

第 11 届 CPHO-S 物理竞赛联考暨 39th – CPhO 复赛模拟赛

实验笔试试题

考试时间：2022 年 8 月 27 日 15:00—16:00

命题人：胡宸源 李忆唐 李瀚奕

审题人：张政亮 向滢滢

考生必读

- 1、考生考试前请务必阅读本须知。
- 2、本试题共 5 页，答题卡共 2 页，总分 80 分。
- 3、如遇到试题或答题卡印刷不清楚的情况，请务必向监考老师提出。
- 4、需要阅卷老师评阅的内容一定要写在答题纸相应题号后面的空白处，请注意合理规划答题以避免超出答题区域导致作答无效。
- 5、若无特别说明，不需要进行误差分析，但结果需保留合理的有效位数。

A. 液体折射率的测定（40 分）

如图 a.1 所示为光栅光谱仪的结构简图，当一束复合光线进入单色仪的入射狭缝 S_1 ，首先由光学准直镜 M_2 汇聚成平行光，再通过衍射光栅 G 色散，利用不同波长光的衍射角不同，可以控制使得特定波长的光通过聚焦反射镜 M_3 成像出射至狭缝 S_3 （狭缝 S_2 外接光电倍增管，用以测量不同波长光的光强度，在本实验中无需使用）。

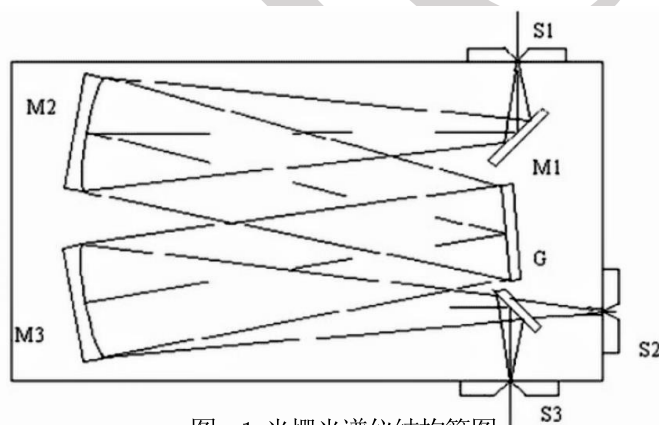


图 a.1 光栅光谱仪结构简图

实验仪器：分光计一台、光栅光谱仪一台、溴钨灯（白光光源）一台、等边三棱镜两个（侧面有一面为毛面，毛面所对的顶角 $\alpha = 60^\circ \pm 1'$ ）、装有待测液体的滴瓶一个（配套滴管）

实验目的：测定待测液体的折射率及柯西色散系数

实验内容：

1. 分光计的基本调节；

分光计的基本调节步骤如下：

- （1）目视粗调分光计至工作状态；
- （2）调节目镜，使得望远镜中叉丝像清晰；
- （3）利用自准直法，①（调节要求）；
- （4）利用②（调节方法），③（调节要求）；
- （5）利用狭缝成像准直，④（调节要求）；

A.1 (9 分)

A.1.1 完善上述调节步骤。

A.1.2 若测量过程中，固定实验装置而从不同角度观察目镜中狭缝位置时，狭缝时而在叉丝左侧，时而在叉丝右侧，狭缝像竖直且清晰。则上述步骤____(序号)____的调节过程出现问题。

2. 利用最小偏向角法测量三棱镜折射率 $n(\lambda)$;

如图 a.2 所示，当一束光以特定方向入射三棱镜时，出射光线的偏向角 δ 与三棱镜的取向有关。

当 $r = r'$ 时， $i = i'$ ，此时

$$\frac{d\delta}{di} = \frac{d\delta}{di'} = 0 \quad (a.1)$$

$$\delta_m = 2 \arcsin \left(n \sin \frac{\alpha}{2} \right) - \alpha, n = \frac{\sin \left(\frac{\delta_m + \alpha}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \quad (a.2)$$

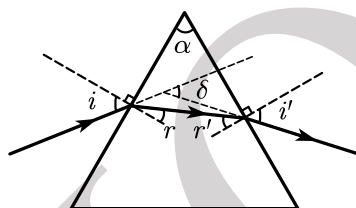


图 a.2 最小偏向角法原理图

表 a.1 展示了不同波长光对应的最小偏向角 $\delta(\lambda)$ 测量值及折射率 $n(\lambda)$ 。

表 a.1 最小偏向角法测量三棱镜折射率测量数据表

$\lambda(\text{nm})$	633	589	546	492	436	405
δ_m	$50^\circ 48'$	$51^\circ 9'$	$51^\circ 43'$	$52^\circ 27'$	$53^\circ 43'$	$54^\circ 45'$
n	1.6463	1.6497	1.6553	1.6625	1.6746	

A.2 (7 分)

A.2.1 计算波长为 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 的光在三棱镜中的折射率及不确定度， $\sigma_{\delta_m} = 1'$ ，直接填写在答题卡相应位置。

A.2.2 某次实验中，实验者通过测量出射角 i' 的值代替最小偏向角 δ_m 以计算三棱镜的折射率，此时

$$n = \frac{\sin i'}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (a.3)$$

待实验结束处理数据时发现，计算值与真值差异远在误差范围以外，遂重新进行实验。在确定自身操作规范且实验操作无误的前提下，该偏差依旧存在，试解释原因。

3. 利用掠入射法测量液体折射率 $n'(\lambda)$;

A.3 (8 分)

画出实验装置简图，并标注待测量角度，记为 ϕ ，给出 $n'(\lambda)$ 的理论公式。

4. 液体柯西色散系数的确定;

表 a.2 展示了不同波长光对应的 $\phi(\lambda)$ 测量值及折射率 $n'(\lambda)$ 。

表 a.2 掠入射法测量待测液体折射率数据表

$\lambda(\text{nm})$	633	589	546	492	435	405
ϕ	$10^\circ 0'$	$10^\circ 4'$	$10^\circ 26'$	$10^\circ 45'$	$11^\circ 28'$	$12^\circ 0'$
n'	1.3310	1.3332	1.3344	1.3374	1.3406	

一般地，介质的色散关系可以表述为柯西经验公式

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots \quad (a.4)$$

在本实验的精度范围内，我们仅取式 a.4 中的前两项，即

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (a.5)$$

我们把式(a.5)中的 A, B 分别称为介质的第 0 色散系数和第一色散系数。

利用作图法计算待拟合直线斜率时，常利用以下方式估计斜率的不确定度，以图 a.3 所示的数据点分布为例：首先根据以下原则作出最优直线（图 a.3 中实线，斜率 k_0 ）：

- (1) 通过尽可能多的数据点；
- (2) 剩余数据点均匀分布在直线两侧且距离直线尽可能近。

然后对上述条件适当放宽，作出另外两条近最优直线（图 a.3 中虚线，斜率 k_1, k_2 ），得到斜率的不确定度

$$\sigma_k = \frac{1}{2} |k_1 - k_2| \quad (a.4)$$

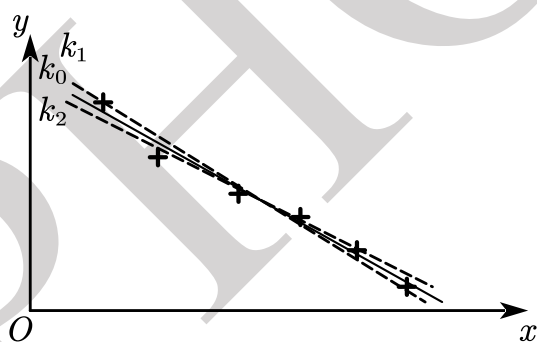


图 a.3 作图法确定直线斜率不确定度算例

A.4 (16 分)

计算波长为 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 的光在液体中的折射率，直接填写在答题卡的相应位置，并作图确定待测液体的第一色散系数及其不确定度。

B. 霍尔片的物性测量（40 分）

将通有电流的导体置于磁场中，则在导体中垂直于磁场与电流的方向上会产生一个横向电势差。这种物理现象是美国物理学家霍尔在 1897 年发现的，故称为霍尔效应。

如图 b.1 所示为霍尔效应测量磁场的实验电路，其中 E_1, R_1 用以调节励磁电流 I_M 的值， E_2, R_2 用以调节通过霍尔片的电流 I_H 的值。霍尔效应测量仪所用的电流表、毫伏表均可视为理想电表，毫安表内阻与霍尔片阻值数量级相同。

霍尔效应对于金属来说并不明显，但是对于半导体却非常显著，利用霍尔效应可以判断半导体材料的导电类型，测定载流子浓度、载流子迁移率等重要参数。本题中，我们将借助霍尔效应测量仪，测定霍尔片的电学性质。

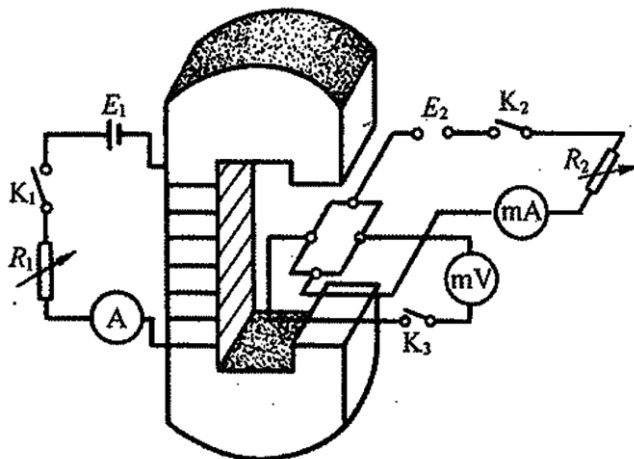


图 b.1 霍尔效应测量仪装置图

实验仪器：霍尔效应测量仪一台（霍尔片长宽高 $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m} \times 260\ \mu\text{m}$ ，阻值 $R \sim \text{k}\Omega$ ，载流子为电子，元电荷电荷量 $e = 1.602 \times 10^{-19}\ \text{C}$ ，载流子浓度 $n = 1.38 \times 10^{20}\ \text{m}^{-3}$ ，线圈常数 $C = 264.5\ \text{mT} \cdot \text{A}^{-1}$ ）、六位电阻箱三个、导线若干

实验目的：测量霍尔片的电导率及迁移率，探究霍尔片的磁阻效应

实验内容：

1. 霍尔效应：

在进行霍尔效应的实验过程中，消除霍尔效应的副效应是极其重要的一环，我们考虑四个主要的副效应：

- (1) ①（效应名称，若遗忘可描述该效应），该效应导致的附加电压值 $\Delta U_1 \propto B^0 I^1$ ；
- (2) 埃廷豪森效应，②（描述该效应），该效应导致的附加电压值 $\Delta U_2 \propto B^1 I^1$ ，该副效应无法通过 I_M 或 I_H 的换向消除，但可以③（方法）减小影响；
- (3) 能斯脱效应，即由于电流输入端接触点处的接触电阻不同，或由于电极、半导体材料不同等产生不同的焦耳热，从而导致载流子在电流方向产生热流，并在磁场作用下产生电位差，该电位差 ΔU_3 可以通过④（ I_M/I_H ）方向的改变来消除；
- (4) 里纪—勒杜克效应，该效应是效应⑤（序号）与效应⑥（序号）综合导致的影响，该副效应导致的附加电压 ΔU_4 可以通过⑦（ I_M/I_H ）方向的改变来消除

B.1（10 分）

补全上述有关霍尔电压副效应的分析。

2. 霍尔片电学参数的测定：

在本部分，我们将测量霍尔片的以下参数：

电导率 $\sigma = 1/\rho$ ，即电阻率的倒数，用以描述介质的导电能力；

迁移率 $\mu = v/E$ ，即电子漂移速率与电场强度之比，用以描述载流子的导电能力；
磁阻效应 $\alpha(B) = \Delta\sigma(B)/\sigma$ ，即电导率相对变化率与磁场大小的关系。根据理论推导，一般地，有

$$\alpha(B) \propto (\mu B)^\lambda \ll 1 \quad (b.1)$$

B.2 (30 分)

B.2.1 测量得到霍尔片电阻 $R = 721 \, \Omega$ ，计算霍尔片电导率 σ 与迁移率 μ 的值。

B.2.2 设计实验，测量霍尔片的磁阻效应。

要求绘制实验电路，简述电路电阻箱参数、实验步骤及待测量，并将 $\alpha(B) = \alpha(C \cdot I_M)$ 用各直接测量量表示。

表 b.1 展示了经过处理后的数据。

表 b.1 霍尔片磁阻效应测量数据表

$I_M(A)$	0.000	0.200	0.400	0.600	0.800	0.900	1.000
$\alpha(10^{-3})$	0.00	0.43	1.21	2.48	4.27	5.37	6.53

B.2.3 利用表 b.1 中的数据确定 λ 的最佳拟合值 λ^* ，并依此推测 λ 的理论真值，正整数 λ_0 。

B.2.4 在 B.2.3 的基础上，记 $\alpha(B) = k(\mu B)^{\lambda_0}$ ，计算 k 的值，保留两位有效数字，直接填在答题卡相应位置。