

BASES EXPERIMENTAIS DA MECÂNICA QUANTICA - EFEITO FOTOELÉTRICO

Resumo

Utilizando LEDs com máscaras de cor e LEDs com comprimento de onda 'específico', espera medir-se as frequências de corte para cada cor e encontrar a constante de Planck (h) e a função trabalho (w) através do ajuste linear de tensão de corte vs. corrente; h não teve valores muito bons e não conseguimos descobrir o material do ânodo através de w .

Introdução

O efeito fotoelétrico ocorre quando uma placa metálica é exposta a uma radiação eletromagnética de frequência alta, por exemplo, um feixe de luz capaz de arrancar elétrons da placa metálica.

A descoberta desse efeito ocorreu entre 1886 e 1887 por Heinrich Hertz, que usou a física clássica para explicá-lo. Os conceitos clássicos tornaram a concepção desse fenômeno insuficiente, dando lugar aos conceitos modernos propostos por Albert Einstein no ano de 1905. Einstein propôs a quantização, para arrancar elétrons da superfície a energia da radiação estaria concentrada em pacotes e não distribuída sobre a onda. Isso define a fó-



la da energia do fóton

$$E = h\nu$$

E : energia do fóton

h : constante de Planck

ν : frequência do fóton

A frequência envolvida correspondente para diferentes meios e cores, pode ser obtida através da seguinte relação:

$$c = \lambda\nu \quad (2)$$

c : velocidade da luz

λ : comprimento de onda

Contudo, é importante ressaltar que o elétron perde energia ao ser ejetado do material que se encontrava em repouso, então a equação foi corrigida para a seguinte forma:

$$E = h\nu - \phi \quad (3)$$

ϕ : função trabalho que o elétron tem para ser ejetado de uma superfície de material para outra superfície.

Através de experimentos, Einstein confirmou que se variando a frequência e obtendo tensões em que quando aplicadas, anularam o efeito fotoelétrico, relacionando estas duas grandezas graficamente, pôde possível obter os respectivos valores da constante de Planck e da função trabalho envolvidas. Considerando que

a energia do fóton é equivalente a eV (carga elementar do elétron multiplicada pela voltagem), temos a seguinte equação final para determinar os valores da constante λ e da função:

$$eV = h\nu - \phi \quad (4)$$

Metodologia

Nesse experimento foi utilizado um equipamento de precisão para estudar o efeito fotoelétrico, também foram utilizados LEDs coloridos, LED branco e filtros coloridos.

O primeiro passo foi realizar o calibre do fototubo. Este consistia em posicionar uma placa opaca em frente ao detector, aplicar então a tensão de retardo máxima possível e como auxílio de ajuste fino do equipamento, ajustava-se o ponto de corrente nula. Este passo foi repetido após cada realização do experimento para cada filtro e para cada LED.

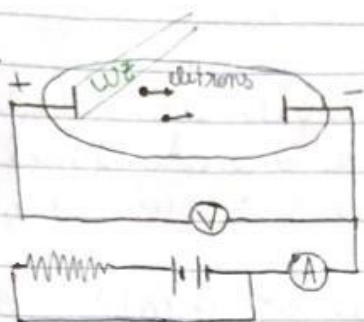
Para fazer a coleta de dados, primeiro utilizamos o LED branco e colocamos filtros em frente ao detector do aparelho e aproximamos o LED do aparelho de forma que a corrente atingisse 30 nA, então, aplicava-se uma tensão de retardo até a corrente atingir o valor nulo. Normalmente, a tensão de retardo aplicada quando a corrente tornava nula então foi coletada. Repetiu-se o mesmo procedimento para os LEDs coloridos.



Foram avaliados os valores de tensão de retardo quando a corrente se anulava em função das frequências dos filtros e dos LEDs envolvidos.

Resultados e discussões

8. e 9.



O cátodo emite elétrons quando há incidência de luz (existe uma ddp entre os dois eletrodos). Portanto, a luz incide sobre o cátodo e os elétrons são ejetados e se guiam até o polo negativo; portanto conseguimos medir a corrente. Ao aplicar uma ddp no sentido contrário (potencial retardador). Observamos que ao aumentar o potencial retardador, a corrente medida pelo amperímetro diminuía, mas independentemente da intensidade da luz incidente sobre o cátodo o potencial retardador era sempre o mesmo. Isso é um fototubo.

Fotocélulas são todos os dispositivos que conseguem transformar luz em corrente elétrica (ex: fotoresistor, células fotovoltaicas).

O material que compõe a superfície absorvedora do fototubo depende da função Traba-

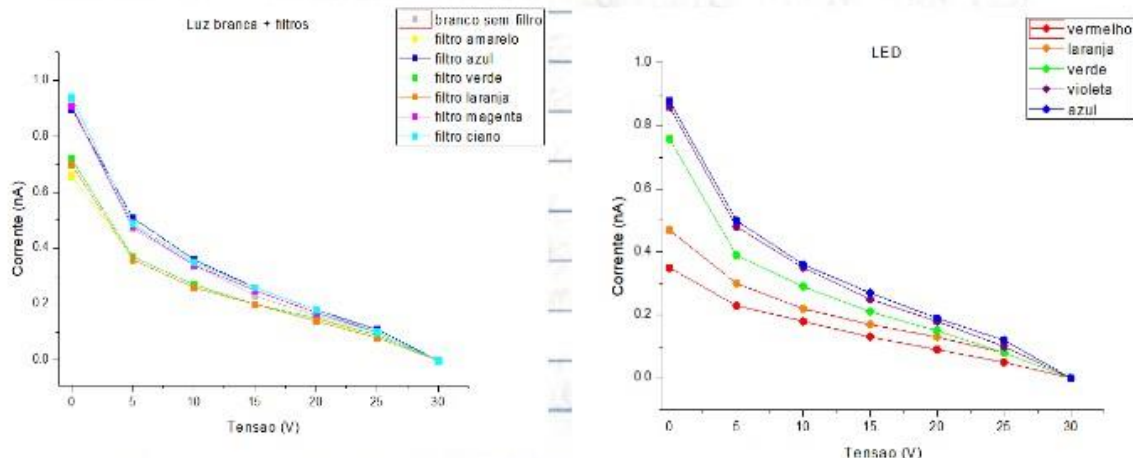
lho, então mais a frente responderemos melhor esta questão

Abaixo, temos os gráficos de Tensão vs corrente para os LEDs coloridos e a LED branco com os filtros. Antes, temos a tabela com os dados de correntes e tensões adquiridas e o valor de frequência calculado.

Tabela 1 - Valores obtidos a partir do experimento

Led/Filtro	Tensão							Compriment Onda de Pico	Comprimento de onda em (m)	Frequencia $v=c/\lambda$	
	30	25	20	15	10	5	0				
Vermelho	0,0	0,05	0,09	0,13	0,18	0,23	0,35	653	0.000000653	4.591E+14	
Laranja	0,0	0,08	0,13	0,17	0,22	0,30	0,47	595	0.000000595	5.03853E+14	
Verde	0,0	0,08	0,15	0,21	0,29	0,39	0,76	558	0.000000558	5.37262E+14	
Violeta	0,0	0,10	0,18	0,25	0,35	0,48	0,86	396	0.000000396	7.57052E+14	
Azul	0,0	0,12	0,19	0,27	0,36	0,50	0,88	475	0.000000475	6.31142E+14	
Branco/Sem filtro	0,0	0,10	0,16	0,23	0,34	0,47	0,91	460	0.00000046	6.51723E+14	
Branco/Filtro Amarelo	0,0	0,08	0,15	0,20	0,27	0,37	0,66	541	0.000000541	5.54145E+14	
Branco/Filtro Azul	0,0	0,11	0,18	0,26	0,36	0,51	0,90	460	0.00000046	6.51723E+14	
Branco/Filtro Verde	0,0	0,09	0,15	0,20	0,27	0,37	0,72	537	0.000000537	5.58273E+14	
Branco/Filtro Laranja	0,0	0,08	0,14	0,20	0,26	0,36	0,70	556	0.000000556	5.39195E+14	
Branco/Filtro Magenta	0,0	0,10	0,17	0,25	0,34	0,48	0,91	460	0.00000046	6.51723E+14	
Branco/Filtro Ciano	0,0	0,10	0,18	0,26	0,35	0,49	0,94	460	0.00000046	6.51723E+14	
Branco/Filtro Vermelho	Não foi possível medir com o filtro vermelho.								663	0.000000663	4.52176E+14

Gráfico 1 - Tensão vs corrente



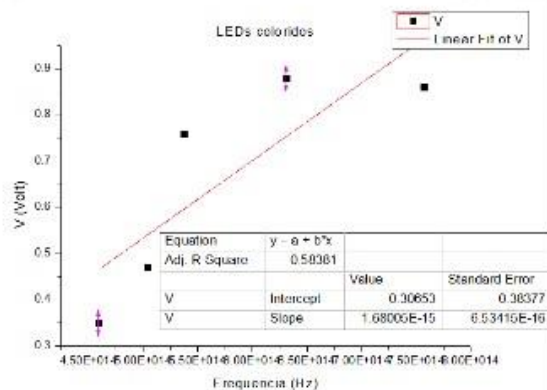
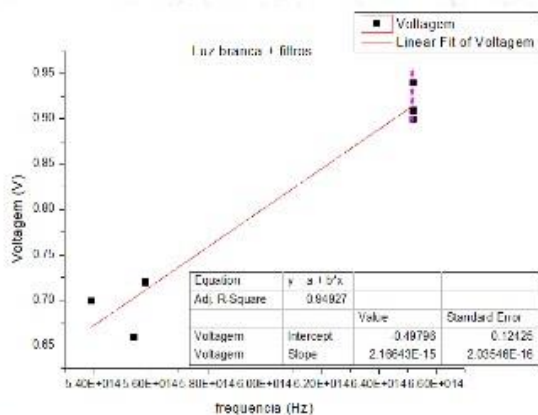
10. Podemos notar na tabela 1 que não foi possível medir a tensão com o filtro vermelho, isso ocorre porque dentro do espectro visível, a luz vermelha é a que tem o maior comprimento de onda e consequentemente, terá a menor frequência ($f = c/\lambda$), fazendo com que os elétrons não consigam nem chegar no ânodo (e talvez nem saísse do cátodo).

Isso ocorre com a luz branca + filtro, pois a luz branca tem um espalhamento maior, fazendo com que a luz chegue mais dispersa e talvez até com intensidade menor, podemos observar na tabela que o comprimento de onda de pico do LED vermelho é menor que o comprimento de onda de pico do LED branco + filtro vermelho, fazendo com que a frequência do LED vermelho seja maior do que com o LED branco + filtro vermelho. Além disso, é possível notar no gráfico com o LED que a tensão de corte menor é a do LED vermelho justamente por sua frequência menor, enquanto a do LED azul é a mais alta, como já esperada.

Podemos notar que as frequências de corte da luz branca + filtros são mais próximas umas das outras, isso ocorre justamente pelo maior espalhamento da luz branca, que faz com que os comprimentos de onda de cada cor tenham um espectro maior, deixando as variações de comprimento de onda muito próximas uns aos outros; enquanto os LEDs coloridos espalharam menos, fazendo com que a variação de comprimento de onda de cada cor não

variarse muito, tendo valores de frequências de corte menos "amontoados".

Gráfico 2 - Tensão de corte vs frequência



Para o gráfico dos LEDs coloridos, obtivemos $h = (2,88 \pm 0,94) \times 10^{-34}$ J.s e $w = (-0,36 \pm 0,35)$ eV. Já para o gráfico da Luz branca + filtros, obtivemos $h = (3,48 \pm 0,39) \times 10^{-34}$ e $w = (-0,51 \pm 0,15)$ eV. Estes valores foram calculados usando a seguinte relação:

$$E_c = hf - w \Rightarrow V_c e = hf - w \Rightarrow V_c = \frac{hf - w}{e}$$

$$\Rightarrow V_c = \frac{h}{e} f - \frac{w}{e}$$

$\underbrace{\hspace{1cm}}_{a} \times \underbrace{\hspace{1cm}}_{b}$

Portanto, para encontrarmos h , pegamos os valores de slope e multiplicamos pela carga do elétron e o w foi encontrado pelo intercept dividido pela carga do elétron.



Para os LEDs coloridos, o erro ^{de} relativo ^{de} foi de 56%, enquanto para a luz branca + filtros foi de 47%. A discrepância entre a função trabalho dos LEDs coloridos e da luz branca é de 29%.

Agora, podemos voltar à questão de material que compõe a superfície absorvedora do fototubo. A função trabalho serve para definir o metal condutor, pelos valores obtidos pelos gráficos comparando com uma tabela de valores fixos. O material λ pode ser de Prata + Germânio ou Ouro + Germânio; não conseguimos determinar ao certo o material exatamente.

M. O pico que devemos analisar é o maior. A maioria dos LEDs brancos são combinados λ por fotoluminescência que são originalmente LEDs azuis, em cima dele, temos uma camada de fósforo. Quando o LED azul irradia o fósforo, uma luz amarela é irradiada; esta conjuntura faz com que tenhamos o comprimento da luz branca, pode ser que nem todos os feixes do LED azul λ combinarem com o fósforo, gerando picos secundários. Além disso, lasers mais baratos por exemplo, podem não ter um componente que impedissem as ondas infravermelhas.

Conclusão

Através do experimento, conseguimos obter gráficos de Tensão vs corrente e de tensão de corte vs frequência; no primeiro caso consegui-



mes comparar a diferença da frequência de corte entre os LEDs coloridos e o LED branco + filtros coloridos. Pelos ajustes lineares do segundo gráfico obtivemos a constante de Planck e a função trabalho, apesar dos valores relativamente próximos do valor original da constante de Planck, os pontos nem o ajuste não pareciam formar um ajuste linear. Já a função trabalho não foi conclusiva para determinarmos o material do cátodo.