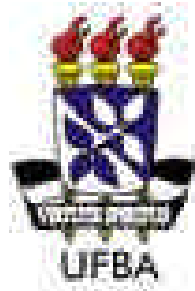


UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE FÍSICA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO  
FIS 101 – ESTRUTURA DA MATÉRIA I  
PROF.: Edmar M do Nascimento  
Turma: Teórica/ Prática  
Equipe: *Adriano L. do Valle*

Data: Janeiro de 2005



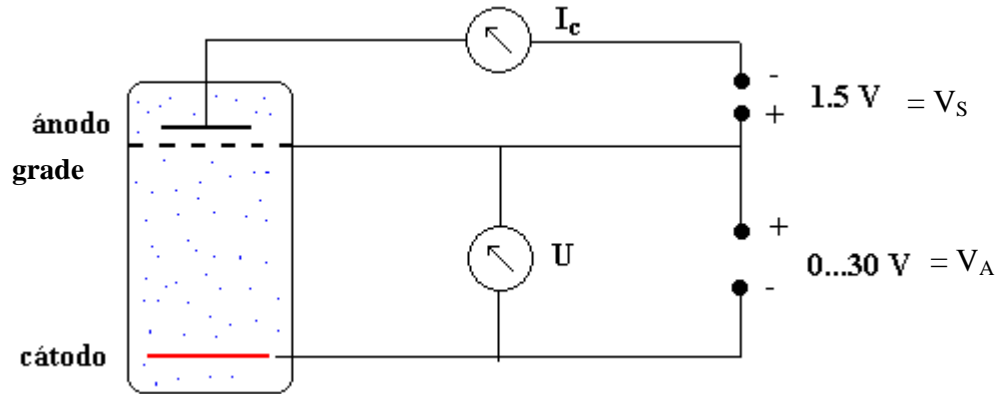
**O EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ**  
(RELATÓRIO / EXPERIMENTO - 6)

## I - OBJETIVOS

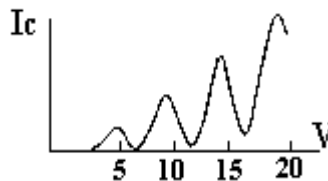
Observar e descrever a variação da energia dos elétrons no experimento de Franck-Hertz.

## II - DESCRIÇÃO

A figura, é um esquema do tubo que contém o vapor do mercúrio à pressão baixa com qual a experiência é feita. O cátodo quente emite-se elétrons com uma energia cinética quase nula. Ganham energia cinética devido à diferença de potencial existente entre o cátodo e a grade, vê-se movimento de partículas carregadas num campo elétrico



Durante o deslocamento os elétrons batem nos átomos do vapor do mercúrio e podem perder energia. Os elétrons de que chegue na grade com uma energia cinética de eV 1.5 ou mais baterão no ânodo e causarão uma  $I_c$ . Os elétrons que chegam na grade com uma energia menor de 1.5 eV não poderão alcançar o ânodo e retornará à grade. Estes elétrons não contribuirão ao  $I_c$ .

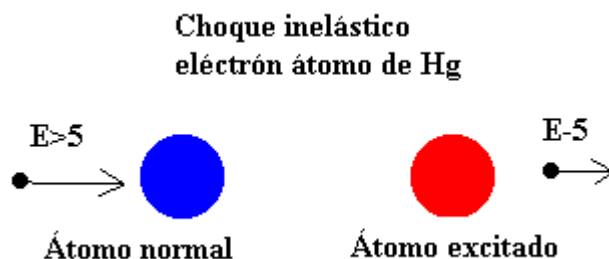


A corrente  $I_c$  apresenta vários picos espaçados de aproximadamente 4.9 eV.

- O primeiro vale, corresponde aos elétrons que perderam toda sua energia cinética depois de uma colisão inelástica com átomos de mercúrio.
- O segundo vale, corresponde aos elétrons que experimentaram colisões inelásticas consecutivas com átomos de mercúrio, e assim sucessivamente.

Quando um elétron experimenta uma colisão inelástica com um átomo de mercúrio, o deixa num estado excitado, voltando ao estado normal depois de emitir um fóton de  $2536 \text{ \AA}$  de comprimento de onda, que corresponde a uma energia  $E = hf = hc/\lambda$  de aproximadamente 4.9 eV. Esta radiação se pode observar durante a passagem de elétrons através do vapor de mercúrio.

A energia do fóton  $hf = E_2 - E_1$  é igual á diferença entre os níveis de energia  $E_2$  e  $E_1$  do átomo de mercúrio. Esta energia é o que perde o elétron em seu choque inelástico com o átomo de mercúrio.



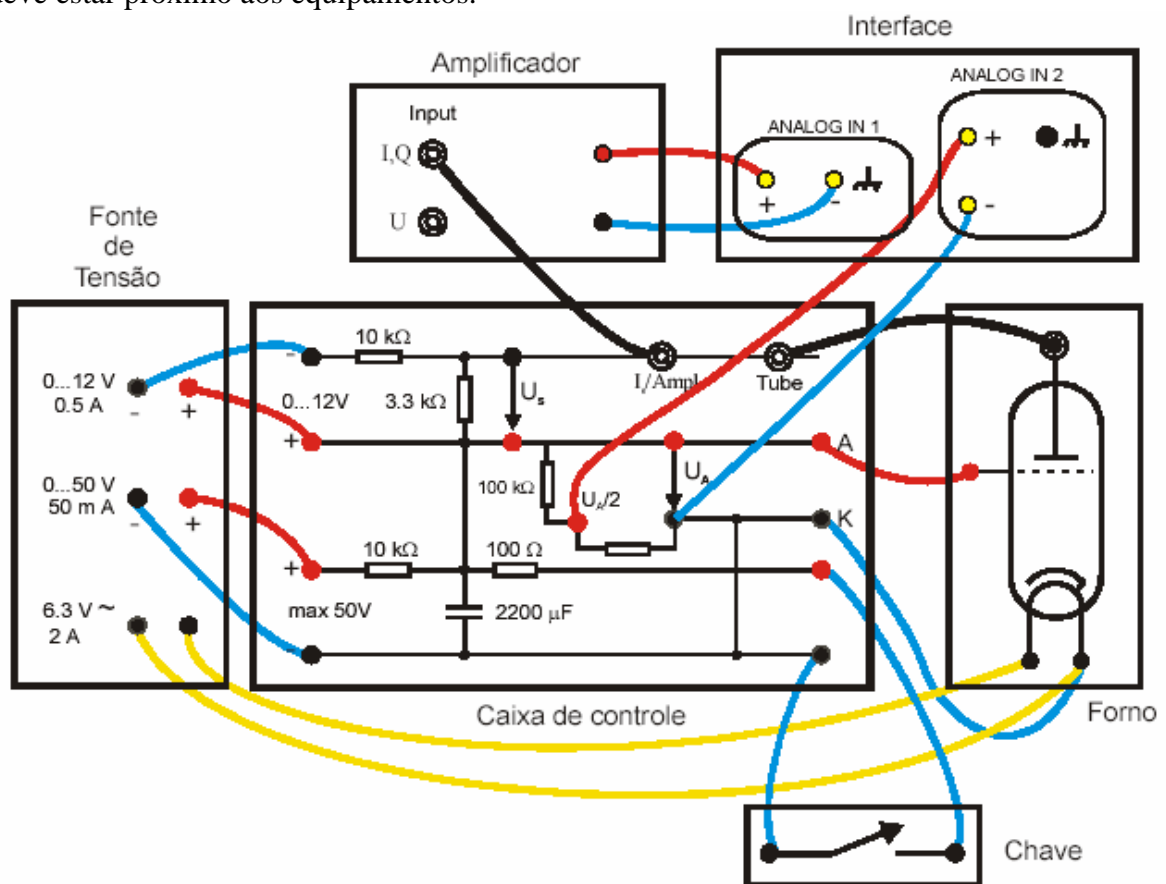
### III - PARTE EXPERIMENTAL

#### LISTA DE MATERIAIS

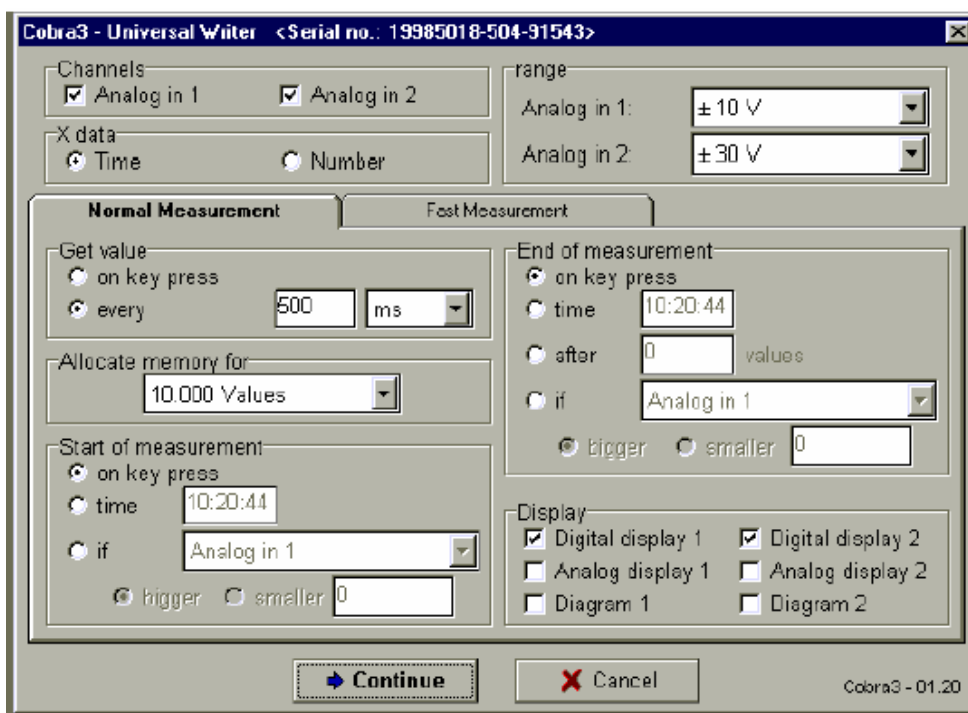
1. 1 módulo de controle
2. 1 amplificador de corrente (110 V)
3. 1 forno com o tubo de Frank Hertz (110 V)
4. 1 Fonte de tensão (110 V)
5. 1 Interface com conversor AD (110 V)
6. 1 cabo RS232
7. 1 computador com o programa Measure instalado
8. 1 chave de curto circuito
9. 1 termômetro digital equipado com fio termopar de Ni-Cr
10. 1 voltímetro
11. 1 multíteste
12. 2 cabos tipo BNC
13. cabos de ligação

#### MONTAGEM

Monte o experimento de acordo com o diagrama abaixo, *mantendo a chave de curto circuito fechada* (posição | ). Durante essa operação todos os equipamentos devem estar desligados. O forno não deve estar próximo aos equipamentos.



- ✓ Ligue a Interface à entrada serial do computador usando o cabo RS232.
- ✓ Conecte um voltímetro para ler a tensão de retardo  $U_s$ . Conecte também outro voltímetro para ler a tensão da saída 0...50V da fonte.
- ✓ Insira o fio do termopar na entrada apropriada do forno, certificando-se que sua ponta esteja bem no centro do dispositivo e não tocando nas paredes ou no tubo Frank Hertz.
- ✓ Ligue todos os equipamentos, verificando se todos os botões de controle da fonte tensão se encontram na posição mínima.
- ✓ Abra o programa Measure e clique no ícone New Measurement. Um quadro semelhante à figura abaixo aparecerá na tela. Configure os parâmetros de acordo com a figura.



- Mantendo a chave de curto circuito fechada, fixe a tensão de retardo em  $V_s = 1,0 \text{ V}$  e ajuste a tensão de aceleração em  $50 \text{ V}$ . Ligue o forno e espere sua temperatura atingir  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tente mantê-la constante, girando o botão de controle de modo que a variação não seja maior que  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- A corrente coletada é da ordem de dezenas de nano Ampères, de forma que o amplificador de corrente deve estar em fundo de escala dessa ordem de grandeza. Tente inicialmente a escala de  $0.1 \mu\text{A}$ .
- Clique no botão Continue do programa de aquisição de dados. Uma nova tela surgirá. Para iniciar o processo de aquisição de dados clique no botão Start measurement e abra a chave de curto circuito, colocando-a na posição **0**. Observe a leitura do canal Analog 1 e certifique-se que não ultrapassa  $10 \text{ V}$  (os números ficam vermelhos). Caso isto ocorra, significa que o fundo de escala foi ultrapassado. Interrompa a medida e a reinicie com um fundo de escala maior.
- O processo de medida deve terminar quando a leitura do canal Analog 2 atingir a metade da tensão de aceleração, isto é  $25 \text{ V}$ . Este valor é atingido em cerca de 2 minutos. Clique no botão Stop measurement e feche a chave de curto circuito, retornando-a para a posição **I**.
- Antes de prosseguir com outras medidas, crie um sub diretório com seu nome (ou outro de sua escolha!) em  $C:\text{Usuários}\$  e salve seu arquivo escolhendo na barra de menu a opção File  $\Rightarrow$  Save measurements as...
- Mantendo a temperatura em  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ , repita a medida para outros valores de tensão de retardo  $U_s$  iguais a  $0.1 \text{ V}$ ,  $2 \text{ V}$  e  $3 \text{ V}$ . Salve os resultados .
- Faça um estudo da dependência do padrão com a temperatura, começando com  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  e em seguida baixando-a de  $20$  em  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , até um mínimo de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para este estudo fixe a tensão de retardo em  $U_s = 2,0 \text{ V}$ . **Fique atento ao possível brilho no tubo**. Salve seus resultados.

*Obs: Se a curva obtida no experimento não sair “lisa” e sim “quebradiça”, significa que o fundo de escala usado no amplificador de corrente não foi adequado. Diminua o fundo de escala e refaça a medida.*

$V_S = 1,0 \text{ V e } T = 160^\circ \text{ C}$

tempo(ms)	$I_C$ (nA)	$V_A$ (V)
0	1,78	1,86
500	1,78	3
1000	1,88	4,11
1500	1,63	5,16
2000	1,19	6,24
2500	2,27	7,23
3000	1,53	8,25
3500	1,68	9,18
4000	1,14	10,14
4500	2,12	11,04
5000	2,96	11,88
5500	3,21	12,78
6000	2,57	13,65
6500	2,22	14,49
7000	2,67	15,27
7500	3,56	16,02
8000	6,07	16,77
8500	7,7	17,49
9000	7,01	18,21
9500	5,38	18,93
10000	4,64	19,65
10500	4,99	20,31
11000	6,52	20,94
11500	9,73	21,51
12000	14,12	22,05
12500	16,99	22,62
13000	15,31	23,22
13500	11,9	23,85
14000	8,79	24,48
14500	7,06	25,05
15000	7,8	25,56
15500	9,73	26,01
16000	15,06	26,46
16500	21,48	26,82
17000	28,4	27,21
17500	32,15	27,6
18000	31,6	28,08
18500	26,57	28,62
19000	20,89	29,19
19500	16,25	29,67
20000	13,78	30,15
20500	14,27	30,54
21000	16,64	30,9
21500	20,99	31,2
22000	27,41	31,44
22500	35,8	31,68
23000	45,68	31,92
23500	54,57	32,1
24000	60,94	32,31
24500	62,47	32,61
25000	58,72	33,03
25500	52,59	33,45
26000	44,2	33,93
26500	36,44	34,35
27000	30,77	34,77

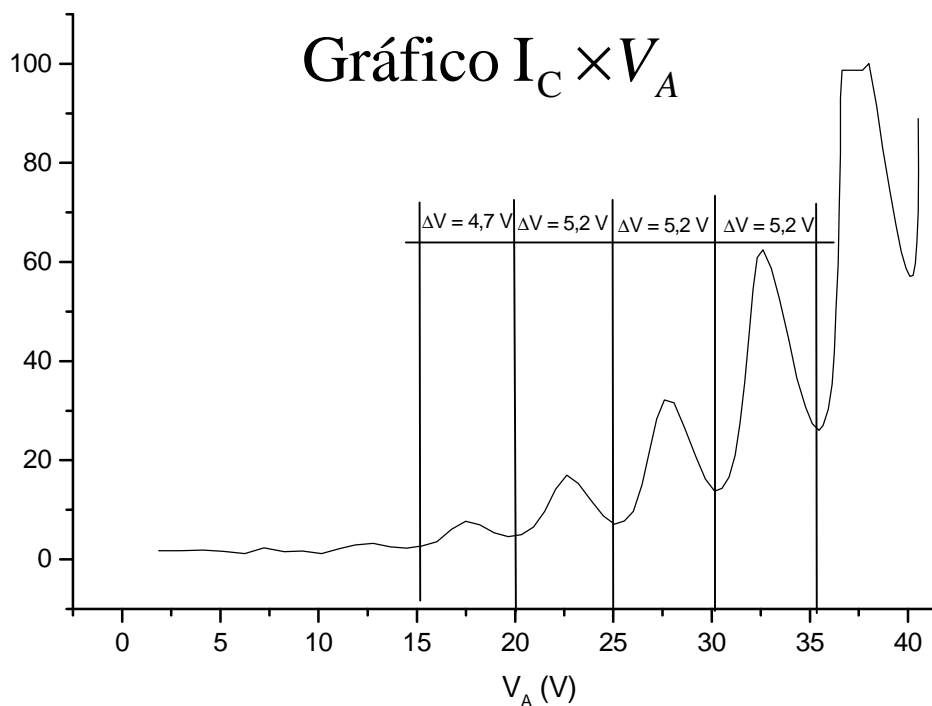


Gráfico - 1A

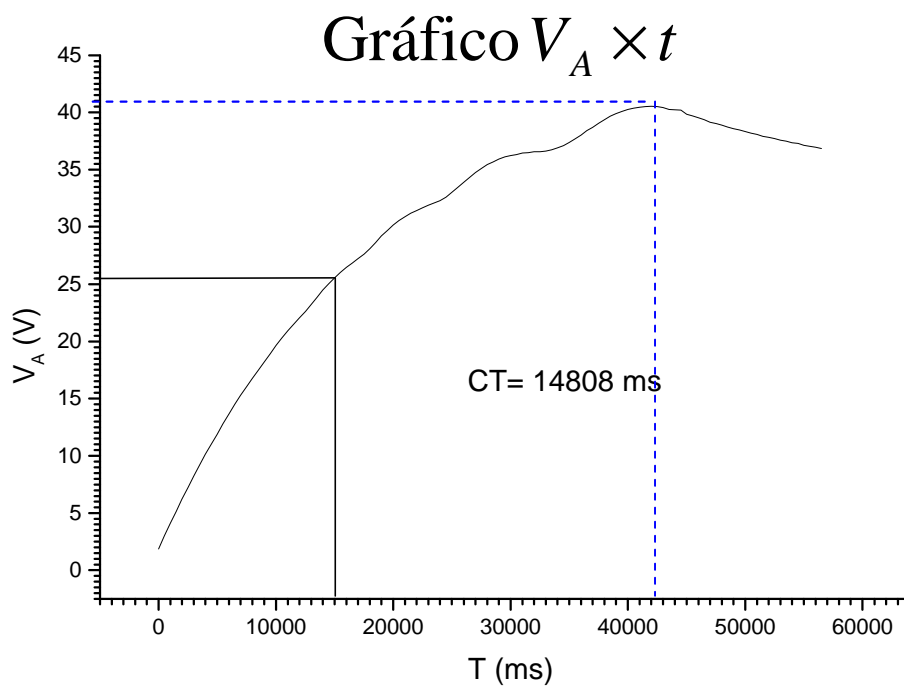


Gráfico - 1B

$V_S = 0,1 \text{ V e } T = 160^\circ \text{ C}$

36000	91,7	38,76
36500	86,57	39,03
37000	82,72	39,27
37500	80,54	39,48
38000	79,46	39,72
38500	80,2	39,90
39000	82,57	40,02
39500	85,93	40,17
40000	90,91	40,20
40500	96,25	40,29
41000	98,72	40,32
41500	98,72	40,35
42000	98,72	40,35
42500	98,72	40,38
43000	98,72	40,53
43500	98,72	40,68
44000	98,72	40,83
44500	98,72	40,98
45000	98,72	41,10
45500	98,72	41,22
46000	98,72	41,37
46500	98,72	41,49
47000	98,72	41,64
47500	98,72	41,88
48000	98,72	41,97
48500	98,72	42,09
49000	98,72	42,24
49500	98,72	42,24
50000	98,72	42,33
50500	98,72	42,45
51000	98,72	42,21
51500	98,72	41,91
52000	98,72	41,67
52500	98,72	41,40
53000	98,72	41,13
53500	98,72	40,86
54000	98,72	40,59
54500	98,72	40,38
55000	98,72	40,14
55500	98,72	39,93
56000	98,72	39,69
56500	98,72	39,48

Gráfico  $I_C \times V_A$

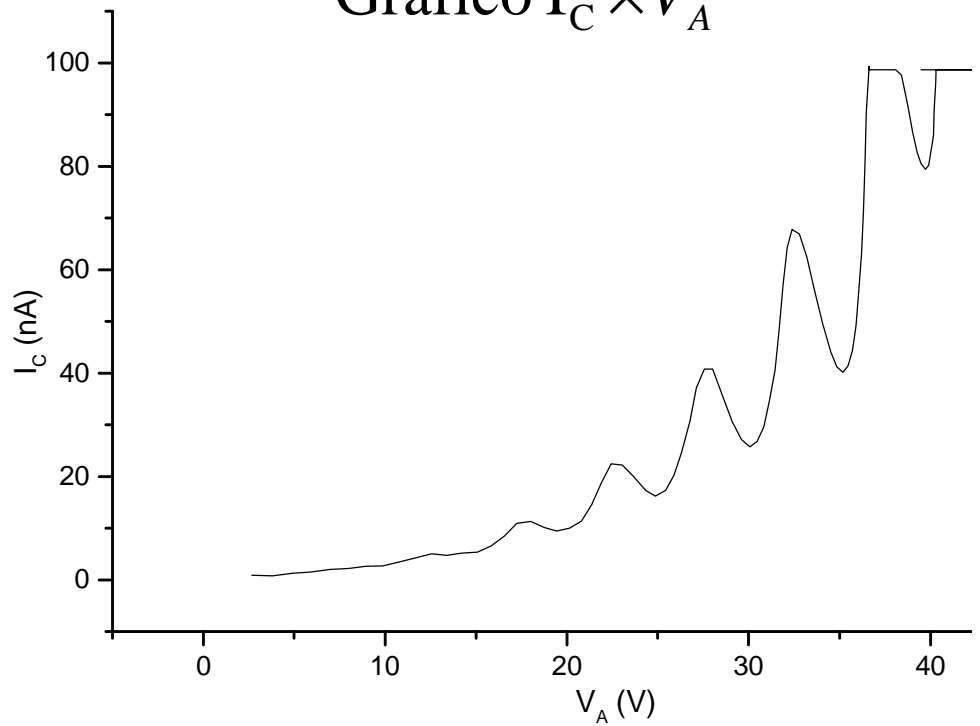


Gráfico - 2

Gráfico  $V_A \times t$

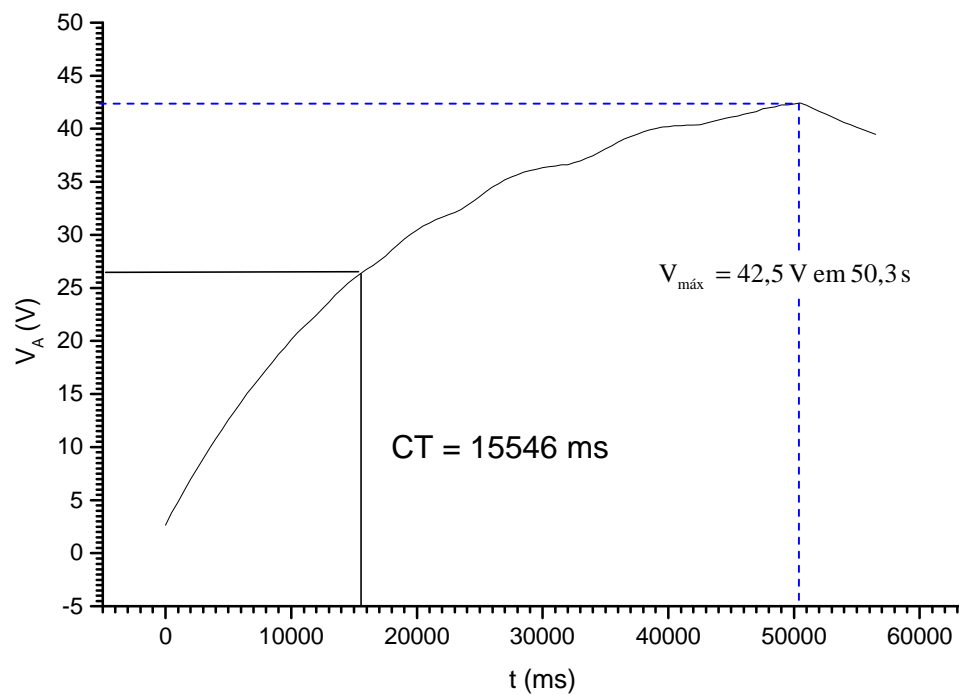
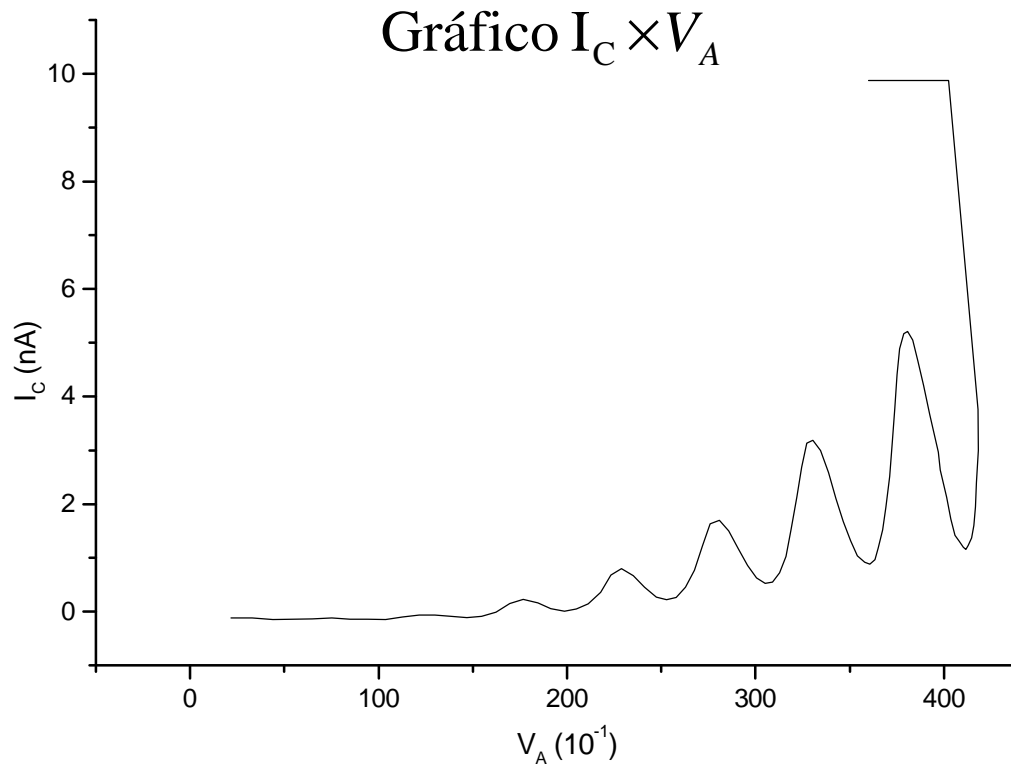


Gráfico - 2B

$V_S = 2.0 \text{ V}$  e  $T = 160^\circ \text{ C}$

t (ms)	I (nA)	V(10-1V)
0	-0,12	21,6
500	-0,12	33
1000	-0,15	43,8
1500	-0,14	54,6
2000	-0,13	64,8
2500	-0,12	75
3000	-0,14	84,9
3500	-0,14	94,2
4000	-0,15	103,8
4500	-0,1	112,8
5000	-0,06	121,5
5500	-0,06	129,9
6000	-0,09	138,6
6500	-0,11	147
7000	-0,09	154,8
7500	-0,01	162,3
8000	0,15	169,5
8500	0,23	176,7
9000	0,16	184,5
9500	0,06	191,4
10000	0,01	198,6
10500	0,05	204,9
11000	0,14	211,2
11500	0,36	217,8
12000	0,68	223,2
12500	0,8	228,9
13000	0,67	235,2
13500	0,45	241,2
14000	0,27	247,5
14500	0,22	252,9
15000	0,26	258
15500	0,45	262,8
16000	0,77	267,6
16500	1,22	271,8
17000	1,63	276
17500	1,7	280,8
18000	1,5	285,6
18500	1,18	290,7
19000	0,86	295,8
19500	0,63	300,6
20000	0,52	305,1
20500	0,55	309
21000	0,72	312,9
21500	1,02	316,2
22000	1,53	318,9
22500	2,13	321,9
23000	2,69	324,6
23500	3,13	327,3
24000	3,19	330,3
24500	3	334,5
25000	2,58	338,7
25500	2,1	342,6



*Gráfico – 3*

$V_s = 3,0 \text{ V e } T = 160^\circ \text{ C}$

t (ms)	I (nA)	V(10V)
0	-1,83	1,32
500	-1,63	2,19
1000	-2,07	3,06
1500	-1,98	3,93
2000	-2,02	4,77
2500	-1,63	5,34
3000	-1,88	6,27
3500	-1,98	7,05
4000	-1,93	7,8
4500	-1,88	8,49
5000	-1,73	9,18
5500	-1,83	9,9
6000	-1,83	10,53
6500	-1,53	11,16
7000	-1,19	11,82
7500	-1,23	12,42
8000	-1,23	13,02
8500	-1,43	13,59
9000	-1,58	14,19
9500	-1,58	14,76
10000	-1,53	15,3
10500	-1,38	15,81
11000	-0,94	16,35
11500	-0,2	16,83
12000	0,4	17,31
12500	0,3	17,76
13000	-0,1	18,27
13500	-0,49	18,75
14000	-0,69	19,2
14500	-1,14	19,65
15000	-1,33	20,04
15500	-1,33	20,46
16000	-1,04	20,91
16500	-0,25	21,24
17000	0,74	21,63
17500	2,22	21,99
18000	3,31	22,32
18500	3,56	22,68
19000	3,01	23,04
19500	1,98	23,4
20000	1,88	23,73
20500	0,49	24,09
21000	-0,05	24,45
21500	-0,49	24,75
22000	-0,94	25,08
22500	-0,74	25,38
23000	-0,49	25,65
23500	-0,1	25,89
24000	0,59	26,22
24500	1,78	26,49
25000	3,21	26,7
25500	5,14	26,94

Gráfico  $I_C \times V_A$

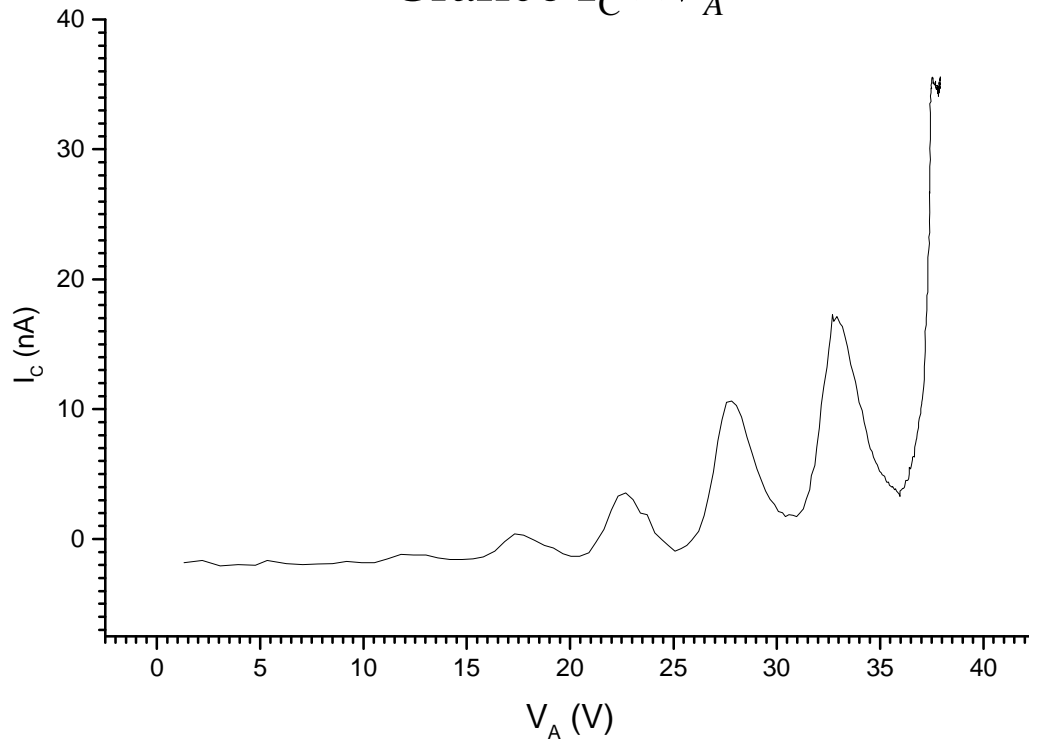


Gráfico - 4

$V_s = 2.0 \text{ V e } T = 140^\circ \text{ C}$

t (ms)	I (nA)	VA(V)
0	0,30	1,71
500	0,84	2,61
1000	0,44	3,45
1500	0,69	4,23
2000	-0,30	5,04
2500	0,00	5,88
3000	0,99	6,57
3500	1,04	7,38
4000	1,28	8,04
4500	0,74	8,82
5000	1,43	9,45
5500	1,53	10,14
6000	3,21	10,77
6500	5,23	11,34
7000	7,46	11,91
7500	8,49	12,54
8000	6,32	13,11
8500	5,33	13,74
9000	4,59	14,31
9500	5,38	14,91
10000	8,89	15,27
10500	11,26	15,78
11000	15,11	16,29
11500	21,68	16,68
12000	28,25	17,07
12500	26,37	17,55
13000	22,32	18,15
13500	17,98	18,60
14000	13,23	19,17
14500	10,86	19,62
15000	10,32	20,07
15500	12,64	20,43
16000	17,83	20,73
16500	27,31	21,00
17000	38,86	21,12
17500	53,73	21,27
18000	68,59	21,36
18500	79,06	21,54
19000	82,77	21,84
19500	79,11	22,23
20000	69,73	22,74
20500	58,72	23,28
21000	47,85	23,76
21500	39,11	24,24
22000	33,43	24,66
22500	31,46	24,96
23000	33,78	25,26
23500	41,58	25,35
24000	52,30	25,59
24500	71,70	25,44
25000	98,91	25,23
25500	98,72	25,05

Gráfico  $I_C \times V_A$

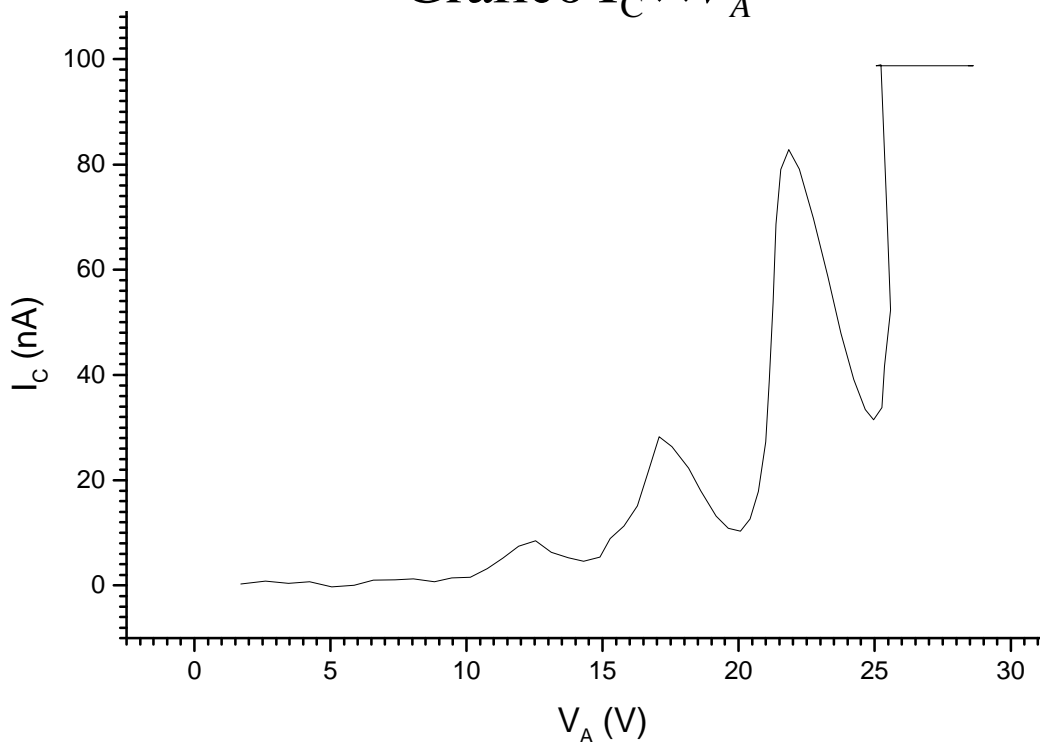


Gráfico - 5

$V_s = 2.0 \text{ V}$  e  $T = 120^\circ \text{ C}$

t (ms)	I (nA)	VA(V)
0	1,98	1,56
500	1,98	2,40
1000	1,53	3,30
1500	1,58	4,14
2000	1,73	4,92
2500	2,22	5,67
3000	2,72	6,45
3500	2,72	7,23
4000	2,72	7,95
4500	2,47	8,64
5000	2,52	9,36
5500	3,8	9,99
6000	6,37	10,59
6500	10,27	11,22
7000	15,7	11,73
7500	19,11	12,24
8000	17,93	12,87
8500	14,42	13,53
9000	11,9	14,13
9500	11,31	14,70
10000	16,2	15,18
10500	27,21	15,51
11000	45,93	15,72
11500	72,94	15,72
12000	98,72	15,66
12500	98,72	15,75
13000	98,72	16,20
13500	98,72	16,71
14000	98,72	17,43
14500	99,6	18,06
15000	99,65	18,45
15500	98,72	18,54
16000	98,72	18,78
16500	98,72	19,20
17000	98,72	19,59
17500	98,72	19,98
18000	98,72	20,31
18500	98,72	20,67
19000	98,72	21,03
19500	98,72	21,36
20000	98,72	21,69
20500	98,72	22,05
21000	98,72	22,32
21500	98,72	22,65
22000	98,72	22,92
22500	98,72	23,16
23000	98,72	23,43
23500	98,72	23,70
24000	98,72	23,76
24500	98,72	23,79
25000	98,72	23,91
25500	98,72	24,00
26000	98,72	24,03
26500	98,72	24,09

Gráfico  $I_C \times V_A$

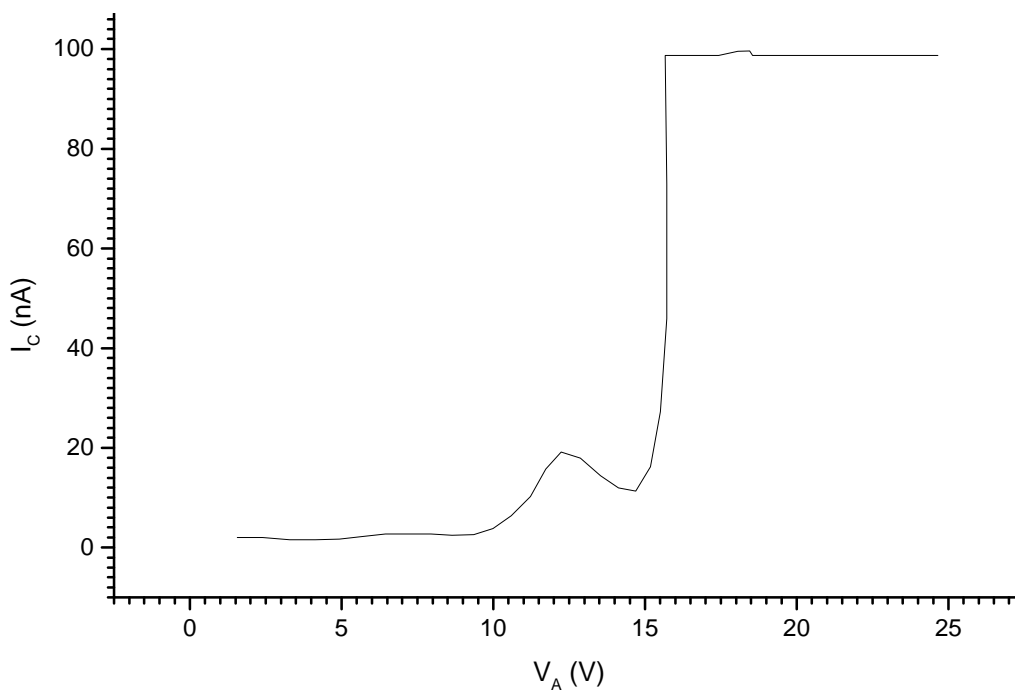


Gráfico - 6

#### IV - PONTOS PARA DISCUSSÃO E QUESTÕES ADICIONAIS.

1. Determine a diferença de energia entre o estado fundamental e o primeiro estado excitado do átomo de Hg usando os gráficos obtidos.

*A partir do gráfico 1 determinamos a diferença de energia média é de 5,1 eV (vide gráfico)*

2. Observe as curvas obtidas com a variação da tensão de retardo. Aponte as diferenças e explique os resultados.

*A medida em que a tensão de retardo aumenta a corrente elétrica diminui pois dos elétrons que chegam à grade só os que possuem valor igual ou superior a esse novo mínimo de energia vão conseguir atingir o anodo.*

3. Faça o mesmo com as curvas obtidas com a variação de temperatura.

*Observamos que quanto maior a temperatura, maior é o valor da corrente  $I_c$ , atribuímos ao aumento de energia dos elétrons com a temperatura ao saírem do catodo aquecido.*

4. Estude o circuito utilizado (que vem desenhado na caixa de controle) para a aceleração dos elétrons e trace o gráfico da tensão de aceleração X tempo. Qual é a constante de tempo do circuito?

*Observando o gráfico de 1B e 2B, podemos perceber que se assemelham a um gráfico de carga de um capacitor e tomamos como a constante do tempo o tempo necessário para a máxima tensão atingir 63% de seu valor.  $CT = 15177$  mss (vide gráfico 1B e 2B).*

5. O gás de mercúrio é mantido à baixa pressão? O que ocorreria se fosse mantido à alta pressão?

*As medidas foram efetuadas com um gás de Hg a uma baixa pressão. Se o gás fosse mantido em alta pressão os dados coletados não poderiam ser utilizados para determinar a diferença de níveis de energia no átomo de Hg, pois não teríamos como fazer uma boa leitura da corrente (a corrente seria muito pequena) devido a um aumento do número de choques entre os elétrons e os átomos de Hg.*

6. Como seria a curva I X V se não houvesse o mercúrio?

*Seria uma reta*

7. Porque os picos obtidos não são abruptos, se a energia de transição é bem definida?

*A energia que os átomos de mercúrio recebiam dos elétrons não era suficiente para zerar a corrente do circuito.*

8. Discuta a questão do brilho azulado e da “ignição” do tubo.

*Esse efeito é devido ao choque dos elétrons com o átomo de mercúrio que fica ionizado após o choque e emitem luz.*

## **V – CONCLUSÃO**

*Esse experimento nos possibilitou ter uma noção mais real do mundo quântico, com cálculos de diferença de níveis de energia e observação do comportamento do elétron quando interage com um átomo. Quando Frank e Hertz fizeram o experimento e encontrou um valor de energia igual a 4,9 eV do estado fundamental e o primeiro estado excitado para o átomo de Hg a uma pressão baixa eles deram um passo muito importante para estabelecer a teoria da física atômica moderna e quando fizemos o mesmo procedimento e encontramos um valor de 5,1 eV para a mesma diferença de energia, concluímos que demos um grande passo na introdução experimental em experimentos da escala quântica.*

## **VI - BIBLIOGRAFIA**

1 - FÍSICA QUÂNTICA – Eisberg - Resnick