实验十八：弗兰克-赫兹实验

朱寅杰 1600017721

2018 年 3 月 16 日

18.1 Hg 和 Ar 第一激发态的测量

对于 Hg 管，管内温度调至176 ℃。导流电压取为 $U_{Kg1} = 1.51\,\text{V}$，减速电压取为 $U_{g2p} = 2.06\,\text{V}$，测一条输出电流（经过放大器转化为电压信号）随扫描电压 U_{Kg2} 变化的伏安曲线。实验数据见数据页前两栏，所得图线见图 1(a)。从图中读出几个电压峰值的位置分别在4.70 V、9.51 V、14.24 V、19.17 V、24.15 V、29.20 V处，各数据允差均取0.05 V。用 Origin 做最小二乘，得到斜率为$(4.896 \pm 0.030)\,\text{V}$，相关系数为0.999 93。合成入允差，得斜率为$(4.896 \pm 0.034)\,\text{V}$。因此认为汞的第一激发态能级测得为$(4.90 \pm 0.03)\,\text{eV}$。

对于 Ar 管，灯丝电压调至2.8 V，减速电压取为7.5 V，导流电压取为2.0 V，手动操作扫描电压 U_{Kg2}，测一条输出电流（经过放大器转化为电压信号）随之变化的伏安曲线，数据见数据页第三栏，所得图线见图 1(b)。从图中读出几个电压峰值的位置分别在17.7 V、28.8 V、40.2 V、52.0 V、64.9 V、77.8 V处。由于数据点比较稀疏，Ar 管的电流值的弛豫时间也远比 Hg 管长，因此在找峰过程中判断各数据允差均取0.5 V。用 Origin 做最小二乘，得到斜率为$(12.017 \pm 0.198)\,\text{V}$，相关系数为0.999 46。合成入允差，得斜率为$(12.017 \pm 0.261)\,\text{V}$。因此认为氩的第一激发态能级测得为$(12.0 \pm 0.3)\,\text{eV}$。
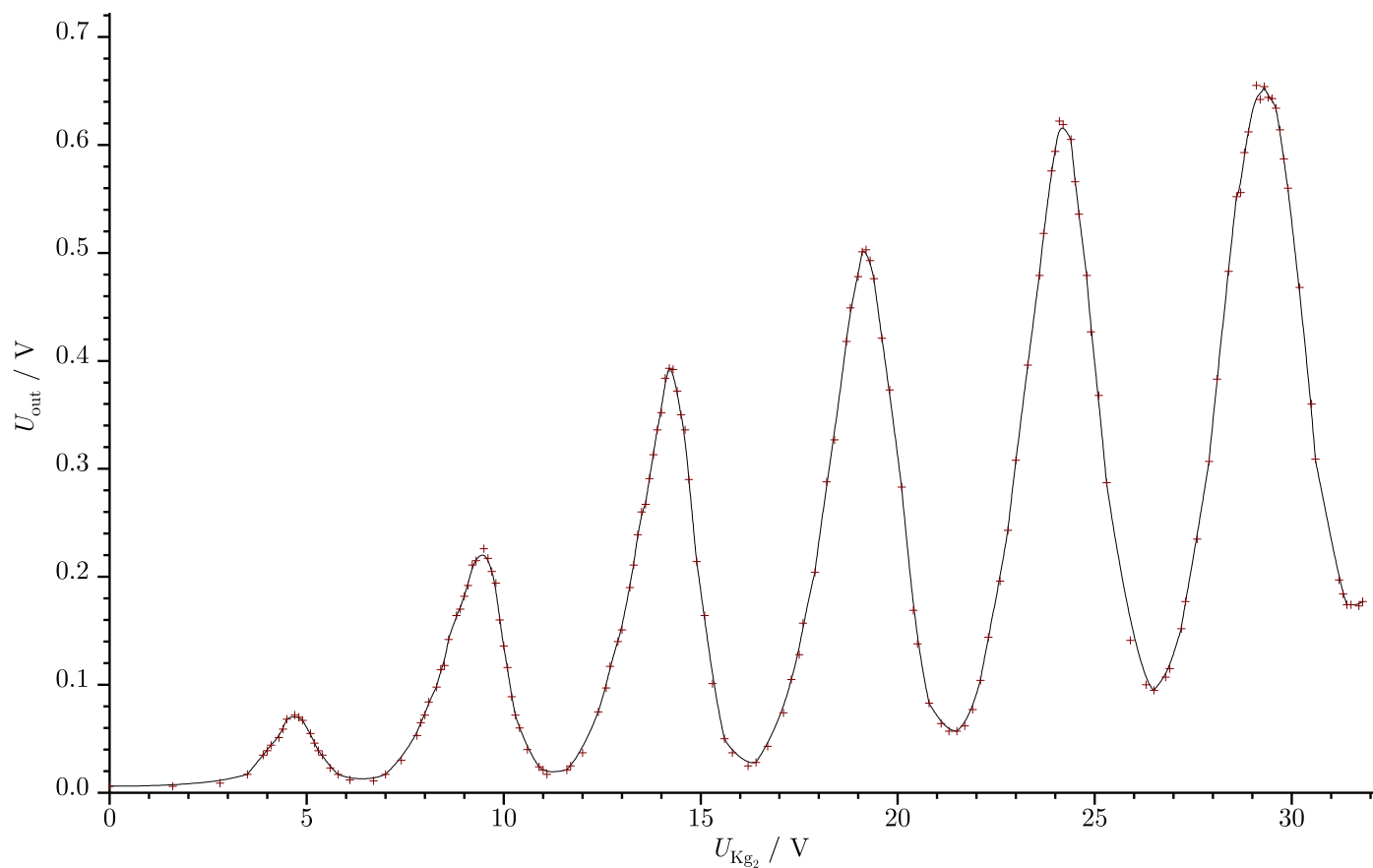
18.2 分析导流电压和减速电压对 Ar 管特性的影响

分别控制减速电压 U_{g2p} 与导流电压 U_{Kg1}，使用自动模式对 Ar 管的伏安特性进行快速扫描并作出图像。灯丝电压保持为2.8 V不变，减速电压分别取7.5 V、9.0 V、6.0 V，导流电压分别取2.0 V、1.2 V、3.6 V，共测了五组数据（见数据页四至八列），分成两个控制变量序列作图，图线见图 2(a)、(b)。从图 2(a) 中可见，减速电压越大，电流的峰越矮，同时也出现得越晚。这并不难理解，因为减速电压越大，要使电子能顺利到达阳极的加速电压的起点也就越大；并且在电流的谷的位置，减速电压越大电流也就被拦截得越小。从图 2(b) 中可见，导流电压越大，电流的峰越矮，这就比较匪夷所思。查实验记录，我应该没有把1.2 V和3.6 V的两组数据记反（因为是先测一组再测另一组的，手机视频的时间戳不会骗人），但也不能完全排除这种可能，需要再做一次实验确认一下到底是记反了还是规律本就如此。
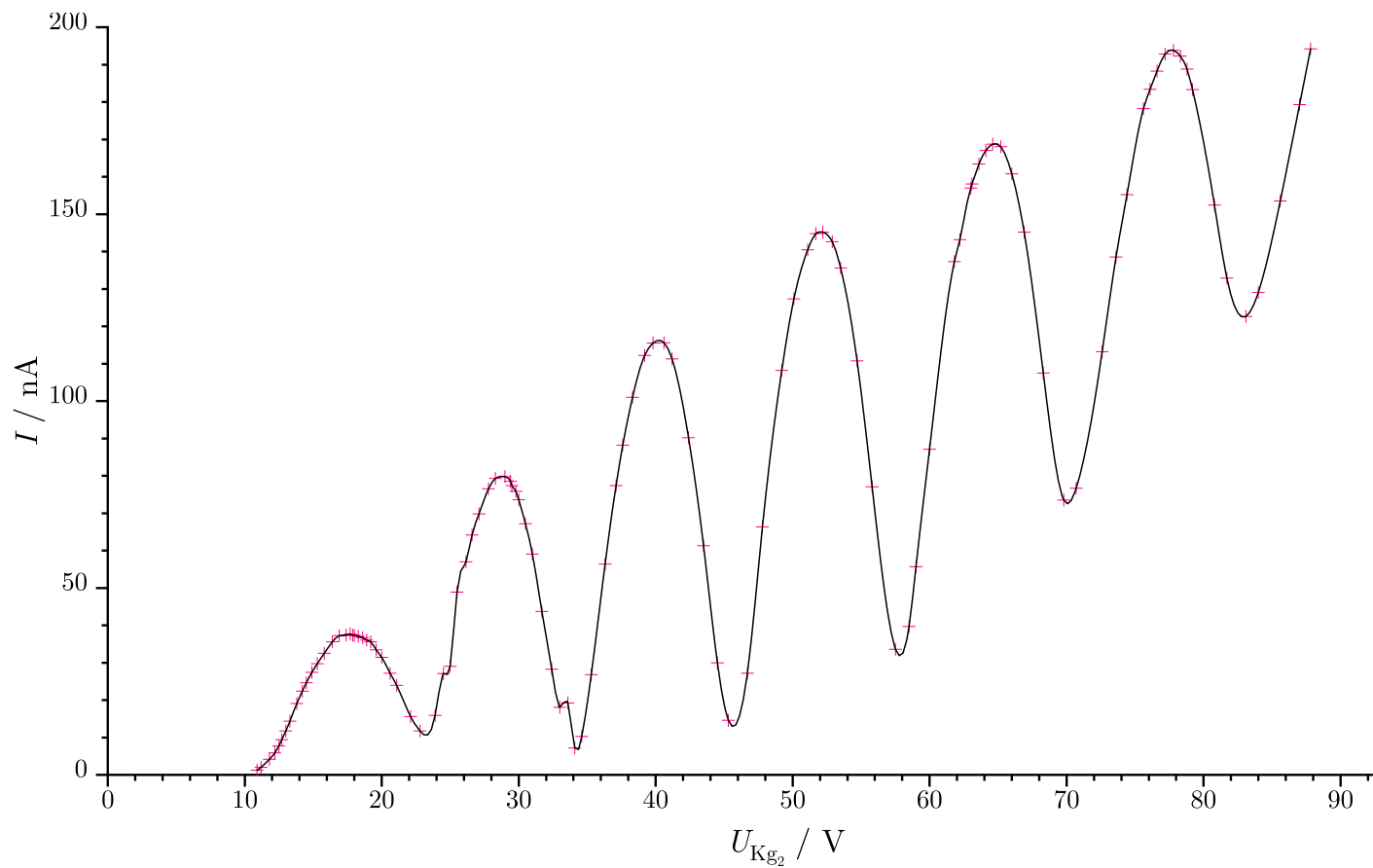
18.3 说明

后面几幅图线均是使用样条函数连接的，所以数据点越稀疏的图线画出来越好看，像数据点很多的 Hg 管图线就很丑陋。

所用的 Hg 管的响应十分快，调节扫描电压后很快就能得到一个稳定的（转化为电压信号的）电流值。因此 Hg 管的数据点就可以取得很仔细，找峰时人的信心很足，所以估计出一个很小的允差；Ar 管的响应就非常慢，特别是在电流急剧变化时，屏幕上的显示值会需要经过数分钟才能达到平衡值，并且弛豫的距离还很长，因此难以在"把握测量节奏"的同时很仔细地选取数据点，对测得的数据也没有什么信心，找峰时允差会估计得比较大。在手动测量图中可以看到有一两处有明显的卡顿，应该就是节奏不稳弛豫时间不同造成的不光滑。

| Hg管_176℃/1.51V/2.06V 扫描电压/V	输出电压/V	(续) 扫描电压/V	输出电压/V	Ar管_手动_2.8V/2.0V/7.5V 扫描电压/V	电流/nA	Ar管_自动_2.8V/2.0V/7.5V 扫描电压/V	电流/nA	Ar管_自动_2.8V/2.0V/9.0V 扫描电压/V	电流/nA	Ar管_自动_2.8V/2.0V/6.0V 扫描电压/V	电流/nA	Ar管_自动_2.8V/1.2V/7.5V 扫描电压/V	电流/nA	Ar管_自动_2.8V/3.6V/7.5V 扫描电压/V	电流/nA
0.0	0.006	16.2	0.025	0.0	0.0	9.1	5.2	10.1	0.8	6.7	1.9	8.9	1.9	9.2	1.1
1.6	0.006	16.4	0.028	10.9	1.2	10.0	16.7	11.0	6.5	7.6	5.1	9.9	12.2	10.0	5.2
2.8	0.009	16.7	0.043	11.2	2.0	11.0	33.0	12.0	18.8	8.6	15.2	10.8	35.0	11.0	13.6
3.5	0.017	17.1	0.074	11.8	4.2	11.9	47.5	12.9	32.2	9.5	31.3	11.8	58.8	11.9	22.3
3.9	0.035	17.3	0.105	12.2	5.9	12.8	57.1	13.9	42.9	10.5	49.0	12.7	74.6	12.9	29.1
4.0	0.039	17.5	0.128	12.5	7.7	13.8	63.5	14.8	50.7	11.4	60.7	13.7	84.0	13.8	33.9
4.1	0.044	17.6	0.157	12.7	9.4	14.7	68.0	15.7	56.0	12.4	67.2	14.6	90.0	14.8	37.5
4.3	0.051	17.9	0.204	13.0	11.7	15.6	70.6	16.7	58.9	13.3	71.1	15.6	93.3	15.7	40.0
4.4	0.059	18.2	0.288	13.3	14.4	16.6	71.7	17.6	58.5	14.3	73.3	16.6	94.2	16.7	41.8
4.5	0.068	18.4	0.327	13.8	19.1	17.5	69.9	18.6	53.6	15.2	75.5	17.5	91.7	17.7	41.7
4.7	0.072	18.7	0.418	14.2	22.4	18.4	64.7	19.5	45.1	16.2	76.3	18.5	82.7	18.6	39.1
4.8	0.070	18.8	0.449	14.5	24.6	19.4	54.7	20.5	34.7	17.1	73.8	19.4	68.9	19.6	34.1
4.9	0.067	19.0	0.478	14.9	27.4	20.3	42.6	21.4	24.4	18.0	67.1	20.4	52.2	20.5	27.0
5.1	0.055	19.1	0.501	15.3	29.7	21.2	30.7	22.3	15.7	19.0	56.2	21.4	36.3	21.5	20.0
5.2	0.046	19.2	0.503	15.8	32.5	22.1	22.3	23.3	11.3	19.9	44.1	22.3	26.4	22.4	15.4
5.3	0.039	19.3	0.493	16.4	35.6	23.0	23.2	24.2	18.8	20.9	33.9	23.3	29.5	23.4	17.4
5.4	0.035	19.4	0.476	16.9	37.2	24.0	38.8	25.2	39.5	21.8	32.4	24.2	52.3	24.3	28.8
5.6	0.023	19.6	0.421	17.4	37.4	24.9	60.9	26.1	60.8	22.8	44.0	25.2	80.9	25.3	42.6
5.8	0.017	19.8	0.373	17.7	37.7	25.8	78.6	27.0	75.9	23.7	63.1	26.1	102.4	26.2	52.8
6.1	0.012	20.1	0.283	17.9	37.4	26.7	89.3	28.0	83.4	24.7	79.6	27.1	114.4	27.2	59.3
6.7	0.011	20.4	0.169	18.0	37.3	27.6	94.1	28.9	83.5	25.6	90.5	28.1	118.3	28.1	62.1
7.0	0.017	20.5	0.138	18.3	37.1	28.5	92.9	29.9	75.6	26.6	96.0	29.0	114.8	29.1	60.9
7.4	0.030	20.8	0.083	18.6	36.7	29.5	85.3	30.8	60.5	27.5	97.5	30.0	101.9	30.0	55.3
7.8	0.053	21.1	0.064	18.9	36.1	30.4	70.4	31.8	41.7	28.4	94.5	30.9	80.1	31.0	44.3
7.9	0.065	21.3	0.057	19.2	35.6	31.3	50.4	32.7	23.9	29.3	85.7	31.9	53.7	31.9	30.8
8.0	0.072	21.5	0.057	19.6	33.4	32.2	30.9	33.6	11.3	30.2	69.7	32.8	30.4	32.9	18.5
8.1	0.084	21.7	0.062	20.0	31.4	33.1	16.9	34.6	4.3	31.1	49.2	33.8	16.9	33.8	10.8
8.3	0.098	21.9	0.077	20.6	27.2	34.0	14.1	35.5	10.3	32.1	31.5	34.7	21.9	34.8	13.4
8.4	0.114	22.1	0.104	21.1	23.9	34.9	31.0	36.5	34.4	33.0	24.9	35.7	52.1	35.7	30.4
8.5	0.118	22.3	0.144	22.1	15.6	35.9	61.4	37.4	64.4	33.9	38.9	36.6	89.6	36.7	52.6
8.6	0.142	22.6	0.196	22.8	11.7	36.8	88.6	38.3	88.1	34.8	66.8	37.5	118.9	37.6	70.4
8.8	0.164	22.8	0.243	23.9	15.9	37.7	107.1	39.3	102.2	35.7	92.6	38.4	140.0	38.5	81.5
8.9	0.170	23.0	0.308	24.5	27.1	38.6	116.0	40.2	106.7	36.6	110.0	39.4	142.8	39.5	86.6
9.0	0.182	23.3	0.396	25.0	29.0	39.5	118.0	41.2	103.2	37.5	119.0	40.3	140.4	40.4	86.5
9.1	0.192	23.6	0.479	25.5	48.9	40.4	112.9	42.1	89.8	38.4	122.0	41.2	129.3	41.4	80.8
9.2	0.211	23.7	0.518	26.2	57.0	41.4	100.7	43.0	70.2	39.4	120.2	42.1	109.0	42.3	69.5
9.3	0.215	23.9	0.576	26.6	64.2	42.3	81.5	44.0	47.3	40.3	113.1	43.1	80.9	43.3	52.8
9.5	0.226	24.0	0.594	27.1	69.8	43.2	57.4	44.9	26.3	41.2	99.1	44.0	50.8	44.2	34.4
9.6	0.217	24.1	0.622	27.8	76.5	44.1	34.2	45.9	11.1	42.1	78.3	44.9	27.2	45.2	19.1
9.7	0.205	24.2	0.619	28.3	79.3	45.0	18.7	46.8	4.0	43.0	53.7	45.9	19.7	46.1	12.9
9.8	0.194	24.4	0.605	29.0	79.8	45.9	19.0	47.8	14.8	43.9	35.0	46.8	38.9	47.1	23.5
9.9	0.160	24.5	0.566	29.4	78.5	46.8	40.6	48.7	41.2	44.8	34.6	47.7	74.3	48.0	46.1
10.0	0.136	24.6	0.536	29.5	77.4	47.8	70.8	49.6	70.8	45.7	55.8	48.6	109.1	49.0	70.1
10.1	0.116	24.8	0.479	29.8	75.8	48.7	98.6	50.6	96.4	46.6	84.4	49.6	136.6	49.9	89.8
10.2	0.089	24.9	0.427	30.0	73.6	49.6	119.6	51.5	113.9	47.6	109.9	50.5	154.1	50.7	103.3
10.3	0.072	25.1	0.368	30.5	67.2	50.5	132.6	52.5	122.9	48.5	128.5	51.4	161.9	51.6	110.0
10.4	0.060	25.3	0.287	31.0	59.1	51.4	138.3	53.4	123.4	49.4	139.5	52.3	161.6	52.4	111.1
10.6	0.040	25.9	0.141	31.7	43.7	52.3	137.1	54.2	115.5	50.3	144.5	53.3	152.1	53.2	106.2
10.9	0.024	26.3	0.100	32.4	28.3	53.3	128.8	55.0	100.5	51.2	144.1	54.2	134.1	54.1	96.3
11.0	0.021	26.5	0.095	33.0	18.1	54.2	114.4	55.8	80.2	52.1	138.5	55.1	108.7	54.9	79.8
11.1	0.017	26.8	0.107	33.6	19.2	55.1	93.2	56.6	57.4	53.0	127.1	56.1	79.6	55.7	60.0
11.6	0.021	26.9	0.115	34.1	7.2	56.0	69.2	57.4	36.2	53.9	108.2	57.0	52.9	56.6	40.9
11.7	0.025	27.2	0.152	34.6	10.3	56.8	46.9	58.2	20.5	54.8	85.0	57.9	39.5	57.4	28.5
12.0	0.037	27.3	0.177	35.3	26.8	57.6	33.8	59.1	16.8	55.8	63.0	58.8	48.7	58.2	31.0
12.4	0.075	27.6	0.235	36.3	56.4	58.4	38.9	59.9	30.2	56.7	53.8	59.8	72.5	59.1	46.4
12.6	0.097	27.9	0.307	37.1	77.4	59.2	57.7	60.7	52.4	57.6	63.2	60.7	102.1	59.9	67.7
12.7	0.117	28.1	0.383	37.6	88.2	60.0	81.9	61.5	77.7	58.5	83.1	61.6	130.3	60.8	89.3
12.9	0.140	28.4	0.483	38.3	101.0	60.8	106.7	62.3	101.1	59.4	106.5	62.5	153.6	61.6	108.3
13.0	0.151	28.6	0.552	39.2	112.2	61.6	127.7	63.1	120.4	60.3	128.3	63.5	170.2	62.4	122.5
13.2	0.190	28.7	0.556	39.8	115.5	62.4	143.6	63.9	133.4	61.2	145.7	64.4	179.7	63.3	131.6
13.3	0.211	28.8	0.593	40.6	115.6	63.2	154.2	64.7	139.5	62.1	158.2	65.3	181.6	64.1	135.2
13.4	0.239	28.9	0.612	41.2	111.3	64.0	158.5	65.5	138.7	63.1	166.2	66.1	175.8	64.9	133.4
13.5	0.260	29.1	0.655	42.4	90.2	64.8	156.7	66.3	131.1	64.0	168.6	67.0	162.2	65.8	125.6
13.6	0.267	29.2	0.642	43.5	61.3	65.6	148.4	67.1	117.4	64.9	166.0	67.8	141.8	66.6	112.5
13.7	0.291	29.3	0.654	44.5	30.0	66.4	134.4	67.9	99.4	65.8	157.4	68.7	116.8	67.4	95.0
13.8	0.313	29.4	0.644	45.3	14.6	67.2	115.3	68.8	79.1	66.7	142.8	69.5	93.1	68.3	76.3
13.9	0.336	29.5	0.643	46.7	27.2	68.0	94.1	69.6	59.3	67.5	124.0	70.4	78.5	69.1	61.6
14.0	0.352	29.6	0.634	47.8	66.3	68.8	75.5	70.4	46.1	68.3	104.6	71.2	78.6	69.9	57.1
14.1	0.384	29.7	0.614	49.2	108.2	69.6	67.0	71.2	44.1	69.1	93.0	72.1	89.8	70.8	62.4
14.2	0.393	29.8	0.587	50.1	127.3	70.4	69.7	72.0	51.8	69.9	92.3	72.9	108.8	71.6	75.6
14.3	0.392	29.9	0.560	51.1	140.5	71.2	81.0	72.8	67.2	70.7	101.0	73.8	130.7	72.4	92.3
14.4	0.372	30.2	0.468	51.7	144.8	72.0	97.9	73.6	85.9	71.5	115.8	74.6	152.6	73.3	110.4
14.5	0.350	30.5	0.360	52.2	145.2	72.8	117.0	74.4	105.7	72.2	133.1	75.5	172.8	74.1	127.4
14.6	0.336	30.6	0.309	52.9	142.6	73.6	135.8	75.2	124.2	73.0	150.7	76.3	189.0	74.9	142.3
14.7	0.290	31.2	0.197	53.5	135.6	74.4	153.2	76.0	140.0	73.8	166.9			75.8	153.8
14.9	0.214	31.3	0.184	54.7	110.7	75.2	167.2	76.8	151.7	74.6	180.5			76.6	161.2
15.1	0.164	31.4	0.174	55.8	77.1	76.0	177.3	77.6	158.3	75.4	190.6			77.5	163.8
15.3	0.101	31.5	0.174	57.5	33.6	76.8	182.8	78.4	160.3	76.2	196.9			78.3	161.8
15.6	0.050	31.7	0.173	58.5	39.7	77.6	183.8	79.3	156.5	77.0	198.8			79.1	154.5
15.8	0.037	31.8	0.177	59.0	55.7	78.4	179.1	80.1	147.8	77.8	195.9			80.0	143.0
				60.0	87.1	79.2	169.3	80.9	135.1	78.6	188.0			80.8	128.8
				61.8	137.3	80.0	156.2	81.7	119.6	79.4	176.1			81.6	115.5
				62.2	143.2	80.8	140.6	82.5	104.1	80.2	162.2			82.5	105.8
				63.0	157.0	81.6	127.1	83.3	92.5	81.0	151.5			83.3	102.0
				63.1	158.1	82.4	117.9	84.1	86.0	81.7	144.5			84.1	104.0
				63.6	163.4	83.2	114.7	84.8	85.7	82.5	143.6			85.0	110.9
				64.1	167.0	84.0	117.4	85.5	91.1	83.3	147.9			85.8	121.6
				64.6	168.7	84.8	124.9	86.2	100.6	84.1	156.2			86.4	134.8
				65.2	168.0	85.6	136.3	87.0	113.7	84.9	167.7			87.1	149.0
				66.0	160.8	86.4	149.5	87.7	127.7	85.7	180.5			87.7	163.0
				66.9	145.2	87.2	163.8	88.4	142.6	86.5	194.3			88.4	176.0
				68.3	107.5	88.0	178.2	89.1	156.7					89.1	187.1
				69.8	73.5	88.8	191.4	89.7	168.9					89.8	195.8
				70.7	76.7			90.3	179.2						
				72.6	113.2			90.9	186.3						
				73.6	138.5			91.5	190.9						
				74.4	155.2			92.1	192.0						
				75.6	178.2			92.6	190.2						
				76.1	183.4			93.2	185.8						
				76.6	188.3			93.8	179.4						
				77.2	192.8			94.4	171.9						
				77.8	193.8			95.0	164.9						
				78.3	192.3										
				78.8	188.8										
				79.2	183.3										
				80.8	152.4										
				81.7	132.9										
				83.1	122.6										
				84.0	129.0										
				85.6	153.5										
				87.0	179.3										
				87.8	194.2										

顶栏所标注的参数依次为：灯丝电压(Ar管)或是管温(Hg管)|导流电压|减速电压。
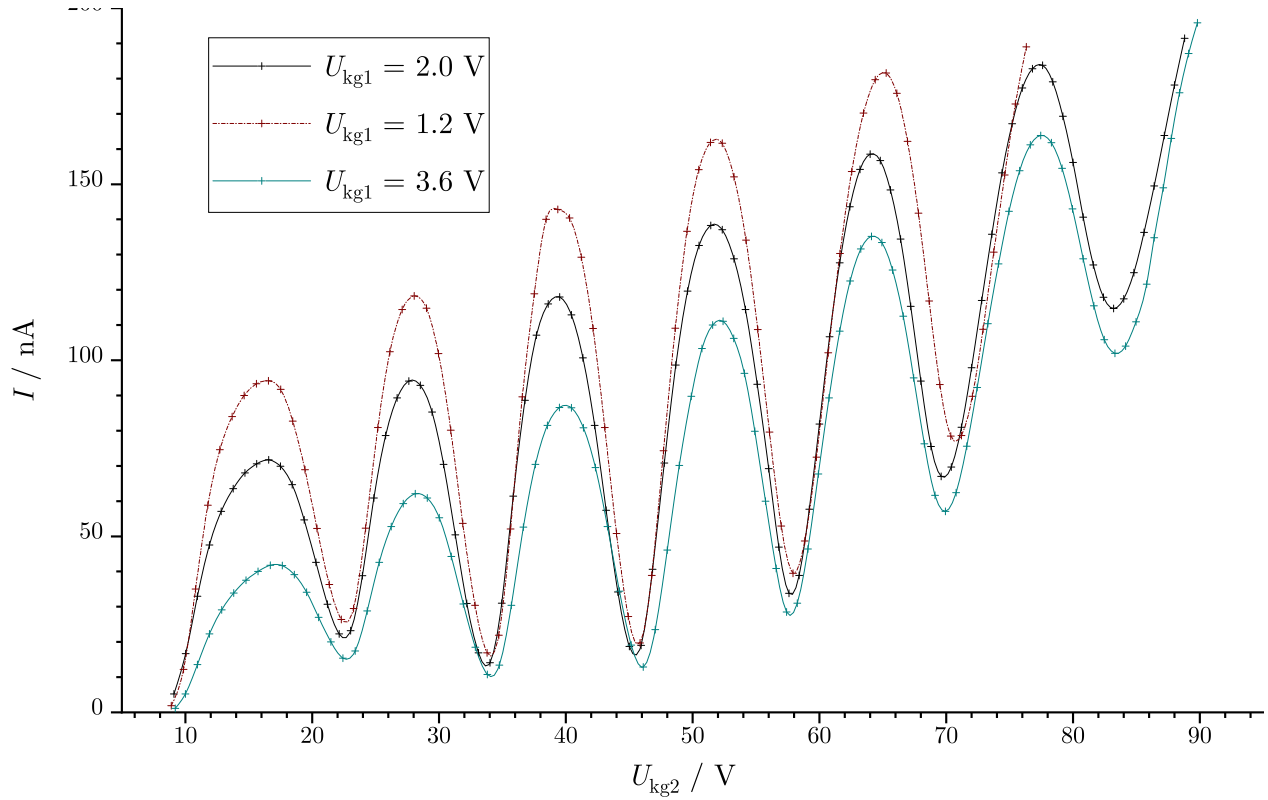
(a) Hg 管的测量结果。横轴为扫描电压，纵轴为经过放大器转化为电压信号的电流强度。

(b) Ar 管的测量结果。横轴为扫描电压，纵轴为电流强度。

图 1: Hg 管和 Ar 管的手动测量图线。从中找峰得到 Hg 和 Ar 能级的测量结果。
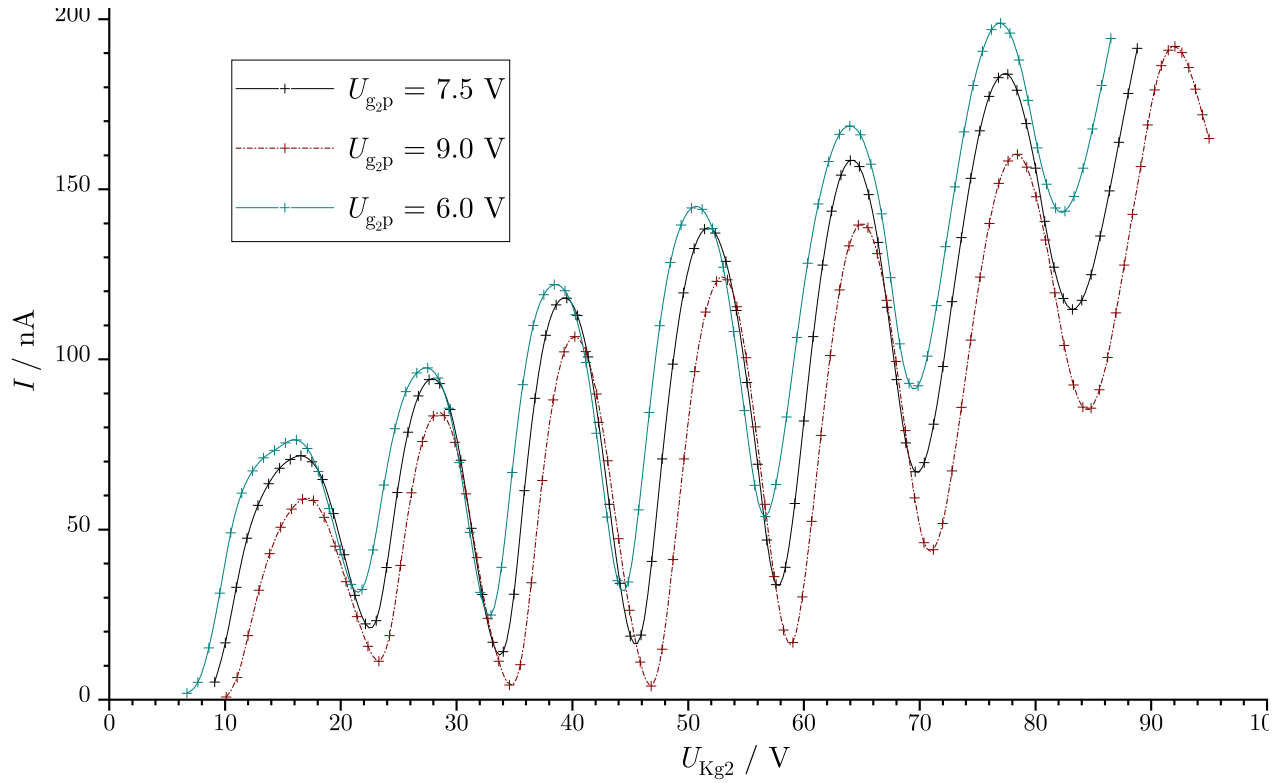
(a) 保持灯丝供电 $U_F = 2.8\,\mathrm{V}$，导流电压 $U_{Kg_1} = 2.0\,\mathrm{V}$ 不变，令减速电压 U_{g_2p} 取不同值所测得的一组特性曲线。

(b) 保持灯丝供电 $U_F = 2.8\,\mathrm{V}$，导流电压 $U_{g_2p} = 7.5\,\mathrm{V}$ 不变，令减速电压 U_{Kg_1} 取不同值所测得的一组特性曲线。

图 2: 使用自动模式对 Ar 管在不同的减速电压 U_{g_2p} 与导流电压 U_{Kg_1} 下的伏安特性曲线进行快速扫描测量。实验所用的 Ar 管装置在测电流时弛豫时间很长（特别是在电流变化较快时），而扫描的速度可达 140bpm 以上，因此快速扫描时得到的电流作为测量值远不准确，但仍可以作为趋势参考。如果能建立出这个弛豫的模型（比如知道是指数函数），那可以通过一定的变换操作从所得快速扫描数据中还原出电流的真实值来。