省（区）＿＿＿＿＿＿市（县）＿＿＿＿＿＿中学　姓名＿＿＿＿＿＿

准考证号＿＿＿＿＿＿组次编号＿＿＿＿＿＿实验编号＿＿＿＿＿＿

密　封　线　内　严　禁　答　题

第 28 届全国中学生物理竞赛决赛　实验试题一试卷及答卷

直流电源特性的研究

得分	评卷	复核

一、题目：

一直流待测电源 E_X，开路电压小于 2V。

（1）利用所给仪器，自组电压表、并测量待测电源 E_X 的开路电压；

（2）利用所给仪器，测量待测电源 E_X 的短路电流。

二、仪器：

直流待测电源 E_X，六位电阻箱二台，标称值 350 欧姆的滑线变阻器一台，标称值 3V 直流电压源 E 一台，准确度等级 0.5 级指针式 100 微安直流电流表 A_1 一台，准确度等级 0.5 级指针式多量程直流电流表 A_2 一台，准确度等级 1.5 级指针式检流计 G 一台，开关、导线若干。

三、说明：

1、待测电源 E_X 具有非线性内阻，不适合用 *U-I* 曲线外推法测量；

2、测量中需要的电压表用 100 微安指针式直流电流表 A_1 和电阻箱自组；

3、标称值 3V 直流电压源 E 由两节 1 号干电池、15 欧姆保护电阻串联构成；

4、所画测量电路中的待测电源 E_X、3V 直流电压源 E、电流表 A_1、电流表 A_2 需用“＋”和“－”标明其正负极性；

5、检流计 G 两接线端子上并联两个保护二极管，作为平衡指示器使用时，可以不使用串联保护电阻。如果测试中需要用检流计 G 判断电流是否为 0 时，应说明检流计 G 指示为 0 的判断方法或者判断过程。

四、要求：

1（7 分）利用所给器材，测量 100 微安电流表内阻，并将 100 微安电流表改装成 2.00V 量程的电压表。要求画出测量内阻的电路图，简述测量原理，给出测量结果；画出自组电压表的示意图，并标明元件的数值。

2.1（5 分）画出测量待测电源 E_X 的开路电压的电路图，简述测量待测电源 E_X 开路电压的原理和步骤。

2.2（6 分）连接电路、测量并记录必要的数据，标明待测电源 E_X 开路电压的测量值。

3.1（5 分）画出测量待测电源 E_X 短路电流的电路图，并简述测量待测电源 E_X 短路电流的原理和步骤。

3.2（7 分）连接电路、测量并记录必要的数据，写出待测电源 E_X 短路电流的测量值。

实验试题一答题纸：

1（7 分） 利用所给器材，测量 100 微安电流表内阻，并将 100 微安电流表改装成 2.00V 量程的电压表。要求画出测量内阻的电路图，简述测量原理，给出测量结果；画出自组电压表的示意图，并标明元件的数值。

2.1（5 分）画出测量待测电源 E_X 的开路电压的电路图，简述测量待测电源 E_X 的开路电压的原理和步骤。

2.2（6 分）连接电路、测量并记录必要的数据，写出待测电源 E_X 开路电压的测量值。

3.1（5 分）画出测量电源 E_X 短路电流的电路图，并简述测量电源 E_X 短路电流的原理和步骤。

3.2（7 分）连接电路、测量并记录必要的数据，写出待测电源 E_X 短路电流的测量值。

省（区）＿＿＿＿市（县）＿＿＿＿中学　姓名＿＿＿＿
准考证号＿＿＿＿组次编号＿＿＿＿
密　封　线　内　严　禁　答　题

第 28 届全国中学生物理竞赛决赛　实验试题二试卷及答卷

光电效应的实验研究

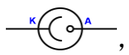
得分	评卷	复核

一、概述

金属及其化合物在光照射下发射电子的现象称为光电效应。爱因斯坦指出，一束光就是一束以光速运动的粒子流，这些粒子称为光子，频率为ν的光的每一个光子所具有的能量为$h\nu$，它不能再分割，而只能整个地被吸收或产生出来。根据能量守恒定律，当金属中的电子从入射光中吸收光子的能量后，就获得能量$h\nu$，如果$h\nu$大于该金属的电子逸出功A，这个电子就可以从金属中逸出，叫做光电子，且有：

$$h\nu = A+\frac{1}{2}m\upsilon_m^2$$

该式称为爱因斯坦光电效应方程。逸出功A是指一个电子脱离金属表面时所需做的最小功，$\frac{1}{2}m\upsilon_m^2$是光电子从金属表面逸出时所具有的最大初动能。h是普朗克常数。由方程可知，能够使某种金属产生光电子的入射光，其最低频率ν_0应由该金属的逸出功决定，ν_0称为截止频率。而照射光的光强是由单位时间到达单位垂直面积的光子数决定的，光强越大，逸出的光电子数越多。

利用光电效应原理制成的光电管能将光信号转化为电信号。光电管的示意图为：

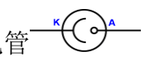
，其中 K 为阴极，光照后可发射光电子；A 为阳极，加正电压时收集光电子，负电压时阻止光电流。光电管的主要特性有：

1．伏安特性：当照射光的频率和光强一定时，光电流随两极间电压变化的特性称为伏安特性。用不同强度的光照射光电管时，可得到不同的伏安特性曲线。极间电压为零时，光电流并不为零。当光电管加反向电压至一定值U_a时，光电流才为零，$|U_a|$称为截止电压。

2．光电特性：当照射光的频率和两极间电压一定时，饱和光电流I_H随照射光强度变化的特性称为光电特性。

3．光电管的截止电压U_a与光照频率ν有关，测出不同频率光照射下光电管的截止电压U_a，画出$|U_a|$～ν的关系图，从而根据光电效应方程，可由图线求出普朗克常数h、阴极材料的截止频率ν_0和逸出功A。

二、仪器用具

1．装在暗盒中的光电管

（附有挡光盖）一只；



2．高压汞灯及其电源一套（附有挡光盖）；

3．滤光片一组（其透射光的中心波长λ分别为 365nm、405nm、436nm、546nm、577nm）；

4．光阑一组（直径ϕ=2mm,4mm,8mm）；

5．直流稳压电源E_1一个（30V 稳压恒流电源，已调至稳压状态，显示“CV”）；

6．电位器R一个（3.3kΩ,3W）；

7．专用微电流计Ⓖ一个及专用电缆线（它是实验仪中的微电流测量部分，用于测量光电管所产生的光电流，电缆线实际是两条线，当用电缆线将实验仪背面的“微电流输入”与光电管暗盒背面的“K”接通时，Ⓖ就串联在电路中，电流量程为10^{-8},10^{-9},10^{-10},10^{-11},10^{-12},10^{-13} A。实验仪还有一个测量普朗克常数h时要用到的-2～0V 电源E_2及电压调节旋钮，仪器面板见使用说明）；

8．直流电压表Ⓥ一个（0.5 级，0～15~30V）；

9．光具座一个（附有标尺）；

10．单刀开关 k_1 一个；

11．双刀双掷换向开关 k_2一个；

12．导线若干。

三、实验题目及要求

1．测定光电管的伏安特性（14 分）

（1）画出实验电路图，注明所用仪器符号；

（2）简述实验方案（或主要步骤）；

（3）连接电路，选择 436nm 的滤光片使照射光的波长为 436nm 的单色光，用ϕ=8mm 的光阑，光源与光电管间的距离s调为 40.0cm，改变光电管极间的电压U_{AK} (-3V～30V)，合理选择电压表和电流计量程(在 10^{-9}-10^{-11}A 范围内选)，测量若干组电压U_{AK}与电流I的值；

固定照射光的波长仍为 436nm，改变光强（用 4mm 和 2mm 光阑），再测两次U_{AK}、I值；

（4）在直角坐标纸上同一坐标系中作出U_{AK}～I图。

注：测量时不准用实验仪内的-2～+30V 电源，必须用所给的直流稳压电源等自组测量电路；实验仪中的电流测量部分作微电流计使用。

2．用“零电流”法测定普朗克常数 *h* 及从图线上求出截止频率ν_0，并计算阴极材料的逸出功 *A*。（16 分）

“零电流”法是直接将各谱线光照射下测得的电流为零时对应的电压U_{AK} 的绝对值作为截止电压U_a。

（1）推导测量普朗克常数的实验公式，简述实验原理；
（2）光电管用实验仪的-2～0V 电压输出端供电，用专用线连接电路，简述实验步骤；
（3）固定 s=30.0cm，ϕ=4mm，电流计量程用 10^{-13}A 挡，用不同的滤光片以改变照射光的频率，在电流 I=0 及其两边各测两组共五数据，以确定各自对应的截止电压U_a值；
（4）作$|U_a|\sim\nu$图；
（5）根据$|U_a|\sim\nu$图求出普朗克常数 h 的值（要有计算过程）；
（6）根据$|U_a|\sim\nu$图得出截止频率ν_0，并计算光电管阴极材料的逸出功 A。

注：这部分测量时要求用实验仪内的-2～0 V 电源、电压表和电流计。

四、注意事项

（1）使用光电管和汞灯光源的挡光盖，不要使光电管暴露在强光下；不要用眼睛直视汞灯发出的光！换光阑和滤光片时，先将汞灯的遮光盖盖上！
（2）防止滤光片及光阑污染或打碎！
（3）指针式电压表如接错位置或正负极，指针反转会损坏仪表！
（4）调节到位后，读取数据宜迅速！

实验试题二答题纸：

1．测定光电管的伏安特性（14 分）

1.1 画出电路图（3 分）

1.2 简述实验步骤（3 分）

1.3 数据记录（5 分）

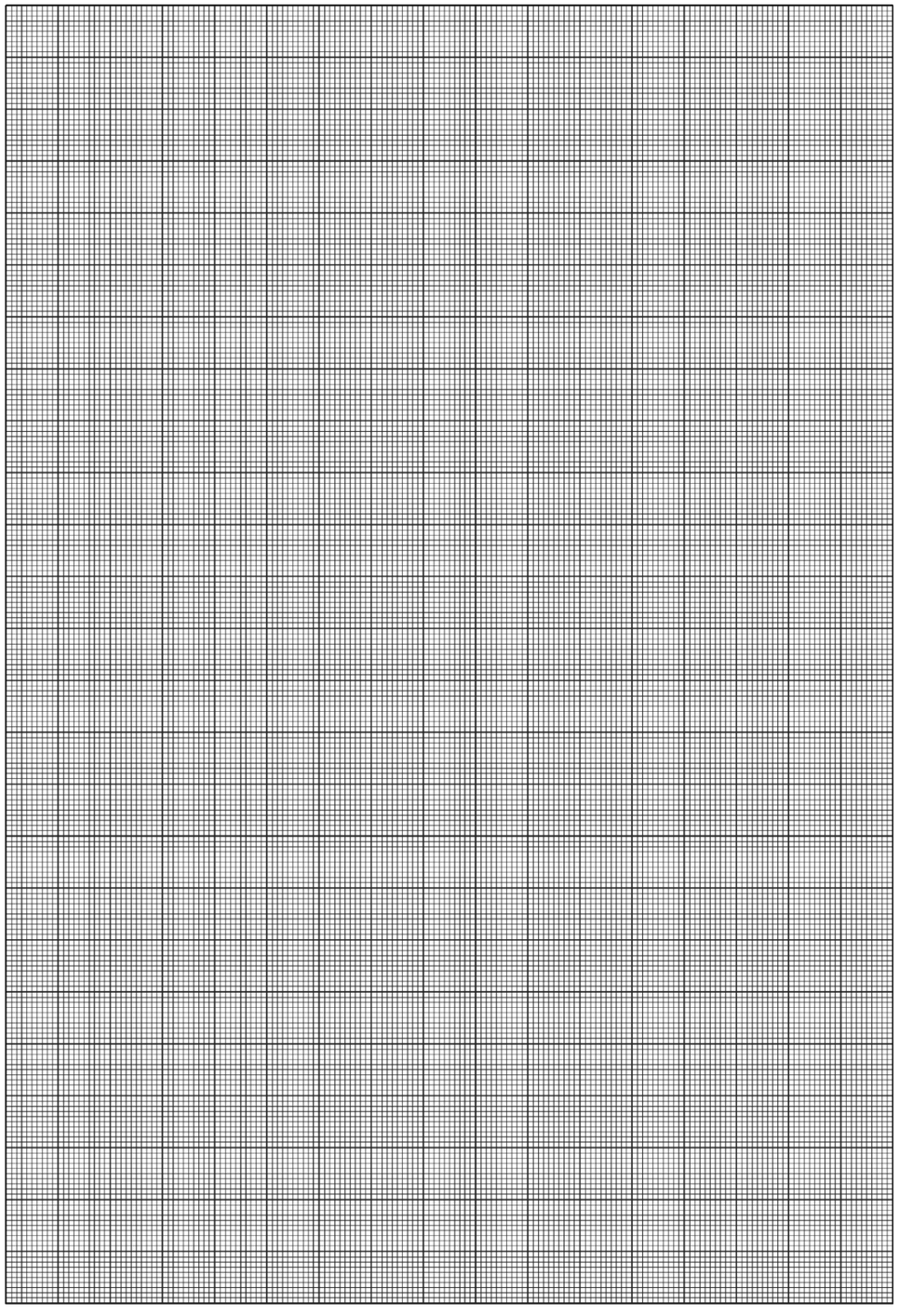
λ=　　，S=

U_{AK}/V		-3.0	-2.0	-1.0	-0.6	0.0	0.6	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
I/	ϕ/8mm												
	ϕ/4mm												
	ϕ/2mm												

接上

11.0	14.0	17.0	20.0	23.0	26.0	30.0

1.4 在直角坐标纸上画出U_{AK}～I 图（3 分）



2．测定普朗克常数、阴极材料的截止频率及逸出功（16 分）

2.1 实验公式推导及原理简述（1 分）

2.2 实验步骤（2 分）

2.3 数据记录（5 分）

S=　　，ϕ=

λ=365nm

$I/10^{-13}$A			0		
U_{AK}/V					

λ=405nm

$I/10^{-13}$A			0		
U_{AK}/V					

λ=436nm

$I/10^{-13}$A			0		
U_{AK}/V					

λ=546nm

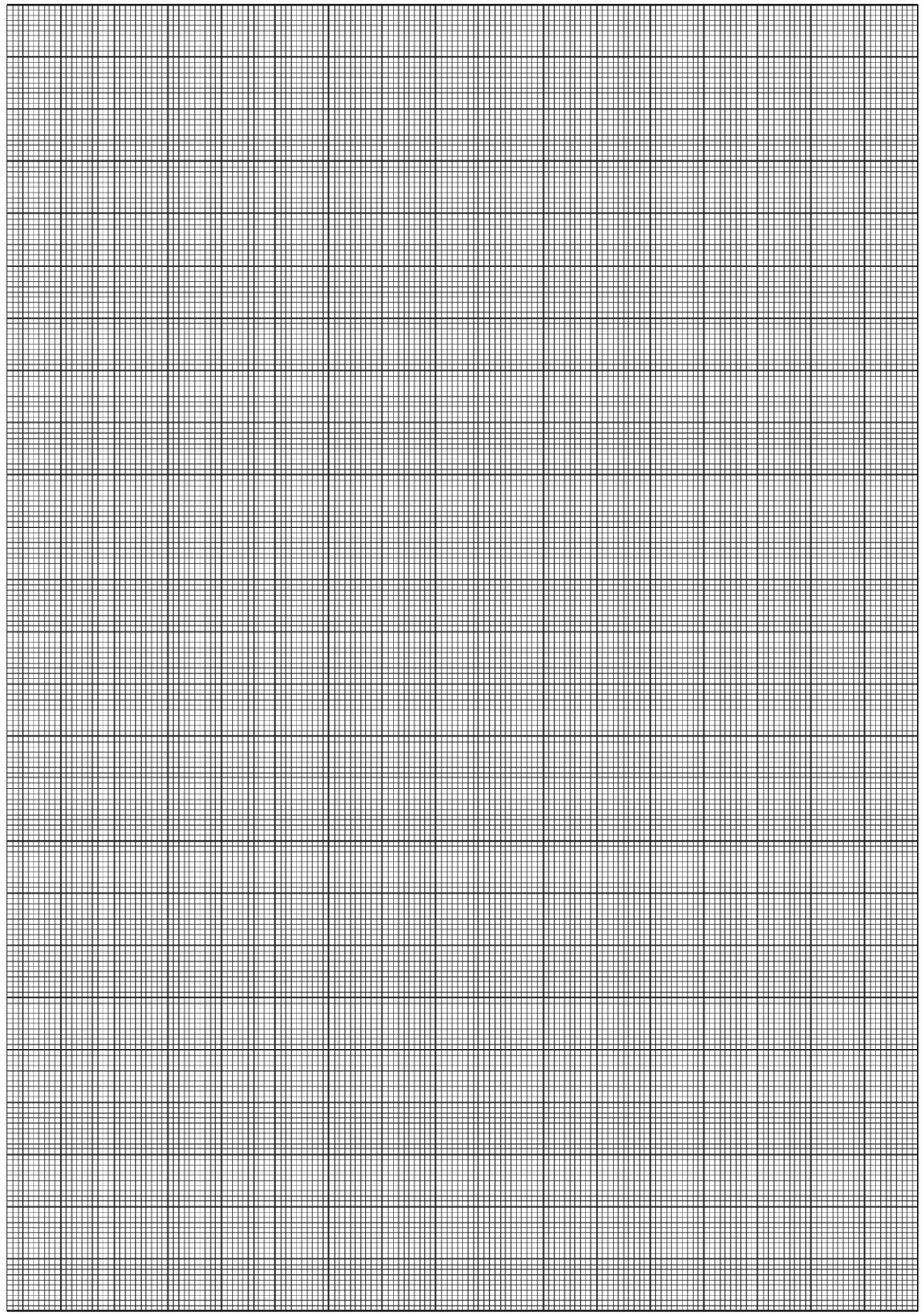
$I/10^{-13}$A			0		
U_{AK}/V					

λ=577nm

$I/10^{-13}$A			0		
U_{AK}/V					

λ/nm	365	405	436	546	577
$\nu = c/\lambda$ /10^{14}Hz					
$\lvert U_a \rvert$/V					

2.4 在直角坐标纸上作出$\lvert U_a \rvert \sim \nu$图（3 分）



2.5 普朗克常数 *h* 的计算（3 分）

2.6 确定光电管阴极材料的ν_0及逸出功 *A*（2 分）

第 28 届全国中学生物理竞赛决赛

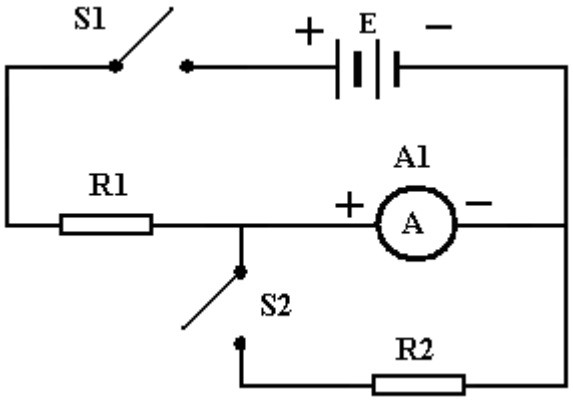
实验试题参考答案及评分标准

2011 年 10 月 30 日

实验一参考答案及评分标准

本题共 30 分。

1、（7 分）利用 100 微安电流表和电阻箱改装成 2.00V 量程的电压表，利用所给元件设计该电压表的校验电路。要求画出测量内阻的电路图、测量原理和结果；自组电压表的示意图和元件的数值。



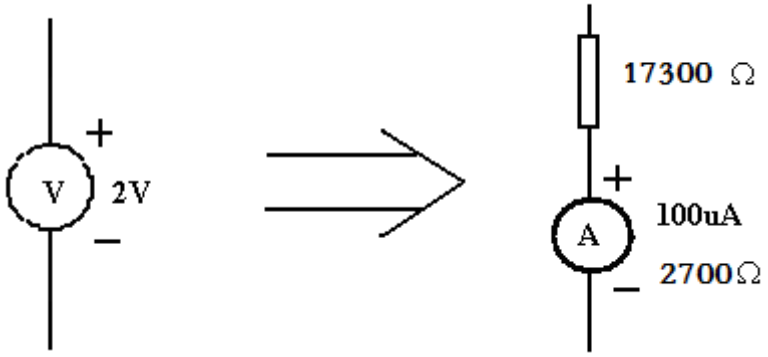
内阻测量采用电流半偏转法，电路如图，R1 和 R2 为电阻箱，先把 R1 调 30k 欧姆，闭合 S1，断开 S2，调节电阻箱 R1 使得 100 微安电流表满偏，然后闭合 S2，调节 R2 使得 100 微安电流表半偏转，此时 R2 的阻值为电流表的内阻值 RG。

实测值电流表半偏时，R2=2500 欧姆。

严格的说，当 S2 闭合后，回路总电阻会降低，当 R2=RG 时，回路总电阻减小了 0.5RG，应该回路总电阻加上补偿，即在 R1 上增加 0.5RG，所以在闭合 S2 调节 R2 使得电流表半偏的过程中，在电阻箱 R1 上增加 0.5R2。此方法称为：回路总电阻补偿的电流半偏法。

回路总电阻补偿的电流半偏法实测值，R2=2700 欧姆。

改装后的电压表电路图为（电流表内阻以实际为准）：



评分标准：

电表内阻测量可以采用其它方法。

（1）电路图及测量原理合理、正确，3 分

使用误差大的方法如：

a:用毫安表检测 100 微安电流变化；b:用 30K 测量微安表内阻；c:使用 E=3V 标称值计算内阻；d:使用滑线变阻器比例值或阻值计算；各 1 分

（2）改装电压表图和参数正确，1 分（有其中之一错误，0 分）

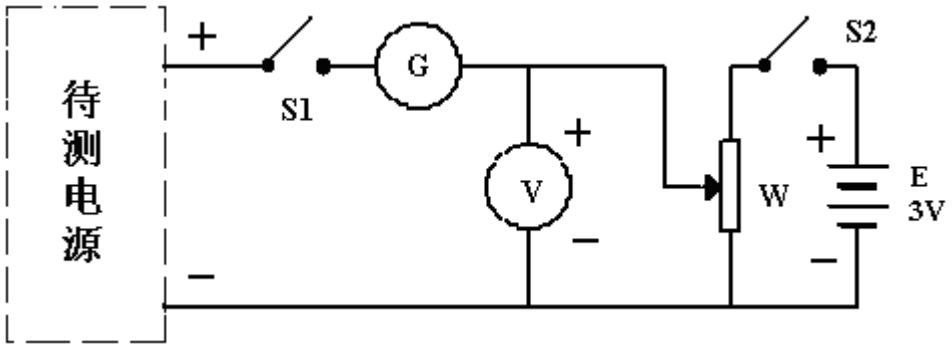
（3）内阻测量结果：

2700±100 欧姆，3 分

2700±200 欧姆， 2 分

2700±300 欧姆， 1 分

2（11 分）画出测量待测电源 E_X 开路电压的电路图，简述测量待测电源 E_X 的开路电压的原理和步骤。



调节滑线变阻器 W，当开关 S_1 闭合、断开时，检流计 G 指针不动时（检流计指示为 0），电压表的示值即为测电源 EX 的开路电压值。

（1）电路图合理、正确，3 分

使用误差大的方法如：

a:利用滑线变阻器比例进行计算；b:利用 E=3V 标称值计算；1 分

（2）说明补偿原理，1 分

（3）标明两个电源极性，1 分

（4）开路电压测量结果

1.62±0.04V，6 分

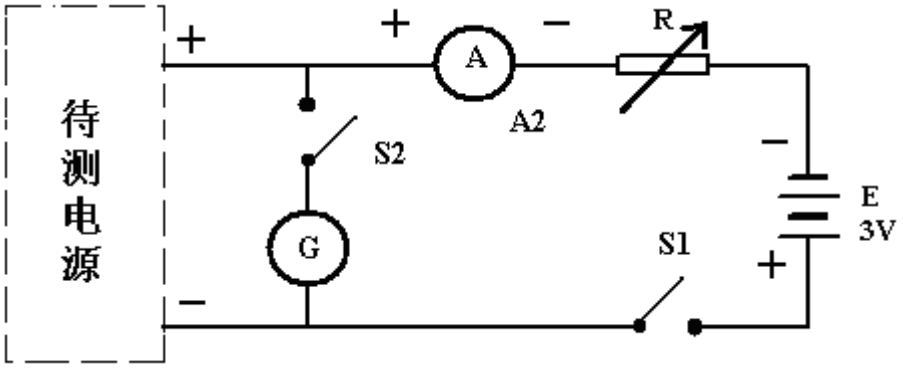
1.62±0.06V，5 分

1.62±0.08V, 4 分

1.62±0.1V， 3 分

超出范围 0 分

3（12 分）画出测量电源 E_X 短路电流的电路图，简述测量电源 E_X 短路电流的原理和步骤。



评分：

电路图评分：

（1） 电路图合理、正确，3 分

使用误差大的方法如：

a:利用滑线变阻器比例进行计算；b:利用 E=3V 标称值计算；1 分

（2）两个电源极性均正确，2 分

（3）短路电流测量结果

14. 5±0.5mA ，7 分；

14.5±0.6 mA ，6 分；

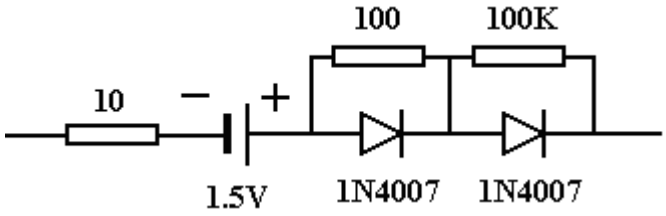
14.5±0.7 mA ，4 分；

14.5±0.8mA ，2 分；

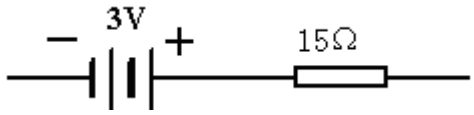
少于三位有效数字，扣 1 分

电源结构：

一、待测电源 EX 为非线性内阻电源，结构如下：



二、标称值 3V 直流电压源 E 结构如下：

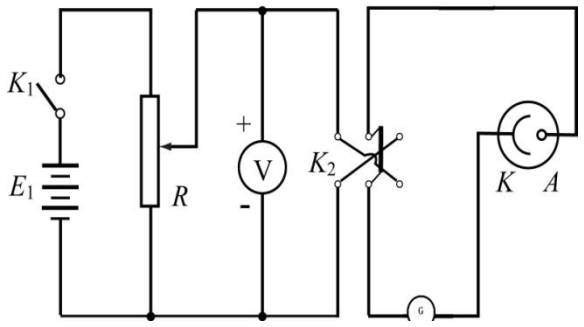


实验试题二参考答案及评分标准

本题共 30 分。

1、测定光电管的伏安特性（14 分）

1.1 实验电路图（3 分）



电路图

1.2 实验步骤（3 分）

① 将加挡光盖的汞灯及光电管安装在光具座上，使二者的输出、输入口正对，调 s=40.0cm，用专用电缆线将光电管与实验仪的“微电流输入”连接，接通汞灯及实验仪预热；

② 按电路图接线。电压表选 30V 档，在光电管入光孔上加ϕ=8mm 光阑及 436nm 滤光片，选量程最大档，微电流计调零后开始试测，确定用 10^{-10}A（或 10^{-11}A）档测量；

③ 用 K_2 使光电管加反向电压，改变电位器 R，测量 U_{AK} 为-3~0V 对应的光电流 I，然后用 K_2 加正向电压，测 0~30 V 对应的光电流；

④ 将光阑换为ϕ=4mm，2 mm，重复③，测量 U_{AK}、I 值。

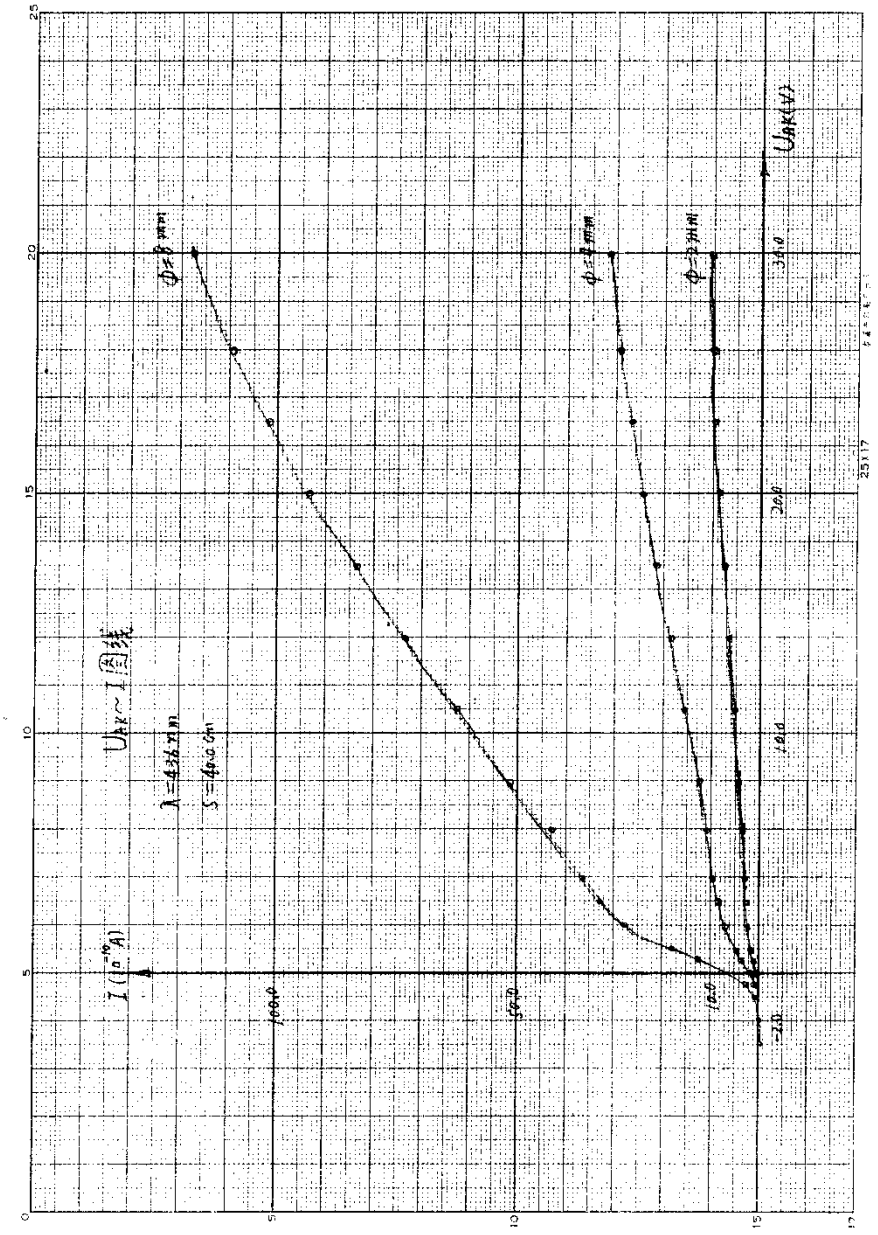
1.3 数据记录（5 分）

λ＝436nm，S=40.0cm

U_{AK}/V		-3.0	-2.0	-1.0	-0.6	0	0.6	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
$I/10^{-10}$ A	ϕ/8mm	-0.1	-0.1	0.6	3.8	7.4	13.1	18.0	27.5	33.0	36.6	43.0	51.3
	ϕ/4mm	0.0	0.0	0.0	0.8	1.7	3.1	4.3	7.0	8.5	9.3	10.7	12.7
	ϕ/2mm	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	1.0	1.4	2.2	2.9	3.1	3.6	4.3

U_{AK}/V		11.0	14.0	17.0	20.0	23.0	26.0	30.0
$I/10^{-10}$ A	ϕ /8mm	63.0	73.9	83.5	93.3	101.8	109.8	118.4
	ϕ /4mm	15.8	18.9	21.8	24.5	26.9	29.0	31.4
	ϕ /2mm	5.4	6.3	7.5	8.4	9.3	10.0	10.5

1.4 U_{AK}~I 图（3 分）



2、测定普朗克常数、截止频率及逸出功（16 分）

2.1 实验公式推导及原理简述（1 分）

光电效应方程为：$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + A$ （1）

当光电管两极电压达到截止电压时，有：$\frac{1}{2}mv_m^2 = eU_a$ （2）

截止频率的定义为：$A = h\nu_0$ （3）

将（2）、（3）代入（1）式，则：$U_a = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$， （4）

即U_a与频率ν成线性关系。

实验原理：由式（4）可知，测出不同频率光照射光电管的截止电压U_a与照射光频率ν的关系直线，则由直线的斜率 K 可以求出普朗克常数 $h=eK$,直线与横轴的截距为截止频率ν_0，由式（3）可以求出逸出功 A.

2.2 实验步骤（2 分）

（1）用专用连接线将光电管电压输入端与实验仪电源输出端连接,使用-2~+2（或-2~0）V 档;

（2）选定光阑ϕ=4mm，s=30.0cm，。将光电管与实验仪内的微电流计Ⓖ用专用电缆线连接。然后断开连接 A 的导线，旋转“电流调零”钮，使电流指示为零。**（或将调零/测量开关切换为“调零”，旋转“电流调零”钮，使电流指示为零。）**

（3）分别将 λ=365nm,405nm,436nm,546nm,577nm 的滤光片装在光电管进光口上，从低到高调节电压，测量并记录光电流为零及两边的 5 组数据，确定使光电流为零的截止电压U_a。

（4）电流计用 10^{-12}（或 10^{-13}A）档。

2.3 数据记录（5 分）

S=30.0cm， ϕ=4mm

λ=365nm

$I/10^{-13}$A	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{AK}/V	-1.995	-1.978	-1.905	-1.760	-1.705

λ=405nm

$I/10^{-13}$A	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{AK}/V	-1.682	-1.643	-1.548	-1.354	-1.288

λ =436nm

$I/10^{-13}$ A	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{AK}/V	-1.366	-1.335	-1.299	-1.213	-1.168

λ =546nm

$I/10^{-13}$A	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{AK}/V	-0.754	-0.750	-0.730	0.684	-0.639

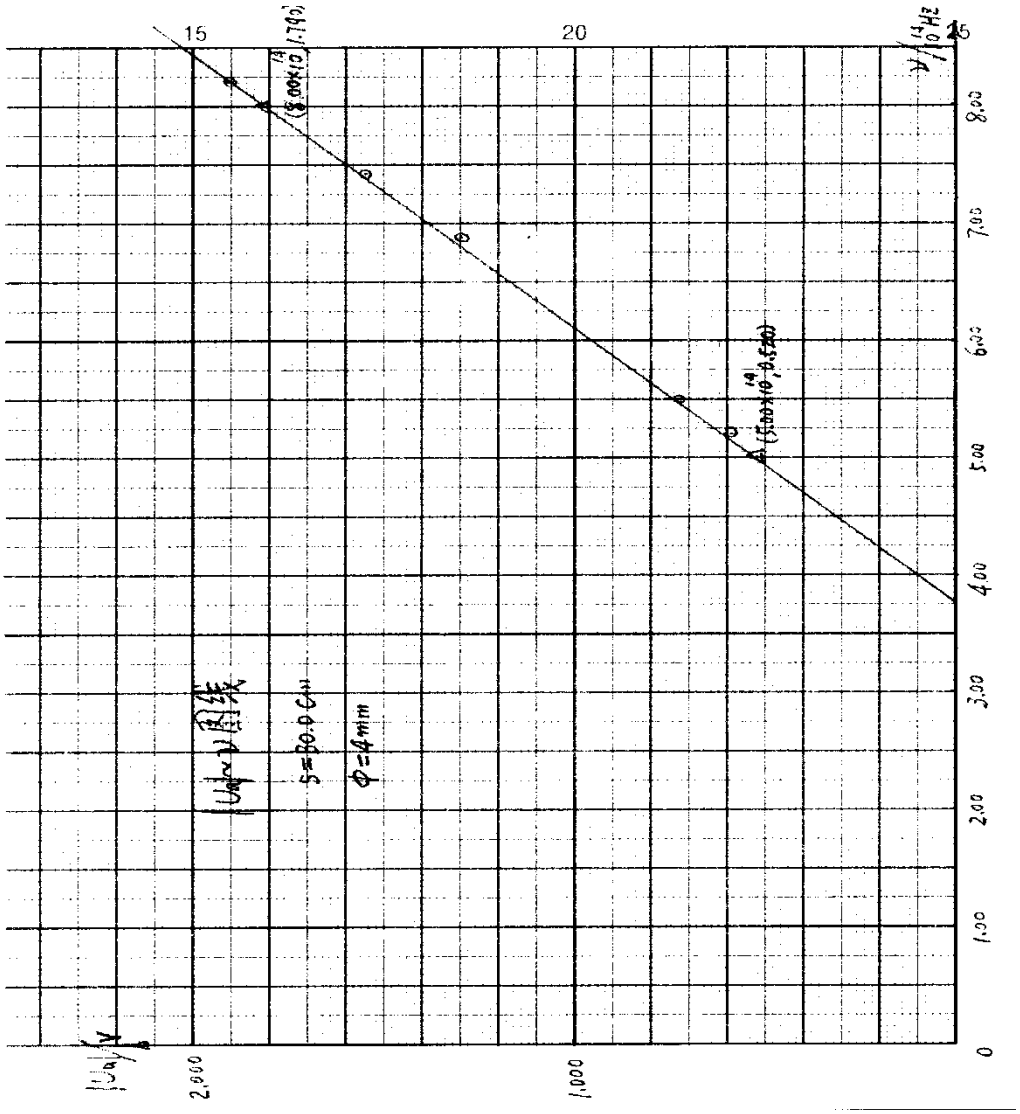
λ =577nm

$I/10^{-13}$A	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{AK}/V	-0.661	-0.651	-0.590	0.478	-0.421

根据以上数据，得：

λ/nm	365	405	436	546	577
$v= c/\lambda$ /10^{14}Hz	8.22	7.41	6.88	5.49	5.20
$\lvert U_a \rvert$/V	1.905	1.548	1.299	0.730	0.590

2.4　$|U_a|$~ν 图（3 分）



2.5 计算普朗克常数 h（3 分）

斜率：

$$K=\frac{1.790-0.520}{(8.00-5.00)\times10^{14}}=\frac{1.270}{3.00\times10^{14}}=4.23\times10^{-15}\,\mathrm{V/Hz},$$

$$h=eK=1.60\times10^{-19}\times4.23\times10^{-15}=6.77\times10^{-34}\,\mathrm{Js},$$

2.6 读取光电管阴极材料的 ν_0 及计算逸出功 A（2 分）

从 $|U_a|$~ν 图线的横轴截距得：

$\nu_0=3.76\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$，　$A=h\nu_0=2.55\times10^{-19}\,J=1.59\,\mathrm{eV}$。

评分细则：

1.1　电路图中不用k_2换向，其它均正确，给 2.5 分；电压表位置错或没有，扣 1 分；检流计位置错或没有，扣 1 分；分压错，扣 1 分；无分压，0 分。

1.2　步骤中涵盖两项内容，给 2 分；1 项，给 1 分；满 3 项，2.5 分。

1.3 （1）根据每台仪器的实际电流值来判断数据的准确性，变化趋势正确，-3V、0V、2V、20V 和 30V 的数据偏离在 20%之内，5 分；其余按照偏离程度，酌情给分；超出 50%，0 分；量程错，扣 1 分。

（2）有效数字记录有错，扣 1 分。

1.4　U_{AK}～I 图中

（1）图名、 λ，S、ϕ 出现一项，0.5 分；

（2）坐标轴标度、物理量及单位各 0.5 分；

（3）曲线光滑连续各 0.5 分；少 1 项，扣 1 分；自变量、因变量错，扣 0.5 分。

2.1 写出$\frac{1}{2}m\upsilon_m^2 = eU_a$， $A = h\nu_0$， $U_a = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$，$h=eK$，四个公式，1 分；写出其中 2 或 3 个给 0.5 分。

2.2 （1）Ⓖ调零，1 分；

（2）步骤全对，1 分；涵盖两项以上内容，0.5 分。

2.3 （1）v 的有效数字三位，0.5 分；

（2）测出 5 组 U_a 数据，0.5 分；

（3）U_a 数值偏离实际值 30%之内，有效数字正确，4 分；大于 30%，0 分。

根据每台仪器的 U_a 数据来判断数据的准确性，10%之内，5 分；其余按照偏离程度，酌情给分，超出 30%，0 分。

2.4　$|U_a|$~v 图中

（1）直线、光滑，1 分；

（2）特征点，1 分；

（3）坐标轴标度，1 分。

2.5　（1）K 数值在（2.96~5.50）×10^{-15}，有过程（计算式），1 分；

（2）h 数值在（6.000~7.252）×10^{-34}Js，1 分；有效数字错，扣 0.5 分；无单位，扣 0.5 分；

2.6　（1）ν_0 在$(3.40 \sim 4.10)\times 10^{14}$ Hz，单位正确，1 分；

（2）A 在$(2.25 \sim 2.71)\times 10^{-19}$ J 或$(1.41 \sim 1.69)$ eV，1 分，（A 必须有算式，且单位正确）。