

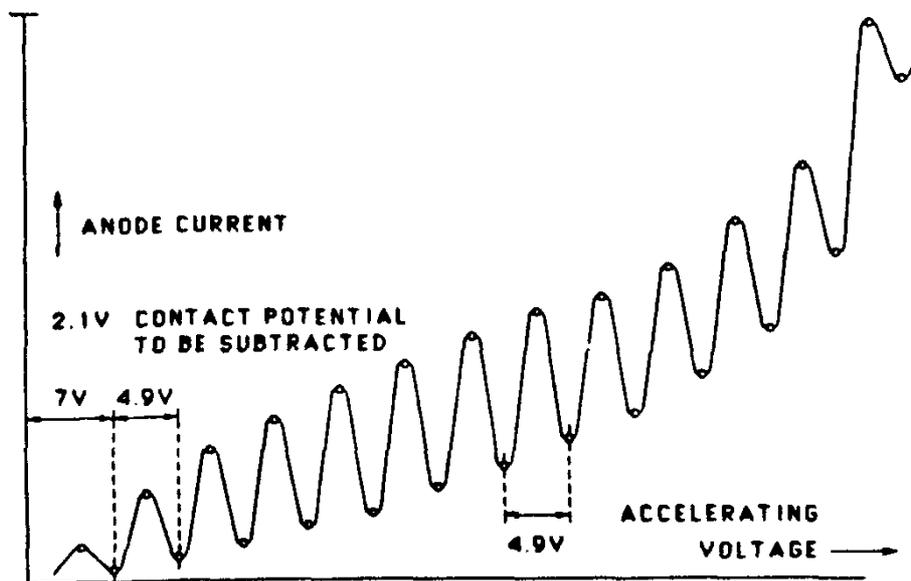
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Laboratório de Estrutura da Matéria

Física 6 – FNC-314

Franck-Hertz



Índice

I-	Introdução	2
II-	Procedimento Experimental.....	5
III-	Análise da Experiência.....	9
IV-	Bibliografia.....	10
	Apêndice A	11
	Apêndice B.....	12

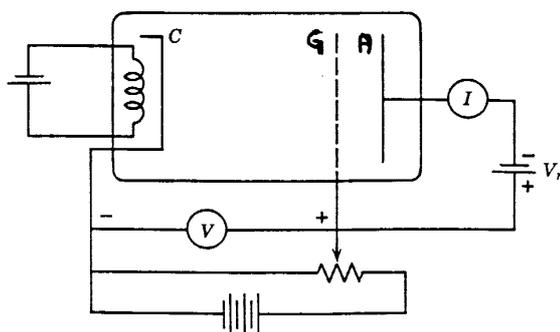
EXPERIÊNCIA DE FRANK-HERTZ

I. INTRODUÇÃO

As idéias de Bohr provaram ser extremamente úteis na explicação das regularidades nos espectros de emissão e absorção, desde o infra-vermelho ao raios-X, de átomos e moléculas. Mas, a explicação das regularidades espectrais sozinha não fornece uma prova direta de que átomos e moléculas existem somente em certos estados de energia permitidos. São necessárias verificações experimentais diretas que mostram que o átomo não pode mesmo assumir valores de energia que variam continuamente.

A confirmação direta que os estados de energia internos de um átomo são quantizados vem de uma experiência simples realizada por Frank e Hertz em 1914. Esquemáticamente a montagem da experiência de Franck-Hertz está na figura 1: elétrons são emitidos térmicamente a baixas energias de um catodo aquecido C e são acelerados para uma grade anódica G por um potencial V aplicado entre os dois eletrodos. Alguns dos eletrons passam através de buracos em G e se dirigem para uma placa (coletora) A, desde que tenham energia cinética suficiente para ultrapassar um pequeno potencial retardador V_r aplicado entre G e A. O tubo inteiro é preenchido a baixa pressão com gás ou vapor de átomos que serão investigados. Assim, os elétrons acelerados bombardeiam o gás ou vapor atômico e a excitação dos átomos é estudada em função do potencial acelerador.

Figura 1:



A primeira experiência foi realizada com tubo contendo vapor de Hg. Para detectar a excitação dos átomos no vapor é possível observar, por exemplo, a radiação emitida quando os átomos voltam para o estado fundamental, ou a troca na absorção de uma dada linha espectral, ou ainda algum outro fenômeno relacionado. Entretanto, uma técnica muito mais sensível consiste em observar o próprio feixe de elétrons através da medida da corrente elétrica que atinge A (indicada pelo amperímetro I) como uma função de V. A natureza dos resultados é ilustrada na figura 2 abaixo.

Para valores pequenos de tensão aceleradora, a corrente I aumenta com o aumento da voltagem V. Quando a tensão aceleradora atinge um valor correspondente ao do primeiro nível excitado do átomo, alguns elétrons colidem inelásticamente com átomos do vapor nas vizinhanças da grade e, como consequência, perderão quase toda sua energia cinética, não tendo energia suficiente para vencer o pequeno potencial repulsivo entre a grade e o coletor A. Ocorre assim uma redução no número de elétrons que chegam ao coletor. Aumentando-se V os elétrons novamente ganham energia depois da excitação e o número de elétrons que chegam à placa coletora volta a crescer. Quando V atinge duas vezes o valor do primeiro estado excitado, é possível para um elétron excitar um átomo na metade do caminho entre C e G, perder toda sua energia e então ganhá-la novamente para excitar um segundo átomo próximo à grade G, dando origem a uma segunda queda na corrente medida, podendo este processo se repetir várias vezes. Do gráfico (figura 2) da corrente versus tensão aceleradora, constatamos então “picos” na corrente, isto é, um valor máximo seguido de uma queda brusca, a qual corresponde justamente ao instante em que alguns dos elétrons adquiriram a energia necessária à excitação e, após esta, não conseguiram chegar à placa coletora A.

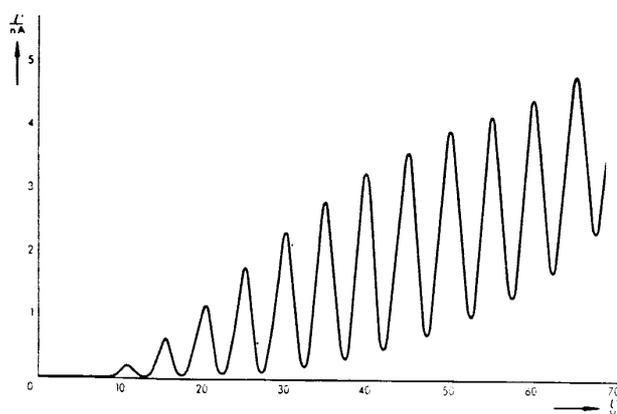


Figura 2:

É evidente que a densidade do vapor atômico afeta os resultados observados: baixa densidade tem como consequência grandes correntes eletrônicas mas “vales” muito pequenos enquanto alta densidade leva a correntes mais fracas mas “vales” muito mais acentuados. Quando vapor de Hg é usado, o ajuste da temperatura do tubo provê o controle para a densidade.

Vale a pena ressaltar que o valor da energia correspondente à transição de um certo estado excitado para o estado fundamental, obtido por estudos de espectroscopia com o gás, coincide com a energia perdida pelo elétron na experiência de Franck-Hertz. Assim sendo, a experiência de Franck-Hertz permitiu verificar as seguintes hipóteses:

- a) é possível excitar átomos pela colisão com elétrons de baixa energia;
- b) a energia transferida dos elétrons para os átomos tem sempre valores discretos (na excitação);
- c) os valores obtidos para os níveis de energia estão de acordo com os resultados de espectroscopia. Veja os textos indicados na bibliografia: Eisberg, pag 110-120; Beiser, pag. 115-130 e também artigos sugeridos, principalmente os dois primeiros.

O mesmo aparato pode ser usado para a medida do potencial de ionização dos átomos, isto é, a energia necessária para remover completamente um elétron do átomo. Neste caso ao invés de observar o feixe de elétrons, é mais fácil detectar os íons que são formados: a placa é feita levemente negativa em relação ao cátodo; nenhum elétron pode atingir A, que torna-se então um coletor de íons. Aumenta-se o potencial acelerador até que a corrente de íons no anodo cresça bruscamente. O texto do Melissinos, pag 16. e 17, descreve o resultado desta experiência e a sua interpretação.

Esta atividade do laboratório tem como objetivos:

- a) reproduzir a experiência de Franck-Hertz com equipamento mais sofisticado, determinando e justificando as condições experimentais ótimas para a verificação do fenômeno;
- b) calcular a energia do primeiro nível de excitação do átomo de mercúrio e compará-la com o resultado da espectroscopia.

II) PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a verificação das hipóteses mencionadas no item anterior, empregaremos uma técnica que consiste na observação de um feixe de elétrons que atravessa vapor de Hg. O tubo de Franck-Hertz (tubo de choque eletrônico) a ser utilizado é uma válvula de três eletrodos planos, dispostos paralelamente entre si: um catodo de aquecimento indireto, um eletrodo de aceleração em forma de grade e um eletrodo coletor (anodo). A separação entre o catodo e a grade é grande se comparada ao caminho livre médio dos elétrons no vapor de Hg para propiciar, na medida do possível, uma elevada probabilidade de choque; a separação entre a grade e o anodo, pelo contrário, é pequena. O tubo contém Hg, que é vaporizado por meio de um forno cuja temperatura pode ser escolhida na faixa de 160 a 220°C, de forma a se obter uma densidade suficientemente elevada de vapor de mercúrio (8.7 Torr a 180°C). Com este dispositivo é possível estudar a ocorrência de excitação de Hg em função do potencial acelerador.

Trabalhamos com o tubo de Franck-Hertz da Phywe, mod.09086.93 (se julgar necessário consulte o catálogo no laboratório) cujo esquema é o seguinte (Figura 3):

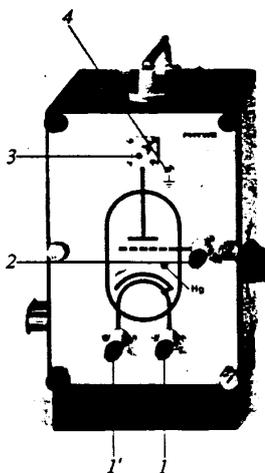


Figura 3:

(procure identificar os elementos do esquema impresso no próprio tubo de Franck-Hertz com os elementos e pontos de conexão do esquema).

Para o aquecimento do catodo (C) unem-se os terminais 1 e 1' do tubo de Franck-Hertz com a saída de 6,3V, 1Ampère, da fonte de alimentação. A corrente de filamento estará compreendida, em geral, entre 320 e 350 mA. O terminal 2 é a conexão para a grade aceleradora (G) enquanto o terminal 3 é a conexão para o anodo (A); o terminal 4 é o aterramento. A figura 4 mostra esquematicamente a montagem da experiência de Franck-Hertz, enquanto a Figura 5 detalha o esquema do circuito que permitirá a observação do potencial de excitação. Para obter uma figura semelhante à da figura 2, que é o objetivo desta experiência, vamos fazer a aquisição de dados com o auxílio de um micro-computador. A saída do picoamperímetro (que é ligado ao ADC do microcomputador) poderá ser no máximo de 5V, com a necessidade de utilização de divisor de tensão no circuito (ver apêndice B).

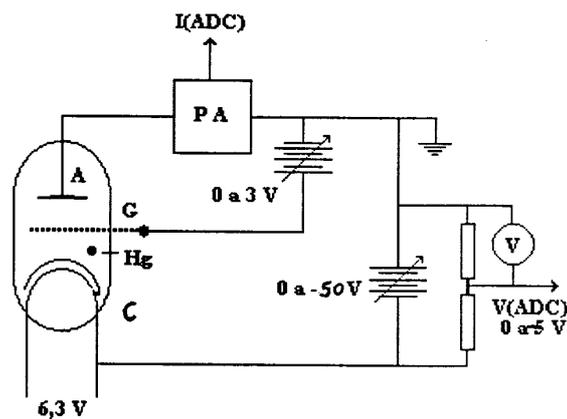


Figura 4

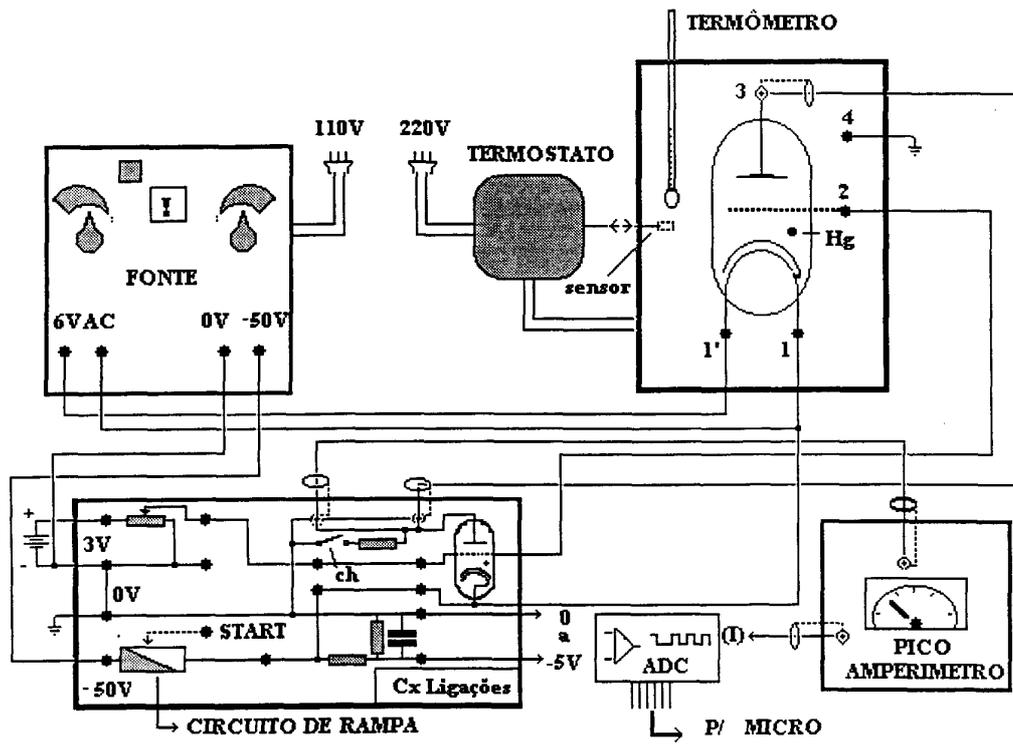


Fig. 5

Potencial de Excitação:

Faça as conexões apropriadas conforme esquema das figuras 4-5, mas não ligue a fonte de tensão. A seguir aqueça o forno previamente até uma temperatura da ordem de 140°C com o auxílio de um controlador eletrônico. Para isto mantenha a regulagem do forno (botão preto ao lado do forno de Franck-Hertz) no máximo e ajuste o potenciômetro próximo à temperatura desejada (o aquecimento do tubo antes de completar as ligações é necessário para evitar que o Hg líquido promova curto-circuitos entre os elementos do tubo). Para conhecer, com exatidão, a temperatura de trabalho, introduza um termômetro na abertura superior da carcaça metálica, tomando o cuidado para que sua extremidade inferior atinja sempre a mesma altura. Após haver-se alcançado a temperatura programada, a temperatura na região da válvula poderá oscilar dentro de uma faixa de mais ou menos 3°C.

Para um determinado potencial retardador V_r , ligar então a fonte de tensão e subir a voltagem de aceleração até ~ -40 a $-50V$, acionar o circuito de rampa (entre catodo e grade), controlando com o picoamperímetro a ocorrência de descargas. Em caso afirmativo diminuir rapidamente a voltagem para evitar danos no tubo. A seguir subir lentamente a temperatura repetindo o procedimento anterior, até o momento em que não ocorram mais descargas. Sendo assim, a temperatura T_{in} e tensão adequadas são aquelas em que não se observam descargas.

Para se obter uma curva experimental semelhante à da figura 2, vamos adquirir, como citado anteriormente, dados com auxílio do microcomputador. Calibrar o micro em função da voltagem com o auxílio de um multímetro digital (ver apêndice B). Fazer algumas séries de medidas de I em função de V , começando com $V=0$ até 40 - 50Volts (com o auxílio da rampa); anotar a temperatura no início e no final de cada série de medidas. Repetir o procedimento para várias temperaturas diferentes a partir de T_{in} . Estudar o comportamento da corrente em função da variação de temperatura e discutir os efeitos de temperatura nos resultados.

Lembrar que a tensão medida é V acrescida ou diminuída de V_r e, portanto deve-se diminuir ou somar V_r para obter do gráfico o potencial de aceleração. Além disso,

o potencial de aceleração correspondente ao primeiro pico deve ser corrigido para fornecer a energia do nível excitado, devido à diferença de potencial de contato entre catodo e anodo (que lembramos ser igual à diferença das funções de trabalho dos metais).

Repetir a experiência para uma Temperatura escolhida e dois novos valores de V_r , assim como para V_r nulo. Comparar os resultados.

III) ANÁLISE DA EXPERIÊNCIA

Da análise dos dados devem constar:

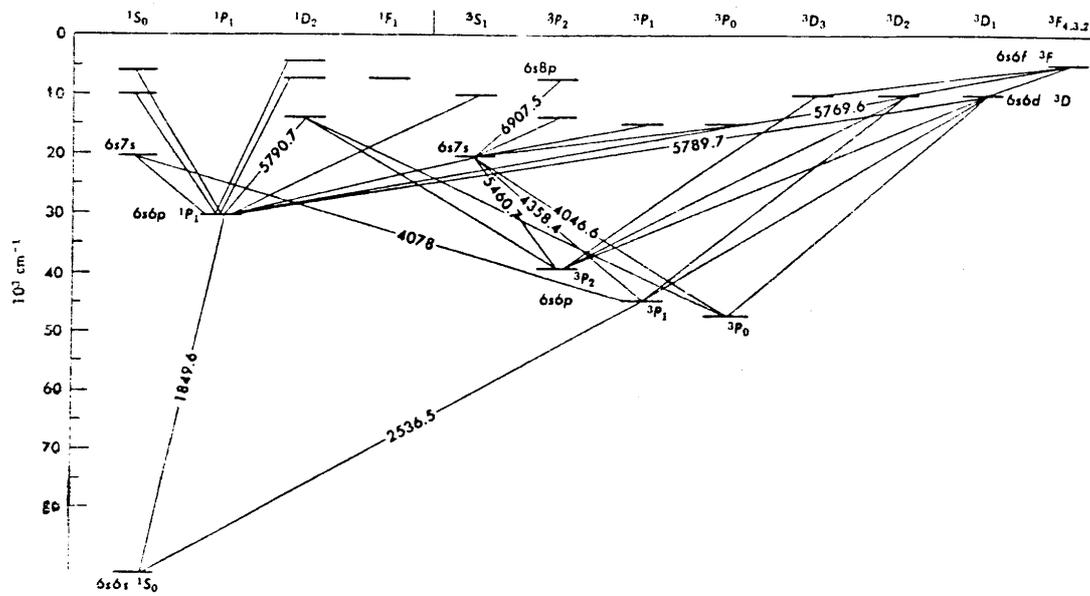
- o cálculo da energia de excitação para cada série de medidas;
- a análise e discussão dos resultados obtidos nas diferentes temperaturas;
- a análise em função de V_r ;
- discussão do fenômeno de descargas observadas em função da tensão de aceleração aplicada associada ao efeito de temperatura;
- a comparação dos valores obtidos para a energia de excitação (levando-se em conta os erros) com os valores da literatura;
- a discussão dos resultados;
- a comparação com as previsões de Hanne (ref. 7).

BIBLIOGRAFIA

1. Melissinos,A.C. -Experiments in Modern Physics
2. Eisberg,R.M. - Fundamentals of Modern Physics
3. Beiser, A. - Conceitos de Física Moderna, Ed.Polígono
4. Folhetos da Phywe
5. Tomonaga,S. - Quantum Mechanics, vol. 1, pag. 136
6. Buhr,W. *et al.* - Am. J.Phys, 51 (9), 810 (1983)
7. Hanne,G.F. - Am.J.Phys, 56 (8), 696 (1988)
8. Martin,A.D. and Quino,P.J. - Am.J.Phys., 52 (12), 1114 (1983)
9. McMahon,D.R.A. - Am.J.Phys, 51, 1086 (1983)

APÊNDICE A

Diagrama de níveis de energia e linhas principais no espectro do átomo de Mercúrio. As regras de seleção para as transições possíveis entre os níveis atômicos constam da experiência do espectro de Na (ver no livro de Hardwell e Livingood ou antiga apostila de Estrutura).



APÊNDICE B

O sistema de aquisição de dados consta no apêndice 4 da apostila do Efeito Foto-Elétrico. A seguir descreve-se o programa de controle e análise da experiência de Franck-Hertz. Para utilizá-lo selecione o diretório USOALUNO e digite FH (ou FHC).

O programa **FH** (ou **FHC**):

Durante o tempo de excursão da rampa (cerca de 30 s) o programa executa cerca de 1000 medições de tensão, corrente. As medidas são internamente agrupadas em intervalos regulares de 25 mV (referentes à escala de medição do ADC: 0-5 V) sendo obtidos também a média e o desvio padrão das medidas de corrente correspondentes a cada intervalo de tensão (cerca de 5 medidas por intervalo).

Como a tensão aplicada na válvula é bem maior que 5 V (cerca de 0 - 40 V), há um divisor de tensão não calibrado na caixa de conexões. É portanto necessário calibrar previamente a escala de tensão. Aproximadamente, a relação entre a tensão aplicada e aquela medida pelo ADC é de 8:1 (40:5). Portanto, cada intervalo de tensão no conjunto de dados corresponde a cerca de 0.2 volts reais.

Ao iniciar a execução do programa, observa-se na parte inferior da tela, um pequeno menú, sendo que as letras maiúsculas correspondem às teclas ativas:

Inicializa Aquisição Registra Leitura Display Cursor Fim

- Inicializa: Exceto no caso de utilização do programa para visualização e análise de dados previamente registrados em disco, o primeiro comando a ser executado é o de inicialização. Este comando (I), permite definir os canais do ADC (V,I) que serão utilizados, bem como fazer a calibração da escala de tensão.

Para proceder à calibração, coloque uma tensão entre 20 e 30 volts na válvula e espere que a rampa estabilize. A tensão medida pelo ADC é mostrada na tela e a aplicada na válvula pode ser lida num multímetro digital. Quando a tensão estabilizar, acione uma tecla qualquer para interromper a medição e digite a tensão real, lida no multímetro. A constante de calibração será registrada no arquivo de dados, sendo portanto disponível automaticamente para análises posteriores.

- Aquisição: Ao ser acionada a tecla A, juntamente com o disparo da rampa, inicia-se a tomada de dados. Na tela é feita a exibição em tempo real dos dados adquiridos. No eixo horizontal a escala é em tensão real (calibrada) e na vertical, uma escala arbitrária de 0 a 100 (0 a 100% do máximo da escala do pico-amperímetro). A aquisição é interrompida automaticamente depois de um certo tempo (bem maior que a duração da rampa), mas pode ser interrompida pelo usuário a qualquer instante, acionando-se a tecla C (Cancela). Após o final da aquisição, podem ser emitidos os comandos de display para uma verificação melhor dos dados ou o comando R (Registra), para arquivar os dados em disco.

- Registra: Este comando permite gravar em disco os dados (agrupados) obtidos. No arquivo resultante, a primeira linha contém a constante de calibração (vots/ponto ou volts/canal) seguida de 200 pares de valores de corrente e erro na corrente (5 por linha). A tensão correspondente ao enésimo ponto da tabela é dada por: $V = K \cdot n + K/2$, onde K é a constante de calibração. O arquivo é em caracteres ASCII, podendo portanto ser impresso, editado ou utilizado por outro programa de análise.

- Leitura: A tecla L permite ler um arquivo de dados previamente adquirido e registrado em disco. A constante de calibração existente no arquivo é carregada, invalidando aquela definida anteriormente no programa. Os comandos de display e cursor podem então ser usados para análise e visualização.

- Display: Esta tecla aciona a exibição gráfica dos dados já agrupados, incluindo as barras de erro. A escala vertical é ajustada automaticamente para os valores de mínimo e máximo dos dados.

- Cursor: A tecla C aciona o cursor gráfico. O modo cursor tem um menu próprio, que permite executar as seguintes funções:

←, → : Movimentação do cursor. (Shift + seta executa um movimento rápido do cursor). Ao movimentar o cursor, são exibidos no canto inferior direito da tela, as coordenadas (tensão, corrente) do cursor.

<, >: Os sinais de < e > (, ou .) permitem delimitar uma região de interesse para expansão (< == limite inferior, > == limite superior).

Expansão: Após delimitar a região de interesse, o acionamento da tecla E executa a expansão, retornando ao modo cursor.

Quit: A tecla Q permite abandonar o modo cursor, retornando ao menu principal.

- Fim: F termina a execução do programa

O Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados utilizado nas experiências de Efeito fotoelétrico e Franck-Hertz, consiste basicamente do ADC0808, um circuito integrado que engloba um Conversor Analógico Digital (CAD) de 8 bits e tempo de conversão de 100 μ s, e um circuito multiplexador de 8 entradas. Através do multiplexador, uma chave comutadora eletrônica, até 8 sinais elétricos diferentes podem ser medidos pelo ADC. A faixa de conversão do CAD faz corresponder tensões de 0 a 5V nas entradas do multiplexador aos números 0 a 255, correspondendo aos 8 bits D0, D1, ... D7 na saída do CAD. IC3 e IC4 são amplificadores operacionais (741) que permitem alterar a faixa de medição. A interface deste pequeno (e barato, o ADC0808, seu componente mais caro, custa por volta de US\$ 8) circuito é feita através da porta paralela existente no micro e que é normalmente utilizada para uma impressora. Esta porta, quando no modo NORMAL, só dispõe de 4 bits que podem ser lidos pelo micro e 8 que podem ser enviados do micro para fora, de modo que os 8 bits correspondentes ao resultado da conversão devem ser lidos em duas partes. Para isso é empregado o deslocador LS157. Quando um sinal lógico 0 (0V) é colocado em seu pino 1, os bits D0 a D3 da entrada são transferidos aos 4 pinos de saída (12,9,7,4) do LS157. Quando no pino 1 aparece o sinal lógico 1 (5V), os bits D4 a D7 são então transferidos. O programa de aquisição e controle da experiência agrupa as duas partes. A conversão se inicia ao se enviar um sinal lógico 1 ao pino 6 do CAD (Início da Conversão). O canal deve ser previamente selecionado, através dos pinos 25,24 e 23. O pino 7 (Fim de Conversão) terá o valor lógico 1 quando a conversão terminar. O tempo de conversão é basicamente determinado pela frequência da base de tempo fornecida pelo oscilador formado por IC5.

