

## Física Quântica e Efeito Fotoelétrico

Prof.: Dr. Glauco Hebert

Futuro universitário: \_\_\_\_\_

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

#### Questão-01 - (Famerp SP/2023)

No modelo do átomo de hidrogênio proposto por Bohr, os elétrons só podem ocupar certos estados estacionários e a energia de cada um desses estados é dada, em elétron-volts (eV), por  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ , sendo  $n$  o número quântico principal do estado considerado. Apenas ao passar de um estado para outro o elétron absorve ou emite uma quantidade de energia que corresponde à diferença entre as energias desses dois estados.

Nesse modelo, quando um elétron faz uma transição do estado  $n = 2$  para o estado  $n = 3$ , ele absorve uma quantidade de energia que é de, aproximadamente,

- a) 1,89 eV.
- b) 1,51 eV.
- c) 2,72 eV.
- d) 3,40 eV.
- e) 4,53 eV.

#### Questão-02 - (UEG GO/2022)

O espectro de raios X é composto por duas partes. A primeira, referente ao espectro contínuo, é advinda do efeito *breamsstrahlung*, e a segunda referente ao espectro característico do alvo (ânodo). No efeito *breamsstrahlung* temos que um elétron colide com um átomo do ânodo e a diferença da energia cinética antes e após a colisão é igual à energia de um fóton de raio X emitido. Considere que a energia cinética inicial de um elétron é 40.000 eV e que sua energia após a colisão seja 20.000 eV. Considere que a constante de Planck seja aproximadamente  $4,0 \times 10^{-15}$  eV. A frequência da radiação X emitida neste processo, em Hertz, é

- a)  $1,0 \times 10^{12}$
- b)  $2,0 \times 10^{12}$
- c)  $5,0 \times 10^{18}$
- d)  $10,0 \times 10^{18}$

- e)  $15,0 \times 10^{18}$

#### Questão-03 - (Fuvest SP/2021)

A energia irradiada pelo Sol provém da conversão de massa em energia durante reações de fusão de núcleos de hidrogênio para produzir núcleos de hélio. Atualmente, essas reações permitem ao Sol emitir radiação luminosa a uma potência de aproximadamente  $4 \times 10^{26}$  W. Supondo que essa potência tenha sido mantida desde o nascimento do Sol, cerca de  $5 \times 10^9$  anos atrás, a massa correspondente àquela perdida pelo Sol até hoje é mais próxima de

- a)  $10^7$  kg.
- b)  $10^{17}$  kg.
- c)  $10^{27}$  kg.
- d)  $10^{37}$  kg.
- e)  $10^{47}$  kg.

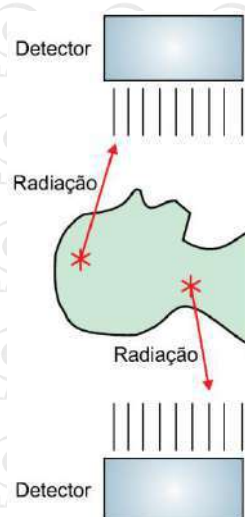
**Note e adote:**

Velocidade da luz no vácuo:  $3 \times 10^8$  m/s.

Considere que um ano tem cerca de  $3 \times 10^7$  s.

#### Questão-04 - (Famerp SP/2021)

Em certos exames de medicina nuclear, uma substância radioativa é administrada ao paciente que, posteriormente, é acomodado em um aparelho. Quando o elemento radioativo decai, os detectores do aparelho captam parte dos fótons emitidos.



(www.radiologycafe.com. Adaptado.)

Sabe-se que a energia associada a um fóton está relacionada com a frequência da radiação pela expressão  $E_f = h \cdot f$ , sendo  $h$  a constante de Planck, cujo valor é  $6,63 \times 10^{-34}$  J.s. Suponha que o elemento radioativo utilizado em um desses exames seja o tecnécio-99m, que emite radiação cujos fótons têm energia associada de  $2,24 \times 10^{-14}$  J, e considere os detectores de radiação sensíveis às faixas de frequência indicadas na tabela.

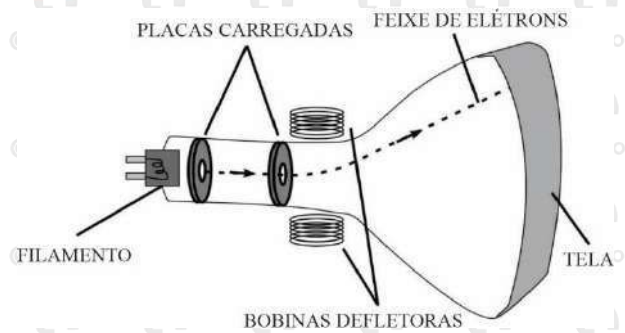
Detector	Faixa de sensibilidade (Hz)
I	$10^{12}$ a $10^{13}$
V	$10^{13}$ a $10^{14}$
U	$10^{16}$ a $10^{17}$
X	$10^{17}$ a $10^{18}$
G	$10^{19}$ a $10^{20}$

Para que possam captar os fótons emitidos pelo tecnécio-99m, os detectores utilizados no aparelho devem ser do tipo

- X.
- G.
- V.
- I.
- U.

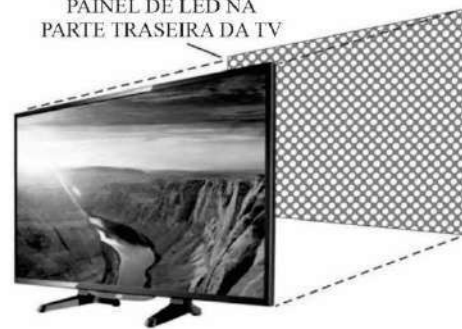
**TEXTO: 1 - Comum à questão: 5**

Uma das invenções mais marcantes da nossa história recente foi a Televisão. Sua criação se pauta numa série de descobertas científicas que se estendem ao longo de anos. A evolução dos aparelhos de TVs domésticos se deu em saltos exponenciais desde a década de 1990, evoluindo das antigas TVs de tubo para as atuais TVs de LED. As TVs de tubo só foram possíveis a partir da patente do *ionoscópio*, pelo russo Wladimir Zworykin, em 1923. O aparelho possibilitou a criação dos CRT (*Cathode Ray Tube* - Tubo de raios catódicos) que equiparam as TVs que dominaram o mercado até a década de 1990. Nesse tipo de aparelho, um feixe de elétrons, partículas elementares cuja carga elétrica é de  $-1,60 \times 10^{-19}$  C, é acelerado por um campo elétrico. Posteriormente, os elétrons são desviados por bobinas de deflexão que têm a finalidade de desviá-los, a fim de "varrer" toda a tela.



Já as TVs de LED possuem pequenos componentes chamados de diodos emissores de luz (do inglês *Light Emitting Diode* - LED). Nos televisores com essa tecnologia, a luz não é ionizada, mas, sim, gerada por um inúmeros de LEDs colocados lado a lado. As telas desses aparelhos podem ser bem mais finas chegando a apresentar apenas 3,0 cm de espessura!

PAINEL DE LED NA PARTE TRASEIRA DA TV



Wagner de Souza

**Questão-05 - (UnirG TO/2021)**

Além dos aparelhos de TV modernos, existem várias aplicações para o LED. Ele está presente também em lanternas, geladeiras, automóveis e smartphones, por exemplo. Para explicar o seu funcionamento seria preciso explorar alguns conceitos da Física Moderna. Os valores dos comprimentos de onda utilizados no cálculo da frequência característica de um LED, para uma determinada cor, podem ser consultados na tabela a seguir:

Cor do LED	Comprimento de Onda (nm)
Infravermelho	697
Vermelho	660
Laranja	635
Amarelo	595
Verde	560
Azul	430

Fonte:

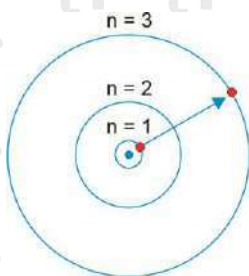
Costa.ppdfntheon.ufrj.br/bitstream/11422/2927/4/BHMCosta.pdf

Considerando que a velocidade da luz no vácuo é de  $3,0 \times 10^8$  m/s e que a constante de Planck vale  $6,6 \times 10^{-34}$  Js, qual é o valor da energia emitida por um fóton de um LED de cor *vermelha*?

- $4,4 \times 10^{-40}$  J
- $2,2 \times 10^{-26}$  J
- $1,3 \times 10^{-31}$  J
- $3,0 \times 10^{-19}$  J

#### Questão-06 - (Santa Casa SP/2021)

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr propôs um modelo para explicar o átomo de hidrogênio no qual o elétron, ao girar ao redor do próton, só podia ocupar órbitas cujas energias fossem dadas pela relação  $E_n = -\frac{13,6}{n^2} = eV$ , sendo  $n$  o número da órbita e eV (elétron-volt) a unidade de energia.



(www.sbfisica.org.br. Adaptado.)

Quando o elétron se encontra no estado fundamental do átomo de hidrogênio, ou seja, na órbita  $n = 1$ , a energia vale  $-13,6$  eV. Para transitar

a órbitas com  $n$  maiores, o elétron deve absorver quantidades bem definidas de energia.

Segundo o modelo de Bohr, ao sofrer uma transição da órbita  $n = 1$  para a órbita  $n = 3$ , o elétron deve absorver uma quantidade de energia de, aproximadamente,

- 18,1 eV.
- 9,1 eV.
- 15,1 eV.
- 4,5 eV.
- 12,1 eV.

#### Questão-07 - (Santa Casa SP/2020)

Para explicar o fenômeno do efeito fotoelétrico, Einstein considerou que a luz é composta por fótons (partículas de luz) e que cada fóton transporta uma quantidade de energia,  $E_F$ , dada pela expressão  $E_F = h \cdot f$ , sendo  $f$  a frequência da onda associada à luz e  $h$  a constante de Planck, de valor  $6,6 \times 10^{-34}$  J.s. Um LED que emite  $6,0 \times 10^{18}$  fótons a cada minuto e cuja luz tem frequência  $5,0 \times 10^{14}$  Hz emite com potência igual a

- $3,0 \times 10^{-3}$  W.
- $1,2 \times 10^{-2}$  W.
- $5,6 \times 10^{-2}$  W.
- 2,0 W.
- $3,3 \times 10^{-2}$  W.

#### Questão-08 - (UFRGS RS/2020)

No início do século XX, a Física Clássica começou a ter problemas para explicar fenômenos físicos que tinham sido recentemente observados. Assim começou uma revolução científica que estabeleceu as bases do que hoje se chama Física Moderna.

Entre os problemas antes inexplicáveis e resolvidos nesse novo período, podem-se citar

- a indução eletromagnética, o efeito fotoelétrico e a radioatividade.
- a radiação do corpo negro, a 1ª lei da Termodinâmica e a radioatividade.
- a radiação do corpo negro, a indução eletromagnética e a 1ª lei da Termodinâmica.
- a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e a radioatividade.

e) a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e a indução eletromagnética.

**Questão-09 - (UNITAU SP/2019)**

No âmbito da Física Moderna, a luz é apontada como tendo um comportamento dual, ou seja, em algumas situações se comporta como um feixe de partículas, ao passo que, em outras, como uma onda eletromagnética.

Considerando o comportamento dual da luz, é TOTALMENTE CORRETO afirmar:

- a) A refração da luz não pode ser explicada pelo comportamento ondulatório.
- b) A reflexão da luz não pode ser explicada pelo comportamento ondulatório.
- c) A reflexão, a refração e a interferência da luz podem ser explicadas pelo comportamento ondulatório.
- d) A interferência da luz só pode ser explicada pelo comportamento corpuscular (partículas).
- e) O efeito fotoelétrico só pode ser explicado pelo comportamento ondulatório.

**Questão-10 - (PUC RS/2019)**

O desenvolvimento de uma teoria física que explicasse satisfatoriamente o efeito fotoelétrico resultou do trabalho de muitos pesquisadores na transição entre os séculos XIX e XX. Alguns desses cientistas, tais como Hertz, Hallwachs, Thomson, Lenard e Schweidler, ainda hoje são apresentados nos currículos de Física. No entanto, é a partir da publicação do artigo de Einstein intitulado “Sobre um ponto de vista heurístico concernente à geração e transformação da luz”, em 1905, que o efeito fotoelétrico recebe uma explicação satisfatória, rendendo ao cientista o prêmio Nobel de Física em 1921.

Sobre o efeito fotoelétrico, resultado da exposição de um alvo metálico à radiação de determinada frequência, NÃO é correto afirmar que

a) a intensidade da radiação incidente é relevante para se estabelecer o número de elétrons que são retirados do metal.

b) a energia máxima dos elétrons que são retirados do metal independe da frequência da radiação incidente.

c) o material de que é constituído o alvo onde incide a radiação influencia na determinação da frequência de corte.

d) a função trabalho é a energia mínima necessária para o elétron ser retirado do metal.

**Questão-11 - (UFU MG/2019)**

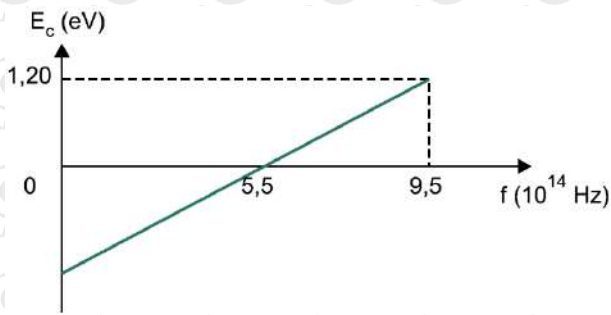
Há processos que ocorrem na estrutura eletrônica dos átomos em que um elétron pode ganhar ou perder energia. Nesses processos, o elétron passa de um nível de energia para outro, e a diferença de energia desses dois níveis, em alguns desses processos, pode ser emitida como um fóton de luz. O fóton possui energia que pode ser determinada por uma relação direta com a frequência da luz por meio da equação  $E = h \cdot f$ , onde  $E$  é a energia do fóton,  $h$  é a constante de Planck ( $h = 6,6 \times 10^{-34}$  J.s) e  $f$  é a frequência da luz emitida. Nessas situações, uma unidade de energia muito utilizada é o elétron-volt (eV), sendo que  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$  J. Considere dois níveis de energia eletrônicos com valores de  $E_1 = -2,93 \text{ eV}$  e de  $E_2 = -1,28 \text{ eV}$ , e um elétron que decai do nível  $E_2$  para o nível  $E_1$ , emitindo um fóton.

Qual é, aproximadamente, a frequência da luz associada a esse fóton?

- a)  $4,00 \times 10^{14}$  Hz
- b)  $2,42 \times 10^{15}$  Hz
- c)  $1,00 \times 10^{15}$  Hz
- d)  $6,64 \times 10^{13}$  Hz

**Questão-12 - (FGV/2019)**

O gráfico seguinte representa a energia cinética máxima ( $E_c$ ) dos elétrons ejetados de uma placa metálica em um processo fotoelétrico, em função da frequência ( $f$ ) da radiação incidente sobre a placa.



A função trabalho da amostra do elemento emissor dessa radiação vale, em eV,

- a) 1,55.
- b) 1,65.
- c) 1,70.
- d) 1,75.
- e) 1,80.

**Questão-13 - (PUC GO/2019)**

Como forma de economia de energia elétrica, pode-se fazer com que a iluminação pública seja acionada automaticamente, conforme a luminosidade do ambiente. Para que isso ocorra, os postes devem ser equipados com sensores conhecidos como fotocélulas. Por meio de uma pequena abertura, os sensores, ao detectarem os raios de luz, interrompem o circuito elétrico e as luzes são então apagadas. Quando os sensores não captam a luz do Sol, o circuito é fechado e as lâmpadas são acionadas.

É correto afirmar que o princípio de funcionamento desses sensores baseia-se no

- a) efeito Doppler.
- b) efeito Compton.
- c) efeito eletrostático.
- d) efeito fotoelétrico.

**Questão-14 - (FMABC SP/2019)**

Em 1900, Max Planck propôs que a radiação emitida por uma fonte não é contínua, mas sim composta de porções descontínuas. Em linguagem atual, dizemos que a radiação emitida por uma fonte é composta por fótons, cuja energia é dada pela relação  $E_f = h \cdot f$ , proposta por Planck, sendo  $E_f$  a energia de cada fóton emitido,  $h$  uma constante de valor  $6,63 \times 10^{-34}$  J. s e  $f$  a frequência da

radiação. Supondo que uma lâmpada emita radiação com potência de 8,0 W e frequência  $6,0 \times 10^{14}$  Hz, o número de fótons que ela emite a cada segundo é um valor próximo de

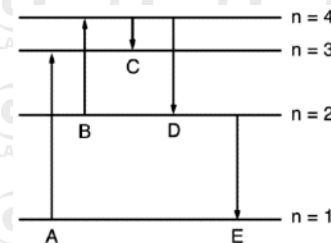
- a)  $4,0 \times 10^{19}$ .
- b)  $8,0 \times 10^{19}$ .
- c)  $2,0 \times 10^{14}$ .
- d)  $4,0 \times 10^{14}$ .
- e)  $2,0 \times 10^{19}$ .

**TEXTO: 2 - Comum à questão: 15**

Considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ , utilize  $\pi = 3$ ,  $(2)^{1/2} = 1,40$  e  $(3)^{1/2} = 1,70$ .

**Questão-15 - (UPE/2018)**

O diagrama ao lado ilustra as transições que são possíveis de ocorrer entre alguns níveis de energia, de acordo com o modelo de Bohr, de um átomo hidrogenoide da atmosfera de Plutão. Qual transição representa a emissão de um fóton com a maior energia?



- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

**Questão-16 - (Unifor CE/2017)**

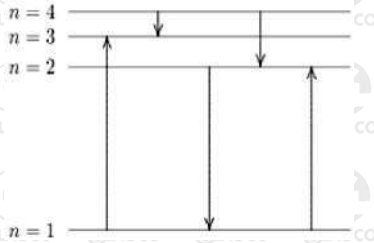
Um dos postulados de Bohr diz que em cada órbita permitida, o elétron tem uma energia constante e bem definida. Em um outro ele afirma que quando um elétron muda de órbita o átomo emite ou absorve um “quantum” de energia luminosa. O “quantum” é um pacote de energia. De acordo com a Teoria de Bohr, qual das seguintes transições no átomo de hidrogênio dará origem ao fóton menos energético?

$E_1 = -2,18 \times 10^{-18} \text{ J}$

- a)  $n = 5$  para  $n = 3$
- b)  $n = 6$  para  $n = 1$
- c)  $n = 4$  para  $n = 3$
- d)  $n = 6$  para  $n = 5$
- e)  $n = 5$  para  $n = 4$

**Questão-17 - (UDESC/2017)**

O diagrama da figura mostra os níveis de energia para um elétron em um determinado átomo.



Das transições entre os níveis de energia mostradas na figura, assinale a alternativa que representa a emissão de um fóton com maior energia.

- a) de  $n = 4$  para  $n = 3$
- b) de  $n = 1$  para  $n = 3$
- c) de  $n = 2$  para  $n = 1$
- d) de  $n = 1$  para  $n = 2$
- e) de  $n = 4$  para  $n = 2$

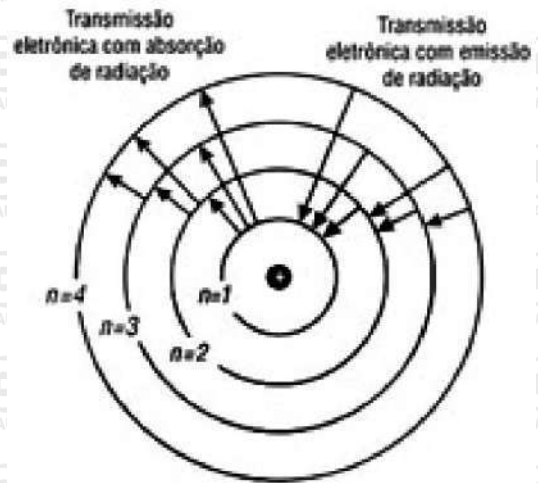
**TEXTO: 3 - Comum à questão: 18**

**Quando necessário, adote:**

- módulo da aceleração da gravidade:  $10 \text{ m.s}^{-2}$
- calor latente de vaporização da água:  $540 \text{ cal.g}^{-1}$
- calor específico da água:  $1,0 \text{ cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$
- densidade da água:  $1 \text{ g.cm}^{-3}$
- constante universal dos gases ideais:  $R = 8,0 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- massa específica do ar:  $1,225.10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}$
- massa específica da água do mar:  $1,025 \text{ g.cm}^{-3}$
- $1 \text{ cal} = 4,0 \text{ J}$

**Questão-18 - (PUC SP/2017)**

Um átomo de hidrogênio gasoso, no seu estado fundamental, tem energia de  $-13,6\text{eV}$ . Determine a energia necessária, em eV (elétron-volt), que ele deve absorver para que sofra uma transição para o próximo estado de excitação permitido pelo modelo atômico de Bohr.



<https://docente.ifrn.edu.br>

- a)  $-3,4$
- b)  $-17,0$
- c)  $17,0$
- d)  $10,2$

**Questão-19 - (UFRGS RS/2017)**

Um apontador laser emite uma radiação de comprimento de onda igual a  $600 \text{ nm}$ , isto é,  $600 \times 10^{-9} \text{ m}$ .

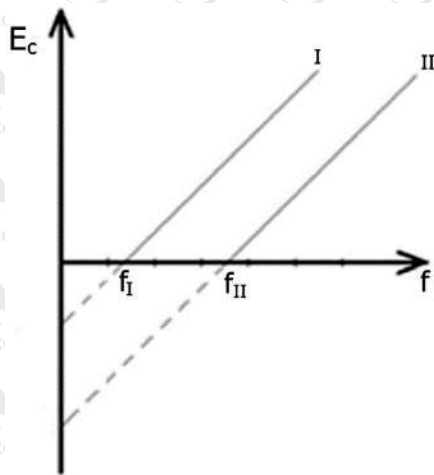
São dadas a velocidade da luz no ar,  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ , e a constante de Planck,  $6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ .

Os valores que melhor representam a frequência da radiação e a energia de cada fóton são, respectivamente,

- a)  $50 \text{ Hz}$  e  $3,3 \times 10^{-32} \text{ J}$ .
- b)  $50 \text{ Hz}$  e  $1,32 \times 10^{-35} \text{ J}$ .
- c)  $180 \text{ Hz}$  e  $1,2 \times 10^{-31} \text{ J}$ .
- d)  $5,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$  e  $1,8 \times 10^{-20} \text{ J}$ .
- e)  $5,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$  e  $3,3 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

**Questão-20 - (UFRGS RS/2017)**

O gráfico abaixo mostra a energia cinética  $E_c$  de elétrons emitidos por duas placas metálicas, I e II, em função da frequência  $f$  da radiação eletromagnética incidente.



19) Gab: E

20) Gab: D

Sobre essa situação, são feitas três afirmações.

- I. Para  $f > f_{II}$ , a  $E_c$  dos elétrons emitidos pelo material II é maior do que a dos elétrons emitidos pelo material I.
- II. O trabalho realizado para liberar elétrons da placa II é maior do que o realizado na placa I.
- III. A inclinação de cada reta é igual ao valor da constante universal de Planck,  $h$ .

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

**GABARITO:**

- 1) Gab: A
- 2) Gab: C
- 3) Gab: C
- 4) Gab: B
- 5) Gab: D
- 6) Gab: E
- 7) Gab: E
- 8) Gab: D
- 9) Gab: C
- 10) Gab: B
- 11) Gab: A
- 12) Gab: B
- 13) Gab: D
- 14) Gab: E
- 15) Gab: E
- 16) Gab: D
- 17) Gab: C
- 18) Gab: D