

O EFEITO TÚNEL EM MECÂNICA QUÂNTICA E O POTENCIAL DE FOWLER-NORDHEIM

Cleber Ribeiro de Jesus¹, Regina Maria Ricotta
Faculdade de Tecnologia de São Paulo
crjtechnology@yahoo.com.br, regina@fatecsp.br

1. Introdução

O fenômeno de tunelamento de barreiras ou efeito túnel é um dos mais interessantes e ricos da mecânica quântica. Testemunha disto são as suas múltiplas aplicações, desde os exemplos mais clássicos, tais como a molécula de amônia, o decaimento α em física nuclear, o diodo de Esaki, o efeito Zenner e muitos outros efeitos em física do estado sólido, como nos dispositivos semicondutores, encontrados no nosso dia-a-dia em televisores, carros, máquinas de lavar, computadores, etc., [1] O efeito túnel é também responsável pelos dispositivos de emissão de campo e microscopia de tunelamento de alta resolução além de manifestar-se em complexas teorias de campos de medida, através dos assim chamados instantons, [2].

Emissão de campo ou tunelamento Fowler-Nordheim é o processo em que os elétrons tunelam por uma barreira de potencial como, por exemplo, de um metal ou semicondutor para o vácuo ou um dielétrico, na presença de um campo elétrico intenso, ao invés de escaparem, como na emissão termiônica ou foto-emissão, [3]. O potencial da Figura 1 é um potencial triangular que simula o potencial Fowler-Nordheim para o qual calculamos o seu coeficiente de transmissão através do método aproximativo de solução da equação de Schrödinger, WKB (Wentzel - Kramers - Brillouin), [4].

2. Metodologia

É sabido que o método aproximativo WKB é apropriado para os casos em que o comprimento de onda da partícula é pequeno comparado com a distância sobre a qual o potencial varia apreciavelmente. Aqui, o método foi aplicado na forma dita padrão, em que o tratamento dos pontos clássicos de retorno, onde a aproximação não é válida, foi feito através da interpolação entre as regiões classicamente permitida e proibida na forma linearizada, [4]. Assim, a fórmula encontrada para o coeficiente de transmissão é dada por

$$T \cong \exp\left(-2 \int_b^a p_1 \cdot \frac{dx}{\hbar}\right)$$

onde o momento p_1 é dado em termos da massa da partícula, do potencial V e da energia total E ,

$$p_1 = \sqrt{2m \cdot (V - E)}.$$

3. Resultados

No caso da emissão a frio, o metal é colocado num campo elétrico forte, que tende a puxar os elétrons para

fora do metal, é o campo que ajuda a emissão de elétrons. A função potencial fica, então, representada pela curva abaixo, Figura 1, uma vez que o potencial original fica adicionado ao potencial elétrico $-e\mathcal{E}x$, onde $\mathcal{E}$ é o campo elétrico, x é a distância da borda do metal e e é a carga elementar do elétron,

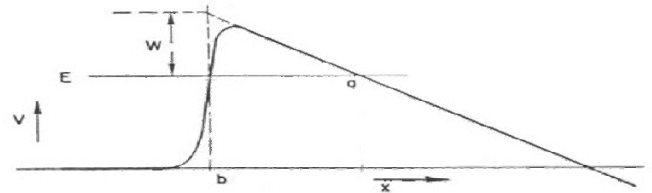


Figura 1 – Forma do potencial..

Assim, $V-E = W - e\mathcal{E}x$, onde W é a função de trabalho do metal e o coeficiente de transmissão T será dado por

$$T = \exp\left[-2 \int_0^a \sqrt{2m \cdot (W - e\mathcal{E}x)} \cdot \frac{dx}{\hbar}\right] = \exp\left[-\frac{4}{3} \cdot \sqrt{2m} \cdot \frac{W^{3/2}}{\hbar e\mathcal{E}}\right]$$

A partir desta expressão podemos calcular a corrente J , multiplicando-se T pelo número n de elétrons que incidem na borda do metal por segundo, $J = nT$.

4. Conclusões

Observa-se portanto, inclusive experimentalmente, que a corrente J cresce com a intensidade do campo e tem maior valor para materiais com menor função trabalho. Entretanto, as correntes observadas são muito maiores numericamente do que aquelas calculadas através da equação acima. Isto ocorre porque a superfície do metal não é plana (lisa), ao contrário, possui irregularidades microscópicas, que causam um campo elétrico próximo à superfície muito maior do que o campo longe dela. Já que T é muito sensível a $\mathcal{E}$, pode resultar um enorme aumento na corrente, mesmo se $\mathcal{E}$ for somente dobrado ou o triplicado.

5. Referências

- [1] C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, J.Wiley, NY, 1986
- [2] M. Shifman, Instantons and Gauge Theories, World Scientific, 1994
- [3] V. Mammana, Tese de Doutorado, USP, 2000
- [4] D. Bohm, Quantum Theory, Dover, NY, 1989

¹Aluno de IC, CNPq-PIBIC