

实验题目一 用超声光栅测定水中的声速题解与评分标准

【问题 1】搭建光路观察声光效应。

1. 画出实验光路布置示意图，简要说明各元件的作用。(4分)

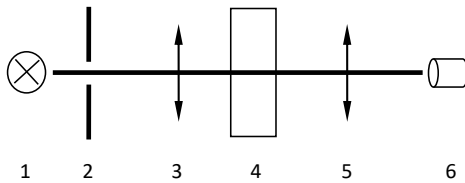


图 1 实验光路图

序号	名称	作用
1	钠光灯	提供波长 589.3 nm 的光源
2	单缝	钠灯光经单缝可视其为发光物体
3	薄透镜	使单缝光源处于透镜的焦平面上，形成 <u>准</u> 平行光
4	超声池	形成超声光栅
5	薄透镜	超声光栅出射的平行光经过此透镜汇聚，将成像在其焦平面上
6	测微目镜	用于观察和测量衍射条纹间距

评分标准

- (1) 光路图各元件位置正确 21分
- (2) 元件作用阐述正确 23分，每个 0.5分

2. 搭建并调节光路，说明实验步骤和调节要求，观察超声光栅衍射现象。(9分)

- 调钠光灯与狭缝等高。
- 粗调透镜 L_2 (元件 5) 与狭缝的等高共轴等高，粗调及用两次成像法细调透镜 L_2 等高共轴调节。即物与像大于 4 倍的焦距时，固定物屏和像屏，调节透镜位置会呈现一大一小的两个像，调整如果他们中心重合即可则已经共轴。并通过自准直法测其焦距后连同滑块一起从导轨上取下导轨。
- 同理对透镜 L_1 进行粗调和细调等高共轴调节并通过自准直法产生平行光。
- 安装透镜 L_2 及测微目镜，调节等高共轴，调清晰测微目镜分划板，并使测微目镜看到清晰的狭缝像。

带格式的：缩进：左侧： 1.27 厘米

带格式的：缩进：左侧： 1.27 厘米， 无项目符号或编号

- (5) 安装超声池，调整合适高度并使光线垂直入射。
- (6) 观察到衍射条纹。

评分标准：

- (1) 0.5分；
- (2) 3分，等高共轴粗调 0.5分，细调 1分粗调，测量焦距 1.5分，(150.0±2.03mm 以内 1.5分)；1.5分；(150.0±4.05mm 以内 1分)；1分；(150.0±6.05mm 以内 0.5分外)；不测焦距不得分。
- (3) 2分（粗、细调节共轴 0.5分，产生平行光 1.5分）；
- (4) 1.5分（调等高、调分划板、调狭缝像各 0.5分）；
- (5) 1分（调高度 0.5分，调垂直入射 0.5分）；
- (6) 1分。

注：如果只用一块透镜做一次自准直调焦、测侧焦距，而认为两个透镜焦距一致（即不测 5 的焦距，只测 3 也可以不扣分）

3. 调整衍射系统，得到至少三级 (k=±3) 对称的衍射条纹；改变超声波频率时，描述并解释测微目镜视场中条纹的变化规律，记录最佳状态的此时所观察的超声波频率。(3分)

当超声波频率增大时，光衍射条纹间距增大；反之频率减小时，条纹间距随之减小。这是因为当超声频率变大时，超声波长减小，即光栅常数 d 变小，但是 $d \sin \theta = k\lambda$ 对于同级条纹是不变的，因此 $\sin \theta$ 会变大，而在小角度下 $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{S}{f}$ ，条纹间距 S 变大；反之条纹间距变小。

记录最佳状态的超声频率。

评分标准：文字表述正确 2分；

超声波频率以具体仪器备案资料为准为 10—12MHz，正确得 1分。

【问题 2】测定超声光栅的光栅常数和超声波在水中传播的声速。

1. 给出所用公式，说明公式中各个量的物理意义。(5分)

光栅方程 $d \sin \theta = k\lambda$

式中 d 为光栅常数， θ 为衍射角

若 L_k 为 k 级条纹至零级条纹的距离， f 为透镜焦距，由于 $L_k \ll f$ ，

带格式的：缩进：首行缩进： 0 字符

设置了格式：字体：加粗

设置了格式：字体：加粗，(国际) Calibri

设置了格式：字体：加粗

设置了格式：字体：小四，字体颜色：自动设置

带格式的：缩进：左 0 字符，首行缩进： 0 字符

带格式的：缩进：首行缩进： 0 字符

$$\sin \theta \approx \theta \approx \tan \theta = \frac{L_k}{f}$$

$$\text{则 } \sin \theta = \frac{L_k}{f}$$

所以有 $d = \frac{k\lambda f}{L_k} = \frac{\lambda f}{\Delta L_k}$ ，光栅常数即为超声波长

因此所以超声波声速 V ：

$$V = d \nu$$

因此超声波速为

$$V = d\nu = \frac{\lambda f \nu}{\Delta L_k}$$

其中 ν 为超声波频率， f 为透镜焦距， λ 为钠光波长， ΔL_k 为衍射条纹间距。

评分标准：

(1) 光栅方程 $d \sin \theta = k\lambda$ 1分；

(2) $\sin \theta = \frac{L_k}{f}$ 1分；

(3) $d = \frac{k\lambda f}{L_k} = \frac{\lambda f}{\Delta L_k}$ ，光栅常数即为超声波长 1分；

(4) 超声波的速度 $V = d\nu = \frac{k\lambda f \nu}{L_k} = \frac{\lambda f \nu}{\Delta L_k}$ 1分；

(5) 各量物理意义各 0.2 分，共计 1 分。

2. 测量至少三级 ($k=\pm 3$) 对称的衍射条纹，记录并处理数据 (45分)

评分标准：

(1) 列表、标明单位 0.5 分；

(2) 有效数字合理 0.5 分；

(3) 测出 7 条条纹 2 分；测出 5 条得 1 分；测三条得 0.5 分。

(4) 处理数据 1 分；

3. 计算超声光栅的光栅常数和超声波在水中的声速。 (5分)

设置了格式：字体：小四，非加粗，字体颜色：自动设置

设置了格式：字体：小三，加粗，倾斜，字体颜色：红色

设置了格式：删除线

带格式的：缩进：首行缩进：0 字符

带格式的：首行缩进：0 字符

带格式的：缩进：首行缩进：0 字符

评分标准:

(1) 公式代入数据 0.5分;

(2) 有效数字正确 0.5分;

(3) 结果在 标准值 $\pm 20\text{m/s}$ 得 4分;

标准值 $\pm 30\text{m/s}$ 得 3分;

标准值 $\pm 40\text{m/s}$ 得 2分;

标准值 $\pm 100\text{m/s}$ 得 1分;

超出以上范围不得分。

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

带格式的: 缩进: 首行缩进: 4.5 字符

k	X_k (mm)	$X_{k+4} - X_k$ (mm)	ΔL_k (mm)
-3	2.053	2.602	0.6505
-2	2.710	2.595	0.6487
-1	3.360	2.579	0.6448
0	4.012		
1	4.655		
2	5.305		
3	5.939		

格式化表格

数

设置了格式：字体：四号

带格式的：缩进：首行缩进： 4.5 字符

数据处理

参考示

格式化表格

例

测量至

少三级 ($k=\pm 3$) 对称的衍射条纹，记录并处理数据

方法一：逐差法——去掉 L_0 分组逐差

带格式的：缩进：首行缩进： 4.5 字符

带格式的：缩进：首行缩进： 4.5 字符

$$\bar{L}_k = 0.6480\text{mm}$$

方法二：

设置了格式：字体：(默认) 宋体，(中文) 宋体，非加粗

k	X_k (mm)	$X_{+3} - X_{-3}$ (mm)	$X_{+2} - X_{-2}$ (mm)	$X_{+1} - X_{-1}$ (mm)
-3	2.053	3.886	2.595	1.295
-2	2.710			
-1	3.360			
0	4.012			
1	4.655			
2	5.305			
3	5.939			

方法一：逐差法——去掉 L_0 分组逐差

带格式的：缩进：首行缩进：0 字符

k	X_k (mm)	$X_{k+4} - X_k$ (mm)	ΔL_k (mm)
-3	2.053	2.602	0.65050
-2	2.710	2.595	0.64875
-1	3.360	2.579	0.64475
0	4.012		
1	4.655		
2	5.305		
3	5.939		

$$\bar{\Delta L}_k = 0.6480$$

0mm

k	X_k (mm)	$X_{k+4} - X_k$ (mm)	ΔL_k (mm)
-3	2.053	2.602	0.65050
-2	2.710	2.595	0.64875
-1	3.360	2.579	0.64475
0	4.012		
1	4.655		
2	5.305		
3	5.939		

$$\sigma_{\Delta L_k} = 0.00$$

2 mm

方法二：

k	X_k (mm)	$X_{+3} - X_{-3}$ (mm)	$X_{+2} - X_{-2}$ (mm)	$X_{+1} - X_{-1}$ (mm)
-3	2.053	3.886	2.595	1.295
-2	2.710			
-1	3.360			
0	4.012			
1	4.655			
2	5.305			

格式化表格

3	5.939			
---	-------	--	--	--

$$\overline{\Delta L_k} = \frac{1}{3} \left(\frac{3.866}{6} + \frac{2.595}{4} + \frac{1.295}{2} \right) = 0.6469 \text{ (mm)}$$

带格式的：缩进：首行缩进： 0 字符

带格式的：缩进：首行缩进： 8 字符，定义网格后自动调整右缩进，到齐到网格

~~评分标准：(1) 列表、标明单位 0.5 分；~~

~~(2) 有效数字合理 0.5 分；~~

~~(3) 测出 7 条条纹 23 分，如果仅测出 5 条则得 1 分；~~

带格式的：缩进：首行缩进： 0 字符

k	X_k (mm)	$X_{+3} - X_{-3}$ (mm)	$X_{+2} - X_{-2}$ (mm)	$X_{+1} - X_{-1}$ (mm)
-3	2.053	3.886	2.595	1.295
-2	2.710			
-1	3.360			
0	4.012			
1	4.655			
2	5.305			
3	5.939			

~~(4)
处 理
数 据
1 分；~~

~~(5) 如果学生自左至右，过了 3 级之后再反向测量获得两个数据，在以后下面数据处理中将其平均则正确。~~

带格式的：定义网格后自动调整右缩进，到齐到网格

~~3. 计算超声光栅的光栅常数和超声波在水中的声速。 (54 分)~~

方法一:

透镜焦距: $f = 149.80\text{mm}$, 单次测量极限不确定度估计为 $e = 0.5\text{mm}$

则 $\sigma_f = e/\sqrt{3} = 0.3\text{mm}$

超声波频率为 $\nu = 10.718\text{MHz}$, 室温 17.5°C

极限不确定度 $e = 0.005\text{MHz}$

则 $\sigma_\nu = e/\sqrt{3} = 0.003\text{MHz}$

超声波中心频率为 $\nu = 10.718\text{MHz}$

中心频率如何确定的? 题目中没有交待。

设置了格式: 上标

带格式的: 缩进: 首行缩进: 4.5 字符

带格式的: 缩进: 首行缩进: 2 字符

超 声 光 栅 常 数

$$d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 149.80}{0.6480 \times 10^{-3}} = 0.1362\text{mm} \quad d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 149.80}{0.6480 \times 10^{-3}} = 0.1362\text{mm}$$

超声声速

$$V = d\nu = 0.1362 \times 10.718 \times 10^6 = 1460 \quad V = d\nu = 0.13646 \times 10.718 \times 10^6 = 1460$$

m/s

$$\sigma_V = V \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\nu}{\nu}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{L_k}}{L_k}\right)^2} = 6\text{m/s}$$

结果为 $V = 1460 \pm 6\text{ (m/s)}$

方法二

透镜焦距为 $f = 149.80\text{mm}$

超声波中心频率为 $\nu = 10.718\text{MHz}$ 室温 17.5°C

超 声 光 栅 常 数

$$d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 149.80}{0.6469 \times 10^{-3}} = 0.1365 \text{ mm} \quad d = \frac{\lambda f}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 149.80}{0.6469 \times 10^{-3}} = 0.1365 \text{ mm}$$

超声声速

$$V = \frac{\lambda f v}{\Delta L_k} = d v = 0.1365 \times 10.718 \times 10^6 = 1463 \text{ m/s} \quad V = \frac{\lambda f v}{\Delta L_k} = d v = 0.1365 \times 10.718 \times 10^6 = 1463 \text{ m/s}$$

评分标准:

(1) 公式代入数据 0.51分;

(2) 有效数字正确 0.51分;

(3) 结果在 $1470 \pm 30 \text{ m/s}$ 得有效区间 42分; 在 1470 ± 40 得 3分; 在 1470 ± 50 得 1分; 超出以上范围其余不得分。

带格式的: 定义网格后自动调整右缩进, 行距: 单倍行距, 到齐到网格

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

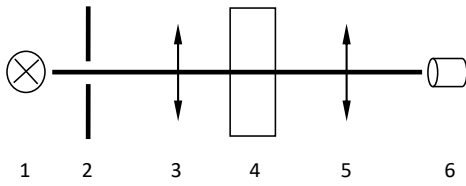
带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

=

建议都不要要求做不确定度计算

提示卡: 光路布置示意图

设置了格式: 字体: 加粗



提示卡二:

形成超声光栅时，超声波波长即为超声光栅的光栅常数，只要测出光栅常数，即可计算超声声速。

设置了格式: 字体: 加粗

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

提示卡三:

光栅方程 $d \sin \theta = k \lambda$

在透镜焦平面获得衍射条纹时

$$\sin \theta \approx \theta \approx \tan \theta = \frac{L_k}{f}$$

L_k 为 k 级条纹至零级条纹的距离

$$d = \frac{k \lambda f}{L_k} = \frac{\lambda f}{\Delta L_k}$$

光栅常数即为超声波长

设置了格式: 字体: 加粗

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

带格式的: 缩进: 左侧: 0 厘米

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符