

第 14 届 CPHOS 物理竞赛联考

实验笔试试题

考试时间：2023 年 3 月 25 日 15:00—16:00

命题人：李一德 王天齐 胡宸源 黄子橙

审题人：李忆唐 程幸 代佳乐 陆颖熙 李瀚奕

考生必读

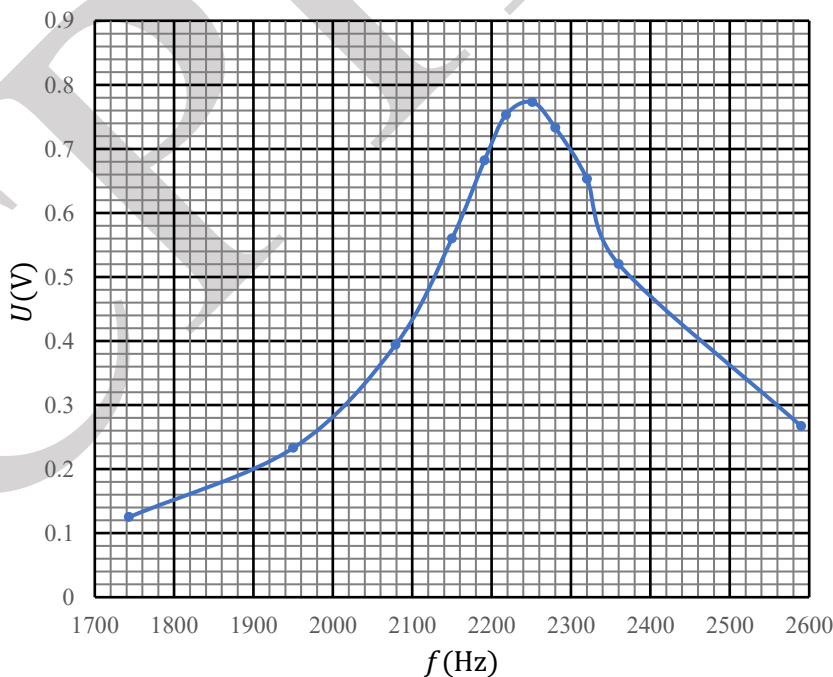
- 1、考生考试前请务必阅读本须知。
- 2、本试题共 4 页，答题卡共 2 页，总分 80 分。
- 3、如遇到试题或答题卡印刷不清楚的情况，请务必向监考老师提出。
- 4、需要阅卷老师评阅的内容一定要写在答题纸相应题号后面的空白处，请注意合理规划答题以避免超出答题区域导致作答无效。
- 5、若无特别说明，不需要进行误差分析，但结果需保留合理的有效位数。

A. RLC 电路的谐振现象（20 分）

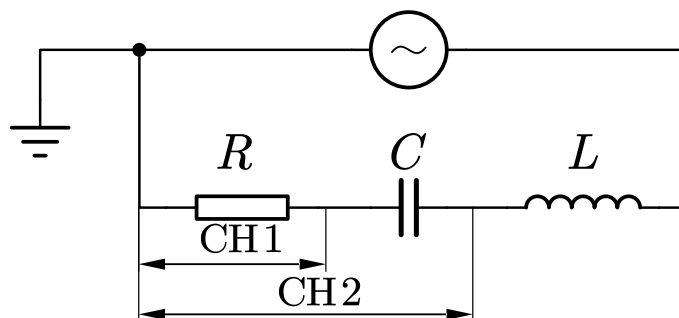
同时具有电感和电容两类元件的电路，在一定条件下会发生谐振现象。谐振时电路的阻抗、电压与电流以及它们之间的相位差、电路与外界之间的能量交换等均处于某种特殊状态，因而在实际中有着重要的应用，如在放大器、振荡器、滤波器电路中常用作选频等。

实验仪器：电阻一个（ $R = (10.0 \pm 0.1) \Omega$ ），电容一个（ $C = (0.050 \pm 0.001) \mu\text{F}$ ），电感一个（参数未知），信号发生器一台（输出正弦波，输出电压峰峰值 $U_{pp} = (20.0 \pm 0.1) \text{V}$ ），双踪示波器一台。

实验目的：研究 RLC 串联电路的谐振现象。



图a.1 幅频特性曲线



图a.2 RLC 串联电路

实验电路如图a.2，改变输出频率，测电阻两端电压振幅，可以得到幅频特性曲线，如图a.1。已知电流峰值达到最大时，示波器 CH2 通道测得电阻与电容的总电压的峰峰值为 $U = (222 \pm 1) \text{ V}$ 。

A.1 (3 分)

请根据电路的幅频曲线图，求出电路总损耗电阻 R_{tot} 及其不确定度。

A.2 (4 分)

请写出谐振频率公式，确定谐振频率 f_0 并计算电感 L 及其不确定度。

A.3 (9 分)

Q 值是由电路的固有特性决定的，是标志和衡量谐振电路性能优劣的重要的参量。请用三种方法计算 Q 值及其不确定度。

A.4 (4 分)

如果损耗电阻会随频率变化，请简要说明如何确定谐振频率。

B. 未知电感的测定 (20 分)

实验仪器：四转盘交流电阻箱一个 ($R_0 \in [0 \Omega, 9999 \Omega]$)，定值电阻两个 ($R_1 = R_2 = 100.0 \Omega$)，信号源一个（输出正弦波，有效值约为 15 V ，频率 $f = 1.000 \text{ kHz}$ ），交流电压表一个（最大量程 15 V ，最小可分辨电压 0.02 V ，内阻视为无穷大），待测电感一个（约为 10 mH ，内阻可忽略），开关一个，导线若干。

实验目的：仅连接一次电路，测量未知电感大小。

B.1 (10 分)

画出实验电路图，简述实验步骤，并给出电感的计算公式。

B.2 (3 分)

调节电阻箱 R_0 时，能进行有效调节的最小档位是 ()。

- A. $\times 100 \Omega$ B. $\times 10 \Omega$ C. $\times 1 \Omega$

B.3 (2 分)

简述改变哪些仪器参数可以减小电感损耗电阻带来的误差。

B.4 (5 分)

移相电路可以在不改变输入信号峰值的情况下改变输出信号的相位，试使用本实验中的仪器构建一移相电路，在答题卡上画出电路图。

C. 测量光的反射率 (40 分)

电磁波是横波。振动方向对于传播方向的不对称性叫做偏振，它是横波区别于纵波的一个最明显的标志，只有横波才有偏振现象。实验表明，产生感光作用和生理作用的是光波中的电矢量 E ，所以讨论光的作用时，我们更多考虑电矢量的振动。对于含有入射光束和反射光束的平面，如果光线的偏振矢量在这个平面内，则称为 P 偏振，如果偏振矢量垂直于该平面，则称为 S 偏振。

实验仪器：氦氖激光器、带有角度刻度盘的偏振器（已知偏振方向）、两个光强探测器（由光电池和微安表构成）、分束板、待测介质片、狭缝和观察屏、特殊光学平台（平台上有一个带刻度盘的转台）、光屏。

实验目的：测量以不同角度入射 P 方向偏振光时光的反射率。

注意：

1. 激光器的功率并不稳定；
2. 分束板是可将一束光分成两束光或多束光的光学装置，通常由金属膜或介质膜构成；
3. 光学平台上的刻度盘可用于测量光的入射角和反射角；
4. 电矢量在入射面内的偏振方向为 P 方向。

实验步骤：

(1) 验证光强探测器光强与电流的线性关系：任选一个光强探测器，设法通过实验验证入射光强与微安表读数之间的线性关系——光强正比于电流强度。

(2) 测量以不同角度入射 P 方向偏振光时光的反射率：测定入射光的 P 分量的反射率与入射角之间的关系，用表格的形式列出测量数据和计算所得反射率值。

(3) 利用布儒斯特角测出待测样品的折射率。

C.1 (15 分)

C.1.1 对于验证入射光强和微安表读数间线性关系的实验部分，参考表 c. 1，逆向复原测量光路图，所用到的仪器有：激光器、两个偏振片、分束板、两个光强探测器，并解释为何需要两个光强探测器。

C.1.2 对于测定入射光的 P 分量的反射率与入射角之间的关系的部分，测量时的光路图如图 c. 1 所示，简述激光器和光学仪器的关键调平过程。

令 C.1.2 中光强探测器 D_1 在反射角度为 θ 时测出电流为 $i_1(\theta)$ ，光强探测器 D_2 测出电流为 $i_2(\theta)$ ， θ 可由特殊光学平台的刻度盘读出。

为了测量分束板对于两个光路振幅的作用，改造图 c. 1 光路，去掉样品，直接用两个光强探测器测量两个光路的光强，分别测得电流 $i_{10} = 13.3 \mu\text{A}$ ， $i_{20} = 99.0 \mu\text{A}$ 。

C.1.3 给出计算反射率所用的公式，用两个光强探测器所连接微安表的读数和已知或者可测量来表示。

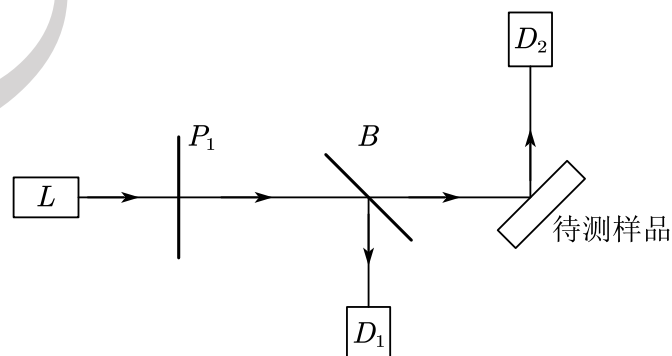


图 c. 1 测量反射率光路图

L 为激光器，B 为分束板，P 为偏振片，D 为光强探测器

表c.1 光强探测器的光强电流关系表

$\psi_1(^{\circ})$	$\psi_2(^{\circ})$	$\Delta\psi(^{\circ})$	$i_1(\mu A)$	$i_2(\mu A)$
4.0	4.0	90.0	5.7	0.0
4.0	34.0	60.0	5.7	20.1
4.0	49.0	45.0	5.7	40.9
4.0	64.0	30.0	5.7	63.5
4.0	94.0	0.0	6.3	93.5

其中 ψ_1 、 ψ_2 为两个偏振片的角度。初始零点相差 90° ，故两个偏振片的夹角为

$$\Delta\psi = |\psi_2 - \psi_1 \pm 90^{\circ}| \quad (c.1)$$

表c.2 测量反射率电流角度关系表

$\theta(^{\circ})$	$i_1(\mu A)$	$i_2(\mu A)$	$\theta(^{\circ})$	$i_1(\mu A)$	$i_2(\mu A)$
5.0	11.1	3.02	58.0	11.5	0.06
10.0	11.2	2.98	60.0	11.5	0.22
20.0	11.1	2.66	64.0	16.7	1.31
30.0	12.2	2.28	66.0	11.8	1.56
40.0	14.7	1.56	68.0	15.1	3.26
50.0	16.9	0.46	72.0	11.7	5.31
53.0	11.3	0.14	76.0	14.1	13.1
55.0	11.3	0.06	80.0	11.7	22.1
56.3	11.5	~ 0	84.0	14.5	45.3

其中 θ 为入射角，亦即反射角，可由刻度盘读出。

C.2 (25 分)

C.2.1 利用数据进行线性拟合，验证光强探测器的电流 i 和光强 I 的线性关系。

C.2.2 计算出各角度下的反射率，并作图给出反射率与入射角之间的关系曲线。

布儒斯特角，又称为起偏振角，当入射自然光以此角度射入界面时，反射光是线偏振光，并且与折射光线互相垂直，当仅入射 P 光且入射角为布儒斯特角时，反射率为零。

C.2.3 在 C.2.2 的基础上，给出该样品布儒斯特角的大小，并计算待测样品的折射率。

C.2.4 试分析实验结果的误差来源。