好，说明测量中所用仪器的_____高。

7．用仪器误差为 0.02mm 的游标卡尺测量长度，则测量值的 B 类不确定度为_____mm。

8．凡是可以通过_____方法来计算的不确定度称为 A 类不确定度。

9．作图时，在纵横坐标上应标出_____、_____和_____。

10．电阻测量值的平均值为 5.687KΩ，不确定度为 0.07KΩ，则测量结果应表示为_____。

11．金属丝的长度为 1000mm，如要保留两位有效数字，则应表示为_____mm。

12．测得单摆 100 个周期的时间 $t$ 求周期 $T$ ，已知 $t$ 的仪器误差为 0.5s，不存在估读误差，则 $T$ 的 B 类不确定度为_____。

## 二、单选题，每题 2 分，共 20 分

1．10.20 厘米的有效数字的位数为（　　）。

A．4 位　　B．3 位　　C．2 位　　D．5 位

2．以下关于估读误差的说法正确的是（　　）

A．估读误差是仪器误差的一部分　　B．任何情况下估读误差都是最小刻度的 1/5

C．有些测量不存在估读误差　　D．估读误差可以修正

3．角度测量值用于复杂的不确定度传递时，应选用以下那种表达式？（　　）

A．(59.67±0.02) °　　B．(1.0467±0.0004)rad

C．60.02°±0.05°　　D．以上三种表达式都对

4．已知圆的半径 $R$=50.23cm，间接测量圆的周长时，π 取（　　）最合适。

A．3.14　　B．3.14156　　C．3.1416　　D．3.1

5．下列测量结果中，测量准确度最高的是（　　）

A．(12.45±0.06)mm　　B．(8.67±0.06)mm

C．(65.23±0.06)mm　　D．(562.78±0.06)mm

6．球的面积=4π$R^2$，如 $R$=100mm，则该球的面积为（　　）

A．$1.26\times10^5$ mm$^2$　　B．$12.56\times10^4$　　C．$12.6\times10^4$ m$^2$　　D．12.568 mm$^2$

7．单次测量中必然具有（　　）

A．A 类不确定度　　B．最小误差　　C．A 类和 B 类不确定度　D．B 类不确定度

8．下列测量结果正确的表达式是（　　）

A．$T$=(12.5±0.07)s　　B．$Y$=(1.6±0.2)×$10^{11}$Pa

C．$V$=23.68±0.09　　D．$I$=(6.563±0.08)mA

9．对于间接测量 $N=\dfrac{8LDF}{\pi d^2bn}$，正确的不确定度传递关系是（　　）

A．$\sigma_N=\sqrt{\dfrac{\sigma_D^2}{D^2}+\dfrac{\sigma_d^2}{d^2}+\dfrac{\sigma_F^2}{F^2}+\dfrac{\sigma_L^2}{L^2}+\dfrac{\sigma_n^2}{n^2}+\dfrac{\sigma_b^2}{b^2}}$

B．$\sigma_N=\sqrt{\dfrac{\sigma_D^2}{D^2}+\dfrac{4\sigma_d^2}{d^2}+\dfrac{\sigma_F^2}{F^2}+\dfrac{\sigma_L^2}{L^2}+\dfrac{\sigma_n^2}{n^2}+\dfrac{\sigma_b^2}{b^2}}$

C．$\sigma_N=N\cdot\sqrt{\dfrac{\sigma_D^2}{D^2}+\dfrac{\sigma_d^2}{d^2}+\dfrac{\sigma_F^2}{F^2}+\dfrac{\sigma_L^2}{L^2}+\dfrac{\sigma_n^2}{n^2}+\dfrac{\sigma_b^2}{b^2}}$

D．$\sigma_N=N\cdot\sqrt{\dfrac{\sigma_D^2}{D^2}+\dfrac{4\sigma_d^2}{d^2}+\dfrac{\sigma_F^2}{F^2}+\dfrac{\sigma_L^2}{L^2}+\dfrac{\sigma_n^2}{n^2}+\dfrac{\sigma_b^2}{b^2}}$

10．对于间接测量 $Z=Y^3-X^2$，正确的不确定度传递关系是（　　）

A．$\sigma_Z=3Y^2\sigma_Y-\sigma_X$　　B．$\sigma_Z=3Y^2\sigma_Y+2X\sigma_X$

C．$\sigma_Z=\sqrt{9Y^4\sigma_X{}^2+4X^2\sigma_Y{}^2}$　　D．以上三种表示都不对

## 三、应用题（3 个小题，共 40 分，**要求计算步骤完整**）

1．用螺旋测微计测量金属丝的直径（仪器的最小分度值为 0.01mm，仪器误差为 0.01mm 零差为 0.003mm），共测量 9 次，其测量值 $D$=0.789，0.756，0.767，0.782，　0.786，0.765，0.775，0.761，0.788（单位：mm）。求直径的测量结果（仪器误差视为均匀分布）。（15 分）

答：（1）计算金属丝直径 $D$ 的平均值 $\overline{D}$。（3 分）

（2）计算 A 类不确定度 $u_{A_{\overline{D}}}$。（4 分）

（3）计算 B 类不确定度 $u_{B_{\overline{D}}}$。（3 分）

（4）计算合成不确定度 $\sigma_{\overline{D}}$。（3 分）

（5）写出结果表达式（2 分）

2．通过测定直径 $D$ 以及高 $h$，求圆柱体的体积 $V$（$V=\pi D^2h/4$）。用游标卡尺测量高 $h$=32.24mm(只测一次，卡尺的仪器误差为 0.02mm)，用螺旋测微计测量直径，多次测量后计算出 $\overline{D}$=12.342mm，$D$ 的 A 类不确定度为 0.006mm，螺旋测微计的仪器误差为 0.01mm，不考虑螺旋测微计的估度误差，求圆柱体的体积以及体积的不确定度和相对不确定度？（19 分）

答：（1）求圆柱体的体积（2 分）

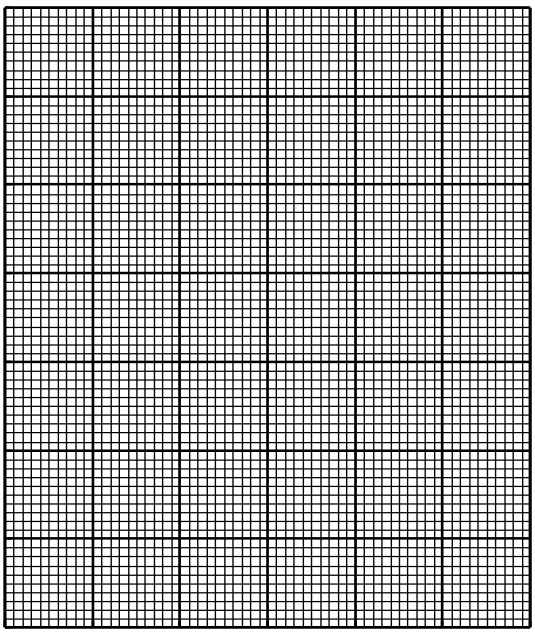
（2）求高 $h$ 的 B 类不确定度及合成不确定度（2 分）

（3）求直径 $D$ 的 B 类不确定度（2 分）

（4）求直径 $D$ 的合成不确定度（3 分）
（5）求体积 $V$ 的相对不确定度（4 分）
（6）求体积 $V$ 的合成不确定度（3 分）
（7）写出体积 $V$ 的结果表达式（3 分）

3．下表是一只热电偶的温度与电动势的对应值，请按规范的作图法，在右边的坐标纸中画出热电偶的电动势随温度变化的拟合直线。（6 分）

| 温度 $t$ / ℃ | 40.0 | 45.0 | 50.0 | 55.0 | 60.0 | 65.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 电动势 $E$ / mV | 0.772 | 0.981 | 1.165 | 1.375 | 1.792 | 1.964 |



# 模拟试题 3 参考答案

**一、填空题（每空 2 分，共 40 分）**

1．测量对象 、测量单位 、测量方法 、测量准确度 。 2．4.9%或 5% 。
3．5.00 ，48.3 。 4．−0.06℃ ，23.39℃ 。 5．0.5 mA ，25.0mA 。
6．精密度 。 7．0.01（或 0.011、0.012）。 8．统计 。
9．物理量（符号） 、单位 和 分度值 。
10．（5.69±0.07）KΩ 。11．$10\times10^2$ （或 $1.0\times10^3$）。 12．0.0029s（或 0.003s） 。

**二、单选题，（每题 2 分，共 20 分）**

1．A 2．C 3．B 4．C 5．D 6．A 7．D 8．B 9．D 10．D

**三、应用题（3 个小题，共 40 分）**

1．答：（1）计算金属丝直径 $D$ 的平均值 $\overline{D}$（3 分）

减去零差后的直径值 $D_i$=0.786, 0.753, 0.764, 0.779, 0.783, 0.762, 0.772, 0.758, 0.785(mm)（1 分）

$$\overline{D}=\frac{\sum D_i}{n}=\frac{0.786+0.753+0.764+0.779+0.783+0.762+0.772+0.758+0.785}{9}=0.7713(\text{mm})$$（2 分）

（2）计算 A 类不确定度 $u_{A_{\overline{D}}}$（4 分）

$$u_{A_{\overline{D}}}=\sqrt{\frac{\sum(D_i-\overline{D})^2}{n(n-1)}}=\sqrt{\frac{0.015^2+0.018^2+0.007^2+0.008^2+0.012^2+0.009^2+0.001^2+0.013^2+0.014^2}{n(n-1)}}$$

$$=\sqrt{0.001253/72}=0.0042(\text{mm})\text{或}0.004(\text{mm})$$

（3）计算 B 类不确定度 $u_{B_{\overline{D}}}$：（3 分）

因为 $\Delta_{D估}=0.2\times\text{最小刻度}=0.2\times0.01=0.002(\text{mm})<\frac{\Delta_{螺}}{3}=\frac{0.01}{3}=0.0033(\text{mm})$，

所以 $u_{B_{\bar{D}}}=\sqrt{\left(\frac{\Delta_{螺}}{\sqrt{3}}\right)^2+\left(\frac{\Delta_{D估}}{\sqrt{3}}\right)^2}\approx\frac{\Delta_{螺}}{\sqrt{3}}=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.0058(\text{mm})$ 或$0.006(\text{mm})$

（4）计算合成不确定度$\sigma_{\bar{D}}$（3 分）

$$\sigma_{\bar{D}}=\sqrt{u_{A_{\bar{D}}}^2+u_{B_{\bar{D}}}^2}=\sqrt{0.0042^2+0.0058^2}=0.0072(\text{mm})\text{或}0.007(\text{mm})$$

（5）写出结果表达式（2 分）

$D=(0.7713\pm0.0072)\text{mm}$ 或 $D=(0.771\pm0.007)\text{mm}$

2. 答：（1）求圆柱体的体积（2 分）

$V=\pi D^2h/4$ （注：π 应取 3.142 或 3.1416，取 3.14 扣 1 分）

$=3857.1(\text{mm}^3)$ 或 $3857(\text{mm}^3)$

（2）求高 $h$ 的 B 类不确定度和合成不确定度（2 分）

因为是单次测量，且游标卡尺是非连续读数仪器，不存在估度误差，所以

$$\sigma_h=u_{B_h}=\frac{\Delta_{卡}}{\sqrt{3}}=\frac{0.02}{\sqrt{3}}=0.012(\text{mm})\text{或}0.01(\text{mm})$$

（3）求直径 $D$ 的 $B$ 类不确定度（2 分）

测量 $D$ 因不考虑螺旋测微计的估读误差，所以

$$u_{B_{\bar{D}}}=\frac{\Delta_{螺}}{\sqrt{3}}=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.0058(\text{mm})\text{或}0.006(\text{mm})$$

（4）求直径 $D$ 的合成不确定度（3 分）

$$\sigma_{\bar{D}}=\sqrt{u_{A_{\bar{D}}}^2+u_{B_{\bar{D}}}^2}=\sqrt{0.006^2+0.0058^2}=0.0083(\text{mm})\text{或}0.008(\text{mm})$$

（5）求体积 $V$ 的相对不确定度（4 分）

$$\frac{\sigma_V}{V}=\sqrt{\left(\frac{2\sigma_{\bar{D}}}{\bar{D}}\right)^2+\left(\frac{\sigma_h}{h}\right)^2}=\sqrt{\left(\frac{2\times0.0083}{12.342}\right)^2+\left(\frac{0.012}{32.24}\right)^2}=0.14\%\text{或}0.1\%$$

（6）求体积 $V$ 的合成不确定度（3 分）

$$\sigma_V=V\cdot\frac{\sigma_V}{V}=3857.1\times0.14\%$$

$=5.4(\text{mm}^3)$ 或$5(\text{mm}^3)$

或$4(\text{mm}^3)$

（7）写出体积的结果表达式（3 分）

$V=(3857.1\pm5.4)\ \text{mm}^3$

或$V=(3857\pm5)\ \text{mm}^3$

或$V=(3857\pm4)\ \text{mm}^3$

3．答：见右图。

