

物理竞赛实验试题

(光学实验)

竞赛时间: 2018年10月28日; 所需时间: 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做任何标记]

实验题目 (60分)

光学玻璃是一些重要的光学材料, 其杨氏模量、折射率等参数经常需要进行测量。利用提供的实验器材测量光学玻璃的杨氏模量、折射率。

实验器材

1. 2米长导轨1根
2. 大一维位移光源1个, 小一维位移光源2个, 固定光源1个, 升降调节光源1个
3. 半导体激光器及其电源各1台 (电源上有旋钮, 可调节激光光强大小)
4. 白屏1个
5. 干板架1个 (支杆中心距干板架固定夹持面距离为3.13mm)
6. 辅助透镜 (平凸透镜) 1个
7. 扩张镜 1个 (焦距4.5mm)
8. 测微目镜1个 (分划板光源中心距离为37.0mm)
9. 质量为20.00g槽码12只, 质量为20.00g的槽码托盘2只
10. 玻璃条支架1对
11. 方形薄不锈钢片2片 (边缘基本平直, 均可作为铁锤头, 其厚度为0.30mm)
12. 厚光学玻璃1片
13. 白纸片2张 (其中一张备用)
14. 细线2根 (不考虑其质量, 其中一根备用)
15. 窄双面胶1卷
16. 长光学玻璃条1片
17. 烧杯1个 (盛有适量的水)
18. 游标卡尺1只
19. 千分尺1只
20. 直尺1把
21. 照明用LED灯1只 (用充电宝供电, 灯身开关长按为开关控制, 短按为5级亮度调节, 充电宝上按钮亦为电源开关)

注意事项

1. 激光束光强未经减弱, 不得直视。
2. 光学玻璃、透镜等元件轻拿轻放, 不用时放在桌子里边以免不慎摔坏 (损坏不予更换)。
3. 厚光学玻璃片、长玻璃条和不锈钢片边角锐利, 拿取时注意避免划伤手指。
4. 不要用手触摸透镜表面。
5. 注意避免实验操作时不锈钢片、槽码、细线和纸片等细小器材掉落地面。
6. 实验结束, 必须将仪器设备整理为初始状态。
7. 实验结束后, 监考人员将检查实验器材是否完好。

实验原理及要求

1. (28分) 测量激光波长

1834年洛埃 (Humphrey Lloyd) 描述了单色光源经入射到一片平面玻璃表面上, 其反射光束与点光源光束重叠区域产生干涉条纹。该条纹可看成是点光源和关于玻璃表面对称的虚光源产生的干涉结果。此种干涉称为洛埃法干涉。

实验要求:

- 1) 画出实验光路示意图, 简要写出利用洛埃法干涉测量激光波长的原理及公式。
- 2) 写出各物理量的测量方法、实验步骤, 并列实验数据。
- 3) 根据对各物理量的测量结果, 计算激光波长。

2. (20分) 利用单缝衍射测量长玻璃条的杨氏模量

杨氏模量是表征固体材料抵抗形变能力的重要物理量, 弯曲法是常用的一种测量杨氏模量方法, 厚为 t 、宽为 b 的均匀玻璃条, 水平对称地放在相距为 L 的两刀口上, 对梁中心施加一向下的重力 mg , 梁的挠度为 d (见图1), 此时梁的杨氏模量为 $E = \frac{L^3 mg}{4t^3 b d}$ 。

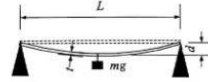


图1 弯曲法测量杨氏模量

实验要求:

- 1) 画出利用单缝衍射法测量杨氏模量的实验装置示意图, 写出测量公式 (此处有提示卡一, 提示实验装置图)
- 2) 写出实验步骤, 列出实验数据, 计算杨氏模量

3. (12分) 测量厚玻璃片的折射率

将用水浸湿的白纸贴在厚玻璃片的一面, 激光从没有纸的另一面入射, 则在白纸上可见以入射光点为圆心形似日晕的光环。

实验要求:

- 1) 画出光路示意图, 解释光环产生的原因。 (此处有提示卡二, 提示原因)
- 2) 写出实验过程、列出实验数据、测出玻璃片的折射率。

说明

1. 本题目中一共有两张提示卡, 可以向监考老师申请使用, 使用则依次分别扣8、5分;
2. 答卷上的草稿栏, 根据实际需要使用。
3. 上海地区重力加速度取 9.794m/s^2 。

物理竞赛实验光学评分标准

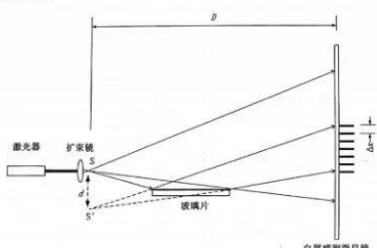
竞赛时间: 2018年10月28日; 所需时间: 90分钟

成绩评定表

一. 测量激光波长 (本部分28分)

1. 画出实验光路示意图, 简要写出利用洛埃法干涉测量激光波长的原理及公式

(1) 实验光路示意图:



扩张镜将激光束会聚后在其焦点 S 处形成点光源, 一部分光直接照在白屏或测微目镜上, 另一部分经玻璃片反射后照在白屏或测微目镜上, 两者重叠区域观察到明暗相间等间距的干涉条纹, 条纹间距为 Δx , 实光源虚光源之间距离为 d , 光源和屏之间距离为 D 。

评分: 2分

- 各元件 (激光器、扩张镜、玻璃片、白屏或测微目镜) 标注各0.2分
点光源、虚光源位置各0.4分
实光源间距、点光源与白屏 (或测微目镜) 间距标注各0.2分

(2) 洛埃法测量激光波长的原理及公式

类似于双缝干涉, 此干涉条纹可看成是实光源 S (位于扩张镜焦点处) 和虚光源 S' (反射光线延长线的交点) 干涉的结果, 条纹间距 Δx 与光源和屏之间距离 D 成正比, 和实光源虚光源之间距离 d 成反比, 即

$$\Delta x = \frac{\lambda D}{d} \quad (1)$$

其中 λ 为激光波长, 因此利用此式可求出激光波长

$$\lambda = \frac{\Delta x d}{D} \quad (2)$$

评分: 2分

输出原理1分, 公式(2)1分。

2. 写出各物理量的测量方法、实验步骤, 并列实验数据。

(1) 各物理量的测量方法

测量方法1. 用共轭法测量实光源和虚光源之间距离 d 。

在玻璃片和屏之间放入辅助透镜, 移动辅助透镜, 可观察到大像和小像, 利用测微目镜分别测量大像时两个点之间距离 d_1 、小像时两个点之间距离 d_2 , 则

$$d = \sqrt{d_1 d_2} \quad (3)$$

测量方法2. 用物距与像距的比值来测量。

在玻璃片和屏之间放入辅助透镜, 移动辅助透镜, 可观察到大像和小像, 利用测微目镜测量大像或小像时两光点之间距离 d' , 辅助透镜与扩张镜焦点之间距离 μ , 辅助透镜与测微目镜分划板之间距离 ν , 则

$$d = \frac{\mu \nu}{d'} \quad (4)$$

评分: 2分

写出公式(3)或(4)给2分。

(2) 实验步骤

- 1) 利用白屏调节激光表平行于导轨
- 2) 利用平行激光表调节其它光学元件同轴等高
- 3) 激光器和白屏之间放入厚玻璃片 (夹在干板架上), 使得激光束经射入玻璃片光滑的一面。
- 4) 调节玻璃片前后位置以及倾斜, 在白屏上观察双光点, 使得双光点基本等高且相距很近。
- 5) 将扩张镜放入激光器与玻璃片之间, 观察白屏上等间距干涉条纹。
- 6) 将辅助透镜放入, 利用“大像追小像”法调节透镜高度, 使得大像和小像中心重合。
- 7) 调节激光器出射光强, 从最小调到合适值。
- 8) 将白屏换成测微目镜, 调节测微目镜高度, 像与分划板上标尺重合, 用测微目镜测量大像和小像两光点位置。
- 9) 将白屏换成测微目镜, 调节测微目镜高度, 像与分划板上标尺重合, 用测微目镜测量大像或小像两光点之间距离, 辅助透镜分别与扩张镜、测微目镜之间距离。
- 10) 移去辅助透镜, 观察测微目镜中等间距干涉条纹。
- 11) 利用测微目镜测量条纹间距, 连续测量20个或20个以上条纹位置。

或

10) 利用测微目镜测量条纹间距, 测量连续20个或20个以上条纹的首末位置。

评分: 5分

每1小点给0.5分。

(3) 数据记录

①各元件光具座位置见表1

表1			
元件	扩张镜	测微目镜 (测光源间距)	测微目镜 (测条纹间距)
位置 (cm)	10.00	87.00	117.00

评分: 1分

给出扩张镜和测微目镜位置各给0.5分。

单位未写或写错、有效数字错误, 此评分中分别扣0.2分。

②点光源和虚光源之间距离

测量方法1 共轭法

双光源大像和小像位置见表2

表2						
测量次数	1	2	3	4	5	6
大像						
右侧光点位置 (mm)	4.425	4.449	4.413	4.487	4.491	4.450
左侧光点位置 (mm)	1.138	1.165	1.143	1.145	1.123	1.125
小像						
右侧光点位置 (mm)	3.225	3.212	3.220	3.222	3.277	3.258
左侧光点位置 (mm)	1.208	1.198	1.197	1.252	1.253	1.241

测量方法 2 物距像距比

测量大像:

测量次数	1	2	3	4	5	6
右侧光点位置 (mm)	4.425	4.449	4.413	4.487	4.491	4.450
左侧光点位置 (mm)	1.138	1.165	1.143	1.145	1.123	1.125
透镜位置 (cm)	45.70	45.70	45.75	45.50	45.35	45.55

或测量小像:

测量次数	1	2	3	4	5	6
右侧光点位置 (mm)	3.225	3.212	3.220	3.222	3.277	3.259
左侧光点位置 (mm)	1.208	1.198	1.197	1.252	1.253	1.241
透镜位置 (cm)	55.10	55.35	55.40	55.60	55.30	55.45

评分: 3 分

测量次数少于 6, 此评分中扣除 0.5 分。
光点或透镜位置不全不扣分。
单位未写或写错, 有效数字错误, 此评分中分别扣除 0.2 分。
数据未列成正规表格形式, 此评分中扣除 0.2 分。

③ 测量条纹间距

测量方法 1: 连续测量 30 个暗条纹位置

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
位置 (mm)	0.188	0.450	0.723	0.988	1.255	1.537	1.806	2.067	2.342	2.627
k	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
位置 (mm)	2.886	3.163	3.444	3.709	3.985	4.260	4.528	4.800	5.089	5.333
k	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
位置 (mm)	5.610	5.900	6.170	6.441	6.710	6.991	7.260	7.532	7.817	8.084

测量方法 2: 重复测量 31 条暗条纹的首末位置

测量次数	1	2	3	4	5	6
末位置 (mm)	0.189	0.185	0.188	0.192	0.184	0.190
末位置 (mm)	8.352	8.355	8.367	8.357	8.355	8.357

评分: 2 分

测量方法 1: 测量 20 个位置以上的数据给 2 分, 少于 20 个, 扣 0.5 分
测量方法 2: 测量数据少于 6 个, 扣 0.5 分
单位未写或写错, 有效数字错误, 此评分中分别扣除 0.2 分。
数据未列成正规表格形式, 此评分中扣除 0.2 分。

3. 根据各物理量的测量结果, 计算激光波长。

(1) 点光源和虚光源之间距离计算

测量方法 1: 共轭法
由表 2 计算大小光点位置平均值

测量次数	平均值
大像 右侧光点位置 (mm)	4.453
小像 左侧光点位置 (mm)	1.140
大像 右侧光点位置 (mm)	3.236
小像 左侧光点位置 (mm)	1.225

则

$$d_1 = 4.453 - 1.140 = 3.313(\text{mm})$$

$$d_2 = 3.236 - 1.225 = 2.011(\text{mm})$$

$$d = \sqrt{d_1 d_2} = \sqrt{3.313 \times 2.011} = 2.581(\text{mm})$$

测量方法 2: 物距像距比

测量大像

由表 3 计算各物理量平均值

测量次数	平均值
右侧光点位置 (mm)	4.453
左侧光点位置 (mm)	1.140
透镜位置 (cm)	45.59

则

$$d = \frac{u}{v} = \frac{455.9 - 100.0 - 4.5}{870.0 - 455.9 + 37.0} \times (4.453 - 1.140) = 2.581(\text{mm})$$

或测量小像

由表 4 计算各物理量平均值

测量次数	平均值
右侧光点位置 (mm)	3.236
左侧光点位置 (mm)	1.225
透镜位置 (cm)	55.37

则

$$d = \frac{u}{v} = \frac{553.7 - 100.0 - 4.5}{870.0 - 553.7 + 37.0} \times (3.236 - 1.225) = 2.557(\text{mm})$$

评分: 4 分

测量方法 1: 光点位置平均值计算 1 分, d_1 、 d_2 、 d 计算结果各给 1 分。
若先算 d_1 、 d_2 再求 d 的原始数据或光源之间距离再求平均, 不直接对位置求平均也应得分。

测量方法 2: 大像或小像光点位置, 透镜位置平均值计算各 1 分, d 计算过程及结果各 1 分。
物距中未减去扩展透镜焦距或未加上透镜目镜分划板位置修正扣除 1 分
单位未写或写错, 有效数字错误, 此评分中分别扣除 0.2 分。

(2) 条纹间距计算

测量方法 1: 连续测量 30 个暗条纹位置
利用计算器对表 5 数据线性拟合得到的条纹间距 $\Delta x = 0.2727(\text{mm})$
或用逐差法计算:

$$\Delta x = \frac{\sum_{k=1}^{15} (x_{k+15} - x_k)}{15 \times 15} = \frac{61.355}{225} = 0.2727(\text{mm})$$

测量方法 2: 根据 31 条暗条纹的首末位置计算
根据表 6 计算 31 条暗条纹首末位置平均值为 0.188mm, 末位置平均值为 8.357mm, 则

$$\Delta x = \frac{8.357 - 0.188}{31 - 1} = 0.2723(\text{mm})$$

评分: 2 分

单位未写或写错, 有效数字错误, 此评分中分别扣除 0.2 分。
若先算条纹的末位置处理成条纹的间距, 然后再求间距的平均也应得分。
无中间计算过程扣 1 分

(3) 计算激光波长

$$\lambda = 117.00 - 10.00 - 0.45 + 3.70 = 110.25(\text{nm})$$

可根据 (2) 式计算出激光波长

计算结果见表 10

x (nm)	条纹间距测量方法			
	线性拟合	逐差法	首末位置	
点光源和虚光源间距	共轭法	638.4	638.4	637.5
测量方法	物距像距比(大像)	638.4	638.4	637.5
	物距像距比(小像)	632.5	632.5	631.5

与标准值 633.2nm 相比, 相对误差见表 11

相对误差 (%)	条纹间距测量方法			
	线性拟合	逐差法	首末位置	
点光源和虚光源间距	共轭法	0.82	0.82	0.68
测量方法	物距像距比(大像)	0.82	0.82	0.68
	物距像距比(小像)	-0.11	-0.11	-0.27

评分: 5 分

D 计算给 2 分, 未进行扩展透镜修正, 测目镜分划板位置修正扣 1 分, 无中间计算过程和 1 分。
A 计算结果在 622-648 nm 3 分 在 609-661 nm 1.5 分 在 596-674 nm 0.5 分
其他结果不给分
有效数字错误或单位未写错误从此评分中扣除 0.2 分。

二. 利用单缝衍射测量长玻璃条的杨氏模量 (本部分 20 分)

1. 画出利用单缝衍射法测量杨氏模量的实验装置示意图, 写出计算公式

(1) 实验装置示意图

玻璃条放在两样品支架上, 两支架之间的距离为 L 。在玻璃条中间通过双面胶固定一不锈钢片, 正对上面不锈钢片的下方有一定在升降调节光具座上的不锈钢片, 通过升降调节上下不锈钢片之间的狭缝宽度。激光器产生的激光束经狭缝产生单缝衍射。单缝衍射条纹宽度可由测微目镜测量, 并与玻璃条中央用细线挂着的槽码质量有关。

评分: 2 分

各元件【激光器、玻璃条、玻璃条支架、槽码(或砝码)、细线(或线)、不锈钢片(或狭缝板)、升降调节光具座、白屏(或测微目镜)】按顺序放置给 1.2 分。
元件名称标注 0.8 分

(2) 利用衍射条纹宽度推导杨氏模量计算公式

狭缝宽度为 d 的单缝衍射中央亮纹宽度为

$$y = \frac{2\lambda L}{d} \quad (5)$$

式中 λ 为激光波长, L 为狭缝到观察屏(此处为显微镜分划板处)的距离, 若狭缝初始宽度为 d_0 , 单缝衍射中央亮纹初始宽度为 y_0 , 加上质量 mg 后, 狭缝宽度为 d , 单缝衍射中央亮纹宽度为 y , 则

$$y_0 = \frac{2\lambda L}{d_0} \quad (6)$$

$$y = \frac{2\lambda L}{d} \quad (7)$$

$$E = \frac{2\lambda mg}{4d^2 b (d_0 - d)} \quad (8)$$

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{y_0} + \frac{E}{8\lambda mg L} \quad (9)$$

由 (9) 式可知 $\frac{1}{y}$ 和 m 成线性关系, 通过线性拟合可求出斜率 k , 显然

$$k = -\frac{E}{8\lambda mg L}$$

则

$$E = -\frac{E}{8\lambda mg L} \quad (10)$$

评分: 3 分

给出公式 (5) 给 1 分, 若给出 $\pm n$ 级暗条纹之间的距离 $y = \frac{2n\lambda L}{d}$, 亦给 1 分
给出公式 (9) 给 1 分, 若给出公式 $\frac{1}{y} = \frac{1}{y_0} + \frac{E}{8\lambda mg L}$, 亦给 1 分
给出公式 (10) 给 1 分, 若给出公式 $E = -\frac{E}{8\lambda mg L}$, 亦给 1 分。

2. 写出实验步骤, 列出实验数据, 计算杨氏模量

(1) 实验步骤

- 1) 调节激光器使激光束平行于导轨。
- 2) 将玻璃条一面或两面分别用双面胶固定于导轨的中心线。
- 3) 将不锈钢片沿中心线利用双面胶固定在玻璃条上。
- 4) 将两只玻璃条支架放在导轨上, 调节高度相同, 并使支架面与导轨垂直。
- 5) 放入固定有下不锈钢片的升降调节光具座, 使两下不锈钢片与两个玻璃条支架距离相同。
- 6) 放入玻璃条, 使两不锈钢片边缘对齐, 调节下不锈钢片的角度, 使两不锈钢片边缘尽可能平行, 激光束经过两不锈钢片之间的狭缝得到单缝的衍射条纹。
- 7) 调节激光器出射光强度, 从最小调到合适值。
- 8) 放入测微目镜, 调节高度, 使得单缝衍射条纹与分划板上横叉重合。
- 9) 用长度合适的细线将两个槽码托盘联在一起, 挂到玻璃条上, 保持细线与所画中心线重合。
- 10) 改变槽码质量, 记录正负一级暗条纹位置(或 $\pm n$ 级暗条纹位置)。

评分: 3 分

每 1 小点给 0.3 分。
第 10 小点记录 n 级暗条纹位置同样给分。

(2) 列表记录实验数据

不同槽码质量正负一级暗条纹位置见表 12。

表 12

m (g)	+1 级暗条 条纹位置 (mm)	-1 级暗条 条纹位置 (mm)
280	6.676	1.895
240	6.385	2.223
200	6.152	2.440
160	5.970	2.645
120	5.830	2.755
80	5.700	2.948
40	5.610	3.020
0	5.522	3.167

评分：2分
 看给出±n 级暗条纹数据同样得分。
 不足6个数据扣0.5分。
 单位未写或写错、有效数字错误，此评分中分别扣除0.2分。
 数据未列成正规表格形式，此评分中扣除0.2分。
 各元件光具座位置见表13。

表 13

元件	升降调节光具座	测微目镜
位置 (cm)	32.00	80.00

评分：1分
 给出升降调节光具座和测微目镜位置各给0.5分。
 单位未写或写错、有效数字错误，此评分中分别扣除0.2分。

利用千分尺测量玻璃条厚度

表 14

测量次数	1	2	3	4	5	6
t (mm)	3.034	3.024	3.021	3.026	3.025	3.034

评分：1分
 测量6个或6个以上数据，且数据均在 2.974 ~ 3.066mm 1分
 在 2.944 ~ 3.096mm 0.5分
 在此范围之外不给分
 不足6个数据扣0.5分。
 无千分尺初始读数扣0.5分。
 单位未写或写错、有效数字错误，此评分中分别扣除0.2分。
 数据未列成正规表格形式，此评分中扣除0.2分。
 利用游标卡尺测量玻璃条宽度

表 15

测量次数	1	2	3	4	5	6
b (mm)	60.06	60.04	60.06	60.04	60.06	60.04

评分：1分
 测量6个或6个以上数据，且数据均在 59.40 ~ 60.60mm 1分
 在 58.80 ~ 61.20mm 0.5分
 在此范围之外不给分

不足6个数据扣0.5分。
 单位未写或写错、有效数字错误，此评分中分别扣除0.2分。
 数据未列成正规表格形式，此评分中扣除0.2分。

利用直尺测量玻璃条在支架之间长度

表 16

测量次数	1	2	3	4	5	6
L (cm)	28.01	28.00	28.02	28.00	27.98	28.02

评分：1分
 测量6个或6个以上数据给1分
 不足6个数据扣0.5分。
 单位未写或写错、有效数字错误，此评分中分别扣除0.2分。
 数据未列成正规表格形式，此评分中扣除0.2分。

(3) 计算玻璃条的杨氏模量

1) 由表12计算单级暗条纹中央主极大宽度及其倒数

表 17

m (g)	y (mm)	1/y (1/mm)
280	4.781	0.2092
240	4.162	0.2403
200	3.712	0.2694
160	3.325	0.3008
120	3.075	0.3252
80	2.752	0.3634
40	2.590	0.3861
0	2.355	0.4246

2) 由表13计算玻璃条与测微目镜分划板处的距离
 $x = 80.02 - 32.00 = (0.313 - 0.0302) \times 3.70 - 51.40 \text{cm}$
 这里 0.313-0.0302 是不锈钢片离光具座中心的距离。

3) 由表14计算玻璃条厚度平均值为 3.027 mm。
 4) 由表15计算玻璃条宽度平均值为 60.05 mm。
 5) 由表16计算玻璃条在两支架之间长度平均值为 28.01 cm。
 6) 由表17线性拟合 y 和 x 数据，得到 $k = -7.569 \times 10^{-4} \text{mm}$
 将上述数据代入公式(13)得到杨氏模量

$$E = \frac{0.2801^3 \times 9.794}{8 \times 3.027^3 \times 10^{-9} \times 0.06005 \times 0.5140 \times 633.2 \times 10^{-9} \times 7.569 \times 10^{-7}} = 65.57 \text{GPa}$$

标称值为 65.0 GPa，相对误差 0.8%。
 评分：4分
 计算单级暗条纹中央主极大宽度及其倒数 1分
 计算玻璃条与测微目镜分划板处的距离 1.4分，未进行下不锈钢片离光具座中心的距离修正，测微目镜分划板位置修正不给分。
 计算玻璃条厚度、宽度、长度平均各给0.2分
 其中利用线性拟合得到斜率 k 给1分
 杨氏模量计算结果在 61.75 ~ 68.25GPa 2分
 在 58.50 ~ 71.50GPa 1分
 在 55.25 ~ 74.75GPa 0.5分
 其他结果不给分
 有效数字错误或单位未写、错误从此评分中分别扣除0.2分。
 看用±n 级暗条纹数据同样得分。

三、测量玻璃的折射率 (本部分 12分)

1、画出光路示意图，解释光环产生的原因

(1) 光路示意图

评分：1分
 标出至少一布会反射光线，一条非全反射光线各0.2分
 元件标注 (凸透镜、玻璃、白纸) 各0.2分

(2) 光环产生的原因，并推出测折射率公式

厚玻璃片一面贴一张浸水的白纸，激光束经凸透镜从玻璃片另一面入射后会聚在白纸上，在白纸处发生漫反射，当反射光线和法线夹角 α 小于全反射临界角 α_c 时，光线可以射出玻璃，否则发生全反射，亦即在白纸这一面直径 $4t \tan \alpha_c$ 的圆内观察不到光 (除了圆心入射光斑)， t 为玻璃片的厚度，此时没有水的白纸起到毛玻璃作用。测出圆的直径为 D ，则

$$4t \tan \alpha_c = D \quad (11)$$

$$n = 1 / \sin \alpha_c \quad (12)$$

则可求出玻璃片折射率为

$$n = \sqrt{\left(\frac{D}{4t}\right)^2 + 1} \quad (13)$$

评分：3分
 光环产生原因 1.5分
 列出公式 (11)、(12)、(13) 各0.5分

2、写出实验过程、列出实验数据、测出玻璃片的折射率。

(1) 实验过程

- 1) 调节激光器使激光束平行于导轨。
- 2) 将水浸湿的白纸贴在厚玻璃片一面。
- 3) 将厚玻璃片夹在平板架上。
- 4) 将入射激光束经辅助透镜 (平凸透镜) 会聚，从未贴白纸的一面入射到白纸上，调节透镜和玻璃片之间距离，使得白纸上出现的激光光斑尽可能小。
- 5) 在白纸一面可见入射光点为圆心形似日晕的光环，用直尺或游标卡尺测量光环直径。

评分：2分
 每1小点给0.4分。
 如未用透镜，但明确给出在题2实验装置基础上，利用上下不锈钢片对激光束整形为近似圆形光斑，则应给分。

如果直接用激光 (光束未经过狭缝整形，或未透镜会聚)，此时光斑并非圆形，此实验过程不给分。

(2) 实验数据

1) 测量光环直径，重复测量六次。

表 18 光环的直径测量

测量次数	1	2	3	4	5	6
D (mm)	28.0	28.2	28.3	28.0	28.1	28.0

评分：1分
 测量6个或6个以上数据，且结果在 27.6 ~ 28.4mm 1分
 在 27.5 ~ 28.7mm 0.5分
 在此范围之外不给分
 不足6个数据扣0.5分。
 单位未写或写错、有效数字错误，此评分中分别扣除0.2分。
 数据未列成正规表格形式，此评分中扣除0.2分。

2) 利用千分尺测量玻璃片厚度，重复测量六次。

表 19 玻璃片厚度的测量 (千分尺)

千分尺初始读数为 0.003 mm

测量次数	1	2	3	4	5	6
t (mm)	8.052	8.051	8.049	8.050	8.049	8.049

评分：1分
 测量6个或6个以上数据，且结果在 8.010 ~ 8.090mm 1分
 在 7.970 ~ 8.130mm 0.5分
 在此范围之外不给分
 不足6个数据扣0.5分。
 无千分尺初始读数扣0.5分。
 单位未写或写错、有效数字错误，此评分中分别扣除0.2分。
 数据未列成正规表格形式，此评分中扣除0.2分。

(3)、计算厚玻璃片的折射率

1) 光环直径测量平均值 $D = 28.1 \text{ mm}$
 2) 厚玻璃片厚度 $t = 8.050 \text{ mm}$
 3) 折射率计算

根据 (13) 式计算

$$n = \sqrt{\left(\frac{D}{4t}\right)^2 + 1} = \sqrt{\left(\frac{28.1}{4 \times 8.050}\right)^2 + 1} = 1.521$$

所用光学玻璃的折射率对于波长为 633.2nm 光的折射率标称值为 1.515，相对误差为 0.4%

评分：4分
 光环直径、玻璃片厚度平均值计算各给0.5分
 折射率计算结果在 1.485 ~ 1.545 3分
 在 1.475 ~ 1.555 2分
 在 1.439 ~ 1.591 1分
 其他结果不给分
 无中间计算过程扣0.5分。
 有效数字错误从此评分中扣除0.2分，未给出公式 (13) 直接给出结果不给分。

物理竞赛实验试题

(电学实验)

竞赛时间: 2018 年 10 月 28 日; 所需时间: 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做任何标记。]

[实验题目] (60 分)

1. 测量一个电学黑盒子, 给出其中元件连接的结构和元件性质。
2. 利用黑盒子的电路和介电仪等测量仪器, 测量真空介电常数和给定介质的相对介电常数。

[实验器材]

1. 一只只有 4 个引出端口的黑盒子, 内部有电路, 其特点是任意两个端口都不通过其他端口形成封闭回路。盒内部有电阻、电容和电感, 共 4 只元件, 其中电阻值范围在 1 千欧姆到 30 千欧姆之间, 电容值范围在 100 微微法到 500 微微法之间, 电感值见【说明事项】中的黑盒子说明。
2. 双通道数字示波器一台, 面板上已连接好两根测量线, 测量线另一端有两根线可以直接连接九孔接线板, 测量线的倍率为 1x, 测量线不得移动它用, 操作请见“示波器简要使用说明”。
3. 双通道信号发生器一台, 面板上的 CH1 输出通道已连接好一根连接线, 另一端有两根线可以直接连接九孔接线板, 连接线不得移动它用, 本信号发生器能够输出带有直流偏移量的交流信号, 操作请见“信号发生器简要使用说明”。
4. 介电常数测量仪一台, 导线另一端可以直接连接九孔接线板, 连接线不得从介电仪极板中拔出, 操作请见【说明事项】的第 3 点。
5. 用于测量相对介电常数的测试样品一片, 用于清洁样品表面的擦镜纸一本, 用于帮助堆放介质片的牙签一根, 这些都装在一个塑料盒子中。
6. 千分尺、游标卡尺各一把。
7. 九孔接线板 1 块, 用于黑盒子外壳与九孔板连接的弹性夹钳和连接线一根, 已与外壳连接好一端不要拔除。

[实验要求]

为避免测量仪器损坏造成考试中断: ①仪器参数设置不得超出本试卷中给出的范围, ②不得短接黑盒子任意两个端口。

测量要求:

- (1) 画出测量电路原理图并简要说明理由。
- (2) 设总电容为 C, 可变部分为 C_v, 固定部分为 C_g, 频率为 f, 极板间距为 D_x, 给出计算公式并简要说明。
- (3) 写出主要的测量步骤。
- (4) 为了避免引入较大的极板间距测量误差, 极板最小间距定为 1.00-1.10mm 之间, 取一个小数点后第二位开始即为 0 的示数为起点, 以 0.200mm 为间隔, 取 6 个测量点, 分别给出初始计算参数和测量数据, 电接触点测量六次取平均。
- (5) 用最小二乘法作线性拟合, 给出相关系数、斜率和斜率的标准差。
- (6) 计算真空介电常数。

2. (13 分) 测量介质的相对介电常数

介质的相对介电常数是材料的重要电学特性, 它主要通过测量得到。

测量条件:

- (1) 测量方案不变, 在测量过程中, 放入介质后令介电仪的电容值不变; 并且忽略边缘效应变化和分布电容变化, 则相对介电常数的计算只与几何参数有关, 其公式如下:

$$\frac{1}{\epsilon_r} = 1 - \frac{1}{\epsilon_0} \frac{(D_2 - D_1) D_2 S_1}{D_1 S_2 + (D_2 - D_1) S_1}$$

式中: ϵ_r 是相对介电常数, D_1 、 D_2 分别是放入介质片之前和之后的介电仪极板间距, S_1 、 S_2 分别是介电仪极板面积和介质片面积 ($S_1 > S_2$), t_2 是介质片的厚度, 本题中, 介质片的形状为圆形。

本题计算中, 介电仪几何参数以介电仪使用说明书中的参数代入, 介质片的几何参数用测量值代入。

- (2) 设定 D_1 在 2.00-2.10mm 之间。
- (3) 信号源设置同真空介电常数测量。
- (4) 介质片两面保持清洁, 测量时不要划伤表面, 放入前请先确定极板间距大于介质片厚度, 手持介质片侧边轻轻推入, 用牙签轻轻拨至极板中心附近。

测量要求:

- (1) 写出主要的测量步骤。
- (2) 结合计算公式给出标注有物理量的示意图及简要说明。
- (3) 分别给出初始计算参数和测量数据, 测量六次取平均。
- (6) 计算相对介电常数。

一. 黑盒子 (本部分 22 分)

1. (12 分) 确定黑盒子中元件的连接结构, 不要求判别元件性质
(此处有提示卡一, 用文字提示测量思路, 无连接图, 用者扣 10 分)

信号源设置: 直流偏移量不大于 2Vdc, 正弦波, 交流信号频率不大于 40kHz, 交流电压峰峰值不大于 10Vpp, 其它不限, 交/直流电压之比小于 0.1 即可认为是直流。

测量要求: (在判断过程中如果用图形表示端口之间的连接, 请用规定的表示方式, 请参见【说明事项】的第 2 点)

- (1) 分别利用直流和交流信号进行测量, 画出测量电路示意图, 并给出初步结论。
- (2) 综合交直流的测量结果, 给出黑盒子的内部连接示意图。

2. (10 分) 确定黑盒子中元件的性质, 不要求测量元件参数

(此处有提示卡二, 给出黑盒子元件性质和连接, 有连接图, 用者扣 25 分, 如果前已申请过提示卡一, 不重复扣分)

信号源设置: 直流偏移量不大于 2Vdc, 正弦波, 交流信号频率不大于 200kHz, 电压峰峰值不大于 10Vpp, 其它不限。

测量要求:

- (1) 利用直流或交流信号进行测量, 画出测量电路示意图, 并根据测量数据给出结果和说明理由。
- (2) 给出黑盒子内的元件性质和黑盒子内部电路图, 如有同类型元件, 请定性指出参数的相对大小。

二. 测量介电常数 (本部分 38 分)

1. (25 分) 测量真空介电常数

(此处有提示卡三, 给出基本计算公式, 用者扣 8 分)

介电仪可以看成是一个容量可变的小容量电容器, 利用介电仪等现有仪器设备和黑盒子中的电路, 以信号发生器的输出信号为参考信号, 设计真空介电常数的测量方案, 使得测量信号相位与参考信号相位同相。

如果忽略平板电极边缘效应的变化以及分布电容的变化 (分布电容的变化会引起分布电容的变化、人体位置变化引起的分布电容变化, 见【说明事项】的第 4 点), 并忽略空气的影响, 则极板间的电容量可用理想真空平行平板电容公式表示。

信号源设置: 正弦波, 电压峰峰值不大于 10Vpp, 直流偏移量 0Vdc, 其它不限。

注意: 在测量过程中, 示波器的灵敏度不能改变, 以免引起附加相移。

[说明事项]

1. 本题目有提示卡共 3 张
2. 为了方便阅卷, 在判断过程中如果需要用图形表示连接的可能, 请按规定的方法表示黑盒子端口间的连接

- (1) 用实线表示两个端口确实有元件直接连接;
- (2) 用虚线表示两个端口可能有元件直接连接;
- (3) 无连线表示两个端口确定空连接。

例如下图中三种连接的表示, A-C、A-D 确实有元件直接连接, A-B、B-C 可能有元件直接连接, D-C 确定空连接。



3. 介电常数测量仪使用:

- (1) 介电仪可以看成是一个容量可变的小电容器, 测量仪有两块圆形电极平板, 直径都为 50.0 mm, 分别称为上极板、下极板。由于上极板靠近千分尺, 人体影响比较大, 在连接时可以先互换极板, 找出人体影响较小的连接方式。
- (2) 零间距的确定。由于平面加工精度和装配关系, 当上下极板刚好电接触时, 不能做到整个平面贴合; 为了补偿这个微小间隙, 极板间距为零的示数为刚好电接触时的示数加上一个零位校准值 d_0 ($d_0 = 0.010\text{mm}$)。
- (3) 介电测量仪属精密仪器, 操作中不可使用过大的力量。操作中注意介电仪的放置位置, 极板引出线要始终保持松弛状态, 以免电承受外力影响。
- (4) 注意千分尺的操作, 如果发现端部的旋钮不能使螺杆转动时, 可以手持套筒的滚花部分轻轻旋转, 在接近上下极板电接触时要缓慢旋进, 判断刚好电接触后即刻停止, 切不可再旋进。

4. 环境变化对电磁测量的影响

在介电常数测量中, 由于测量系统对微小参数变化很敏感, 所以在测量时应充分注意到引线位置相对变化以及人体位置相对变化对测量带来的影响。

5. 九孔板的使用

九孔板的面板结构如图 2 所示, 田字格结构中的 9 个插孔由整块金属冲压而成, 故相互连通。但任意两个田字格结构之间是不连通的, 我们可以用元器件、插头、连接线等连接成我们需要的电路。

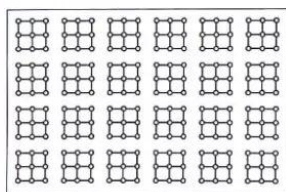


图1 九孔板接板

6. 黑盒子

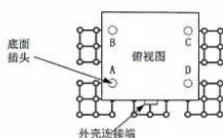


图2 黑盒子外形以及与九孔板的连接

考生请注意：不得在黑盒子等仪器上做任何标记。
黑盒子底面有四个引出插头可插入九孔板中，外壳侧面有外壳连接端，当外壳连接端如图2所示方位时，顶面贴有的插头编号标签排列如图2所示，请按图2核对。
顶面另有一张贴纸，上标编号#和电感值，默认单位为mH。例：1# 10.00，即为1号电感，10.00mH。
黑盒子外壳为金属壳，为减小干扰，可用弹性夹钳引线连接外壳连接端做屏蔽处理（弹性夹钳已和外壳连接端夹好），注意黑盒子占用的田字格的位置。

物理竞赛实验电学评分标准

竞赛时间：2018年10月28日；所需时间：90分钟

成绩评定表

一、黑盒子（本部分22分）

- （12分）确定黑盒子中元件的连接结构，不要求判别元件性质。
（此处有提示卡一，用文字提示测量思路，无连接图，用者扣10分）
(1) 分别利用直流和交流信号进行测量
① 用直流感法：用直流电信号加在黑盒子的任意两个端口间，测量另两个端口的电压。（5分）
1) 给出测量的必要参数并画出二张相关测量电路示意图，给出测量结果。

必要参数

信号发生器参数

信号源	波形	频率/Hz	交流/VPP	直流偏置/Vdc
CH1	正弦	1u	4m	2.0

评分：0.3分。

有可能参数不在这个位置。
交流电压之比大于0.1，扣0.1分。
直流偏置大于2Vdc扣0.1分（超出卷面规定）。
信号发生器设置表中后2项少项，最多扣0.1分。
如果答卷上只写“按说明书设置”等文字，而没有给出具体参数扣0.2分。
（以上扣分点不会同时产生，故不会超出分值，下同）

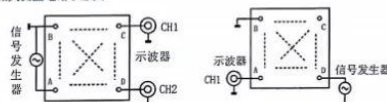
示波器参数

示波器	倍率	输入
CH1	1x	DC
CH2	1x	DC

评分：0.2分。

有可能表格不在这个位置，对设置的具体参数不做评判。
表中后2、第3项内容，每少一项扣0.1分。
如果答卷上只写“按说明书设置”等文字，而没有给出具体参数，扣0.1分。

画出二张相关测量电路示意图



评分：1.5分。

上图仅为示例，不以此为标准。对连接到哪个端口不做评分，图中虚线或实线与评分无关，下同，不再说明。

电路图的符号形式可能与此不同，不做评分。

画成实物图连接，扣0.2分。
示波器接口仅单线连接无接地，扣0.1分。
线路图连接中无接地标志，扣0.1分。
符号无文字说明，扣0.1分。

连接明显错误，比如信号源两端都接地，又比如两个端口都接地（试卷已明确不允许），每张图扣0.75分。只有一张图扣0.75分。

给出测量结果

测量数据表（电压单位：V）

序号	输出	地	CH1	Vdc	CH2	Vdc
测本底	off	A B C	-0.008	D	-0.008	
1	2.02	A B C	-0.012	D	2.02	
2	2.02	B A C	2.0	D	-0.008	
3	0.592	C B A	0.584	D	-0.008	
4	0.592	C B A	-0.0163	D	0.592	
5	1.90	C D A	1.85	B	1.90	
6	2.02	D C A	-0.02	B	-0.032	
7	2.00	D A B	1.92	C	1.94	
8	2.00	A D B	0.056	C	0.06	
9	2.00	A C B	-0.004	D	-0.007	
10	2.00	C A B	2.00	D	2.02	
11	1.92	B D A	1.85	C	1.88	
12	1.92	D B A	-0.009	C	0.034	

评分：2分。

不要求完成全部12项测量，也可能只用了示波器的一个端口探测，故对测量连接方法、测量顺序以及测量端口的完整性不做评分。

答案中的测量数据也可能会在各个单项测试中。

无本底测量数据扣0.2分。

无信号源输出电压数据扣0.1分。（信号源设置值不能等同实际输出）

缺少单位扣0.1分。

数据未列表格形式扣 0.1 分。

2) 对直流感给出初步结论。

- a. 用直流感可以先把电容的作用排除。
- b. 由测量结果可知 4 个端口都有直流感通路，电阻或电感直接连接在端口之间，数量三只。
- c. 电容并联在某个元件上。

评分：1 分。

文字中未涉及 a 内容的扣 0.2 分，未涉及 b 内容的扣 0.4 分，未涉及 c 内容的扣 0.4 分。如果考生在这里给出进一步分析的结论，这里不做评分，留到交直流感综合结论中评分。

② 用交流法：用交流信号加在黑盒子的任意两个端口间，测量另两个端口的电压。(3 分)

- 1) 给出测量的必要参数并画出二张相关测量电路的示意图；给出测量结果。
必要参数

信号源	波形	频率/Hz	振幅/Vpp
CH1	正弦	16k	10

评分：0.3 分。

无波形设置项或波形设置不正确扣 0.1 分（试卷指定正弦波）。

无频率项扣 0.1 分。

无振幅项扣 0.1 分。

测量电路的示意图



序号 11、12 的连接方式

评分：0.3 分。

示波器接口仅单线连接无接地扣 0.1 分，不重复扣。

线路图连接中无接地标志扣 0.1 分，不重复扣。

符号无文字说明扣 0.1 分，不重复扣。少画一张扣 0.15 分。

给出测量结果

测量数据表（电压单位：V）

序号	输出	源	地	CH1	Vpp	CH2	Vpp
1	10.5	A	B	C	0.030	D	0.025
2	下网	B	A	C	10.8	D	10.8
3		B	C	A	9.53	D	0.020
4		C	B	A	0.055	D	10.57

2/9

5		C	D	A	9.4	B	10.4
6		D	C	A	0.057	B	0.028
7		D	A	B	10.32	C	10.24
8		A	D	B	0.51	C	0.36
9		A	C	B	0.39	D	0.016
10		C	A	B	10.65	D	10.56
11		B	D	A	9.36	C	7.20
12		D	B	A	0.071	C	7.41

评分：1.4 分。

缺少单位扣 0.1 分。

无信号源输出电压数据扣 0.1 分。

数据未列表格形式扣 0.1 分。

2) 对交流法给出初步结论。

序号 11、12 的连接时，端口 C 的电压和直流方式的有明显差别。

评分：1 分。

只要结论中涉及某端口在交流时电压有明显变化的，或交流法能利用 RC、RL 特性的即不扣分。

如果考生在这里给出进一步分析的结论，在这里不做评分，留到交直流感综合结论中评分，以免重复。

(2) 综合交直流感的测量结果，给出黑盒子端口的连接示意图。(4 分)



评分：4 分。

注意：实线等同元件连接，只要实线或元件符合连接形式即可，不考虑元件的具体性质。

连接形式以及标识符 A、B、C、D 分布符合以上图形者即可给 4 分。

少一个连接或错一个连接扣 1 分。3 个全错扣 4 分。

注：由于解题方案较多，限于阅卷要求，对分析过程不予评分，只看结论。在前面初步结论中，只对最基本的内容评分，对深入分析的结果的评分放在最后给出的结果中，下面举例说明测量方法。

例（不作为评分标准）：交直流感数据已测量好，然后交直流感综合分析。思路是先直流感排除电容，再交流找出电感的端口，然后根据信号流动方向判断连接。

对于交流的频率选择：根据试卷给出的电阻下限 1kΩ，选一个频率，使得感抗与 1kΩ 基本相同，取频率为 16kHz。

这样，在有些连接中同名端口电压分配将与直流时明显不同。从数据表中看，在序号 12 的连接下，交直流感测量时 C 端电压变化很明显，所以从这个连接方式入手。

图 交直流感 C 端电压变化大的接线方式

测量数据重新列表如下：

模式	序号	输入 Vdc/Vpp	源	地	CH1	Vdc/Vpp	CH2	Vdc/Vpp
DC	12	1.92	D	B	A	-0.009	C	0.034
AC	12	10.5	D	B	A	0.071	C	7.41

- 根据交直流感序号 12 数据：直流时 C 端电压稍高于地，但交流时 C 端电压抬升很多。说明 C 端口呈现的阻抗变大很多，所以 C 端到地回路中有电感串联其中。因为 A 端口的电位很低，C 点电位只能通过 D 端抬升，所以 D-C 间必有元件连接。
- 在交流测量中，如果 A-D 间为开路，则 A 端只能连到 C 或 D 端。这样，A 端电位应与 C 端或 D 端接近。但与测量数据明显不符，所以 A-B 间必有元件连接。这样可知 C-D、A-B 都有元件连接，只剩一个连接。
- 信号的流向，从上面的分析可知，信号从 D 经 C 到地，流过端口的顺序只能是 D-C-B 或 D-C-A-B。见下图。（A-D、B-C 连接也是不可能的，可自行分析）

两种可能的连接

4. 两种可能连接要排除一个。在直流连接中，查看信号源加在 A-B 时的连接，数据如下表。

模式	序号	输入	源	地	CH1	Vdc	CH2	Vdc
DC	1	2.02	A	B	C	-0.012	D	-0.008

假想的连接，C、D 应为高电位

如果是左侧图的连接，C、D 电压应接近信号源电压，但实测 C、D 端电压接近 0V。所以左侧图的连接被排除，只剩下右侧图的连接。（而且 B-C 是电感连接）

2. (10分) 确定黑盒子中元件的性质, 不要求测量元件参数
(此处有提示卡二, 给出黑盒子元件性质和连接, 有连接图。用者扣25分, 如果之前已申请过提示卡一, 不重复扣分)

(1) 利用直流或交流信号进行测量 (测量次序不分先后):

① 确定电感的连接位置。(2分)

1) 写出测量的做法; 画出一张相应的电路示意图; 列出测量数据和结果, 也可以引用前面的测量结果。

电路示意图

评分: 0.3分。
连接不一定和上述图一致, 对此不评分。
示波器接口仅单线连接扣0.05分, 不重复扣。
线路图中无接地标志扣0.05分, 不重复扣。

测量数据和结果

引用前面的测量数据有

模式	序号	输入	源	地	CH1	Vdc/Vpp	CH2	Vdc/Vpp
DC	12	1.92	D	B	A	-0.009	C	0.034
AC	12	10	D	B	A	0.071	C	7.41

评分: 0.2分。
形式可能不以表格形式出现。
测量数据应与与测量电路对应, 否则扣0.2分。

2) 给出结论并简要叙述理由。

已知电路连接结构。从前面的测量中已知直流时C端电压很小, 但是交流时很大, 所以B-C端是电感。

评分: 1.5分。
可能没有图只有文字说明, 只要内容中有说明电感交流特性的, 或电感直流电阻小的即不扣分, 否则扣0.5分。电感不在B-C间扣1分。

② 确定电阻的连接位置。(2分)

1) 写出测量的做法; 画出一张相应的电路示意图; 列出测量数据和结果, 也可以引用前面的测量结果。

电路示意图

已知有B-C-D回路中有元件与电感串联, 推测是电阻, 只要证明C-D连接不是电感就可以。

评分: 0.3分。
连接不一定和上述图一致, 对此不评分。
示波器接口仅单线连接扣0.05分, 不重复扣。
线路图中无接地标志扣0.05分, 不重复扣。

测量数据和结果

测量数据表 (电压单位: V)

频率/Hz	CH1/Vpp	CH2/Vpp	相位基准	CH1
1k	10.15	0.74		略超前
2k	10.14	1.34		超前
4k	10.16	2.50		超前
16k	10.34	7.43		约超前90°

对A-B连接, 直接引用直流测量数据

序号	输入	源	地	CH1	Vdc	CH2	Vdc
8	2.0	A	D	B	0.056	C	0.06

评分: 0.2分。

形式可能不以表格形式出现。
测量数据应与与测量电路对应, 否则扣0.2分。

2) 给出结论并简要叙述理由。

对于C-D连接, 有明显相移, 显然不是同一性质元件, 所以只能是电阻。

对于A-B连接, 直流时绝大部分电压降落在A-B之间, 所以A-B连接是电阻, 而且阻值比C-D连接的电阻大许多。

所以有下图

评分: 1.5分。
方法有多种, 只要理由中包含电阻与电感的直流电阻或电压比较, 或RL相位变化分析的等能区分电阻电感特性的即不扣分, 否则扣0.5分。
电阻不在A-B和C-D连接或少电阻, 每错一项扣0.5分。

③ 确定电容的连接位置。(3分)

1) 写出测量的做法; 画出一张相应的电路示意图; 列出测量数据和结果, 也可以引用前面的测量结果。

电路示意图

电路图不评分。

测量数据和结果

已知电容并联在某一元件上。合适的连接能观察到当升高频率到约106kHz时, 出现极大

值, 相位从超前变成滞后。

评分: 0.5分。
测量结果能反映极大值或相位变化的不扣分, 否则扣0.5分

2) 给出结论并简要叙述理由。

因为频率变化中B-C端可取到极大值, 阻抗从感性变成容性。这是并联谐振特性, 说明电容并联在电感上。

评分: 2.5分。
只要理由中说明是并联谐振或极大值等即不扣分, 否则扣1分。
电容不在B-C端扣1.5分。

(2) 综合上述测量结果, 给出黑盒子内的元件性质和黑盒子内部电路图, 若有同类型元件, 请定性指出参数的相对大小。(3分)

黑盒子电路图如下图, 其中 $R_1 > R_2$ 。

评分: 3分。
缺少标识符 (可以与图中的标识不一样) 扣0.2扣分。
没有说明电阻相对大小扣1分 (只在这里评分, 可能前面有过说明, 但不参与评分)。
电阻相对大小错误扣1分。
连接结构、元件位置, 元件性质都在前面的测量中评过了, 这里不评分

二、介电常数 (本部分 38 分)

1. (25 分) 测量真空介电常数
(此处有提示卡三, 给出计算公式的文字提示, 用者扣 8 分)

(1) 画出测量电路原理图并简要说明理由 (6 分)

电路原理图

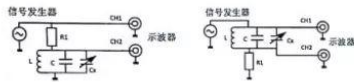


图 A 方案 1, 取大电阻值 R1, 在上 图 B 方案 2, 取大电阻值 R1, 在下

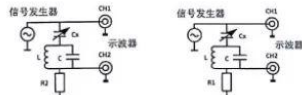


图 C 方案 3, 取小电阻值 R2 图 D 方案 4, 取大电阻值 R1

评分: 2 分。

与上图连接方式不符合者但符合谐振要求 (仅看连接方式, 参数不考虑, 示波器标识号顺序不考虑) 即不扣。

在上面的基础上。

选择方案 2 或方案 4 的扣 0.2 分, (Q 值低), 同时用两个电阻扣 0.5 分。
方案 1、2 中电阻大小不符合者扣 0.2 分, 要查看前面的电阻值说明, 可能编号不一样。
如果只画原盒子端口与示波器连接的, 没有具体元件符号的扣 0.2 分。
接地符号缺扣 0.1 分, 不重复扣分。
标识符缺扣 0.1 分, 不重复扣分。
示波器单线连接扣 0.1 分, 不重复扣分。

简要说明理由

- 用 RLC 谐振法。
- 对电路的结构做过讨论的。
- 对电阻的选取做过讨论的。

评分: 4 分。

a 项 1 分, b, c 项 1.5 分。
只要说明中涉及以上内容并满足要求即可得分, 否则扣分。
在 b, c 中对讨论的结论是否正确不做评分, 因为在原理图评分中已有过评分。

(2) 给出计算公式并简要说明 (6 分)

计算公式

$$\frac{1}{\omega^2 L} = \epsilon_0 \frac{S}{D_x} + C_B \quad (1)$$

式中: D_x 为极板间距, S 为已知极板面积 (或用直径或半径代入的面积计算式), C_B 为电容固定部分, L 为已知电感, ω 为谐振时的圆频率, ϵ_0 为真空介电常数。

$$\epsilon_0 = a/S \quad (2)$$

式中: a 是以 $\frac{1}{\omega^2}$ 为自变量, $\frac{1}{\omega^2 L}$ 为因变量的直线的斜率。

评分: 4 分。

对公式推导不做评分。

公式 (1) 表达式的形式可能不一样, 计算关系对即可, 计算关系错扣 2 分。

公式 (2) 计算关系对即可, 错扣 2 分。

简要说明

当相位对准时, 电路处于谐振状态, 由谐振公式以及已知电感可求出总电容, 以 D_x 测数为自变量, 以总电容为因变量由斜率即可求出 ϵ_0 。

评分: 2 分。

有可能简要说明与计算公式混在一起。

表述中没有涉及谐振的扣 1 分, 没有涉及斜率的扣 1 分。

(3) 写出主要测量步骤 (3 分)

- 按测量原理图连接;
- 设置信号源; 示波器设置。
- 测量电容触头刻度。
- 定位极板初始间距。

- 在 y-t 显示模式下, 调整频率到相位大致对准。
- 在 x-y 显示模式下, 仔细调整频率, 使得相位对准。
- 增大 x、y 轴的灵敏度, 使得相位斜线尽可能以伸展。
- 记录示数, 以 0.2mm 步长测量 6 个点。

评分: 3 分。

每项中只要涉及内容及内容即算合格。
内容可能合并, 有 4 项满足即可给 3 分, 每缺一项扣 0.5 分。
如果相位对准采用 y-t 模式, 在以上基础上扣 1 分, 后面不重扣。

(4) 分别列表给出和测量数据 (3 分)

初始计算参数

信号源设置

信号源	幅度/Vpp	波形	频率/kHz
参数	10	正弦	可调

评分: 0.1 分。

只要有设置就不扣分。

示波器初始设置

示波器	输入	倍率	触发源	同步	触发模式
CH1	DC	1x	CH1	Auto	上升沿
CH2	DC	1x			

评分: 0.1 分。

只要有设置就不扣分。

已知参数

电感 L	极板直径	修正值
mH	mm	mm
10.13	50.0	-0.010

评分: 0.3 分。

已知参数每少一个扣 0.1 分。

电接触测量

次数	1	2	3	4	5	6	平均值
示数/mm	6.865	6.867	6.867	6.867	6.865	6.867	6.8663

评分: 0.5 分

电接触测量次数少于 6 次, 扣 0.3 分。

缺少单位扣 0.1 分, 不重复扣分。

极板间距变化与谐振频率的关系

序号	刻度示数	测量频率
	D_x	f
	mm	kHz
1	7.900	106.180
2	8.100	106.840
3	8.300	107.330
4	8.500	107.710
5	8.700	108.000
6	8.900	108.260

评分: 2 分。

数据只要求必要的原始记录值即可。

测量次数少于 6 个点, 每少一个扣除 0.1 分。

缺少单位扣 0.1 分, 不重复扣分。

刻度示数精度记录到 0.00x, 精度不足扣 0.2 分, 不重复扣分。

因为不同方案灵敏度不一样, 频率记录值以最后一位精确到 Hz, 或最后一位不变化为准。
不满足要求扣 0.2 分, 不重复扣分。

数据未列表扣 0.1 分。

(5) 用最小二乘法做线性拟合, 给出斜率、斜率标准差以及相关系数 (3 分)

$$\begin{aligned} \text{斜率 } B &= 1.77282E-14 \text{ F/m} \\ \text{斜率标准差 } SB &= 7.68954E-17 \text{ F/m} \\ \text{相关系数 } R2 &= 0.999849514 \end{aligned}$$

评分: 3 分

中间计算过程不评分, 不对有效数位评分。

如果用作图法求数据扣 3 分。

相关系数位于 0.99-0.994 (含) 之间扣 1 分, 小于 0.99 扣 1.5 分。

无斜率标准差值, 扣 0.5 分。

缺少单位扣 0.1 分, 不重复扣分。

(6) 计算真空介电常数 (4 分)

$$\epsilon_0 = \frac{B}{S} = 9.144 \times 10^{-12}$$

最后有:

$$\epsilon_0 = 9.14 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

ϵ_0 参考值为: 8.854×10^{-12} F/m, 相对误差为 3.27%。
评分: 4分。

只对最后计算结果 ϵ_0 评分, 应先扣除测量仪器的固有偏差再与参考值比较, 为提高阅卷效率, 这里把参考值偏移后直接与测量值比较。

单位未写成 ϵ_0 , 扣0.2分, 最后表达有效数字3位, 不对者扣0.2分。
测量值评分表(为方便表示, 略去倍率 10^{12})

测量值范围	下界	上界	扣分
**~80%	**	7.29	2
80~90%	7.30	8.21	1
90%~95%	8.22	8.66	0.5
95%~105%	8.67	9.58	0
105%~110%	9.59	10.04	0.5
110%~120%	10.05	10.85	1
120%~**	10.96	**	2

2、测量介质的相对介电常数(13分)

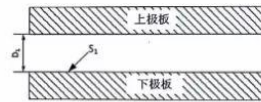
(1) 写出主要测量步骤(2分)

- 1) 测量电路与真空介电常数测量相同。
- 2) 测量介质的几何尺寸。
- 3) 初始极板间距定在 2.0-2.1mm 之间。
- 4) 调整频率, 使得相位对准。
- 5) 增大极板间距, 放入介质片, 大致放到极板的中心区域。
- 6) 调整极板间距, 使得再次相位对准, 记录示数。

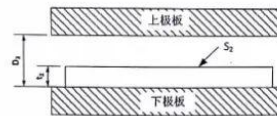
评分: 2分。

每项中只要涉及内容者即算合格, 有3项合格就可给2分
每缺一项扣0.3分。

(2) 结合计算公式给出标注有物理量的示意图及简要说明(4分)
示意图



S_1 为极板面积, 放入介质片之前, 极板间距为 D_1 , 相位对准, 谐振频率为 f 。



S_2 为介质片面积, 放入厚度为 t_1 的介质片之后, 令测量系统状态不变或频率不变, 增大极板间距到 D_2 , 使得再次相位对准。

简要说明

评分: 4分(放在一起评)

示意图应能表示介质片放入前后的两种状态, 不能反映间距变化扣1分, 不能反映有无介质

片扣1分, 说明符合题意即可。

缺少无或少 D_1 、 D_2 、 S_1 、 S_2 、 t_1 标注扣0.1分, 不重复扣分。

(3) 测量数据(3分)

介电仪已知参数

极板面积 S_1	修正值
m^2	mm
1.963E-03	-0.010

评分: 0.1分

无此项扣0.1分。

相位对准时频率: 108.550kHz

此项不做评分。

初读数

序号	电接触刻度	千分尺初值	卡尺初值
	mm	mm	mm
1	6.937	0.000	0.00
2	6.934	0.000	0.00
3	6.933	0.000	0.00
4	6.939	0.000	0.00
5	6.937	0.000	0.00
6	6.942	0.000	0.00
平均值	6.937	0.000	0.00

注: 千分尺、卡尺使用的是数字式的, 但考试时用的是机械式的

评分: 0.4分

电接触刻度不参与评分, 可引用前面的测量数据。其它每缺少一项者扣0.1分。

测量次数少于6次, 扣0.2分(试卷指定测量6次)。

介质片尺寸测量

序号	厚度示数	直径示数
	mm	mm
1	2.647	39.64
2	2.649	39.63
3	2.650	39.68
4	2.650	39.74
5	2.649	39.64
6	2.649	39.63
平均值	2.649	39.66

评分: 1分

数据未列表扣0.1分。

测量次数少于6次扣0.2分(试卷已指定测量6次), 不重复扣分。

缺少单位者扣0.1分, 不重复扣分。

有效数位不对扣0.1分, 不重复扣分。

平均值的有效数位可以比示数的多一位(有后续计算)。

极板位置测量

序号	D1示数	D2示数
	mm	mm
1	9.000	10.322
2	9.000	10.322
3	9.002	10.322
4	8.991	10.317
5	8.991	10.322
6	9.000	10.310
平均值	9.000	10.3192

评分: 1.5分

测量次数少于6次扣0.2分(试卷已指定测量6次), 不重复扣分。

缺少单位者扣0.1分, 不重复扣分。

有效数位不对扣0.1分, 不重复扣分。

平均值的有效数位可以比示数的多一位。

D1示数也可能只有一个, 但相应的相位对准频率应该有6次, 这两者测量参数的要求可以互换。

(4) 计算相对介电常数(4分)

计算表格

厚度 t_1	面积 S_2	间距 D_1	间距 D_2	D_2-D_1	ϵ_r
mm	m^2	mm	mm	mm	
2.649	1.243E-03	2.2013	3.5098	1.3085	2.786

最后得到相对介电常数 ϵ_r 为

$$\epsilon_r = 2.81$$

评分: 4分

对计算过程不评分。

ϵ_r 的有效数位不对者扣0.2分。

测量值评分表(样品参考值2.80)

测量值范围	下界	上界	扣分
**~80%	**	2.23	2
80~90%	2.24	2.51	1
90%~95%	2.52	2.65	0.5
95%~105%	2.66	2.94	0
105%~110%	2.95	3.08	0.5
110%~120%	3.09	3.36	1
120%~**	3.37	**	2

自主招生在线创始于 2014 年，是专注于自主招生、学科竞赛、全国高考的升学服务平台，旗下拥有网站和微信两大媒体矩阵，关注用户超百万，用户群体涵盖全国 90% 以上的重点中学老师、家长和考生，引起众多重点高校的关注。

如需第一时间获取相关资讯及备考指南，请关注**自主招生在线**官方微信号：**zizzsw**。



微信扫一扫，快速关注