第三十一届全国中学生物理竞赛
决赛实验试题

（光 学）

[实验题目]

光线通过三棱镜后将发生偏折，其偏向角θ（出射光与入射光的夹角）与入射角 ***i***（入射光线与入射平面法线的夹角）有关，随着入射角的变化，偏向角会出现一个极小值，称为最小偏向角θ_m。

用分光计（如图）测得三棱镜的顶角 ***A*** 和最小偏向角θ_m后，可用公式计算出三棱镜材料的折射率 ***n***

$$n=\frac{\sin[(A+\theta_m)/2]}{\sin(A/2)}$$

式中 ***A*** 为三棱镜的顶角，θ_m为光线通过该三棱镜后的最小偏向角。折射率 ***n*** 与光的波长λ有关，因而θ_m也与入射光的波长λ有关。

试讨论是否可以用该原理测量盛在用三片表面平行的光学平板玻璃围成三棱镜状容器内液体的折射率 ***n'*** 为什么？测定被测液体对单色光的折射率 ***n'***。

[实验器材]

1、由厚薄均匀的玻璃片构成的三棱镜状容器（内盛被测液体）1只；

2、分光计 1 台，节能灯 1 只和单面镀膜的小平面镜 1 只。

说明：节能灯光谱与纯汞灯光谱两者之间是有区别的。节能灯光谱除了有汞灯所具有的蓝色谱线、绿色谱线以及黄色谱线外，还有红色谱线，在这些谱线边上还存在较宽的背景光谱带。节能灯中蓝、绿、黄光谱线的波长与汞灯相应的光谱线的波长是一致的，因此可以将节

能灯光谱中相对较亮的蓝、绿、黄、红光谱线作为相应单色光的认定依据。

[实验要求]

1、试分析题目中折射率 n 的测量公式是否适用于测量本实验玻璃容器中液体的折射率 n'？玻璃容器壁的折射率和厚度对测量结果是否有影响？为什么？

2、调整分光计和被测棱镜。

调整分光计的望远镜时首先调整什么？如何调整分光计的望远镜聚焦到无穷远，并使望远镜光轴与仪器转轴垂直？如何调整分光计的平行光管出平行光，并使平行光管光轴与仪器转轴垂直？为便于调节三棱镜的主截面与分光计的主轴相垂直，三棱镜相对载物平台的三只调节螺钉该如何放置和调节？用图表示。

3、用自准直法测出液体三棱镜顶角 A。

写出被测液体三棱镜顶角的测量原理，用光路图表示，并写出计算公式，设计数据记录表格，用分光计测出液体三棱镜顶角 A 的平均值。

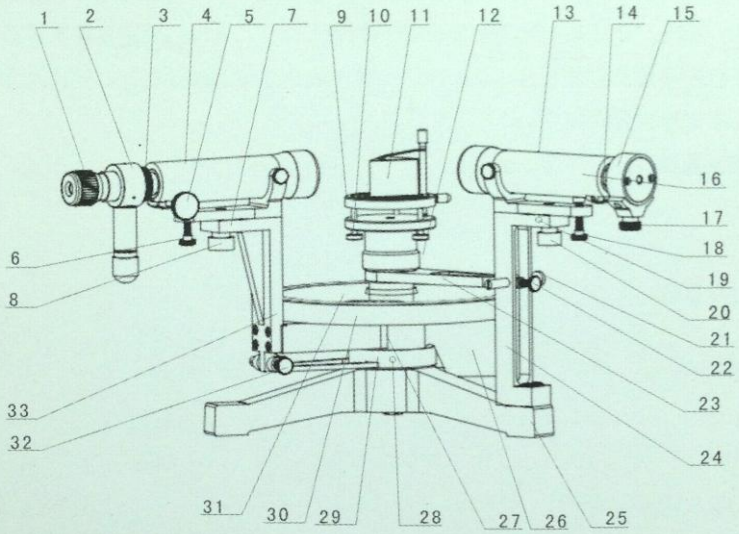
4、测量绿光（546.1nm）的最小偏向角 θ_{gm}。

画出测量的光路图，列表记录三棱镜状被测液体对节能灯光源中绿色光（546.1nm）的偏向角 θ_g 随入射角 i 的变化数据，利用实验数据画出 $\theta_g - i$ 曲线，并从曲线上得出液体对绿光的最小偏向角 θ_{gm}。

5、测量蓝光（435.8nm）的最小偏向角 θ_{bm}。

6、计算被测液体对绿光和蓝光两种单色光的折射率 n_g 与 n_b（有效数字保留四位），并分析测量结果的误差来源。

JJY1′-III型分光计外形如图一所示。



图一

1、目镜视度调节手轮　2、阿贝式自准直目镜　3、目镜锁紧螺钉　4、望远镜

5、望远镜调焦手轮　6、望远镜光轴高低调节螺钉　7、望远镜光轴水平调节螺钉（背面）

8、望远镜光轴水平锁紧螺钉　9、载物台　10、载物台调平螺钉（3只）

11、三棱镜　12、载物台锁紧螺钉（背面）　13 平行光管　14、狭缝装置锁紧螺钉

15、狭缝装置　16、平行光管调焦手轮（背面）　17、狭缝宽度调节手轮

18、平行光管光轴高低调节螺钉　19、平行光管光轴水平调节螺　20、平行光管光轴水平锁紧螺钉

21、游标盘微动螺钉　22、游标盘止动螺钉　23、制动架（二）　24、立柱　25、底座

26、转座　27、转座与度盘止动螺钉（背面）　28、制动架（一）与底座止动螺动　29、制动架（一）

30、度盘　31、游标盘　32、望远镜微调螺钉　33、支臂

第三十一届全国中学生物理竞赛
决赛实验试题

（电 学）

[实验题目]

利用“组装电源元件盒”中的电子元件，设计一个能最大效率地将交流电压转变为直流电压的整流滤波电路，对设计的电路进行连接组装，使其成为一个直流电源。用电流表测量该电源的特征参数——开路电压、最大输出功率及电源内阻，研究该电源输出的交流电压与直流电压的比值随负载电阻变化的关系。然后用该直流电源及标准电阻箱，采用电桥法精确测定“待测电阻”盒中三个未知电阻的阻值。

[实验器材]

1、组装电源元件盒 1 只（内有交流电源、二极管、电解电容、电阻等供选用）；

2、数字式电流表 1 只（仅电流档可用）；

3、标准电阻箱 1 只（准确度等级为 0.1 级）；

4、待测电阻盒 1 只（内含 R_1、R_2 及 R_x 三个待测电阻）；

5、连接导线若干。

[实验要求]

1、用提供的实验器材设计一个桥式整流加 π 型滤波的电源电路，使其能将 12V 交流电压变为直流电压，画出设计电路图；用导线连接组装该电路为直流电源，测量所给的数字电流表的内阻，并用该电流表研究组装电源的输出电压随负载的变化状况。测量当负载电阻 R_L 在[50Ω-1000Ω]范围内变化时该电源输出的交流、直流电流，列表记录测试数据并计算不同负载时该电源的纹波系数 K_u 值。

（注：此处定义纹波系数 K_u = 交流电压有效值/直流电压值×100％）

2、利用实验数据画出纹波系数 K_u 值随负载 R_L 的变化曲线，说明该电源在什么负载条件下可以达到 K_u ≤1%。

3、利用实验数据确定，负载电阻 R_L 为何值时电源的输出功率达到最大，测量此时电源的等效内阻 r 和 K_u 值。

4、用上述组装的直流电源、标准电阻箱、电流表及待测电阻盒上的三个未知电阻，采用直流电桥法精确测量三个电阻的阻值。说明测量原理、画出电路图和写出计算公式，自行列表记录测量数据，测出待测电阻的阻值，并分析电阻测量的误差。

[仪器说明]

1、电源元件盒后侧面已有市电接入，电源开关标有 I/O 符号，I 端按下电源打开，O 端按下电源关闭。打开电源，元件盒内的交流变压器供电，面板上标有交流 12V 的电压端就会有输出，输出指示灯会点亮。若操作不当引起该输出两端短路，交流电源会损坏，指示灯熄灭。元件盒中其他元件都用符号标注，电解电容的正端用矩形、负端用短线标注。

2、组装电源的输出电压、等效内阻及纹波系数都将随负载的变化而改变，是本实验需要研究的问题。

3、数字式万用表是自动量程表，只需选择测试功能与测量范围，不用选择量程，本万用表只有电流档插孔可用，其他功能（插孔）不能使用，该电流表是由数字电压表头改装而成，它有一定的输入内阻，万用表上的[sel]按键可以切换直流/交流测量功能，其它功能按键不需使用。

4、标准电阻箱是六旋钮电阻箱，电阻调整范围为 0 - 99999.9 Ω，准确度等级为 0.1 级。

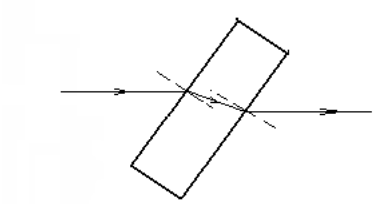
5、“待测电阻”盒，内有 R_1、R_2 及 R_x 三个电阻，电阻阻值未知，要求通过实验方法精确地测出各电阻的阻值。

第三十一届全国中学生物理竞赛
实验题解答（光学）

一．测试原理分析与分光计的调整

1、试分析题目中折射率 n 的测量公式是否适用于测量本实验玻璃容器中液体的折射率 n'？玻璃容器壁的折射率和厚度对测量结果是否有影响？为什么？

答：玻璃容器壁两面若是平行的，光线经过两个面折射后，出射光线与入射光线平行，光线传输方向没有改变，则容器壁厚度与折射率对测量结果无影响，用光路图表示如下。



2、调整分光计和被测棱镜

调整分光计的望远镜时首先调整什么？如何调整分光计的望远镜聚焦到无穷远，并使望远镜光轴与仪器转轴垂直？如何调整分光计的平行光管出平行光，并使平行光管光轴与仪器转轴垂直？

答 ：（1）首先观察望远镜目镜内的分划线，调整目镜转轮至分划线清楚；

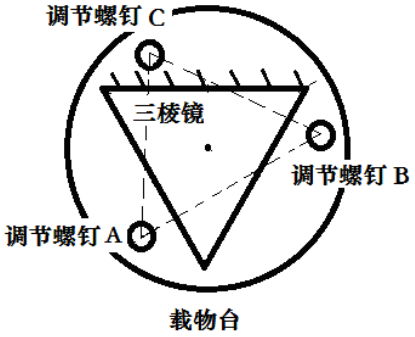
（2）调节望远镜，使其聚焦至无穷远。打开阿贝棱镜照明光源，用平面镜辅助观察反射“+”字光标，调节目镜伸缩旋钮，至目镜内看到清晰的反射“+”字光标；将单面镀膜的小平面镜放置于载物台三个调节螺丝任意二只连线的垂直线上，通过对望远镜的俯仰、载物台垂直于转轴的调节和转动载物台，使平面镜转动 180° 前后，反射光标都能够成像在分划线的上横线上。

（3）调节平行光管主轴与分光计主轴垂直，并发射出平行光线。以调整好聚焦到无穷远的望远镜为依据，伸缩狭缝在平行光管的位置使能观察到清晰的狭缝像，将狭缝调成水平方向，调节平行光管的俯仰，使狭缝像的位置处于分划线的中横线上，狭缝宽度调至约 0.5mm，在可见的程度下尽可能的细。

为便于调节三棱镜的主截面与分光计的主轴相垂直，三棱镜相对载物平台的三只调节螺丝该如何放置？用图表示。

答： 将装有液体的三棱镜置于载物台上，调节载物台水平调节螺钉，使三棱镜的两个反射面与分光计望远镜的主轴垂直。

三棱镜放法是：令三棱镜光学面的法线与某二个螺钉的联线平行（令光学面与某二个螺钉的联线相垂直），调节第一个光学面时用与该面法线平行的螺钉 A、B，调节第二个光学面时只需调节螺钉 C，反复调节几次即可。三棱镜的放置如图。

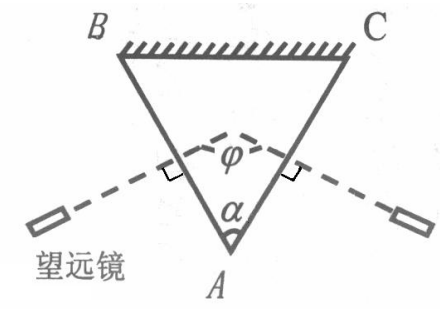


二．用自准直法测出液体三棱镜顶角 *A*

写出被测液体三棱镜的顶角的测量原理、测量光路图和计算公式，设计数据记录表格，用分光计测出液体三棱镜顶角 *A* 的平均值；

写出被测液体三棱镜顶角的测量原理，画出原理图，写出顶角的计算公式

自准直法——在调整好望远镜主轴与分光计主轴相垂直的条件下，调节载物台的调平螺钉，使望远镜发出的“十字光标”经容器两个侧面垂直反射回来。这种望远镜观察到自身发射的“十字光标”经光学面垂直反射回来的现象称为自准直，测量出望远镜对应的三角形容器左右两侧位置时 A 窗和 B 窗角度值的读数，按下面计算公式即可求出容器的顶角。



光路图

计算公式：顶角 $A = 180° - \varphi$

设计数据记录表格，用分光计测出液体三棱镜顶角的平均值 $\overline{A}$

例：自准直法测顶角：

左		右		A 窗读数差	B 窗读数差	A=180°－(A 窗读差+B 窗读数差）/2
A 窗	B 窗	A 窗	B 窗			
141° 14′	321° 13′	20° 22′	200° 24′	120° 52′	120° 49′	59° 9′
141° 13′	321° 13′	20° 22′	200° 24′	120° 51′	120° 49′	59° 10′
141° 14′	321° 13′	20° 22′	200° 23′	120° 52′	120° 50′	59° 9′

得顶角 A 平均值为 59° 9′ ，

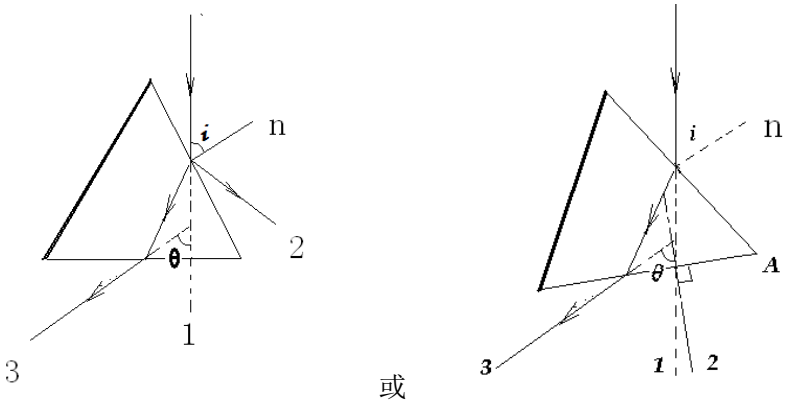
容器编号：*** ，顶角 $\overline{A}$= 59° 9′

三．列表记录三棱镜状被测液体对节能灯绿色光（546.1nm）的偏向角 θ_g 随入射角 i 变化的数据，画出测量的光路图，利用实验数据作出 $\theta_g - i$ 曲线，并从曲线上得出液体对绿光的最小偏向角 θ_{gm}

1、原理说明与数据测量

画出测量入射角和偏向角的光路图，分别写出入射角及偏向角的计算公式

光路图



或

分光计角游标读数窗设 A、B，对光线 1 的读数记为 A1、B1，其余类同。

对应左图，入射角 i =90° -|（A2-A1）+（B2-B1)|/4
或对应右图，入射角 $i = A$ ±|（A2-A1）+（B2-B1) |/2

偏向角 θ =|(A1-A3)+(B1-B3)|/2

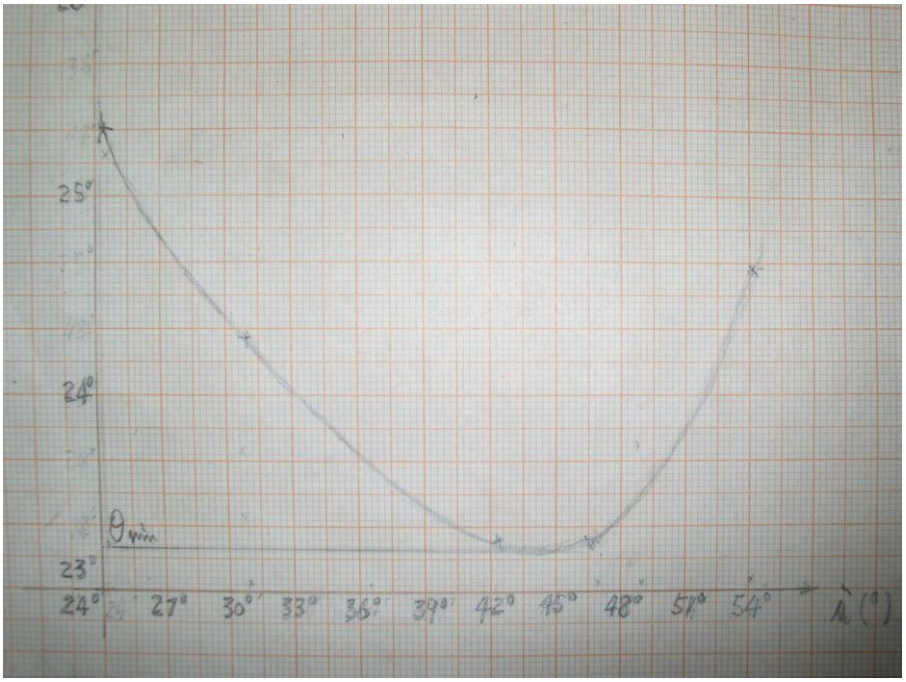
列表记录被测液体对绿光（546.1nm）的偏向角θ_g随入射角i变化的测量数据

偏向角特性曲线数据(绿光)

序号	入射光线（1）		反射光线（2）		折射光线（3）		入射角	偏向角
	A1	B1	A2	B2	A3	B3	90°-[（A2-A1）+（B2-B1)]/4	[(A1-A3)+(B1-B3)]/2
1	67° 30′	247° 30′	0° 20′	180° 0′	92° 50′	272° 50′	24° 30′	25° 20′
2	67° 30′	247° 30′	309° 40′	129° 47′	91° 48′	271° 48′	31° 7′	24° 18′
3	67° 30′	247° 30′	320° 30′	140° 30′	91° 0′	271° 0′	36° 30′	23° 30′
4	67° 30′	247° 30′	332° 45′	152° 45′	90° 45′	270° 45′	42° 37′	23° 15′
5	67° 30′	247° 30′	342° 10′	162° 10′	90° 45′	270° 45′	47° 20′	23° 15′
6	67° 30′	247° 30′	346° 30′	166° 30′	91° 15′	271° 15′	49° 30′	23° 45′
7	67° 30′	247° 30′	356° 0′	176° 0′	92° 0′	272° 6′	54° 15′	24° 38′

2、曲线绘制与最小偏向角结果的获得

利用实验数据画出$\theta_g - i$曲线，标出绿光最小偏向角θ_{gm}的位置点



由图得绿光的最小偏向角θ_{gm}= 23° 14′ ± 2′

四．利用最小偏向角的实验现象，直接测量被测液体对蓝光的最小偏向角 θ_{bm}，得出被测液体对两种颜色光的折射率 n_g 与 n_b

1、利用最小偏向角现象直接测得蓝光的最小偏向角 θ_{bm}；

列表记录测量数据

蓝光最小偏向角的测量测量

入射光 1			折射光 3		A 窗读数差	B 窗读数差	最小偏向角
A 窗	B 窗		A 窗	B 窗			
73° 30′	253° 30′		97° 12′	277° 12′	23° 42′	23° 42′	23° 42′
73° 31′	253° 32′		97° 13′	277° 16′	23° 42′	23° 44′	23° 43′
73° 29′	253° 30′		97° 11′	277° 11′	23° 42′	23° 41′	23° 42′
						平均值=	23° 42′

蓝光的最小偏向角值平均值 θ_{bm} = 23° 42′

2、被测液体对光源绿光和蓝光两种单色光的折射率 n_g' 与 n_b' 与测量误差分析

计算液体对绿光的折射率 n_g'（保留四位有效数字）

$$n_g = \frac{\sin(\frac{A+\theta_{\min}}{2})}{\sin(\frac{A}{2})}$$ **= sin[(59° 8′ +23° 14′)/2]/sin(59° 8′ /2) = 1.334**

计算液体对蓝光的折射率 n_b'（保留四位有效数字）

$$n_b = \frac{\sin(\frac{A+\theta_{\min}}{2})}{\sin(\frac{A}{2})}$$ **= sin[(59° 8′ +23° 42′)/2]/sin(59° 8′ /2) = 1.341**

测量结果的误差来源分析

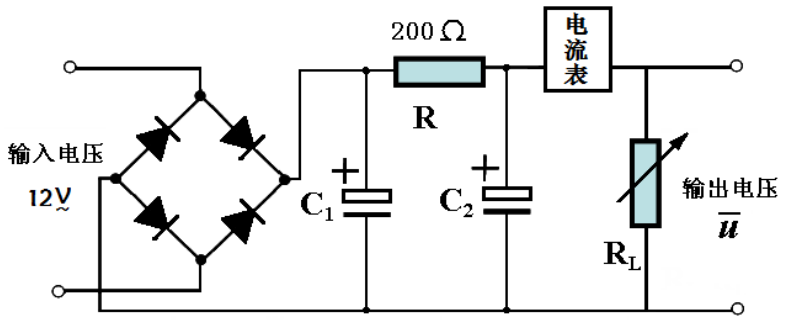
由于分光计存在仪器误差，角度测量又涉及多次测量。
因此折射率测量结果的误差来源有：1）角度测量的仪器误差，
2) 多次测量的随机误差

第三十一届全国中学生物理竞赛
实验题解答 （电学）

一．画出设计电路图，组装电路并测量

1、用 12V 交流电源作为输入，设计将交流转换为直流的桥式整流加 π 型滤波的电源电路，画出电源与测试电路原理图，用文字说明电路的工作原理，并说明各元件在电路中起到的作用。

画出电源电路与测试电路的电路图



说明该电路的工作原理

12V 交流电压经过由 4 个二极管组成的桥式整流电路后成为直流脉动电压，再经过由电解电容和电阻组成的 π 型滤波电路，电压的脉动幅度大大减小，成为可以供负载使用的直流稳压电源。用可变电阻箱作为负载电阻，电流表串接在带负载电阻的输出回路中。

说明电路中各元件的作用

二极管——有单向导通功能，阻止反向电流的流通；
电解电容——有隔离直流流通和积储电能功能，能够充电与放电，充放电时间与负载有关；
电阻——有阻碍电流流通的功能，与电解电容组合可以改变电路的充放电时间。

2、用导线连接组装设计的电路，制成一个直流电源。用所给的电阻箱和数字式直流毫安表研究该电源的开路输出电压 U_0 及毫安表的内阻 r_a（电压档无法使用）。

写出电源在输出开路时的输出电压 U_0 的测量方法和测量结果

1）由于电流表不能直接测量开路电压，因此通过增大负载至尽可能大，通过测量电流研究电路趋向开路时的电压趋势，计算得到结果。将 R_L 调节至 80000Ω 位置，测出输出电流 I，设电流表内阻为 r_a，有 $U_0=I*（r + r_a+ R_L）$；

调节电阻箱改变 R_L 大小至 90000Ω，使输出电流变为 I’，有 $U_0=I’*（r+ r_a+ R_L’）$；

得出内阻：$r+r_a=\dfrac{I'\cdot R_L'-I\cdot R_L}{I-I'}$，开路输出电压为：$U_{oC}=\dfrac{I\cdot I'}{I-I'}\cdot(R_L'-R_L)$；

实际测量值：R_L=80000Ω 时，I=200.6uA，R_L=90000Ω 时，I’=178.5uA

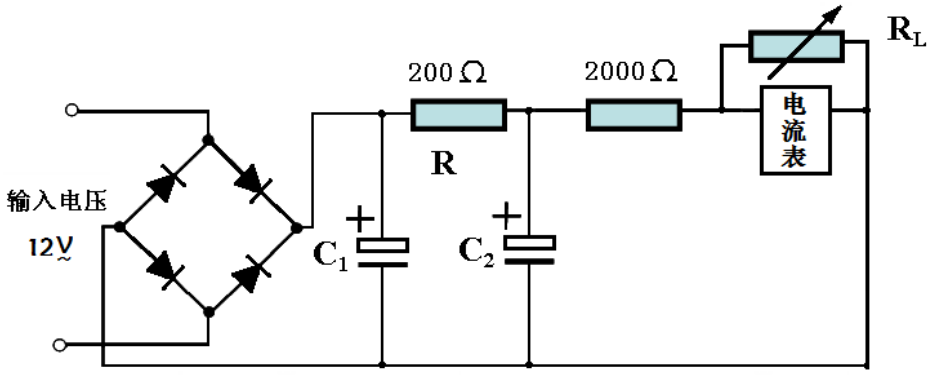
2）也可以用作图法，画出（I - R_L ）关系图，通过外推方法求 U_0

3）直接用 90000Ω*178.5uA=16.1V 忽略内阻影响也可算正确。

测量结果： U_0= （16.4 V ±0.5） V ，

写出万用表直流 mA 档内阻 r_a 的测量方法和测量结果

用元件盒上 2000Ω 电阻，在电源输出端串接一个 2000Ω，再串接上电流表与电阻箱 R_L 的并联电路。先断开电阻箱(R_L=∞)，只有电流表串接，读出电流 I，在电流表两端并接上电阻箱 R_L，调节 R_L 至电流显示 I/2，此时，由于 r_a 远小于 2000Ω，可以近似认为 R_L= r_a。



测量结果：I =6.98mA，调节 R_L=3.5Ω 时，I =3.50mA；得 r_a≈3.5Ω。

r_a= = (3.5±0.5) Ω

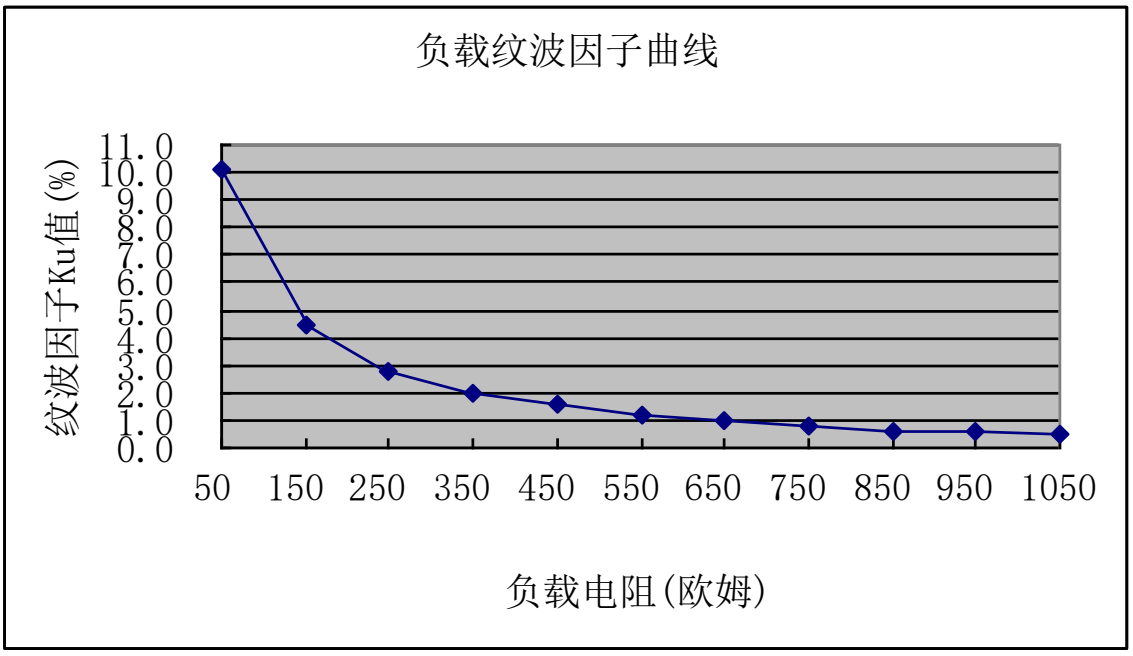
3、用毫安表研究负载电阻 R_L 在[50Ω-1000Ω]范围内变化时电源的交流、直流输出电流，列表记录测试数据并计算电源在不同负载时相应的纹波系数 K_u 值；

数据记录表的设计与数据测量

R_L(Ω)	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050
直流 I(mA)	50.0	37.90	30.47	25.52	21.95	19.27	17.19	15.50	14.12	12.96	12.00
交流 i(mA)	5.07	1.68	0.84	0.51	0.34	0.23	0.17	0.13	0.09	0.08	0.06
直流电压(V)	2.5	5.7	7.6	8.9	9.9	10.6	11.2	11.6	12.0	12.3	12.6
交流电压(mV)	254	252	210	179	153	127	111	98	77	76	63
纹波系数 Ku 值(%)	10.14	4.43	2.76	2.00	1.55	1.19	0.99	0.84	0.64	0.62	0.50

二．画出纹波系数 K_u 值随负载 R_L 的变化曲线，说明该电源在什么负载条件时可以达到 K_u ≤1%

根据实验数据作图



在图中曲线上标注 K_u =1%的点，说明该点的物理含义。（0.5 分）

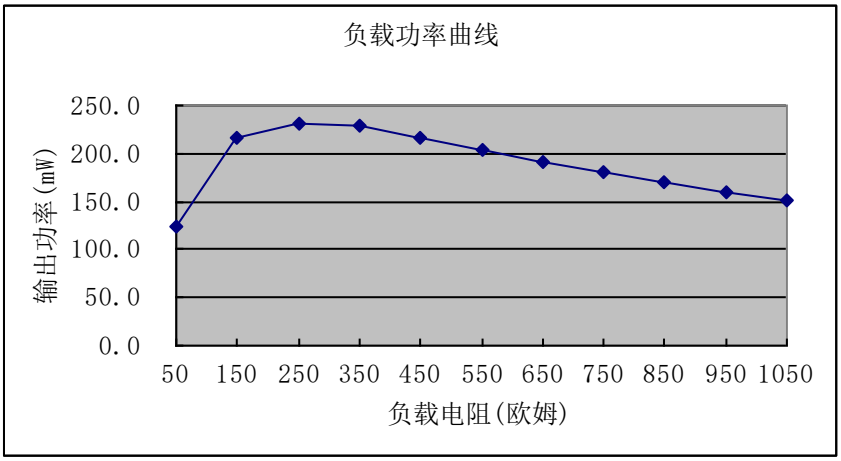
当负载电阻 R_L≥650Ω时，电源的 K_u 值将小于 1%，直流输出电压有较好的波动稳定性。

三．利用实验数据，确定负载电阻 R_L 为何值时电源的输出功率达到最大，测量此时电源的等效内阻 r 与 K_u 值。

负载电阻 R_L 取何值时电源达到最大输出功率？说明理由。
计算在该负载下电源的等效内阻 r；

R_L(Ω)	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050
直流 I(mA)	50.0	37.90	30.47	25.52	21.95	19.27	17.19	15.50	14.12	12.96	12.00
纹波系数 *Ku* 值(%)	10.14	4.43	2.76	2.00	1.55	1.19	0.99	0.84	0.64	0.62	0.50
输出功率(mW)	125.0	215.5	232.1	227.9	216.8	204.2	192.1	180.2	169.5	159.6	151.2

1） 利用 $P=I^2R_L$ 计算并找出 P 最大值， R_L 为 250Ω 附近时，电源的输出功率最大。



2）按数据表值标出数据点，画出曲线，在图中曲线上标注 P 值最大的点。
得出：负载为 250Ω 时，电源输出功率最大

由于输出电压无法直接测量，通过选择负载电阻 R_L 在 250Ω 附近，测量负载电流，计算获得电源的等效内阻。

R_L(Ω)	150	250	350
直流 I(mA)	37.90	30.47	25.52

根据 $r + r_a = \dfrac{I' \cdot R_L' - I \cdot R_L}{I - I'}$ ；测量 R_L=250Ω 附近的两个电流，计算出电源的等效内阻 r，得 $r+r_a$ = 257.7Ω； r = 254.2Ω

计算结果 r = 255±10Ω

若根据负载直接写出电源内阻 $r = R_L$，

K_u = （2.8±0.3）%

四．用组装直流电源、标准电阻箱及待测电阻盒上的三个未知电阻，用直流电桥法测定这三个电阻的阻值大小。

写出测量方法与主要过程，画出测量原理图

测量方法与主要过程文字部分

自组惠斯通电桥。连接 Rx，R1，R2，及 R0（电阻箱），组成电桥电路，在 A、C 两端接入组装的直流电源，将 B、D 两端接入数字电流表。原理图如图 1：

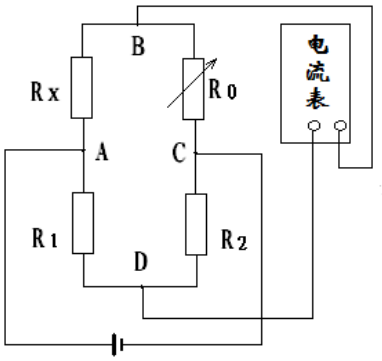


图 1

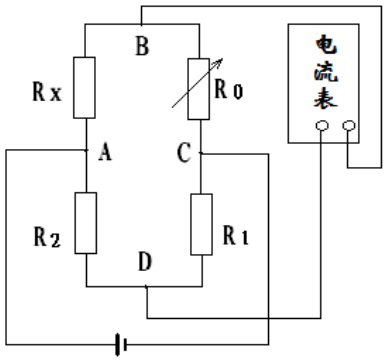


图 2

将电流表测试模式设为直流 mA 档，观察 B、D 两端的电流大小。从大到小调节电阻箱 R_0 的各档旋钮,观察电流表中电流值的变化，使其尽量向零靠近，当示值非常接近零时，可旋转量程选择钮至 uA 档以减小电流表的量程，直至示值小到 0uV 附近，精确判断电桥平衡的状态。读出电桥平衡时 R_0 的读数，记为 R_{01}；

如图 2，交换 R_1、R_2 位置，重新连接电路。操作方法同上，调节 R_0 使电桥平衡。读出电桥平衡时 R_0 的读数，记为 R_{02}；

如图 3，交换 R_1、Rx 位置，重新连接电路。操作方法同上，调节 R_0 使电桥平衡。读出电桥平衡时 R_0 的读数，记为 R_{03}；

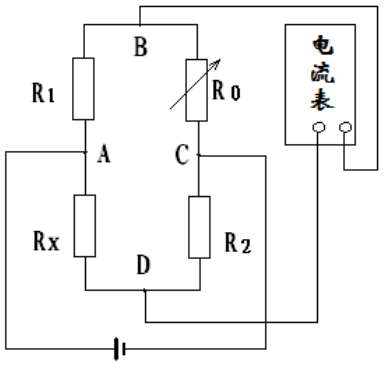


图 3

写出电阻测量的计算公式

根据图 1 得：$Rx/R_{01}=R_1/R_2$；根据图 2 得：$Rx/R_{02}=R_2/R_1$

$$Rx=\sqrt{R_{01}\cdot R_{02}}\ ;$$

$$R_1/R_2=R_x/R_{01}=\sqrt{R_{02}/R_{01}}$$

根据图 3 得：$R_1/R_{03}=R_x/R_2$；$R_1\cdot R_2=R_x\cdot R_{03}$

$$R_1=R_x\sqrt{R_{03}/R_{01}}=\sqrt{R_{02}\cdot R_{03}}\ ;$$

$$R_2=\sqrt{R_{01}\cdot R_{03}}\ ;$$

列表记录测量数据

	R_{01}	R_{02}	R_{03}
单位：欧姆	2248.2	3936.4	249.7

待测电阻测量值（3 分）

电阻盒编号：***

R_1 = 991.4 Ω；R_2 = 749.2 Ω；R_x = 2974.9Ω 。

[根据电阻盒编号比较实测参考数据]

测量结果的误差分析

由电阻箱误差引起的测量误差如下：

$$\frac{\Delta_{Rx}}{R_x}=\frac{\Delta_{R_0}}{2R_{01}}+\frac{\Delta_{R_0}}{2R_{02}}=0.1\%;\qquad \Delta_{Rx}=3.0(\Omega)$$

$$\frac{\Delta_{R1}}{R_1}=\frac{\Delta_{R_0}}{2R_{02}}+\frac{\Delta_{R_0}}{2R_{03}}=0.1\%;\qquad \Delta_{R1}=1.0(\Omega)$$

$$\frac{\Delta_{R2}}{R_2}=\frac{\Delta_{R_0}}{2R_{01}}+\frac{\Delta_{R_0}}{2R_{03}}=0.1\%;\qquad \Delta_{R2}=0.8(\Omega)$$

实际还存在平衡调节的判断误差，但影响较小可以忽略。

得测量结果：

R_1 = (991.4 ±1.0) Ω；R_2 = (749.2±0.8) Ω；R_x = 2974.9±3.0Ω 。