

D03 补偿法的应用

14211037 王泽

嗯抽到 D03 的时候感觉攒了好大一波人品。毕竟资料里都是各种被 D03 血虐啊惨啊之类的。实际做完发现其实没那么难，相反我觉得因为实验本身的难度，可能会降低要求，也会给更多的报告分数吧（我自己 YY 的，但愿吧~

言归正传。开始码干货，吃水不忘挖井人嘛。下面进入正题。

现场阅读材料

6.3 补偿法的应用（电流补偿测光电流）

一、任务与要求

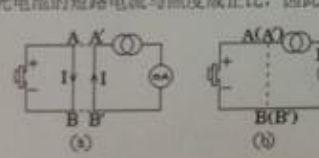
1. 把 μA 表改装成多量程的电流表，以适应不同光电流（短路）的测量，电流表需经过校准（校准只需对满偏电流进行，不测量校准曲线）。
2. 利用电流补偿原理测量不同照度下光电池输出的短路电流。
3. 验证点光源发光在垂直面上产生的照度服从平方反比律。
4. 测量前必须在报告纸上给出：① 线路图；② 测量方案和操作步骤的简要说明（不超过 300 字）；③ 电流表量程的确定，及仪器的参数或元件的量级估计。
5. 不要求计算不确定度，但要求有效数字合理。
6. 报告纸每人 1 份，现场发放；坐标纸自带。

二、可供选择的仪器设备

光电池测量专用导轨一套（包括照明灯，1m 导轨和光电池各 1 个），电阻箱(ZX-21 型)3 个，双路直流稳压电源 1 台，微安表表头（50 μA ，1.5 级，内阻 $\sim 3.3\text{k}\Omega$ ），电压表、短路按钮开关（两端并联有 $\sim 30\text{k}\Omega$ 的电阻），单刀双掷开关各 1 个，导线若干。

三、实验提示

1. 照度是发光体照射在单位面积上的光通量。照度服从平方反比律：点光源发出的光线，在垂直面上的照度 E 与光源到该表面的距离的平方 r^2 成反比即 $E \propto 1/r^2$ 。照度可通过光电池被光照后的光电流 I 来表征。实验表明光电池的短路电流与照度成正比，因此用 $I \propto 1/r^2$ 来验证 $E \propto 1/r^2$ 的关键在于如何测出光电池的短路电流。它可以通过补偿法实现。如图(a)。左侧为光电池所在电路，设光电池受光照后，AB 之间的短路电流为 I ；右侧为辅助电路，适当调整电路参数可使 A'B' 中的电流也等于 I ，这时如将 A 与 A' 合并，B 与 B' 合并（图(b)），AB 两端将没有电流流过，电流表指示的电流也就是光电池的短路电流。这就是所谓的电流补偿原理。
2. 测量过程中，应始终遵循“电流表读数不小于 1/2 量程”的原则，因此需把 μA 表头改装成多量程的电流表，究竟需要几个量程以及量程的具体大小应由光电池短路和带负载时电流的实际分布来确定，可借助未校准的 mA 表对光电池短路电流和带负载的电流进行粗测。量程确定后，应根据表头参数（50 μA ，1.5 级，内阻 $\sim 3.3\text{k}\Omega$ ）制定实验方案，画出电路图，估算元件的工作参数或初值。
3. 利用电压补偿原理对电流表各量程的满偏电流进行校准（电路如图(c)）



明光电池的短路电流与照度成正比，因此用 $I \propto 1/r^2$ 来验证 $E \propto 1/r^2$ 的关键在于如何测出光电池的短路电流。它可以通过补偿法实现。如图(a)。左侧为光电池所在电路，设光电池受光照后，AB之间的短路电流为 I 。右侧为辅助电路，适当调整电路参数可使A'B'中的电流也等于 I 。这时如将A与A'合并，B与B'合并(图(b))，AB两端将没有电流流过，电流表指示的电流也就是光电池的短路电流。这就是所谓的**电流补偿原理**。

2. 测量过程中，应始终遵循“**电流表读数不小于1/2量程**”的原则，因此需把 μA 表改装成多量程的电流表，究竟需要几个量程以及量程的具体大小应由光电池短路和带负载时电流的实际分布来确定，可借助未校准的 mA 表对光电池短路电流和带负载的电流进行粗略。量程确定后，应根据表头参数(50 μA ，1.5级，内阻 $\sim 3.3k\Omega$)制定实验方案，画出电路图，估算元件的工作参数或初值。

3. 利用**电压补偿原理**对电流表各量程的满偏电流进行校准(电路如图(c))

(1) 根据电流表不同量程的满偏值来确定电路中各元件的工作参数或初值，即计算各量程对应的 R_0 、 R_2 值(可取 $E_0 \approx 3V$ ， $E_1 \approx 4.5V$)。

注意： $E_0 \approx 3V$ 是设计值，实际值应由电压表读出，依此计算出的 R_2 值也需相应做出修正。

(2) 把满偏电流的测量转换为电压测量并构成电压补偿的测量电路

如图(c)所示，当通断 R_1 的并联开关时， μA 表指示无变化，说明 R_2 两端的电压与伏特表指示严格相等， R_1 上无电流通过。电路达到补偿。这时扩程后的毫安表电流可由 I/R_1 求得。

(3) 请思考：在没有示零仪表的情况下，如何获得补偿状态的“指示”？如何识别“过”补偿还是“欠”补偿并对相关元件的初值作出调整？

4. 研究点光源照度平方反比律的关键之一是光电池短路电流的测量。它可利用**电流补偿原理**来进行(图(d))。

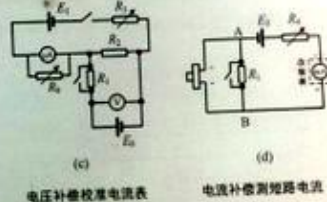
(1) 为保护光电池，电源电压选 $1.5V$ ，电源极性不能接反，通电前必须经教师查线。

(2) 本实验如何识别“过”补偿还是“欠”补偿并对相关元件的初值作出调整？

5. 验证平方反比律还需确定点光源到接收器(光电池)的距离 r

(1) r 的取值范围根据所改装表的量程依“**电流表读数不小于1/2量程**”的原则自行确定，实验点的安排

—本材料仅供现场阅读使用，用完交回，私自携带外出，按违纪考场纪律处理，考试成绩按0分计算。—



应尽量使 $1/r^2$ 的分布比较均匀、合理，实验点数不应少于10个。

(2) 测量前应当调整光源与光电池的间距等高，以便光电池在移动时，始终处于光轴立体角的中部，并与光线垂直。

(3) 本实验使用卤素灯做光源，照度用硅光电池测量，它安装在接收器筒的后部，其位置可由滑块的后缘读出。请思考：光源位置和光电池的位置均无法准确测定，应怎样验证 $I \propto 1/r^2$ 关系？

6. 数据处理：要求用一元线性回归法验证照度(光电池短路电流)的平方反比律。

$$\text{回归系数的计算公式: } b = \frac{\bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} \quad a = \bar{y} - b\bar{x} \quad r = \frac{\bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)(\bar{y}^2 - \bar{y}^2)}}$$

如使用具有二维统计功能的计算器，可以直接由实验数据给出回归系数(参见附录) a (截距)， b (斜率)和 r (相关系数)。

7. 选做实验(10分)：基本实验完成后，可以另测光电池接不同负载 R (如 800Ω 、 $1.2k\Omega$ 等)后的光照特性。要求用作图法给出短路和带负载情况下光电池的光照特性。

8. 实验方案未经值班教师同意不得进行实际操作，在电表校准完成及光电测量完成后，须经教师复检才能拆线和归整好仪器；否则实验结果不予承认。

9. 实验结束后，按下图将仪器整理好方可离开实验室。



先附上实验材料。这些是现场有的。下面详细说下老师会 check 的四个地方和报告的具体内容。

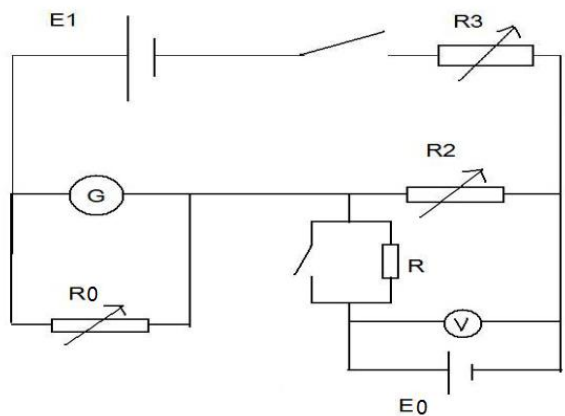
实验报告上要写的内容：

一.任务要求

- 1、把 uA 表改装成多量程电流表，以适应不同光电流（短路）测量，电流表需经过校准。
- 2、利用电流补偿原理测量不同照度下光电流输出的短路电流。
- 3、验证点光源发光在垂直面上产生的照度符合平方反比率。

二.实验设计

- 1、设计校准电路，并计算改装后电路中各个电阻的值
//注意这里没有粗侧！因为老师会在黑板上给出要改装成的电流表的 4 个量程，分别是 0.5mA,1mA,2mA,4mA.



校准电路图

//注意数字标号和其他资料不同，这是实验时候的数字标号，尽量以这个为准记忆，否则到时候容易搞混

设计出校准电路如上，微安表的量程 $I_{max}=50\mu A$ ，电阻 $R_g=3.3k\Omega$, $E_1=4.5V$, $E_2=3V$
由 $R_0=R_g/(I_x/I_{max}-1)$ 可算得 R_0 对应的四个理论值 $R_{01}, R_{02}, R_{03}, R_{04}$ [其中 I_x 为所取量程(0.5mA,1mA,2mA,4mA)]

由 $R_2=E_0/I_x$, $R_3=[(E_1-E_2)/I_x]-R_0*R_g/(R_0+R_g)$ 也可求出对应的 $R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}; R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34}$

算得数值如表：

注意：理论值是确定的，所以最好在实验前先算出来再去实验，这样能节省很大的时间！

	R ₀₁	R ₃₁	R ₂₁	R ₀₂	R ₃₂	R ₂₂	R ₀₃	R ₃₃	R ₂₃	R ₀₄	R ₃₄	R ₂₄
理论值/ Ω												
测量值/ Ω												

数据：一般情况下， R_0 的测量值比理论值要小， R_3 的测量值比理论值要大。 R_2 不变。

//这里强烈建议用表格记录数据，不要像其他资料上一个一个算，很浪费时间，而且表格可以重复利用，后面校准时的测量值都可以继续填进去。好一些的老师会建议用表格记录。

2、校准电流表

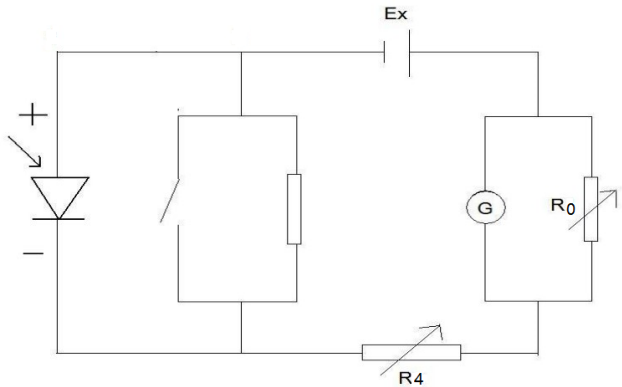
- (1) 如电路图连接电路
- (2) 接通电源，调整好 R_0 , R_3 , R_2 的电阻，为之前的第一组理论值 R_{01} , R_{31} , R_{21} 。 R_2 的测量值即为理论值，固定不变。
- (3) 开始只调整 R_3 ，使得大电阻 R 的开关接通时， G 表上指针不偏转，记下 R_3 的测量值。
- (4) 调整 R_0 ，使得 G 表满偏，记下此时的 R_0 的测量值。
- (5) 更改 R_0 , R_3 , R_2 的电阻，重复上述(3)(4)，记录数据

写到这里，叫老师！**check** 第一项，就是理论值的计算和校检步骤的设计
//校检步骤这是只写还没开始做，老师检查完照着步骤做，很详细了。

做完这一步的测量以后，叫老师！**check** 第二项，老师会检查了一次测量值。

就比如让你调到测得 R_{01} , R_{31} , R_{21} 。看看 G 表是否满偏，再看看大电阻 R 的开关接通时， G 表上指针不偏转。然后继续写和做下面的。

3、利用电流补偿原理测量短路电流



- (1) 连接电路如图
- (2) 从近到远，每隔一段距离测量 r ，电流表量程由大到小(4mA,2mA,1mA,0.5mA) 调整 R_x 的大小，使得当大电阻 R 开关闭合时电流表指针保持不动，记录此时的量程和偏转格数/div，和 R_4 的值
- (3) 改变距离 r ，重复步骤(2)，一共测 10 组数据。//注意量程切换,四个量程都用到。(读数小于 1/2 量程时，切换量程)
- (4) 记录数据表格如下

//我个人觉得间隔 6cm 比较理想，四个量程全用到，数据也不错,可自行修改

距离 r /cm	10	16	22	28	34	40	46	52	58	64
电流表量程/mA										
偏转格数/div										
电流 I /mA										
$1/\sqrt{I}$										
R_4 理论值/ Ω										
R_4 实际值/ Ω										

表格说明： (1) $1/\sqrt{I}$ 是用于数据处理，必须列出来，方便后面使用

(2) R_4 的理论值和实际值在各个资料上都没提及，但是这项必须有，少一种数据

扣 2 分，不记录 R_4 测量值很难让老师检查的时候复原现象。

(3) R_4 理论值的计算方法是 $R_4 = E_x / I - R_0 * R_g / (R_0 + R_g)$, I 为每一步实时的测量电流。所以可以最后的时候再算 R_4

写到这里，连好电路，开电源做实验之前，叫老师！**check** 第三项，老师会检查你的电路是否正确，防止光电池烧坏。

测完数据之后

叫老师！**check** 第四项，老师会检查了一到两个测量值。

就比如让你调到 $r=40\text{cm}$ 的地方，你调出你选的电流表量程和 R_4 的测量值，老师会按下大电阻 R 的开关，看看 G 表指针是否偏转。细一些的老师会看你测得数据是不是作假。

三.数据处理

(D03 的数据处理很简单

设距离测量值 R 与实际值偏差为 X

则有 $I \propto 1/(R+X)^2$

所以可推出 $(R+X) \propto 1/\sqrt{I}$

设 $(R+X) \times k = 1/\sqrt{I}$ 从而有

$1/\sqrt{I} = Rk + Xk$

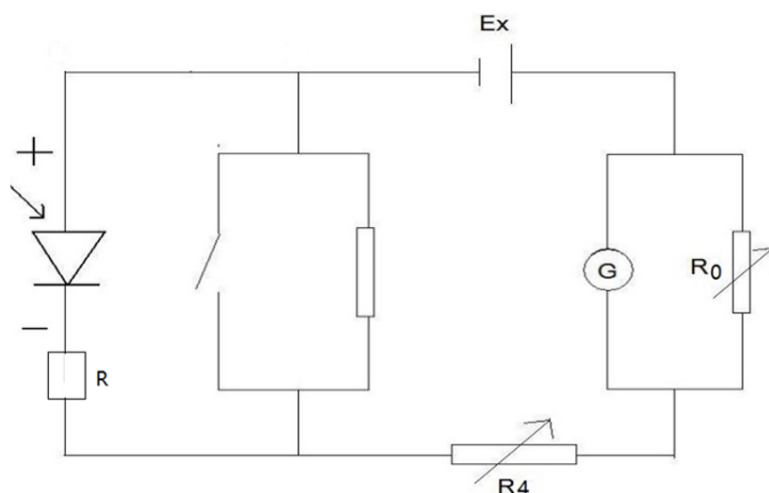
令 $y=1/\sqrt{I}$ $x=R$, $b=k$, $a=xk$ 用一元线性回归，可求得： a, b, r

r 为.099+，线性相关性较好，可证点光源发光在垂直面上产生的照度符合平方反比率。

//计算器算出来 r 为.099+，实验就算成功了，报告也就结束了。一般认真做线性相关性都很好的，如果 r 的误差较大，还需要进行简单的误差分析和说明。

四.选做实验

给光电池串联一个电阻（可能是 800Ω 与 2000Ω 选一个），串联在光电池前面。



- (1)画出实验电路图如上。
- (2)这个测的方式和之前的光电池实验一模一样。就是在串联了电阻的前提下，测出距离 r ，确定你改装的毫安表的量程、输出表头所偏转的格数，通过量程和格数可以计算出电流。
- (3)重复上述步骤 10 次，测出十组数据。
- (4)唯一区别在于作图，横坐标是 r ，纵坐标是 $1/\sqrt{I}$ ，将串联电阻后的数据和串联电阻前的数据做在同一张坐标纸上。记录完数据，数据处理也就是只用画图就可以。

心得总结：

- (1) 不要有心理压力，不是很难，终于有一份正能量的 D03 参考资料了嗯。
- (2) 有问题问老师，老师人都很好，一般不会扣分的，除非是你电路都连得不对，让老师帮你重新连接电路，老师才会扣分。
- (3) 选做不难，不要放弃，一定要稳住。
- (4) 一定！一定！一定！注意检查自己的仪器是否有问题，比如电压表是否能用，导线是否断开，大电阻 R 是否短路，接触是否灵敏，以及电阻箱是否灵敏短路和微安表是否正常，做的时候一定要及时检查！不要全连完了才发现仪器不能用！连完了很难检查出来的！不能用及时换仪器！我就是仪器太坑了（导线有断的，电阻箱有短路的，大电阻接触有问题根本打不开开关）

希望本文可以给准备实验考试的同学们提供帮助，有不对的地方欢迎大神指正！同时希望大家都能分享下经验，谢谢！祝大家拿下 D03，考出好成绩~

参考资料

- [1] 基础物理实验考试资料 2012 年最新修订版，材料科学与工程学院&化学与环境学院