

## 3011 单量程三用表的设计与校准 实 2-404

今天真的人品爆发了，不仅是分到了 D01，而且是这么水的 D01...

这个实验完全是高中难度



老师唯一检查过的东西是选做的电路图，画起来还是挺蛋疼的，尤其那个三刀三掷开关，

一定要按资料上那个去画，否则老师看不懂~~~

最后上几句经验吧

1，咱们的资料真的很强大，把上面的步骤和电路图记熟了就可以完全无视那个资料了

~~

2，可利用的漏洞还是很多的，童鞋们可以尽情发挥自己的互助精神与聪明才智~~~

3，检查的时间是校准以前，所以完全可以一连好就去，这样可以加快一些进度~~~

总之，抽到 D01 你就偷笑吧

### **3012 伏安法的应用（玻尔兹曼常数的测量）实 3-213**

做下来的整体感觉是这个实验真的超简单。最快的一个哥们，只用了一个半小时就完成了所有内容。所以如果你抽到这个实验应该庆幸。

首先，进去的时候每人桌上都有一份实验报告纸，考试时不许用自己的实验报告纸，草稿纸等。第一项任务是在报告纸上写下实验的步骤，数据处理方法即一元线性回归的公式导出还要画下实验电路图。这里说一下，我手里的那份资料即机械学院编的物理实验指导，相信很多同学也是看的这个资料，这上面有不少错误。我完全按资料上面的写的，结果因为错误太多被打了回来。下面就资料上的错误做以说明：

原始资料如下：

## **二 伏安法的应用-波尔兹曼常数的测定**

### **一、实验目的**

用伏安法测 pn 正向电流电压关系，并由此测出波尔兹曼常数。

### **二、实验设备（p109）**

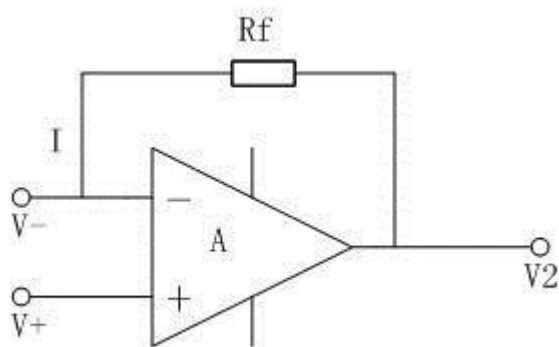
### 三、实验原理

1、 半导体 pn 结理论指出：pn 结正向电流电压关系满足  $I = I_0(\exp(eU/kT) - 1)$ 。

$U$  为 pn 结正向电压降， $I$  是正向电流， $T$  为热力学温度， $e$  是电子电荷， $k$  是波尔兹曼常数。 $T$ ， $e$  已知，所以只须测得  $I$ - $U$  关系，即得  $k$ 。实际测量中，上述关系简化成  $I = I_0 \exp(eU/kT)$ ，即  $I$ - $U$  满足指数关系。

2、 实验中采用结成共基极方式的三极管是为了减小和避免普通极管存在复合电流和表面电流的影响。

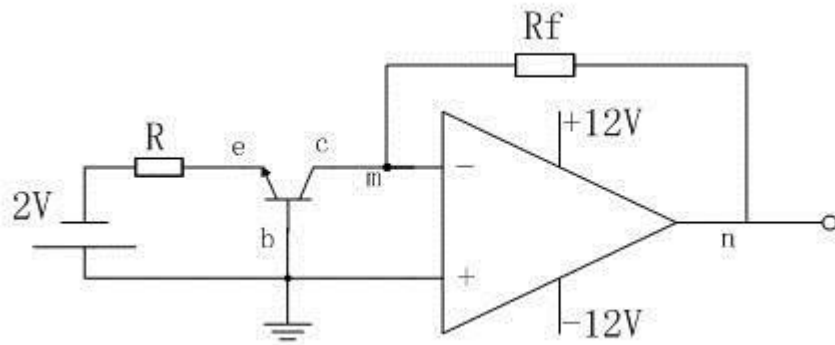
实验测量中，电压由 4 1/2 位数字电压表测出，而集电极电流需通过运算放大器组成的电流电压交换器来充当（如下图）。



当闭环时  $V = V+$ ；运放输出端不取电流。于是  $I R_f = -V2$ ，只需测出  $V2$ ，即得  $I$ 。

### 一、实验步骤

1. 如下图连线，图中 为  $100\Omega$  变位器， $R$  为金属膜电阻，大小可调。



2. 初始时将  $R$  初值均调到最大，测量  $m, n$  两结点间的电压，记为  $U_1$ ，同时测出  $b, e$  间电压，记为  $U_2$ ，作为一组数据。
3. 调节  $R$  的大小，重复 2 的步骤，在记录第二组数据，共测十组。
4. 实验后整理仪器。

### 一、数据处理

本实验采用一元线性回归法来处理数据（ $U_1, U_2$  均取绝对值）。

由  $I = I_0 \exp(eU/kT)$ ， $I = V_2/R$  得

$U_1/R = I_0 \exp(eU_2/kT)$ ，两边取对数得

$$\ln U_1 = \ln I_0 + eU_2/kT$$

取  $\ln U_1 = y$ ， $U_2 = x$ 。

则  $b = e/kT$  利用线性公式求的  $b$ 。  $T = 273.15K$ ， $e = 1.6 \times 10^{-19}C$ 。

$k = bT/e$ ， $k$  可得。

错误：1、实验电路中 2V 电源极性接反，应为上正下负

1、电阻 R 不是定值电阻，应画成滑动变阻器，划片接三极管发射极，另外两端接电源正极和地

2、 $R_f$  不是  $100\Omega$ ，而是  $100k\Omega$ ，R 是  $100\Omega$  变位器

3、“初始时将  $R_f$  和 R 初值均调到最大”错， $R_f$  为定值，不能调节

4、“测量 m，n 两结点间的电压，记为  $U_1$ ”错，应测量 n 点对地的电位，不是 m、n 间的

这个实验的操作极为简单，就是给你一个小盒子，上面有那两个电阻以及运算放大器，按电路图拿导线噼里啪啦一连就行了，然后用万用表测两个地方的电压就完了，对于做过电气实践的我来说，这个当然不在话下了。下面说一些实验过程中要注意的地方：

1、电源上有一个接线柱标有接地符号，注意不要把接地线接到上面，而是要接到正负 12V 中间的那个接线柱上

2、实验的三极管是泡在冰水混合物中的，所以测量的时候要尽量快一些，以免冰完全融化后升温，数据就不准了。

3、用于调节 R 阻值的是一个旋钮，不少同学拧了半天，n 点对地电压并没有多大变化。实际上这说明你已经拧过了。实践表明这旋钮貌似没有头，可以一直拧，没有变化

说明已经被你拧饱和了。你要把它拧回去找到那个敏感区。在那个区域，改变一点点  $R$ ， $U_1$  都会出现很大变化

4、 这一点比较重要，请注意：由电路图可知，电源负极，变位器的一端还有三极管基极是共地的，理论上这三根线的共地端放在哪都可以。但实际连线时请不要把这个共地端连在三极管基极上，这样干扰会很大，以致万用表上的数值一直跳个不停，无法读数。

（我旁边那个同学就是这样）最好是把公共端放在运算放大器的同向输入端，这样读数比较稳定

5、 这份资料里给出的  $U_1$ 、 $U_2$  和老师给的  $U_1$ 、 $U_2$  是反的，别弄混了

6、  $N$  点对地电压的测量范围是  $0\sim 10V$ ，要测十组数据，最好是分别在 1、2、3、4、5、6、7、8、9、 $10V$  附近测量，这样线性化程度更好，结果更准

最后说一下数据处理，就是用线性回归方法处理数据。最好用可以直接计算一元线性回归的计算器，并在之前学会如何计算。我今天才发现，算线性回归也可以如此简单。下面说一下怎么操作，可能计算器型号不同操作方法略有区别，这个仅供参考吧：

我用的是卡西欧 fx-350MS，就合一下面超市买的，貌似大部分同学都用的是这个，所以以下方法应该适用

1、 依次按  $\text{shift} \rightarrow \text{mode} \rightarrow 3 \rightarrow =$  这步进行数据重置

2、 按  $\text{mode} \rightarrow 3 \rightarrow 1$  这步进入回归状态，此时计算器屏幕上面应该显示 “REG”

3、 然后输入数据，一组一组的输。先输  $X_1 \rightarrow$  ， $\rightarrow Y_1 \rightarrow D T$ （就是右下角的那个  $M +$ ）

4、输完之后会显示  $n=1$  说明你输完了一组数据，然后重复上一个步骤，把 10 组数据都输进去

5、按 shift→2 这时会显示两行东西，上面一行是三个符号，下面一行是数字 1、2、3。

然后按右箭头翻页，按两下，这时第一行就变成我们要求的 A、B、r 了。按他们下面对应的数字然后再按等号就可以看对应的值了。

6、看完一个值之后按 AC，再重复第 5 步可以看下一个值。这个实验只用到了 B 和 r，所以 A 就不用看了。

必做的 7 点过就搞定了，接下来就是选做。刚开始说什么接放大器测 U，什么双电桥法 blabla 的复杂方案通通都不用！！！！

一共就只能用 4 个元件， $100\Omega$  电阻，铜线（就是  $R_x$ ），加一个 12V 电源，和万用表。  
所以就算是排列组合也能把方案纠结出来吧。

步骤：

把电阻，铜线和电源串联。

用万用表测  $100\Omega$  电阻两端电压记为  $U_1$ ，然后把电路电流算出来。

再用万用表读取铜丝  $L=5\text{cm}$ ， $10\text{cm}$ 。。。。。。到  $35\text{cm}$  的两端电压。（这个地方就直接把电压表两个笔放铜丝上测就好）

把每  $\text{cm}$  的电阻值  $r_i$  求出来。

然后求个  $r_i$  的平均值求出来，最后乘以一个铜丝的长度，一切就 over 了！！！！

最后其实可以用下线性回归算  $r_i$ ，这样印象分就蹭蹭上去了~~~

最后算出来总的铜丝阻值是  $2.5 \times 10^{-3}$  附近。。。不过可能有的老师会觉得这个方案 bug 太多吧。。。反正我当时是不准用别的元件的。。。。。。

- 1、带计算器和坐标纸！计算器会发，但是上面按键和自己的很可能不一样。老师会说用得用的计算器，但是用自己的也不会说啥！
- 2、测量数据  $U_1$  从 0.5 到 0.6（线性最好）十组数据，老师会要你再现两组数据，因为数据有不稳定，稍微差一点没有关系！
- 3、加冰的时候 4、5 块正好，别多别少，因为  $U_2$  一开始很不稳定，朝着一个方向递增，这个跟冰块的量有关系。数据不稳多等一等，另外测前摇一摇！开始测数据的了就不要动瓶子了，数据变化很敏感。要是实在不稳定不要郁闷，硬着头皮当机立断，最后的结果不会差的。
- 4、既然实验简单，千万注意细节！老师抠得很严，电路图的极性和管脚一定要写准！连电路时候先不要接电，电源箱上正负 12 伏中间的接线柱要接地！老师检查后再开电源。  
最后结果求出来了别忘了带单位...

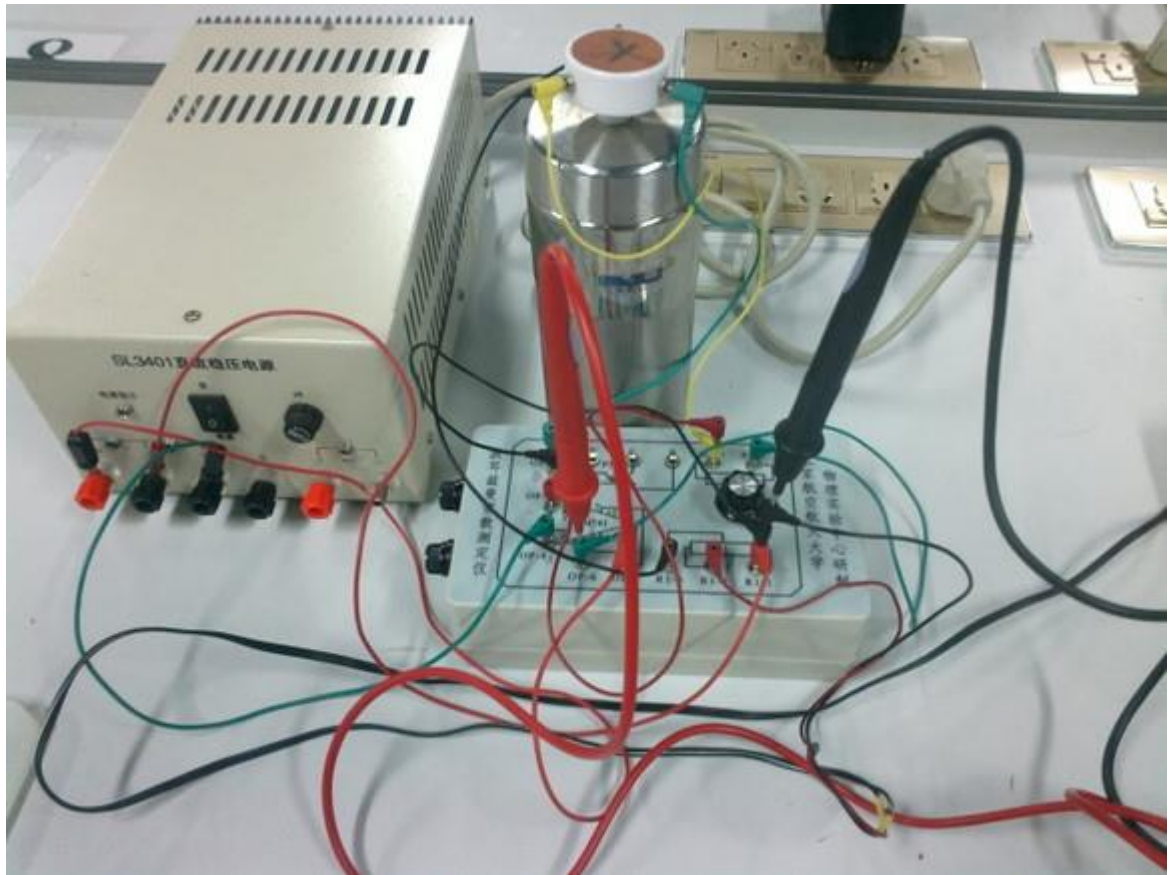


5、 还有，这个实验最后加了一个选做！资料上是没的：用现有器材，测一个铜棒的电阻（大概零点零几欧的低电阻）。本人后来捉急用了个 470 欧电阻去串联（那个  $R_f$  很缺德啊，到底是多少不清楚，就没用），用电压比值等于电阻比值的方法测的，但是电阻比太大，效果不理想...肯定不是最好的方法，听说有人用惠斯通电桥，但老师说哪有那么麻烦...应该还是用伏安法。广大同学发挥聪明才智吧！

首先纠个错，一系资料非常强大，大家电路照着那个画没错，注意：正负 12V 别忘了写，各个器材的值也要标明（这是扣分点）一系资料上的  $U_2$  和  $U_1$  写反了，应该测  $R_f$  电压的是  $U_2$ ，测三极管的电压是  $U_1$ ，这样才与它给的资料对得上。

进去以后，老师会收了一卡通，然后让你把所有的资料都放后面，给你一份相关资料，上面有公式，但是没有完整电路图，电路必须记下来。那个资料主要用来抄实验目的，原理等等所以这个不用背。

画好图就开始连线了。



这是我连好的线，正负 12V 的都在左边的接线柱上，中间那根线是接地的。



其实电路图再复杂这个仪器其实都标注得很清楚，划线变阻器在右下，右上是  $R_f$ ，这个三极管是不用的，接的是第一张图片上的那个杯子上的三极管。



这个是用来测电压的，这么接就可以了。**注意量程！！**其实直接用 20V 也就够了，我傻乎乎的用 2V 超了量程老是测不出数据。



2V 的电源是从外面直接接进去的，大家不要学我还在用上面 40V 的试图去调.

2011-2012 学年 第二学期 基础物理实验考试报告

班号 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_

数据处理

0.578	2.723	0.555	1.521	2.606	2.807	3.463	4.438	5.679	6.817
0.526	0.341	0.554	0.562	0.571	0.574	0.577	0.583	0.591	0.59

$I = I_0 e^{\frac{qU}{kT}} \Rightarrow \ln I = \ln I_0 + \frac{qU}{kT}$   
 $\Rightarrow U_2 = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_2}{I_0} \right)$  取对数:  $\ln U_2 = \ln \ln I_2 + \ln \left( \frac{kT}{q} \right)$   
 $\therefore U_1 = x, \ln U_2 = y$  由  $y = bx + a$  得:  $b = \frac{q}{kT} \Rightarrow k$

这是我的数据，测出来非常的准，b 大概是 42，K 的值和理论值几乎一样，r 算出来是 0.9983>

有个规律是：U1 在 0.5~0.6 之间线性非常好，大家基本上就在这个值测就没错了，至少我周围的人都是这样的~

老师检查的时候会让你把其中几组数调出来给他看，所以最好给他检查之前自己先随意调几个值看是否符合，减少扣分点~~

测数据的时候几乎所有人都遇到数据波动很大，电压根本稳定不下来，也是这个原因我测了三次啊啊啊！！！！

最后发现是冰的问题，冰一定多加，只要保证能盖紧就行了，最好用碎冰，不然加多了会导致盖子盖不上。。。

其他基本就没问题了，反正这个实验真心是特别的简单，希望大家不要预习的时候被它吓到了~ 数据没什么大问题，一元线性回归也可以搞定~

PS，还有一个 10 分的选做实验，是伏安法测低电阻，老师说跟上学期的双电桥测低电阻有些类似，如果想做选做的人可以先复习看看~~如果没复习到时候就不用折腾了。。。因为现场自己设计电路自己测电阻，老师不会答疑的。

参考资料里面写的测  $0.5 \sim 0.6$ 。其实最好测到  $0.65$  左右，我今天就是按照材料测了  $0.5 \sim 0.6$ ，然后那个助教就慢悠悠地说选择区间错误。。。没有下文，预知详解要扣分，后来弄了很久，可以用的是  $0.52 \sim 0.62$  之间。还有那个盒子上的三极管是不用的，用的是 一个杯子状的内装冰块的三极管。装冰块之前先放水。还有我们助教要求处理数据时要画曲线，所以带着坐标纸。最后求的  $b=42$ 。。。就差不多了

Rf 不是滑动变阻器，就是个电阻。

R0 也不是可变金属膜电阻呀，是个可变电阻线圈。

电路图上的放大器跟实际的接口顺序是翻过来的。

就知道让接地，接你妹！根本就是接在+—12V 两接口中间的那个口上的，稳压源上写的

地接上去给扣了分、画了叉！！！！

要查的部分：

1 画好设计电路图查图

2 连好线通电前查线路

3 测好 10 组数后他随便从你测得一组里让你重新调给他看~

画图的时候最好把对应的实验盒上的编号标上，反正前几个找老师查的老师都要求给标上。。。查图的时候有个别人被问到电路原理的小问题了~有问反馈电阻和三极管电流的。。。我觉得老师问着玩的，答没答出来好像木有影响这步给分。。。。

除了三极管和两个电源其他元件都在实验盒上。。。标的很清楚。。。连线前还是检查导线~~听万用表滴滴叫~还真都有坏的@@然后按部就班的连~自己稍微查两遍~~接地要接到一起~我们那个老师说**接地的就接正负 12V 中间的那个地**。。。而不是负 12V 右边稳压的那个。。。

测值什么的就是按预习资料的范围测得。。。。变阻器那个旋钮想调到跟之前一模一样挺困难，所以他查的那一组只要两个电压跟记录的数得差不多就算过了。。。

U1——0.5013、0.5285、0.5393、、0.5826、、0.6079、0.6121 ( 2v 量程 )

U2——0.205、0.304、0.441、、2.742、、8.003、9.360 ( 20V 量程 )

线性 4 个 9~不过测出来的 K 都  $1.39 \times 10^{-23}$  了 TAT~~

有个之前木有听人说过的**选做**，用伏安法测量实验盒中有个  $\sim 10^4 \Omega$  的电阻；电阻有四根引线~（实验盒上木有呀）别的都还是之前的元件仪器,  $1M\Omega$ ，2.5w 的 R、 $100\Omega$ ，2w



的金属膜电阻什么的。。。老师只要求画电路图和写步骤，没让实际做~不过他好像给提示说要写明白为什么你的方案可以测量这个**低值电阻**~

画电路图的时候本来很简单的事儿，但是，出现了两个小问题，第一个是三极管我们资料上的标示和实验中的那个中的 e 和 c 是反的，画图无所谓，就怕我这样连线无能的会连反。。。第二个是资料上运放的正负极和电压的正负是反着的，但是，实验用的那个小箱子上却是同向的。。。在我改了两三遍之后突然发现老师发的资料上的运放画的是和我们的资料一样的所以我就画了背的图，一定不要出一点点错，哦对了，好像运放的接口要标明，图就 ok 啦

连实验电路的时候，检查一遍导线，我有两根导线是坏的，这要是用了就坑爹了。。。顺便我又检查了 R1 和 R2，都是好着的，R2 的值略大于 100 千欧所以我觉得实验原理图上标  $R_f=100$  千欧没用（R1 大约是 100 欧）。那个运放虽然和咱们画的不一样但是要根据人家运放标示的该连哪儿就连哪儿。最后就是那个接地线了，应该接到电源正分 12 伏中间的按钮上。。。还有有的分享的日志上说接地的这一点有四个接头叠罗汉，其实要是把运放的“+”端当接地点的时候，事实证明只有三个罗汉。。。

我的线性最好的一段是 0.52-0.62，大于 0.62 就满偏了，最让我无语愤怒的是在测的过程中 U1 挺稳定的，但是 U2 那个兴奋啊，有一次我在那儿看它变化，它从 0.6xx 变到 0.8xx 再变到 0.6xx，每次变 0.001 伏，如此循环往复，我看它变了两圈，我实在是忍不了了从新换了冰实验。可是还是不稳定，我觉得应该是运放的问题，我读数的时候那个纠结啊，到最后我就看哪个数可以停 2s，就是它了。。。不过好的是最后老师要检查一组 U1 和 U2 的时候查的并不是很严，我的数据记录是 1.2xx 操作的是 1.1xx 也没事，我问老师，老

师说正常，而且关键的是我的数据处理之后  $r=0.99998$ ，四个 9，我很满足的不过  $k$  和标准的比较大，

测数据的时候还有一点要注意，就是由于  $U_1$  与  $U_2$  是指数关系的，因此调节  $R$  的时一开始变化很小，而到后来变化会非常快，所以  $R$  调的慢点，以免漏过该测的值。资料上没有提到的一点是测量时如何分间隔。我们老师特别提出这一点，好多同学由于这个原因被强行要求重测.....我说下我的测法吧，我是以  $U_2$  ( $U_{mn}$ ) 每隔 1V 测一次来进行测量的，数据一次通过，应该没有问题的了~

最后就是写实验报告，我觉得老师应该不可能那你的数据全部来重测计算一遍吧，所以当误差较大时 ( $r$  离 0.999 较远) 时适当意识流下或者先画图然后拿拟合得比较好的点来计算也可以吧 (持保留意见，不过出事我陪大家一起死.....)，我最后算出来的  $r=0.9994$ ， $k=1.37 \times 10^{-23}$ ，应该说是非常准了

### 3013 补偿法的应用 ( 电流补偿测光电流 )

#### 实 3-409

传说中最难的 3013

进去签到领计算器和实验报告纸就不说了，提醒大家最好带上自己的计算器，虽然老师那儿的计算器也很强大，可毕竟自己的用得熟练嘛是不是。

找到自己的桌子，助教会简单讲讲实验报告需要包括的东西：电路图 ( 校准伏安表的和测量光电流的，一共俩，当然如果你报告纸的空间很足的话，画上粗测光电流范围的图也可以，很简单的。 )、简单的方案和步骤、估算  $R_0$  ( 和表头  $G$  并联的那个电阻 )， $R_2$ ， $R_3$  的理论值 ( 因为伏安表有三个量程，所以各三个对应的数据 )、测得的  $r_{01}$ ， $r_{02}$ ， $r_{03}$  ( 实验值 ) 的值，最后需要测光电流的原始数据 10~15 组，线性回归求  $A$ ， $B$  和  $r$ 。不要

求画图，但最好最好最好最好最好画图。 选作只要求画图。助教还会说一下 5 个 checkpoints，下文挨个说。

### 6.3 补偿法的应用 (电流补偿测光电流)

13

#### 一、任务与要求

1. 把  $\mu\text{A}$  表改装成多量程的电流表, 以适应不同光电流 (短路) 的测量, 电流表量程过校核 (校核只需对满偏电流进行, 不测量校准曲线)。
2. 利用电压补偿法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绘出: 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测量估计。
5. 不求计算不确定度, 但要求有效数字合理。
6. 报告纸每人 1 份, 现场发放, 坐标纸自备。

#### 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 CX-21 型 1 个, 双路直流稳压电源 1 台, 微安表表头 (50  $\mu\text{A}$ , 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  $E \sim 1/r^2$ , 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  $I \sim 1/r^2$  来验证  $E \sim 1/r^2$  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, 或光电池受光照后, AB 之间的短路电流为  $I$ , 右侧为辅助电路, 通过调整电阻参数可使 A'B' 中的电流等于  $I$ , 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  $\mu\text{A}$  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补偿时电流的实际分布来确定, 可借助未校准的  $\text{mA}$  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  $\mu\text{A}$ , 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))

- (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, 如计算各量程对应的  $R_0$ ,  $R_1$  值 (可取  $E_0 \approx 3\text{V}$ ,  $E_1 \approx 4.5\text{V}$ )。

注意:  $E_0 \approx 3\text{V}$  是设计值, 实际值应由电压表读出, 依此计算出的  $R_1$  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  $R_0$  的并联开关时,  $\mu\text{A}$  表指示无变化, 说明  $R_0$  两端的电压与伏特表指示严格相等,  $R_0$  上无电流通过, 电路达到补偿, 这叫**补偿后的毫安表电流可由  $R_0$  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))。

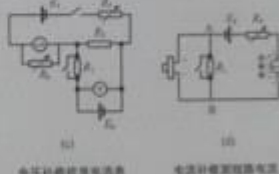
(1) 为保护光电池, 电源电压选  $1.5\text{V}$ , 电源极性不能接反, 通电源前须经教师查线。

(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)  $r$  的取值范围根据所选仪表的量程按“**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

一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。



先上图

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) 测量前应适当调整光源与光电池的间距等高，以使光电池在移动时，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，它安装在接收透镜的后部，其位置可由滑块的后端读出。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方法验证照度（ $\propto$  光电池短路电流）的平方反比律。

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

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  $800\Omega$ 、 $1.2k\Omega$  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。



表头 G，红正黑负

电源 注意先按左下角方形的 power 键，再按它上边的 output 键，上边的绿灯亮了才有电压输出。四个旋钮，左边俩和右边俩是独立的，在实验校准伏安表中分别作为电路电源 E1（4.5V）和补偿电源 E0（3V）使用，第二个实验，I 和距离的关系，只用一个就好， $E=1.5V$ 。这些黑板上都有写，注意看。



电阻箱，一模一样的有 3 个。伏安表校准的时候很容易给搞混，建议用便利贴（如图左边黄色纸条），方便辨认。注意：用时接最左边（99999.9 欧那个）和最右边俩接头。

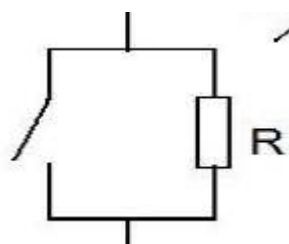


来张所有仪器的合影~~从左到右依次是：电阻箱\*3，电压表（蓝绿色盒子中的），表头G（盒子上边的），R和并联开关（露出一个角和一红一黑俩接头的那个，就是下图的那玩意儿，直接给串联到电路里就行），电源，电源上边是开关。前边导轨上是灯和光电池。导轨上有刻度，可以直接读数。





R 和并联开关就是下边这玩意儿。。闭合与断开开关就是按住和松开中间那个红色的按钮



(上学期做过补偿法的都知道滴)

另外，光电池的接线比较奇葩，所有的导线里就只有它长得不一样；用的时候时候找出来，一头接在光电池上，另一头照例**红正黑负**就好，老规矩了。

**下面正式说实验过程：**



## ·首先 校准伏安表

1. 设计电路图，把材料里的照抄就可以（和 1 系的资料稍有不同的是，与表头并联的电阻叫  $R_0$ ，和  $R_2$  并联的电压源叫  $E_0$ ，废话了~~）。老师可能会要求粗测光电流  $I$  的大概范围，以确定改装伏安表的量程。但是我看大家都没管那个，直接用 0.75mA，1.5mA，3mA 了。如果老师要求严的话，可以这么做：

先把光电池挨近电灯泡，大概调整一下光电池的高低方向，让那孔啊尽量正对着电灯泡。先保持两者最近。给表头  $G$  两端并联一个电阻箱，把  $G$  和光电池串联起来，组成一个闭合回路。打开灯，正常情况下  $G$  的指针就偏了，先别管。这时候调整电阻箱，同时看  $G$  的指针，过表盘的  $1/2$  一些，记电阻箱读数是  $R$ ，表头读数是  $I$ ，算出光电流  $I_{\max} = (1 + R_g/R) * I$ 。  $R_g$  是表头  $G$  的内阻，是 3.3 千欧。

再把光电池移到导轨另一头，同理测出  $I_{\min}$ 。

（我后来想了想，其实没必要将光电池移到导轨另一头，因为光电池和灯泡距离超过 80cm，后一个实验里测  $I$  和二者间距  $d$  的平方反比的线性关系就很不好了，再远一般都不测的。所以移到间距七八十厘米就可以了。）

$I$  的范围应该大概在 0.2~3mA 之间（我的结果，仅供参考），取量程 0.4mA，0.8mA，1.6mA，3.2mA（取量程包括后来读数的原则都是读数超过量程的  $1/2$ ），分别算出对应的  $R_0$ ， $R_2$ ， $R_3$  的理论值，拿去给老师检查。—————**checkpoint 1**

我没有按照粗测  $I$  的范围确定量程，直接取了 0.75, 1.5 和 3。对应的三个值分别是  $R_0=235.7$ 、113.8、55.9， $R_2=4000$ 、2000、1000， $R_3=1780.0$ 、890.0、445.0。

2.接下来就按照校准的电路图连线。没什么难的，非常基础，注意别把三个电阻箱搞混了就行（强烈建议用便利贴~~）。完了先别急着开始，先叫老师来检查。———

## checkpoint 2

3. 我先校准的  $0.75\text{mA}$ （先后无所谓）。首先把三个电阻箱调整为理论值。接下来调整  $R_3$  和  $R_0$ （一个量程确定一个  $R_2$ ，校准过程中不动！！），此处和 1 系的讲义上不一样。和旁边一个做得超级快的女生讨论了一下，应该是这样：

调整  $R_3$ （幅度不会太大），使表头  $G$  满偏；不断闭合和断开这玩意儿的开关，就是不停按住和松开按钮，同时调整  $R_0$ ，使  $G$  的指针稳定，没有随开关的闭合与断开跳动，此时记录  $R_0$  的值为  $r_{01}$ ， $R_3$  的值为  $R_{31}$ 。

再按照同样的步骤校准  $1.5\text{mA}$  与  $3\text{mA}$ 。记录数据。

做完之后不要急着拆电路，叫老师过来检查。老师会看一下数据，按一按那个按钮以确认  $G$  指针确实不再跳动，校准这一关就过咯。。———**checkpoint 3**

接下来进入正题，**测光电流  $I$  与距离  $d$  的关系**

1.刚刚校准了  $3\text{mA}$  的伏安表， $R_0$  就先不变了。连接电路，叫老师过来检查。———**checkpoint 4**

2.设置光电池与灯泡之间的距离  $d$  初值为  $15\text{cm}$ （二者的坐标统一按照底座左侧的读数，比较方便）。调整与电源串联的变阻箱  $R_4$  的阻值，使按下和松开红色按钮时  $G$  的指

针均不再跳动，记录此时 G 指针走过的格数  $\text{div}$ ，进而算出流过伏安表的电流  $I' =$

$(3300/r_{0i} + 1) * 2\text{div}$ ，根据电流补偿原理，该值即为光电流的大小  $I$ 。

**注意！当 G 的指针小于 25 格（1/2 嘛）时，必须减小量程，直到最小量程！！上计算式中  $r_{0i}$  即为该量程时对应的  $R_0$  实验值（上个实验中测出来的）。**

3.重复步骤 2，测 10~15 组数据。抓老师过来检查—————**checkpoint 5**

4.处理数据。线性回归求  $I$  和  $1/d^2$  的关系，求出  $A$ ， $B$  及  $r$ 。

时间允许的话一定一定一定画图！！我问过助教，她说尽量画。我的理解是：你测了的那些数据里，只有一段是线性性良好的（大概是在 40~65cm， $I$  和  $1/d^2$  都很小的那段。我只测到 65cm）。我的做法是画图找出那段，用这些数据算线性回归。后来手贱算了一下用所有数据的，差距比较大。尤其是  $r$ ，一个是 0.9783 一个是 0.99993。。没有可比性啊~

线性区画直线，后来弯得厉害，直接曲线了。。应该没错。

### •选做实验

必做的那个是光电池直接连在  $R$  和并联开关（就是它~~那个盒子叫什么名字咧？？）两端滴，选作呢就是先给光电池串上个 800 欧电阻（电阻箱就 OK 啦），再并联接到上边那盒子两端。

测量的东西和过程跟上边实验二一模一样，如果前一个做得很顺利的话，这个就毫无技术含量了。

选作实验只需要画图，手贱的话可以跟我一样算一算线性回归，没印象分也不会扣分嘛是不是。

要注意的是，先把必做的做完，数据处理完，图画完了，再去做选做实验，否则到点赶不完岂不亏大了。

不必紧张，正常情况下是可以和周围人低声交流的，心态放轻松，状态好了困难会少很多，就算不少，克服起来不会慌总好过手忙脚乱吧。

实在实在实在实在实在实在实在实在实在实在实在调不出来就去找老师，扣分总好过没分哈；但凡能通过自己与同学的努力搞出来的，就不要动不动麻烦人家了。

本实验的那两个电路图不用记，现场给的资料里面有

表头：~~表头要立起来用的！！！（看表上垂直号标志）还要调零！个人觉得这个很重要

~参数 50uA 3.3KO 1.5 级

$E_1=4.5V$   $E_2=3V$

另外：会给你个单刀双掷开关，别想太多，当普通开关用~ 建议试触~贯穿始终！！！！

超量程打表指针就不准了。。。

传说中的粗检？？？其实就是先改个大量程的测下短路电流吧。。。 ( 直接用理论值，我是这么理解的。。。反正也不准确 ) 其实不测也就那样了。。。改装表量程建议 0.3 , 0.5 , 1 , 2 , 4mA 我的最小电流 0.3 已然够用。。。至于上面都是 2 倍关系 R2 阻值就好口算了~

【二说：但是我觉得这粗测这一步可以省略掉，做做样子就好。比如我选择的是 0.5,1,2,4 m A 这四个量程，那么后面测光电流时我们适当的选择适合我们微安表量程的 x ( 光电池那个感应器的刻度 ) 变化范围就好，我记得一系的是说在距离 10—70cm 的范围内得到 10 组数据，但实际上符合我微安表量程的大概就是距离 0—50cm 的范围内左右，我在这个范围内测 10 组数就好了~ 就是通过这个方法，忽略掉粗测那一步，避免没粗测然后量程不对的杯具的】

【三说：设置电流表的量程。。。这点我没做错。。不过还是提醒一下大家。。千万别按材料上的只设三个。。。。这个很多人都说。。我设的 0.5mA、1、2、3 的。。应该就够了。。不够如果你够时间再多设个 0.1 的也行。。以防万一做选做的时候。。。话说如果你只最小只设到 0.5。。。R 就最好不要超过 50 左右吧。。不然好像会悲剧。。。】

改装表校准电路连好了之后，要修正以上理论值~ 千万注意实际的 E2 ( 3V 左右那个，用电压表测出 ) 那个电压表貌似比较准，我的是 2.96V 虽说跟 3V 很接近 也要修正 R2 ( 开始我就忘了。。。结果电阻会差几十欧 ) 我的实际电阻都比理论值小 10~30 欧 仅供参考

【校正安培表这一步中，一系材料中说的  $R_1$   $R_2$   $R_3$  都是可以算出来的。实验时你就把三个电阻箱调成这个值就好，然后  $R_2$  根据电压表的示数进行微调（因为给的电压可能不是严格的 3V），然后按步骤调  $R_3$  和  $R_1$ 】

先调补偿后调满偏~ 建议先把  $R_1$  按理论值适当调小，使电流不超满偏电流~然后调  $R_3$ ！现场材料上提问怎么判断过补偿还是欠补偿，其实就是看按下之后指针是往左偏还是往右偏，建议从高位最大电阻开始调  $R_3$ ，比如你 2KO 的时候左偏 1KO 的时候右偏 那结果一定在中间了 再调下一位~ 调的时候头脑清醒 因为 9 边上是 0（废话）电阻可能会有跳变 小心电流也跳大。。。打表指针就惨了。。。要重新调零的吧（如果你要求高的话）调满偏就比较简单了。。。如果你前面比较接近满偏 调满之后  $R_3$  也不用再调了~ 不会有偏。。。此步要认真 关系到后面的准确性~~

实验给的材料里面那个电路图  $R_x$  的符号是  $R_2$ ，这就导致我周围的哥们以为是校正安培表那个实验里面的  $R_2$ ，其实不是哈~~它是一个全新的电阻。。。具体的调节就是你得胆大心细的试，然后根据闭合开关后表头的偏转方向决定是调大还是调小。基本的规律就是光电池距离越远，这个  $R_x$  就越大。我记得我把那个感应器离得很近，差不多 5cm 左右的时候， $R_x$  也就几百欧的量级。

光电池的装置是一个大的带刻度的导轨，上面最右边的是一个灯泡，左边是一个可移动的感应器一样的东西。实验时让灯泡固定，左边的感应器移动，每测一组数的时候读出感应器的位置的刻度  $x$ （就是表征光电池距离的）就好。然后实验的时候他俩要等高。

光电池测量电路：读光源距离从灯座和感光器边沿读就可以了，误差可以线性回归消除，不用找光源中心，找也找不到，因为是模拟的锥形光源，等效点光源貌似在 2cm 处（材料提到）

【大部分情况我们下狠心的调  $R_x$ （开关没闭合时），表头一般会发生较大偏转，当你某一刻，调  $R_x$  表头不怎么偏转的时候，基本上就快达到要求了，既这个时候闭合开关，表头也不怎么会偏转了哦！这个时候其实你不用再微调  $R_x$  使它严格满足“闭合开关表头不偏转”的条件了，因为最终我们是要获得表头的偏转格数，然后每一格其实挺大的，你微调准了  $R_x$  也不会跟之前差太多，所以你记下此时的偏转格数就好啦！~~节省大量时间哦亲~~~事实证明这个不影响准确度的，因为我按照这个偷工减料的方法最后得到的  $r$  值也有 0.994 呢~~~】

这里有点自己的小想法：测电流的时候应该配合距离把电流表指针调到刻度线上去，比如你测的电流恰好在半格或者  $3/4$  格的地方其实是不准的吧，我有一组就是 14.5 格 我动了光电池 调到 15 格去了（严格刻线上，这是一定还是补偿啊！）所以我的距离就会比较乱有神马 67.74cm 之类（刻度尺读法）我觉得这样电流才测得准，且控制量程使得它偏在  $1/2$ -- $2/3$  比较准！本人此法  $r=0.993$  感觉不错了。。。不知道有没有问题。。。

表头偏转格数的读法：总共是 5 大格，每大格是 5 小格共 25 格。So。。。你读 17 格这样就好了，不要跟我似的读成 3.4 格被老师笑 shi 了。。。

之前我们读数的时候都是读的感应器的刻度  $x$ ，但实际上跟光电流成反比的是距离  $L$  的平方，但是那个灯泡的位置又是不确定的，所以“ $L=x$ —灯泡刻度”这个是不行的。实验要求是最后在数据处理的时候消除这个误差，我的做法如下，仅供参考不知道对不对啊！  
电流  $I$  反比于  $L$  的平方，所以  $L$  正比于  $\sqrt{I}$  分之一，所以最后我让  $y=L$ ， $x=1/\sqrt{I}$ ，然后做的线性回归。而不是  $y=I$ ， $x=L$  平方分之一。（现在回过头看一系材料里面那个距离偏差山寨版方法，终于懂了。。。当时预习的时候死都没懂加上那个干嘛。。。）

【下面的内容建议预习过再读吧，主要针对 D03 的各种细节】

1.一系的资料很强大，大家好好看。另外本实验的那两个电路图不用记，现场给的资料里面有

2.书上说的实验器材不对，主要是没有滑阻器，而是 3 个电阻箱；另外那个单刀双掷开关就只需要当普通开关用就好

3.校正安培表的时候  $E_1=4.5V$   $E_2=3V$  这是老师要求的

4.光电池的装置是一个大的带刻度的导轨，上面最右边的是一个灯泡，左边是一个可移动的感应器一样的东西。实验时让灯泡固定，左边的感应器移动，每测一组数的时候读出感应器的位置的刻度  $x$ （就是表征光电池距离的）就好。然后实验的时候他俩要等高。

5.传说中选微安表的改装量程&粗测的问题【重点来了哦】资料里面说的是选 0.75，1.5 和 3mA 三个量程，但是莫凡攻略贴里都提到了粗测的问题。因为前面改装的安培表是为了后面测光电流的，因此量程要试用于光电流的大小。粗测的电路其实就是补偿法测电流那个电路不要那个开关。但是我觉得这粗测这一步可以省略掉，做做样子就好。比如我选择的是 0.5,1,2,4 mA 这四个量程，那么后面测光电流时我们适当的选择适合我们微安表量程的  $x$ （光电池那个感应器的刻度）变化范围就好，我记得一系的是说在距离 10—70cm 的范围内得到 10 组数据，但实际上符合我微安表量程的大概就是距离 0—50cm 的范围内左右，我在这个范围内测 10 组数就好了~ 就是通过这个方法，忽略掉粗测那一步，避免没粗测然后量程不对的杯具的

5.校正安培表这一步中，一系材料中说的  $R_1$   $R_2$   $R_3$  都是可以算出来的。实验时你就把三个电阻箱调成这个值就好，然后  $R_2$  根据电压表的示数进行微调（因为给的电压可能不是



严格的 3V)，然后按步骤调 R3 和 R1，一系材料里说的很详细，我就不说了（以后也是）。这里的调节都挺简单的，电阻的变化范围都不是很大哈~~

6. 补偿法测光电流中，一系材料里面的 Rx 调节就比较费劲了，因为事先并不能算出理论值。首先，实验给的材料里面那个电路图 Rx 的符号是 R2，这就导致我周围的哥们以为是校正安培表那个实验里面的 R2，其实不是哈~~它是一个全新的电阻。。。具体的调节就是你得胆大心细的试，然后根据闭合开关后表头的偏转方向决定是调大还是调小。基本的规律就是光电池距离越远，这个 Rx 就越大。我记得我把那个感应器离得很近，差不多 5cm 左右的时候，Rx 也就几百欧的量级。

7. 接着说上面 Rx 的问题（其实校正安培表里面的 R3 也可以类比）。因为这里面变量太多了有点，Rx 也在变，闭合开关后（所说的闭合开关就是指按下一个小按钮就叫把他闭合了）表头还偏转，实际上很难调成理想情况。这时候是这样的，大部分情况我们下狠心的调 Rx（开关没闭合时），表头一般会发生较大偏转，当你某一刻，调 Rx 表头不怎么偏转的时候，基本上就快达到要求了，既这个时候闭合开关，表头也不怎么会偏转了哦！这个时候其实你不用再微调 Rx 使它严格满足“闭合开关表头不偏转”的条件了，因为最终我们是要获得表头的偏转格数，然后每一格其实挺大的，你微调准了 Rx 也不会跟之前差太多，所以你记下此时的偏转格数就好啦！~~节省大量时间哦亲~~~事实证明这个不影响准确度的，因为我按照这个偷工减料的方法最后得到的 r 值也有 0.994 呢~~~

8. 大家有木有被绕晕。。。表达能力有限实在是。。。那说个小白问题，就是表头偏转格数的读法。总共是 5 大格，每大格是 5 小格共 25 格。So。。。你读 17 格这样就好了，不要跟我似的读成 3.4 格被老师笑 shi 了。。。。

9. 再说一个扯淡的，那个表头有时候不太好使，不偏转啊反应慢啊什么的，我采取的方法是暴利拍之。。。 (谁让你丫不好使。。。)

10. 之前我们读数的时候都是读的感应器的刻度  $x$ ，但实际上跟光电流成反比的是距离  $L$  的平方，但是那个灯泡的位置又是不确定的，所以“ $L=x$ —灯泡刻度”这个是行不通的。实验要求是最后在数据处理的时候消除这个误差，我的做法如下，仅供参考不知道对不对啊！电流  $I$  反比于  $L$  的平方，所以  $L$  正比于根号  $I$  分之一，所以最后我让  $y=L$ ， $x=1/\sqrt{I}$ ，然后做的线性回归。而不是  $y=I$ ， $x=L^2$  分之一。(现在回过头看一系材料里面那个距离偏差山寨版方法，终于懂了。。。当时预习的时候死都没懂加上那个干嘛。。。)

11. 然后是选作实验，直接串上负载电阻，然后跟之前测光电流的方法一样，然后在坐标纸上画光电流特性曲线就行。这个选不选随便，反正我这一场有我和另一个哥们做到了这个选作，那哥们 ms 测出了值但木有时间画图了，我脚着就是第 7 条偷工减料的测量方法给我提速了~~~

#### 【其他的碎碎念】

1. 预习还是很重要的，尤其原理要搞明白。其实也不是很难，我周一知道我周三必须考而且还是第一波的惨剧后总共复习了 2 小时加周三上午。但是我把实验步骤默写了两遍。。。算是熟记了吧。。。而且很多小细节相当重要。

2. 提前学会计算器算线性回归的方法~~

3. 事实证明，替考 ms 有一定可行度，带小抄是完全可行的，求助场内同学也是可以的，把一系的电子版材料拷进手机看也是完全 OK 的。不过这好像因老师而异

4. 我一直脚着做实验，心态灰常重要（尤其是 RP 不好的时候）~~所以~~要怀着一颗拼 RP 的蛋定的心去做啦~~

### 3014 非平衡电桥的应用（自组热敏电阻温度计）实 2-403

实验桌上有一个可调的 0 ~ 35V 双通道稳压电源，一个 12V40V 定压源，微安表一台（只有正向刻度的那种），电阻箱两个，万用电表一个（但只配了温度计的线），定值电阻两个都是标称值 1.2K，铂电阻（中间可插入万用电表的温度探测头，侧面有两个电源接线柱），单刀双置开关一个，导线若干。

这个实验开头，老师要求每个人在草稿纸上画出实验的电路图，我画的是一系资料上的图，测量用可变电源，电源电压 6V 而不是 12V，滑动变阻器要画成初始状态（即不分压），加热电源选用 40V 定压源，R1，R2 两个定值电阻都标上标称值 1.2K。（注意根据一系的资料，其实严格来说应该有两个图，第一个图上铂电阻的位置为 R3 电阻箱，第二个图上该位置接上铂电阻 Rpt，铂电阻两侧接 40v 定压源）给老师看一下就可以开始试验了。第一部很简单，不用铂电阻，不用万用电表，不用 40V 电压源，把电路连好（老师给的资料上没有完整的电路最好记一下一系的电路）给老师看一下，就能开电源了。基本上先把 R3 和 R4 都调到 1200 然后再细调至表针不偏转，这里要说的是灵敏检流计有两个量程，一组是 100 微安，一组是 200 微安，选择 g2 量程（即两百微安的）我的结果是  $R_3=1200\Omega$ ， $R_4=1220\Omega$  由电桥的公式  $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$  得出 R1 与 R2 的比值（后面用得到）。

进行第二步，把 R3 换成 Rpt 截图电路，这是 40V 电压源先不开，调节 R4 平衡电桥让 G 不偏转，这是万用表的测温表笔应该是插在 Rpt 里面的。表笔的插口插在欧姆（+）COM（-）档位选欧姆（别选温度档）2k 欧姆。读数，用资料上的方法换算出温度值（此

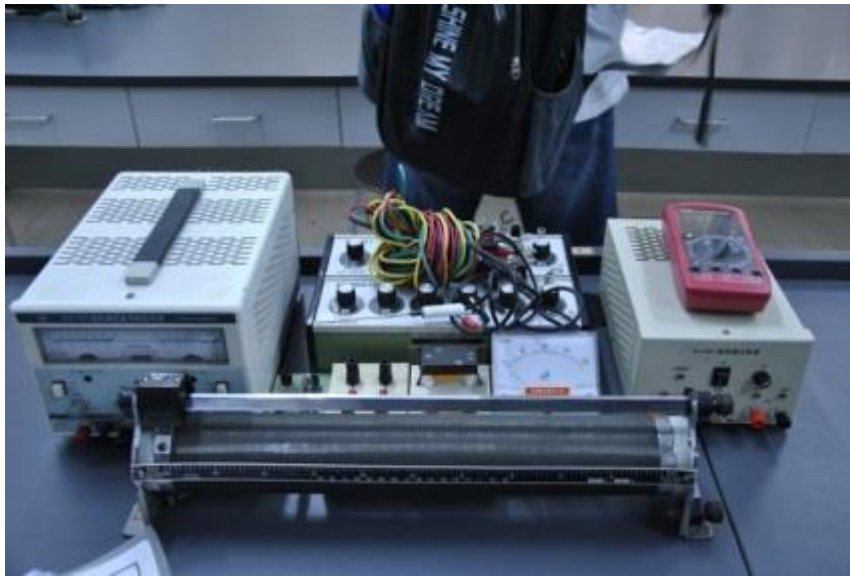
时万用电表测出的  $R_{pt}$  并不是我们要的  $R(t)$  )。把  $R_4$  调小，使得灵敏检流计示数小于零，然后打开 40V 稳压电源，开始的几个值变化很快，在灵敏检流计正好在零点的时候按住万用电表上的 HOLD 锁定示数（这部有分的哦），然后反复重复上一步把  $R_4$  调小，等零点。要在初始温度和到达大概 97 度左右的区间内测不少于 6 到 8 个点。越到后面温度变化越慢，中间必须找老师过来看你侧一组数据（可以不是你数据表上的）。得到的数据都是电阻，此时要把你从万用电表上读出的数据用老师资料上的方法换算成摄氏度或者 K。利用  $R_1/R_2$  的值由  $R_4$  换算成  $R(t)$ ，再用那个指数公式两边取对数， $\ln(R(t))$  为  $y$ ， $\ln(A)$  为  $a$ ， $B$  为  $b$ ， $1/T$  为  $x$  进行线性回归，自带计算器或者用实验室的计算器都可，资料上还详细介绍了用实验室计算器怎么线性回归。得出了  $a$   $b$   $r$  三个之后写出  $R(t)$  的指数形式方程。我的  $a$  在 -2.7 左右， $b$  在 2800 左右， $r$  在小数点后第四位开始不是 9。用这个公式（从 0 到 100 度）每隔几度写出一个  $R(t)$  的值（我是每隔十度）。可以给老师看了。现在恭喜你同学，本次试验用时最长也会死最艰难的部分已经结束了。

现在开始第三步定标。把  $R_{pt}$  和那个 40V 电阻都拆了吧，没用了。换回  $R_3$ ，把  $R_4$  锁定为  $R(0^\circ\text{C})$  的值（我是在 5800 欧姆左右），把  $R_3$  也调成同样的值，这时电桥电桥平衡。然后把  $R_3$  调成  $R(100^\circ\text{C})$  的值（我的是 287 欧姆）调整滑动变阻器，使表满偏，然后按照刚才测出的不同温度时的电阻给  $R_3$  赋值，记下每个  $R_3$  对应的微安表示数，然后就可以找老师看了，老师一般会检查 0 度，100 度，还有中间的任意一个值。这些完成之后你的实验大业就完成了大半了。

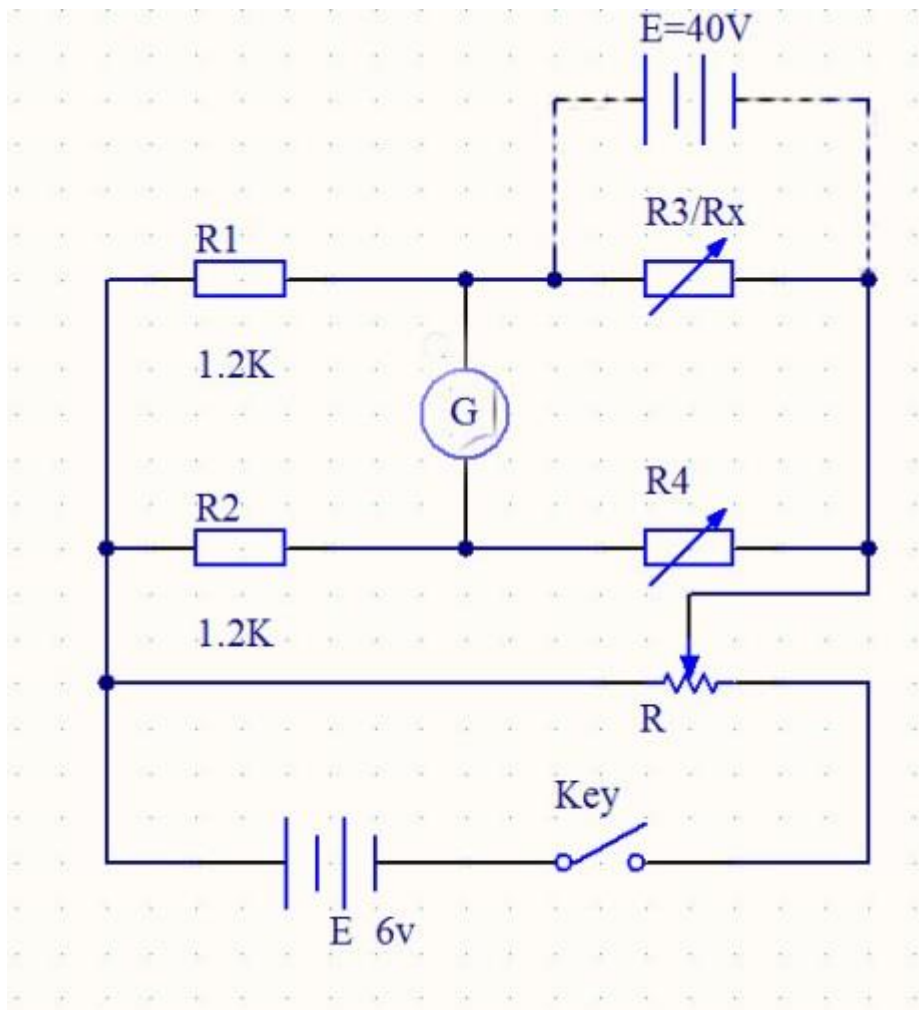
最后一步写报告！报告的要求很简单，没有实验内容，实验原理，实验要求实验感想什么的。第一步画出电路图，就是一开始老师检查的两个图，写出一些元件的参数。

（ $R_1$ ， $R_2$  都是 1200 欧，变压源 6V，定压源 40V）；第二部记录和处理数据，写下数据

表和线性回归的各种公式和结果，最后要把定标的结果列一张表出来。什么温度对应什么电流或者 DIV。还要附一张坐标纸，画出  $I_g$ — $t$  图像。接近线性。交了报告，安老师要求，收拾完台面，把草稿纸交给老师销毁，你就能走了。



第一步：把这张图画纸上，元件参数标明白，给老师看看，就可以开始连线了。（此时不接入虚线连接的电源）



连线完毕，要给老师检查，检查 O 了后才开始测数据。

这里需要注意的是：检流计正极接线柱接  $R_{g1}$

开电源，闭合开关（我在这里卡了挺久，不偏转，挨个把电路检查了一遍，最后是没闭合开关。。囧 rz），调整  $R_3$ ， $R_4$  至检流计无偏转，测  $R_3$  和  $R_4$  这里由于  $R_1$ ， $R_2$  都是  $1.2K\Omega$  的标称，所以比值约为 1.

速度用  $R_x$  换掉  $R_3$ ，接入虚线连接的电源（这时又要让老师检查一下线路才能继续），测热敏电阻的 T-R 温度电阻曲线，方法依照一系资料的描述，这里可以多读几组

数，后来再从中择优记录，挺慢的，起码得加热 10min 吧。。。中间老师要检查一次你的读数操作，然后就慢慢读吧。

读完数据迅速地线性回归，此实验个体差异巨大，千万别指望借用别人的数据，比如孙景波昨天做的时候，a 大概是 -2.X，b 大概是 2800 左右，我今天的数据就和他有很大差异，我的 a 在 -4.8 左右，b 在 4000 左右，a，b 的值如何不重要，只要相关系数 r 约为 1 就没问题。

然后就是标定温度计了

这一步首先是把 R4 调整为 0°C 时对应的 R4 的值（通过 0°C 时 Rx 的理论值算出，Rx 的理论值由上一步推出的公式算出），然后接下来 R4 就不要再变化了，把 R3 调到 Rx 在 100°C 时的理论值，调整滑动变阻器，使 G 满偏。（让老师检查）

然后就让 R3 分别等于 0°C，10°C...100°C 时 Rx 的理论值，记录偏转格数。

最后是画出以温度 T 和 Ig（偏转格数）为横纵坐标的曲线图，就 O 了~

这实验耗时还是挺长的，笔者是该考场第一个交报告整理仪器走人的家伙，出来看表，2 个小时 40 分钟，因此大家还是多看看资料，提高提高速度吧~

3.具体做的时候呢~我也算是发现了一两个小技巧吧~（重点来了）测 Rt 随 t 变化曲线的时候，1 系&27 系资料上是没说将 R4 调到多少的，只说让指针稍偏转，再让热敏电阻随温度升高重新使指针归零。诶~这里就有学问了~我在室温下测的热敏电阻值大概是 3900Ω，当然，不仅每个人的初始电阻值不同，而且初始阻值随温度变化超大的，所以绝对不要随便拿人家的数据来抄或是什么之类的~我这里只是做一个说明。然后我直接调 R4 到

3200 $\Omega$ ，你知道这一步的取整跟后面作图带来的多大的方便么？然后直接 2400 $\Omega$ 、1600 $\Omega$ 、800 $\Omega$ ，一开始这样大手笔的操作是为了给后面的数据腾位置出来啊！然后 600 $\Omega$ 、500 $\Omega$ 、400 $\Omega$ 、350 $\Omega$ 、320 $\Omega$ 。你看~越到后面间隔越小，这不仅是因为后面热敏电阻阻值变化越来越慢，更重要的是，越到后面温度上升的也越来越慢啊！！前面你刚把下一个阻值拧好，电表的指针就跟上来了，根本没有什么等待，但是到后面，可能得要五分钟才能读取一个比较好的值，所以前面尽管大刀阔斧的调电阻吧~而且这样取电阻值在后来作  $R_t \sim t$  实验曲线的时候，直接用坐标值的网格线当基准，哪还需要同时找温度找阻值找瞎眼啊！这就是我后来 5 分钟作两张图的小技巧吧~

4.另外呢~今天还有一件非常有趣的事情~一连五六个同组的同学问老师说温度  $t$  怎么都升不到 100 度啊~因为考场资料上是明确规定温度要过 100 度的~这样是为了一元线性回归出来的标准曲线能包含 100 度所对应的阻值，不至于用外推法。结果，巧就巧在大家的温度一起升不上去啊，大概到个 98、99 度就开始稳定了，调仪器的老师都来了好几遍，最后忍不住吐了句槽：周老师，您的空调开太大了.....这是实话啊~大热天的让一屋子人闷在实验室里不开空调确实说不过去，但是掌控空调的又不是你！！！你怎么知道人家老师开多大啊！！！所以咧，到不了 100 度就到不了 100 度吧~只要是跟老师说明情况，或者让一些爱找麻烦的老师亲自检查一下，事实胜于雄辩嘛~老师一般应该是会妥协的.....连周大爷都屈服于空调的淫威之下了，没啥好怕的~但是，你也不能太离谱吧~人家好歹也是测到将近 99 度的人，为了相关系数，你总不能拿个 95 度在那里当最后一组数说事啊~



5.话说狗急了会跳墙兔子急了会咬人啊~我今天急了一不小心生了个智.....你看，到最后几组数据的时候呢，中间等的时间也是等着，这个时候你可以有两个方法来打发时间。一是把阻值间隔再调小，比如每隔  $10\Omega$  测一组数，但是是人都会不会做这么吃力不讨好的事吧~所以第二个方法呢~趁这个时候赶紧的换算三用表测出来的温度啊!!!内插法你当是那么好算的啊!!!就这么一个小破计算器，你当是 Excel 啊!!!之前取数的时候如果你担心出现坏数，其实是可以每隔  $400\Omega$  测一组的，那么这样的话，数据势必会多出来几组，这个时候呢，你可以借用这个等待的时间多算几组温度出来，根据等间隔取温度  $t$  的原则来取数据的话，最终画图就不会出现某些点隔得特别开，某些数又挨得特别紧的情况了~最后人家让你画的是  $R_t \sim t$  曲线，又不是  $\ln R_t \sim 1/T$  曲线，所以我认为大致等间隔取温度  $t$  是完全可取的！我今天就是一边等指针偏转，一边就把我测的 20 组数据的温度全算出来了，最后扫一眼就看得出那几组数据间隔比较均匀，打个大圈圈，数够 10 组数就 OK 啦~

6.还有一个呢，是我自己乱总结的~不知道有没有大神能帮我求证一下~就是最后几组数不是只间隔  $10\Omega$ 、 $20\Omega$  么~我观察了一下，按他给的 200 微安的表头，大概每 50 微安就对应了  $10\Omega$  电阻，也就是说，当指针偏到 50 微安的地方，再把  $R_4$  往下调  $10\Omega$ ，这样的话，既不会让指针反偏过久损伤电表，也不会让人无畏的担心万一错过了需要测的阻值和温度怎么办~当然，这个你可以不信，反正是我自己看出来的，也没有得到理论验证，各位权当是最后等指针偏转的时候做个小研究打发打发时间罢~

7.那么有些1系&27系资料上没有提及的东西，我看我能记得多少就补充多少吧~比如实验室给的电表其实是个微安表啦~不是指针在中间的检流计哦~亲~调节微安表反偏其实是违反操作规程的，但是我当时设计电路就是这么设计的，我也怕打乱思维，所以就这样了~反正只要不被老师看到，只要不把指针偏断，只要不把表头烧了，我爱怎么反偏怎么反偏啊~另提一点的是呢~实验室资料上给的图本来是要求电流从微安表从上至下的流过，结果我设计的是从下往上流，不管怎样，反正记得标正负啊~我的是下正上负，最后按1系&27系资料上的步骤操作，是全然没有问题的啦啦啦啦~

8.三用表的操作呢~也有一些要注意的地方~红线接左黑线接右不要搞反。调量程的话  $2k\Omega$  是一定没有问题的，关键是，你要调到 $\Omega$ 档啊~上面有个写了摄氏度的档是骗人的!!! 我差点又被骗!!! 那个像根针一样的铂电极一定要插到热敏电阻的体内啊，那么大个洞洞在侧面，不要像一些人那样无孔不入啊.....插坏了直接挂的啊~

9.画图方面呢~可以把纵坐标画长些，反正纵坐标越长你自己找阻值找电流都好找许多，其实你也是可以5分钟画完两个图的.....不要以为只有一张图啊!!!  $R_t \sim t$  一张， $I_g \sim t$  一张啊~坐标纸多带点会死啊!!! 还有就是记得带粘胶或者订书机，我当时最后问周晓平有没有粘胶之类的东西，我用不同的音高问了好多遍，结果他三番五次的不搭理我啊~ 尼玛真当自己是小平啊!!!

10.收拾东西收拾得不好是要扣分的咧~要想收拾得好，除了注意把稳压电源输出电压调回0，你还可以看看黑板左下角的照片，它怎么拍，你怎么放，这是绝对不会有错的！

11.突然想到一点，一开始测  $R_1/R_2$  的时候，我又天真了.....滑动变阻器你尽管往阻值最大的位置调啊！电压高点怕什么啊！那是电阻又不是你！电压高了，流经电表的电流就大了，电桥稍微有一点不平衡的话一下就看出来了，周晓平就是直接拉到最大，然后我的指针就偏转了.....我能说啥.....扣分呗~

大概也就记得这些了吧~毕竟还是小错误很多的实验，问题也很杂碎，不可能面面俱到，也希望大家能避轻就重，把大家都容易犯的问题记清楚，实在记不得的就去好好看考场上发的资料，上面把常见问题全部列举了，你能想到的和不能想到的它基本都有说明，不用担心实验做不完，你只需要担心自己是不是看说明看得还不够细。

(3) 说到连线，实验台上有两个直流电源，一个上面有两个电压接口，这个是提供  $E_1$  的电压的，选其中一个连上，拧动旋钮调节到 12V；另外一个上面有一个 12V 和一个 40V 的电压标志，用 40V 那个提供  $E_2$  加热电压。 $E_1$  和  $E_2$  不要都用后者来提供。

(4) 连接线路和测量  $R_1/R_2$  都没什么问题。用万用表测热敏电阻温度，把那根白色的柱子（铂）插进热敏电阻上面那块金属上的洞里。先读出和  $R_x$  并联的电阻箱  $R_3$  的阻值和万用表的示数（对应室温），用  $R_3$  阻值计算  $R_x$  阻值。我的  $R_x$  阻值在 4 千欧左右，每个台子的都不太一样。之后连上  $E_2$  开始加热。老师发的那个实验提示上有铂的阻值对应

的温度，最好在加热之前把一些的温度比如 30,35,40 等等的对应阻值都读出来写在纸上，在心里有个大概的印象，在测量的时候就会方便些。

(5) 加热中万用表示数变得很快，要把电阻箱 R3 的阻值调节小，建议每次调小 200 欧，使微安表示数片过 0 刻度。偏的稍微远一点也没问题，因为 Rx 升温阻值降低的很快，它会很快移回来。仍然是记录 R3 阻值和万用表示数。最后在坐标纸上画个 Rx-T 的曲线。

(6) 记录完以后,根据  $\ln R_x = \ln a + b/T$  做线性回归。令  $Y = \ln R_x, X = 1/T, A = \ln a, B = b$ 。注意 T 为热力学温标，用记录的万用表示数查出对应摄氏温度 t 后，还要再加上 273.15。

(7) 最后要做温度计定标。把 Rx 换成电阻箱 R4，使 R3 为 Rx 在 0 度时对应的 R3 电阻值，然后调节 R4 为 Rx 在 0 度时的电阻值。说得比较纠结，总之就是使微安表指零。然后再把 R4 调为 Rx 在 100 度时的电阻值，再调节 Rp 滑片使微安表满偏。然后算出中间的几组数据，给老师检查.....差不多就行了。

PS 笔者跪了的地方：1、走之前别忘了把 12V 电压给拧回 0V，否则老师会扣分。

电路问题完全按照资料上给的连，今天下午老师检查电路的时候是看微安表是否转动。注意我算的  $R_1$  比上  $R_2$  略微大于 1，是  $25/24$ ，可能每个实验台都不一样。测完比值后换热敏电阻，这里注意电桥电源用的是 SS1791，加热电源用的是 sl3401,不要连错了。然后加热读数，微安表指 0 时就读一个电阻箱示数和万用表示数，当万用表示数大于 90 度时的电阻值时就停止吧（好像是 1347 欧），一共要 8 组数据，我测了 12 组选了 8 组感觉还行的。在读取下一个数据之前有一段空闲时间，可以用来绘制表格神马的但是注意不要跑神漏测数据。下来处理数据就不说了，资料上都有，我的  $R$  算的是 0.9998，还可以接受。

下来要给温度计定标，上一步算出来关于热敏电阻阻值的公式拿来，算 0 度、10 度。。。。100 度的阻值，将两个电阻箱一个调成  $R = R_2 * R(0 \text{ 度}) / R_1$ 、另一个调成  $R(100 \text{ 度})$ ，改变滑变器，使微安表满偏，调成  $R(0 \text{ 度})$ ，使微安表零偏。然后就调成你算出来的热敏电阻的对应值，记下偏转格数。这时候要注意，就是偏转格数和电阻对应的温度值是成线性关系的，意思是电阻箱阻值为  $R(100 \text{ 度})$ ，满偏 40 格，电阻箱为  $R(50 \text{ 度})$ ，偏转 20 格，老师检查也是检查这个线性关系，我就是栽在这上面，满偏零偏都成了，老师测试我的  $R(50 \text{ 度})$  时指针只偏转 16 格左右，后来怎么搞都没法满足。（估计是前一步骤的数据有问题，可是我检查了好几遍分明看不出来到底问题出在哪！）时间上也不允许从头再测，最后没有办法以误差太大为由结束测量。。。。筒子们注意不要像我这样啊

绘图的问题，一共需要画两个图，一个是热敏电阻阻值与温度的图，一个是定标时电流与阻值的图。

总的来说，这个实验还是很简单的，就是画图和数据处理费点时间，希望选到这个实验的孩子都能高分通过。最后一句，为我的 G0X 积攒人品啊！

另：关于最后一个定标的问题，偏转格数不应该成线性关系，应该是通过实际测量得到的，当时我做实验的时候也有类似的疑问，可这就与今天下午带实验老师的检查要求相悖，所以大家做个参考，记得做实验的时候问清楚要求。。。

## 用计算器进行一元线性回归

### 一、初始化

打开电源

按 MODE 键选择 REG 模式-选 Lin

按 SHIFT 再按 MODE 键，选择 SCL 模式

当屏幕上出现 STAT CLEAR 时，按=

### 二、录入数字

例如  $x=3, 6, 12, 24, 72, 96$

$y=0.085, 0.143, 0.330, 0.657, 1.543, 1.923$

输入时， $x$  先输入， $y$  后输入

输入方法如下：

输入 3 , 再按 “ , ” 键 , 再输入 0.085 , 最后按 M+ 键

输入 6 , 再按 “ , ” 键 , 再输入 0.143 , 最后按 M+ 键

.....

输入 96 , 再按 “ , ” 键 , 再输入 1.923 , 最后按 M+ 键

### 三、得出数据

如此例 , 此时计算器上显示 “n=6”

按 SHIFT 再按 “2” , 后翻页面至出现 A,B,r

选择 A , 得到截距 0.078106135

选择 B , 得到斜率 0.019776353

选择 r , 得到回归系数 0.99644104

### 四、计算

按 SHIFT 再按 “2” , 后翻页面至出现 X , Y

选择 X , 输入数据 , 按 = 后 , 得到相应的 y 值

由 y 值求 x 依此类推