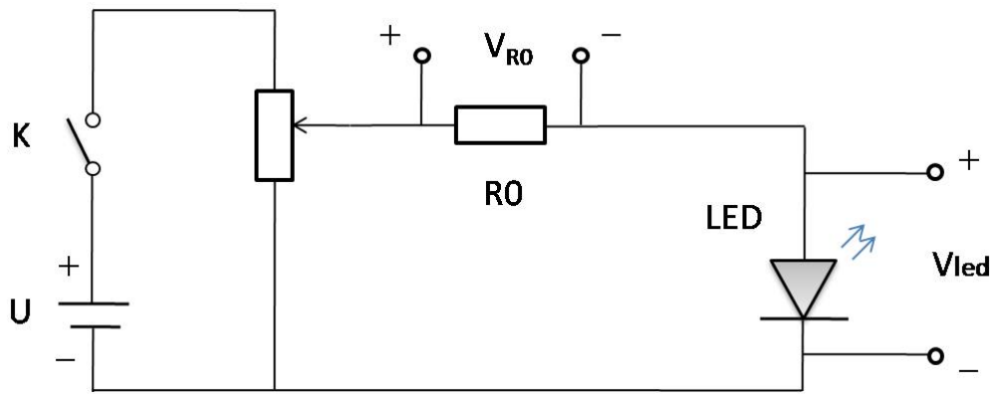


第 27 届全国中学生物理竞赛决赛实验试题解答参考和评分标准

实验一 答案和评分标准（本实验总分 30 分）

1 (1) 测量电路图如下：

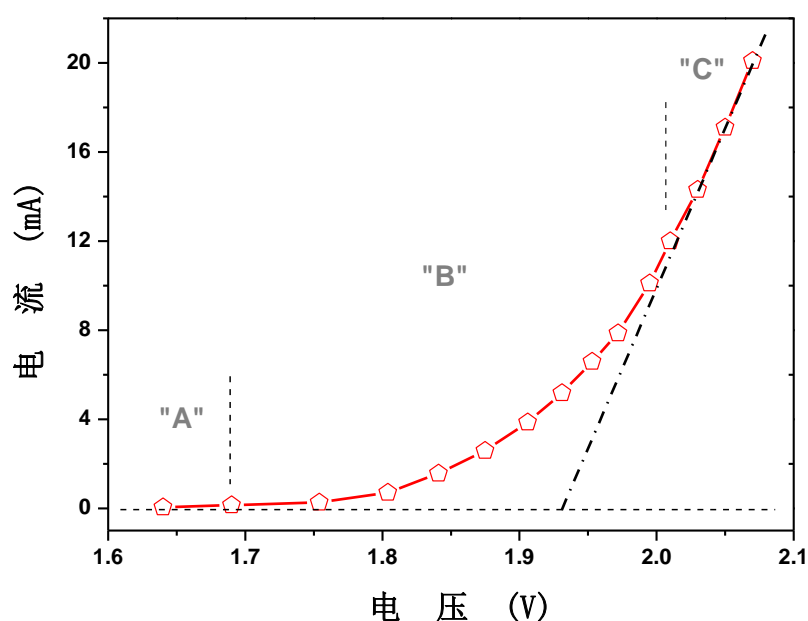


（本部分共 3.5 分。采用如上分压电路。电路正确 2.0 分，缺一元件扣 0.4 分；LED 和电池正负极标示错误扣 1.0 分；采用安培表测量扣 1.0 分；未标注测试点扣 0.5 分；采用串联电路测量扣 1.5 分；采用其它电路根据实际情况酌情给分。）

1(2) 正向伏安特性曲线（ $R_0 = 50.9\ \Omega$ ）

V_{R0}	$V_{LED}\ (V)$	计算 $I_R\ (mA)$
1.026 V	2.07	20.2
0.871 V	2.05	17.1
0.728 V	2.03	14.3
0.611 V	2.01	12.0
0.515 V	1.99	10.1
0.401 V	1.97	7.88
0.336 V	1.95	6.60
0.263 V	1.93	5.17
197 mV	1.91	3.88
132 mV	1.88	2.60

80.3 mV	1.84	1.58
36.2 mV	1.80	0.710
13.1 mV	1.75	0.260
6.9 mV	1.69	0.14
2.1 mV	1.64	0.041



(原始数据记录部分 5.0 分)

(应采用最小量程测量，测量时没能采用正确量程的扣 0.5 分；数据有效位数错误扣 1.0 分；要求“死区 A”（0.1mA 以下）至少有 1 个数据点，正向工作区“线性区 C”至少 3 个数据点，“转折区 B”至少 4 个数据点。如果“死区 A”没有数据点扣 0.5 分；“线性区 C”只有 2 个数据点扣 0.5 分，只有 1 个数据点扣 1.0 分，没有数据点扣 1.5 分。“转折区 B”只有 3 个数据点扣 0.2 分，只有 2 个数据点扣 0.5 分，只有 1 个数据点扣 1.0 分，没有数据点扣 1.5 分。没有利用限流电阻电压计算出 LED 电流值或者直接用电流表测量得到 LED 电流值扣 1.0 分。要求数据点分配合理，测量数据正确，否则扣 0.5 分。)

(要求画出完整的伏安特性曲线, 本部分 1.5 分。)

(没能正确合理地标出横坐标数值扣 0.7 分, 数据点标示正确 0.5 分, 连线流畅 0.3 分)

1(3)

由伏安特性曲线可得正向阈值电压 U_D 约为 1.93V

(此部分 2.5 分, 要求在特性曲线上标示且答案正确。如答案正确但未在曲线上标示或者标示错误扣 0.5 分, 虽然答案落在合理区间但和特性曲线结果不一致扣 1.5 分; 如有正确标示, 答案落在 1.90V – 1.98V 区间的不扣分, 否则答案落在 1.88V - 2.00V 区间的扣 0.5 分, 在 1.84V - 2.04V 区间的扣 1.0 分, 在 1.80 - 2.08V 区间的扣 1.5 分, 在以上区间之外的扣 2.0 分。)

发光波长估算: $\lambda \approx 1240 / (eU_D) = 642 \text{ nm}$

(此部分 1.5 分, 给出估算公式可得 1.0 分。)

2.(1) 分光计及光栅调节的具体要求:

a) 分划板叉丝通过目镜成清晰虚像, 望远镜聚焦于无穷远。b) 平行光管发射平行光, 狭缝宽度较小。c) 平行光管及望远镜的光轴等高、共轴, 并与仪器转轴垂直。d) 光栅置于载物台中心, 其刻线平行于仪器转轴; 平行光束垂直入射光栅平面, 衍射条纹与分光计转轴平行。

(此部分 3.0 分, 少一点要求扣 0.75 分, 每点要求表述不全扣 0.4 分。)

2(2) 数据记录与处理

记录分光计零级条纹位置的读数：左游标 27°0' 右游标 207°1'

测 量 次 数	+1 级条纹（左）					
	光谱 外边界		峰值波长 位置		光谱 内边界	
	左游标	右游标	左游标	右游标	左游标	右游标
	1	49°34'	229°33'	49°11'	229°11'	48°26'
2	49°31'	229°33'	49°8'	229°12'	48°26'	228°28'
3	49°31'	229°31'	49°9'	229°10'	48°24'	228°26'

测 量 次 数	-1 级条纹（右）					
	光谱 外边界		峰值波长 位置		光谱 内边界	
	左游标	右游标	左游标	右游标	左游标	右游标
	1	4°12′	184°11′	4°30′	184°33′	5°20′
2	4°13′	184°13′	4°34′	184°33′	5°23′	185°23′
3	4°14′	184°13′	4°33′	184°32′	5°22′	185°21′

(原始数据记录和表格部分总共 6.0 分：其中分光计零级条纹位置的读数计 0.5 分，如果中心位置读数偏差 2° 以上扣 0.5 分；只测 1 组数据点扣 2.0 分，只测 2 组数据点扣 1.0 分；只测+1 级条纹 (左) 或 - 1 级条纹 (右) 扣 2.0 分；只测

左或右游标扣 2.0 分; 没有分别测 ± 1 级条纹内外边界和峰值波长位置的光谱数据, 每缺 1 组数据扣 1.0 分。有效位数错误扣 1.0 分, 数据书写错误扣 0.5 分。)

2 (3)

由上述数据可得:

± 1 级条纹内边界夹角平均值: $43^{\circ} 4' 20''$, 平均衍射角: $21^{\circ} 32' 10''$ (或 $21^{\circ} 32'$)

峰值发光波长对应的 ± 1 级条纹夹角平均值: $44^{\circ} 37' 40''$,

平均衍射角: $22^{\circ} 18' 50''$ (或 $22^{\circ} 19'$)

± 1 级条纹外边界夹角平均值: $45^{\circ} 19' 30''$, 平均衍射角: $22^{\circ} 39' 45''$ (或 $22^{\circ} 40'$)

根据光栅衍射原理, 衍射条纹满足如下公式:

$$L \cdot \sin \theta = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

本实验 k 为 1, L 为 $1.67 \times 10^{-6} \text{ m}$

所以, 条纹内边界对应的波长 613 nm (或 $6.13 \times 10^{-7} \text{ m}$)

峰值发光波长 634 nm (或 $6.34 \times 10^{-7} \text{ m}$)

条纹外边界对应的的波长 643 nm (或 $6.43 \times 10^{-7} \text{ m}$)

因此, 峰值发光波长为 634 nm , LED 光谱范围为 $613 - 643 \text{ nm}$ 。

(此部分总共 6.0 分, 未能给出三个衍射角平均值每个分别扣 0.5 分; 没给出计算公式扣 0.5 分; 不同 LED 峰值发光波长会略有不同, 偏离峰值发光波长 1% 以内的不扣分, 偏离 1%-2% 的扣 0.5 分, 偏离 2%-3% 的扣 1.25 分, 偏离大于 3% 的扣 2.0 分; 光谱范围过大或不正确时适当扣分, 如光谱短波长小于 610 nm 扣 0.5 分, 短波长小于 600 nm 扣 1.0 分, 光谱长波长大于 650 nm 扣 0.5 分, 长波长大于 665 nm 扣 1.0 分。根据考生的卷面答案和提供的 LED 光谱参考值进行评分)

2(4) 定性说明实验结果误差的主要来源：

系统误差：

与分光计和光栅调节要求有偏差，包括：

- a) 入射光束不是理想的平行光。
- b) 入射光束没有与光栅平面垂直。

.....

偶然误差：

- a) 每次条纹左右边界线界定有偏差。

.....

(此部分 1.0 分，根据卷面答案酌情给分。必须包含系统误差与偶然误差，少一

部分扣 0.5 分。)

实验二答案评分标准（30分）

第1部份评分标准（15分）

谐振频率误差 $>5\%$ （ $\leq 2.13\text{ kHz}$ 或 $\geq 2.37\text{ kHz}$ ）全题不给分

(1) 正确连接电路，并给出正确测量结果的给5分

这一小题实际是反映学生的动手能力和实际素质的，首先电路要连接正确，在谐振点两侧都有数据，能根据电表的准确度写出的有效数字正确给1分；电流的有效数字正确的1分，它能反映有无误差传递的概念；实验点的数目9个点以上（含9个点）给1分；不按规定输入0.9V的扣2分。

(2) 正确画出电流 I 与频率 f 的关系曲线图给4分

没画出电流 I 与频率 f 的关系曲线图扣4分，在谐振点2.25kHz的半宽度范围内(2.02--2.40kHz)

各分布三个数据点的给2分；各分布二个数据点的给1.5分；各分布一个数据点的给1分；正确标示坐标轴的给1分；图上测量点标示规范、曲线圆滑1分。

(3) 本小题共计3分。正确从图上确定电路的谐振频率 f_0 给2分；误差在1%（2.23-2.27kHz）范围内给2分；误差在3%（2.18-2.32kHz）范围内扣1分；误差在5%（2.14-2.36kHz）范围内扣1.5分；正确用(2-1)式算出谐振频率得1分。

(4) 正确估算出电感等效电阻给3分。正确写出估算公式给1分；估算范围在 22Ω — 32Ω 的给2分；范围外不给分。

第2部份评分标准（15分）

(1) 正确设计出电桥电路，并列出各元件的初始值给3分。电路图2分；初始值1分。

(2) 正确写出谐振频率 f_0 与电感和电容的关系式的给1分。

(3) 正确写出可求得电感的等效电阻的 r_L 公式的给1分。

(4) 正确测出未知频率的给4分。计算结果误差在0.5%范围内（1074Hz -1086Hz）给4分；误差在1%范围内（1069Hz -1091Hz）给3分；误差在2%（1058 Hz -1102 Hz）给2分；误差在3%（1047 Hz -1113Hz）给1分；误差超出4% 不给分。

(5) 正确测出作为平衡指示器的交流电压表最小值给3分。最小值 $< 3\text{ mV}$ 给满分3分； $< 7.5\text{ mV}$ 扣1分； $< 10\text{ mV}$ 扣2分；超出10mV 不给分。

(6) 正确测出电感等效电阻给2分。结果误差在1% 范围内给2分；误差在3% 范围内扣1分；误差在5% 范围扣1.5分；误差超出5% 不给分。

(7)没最后标示各数值或标示不完整、不正确的扣1分。

实验二答题部分

第 1 部份

(1) 按图一连接线路，测量谐振曲线。

表一 测量 $I \sim f$ 谐振曲线数据表

数值 项目 $f(\times 10^3)\text{ Hz}$	$L = 0.100\text{ H}$ $C = 0.0500\mu\text{ F}$	
	输入 0.90 V $R_0 = 100.0\Omega$	
	$U_{R_0} \text{ (mV)}$	$I = \frac{U_{R_0}}{R_0} \text{ (mA)}$
1. 70	108	1. 08
1. 80	137	1. 37
1. 90	181	1. 81
2. 00	259	2. 59
2. 05	312	3. 12
2. 10	398	3. 98
2. 15	514	5. 14
2. 20	661	6. 61
2. 25	727	7. 27
2. 30	617	5. 17
2. 35	493	4. 93
2. 40	378	3. 38
2. 45	318	3. 18
2. 50	264	2. 64
2. 60	199	1. 99
2. 70	157	1. 57
2. 80	138	1. 38

(2) 作谐振曲线图

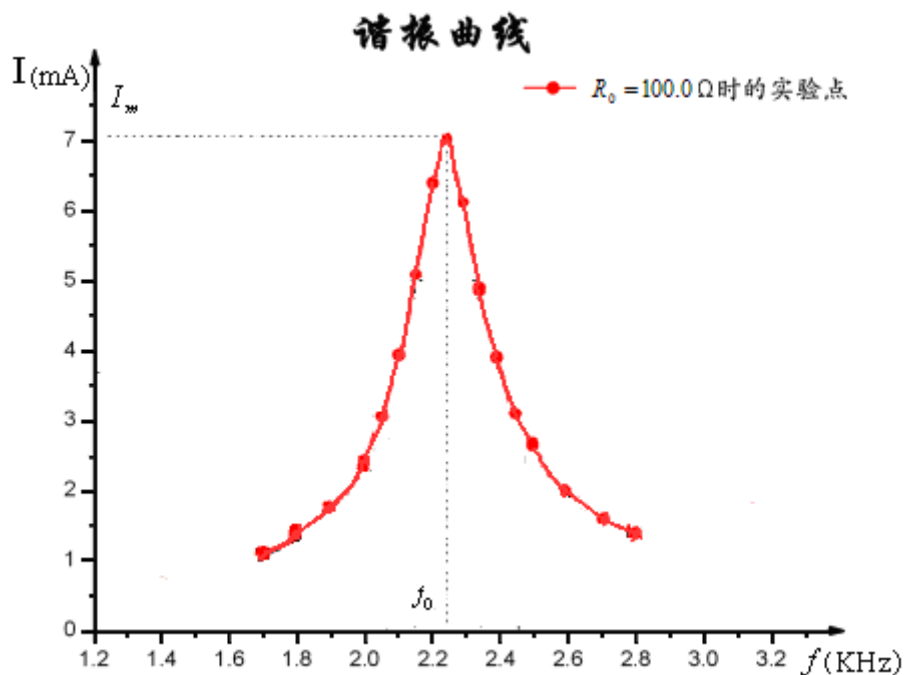


图2 RLC 串联电路幅频特性曲线

(3) 回答计算

由公式(2-1)和实验得出的电流 I 与频率 f 的关系曲线。当电路出现极值时（谐振）时，电路的谐振点频率 f_0 为（2.25kHz），电路的谐振频率 f_0 与 电路电感器 L 和电容器 C 的关系式

$$(f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}})。$$

(4) 估算

利用谐振点的数据列式估算电感的内阻 r_L ：

$$r_L = (\frac{U}{I_m} - R_0) = \frac{0.900}{0.00727} - 100.0 = 23.8 \text{ (}\Omega\text{)}$$

第 2 部份

(1) 设计电路图

应用惠斯登电桥的基本知识，将直流电桥作 少许改造，以功率函数信号发生器代替直流电源，以交流电压表代替检流计作平衡指示器，用 RLC 串联谐振电路作为一个桥臂，图 3 为谐振电桥实验电路设计图。

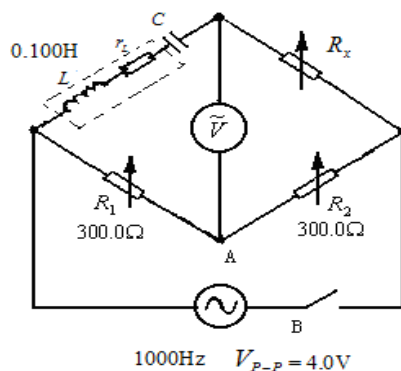


图3 应用谐振电桥测电源频率和电感直流电阻的电路设计图

(2) 当电桥平衡(谐振)时, $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

(3) 当电桥平衡(谐振)时, 存在关系式: $r_L = \frac{R_1}{R_2} R_x$

(4) 0.100H 的电感不动, 调整电容 C 和电阻 R_x , 使电桥平衡指示器读数为最小, 记下此时的电感量和

电容量, 代入式 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 中, 即可求出未知谐振频率。

如下一组数据:

老师输入信号源频率 $f = 1080 \text{ Hz}$

考生从实验测得的数据可计算出未知谐振频率和直接得出 0.100H 电感的直流内阻。

电感 L (H)	电容 C (μF)	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (Hz)
0.100	0.2165	1082

频率的相对误差 $E = \frac{1082 - 1080}{1080} \times 100\% = 0.2\%$

因不知标准值, 考生不必求频率的相对误差。

(5) 平衡指示器交流电压表的最小值读数是 ($\leq 3 \text{ mV}$) 左右。(参考值)

(6) 0.100H 电 感 的 直 流 电 阻

$$r_L = \frac{R_1}{R_2} R_x = \frac{300.0}{300.0} \times 22.1 = 22.1 \Omega$$

不同规格的电感箱电阻可能不一样, 大致在几十欧范围内。新购入的一批大部份在 20Ω 至 22Ω 左右, 旧的一批有的十几欧或二十几欧。(按编号每台有实测参考数据)

注意: 交流平衡电桥电路必须谐振, 谐振时的电桥是一个全电阻的电桥, 作为平衡指示器的交流电压表读数应是一个最小值, 求最小值的过程其实就是求极值的过程。实验时, 电感

$L = 0.100 \text{ H}$ 不能变动,

因不同的电感量其等效电阻是不一样的, 只可调整可调电容器 C 和可调电阻器 R_x , 使平衡指示

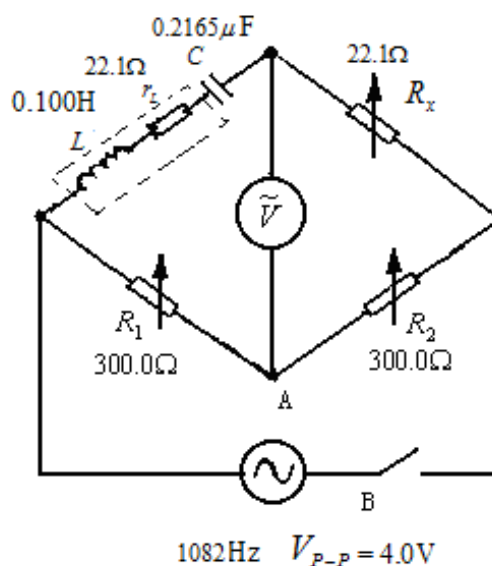


图 4 总览图

器电压读数最小，最小值是在比较中获得的。

(7) 列出最后电路各元件的数值

f_0	V_{p-p}	R_1	R_2	C	L	r_L	R_x
1082 (Hz)	4.0 V	300.0 Ω	300.0 Ω	0.2165 μ F	0.100 H	22.1 Ω	22.1 Ω

各电感箱等效电阻实测参考数据

设定 $f = 1080$ (Hz), $V_{p-p} = 4.0$ V, $L = 0.100$ H

序号	C (μ F)	r_L (Ω)	平衡时 < mV	序号	C (μ F)	r_L (Ω)	平衡时 < mV
1	0.2151	22.2	1	20	0.2160	21.0	3
2	0.2165	22.1	1	21	0.2170	21.0	3
3	0.2156	23.1	1	22	0.2160	21.0	1
4	0.2171	21.0	1	23	0.2161	21.0	3
5	0.2171	21.9	1	24	0.2167	22.0	3
6	0.2161	21.6	1	25	0.2165	21.3	0
7	0.2177	21.1	1	26	0.2175	18.1	0
8	0.2161	21.5	1	27	0.2168	19.0	4
9	0.2166	21.2	1	28	0.2168	19.1	2
10	0.2165	21.2	2	29	0.2166	19.7	2
11	0.2172	21.8	1	30	0.2168	19.5	3
12	0.2162	21.5	1	31	0.2170	19.3	5
13	0.2170	21.9	2	32	0.2164	19.2	6
14	0.2160	21.8	1	33	0.2170	18.0	4
15	0.2170	21.3	2	34	0.2161	20.0	4
16	0.2161	21.3	1	35	0.2174	17.7	3
17	0.2167	22.2	3	36	0.2175	19.1	1
18	0.2174	21.4	1	37	0.2179	22.0	0
19	0.2166	22.0	2				