

Tema 02: Ondas Eletromagnéticas – Átomo de Bohr

Recomendada a Bibliografia 1, 2 e 3 das Informações Gerais

1) Defina onda eletromagnética. Qual é a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas?

2) i) Defina espectro eletromagnético/região espectral. ii) Monte uma Tabela indicando as regiões do espectro eletromagnético em uma das colunas e nas outras duas colunas a faixa de frequência (Hz) e comprimentos de onda (m), respectivamente. iii) Compare a ordem de grandeza entre os extremos da região do espectro eletromagnético.

3) Calcule a velocidade da luz amarela padrão ($\lambda = 589 \text{ nm}$) nos seguintes meios:

Meio	Índice de Refração (n)
Água	1,33
Glicerina	1,47
Diamante	2,42

4) Explique/Defina:

i) Em física o que é “corpo negro”?

ii) Qual é o comportamento da luz emitida de um corpo negro em função da temperatura (vide por exemplo, slide 12 da aula 02)?

iii) O que deveria ser observado na radiação de um corpo negro segundo a física clássica, também conhecido como “catástrofe do ultravioleta”?

5) Quando se aquece um objeto metálico este emite luz (exemplo: uma resistência de churrasqueira elétrica ou filamento de uma lâmpada). O aumento da temperatura aumenta as vibrações dos átomos do metal. A uma dada temperatura, entretanto, não temos todos os átomos do metal vibrando em uma mesma frequência, mas sim, uma distribuição de frequências de vibração no metal.

i) Utilizando a argumentação acima, descreva como Planck explicou o comportamento da radiação do corpo negro em função da temperatura.

ii) O que é a equação de Planck e como ela se correlaciona com o comportamento da radiação do corpo negro.

iii) Defina “quanta” de energia.

iv) Calcule a energia (J) de um quanta de radiação na região do micro-ondas de frequência $5 \times 10^9 \text{ Hz}$.

6) Einstein comprovou que a “quantização” da energia proposta por Planck para explicar o comportamento do corpo negro era um fenômeno mais geral ao estudar o efeito fotoelétrico.

i) Descreva o efeito fotoelétrico.

A equação de Einstein para descrever o efeito fotoelétrico é:

$$E = E^0 + E_c$$

Ou em termos quantizados:

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{mV^2}{2}$$

ii) Qual o significado dos termos E , E^0 e E_c ?

iii) Em relação ao comportamento fotoelétrico assinale verdadeiro (V) ou falso (F):

a) A frequência inicial (ν_0) a partir da qual se observa o efeito fotoelétrico é a mesma para qualquer material constituinte do fotoânodo, e não varia com a temperatura ()

b) A incidência no fotoânodo de radiação eletromagnética de frequência $\nu > \nu_0$ resulta em um aumento da intensidade de corrente e numa diminuição na velocidade dos elétrons que são retirados do fotoânodo ()

c) A incidência no fotoânodo de radiação eletromagnética de frequência $\nu > \nu_0$ resulta em um aumento da velocidade dos elétrons ejetados e a intensidade de corrente permanece constante ()

d) Conhecendo ν_0 e ν é possível determinar a velocidade dos elétrons ejetados ()

e) Quanto maior a intensidade da radiação incidente de frequência $\nu > \nu_0$ maior será a intensidade de corrente, porém não ocorre aumento na velocidade dos elétrons ejetados (...)

7) i) Explique conceitualmente qual é a diferença de uma onda de luz verde e um fóton verde.

ii) Segundo a assunção de Einstein um fóton é uma onda ou uma partícula? Justifique.

iii) Uma luz verde ao apresentar refração é onda ou fóton? Ao incidir em um dispositivo fotoelétrico e gerar uma corrente é onda ou fóton? Justifique.

8) Assista a algum vídeo que trata do tema do efeito fotoelétrico e coloque o endereço do link.

8) Abaixo temos representada a capa do LP “*The Dark Side of The Moon*” do grupo inglês *Pink Floyd*, lançado em 1973.



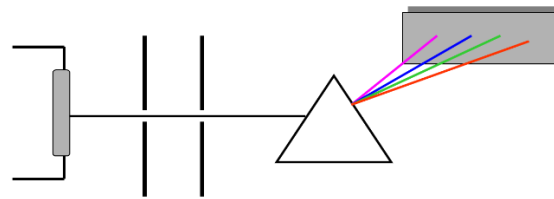
i) A luz que emerge do prisma é característica de um espectro contínuo ou de um espectro de linhas? Justifique.

ii) O que você entende por um espectro de linhas?

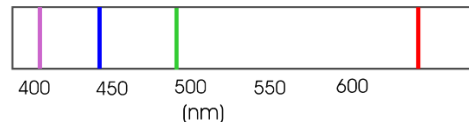
9) Quando gás hidrogênio a baixa pressão contido em uma ampola de Crookes é submetido a uma descarga elétrica este gás emite luz rosa-avermelhada, como pode ser observado abaixo:



Incidindo esta luz em um prisma ou rede de difração se observa a existência de quatro linhas correspondentes a quatro comprimentos de onda distintos na região visível do espectro eletromagnético. (vide esquema na sequência)



Espectro de Linhas do Hidrogênio



i) Quais são os comprimentos de onda em nanômetros destas quatro linhas?

Ao analisar o espectro de linhas da emissão do hidrogênio o matemático suíço Johan J. Balmer formulou em 1848 uma expressão matemática que correlaciona os comprimentos de onda (λ) destas linhas de emissão com números inteiros (n) segundo:

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$\bar{\nu}$ = Número de onda

R = Constante Rydberg ($1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$)

Para estes quatro comprimentos de onda Balmer observou que $n_f = 2$. Logo, n_i assumirá valores inteiros > 2 . Essa série de linhas (comprimentos de onda) na região do visível é denominada série de Balmer.

A análise do espectro de emissão do hidrogênio mostrou que além da série de Balmer, existem outros conjuntos de linhas em outras regiões do espectro eletromagnético (ultravioleta, infravermelho). Estes conjuntos de linhas também obedecem a expressão de Balmer, contudo, para outros valores de n_f (pex. série de Lyman $n_f = 1$, e obviamente $n_i > 1$). Portanto, a emissão do hidrogênio pode ser descrita matematicamente assumindo-se simplesmente dois números inteiros, sendo cada série determinada por um n_f característico.

ii) Calcule os comprimentos de onda na série de Balmer em m (metros) e nm (nanômetros), e compare com os valores que você respondeu em (i). Lembre-se de usar ao menos quatro algarismos significativos ao longo dos cálculos.

iii) A equação de Balmer também pode ser reformulada de tal forma que seja feita a correlação com a frequência (ν , ou f), ao invés do comprimento de onda, sendo que para a série de Balmer assume a forma:

$$\nu = 8,2202 \times 10^{14} \left(1 - \frac{4}{n^2} \right)$$

Levando em consideração: a) o valor da constante de Rydberg; b) que se trata da série de Balmer e c) lembrando que $c = \lambda \cdot \nu$, deduza a expressão em função da frequência mostrada acima a partir da equação em função do comprimento de onda.

iv) Calcule a expressão em função da frequência para a série de Lyman.

10) Simplificadamente, no modelo do átomo de Rutherford, temos uma região nuclear (núcleo) que contém os prótons e nêutrons e os elétrons separados consideravelmente do núcleo ocupando a “eletrosfera”. Este modelo apesar de correto não tem sustentação nos princípios do eletromagnetismo, pois se os elétrons estão estáticos (sem movimento) estes seriam atraídos pelos prótons do núcleo. Uma possibilidade então é que a atração eletrostática fosse contrabalanceada pela força centrífuga caso estes se encontrem em movimento circular ao redor do núcleo. Entretanto, cargas elétricas em movimento ao redor de uma carga positiva deveriam gradativamente perder energia e colapsar no núcleo.

i) Explique em linhas gerais como é que Bohr propõem o comportamento dos elétrons nos átomos levando em consideração as inconsistências do modelo do átomo de Rutherford.

ii) Segundo o modelo do átomo de Bohr o que é um estado estacionário? Que assunção Bohr faz para definir o estado estacionário?

iii) Como as linhas de emissão do hidrogênio são utilizadas por Bohr para a caracterizar estes estados estacionários?

iv) Neste modelo o que você entende por “transição eletrônica” entre dois estados permitidos. Explique.

11) Bohr desenvolveu um modelo matemático considerando que os átomos se encontraram em movimento circular ao redor do átomo e a energia dos elétrons assume valores que são quantizados em cada uma das possíveis orbitas que o elétron pode assumir na sua trajetória circular ao redor do núcleo.

O resultado deste modelo considerando o átomo de hidrogênio é:

$$r = a_0 n^2$$

r = raio da trajetória circular = distância ao núcleo
 a_0 = constante "raio de Bohr" = $5,2917 \times 10^{-11} \text{ m}$
 n = número inteiro

$$E_n = -\frac{Rhc}{n^2} = -\frac{2,18 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ (Joule)}$$

E_n = Energia do elétron na órbita n
 R = Constante de Rydberg
 c = Velocidade da luz
 n = Número inteiro

i) Usando as expressões acima, calcule E_2 (energia para $n=2$) e E_3 (energia para $n=3$)

ii) a) Considerando os valores obtidos no item acima em "módulo" que nível eletrônico (órbita) apresenta maior energia E_2 ou E_3 ?

b) Uma vez que este valor de energia leva em consideração essencialmente a energia potencial elétrica estabelecida entre o elétron e o próton, como este resultado pode ser justificado?

iii) Calcule ΔE (obs: considere o valor das energias em "módulo", subtraindo o menor valor do maior).

iv) Uma vez que esta energia é quantizada, utilize a equação de Planck ($\Delta E = h\nu$) para calcular a frequência e a partir dela o comprimento de onda (em m e nm).

O valor de comprimento de onda (λ) corresponde a que linha da série de Balmer?

v) Compare este resultado com o obtido em (9-ii).

vi) Repita os passos agora considerando uma transição $6 \rightarrow 2$.